

발 간 등 록 번 호

11-1390802-000221-01

농업생태계 다양성의 보존과 활용

MANAGING BIODIVERSITY IN AGRICULTURAL ECOSYSTEMS

Edited by D. I. JARVIS, C. PADOCH, AND H.D. COOPER

국립농업과학원 편역



농촌진흥청



Rural Development Administration
Republic of Korea



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC



IDRC  CRDI



UNITED NATIONS
UNIVERSITY



CBD



Columbia University Press / New York



9 3520

9 788948 007978

ISBN 978-89-480-0797-8



Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems

농업생태계 다양성의 보존과 활용

EDITED BY D. I. JARVIS, C. PADOCH, AND H. D. COOPER

Published by

Rural Development Administration Republic of Korea



Biodiversity International



Columbia University Press *New York*



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC



IDRC  CRDI



UNITED NATIONS
UNIVERSITY



CBD

농업생태계 다양성의 보존과 활용

Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems



농업생태계 다양성의 보존과 활용

Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems

국립농업과학원 편역

EDITED BY D. I. JARVIS, C. PADOCH, AND H. D. COOPER

TRANSLATED BY NATIONAL ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCE, RDA, KOREA

Published by

Rural Development Administration *Republic of Korea*



Biodiversity International



Columbia University Press *New York*



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Agency for Development
and Cooperation SDC

IDRC  CRDI



UNITED NATIONS
UNIVERSITY



Originally published in English as "Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems"
by Columbia University Press
Copyright© Bioversity International 2007

이 한글판의 인용방법은 아래와 같다.

Jarvis, D. I., C. Padoch, and H. D. Cooper. 2010. 농업생태계 다양성의 보존과 활용 (국립농업
과학원 편역). 농촌진흥청, 436p.

2006년 12월 1일 현재, IPGRI와 INIBAP는 " Bioversity International"라는 이름으로 운영되
고 있다.

본 출판물에서 사용된 명칭이나 표현은 국가, 영역, 도시, 지역 또는 그 당국의 법적 상태나 국경,
경계 설정에 관하여 국제식물유전자원연구소, 생물다양성협약사무국, 국제연합대학, 국제개발연
구센터, 캐나다, 스위스 개발협력처의 견해를 나타내는 것은 아니다.

"선진국" 과 "개발도상국" 이라는 경제적 상태에 관한 표현은 통계적 편의를 위한 것으로, 반드시
특정 국가, 영역 또는 지역이 발전과정에서 도달한 단계에 대한 판단을 나타내는 것은 아니다.

본 출판물에서 표현된 관점은 저자의 것으로 반드시 국제식물유전자원연구소나 생물다양성협약사
무국, 국제연합대학, 국제개발연구센터, 캐나다, 스위스 개발협력처의 관점을 대표하는 것은 아니다.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

Managing biodiversity in agricultural ecosystems / edited by D. I. Jarvis, C. Padoch, and
H. D. Cooper.

p. cm.

ISBN 13: 978-0-231-13648-8 (hard cover: alk. paper)-ISBN 13:978-0-231-51000-4 (e-book)

ISBN 10: 0-231-13648-X (hard cover: alk. paper)-ISBN 10: 0-231-51000-4 (e-book)

1. Agrobiodiversity. 2. Agricultural ecology. I. Jarvis, Devra I. (Devra Ivy), 1959- II.
Padoch, Christine. III. Cooper, H. D. (H. David)

S494.5.A43M36 2007

630-dc22

2006031672

Columbia University Press books are printed on permanent and durable acid-free paper.

Printed in the United States of America

c 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

한글판 발간사

2010년은 UN이 지정한 생물다양성의 해로 전 세계적으로 생물다양성을 주제로 한 각종 심포지엄과 행사들이 개최되고 있습니다. 국내에서는 아직 농업생태계와 농업생물다양성에 대한 연구가 깊이 있게 이루어지고 못하고 있으며 다양성 보존과 활용을 위한 국가정책적인 투자도 부족한 것이 현실입니다.

농업에 있어서의 농업생태계가 기능을 하는데 총체적인 농업생물다양성이 중요하다는 점을 지구공동체가 인식하게 된 것은 최근의 일입니다. 1996년의 생물다양성협약(CBD) 당사국회의에서 처음으로 농업생물다양성이라는 주제가 깊이 있게 다루어졌습니다. 이 회의의 후속조치로 2000년에 채택된 농업생물다양성에 대한 CBD 활동프로그램을 통해 비로소 농업생물다양성의 복합적인 측면과 생물다양성이 제공하는 다양한 재화와 서비스의 가치를 인정하게 되었습니다.

한글판의 원저인 국제생물다양성연구소(Bioversity International)에서 발행한 “Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems”는 인류의 생존과 관련된 농업생태계 및 농업 생물다양성의 다양한 측면 및 그 가치, 그리고 미래를 위한 보존 및 활용전략에 대해 자세히 다루고 있습니다. 이 책은 몬트리올 심포지엄에서 발표된 연구사례를 모아 발간한 것으로 농업 생물다양성의 동적인 양상과 그 구성요소들 간의 상호작용에 초점이 맞추어져 있습니다. 비영어권의 독자들을 위해 현재 중국어, 러시아어, 아랍어로 번역하는 작업이 진행 중입니다.

이 한글판은 국내의 농업관련 연구자들, 정책 담당자, 학생, 일반인들이 우리말로 쉽게 읽어 농업생물다양성의 개념과 가치를 이해하는데 도움을 주고자 발간하게 되었습니다. 원저에서 다루고 있는 내용이 작물, 육종, 생명공학, 병해충, 토양, 가축에 이르기까지 워낙 광범위하고 전문적인 부분이 많아 매끄러운 번역이 어려웠지만, 어렵게 시간을 내어 꼼꼼하게 감수를 해 주신 윤진영 박사님, 목일진 박사님, 오대근 박사님의 도움 덕분에 마무리할 수 있었습니다. 감수를 해 주신 분들께 깊이 감사드립니다.

2010년 10월

농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원센터 소장 김 정 곤

번역 편집자 대표 농업연구관 조 명 래

목 차

감사의 말씀

집필진

- 1 생물다양성, 농업 그리고 생태계 서비스
D. I. Jarvis, C. Padoch, and H. D. C. Cooper _ 19
- 2 농지에서의 작물 유전적 다양성 측정, 관리 및 유지
A. H. D. Brown and T. Hodgkin _ 30
- 3 품종의 명칭: 농업생태계 작물 유전적 다양성과 분포에 관한 시발점
M. Sadiki, D. I. Jarvis, D. Rijal, J. Bajracharya,
N. N. Hue, T. C. Camacho-Villa, L. A. Burgos-May,
M. Sawadogo, D. Balma, D. Lope, L. Aarias, I. Mar,
D. Karamura, D. Williams, J. L. Chavez-servia,
B. Sthapit, and V. R. Rao _ 49
- 4 농업생태계에서의 종자 시스템 및 작물의 유전적 다양성
T. Hodgkin, R. Rana, J. Tuxill, D. Balma, A. Subedi,
I. Mar, D. Karamura, R. Valdivia, L. Collado,
L. Latournerie, M. Sadiki, M. Sawadogo,
A. H. D. Brown, and D. I. Jarvis _ 87
- 5 가축 유전자원의 보존 결정을 위한 다양성 측정
J. P. Gibson, W. Ayalew, and O. Hanotte _ 121
- 6 가축유전자원의 관리: 변화와 상호작용
I. Hoffmann _ 141

- 7 미작 생태계 내의 수서 생물다양성
M. Halwart and D. Bartley _ 179
- 8 수분 매개체 서비스
P. G. Kevan and V. A. Wojcik _ 195
- 9 농업 생태계 내에서의 토양 생물다양성 관리
G. G. Brown, M. J. Swift, D. E. Bennack, S. Bunning,
A. Montanez, and L. Brussaard _ 218
- 10 농업생태계의 다양성 및 해충 관리: 생태학적 전망
A. Wilby and M. B. Thomas _ 260
- 11 전통적인 농업생태계에서의 농작물 질병 관리: 유전적 다양성의 이익과 위험
D. I. Jarvis, A. H. D. Brown, V. Imbruce, J. Ochoa,
M. Sadiki, E. Karamura, P. Trutmann, and M. R. Finckh _ 280
- 12 발병 억제를 위한 농작물 품종의 다변화
Y. Y. Zhu, Y. Y. Wang, and J. H. Zhou _ 305
- 13 공간적, 시간적으로 복잡한 농업경관 내에서 생물다양성의 관리
H. Brookfield and C. Padoch _ 320
- 14 환경 및 경제 변화에 대한 반응으로써 소규모 자작농시스템의 다양성 및 혁신
K. Rerkasem and M. Pinedo-Vasquez _ 341
- 15 농업생물다양성과 식품 그리고 인간의 건강
T. Johns _ 357
- 16 농민과 육종가의 선택 비교: 네팔에서 토종 벼의 가치
D. Gauchan and M. Ssmale _ 380

- 17 가축 유전자원 보존 및 지속적인 사용의 경제학
A. G. Drucker _ 396
- 18 농업생태계에서 생물다양성의 생태적 경제적 역할
M. Ceroni, S. Liu, and R. Costanza _ 412

감사의 말씀

본 저서의 출판을 위해 재정적 지원을 아끼지 않은 캐나다(IDRC, 국제개발연구센터)와 스위스(스위스 개발협력처) 정부에 감사드립니다.

본 저서에 인용된 여러 연구 결과는 스위스(SDC, 스위스 개발협력처), 네덜란드(DGIS, 국제협력실), 독일(BMZ/GTZ, 연방경제협력부/독일기술협력처), 일본(JICA), 캐나다(IDRC), 스페인, 페루 등 여러 나라 정부와 유엔환경계획의 지구환경기금, 생물다양성협약 사무국, 유엔식량농업기구의 지원으로 얻어진 것이다.

또한 본 책자 집필의 여러 단계에서 도움을 주신 많은 동료들에게 감사를 드린다. 특히 Steve Clement, Charles Spillane, Jean Louis Pham, Linda Collette, Julia Ndung'u-Skilton, Beate Scherf, Paola De Santis 제씨에게 감사드립니다. 익명의 검토위원 몇분들도 해당 장에 대하여 매우 소중한 비판적 검토를 해 주었다. 본 저서를 정확하고 빠르게 편집해 준 Linda Sears에게도 심심한 감사를 전한다.

끝으로 본 저서에 이름이나 소속이 언급되지 않은 많은 협력자들에게 특히 진지하고 깊은 감사를 드린다. 여기에 인용된 여러 연구에 참여한 많은 농업인, 현장 지도원, 교육자, 연구자, 그리고 정부 관리들이 바로 이 책자의 출판을 가능케 만든 주인공들이다.

- F. Ahkter The Centre for Policy Research for Development Alternatives, Bangladesh
- L. Arias Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Incipiente Projeccin Nacional, Mérida, Yucatán, Mexico
- W. Ayalew International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya
- J. Bajracharya Agriculture Botany Division, Nepal Agriculture Research Council, Khumaltar, Lalitpur, Nepal
- D. Balma Direction de la Recherche Scientifi que, Ouagadougou, Burkina Faso
- D. Bartley FAO Inland Water Resources and Aquaculture Service, Rome, Italy
- D. E. Bennack Instituto de Ecología, Xalapa, Veracruz, Mexico
- H. Brookfield Australian National University, ACT 0200, Australia
- A. H. D. Brown Centre for Plant Biodiversity Research, csiro Plant Industry, Canberra, Australia
- G. G. Brown Soil Invertebrate Laboratory, Embrapa Soybean, Londrina, PR, Brazil
- L. Brussaard Wageningen University, Soil Quality Section, Wageningen, The Netherlands
- S. Bunning L Land Plant Nutrient Management Service (AGLL), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- L. A. Burgos-May Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Incipiente Proyección Nacional, Mérida, Yucatán, Mexico
- T. C. Camacho-Villa Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Incipiente Proyección Nacional, Mérida, Yucatán, Mexico, and Wageningen University and Research Center, Participatory Approaches Studies,

- Wageningen, The Netherlands
- M. Ceroni Department of Botany and Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, USA
- J. L. Chavez-Servia Centro Interdisciplinario de Investigacin para el Desarrollo Integral Regional Instituto Politecnico Nacional, Oaxaca, Mexico
- L. Collado Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali, Pucallpa, Perú
- H. D. Cooper Secretariat, Convention on Biological Diversity, Montreal, Quebec, Canada
- R. Costanza Rubenstein School of Environment and Natural Resources and Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, USA
- M. Dijmadoum Fdration National des Groupements Naam, Ouahigouya, Burkina Faso
- A. G. Drucker School of Environmental Research, Charles Darwin University, Australia
- M. R. Finckh Department of Ecological Plant Protection, University of Kassel, Wutzenhausen, Ecological Agricultural Science, Germany
- B. M. Freitas Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brazil
- D. Gauchan Nepal Agricultural Research Council, Kathmandu, Nepal
- B. Gemmill African Pollination Initiative, Nairobi, Kenya
- J. P. Gibson Institute for Genetics and Bioinformatics Homestead, University of New England, Armidale NWS 2351, Australia
- M. Halwart Inland Water Resources and Aquaculture Service, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- O. Hanotte International Livestock Research Institute, Nairobi, Kenya
- T. Hodgkin International Plant Genetic Resources Institute, Maccarese, Rome, Italy
- I. Hoffmann Animal Production Service, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- N. N. Hue Vietnamese Agricultural Science Institute, Hanoi, Vietnam
- V. Imbruce New York Botanical Garden, Bronx, ny, usa
- D. I. Jarvis International Plant Genetic Resources Institute, Maccarese, Rome, Italy
- T. Johns Centre for Indigenous Peoples' Nutrition and Environment and School of Dietetics and Human

- Nutrition, McGill University, Ste. Anne de Bellevue, Quebec, Canada
- D. Karamura International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Kampala, Uganda
- E. Karamura International Network for the Improvement of Banana and Plantain, Kampala, Uganda
- P. G. Kevan Department of Environmental Biology, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada
- L. Latournerie Instituto Tecnológico Agropecuario de Condal (siga-ita2), Mérida-Motul, Condal, Yucatán, Mexico
- D. Lope Fundación Kan Uak, A.C. Mérida, Yucatán, Mexico, and Wageningen University and Research Center, Bio-Cultural Diversity Studies, Wageningen, The Netherlands
- S. Liu Rubenstein School of Environment and Natural Resources and Gund Institute for Ecological Economics, University of Vermont, USA
- I. Mar Institute for Agrobotany, Tapioszele, Hungary
- A. Montáñez Adriana Montáñez, Universidad de Montevideo, Uruguay
- A. Ochieng University of Nairobi, Department of Botany, Nairobi, Kenya
- J. Ochoa Estación Experimental, Santa Catalina, Quito, Ecuador
- C. Padoch The New York Botanical Garden, Bronx, New York
- U. Partap International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu, Nepal
- M. Pinedo-Vasquez Center for Environmental Research and Conservation, Columbia University, New York, NY, USA
- R. Rana Local Initiatives for Biodiversity, Research and Development, Pokhara, Nepal
- V. R. Rao International Plant Genetic Resources Institute, Regional Office for Asia, Pacific, and Oceania, Serdang, Malaysia
- K. Rerkasem Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand
- D. Rijal Local Initiatives for Biodiversity, Research and Development, Pokhara, Nepal, and Noragric, Norwegian University of Life Sciences, Aas, Norway
- M. Sadiki Institut Agronomique et Vtrinaire Hassan II, Dpartement

- d'Agronomie et d'Amlioration des Plantes, Rabat, Morocco
- M. Sawadogo University of Ouagadougou, Unit de Formation et de Recherche en Science de la Vie et de la Terre, Ouagadougou, Burkina Faso
- M. Smale International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, and International Food Policy Research Institute, Washington DC, USA
- B. Sthapit International Plant Genetic Resources Institute, Regional Office for Asia, Pacific, and Oceania, Pokhara, Nepal
- A. Subedi Intermediate Technology Group for Development, Kathmandu, Nepal
- M. J. Swift Institut de Recherche et Développement, Centre de Montpellier, Montpellier, France
- M. B. Thomas Centre for Plant Biodiversity Research, CSIRO Entomology, Canberra, Australia
- P. Trutmann International Integrated Pest Management, International Programs, Cornell University, Ithaca, NY, USA
- J. Tuxill Joint Program in Economic Botany, Yale School of Forestry and Environmental Studies and the New York Botanical Garden, New Haven, CT, USA
- R. Valdivia Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Puno, Perú
- Y. Y. Wang Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan, P.R. China
- A. Wilby Department of Agricultural Sciences and nerc Centre for Population Biology, Imperial College, Wye, Kent, UK
- D. Williams USDA, Foreign Agricultural Service, International Cooperation and Development, Research and Scientific Exchanges Division, Washington, DC, USA
- V. A. Wojcik Environmental Science Policy and Management, University of California, Berkeley, CA, USA
- J. H. Zhou Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan, P.R. China
- Y. Y. Zhu Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan, P.R. China

농업생태계 다양성의 보존과 활용

Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems

1. 🌿 생물다양성, 농업 그리고 생태계 서비스

D. I. JARVIS, C. PADOCH, AND H. D. COOPER

농업생태계 내의 생물다양성은 우리에게 식량과 이를 생산할 수 있는 수단을 제공한다. 우리가 섭취하는 식량이 되는 다양한 식물과 동물은 분명 농업생태계의 한 부분이다. 눈에 잘 띄지는 않지만 똑같이 중요한 요소들로는 무수한 토양 생물과 화분 매개자, 해충이나 병에 대한 천적 등이 있으며, 이들은 농업 생산을 지탱하는 데에 중요한 조절 서비스 기능을 하고 있다. 농민들은 식량 및 여타 생산물을 생산하고 생계를 유지하기 위해, 위에 열거한 것들을 포함하여 생물다양성의 여러 측면을 매일 관리하고 있다. 농업생태계의 생물다양성은 또한 수계 보호와 탄소 격리 같이 생태계의 또 다른 서비스를 창출하는 데에도 기여한다. 이러한 기능적인 의미 외에도 농업생태계의 생물다양성을 유지하는 것은 그 자체로서 매우 중요한 일이다. 현대 농업의 규모는 실로 매우 방대하므로 생물다양성 보존전략에는 다분히 인류발생학적 시스템의 관점에서 다루어야 할 것이다. 더욱이 농업 환경에서의 생물다양성은 문화적인 중요성도 가지고 있는데, 이는 한편으로 역사적으로 경관은 농업과 상호작용을 해왔기 때문이며 또 한편으로는 많은 사람들이 농경지 내 및 주변의 야생 생물다양성과 접촉하게 되기 때문이다.

이 책은 농업 생물다양성의 이런 다양한 측면을 살펴보고자 한다. 작물 유전자원은 1, 2, 3, 10, 11 및 16장에서 가축 유전자원은 4, 5 및 17장에서 각각 다루게 된다. 또 다른 장에서는 수서 생물다양성(6장)과 화분 매개체 다양성(7장), 토양 생물다양성(8장) 등을 살펴본다. 세 장(9, 10, 11장)에서는 병해충의 다양성과 병해충 관리 간의 다양한 상호관계를 다룬다. 제12장과 13장에서는 복합적인 공간에서 환경적, 경제적 변화가 일어나는 광범위한 맥락에서 농민들이 다양성을 어떻게 관리하는지를 살펴본다. 제14장에서는 다양성이 식단, 영양 및 인간의 건강에 미치는 영향을 다룬다. 제15장에서 17장까지는 농업생태계 생물다양성을 통해서 얻는 유전자원 및 생태계 서비스의 가치를 살펴본다.

서론적인 본 장에서는 이어질 장들의 내용에 대한 배경을 살펴보고자 한다. 여러 학회와 국제적 정책 포럼에서의 농업 생물다양성을 다룬 최근의 노력을 검토해 보고 농업생태계의 다차원적인 생물다양성에 대해 알아 볼 것이다. 그 다음으로는 생물다양성이 제공하는 생태계 서비스의 가치와 생물다양성의 기능과 생물다양성의 관리방법이 이들에 미치는 영향에 대해 알아본다. 농업생태계 내의 생물다양성에 대한 간략한 미래 전망으로 이 장을 마무리하고자 한다.

농업생물다양성에 관한 근래의 사업

농업에 있어서의 작물, 가축 및 수서 유전자원의 중요성은 오래 전부터 인정되었으나, 농업생태계가 기능을 하는 데에 총체적인 농업생물다양성이 중요하다는 점을 지구공동체가 인식하게 된 것은 최근 수십 년에 불과하다. 국제 정책 무대에서는 1996년 생물다양성협약(CBD) 당사국회의에서 처음으로 농업생물다양성이 깊이 있게 다루어졌다. 이 회의의 후속조치로 성안되어 2000년에 채택된 농업 생물다양성에 대한 CBD 활동 프로그램을 통해 농업생물다양성의 복합적인 측면과 생물다양성이 제공하는 다양한 재화와 서비스를 인정하게 된다. 이 활동 프로그램을 채택함으로써 당사국회의는 농업생물다양성의 보존 및 지속가능한 이용에 대한 농업인, 토착사회 및 지역사회의 기여와 이들의 삶에 있어서의 농업생물다양성의 중요성을 인정한 것이다. 농업생물다양성에 대한 CBD 활동 프로그램이라는 구조 속에서 화분 매개체, 토양 생물다양성, 식량과 영양을 위한 생물다양성 등에 관한 구체적인 사업들이 시작되었다.

농업생물다양성에 대해 이와 같이 새롭게 조명하게 된 것은 세계적으로 농업생물다양성의 소실 속도가 계속 올라가고 있다는 인식이 널리 퍼진 데에 따른 반응이다. 세계 가축다양성 감시대상 목록에서 추산한 바에 따르면 포유류 중 35%와 조류 중 63%가 멸종 위기에 처해 있으며 매주 한 종씩 사라지고 있다. 세계 식량 및 농업을 위한 식물유전자원(PGRFA) 현황 보고서에는 식량 및 농업용 식물유전자원 다양성의 소실 정도가 “심각하다”고 하였는데, 이에 는 식물의 종, 품종 및 유전적 복합체의 소실이 주를 이룬다(FAO 1998). 남극 대륙을 제외한 모든 대륙에서 최소 한 지역 또는 국가에서 화분 매개체가 감소하고 있다는 보고가 나왔다. 유럽과 북아메리카의 꿀벌 집단의 수가 급락했으며 근연종인 히말라야 석청벌(*Aphis laboriosa*) 역시 급격한 감소를 겪었다(Ingram et al. 1996). 화분을 매개하는 다른 종과 속 역시 관찰이 필요하게 되었으며, 포유류 및 조류에 속하는 화분매개자도 감소한다는 증거가 있다. 세계적으로 최소 45종의 박쥐, 36종의 포유류, 26종의 벌새류, 7종의 태양새류, 70종의 참새류가 멸종 위기에 있거나 멸종되었다 (Kearns et al. 1998).

농업시스템에서의 생물다양성 소실률이 높아지고 있다는 폭넓은 여론과 이러한 변화 정도를 보다 잘 정량화해야 할 필요에 따라 최근 몇 년간 농업생물다양성 관리에 대한 국제적, 국가적, 지역적인 활동들이 점차 증가하게 되었다. 국제식물유전자원연구소(IPGRI)의 세계 농지 보존 프로젝트 (Jarvis와 Hodgkin 2000; Jarvis et al. 2000); 인간, 토지관리, 환경변화 (PLEC) 프로젝트(Brookfield 2001; Brookfield et al. 2002); 지역사회 생물다양성 개발보존 프로그램(CBDC); 국제열대농업연구센터(CIAT), 열대 토양 생물학 및 비옥도 연구소(TSBF), 지구환경시설 지하 생물다양성(BGBD) 프로젝트; FAO가 지원하는 지구화분매개체 프로젝트; 농업생물다양성 운용프로그램 및 지구환경기금(GEF)이 지원하는 프로젝트 등이 두드러진 활

동사례다. CBD 과학부속기구의 학회 활동 중 하나로 2001년 몬트리올에서 개최된 "농업생태계 생물다양성관리"에 관한 국제심포지엄에서는 위에 열거한 것들을 포함하여 여러 과제로 이루어진 많은 연구 사례가 보고되었다.

이 책은 몬트리올 심포지엄에서 발표된 연구사례를 바탕으로 쓴 것이다. 농업 생물다양성에 대한 기존의 접근 방식은 구성요소를 정적인 면에서 초점을 두었던 데에 비해, 이 책의 여러 장에서는 농업 생물다양성의 동적인 양상과 그 구성요소들 간의 상호작용에 초점이 맞추어져 있다. 사회과학 및 환경과학에 지식과 관심이 있는 연구자들을 참여시킴으로써 이 분야에 대한 새로운 관점에서의 접근도 시도하였다. 이들은 과거에서 지금까지 농업 시스템과 농업 사회, 그리고 더 넓은 사회 속에서 생물다양성을 관리해 오고 앞으로 관리해 가는 데에 필수적인 과정과 그 과정들 간의 상호연계성, 발전과정 및 실제 적용을 이해하려고 노력한다.

다차원적인 농업 생물다양성

농업 생물다양성은 농업시스템 내에서 상품의 생산과 관련된 생물다양성의 모든 구성요소들 즉, 농업생태계의 주요 기능, 구조 및 프로세스를 유지하는 데에 필수적인 식물, 동물, 미생물의 유전적, 종(species)적, 생태적 수준의 다양성과 변이를 포함한다. 따라서 여기에는 작물, 수목과 연관 식물, 어류 및 가축뿐만 아니라 이들과 상호 작용하는 화분 매개자, 공생자, 병해충, 기생자, 포식자, 경합자 등이 포함된다.

경작 시스템은 계획적 생물다양성, 즉 작물로 파종하는 식물과 가축으로 사육하는 동물의 다양성을 포함한다. 이러한 다양성은 작물의 야생 근연종들과 함께 식량농업유전자원을 구성한다. 그러나 농업 생물다양성은 더 넓은 개념으로서 영양분의 순환, 해충 관리, 화분매개 (Wood and Lenne 1999) 등을 통한 농업 생산 지원과 다양한 생산물에까지 이르는 다양한 범위를 포괄한다. 또한 수계 보존 등과 같이 더 넓은 의미에서의 생태계 서비스를 제공하는 생물다양성도 농업 생물다양성의 일부라고 할 수 있다 (Aarnink et al. 1999; CBD 2000; Cromwell et al. 2001).

이 책에서는 광범위하고 포괄적인 접근 방식을 통해 농업 생태계의 생물다양성에 대한 연구에서 새롭게 등장하고 있는 문제들을 다루고자 한다. 제2장에서 7장까지는 농업 시스템의 계획적 생물다양성의 대종이 되는 작물, 가축, 어류의 다양성에 주로 초점을 맞추었다. 순화된 작물과 가축 외에도, 관리 하에 있거나 야생 상태로 있는 엽채류와 과일, 견과류, 균류, 놀이용 야생곤충류, 기타 절지동물, 어류 (물고기뿐만 아니라 연체동물과 갑각류 포함) 등이 유용 동식물 종을 풍부하게 한다(Pimbert 1999; Koziell and Saunders 2001; Halwart and Bartley,

7장 참조). 이러한 식량 자원은 빈민층과 농지가 없는 사람들에게 특히 중요하며 (13장 box 13.2의 Ahkter) 기근이나 불안정한 시기, 또는 정상적인 식량공급이 중단되고 지역민이나 난민들이 다른 형태의 영양원을 구하기가 어려워지는 분쟁 시기에 특히 더 중요하다(Scoones et al. 1992; Johns, 15장). 평시에도 ("잡초"를 포함하여) 이러한 부수적인 생물다양성은 주식을 보완하여 균형 잡힌 식단을 제공하는 데에 중요한 역할을 한다. 일부 토착 및 전통 사회에서는 200종 이상을 식품으로 이용하고 있다 (Kuhnlein et al. 2001; Johns와 Sthapit 2004; Johns, 15장).

종 및 유전적 수준에서의 다양성은 일정 지역 내의 집단 또는 종의 전체적인 변이를 구성한다. 유전적인 다양성은 표현형과 이용방법의 차이로 나타나기도 한다. 이것은 세 가지 측면으로 특징지어질 수 있는데, 즉 서로 다른 구성인자의 수(예: 작물 당 사용되는 품종 수와 주어진 유전자좌의 대립인자 수), 이들 구성인자의 분포상 균일도, 그리고 구성인자 간 차이의 크기 등이다. 작물유전자 다양성은 (국가 또는 거대농업생태계에서부터 지역사회, 농장, 소구획에 이르는) 여러 규모로 측정할 수 있으며, 유전적 다양성의 지표는 규모에 따라 달라지게 된다. 이러한 문제는 Brown과 Hodgkin (2장), Sadiki 등(3장)이 작물을, Gibson 등(5장)은 가축을, Halwart와 Bartley(7장)는 벼 생태계 내의 수서 다양성을 대상으로 각각 검토하였다. 이 장들은 작물(Sadiki et al, 3장; Hodgkin et al, 4장), 동물(Hoffmann, 6장) 및 수서자원(Halwart와 Bartley, 7장)에 대해서 농민들이 어떻게 이들 농업 시스템 내의 다양성에 이름을 붙이고 이들을 관리하는가에 대한 사례 연구로 보완되어 있다.

제8장부터 10장에서는 작물생산에서 부수적 생물다양성이 담당하는 필수적 지원 역할에 초점을 맞춘다(Swift et al. 1996; Pimbert 1999; Cromwell et al. 2001 참조). 지렁이와 기타 토양 동물군 및 미생물은 풀과 나무의 뿌리와 함께 토양 구조를 유지시켜 주고 영양물질순환을 가능케 해 준다 (Brown et al, 9장). 각종 병해충은 포식자, 기생자 및 병해 억제 미생물과 함께 작물 자체의 유전적 저항성에 의해 균형이 유지되며(Wilby와 Thomas, 10장; Jarvis et al, 11장; Zhu et al, 12장), 화분매개 곤충은 타화수정 작물의 교잡에 기여한다 (Kevan과 Wojcik, 8장). 이같이 농업 생산에 대한 직접지원 서비스 외에도 화분 매개충의 대체먹이가 되는 식물(농업지구 내에 경작하지 않는 조각 땅에 있는 것을 포함하여)이나 농업 해충의 천적들을 위한 대체먹이 등 먹이사슬의 다른 구성요소도 있다. 이러한 현상은 자바 섬의 논에서 관찰되었는데 복잡한 먹이사슬 내에서 곤충, 거미, 기타 절지동물 등 해충의 천적들이 해충의 밀도가 낮을 때는 대체먹이에 의존함으로써 자연적인 해충관리시스템에 안정성이 확보되는 것이다 (Settle et al. 1996).

경작시스템 내의 생물다양성은 다차원적인 속성을 가지고 있기 때문에 어떤 생산 시스템의 생물다양성이 전체적으로 높다 또는 낮다고 규정짓는 것은 매우 어려우며, 특히 공간적 및

시간적 척도를 포함시킬 때 더욱 그렇다. 제11장에서 Jarvis 등은 병원균의 초강력 변종이 출현할 것이라는 전제하에서 작물의 유전적 다양성이 장기적인 병해 감소에 유리한 것인지 아니면 위험한 것인지에 대해 검토한다. 이들은 저항성 토착 품종 사용, 종 내의 저항성 품종의 혼합 사용, 그리고 작물의 취약성을 경감시키기 위한 해충과 병원균에 대해 저항성인 품종선발 육종 프로그램 등에 대한 연구 사례들을 제시한다. 저자들은 병해충을 관리하는데 있어서 유전적 다양성이 어디에서 그리고 언제 역할을 할 수 있는지 또는 하고 있는지를 평가할 수 있는 기준을 개발하는 것이 중요하다는 점을 지적한다.

농업적 생물다양성에 대한 학문적 연구는 대체적으로 특정 구성요소들 (예: 작물, 해충, 가축)에 초점을 맞추어 왔으나 실제 농민들은 이러한 각각의 요소 뿐만 아니라 전체적인 시스템을 동시에 관리하고 있다. 생물다양성 관리라는 개념은 오랜 기간 동안의 적응, 혁신과 변화의 역사, 그리고 풍부한 지식과 실천을 기반으로 만들어진 것으로서 쉽게 한정을 지을 수 없고 설명하기가 매우 어렵다. 제7장에서 Halwart와 Bartley는 농민들이 물고기 관리를 어떻게 농업 시스템에 통합했는지를 설명한다. 제13장에서는 Brookfield와 Padoch가 농민들의 보다 크고 복합적인 시간적 공간적 규모에서 농업생물다양성을 어떻게 관리하는지를 이해하자면 어떤 접근 방식이 가능한가를 소개한다. 이질적인 경관에서 농민들이 다양한 기술을 활용하여 생물다양성을 관리한다고 이들은 주장한다. 저자들은 생물다양성이 소규모 생산에 맞추어 특성화된 기술적, 제도적으로 통합된 상태를 설명하기 위해 농업다양성(agrodiversity)이라는 용어를 사용한다. 농업다양성이라는 개념은 또한 제14장의 핵심이기도 하다. 이 장에서 Rerkasem과 Pinedo-Vasquez는 소규모 농민들이 새롭게 나타나는 문제들을 해결하기 위해 어떻게 생물다양성을 관리하는지에 대한 사례들을 보여준다. 이러한 사례에서 나타나는 복합적, 역동적, 혼합적 특성을 강조함으로써, 저자들은 소규모 생산 현실을 보다 잘 반영할 수 있도록 전통적 지식과 관행의 기존 관점들을 새롭게 바꾸어 나간다.

생태계 서비스와 그 가치

생물다양성은 농업생태계가 다양한 재화와 서비스를 제공할 수 있게 하는 기초가 된다(Millennium Ecosystem Assessment 2000). 사람과 사회가 생물다양성이 제공하는 생태계 서비스를 사용함으로써 혜택(또는 실리)을 얻고 있기 때문에 생물다양성의 가치는 경제적인 척도로 나타낼 수 있다. 현재의 사용 가치, 또 다른 선택으로서의 가치(보험적 가치 + 탐구적 가치), 존재적 가치 즉 활용성과는 무관하지만 사람들이 존재하는 것을 선호하는 자원의 가치 등을 포함하는 경제적 총가치 개념은 생물다양성으로부터 파생되는 다양한 형태의 가치를 정의하는 데에 경제학자들이 널리 활용하

고 있다(Orians et al. 1990; Pearce와 Moran 1994, Swanson 1996). 이에 더하여 생물다양성 재화와 서비스는 종종 공공적, 사적 또는 혼합적 성격을 갖는다. 이러한 재화는 실제 거래되는 것이 아니므로 시장 가격으로 그 가치를 나타내기가 어렵다(Brown 1990). 예를 들면, 농민들은 여러 형태의 종자를 섞어서 재배하여 거둔 수확물을 음식으로 섭취하거나, 판매 또는 다른 용도를 통해 사적인 혜택을 누리게 된다. 그러나 이 종자들을 유전자형이라는 면에서 보면, 농업경관에서의 종자 형태의 이런 혼합 행태는 재배 농민 뿐만 아니라 다른 지역에 사는 사람들과 앞으로 살아갈 사람들이 입게 될 공공적 혜택의 원천인 작물의 유전적 다양성에 기여하는 것이다(Smale 2005). 자신의 농지에서의 작물 품종의 이용 및 관리에 관한 농민들의 결정은 잠재적 가치를 지닌 유전인자의 소실을 초래할 수도 있으므로, 이들의 선택은 여러 세대와 여러 지역에 걸쳐 영향을 주게 된다. 경제 이론에 따르면 농민 전체가 농업 생물다양성이라는 재화를 사회적으로 필요한 적정치보다 소량을 생산할 것으로 예측되므로 그 차이를 메우려면 제도적 개입이 필요하다(Sandler 1999).

제15장에서 Johns는 식단의 다양성, 영양 및 건강 측면에서 농업 생물다양성의 가치에 대한 경험적 증거를 보여 준다. Gauchan과 Smale (16장) 그리고 Drucker(17장)는 작물과 가축의 다양성(작물 및 가축 종간 및 종 내의 변이에 대하여 각각)이 시장가격 분석으로는 추산할 수 없지만 농민에게 주는 가치를 밝힌 사례 연구를 제시한다. 진실로, 작물 및 가축의 변이의 가치는 대부분 미래의 재배화 및 가축화 가능성, 작물 개량, 침식 방지 및 질병 억제와 같은 생태계 서비스 등에 관한 것이다. 제16장과 17장에서 논의하는 것처럼 이런 가치는 사회의 다양한 부문마다 각기 다른 방식으로 인식하고 있다(Smale 2005 참조). 제16장에서는 식물 육종가와 자연보호론자들이 미래의 활용이나 작물 개량에 중요하다고 생각하고 있는 재래 쌀 품종을 농민들이 계속 재배할 것인지(즉 가치가 있다고 생각하는지)를 결정하는 데에 영향을 미치는 요소들을 파악함으로써, 유전학자들과 농민들이 역점을 두는 가치를 상호 비교한다. 제17장에서는 토종 품종 감소의 영향을 농민이 얻게 되는 이익이 아니라 이용 가능한 토종 육종 소재의 감소에 미치는 영향에 맞추어 논의한다.

생물다양성의 가치는 식량공급 측면에서 널리 인정되고 있으나 생물다양성에서 파생되는 다른 가치들도 매우 중요할 수 있다(Ceroni et al, 18장). 생물다양성 및 이와 관련된 생태계의 가치는 보통 한계치로 평가한다. 즉 관리상의 결정 또는 여타의 인간활동에 기인되는 생태계 서비스 변화의 가치를 평가하거나, 전체면적에 비해 작은 면적으로부터 제공되는 서비스 또는 그 작은 면적 속의 생물다양성의 가치를 평가할 뿐이다. 생물다양성의 다른 가치들을 측정하기 위한 다양한 평가 방법이 있음에도 불구하고 통상적으로는 생태계 재화(또는 제공되는 생태계 서비스)만이 평가되고 있다(Ceroni et al, 18장). 대부분의 지원적 및 조절적 서비스는 공공 재화의 특징들을 가지고 있고 시장에서 거래되지 않기 때문에 평가는 전혀 이루어지지 않고 있다.

생물다양성의 구성요소와 농민들에 의한 관리와의 상호작용

생물다양성과 생태계 기능 간의 관계에 대한 우리의 이해가 불완전하지만 몇 가지 사항은 매우 확실하게 이야기할 수 있다. 첫째, 종의 구성 양상이 종의 절대적 숫자보다 더 중요하다는 것이다. 기능적 관점에서 볼 때 생물군의 기능적 범위가 종 다양성 자체의 풍부함보다 더 중요하다(Brown et al, 9장). 예를 들면, 해충 포식자들의 기능적 범위가 효과적인 해충의 자연방제의 핵심이다(Wilby와 Thomas, 10장). 둘째, 환경과 농민요구의 변화에 진화를 통해 계속적으로 적응해 나가고 궁극적으로는 생태계 재화와 서비스를 지속적으로 제공하는 데에는 집단 내의 유전적 다양성이 중요하다는 점이다(Brown과 Hodgkin, 2장; Sadiki et al, 3장; Hodgkin et al, 4장; Hoffmann, 6장; Halwart와 Bartley, 7장; Jarvis et al, 11장 참조). 셋째, 서식지 내 혹은 서식지 간의 다양성과 경관적 차원에서의 다양성 역시 여러 측면에서 중요하다는 것이다 (Brookfield와 Padoch, 13장; Rerkasem과 Pinedo-Vasquez, 14장). 경관적 차원에서의 다양성은 작물 수분 매개체들에게 대체 먹이식물 및 서식처를 제공하고 작물 병해충의 천적들을 위한 대체 먹이를 제공하기 위해 필요한 식물의 다양성을 포함할 수 있다(Kevan과 Wojcik, 8장; Wilby와 Thomas, 10장).

이 책에서 설명하는 소규모 관리에 관한 많은 사례 연구들은 기존에는 농업생산에 부적합하거나 한계지로 간주되던 곳들의 이용에 관한 것이다. 이는 다수의 소농과 많은 농업생물다양성이 계속 발견되고 있는 경사지, 척박지, 홍수 지역, 건조 지역, 오지 같은 환경에서 일어나는 것이다. 이러한 여건에서는 다양성을 높은 수준으로 관리하는 것이 경작 및 목축 농가들의 생계 유지 전략과 그 지역사회의 생존의 핵심 부분이 될 수 있다(Brookfield와 Padoch, 13장; Rerkasem과 Pinedo-Vasquez, 14장). 농업 생물다양성은 기능을 유지하는 동시에 충격을 흡수할 수 있는 능력을 가지게 함으로써 일정 수준의 회복력을 담보하는 데에 도움이 된다. 소농과 이들이 살아가는 사회적 및 생태적 환경은 많은 변화에 끊임없이 노출되어 있다. 갑작스런 변화가 발생하더라도 회복력이 매우 좋은 단위는 재생되거나 재편되고 심지어 변성할 수 있는 능력을 가지게 되는 것이다(Folke et al. 2002). 회복력을 상실한 시스템에서는 변화에 적응하기가 어렵고, 사소한 변화조차도 잠재적으로 치명적일 수 있다. 정치적이든, 경제적이든, 환경적이든 위협, 스트레스, 충격 등에 대처할 수 없을 경우, 소농의 삶이 파괴되고 위협받게 된다.

농업 생물다양성의 미래

세계화와 농업생산성 향상의 추구가 바로 농업 생물다양성의 적이라고 흔히들 이야기한다. 녹색 혁명에 의한 교잡품종과 기술의 확산, 새로운 식습관, 지적 재산에 관한 법률, 종자와 품종의 분양,

등록 및 보증 그리고 세계적인 접근 제한 등이 모두 다양성에 대해 부정적인 영향을 미친다. 그러나 이러한 현대화와 세계화 추세는 단순하지도 일차원적이지도 않다. 현대적 기술과 세계화하는 시장이 농업 생물다양성 관리에 대한 새로운 위기와 기회를 제공한다. 경우에 따라서는 이런 추세가 농업시스템의 전문화 및 획일화에 유리하게 작용하여, 농지의 농업생물다양성에서 제공받던 서비스를 비료, 살충제, 개량된 품종 등과 같은 외부 투입재가 일부 대체한다. 일부 투입재의 부적절하거나 과도한 사용은 때로 농업생물다양성을 감소시키고(이에 따라 향후 생산성이 저하하며) 다른 생태계의 생물다양성도 감소시킨다. 농업생물다양성에서 이런 서비스를 얻는 데에, 이 책의 여러 장에서 제시한 대안은 생산성과 생물다양성 보존이라는 두 목적에 모두 도움이 될 것이다. 농업이 가진 생물다양성에 대한 긍정적 영향은 조장하면서 부정적인 영향은 경감하고, 생산성은 높이며서 생계유지 능력을 증대시킬 수 있는 관리 방식과 기술 및 정책을 찾아내기 위해서는, 농업생물다양성의 서로 다른 요소들 간의 연계, 관련성 및 상호작용을 이해하여야 하며 여러 종류의 생산시스템에서 이들 요소들이 안정성, 회복력 및 생산성에 기여하는 방식에 대한 이해의 증진이 필요하다. 이러한 시도에는 전세계 농업생물다양성의 대부분을 만들고 관리하는 농민들의 적극적 참여가 허용되어야 할 것이다.

참고 문헌

Aarnink, W., S. Bunning, L. Collette, and P. Mulvany, eds. 1999. *Sustaining Agricultural Biodiversity and Agro- Ecosystem Functions: Opportunities, Incentives and Approaches for the Conservation and Sustainable Use of Agricultural Biodiversity in Agro-Ecosystems and Production Systems*. Rome: FAO.

Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. New York: Columbia University Press.

Brookfield, H., C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking. 2002. *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*. London: ITDG Publishing.

Brown, G. M. 1990. Valuing genetic resources. In G. H. Orians, G. M. Brown, W. E. Kunin, and J. E. Swierzbinski, eds., *Preservation and Valuation of Biological Resources*, 203-226. Seattle: University of Washington Press.

CBD (Convention on Biological Diversity). 2000. *Programme of Work on Agricultural Biodiversity*. Decision V/5 of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, May 2000, Nairobi: Convention on Biological Diversity.

CBD (Convention on Biological Diversity). 2003. *Monitoring and Indicators: Designing*

National-Level Monitoring Programmes and Indicators. Montreal: Convention on Biological Diversity.

Cromwell, E., D. Cooper, and P. Mulvany. 2001. Agricultural biodiversity and livelihoods: Issues and entry points for development agencies. In I. Koziell and J. Saunders, eds., *Living Off Biodiversity: Exploring Livelihoods and Biodiversity Issues in Natural Resources Management*, 75–112. London: International Institute for Environment and Development.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. *The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome: FAO.

Folke, C., S. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C. S. Holling, and B. Walker. 2002. *Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformation*. Scientific background paper on resilience for the World Summit on Sustainable Development, on behalf of the Environmental Advisory Council to the Swedish government. Available at www.un.org/events/wssd.

Hilton-Taylor, C., ed. 2000. *IUCN Red List of Threatened Species*. Gland, Switzerland: IUCN.

Ingram, M., G. C. Nabhan, and S. Buchmann. 1996. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. *Tropinet* 7:1.

Jarvis, D. I. and T. Hodgkin. 2000. Farmer decision-making and genetic diversity: Linking multidisciplinary research to implementation on-farm. In S. B. Brush, ed., *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity*, 261–278. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

Jarvis, D. I., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit, and T. Hodgkin. 2000. *A Training Guide for In Situ Conservation On-Farm, Version 1*. Rome: International Plant Genetic Resources Institute.

Jarvis, D. I., D. Nares, T. Hodgkin, and V. Zoes. 2004. On-farm management of crop genetic diversity and the Convention on Biological Diversity programme of work on agricultural biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 138:5–17.

Johns, T. and B. R. Sthapit. 2004. Biocultural diversity in the sustainability of developing country food systems. *Food and Nutrition Bulletin* 25:143–155.

Kearns, C. A., D. W. Inouye, and N. M. Waser. 1998. Endangered mutualisms: The conservation of plant pollinator interactions. *Annual Review of Ecological Systems* 29:83–112.

Koziell, I. and J. Saunders, eds. 2001. *Living Off Biodiversity: Exploring Livelihoods and Biodiversity Issues in Natural Resources Management*. London: International Institute for Environment and Development.

Kuhnlein, H. V., O. Receveur, and H. M. Chan. 2001. Traditional food systems research with Canadian indigenous peoples. *International Journal of Circumpolar Health* 60:112-122.

Magurran, A. E. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford: Blackwell.

Millenium Ecosystem Assessment. 2005. *Ecosystems and Human Wellbeing. Vol 1: Status and Trends*. Washington, DC: Island Press.

Noss, R. F. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4:355-364.

Orians, G. H., G. M. Brown, W. E. Kunin, and J. E. Swierzbinski, eds. 1990. *Preservation and Valuation of Biological Resources*. Seattle: University of Washington Press.

Pearce, D. and D. Moran. 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. London: Earthscan.

Pimbert, M. 1999. *Sustaining the Multiple Functions of Agricultural Biodiversity*. Background paper for the FAO/Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land. Rome: FAO.

Sandler, T. 1999. Intergenerational public goods: Strategies, efficiency, and institutions. In I. Kaul, I. Grunberg, and M. A. Stein, eds., *Global Public Goods*, 20-50. Oxford, UK: United Nations Development Programme and Oxford University Press.

Scoones, I., M. Melnyk, and J. N. Pretty. 1992. *The Hidden Harvest: Wild Foods and Agricultural Systems. A Literature Review and Annotated Bibliography*. London: International Institute for Environment and Development.

Settle, W. H., H. A. Ariawan, E. T. Cayahana, W. Hakim, A. L. Hindayana, P. Lestari, and A. S. Pajarningsih and Sartanto. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77:1975-1988.

Smale, M. 2005. Concepts, metrics and plan of the book. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, UK: CAB International.

Swanson, T. 1996. Global values of biological diversity: The public interest in the conservation of plant genetic resources for agriculture. *Plant Genetic Resources Newsletter* 105:1-7.

Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, and B. A.

Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E.-D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*. Chichester: Wiley, SCOPE/UNEP.

Wood, D. and J. M. Lenne. 1999. Why agrobiodiversity? In D. Wood and J. M. Lenne, eds., *Agrobiodiversity: Characterization, Utilization and Management*, 1-14. Wallingford, UK: CAB International.

2. 농지에서의 작물 유전적 다양성 측정, 관리 및 유지

A. H. D. BROWN AND T. HODGKIN

현재 세계 농업 사회가 직면한 큰 도전 과제는 빈곤을 완화시키고 식품 안전을 확보하기 위해 농업 생태계의 생산성을 향상 발전시킬 지속가능한 방법을 어떻게 찾느냐다. 단기적 요구를 충족하고 장기적 지속가능성을 달성하기 위해 식물의 유전적 다양성이 필수적이라는 사실은 보편적으로 인식되고 있다.

생물다양성의 관리는 (생태계, 종, 유전자, 환경 같은) 모든 수준의 다양성과 연관되며 (유전학, 경종체계, 사회 과학 등) 다양한 전문분야에 의존해야 하는 복잡하고 종합적인 성격을 가진다. 유전적 다양성 자체가 이러한 학문분야들에서 특별한 초점이나 관심의 대상이 될만한가? 우리는 그렇다고 주장한다.

만약 그렇다면 유전자 차원의 농업생물다양성을 현지내에서 지속적으로 관리할 수 있는 지식의 틀이 필요하며, 이 틀에서는 농업생물다양성 보전과 이용이 고려되어야 한다. 이 장은 생산시스템 내의 식물 유전적 다양성에 관한 논의로서 다양성의 관리와 진보를 위한 행동과 측정하기 위한 지표를 끌어내는 과업에 다양한 종류의 유전적 정보가 어떻게 활용될 수 있는지를 설명한다. 다음과 같은 세 가지 범주의 식물 종이 농촌 경관의 식물 다양성을 구성한다.

- ❖ 식품, 섬유, 연료, 사료, 목재, 의약, 장식, 기타 용도로 재배하거나 그런 의도로 수확하는 식물 종
- ❖ 정 반대로, 자연에서 발생하여 보호, 그늘, 지하수 조절 등의 기능을 제공함으로써 농업 환경에 도움이 되는 야생 종
- ❖ 위의 양 극단 사이에 존재하는 것으로, 재배작물의 근연종으로 사촌적인 재배종의 유전 자풀)과 교배되고 그 풀의 확대에 기여하는 종, 자체적으로 생존하는 종, 작물과 많은 병충해를 공유하는 종, 때로 기근을 완화시키기 위해 먹을 수 있는 종 등이 있다.

세 범주 중에서 본 장에서 주로 초점을 맞추는 것은 첫 번째 것이다.

유전적 다양성에 대한 새로운 관점

인간의 식물의 유전자 다양성에 대한 인식은 오랜 역사를 가지고 있다(Frankel et al. 1995). 농민들은 전통적으로 자신과 가족을 지탱해 주는 식물의 종간 혹은 종 내에서 인식한 차이를 조작하고 선별하고 이용해왔다. 이러한 차이는 훈련되지 않은 안목으로는 쉬 알아낼 수 없는 변이를 포함하며 형태, 생산성, 안전성, 품질, 해충 저항성 등에서 나타난다. 이제 우리는 분자생물학 시대에 들어섰다. 이 시대는 우리가 새로운 방식으로 근본적인 수준에서 유전적 다양성을 이해할 수 있는 새로운 도구와 수단을 제공한다. 이 절에서는 유전자 다양성에 관해 새로 대두된 몇 가지 관점을 개략적으로 설명하고, 이들 관점을 작물 종의 농업형태학적 변이에 대한 전통적 연구와 관련시켜 본다.

분자수준의 다양성

유전적 다양성은 일차적으로 DNA 내 뉴클레오티드의 서열이 변화하여 발생한다. 서열의 변화는 유전자의 코딩 영역에서 일어날 수도 있으며, 유전자 간 혹은 유전자 내의 공간영역에서 일어날 수도 있다. 유전자 복제 수나 유전자 간의 연관, 또는 전체 염색체에서도 변화는 발생한다. 이러한 변화의 일부는 단백질 변이, 표지인자의 다형 현상, 특성, 농업형질에서의 형태학적 변화로, 그리고 궁극적으로 다른 이름의 품종으로 귀결된다.

다양성을 효과적으로 관리하기 위해서는 이를 측정하고 그 범위와 분포를 이해할 필요가 있다. 변이를 측정하려는 노력은 형태학적 특성을 사용해 식물 표현형을 평가하는 것에서 분자 유전표지를 사용하는 것에 이르기까지 다양하다. 더욱 최근에는 세 가지의 새로운 분자생물학 수단이 작물의 유전적 다양성에 대해 새로운 관점을 갖게 하고 식물 유전자원을 관리하는 새로운 방법을 제공하게 되었다. 이 세 가지의 수단이란 단일염기다형성(SNP), 계통발생 분석, 기능유전체학 등을 말한다. 더 많은 수의 시료에 대하여 DNA 서열 자료를 얻을 수 있도록 능력이 향상됨에 따라 이들이 새로운 연구 수단으로 대두되었다.

단일염기다형성(single nucleotide polymorphism)

표 2.1은 작물 품종과 근연 야생종의 다양한 집단에서 수집한 표본에서 DNA 수준에서 염기쌍 당 서열이 다를 확률의 최근 추정치를 요약 정리한 것이다. 모집단의 데이터는 여전히 부족한 상태이기 때문에 SNP 추정치는 예비적인 중 차원의 성격이다. 여기에서 다양성 통계치 즉 K 는 염기쌍 당 나타나는 다형성의 평균수이며, 균등도 통계치 θ 는 이형접합도와 대략 일치한다. 달리 말하면, 임의의 두 서열을 비교할 때에 각 SNP 사이에 있는 염기쌍의 평균수의 역이라고 생각할 수도 있다.

표 2.1. 최근 뉴클레오티드 다양성 연구

종	건본	유전자	K (bp)*	θ (bp)*	개체당 서열 (kb)
<i>Zea mays</i> (옥수수) ^a	9 자식계통,	21 유전자좌	0.036	0.01	14.4
	16 재래종				
<i>Hordeum spontaneum</i> (야생 보리) ^b	25 다양한 유전자원	<i>Adh1</i>	0.01	0.003	1.4
		<i>Adh2</i>	0.02	0.005	2
		<i>Adh3</i>	0.06	0.015	1.8
<i>Triticum aestivum</i> (밀) ^c	< 8 품종	제한효소 단편 다형성 표지	0.004	-	2.4
<i>Glycine max</i> (콩) ^d	25 유전자형: 암호화	115 유전자좌	0.002	0.00053	29
	비암호화		0.005	0.00125	48

출처: a Tenailon et al. (2001), b Lin et al. (2002), c Bryan et al. (1999), d Zhu et al. (2003).

*다양성 통계치 K는 염기쌍 당 나타나는 다형성의 평균 수이며, 균등도 통계치 θ 는 이형접합도와 대략 일치한다.

이들 추정치 및 유사한 추정치를 보면 DNA 수준에서의 유전적 다양성이 크다는 것을 알 수 있다. 이런 추정치들을 보면 한 유전자의 다른 부분 간, 유전자 간 또는 계놈 상의 유전자 절연 부분 간에 다양성 정도의 차이가 크다는 점이 또한 강조된다. 야생 보리의 알코올 탈수효소 시스템 분자 다양성의 경우, 계놈의 덜 중요한 부분에 DNA의 추가적 다양성이 축적되는 경향을 보여준다. 주 알코올탈수효소(*Adh1*)에는 부차적 유전자좌인 *Adh2*의 절반 가량의 다양성이 있다(표 2.1). 야생 보리의 주요 계통에서는 발현하지 않는 세 번째 유전자좌(*Adh3*)는 기능의 중요성이 가장 적은 것으로 보이는데, 가장 많은 다양성을 가지고 있다. 밀 재배품종 시료에서, 다양성 추정치가 낮은 것은 고도로 선발된 최신 품종의 유전자풀에는 다양성이 제한적이며 6배성 밀의 조상의 숫자가 많지 않았을 가능성을 반영하는 것으로 보인다.

번식체계 역시 중요한 변수이다. Charlesworth과 Pannell(2001)은 최근에 천연식물집단에서 분자 다양성 추정치를 검토하고 번식체계의 중요성을 강조하였다. 표 2.1에서 옥수수를 밀과 야생 보리의 추정치를 비교한 자료를 볼 수 있는데, 예상했던 것처럼 옥수수는 자식하는 종에 비하여 최소 2배의 추정치를 보인다. 타식성 종과 자식성 종 간의 이런 차이는 종 수준에서보다 집단 수준에서 훨씬 더 명백하게 나타난다(Hamrick and Godt 1997).

이러한 핵산 염기서열 다양성 중 많은 부분이 기능적으로는 발현되지 않는데, 그렇다면 이런 다양성이 농업적 생물다양성의 관리에 있어서 어떤 역할을 할 것이냐 라는 의문이 제기된다. 이렇듯 선발에 중립적인 다양성은 개체, 집단 및 종의 기원과 상대적 관계를 파악하고, 집단 규모가 결정되는 데에 미친 최근의 한계에 대한 증거를 획득하고, 유전자의 이동과 재조합

및 종자 공급 경로를 추적하고 품종을 확인하는 데에 이상적이다.

계통발생 및 통합(phylogeny and coalescence)

DNA 서열 정보가 늘어나고 집단의 표본서열 생성 능력이 향상됨으로써 얻어진 두 번째 성과는 더 정확한 계통발생학이 가능해지고 서열 다양성 분석에 진화론적인 시간 차원이 추가되었다는 것이다(Clegg 1997). 이러한 기술이 더욱 광범위하게 사용할 수 있게 되면, 유전자와 집단의 시간에 따른 이동을 추적하는 데에 이상적인 방법이 될 것이다. 관련성에 대한 이해의 증진은, 보전에 관한 결정, 핵심 유전자원의 구성, 저항성 같은 새로운 특성의 탐구, 식물 품종개량을 위한 모본 선택 등에 도움이 될 것이다.

예를 들어, *Adh3*의 대립인자에 대한 계통발생학적 연구결과를 보면 야생 보리는 분자시계로 3백만 년 전에 갈라진 두 개의 상이한 계통으로 분리된다(Lin et al. 2002). 한 무리는 소위 비옥한 초승달지대(이스라엘, 요르단, 터키, 시리아, 이라크)의 북부와 서부 절반에 집단이 분포하고 있었다. 두 번째 무리는 부분적으로 겹치지만 동부(이라크, 이란, 투르크메니스탄, 아프가니스탄)로 벗어나 있다. 이 결과는 이러한 분기를 계놈의 다른 부분에도 적용할 수 있느냐와, 재배종 보리의 유전자풀에 두 무리가 어느 정도 들어와 있는지를 파악하는 데에 *Adh3*를 활용할 수 있는지의 의문을 제기한다.

분자 계통발생학은 또한 보존을 위한 생물다양성 평가에 새로운 시각을 제시한다(Brown and Brubaker 2000). 콩의 야생 근연종을 거느리는 다년생 *Glycine* 아속의 경우, 세포소기관(엽록체) 서열과 핵 단일/복합 유전자군에 기초한 계통발생 연구로 종간의 관계 및 배수성 계통의 발생에 대한 새로운 안목을 갖게 되었다. 구별성을 포함하여 다양성을 측정치를 이 아속 전체 유전자풀을 보전하는 데에 자연 보호지 네트워크가 유효한지를 평가하는 데에 이용할 수 있게 되었다. 농지에 대한 다양성 평가의 경우, 구별성의 측정하면 조사가 필요한 지역과 더욱 집중적인 노력이 필요한 지역을 집어내는 데에 도움이 된다.

기능유전체학(functional genomics)

계놈의 비발현 부분에 위치한 종내 뉴클레오티드 다양성이 이렇게도 많은데, 기능적으로 중요한 유전적 다양성의 작은 부분까지 어떻게 추적할 것인가? 유전체학 분야의 새로운 미세배열 기술은 새로운 접근 방식을 제공한다(Aharoni and Vorst 2001; Peacock and Chaudhury 2002). 유전체학은 유기체 내의 유전자 모두에 대한 연구를 일거에 하는 것이다. 미세배열(DNA 칩)은 식물 유전체의 공간적 배치를 가능하게 해준다. 예컨대, 애기장대(*Arabidopsis*) 유전체를 하나의 현미경 슬라이

드에 100,000개의 작은 방울로 담는데, 이는 복제가 가능하며 반복해서 대조배열로 사용할 수 있다.

이 대조배열은 이제 상호 대조적인 두 개의 재료에서 뽑은 메신저 리보핵산(RNA) 집단으로 검사할 수 있다. 이 접근 방식은 기본적으로 비교 능력이 뛰어나서, 특정 스트레스에 반응하는 유전자와 그렇지 않은 유전자를 구별할 수 있다. 스트레스 내성 유전자형과 스트레스 민감 유전자형 간 발현의 차이는 표지 서열을 조정하는 통제 영역의 유전적 차이 또는 구조적 유전자 자체의 차이에 기인할 수 있다. 애기장대의 경우, 상이한 종류의 스트레스에 반응하여 발현된 유전자 간에 상당한 중복이 나타난다(E. Klok and E. Dennis, pers. comm., 2003). 즉 동일한 34개 유전자의 발현이 저산소와 상처에 의해 모두 변했으며, 5개 유전자는 세 가지의 스트레스(저산소, 상처 및 가뭄) 모두에 반응했다. 애기장대에서 이러한 유전자를 찾아내는 것이 작물의 스트레스에 대한 적응력을 위해 집단을 선발하는 효과적인 수단이 될 수 있다. 그러므로 유전체학적 접근 방식과 미세배열의 사용은 DNA 차원에서의 발현차이를 적응성 분화와 연결할 수 있는 기회를 제공한다.

재래종의 적응성 변이

미세배열 기술은 아직 실용화가 많이 시도되지는 않았지만 집단에서 적응 측면에서 중요한 유전적 다양성을 밝히는 데에 새롭고 유망한 방법이다. 재래종이 적응변이의 저장고라는 사실은 이미 잘 확립된 절차를 통해 명확하게 드러났다. Teshome 등(2001)은 최근에 곡물 및 두류의 발생 중심에 있는 재래종 변이에 대하여 출간된 연구 자료를 검토했다(표 2.2). 이 검토는 전통적 재배종의 유전적 다양성과 집단의 분화를 유지시키는 인간적, 생물적, 비생물적 요소의 영향력에 관한 연구와 관련된 것이었다. 유전적 표지나 형태 변이의 측정에 관해 기술한 보고가 많이 있었지만, 다양성의 기능과 이 다양성을 유지시키는 핵심 요소들을 분석하는 보고는 많지 않았다. 게다가 대부분의 연구들은 집단 간의 차이를 조사하였으며 개개 집단 내의 변이에 초점을 맞추는 연구는 더 적다. 이렇게 재래종이 환경의 특수한 상황에 적응하였으며 다양성 저장고의 표본이라는 것에 대한 증거가 아직은 부족하지만 점점 더 많아질 것이며, 이런 사실은 미세배열과 같은 기술을 통해 더 정확히 확인할 수 있을 것이다.

표 2.2. 유전적 표지(동위효소, DNA 다형현상)나 형태적 특성(작물 및 식물적 특성, 품질, 생산량 등)에 대해 곡물이나 두류 재래종 간의 차이를 보고한 연구의 수.

다양화하는 요인의 종류	유전적 표지	형태적 특성
지리적 격리(국가, 지역, 지점 간)	12	19
생물적 상호작용(병해충)	0	7
비생물적 차이 및 그들의 조합(고도, 기후, 토양, 포장 규모 등)	7	14
침수, 건조, 더위, 추위, 염분 등 비생물적 극한 스트레스	2	8
농민의 선택 기준	1	3
계(42개 집단 및 31개 유전자은행 표본)	22	51

출처: Teshome et al. (2001)

재래종의 적응성에 관한 최근 연구 중에는 유전자은행에 보존된 재료가 아니고 원집단에서 새로 수집한 표본을 이용하여 근동의 건조한 한계 환경에서 보리 재래종이 뛰어난 적응성을 발휘하는 것을 증명한 Weltzien과 Fischbeck(1990)의 연구도 있다. 수수류 재래종 다양성에 영향을 미치는 주요 요인을 확인하기 위해 Teshome 등(1999)은 에티오피아 North Shewa와 South Welo에서 유래한 표본에 대하여 연구하였다. 200개 이상의 농경지에서 체계적으로 표본을 추출한 바, 농민이 명명한 재래종 64개가 밝혀지고 한 농경지 당 평균 10개의 상이한 재래종이 심기는 것을 발견하였다. 이 예에서 각 농경지에는 재래종이 혼합되어 있었으며 이름이 다른 각각의 재래종은 유전적 다양성을 계산하는 단위가 되었다. 다양성의 크기와 균일도를 측정하는 다양성 통계치는 형태형 빈도로 쉽게 산출할 수 있다. 재래종의 다양성 정도와 일련의 농경지 관련 변량 간에 다중회귀분석을 했더니 중간 고도의 전답, pH가 낮고 점토 함유량이 적은 전답, 농민들이 재배 목적으로 재래종을 선택하는 데에 적용하는 선별 기준이 많은 농경지에서 다양성이 더 많이 발견되었다. 예를 들어, 4장에는 이러한 적응도에 대한 사례 연구에서 획득한 증거가 제시되어 있다.

유리한 환경 대비 불리한 환경에서의 형태학적 특성 및 집단 성능에 관한 연구는 DNA 다양성 및 그 패턴 측정과는 아주 별개인 것 같다. (분자적 다양성과 형태적 다양성 간의 차이를 메울 수 있는 기술인 기능적 유전체 연구와 미세배열은 제외한다.) 알로자임 연구를 포함하면, 모든 종류의 식물 집단의 관계를 다양하게 취급한 많은 논문들이 나와 있어서 여기에서 검토하기에는 너무 방대하다. 작물의 재래종 다양성만을 위한 연구는 훨씬 더 적다. 오늘날 DNA 서열 성적을 도출하기 위한 표본의 규모 및 집약도는 형태학적 연구의 경우와 매우 다르다. 하지만 이는 프로젝트의 목적을 수집 자료 내의 표지인자와 특성 간 "연관 불균형"을 탐지하는 데에 돕으로써 변화하고 있다(Rafalski 2002).

적응관련 형질에 대하여 이해하고 통합적으로 해석하고 환경 및 인간의 관리 측면에서 분석할 수 있으려면 분자 및 형태학적 차원의 정보가 모두 필요하다. DNA 서열 성적의 장점은 진화 과정(집단 크기, 관계, 공통 조상, 재조합 등)에 대해 이야기해 준다는 것이다. 반면 적응 형질의 장점은 농민의 필요와 직접적으로 관련이 있는 작물 개량과 혜택의 직접적 측정치가 된다는 것이다.

현지내 유전적 다양성 관리 지표

농지에서의 유전적 다양성을 모니터링 할 때에는 지표가 필요하다. 지표란 관리를 목적으로 규정된 방법에 의하여 측정할 수 있는 주요한 물리적, 화학적, 생물학적, 사회적, 경제적 변량이다. 표2.3은 두 그룹(순화종과 야생종)의 현지내 농업 생물다양성을 관찰하고 관리하기 위해 제시된 지표를 제시하고 현지내 활동과 현지의 활동 간의 관계를 고려한 지표를 추가한 것이다(Brown and Brubaker 2002). 첫 번째 그룹은 인간이 재배하고 있거나 재배할 수 있는 식물들이다. 여기에는 인간에 의해 생존이 유지되는 순화종과 전통적인 의약품이나 기타 다양한 문화적 사용의 원천이 되는 식물처럼 농민들이 직접 사용하는 야생종이 포함된다. 두 번째 그룹은 농업생태계에서 자연적으로 자라며 직접 사용되지 않는 나머지 식물종이다. (여기서는 현지의 전략을 위한 지표는 고려하지 않는다. 그러한 지표는 다른 부분에서 논의하며[Brown and Brubaker 2002], 여기서는 초점을 현지내의 다양성에 맞춘다).

재배식물과 채취하는 야생종

Brown과 Brubaker(2002)는 각 작물 내에서 구별이 가능한 재래종의 수를, 점유율을 나타내는 수치 또는 지역 내의 가용한 면적 중에서 차지하는 비율과 함께, 기본적인 지표로 제안했다. 이 방법이 원칙적으로 바르긴 하지만, 국제식물유전자원연구소(IPGRI) 현지내 프로젝트 경험을 통해서 이러한 자료를 모으는 데에 실질적인 몇 가지 난점이 있음이 지적되었다. 연구자들의 걱정은 재배종의 파악 및 명명에 있다. 즉 재래종이 작물 종간에 그리고 문화 간에 어떠한 차이가 있으며, 동일 명칭의 재래종이 마을마다의 집단 간에 시공간적으로 얼마나 다르냐 하는 것이다. 어느 정도의 부정확성은 불가피하며 때로는 융통성을 가지게 되어 바람직할 수도 있다. 에티오피아의 수수류 재래종 인식에 관한 Teshome 등(1999)의 분석과 모로코의 잠두 재래종에 관한 Sadiki 등(3장)의 분석은 전통 지식이 크게 신뢰할 만한 것임을 보여주었다. 추측컨데, 농민의 작물 다양성에 관한 지식, 인식, 명명은 이들의 생계에 매우 중요할 것이다.

표 2.3. 모니터링 목적으로 제안된 지표

제안된 지표	타당성 및 해석상의 문제	적용의 최저 수준 또는 단위	상위 수준과의 결부 가능성*
재배식물 및 채취하는 야생종			
재래종이나 채취하는 야생종의 구별 가능한 집단의 수, 빈도, 지역	명칭은 신뢰할 만한가? 특정 재래종이 시공간 면에서 유전적으로 얼마나 다양한가?	전답 또는 구획	++
각 작물이 점유한 지역환경의 폭	유전적 다양성은 비생물적, 생물적 환경다양성과 관련이 있는가? 관련이 있다면 어느 정도인가? 다양성의 발생과 생산성 간의 관계는 무엇인가?	지역	++
농민 관리 및 선발 기준의 수, 지속성 및 진화	기준과 이용상 다양성이 유전적 다양성을 유지하는가?	농지	+
기존 지식의 보안성	다양성과 지식 간 관계는 어떤 수준인가?	행정 구역	-
야생종 및 작물 근연종			
환경 범위를 아우르는 특정 지역 내에 나타나는 종(수)	특정 영역의 상대적인 지리적 위치, 관리, 수익 공유 정책은 어떠한가?	천연자원 관리 구역	+
집단 수와 크기	조사 규모는 지속성과 어떤 관련이 있는가? 생존 가능한 최소 크기는 얼마인가?	통합집단(계곡)	++
유전자 다양성, 집단 내 변이, 분포	유전적 정보와 전략 간 관계는 어떠한가?	집단	++
현지내 및 현지외 활동 간 관계			
현지내 집단의 취약성에 대한 현지외 보안 표본	표본채취규모, 갱신 및 사용 전략	개별 유전자원	++
난저장종자 종의 현지내 보존			
현지의 기관들과 농업 지역사회 간의 협력적 관계	정보 및 종자 교환 절차, 수익 공유, 기술 이전	국가 프로그램	-

출처: Brown과 Brubaker(2002)를 수정함

*상위수준과의 결부가능성: 하위(예를 들어 농가 단위) 수준의 지표를 적절히 평균함으로써 상위 수준(예를 들어 지역의 마을 단위)의 지표를 도출해 낼 수 있느냐를 의미함

적절한 기본 정보가 있다면, 어떤 지역에서든 전통적 재래종이 차지하는 면적의 백분율이 농지의 유전적 다양성의 변화를 나타내는 중요한 지표가 될 것이다. 개개 재래종의 출현여부 및 빈도에 관한 조사를 통해 얻을 수 있는 자료의 양은 방대하지만, 이 변량들은 요약 측정치로 결합할 수 있다. 한 예는 네팔의 벼 재래종을 빈도(소수 아니면 다수 농지에 출현하느냐) 및 재배 면적(대규모로 분포하느냐 아니면 농지나 텃밭에 소수로 분포하느냐)에 따라 네 범주로 나누는 간단한 분류법이다 (표 2.4). 세 지역을 비교하는 것이 가능한 것처럼(본 예에서는 중간에 위치한 Kaski 지점에 드물고 제한적인 재래종이 더 많이 있다), 시간에 따른 추이를 비교할 수 있으며 각 범주에 대해 취약성, 이용방식, 보전 전략, 참여형 작물육종(PPB) 옵션 등에 대한 차이를 파악할 수 있다.

약초나 연료 및 기타 야생에서 직접 채취하거나 방목하는 종들의 경우, 집단의 수와 크기에 대한 조사가 필수적인 수단이 된다. 지역사회는 이들 식물을 유지하기 위한 보존계획을 집행해야 이익이 되지만, 특히 힘든 시기에는 즉각적인 필요 때문에 남용을 하기도 한다. 높이 평가되는 종과 무시되거나 잘 이용되지 않는 종의 집단이 수적으로 감소하는지를 살피는 일은 보존 전략의 핵심임에 분명하며, 이들 지표로 측정이 가능하다.

표 2.4. 네팔 현지내 연구 장소의 벼 재래종 수 및 분포.

	Bara (80 m asl)	Kaski (650–1,200 m asl)	Jumla (2,200–3,000 m asl)
재래종 당 평균 면적(ha)	0.95	1.17	0.91
재래종 총 수	33	63	23
재래종 종류			
넓은 지역, 다가구	9	9	4
넓은 지역, 소가구	2	3	0
좁은 지역, 다가구	3	3	3
좁은 지역, 소가구	19	48	16

출처: Joshi 등의 자료를 Jarvis 등이 요약한 것 (2000:8385).

이론상으로 집단 크기는 필연적으로 유전자형 다양성 정도와 상관이 있다. 집단이나 표본이 클수록 유전자형의 수가 많아진다. 이러한 관계가 일반적이라면, (재배)면적의 크기는, 유전적 조사가 불가능한 경우에, 한 지역의 유전자형 다양성 정도를 측정하는 빠른 방법이 될 수 있다.

재래종 재배지도 작성의 다음 단계는 기후, 지형, 토양지도와 결부시켜 이들 재배지도에

포함된 전체 환경의 다양성을 측정하는 것이다. 자연식생의 침식에 대하여 사용하는 이러한 종류의 지표의 예로는 호주 서부의 곡류 지대에서 시간이 흐름에 따라 증가하는 개간지를 나타낸 지도가 있다. 지리정보시스템(GISS) (Guarino et al. 2002)의 통합적 수단으로 다양성 패턴을 측정하고, 재배종이 차지하는 면적의 변화 및 유용한 야생종 집단 분포와 크기의 변화를 추적하여 특정 서식지가 다양성을 잃어가고 있는지를 파악할 수 있다.

이러한 정보는 환경적 변이와 유전적 다양성 간의 관련성에 대한 보충적 연구가 있으면 더욱 유용해질 것이다. 이러한 관련성이 항상 직접적이지도 않으므로 연구의 초점으로 삼아야 한다. Teshome 등(2001)이 지적한 것처럼, 한 재래종이 여러 다른 환경과 여러 다른 종류의 서식지에서 잘 적응하여 수확량을 많은 경우도 있다. 이런 재래종을 광범위하게 사용하는 것은 다른 품종이 가용하지 않아서라기보다는 농민이 성능을 알고 의도적으로 선택한 것일 수 있다. 이러한 경우 이 집단의 광범위한 적응성은 큰 가치가 있는 것으로서 재래종 다양성의 부족 때문에 그 가치를 낮춰 보아서는 아니 된다. 지역내의 재래종 분포에 기반을 둔 GIS 자료를 (재래종의) 성능과 관련지을 수 있다면 더 확실한 결론을 얻게 될 것이다. 예를 들어, 어떤 재래종이 작물생육 초기에 한계지 재래종 분포도에 있었으나, 그 작물이 나중에 실패하였다면, 초기 분포도에 나타났다는 사실은 그 지역에서 그 재래종이 지속적으로 유지될 것이라는 증거가 될 수 없다.

앞서 이야기한 것처럼 농민 선택의 근거를 조사하는 일은 다양성이 어떻게 유지되고 있는지를 분명하게 이해하는 과정이다. 사용여부가 선발에 영향을 미치며, (사용하는 재래종의) 명칭과 마찬가지로 일부 재래종을 재배하는 목적도 농민들 간에 그리고 연차 간에 많은 다를 수 있다. Taba (1997)의 조사에 의하면 아르헨티나에서 일부 농민들은 옥수수 16개 재래종 중에서 13개를 주로 곡류용으로 재배한다(표 2.5). 그러나 다른 농민들은 동일한 13개의 재래종에 추가로 3개 품종을 재배하며, 또 다른 재래종 총 31개를 1차, 24개를 2차, 13개를 3차 선택으로 각각 사용하고 있었다. 전체적으로 이러한 사용상의 다양성은 적응과 관련된 다양성을 조성하는 소위 "복합적 틈새 모델"이라는 다각화된 선택 방법을 제시한다(Crow and Kimura 1970:262; Gillespie 1998:71). 요리 용도를 달리하여 사용하는 것 말고도, 특정한 환경상 이유로 농민들이 하는 유전자형 선택도 사용상 다양성에 포함된다. (예를 들어서 스트레스를 받는 필지에서 견디다고 알려진 품종 또는 침수되는 곳을 위하여 선택하는 품종 등).

한 가지 문제는 일련의 재래종 작물을 복합적으로 사용하는 것만으로는 다양화를 조장하는 선발을 보장할 수 없다는 것이다. 예를 들어, 특정한 새 품종이 여러 가지 목적에 적합한 경우, 이를 광범위하게 재배함으로써 더 분화된 품종을 밀어낼 수 있다. 그러나 용도의 종류를 측정하는 통계치가 전체적인 빠르게 감소한다면, 이는 다양화를 조장하는 선발이 줄어드는 신호로 볼 수 있으며 다양성 손실의 전주곡이 될 수 있다.

표 2.5. 국가별로 재배되는 옥수수 재래종의 특화된 1차, 2차, 3차 용도 및 요리 용도의 수.

국가	재래종 수	곡물로 사용되는 수	추가적인 1차 특수 용도	2차 특수용도	3차 특수용도
아르헨티나	16	13	31	24	13
볼리비아	42	모두	8	10	2
칠레	13	3	5	4	2
멕시코	12	모두	5	11	3

출처: Taba에서 요약 (1997).

분명, 단순히 선택 기준의 수를 세는 것은 암시적일 뿐이다. 농민의 선택 뒤에 숨은 이유의 다양성과 실제 유전적 다양성 간의 상관성이 있을 것이라는 가정은 검정을 해 보아야 한다. 현재 이름있는 재배종 수준에서 이를 시도해 볼 수 있다.

마지막으로, 기존 지식의 침식을 막으면서 그 다양성을 이용하여 외지에서 얻는 수익을 공유할 수 있게 하는 메커니즘이 적절히 작동한다면, 농지에서 유전적 다양성을 유지할 가능성이 높아질 것이다. 어떤 전통 지식을 누가 유지하고 있는지를 파악하기 위해서는 다양한 접근 방식이 필요하다. 이러한 접근 방식은 전통 지식의 보안에 관한 지표의 기초를 제공할 수 있다. 전통 지식에 영향을 끼치는 이 과정은 측정하기가 어렵다. 실제로 우리는 이제 막 이 관심사를 검토하기 시작했다. 더 큰 문제는 농민이 다양한 집단을 재배하겠다는 현재의 결정과 향후 어딘가에서 이 재료를 사용해 발생할 수 있는 간접적인 수익을 얻는 것 간에는 시간적으로 차이가 있다는 것이다. 오늘의 수익은 어제의 결정으로 발생하며 오늘 계속 다양성 있는 품종을 심게 하는 동기는 매우 약할 것이다. 이러한 이유로 이 지표는 국가 혹은 지역적 차원에서 적용하는 것이 가장 적합할 것으로 본다.

농업 지역의 야생종과 작물 근연종

앞부분에서는 농지에서의 재배종 다양성을 관리하는 지표에 대해 논의했다. 그러나 이 장의 시작 부분에서 언급한 것처럼, 농업 지역의 농업적 생물다양성 관리에는 야생종도 포함된다. 본 논의에서 작물의 야생 근연종을 포함시키는 것은 재배종과 몇 가지의 관련성이 있기 때문이다. 농업이 야생 서식지의 손상이나 손실을 직접적으로 야기한다면, 생태적인 연관성이 있다고 할 것이다. 야생 근연종은 흔히 농가포장의 잡초이다. 작물과 그 근연종은 익충과 미생물, 해충 및 질병을 공유함으로써, 복잡한 공진화 관계로 이어진다. 게다가 야생 근연종은 새롭고 유용한 유전자의 원천 역할을 할 수 있다(Jarvis and Hodgkin 1999). 그러므로 농업 시스템에

서 보존 대상을 야생종까지 확장하는 것이 중요하다. 실제로 야생종은 생산 시스템의 심각한 변화에 대한 지표가 될 수 있다. 그러므로 야생 식물종의 유전적 관리를 위한 지표가 필요하다.

농업 지역의 야생 식물종 상태를 관찰하는 일은 쉽지 않다. 주요 문제에는 특정 종이 우선순위에 둘 가치가 있는지 여부와 농업에 부적당한 보존지 또는 보존구역에 있는 집단이 농업 지역에 있는 취약하거나 격감한 집단을 보완할 수 있는지의 여부가 포함된다. 종 우선 순위와 관련해, Brown과 Brubaker(2002)는 야생 작물 근연종을 깃대로 사용할 수 있으며, 친척 뺀인 작물과 동일한 병해충의 기주이기 때문에 야생 작물 근연종에 초점을 맞추어야 한다고 주장하였다. 농민들이 의도적으로 챙기지 않는다면 농장 주변에서 발생하는 이러한 근연종 집단은 앞으로 점점 줄어들 것이다. 이렇게 생기는 현상이 옥수수과 같은 특정 작물의 야생 선조의 경우에 확실히 일어나고 있지만, 보다 원연인 종의 경우에는 그 가능성이 더 낮다. 이러한 야생 집단은 보전을 목적으로 하는 특정 관리방법에 크게 적합하지 않으므로 (멕시코의 Sierra de Manantlan Biosphere Reserve를 *Zea diploperennis* 종의 보존지역으로 지정했지만, 동시에 생산 지역으로 관리하는 경우와 같은) 특별한 보존지역 내의 야생 집단의 중요성이 대두된다.

보존기관들이 많은 식물상에 대해 멸종 위기 상태에 관한 자료를 모으고 있으므로, 작물근연종에 대하여 광범위한 정보를 거기에서 추출할 수 있다. 예를 들어, Brown과 Brubaker (2002)는 호주 원산의 작물과 동일한 속내의 야생종의 보존 상태를 요약하였다. 이 목록에서 두 가지 주요한 특징이 밝혀졌는데, 하나는 위협에 처해 있다고 생각되는 작물 근연 분류군의 절반 이상이 "파악된 것이 너무 불충분하여" 그 상태를 평가할 수 없었다는 점이며, 두 번째는 위협에 처한 작물 근연종의 약 20%만이 보호지역에 있는 것을 확인한 점이다. 이것은 정부가 보존 정책에 있어서 이런 문제의 개선에 관심을 기울여야 한다는 과제를 안겨준다.

그러나 이렇듯 광범위한 지역에 나타나는 종의 목록은 단지 그 거대한 지역에 대한 대략적인 개요만을 알려준다는 사실을 우리는 알고 있다. 이 목록에는 이런 종들이 얼마나 불안한 상태에 있는지 또는 보존 지역 내의 종 분포가 적절한지에 대한 자세한 내용이 없다. 농업 환경에서의 관리계획과 수익공유에 관한 정보(제조제를 사용하는 등의 농업방식이 야생 근연종 개체군을 위협하고 있는가, 농민들이 야생종 집단에서 발생하는 수익을 얻을 수 있는가 등)가 있어야 제대로 자료를 해석할 수 있다. 광범위한 규모에 대한 지표만으로는 정확성도 없고 변화를 반영할 수 없다. 게다가 국가적 프로그램을 통해 이러한 통계치를 숫자상으로 개선할 수는 있지만 농촌 경관의 서식지 손실을 통한 유전적 침식을 여전히 드러내지 못할 가능성이 있다.

재배종의 경우와 마찬가지로, 집단의 수, 규모 및 분포를 포함하는 목록은 정밀한 데이터 세트로서, 종의 출현여부보다 더 낮은 규모로 만들 수 있기 때문에 추세를 더 잘 나타낼 수 있다. Rocha 등(2002)은 코스타리카의 야생 리마콩에 대하여 자세한 예시를 하였다. 집단생물학 문헌에 명백히 나타나 있는 바와 같이, 위협에 처한 희귀종의 문제는 이러한 접근 방식으로

개선할 수 있다. 그러나 이런 종류의 자료만으로는 다음과 같은 주요 문제를 드러내지 못할 수 있다. 즉 규모가 농장 주변의 지속성과 실질적으로 어떤 관련이 있으며, 유전적 다양성에는 어떻게 관련되는가? 필요한 최소 규모와 집단의 수, 분포 등은 어떻게 산정할 것인가? 유사 종끼리의 결부는 간단할 수 있지만 다년생 목본의 집단 수와 규모는 일년생 식물의 집단 수 및 규모와 어떻게 결부시킬 것인가? 종자은행의 변화도 관찰해야 한다.

야생 근연종은 계속적으로 새로운 분자 방법과 병 저항성 및 환경 스트레스 내성 검사를 통한 집단유전구조 연구의 대상이 되고 있다. 이러한 연구로 얻어진 자료는 다양한 전략을 통해 보존된 다양성의 비율(대립유전자 다양성 정도 또는 이형접합)을 추정하거나 시간에 따른 변화추세를 파악하는 데에 이용될 수 있다. 더욱 기본적으로는 숨겨진 배수성, 번식체계상의 변이, *Rutidosia leptorrhynchoides*의 자가불화합성 대립 인자의 감소 등과 같이, 집단의 크기만으로는 드러날 수 없는 유전체계의 주요한 특징을 밝힐 수도 있을 것이다(Young et al. 2000). 또한 주로 자가 수정을 하거나 무수정생식을 하는 번식체계에서는 집단간에 다형성의 차이가 있을 수 있다. 새로 조성되어 널리 확산되어 있는 군집은, 발생중심에 있는 집단보다 변이가 적을 가능성이 크다. 농업 경관 면에서 보면, 농장에서 채집한 야생 근연종집단에 대한 유전연구로 공유하는 생물적, 비생물적 압력에 대한 상대적인 반응에 관한 시사점을 찾을 수 있을 것이다.

현지내와 현지의 활동 간의 연계

현지내에서 유전자원을 보존하고 활용하는 프로그램은 농장의 변화와 비상상황에 대한 탄력성을 확보하려면, 현지의 활동도 포함해야 할 것이다. 두 영역 모두에서 활동이 필요한 극단적인 예는 현지내의 품종 멸실이나 유전자은행 표본의 막대한 발아력 상실 등이 야기되는 전쟁과 같은 대참사이다. 그러므로 현지내(농장)와 현지외(거대한 유전자은행) 간의 조정을 위한 전략적 연계의 모니터링이 필요하다. 문제는 활동들이 어떻게 상호관계를 맺느냐와, 다양성 유지의 개선상황을 측정하기 위해 어떤 추가적인 지표가 필요한가 하는 것이다.

표본의 상보성이 평가의 한 단계가 될 수 있다. 위협에 처해 있다고 알려져 있는 집단 중에서 현지의 유전자은행에 보완적 표본이 확보된 비율은 얼마나 되는가? 마찬가지로, 종자은행에 저장하기 어렵거나 빠르게 발아력이 상실되는 표본, 또는 갱신 비용이 큰 표본 중에서 현지내에 확보된 자원은 얼마나 되는가?

합동 전략에는 기관과 농업지역 사회 간의 협력이 중요하다. 이 전략이 지속되려면 이들 간의 연계가 강화되어야 한다. 정보 및 기술 교환을 위한 메커니즘과 종자 교환 및 수익 공유를 위한 합의된 계획은 이러한 연계를 확고하게 만들 것이다.

연구의 과제와 개발의 기회

농장 현지내 변화에 작용하는 힘을 더 잘 이해할수록 모니터링과 관리를 더 잘 할 수 있을 것이다. 그림 2.1은 연구와 개발 노력 간의 연계를 위한 계획의 요점을 도식화한 것이다. 핵심은 농지에서의 다양성에 영향을 미치는 진화동력을 이해하고 활용하는 데에 있다. 두 개의 중앙 상자에는 집단유전구조 수준에서 현지내에 작용하는 진화동력을 표기하였다. 좌측은 비선택적인 집단구조적 프로세스(예: 집단 규모 및 변동, 이동, 번식 체계, 재조합 등)로 전체 유전체에 작용하는 힘이며, 우측은 유전자 기능과 연관되는 선택적 힘(환경의 영향과 농민의 선택을 포함하는)이다. 선택(적응 진화의 주요 동인이 되는)은 생존력, 번식 및 재조합의 차이를 통해서도 일어나므로 이 구분방법은 어느 정도 임의적이다. 그러나 이러한 구별은 연구 및 관리의 옵션과 기회를 정리하고 그들 간의 관계를 나타내는 데에 도움이 된다.

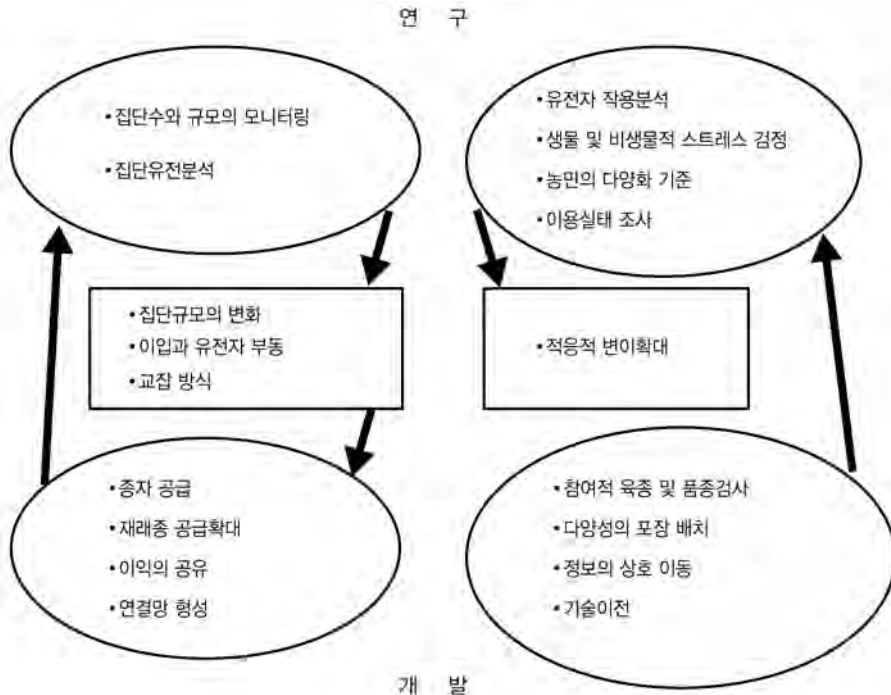


그림 2.1 집단유전 프로세스와 관련된 연구 및 개발 기회. 농지 다양성에 영향을 미치는 두 그룹의 힘을 대상으로 한 연구초점(좌상 및 우상)과 선택가능한 관리 및 개발 활동(좌하 및 우하).

상단의 두 타원에는 연구 주안점을 나열하되, 작용하는 힘과 그 힘이 이끌어내는 유전적 변화로 나누었다. 그림의 좌측에 있는 집단 힘의 경우, 연구로 집단 수와 표지 유전자의 대립인자

빈도에 관한 자료를 도출한다. 관련 개발 활동은 하단 타월에 나타냈다(종자 공급 체계, 재래종 확대 방안 등). 이들 활동은 집단 수와 유전자 이동의 예상치 못한 변화에 대응하기 위한 전략이다. 이러한 활동을 연구하고 수행한 경험은 추후 연구에 대한 지침으로 활용될 수 있다.

그럼 우측은 재래종 집단의 적응적 분화와 기능적 다양성에 초점을 맞춘 것이다. 연구 전략에는 미세배열에 의한 유전자행동 분석, 생물적 및 비생물적 스트레스에 대한 유전자원의 반응 검사, 다양성과 관련한 농민의 선택 기준 조사 등이 포함된다. 다양성을 촉진함으로써 이 범주에 속하는 개발 활동으로는 참여적 품종 평가 및 식물육종, 농지에서의 다양성 배치 개선, 농민 선택을 개선하기 위한 정보 및 기술의 흐름 등이 포함된다.

힘과 이에 따른 활동을 양분하는 일은 그들 간에 상호작용과 연관성이 많기 때문에 쉽지 않다. 예를 들면, 참여적 육종 계획이 성공하면 재래종 장려와 이익 공유, 종자 공급, 육종에서 나온 품종의 확산(예: Witcombe 등이 1999년에 분석한 것과 같이 인도 북서부 지역에 벼 품종인 Kalinga III을 채택한 것) 등의 과제가 제기된다. 그러나 이러한 행동들이 어떻게 다양성에 영향을 미치는지를 고려하자면, 이들의 주요 효과가 집단 구조를 통해 전유전체의 다양성에 미치는지 아니면 선발 영역 내에서 특정 유전자에 미치는 것인지에 따라, 그 효과를 구분하는 것이 도움이 된다.

개발 활동은 향후 연구에 어떻게 안내 역할을 할 수 있는가? 한 가지 예는 농지 다양성에 PPB가 미치는 효과이다. PPB가 다양성을 증가시킬 것인지 아니면 감소시킬 것인지는 관련자료가 매우 적지만 매우 중요한 문제이다. 네팔의 벼 품종에 대한 연구의 초기 결과(Sthapit and Joshi 1998)를 보면 PPB 때문에 생긴 척박한 전작지대의 농민들을 위한 재래종 수가 고무적으로 빠르게 증가했다. 그러나 이러한 결과 자체와 지역의 농업생물다양성 및 이의 관리에 대한 간접적인 영향을 일반화할 수 있느냐에 대해서는 더 조사가 필요하다.

용도가 다양하면 그 지방종의 보존 가능성이 증가한다는 것은 잘 알려진 핵심 요소의 하나이다. 에티오피아(Teshome et al. 1999)의 수수와 라틴아메리카의 옥수수(Taba 1997) 등 많은 예가 있다(표 2.5). 따라서 용도의 다양성은 연구 및 사례기록의 주요 주제이다. 이러한 정보는 다양한 용도에 대한 선택을 촉진하여 선발체제의 다각화를 조장할 수 있는 토착식식의 기초가 된다. 이것은 용도 관련 특성에 관한 분자유전학 연구의 토대가 될 수 있다.

결론

농업생물다양성은 우리가 관리하려고 애쓰는 바로 그 자원이기 때문에, 유전적 다양성 중에서 특별한 관심을 기울일 가치가 있다. 농업 환경에서 이를 측정하는 일이 복잡한 과제이긴 하지만, 유전

적 침식이 효과적으로 느려지고 있는지 혹은 속도를 내고 있는지를 파악해야 한다.

유전적 다양성은 다음의 두 가지 관점에서 매우 중요하다. 하나는 집단의 구조적 측면으로서 표지인자 모니터링으로 파악할 수 있으며 시스템의 이력과 현재의 건강 상태를 나타낸다. 다른 하나는 기능적인 측면으로서 다양한 또는 극단의 환경에 대한 현재의 적응성과와 향후 필요에 대비할 변이의 원천이 된다.

유전적 다양성을 무정형으로 미분화된 상태로 일정한 양을 만족시키는 실체라고 간주하면 아니 된다. 문제가 되는 변화를 파악해야 한다. 농지내 보존에 관여하는 사람들이 변화를 어떻게 다루며, 문제가 되는 변화(침식 또는 손실)와 모든 영농체제에서 일어나는 동적 특성인 일반적 변화를 구별하는 데에는 어떤 지표가 가장 적합할까? 유전적 다양성 관리를 추적하기 위한 지표는 집단의 유전적 구조와 기능적 다양성을 모두 추적할 수 있어야 한다.

농업생물다양성 보전 및 개발에 대한 전체론적인 접근 방식에서는 당연히 생태계에 대한 관점을 인간공동체의 개선을 포함하도록 확장한다. 이러한 접근 방식은 유전적 침식과 일반적 관점에서의 종 위험성을 쟁길 수 있다. 그러나 여기에는 농업 생태계를 지속가능한 방식으로 개발하면 자동적으로 유전적 다양성의 손실을 막고 이용이 잘 되지 않는 종들을 유지시킬 수 있을 것이라고 가정하는 위험이 도사리고 있다. 실제로 몇몇 연구자들은 도대체 왜 유전적 다양성을 추적하느냐고 묻는다. 이 질문은 오늘날 분자기술 능력이 향상되어 유전자라는 유산을 가장 세부적인 부분까지 파악할 수 있는 마당에 특히나 타당한 것이다. 본 장에서는 식물의 유전적 다양성 보존업무에 대하여 알아보고 더 훌륭한 보존 결과를 향한 과정을 어떻게 추적할 지에 대하여 제안을 하고자 하였다. 전략에는 재배하거나 채취하는 종과 생태계에 있는 야생종에 대한 모니터링이 모두 포함해야 한다. 어떤 경우에는 작물과 진화적으로 근연인 야생종에 대해서 특별한 관심을 가져야 한다. SNPS에 관한 최근 자료를 보면, 유전자 수준의 다양성 폭이 중요하며 종 간의 커다란 차이가 있다는 것이 드러난다. 유전적 다양성에 관한 새로운 측정치가 더해지고, 이들 측정치가 농장간에 변이가 있고 시간에 따라 변화하기 때문에 관리자들은 새로운 난점에 부딪히고 있다. 주요 지표들은 쉽게 무력화 될 수도 있다. 집단분화 현상이 재래종의 인식 및 명명부터 농민의 선택 기준의 핵심까지를 아우르는 핵심적 항목이다.

사사

이상의 내용은 IPGRI에서 지원한 “농장의 농업 생물다양성 현지내 보존을 위한 과학적 기반 강화” 프로젝트의 결과물이다. 스위스(SADC), 네덜란드(DGIC), 독일(BWZ/DGT), 캐나다(국제개발 연구센터), 일본(JICA), 스페인, 페루 등 각국에서 본 연구를 재정적으로 지원해 준 것에 대한 감사 드린다.

참고 문헌

- Aharoni, A. and O. Vorst. 2001. DNA microarrays for functional plant genomics. *Plant Molecular Biology* 48:99-118.
- Brown, A. H. D. and C. L. Brubaker. 2000. Genetics and the conservation and use of Australian wild relatives of crops. *Australian Journal of Botany* 48:297-303.
- Brown, A. H. D. and C. L. Brubaker. 2002. Indicators for sustainable management of plant genetic resources: How well are we doing? In J. M. M. Engels, V. Ramanatha Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 249-262. Wallingford, UK: CAB International.
- Bryan, G. J., P. Stephenson, A. Collins, J. Kirby, J. B. Smith, and M. D. Gale. 1999. Low levels of DNA sequence variation among adapted genotype of hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics* 99:192-198.
- Charlesworth, D. and J. R. Pannell. 2001. Mating systems and population genetics structure in the light of coalescent theory. In J. Silvertown and J. Antonovics, eds., *Integrating Ecology and Evolution in a Spatial Context*, 73-95. Oxford, UK: Blackwell.
- Clegg, M. T. 1997. Plant genetic diversity and the struggle to measure selection. *Journal of Heredity* 88:1-7.
- Crow, J. F. and M. Kimura. 1970. *An Introduction to Population Genetics Theory*. New York: Harper & Row.
- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, and J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Gillespie, J. H. 1998. *Population Genetics: A Concise Guide*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Guarino, L., A. Jarvis, R. J. Hijmans, and N. Maxted. 2002. Geographic information systems (GIS) and the conservation and use of plant genetic resources. In J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 387-404. Wallingford, UK: CAB International.
- Hamrick, J. L. and M. J. W. Godt. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Science* 37:26-30.
- Jarvis, D. I. and T. Hodgkin. 1999. Wild relatives and crop cultivars: Detecting natural introgression and farmer selection of new genetic combinations in agroecosystems.

- Molecular Ecology 8:S159–173.
- Jarvis, D. I., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit, and T. Hodgkin. 2000. A Training Guide for In Situ Conservation On-Farm. Rome: IPGRI.
- Lin, J. Z., P. L. Morrell, and M. T. Clegg. 2002. The influence of linkage and inbreeding on patterns of nucleotide sequence diversity at duplicate alcohol dehydrogenase loci in wild barley (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*). Genetics 162:2007–2015.
- Peacock, J. and A. Chaudhury. 2002. The impact of gene technologies on the use of genetic resources. In J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, eds., Managing Plant Genetic Diversity, 33–42. Wallingford, UK: CAB International.
- Rafalski, J. A. 2002. Novel genetic mapping tools in plants: snps and LD-based approaches. Plant Science 162:329–333.
- Rocha, O. J., J. Degreef, D. Barrantes, E. Castro, G. Macaya, and L. Guarino. 2002. Metapopulation dynamics of lima bean (*Phaseolus lunatus* L.) in the central valley of Costa Rica. In J. M. M. Engels, V. R. Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, eds., Managing Plant Genetic Diversity, 205–215. Wallingford, UK: CAB International.
- Sthapit, B. R. and K. D. Joshi. 1998. Participatory plant breeding for in situ conservation of crop genetic resources: A case study of high altitude rice in Nepal. In T. Partap and B. Sthapit, eds., Managing Agrobiodiversity, 311–328. Kathmandu, Nepal: International Centre for Integrated Mountain Development.
- Taba, S. 1997. Maize. In D. Fuccillo, L. Sears, and P. Stapleton, eds., Biodiversity in Trust, 213–226. Cambridge, uk: Cambridge University Press.
- Tenaillon, M. I., M. C. Sawkins, A. D. Kong, R. L. Gaut, J. F. Doebley, and B. S. Gaut. 2001. Patterns of DNA sequence polymorphism along chromosome 1 of maize (*Zea mays* ssp. *mays* L.). Proceedings of the National Academy of Science USA 98:9161–9166.
- Teshome, A., A. H. D. Brown, and T. Hodgkin. 2001. Diversity in landraces of cereal and legume crops. Plant Breeding Reviews 21:221–261.
- Teshome, A., L. Fahrig, J. K. Torrance, J. D. Lambert, J. T. Arnason, and B. R. Baum. 1999. Maintenance of sorghum (*Sorghum bicolor*, Poaceae) landrace diversity by farmers' selection in Ethiopia. Economic Botany 53:69–78.
- Weltzien, E. and G. Fischbeck. 1990. Performance and variability of local barley landraces

in Near- Eastern environments. *Plant Breeding* 104:5867.

Witcombe, J. R., R. Petre, S. Jones, and A. Joshi. 1999. Farmer participatory crop improvement. IV. The spread and impact of a rice variety identified by participatory varietal selection. *Experimental Agriculture* 35:471-487.

Young, A. G., A. H. D. Brown, B. G. Murray, P. H. Thrall, and C. H. Miller. 2000. Genetic erosion, restricted mating and reduced viability in fragmented populations of the endangered grassland herb *Rutidosia leptorrhynchoides*. In A. G. Young and G. M. Clarke, eds., *Genetics, Demography and Viability of Fragmented Populations*, 334-359. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Zhu, Y. L., Q. J. Song, D. L. Hyten, C. P. Van Tassel, L. K. Matukumalli, D. R. Grimm, S. M. Hyatt, E. W. Fickus, N. D. Young, and P. B. Cregan. 2003. Single- nucleotide Polymorphisms in soybean. *Genetics* 163:1123-1134

3. 품종의 명칭

농업생태계의 작물 유전적 다양성과 분포의 시발점

M. SADIKI, D.I. JARVIS, D. RIJAL, J. BAJRACHARYA, N.N. HUE, R.C. CAMACHO-VILLA, L.A. BURGOS-MAY, M. SAWADOGO, D. BALMA, D. LOPE, L. ARIAS, I. MAR, D. KARAMURA, D. WILLIAMS, J.L. VHAVEZ-SERVIA, B. STHAPIT, AND V.R. RAO

농민들이 전통 품종이나 재래종에 부여한 명칭은 그 본질과 이용의 기초가 된다. Harlan(1975)은 재래종을 형태적으로 구별하는지, 농민들이 명칭을 어떻게 부여하는지, 토양 형태별 적응성, 파종 시기, 성숙 일자, 키, 영양가, 용도 및 기타 특성에 관해 재래종들을 어떻게 구별하는지 등에 대하여 논의하였다. 농민들이 농업형태, 생태적응, 품질 및 이용상 특성에 따라 그들이 재배하는 작물 집단을 인식하고 명명하는 방법은 많은 연구보고에 실려 있다(Boster 1985; Quiros et al. 1990; Bellon과 Brush 1994; Teshome et al. 1997; Schneider 1999; Soleri와 Cleveland 2001). 그러나 농민들이 품종을 명명하는 방법에 관해서는 많은 논문이 있는 것과는 대조적으로, 농민들이 품종에 부여한 명칭과 품종 특성에 대한 설명이 지역 내 혹은 지역 간에 일관성을 가지고 있는지에 대한 체계적 연구는 거의 이루어지지 않았다. 농민들이 실질적으로 관리하는 다양성 단위들마다 특정한 명칭이 부여되어 상호비교가 가능한지에 대한 관심은 훨씬 더 적었다(Jarvis et al. 2000).

최근에 와서야 농지에서의 지역적인 작물 다양성을 평가하는 기초로 재래종 명칭을 실질적으로 사용할 수 있는지에 관해 조사하는 연구가 시작되었다. 더욱이 이름이 붙은 품종들이 농민들이 관리하는 다양성을 식별하는 단위가 될 수 있는지에 대한 의문도 여전히 제기되고 있다. 확인된 농민의 다양성 관리 단위로서, 명칭이 다르면 유전적으로 분명하게 구별되는가와 명칭에 따라 농업형태학적, 생화학적으로 또는 분자 차원에서 유전적으로 식별할 수 있는 집단을 형성하는지가 다양성을 가용하게 하는 데에 중요하다. 농민이 명명한 품종이 유전적으로 구별되지 않는다면, 농업 생태계에서 다양성을 파악하고 계량하는 수단으로서 명칭의 효용성은 떨어지게 된다. 반대로 농민이 명명한 품종들 간에 유전적 구별성이 있다면, 이 명칭을 근거로 삼아 체계적인 표본을 수집함으로써 농지에서의 다양성 정도를 평가할 수 있으며 품종 간의 유전적 관계도 정립할 수 있다. 또한 유사한 명칭을 가진 품종간의 구별성에 관한 정보는 이러한 다양성을 보존하고 활용하는 데 도움이 될 것이다. 왜냐하면 명칭이 같다는 이유로

이러한 품종을 버린다면 다양성이 소실될 수 있기 때문이다.

공동체나 지역 내 혹은 공동체 및 지역 간 품종 명칭의 분포는 경관 내 재래종의 다양성 정도와 균일성 평가를 위한 원 자료가 된다. 다양성 수준은 지방종마다 크게 다를 수 있다. 주어진 집단이나 경관에서 어떤 품종과 어떤 특성이 드문가 흔한가를 파악하면 전 농업경관에 다양성이 어떻게 분포하고 있는지를 이해하는 데에 도움이 된다. 자신들이 관리하는 생산 공간에 대한 농민의 이해와 믿음은 다양성의 패턴에 영향을 미친다. 만약 다양성이 농민들의 농업적 필요를 뒷받침하기 위한 해답이라면, 다양성이 높은 지역을 파악하는 것은 중요한 일이다. 이에 특정 환경변수에 적응하는 능력을 갖춘 지방종이 있는 지역을 찾는 일이 포함되어야 할 것이다. 지속농업의 활용에 다양성이 중요한 역할을 하는 것은 바로 이런 지역에서이다.

2장에서 Brown과 Hodgkin은 농지에서의 다양성 정도를 정량화하기 위한 분자유전기술의 최근 진보에 대해 논의했다. 본 장에서는 농지에서 유지되는 작물 지방종의 유전적 구별성, 지속성 및 분포에 관한 최근의 농지현지 연구와 실험실 분석의 경험을 제시한다.

다양성 지표로서의 명칭

농민들은 작물 품종을 판별하고 선택하는 데에 식물의 여러 가지의 드러나는 특징을 이용한다. 이러한 농업형태학적 기준은 그 형태가 여러 가지이지만 대개는 작물의 유전적 조성과 연관이 있다. 농민들은 작물 품종을 구별하고 명명하기 위해 이들 기준을 사용하며, 종종 종자 선택의 토대가 된다. 농지에서 유지되는 작물 다양성을 평가하는 데에는, 품종의 판별과 선택을 위하여 농업형태학적 특성에 따라 농민들이 부여한 명칭을 구별하는 일과 품종의 가치를 평가하고 다음 세대를 위한 종자를 선택하는 데에 사용하는 특성을 찾아내는 일이 중요할 것이다. 예컨대, 농민은 색깔, 잎 모양, 원산지, 소리 특성 등으로 옥수수 품종의 이름이 맞는지를 확인하고 품종에 맞는 순종 자손을 선발할 것이다. 토란에 관한 연구(표 3.1)결과를 보면, 네팔 바그나스에서 토란(*Colocasia esculenta*) 농민들이 품종을 구별하기 위해 사용하는 명칭이 문자상 의미와 얼마나 다를 수 있는지를 알 수 있다. 가구별 조사에서는 농민들이 토란 품종을 구별하기 위해 적어도 15개의 주요 형질을 사용한다는 것이 드러났다.

헝가리에서는 강낭콩 지방종에 대해 농민들이 부여한 명칭이 작물의 농업형태학적 특성 특히 종자 색(예: fehérbab = 흰 콩, feketebab = 검은 콩, barnabab = 갈색 콩)과 관련이 있었으며, 어떤 경우에는 이들 지방종의 전통적 사용방법(menyecskebab = 젊은 부인 강낭콩)과 관계가 있다고 Mar와 Holly(2000)는 보고했다. 농민들이 옥수수 품종을 명명하고 관리하는

방법을 이해하기 위해 멕시코의 Yucatán에서 실행한 연구에서 성장주기 다음으로는 속대와 낱알의 형태와 색깔이 품종을 구별하는 데 주로 쓰이는 특징임을 보여주었다. 품종 내에서 집단을 구별하기 위해 사용하는 주요 형질은 옥수수 껍질의 형태, 식물체의 키, 낱알의 크기 등이었다. 껍질이 저장 기간 동안 해충으로부터 낱알을 보호하기 때문에 그 형태가 구별 형질로써 매우 높은 위치를 차지했다. 속대가 더 큰 개량된 신품종은 속대를 둘러싼 껍질이 불충분하여 그 지역에서 잘 받아들여지지 않았다. (표 3.2; Arias et al. 2000; Chavez-Servia et al. 2000; Arias 2004; Burgos-May et al. 2004; Latournerie Moreno et al. 2005).

우간다 농민들은 자기 지역에서 발견되는 한 개 이상의 특징과 자신들 및 다른 소비자들에게 중요한 특징들을 사용해 바나나 재배품종에 명칭을 부여한다. Karamura(2004)는 농민과 소비자 모두에게 중요한 특징들을 사용해서 고원지대 바나나 영양계통을 5개의 특성공유 군집으로 분류하였다. 예를 들어, 한 군집의 영양계통들은 풍부하게 흡근이 생기며 빨리 성숙하고 부드러운 식품을 생산한다. 다른 군집의 영양계통은 흡근 생산이 느리며 성숙 시간이 길고 딱딱한 식품을 생산한다. 농민들이 사용하는 특징들, 특히 자기 지역 내에서는 발견되는 특징이 불완전하나마 광범위한 일관성을 보인다. 농민과 소비자에게 중요한 특징은 장기간의 경험에 기초한 것이며, 이런 류의 형질에 대한 선발은 여러 세대에 걸쳐 행해졌을 것이다.

표 3.1. 네팔 베그나스 농민들이 명명한 토란 품종(*Colocasia esculenta*) 설명

지역명	학명	농민기술어의 문자상 의미	구별되는 형태적 특징
<i>Bhaishi khutte</i>	Var. <i>esculenta</i>	물소 발자국과 같은 여러 알줄기, 1년생 분지 않는 알줄기, 많은 눈, 주아 거의 없음, 컵 모양의 잎, <i>hattipow</i> , <i>panchamukhe seto</i> , <i>panchamukhe</i> 등과 유사한 형태형	평평하고 알줄기가 많은 형태, 노화가 느리고 늦음, 흰 눈
<i>Chhattre</i>	Var. <i>antiquorum</i>	우산 모양의 잎 긴 녹색 잎, 둥근 알줄기에 붉은 눈	분홍 눈의 아령 모양 알줄기, 분홍 표피, 원뿔형 주아
<i>Chhaure</i>	<i>C. esculenta</i>	강아지 강아지 모양의 여러 주아	붉은 눈의 긴 주아 둥근 알줄기
<i>Dhudhe karkalo</i>	<i>C. esculenta</i>	입자루, 눈 및 수액이 유백색, 눈 두꺼운 식물체 알줄기는 없지만 풍성한 근계, 둥근 잎, 가정집 텃밭에 적합	알줄기가 많은 형태, 주아 없음, 원통형 알줄기, 컵 모양의 잎
<i>Gante</i>	<i>C. esculenta</i>	짧은 검은 입자루, 분지하는 알줄기, 큰 주아 싹, 엽병 및 엽초가 붉음, 둥글고 작은 알줄기	둥글고 아령 모양의 알줄기
<i>Hattipow</i>	Var. <i>esculenta</i>	코끼리 발과 같은 모양의 알줄기 크고 두꺼운 식물체, 희끄무레하고 넓은 잎, 눈이 널리 나고 큰 복합 알줄기, 연녹색의 입자루, 거친(<i>jerro</i>) 잎, 주아 거의 없음, 노지에 적합	평평하고 다양한 형태의 알줄기, 흰 눈에 노화가 느리고 늦음
<i>Kaat</i>	Var. <i>esculenta</i>	구름 방언으로 조리가 쉬움 부드럽고 둥근 잎 모양, 뛰어난 조리 품질, <i>rato panchamukhe</i> 와 유사	붉은 눈: 많은 눈

지역명	학명	농민기술어의 문자상 의미	구별되는 형태적 특징
<i>Khari chhoto</i>	<i>C. esculenta</i>	짧은 알줄기 분홍 잎자루, 긴 알줄기, <i>thagne khari, thangne, khari pindalu</i> 와 유사	수직으로 자라는 알줄기 깃털 같은 엽초로 덮인 토란
<i>Khari pindalu</i>	<i>C. esculenta</i>	원통형 알줄기	
<i>Khujure</i>	Var. <i>antiquorum</i>	복합 주아 다수의 작은 주아로 구성됨, 가려움 증을 주는 알줄기, 흰 눈이 있는 다수의 주아, 흰 잎자루, 어두운 보라색의 잎자루 접합부, 보라색의 잎 가장자리, 둥근 잎	흰 눈이 있는 둥근 알줄기와 주아 알줄기는 꼭 씹.
<i>Khujure kalo</i>	Var. <i>antiquorum</i>	검은 복합 주아 검은 잎자루, 알줄기와 주아 모두 식용가능 가렵지 않음 흰 눈 많은 주아, 보라색 잎자루(<i>kalo</i>), 긴 잎	분지하는 알줄기는 둥글고 눈 힘.
<i>Khujure seto</i>	Var. <i>antiquorum</i>	흰 복합 주아 검은 잎자루, 가려운 알줄기와 주아 다수의 주아, 검은 잎자루가 많음, 보라색의 잎 가장자리	분지함, 알줄기와 주아는 흰 눈이 있는 둥글고 매우 작음
<i>Panchamukhe</i>	Var. <i>esculenta</i>	5면의 흰 알줄기 길고 두터운 식물체, 희끄무레하고 넓은 잎 <i>hattipow</i> 와 같은 생김새, 납작한 여러 눈, 큰 알줄기 키 큰 식물체에 거친 잎(<i>jarro</i>), 두터운 엽맥	평평하고 알줄기가 많은 형태 주아 없음 흰 눈과 느리고 늦은 노화
<i>Panchamukhe seto</i>	Var. <i>esculenta</i>	5면의 흰 알줄기 키 크고 두터운 식물체, 희끄무레하고 넓은 잎 흰 눈이 있는 알줄기가 많은 형태 연녹색의 잎자루, <i>panchamukhe, bhaishi khutte, hattipow</i> 와 유사	주아가 없는 덩어리진 알줄기 흰 눈 느리고 늦은 노화
<i>Rato or raate</i>	Var. <i>antiquorum</i>	붉은 색 보라색의 잎자루	흰 눈에 붉은 종자뿌리, 잎자루 접합부에서 뭉친 꽃자루
<i>Rato mukhe</i>	Var. <i>antiquorum</i>	붉은 알줄기 붉은 눈에 크고 둥근 알줄기와 주아	잎자루 기부 분홍색 억제된 잎 꽃자루, 두꺼운 잎사귀 붉은 뿌리
<i>Rato thado</i>	Var. <i>antiquorum</i>	수직으로 자라는 붉은 알줄기 흰 눈 키 큰 식물체	잎자루 접합부의 아래쪽에 보라색 점 수직으로 자라는 알줄기
<i>Satmukhe</i>	Var. <i>esculenta</i>	7면 알줄기, <i>khari chhoto, thado mukhe, thagne</i> 와 유사한 형태	깃털 같은 물질(<i>bhutta</i>)로 덮인 복합 알줄기형
<i>Thado</i>	Var. <i>esculenta</i>	수직으로 자라는 알줄기	원통형 알줄기, 분지 않음.
<i>Thagne khari</i>	Var. <i>esculenta</i>	오래된 옷, 알줄기를 덮는 깃털 같은 조직(<i>thagne</i>)	잎자루 접합부에 보라색 점, 큰 주아

출처: Rijal et al. 2003; 집단토의, 베그나스, 2001.

표 3.2. 멕시코 Yucatán, Yaxcaba에서 옥수수 품종을 구별하기 위해 농민들이 사용하는 형질

농민이 명명한 품종*	이삭				속대(고갱이)			난알		줄기			주기 월
	크기	모양	색깔	껍질	크기	색깔	굴곡성	색깔	모양	높이	두께	색깔	
<i>Xnuk nal kannal</i>	크다	길다	유색	두껍다 유색	두껍다 길다 얇다	유색		황색	크다	길다	두껍다	보라색	3.5-4.5
<i>Xnuk nal saknal</i>	크다	두껍다	유색	두껍고 길다	얇다 두껍다 얇다	유색		흰색	크다	길다	두껍다		3.5-44
<i>Xhe ub</i>	크다		유색	얇이 많다	두껍다 얇다	유색	두껍다 얇다	검보라	크다 작다	길다			2.5-3.5
<i>X-mejen kannal</i>	작다	둥글다	유색	두껍다	작다			황색	작다 단단하 다	길다 짧다			2-2.5
<i>X-mejen nal, saknal</i>	작다 보통		유색	두껍다	작다 유색			흰색	크다 모양	길다 짧다			2-3
<i>X-tup nal</i>	점이 있고 작다		유색	얇이 없고 두껍다	두껍다				작다	짧다			2-2.5
<i>Ts' iit bakal</i>	작다 크다			점이 있고 얇다	얇다 길다					길다			3-3.5
<i>Nal xoy</i>	크다		유색	가시 두껍다	두껍다				작다	길다			3-3.5

출처: Morales- Valderrama and Quiñones- Vega (2000), Claudia Ezyguirre가 분석한 자료, 2002.

*kannal = 황색 saknal =흰색 xhe ub = 보라색.

멕시코에서 옥수수에 모로코에서 잠두에 관하여 각각 실시한 연구결과는 품종 간 구별에 사용하는 형질보다는 품종 내 집단을 구별하기 위해 사용하는 형질을 더 중시할 가능성을 보여준다. 옥수수 와 잠두 모두 품종 간 구별에 형태학적 형질이 중요한 반면, 적응 및 이용 형질은 이름이 같은 재래종 에서 집단을 구별하는 데에 더욱 일반적으로 사용된다(표 3.3; 옥수수 재래종의 영양적, 물리적 품 질과 특정 요리와의 관련성에 관해서는 Cazarez-Sanchez 2004, Cazarez-Sanchez, Duch-Gary 2004 참조). 흥미로운 것은 가뭄 기간을 피하기 위해 짧은 성장 주기가 중요한 Yucatán에서는 옥수 수 품종을 구별하는 데에 조숙성 또는 성숙기에 이르는 시간이 매우 중요한 반면에 모로코에서는 품종 내 집단들을 구별하는 데에만 숙기를 사용한다.

한 농민이 어떤 품종이라고 하면 그 지역의 다른 농민들도 그 품종에 동일한 명칭을 사용할 수 있다. 그러나 거리가 멀어지면서, 그 명칭이 더 이상 다음 지역과 같지 않게 될지도 모른다. 에티오피아의 실레는 동일한 품종에 여러 명칭이 있는데, 이는 개개 농민이나 공동체에 따라 강조하는 품질요인이 다르다는 것을 보여주는 것이었다. 한 가지 예는 에티오피아의 듀럼종 밀인데, 어떤 마을에서는 한 품종을 "백색종(white)"으로 부르는 반면, 다른 마을에서는 "조생종

(early)"이라고 부르는 것이다(Tanto 2001). Tesfaye와 Ludders(2003)는 에티오피아에서 무성번식 작물인 엔세테에서 유사한 경우를 발견했다. 즉 몇몇 재래종은 지역마다 이름이 달랐다.

표 3.3. 모로코의 잠두와 멕시코 Yucatán의 옥수수 품종 간 또는 품종 내 구별을 위해 농민들이 사용하는 몇 가지 형질 비교.

	형태			생육주기		적응성		용도		
	협의 모양, 길이, 형태(fb)	종자색	종자 크기	엽형 (fb)	껍질 두께 (mz)	수확 까지의 기간	한발응	일광응	조리적성 및 용이성	탈곡 용이성
잠두										
품종간 구별	X	X	X							
품종내 구별 (종자 로트간)				X		X	X		X	
옥수수										
품종간 구별	X	X	X			X				
품종내 구별 (종자 로트간)				X	X		X	X		X

자료: Ariras et al.(2000); Sadik et al.(20001); Morales-Valderrama와 Quinfiones-Vega(2000)

한 마을에서조차 개개 농민에 따라 같은 품종에 다른 명칭을 사용할 수도 있다. Sawadogo 등(2005)은 볼키나파소의 지역 내에서 수수류 품종의 명칭에 대한 농민들의 일관성을 측정하였다(표 3.4). 품종 명칭은 식물 형태(곡물의 경우에 키, 모양, 색상, 낱알 크기, 이삭의 색깔 및 개방 정도), 작물학적 형태(성장주기, 개화 일자), 환경 적응성(내한성, 병해충 및 조류에 대한 저항성, 토양 적응성), 용도(생식용, 조리용, 맛) 등과 연관되어 있다. 동일한 마을이나 공동체에서 품종 명칭이 다르게 나타나는 것은 부분적으로는 품종을 명명하는 데에 사용되는 언어의 차이가 반영된 것이다. 예를 들면, Thiougou어의 품종명 pokmiugu는 Tougouri어로는 fibmiugu이다. pok은 fiba이며, Mooré어로는 "이삭"을 의미한다. 그러므로 fibmiugu는 pokmiugu가 된다. 몇몇 품종(kurbuli과 gambré)은 한 지역에만 알려져 있는 반면, zuwoko, de fibmiugu과 같은 품종은 한 곳에서만 발견되고 사용되지만 세 가지 다른 명칭으로 다른 지역의 농민들에게도 잘 알려져 있다(pokmiugu, banigpelega, fibmiugu).

표 3.4. 부르키나 파소 지역 농민들의 수수 품종 명칭에 관한 일관성.

품종의 가장 일반적 명칭	널리 재배되는 지역에서 농민들이 동일 명칭으로 인식하는 비율(%)		한 지역 또는 두 지역에서 농민들이 붙이 다른 명칭			
	명칭 1	티오구 지점 (6개 마을)	토우구리 지점 (6개 마을)	명칭 2	명칭 3	명칭 4
<i>Kurbuli</i>		100	5.55	0	0	0
<i>Zugilga</i>		0	100	33.34	0	0
<i>Zuwoko</i>		72.22	0	77.8	27.77	22.22
<i>Fibmiugu</i>		83.4	0	77.8	22.22	16.66
<i>Z.fibsablega</i>		83.4	0	77.8	22.22	16.66
<i>Gambré</i>		100	16.70	83.4	0	0
<i>Z.wabugu</i>		100	0	0	0	0
<i>Balingpelga</i>		0	94.44	100	5.55	0
<i>Pokmiugu</i>		5.55	77.8	94.44	22.22	0
<i>Pisyobe</i>		0	50	27.77	22.22	0
<i>Zuzeda</i>		0	72.22	27.77	22.22	0

출처: Sawadogo 등(2005)

다양성 지표로서의 작물학적 특성

농지 작물의 유전적 다양성을 평가하는 수준에 따라 유지되는 다양성의 양과 형태에 대한 정보가 달라질 것이다. 감자(Quiros et al. 1990; Brush et al. 1995; Zimmerer 2003), 옥수수(Bellon and Taylor 1993; Bellon and Brush 1994; Louette et al. 1997), 두류(Martin and Adams 1987; Voss 1992), 카사바(Boster 1985), 수수(Teshome et al. 1997; 2장 참조) 등을 포함한 많은 주요 작물의 경우 농지에서 유지되는 다양성의 지표로서, 명명된 품종의 수를 세어 특정한 공간적, 시간적 규모에서의 변이 정도를 평가하는 방법이 사용되어 왔다. 그러나 작물 품종명칭을 사용하여 지역의 작물 변이 다양성을 정확하게 평가할 수 있는지는 여전히 의문으로 남아 있다. 왜냐하면 농민들이 지역 작물 품종을 명명하고 그 특성을 규정하는 데에 일관성이 없을 수 있기 때문이다(Jarvis et al. 2004).

모로코에서 Sadiki 등(2001, 2002)은 농민들이 종자와 깍지의 특성이 동일한 잠두 품종을 가리키는 데에 마을에 따라 다른 명칭을 사용한다는 것을 밝혔다. 모로코 북부에서는 3개 도의 5개 공동체에 속한 15개 마을에서 임의로 선정한 185개 농장에서 얻은 종자 표본을 수집하면서 이들 잠두 품종의 명칭과 농민들이 말하는 특성을 파악하였다. 농민들이 알거나

기르고 있는 잠두 품종의 명칭 목록과 이에 대한 특성 설명을 부탁하였다. 각 품종의 특징 역시 각 농민의 진술에 따라 구별되는 형질과 함께 목록으로 만들었다. 동일 품종을 동일한 명칭과 특성으로 인식한 농민들의 퍼센트를 통해 잠두의 지방종 명명에 관한 농민들 간의 일관성을 평가하였다.

표 3.5a. 모로코 농민들이 들어보았거나, 알고 있거나, 본 적이 있거나, 기르고 있는 잠두 형태 중 현장조사 기간동안 인용되고 설명된 품종의 명칭 및 그에 대한 특성설명

품종명	품종 코드	꼬투리 길이	꼬투리 당 종자 개수	종자 크기 (mg/종자)	종자 색깔	꼬투리 모양
<i>Foul sbailabiade</i>	A	길다	7	대(>1.5)	담황색	납작
<i>Foul sbailahmar</i>	B	길다	6-7	대	갈색	납작
<i>Foul roumi</i>	C	길다	6-7	대	갈색	납작
<i>Lakbir lahmar</i>	D	길다	6-7	대	갈색	납작
<i>R'baï labiade</i>	E	보통	4-5	대	담황색	납작
<i>R'baï laghlid lahmar</i>	F	보통	4-5	대	갈색	납작
<i>Khmassi laghlide khdar</i>	G	보통	4-5	대	녹색	납작
<i>Foul beldi lou l'khal</i>	H	보통	4-5	대	보라색	납작
<i>T'lati laghlide beldi</i>	I	짧다	3	대	농갈색	납작
<i>Beldi moutouas-sate labiade</i>	J	보통	4-5	중 (0.8-1.5)	담황색	납작
<i>Foul beldi aadi</i>	K	보통	4-5	중	담황색	납작
<i>Moutouas-sate labiade</i>	L	보통	4-5	중	담황색	원통
<i>Foul lahmar moutouas-sate</i>	M	보통	4-5	중	담갈색	납작
<i>Foul mout-ouassate lou l'khal</i>	N	보통	4-5	중	보라색	원통
<i>Moutouas-sate labiade</i>	O	보통	4-5	중	갈색	원통
<i>Beldi mou-touassate lakhdar</i>	P	보통	4-5	중	녹색	납작
<i>Beldi (A)</i>	Q	짧다	3	중	담회색	납작
<i>Beldi (B)</i>	R	짧다	3	중	담회색	원통
<i>Beldi (C)</i>	S	짧다	3	중	보라색	납작
<i>Foul r'guigue lahmar</i>	T	짧다	3	소 (<0.8)	갈색	원통
<i>Filt labiade</i>	U	짧다	3	소	담회색	원통
<i>Fouila baldia khadra</i>	V	짧다	3	소 (<0.8)	녹색	원통
<i>Foul bouzid s'ghir</i>	W	짧다	3	소 (<0.8)	보라색	원통
<i>Lou l' khal s'ghir</i>	X	짧다	3	소 (<0.8)	검은색	원통

표 3.5a는 한 품종이 *foul sbai lahmar*, *foul roumi* 또는 *lakkir lahmar*라는 다른 이름을 가지고 있거나 농민들의 특성 설명이 동일한 경우들을 보여준다. 다른 예에서는 *moutouassate labiade* 같은 품종은 농민에 따라 특성을 다르게 말한다. 마지막으로 또 다른 예에서는 품종에 특정한 명칭에 붙이지 않고 포괄적 명칭인 *beldi*로 지칭하지만, 농민들은 *beldi* 안에서 서로 다른 단위를 구별할 수 있었다. 카이제곱 검사로 두 마을 조합 간의 비모수상관계수를 사용하여 3개 공동체에 속한 8개 모로코 마을들 사이의 잠두 품종의 명칭 일관성을 관찰하였다(표 3.5b). 한 잠두 품종의 예에서 지리적 거리가 증가함에 따라 일관성이 감소한다는 사실을 볼 수 있다. *Sadiki*(미출간 자료)는 또한 품종 명칭의 일관성과 농민들이 품종을 설명하는 데 사용한 특성의 일관성을 비교하였던 바, 품종 특성이 품종 명칭보다 지리적 거리에 상관없이 훨씬 더 높은 일관성을 갖는다는 것을 발견하였다. 농민의 품종 명칭 일관성은 인접한 마을(동일 공동체내의 다른 마을) 간에 가장 높다. 일관성 지표(상관계수)는 마을 간의 지리적 거리가 증가할수록 감소하며 특성보다는 명칭에서 특히 감소가 더 급격하다(그림 3.1). 이는 농업형태학적 특성이 명칭보다는 지역간에 더 일치할 가능성이 크다는 것을 보여준다.

표 3.5b. X^2 에 기초한 마을 쌍에 대한 상관계수로써 계산한 4개의 공동체 내의 8개 마을 농민들 간 잠두 품종 *foul sbai labiade*의 분류 일관성.

지역	공동체	마을	Sidi Senoun	Bouajoul	Hadarine	El Jir	Aïn Barda	Ghiata-Al-Gharbia	Bou Rhoufa
Taounate	Ourtzagh	Ain Kchir	0.70	0.53	0.46	0.18	-0.03	0.06	-0.21
	Ourtzagh	Sidi Senoun		0.53	0.23	0.24	0.22	0.14	0.04
	Ghafsai	Bouajoul			0.63	0.11	0.07	0.30	0.09
	Ghafsai	Hadarine				0.23	-0.07	0.24	0.09
	Tammadit	El Jir					0.60	0.11	0.13
	Tammadit	Aïn Barda						0.07	0.23
Taza	Oued Amlil	Ghiata-Al-Gharbia							0.63

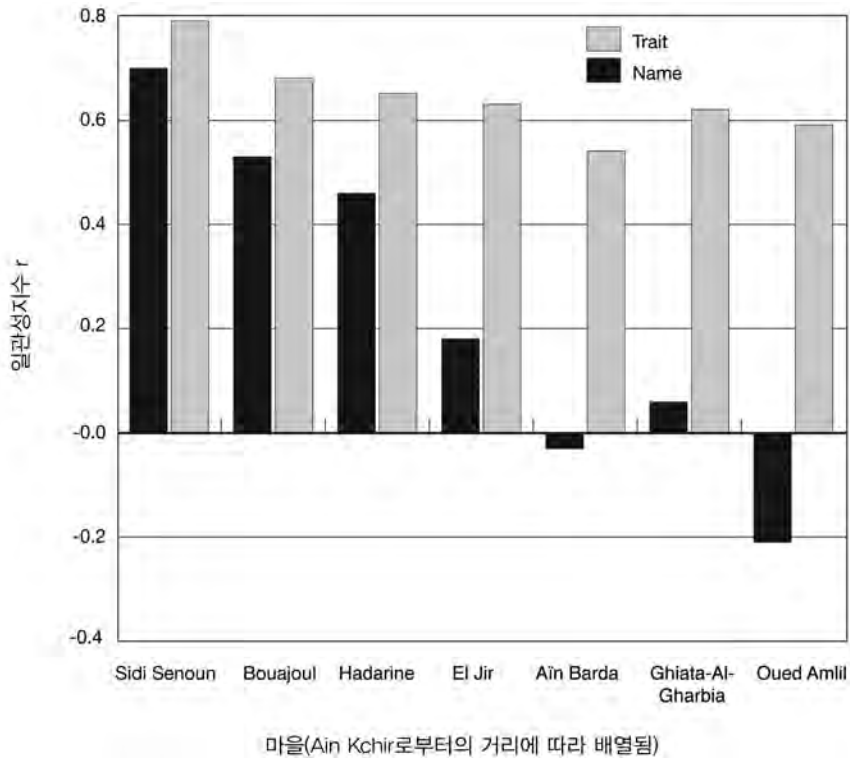


그림 3.1 - 일관성 지수 (r)를 기준으로 한, 잠두 품종 foul sbaï labiade에 대한 특성과 명칭간 일관성의 마을 간의 비교. 명칭과 형질에 대한 상관계수 r(일관성 지수)와 d(Ain Kchir에서 다른 7개 마을까지의 거리 km) 사이의 상관 계수 = 각각 -0.537과 -0.173. 명칭과 형질에 대한 상관관계의 유의성 정도 = 각각 0.002와 0.280.

Mar 등(2004)은 헝가리 강낭콩 몇 가지 사례에서 농민들이 농업형태적 특성으로 강낭콩 품종을 구별할 수는 있지만 명칭은 여러 품종에 포괄적으로 붙인다는 사실을 발견했다. 이는 근래에 도입된 품종과 대조적인 뜻으로 지방종의 대부분을 "지방(local)"이라는 의미의 beldi로 부르는 모로코의 보리 명명 시스템과 유사하였다. 그럼에도 불구하고 농민들은 종자, 이삭, 식물 특징, 짚 수량, 동물 사료로서의 품질, 가루 품질 등을 기준으로 품종을 분명하게 파악하고 분류하고 있다(Rh'rib et al. 2002).

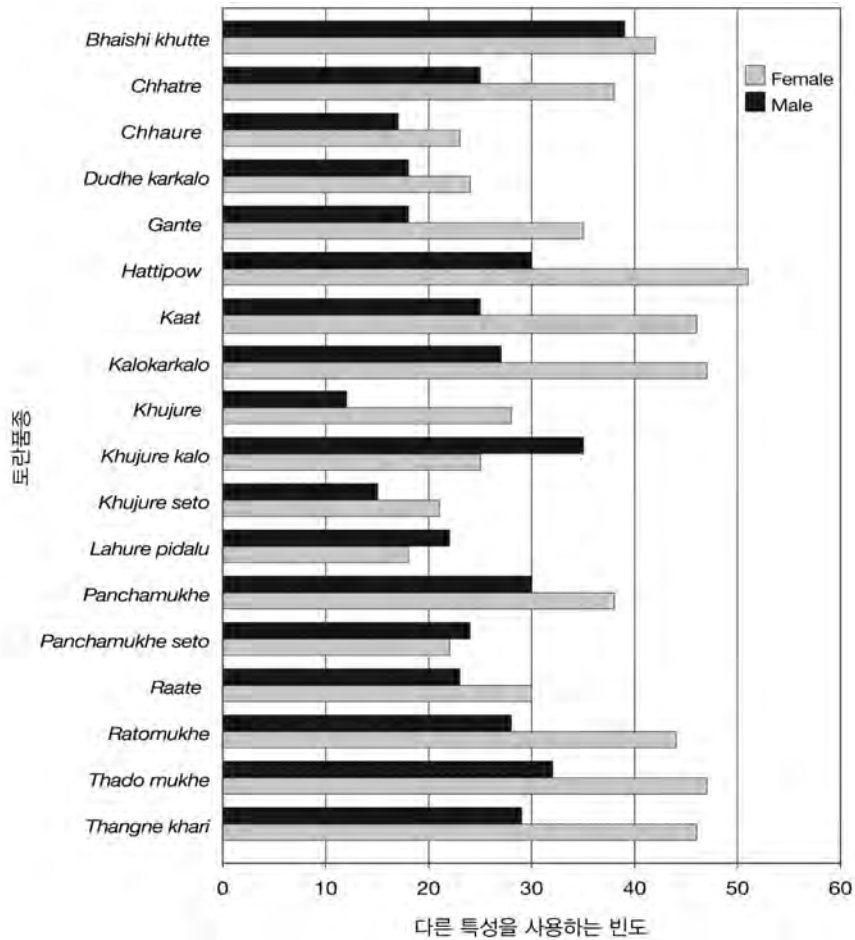


그림 3.2 농민이 명명한 토란 품종에 대한 여성 농민과 남성 농민들의 특성 설명(각 품종에 대해 다른 형질을 사용한 남녀의 비율) (Deepak Rijal, 미출간 자료, 2004). 남성과 여성의 특성 빈도 차이는 Wilcoxon 방법으로 검정하였음($Z=-5.696$).

잠두와는 대조적으로 모로코의 듀럼종 밀에 관한 연구에서는 농민들이 상이한 품종이나 유사한 단위를 아울러 포괄적인 범주만을 지칭하는 것으로 나타났다(Taghouti와 Saidi 2002). 이 상위분류는 이삭 특징, 특히 색상(흑 또는 백)를 근거로 하고 있었다. 각 범주 내의 다른 품종들은 동일한 포괄적인 명칭을 공유하지만 농민들은 가루 품질이나 초장 같은 다른 형질로 품종간 구별을 한다. 다른 사례를 보면, 모로코의 알팔파 품종은 일반적으로 원산지에 따라 명명한다. 동일한 생태 지역에서 유래한 알팔파 품종들의 명칭은 공통이며, 이 명칭으로 지역 토양과 기후 조건에 대한 적응성을 짐작할 수 있다. 즉 demante(산간 지역)과 rich(오아시스 지역)라는 두 그룹으로 대별된다. 이 두 그룹은 성장 서식지, 예취 후의 성장 속도 및 내한성 면에서 서로 다르다. 농민들은 식물의 작물학적, 형태학적 형질에 따라 각 그룹 내에서 품종을 구분한다(Bouzegaren et al. 2002).

만약 일련의 특성이 품종을 인식하는 통합된 단위라면, 모든 농민들은 이 동일한 특성을 사용해 동일한 지방종을 인식하는가? 성에 따라 관심이 다르면 다양성 단위의 명명 및 농지에서서의 다양성 양상이 그에 따라 달라질 수 있을까? 그림 3.2에서처럼 네팔의 지역 토란 품종의 명명에 관한 조사에서 특정 토란 품종을 설명하는 데 사용하는 형질에 있어서 여성이 남성보다 더욱 일관적인 것으로 나타났다. 농민들은 알줄기(유형, 모양, 크기, 성장), 주아(개수, 크기), 잎(모양, 크기, 조직, 색깔), 잎자루(색상, 엽초 색상, 개수), 초장(대, 중, 소), 근계(벗은 정도) 등에 관한 24개 형질을 비교하여 18개의 토란 재래종의 특성을 설명하였다. 남성 농민과 비교하면, 여성 농민이 재래종 전반에 걸쳐 동일한 특성을 사용하는 빈도가 더 높았으며, 재래종의 특성을 설명해 보라는 요청을 받았을 때 남성 농민보다 주어진 특성을 인식하는 점에 있어서 더 높은 신뢰성을 보여주었다. 남성은 품종을 구별하기 위해 알줄기와 발아 특징만을 사용한 반면, 여성들은 주아, 잎 형태, 크기, 성장 습성 같은 형질도 추가적으로 사용하였다.

베트남에서도 이와 유사한 연구가 시행되었는데, 베트남 전역의 7개 지역에서 재배되는 47개 토란 품종의 명명과 그 특성의 설명에 있어서 여성들 간의 일관성 정도(80.57-98.5%)가 남성들(78.2-94%)보다 좀 더 높게 나왔지만, 그 차이가 통계적으로 유의하지는 않았다(Canh et al. 2003; Hue et al. 2003).

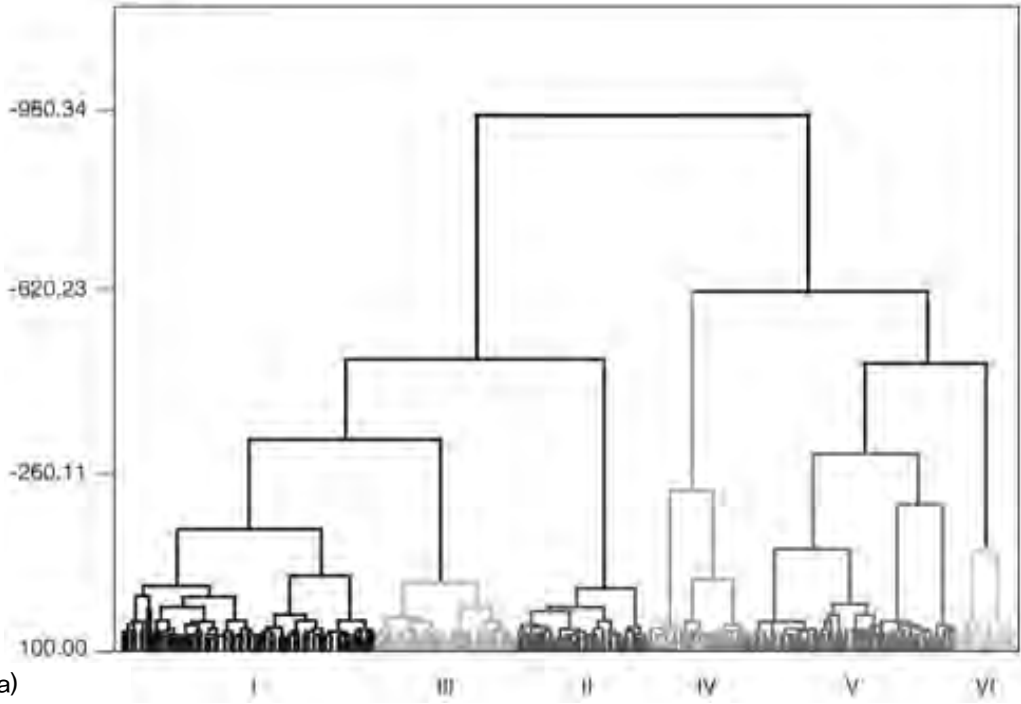
농민 품종 명칭과 유전적 구별성

농민들이 품종을 구별하기 위해 사용하는 명칭이나 특성은 마을 내 혹은 마을 간에 일치할 수도 있으나, 그렇다고 농민이 명명한 단위간에 유전적 구별성이 얼마나 되는지 혹은 어떤 수준(농업형태학적, 생화학적, 분자학적)에서 이러한 구별이 가능한지는 별개의 문제이다.

네팔에서 해발고도가 다른 세 지역(Bara, < 100 m; Kaski/Begnas, 600-1,400 m; and Jumla, 2,200-3,000 m)의 이름이 붙여진 벼 품종간의 구별성을 알아보기 위해 농업형태학적 자료에 대하여 군집분석을 실행하였다. 고도가 낮은 두 지역에서는 이름이 같은 재래종 집단들은 같은 군집에 들어 명명과 및 농업형태학적 특성 설명에 일관성이 높다는 것을 알 수 있었다. 반면 고도가 높은 Jumla 지역에서는 수많은 명칭이 있었지만 측정된 농업형태학적 형질에서 다양성은 거의 찾아볼 수 없었다.

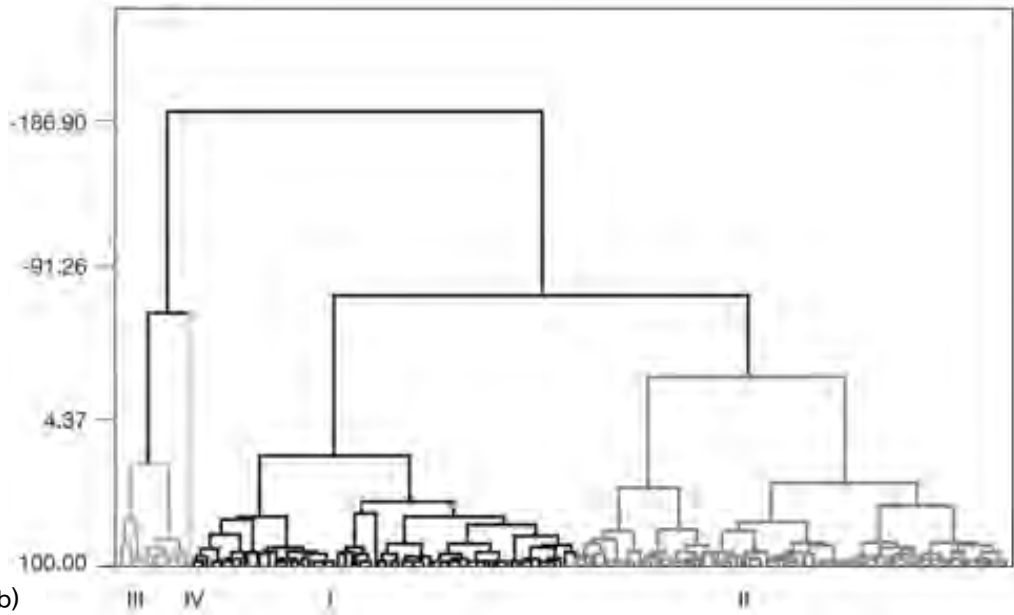
베트남의 토란 형태에 대한 평가에서도 역시 유사한 명칭 내 (Hai et al. 2003)와 상이한 명칭의 토란 재래종 간(Hue et al. 2003; Tuyen et al. 2003)에 모두 변이가 있는 것으로 나타났다. 인도 및 필리핀 Cagayan Valley의 벼 재배종에 관한 연구는 동일한 명칭을 가진 표본들도 가끔 생화학적, 분자적 차원에서 매우 다른 유전적 구조를 갖는다는 사실을 보여주었다(Pham et al. 1999; Sebastian et al. 2001).

유사성



(a)

유사성



(b)

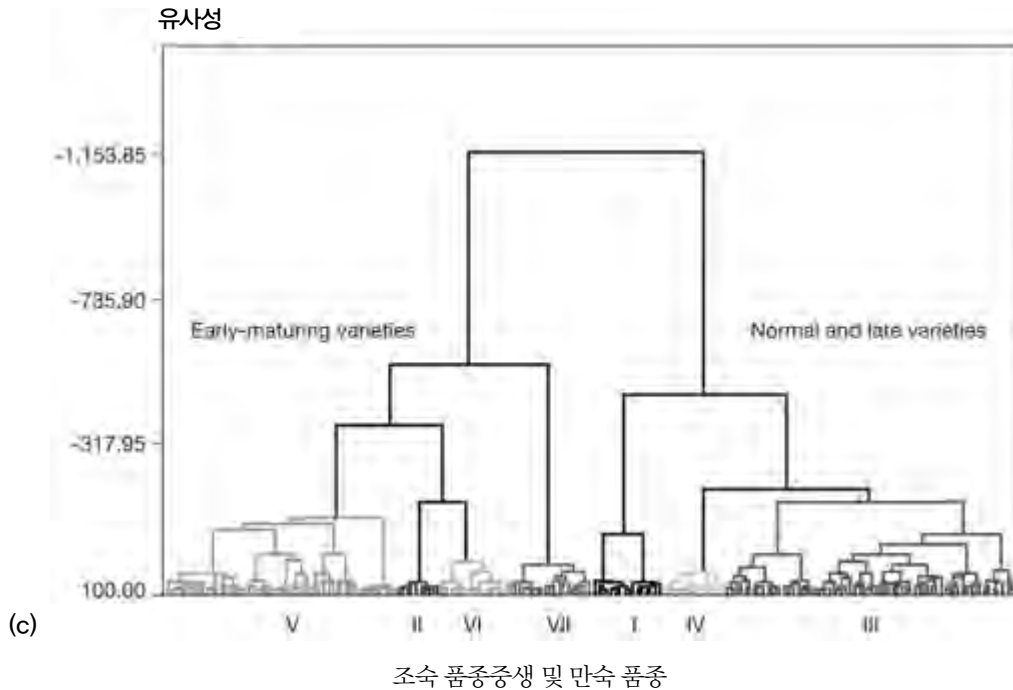


그림 3.3 네팔 세 곳의 벼 수집종과 대조 신품종의 계통수(Bajracharya 2003; Bajracharya et al. 2006). (a) Jumla 지역: 명칭은 다양하지만 재래종의 유전적(형태학적) 다양성은 거의 없다. 그림 3(a)는 Bajracharya 등(2006)에서 변용 까락 및 주두 색이 구분에 쓰인 형질임. (b) Kaski 지역: 이름이 같은 재래종 집단은 같은 군집에 들어가서, 명칭 및 농업형태학적 특성 설명에 매우 높은 일관성이 있음을 보여 주었다. 광범위한 농업형태학적 변이성을 발견하였다. 잎 및 낱알의 형태학적 특성이 중요했다. (c) Bara 지역: 농민들이 사용하는 다양성 단위와 처해 있는 농업생태계에 따라 분명한 군집이 형성되어 명명과 품종 특성에 높은 일관성이 있는 것으로 나타났다. 다 주성분 분석에서 양적 형질로 총 분산의 60%를 설명할 수 있었다. 생육기간과 관련된 특성이 중요했다.

모로코의 잠두 농가품종 간 유전적 차이에 대한 유사한 분석(그 지역에서 자라는 14개 품종 중 특성이 동일하게 설명되는 10개 품종을 사용한 농업형태학적 평가)에서 조사된 특징 대부분의 경우에 품종유형 내의 표현형 다양성이 큰 것으로 나타났다(Sadiki et al. 2002). 계층적군집 분석과 다변량판별 분석에서도 동일한 명칭을 가진 종자 표본이 일반적으로 함께 군집하는 결과를 보여주었다. 이러한 결과는 유형에 대한 농민들의 표현형 설명과 일치하는 것이며, 이들 집단의 경우에 농민들이 이름 붙인 단위간에서 서로 구별되며 그 단위들의 특징은 유전적 근거를 가지고 있음을 나타낸다. 다형성 DNA의 급속종폭법을 사용하여 분자표지상의 유전적 차이를 예비적으로 조사한 성적으로도 다른 유형에 속하는 종자 표본 간의 차이가 동일한 명칭을 가진 종자 표본 간의 차이보다 크다는 점이 확인되었다(Belqadi 2003; Benchekchou 2004). 모로코에서 표현형에 기초한 10개 지방종 간에 만들어 본 계통 순위 패턴은 잠두 품종에 대한 농민들의 특성 설명과 매우 일치한다(Belqadi 2003). 표 3.6은 분석한 70개 계통의 94%가 농업형태학적 특성의 유사성에 따른 품종 유

형으로 정확하게 분류된다는 것을 보여준다. 그러므로 표현형 군집 패턴은 지역 품종에 대하여 농민들이 설명하는 특성과 거의 일치한다. 표현형을 근거로 품종을 구별하면, 이는 농민들이 품종을 명명하는 관점과 일치한다. 이러한 10개 품종의 경우 농민들의 다양성 단위는 표현형으로 측정된 다양성 단위와 일치한다.

표 3.6. 각 품종에서 수집한 표본이 구성계통의 후속확률에 따른 판별함수로 정의한 계급으로 분류된 비율(%).

원 계급(농민이 명명한 요인 판별 분석 (FDA)에서의 근거 품종)	명칭	코드	계급(군집)*										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	<i>Lakbir lahmar</i>	D	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>R' baï labiade</i>	E	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Foul beldi lou l' khal</i>	H	0	0	86	0	0	0	14	0	0	0	0
	<i>T'lati laghlide beldi</i>	I	0	0	0	71	0	0	29	0	0	0	0
	<i>Beldi moutouassate labiade</i>	J	0	0	0	14	86	0	0	0	0	0	0
	<i>Foul lahmar moutouassate</i>	M	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
	<i>Foul moutouassate lou l' khal</i>	N	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
	<i>Filt labiade</i>	U	0	0	0	0	0	0	0	100		0	
	<i>Foul r'guigue lahmar</i>	T	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	
	<i>Foul bouzid s'ghir</i>	W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

출처: Sadiki 등(미발표 자료)

* 94% 표본이 요인 판별분석의 결과 근거품종으로 분류되었다.

같은 명칭에서 허용되는 변이 및 유전적 구별성

같은 명칭에 내포된 변이는 얼마나 클까? 우간다에서는 바나나 영양계가 본래의 명칭이 없이 한 지역으로 이입되어 새 이름이 붙여질 수 있는데, 즉 다른 부족이 새로운 영양계를 받은 후에 이름을 바꾸는 경우가 이에 해당한다(Karamura 와 Karamura 1994). 이름이 붙여져 있는 192개의 바나나 변이체의 중복여부를 알아보기 위해 Karamura(1999)는 먼저 61개의 형태학적 특징을 근거로 같은 식물체의 영양변식집단 쌍에 대하여 다른 정도를 측정하였다. 동일 식물체의 영양변식집단 쌍은 0.044에서 0.147까지의 거리계수를 보였다. 이 방법은 동일한 이름을 가지고 있지만 품종은 동일하지 않은 재래종을 찾는 근거가 되어, 표본들이 실제 유전적으로 다른 품종인지 여부를 판단하는 데에 사용되었다. 이름이 붙여진 192개의 변이체에는 79개의 서로 다른 영양계가 있는 것으로 나타났다. 유사한 명칭을 가진 18쌍의 영양계는 거리계수가 0.1 이하로 계산되어, 동일한 식물체에서 유래한 영양변식집단간 거리계수와 유사하게 나타났다. 네 쌍은 동일 영양변식집단의 범위 밖의 계산치를 보여서 서로 다른 영양계로 간주할 수 있었다.

농민들의 다양성 관리 단위

단순히 품종의 명칭을 활용하는 것과는 대조적으로 농민의 다양성 관리 단위 (FUDS)에 관한 논의에서는 다음과 같은 몇 가지 의문이 제기된다. 이 단위가 동적인가 고유한가, 즉 시간이 지나면서 바뀌는가? 명명된 품종을 그 이름을 붙인 자와 결부시키면 그 단위가 고유한 것이 되는가? 품종의 명칭과 품종을 설명하는 데에 사용된 특성은 공간적인 규모 뿐만 아니라 시간의 차이에 따라서도 바뀔 소지가 있다. 이름은 동일하게 남아 있어도 품종을 설명하는 데에 동원되는 특성이 바뀔 수도 있다. 이와 비슷하게 농민들이 품종을 설명하기 위해 사용하는 형질은 같게 유지되어도, 이 일련의 특성으로 설명되는 품종의 명칭이, 새로운 농민들이 품종을 선택하여 재배하는 중에, 시간이 지나가면서 바뀔 수 있다. 농민들은 또한 새로운 특성이 집단에 나타나면 이 명칭에 새로운 기술어를 추가함으로써 통용되던 명칭을 수정할 수도 있다(수세미의 예는 Pandey et al. 2003 참조. 토란의 예는 Rijal et al. 2003 참조). 명칭은 또한 이들 품종에 대한 전통 지식이 세대에 따라 변화하고 이들 품종에 대한 태도 및 관점이 시간에 따라 변화하는 양상에 따라 달라질 수 있다. 이 모든 가능성의 기본은 재래종 집단의 유전적 구성이 정적인 것이 아니며 시간에 따라 계속 진화한다는 것이다(Brown 2000). 농민들이 다음 세대를 위해 종자나 식물체를 선발하는데, 이때 선택에 사용하는 특성이 일관될 수도 있지만 변할 수도 있으므로, 이에 따라 식물의 유전적 조성의 변화가 일어날 것이다(4장 참조).

또한 농민이 품종을 구별하는 데 가장 중요한 형질이, 연구자가 품종을 구별하기 위해 사용하는, 유전적으로 구별되는 형질이 아닐 수도 있다. 나이지리아에서 Busso 등(2000)은 타가수분 작물인 진주조의 경우 농민의 관리 방법에 의한 차이가 다른 농민들이 재배하는 동일 명칭의 품종 간 차이보다 크다는 것을 발견했다. 그러므로 한 농민이 재배하는 복수의 재래종이 여러 농민이 재배하는 동일명칭의 개개 재래종보다 유전적 구성이 더 유사했다. 이 경우 농민들이 다른 이름의 품종들을 구별하기 위해 사용하는 특성은 분자적 차원에서 유전적 정체성을 의미하지 못하는 것으로 나타났다. 이와 비슷하게 Pressoir와 Berthaud(2004)는 멕시코에서 (또 다른 타가수분 종인) 옥수수의 경우, 집단 간의 개화 기간의 폭과 암수꽃 간의 개화 간격에 큰 변이를 보였으나 이러한 농업형태학적 특성으로 본 집단 구성양상이 분자표지로 설명되는 양상과는 매우 다를 수 있다는 것을 발견하였다.

시간에 따라 품종에 발생하는 변화에도 불구하고, 가정이나 마을 내에서는 과거의 품종명칭이 지속될 수 있으며, 이외는 다르게 지금 사용하는 것이 과거와는 전적으로 다르므로(4장의 바나나 사례에서 확인한 것처럼) 이름을 바꿔야 한다고 품종 관리자가 결정할 수도 있다. 그러나 핵심은 이름이 붙여진 집단(유전적 차이와 상관없이)은 특정한 방법으로 다뤄질 것이며, 이 때문에 농지의 향후 집단 유전조성에 영향을 끼치고, 심지어 이를 통제할 수도 있을

것이라는 점이다(Brown과 Brubaker 2002).

작물의 생물학적 특성에 따라 다양성을 분할하는 방식에 차이가 있을 수 있다. Hamrick과 Godt(1997)는 작물 집단 내 혹은 집단 간의 분산에 대한 번식체제의 영향을 요약하였는데, 자식성 작물(자가수정 식물)이 타식성 작물(타가수정 식물)보다 2배나 많은 집단 분화를 나타내는 것을 증명하였다. 그러므로 품종 간 차이는 자가수분 작물보다 타가수분 작물에서 덜 두드러지게 나타난다고 기대할 수 있다. 반면 농민은 타식성의 경우보다 자식성의 경우에 더 미시적인 차이를 근거로 품종의 이름을 붙일 수 있다. 타화수정하는 알팔파의 경우, "지방종"이라는 포괄적인 명칭이 마을 전체에서 재배되는 종자에 해당될 수 있는 반면, 부분적으로 타화수정하는 수수의 경우 몇 가지 다른 이름의 재래종을 동일한 필지에서 재배하기도 한다. 옥수수과 같은 타화수정 작물의 재래종에 한번 이름을 붙여 개별 단위로 관리하고 종자 색깔 같이 유전되는 형태학적 특성으로 구별하면서 개화시기에 차이가 커지면, 시간이 흐름에 따라 매우 중요한 유전적 분화가 축적될 수 있다.

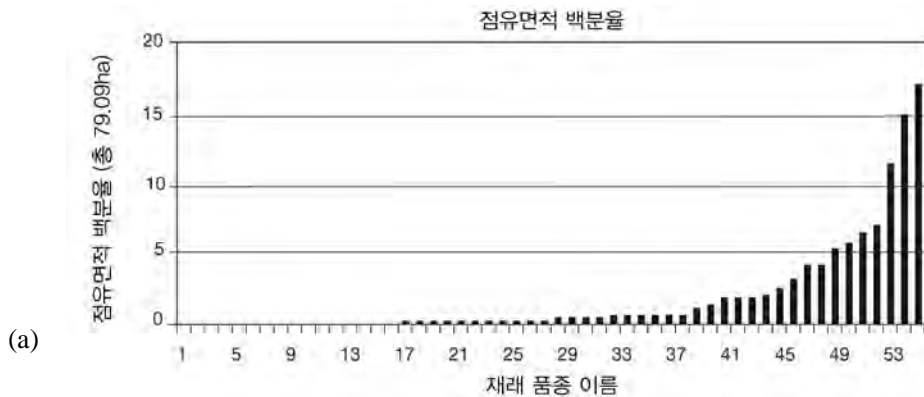
명명된 품종을 기능 그룹으로 분류하는 것이 가능할까? 기능 그룹에 대한 농민 관점을 분석하여 명칭을 그 위의 단위로 분류하는 일이 가능할까? Xu 등(2001)은 중국 남서부의 소수민족마다 현지어로 작물을 다르게 부르지만, 주요 형태형은 여러 소수민족에서 모두 분명하게 구별한다는 것을 보여주었다. Gauchan 등(2003; 16장 참조)은 이름 붙은 품종들을 높은 차원에서 구별되는 품종군, 특정 적응 형질을 가진 품종군 및 희귀품종군으로 분류할 수 있었는데, 이는 다양한 형태의 농가들이 같은 품종은 같은 범주로 분류하고 있다는 것을 보여주는 것이다.

공간적 다양성 패턴과 품종 명칭

공동체 및 지역 내 혹은 이들 간의 품종 명칭 분포는 농지 유전적 다양성의 크기와 균일성에 관한 지표가 될 수 있다. 네팔에서 각 품종을 재배하는 평균 면적과 농가의 수를 기준으로 작물 품종의 양과 분포를 파악하는 방법을 개발했다(Sthapit et al. 2000). 즉 재래종을 면적(평균 면적을 기준으로)의 대소와 재배하는 농가(농가의 수를 세어)의 다소에 따라 분류하였다. 이 4분법(FCA Four-Cell Analysis)은 다양한 방식으로 이용되어 왔다. Rana 등(Rana 2004 참조)은 한 마을에서 재배하는 각 품종에 대해 농가당 평균 면적을 헥타르로 산정해, 그 품종이 농가수준 재배면적 대소의 어느 쪽에 속하는지를 결정하였다. 농토가 많은 농가들은 한 품종을 더 큰 면적에 경작할 수 있는 반면, 토지가 적은 농가들은 (한 품종 또는 복수의 품종을) 작은 면적에만 경작할 수 있기 때문에, 이 방법에는 문제가 있다. 이 문제를 바로잡기 위해, 마을 내 한 품종이 차지하는 면적의 백분율을 그 품종을 재배하는 마을 내 농민의 백분율과 비교하여 정보를 재분석하였다. 결과는 그림 3.4에 제시한다.

그림 3.4c의 우측 상단 모서리에 있는 품종들은 많은 농민들이 재배하며 마을의 벼농사 면적 중에서 상당한 비율을 차지한다. 또한 벼 재배 총면적에서 작은 비율을 차지하며 극 소수의 농민들만 재배하는 품종의 수도 상당하다. 재배되는 품종의 대부분의 경우 그 총면적이 품종을 재배하는 농민 수가 증가할수록 함께 증가한다는 것을 그래프를 통해 명백하게 알 수 있다. 그림 3.4c의 우측 하단 모서리에 있는 두 점과 같이, 일반적 경향에서 벗어난 품종들도 주목할만 하다. 이들 품종은 많은 농민들이 재배하지만 차지하는 총면적 비율은 다른 품종들과 동일한 비율로 증가하지 않아 매우 적은 면적에서만 재배된다. Rato anadi와 seto anadi라는 이 두 품종은 관개 지역 또는 DHAB(상습 침수 지역)에서 가장 일반적으로 재배되는 찰벼 품종이다. 이들 품종은 축제 기간 동안 지역 식품으로 가치가 있다. 농민들은 자기 집의 수요를 위해 작은 면적에서 특정한 종교적, 문화적 중요성이 있는 이 두 재래종을 재배하는 경향이 있다.

Hue 등(2003)은 베트남의 토란에 적용할 때, 위에서 설명한 FCA 방법의 두 번째 한계를 알게 되었다. 토란 평균 면적 기록은 농업생태학적 조건 및 시장 변동에 따라 크게 달라졌다. 연구 지역에서, 면적은 28~3.600m²의 변이를 보인 반면, 각 토란 품종을 재배하는 평균 농민 수는 1~25명 사이에 분포하였다. 그러므로 "면적의 대소" 및 "농가의 다소"에 대한 정의는 상대적이며 마을에 따라 달랐다. 더욱이 다양성 분포 양상 분석의 결과는 토란 면적이 넓은 마을이 항상 토란 다양성이 풍부한 것은 아니라는 것을 보여주었다. 일반적으로, 2-3개의 토란 지방종을 많은 농가들이 넓은 면적에 재배하였다. 그러므로 이 품종들은 그 지역에서 일반적으로 널리 확산되어 있는 지방종이라고 정의할 수 있다. 이렇듯 일반적이고 널리 분포되어 있는 품종은 그 품질 특성 덕분에 시장수요가 큰 것이다. 그러나 많은 품종들(4~9개)은 여전히 소수의 농가가 작은 면적에서 관리하고 있었다.



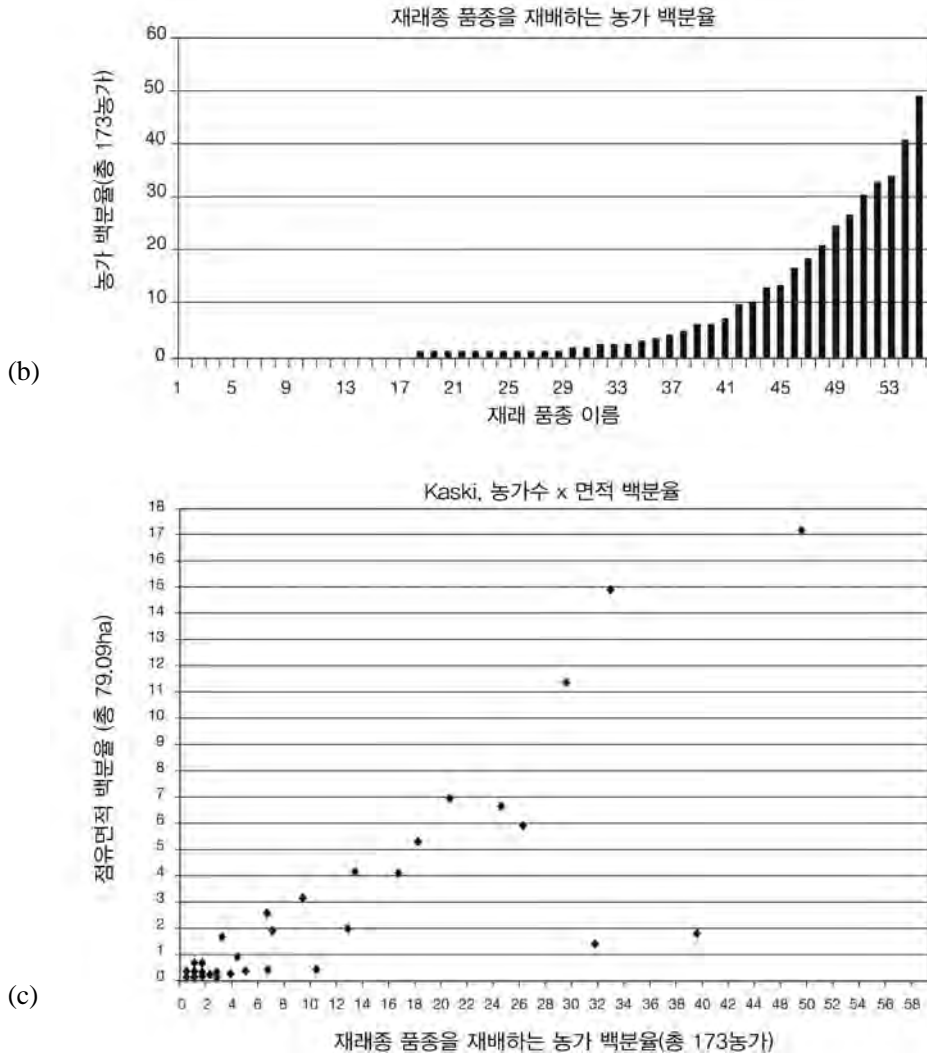


그림 3.4 중부 생태지역인 Kaski에서 품종별로 차지하는 면적(총 79.09 ha)의 백분율(b)과 품종을 재배하는 농가 수(HH= 농가 총 173)의 백분율(c)을 기준으로 벼 자료를 재분석한 결과(a)(원자료는 Sthapit et al. 2000의 것임).

표 3.7은 명명된 품종의 개수 면에서 토란의 다양성 정도를 보여준다. 중부지방과 산간, 남부 연안의 사질 생태계에는 토란 품종 수가 풍부하다. 토란 다양성에 대한 유전자형 다양성 지수들은 토란의 균등도 변화(즉 마을 차원에서 각 토란 재배 변종을 재배하는 농민의 빈도)를 비교하기 위해 Simpson 지수를 사용해 산정하였다. 표 3.7은 또한 토란의 다양성 지수에 대한 지역 간의 비교를 보여준다. 가장 높은 다양성 지수는 Sa pa 지역에서 발견되었으며, Da bac, Phu vang, Nho quan 등이 그 뒤를 이었다. 가장 낮은 다양성은 Tra cu에서 나타났다.

모로코에서 지역 품종의 중요성을 농가 및 지역 별로 각 지방종이 차지하는 재배면적 비율

(퍼센트)로 평가하였다. 지방종의 공간적 분포는 각 품종을 사용하는 농민의 빈도로 평가하였다. 각 농민이 한 작기에 재배한 잡두 품종의 수는 농지 크기와는 상관이 없다는 것이 밝혀졌다 (Sadiki et al. 2005).

Grum 등(2003)은 실제 면적을 계산하는 대신 연구자들이 농민들 및 지역 개발원들과 함께 FCA 방법을 사용하여, 품종이 네 분류 중에서 어디에 해당하며 희귀/일반 그리고 광역/국지의 품종 구분에서 어디에 속하는지에 대한 농민들의 견해를 알아볼 기회를 제공할 수 있었다. Grum과 그 동료들은 벼, 마, 수수, 조, 광저기 등에 관한 농민들의 관점을 살펴보기 위해 사하라 사막 이남의 아프리카 지역에서 이 방법을 사용하였다. 이 방법을 사용함으로써 지방종의 점유율 및 분포에 대한 농민들과 농촌지도원의 인식이 크게 향상되었다. 현재 베냉과 짐바브웨의 대학에서는 농지 다양성을 평가하는 도구로 이 방법을 사용하고 있다(M. Grum, pers. comm., 2003). 이 방법은 또한 농민들이 각 품종에 어떤 논리로 토지를 할당하는지를 이해하고, 흔한 품종과 희귀한 품종을 식별하며, 보존 활동을 위해 지역의 작물 다양성을 추적하는 일에 네팔, 모잠비크, 스리랑카, 말레이시아 등에서 사용되고 있다(B. Sthapit, pers. comm., 2003).

표 3.7 베트남의 생태지역별 토란 다양성 정도, 2003.

생태 지역	품종 수	재배 면적/품종 (m ²)	농가당 평균품종 수	다양성 지수(H')
Sa pa	12	28-907	2-4	0.847
Da bac	10	25-360	2-3	0.800
Nho quan	9	40-1,810	1-3	0.680
Phu vang	9	50-241	2-4	0.730
Nghia hung	4	36-216	1-2	0.378
Tra cu	3	50-310	1-2	0.34

출처: Hue et al(2003).

우간다에서는 Mulumba 등(2004)이 반 건조 지역인 Lwengo에 있는 바나나 희귀 재래종의 보존을 위한 최상의 방법을 파악하고 이해하는 데에 이 FCA 방법을 이용하였다. 이 방법을 통해 연구자들은 군 지역의 총 66개 바나나 품종을 기록할 수 있었으며, 농민들이 희귀 품종으로 여기는 19개 품종에 대해 총 21 종류의 관리 방식이 파악되었다. 주성분 분석을 통하여 21 종류의 방법 중 9 종류가 희귀 재래종의 생존에 매우 중요하다는 것을 알게 되었다.

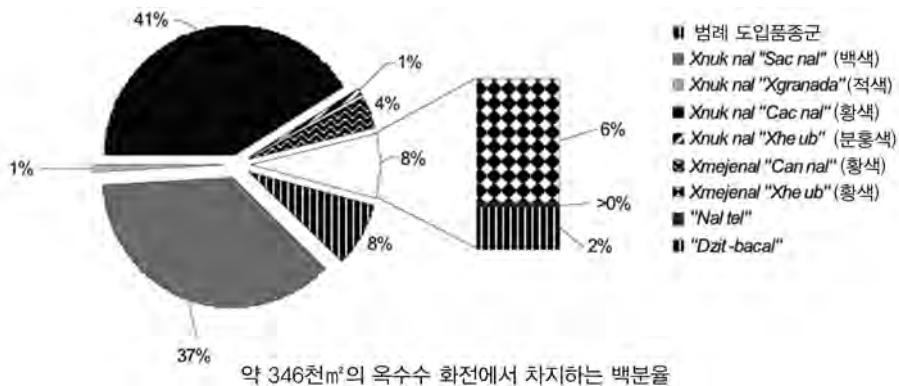
Karamura 등(2004)은 농민들의 관리 전략을 이해하는 데에 이 방법을 사용하였는데, 구체적으로는 다양성을 유지하면서 해충은 감소시킬 수 있는 전략을 찾아내는 데에 이 분석방법을 사용하였다. 이들의 연구결과는 연구 지역의 공동체가 계속적으로 새로운 유전자원을 획득

평가해 감으로써 농가 당 평균 13개의 품종을 갖고 있다는 것을 보여주었다. 이 지역에서 발견된 다양성 중에서 약 45%가 매우 적은 면적에서 소량으로 유지되었는데 그 이유는 여러 가지다. 농민들이 품종의 다양성을 가능한 최대로 유지하기 위해 꼭 필요한 공동체 나뭇의 바나나 관리 방법을 20 가지 이상 파악하였지만, 바나나 농원의 성공적인 관리는 몇 가지의 선별된 방법을 통합하여 공동체 구성원이 공유하는 방식(격리 재배, 토양 비중 낮추기, 지속적인 과수원 재배치, 이식, 퇴비사용 등을 포함하는)으로 만들어 세심하게 실천하는 데에 달려 있었다.

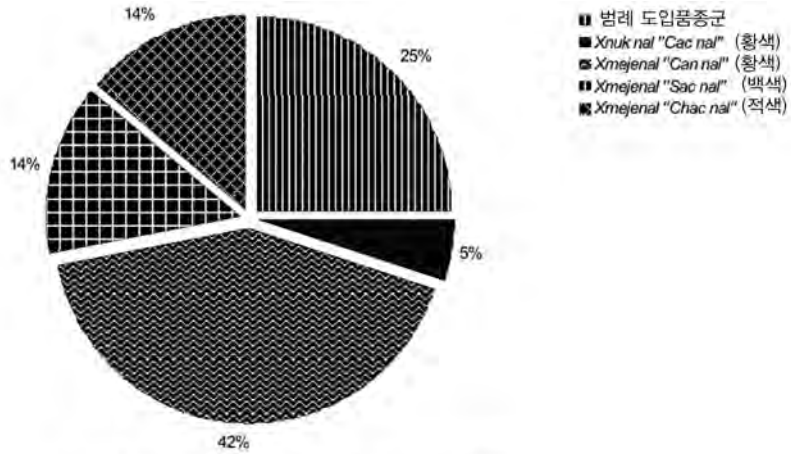
품종을 다른 생산 공간 및 토지에 공간적으로 배치하는 일은 환경에 대한 생태학적 지식과 재배방법을 연결시킬 수 있게 한다. 박스 3.1은 멕시코에서 품종의 배치가 성별로 다른 생산 공간과 관련이 있는 예에 대한 설명이다. 농민들은 종종 특정 생산 공간의 품종 배치를 최적화할 때 위험을 감수할 수 없다. 적응은 복잡한 문제이기 때문에, 한 곳에서만 특이하게 세대를 걸쳐 유지된 품종이 사실은 더 폭넓게 적응하여 그 지역 밖의 다른 생산 공간에서 더 잘 자랄 수도 있다. 일부 특성만으로 한 평가는 네팔의 경우(박스 3.2)에서 보았듯이 불완전하기 십상이다.

박스 3.1. 멕시코 Yucatán에서의 다양성 분포 및 작물 생산 공간

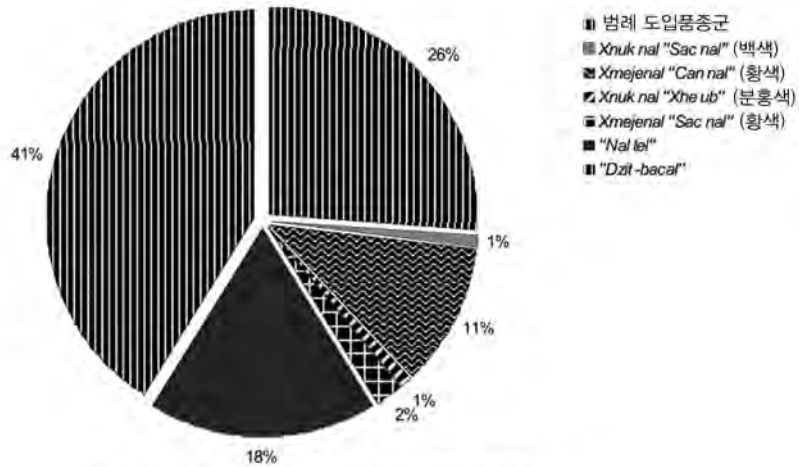
멕시코 Yucatán에서는 작물 다양성의 지속적인 재배는 기존 농업 시스템 내 주요 생산 공간인 텃밭, 농지(화전), 마을 포장1 간의 상호작용에 크게 의존한다.



박스 3.1. (a) 연구 집단의 옥수수 품종의 수 및 분포. (b) 연구 집단의 호박 품종의 수 및 분포



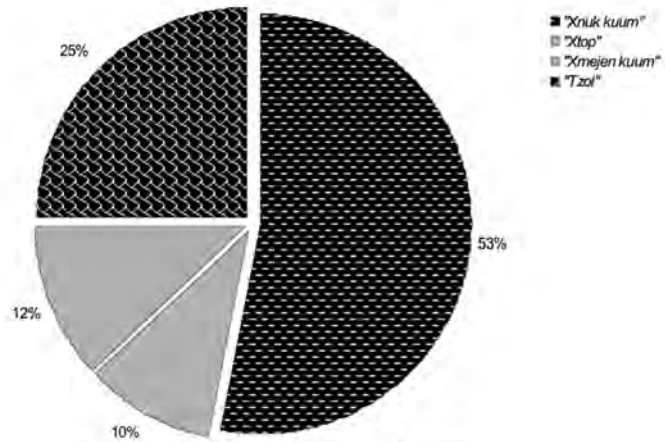
약 10천㎡의 옥수수 마을포장에서 차지하는 백분율



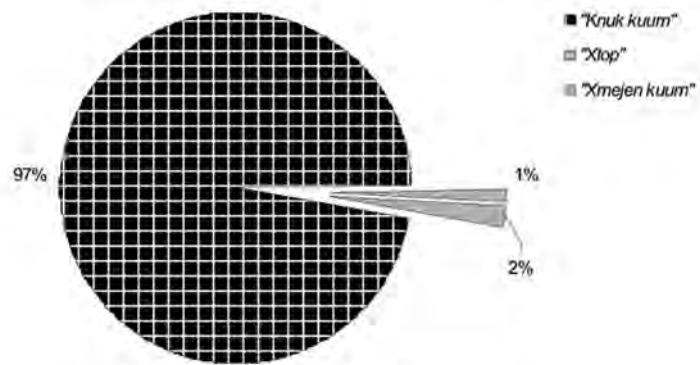
(a)

약 10천㎡의 옥수수 텃밭에서 차지하는 백분율

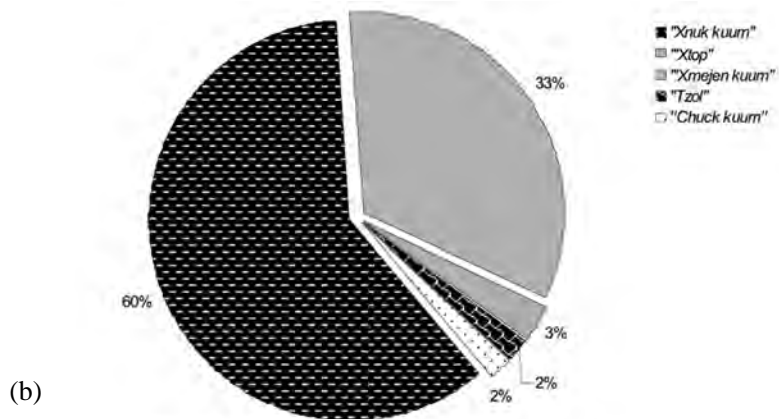
그림은 Lope 2004에서 가져옴



약 1014m²의 호박 텃밭에서 차지하는 백분율



약 333.6천m²의 호박 화전에서 차지하는 백분율



약 10천m²의 호박 마을포장에서 차지하는 백분율

특정 생산 공간이 한쪽 성과 더 깊은 관계가 있으며, 이로 인해 성별 분업 및 성 특이적 지식이 생겨나며 그 결과로 달라진 재배방식이 나타나며, 가지고 있는 품종이 달라질 가능성이 크다. 남성 없이는 여성이 홀로 들어가지 못하도록 되어 있는 화전에서 작물을 경작할 책임은 남성에게 있으며, 여성은 수확 등 추가 노동력이 필요한 경우에만 포장 작업에 참여한다. 반면 여성은 텃밭을 가꾸는 일을 전담하여 이에 대한 대부분의 결정을 내리며, 여기서는 혼자 일을 할 수 있다. 텃밭은 주로 여성의 영역으로 간주되는 반면, 농지는 남성의 영역으로 간주된다. 이 두 전통적 공간에서 행동의 성별 코드가 가장 강하게 나타났다. 마을 포장의 경우, 남성과 여성 같이 이 공간에 어떤 품종을 얼마큼 재배할 것인지를 명시적인 방법으로 결정하기 때문에 이러한 성적 경계가 유동적이다. 여성도 마을 포장에 홀로 나가 일할 수 있으며 남성 또한 마을 포장(특히 공동체 가장자리에 위치한 포장)에서 일할 수 있다. 재배할 작물과 재배방법에 대해 남성과 여성 모두 결정을 내릴 수 있다. 박스 그림 3.1은 생산 공간별로 재배되는 품종과 수량을 요약한 것이다.

이 결과는 특별히 여성이나 남성의 작물, 즉 한 성별과 배타적 관련이 있다고 옥수수나 호박을 규정하는 것은 어렵다는 것을 나타낸다. 대신 연구 지역에서는 전형적인 생산 공간인 화전(남성의 공간)과 텃밭(여성의 공간)이 품종 선택 및 유지라는 면에서 상호 의존적이며, 이러한 상호 의존성은 남성과 여성이 생산 공간에 따라 품종 선택을 선택하는 남녀간에 상호 같거나 다른 여러 가지 이유의 결과이며, 이러 이유들은 품종선택에 있어서 서로에게 행사하는 명확하거나 미묘한 협상으로 또는 물리적으로 행사하는 영향력과도 결부되어 있다는 것이 밝혀졌다.

I. 마야 화전은 어떠한 농기계도 없이 화전 기술을 사용하여 옥수수, 콩, 호박을 간작하며, 모두가 강우에 의존한다. 다른 원예 작물 역시 화전에 있긴 하지만 보통은 옥수수 및 그 유관작물과는 떨어져 있다. 농지 규모는 몇 고빠(20 × 20 m, 지역 농민들이 그들의 화전을 측정하기 위해 사용하는 단위)에서 4-5 헥타르에 이르기까지 다양하다. 텃밭에는 더 많은 종 다양성이 있는데, 이에는 주로 식품, 의약품, 사료, 연료, 장식 등 다양한 용도가 포함된다. 이 두 전통적인 공간에 더해, 마을 포장(terreno)은 이제는 사람이 살지 않는 곳의 텃밭 및 계절적 주거지와 마을의 공간계획이나 인구 증가에 대비하여 장래에 사용할 목적으로 각 가정에 나눠주지 않은 땅을 포함한다. 본 조사에서 연구한 가족들의 경우 이런 포장의 평균 크기는 40 × 60m²이며, 때로는 화전에서 보는 양상을 나타내는가 하면, 때로는 텃밭에서 보게 되는 방식으로 사용된다.

출처: Lope (2004).

박스 3.2 교호 이식실험에서의 벼 품종의 곡실 수확량 비교, 네팔의 Kaski지역(해발 1,150m)

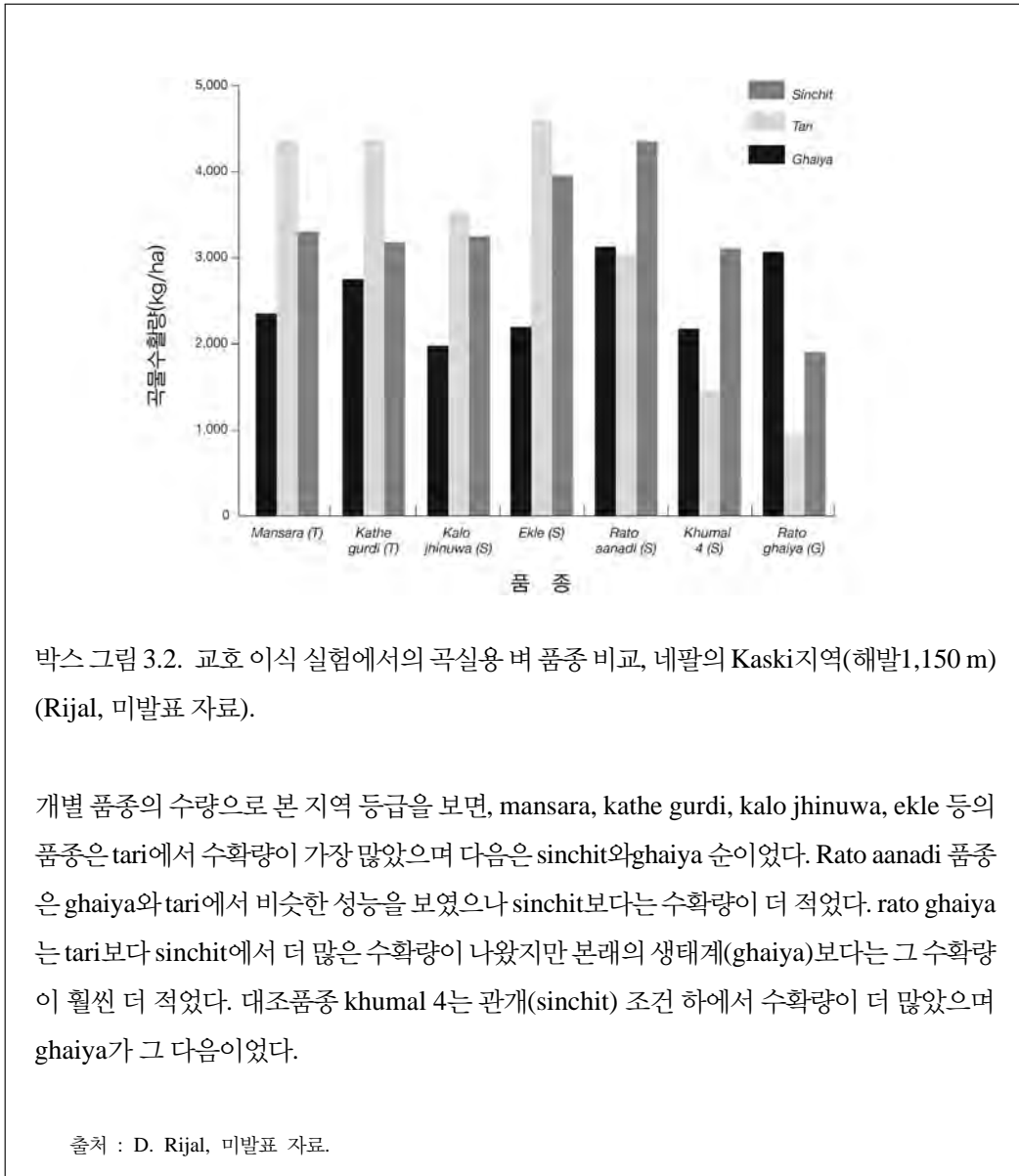
농민들은 보통의 경우 특정 생산 공간에서 품종 배치가 최적화되면 신품종을 평가하는 위협을 감수할 수 없다. 네팔에서 다양한 수분과 비옥도 조건 하에서 재래종의 상대적인 성능이 달라지는가와 벼 생태계에 따라 특정 품종이 어떻게 적응하는가를 알아보기 위해 다양한 수분 환경에서 벼 품종의 상대적인 성능을 검정하였다(박스 표 3.2). 즉 수분환경이 다른 세 가지의 벼 생태계, 즉 *ghaiya*(밭벼 생태계), *tari*(천수답 벼 생태계), *sinchit*(관개 벼 생태계)에서 교호 재배를 실시하였다.

결과를 보면 생태계와 품종 간 상호작용은 유의성이 있었고 적응은 품종 특이적이었다(박스 그림 3.2). *tari*와 *ghaiya* 환경에 있던 품종은 원래의 생태계에서 가장 많은 수확량을 낸 반면에, *sinchit* 벼 생태계 품종 중에서는 *rato anadi*와 *khumal 4*만이 원래의 생태계에서 가장 많은 수확량을 보였다. *tari* 벼 생태계(천수답 조건)의 *kalo jhinuwa*와 *ekle* 품종은 원래의 환경 이외의 지역에서 훨씬 더 많은 수확량을 보였다.

박스 표 3.2. 벼 품종과 수분환경

수분조건 (상이한 농업생태계)	수분환경이 상이한 환경에 자생하는 검정품종	구별되는 특성 및 가치
<i>Ghaiya</i> (밭)	<i>Rato ghaiya</i>	벗집의 가치가 높으며 다비를 요함
<i>Tar</i> (천수답)	<i>Mansara</i>	한계지에서 재배됨, 소비환경, 식미 불량
<i>Sinchit</i> (관개답)	<i>Kathe gurdi</i>	조숙성
	<i>Kao jinuwa</i>	향이 있는 소립
	<i>Ekle</i>	인기 있는 다수성 품종
	<i>Rato aanadi</i>	찰벼
	<i>Khumal 4</i> (대조)	개량 품종

출처 : D. Rijal(2004, 미발표자료)



박스 그림 3.2. 교호 이식 실험에서의 곡실용 벼 품종 비교, 네팔의 Kaski 지역(해발 1,150 m) (Rijal, 미발표 자료).

개별 품종의 수량으로 본 지역 등급을 보면, mansara, kathe gurdi, kalo jhinuwa, ekle 등의 품종은 tari에서 수확량이 가장 많았으며 다음은 sinchit와 ghaiya 순이었다. Rato aanadi 품종은 ghaiya와 tari에서 비슷한 성능을 보였으나 sinchit보다는 수확량이 더 적었다. rato ghaiya는 tari보다 sinchit에서 더 많은 수확량이 나왔지만 본래의 생태계(ghaiya)보다는 그 수확량이 훨씬 더 적었다. 대조품종 khumal 4는 관개(sinchit) 조건 하에서 수확량이 더 많았으며 ghaiya가 그 다음이었다.

FCA 방법을 사용하면 농지에서 발견되는 재래종의 존재 여부만을 조사하여 알아낼 수 없는 여러 재래종 간 차이의 크기를 파악하는 데에 도움이 된다. 여기서 제시한 연구 및 기타 출간된 연구들에 공통적인 사항은 한 지역 전체에서 재배되는 소수의 아주 일반적인 품종과 이보다는 훨씬 더 많은 수의 다소 흔한 품종과 한 두 가구에서만 재배하는 상당수의 희귀 품종이 있다는 것이다(Boster 1985; Zimmerer와 Douches 1991; Pham et al. 1999; Tesfaye와 Ludders 2003).

FCA 방법은 유전자원을 수집하는 동안 대립인자의 표본추출을 위해 Marshall과 Brown(1975) 그리고 Brown(1978)이 제안한 것과 유사한 접근 방식을 취한다. Marshall과 Brown은 표본 추출에서 우선시할 가치가 있는 것은 분포가 제한적 또는 국지적이지만 빈도가 높은 대립인자이며, 이러한 표본 추출 기술은 식물 유전자원 수집에 광범위하게 이용되어 왔다고 주장하였다. 그러나 이 방법을 재래종 차원에서 어떻게 적용할 것인가? 어떤 재래종을 많은 농민들이 많은 지역에 걸쳐 재배하고 있다면 이는 널리 보급되었다고 할 수 있을 것이다. 그래서 좁은 지역에서 많은 농민들이 재배하는 재래종을 집중적으로 선택하여 보존의 우선 순위로 삼게 되는 것이다. 그러나 이런 종류의 재래종들은 많은 농민들이 많은 좁은 지역에서 재배하기 때문에 멸실 위험이 그다지 높지 않다는 사실에도 주목을 해야 한다.

몇몇 농민들만이 제한된 지역에서 재배하는 재래종은 매우 국지적으로 분포한다고 말할 수 있다(적은 수의 농민들과 좁은 지역). 이들 재래종은 독특한 것으로 간주할 수 있으며, 큰 위협에 처해 있을 수 있다. 그러므로 이 같은 품종은 현지의 보존이 중요한데, 그것은 이처럼 독특한 유전자원을 농지에서 보존하는 일은 비용에 비하여 효율이 떨어지기 때문이다. 이것은 또한 농지내 보존과 현지의 보존을 연결하는 시발점이다. 이러한 유전자원의 농지내 보존을 평가하자면, 여러 해에 걸쳐 그 생존에 대한 더 많은 정보를 확보해야 할 것이다.

소수의 농민들이 넓은 면적에서 재배하는 재래종은 어느 정도 농지 보존을 고려할 필요가 있다. 이런 재래종에는 적응성 유전자 조성이 있어서 특별한 적응 능력이 갖춰졌을 수가 있기 때문이다. 또한 이들 품종은 농지에서의 생존 기회가 확보되어 있으며, 지속적인 진화의 기회가 주어져 있으며 농지에서 보존하는 것이 비용 면에서 효율적이다. 마지막으로 많은 농민들이 넓은 면적에서 재배하는 재래종은 오래되지 않은 품종일 가능성이 높으며 소실의 위험이 없다고 할 수 있을 것이다. 이런 재래종의 현지 보존은 더 중요한 재래종의 보존이 확보된, 가까운 장래에 고려해 볼만한 후보들이다.

지역적 다양성에 대한 재래종의 대표성

본 장에서는 농가 품종의 풍부도나 수가 증가한다고 해서, 반드시 다양성 정도(대립 유전자의 풍부도)가 같은 비율로 증가하지는 않음을 보여주는 몇 가지 증거를 제시했다. 어떤 마을의 소수 품종에 포함되어 있는 유전적 다양성이 품종 수가 많은 마을에 있는 유전적 다양성과 그 양이 비슷할 수도 있으며, 어떤 마을에는 그 지역전체의 유전자원이 가진 특성의 대부분이 있을 수도 있다.

한 지점은 그 지역 내 다양성을 어느 정도 대표할 수 있는가? 하나의 연구 지점(Yaxcaba, Yucatán 반도 Yucatán 지방)이 옥수수 다양성을 얼마나 잘 대표할 수 있는지를 알아보기

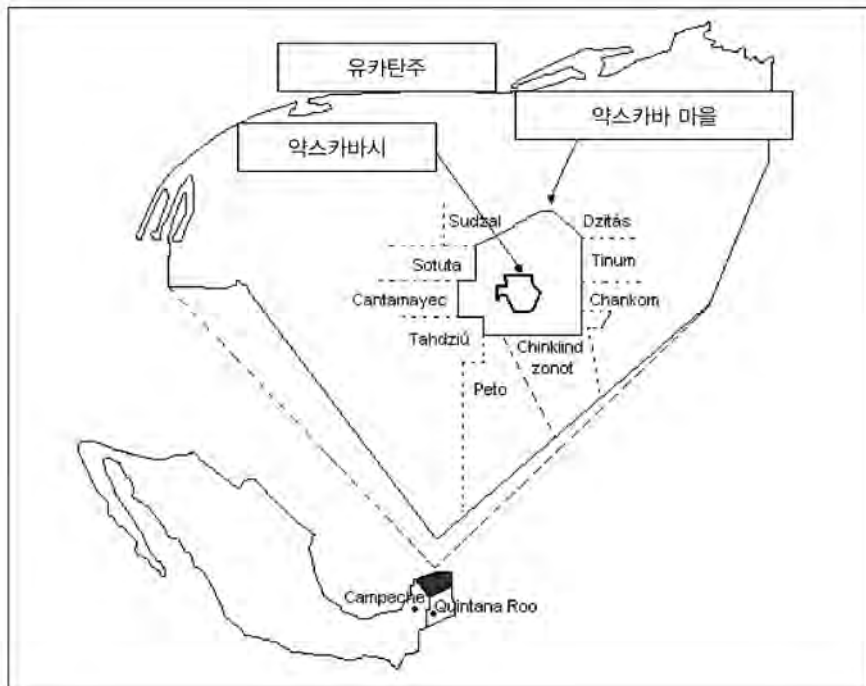
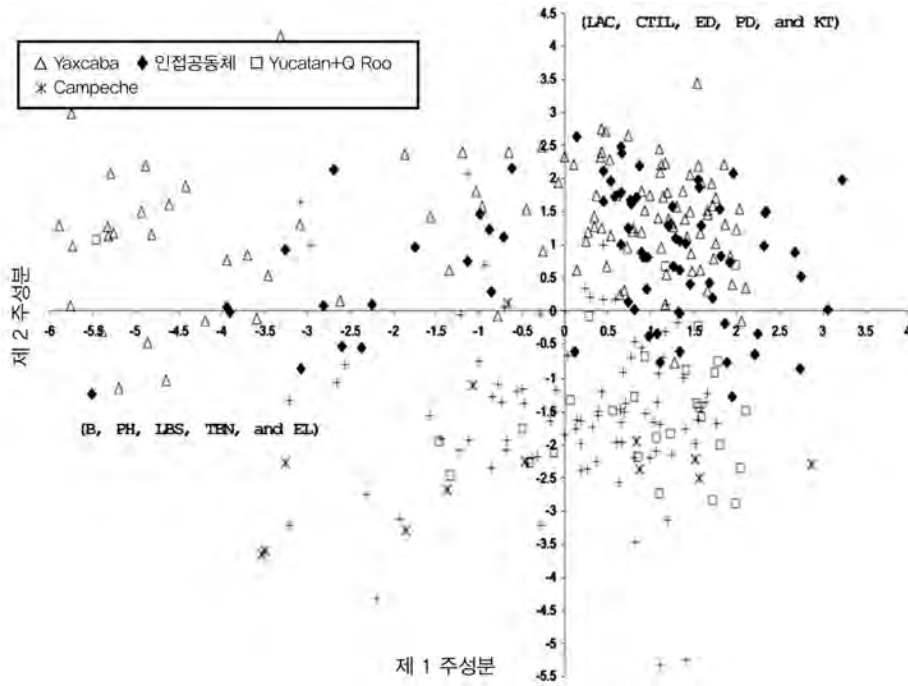


그림 3.5 - (a) Yucatan 반도의 314개 옥수수 개체군 분포도를 보여주는 첫 두 주성분의 산포도. 1999년 Yucatán 반도의 3개 주인 Yucatán State, Quintana Roo State, Campeche State에서 옥수수 집단들을 수집하였다. 314개 집단 중 182개는 Yucatán 반도의 지리적, 문화적 중심에 위치한 Yaxcaba 마을과 그 이웃 공동체에서 수집하였다. 이 집단들은 34개의 형태학적, 생물기후학적 형질에 대하여 특성조사를 하였다. 축 1(주성분 1)은 기본적으로 개화기(B), 초장(PH), 분지부위의 길이(LBS), 총 수염 분기 수(TBN), 이삭 길이(EL) 등으로 산출하였다. 축 2(주성분 2)는 그 고유벡터에 따라 속대 위쪽의

있(LAC), 중앙 이삭의 절간장(CTIL), 이삭 직경(ED), 수의 직경(PD), 낱알 조직(KT) 등으로 산출하였다. Yucatán 반도의 옥수수 집단간 차이를 나타내는 주요 형태학적 특징에는 옥수수 수염(길이, 분기, 마디 사이), 이삭(모양, 길이, 직경, 고갱이), 낱알(두께, 조직)과 같은 생식관련 형질들이 있다. 그래프에서 보듯이, Yaxcabá와 그 이웃 공동체의 옥수수 집단들은 속대 위쪽의 있(LAC), 중앙 이삭 절간장(CTIL), 이삭 직경(ED), 고갱이의 직경(PD), 낱알 조직(KT) 등으로 산출한 제2 주성분 축을 따라 형태학적 다양성의 거의 전부에 걸쳐 분포되어 있다. 개화기(B), 초장(PH), 분기부위의 길이(LBS), 총 수염 분기 수(TBN), 이삭 길이(EL) 등으로 산출한 제1 주성분은 Quintana Roo 및 Campeche State 재래종과 Yucatán State의 재래종 간의 차이를 확실히 보여준다(Chavez-Servia et al. 2000; Chavez-Servia, Camacho, and Burgos-May, 미발표 자료). 인접 공동체 =인접한 시 Q. Roo=Quintana Roo; Yaxcaba=연구대상 시 (b) 연구 대상인 옥수수 표본 수집지의 지도. Yucatan 반도에는 Yucatán, Campeche, Quintana Roo 등의 3개 주가 있다.

위해, Chavez와 동료들(Chavez et al. 2000; Camacho-Villa and Chavez-Servia 2004)은 Yucatán 반도 내 3개 주 모두에서 수집한 314개 옥수수 품종의 농업형태학적 다양성을 Yaxcaba 지점(유카탄 반도의 유카탄성 소재)의 15개 옥수수 재래종과 비교하였다. 첫 두 주성분의 공간적 분포를 보면 Yaxcaba의 옥수수 표본은 변이가 매우 크다는 것이 특징임을 보여주었다. Yaxcaba의 15개 재래종에 있는 농업형태학적 형질의 다양성은 Yucatán 반도 전체에 존재하는 거의 모든 농업형태학적 변이를 포함하고 있었다(그림 3.5).

이와 비슷하게, 모로코의 주요 잠두 재배 지역에서 수집한 품종들을 대표하는 312개 잠두 계통에 대해 농업형태학적 특성 평가 결과, 북부의 두 지방에서 수집한 잠두에 다양성의 대부분이 들어있는 것으로 나타났다(Belqadi 2003). 유전적 다양성은 지리적 위치와 관련이 있는 듯 보이며, 지방에 따라 농민들의 영농방법에 차이가 있어서 그렇게 되는 것인지를 탐구하는 것도 흥미로운 일이 될 것이다.

결론

몇 나라 및 여러 작물에서 농민이 명명한 품종과 유전적 구별성 사이의 관계에 대하여 조사한 결과의 핵심은 농민이 관리하는 작물 다양성 단위의 특징이 (집단별로 구분하여 관리를 하지만) 예를 들어 그저 콩이라는 작물명을 모든 품종에 적용하는 경우에서부터 동반하는 일련의 특성에 따라 변화를 주면서 지역 특이적 명칭을 붙이는 데에 이르기까지 다양할 수 있다는 사실을 인식하게 해 준 것이다. 명칭이 농민 관리의 다양성 수준을 나타낼 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다는 것을 인식함으로써 농민들이 농지에서 다양성을 어떻게 관리하는 지를 이해하기 위한 방법을 정리하는 데에 도움을 얻게 되었다. 명칭이 농민이 관리하는 재래종의 다양성 수준을 명확하게 반영한다면, 이 명칭은 보존을 위한 단위로 사용될 수 있을 것이다. 반면에 이 명칭이 농민이 관리하는 단위와 일치하지 않는다면, 다른 변수를 추가하여 보존을 위한 단위를 정확하게 정의해야 한다. 뚜렷하게 구분되는 재래종 모두를 "지방종"이라고 부른다면, 이러한 자원을 정의하기 위해서는 마을이나 가구의

명칭을 등식에 포함시켜야 할 것이다.

마을이나 지역에서 희귀 명칭을 가진 품종들이 흔한 동일품종에서 선발된 것일 수 있으며, 흔한 품종이 희귀 명칭의 품종들에 있는 모든 다양성을 포함할 수도 있다. 이러한 문제에 대한 분석을 위해서는 일련의 희귀 품종을 흔한 품종과 비교 조사하는 작업을 필요로 한다. 농민이 인식하는 단위(자신들이 품종으로 이름 부르는)와 이들이 관리하는 시스템 내의 유전적 다양성의 정도 사이의 연관을 이해하기 위해서는 이러한 질문이 제기된다. 마을이나 지역 전체로 널리 사용되는 품종이 덜 일반적인 품종보다 변이가 더 큰지는 밝혀지지 않았다. 이름이 다르다는 것은 특성 차이(그리고 다양성의 분포 가능성)와 관련이 있을 가능성이 크며, 모든 품종들이 유사한 정도의 대립인자 변이를 가지고 있을 가능성이 있다. 만약 농민들이 보존하고 있는 그 지역에서 흔한 품종이 그 지역의 흔한 대립인자를 가장 많이 가지고 있고 농민들이 보존하고 있는 희귀 품종들이 사실은 이 흔한 품종에서 선발된 것이라면, 흔한 품종만 유지하면 충분한가를 묻게 될 것이다. 한 지역에서 흔한 품종이 독특한 특성 때문에 그 지역의 모든 농민들에게 특별히 중요하게 여겨진다면, 이 품종은 그 지역에서의 적응성 면에서 중요한 일반적 대립인자의 보유 비율이 높을 것으로 기대할 수 있다. 그러므로 농지에서 이러한 지역적으로 흔한 품종을 유지하도록 지원하는 일이 오늘날 농민의 지속적인 사용과 향후 인류의 잠재적 사용을 위해서 특히 중요하다고 할 수 있다.

사사

이상의 내용은 IPGRI에서 지원한 “농장의 농업 생물다양성 현지내 보존을 위한 과학적 기반 강화” 프로젝트의 결과물이다. 스위스(SADC), 네덜란드(DGIC), 독일(BWZ/DGT), 캐나다(국제개발 연구센터), 일본(JICA), 스페인, 페루 등 각국에서 본 연구를 재정적으로 지원해 준 것에 감사드린다. A. H. D. Brown 박사께는 이 원고를 검토해 준 것에 감사드리고 J. L. Pham 박사께는 농가에서 다양성을 평가할 때 품종 이름에 대한 아이디어 제공에 대해 감사드린다.

참고 문헌

- Arias, L. 2004. Diversidad genetica y conservacion in situ de los maices locales de Yucatan, Mexico [Genetic Diversity and In Situ Conservation of Local Maize in Yucatan, Mexico]. PhD thesis, Instituto Tecnologico de Merida, Yucatan, Mexico.
- Arias, L., J. Chavez, B. Cob, L. Burgos, and J. Canul. 2000. Agro- morphological characters

- and farmer perceptions: Data collection and analysis. Mexico. In D. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 95-100. Rome: IPGRI.
- Bajracharya, J. 2003. Genetic Diversity Study in Landraces of Rice (*Oryza sativa* L.) by Agro- morphological Characters and Microsatellite DNA Markers. PhD thesis, University of Wales, Bangor, UK.
- Bajracharya, J., K. A. Steele, D. I. Jarvis, B. R. Sthapit, and J. R. Witcombe. 2006. Rice landrace diversity in Nepal. Variability of agro- morphological traits and SSR markers in landraces from a high altitude site. *Field Crop Research* 95:327-335.
- Bellon, M. R. and S. B. Brush. 1994. Keepers of the maize in Chiapas, Mexico. *Economic Botany* 48:196-209.
- Bellon, M. R. and J. E. Taylor. 1993. "Folk" soil taxonomy and the partial adoption of new seed varieties. *Economic Development and Cultural Change* 41(4):763-786.
- Belqadi, L. 2003. Diversite et ressources genetiques de *Vicia faba* L. au Maroc: Variabilite, conservation ex situ et in situ et valorisation. Doctorat de these es- sciences agronomiques, Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Rabat, Morocco.
- Benchechou, Z. 2004. Analyse de la structure de la diversite genetique de la feve in situ en relation avec sa gestion a la ferme: Contribution au developpement des bases scientifi ques pour la conservation in situ de la feve au Maroc. Memoire de 3eme cycle du diplome d'ingenieur d'etat en agronomie, Option: Amelioration Genetique des Plantes. Rabat, Morocco: Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II.
- Boster, J. S. 1985. Selection for perceptual distinctiveness: Evidence from Aguaruna cultivars of *Manihot esculenta*. *Economic Botany* 39(3):310-325.
- Bouzeggaren, A., A. Birouk, S. Kerfal, H. Hmama, and D. Jarvis. 2002. Conservation in situ de la biodiversite des populations noyaux de luzerne locale au Maroc. In A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune, and D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversite agricole: Un defi pour une agriculture durable*. Rome: IPGRI.
- Brown, A. H. D. 1978. Isozymes, plant population genetics structure and genetic conservation. *Theoretical and Applied Genetics* 52:145-157.
- Brown, A. H. D. 2000. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farms. In S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 29-48. Ottawa, Canada:

idrc/ipgri/Lewis Publishers.

- Brown, A. H. D. and C. Brubaker. 2002. Indicators for sustainable management of plant genetic resources: How well are we doing? In J. M. M. Engles, V. R. Rao, A. H. D. Brown, and M. T. Jackson, eds., *Managing Plant Genetic Diversity*, 249–262. Rome: IPGRI and Wallingford, UK: CABI.
- Brush, S., R. Kesseli, R. Ortega, P. Cisneros, K. Zimmerer, and C. Quiros. 1995. Potato diversity in the Andean Center of Crop Domestication. *Conservation Biology* 9(5):1189–1198.
- Burgos-May, L. A., J. L. Chavez- Servia, and J. Ortiz- Cereceres. 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatan, Mexico. In J. L. Chavez- Servia, J. Tuxill, and D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 58–66. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Busso, C. S., K. M. Devos, G. Ross, M. Mortimore, W. M. Adams, M. J. Ambrose, S. Alldrick, and M. D. Gale. 2000. Genetic diversity within and among landraces of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under farmer management in West Africa. *Genetic Resources and Crop Evolution* 60:1–8.
- Camacho-Villa, C. and J. L. Chavez- Servia. 2004. Diversidad morfológica del maíz criollo de la región centro de Yucatan, Mexico. In J. L. Chavez- Servia, J. Tuxill, and D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 47–57. Cali, Colombia: Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos.
- Canh, N. T., T. V. On, N. V. Trung, C. A. Tiep, and H. V. Lam. 2003. Preliminary study of genetic diversity in rice landraces in Ban Khoang Commune, Sa Pa District. In H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit and D. I. Jarvis, eds., *On- Farm Management of Agricultural Biodiversity in Vietnam*. Proceedings of a symposium, December 6–12, 2001, Hanoi, Vietnam. Rome: IPGRI.
- Cazarez- Sanchez, E. 2004. Diversidad genética y su relación con la tecnología de alimentos tradicionales. MS thesis, Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, Mexico.
- Cazarez- Sanchez, E. and J. Duch- Gary. 2004. La diversidad genética de variedades locales de maíz, frijol, calabaza y chile, y su relación con características culinarias. In J. L. Chavez- Servia, J. Tuxill, and D. I. Jarvis, eds., *Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*, 250–255. Cali, Colombia: Instituto Internacional

de Recursos Fitogeneticos.

- Chavez- Servia, J. L., L. Burgos- May, J. Canul- Ku, T. C. Camacho, J. Vidal- Cob, and L. M. Arias- Reyes. 2000. Analisis de la diversidad en un proyecto de conservacion in situ en Mexico [Diversity analysis of an in situ conservation project in Mexico]. In Proceedings of the XII Scientific Seminar, November 14–17, 2000, Havana, Cuba.
- Gauchan, D., M. Smale, and P. Chaudhary. 2003. (Market-Based) Incentives for Conserving Diversity on Farms: The Case of Rice Landraces in Central Terai, Nepal. Paper presented at the fourth Biocon Workshop, August 28–29, 2003, Venice, Italy.
- Grum, M., E. A. Gyasi, C. Osei, and G. Kranjac- Berisavljevic. 2003. Evaluation of Best Practices for Landrace Conservation: Farmer Evaluation. Paper presented at Sub-Saharan Africa Meeting, Nairobi, 2003.
- Hai, V. M., H. Q. Tin, and N. N. De. 2003. Agromorphological variation of Mon Sap taro populations in the Mekong Delta, Vietnam: Role of on- farm conservation. In H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit, and D. I. Jarvis, eds., On- Farm Management of Agricultural Biodiversity in Vietnam. Proceedings of a symposium, December 6–12, 2001, Hanoi, Vietnam. Rome: IPGRI.
- Hamrick, J. L. and M. J. W. Godt. 1997. Allozyme diversity in cultivated crops. *Crop Science* 37:26–30.
- Harlan, J. R. 1975. Our vanishing genetic resources. *Science* 188:618–621.
- Hue, N., L. Trinh, N. Ha, B. Sthapit, and D. Jarvis. 2003. Taro cultivar diversity in three ecosites of North Vietnam. In H. D. Tuan, N. N. Hue, B. R. Sthapit, and D. I. Jarvis, eds., On- Farm Management of Agricultural Biodiversity in Vietnam. Proceedings of a Symposium, December 6.12, 2001, Hanoi, Vietnam. Rome: IPGRI.
- Jarvis, D., L. Myer, H. Klemick, L. Guarino, M. Smale, A. H. D. Brown, M. Sadiki, B. Sthapit, and T. Hodgkin. 2000. A Training Guide for In Situ Conservation On-Farm. Version1. Rome: IPGRI.
- Jarvis, D. I., V. Zoes, D. Nares, and T. Hodgkin. 2004. On- farm management of crop genetic diversity and the Convention on Biological Diversity's Programme of Work on Agricultural Biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 138:5–17.
- Karamura, D. A. 1999. Numerical Taxonomic Studies of the East African Highland Bananas (Musa AAA.East Africa) in Uganda. Montpellier, France: INIBAP
- Karamura, D. 2004. Estimation of Distinct Clones in the Uganda National Banana

Germplasm Collection. Presentation at "Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On- Farm," September 20–24, 2004, Rome.

Karamura, D. and E. Karamura. 1994. A Provisional Checklist of Banana Cultivars in Uganda. Kampala, Uganda: National Agricultural Research Organization (NARO) and INIBAP.

Karamura, D., E. Karamura, J. Wasswa, B. Kayiwa, A. Kalanzi, and C. Nkwiine. 2004. Analysis of Community Banana Based Management Practices: A Farmers' Perspective Towards Maintaining Diversity. Pre sen ta tion at "Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On- Farm,"September 20–24, 2004, Rome.

Latournerie Moreno, L., J. Tuxill, E. Yupit Moo, L. Arias Reyes, J. Crisotbal Alejo, and D. I.Jarvis. 2006. Traditional maize storage methods of Mayan farmers in Yucatan, Mexico: Implication for seed selection and crop diversity. *Biodiversity and Conservation*, 15(5): 1771–1795.

Lope, D. 2004. Gender Relations as a Basis for Varietal Selection in Production Spaces in Yucatan, Mexico. M.S. thesis, Wageningen University, The Netherlands.

Louette, D., A. Charrier, and J. Berthaud. 1997. In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economic Botany* 51:20–38.

Mar, I. and L. Holly. 2000. Hungary. Adding benefi ts. In D. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientifi c Basis for Sustainable Agriculture*, 194–198. Rome: IPGRI.

Mar, I., A. Simon, and A. Gyovai. 2004. Data Variables on Percent Coverage, Number of Farmers, Mea sure ments of Richness and Evenness in Maize and Beans in Hungary. Pre sen ta tion at "Workshop on Data Variables and Structure to Answer Questions That Support the Conservation and Use of Crop Genetic Diversity On- Farm," September, 20–24, Rome.

Marshall, D. R. and A. H. D. Brown. 1975. Optimal sampling strategies in genetic conservation. In O. H. Frankel and J. G. Hawkes, eds., *Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow*, 53–80. Cambridge: Cambridge University Press.

Martin, G. B. and M. W. Adams. 1987. Landraces of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in

- northern Malawi. I. Regional variation. *Economic Botany* 41:190–203.
- Morales-Valderrama, C. and T. Quinones-Vega. 2000. Social, cultural and economic data collection and analysis including gender: Methods used for increasing access, participation and decision-making. In D. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 49–50. Rome: IPGRI.
- Mulumba, W. J., C. Nkwiine, K. B. Male, A. Kalanzi, and D. Karamura. 2004. Evaluation of farmers' best practices for on-farm conservation of rare banana (*Musa*) landraces in the semi- arid region of Lwengo sub-county, Masaka district. Uganda. *Uganda Journal of Agriculture* 9(1):275–281.
- Pandey, Y. R., D. K. Rijal, M. P. Upadhyay, B. R. Sthapit, and B. K. Joshi. 2003. In situ characterization of morphological traits of sponge gourd at Begnas ecosite, Kaski, Nepal. In B. R. Sthapit, M. P. Upadhyaya, B. K. Baniya, A. Subedi, and B. K. Joshi, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 63–70. Proceedings of a national workshop, April 24–26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI-BIRD/ IPGRI.
- Pham, J. L., S. Quilloy, L. D. Huong, T. V. Tuyen, T. V. Minh, and S. Morin. 1999. Molecular Diversity of Rice Varieties in Central Vietnam. Paper presented at the workshop of the participants of the project "Safeguarding and Preserving the Biodiversity of the Rice Genepool. Component II: On-Farm Conservation," May 17–22, 1999, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Pressoir, G. and J. Berthaud. 2004. Patterns of population structure in maize landraces from the Central Valleys of Oaxaca in Mexico. *Heredity* 92:88.94.
- Quiros, C. F., S. B. Brush, D. S. Douches, K. S. Zimmerer, and G. Huestis. 1990. Biochemical and folk assessment of variability of Andean cultivated potatoes. *Economic Botany* 44(2):254–266.
- Rana, R. B. 2004. Influence of Socio- Economic and Cultural Factors on Agrobiodiversity Conservation On-Farm in Nepal. PhD thesis, International and Rural Development Department, University of Reading.
- Rh'rib, K., A. Amri, and M. Sadiki. 2002. Caracterisation agro morphologique des populations locales d'orge des sutes Tanant et Taounate. In A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune, and D. Jarvis, eds., *La conservation*

in situ de la biodiversite agricole: Un defi pour une agriculture durable, 286-294. Rome: IPGRI.

Rijal, D. K., B. R. Sthapit, R. B. Rana, and D. I. Jarvis. 2003. Adaptation and uses of taro diversity in agroecosystems of Nepal. In B. R. Sthapit, M. P. Upadhyaya, B. K. Baniya, A. Subedi, and B. K. Joshi, eds., *On-Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 29-36. Proceedings of a national workshop, April 24-26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI-BIRD/ IPGRI.

Sadiki, M., M. Arbaoui, L. Ghaouti, and D. Jarvis. 2005. Seed exchange and supply systems and on- farm maintenance of crop genetic diversity: A case study of faba bean in Morocco. In D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On- Farm*, 81- 86. Proceedings of a workshop, September 16-20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.

Sadiki, M., L. Belqadi, M. Mahdi, and D. Jarvis. 2001. Identifying units of diversity management by comparing traits used by farmers to name and distinguish faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars with measurements of genetic distinctiveness in Morocco. In *Proceedings of the LEGUMED Symposium "Grain Legumes in the Mediterranean Agriculture,"* October 25-27, 2001, Rabat, Morocco. Paris: AEP.

Sadiki, M., A. Birouk, A. Bouizzgaren, L. Belqadi, K. Rh'rib, M. Taghouti, S. Kerfal, M. Lahbhili, H. Bouhya, R. Douiden, S. Saidi, and D. Jarvis. 2002. La diversite genetique in situ du ble dur, de l'orge, de la luzerne et de la feve: Options de strategie pour sa conservation. In A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune, and D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversite agricole: Un defi pour une agriculture durable*, 37-117. Rome: IPGRI.

Sawadogo, M., J. T. Ouedraogo, R. G. Zangre, and D. Balma. 2005. Diversite biologique agricole et les facteurs de son maintien en milieu paysan. In D. Balma, B. Dossou, M. Sawadogo, R. G. Zangre, J. T. Ouedraogo, and D. I. Jarvis, eds., *La gestion de la diversite des plantes agricoles dans les agro- ecosystemes. Compte- rendu des travaux d'un atelier abrite par cnrst, Burkina Faso et International Plant Genetic Resources Institute, Ouagadougou, Burkina Faso, December 27-28, 2001.* Rome: IPGRI .

Schneider, J. 1999. Varietal diversity and farmers' knowledge: The case of sweet potato in Irian Jaya. In G. Prain, S. Fujusaka, and M. D. Warren, eds., *Biological and Cultural Diversity*, 97-114. London: it Publications.

- Sebastian, L. S., J. S. Garcia, L. R. Hipolito, S. M. Quilloy, P. L. Sanchez, M. C. Califo, and J. L. Pham. 2001. Assessment of Diversity and Identity of Farmers' Rice Varieties Using Molecular Markers. Paper presented at the workshop "In Situ Conservation of Agrobiodiversity: Scientific and Institutional Experiences and Implications for National Policies," International Potato Center (CIP), August 14–17, 2001, La Molina, Peru.
- Soleri, D. and D. A. Cleveland. 2001. Farmers' genetic perceptions regarding their crop populations: An example with maize in the central valleys of Oaxaca, Mexico. *Economic Botany* 55(1):106–128.
- Sthapit, B., K. Joshi, R. Rana, M. P. Upadhaya, P. Eyzaguirre, and D. Jarvis. 2000. Enhancing biodiversity and production through participatory plant breeding: Setting breeding goals. In *An Exchange of Experiences from South and South East Asia. Proceedings of the International Symposium on Participatory Plant Breeding and Participatory Plant Genetic Resources Enhancement*, May 1–5, 2000, Pokhara, Nepal. Cali, Colombia: CIAT.
- Taghouti, M. and S. Saidi. 2002. Perception et designation des entites deble dur gerees par les agriculteurs. In A. Birouk, M. Sadiki, F. Nassif, S. Saidi, H. Mellas, A. Bammoune, and D. Jarvis, eds., *La conservation in situ de la biodiversite agricole: Un defi pour une agriculture durable*, 275–279. Rome: IPGRI.
- Tanto, T. 2001. Unpublished data presented at "Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity: Genetic Diversity and On-Farm Conservation Workshop," June 11–19, 2001, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Tesfaye, B. and P. Ludders. 2003. Diversity and distribution patterns of enset landraces in Sidama, southern Ethiopia. *Genetic Resources and Crop Evolution* 50:359–371.
- Teshome, A., B. R. Baum, L. Fahrung, J. K. Torrance, T. J. Arnason, and J. D. Lambert. 1997. Sorghum (*Sorghum bicolor*) landrace variation and classification in North Shewa and South Welo, Ethiopia. *Euphytica* 97:225–263.
- Tuyen, T. V., N. V. Truong, and H. T. T. Hoa. 2003. Farmers' Management of Taro Diversity as a Part of Farming Systems in a Coastal Sandy Area of Phuda. Paper presented at the national workshop "Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity On-Farm," December 6–8, 2002, Ban Me Thuot, Vietnam.
- Voss, J. 1992. Conserving and increasing on-farm genetic diversity: Farmer management

of varietal bean mixtures in central Africa. In J. L. Moock and R. E. Rhoades, eds., Diversity, Farmer Knowledge and Sustainability, 34-51. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Xu, J. C., Y. P. Yang, Y. D. Pu, W. G. Ayad, and P. Eyzaguirre. 2001. Genetic diversity in taro (*Colocasia esculenta* Schott, Araceae) in China: An ethnobotanical and genetic approach. *Economic Botany* 55:14-31. Zimmerer, K. S. 2003. Just small potatoes (and ulluco)? The use of seed-size variation in "native commercialized" agriculture and agrobiodiversity conservation among Peruvian farmers. *Agriculture and Human Values* 20:107-123.

Zimmerer, K. S. and D. S. Douches. 1991. Geographical approaches to native crop research and conservation: The partitioning of allelic diversity in Andean potatoes. *Economic Botany* 45:176-189.

4. 농업생태계 내의 종자시스템과 작물의 유전적 다양성

T. HODGKIN, R. RANA, J. TUXILL, D. BALMA, A. SUBEDI, I. MAR, D. KARAMURA,
R. VALIDVIA, L. COLLARDO, L. LATOURNERIE, M. SADIKI, M. SAWADOGO, A. H.
D. BROWN, D. I. JARVIS

지난 세기에 각국 정부는 개량된 작물 품종의 개발 및 보급을 포함해 농업 부문을 근대화 하는 데에 주요 자원을 쏟아 부었다. 이러한 광범위한 노력에도 불구하고 개발도상국의 대다수 시골 농업사회들은 그 기원이 전통적이거나 비공식적인 종자나 영양체를 계속해서 파종용으로 사용하고 있다 (Gaifani 1992; Hardon and de Boef 1993; Tripp 2001). 이들은 자체적으로 종자를 남겨 두거나 친구, 친척, 이웃, 또는 지방 시장에서 종자를 구한다. 비공식적인 시스템에서는, 현금거래나 물물교환, 선물, 한 품종의 종자와 다른 품종의 종자교환, 수확 후에 갖는 대출, 심지어는 다른 농민의 농지로부터 절취하는 방법 등으로 종자를 얻게 된다(Badstue et al. 2002). 공식적으로 개발한 품종의 종자조차 흔히 정부조직과는 관계없이 그 유지와 보급이 비공식적으로 이루어진다(Mellas 2000; Bellon and Risopoulos 2001).

1999-2000년 네팔에서는 벼 종자 중에서 공식적으로 보증된 것을 구매한 비율은 3% 이하였다. 불키나파소에서는 비공식적인 종자시스템이 광범위하고 양도 많아, 1999년에 수수의 5% 이하만 구매한 것이었으며(Kabore 2000), 멕시코에서는 1999년 옥수수 종자의 25% 이하만이 공식 부문으로부터 구매한 것이었다(Ortega-Paczka et al. 2000). 1999-2000년 사이에 모로코에서는 듀럼밀 종자의 13%와 콩과 식물 종자의 2.5%만이 보증된 종자로, 파종된 대부분의 종자가 지역의 작물 다양성에서 온 것이거나 이전에 구매하여 저장한 종자에서 비롯된 것임을 나타낸다(Mellas 2000). 게다가 세계 여러 곳에서 비공식적인 시스템으로 유통되는 유전자원은 아직도 대부분 전통품종이거나 지방종이다. 멕시코의 옥수수 경작지 중 50% 이상, 네팔의 벼 재배지 50% 이상, 불키나파소의 조 경작지 중 90% 이상을 계속해서 전통 품종이 차지하고 있다 (Upadhaya 1996; Perales 1998; Zangre 1998).

비공식적인 종자시스템의 기능, 특히 응급상황이나 홍수, 가뭄, 전쟁 등과 같은 재해가 발행하였을 때에 사용자의 필요를 만족시킬 수 있는 능력에 관한 많은 연구들이 있었다 (Almekinders et al. 1994; Richards and Ruivenkamp 1997; Sperling 2001). 또 다른 연구들은 비공식적인 종자 네트워크에 관여하는 사회적 조직이나 이들이 농민이 필요로 하는 품종을

공급하는 방법에 관한 것이었다(Weltzien and vom Brocke 2000). 이런 연구의 대부분은 주로 시스템 내 존재하는 자원보다는 종자시스템의 기능에 관한 것이었다. 그 결과 McGuire(2001)는 종자 준비에 관한 과정에 대해 기록하였으며, Dominguez과 Jones(2005)는 농민들이 종자를 생산, 선발, 저장, 획득하는 방법으로서의 종자시스템을 설명하였다. 같은 맥락으로 Almekinders 등(1994)은 생산시스템을 통한 종자 및 기타 파종 재료의 흐름과 이러한 흐름에 있어서의 공식적/비공식적 조직과 농민의 역할에 대하여 논의하였다.

종자시스템은 분명히 농지에서 작물의 유전적 다양성을 유지하는 데에 매우 중요하다. 한 지역 내에서 상이한 품종의 수와 비율, 그 품종들의 공급가능성과 그들간의 관계, 지역 내에서의 이동 등은 보통 그 지역의 비공식적인 종자시스템이 어떻게 기능하느냐에 크게 좌우되는데 (Jarvis et al. 2005), 이 시스템은 매우 동적이어서 해에 따라 달라질 수 있다. 시스템의 성격과 시간이 경과하면서 시스템이 변해가는 양상이 개개 작물의 유전적 다양성에 심대한 영향을 미치는 것으로 보인다. 이 시스템이 유전적 다양성에 영향을 미치는 중요한 요소에는 여러 상이한 종자가 가용성, 접근성 및 근원과 적용되는 유지 및 선발 방법과, 이들 요소가 시간에 따라 겪는 변화의 정도 등이 있다.

특정 작물의 종자시스템은 생산, 시장, 기후의 차이와 가뭄이나 태풍과 같은 큰 재해의 결과로 여러 자원을 이용할 수 있는 가능성(이용도)이 달라지는 정도의 영향을 크게 받기도 한다. 유지단위 역시 큰 차이를 나타낸다. 어떤 경우에는 별도의 집단은 농가별로 따로 유지하지만, 상이한 집단들이 섞이거나 혼합된 후에 새로운 지역으로 퍼져 재배되는 경우도 있다. 자연 도태와 농민의 선발은 모두 다음의 작물 생산에 쓰이는 종자에 상당한 영향을 끼칠 수 있으며, 농민들은 자신의 성, 부유한 정도, 나이 등에 따라 종자의 관리와 신품종의 도입에 대한 관점 및 방식이 다를 수 있다. 특정 품종이 발생하는 지역 역시 크게 다를 수 있어, 어떤 품종은 매우 지역적으로 보존되는 반면, 다른 품종들은 여러 지역이나 여러 나라에 걸쳐 널리 확산되어 있는 매우 광범위한 종자시스템의 일부가 되기도 한다(Louette et al. 1997; Zimmerer 2003; Valdivia 2005).

본 장에서는 농지에서의 보존에 관한 국제식물유전자원연구소(IPGRI) 글로벌 프로젝트의 결과(Jarvis and Hodgkin 2000)와 기타의 종자시스템 및 유전적 다양성에 관한 정보를 검토한다. 종자시스템의 여러 요소(예: 종자 출처, 종자 흐름, 종자 생산, 농민 선택, 종자 저장 등)의 작용을 농지에서의 작물 품종 집단의 유전적 구조를 형성하는 진화적 추동력과 연관해서 살펴본다. 종자시스템이 그 특성에 따라 유전자 흐름, 이동, 선발, 돌연변이, 재조합 등에 미치는 영향이 어떻게 달라지는지도 검토한다. 마지막으로 종자시스템이 작물 다양성 보존에 기여하는 방법에 대해 논의하고, 농업시스템이 심화되어 가는 데에서 작물이 적응 능력을 잘 유지하자면 종자시스템이 어떠한가 되는가라는 질문을 던진다.

집단구조와 번식체계

전통 품종은 개별적 농민들이 유지하는 수많은 종자 로트로 구성된다. 종자시스템에 대한 분석이 항상 안고 있는 첫 번째 문제는 다른 종자 로트들이 실제로 동일 품종에 속하는지를 파악하고 품종 명칭과 유전적 구성 사이의 관계를 구명하는 것 즉 정체성에 대한 것이다. 이것은 한 지역 내 농민들이 명칭을 사용하며 정체성을 이해하는 방식을 이해하는 것이기도 하다(3장 참조). 멕시코의 옥수수에 관한 연구에서, Louette 등(1997)은 로트는 파종하는 농민과 연관되어 있는 낱알의 물리적 단위라고 정의하였으며, 품종은 이름이 같거나 원산지 또는 특징을 공유하는 일련의 종자 로트라고 정의하였다. Sadiki 등(2005; 3장)은 농민들이 품종을 확인하기 위해 지속적으로 사용하는 특성들을 파악할 수 있었으며, 이들 특성이 품종의 관리, 유지, 개발 등에 관한 사항을 분석하는 데에 효과적인 근거가 될 것이라는 제안을 하였다.

종자시스템의 유전적 다양성을 분석하는 데에는 작물 지방종보다 상위인 집단의 구조와 종자의 생산 및 공급 과정에 대한 파악이 필요하다. 이에 한 지역 내에 재배되는 품종을 구성하는, 그 정도는 다르지만 부분적으로 격리되어 있는 아집단들의 네트워크 규모와 연계성에 대한 분석이 포함된다. 네트워크의 구성요소 간 연계는 종자 공급 시스템이나 시스템을 통한 종자 흐름에서 비롯한다. 종자 개별 로트는 상이한 장소에 적응하게 되며 농민들은 각자 나름의 선발을 하기 때문에, 종자 로트들은 서로 달라질 것이다. 이는 종자의 교환이나 판매, 또는 시장이나 다른 공급원으로부터의 유전자원 공급을 통해 균형이 이루어질 것이다.

전통 품종의 유전적 구조를 결정하는 기본 요소는 작물의 번식체계이다(Brown 2000). 벼, 밀, 보리 등과 같은 많은 작물들은 주로 자가 수분하는 반면, 진주조, 옥수수 등과 같은 작물들은 타가 수분한다. 감자, 카사바, 바나나, 기타 과수 작물 등은 무성적으로 번식하여 종자 생산은 드물거나 없다. 자가 수분하는 작물이라도 전적으로 자가수분만 하는 경우는 드문데, 벼 같은 작물의 경우는 타가수분의 비율이 낮지만 수수나 잠두의 경우에는 상당한 정도에 이를 수 있다(예: 잠두의 경우 84%; Bond and Poulsen 1983).

개별 품종의 특별한 속성 즉 특성을 유지하는 것은 자가수분이나 무성번식 작물에서는 쉬운 반면, 품종이 구비한 특정한 복합형질을 유지하는 일이 타가수분 작물의 경우에는 더 문제가 돼 보인다. 다른 품종이 심긴 인접 농지 간의 유전자 이동은 일반적인 일인데(Louette et al. 1997), 이는 품종의 파악된 특성을 유지하기 위해서는 각 세대마다 선발을 해야 한다는 것을 암시한다. Yadav 등(2003)은 방임수분작물인 수세미오이의 경우에 네팔의 개별 농가는 한두 개체만으로 된 매우 적은 집단을 재배하지만, 공동체 차원에서는 5개의 상이한 형태가 유지되고 있음을 보여주었다. 근교약세를 조절하기 위해서는 농가 간에 충분한 유전자 이동이 일어나면서, 동시에 형태의 정체성을 유지하기 위한 농민 선발이 있어야 한다.

대부분의 무성번식 작물에서 "종자"란 사실은 식물의 다른 부분이므로(예를 들면 감자나 양의 경우 괴경, 토란의 경우 구경, 바나나의 경우 무성번식하는 눈), 품종 내 변이는 매우 제한적일 것이다(감자의 품종 내 변이에 관한 정보는 Brush et al. 1995, Zimmerer와 Douches 1991 참조). Karamura 등(2005)은 토양 구조, 영양분, 물의 가용성 등과 같은 식물 주변의 모든 것이 세기에 따라 변화해 온 반면, 바나나의 유전적 구성은 그만큼 변화하지 않았을 것이므로, 여기에 시스템의 지속가능성에 대한 시사점이 있을 것으로 보았다. 이는 농민이 살충제, 제초제, 비료 등을 사용함에 따라 짧은 기간에 빠른 변화가 일어나는 곳에서 특히 중요할 수 있다.

종자시스템 및 진화력의 작용

종자의 출처, 종자의 흐름, 종자의 생산, 농민의 선발, 종자의 저장 등과 같은 종자시스템 구성요소는 식물 집단의 유전적 조성을 유지하거나 변화시키는 진화력에 대한 영향을 통하여, 전통적인 농업시스템에서 유전적 다양성의 폭과 분포에 주요한 영향을 끼친다. 그 힘이란 개체군 규모, 병목요인, 유전적 부동에 대한 영향력, 종자의 교환과 화분의 흐름을 모두 포함하는 이동, 새로운 유전자나 유전자 조합을 창출하는 재조합 및 돌연변이, 환경적 힘이나 인간 행위의 결과로 일어나는 선발 등이다.

집단의 규모, 병목요인 및 유전적 부동 :

종자를 구성하는 집단의 수 및 규모

품종이나 종자 로트를 구성하는 집단의 규모는 상황과 작물에 따라 매우 크게 달라진다. 앞서 언급한 것처럼 네팔의 수세미오이 집단은 매우 적고, 농가별로는 10개 개체 이상을 거의 심지 않는다(Watson and Eyzaguirre 2002; Mar et al. 2005). 많은 텃밭 작물의 경우도 이와 같다. 반면 농민들은 벼나 보리와 같은 단일 작물 품종을 수천 개체씩 심는다.

집단 규모는 작물에 따라 현저한 차이가 있을 뿐만 아니라, 단일 품종에서도 연차간 변화도 상당할 수 있다. 또한 품종별 농지의 규모 및 배치에 관한 농민의 결정이 전체 집단의 규모 및 구조에 큰 영향을 끼칠 것이다. 약 100 가구가 사는 태국의 Ban Mae Moot 마을에서는, 몇몇 품종이 심겨지는 필지 수가 해에 따라 매우 크게 변하였다. 가장 널리 심기는 두 품종은 2001년과 2002년간에 변동이 없이 유지된 반면, 2001년 한 지역에서만 세 개 필지에서만

재배되던 한 품종은 2002년에 마을의 총 5개 재배 지역 농민 16명이 재배하면서 세 번째로 보편적인 품종이 되었다. 이 경우에 확대 재배에 필요한 추가적인 종자는 한 농민이 공급했으며, 새로 심은 농민들은 추후를 대비해 자신의 종자를 비축하였다(K. Rerkasem, pers. comm., 2003).

품종의 분포 범위(및 집단의 규모)의 극적인 감소 역시 희귀한 것은 아니다. Chaudhary 등(2004)은 재래 벼 한 품종을 유지한 농가의 수가 한 해에 16에서 3으로 감소하였다고 기록하였다(같은 해에 보존된 전통 품종의 수는 22개에서 15개로 떨어졌다). 농민 수(혹은 아집단의 수)의 변화 뿐만 아니라, 마을 및 개개 농장 수준에서 생산 면적에 큰 변화가 일어날 수 있다.

집단 규모에 관한 농민 결정 역시 정부 규제에 의해 통제될 수 있다. 헝가리에서는 종자 법령으로 옥수수 재래 품종은 넓은 농지에 심지 못하게 하고 좁은 지역이나 텃밭으로 한정하기 때문에, 옥수수 품종의 집단 규모가 통제된다(Mar et al. 2005).

품종을 재배하는 농민 수가 급격히 줄었다가 다시 증가하면 유전적 다양성의 손실과 관련이 있는 유전적 병목현상이 흔히 만들어진다. 이 같은 상황은 멕시코의 콩 사례와 같이, 지역 종자의 가용성이 심각하게 제한을 받게 되는 홍수나 태풍과 같은 재해의 결과로 발생할 수 있다. 소규모 집단을 장기적으로 유지하면 역시 유전적 다양성은 감소되는 것 같다. 집단의 규모가 다양성에 미치는 영향을 고려할 때, 우리는 종자 로트(개별 농민들이 유지하는 집단)의 크기와 품종 전체(여러 종자 로트를 합한 집단)의 크기를 모두를 생각해 보아야 하며, 시간이 경과하면서 로트들 사이에서 발생하는 교환 및 혼합 정도도 고려할 필요가 있다.

개별 종자 로트가, 한 품종의 단일한 대규모 집단의 구성과 관계를 맺는 방식 또한 작물의 번식 체계와 지역 내 생산 단위의 물리적 성질에 따라 달라진다. 농민의 농지는 크거나 작을 수 있으며 서로 가깝거나 개별적으로 멀리 분리되어 있을 수 있다. 이러한 구조는 타화수정의 정도에 따라 작물의 유전적 다양성에 광범위한 영향을 끼칠 수 있다. Qualset 등(1997)은 농지 소유 규모가 작으면 품종 집단이 서로 분리되고, 그로 인해 자연적 재조합에 의한 새로운 유전자원 발생은 적어진다고 주장했다. 생물지리학적 이론(McArthur and Wilson 1967)으로 Qualset 등(1997)은 인간의 관리가 없다면 규모가 작은 논밭에 있는 작물의 유전적 다양성은 유전적 부동(浮動)을 겪을 것이며, 그 집단은 근교약세를 보일 것이라고 주장했다. 이들은 또한 인간이 개입하여 이러한 과정을 보완할 수 있으며, 종자 교환 및 농민 선발을 통해 격리된 집단에 새로운 유전적 특성을 도입하게 된다고 주장했다(Louette et al. 1997 참조).

유전적 부동의 효과는 집단 규모에 따라 다르며, 농업시스템에서 재배하는 대부분 작물의 경우처럼 집단 규모가 클 때는 그 중요성이 제한적이라고 여겨진다(Gillespie 1998). 유전적 부동이 집단에서의 대립인자의 빈도를 변화시키고 대립인자의 손실을 일으키는 일이 가능한 범위는 집단의 효과적 규모라는 개념을 통해 탐색할 수 있다. 이는 추상적인 표준화 모수인데,

연구 중인 실제 집단에서 발생하는 것과 같은 정도로 내혼의 증가(혹은 이형접합체의 감소 또는 대립인자 빈도의 변이)가 일어날 것이라고 가정한 상상 집단으로 정의된다.

작물의 경우, 집단 및 아집단 규모의 유전적 효과에 관한 정보는 매우 제한적이다. Louette(2005)는 멕시코 옥수수에서 재래종이든 외래 품종이든 유전적으로 불안정한 것은 집단의 규모가 작은 때문이라고 설명했다. Cuzalapa에서는 농지가 한정되어 있어서 여러 품종이 같은 농지에 심긴다. 품종 당 재배되는 종자 로트의 크기는 작고, Louette가 조사한 6개 작기 동안에 심긴 종자 로트의 30% 이상이 40개 이하의 이삭으로 구성되어 있었다. 그러므로 조사된 종자 로트 중에서 상당 부분은 집단규모가 작았으며 그에 따라 다양성은 흔들리고 희귀한 대립인자는 손실될 수 있게 된다

흉년이 있은 후에, 집단의 규모(그리고 그 원집단의 특성)가 얼마나 급격히 바뀌는지는 모로코의 잠두 품종에서 잘 나타나 있다. 모로코에서 매 작기가 끝난 후의 품종 분포를 비교한 결과는 같은 마을에서는 같은 품종을 재배한다는 사실을 보여준다. 그러나 종자 흐름이나 이동에 있어서 각 품종의 비중(마을에서 사용하는 총 종자 양에서 각 품종의 종자 비율)은 작기의 특성 및 종자 공급원에 따라 달라진다. 흉년이 들면 종자를 마을 농민들이 보존하는 반면, 흉년 다음에는 대부분의 농민들이 지방 시장에서 자기들이 선호하는 품종의 종자를 구매할 필요가 생긴다. 풍작인 해에 농민들은 흉작일 때보다 더 많은 품종의 종자 로트를 보존한다. 풍작일 때에는 원집단의 수는 많아지며 흔히 개별 집단의 규모는 작아지지만, 흉작 다음에는 하나의 커다란 원집단(시장에서)이 사용된다. 게다가 재배 면적 측면에서의 품종 비중 또한 변한다(박스 4.1).

집단의 작은 규모가 유전적 다양성에 끼치는 효과에 대하여는 두 개의 일반적 요점을 들 수 있다. 먼저 유전적 부동과 집단 크기의 한계는 대립인자의 분포 균일성보다는 그 다양성에 더 즉각적인 영향을 미친다. 희귀 변이체가 먼저 소실된다. 짧은 기간에 품종 수가 감소할 때에는 희귀 품종이 먼저 사라진다는 사실은 분명하지만, 작물 종자시스템의 유전적 차원에서 이 문제가 얼마나 심각한 것인지에 대한 정보는 거의 없다(Chaudhary et al. 2004). 그러므로 예를 들어, 쿠바의 세 지역에 있는 30개의 텃밭에 보존된 리마콩은 비록 정말 고립된 작은 집단으로 유지되었지만 전체적인 농업형태학적 다양성은 높게 유지되었다고 본다(Castiñeiras et al. 2001a). 둘째, 만약 유전적 침식이 단지 집단의 규모가 작아서 일어나려면, 그 규모는 정말로 작아야 할 것이다. 그 반면에 작은 규모에서 선발까지 행해지면 다양성은 심하게 침식될 수 있다. 이러한 상황은 텃밭에서 유지되는 품종의 경우에도 있을 것 같은데(Castiñeiras et al. 2001b; Yadav et al. 2003; Mar et al. 2005), 그 실태는 조사해 봄직하다.

박스 4.1 다양성 비교를 위한 통계치 : 한 지역의 유효한 재래종 수

농지 또는 마을에서 조사 결과로 나타난 재래종이 6 품종이며 각각의 관찰 빈도{pi}는 다음과 같다고 가정한다.

{0.5, 0.25, 0.1, 0.05, 0.05, 0.05}

한 지역의 실체(예: 재래종 또는 기원의 수) 유효수 개념은 실체의 수(n_e)와 빈도($1/n_e$)로 나타내는데, 그 빈도는 임의의 두 유전자가 동일 조상일 확률과 같다.

$$n_e = 1 / (\sum pi^2)$$

이 빈도 벡터를 계산해 보자면, 위에서 제시한 재래종의 실제 수는 6이며, 유효수는 3.03이 된다. (박스 표 4.1 참조)

박스 표4.1. 예시: 모로코 Ortzagh 지역의 9개 마을 잠두의 농민 자가보유 재래종의 구성

평균	풍년	보통 해		흉년
	9개 마을	9개 마을	7개 마을*	9개 마을
농가 자체 종자의 비율	0.93	0.82	0.4	0.31
재래종의 실제 수	5.1	5	4.6	3.6
재래종의 유효수	3.49	3.53	2.54	1.97

출처 : Arbaoui(2003) 및 Ghaouri(2003)

*이 평균치들은 구매한 종자만을 파종한 두 마을은 배제하고 산출한 것이다.

† 재래종을 전혀 재배하지 않은 두 마을의 경우, 유효수는 0으로 정의하였다.

결론 : 흉년에는 재래종의 풍부도가 더 낮아지고 빈도의 균등도는 더 낮아지면서 농민들이 자체 종자 보유를 줄인다.

이주: 종자 및 화분 교환

이주는 개별 식물체, 영양체, 종자, 또는 화분이 집단이나 아집단들 간에 분산되거나 이동하는 것인데, 이들 집단 또는 아집단들은 보통 유전자 빈도가 서로 다르다. 종자 이동은 두 종류로 구분할 수 있다. 농장, 농민, 공동체 간의 동일한 지방종 집단 내에서 일어나는 것과 의도적이든 우발적이든 혼합의 결과 생기는 상이한 품종 집단 간에 일어나는 것으로 대별된다.

종자의 분산 또는 이동에 관해서 살펴보면, 종자를 통한 이주는 전통적인 종자시스템에서 매우 중요한 특징인 것으로 보인다. 화분을 통한 유전자 이동 역시 중요한 듯 하지만, 전통적인 영농시스템에서 (동일 품종 또는 상이한 품종의 집단 간에) 화분이주의 발생에 관한 정보는 매우 제한적이다 (Louette 2005 참조). 그러나 특히 형질전환 유전자를 가진 새로운 품종이 점차 유포됨에 따라, 화분을 통한 유전자 이동 역시 이제는 중요하게 생각되고 있다(Gepts and Papa 2003).

전통적인 종자시스템은 동적이어서 재래종의 수, 특성, 분포 면에서 자주 변한다. 새로운 품종과 유전자원이 지방 시장을 통하거나 상업 및 국가 육종 프로그램을 통해 계속적으로 가용하게 되는데, 이 때문에 추후에 전통적인 종자시스템에서 이주의 유전적 결과를 분석하는 일이 더욱 복잡하게 될 것이다. 이주는 일반적으로 유전적 다양성의 정도 및 분포를 균일화하는 강력한 힘으로 간주되며, 많은 지방종의 정체성을 보존하는 중요한 수단으로 역할을 할 수 있을지도 모른다.

이주의 규모

전통적인 영농시스템에서 대부분의 이주는 매우 지역적인 듯하다. 페루 *Aguaytia Valley*에서 보면, 농민들이 사용하는 종자의 교환은 75-100% 정도가 지역사회 내에서 이루어진다. 단지 콩, 카사바 및 옥수수 종자만이 지역사회 외부와 교환되었으며, 그런 경우에도 사용된 종자의 일부만 여기에 해당되었다(각각 25%, 15.2%, 13.5%; Riesco 2002). 더 자세한 연구에서, Collado-Panduro 등 (2005)은 페루의 중앙 아마존 강을 따라 위치한 13개 지역사회 간 옥수수, 카사바, 땅콩, 칠리고추 및 목화의 교환은 지역사회 내에서보다 훨씬 더 적다는 것을 발견했다. 이것은 지역사회와 이들 지역사회간의 주요 연결 통로가 강이며 지역사회 간에는 상호 접촉과 및 의사소통이 어렵다는 점을 반영하는 듯 했다.

그러나 이주의 규모는 훨씬 더 클 수도 있다. 페루의 감자 품종은 생산 및 관리 방식의 일환으로 한 지역 내의 다른 해발고도 간에 자주 이동된다(Zimmerer 1996). 안데스산맥에서 뿌리 작물과 덩이줄기 작물의 경우, Valdivia(2005)가 기술한 바와 같이 훨씬 더 먼 거리를 아우를 수 있다(그림 4.1). Cochabamba(볼리비아)의 농장에서 재배되는 안데스 산맥의 오키아(일명 뉴질랜드 마) 품종인 *Isleño*는 지역 시장에서 판매되는데, 여기서 오루로와 라파즈(*El Alto*)로 이동되었으며, 가까운 지역사회와 볼리비아-페루 국경지역으로 옮겨졌다. 여기서 페루로 유입되었으며 또한 몇몇 자원은 Yunguyo(유전자원의 마이크로센타로 보임)에 유입되어 다시 판매되었다. 종자로서 이 품종은 Apillani, Ollaraya, Unicachi와 같은 지역사회뿐만 아니라 Ilave, Puno, Juliaca와 같은 더 큰 도시까지 도달하였으며, 이곳에서 종자 및 소비용으로 가까운 지역사회에 유입되었다. 또 다른 도착지는 소비처인 Tacna, Moquegua, Arequipa와

같은 페루의 해안 도시들이었다. 생산 및 기후 조건에 따라 종자의 이동 경로가 반대로 될 수도 있다. 그런 방법으로 Huancane(페루)의 종자가Puerto Acosta(볼리비아)로, 다시 La Paz 로 이동하였으며, 이곳에서 볼리비아의 다른 부분으로 유입되었다. 볼리비아의 Cochabamba에서 페루의 Arequipa까지의 거리는 800km가 넘는다.

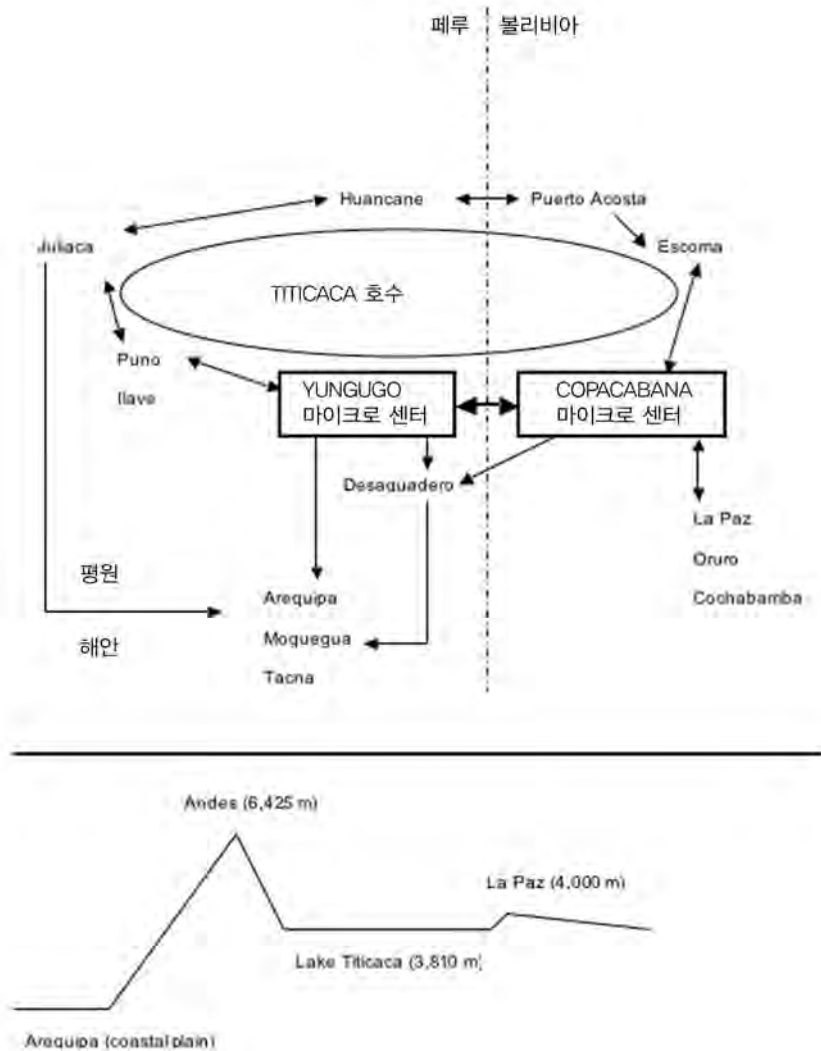


그림 4.1 - 볼리비아와 페루의 안데스의 뉴질랜드 마(oca) 품종인 Isleño의 분포 패턴.

지역사회나 지역 간 품종 이동의 또 다른 예로는 브라질 아마존의 카사바 파종재료의 보급 방법(Coomes 2001) 또는 네팔의 특정한 보리 품종의 이동이 있다. 그러나 이들 두 경우는 자원의 이동이 안데스의 뉴질랜드 마처럼 복잡한 양상을 보이지는 않았다.

종자 교체 및 종자 출처

대부분의 농민들이 가능한 한 자기 종자의 보존을 선호한다 할지라도, 해가 지남에 따라 부분적 혹은 전체적으로 자신의 종자를 다른 공급원의 동일 품종 종자로 교체해야만 할 때도 있다. 이런 경우 종자 공급원은 대개 친지, 이웃, 혹은 지역 시장(보통의 선호도 순서)이 된다. 이러한 방법으로 시간이 흐르면서 이동 및 혼합의 역동이 일어나고, 거기에서 개별 집단의 후대가 농민들 간에 이동하며, 교환 또는 매매 중에 혼합되어 새로운 교환의 원천 역할을 하기도 하며 손실되기도 한다. 이러한 종류의 이동이 발생하는 정도는 작물, 국가, 지역사회 간에 다른데, 환경 요소, 생산 문제, 사회적 관계, 사회경제적 조건 등의 영향을 받는다.

몇 가지 시스템에서 얻은 지금의 자료는 종자 교체에 대한 전략이 보수적이라는 것을 보여 준다. 예를 들면, 표 4.1은 헝가리 세 마을의 두 작물에서 얻은 자료를 요약한 것이다. 콩의 경우, 농민의 75% (Déaványa), 83% (Örség) 및 89% (Tiszahát)가 지난 20년 동안 6번 미만으로 종자를 교체했거나 자기 품종의 종자를 전혀 교체하지 않았다. 옥수수의 경우 Déaványa 92%, Örség 93%, Tiszahát 84%로 그 수치가 약간 더 높았다. 그러나 이러한 단기적인 보수주의는 오해를 불러일으킬 수가 있다. 품종 전체의 대한 효과적인 집단 규모라는 관점에서 보면, 문제는 종자 또는 유전자가 감소하거나 흔들리는 지역 집단으로부터 새로운 대체 종자 쪽으로 유입되는가 하는 것이다. 이주의 결과로 교체가 일어날 때에, 원천 집단이 효과적인 규모가 되어야만 전체 시스템도 효과적인 규모를 가질 수 있게 된다. 이 규모는 신규 종자 사이에 교환이 일어나는 경우보다 더 적을 것이다(모델 이론적 방법에 대해서는 Maruyama and Kimura 1980 참조).

네팔의 결과는 벼, 토란, 아프리카조 및 보리의 지역적 작물 다양성 중 대부분이 사회적 네트워크를 통한 지역사회 내 또는 지역사회 간의 비공식적인 종자 교환에 의해 유지된다는 것을 보여주었다(Baniya et al. 2003). 아프리카조의 종자 이동 비율은 연도와 상관없이 항상 낮게 나타났으며, 약 90%의 농민이 자신의 종자를 저장했다. 그러나 82%가 정기적으로 종자를 교체하였는데, 대부분은 평균 3년 주기로 하였고, 여성 농민이 남성보다 더 일반적으로 이러한 교환에 참여하였다. 다른 농민에게서 지역 품종의 종자를 받는 것이 지역사회에 따라서는 기술이 부족한 것으로 간주되기 때문에 가능한 한 회피한다.

표 4.1. 헝가리 콩 및 옥수수 지방종의 농민 종자 교체 방식

교체	Déaványa				Örség				Tiszahát			
	콩		옥수수		콩		옥수수		콩		옥수수	
	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
교체 없음	26	31	10	21	56	56	24	37	57	58	41	50
3회-6회	36	44	34	71	27	27	36	56	30	31	48	34
6회 이상	1	1	0	0	2	2	1	2	4	4	5	6
교체방침 없음	20	24	4	8	15	15	3	5	7	7	8	10
계	83	100	48	100	100	100	64	100	98	100	82	100

농민이 종자를 교체하는 태도 및 방식은 수많은 요인에 따라 다양하다. 네팔에서는 농민들이 시장이나 공식적인 공급원을 통해 최신 품종 종자를 구할 준비가 되어 있다. 이들은 지속적인 수확량을 내기 위해서는 종자를 자주 바꿀 필요가 있다고 믿는 듯하며, 이러한 종자는 농민이 자체보유한 동일 품종의 종자보다 더 높은 품질을 가지고 있는 것 같다. 그러나 이것은 지역 시장에서 쉽게 구할 수 있고 종자유지와 세심한 선발이 행해지는 지역 품종의 종자의 사례라고 할 수도 없다.

네팔 농민 대다수는 종자를 교체할 때 수확 직후에 다른 사람으로부터 원하는 종자를 얻는다. 몇몇 경우에는 모종이 발아하지 못하거나 이식하기에 열등하다고 생각되면, 농민들이 모종을 빌려서 새로운 유전자원으로 삼기도 한다. 이것은 위기관리 방법의 한 형태이며, 이러한 농민들은 자신의 미세 환경과 유사한 데에서 자원을 얻으려고 노력하긴 하지만, 보통은 품종 획득에 있어서 거의 선택의 여지가 없다.

멕시코 Yucatán의 농민들은 전통적으로 옥수수, 콩, 호박을 함께 혼작한다(화전 농업체계). 옥수수와 호박의 종자는 가능하면 거의 전적으로 언제나 농민이 자기의 생산물 중에서 남긴다. 그러나 콩 지방종의 경우에는 농민들 간 종자 거래에 크게 의존한다. 콩 농사를 항상 확실히 잘 짓는다고 알려져 있는 농민들은 자신의 생산물을 종자를 얻지 못한 다른 농민들에게 콩 종자로 판매함으로써, 지역사회 및 지역적 수준에서 번창하는 사업을 계속할 수 있다. 콩은 주로 현금 거래를 통해 농민들 간에 이동하는 반면, 옥수수와 호박 종자 로트는 종자 유형간 교환방식으로, 때로는 선물로 수수된다. 이렇게 종자 이동이 다른 양상으로 일어난다는 것으로, Yucatán 농민들이 농업생태학적, 사회적 조건의 변화에 대응하여 경작대상을 바꿀 때에 화전 체계에서 맨 먼저 빼버리는 작물이 대개 콩이 되는 이유를 설명해 줄 수 있다.

모로코의 잠두와 멕시코 및 모잠비크의 여러 작물에서 확인한 것처럼 이주의 폭은 해에

따라 크게 달라질 수 있으며, 생산이 형편없을 때나 홍수, 태풍과 같은 큰 재해로 인해 종자가 크게 손실되었을 경우에 방대한 상당한 이주가 일어날 수 있다.

Lope(2004)는 멕시코 Yucatán에서 어떤 품종이 마을에 있더라도 이에 접근하기 위해서는 적절한 사회적 연계가 필요하다는 것을 보여주었다. 특히 Yucatán 농민들은 재배할 작물을 갱신하거나 교체할 종자를 찾을 때에, 씨족 관계나 대부모(compadrazgo, 의례적 친자관계) 또는 교부 관계에 크게 의존하는 경향이 있다.

네팔의 벼 종자공급 네트워크를 분석(Subedi et al. 2003)한 바, 복잡하고 광범위한 사회적 변수에 대한 의존성이 크다는 사실이 밝혀졌다. 지역사회에 따라 각기 다른 종류의 네트워크가 기능하고 있었다. 벼 신품종이 우점 하는 저지대인 바라(Bara)에서는 서로 연계가 없는 여러 개의 작은 네트워크가 발견된 반면, 중간 구릉지대인 Kaski(지역 품종이 여전히 우세)에서는 수는 더 작지만 규모는 더 큰 네트워크가 존재했다. 이렇게 된 이유는 여러 사람들과 광범위하게 접촉하며 종자를 다양한 공급원과 여러 농민으로부터 구하기 때문일 것이다. 두 지역 모두에서 Subedi 등은 특정 농민들이 매개자로서 많은 교환에 관여하는 것을 확인하였다. 매개자 역할을 하는 농민은 인정받은 공급원의 종자를 다른 농민에게 제공하는 역할을 했으며, 지역사회 안팎의 파종재료를 축적하였다. 흥미롭게도 종자 이동에 관한 이들의 핵심적 역할을 감안할 때, 이들 매개자 농민 자신들끼리는 상담이나 협의를 거의 않는 것처럼 보인다. 이 매개자 농민들이 시스템 내에서 작물 다양성의 핵심적인 관리인 역할을 할 수 있다는 주장이 제기되어 왔다(Subedi et al. 2003).

큰 네트워크 내에서도 지역사회의 모든 농민이 상호 연결되어 있지는 않다. 대신 특정 개인을 통해 상호 연결되는 하위 네트워크들이 존재한다. 이것은 종자나 파종재료의 비공식적인 이동이 반드시 지역사회의 모든 구성원들 상호간에 일어나는 것은 아님을 나타낸다. 공간적으로 분산되어 있는 여러 개의 소규모 네트워크를 통해 자원이 더 활발하게 흐르게 되는 것이다. 큰 규모의 사회적 네트워크에서는 모든 개인들과의 직접적인 접촉이 불가능할 수 있지만, 임시적인 네트워크 연결은 더욱 새로운 정보와 자원을 찾을 수 있는 기회를 제공하기 때문에 혁신기술과 정보의 보급 면에서 더 강점을 나타낼 수 있다(Granovetter 1973).

네팔의 저지대와 중간 고도에서는 성 간에 별도의 네트워크를 찾을 수 없었다. 두 연구 지역에서 유전자원은 남녀로 혼성된 그룹을 통해 이동하였다. 이는 네팔의 서부 구릉지대에 있는 특정 지역사회에서 Subedi와 Garforth(1996)가 발견한 정보이동 네트워크와는 대조적인 것이다. 거기서는 남성-남성, 남성-여성(남성 주도), 여성-남성(여성 주도) 및 여성-여성 네트워크가 모두 특정 지역사회에서 발견되었다. 마찬가지로 벼 종자 공급네트워크는 부유한 정도와도 관계가 없어서, 유전자원의 이동에는 성별 및 빈부 차이에 의한 장애가 전혀 없음을 나타냈다.

이와 반대로 Yucatán에서는 옥수수, 콩 및 호박의 종자 흐름이 작물이 재배되는 생산 공간

에 따라 크게 성별 화되는 경향이 있다. 화전은 남성 영향권의 중심으로 간주되며, 이곳에서 재배되는 작물, 특히 옥수수의 종자 이동을 관리하는 것은 주로 남성이다. 그러나 동일한 작물을 텃밭이나 마을 포장에서 재배할 때에는, 이곳이 여성 영향력의 중심지로 간주되기 때문에 여성이 주로 종자 선발, 조달 및 교환에 주도적인 역할을 한다. 텃밭과 화전 양쪽에서 흔히 재배되는 고추 같은 작물의 경우에는, 지역사회나 품종 차원에서 공히, 종자 이동에 남성과 여성이 동등하게 역할을 수행할 것이다.

헝가리에서는 지방종과 특정 생산 방식에 관한 지식에 대한 접근이 제한되어 있어서, 개인적인 접촉을 통해야 한다. 지방 시장에서의 종자 판매는 국립농업품질관리연구소(National Institute for Agricultural Quality Control)가 독점적으로 통제하기 때문에, 지역의 비공식적인 종자시스템의 기능은 합법적이지 않으며 시장은 시스템에 포함되지 않는다. 그러나 전통 품종의 종자는 시장에서 식품이나 사료용 곡물로 판매되며, 이중 일부는 재배용 종자로 되돌려지기도 한다(그림 4.2).

이주와 선발

모델 시스템에서 (분기하는) 아집단을 통한 이주에 관한 연구의 결과로는, 아집단 간에 이주율이 고르지 않으면, 특히 한 농지의 종자를 교체할 경우에, 시스템의 효과적인 집단규모가 작아지는 것으로 나왔다(Maruyama and Kimura 1980; Wang and Caballero 1999; Whitlock 2003). 그러므로 다양성에 미치는 이주의 효과는 이주와 선발 간의 상호작용, 지속적으로 유입되는 다양성을 농민이 관리하는 방법, 그리고 그 유입된 자원이 지역 환경에 적응하는 정도 등에 따라 크게 달라진다. 유입된 자원은 기존의 지방종(또는 지방종의 특정 집단)을 대체하거나 이들과 혼합되거나, 교잡되거나 유전자를 교환하여 궁극적으로는, 한 집단으로 융해되어 간다. 이주의 유전적 효과는 새로운 물질을 도입, 전파하는 농민이 취하는 관리 및 선발 방식과 밀접하게 연관된다.

Yucatán의 Yaxcaba에서 마야 농민들이 재배하는 옥수수의 개량품종 종자 로트의 비율은 짧은 주기(xmejen-nal)의 재래종의 비율과 거의 같으며, 둘 모두 유사한 미세 환경의 농지에서 경작되는 경향을 보인다. 지난 20년 이상 개량 옥수수를 받아들임에 따라 xmejen-nal 집단이 어느 정도는 대체되었다는 것을 의심할 여지가 없는데, 개량 옥수수는 이삭 껍질과 같은 특정 형질에서 혼입이 일어났는데(sensu Bellon and Risopoulos 2001), 이는 농민들이 재래종으로부터 지역의 개량 옥수수 집단으로 상당한 유전자 이동이 일어나는 것을 묵인하거나 조장한다는 것을 보여준다. 옥수수의 타가수분하는 특성을 고려할 때, 혼입된 개량 옥수수에서 지방종으로 유전자 이동이 일어났을 것으로 기대가 되며, 조사 결과에서도 많은 xmejen-nal 포장에서 개량 옥수수의 낱알 특징을 가진 이삭이 최소한 몇 개씩은 보였다. Louette 등(1997)도 유전자

흐름이 Cuzalapa의 옥수수 품종에서 일어났었다는 것을 제시하였다. 농민이 선발을 함으로써 생산에 중요한 특징에 대해서는 이러한 효과를 최소화할 수 있겠으나, 선발압이 크지 않은 유전자나 형질의 경우에는 유전자 이동이 일어날 수 있다.

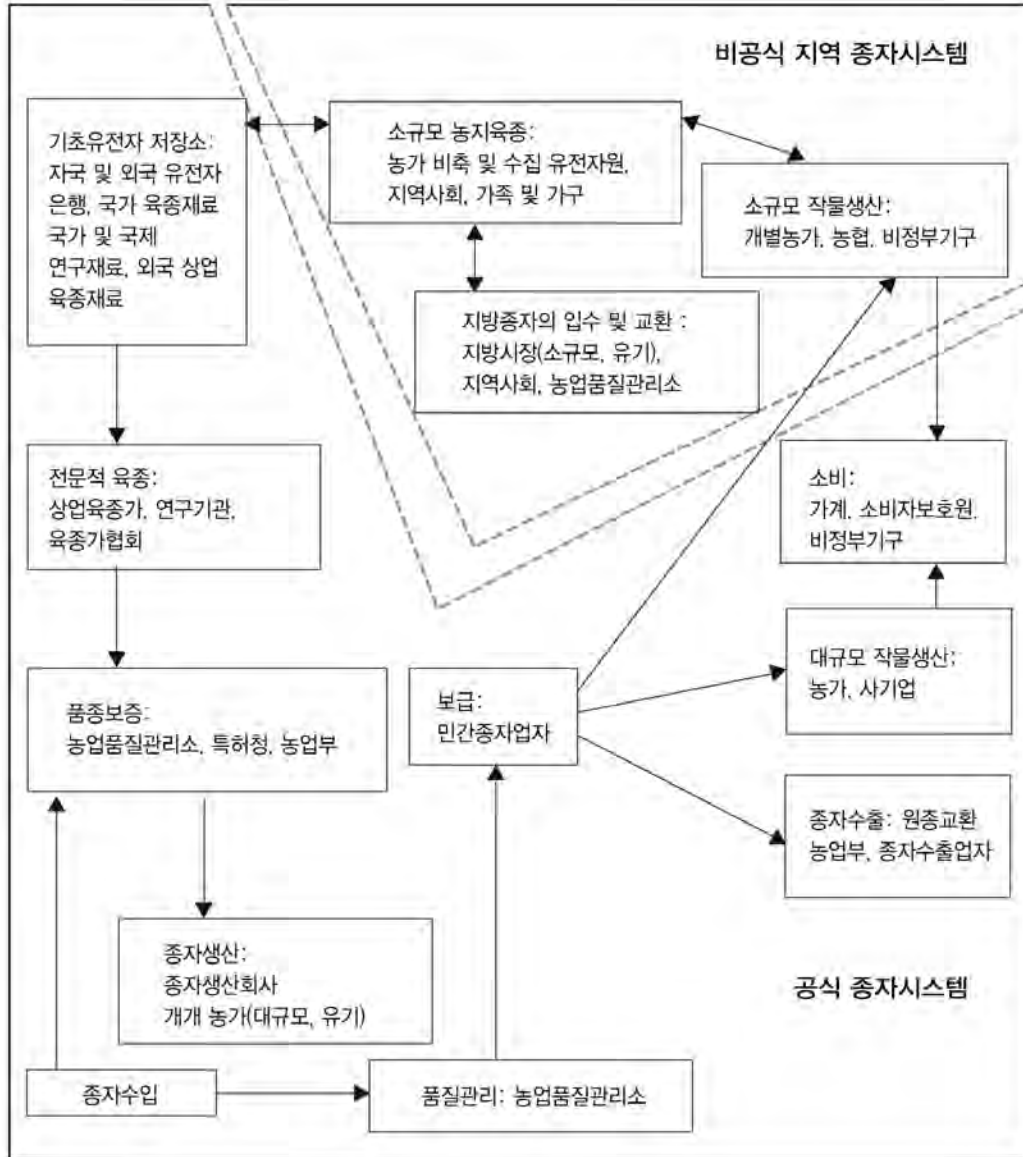


그림 4.2 헝가리의 비공식적/공식적 부문을 통한 종자 흐름(Mar et al, 2005). NGO= 비정부기구.

재조합

이형접합 식물체는 유성생식 과정에서 재조합의 결과로 새로운 유전자 조합이 생긴다. 이러한 신 조합은 자연 및 농민의 선발에 따라 집단 일부로 살아남을 수도 있고 없어질 수도 있다. 옥수수나 진주조와 같이 타가수분하는 종에서 재조합은 각 세대마다 새로운 유전자형이 지속적으로 생산되도록 해 준다. 주로 동형접합체로 이루어진 자가수분 종에서 재조합은 이따금 타가수정이 일어날 때만이 주요 효과를 갖게 된다. 종자시스템과 작물 종의 유전적 다양성 유지에 대한 그 시스템의 역할 측면에서, 재조합의 중요성은 다른 유형의 종자가 이주해 들어온 후에 이입된 자원과 지역 집단 간에 일어나는 교잡의 결과 또는 화분으로 매개되는 유전자의 유입의 결과에 달려있다.

전통적인 농민들이 자신의 농지에서 발생하는 새로운 유형을 탐지하고 관심을 갖는다는 사실이 주목을 받아왔다(Richards 1989). 이 새로운 유형은 단순혼입(또는 이입 개체)일 수도 있지만, 어떤 종류간 교잡의 후대일 수도 있으며, 그렇다면 이는 재조합의 산물이라고 할 수 있다. 다양성 보존에 있어서 재조합은 분명히 중요하지만, 종자시스템 기능에 미치는 역할이나 영향은 미미한 듯 보인다. 그러나 종자시스템이 작용하는 방식의 측면에서, 새로운 유전자원이 작물 종자시스템에 통합되는 방식과 이들이 기존 구성요소를 대체, 그 요소들과 경쟁하고 혼합되는 다양한 방식을 탐구하는 것은 흥미로운 일이 될 것이다.

유전자전환 작물을 도입함에 따라, 화분 흐름은 지방종 집단과 그 특성에 미치는 영향 면에서 그 중요성이 점차 증가할 것이다. 이러한 일이 발생한다면 농민의 선발 및 관리 방식에 따라서는, 종자관리방식과 종자시스템의 기능이 달라질 수도 있을 것이다. 현재 가장 많은 관심을 받고 있는 유전자는 제초제 내성과 해충저항성을 조절하는 유전자이다. 멕시코 외하카의 옥수수 지방종에서 형질전환유전자의 DNA가 발견되었다고 보고되었다(그러나 별도로 확인하지는 않았음) (Quist and Chapela 2001).

돌연변이

대부분의 작물에서 그 발생비율이 낮기 때문에 일부 무성번식 종을 제외하고는 돌연변이는 단기 변화의 주요 동인에서 배제되는 것으로 보인다. 바나나의 경우 돌연변이는 분명 어미 식물과 다른 딸 흡근을 발생시킨다. 재배하는 모든 바나나는 2배체든 3배체든 상관없이 실제로 종자가 없으며 무성적으로 번식한다. 바나나의 다른 그룹, 특히 가장 대규모로 재배되는 그룹들에서는 체세포 돌연변이가 더 자주 발견되었는데, 즉 후식용 바나나, 동아프리카 고지대 바나나(Musa AAA 그룹), 요리용 바나나(Musa AAB) 등이 여기에 속한다(Pickersgill and Karamura 1999).

차이가 미미한 경우에, 동아프리카에서는 딸 흡근에 어미 식물과 동일한 명칭을 붙이고 어미 식물과 동일한 특성을 지닌 것으로 간주하기도 한다. 그러나 큰 차이가 보이면 농민들이

딸 흡근에 새로운 명칭을 부여하기도 한다. 이렇게 구분을 하게 되는 차이는 거의 언제나 다발의 특성에 관한 것으로, 농민, 거래업자, 소비자들에게 의미가 있다. 예를 들면, 요리용 고지대 바나나는 갈수록 탄닌 함량이 늘어나 더 써져서 소위 맥주바나나로 변해 버린다는 속설이 있다. 맥주바나나가 되면 새로운 이름을 붙이기도 하지만 때로는 본래 이름을 그냥 유지하기도 한다. 높은 탄닌 함유량 때문에 이 맥주바나나를 더 이상 생으로 또는 조리하여 먹을 수 없지만, 맥주바나나의 표현형이 원래의 요리용 바나나의 표현형과 다름없이 유지되기 때문에 원 이름이 유지되기도 하는 것이다. 그래서 Nakabululu-enyamuunyo(요리용), Nakabululu-embiiire(맥주)와 같은 이름이 있으며, Nakabululu-embiiire는 또 다른 이름인 Enshyenyuka로도 불린다. 의사줄기, 엽병, 중륵 등의 색소 같은, 변화를 알아볼 수는 있지만 그 정도가 미미한 경우, 딸 흡근은 그 변화를 나타내는 부분을 덧붙여 원래의 이름을 유지할 수도 있다. 예를 들면, 동아프리카 영양계인 Nakitembe(*Musa aaa*)는 대개 엽병과 중륵이 녹색이지만, Nakitembe omumyufu(빨강)라 불리는 엽병과 중륵이 붉은 돌연변이체도 있다 (Karamura and Karamura 2004).

돌연변이는 한 지역에서 유전자형의 변이를 증가시키며, 돌연변이형이가 퍼지는 정도에 따라서는 기존 다양성의 분포를 변화시키는 것으로 보인다(박스 4.2). 우간다 Siira에는 다발이 중간 크기인 고지대 바나나 요리용 영양계가 있는데, 여기서 나온 돌연변이체(*Atwalira*)는 다발이 더욱 원통형이며 아담하고 촉촉하다. 이 돌연변이 품종은 원식물체보다 더 많이 산업화 되어, 원품종이 차지하지 못했던 지역으로 확산되었다(D. Karamura, pers. comm., 2004). 돌연변이가 수많은 무성번식 중에 새로운 변이를 창출하는 데에 중요한 역할을 하고 있겠지만, 그 발생 정도와 새로운 돌연변이형이 종자 공급 시스템에 얼마나 들어가는지는 그만큼 조사되지 않은 듯 하다. 북부 베트남에서는 토란의 경우 품종에 따라 번식에 쓰이는 기관이 다르다. 돌연변이 발생률이 번식에 쓰이는 기관이나 번식 방법의 선택과 관련이 있는지, 그리고 이것이 교환되는 파종재료에서 보이는 변이의 품종 간 차이에 영향을 미치는가에 대한 조사는 흥미로운 일이 될 것이다(표 4.2).

작물에 따라서는, 농민들이 무의식적으로 변이가 발생하기 쉬운 시스템(예: 전이유전자로 인하여 일어나는 시스템)을 선택했을 수도 있는데, 이러한 시스템에서는 종자, 줄기, 꽃 등에 새롭고 뚜렷한 색상이 생성되기 때문이다. 한 가지 사례로 옥수수의 *Ac/Ds* 시스템을 들 수 있는데, 이 시스템의 전이유전자는 표현형에 효과가 나타나는 변이를 발생시킨다. Clegg와 Durbin(2000)은 초기에 *Ipomoea purpurea*을 재배화한 사람들은 나팔꽃 유전체에 존재하는 전이유전자 때문에 일어나는 꽃 색상의 다양성을 포착했을 것이라고 주장하였다. 이러한 패턴은 품종의 표지 역할을 하거나 흥미로운 새로운 특성을 제공할 수 있다. 이러한 방법으로, 돌연변이는 품종 및 종자 번식 식물의 유전적 미세한 유전적 변화의 표지 역할을 하기도 하며, 그 결과로 품종 유지 및 교환에 영향을 끼칠 수 있다.

선발

농민 선발 및 자연 선발

지방종의 유전적 조성은 자연선발 및 농민선발(의식적, 무의식적) 모두의 영향 하에 있는 것으로 보인다(박스 4.3). 많은 형질에 있어서 농민 선발은 장기간에 걸친 환경적 선발, 특히 토양, 기후, 해충 면에서 불리한 환경에 대한 내성을 위한 선발을 강화시킬 수 있다. 예를 들면, Yucatán에서 가장 광범위하게 재배되는 재래종인 xnuuk-nal이 개화에 이르는 평균일수는 평년에 우기가 시작되는 시기(재배가 시작되는 때)와 평년의 월간 강우량이 최고가 되는 점 사이의 기간과 매우 잘 맞는다. 월간강수량 최고점은 옥수수 꽃이 화분을 방출하고 암꽃이 화분을 받아들일 수 있게 되며 수수된 이삭이 발달하기 시작하는 시기, 간단히 말해 옥수수 식물체가 생리적으로 물을 가장 많이 필요로 하는 시기와 정확하게 일치한다. 특정한 비생물적/생물적 스트레스에 적응하기 위한 선발의 경우도 마찬가지일 것이다.

박스 4.2. 우간다에서의 바나나 종자 흐름

농지 수준에서는 대개 통합되긴 하지만, 일반적으로 종자의 흐름은 전통적인 종자시스템과 비 전통적인 종자시스템의 두 가지 경로로 대별할 수 있다. 전통시스템은 지금까지 농민들이 의도적으로 종자를 선발하고 가까이 또는 멀리 있는 친구, 이웃, 친지들로부터 수집하여 자신의 농지에 심는 가장 오래되고 널리 퍼져있는 시스템이다. 지역 전체적으로 보면, 종자의 선발은 확립된 기준을 따라서 되고 있다(박스 표 4.2).

전통적인 경로는 농지 당 품종이 다양하다는 것이 특징인데, 한 농가에 30개까지의 상이한 품종을 섞어서 재배하기도 한다. 한 품종을 선택하여 도입하고 나면, 생산 및 보존을 위해 정원의 적절한 장소에 이식하기에 앞서, 보통은 집의 본채나 부엌 가까이에 심고 몇 계절에 걸쳐 지상부를 수확하면서, 다발 크기, 식품 품질, 병충해에 대한 반응 및 기타 특성을 관찰한다. 시스템의 또 다른 특징은 저투입 저생산 행동방식이라는 점이다. 일반적으로 이웃, 친지, 친구들로부터 수집한 종자용 흡근은 씻지 않는데, 그 때문에 많은 토양전염성 병해충이 다음 농지로 전달된다. 이 시스템은 돈 거래 없이 파종재료를 주고받는 교환거래 형태로 내려온 듯하다. 그러므로 이 시스템을 향상시키고자 한다면, 농민들이 전통적으로 바나나 파종재료는 돈을 주고 사지 않는다는 점을 고려해야 할 것이다.

박스 표 4.2 파종재료를 선택하는데에 사용하는 각 형질별 농민 백분율.

기준	탄자니아		우간다	
	Chanika	Ibwera	Masaka	Bushenyi
다발 크기	29	35	32	26
맛	22	18	17	16
성숙 기간	18	10	21	12
병 저항성	6	11	17	19
초세	2	6	1	0
지상부 재생력	2	8	0	2
다발의 시장성	4	4	3	8
가뭄 내성	4	0	0	0
날 과실 크기	3	1	2	4
조리된 식품의 부드러움	1	2	1	0
토양 적응성	1	1	1	2
수명	1	1	1	5

출처: Karamura and Karamura(2004)

표 4.2. 베트남 북부에서 농민이 토란 품종을 번식시키는 방법, 2002.

번식 방법	재배 변종 식물	농업생태계	분포 패턴
주아 및 흡근	<i>Khoai lui doc xanh</i>	저지대	광범위
	<i>Chat chay hau</i>	저지대, 고지대	광범위
	<i>Mac phuoc mong</i>	고지대	광범위
	<i>Hau danh pe</i>	고지대	광범위
	<i>Khoai mung tia</i>	고지대	광범위
	<i>Mon tia</i>	저지대, 정원	광범위
어린 흡근	<i>Nuoc tia</i>	우물 주변의 습한 지역	광범위
	<i>Nuoc xanh</i>	우물 주변의 습한 지역	광범위
	<i>Khoai ngot</i>	저지대, 텃밭	광범위
	<i>Bac ha</i>	정원, 습한 지역	협소
	<i>Tam dao xanh</i>	고지대, 텃밭	광범위
포복지	<i>Hau xi</i>	정원, 습한 지역	광범위
	<i>Man hua vai</i>	고지대	광범위
	<i>Hau giang</i>	고지대	광범위
구경 상부	<i>Khoai doi</i>	저지대	광범위
	<i>Kao pua</i>	고지대	협소
	<i>Hau Danh chun</i>	고지대	광범위
구경 눈	<i>Mat qui</i>	고지대	광범위
	<i>Hau doang</i>	고지대	광범위
	<i>Phuoc oi</i>	고지대	광범위
종자 및 흡근	<i>Kay nha</i>	텃밭, 고지대	광범위

박스 4.3. 품종 선택 및 저장과 인종, 사회적 지위, 연령 및 성별

불키나파소의 지역에 따라서는 연령이나 사회적 계급에 따라서는 여성들이 마을 및 이웃 지역의 작물 품종 선택에 동등하게 관여한다. 여성은 식품과 사료를 만들기 위해 곡식을 가공하는 과정의 행위를 주관하므로, 수확물의 95% 이상을 처리한다. 지방종의 소매 시장은 전적으로 여성이 차지하고 있으나, 도매는 남성과 여성이 같이 한다. 특히 Médéga의 Bixa족은 여성이 수수, 진주조, 땅콩, 동부 등의 재배에서 품종을 선택하는 일에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다.

불키나파소에서는 여성농민(17-90세)과 남성농민(23-79세)의 연령과 종자선발에 관한 연구가 시행되었다. 모든 마을에서 50세 이상의 여성이 종자의 번식과 보존에 관여하였다 (박스 표 4.3). 종자를 번식하거나 보존할 여성은 불키나파소의 몇 가지 의식을 염두에 두어야 한다. 예를 들면, 종자를 준비하고 보존해야 하는 날에는 여성 농민은 그 전날 성생활을 해서는 안 된다. 또한 가족 중 누군가 임신 중이거나 생리 중이면 그 여성은 종자 그릇을 만져서는 안 되며, 타마린드 열매나 우유, 진주조, 수수 등의 가루를 만져서도 안 된다. 종자를 잘 보존하기 위해서는 달이 뜨지 않는 기간에 선발을 해야 한다. 모로코에서 유사한 연구를 했는데, 여성들은 종자 선발에 필요한 재래종과 개량 품종 간의 차이에 관해 남편이나 아버지만큼의 지식을 가지고 있는 것으로 나타났다.

박스 표 4.3. 불키나파소: 증식시스템은 의사 결정 기준, 사회경제적 관심, 의식 등에 따라 남성과 여성이 관리한다.

	작물 의사 결정	
	남성	여성
수수	+++	++
조	+++	++
동부	+++	++
프라프라	+	+++
감자	+++	○
오크라	○	+++

+++ = 높은 의사 결정 (항상 관여);
 ++ = 중간 정도의 의사 결정 (가끔 관여);
 + = 낮거나 약한 의사 결정 (드물게 관여);
 ○ = 의사 결정 무 (전혀 관여하지 않음).

수수, 조, 옥수수 등의 이삭은 곡물 창고에 저장한다. 저장할 때에 곡물을 *Cissus quadrangularis*, *Sansevieria senegambica*, *Hyptis spicigera*, *Cassia migricans* 등의 해충으로부터 보호하기 위해 지역의 식물을 사용한다. 이 식물을 저장 전에 신선하게 갈아 물과 혼합하여 곡물창고에 펼쳐 놓는다. 해충으로부터 보호하기 위해 Shea almond(shea almond)의 잔류물을 사용하기도 한다. 곡식은 재와 함께 섞어 항아리에 보관하기도 한다. 이 과정은 자연광이 없는 이른 아침이나 저녁에 실행한다. 임신했거나 생리 중인 여성은 이 과정에 참여하지 않는다.

출처: Madibaye Djimadoum, Fédération National des Groupements Naam.

농업형태학적 연구에서 1998년과 1999년에 말리에서 수집한 수수 지방종이 20년 앞서 수집한 품종보다 성숙 시기가 7-10일 더 이른 것으로 나타났다. 이는 자연 선발의 결과가 아니라면, 물 공급이 점차 불확실해지는 환경에서 성숙 시기가 더 짧은 유전자원을 선호하게 된 농민의 선발 결과라고 할 수 있다(M. Grum, pers. comm., 2001).

재해 및 대재앙

극단적인 환경 재앙은 작물의 유전자풀에 매우 강한 선발압을 가할 수 있다. 2002년 멕시코의 중부 Yucatán주는 태풍으로 황폐화되어 만숙종 옥수수 재래종이 성숙기의 정점에 도달했을 때에 작물이 쓰러지게 되었다(이 종류의 품종들은 Yucatán의 자급용 옥수수 총 수확량의 약 80% 정도를 차지하고 있었다). 수확 손실이 크긴 했지만, 약 75%의 옥수수 농가는 최소한의 xnuuk-nal 품종 종자를 건질 수 있었다. 그 과정에서 이들은 태풍이 강타했을 때 각 집단에서 생리적 성숙이 다소 일러서 활력 있는 종자의 발달이 완료된 식물체로부터 종자를 받는 경향을 띠게 되었다. 실질적으로 태풍은 선발압 역할을 하였으며, 많은 Yucatán 옥수수 집단의 평균 성숙 시기를 상당히 변화시켰다(개별 집단에 대한 선발의 강도는 파종일자의 영향도 받았다).

태풍은 또한 강낭콩(*Phaseolus vulgaris* var. *xkolibu'ul*)과 리마콩(*Phaseolus lunatus*)을 필두로 작물 재래종 집단의 구조를 변경시켰다. 2002년 이전, Yaxcaba 지역사회에서 시행한 연례조사에서는 농민의 66-70%가 강낭콩을 45-65%가 리마콩을 각각 재배하는 것으로 나타났다. 2002년에는 태풍과 관련한 피해로 농민의 강낭콩 종자 로트의 90% 이상, 리마콩 종자 로트의 83% 이상이 소실되었다. 남아있는 종자 로트의 대부분은 완전히 정상 규모의 일부의 크기로 축소되었다(즉 몇 킬로그램이 아니라 종자 한 움큼 정도). 2003년 강낭콩과 리마콩

종자를 다시 경작한 농민의 비율은 각각 고작 20% 정도였으며, 이들 농민 중 대다수가 외지, 구체적으로는 콩 공급이 가능한 다른 지역사회의 농민들로부터 종자를 교환하거나 구매하였다. 순 효과는 지역의 많은 아집단이 완전히 사라지는 등 지역 콩 집단의 수가 크게 감소하고, 대체 공급원을 통한 새로운 파종재료로 교체되었다는 것인데, 이들 새로운 파종재료도 지역 나름의 선발압으로 인하여 특징에 변화가 겪었을 것으로 생각된다.

긴급 상황(가뭄 및 홍수)에서 농민들은 종자를 교환하거나 구매하기 위해 환경조건이 비슷한 다른 마을로 여행을 간다. 지역 시장은 특히 긴급상황에서는 중요한 종자 공급원이 되지만, 최빈층 농민들은 흔히 종자를 살 여유가 없다. 모든 마을에 시장이 있는 것은 아니라서, 시장과 먼 지역에 사는 농민들은 종자 안보에 더 취약하다는 사실이 발견되었다.

태풍이나 홍수 같은 주요 환경적 재앙은 파종재료에 큰 변화를 가져올 수 있으며, 장기적으로 종자안보가 취약하면 역시 농민들이 사용하는 파종재료의 지속적인 변화를 야기할 수 있다. Sadiki 등(2005)은 풍작일 때에는 모로코 농민들이 자기 잡두 종자를 사용하는 경향이 있으며, 흉작일 경우에는 지역 시장에서 종자를 구한다는 것을 발견했다. 이러한 상황에서는 개별 농민들이 보존하는 여러 지방종의 집단(이들의 유전적 조성은 그 지방의 선발 및 부동을 반영한 결과임)이 발달하는 대신에 근처 시장이나 다른 공급원에서 구한 대량의 종자에 의한 교체가 일어나게 된다.

종자 선발 방식

농업형태학적 특징을 근거로 품종을 선발할 때, 농민들의 방식은 농지의 유전적 다양성을 보존하는 데 영향을 끼친다. 장기적으로 품종의 유전적 구성에 영향을 끼치는 종자 선발 단계에는 수확 전에 포지 또는 농지의 어떤 부분을, 수확할 때에 어떤 식물체 또는 식물체의 어떤 (과실 열매 또는 화서, 그 속에서도) 부분을 선택하느냐가 포함된다(Wright et al. 1994).

옥수수의 경우 품종 다양성과 품종 내 유전적 다양성을 보존하는 데에 중요한 영향을 끼치는 선발의 전체 과정이 파악되었지만, 그 과정별 정확한 유전적 효과는 가끔 불분명하다. 그리하여 Louette와 Smale(2000)은 멕시코 농민들의 전통적인 종자선발 방식에서는 품종 간의 타가수분으로 중요한 유전자 이동이 일어났을 때조차 자기들 품종의 특징을 보전할 수 있는 이삭특성을 틀림없이 고려한다는 것을 발견하였다.

종자 선발의 시기 및 순서는 단일 지역사회 농민들 간에도 다양하게 나타날 수 있다. 멕시코 전역에서와 마찬가지로 Yucatán, Yaxcaba의 농민 대부분은 주로 이삭 크기, 열매 건강도, 낱알 색상 균일성, 낱알 크기 등을 포함한 이삭 및 낱알 특성을 근거로 매 작기에 옥수수 재래종 종자를 선발한다. Yucatán에서는 선발 과정이 모두 동시에 벌어지는 것은 아니

며, 오히려 1월 옥수수 수확기에 시작되어 5월 말 파종기에 끝나는 몇 단계로 나타난다. 선발 초기 단계에서 농민들이 가장 좋은 품질의 이삭을 분리할 때, 대부분의 농민들은 열매를 껍질째 보관하며 크기, 무게, 껍질 범위와 같은 열매 특성을 기준으로 종자로 쓸만한 지를 평가한다. 일부 농민들은 이렇게 껍질을 벗기지 않은 이삭 중에서 종자로 쓸 것을 즉시 선택하여 따로 떼어두고, 나머지 것들을 최종 소비용으로 결정한다. 그러나 다른 농민들은 단순히 고품질의 이삭을 모두 함께 저장하며, 필요할 때 저장한 것 중에서 소비하고 파종시기 바로 전에 종자용 이삭을 선택한다. 농민들은 보통 파종을 시작하기 하루나 이틀 전에 열매의 껍질을 벗기고 낱알 탈곡작업을 하는데, 이때에 낱알의 특징이 (선발에) 중요하게 작용한다. 그러나 소수의 농민들은 선발 과정의 더 이른 단계에 낱알 특징을 고려할 수 있다는 가능성 때문에, 저장 전에 옥수수의 이삭껍질 벗기기를 선호한다.

어떤 경우에는 농민들의 방식이 미치는 효과가 훨씬 덜 분명하며, 추론의 과제로 남아있다. 중앙아메리카 전역에서 옥수수 속대의 말단부와 기부에 붙은 낱알은 일반적으로 종자로 사용되지 않는다(Johannessen et al. 1970). 옥수수 속대의 부분에 따라 유전적 구성이 다르지 않다 하더라도, 화분의 경쟁 및 선발이 일어나는 것으로 보이며 이로 인해 종가가 착생하는 속대의 부분에 따라 종자의 유전적 구성에 차이를 내는 것 같다(Mulcahy et al. 1996).

네팔의 벼 농민들은 이삭 수준, 이삭 내의 소화경 수준 또는 종자 수준에서 선발을 할 수 있다(표 4.3; Rana 2004). 선발 시기는 중요시하는 생식기관의 외형이나 영양생장 특성에 따라 달라질 수 있다. 종자 선발이나 파종 전 종자 준비와 관련한 의식이 있는 경우도 있다(Rana 2004).

필요한 종자의 수량 역시 중요하다. 네팔에서는 큰 면적에 재배되는 품종은 필요한 종자의 양이 많으므로, 농민들은 좋은 포장을 선정하고 이형주를 솥아낸 후에 전체 포장을 종자용으로 수확하였다(소극적 선발). 그러나 좁은 면적에서 재배되는 품종의 경우, 가장 좋은 이삭을 선발하는 것(적극적 선발)이 더 일반적이다(그림 4.3). Rana(2004)는 "순도가 낮은" 즉 섞인 것은 신계 바칠 수 없기 때문에 종교적, 문화적 목적을 위해 농민들이 좁은 면적에서 재배하는 품종의 종자 선발에 특별한 주의를 기울인다는 것을 발견했다.

여러 영농상황에서 종자 선발이 중요하긴 하지만, 이를 중요하게 여기는 것이 결코 보편적인 것은 아니다. 네팔의 한계지역과 공동경작 지역에서는 벼 종자 선발은 농민들이 종자를 위한 다른 선택이 전혀 없는 경우가 아니면 일반적으로 하는 일이 아니었으며, 종자 선발을 항상 해마다 혹은 정기적으로 하지도 않았다. 상황에 따라서는 집단에 이형주가 너무 많아졌거나 병해충, 불임, 도복 등의 문제가 있을 경우에만 농민들이 종자를 선발했다(Rana 2004).

불키나파소에서 진주조 농민들은 "순도"를 유지하기 위해 농지 중앙의 종자를 수확한다. 이들은 낱알 색상의 균일성과 작은 이삭의 열개 습성을 고려하여, 모식물 형태의 범위 내에

있는 진주조와 수수의 이삭만을 수확한다. 이러한 방식은 종자 품질과 종자세에 유리하게 작용하는 것으로 보인다. 농민들이 5년간(1997-2002) 이 방식을 따랐더니, 20-48%의 가구에서 종자 품질이 좋아지는 것으로 나타났다. 전체적으로는 수확, 탈곡 및 건조할 때와 저장 및 파종 전에도 나름의 방식으로 종자를 선별한다는 것이 밝혀졌다(Balma et al. 2005).

표 4.3. 종자 품질 유지를 위해 농민들이 실천하는 여러 가지 행동, 네팔 Kaski, 2000

활동	수확		조제		건조		저장		파종	
	No.	%*	No.	%*	No.	%*	No.	%*	No.	%*
같은 장소에 재배	—	—	—	—	—	—	—	—	2	4
동시에 수확	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
화요일에는 수확하지 않음	4	6	—	—	—	—	—	—	—	—
종자용 주이를 별도관리하거나 이형주를 제거	5	8	3	4	1	2	10	17	1	2
다른 품종을 함께 심음	1	1	—	—	1	2	1	2	1	2
포장에서 다른 품종을 제거(숙기)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
구경 및 주이를 조제	—	—	55	90	1	2	—	—	—	—
종자용으로 2-4일 건조	—	—	—	—	37	68	—	—	—	—
건조한 곳이나 <i>Khol†</i> 에 보관	—	—	—	—	11	20	8	14	—	—
이병종자 제거 및 적합한 토양 준비 후에 파종	—	—	1	2	—	—	1	2	6	11
무더기 가운데서 나온 형태를 선택	1	1	—	—	—	—	1	2	—	—
수확하는 중에 삼수 확보	55	82	1	2	—	—	—	—	—	—
큰 바구니에 보관(<i>Doko†</i>)	—	—	—	—	—	—	19	33	—	—
더 이상 건조하지 않음	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—
경운 후에 재식	—	—	—	—	—	—	—	—	34	65
복잡한 조제 불필요	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
싹이 부러지지 않게 구멍에 파종	—	—	1	2	1	2	1	2	4	8
질병 없는 종자 파종	—	—	—	—	—	—	—	—	1	2
<i>Mach†</i> 나 <i>Khol†</i> 에 저장	—	—	—	—	—	—	13	33	—	—
함께 저장	—	—	—	—	—	—	1	2	—	—
종자가 있는 만큼 재배	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
구멍에 따로 보관	—	—	—	—	—	—	2	3	—	—
따로 심음	—	—	—	—	—	—	—	—	2	4
종자용 괴경은 직사광선에서 건조하지 않음	—	—	—	—	1	2	—	—	—	—
합계	67	100	61	100	54	100	57	100	52	100

*숫자는 종대 퍼센트를 나타낸다.

† *Doko* = 대나무로 만든 큰 바구니로, 풀이나 사료와 같이 양이 많은 물건을 운반할 때 사용한다 *Khol* = 작은 나무 조각들로 만들어진 특별한 구조 *Mach* (*Machan*) = 지역에서 가용한 재료로 지상에 만든 임시 구조.

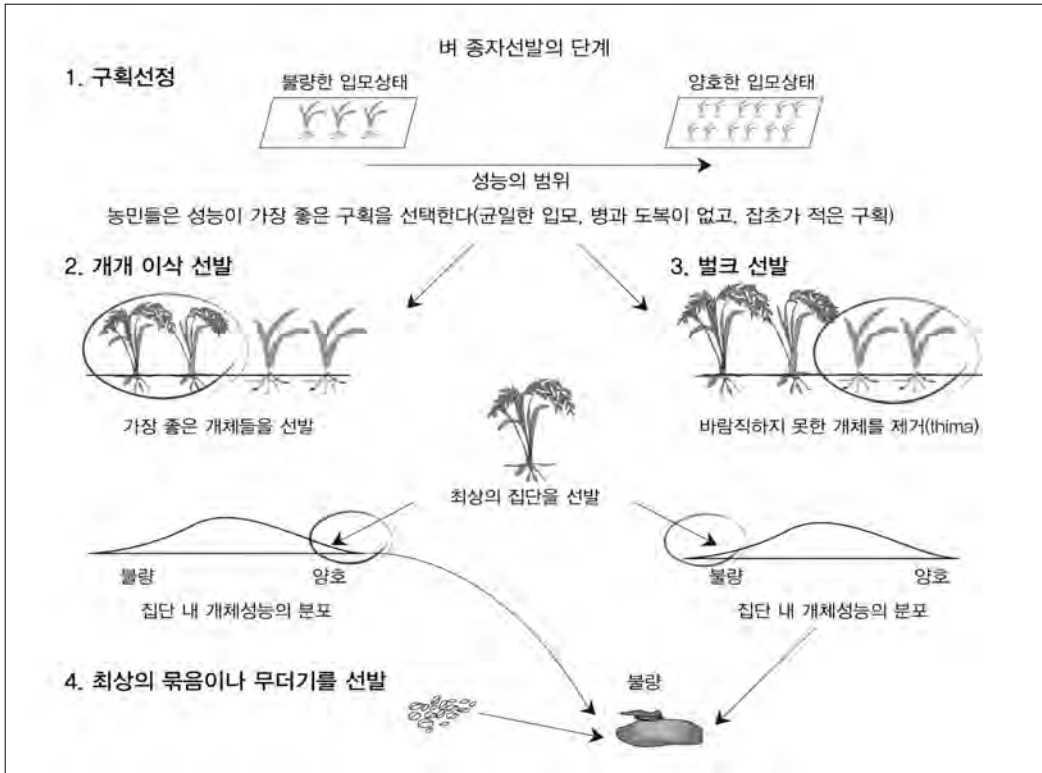


그림 4.3 연구 지점에서 농민들이 시행하는 벼 종자 선발 과정(Rana 2004).

반대로 모로코 북부 농민들은 전통적으로 잡두의 파종용 종자를 식용종자와 분리하여 저장하지 않고, 파종할 때에 선택한다. 그러므로 이 농민들은 저장 기간 동안 종자 발아력을 유지하기 위해 어떠한 특별한 노력도 기울이지 않는 것 같았다.

농장에서의 종자 저장 및 선발

선발 효과는 종종 수확 후까지 지속된다. 종자 저장의 도구 및 방법에 따라, 충해, 병 및 생리적 퇴화에 대한 종자의 취약성 정도가 결정되므로, 이로써 다음 파종기의 종자의 양과 질에 영향을 끼친다(Gepts 1990). 종자를 저장하는 조건은 발아력 있는 깨끗한 종자의 확보에 더하여, 종자 로트에 대한 선발 압으로도 작용할 수 있다. 조건에 더 잘 적응하는 종자가 적응성이 낮은 종자보다 다음 파종기까지 생존할 확률이 더 높을 것이므로 장기적으로는 집단의 유전적 다양성에 영향을 끼칠 수 있는 잠재력이 있다.

많은 경우에 다음 작기에 써야 할 종자는 가정 소비용 종자와 전혀 다르게 저장되지 않는다. Yucatán에서 소비용 종자와 다른 조건에서 파종용 옥수수 종자를 저장하는 일은 주로 농민들

이 수확한 고품질 종자 이삭이 부족한 흉년에 발생한다. 이런 해에 농민들은 종자 이삭을 세심하게 선택하여 따로 떼어 두고, 조리할 때에 나는 연기에 덮일 수 있는 부엌 서까래 같은 특별한 곳에 이 종자 이삭을 저장한다(Yupit-Moo 2002).

멕시코의 잠두 경우에 본 것과는 반대로, 종자 저장에 안전한 장소나 적합한 용기를 찾는 것은 농민들이 수확 후 관리 기간 동안 곡실의 손상을 최소화하는 데에 매우 중요하다. 페루 농민에게 지난 5년간 저장 중 종자 손실률 추정치를 물었다(Collado-Panduro et al. 2005). 가장 높은 손실률이 기록된 것은 옥수수, Shipibo, Ashaninka와 mestizo의 농가 중 각각 29.2%, 38% 및 17.6%가 75-100%의 종자 손실이 있었다고 하였다(최근 5년 중에서 적어도 1년의 가장 높은 비율). 그 원인에는 준경질 낱알의 옥수수 재래종(Cuban yellow와 Piricinco 종의 교배종)과 연한 분질 낱알의 옥수수 재래종(Piricinco 종 등)에 주로 해를 끼치는 바구미 (*Sitophilus spp.*)와 나방(*Sitotroga cerealella*)이 포함되었다. 낱알이 경질인 재래종은 피해를 덜 입었다. 콩 역시 심각한 손실을 입었다. 예를 들면, Ashaninka, Shipibo 및 Mestizo의 41.2%, 19.9% 및 16% 가구가 저장한 종자의 75% 이상을 잃은 것으로 추정되었다(최근 5년 중 적어도 한 해의 가장 높은 피해 비율). 같은 해충들이 땅콩 종자에도 약간 피해를 주었다(가구의 3%). 모든 지역사회가 종자 저장기간 동안 큰 손실을 겪었다. 이렇게 종자 저장은 지역사회의 종자공급 시스템 및 수확 후 관리에서 취약한 부분이다.

Yucatán의 전통적인 옥수수 및 콩 저장 방법은 페루보다 더 나은 듯하다. Yaxcaba의 농민들은 수확 후 손실이 일반적으로 낮다고 하였으며, Yupit-Moo(2002)는 전통적인 곡물 창고에 종자를 껍질 채 저장하여 1년 이상 지난 후에 보니, 옥수수 재래종 열매의 20% 이상이 딱정벌레목 해충의 피해를 입었다고 보고하였다. 이 같은 결과는 이 지역의 건기가 길며 일반적인 환경이 저장에 적합하고, 이 지역 재래종 옥수수의 껍질이 길고 꼭 달라붙는 특성을 갖는 등 저장에 좋은 형태학적 적응성을 가진 점을 함께 반영하는 것일 수 있다. 신품종에 대하여 Yucatán 농민들이 하는 일반적인 불평은 전통적인 저장 조건 하에서 병해충에 취약하다는 것이다.

파종 후에도 선발은 계속되는데, 이는 특정 재배 기술의 결과이기도 하다. 그 예로, 한 장소에 많은 종자를 파종하고 발아 후 솟아 내며, 원치 않는 수꽃이 피는 식물을 제거한다. 그러나 이러한 방식의 유전적 효과는 여기서 검토한 연구에서는 거의 조사한 바가 없다.

지역 품종의 개별 집단에 대한 자연 선발과 농민 선발은 모두 집단과 그 집단의 종자 로트 간에 차이를 점차 키우는 듯하다. 각 농민은 다소 다른 방법을 사용하며 유전자원은 다른 농지에서 재배되기 때문에, 농민의 종자 로트는 시간이 지나면서 선발이 가능한 형질에 있어서 서로 달라지기 마련이다. 그러나 품종의 핵심 특성에 대해서는 그렇지 않을 수 있다. 한 품종이 가진 몇 가지 특성(예: 조숙성, 맛, 종자 색깔 등)을 농민들이 보편적 혹은 공통적으로 이해하면, 농민들은 선발할 때에 모든 집단에서 이러한 특성을 일반적으로 유지한다.

선발에 의하여 지방종 집단이 분기되어 가는 것에 대항하는 힘은, 시장으로부터 작물을 교환하거나 이따금씩 종자를 구입함으로써 생기는 이주의 효과이다. 이렇듯 들어온 자원은 다시 선발 대상이 되며, 그 결과로 해당 농지나 지역 농민들에게 잘 적응하는 새로운 지방 집단으로 재창출된다.

결론

농민들은 사용하기 원하는 품종의 건강하고 발아력 있는 종자를 적기에 필요로 한다(Weltzien and vom Brocke 2000). 농민들은 믿을 만한 종자 공급원으로부터 순종 종자를 찾는다. 그러나 농민들에게는 농업형태학적인 획일성 보다는 경제적, 환경적, 문화적 필요를 만족시키는 다른 형질들이 중요하기 때문에, 이들의 순종 기준은 작물 육종가의 기준과 크게 다를 수 있음을 기억하는 것이 중요하다.

농업시스템이 자체적인 심화, 환경적 변화, 확률적 사건 등을 통해 점차 변화되면서, 농민들의 종자에 대한 요구도 변화한다. 한 가지 과제는 이렇듯 변화하는 환경 속에서 농민의 선호를 충족하면서도 시스템의 적응 능력이 유지될 수 있을 정도로 크기가 충분한 집단에 기반을 두고 종자 흐름과 종자 생산시스템을 확보하는 일이다. 두 번째 과제는 농민이 선호하는 유전자원의 품질, 적정성, 다양성을 확보할 수 있는 선발 방식을 지원하는 것이다. 분명히 중요한 것이 두 가지인데, 종자시스템 내의 표현형적, 유전적 다양성을 높은 수준으로 유지하는 것과, 현재와 미래의 필요를 동시에 모두 만족시킬 수 있도록 개개 품종을 유지해야 한다는 것이다.

다양한 작물의 종자 수확, 관리, 교환 및 사용의 방법은 여러 가지로 그마다 복잡한 정도도 다른 것이 분명하지만, 지방종에 있어서 정체성과 유전적 다양성 양상에 관한 이런 방법들의 유전적 의미는 분명히 밝혀져 있지 않다. 집단의 분화 및 교환이라는 특징을 가진 동적시스템의 일반적인 영향을 생각하면, 상위 집단으로서의 품종에 대해 논의해 보는 것은 흥미로운 것이다(Zimmerer 2003). 그러나 이런 제안을 증명할 분명한 자료가 부족하므로, 전통적인 영농시스템에 있는 다양성 패턴을 적절한 방법으로 분석하는 추가적인 연구가 분명히 필요하다. 이러한 연구에는 품종 집단의 혼합이 일어나는 핵심 장소인 시장의 역할과 일반적으로 새 유전자나 다른 유전자의 이주를 일으키는 교환방식을 이해하는 데에 도움이 되는 분석이 포함되어야 한다. 또한 선발이 한 품종 내의 다른 집단의 변화에 얼마나 영향을 끼치는지에 대해서도 더 잘 이해할 수 있어야 한다.

한 가지 접근방식은 집단유전학의 이론적 모델(예: "island-mainland," "stepping stone," "isolation-by-distance," "metapopulation" 등) 중 가장 그럴듯한 모델을 작동시켜, 자료를 이런

모델의 주요 변수들(예: 이주율, 지역 집단의 크기, 지역적 소실 가능성 등)과 비교해 보는 것이다. 두 번째 방식은 지역사회의 심겨 있는 작물에 대해 품종 구성을 추적하는 컴퓨터 시스템 모델을 만들고, 변동요인(프로세스에서 관찰된 변이에 따라 가정되는) 및 주요한 정기적 교란요인을 적용하여 시간대별 행동을 모의 실험하는 것이다. 이 과정에는 여러 품종에 대한 (농민이 저장한 종자, 이웃, 지역 시장, 공식 부문 등) 여러 공급원에서 온 종자가 차지하는 몫과 (소비, 저장, 거래, 판매 등) 여러 용도가 포함된다. 이러한 종류의 모델링은 위험에 처한 야생 식물 집단의 생존 가능성을 추정하는 데에 도움이 되었다(Young et al. 2000). 이런 방식으로 종자시스템의 현 추세 및 회복력의 평가와 다양성 유지를 위한 주요 변수의 파악을 시도할 수 있다. 현 시스템 하에서는 농민이 관리 하에 있는 부분적으로 고립된 아집단 네트워크가 최적의 상황이나, 농업이 더 심화되면 그렇지 않게 될 수도 있다. 이러한 결과는 종자시스템의 적응 능력을 유지시키기 위해 언제 관여를 해야 하는지를 미리 경고하는 기능을 할 수 있다.

사사

이상의 내용은 IPGRI에서 지원한 “농장의 농업 생물다양성 현지내 보존을 위한 과학적 기반 강화” 프로젝트의 결과물이다. 스위스(SADC), 네덜란드(DGIC), 독일(BWZ/DGT), 캐나다(국제개발 연구센터), 일본(JICA), 스페인, 페루 등 각국에서 본 연구를 재정적으로 지원해 준 것에 감사 드린다.

참고 문헌

- Almekinders, C. J. M., N. P. Louwaars, and G. H de Bruijn. 1994. Local seed systems and their importance for an improved seed supply in developing countries. *Euphytica* 78:207–216.
- Arbaoui, L. 2003. Analyse des facteurs évolutifs de la diversité génétique de la fève (*Vicia faba* L.) in situ et leurs impacts sur son maintien et sa gestion à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation in situ de la fève au Maroc. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Rabat, Morocco: IAV

Hassan II.

- Badstue, L. B., M. Bellon, X. Juárez, I. Manuel, and A. M. Solano. 2002. Social Relations and Seed Transactions Among Small- Scale Maize Farmers in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico: Preliminary Findings. CIMMYT Economics Working Paper 02-02. Mexico City: CIMMYT.
- Balma, D., T. J. Ouedraogo, and M. Sawadogo. 2005. On-farm seed systems and crop genetic diversity. In D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On- Farm*, 48-53. Proceedings of a workshop, September 16-20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Baniya, B. K., A. Subedi, R. B. Rana, R. K. Tiwari, and P. Chaudhary. 2003. Finger millet seed supply system in Kaski district of Nepal. In *On- Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal*, 171-175. Proceedings of a national workshop, April 24-26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI-BIRD/ IPGRI.
- Bellon, M. R. and J. Risopoulos. 2001. Small- scale farmers expand the benefits of improved maize germplasm: A case study from Chiapas, Mexico. *World Development* 29(5):799-811.
- Bond, D. A. and M. H. Poulsen. 1983. Pollination. In P. D. Hebblethwaite, ed., *The Faba Bean (Vicia faba L.)*, 77-101. London: Butterworths.
- Brown, A. H. D. 2000. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farms. In S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 29-48. Ottawa, Canada: IDRC/ IPGRI /Lewis Publishers.
- Brush, S., R. Kesseli, R. Ortega, P. Cisneros, K. Zimmerer, and C. Quiros. 1995. Potato diversity in the Andean center of crop domestication. *Conservation Biology* 9:1189-1198.
- Castiñeiras, L., Z. Fundora, S. Pico, and E. Salinas. 2001a. Monitoring crop diversity in home gardens as a component in the national strategy of in situ conservation of plant genetic resources in Cuba, a pilot study. *Plant Genetic Resources Newsletter* 123:9-18.
- Castiñeiras, L., Z. Fundora Mayor, T. Shagarodsky, V. Moreno, O. Barrios, L. Fernández, and R. Cristobal. 2001b. Contribution of home gardens to in situ conservation of plant genetic resources in farming systems: Cuban component. In J. W. Watson and P.

- B. Eyzaguirre, eds., Contribution of Home Gardens to In Situ Conservation of Plant Genetic Resources in Farming Systems. Proceedings of the Second International Home Gardens Workshop, July 17–19, 2001, Witzenhausen, Germany. Rome: IPGRI.
- Chaudhary, P., D. Gauchan, R. B. Rana, B. R. Sthapit, and D. I. Jarvis. 2004. Potential loss of rice landraces from a Terai community in Nepal: A case study from Kachorwa, Bara. *Plant Genetic Resources Newsletter* 137:14–22.
- Clegg, M. T. and M. L. Durbin. 2000. Flower color variation: A model for the experimental study of evolution. In F. J. Ayala, W. M. Fitch, and M. T. Clegg, eds., *Variation and Evolution in Plants and Microorganisms: Towards a New Synthesis 50 Years After Stebbins*, 211–234. Washington, dc: National Academy of Sciences.
- Collado- Panduro, L., J. L. Chavez- Servia, A. Riesco, and R. Soto. 2005. Community systems of seed supply and storage in the central Amazon of Peru. In D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 103–108. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Coomes, O. T. 2001. Crop diversity in indigenous farming systems of Amazonia: The role and dynamics of agricultural planting stock transfers among traditional farmers. In Abstracts. International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems, 27, November 8–10, 2001, Montreal, Canada.
- Dominguez, C. E. and R. B. Jones. 2005. The dynamics of local seed systems in Mozambique, and the roles played by women. In D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On- Farm*, 141–148. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Gaifani, A. 1992. Developing local seed production in Mozambique. In D. Cooper, R. Vellvé, and H. Hobbelink, eds., *Growing Diversity*, 97–105. London: Intermediate Technology Publications.
- Gepts, P. 1990. Genetic diversity of seed storage proteins in plants. In A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kakler, and B. S. Weir, eds., *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, 64–82. Sunderland, MA: Sinauer Associates.

- Gepts, P. and R. Papa. 2003. Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environmental Biosafety Research* 2:89–103.
- Ghaouti, L. 2003. Analyse de la diversité génétique de la fève in situ et étude des mécanismes de sa maintenance à la ferme: Contribution au développement des bases scientifiques pour la conservation in situ de la fève au Maroc. Mémoire de troisième cycle pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agronomie, Option: Amélioration Génétique des Plantes. Rabat, Morocco: IAV Hassan II.
- Gillespie, J. H. 1998. *Population Genetics: A Concise Guide*. Baltimore, MD: John Hopkins University Press.
- Granovetter, M. 1973. The strength of weak ties. *American Journal of Sociology* 78:1360–1380.
- Hardon, J. and W. de Boef. 1993. Linking farmers and breeders in local crop development. In W. de Boef, K. Amanor, K. Wellard, and A. Bebbington, eds., *Cultivating Knowledge: Genetic Diversity, Farmer Experimentation and Crop Research*, 64–71. London: Intermediate Technology Publications.
- Jarvis, D. I. and T. Hodgkin. 2000. Farmer decision making and genetic diversity: Linking multidisciplinary research to implementation on-farm. In S. B. Brush, ed., *Genes in the Field*, 261–279. Ottawa, Canada: IDRC/ IPGRI /Lewis Publishers.
- Jarvis, D. I., R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds. 2005. *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm. Proceedings of a Workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru*. Rome: IPGRI.
- Johannessen, C. L., M. R. Wilson, and W. A. Davenport. 1970. The domestication of maize: Process or event? *Geographical Review* 60(3):393–413.
- Kabore, O. 2000. Burkina Faso: ppb, seed networks and grass root strengthening. In D. I. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 192–193. Rome: IPGRI.
- Karamura, D. and E. B. Karamura. 2004. Implications of chimerism in the East African highland bananas. Unpublished manuscript.
- Karamura, E. B., D. A. Karamura, and C. A. Eledu. 2005. Banana and plantain seed systems in the Great Lakes region of East Africa: A case for a clonal seed system. In D.

- I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On- Farm*, 76–80. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Lope, D. 2004. *Gender Relations as a Basis for Varietal Selection in Production Spaces in Yucatan, Mexico*. MS thesis, Wageningen University.
- Louette, D. 2005. *Management of maize varieties in a traditional agricultural system of Mexico*. In D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On- Farm*, 95–102. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Louette, D., A. Charrier, and J. Berthaud. 1997. *In situ conservation of maize in Mexico: Genetic diversity and maize seed management in a traditional community*. *Economic Botany* 51:20–38.
- Louette, D. and M. Smale. 2000. *Farmers' seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico*. *Euphytica* 113:25–41.
- Mar, I., A. Gyovai, G. Bela, and L. Holly. 2005. *Multilevel seed movement across producers, consumers and key market actors: Seed marketing, exchange and seed regulatory framework in Hungary*. In D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez-Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On-Farm*, 54–59. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Maruyama, T. and M. Kimura. 1980. *Genetic variability and effective population size when local extinction and recolonization of subpopulations are frequent*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 77:6710–6714.
- McArthur, R. H. and E. O. Wilson. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- McGuire, S. 2001. *Analyzing farmers' seed systems: some conceptual components*. In L. Sperling, ed., *Targeting Seed Aid and Seed System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa*. Proceedings of a workshop, June 21–24, 2000, Kampala, Uganda. Kampala: CIAT.
- Mellas, H. 2000. *Morocco. Seed supply systems: Data collection and analysis*. In D. I.

- Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 155–156. Rome: IPGRI.
- Mulcahy, D. L., M. Sari- Gorla, and G. B. Mulcahy. 1996. Pollen-selection: Past, present and future. *Sexual Plant Reproduction* 9:353–356.
- Ortega- Paczka, R., L. Dzib- Aguilar, L. Arias- Reyes, V. Cob- Vicab, J. Canul- Ku, and L. A. Burgos. 2000. Mexico. Seed supply systems: Data collection and analysis. In D. I. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 152–154. Rome: IPGRI.
- Perales, H. 1998. *Conservation and Evolution of Maize in the Valleys of Amecameca and Cuautla, Mexico*. Unpublished PhD dissertation, University of California, Davis. University Microfilms, Ann Arbor, Michigan.
- Pickersgill, B. and D. Karamura. 1999. Issues and options in the classification of cultivated bananas, with particular reference to the East African Highland bananas. In S. Andrews, A. C. Leslie, and C. Alexander, eds., *Taxonomy of Cultivated Plants*, Third International Symposium, 159–167. Kew, UK: Royal Botanic Gardens.
- Qualset, C. O., A. B. Damania, A. C. A. Zanatta, and S. B. Brush. 1997. Locally based crop plant conservation. In N. Maxted, B. V. Ford- Lloyd, and J. G. Hawkes, eds., *Plant Genetic Conservation: The In Situ Approach*. London: Chapman and Hall.
- Quist, D. and L. Chapela. 2001. Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature (London)* 414:541–543.
- Rana, R. B. 2004. *Influence of Socio-Economic and Cultural Factors on Agrobiodiversity Conservation On- Farm in Nepal*. PhD thesis, Reading University.
- Richards, P. 1989. Farmers also experiment: A neglected intellectual resource in African science. *Discovery and Innovation* 1(1):19–25.
- Richards, P. and G. Ruivenkamp. 1997. *Seeds and Survival: Crop Genetic Resources in War and Reconstruction in Africa*. Rome: IPGRI.
- Riesco, A. 2002. Annual Report for the Project, "Strengthening the Scientific Basis of In Situ Conservation of Agricultural Biodiversity": Peru Country Component. Rome: IPGRI.
- Sadiki, M., M. Arbaoui, L. Ghaouti, and D. Jarvis. 2005. Seed exchange and supply systems

- and on-farm maintenance of crop genetic diversity: A case study of faba bean in Morocco. In D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On- Farm*, 81–86. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Sperling, L., ed. 2001. *Targeting Seed Aid and Seed System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa*, 9–13. Proceedings of a workshop, June 21–24, 2000, Kampala, Uganda. Kampala: CIAT.
- Subedi, A., P. Chaudhary, B. Baniya, R. Rana, R. K. Tiwari, D. Rijal, D. I. Jarvis, and B. R. Sthapit. 2003. Who maintains genetic diversity and how? Policy implications for agrobiodiversity management. In D. Gauchan, B. R. Sthapit, and D. I. Jarvis, eds., *Agrobiodiversity Conservation On- Farm: Nepal’s Contribution to a Scientific Basis for Policy Recommendations*. Rome: IPGRI.
- Subedi, A. and C. Garforth. 1996. Gender information and communication networks: Implications for extension. *European Journal of Agricultural Education and Extension* 3(2):63–74.
- Tripp, R. 2001. *Seed Provision and Agricultural Development*. London: Overseas Development Institute.
- Upadhaya, M. P. 1996. Rice research in Nepal: Current state and future priorities. In R. E. Evenson, R. W. Herdt, and M. Hossain, eds., *Rice Research in Asia: Progress and Priorities*, 193–215. Wallingford, UK: CAB International.
- Valdivia, R. F. 2005. The use and distribution of seeds in areas of traditional agriculture. In D. I. Jarvis, R. Sevilla- Panizo, J.- L. Chavez- Servia, and T. Hodgkin, eds., *Seed Systems and Crop Genetic Diversity On- Farm*, 17–21. Proceedings of a workshop, September 16–20, 2003, Pucallpa, Peru. Rome: IPGRI.
- Wang, J. and A. Caballero. 1999. Developments in predicting the effective size of subdivided populations. *Heredity* 82:212–226.
- Watson, J. W. and P. B. Eyzaguirre, eds. 2002. *Home Gardens and In Situ Conservation of Plant Genetic Resources in Farming Systems*. Proceedings of the Second International Home Gardens Workshop, July 17–19, 2001, Witzenhausen, Germany. Rome: IPGRI.

- Weltzien, E. and K. vom Brocke. 2000. Seed systems and their potential for innovation: Conceptual framework for analysis. In L. Sperling, ed., Targeting Seed Aid and Seed System Interventions: Strengthening Small Farmer Seed Systems in East and Central Africa, 9–13. Proceedings of a workshop, June 21–24, 2000, Kampala, Uganda. Kampala: CIAT.
- Whitlock, M. C. 2003. Fixation probabilities and time in subdivided populations. *Genetics* 164:767–779.
- Wright, M., T. Donaldson, E. Cromwell, and J. New. 1994. The retention and care of seeds by small-scale farmers. NRI Report R2103.
- Yadav, R. B., P. Chaudhary, S. P. Khatiwada, J. Bajrachara, R. K. Yadav, M. P. Upadhaya, B. R. Sthapit, A. Gautam, and B. K. Joshi. 2003. Agro- morphological diversity of sponge gourd (*Luffa cylindrica* L.) in Bara, Nepal. In On- Farm Management of Agricultural Biodiversity in Nepal, 42–47. Proceedings of national workshop, April 24–26, 2001, Lumle, Nepal. Kathmandu, Nepal: NARC/LI-BIRD/ IPGRI.
- Young, A. G., A. H. D. Brown, B. G. Murray, P. H. Thrall, and C. H. Millar. 2000. Genetic erosion, restricted mating and reduced viability in fragmented populations of the endangered grassland herb: *Rutidosis leptorrhynchoides*. In A. Young and G. Clarke, eds., *Genetics, Demography and Viability of Fragmented Populations*, 335–359. Cambridge: Cambridge University Press.

5. 가축 유전자원의 보존 결정을 위해 필요한 다양성 측정

J. P. GIBSON, W. AYALEW, AND O. HANOTTE

가축 유전적 다양성 조사

가축 종을 처음 길들인 이후 12,000년 동안 기록된 것만 30종에서 6,379 개 이상의 품종 집단이 형성되었다(Scherf 2000). 이 집단들의 진화로 인간이 사는 곳 중에서 가장 스트레스가 심한 환경을 포함하여 광범위한 상황에서 가축을 생산할 수 있게 되었다. 이렇듯 자연적으로 진화된 유전적 특성은 병저항성, 생존, 효율적인 생산 등에 지속가능한 선택의 보고가 될 수 있는데도, 저투입 가축 생산 시스템이 안고 있는 개별적인 문제에 대한 기술적 관리적 해결책을 찾기 위한 시도를 할 때는 흔히 간과되고 있다. 포유류 품종의 35%, 조류 품종의 63%가 멸종 위기에 처해 있으며 매 주 한 품종이 사라지는 것으로 추정된다.¹ 문헌상으로 분명하게 기록되진 않았지만, 가축 유전자원에 대한 위협은 개발도상국에서 점차 가속화되는 것으로 보이는데, 이는 주로 생산시스템이 빠르게 변화하고 교배육종이 널리 이용되기 때문이다. 구제역과 같이 상업적으로 중요한 가축 질병이나 광우병 및 조류 독감과 같은 인수공통전염병이 확산되는 것을 막기 위한 폐사 정책이 선진국 및 개발도상국에서 품종을 멸종시키는 새로운 위협이 될 수도 있다.

현지내든 현지외든 간에 가축 유전자원을 효과적으로 보존하기 위해서는 장기간에 걸쳐 많은 사회적, 경제적 자원이 동원되어야 한다. 이러한 자원은 보통 선진국에서 가용하며, 가축 희귀 품종의 대부분은 이미 많은 선진국이 효과적으로 보존하고 있다. 그러나 가축 유전적 다양성의 대부분은 보존에 필요한 자원이 가장 부족한 개발도상국에서 발견된다. 그러므로 사용할 수 있는 자원이 제한된 상황에서 어떤 품종을 우선적으로 보존할지에 대한 선택은 어려울 수밖에 없다.

유전적 다양성에 대한 정보는 농업 유전자원을 보전하고 사용 전략을 최적화하는 데에 유용하다. 이상적인 것은 기존의 모든 유전적 변이를 향후에도 계속 사용 가능하게 하며 그 일이 비용 면에서 가장 효율적으로 되도록 하는 것이다. 그러나 현실에서 보통은 주어진 종의 유전적 다양성을 전부 보존하기에는 자원이 충분하지 못할 것이다. 적절한 자원이 있다고 하더라도 종 내에 기능하는 모든 유전적 변이에 대해 완벽한 지식을 우리는 가지고 있지 않다.

그러므로 기능하는 변이를 거의 100% 보존하자면 충분한 정보를 가지고 있을 때보다 훨씬 더 많은 개체나 집단(예: 계통, 번식집단, 수집단위 등)을 보존하는 비효율적인 과정으로 귀결될 것이다. 기능하는 유전적 다양성을 간접적으로 측정하는 데에는 다양한 방법을 사용할 수 있다. 표현형적 특성조사로는 주어진 개체나 집단이 가지고 있는 유전자의 기능적 평균변이를 대략적으로 추정할 수 있다. 그러나 많은 농작물, 동물 및 어류의 종들이 갖고 있는 대부분의 표현형이 파악되어 있지 않다. 신뢰할만한 표현형 자료가 없는 상황에서, 유전적 다양성을 가장 빠르고 저비용으로 측정할 수 있는 방법은 무작위 분자유전학적 표지의 다형성 분석이다. 여기서 중요한 문제는 유전자원의 보존 및 사용에 관한 결정을 잘 하기 위하여 분자유전적 다양성 추정치를 어떻게 사용할 것인가이다.

이 장에서는 표현형적, 유전적 다양성 측정의 여러 방법을 간략히 설명하고, 개발도상국의 보존에 관한 결정에 필요한 정보를 제공하기 위해 이를 어떻게 사용할 수 있는지에 대해 검토한다. 여기서 제시하는 가축 보존에 관한 예들은 농작물 중에도 더욱 광범위하게 적용할 수 있을 것이다. 유전적 다양성의 사용을 최적화하기 위해 분자유전적 다양성에 관한 정보를 이용하는 문제는 여기서 다루지 않는데, 이에 관한 한 가지 가능한 전략은 Gibson (2003)이 요약하였다.

가축 유전적 다양성을 측정하는 방법으로써의 표현형 조사

역사적 발전 과정

가축 생물다양성의 계수화와 표현형 조사는 지속적인 관리 프로그램을 계획하는 데에 기본적으로 필요한 첫 번째 단계이다. 가축 품종의 물리적, 생산적 특성에 대한 광범위한 기록은 고도로 발달한 경제 대국에서 약 150년 전에 시작된 후 계속되었으며, 그 결과로 방대한 과학적 문헌이 쓰여 졌다. 이러한 기록 작업을 유도한 동인은 품종 내 혹은 그들 사이에서 가장 생산적인 유전자형을 파악하고 향상시키려는 경제적 관심이었다. 이러한 기록은 가장 경제가 발달한 국가들에서 주로 이루어 졌으며, 상업적으로 가장 주요한 종이 대부분을 차지했다. 그러나 더욱 일반적으로 말하면, 특히 1972년 스톡홀름에서 개최된 인간 환경에 관한 UN 회의(FAO 1984; Cunningham 1992; Swaminathan 1992)와 1993년 생물다양성협약(CBD)이 발효된 후에 가축 생물다양성의 체계적인 특성조사의 필요성에 대한 인식이 점차 향상되어 왔다. 이들 국가가 CBD에 서명했을 당시에는 최상의 우선순위는 아니었지만,² 서명을 통해 가축 유전자원의 지속적 관리의 중요성을 간접적으로 인정하게 되었으며, CBD는 지난 10년간 가축 유전자원의 지속적 관리에 대한 논의 수준을 크게 향상시켰다.

식량농업기구(FAO)가 설립된 이래로 가축 유전자원이 FAO 프로그램의 일부로 있어 왔지만, 1980년 로마에서 열린 FAO 기술자문(Technical Consultation)회의와 FAO/UN환경계획(UNEP) 전문가자문회의 이후로 1980년대에는 새로운 접근 방식을 취하기 시작했으며, 그 결과로 1982년에 FAO와 UNEP의 가축유전자원 글로벌프로그램이 시작되어 1990년까지 집행되었다. 1989년에 이 프로그램을 검토하여 동물유전자원관리(ANGR)에 관한 글로벌 전략의 토대를 마련하였으며, 이로써 농가동물유전자원 관리에 대한 포괄적인 틀을 제공할 수 있는 전세계 및 지역 수준의 전략을 마련하여 1993년부터 시행하게 되었다. 이 전략의 기술적 프로그램에서 중요한 요소는 ANGR의 특성을 조사하고, 문서화하여 폭넓게 사용할 수 있으며 쉽게 접근할 수 있는 글로벌 자료 및 정보 시스템을 통해서 이 정보를 보급하는 것이다(FAO 1999).

특성조사의 목적

표현형 조사를 하는 목적은 정의된 품종이나 집단 간의 다양성을 측정하는 것이며 이로써 품종이나 단위 내에서 뚜렷이 구별되는 집단들의 범위, 분포, 기본 특성, 상대적 성능, 효용 가치, 현 상태 등을 파악하게 된다. 필수적인 활동으로는 품종 각각의 확인 및 목록 작성, 이들의 자연 서식지 및 적응 서식지에 대한 자세한 기술, 표현형적 특성의 기록 등이 있다. 특성조사 업무의 주요 동기는 인간의 생계를 지원하는 데에 적절히 이용할 수 있도록 정보를 제공하는 것이다(Cunningham 1992). 그러므로 품종의 생산 및 적응 특성에 관한 정보가 주로 이용된다. 상태 및 분포에 관한 정확한 정보와 함께, 이러한 정보는 동물의 유전자원 관리에 대한 국가적, 지역적, 세계적 우선순위의 확립에 필수적인 기초정보가 된다(FAO 1984, 1999; Rege 1992). 이 장에서 논의하는 바와 같이, 이러한 주장은 쉽게 제기할 수 있지만 실제 실행은 보다 어려운 일이다.

특성조사의 본질

품종에 대한 가장 일반적인 특성조사는 표현형을 근거로 한다. 주어진 품종의 표현형은 바탕에 깔려있는 평균 유전자형과 그 동물품종이 사육되고 기록된 환경에 의해 결정된다. 성능 수준은 일반적으로 동물을 기른 환경에 의해 크게 달라진다. 색상 패턴이나 뿔 크기, 모양 등과 같은 외견 형질은 환경에 거의 영향을 받지 않으며 보통은 품종 내의 개개 동물들 사이에 크게 다르지 않지만, 성능 형질은 환경에 크게 영향을 받으며 품종 내의 동물들 사이에 상당한 변이를 보인다. 이 때문에 품종의 표현형을 잘 검정된 방법으로 정확하게 평가하기 위해서는 많은 수의 동물에 대하여 기록하고 그 환경도 명확하게 기록하여야 한다.

ANGR 관리 글로벌전략의 일환으로 포괄적인 특성조사 방법을 개발하여 문서화하였다

(FAO 1984; Hodges 1987, 1992). ANGR의 표현형적 및 유전적 특성을 조사하기 위한 포괄적인 변이 목록(특성조사 형질 목록)이 출간되었다(FAO 1986a, 1986b, 1986c). 이러한 특성조사에는 생산환경에 대한 설명을 포함해야 하는데, 이는 생물학적, 기후적, 경제적, 사회적, 문화적 차원을 아우르는 핵심 투입 및 산출 변수로 기술한다(FAO 1984, 1986b, 1999).

실제로 동물의 표현형에 영향을 끼치는 환경 요소는 매우 복잡하기 때문에, 여러 저자들이 제안한 특성조사형질목록 중 어떤 것도 환경에 대한 기술이 정확하지 못하여 다른 장소와 시간에 기록된 두 가지 이상의 품종을 표현형으로 비교하는 것은 무리한 일이다. 종간의 과학적으로 타당한 비교는 제한된 조건에서만 가능하다. 첫 번째는 두 가지 이상의 품종을 동일한 관리 하에 있는 동일한 장소에서 동시에 기록하는 것이다. 두 번째는 품종을 다른 장소나 시간에서 기록하되, 공통의 품종을 사용하여 이 다른 장소나 시간을 연관 짓는 간접적인 방식이다. 그런 다음 공통인 품종 표현형의 환경간 차이를 통해 다른 환경의 효과를 보정할 수 있다. 이러한 연구를 의도적으로 실행하는 것은 드문 일이지만, 국가나 시간을 달리한 많은 실험을 독립적으로 시행할 경우에는 이러한 형태의 자료가 자연적으로 생긴다. Roughsedge 등(2001)은 선진국의 출산 자료를 대량으로 분석함으로써 육우의 품종 간에 이러한 간접적인 비교 가능성을 탐구하였다. 이들은 출산 자료의 메타분석이 단독으로 수행한 실험 성적보다 훨씬 가치 있는 정보를 도출한다고 결론지었다. 이러한 메타분석은 환경과 유전자형 간의 상호작용이 미미할 경우에만 기술적으로 유효하다. 이러한 가정은 자료가 매우 광범위한 환경 및 유전자형을 포함할 경우에는 성립되지 못할 것이다. 다만, 그런 경우에도 첫 시도로는 합리성이 있을 수 있다.

개발도상국의 많은 품종에 관한 현재의 어려움은 이러한 자료가 있는 경우에도 접근이 어렵다는 점이다. 이러한 난점을 극복할 수 있다면, 포괄적인 가축 유전자원 정보시스템의 가치 있는 서비스가 될 것이다. 그러나 개발도상국 가축 생산시스템 특유의 어려운 환경에서는 평생 생산성과 관련하여 가장 중요한 특성들을 기록하는 것이 극히 어려우며 보통은 기록되지 않는다는 것이 여전히 문제로 남아 있을 것이다. 전체적으로 보면, 집어내어 활용할 만한 정보가 많이 있지만, 대다수 품종의 경우 경제적으로 중요한 형질 대부분에 관한 표현형정보는 거의 없는 실정이다(17장 참조).

유전자원을 적절하게 보존 또는 사용하기 위한 여러 결정은 대부분의 옵션을 배제해 가는 일이라고 할 수도 있는 바, 접근 가능하고 적절한 소수의 품종을 상대로 고려하는 행동의 대안을 줄이는 일이다. 이때 총체적 표현형 차이를 근거로 상당한 수의 옵션을 무리 없이 배제할 수 있다. 표현형 자료가 없을 때에는, 현재의 분포 및 이용 상황의 조사결과에 따라, 바람직한 특징의 보유 가능성이 낮을 것이라는 점을 근거로 옵션을 안전하게 배제할 수 있다. 예를 들면, 특정 질병이 만연하는 지역 밖에서 진화된 품종은 이 질병에 대한 유용한 내성을 가지고 있을 가능성이 적다(작물에서는 상황이 다를 수 있음, 11장 참조). 이와 비슷하게 습한

온대기후에서 발생한 품종은 건조하고 가뭄이 심한 열대 사바나에 잘 적응하지 못할 것이 거의 확실하다. 그러므로 부분적이고 부정확한 표현형 정보라 할지라도 자연분포와 현재의 사용 분포에 대한 정보와 결합되면 의사 결정에 필요한 가치 있는 정보가 된다. 공개적으로 접근 가능한 데이터베이스 내에서 품종 특성에 대한 실시간 정보를 그 품종이 진화하고 현재 이용되고 있는 물리적 환경 및 질병관련 환경을 나타내는 지리정보시스템(GIS)과 연결할 수 있다면, 이러한 의사 결정에 큰 도움이 될 것이다.

품종의 특성소사의 추진에 있어서, 전통적이거나 현대적이거나 간에 가축 소유자의 지식은 너무 자주 간과된다. 가축 소유자는 일반적으로 자신의 가축에 대한 이해가 깊지만, 보통 다른 품종들과 비교할 근거는 부족하다. 가축 소유자들이 사용하는 용어를 정량화할 수 있는 기준으로 변환하기가 어렵고, 이들의 지식은 이를 정확하게 파악하기가 어려우며 때로는 현실적으로 너무 일반적인 것이라 사용할 수가 없다. 그러므로 (예를 들어) 자신의 가축이 질병 전반에 대한 저항성이 있다는 가축 소유자의 주장은 거의 가치가 없다. 반면 자신의 가축이 특정 풍토병이나 전염병에 저항성이 있다는(또는 취약하다는) 가축 소유자의 관찰은 보통 사실에 근거한 것이며, 특히 질병의 공격을 받은 상황에서 다른 품종 성능을 관찰할 기회가 있었을 경우에는 더욱 그러하다.

글로벌 다양성의 문서화

개발도상국의 대다수 품종에 관한 정보가 제한적이고 보통은 품질이 떨어지며 조직적인 방법으로 수집된 것이 아니지만, 상당수의 품종에 대해서는 지난 100여 년간 놀랄만한 양의 정보가 수집되었다. 이러한 정보의 많은 부분이 전자 출판을 표준으로 삼기 전에 출간되었으며, 정부의 비공식자료나 기관 간행물, 국가나 지역 밖에서는 쉽게 접근할 수 없는 국가 또는 지역 저널 등에 실린 것으로 보인다. 이러한 정보는 찾아내기가 매우 어려우며 표준 논문 탐색을 통해서도 쉽게 찾을 수 없다. 이 정보를 모두 취합하여 지구촌 사회가 접근할 수 있게 하는 일은 그 잠재적 가치가 대단한 것이다.

세계적인 규모로 가축 생물다양성을 문서화하려는 첫 번째 노력은 Mason(1988)의 연구였다. 이 책에는 품종의 명칭과 별칭, 품종이 발견되는 장소, 각 품종의 기원, 물리적 외관 및 주요 용도에 대한 기본적 설명이 되어 있다. 그러나 책에는 언급한 품종의 (가끔씩 품종의 상태와 집단의 추세 이외에는) 집단의 규모가 나와 있지 않으며 생산 특성에 대한 평가도 없다.

한 종에 관한 것이긴 하지만 또 다른 공적은 *Cattle Breeds: An Encyclopedia* (Felius 1995)로써, 여기에는 1000개 이상의 소 품종에 대한 간략한 설명이 되어 있다. 이 책에는 기원의 형성, 분포, 발달, 품종간의 관계, 각 품종의 전형적인 외관 및 간단한 제원, 집단 규모의 추정치 등이 수록되어 있다. 성능, 적응, 질병 저항성에 관한 정보는 없다.

품종간 비교에 관한 문헌과 특정 국가나 지역에 있는 특정 종에 대한 보고서를 취합한 간행물은 많이 있다. 이러한 연구는 각 국가나 지역 내에서 실제적인 가축 개발 프로그램을 수립하는 데에 토대가 되는 특정 품종에 대한 구체적 정보를 산출한다. 이러한 정보의 활용도는 올바른 책임자에게 얼마나 효과적으로 수용되고 전달되느냐에 달려있는데, 이에 관한 문헌은 대부분 찾거나 접근하기가 어렵다. 문헌의 양이 빠르게 증가하고 있다는 사실을 고려할 때, 필요한 일은 모든 정보를 쉽게 접근할 수 있는 한 장소에 함께 모으는 것이다. 자연스런 해결책은 세계적으로 접근할 수 있는 전자 데이터베이스 및 정보시스템을 개발하는 것이다.

개발도상국을 위한 지역 ANGR 자료은행을 설립하자는 아이디어는 1993년 10월 로마에서 열린 "ANGR 보존 및 관리에 관한 FAO/UNEP 전문가 합동회의"에서 대두되었다(FAO 1984). 세계 가축 다양성의 약 70%가 가축 다양성의 보존에 대한 세계적인 우려에 관심이 없는 소규모 농민들의 소유 하에 있다. 또한 개발도상국들은 일반적으로 유전적 다양성의 점증하는 소실 속도에 적절하고 효율적으로 대처할 능력이 부족하다. 다양성과 현존하는 ANGR 상태에 대한 정보의 부족이 현재의 가축 다양성에 위협을 초래한다고 믿어진다.

세계적으로 접근할 수 있는 정보 시스템의 현 상태 및 향후 수요

현재 가축 다양성에 관해 세계적으로 접근할 수 있는 공개 전자 정보시스템은 몇 가지가 있다. 이 정보 시스템의 출처 및 내용은 박스 5.1에서 간략하게 요약한다.

현존하는 정보시스템은 다양한 목적으로 사용된다. 이들을 합하면 상당한 양의 정보가 있다. 그러나 이는 수요에 비하여 또는 보존 및 사용을 위한 의사결정으로 효과적으로 할 수 있기에는 매우 부족하다. 지금까지 이들 정보시스템에는 대부분 종의 대부분 품종에 대해 가용한 정보 중에서 극히 일부만이 들어 있으며, 단지 국가나 품종을 검색해 보는 이상의 기능은 거의 없다. 차세대 정보시스템은 대다수 가축 종에 관한 과거 및 현재 정보를 상당 부분 포함해야 하며, 사용자가 각 정보 항목의 가치에 대해 개인적으로 판단하여 자료를 분류할 수 있어야 할 것이다. 정보시스템은 출처가 같거나 다른 표현형 및 분자유전적 자료를 추출하고 맞춤형으로 분석할 수 있도록 기능이 크게 증대되어야 한다. 또 하나의 희망 사항은 자료 습득 범위 역시 확대하여 품종 정보를 GIS 기반의 환경 및 생산 시스템 지도에 연계하여, 과거와 현재의 분포 및 이용 상황을 보아서 조사가 잘 안되어 있는 질병 저항성이나 적응 형질을 예측할 수 있게 하는 것이다. 이런 것들은 연구자, 정책 입안자 및 농업사회에 대한 조연자들이 가축 유전자원의 보존과 이용에 관한 적절한 제안과 결정을 하는 데에 급히 필요한 기능으로 방대하지만 충분히 달성 가능한 것이다.

박스 5.1 가축 유전자원에 관한 세계적으로 접근할 수 있는 정보시스템

ANGR에 관한 FAO세계자료은행은 FAO가 전 세계 가축의 파악된 품종에 관하여 기술된 모든 정보를 전자 정보 자료로 개발하기 위해 유럽축산협회(EAAP)와 협력하게 된 1987년에 시작되었다. 자료은행은 두 곳에서 운영하는데, 한 곳은 독일 하노버에 위치하여 유럽 전역에 서비스를 제공하며, 다른 한 곳은 이탈리아 로마에 위치하여 유럽 이외의 국가들에 서비스를 제공한다. 지정된 국가 대표가 제공한 자료를 FAO가 입력한다(FAO 1999).

세계자료은행은 가축 다양성을 위한 세계 조기경고시스템의 일부로서 품종의 목록을 유지하고 가축 유전자원의 보존 상황을 감독하기 위해 사용된다. 현재는 포유류 및 조류 35종에서 14,000개의 품종 집단에 대한 정보를 가지고 있다. 가축다양성 감시대상 목록(WWL-DAD-3)은 1999년 이 세계자료은행의 정보를 기반으로 작성된 것이다(Scherf 2000).

DAD-IS

DAD-IS(www.fao.org/dad-is)는 FAO가 개발한 전 세계에서 접근할 수 있는 ANGR에 관한 최초의 데이터베이스이다. 이는 농지가축 유전자원의 관리 세계전략을 실행하기 위한 핵심 커뮤니케이션 및 정보 수단으로 시작되었으며, 주로 각 국가와 각국의 프로그램에 있는 국가망을 돕기 위한 것이다(FAO 1999). 국가 차원의 품종 정보와는 별개이며, DAD-IS는 ANGR에 관한 연구 지침 및 수단을 포함하여, 선별된 기술 및 정책 문서에 관한 가상 도서관 서비스를 제공한다. 또한 관련 전자정보 자원과의 중요한 웹사이트와 연결을 시켜주며, 다양한 관계자들, 즉 농민, 과학자, 연구가, 개발 실무자, 정책 결정자 등과 연계하여 의견을 교환하고 특정 정보 요청에 대응하는 기능을 갖추고 있다.

DAD-IS는 FAO 회원국들이 제공한 정보에 따라 기원 및 집단, 위험 상태, 고유한 특성, 형태, 성능 등에 관한 품종 수준(또는 품종 수준)의 정보를 요약하여 제공한다. 현재 데이터베이스에는 180개국의 35종에 총 5,300 품종이 등재되어 있다. DAD-IS의 주요 기능은 국가가 확보한 정보를 저장하고 각국이 사용할 수 있는 의사소통의 도구를 제공하는 것인데, 품종에 관한 자료 중에서 무엇을 언제 게시할 것인지는 각 국가는 공식적으로 지정된 창구를 통해 결정한다. 이 정보는 특성상 외부 사용자들에게는 그 가치가 제한적이다. 대부분의 국가에서는 대부분의 품종에 대해 소량의 정보만을 제공하기 때문에, 사용자는 제공된 정보의 출처나 함축적 의미, 정확성 등은 가늠할 수 없다. 그러므로 품종 간 및 국가 간 의미 있는 비교는 본질적으로 불가능하다.

유럽 가축생물다양성 정보시스템

이 데이터베이스(www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eaap/index.htm)는 독일 하노버 수의대 동물육종유전학과에서 개발, 운영한다. 이는 지구자료은행의 일부이나 46개의 EAAP 회원국 및 기타 유럽 국가들에만 한정되어 있다. 2003년 10월 23일 현재, 이 데이터베이스는 8개 가축종(물소, 소, 염소, 양, 말, 당나귀, 돼지, 토끼)의 1,935개 유럽 품종을 포함하고 있었다. 이 데이터베이스에서 기원, 개발, 집단 규모, 상태, 성능, 보존 활동 등에 관한 품종의 요약 정보를 볼 수 있다. 또한 독일, 프랑스, 스위스, 네덜란드, 오스트리아의 국가 차원 데이터베이스와 연결이 가능하다. EAAP의 국제희귀품종에 관한 웹사이트 역시 연결되어 있다(EAAP Animal Genetic Databank 2003).

DAGRIS

DAGRIS(dagris.ilri.cgiar.org)는 국제가축연구소가 개발 및 운영한다. 토착품종의 기원, 분포, 다양성, 특성, 이용현황, 상태 등에 관한 정보를 취합하고 보급하기 위해 1999년에 시작되었다. 정보는 출간된 연구 결과를 토대로 한다. 이 데이터베이스의 특이한 면은 품종에 대한 정보를 참고문헌 목록과 관련문헌의 초록으로 뒷받침한다는 것이다. DAGRIS는 연구, 훈련, 홍보, 유전적 개량 및 보존을 지원하기 위해 만들어졌다. 데이터베이스의 버전 I는 2003년 4월에 웹에 올려졌으며(DAGRIS 2003), CD-Rom으로도 나와 있다. 현재 이 데이터베이스는 아프리카에 있는 소 152개 품종, 양 96개 품종, 염소 62개 품종 등에 대한 16,000개 이상의 특성자료가 들어 있다. 현재는 3개의 아프리카 종에만 국한되어 있지만 가까운 장래에 DAGRIS의 범위를 아시아로 확장할 계획이다.

데이터베이스의 향후 개발 계획에는 더욱 다양한 사용자들이 데이터베이스 개발에 참여할 수 있도록 전문 관리를 하지 않는 품종에 관한 정보를 원거리에서 올리고 내려 받는 구조를 추가하는 일, 개발도상국 가축 유전자원의 지속가능한 이용과 보존을 위한 결정을 지원하는 도구 모듈을 도입하는 일, 분자 유전적 정보를 획득, 분석하는 모듈을 구축하는 일, 다양한 지리참조적 추가자료를 제공하기 위해 GISS와의 연결을 실현하는 것 등이 포함되어 있다(Ayalew et al. 2003).

오클라호마 주립대학 가축품종(www.ansi.okstate.edu/breeds)

1995년에 문을 연 이 데이터베이스는 오클라호마 주립대 가축학과에서 운영한다. 여기에는 기원, 분포, 고유한 특성, 이용, 상태, 품종 별 주요 참고 문헌 등 품종에 관한 개략 정보가 올라 있다. 전 세계의 품종 목록이 제시되어 있으며, 지역 별로 분류할 수 있다. 2003년 10월 현재, 데이터베이스에 등재된 품종은 양 289개, 소 269개, 말 229개, 염소 106개, 멧돼지 73개, 당나귀 8개, 물소 7개, 낙타 6개, 순록 4개, 라마 1개, 야크 1개, 가금류 55개, 오리 10개, 칠면조 7개, 거위 7개, 꿩 1개, 흑조 1개 등 총 1,074개이다. 또한 가상가축도서관에서 유용한 정보에 대한 연계를 시켜준다.

분자유전학적 표지를 근거로 한 유전적 다양성 평가

분자유전적 표지는 일반적으로 가축의 유전적 다양성 변수를 측정하기 위해 사용한다. 종합적인 검토는 아직 없지만, 방대한 수의 품종에 대한 많은 프로젝트를 통해 이런 정보를 수집하였다. 단백질 다형현상은 가축에 사용된 첫 번째 표지였으며, 1970년대에는 혈액형과 동위효소 시스템을 사용해 유전적 변이에 대한 수많은 연구를 수행하였다(Baker and Manwell 1980; Manwell and Baker 1980). 그러나 보통은 이러한 표지로 관찰되는 다형현상의 정도가 낮기 때문에 다양성 연구에 적용 가능성이 크게 낮았다. 중합효소연쇄반응(PCR) 기술의 발전으로, DNA 다형현상이 유전적 변이에 대한 분자 기반 연구의 표지로 선택되었다. 현재 가축의 유전적 특성조사 연구에서 가장 보편적인 두 표지 범주는 미토콘드리아의 DNA 배열, 특히 D-루프 또는 통제영역의 초변이 부위의 배열과 상염색체의 미세위성 유전자좌이다(Sunnucks 2001).

미토콘드리아의 DNA는 거의 전적으로 모계를 통하는 핵외 유전 요소이다. 각 개체는 전형적으로 어미로부터 하나의 반수체형을 물려받는다. 그러므로 미토콘드리아의 유전 분석은 개체나 집단의 다양성에 관하여 핵 유전체 다양성 즉 부계 유전자 흐름 분석이 빠진 불완전한 그림을 제시한다(Avise 1994). 이는 전형적으로 타가수정만을 하는 가축 종에 대해서, 특히 새끼를 많이 낳는 번식용 수컷에 대해서 특히 중요한 문제이다. 그러나 재조합이 없고 단일 반수체형으로 유전하기 때문에, 미토콘드리아의 DNA 연구는 유전적 다양성의 기원 및 분포를 이해하는 데 필수적인 가축 종 야생 조상의 파악과 복잡한 순화과정의 이해에 크게 기여해 왔다(최근 연구는 Bruford et al. 2003 참조). 관계가 없는 많은 수의 개체들에 대해 배열

정보가 있으면, 품종 내의 반수체형 다양성의 계산과 품종 간 비교가 가능해진다. 분자 변이의 위계분석(AMOVA) (Excoffier et al. 1992)을 통해 품종군내 및 군간, 또는 지역 내 및 지역간 다양성의 분포를 비교할 수 있다(Luikart et al. 2001). 미토콘드리아 DNA는 또한 가축의 종이나 아종 간의 교잡여부를 파악하는 빠른 수단이 된다 (Nijman et al. 2003).

미세위성 유전자좌는 고밀도로 발견되며 대부분의(아마 모든) 진핵생물의 모든 염색체에 무작위로 분산되어 있는 공동우성 핵 표지이다. 이 표지는 다형성정도가 매우 높으며, 2-5개씩 반복되는 염기쌍의 배열이 다른 대립인자가 다양하게 나타난다. 미세위성은 크기가 작으며 혈액, 머리카락, 피부, 심지어 배설물 등 다양한 시료에서 추출한 DNA를 PCR로 쉽게 증폭할 수 있다. 다형현상은 배열 겹에서 관찰할 수 있으며, 자동 DNA 배열기를 이용하여 짧은 기간에 많은 수의 시료를 빠르게 처리, 분석할 수 있다(Jarne and Lagoda 1996; Goldstein and Schlötterer 1999). 저렴한 단일 뉴클레오티드 다형성 표지 분석 시험 방법이 개발되면 가까운 장래에 그 인기가 위협을 받을 수 있기는 하지만, 미세위성 유전자좌는 현재 다양성 연구 및 혈통 분석, QTL 분석 등에 표지로 선택되고 있다. FAO는 주요 가축 종 각각에 대한 다양성 연구에 사용되는 일련의 미세위성 유전자좌를 개발하는 것을 주시해 왔다(dad.fao.org/en/refer/library/guidelin/marker.pdf 참조).

미세위성 유전자좌의 진화에 적용할 최상의 돌연변이 모델의 선택을 둘러싼 논쟁이 있어왔으며 더불어 자료 분석을 위한 최상의 집단유전 모델을 선택하는 문제도 자연히 논쟁거리가 되어왔다. 미세위성 다형현상은 DNA 결실 기작을 통해 생성되었을 가능성이 크며(Schlötterer and Tautz 1992), 그 결과로 생겨나는 대립인자는 불연속적이다. 새로운 변이체의 크기는 아마도 그 변이가 발생한 대립인자의 크기에 따라 달라질 것이며 역 돌연변이도 가능하기 때문에, 가능한 대립인자 풀이 무한하다는 가정은 성립되지 않을 수도 있다. 그러므로 단계적 돌연변이 모델을 근거로 유전적 거리 및 유전적 분화를 측정하자는 새로운 제안이 나왔다 (Goldstein et al. 1995). 그러나 모의실험 연구에서는 무한 대립인자 돌연변이 모델을 가정해서 실시한 분석이 미세위성 자료를 사용한 종내 다양성 연구에서 일반적으로 성립하는 것으로 나타났다(Takezaki and Nei 1996).

미세위성 자료는 품종 내 혹은 품종 간 유전적 다양성과 품종 간 유전적 혼합을 측정하기 위해 사용되고 있다. 평균 대립인자 수(MNA)와 이형접합(H_o 와 H_e)의 계산치 및 실측치는 품종 내의 다양성을 측정하기 위해 가장 일반적으로 산출하는 집단유전학적 변량이다. 그러나 MNA가 품종 간 비교에 유효한 변량이 되기 위해서는 표본 크기가 모든 번식단위에서 동일해야 한다는 점이 중요하다. 이론적으로는 집단별로 고유한("개별적인") 대립인자의 존재에 대한 정보가 곧 품종의 특수성에 관한 정보가 될 수 있다. 고유한 대립인자를 관찰 결과를 해석할 때는, 특히 그 빈도가 낮을 경우에, 많은 주의를 기울여야 하는데, 이것은 인공 산물이 표본으로

추출된 결과일 수가 있기 때문이다. 이와 비슷하게, 이형접합 측정치의 표준오차는 해당 유전자좌의 유전자형을 조사한 동물의 개체 수와 그 유전자좌에서 관찰된 다형성의 정도에 달려 있다.

미세위성 자료를 사용하여 품종 간 다양성을 측정하는 가장 간편한 변수는 유전적 분화 또는 고정 지표이다. 몇 가지 평가척도(예를 들어 F_{ST} , G_{ST} , θ 등)가 제안되었는데, 이 중 가장 폭넓게 사용되고 있는 것은 F_{ST} (Weir and Basten 1990)이다. 이 방법은 집단 간에 대립인자 빈도의 표준화 된 분산을 계산함으로써 아집단 간의 유전적 분화 정도를 추정하는 것이다. 한 쌍의 집단간 F_{ST} 값의 통계적 유의성 검정을 통해, 집단 간에 유전적 분화가 인정되지 않으며 따라서 집단간에 유전적 다양성을 분할할 수 없다는 귀무가설을 검정할 수 있다(Mburu et al. 2003). 미토콘드리아의 DNA 다형성 분석과 유사한 방식으로, 품종 내 및 품종 간의 다양성 분포를 평가하기 위해 AMOVA(Excoffier et al. 1992)를 실행할 수 있다.

미세위성 빈도 자료는 미세위성 대립인자 빈도를 근거로 한 유전적 거리의 계산을 통해 집단 간 및 개체 간의 유전적 관계를 측정하는 데에도 일반적으로 사용된다. 유전적 거리를 측정하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 것은 Nei의 표준 유전적 거리(D_S)이다(Nei 1972). 그러나 개발도상국 가축에서 일반적인, 유전적 부동이 유전적 차이의 주원인이며 관계가 서로 밀접한 집단 간에는, 수정된 Cavalli-Sforza 거리(D_A)를 권장한다(Nei et al. 1983). 품종간 유전적 관계는 거의 대부분 근린결합(N-J)법(Saitou and Nei 1987)에 의한 계통 발생도로 나타내는데, 여기서 진화 속도는 모든 가계에서 동일하다고 가정하지 않는다. 유전적 거리를 이용한 가축 품종 간의 계통 발생학적 관계를 설명하는 수많은 논문(예: 국제동물유전학회, 동물유전학 잡지 등에[www.isag.org.uk])이 발표되었다. 그러나 발생학적계통수 구조의 주요 한계는 진화가 망상조직이 아니라고(즉 계통은 갈라질 수 있지만 계통 간에는 교잡이 절대 일어나지 않는다고) 가정한다는 것이다. 둘 또는 그 이상의 조상 품종간 교잡으로 새로운 품종이 흔히 만들어지는 가축의 경우에 이 가정은 거의 성립할 수 없다. 그러므로 계통 발생학적으로 재구성한 진화 도식은 계통간 융합은 표현하지 못한다는 지식을 가지고 주의를 기울여 해석해야 한다.

미세위성 대립인자 빈도 자료를 혼합 분석에 이용하고자 다변량분석이 제안되었으며 더욱 최근에는 베이스 군집접근법이 제안되었다(Pritchard et al. 2000). 이런 유형의 가장 포괄적인 가축연구는 아마도 아프리카 소에 대한 대륙 전체에 걸친 연구일 것이다(Hanotte et al. 2002). 주성분 분석을 통해 아프리카 각 품종의 유전적 혼합 수준을 평가하여 소의 기원을 지금 알려져 있는 세 개의 순화중심지라고 이 저자들은 추정할 수 있었다. 게다가 고고학적인 정보와 연관지음으로써, 분자 자료로 아프리카 소의 3개 발원지 또는 오늘날 관찰되는 3대 유전적 영향력의 유입 지점을 파악할 수 있었다. 여기서의 핵심은 분자유전적 자료의 활용은 고고학적인 자료

및 서면 기록 등 다른 정보와 연계하면, 가축 종의 본성 및 유래, 이동, 유전적 다양성의 발달 등을 이해하는 데에 유용한 도구가 된다는 점이다. 현재의 유전적 다양성 기원의 지도를 작성하면, 표현형 변이에 대한 자료가 제한적인 종에서 기능적 유전변이를 어디서 찾을 수 있을 것인가에 대하여 여러 가지 추론이 가능해질 것이다.

보존 결정에 분자 표지 다양성의 이용

향후의 잠재적 이용을 위해 모든 가축 종을 보존하는 것이 이상적이기는 하지만, 이에 필요한 재정적, 물리적 및 인적 자원을 모두 감당할 수 있을 것 같지는 않다. 그러므로 우리는 보존을 위해 제한된 자원을 할당할 방법을 결정해야만 할 것이다. 보존의 한 가지 목표는 향후 잠재적인 이용을 위해 다양성을 최대한 보존하는 것이다. 잠재적으로 유용한 유전적 다형 현상의 품종 간 분포에 관한 정보는 거의 없으며, 개발도상국 품종의 표현형에 관한 정보도 매우 제한적이다. 그러므로 단기적으로는 분자 표지 정보가 주어진 품종 내 혹은 품종 간의 유전적 다양성을 가장 손쉽게 입수할 수 있는 평가수단이 된다. 이어지는 토론에서는, 분자 표지 정보가 기능적 유전변이의 표현형 혹은 직간접적 측정치보다 우수하다고 주장하지 않는다. 오히려 분자 표지에 기초한 유전적 다양성의 측정은 모든 다른 정보가 없는 경우에 가장 유용하며 기능적 유전변이에 대한 더 자세하고 정확한 직간접적인 측정치(정확한 표현형 평가)가 많아질수록 그 가치가 점점 줄어든다. 궁극적으로 보존 결정은 분자유전적 표지에 근거한 정보를 포함하여 기능적인 유전적 다양성에 대한 정보를 최적으로 결합하여 내려야 하지만, 현재 결정을 보조하는 수단으로는 주로 분자유전적 표지 자료를 이용하거나 이러한 자료에서 파생한 다양성 측정치에 초점이 맞춰지고 있다. 본 토론의 마지막 부분에서는 더 통합적인 결정 보조수단을 어떻게 개발할 수 있는가에 대한 몇 가지 제안을 내놓는다. 보존 결정에는 품종마다의 사회적, 문화적 가치 같은 요소들을 포함해야 한다는 사실도 염두에 두어야 한다. 본 장에서 논의하는 결정 보조수단은 의사 결정 과정을 개발하기보다는 개선하는 것을 도움으로써, 의사 결정권자가 행동과정의 대안 별로 그 결과를 이해하는 것을 돕는 데에 가장 큰 가치가 있을 것이다.

보존의 한 가지 목적은 미래의 이용 가능한 유전적 다양성을 최대화하는 것이다. 수많은 저자들이, 분자 유전적 표지 자료로 평가하여 미래의 품종 내와 품종 간을 합한 유전적 다양의 총량을 최대화할 수 있는 방법을 제시해 왔다(Toro et al. 1998; Eding et al. 2002). 다른 저자들은 품종 간 미래 다양성을 최대화하는 데에 초점을 맞추었으며(Thaon d'Aroldi et al. 1998; Simianer 2002), 품종 내와 품종 간 다양성의 가중균형을 최대화하는 방안도 제시하였다(Piyasatian and Kinghorn 2003).

품종 내의 유전적 변이가 큰 것이 사실로 나타날 수도 있으며(6장 참조), 분자 유전 표지에 의한 평가로 품종 내와 품종 간 유전적 다양성 총화를 최대화하기 위해 제안한 방법이 정밀하다 하더라도, 품종 내와 품종 간 다양성의 합을 최대화 하는 것이 보존의 목표를 설정하는 데에 적합한 기준인지는 의문인데 그 이유는 다음과 같다.

• 가장 손쉽고 빠르게 활용할 수 있는 유전적 다양성은 품종 간에 있는 것이다. 이는 중요한 적응적, 기능적 형질을 조절하는 대립인자의 빈도가 품종 내에서는 높거나 고정되었을 것으로 기대할 수 있기 때문이며, 이것이 품종을 대체하거나 품종 간 교배를 통한 개량이 집단 내 선발보다 훨씬 더 빠른 유전적 변화를 가져오는 이유이다.

• 집단유전 이론은 진화가 유전적 부동에 의해, 아니면 선발에 의해 일어나느냐에 상관없이, (활용 가능한) 기능적인 유전적 차이와 무엇인지 모르는 표지로 측정된 유전적 거리 사이에 뚜렷한 비선형 관계가 있을 수밖에 없다고 예측한다. 유럽 돼지 품종간의 분자유전적 다양성에 관한 최근 연구에서는, 품종간 다양성이 기대했던 것보다 훨씬 더 크다는 사실이 밝혀졌는데 이는 유전적 변이의 부동으로 인한 것이며, 이는 가축 순화 및 품종의 진화 시기 동안 넓은 범위의 유전체에 걸쳐 일어나는 선발행동의 효과와 일치하는 것이다(L. Ollivier, 사적 교신). 소 우유 생산의 경우는 이 두 가지 점을 뒷받침하는 추가적인 예이다. 영양이 충분한 소의 젖 분비기간 평균 우유 생산량은 대다수의비유용 열대 품종의 800 L 이하에서 유럽 *Bos taurus* 유용 품종의 6,000 L 이상까지 다양하다. 매우 성공적인 육종 프로그램에서 우유 생산량을 연간 1% 향상시킬 수 있으므로 우유 생산량이 낮은 열대 품종에서 선발로 현대 유용 품종과 동일한 생산량을 달성하는 데에는 202년이 소요될 것이다. 품종을 대체하면 이러한 변화를 5년에서 10년 안에 만들어낼 수 있으며, 품종간 교잡으로는 이러한 변화의 절반을 5년, 변화의 3/4를 약 10년 안에 만들어 낼 수 있다.

• 분자 표지 자료에 근거한 유전변이의 평가에 사용되는 방법에서는 품종 내의 유전변이가 모든 품종에 기능적으로 걸쳐 동일하다고 가정하는데, 이는 사실이 아닐 수 있다.

• 매우 소수의 품종만 보존하면 분자유전적 표지로 평가한 품종 내의 변이가 매우 높은 비율을 차지하게 될 것이다.

• 사용되는 다양성 매트릭스는 일률적이지도 변이체의 복사판도 아니므로, 보존할 품종에 새로운 품종을 추가하면 보존되는 다양성의 추정치가 감소될 수도 있으며 일련의 품종에 이미 존재하는 품종을 추가하면 보존되는 다양성이 증가하는 것으로 보이는 믿기 어려운 결과가 나오기도 한다.

보다 더 적절한 접근법은 향후의 품종간 다양성을 최대화하거나 품종 내의 변이보다는 품종간 변이의 보존을 실제로 훨씬 더 중시하는 것이라고 믿는다. 여러 그룹이 품종간 다양성 보존에 자원을 배분하기 위해 Weitzman(1993, 1998)의 방법을 적용할 것을 제안하였다. 이 접근법은 Simianer와 그의 동료들에 의해서 더욱 발전되었다(Simianer 2002; Simianer et al. 2003). 여기에서 제안된 접근법은 분자유전적 혹은 기타 자료를 근거로 품종간 유전적 거리를 먼저 측정하는 것이다. Weitzman이 제안한 다양성 매트릭스 D 를 약간 변경한 이 방법은 유전적 다양성 평가를 위하여 개발된 것으로 필수적인 속성들 즉 비부정성, 일률성, 변이체 복사 등을 갖추고 있다. 각 품종의 소실가능성 z_i 을 측정하는 방법이 개발되었으며, 이를 이용하여 미래의 다양성 기대치 D_F 를 추정하고, 이로써 모든 품종이 소실될 확률을 산출할 수 있게 된다. 다양성에 대한 각 품종의 한계 기여 m_i 역시 계산할 수 있는데, 이는 소실가능성이 m_i 인 일련의 품종에 해당 품종이 포함되었다는 가정에서의 D_F 와 소멸 가능성 $z_i=1.0$ 인 경우(즉 종이 확실히 소실되는 경우)의 D_F 간의 차이로 계산한다. 주어진 품종의 한계 기여는 자체의 소실 가능성과는 관계가 없으나, 근연 품종들의 소실 가능성과는 연관된다. 관찰을 통해 알아본 바로는 가장 큰 위협에 처한 품종들이 일반적으로 다양성에 대한 가장 큰 한계 기여를 하지는 않는다. 이는 보존을 위한 자원을 가장 큰 위협에 처한 품종에 지출하는 것이 최선인 경우는 극히 드물다는 것을 의미한다.

소실 가능성을 예측할 수 있는 방법들이 제안되어 왔으나(Reist-Marti et al. 2003), 이러한 방법에 대해서는 훨씬 더 많은 연구가 필요하다. 보존을 위해 제한된 자원을 최적으로 배분할 방법도 개발할 수 있을 것이다. 이를 위해 주어진 품종의 소실 가능성과 보존을 위한 자원 소요 간의 관계를 파악할 필요가 있는데, 이 일을 일반적으로 가능하긴 하겠지만 아직 체계적으로 시도한 바는 없다. Simianer(2002)는 자원 배분과 소실 가능성 변화 사이의 가설적 관계에 입각하여 아프리카 소 품종의 보존을 위한 자원 최적화 방법을 제시하였다. 이 예시에서는 자원 배분의 최적화로 모든 품종에 동일하게 자원을 배분하거나 가장 위협 받는 품종에만 배분하는 방법보다 향후 다양성을 약 60% 더 증가시킬 수 있는 것으로 나왔다. 후자의 방법이 보존을 위해 가장 일반적으로 취하는 접근법인데, 자원 배분을 최적화한 접근법을 개발하여 적용하면 보존 프로그램의 효율성에 상당한 영향력을 미칠 수 있다는 것을 보여준다.

보존 프로그램에서 최대화해야 하는 다양성의 적절한 측정 문제로 다시 돌아가 보면, Barker 등(2001)은 아시아 염소 품종의 다양성을 측정하는 여러 가지 방법들을 비교하였다. 이들은 (품종 내와 품종간을 합한) 총 변이를 최대화하는 것을 목적으로 할 때 다양성에 대한 개별 품종의 기여도와 Weitzman의 통계치 D 로 측정한 품종간 다양성을 최대화하는 목적 사이에는 본질적으로 어떠한 연관성도 없다는 것을 보여주었다. 여기서 어떤 측정 기준이 보존 목적에 가장 적절하다고 믿는지에 대한 우리의 입장을 분명히 밝히지만, 보존을 위한

자원을 확실히 일관적이고 효율적으로 이용할 수 있기 위해서는 국제 사회가 이 문제에 관해 합의를 이루는 것이 중요하다.

의사 결정에 있어서 분자유전 자료와 표현형 자료 등의 조합

앞서 언급한 정체불명의 다양성 측정치를 기반으로 한 접근법은 유용성(예: 질병 저항성, 스트레스 저항성, 생산성 등)의 직접적인 측정치를 포함시켜 확장함으로써 최대 다양성과 유용성의 조합을 보존할 수 있을 것이다. Simianer(2002)는 한 가지 가능한 방법을 제안하였다. 이러한 방법들은 추후 개발이 필요하지만, 이론상으로는 단지 분자유전적 다양성 자료만 있고 유용성에 관한 정보는 전혀 없는 상황부터 분자유전적 다양성 자료가 최적화에 중요하지 않을 정도로 유용성에 관하여 완벽한 정보를 가지고 있는 상황에 이르기까지 어떠한 상황도 다룰 수 있을 것이다.

이러한 의사 결정에서 최적 조건을 도출하는 것은 관련되어 있는 품종이 몇 개만 되면 계산작업이 매우 방대해지므로, 큰 문제에 적용할 수 있는 잠재력과 쉽게 접근할 수 있는 도구로서의 이용 가능성에 한계가 있다. 유전적 알고리즘은 진화 이론을 근거로, 이렇듯 매우 복잡한 최적화 문제를 빠르게 해결할 수 있는 반복적 해결책을 제시한다. Piyasatian과 Kinghorn(2003)이 품종 내와 품종 간 유전적 변이의 조합을 최대화하는 방법을 제시하였는데, 여기서는 사용자가 품종 내와 품종 간 변이의 상대적 비중을 어떻게 할 것인지를 결정한다. 이 방법을 사용하면 사용자가 투입 변수를 다양하게 바꾸어 가면서 실시간으로 보존 계획의 여러 대안의 결과를 알아볼 수 있는 인터페이스를 개발할 수도 있다. 이런 방법을 더 확장하면 보존 결정이 미치는 (예를 들면 내혼비용 예상치 및 그로 인한 품종 내의 유전적 다양성 소실 등을 포함한) 영향과 그에 따른 미래의 유전적 개량 잠재력의 손실을 측정할 보다 복잡한 모델을 개발할 수 있게 될 것이다. 이러한 방법은 연구자와 정책 조연자들이 가축 유전자원의 보존 및 사용에 있어서 광범위한 대안적 시나리오의 결과를 탐색할 차세대의 도구에 대한 약속이기도 하다. 이 도구는 웹 기반 가축 유전자원 데이터베이스 및 정보시스템과 연결하여 공급하거나 기본 데스크톱 컴퓨터에서 운용할 수 있는 독립형 도구로 공급할 수 있다. 이런 도구들은 다른 농작물 및 비농작물 종의 보존에 관한 의사 결정에도 귀하게 응용할 수 있도록 쉽게 개작할 수 있을 것이다.

각주

1. 이 추정치는 공식 국가 대표단이 FAO 공식 데이터베이스에 제출한 가축 유전자원에 관한 상태 보고서를 통해 집적한 가축다양성 감시대상 목록에서 유래한 것이다. 가축 유전적

다양성의 기록에 있어서 이 접근법에 대한 비판은 각 국가가 그 나라에 있는 유전자원 중에서 어느 것이 고유의 자원인가를 판단하는 데에 독립적인 권리를 가지고 있다는 것이다. 예를 들면, 많은 국가들이 돼지 재래종을 국가적 유전자원으로 인식하여, 돼지 재래종은 각 국가마다 별개 종으로 계산한다. 많은 국가들의 경우 돼지 재래종은 소수만 있으며, 때문에 이들 재래종은 어느 정도 위협에 처해 있는 것으로 파악된다. 비록 돼지 재래종의 세계적인 집단은 그 규모가 크고 전혀 위협에 처해있지 않지만, 통계치를 모으는 과정 때문에 품종의 숫자와 위협에 처한 비율이 과다하게 추정된다. 이러한 문제는 거의 전부가 선진국의 보고에 기인한다. 그러나, 이 분야의 관찰자들은 대부분 개발도상국의 상황은 이와 반대라고 생각한다. 개발도상국에서는 많은 가축 유전자원이 보고되지 않은 채로 있으며, 유전자원에 대한 위협은 보고된 것보다 훨씬 더 크고 점차 증가하고 있다. 개발도상국에서의 가축 유전자원에 대한 위협은 교잡방법의 이용과 농업방식이 변경에서 주로 야기되며, 이 두 요소는 점차 증대되고 있다. 그래서 불행하게도, 많은 관찰자들이 개발도상국의 편견된 보고 과정을 통해서 집계된 가축 유전자원의 위협현황을 의문시하는 데에 반해, 다른 관찰자들은 주요 유전자원에 대한 위협이 현재 보고된 것보다 훨씬 더 클 것이라고 믿는다. 개발도상국 가축 유전자원의 상태 및 추세를 정확하고 광범위하게 파악, 기록하는 작업이 시급하다.

2. 2006년 5월 1일까지 CBD 당사국은 188개국이었으며 이들 국가 중 168개이 서명하였다 (www.biodiv.org).

참고 문헌

- Awise, J. C. 1994. *Molecular Markers, Natural History and Evolution*. New York: Chapman and Hall.
- Ayalew, R., J. E. O. Rege, E. Getahun, M. Tibbo, and Y. Mamo. 2003. Delivering systematic information on indigenous animal genetic resources: The development and prospects of DAGRIS. Proc. Deutsche Tropentag 2003: Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development, October 8–10, 2003. Goettingen, Germany.
- Baker, C. M. A. and C. Manwell. 1980. Chemical classification of cattle. I. Breed groups. *Animal Blood Groups and Biochemical Genetics* 11:127–150.

- Barker, J. S. F., S. G. Tan, S. S. Moore, T. K. Mukherjee, J. L. Matheson, and O. S. Silveraj. 2001. Genetic *variation* within and relationships among populations of Asian goats (*Capra hircus*). *Journal of Animal Breeding and Genetics* 118:213–233.
- Bruford, M. W., D. G. Bradley, and G. Luikart. 2003. DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nature Reviews Genetics* 4:900–910.
- Cunningham, E. P. 1992. Animal genetic resources: The perspective for developing countries. In J. O. E. Rege and M. E. Lipner, eds., *Animal Genetic Resources: Their Characterization, Conservation and Utilization*. Research Planning Workshop, ilca, Addis Ababa, Ethiopia, February 19–21, 1992. Addis Ababa, Ethiopia: ILCA.
- DAGRIS. 2003. *Domestic Animal Genetic Resources Information System (DAGRIS)*. Version 1. J. E. O. Rege, W. Ayalew, and E. Getahun, eds. Addis Ababa, Ethiopia: ilri. dagris.ilri.cgiar.org.
- EAAP Animal Genetic Databank. 2003. Department of Animal Breeding and Genetics, School of Veterinary Medicine, Hanover, Germany. www.tiho-hannover.de/einricht/zucht/eaap/index.htm.
- Eding, H., R. P. Crooijmans, M. A. Groenen, and T. H. Meuwissen. 2002. Assessing the contribution of breeds to genetic diversity in conservation schemes. *Genetics Selection Evolution* 34:613–633.
- Excoffier, L., P. E. Smouse, and J. M. Quattro. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: Application of human mitochondrial dna restriction data. *Genetics* 131:479–491.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1984. *Animal Genetic Resources Conservation by Management, Data Banks and Training*. Part 1. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986a. *Animal Genetic Resources Data Banks. 1. Computer Systems Study for Regional Data Banks*. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986b. *Animal Genetic Resources Data Banks. 2. Descriptor Lists for Cattle, Buffalo, Pigs, Sheep and Goats*. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1986c. *Animal Genetic*

Resources *Data Banks*. 3. *Descriptor Lists for Poultry*. Rome: FAO.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Executive Brief. Rome: FAO..

Felius, M. 1995. *Cattle Breeds: An Encyclopedia*. Doetinchen, The Netherlands: Misset.

Gibson, J. P. 2003. Strategies for utilising molecular marker data for livestock genetic improvement in the developing world. In *Proceedings International Workshop on Marker Assisted Selection: A Fast Track to Increase Genetic Gain in Plant and Animal Breeding*, October 2003. Torino, Italy.

Goldstein, D. B. and C. Schlötterer. 1999. *Microsatellites: Evolution and Applications*. New York: Oxford University Press.

Goldstein, D. B., A. R. Linares, L. L. Cavalli- Sforza, and M. W. Feldman. 1995. An evaluation of genetic *distances* for use with microsatellite loci. *Genetics* 139:463–471.

Hanotte, O., D. G. Bradley, J. W. Ochieng, Y. Verjee, E. W. Hill, and J. E. O. Rege. 2002. African *pastoralism*: Genetic imprints of origins and migrations. *Science* 296:336–339.

Hodges, J., ed. 1987. *Animal Genetic Resources: Strategies for Improved Use and Conservation*. *Proceedings of the 2nd Meeting of the FAO/UNEP Expert Panel with Proceedings of the EAAP/PSASSymposium on Small Populations of Domestic Animals*. Rome: FAO.

Hodges, J., ed. 1992. *The Management of Global Animal Genetic Resources*. *Proceedings of an FAO Expert Consultation*. Rome: FAO.

Jarne, P. and P. J. L. Lagoda. 1996. Microsatellites, from molecules to populations and back. *Tree* 11:424–429.

Luikart, G., L. Gjelty, L. Excoffi er, J. D. Vigne, J. Bouvet, and P. Taberlet. 2001. Multiple maternal origins and weak phylogeographic structure in domestic goats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 98:5927–5932.

Manwell, C. and C. M. A. Baker. 1980. Chemical classification of cattle. 2. Phylogenetic tree and specific status of the Zebu. *Animal Blood Groups and Biochemical Genetics* 11:151–162.

Mason, I. L. 1988. *A World Dictionary of Livestock Breeds, Types and Varieties*.

Wallingford, UK: CAB

- International. Mburu, D. N., J. W. Ochieng, S. G. Kuria, H. Jianlin, B. Kaufmann, J. E. O. Rege, and O. Hanotte. 2003. Genetic diversity and relationships of indigenous Kenyan camel (*Camelus dromedarius*) populations: Implications for their classification. *Animal Genetics* 34:26–32.
- Nei, M. 1972. Genetic distance between populations. *The American Naturalist* 106:283–292.
- Nei, M., F. Tajima, and Y. Tateno. 1983. Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. II. Gene frequency data. *Journal of Molecular Evolution* 19:153–170.
- Nijman, I. J., M. Otsen, E. L. Verkaar, C. de Ruijter, E. Hanekamp, J. W. Ochieng, S. Shamshad, J. E. O. Rege, O. Hanotte, M. W. Barwegen, T. Sulawati, and J. A. Lenstra. 2003. Hybridization of banteng (*Bos javanicus*) and zebu (*Bos indicus*) revealed by mitochondrial DNA, satellite DNA, AFLP and microsatellites. *Heredity* 90:10–16.
- Piyasatian, N. and B. P. Kinghorn. 2003. Balancing genetic diversity, genetic merit and population viability in conservation programmes. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 120:1–13.
- Pritchard, J. K., M. Stephens, and P. Donnelly. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155:945–959.
- Rege, J. E. O. 1992. Background to ilca's agr characterisation project, project objectives and agenda for the researchplanning workshop. In J. E. O. Rege and M. E. Lipner, eds., *African Animal Genetic Resources: Their Characterisation, Conservation and Utilisation*, 55–59. Addis Ababa, Ethiopia: ILCA.
- Reist- Marti, S. B., D. Wakelin, H. Simianer, J. Gibson, O. Hanotte, and J. E. O. Rege. 2003. Weitzman's approach and livestock conservation: An application to African cattle breeds. *Journal of Conservation Biology* 17:1299–1311.
- Roughsedge, T., R. Thompson, B. Villanueva, and G. Simm. 2001. Synthesis of direct and maternal genetic components of economically important traits from beef breed-cross evaluations. *Journal of Animal Science* 79:2307–2319.
- Saitou, N. and M. Nei. 1987. The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution* 4:406–425.
- Scherf, B., ed. 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed., Part 1.9,

20, dad.fao.org/en/Home.htm, databases. Rome: FAO/UNDP.

Schlötterer, C. and D. Tautz. 1992. Slippage synthesis of simple sequence DNA. *Nucleic Acids Research* 20:211–215.

Simianer, H. 2002. Noah's dilemma: Which breeds to take aboard the ark? In *7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, 8. Montpellier, France: INRA/CIRAD.

Simianer, H., S. B. Marti, J. Gibson, O. Hanotte, and J. E. O. Rege. 2003. An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize loss of genetic diversity between livestock breeds. *Ecological Economics Special Issue on ANGR* 45:377–392.

Sunnucks, P. 2001. Efficient genetic markers for population biology. *Tree* 15:199–203.

Swaminathan, M. S. 1992. Biological diversity and global food security. In R. R. Lokeshwar, ed., *V International Conference on Goats. Pre-Conference Proceedings. Plenary Papers and Invited Lectures*, 1–5. New Delhi: International Goat Association and Indian Society of Sheep and Goat Production and Utilization.

Takezaki, N. and M. Nei. 1996. Genetic distances and reconstruction of phylogenetic trees from microsatellite DNA. *Genetics* 144:389–399.

Thaon d'Aroldi, C., J. L. Foulley, and L. Ollivier. 1998. An overview of the Weitzman approach to diversity. *Genetics Selection Evolution* 30:149–161.

Toro, M., L. Silió, J. Rodrigáñez, and C. Rodríguez. 1998. The use of molecular markers in conservation programmes of live animals. *Genetics Selection Evolution* 30:585–600.

Weir, B. S. and C. J. Basten. 1990. Sampling strategies for distances between dna sequences. *Biometrics* 46:551–582.

Weitzman, M. L. 1993. What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *Quarterly Journal of Economics* 108:157–183.

Weitzman, M. L. 1998. The Noah's ark problem. *Econometrica* 66:1279–1298.

6. ㉠ 동물유전자원의 관리: 변화와 상호작용

I. HOFFMAN

사람이 순화시켜 가축으로 이용하는 동물 종의 품종은 축산 부문의 발전과 식량 안보 및 지속 가능한 농촌 개발에 필요한 공헌을 위한 생물학적 토대이다. 약 30종의 포유류와 조류 가축 가운데 단 14종에 의해 인간의 동물성 식품의 90%가 공급되지만 대부분의 동물유전자원의 가치에 대한 이해는 매우 낮다. 20세기에 이룩한 개발은 전 세계 품종 중에서 극소수에만 집중되었으며, 지역적 생산 환경이 품종의 생존, 번식 및 생산 능력에 미치는 영향은 제대로 고려되지 않았다. 이렇듯 생물학적 자산 관리를 등한시한 결과, 상당한 침식이 일어난 상태이며 흔히 '축산 혁명'이라 불리는 축산 제품에 대한 세계적 수요 증가와 함께 그런 추세가 보다 가속화될 것으로 보인다.

가축 품종의 이용과 개발 그리고 지금 농민들에게는 별 관심이 없지만 가치가 있는 품종의 보존은 미래의 식량안보와 지속 가능한 농촌개발을 보장하기 위해서 대폭 강화되어야 한다. 품종의 지속 가능한 이용, 개발 및 보존은 대단히 중요한 요소들로서 상호 보완적인 관계에 있다. 급속하게 발전하고 있는 분자 및 생식 생명공학의 여러 분야도 동물유전자원(ANGR) 관리에 중요한 시사점을 제시한다. 이 장에서는 다음과 같은 3가지 핵심 과제(Masinde 2001)를 통해서 ANGR 다양성관리에 대하여 검토하고자 한다:

- 영농시스템 내에서 농민들은 수많은 종과 품종 중에서 어느 만큼을 유지하기 바라는가? 또 그 이유는 무엇인가?
- 농민들은 수많은 종과 품종을 유지하기 위해 어떤 기술과 전략을 사용하는가?
- 농민들이 그러한 다양성을 유지하는 데에 도움이 되거나 장애가 되는 (긍정적, 부정적) 요인에는 어떤 것들이 있는가?

가축 종의 순화와 분포에 대해 간략하게 살펴본 다음, 가축 생산의 주요 시스템, 품종 그리고 그러한 시스템 안에서의 육종 목표에 대해 살펴본다. ANGR에 영향을 주는 주요 외부요인을 파악하고 축산농민들이 그 요인들에 어떻게 대처하는지를 검토한다. 전반적으로 소규모 전통 농업에서 ANGR의 가치와 이의 관리에 대한 연구는 거의 찾아보기 힘들었지만 최근 들어 늘어나기 시작했다. 농업시스템 안에서의 다양성에 대한 연구는 더더욱 찾아보기 어렵다.

ANGR의 현황

종의 가축화와 분포

가축화는 대략 1만2천년 전에 시작되었으며, 두 가지 주된 용도가 형성되었다. 처음에는 양, 염소, 돼지, 소, 개, 모르모트 등의 가축화를 통해 고기, 지방, 섬유질을 공급할 수 있는 동물을 선발하는데 중점을 두었다. 그 다음으로 가축화 과정을 통해 동물의 행동이 이미 영향을 받은 뒤에, 동물을 수송과 견인 용도로도 사용하게 되었다. 이런 목적으로 선발된 주요 종에는 소, 물소, 야크, 나귀, 말, 라마, 낙타 등이 있다(Röhrs 1994). 대부분의 경우, 동물이 사는 환경은 인간에 의해 좌우되었지만 유목 같은 일부 생산시스템에서는 인간이 동물을 따랐다. 그림 6.1에서 볼 수 있는 것처럼 가축화에는 여러 개의 시점과 지점이 있다(Bruford et al. 2003). 대륙간 그리고 국가간 동물의 교환이 어느 정도는 언제나 존재했지만, 식민주의 동안 특히 19세기 이후에 증가했다.

오늘날까지도 품종 다양성의 클러스터가 존재한다. 예컨대, 물소와 야크의 품종 다양성은 거의 다 아시아에 있으며 말, 닭, 거위의 다양성은 대부분 유럽에, 카펠리드의 다양성은 라틴 아메리카에 집중되어 있다(표 6.1).

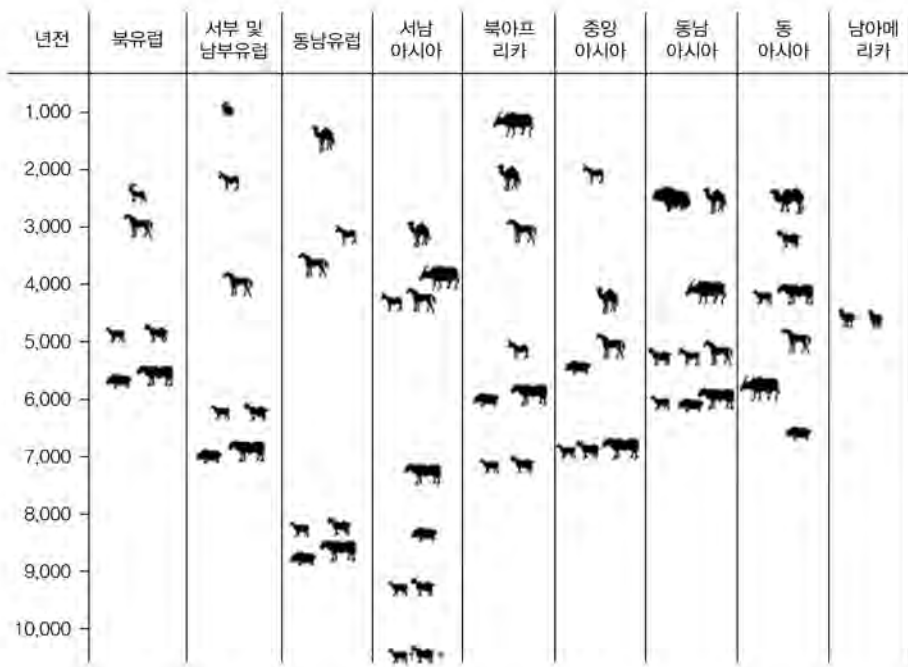


그림 6.1 - 포유류 가축 종의 가축화 장소, 시점 및 분포(Röhrs 1994를 변형)

가축 생산 체계

동물 종이 처음 가축화된 이래 1만2천년 동안 수천에 이르는 가축 품종 집단이 형성되었다. 이들 품종은 적응을 통해 진화했으며 그로 인해 광범위한 농업생태계, 생산시스템 및 다양한 경제체제에서 축산이 가능하게 되었다. 생산 목표도 다양하여 대부분을 가내 소비하는 자급적 축산에서 가내 소비가 전혀 없는 상업적 축산까지 걸쳐 있다. 자급농이 가축을 판매할 때도 있지만 그것은 경제적으로 불가피한 이유가 있을 경우에 한한 것이며 대부분은 가내 소비를 위해 혹은 사회적, 종교적, 문화적 이유에서 가축을 기른다.

현재 개발도상국에서는 국내 총농업생산에서 25%~30%를 축산이 차지하고 있으며 20년 후에는 이 비중이 거의 50%가 될 것으로 예상된다. 축산은 소득, 재산 축적, 보험, 주기적 변화에 대한 완충, 식량, 의류 및 기타 상품, 견인, 그리고 영양물질 순환(즉, 작물의 잔존물 같은 다른 농업 활동의 부산물을 사용함으로써) 등 일련의 서비스를 제공해준다. 전 세계 농촌 빈민의 약 70%는 중요한 생계 수단을 가축에 의존한다. 축산은 부농보다는 가난한 소농의 소득과 복지에 보다 크게 기여하며, 특히 빈민 가구의 여성, 그리고 여성을 통해 어린이들의 삶에 보다 큰 혜택을 준다.

표 6.1. 세계의 지역별 인구에 비례한 주요 축산 종의 품종 수

	아프리카		아시아태평양		유럽		중부아메리카		근동		북아메리카	
	집단	품종	집단	품종	집단	품종	집단	품종	집단	품종	집단	품종
물소	0.1	3.5	93.4	70.9	0.3	3.5	1.0	10.5	2.5	11.6	0.0	0.0
소	13.2	20.5	34.9	19.3	12.3	39.4	26.9	8.7	5.4	7.0	8.4	5.1
야크	0.0	0.0	n/a	69.2	n/a	7.7	0.0	0.0	n/a	23.1	n/a	0.0
염소	19.4	15.6	55.4	25.6	3.7	32.8	5.8	6.0	16.2	16.5	0.2	3.5
양	12.1	11.2	38.6	17.7	17.5	47.9	8.5	3.2	23.0	15.3	0.7	4.6
돼지	2.8	4.4	54.7	36.9	21.5	45.8	8.2	6.0	0.1	0.4	7.8	6.4
당나귀	22.2	12.4	34.3	12.4	3.5	23.7	18.8	5.2	21.3	41.2	0.1	5.2
말	7.4	7.7	24.5	11.4	12.8	60.7	42.5	4.3	4.2	8.5	10.7	7.3
카멜리드	17.7*	20.6*	14.8 [†]	22.2 [†]	0.1 [‡]	3.2 [‡]	100.0 [§]	100.0 [§]	66.8 [‡]	54.0 [‡]	0.0	0.0
닭	5.4	7.8	45.4	17.7	14.5	64.2	16.4	5.0	7.3	3.8	13.7	1.4
오리 [¶]	0.9	11.0	91.7	45.0	8.9	36.0	2.7	6.0	1.4	2.0	1.0	n/a
칠면조	1.0	17.6	0.8	17.6	49.5	47.1	6.3	11.8	3.1	2.9	39.6	2.9
거위	1.4	7.6	89.8	19.7	7.0	63.6	0.2	7.6	4.8	n/a	0.1	1.5

출처 집단 수는 FAO(1999), 품종 수는 Scherf(2000)의 가축다양성정보시스템.

* 단봉낙타만의 계수임

† 단봉 및 양봉 낙타의 합임

‡ 신대륙의 카멜리드

§ 일반오리와 열대오리 합계

가축 생산시스템(LPSS)을 분류하는 데에 통용되는 주요 결정요소로는 농업생태지역, 이동성, 농업생산통합성, 토지자산, 생산에 필요한 외부투입, 경제적 목적 등이 있다. 시어 등(Sere et al. 1996)은 생산에 필요한 토지에 따라 LPSS를 초지기반형, 혼합형 및 무토지형으로 구분했다. 유목시스템이라고도 불리는 목초지기반형 목장 즉 랜치는 보통 전적인 축산시스템으로 이 시스템에서는 가축이 세계적으로 2천만 유목민들의 유일한 수입원이다(Steinfeld et al. 1997). 총 생산량으로 볼 때 방목시스템은 전체 육류 생산의 9% 밖에 공급하지 못한다. 가축의 대부분은 혼합형 축산시스템에서 사육된다. 전 세계적으로 혼합형 축산시스템이 식육(54%)과 우유(90%)의 대부분을 생산하고 있으며 많은 개발도상국의 소규모 농가는 이 혼합형 시스템을 사용한다. 무토지형 시스템은 세계 돈육 및 가금육 생산의 50%, 우육과 양고기 생산의 10%를 공급하고 있다. 이 시스템은 사료, 에너지 및 기타 투입재를 외부에 의존한다.

품종과 육종

AnGR은 원산지에 따라 토착이나 전통 AnGR과 외래 혹은 현대 ANGR로 나뉘고 육종 경과에 따라 토착 및 지방육성종과 상업적 개량종으로 나뉜다. 상업적 품종은 과학적인 육종 프로그램을 통해 나온 것으로 이 프로그램들은 동물 각각의 개체식별과 능력검정 기록을 기반으로 한다(FAO 용어집 중 품종 정의를 참조할 것).

가축 육종은 번식을 제어하는 것으로부터 시작되는데, 이 일은 일부 방사생산 환경에서는 용이하지 않다. 가축 유전자원의 이용과 개발에 있어서 가장 중요한 요소가 바로 육종이다. 지방종의 육종 목표에는 거친 환경에 대한 적응성, 질병 저항성, 교역 대상이 되거나 안 되는 여러 생산물과 서비스의 제공능력 등이 포함된다. 지방종은 음식(식육, 우유, 계란), 섬유(모직, 원피, 가죽), 견인력, 비료, 연료 등을 제공하는 다기능적 용도이다. 예를 들어, 남아프리카에서는 소농들이 거위를 "경비견" 대신으로 키우기도 한다(Bayer et al. 2003). 가축의 방목은 사회적으로 바람직한 문화적 경관을 만들어내고 생물다양성을 유지하는 데에도 도움이 된다. 토착민 사회는 어떤 유형의 수컷과 암컷 가축이 필요한 지, 어떤 유형이 자기들이 사는 환경과 생산 조건에 최적인지 등에 대해 깊은 지식을 갖고 있다.

유적에서 발견되는 가축 뼈의 크기가 큰 것으로 보아 그리스와 로마인들은 상당히 잘 발달된 동물육종 기술을 적용했던 것 같다. 하지만 그러한 지식과 관행이 중세 유럽에서 사라져버려 이 시대의 가축은 골격의 크기가 작았다. 중세에 아랍의 말 육종가들이 처음으로 혈통 선발법을 사용하기 시작했으며, 그 후 이 지식이 후대 유럽의 육종에 영향을 미쳤다. 현대적 육종은 18세기에, 특히 영국에서 시작되어 많은 수의 품종이 나타났는데, 이들은 보통 지역의 특정 환경에 적응되었다. 예를 들어, 순혈종 말이 농사용 말과 다르듯, 고산지용으로 선발된 양과

소의 품종은 저지대용과는 표현형이 달랐다. 또한 타 대륙에서 들여온 도입종을 바탕으로 품종이 개발되기도 했다. 영국의 토종 돼지는 동아시아, 동남아시아 및 지중해 종과 교배되었다. 그 당시에 육종은 생산 형질보다 표현형 쪽에 더 치중했으며 소를 우유, 고기, 견인 등에 이용한 것처럼 다용도이었다. 이 품종들(재래종)로부터 1950년대 이후, 우유, 고기, 계란 또는 섬유 등 주요 생산형질 중에서 하나 혹은 둘에 있어서 산출이 많은, 현대의 전문화된 품종들이 개발된 것이다. 오늘날의 품종들은 순계육성 시스템에서 적어도 20세대를 거치면서 선발된 것이다. 현대적 육종에는 통제된 교배, 동물개체식별과 기록, 우수한 교배친을 찾기 위한 후대 검정 및 능력검정(수컷의 번식 능력이 더 높기 때문에 특히 수컷을 검정함), 복잡한 데이터 처리 등이 수반된다.

오늘날, 선진국(그리고 차츰 개발도상국)에서는 대부분의 가축을 주위 환경과 거의 단절되어 통제되는 조건에서 사육한다. 사료의 원료조차 국제 시장에서 손쉽게 구입할 수 있기 때문에 꼭 그 지역에서 생산하지 않는다. 이러한 환경 분리는 집약적 환경에서 이루어지는 양계, 양돈 등 무토지형 LPSS에서 주로 볼 수 있지만, 비육장에서 사육하는 유우와 육우에 대해서도 중요할 수 있다. 환경 조건이 균일해진 결과로 소수의 품종만 필요하게 되며 따라서 가축다양성이 감소가 야기된다(Tisdell 2003).

육종의 목표에는 소수의 생산 형질(식육, 유우 또는 계란)에 대한 고성능이 포함된다. 최근 들어서는 육종 목표에 가축의 건강, 대사 안정성(예: 골격구조, 가금의 경우 필수기관의 온전함 등), 가축의 행동 및 축산품의 품질까지 포함된다. 이러한 형질들은 집약적 동물사양 때문에 생기는 환경 문제, 날로 높아지는 소비자의 지식과 우려, 선진국에서의 동물복지 문제 등에 대응하고자 육종 프로그램에 도입하였다. 미국에서는 농장 및 방목지에서 사육한 가금과 계란에 대한 소비자들의 관심이 높아지고 있다. 외부적 요인(예: 폐기물 관리)과 특수 관심그룹(예: 동물복지 단체)의 압력 등으로 인해 어찌면 선발 프로그램에 건강 형질을 포함시키는 등 예상치 못했던 각본에 대응하느라 육종 비용이 상승할 수도 있다. 인간 식량과의 경합 가능성과 고투입 양계와 양돈에 의한 고질소와 고인산 오염 문제에 관심을 가져야 한다. 윤리적, 환경적, 경제적 이유에서 육종 회사나 기관은 위가 하나인 축종의 사료변환비율을 계속해서 개선해 나가야 한다. 상업적 양계 산업에서 계란과 계육의 사료변환비율은 1950년에 4.0:1이었던 것이 2000년에 2.0:1로 감소했으며 양돈 산업에서는 현재 2.5:1 수준이다(Flock and Preisinger 2002).

지방 품종은 수많은 소농들에 의해 유지 및 교환되는 데에 반해 상업적 품종은 집중된 대규모와 연계되는 경향이다. 이러한 집중 현상은 법인의 형태(조합식인지 주식회사인지)와는 별개의 문제이다. 어떤 품종에 있어서는 농민협동조합이 종축시장의 100%를 점유하는가 하면 다른 시장은 육종회사가 그 위치를 점하고 있다(Preisinger 2004). 동물산업에서의 집중 현상은 번식률, 육종 산물의 휴대성과 수송 비용, 육종에 드는 비용 등에 의한 것이다. 번식률은 가금이

가장 높고 그 다음이 돼지(암컷의 번식률이 높음), 소(수컷 쪽의 번식률이 높음)의 순서이며 작은 반추동물은 훨씬 낮다. 발생공학을 적용하기 쉽기로는 소가 가장 좋고(정액과 난자의 급속 냉동) 돼지(상업적 육종에 신선 정액을 사용)와 가금은 보다 어렵다. 작은 반추동물과 말에서는 인공수정이 널리 사용되지 않고 자연교미가 대부분을 차지한다. 가금류의 번식률이 가장 높고 계란과 태어난 지 며칠 안 된 병아리의 휴대성이 좋기 때문에 집중화는 가금 육종산업이 가장 심하다. 50년 전에 서양 국가들에는 기본종계업체가 많이 있었으나 1980년 초에는 전 세계에 종계회사가 20개였다. 오늘날 세계 종계시장은 일반종계 3개 회사와 육용종계 4개 주요 회사가 지배하고 있다(Flock and Preisinger 2002). 종돈 업계에도 비슷한 추세가 예상된다.

제도적 관점에서 볼 때 현대적 육종은 매우 조직적으로 이루어지며 육종기관의 표현형 목표와 성능 목표를 뒷받침할 수 있는 등록 동물의 혈통서류와 혈통기록을 바탕으로 한다. 육종기관은 종축협회일 수도 있고 사립 육종회사일 수도 있다. 이들 단체들에 대한 정보와 그들의 프로그램은 일반에게 (예컨대, 협회의 웹사이트를 통해) 공개되어 있다. 그들은 보통 단 하나의 품종만 생산하며 하나 혹은 둘의 생산 형질만 타깃으로 삼으며 AnGR 생물다양성을 유지 또는 강화하려고 하지는 않지만, 한 집단 내에서 충분한 유전적 변이를 관리하는 것을 겨냥한다(박스 6.1). 예를 들어, 홀스타인 프리지언(Holstein-Friesian) 소는 고효율 번식기술과 소수의 씨수컷을 집중 사용함으로써 전 세계의 수백만에 이르는 집단을 형성하였지만 유효 집단의 수는 100을 넘지 않는다.

품종은 인간이 사용하는 동물의 유전적 다양성을 나타내며 기술적 단위라기보다는 문화적 단위로 정의된다(FAO 용어집의 정의 참조). 유전적 변이라는 의미에서의 유전적 다양성은 미세위성 표지 같은 분자유전학적 방법을 통해 유전적 거리로 표현될 수 있다. 표현형 계통수 상에서 품종 간 유전적 거리가 멀수록 유전적으로 다른 것이다. 집단이나 축군의 규모가 클수록, 근친교배가 적을수록 품종 내 유전변이는 커질 수 있다.

분자 차원에서 측정된 유전적 다양성이 표현형적 품종 다양성과 항상 일치하지는 않는데, 이는 오랜 시간에 걸친 교환, 개량, 교잡 등으로 표현형이 서로 다른데도 유전자형이 유사한 것과 표현형이 유사한데도 유전자형이 다른 것들이 만들어졌기 때문이다. 표현형이 유사한데 유전자형이 다른 예로는 북부 및 북동부 나미비아에서 볼 수 있는 상가(Sanga)라는 이름의 나미비아 재래종 소를 들 수 있다. Ovambo, Caprivi, Kunene, Kavango 등 서로 다른 네 가지 생태형을 식별할 수 있는데, 각각은 다른 환경에서 진화했지만 그들은 유전적으로 매우 비슷하다(Nortier et al. 2002). 유전변이를 증가시키면서 표현형을 유지하려는 목적으로 교잡한 사례로는 Tarentaise와 교잡된 독일의 사라져가는 소 Murnau-Werdenfelser와, Danish red와 교잡된 옛날 원형의 Angler를 들 수 있다. 관상용 닭의 육종가들은 주로 표현형에 관심이 있지만 표현형이 다른 품종들의 유전자형이 매우 비슷할 수 있다. 표현형의 재현을 기준으로

하면 교배를 통해 멸종된 품종을 재현할 수도 있다. 이러한 재현은 표현형과 사회문화적인 동기에서 특정 환경에 적응한 옛날 품종을 보존한다는 점에서 바람직하고 농업적, 환경적 유산으로 간주할 수는 있겠지만, 유전변이를 유지하는 것과 혼동해서는 안 된다. 이 두 가지 논쟁은 구별되어야 하는 바, 품종은 몇 가지 표현형 특성을 가진 사회적인 구조물로 생물다양성 보존협약 하에서 생물다양성의 감시를 맡고 있는 정부가 정하는 것이고 유전변이는 유전체 또는 유전자좌 차원의 것이다. 이는 AnGR 다양성 자체와 다양성의 조사 및 관리에 관한 논의에 있어서 초점을 맞추기가 어렵다는 문제를 보여준다.

박스 6.1. 가금류의 품종과 유전변이

모든 가금류 품종의 기원은 남아시아의 적색야생닭인 것으로 보인다(Hillel et al. 2003). 개발도 상국에 있는 가금류 품종에 관해서는 이집트에서 개발된 파유미(Fayoumi)를 빼고는(Hossary and Galal 1995) 일반적으로 기술된 것이 없으며 아프리카의 토착 닭에서 발전한 열대 적응 품종에 대해서도 기록이 없는 것 같다. 파유미종의 유전적 구성은 다른 닭들과 다르고 이 닭은 미국 닭보다 바이러스병에 훨씬 강하다("Egypt chicken plan" 1997).

집단과 축군의 규모가 크고 근친교배가 제한적인 품종은 유전변이(다형현상)가 크다. 유전적으로 구분되는 지방종 집단을 바탕으로 깃털의 색깔과 패턴, 벚의 모양 같은 표현형이 서로 다른 여러 순종이 개발되었다. 이러한 품종들의 집단의 유효규모는 관상용의 경우처럼 외관 형질에 대한 강선발이 일어날 경우, 단기간 안에 줄어들 수 있다. 근친교배, 유전적 부동, 병목요인 등으로 인해 상황이 악화되어 품종이 위기에 처하게 될 수도 있다. 지난 몇 해 동안에 개선되기는 했지만, FAO의 가축다양성 정보시스템(DAD-IS)에는 가금류 품종에 대한 자료가 미비하다(Scherf 2000; Weigend and Romanov 2002). DAD-IS 데이터베이스에는 14개 조류 종의 1,049개 품종의 자료가 들어 있는데, 이는 전체 품종의 16%에 불과한 것이다. 각국이 DAD-IS에 제공한 가금류 유전자원 자료로 볼 때, 기록된 유럽과 북미의 품종은 대부분 멸종 위기에 있는 것으로 보이는 반면, 다른 지역은 보고된 자료가 충분하지 못하다. DAD-IS에 등록되어 있는 가금류 품종 중 약 50%가 위기에 처한 것으로 분류되는데, 이는 DAD-IS에 들어있는 종 가운데 가장 높은 비율이다. 가금류의 상업적 계통과 육종 회사나 대학에서 유지하고 있는 계통들은 DAD-IS에 포함되어 있지 않다.

상업적인 가금류 육종회사들은 다양한 제품을 판매하는데, 그 중 대부분은 3~4 개의 순계를 상호 교배하여 나온 것이다. 이를 위해서는 원원종계를 지속적으로 개발하여야 하며 예비 계통도 동시에 육성해야 한다. 상업적 종계회사들은 근친교배 수준을 낮게 유지하며 높은 유전변이를 유지하고자 노력한다(Flock and Preisinger 2002). 유전변이의 관점에서 보면, 상업용 품종에 많은 가금류의 유전적 다양성이 포함되어 있는데, 관상용도 그런 경우다. 하지만 최근 들어 백색 산란계의 육종회사들이 유전변이의 감소와 향후의 선발효과에 관하여 걱정하고 있는데, 이는 백색 산란계가 단관 백색 레그혼이라는 단일한 기원을 가지고 있기 때문이다. 갈색 산란계와 육계는 기원이 약간 다양해 4개의 품종에서 주로 나온 것이다. 최근에 종계회사들 간 합병이 이루어지고 경제적인 이유로 예비 계통을 처분해 버리자 품종간 및 계통간 유전변이를 보존해야 할 필요가 더욱 커졌다(Hillel et al. 2003).

토착 AnGR 관리

이 장에서는 토착종이라고도 하는 재래종 AnGR의 관리에 관하여 집중적으로 다룬다. 토착지식은 한 집단의 실제적 지식으로 전통에 근거한 지역적 경험을 반영하는 동시에 현대적 기술에 의한 최신의 경험이 합쳐진 것이다. 그러므로 이는 창의성과 혁신메커니즘에 따라서 그리고 여타 지역적 또는 세계적 지식체계와의 접촉을 통해서 계속 변화하는 역동적인 것이다(Richards 1985; Warren 1991; Haverkort 1993; Rajasekaran 1993; 박스 6.2와 6.3).

사회적인 관점에서 보면 AnGR에 관한 축산종사자들의 결정은 공동체 내의 조직과 제도에 따라서 혹은 가구와 공동체의 자원에 대한 접근과 그 관리의 영향을 받는다(Rege 2003). 자연 자원(토지와 수자원)에 대한 접근, (개인 사유인지 또는 공동체 공유인지의) 토지 소유권 유형 그리고 가정 내의 (성 역할 같은) 문제 역시 어떤 종과 품종을 사육할지를 결정하는 데에 한 몫을 한다. "품종"의 개념 안에 환경과 공동체의 가치 및 목표가 표현되어 있다는 데에 공감대가 형성되어 있다. 그렇기 때문에 농업다양성의 보존은 농업생산환경 내에서의 이용과 밀접하게 연계되어야 한다(Rege 2003).

유목민과 농민은 축산시스템 내에서 왜 종과 품종을 유지하는가?

토착 가축은 주로 자기들이 살고 있는 자연환경에 대해 깊은 지식을 가진 유목민 혹은 혼합형농업 종사자들이 유지한다. 이 시스템에서는 가축을 한 무리 또는 복수의 표시로 구분하므로 외부인은 가축 하나하나를 식별하기 어렵다. 레지(Rege 2003: 27)에 따르면 “서구의 영향을 받은 지역이 아

니면, 품종이라는 형식적인 단어가 별 의미가 없는데, 이들 지역에는 혈통 기록이 없는 경우가 흔하다. 그럼에도 불구하고 그런 환경에서조차 전통적인 '사육 목표'와 가축을 소유한 공동체의 지역적 문화적 구분의 결합으로 이루어진 지속적으로 구별되는 정체성을 가진 계통 또는 '유형'이 있다.

박스 6.2. 유목민들이 선호하는 은다마(N'Dama) 소의 특성: 육종 목표를 파악하기 위한 참여적 연구 방법

육종의 공식적 기반과 문서 기록체계가 없는 경우에 축산인들의 육종 지식과 전략을 조사, 평가하는 일은 어려운 과제다. 이 연구의 목표는 유목민들의 재래종 소 품종에 대한 관심과 생산 및 기능적 형질에 대한 선호에 대한 이해를 용이하게 할 적절한 참여적 방법을 찾아내어 육종 프로그램과 AnGR 관리에 적용하고자 하는 것이었다.

감비아의 3개 지역, 27개 마을에서 가축을 소유하거나 사육하는 자들을 대상으로 설문조사를 실시했다. 조사가 이루어진 세 지역은 상업화 정도, 나가나병의 심각성, 가축 소유유형 면에서 서로 차이가 있었지만, 모든 지역이 농작물 경작과 축산을 혼합한 저투입 농법을 위주로 한다. 소는 우유, 고기, 퇴비, 견인 등을 제공하는 다용도이다. 나가나병이 만연한 서아프리카의 다른 지역과 마찬가지로, 반추동물은 이 병에 대한 내성과 기타 적응특성을 가지고 있어서 활용이 가능하며, 그래서 감비아 소의 약 95%는 파동편모충 내성이 강한 은다마 품종으로 이루어져 있다(CIRDES/ILRI/ITC 2000). 그렇지만 건조한 사바나 기후에 인접해있기 때문에 흑소인 고브라(Gobra) 품종이 이입되기 쉽다.

유목민들의 품종 선호 성향을 파악, 평가하고 이를 이용해 육종 목표를 파악하기 위해 여러 가지 조사 방법을 사용하였다. 7개 마을에서는 유목민들의 생산 목표, 품종이나 특성 선호도를 포함한 육종 전략, 육종 기법 등을 조사하기 위해 포커스 그룹 면담을 실시하였다.

포커스 그룹 면담 결과, 은다마 품종을 더 선호하지만 인근에 있는 고브라 품종과의 교잡도 전통 육종 전략에서 고려하는 것으로 나타났다. 유목민들이 은다마 수소의 평가기준으로 가장 자주 언급한 특성은 크기(13.1%), 힘(28.3%), 성욕(10.6%), 우수한 후손(12.3%) 등이다. 유목민들은 '힘'이라는 말을 활력과 건강을 표현하는 단어로 사용한다. 은다마 암소에 대해서는 우유 생산(25.1%), 매년 새끼 낳기(24.9%)와 힘(16.6%)이 최우선적 기준이다. 건강 상태(질병에 대한 저항력 반영)가 수소에게는 가장 중요한 변수이고 암소에게도 매우 중요하다. 최우선적인 생산 형질은 암소의 경우 우유와 번식력이고 수소의 경우 체형(크기)과 증체 능력이다.

기준의 빈도와 축산 목표를 근거로 6가지 형질을 선정해 매트릭스 평가를 했다(박스 표 6.2). 은다마 품종은 건기 스트레스에 대한 적응성, 견인 효용성, 질병 저항성 등에서 최고 점수를 받았다. 고브라는 질병 저항성에서 최저점을 받은 반면, 크기와 우유 생산량에서 가장 높은 점수를 받았다. 이 결과는 조사 장소에 따라 현저하게 다르게 나타났다.

박스 표 6.2. 감비아 소 품종에 대한 유목민들의 평가 (척도 1 - 5점).

평가기준	고브라	은다마-고브라	은다마
크기	4.9	4.3	3.1
우유 생산량	4.7	4.3	3.2
출산 빈도	2.9	3.1	4.4
건기 스트레스에 대한 적응	2.3	2.9	4.7
견인 효용	2.7	3.5	4.7
질병 저항성	1.8	2.6	4.6

AnGR 관리에 대한 참여적 접근법은 전통적인 육종 전략의 여러 측면을 파악, 평가하고 축산 공동체의 적극적인 참여를 이끌어내는 데에 매우 중요한 것이다. 매트릭스 평가 수단은 정량화된 자료를 만들어내 유목민과 과학자가 품종에 대해 필요한 정보를 쉽게 교환할 수 있게 해준다. 유목민들은 질병 저항성과 적응 특성 때문에 분명히 은다마 품종을 선호한다고 밝혔다. 은다마 품종에게 크기가 중요한 선발 기준이며 이 점에서 고브라 품종이 높은 점수를 획득하고 있으므로 두 품종을 교잡할 중요한 이유가 된다. 이로써, 은다마의 유전적 온전성과 적응 특성을 보존하려면 순계육성 프로그램으로 은다마의 유전적 개량을 지원할 필요가 있다는 점이 강조된다. 그렇지만 육종 정책은 지역의 계획을 고려해야 하며, 지점별로 특화된 프로그램을 지원해야 하는데, 잠재력이 높은 지역에서는 유목민들이 이미 실행하고 있는 교잡 노력까지도 지원해야 한다. 각각의 동물에 대한 지식과 번식용 동물에 대한 통제 정도는 사회나 유목민들이 생계를 가축에게 얼마나 의존하는지에 따라 달라진다. 따라서 지식과 통제는 혼합형 농업시스템보다 유목시스템에서 더 많은 경향이 있다. 또한 축종에 따라서도 차이가 매우 큰데, 낙타를 기르는 유목민들이 양이나 염소를 키우는 이들보다 육종에 대해 관심이 높은 편이다(Huelsebusch and Kaufmann 2002). 가축은 상속이 되고 서비스를 제공(예: 가축을 지키고 감시하는 일)한 대가로 받기도 하며 친척으로부터 선물 받을 수도 있고 구매를 통해 취득할 수도 있다(Hassan 2000; Gondwe and Wollny 2002; Jabbar and Diedhiou 2003).

출처: Steglich & Peters (2002).

박스 6.3. 변화하는 환경에서 에티오피아 보란(Boran) 소의 가치

이 연구는 잘못된 개발에 의한 간섭과 인구밀도 증가로 인해 보란 소가 본래의 서식지를 활용하는 면에서의 가치가 변화하는 것을 보여준다. 에티오피아의 두 지역에서 데이터 수집이 이루어졌으며 이 두 곳은 전통적인 방목지 관리 기능이 대조적이며 외부 개입의 정도가 다른 곳이었다. 웹 지구는 전통적 건기 방목 지역을 대표하는 곳으로 중부 보라나 방목지에 있으며 밀집된 9개의 깊은 우물 중 하나와 연관 곳이다. 디다하라 지구는 예전에 우기 방목지였던 곳으로 변두리 방목 지역에 있으며 우기 목초에 대한 방목 압력을 경감하고 전반적인 방목지 이용 효율을 개선하기 위해 1970년대에 인공적으로 저수지를 조성했다. 참여적 농촌 평가 기술과 면접, GPS 및 공식적인 지도를 이용해 유목민들의 품종 선호 경향, 농촌자연자원의 상태, 지역 토지이용 전략 등을 조사했다. 우기와 건기의 절정기에 각각 토착 품종 유형별로 다 자란 암소와 수소의 무게를 측정했다.

에티오피아 보란 소는 반건조 지역 방목지라는 고위험 환경에서 유목민들의 성공적인 육종 및 선발 전략에 의해 탄생하였다. 한때 반건조 방목지에서의 높은 생산성 덕분에 높이 평가 받던 품종이다(Cousins and Upton 1988; Behnke and Abel 1996). 상업방목을 위해 케냐, 호주, 멕시코로 수출되기도 했으며 케냐의 개량종 보란은 무게가 850kg나 나가기도 했다(Rege 1999). 보란 유목민들의 재래식 토지이용시스템에서는 기능을 하는 방목지군간에 계획적으로 이동하면서 초지와 물을 적절히 이용할 수 있도록 축군을 분할 배치하였다. 물 부족이 방목지의 활용도를 결정하는 데에 가장 중요한 변수이었으며, 이 점에서 동아프리카 지역 최고의 방목지로 인식되었다. 전통적인 제도는 풍부할 때와 부족할 때에 가축들의 필요에 맞춰 가용한 풀과 물 자원을 관리하게 되어 있었다. 그런데 디다하라의 인공 저수지가 생기면서 방목이 상시화되고 통제가 안 되는 정착이 이루어져 예전에는 일시적으로만 사용되던 방목지의 목초가 과도하게 뜯기었다. 그와 동시에 공식 행정 기관의 상명하복식 행정지시로 인해 기존의 목초지 관리제도가 와해되었다. 더군다나 새로운 정치적 행정적 경계선이 그어지면서(최근 에티오피아 정부의 지방화 프로그램으로 보라나의 방목장 3분의 1과 주요 저수지들을 소말리아 자치정부에 유리하게 연결시키는) 소말리아와 보라나 부족들 간의 분쟁이 격화되었다. 2.5~3%로 추정되는 연간 인구증가율이 보다 더 큰 압력으로 목초지에 작용하여, 1인당 가용한 자원을 감소시킨다. 그 결과로 방목지 자원이 점점 훼손되어, 선호하던 품종의 소멸과 나뭇잎을 뜯는 이득이 별로 안 되는 품종에 의한 침식이 나타난다(Coppock 1994; Kamara 2001; Homann et al. 2004).

보라나 방목장의 변화로 에티오피아 보란 소 원형(Qorti)은 사라질 위기에 처하게 되었고 더 작고 더 튼튼한 아유나(Ayuna)형에게 유리해졌다. 방목 환경이 순조로우면 유목민들은 몸이 큰 코르티를 더 선호한다. 코르티는 번식력, 성장, 우유 생산 등에서 좋은 평가를 받았다. 그러나 아유나에 비해 가뭄과 외부 기생자에 대한 저항력이 낮고 풀 자원 결핍에 대한 적응성이 떨어진다는 평가를 받았다. 아유나형은 고산지대 소의 유전적 이입으로 생긴 것으로 키와 몸집은 더 작지만 더 튼튼해서 훼손된 방목지 환경에 적응하는 특성이 있는 파악되었다. 번식력과 고기 및 우유 생산에 있어서는 일반적으로 코르티보다 못한 것으로 평가되었다. 평균 체중 측정에서 성숙한 코르티가 아유나보다 현저하게 더 무거운 것으로 나타났지만 우기가 되면 아유나의 체중이 더 늘었다.

이들 두 형의 지리적 분포는 환경이 훼손되면서 유목민들의 품종 선호도가 그에 맞춰 적응했음을 반영하고 있다. 웹 지구는 보다 유리한 서식지이어서 코르티형을 유지할 수 있는 조건으로 나타났으며, 따라서 디다하라보다 웹에서 코르티의 발생 빈도가 훨씬 더 높았다. 외부 개입이 더 컸던 디다하라에서는 방목에 어려움이 급속하게 증가하였고 사회경제적 이질성이 뚜렷하게 나타났으며, 1999년부터 2001년까지의 큰 가뭄 동안 전 보라나 지역 중에서 이 지구가 가장 많은 가축 소실을 겪었다. 오늘날에는 목초가 급속하게 고갈되어 소수의 부유한 유목민만이 시장이나 정부가 경영하는 방목지로부터 코르티 수소를 구입할 수 있다.

상황이 이렇게 바뀌자 이 서식지를 활용하는 데에 에티오피아 원형 보라나 소를 이용할 가치가 줄어들었다. 유목민들은 코르티가 보라나 방목지에서 점점 사라질 위기에 처해있다고 인식했다. 코르티형은 목초 자원이 부족할 때는 경쟁력이 없는 것으로 간주됐다. 대부분의 목축농가에서 아예 아유나형만 기르거나 능력이 떨어진 코르티를 적은 비율로 키울 뿐이었다. 목초 부족 및 점점 더 잦아지는 가뭄과 함께 인구 대부분의 경악할 수준의 빈곤 등이 모두 이러한 유전적 침식의 주요 원인으로 파악되었다. 에티오피아 보란 소 원형을 보존하자면 유목민들이 이용할 수 있는 목초 자원의 양과 질이 개선되어야 한다. 상호 연관된 여러 요인들 때문에 자연자원 활용에 대한 통제가 한층 더 어려워졌다. 유목민의 생활이 어려워진 것은 그 후에 점차 증가되어 온 외부의 간섭이 시작된 1970년대부터이다. 자신들의 방목지가 훼손되는 것을 목격하고 사회적 자본이 붕괴됨을 알게 되면서 진정한 방목지 관리를 위해서는 전통적인 생산 전략이 여전히 필수적이라고 여기면서도, 동시에 공식적 행정을 통한 보조금 서비스도 필요하다고 강조했다. 서로 다른 이익 단체들 간의 분쟁에 대한 중재와 조정을 포함해 지속적으로 교섭을 할 수 있는 순수한 구조를 만들어야 한다. 자연자원의 이해당사자들 사이에 장기적인 교섭 단위를 유지함으로써 보다 큰 규모의 자연 자원에 대한 공동접근을 보장할 수 있고, 협조적인 지역사회 구조를 생성하고, 외부와의 관계에 대한 지역사회가 관리를 촉진하고, 외부인 활동을 더 잘 조정할 수 있게 될 것이다.

이러한 형태의 교섭의 장점으로는 적응적 혁신의 실현, 유해한 방법의 거부, 상충되는 요구들 사이의 조정 등이 있다. 위험 요소로는 권력의 남용, 정보 접근 기회의 불평등, 상업화 증가, 정치적 동맹 등이 있으며 이로 인하여 혜택 받지 못하는 그룹이 더 농락당하게 될 수도 있다.

이러한 제도적 접근을 견지하자면, 충분히 실용 가능한 정책 개념을 세우고 연구 및 개발 프로그램에 사회경제적, 생태학적인 차원을 포함시키고, 이해관계가 서로 다른 그룹간에 분명한 토지 소유권과 역할에 동의하는 것이 필요하다. 성공 여부는 기술이 아니라 정치적 문제에, 그리고 정보를 공유하고 능력 배양에 협력하겠다는 모든 관계자들의 의지에 달려있는 것이 분명하다(Grell and Kirk 2000; Thebaud and Batterbury 2001).

출처: Homann et al. (2004).

번식용 동물의 가치를 판단하고 수컷과 암컷을 구분하기 위해 토착종 종축업자들이 여러 가지 기준을 사용하고 있음을 다양한 연구를 통해 알 수 있다. 이 기준은 가축이 수행해야 하는 수많은 기능에서 비롯된 것이다. 타노 등(Tano et al. 2003)은 볼키나파소의 나가나병 만연 지역에서 자급 축산인, 작물과 가축의 혼합형 농민, 고기와 우유 생산 축산인 등을 면접 조사했다. 모두들 목초의 종류나 수질에 대해 까다롭지 않은 가축을 선호한다는 사실을 발견했다. 수소에 대해서는 견인 능력, 큰 몸집, 높은 번식력, 질병 저항성 및 빠른 체중 증가 등을 바람직한 특성으로 여긴다. 암소에 대해서는 다산 능력, 우유 생산량 및 몸의 크기가 중요한 기준이지만 생산시스템에 따라 다르다. 농민들은 유목민들에 비해 견인 가치를 높게 치는 반면, 유목민들은 우유 생산량에 높은 가치를 둔다. 작물과 축산 혼합형 농업 종사자들은 견인 능력에 대한 관심이 가장 큰 편이고 고기와 우유 생산에 별로 관심이 없으며 따라서 다산 능력에 대한 관심도 낮다. 유목민들은 다산 능력이 축군의 규모와 생산 능력에 직접적인 영향을 미치기 때문에 이 점에 대해 가장 신경을 많이 쓴다. 우유와 고기에도 꽤 많은 점수를 준다. 수소의 경우와 마찬가지로 암소도 골격의 크기가 큰 것을 선호하는데, 이는 시장 가치에 영향을 미치기 때문이다(Tano et al. 2003) (박스 6.2 참조).

북서 나이지리아에서의 한 사례연구(Hoffmann 2003; 박스 6.4)는 토지환경 내 품종의 분포가 공간과 계절에 따라 달라지며 서로 다른 품종들을 서로 다른 생산자 집단이 자신들의 생태적 위치와 생산시스템에 적합한 물자와 서비스를 제공받기 위해 보존한다는 보여준다.

개발도상국에서는 대부분 품종들의 성능, 적응성, 질병 저항성이 체계적으로 기록되지 않았으며, 있는 정보도 대부분 쉽게 접근할 수 없다. 대부분의 가축의 유전적 다양성은 개발도상국에 있는데, 이들 나라는 기록 자료가 가장 부실하고 멸종의 위험이 가장 높은 동시에 그 위험이 계속해서 증가하고 있다. 오직 시장성이 있는 결과물만 중요시하고 기능과 성능의 지속가능성에 관련된 수많은 특성을 간과하면, 가축 토착품종의 가치는 과소평가된다. 불리한 생산 환경에

대한 적응성이 많은 토착종의 독특한 속성인데 현장 조건에서는 이 사실을 기록하기가 어렵다. 가축식별과 능력검정이 없기 때문에 전통적인 환경 안에서 토착종을 정량적으로 평가하기가 어렵다. 양적 평가는 최근 몇몇 그룹이 실시했는데 주로 전통적 혹은 변형된 형태의 전통적 축산시스템에서 축산인들과 그들이 속한 지역사회의 우선적 관심사와 선호도 등을 참여적인 방법으로 평가했다. '생태경제학(2003)' 특별호인 "가축유전자의 가치평가"에 이러한 방법론적 발전 상황이 제시되어 있다. 참여적 방법 외에 연계분석(Tano et al. 2003)과 가축 시장에서의 특정 형질과 품종에 대한 구매자 선호도를 평가하는데 사용되는 헤도닉가격모형(낙타 시장에 관한 Mohammed 2000; 소에 대한 Jabbar and Diedhiou 2003) 같은 경제학적 도구가 AnGR 평가에 유용한 것으로 밝혀졌다. 지방종과 공동체 기반 AnGR 관리에 대해 관심이 증가하고 있는 추세가 문헌에도 반영되고 있다(Köhler-Rollefson 2000; Mhlanga 2002).

박스 6.4. 서아프리카의 유목 및 유목농업 시스템에서의 생물다양성 관리: 나이지리아 서북부의 사례 연구

서아프리카 북부지방에서는 소가 유목민과 유목농민들의 생계 기반이다. 소는 우유, 퇴비, 우육, 견인력 등을 얻는 데에 이용되며 예금과 보험의 역할을 한다. 유목 축군, 특히 소에 대해서는 각 축군의 성과 연령에 따른 분류로 구성분석을 하였다(FDLPCS 1992a, 1992; Vabi 1993). 북부 나이지리아에서는 면접을 통해 가축의 수를 알아내기 어렵다.

첫째, 문화적인 이유와 세금 부과에 대한 두려움으로 유목민들이 가축의 수를 공개하기를 꺼린다. 둘째, 생태적, 경제적으로 변화가 심한 환경에서 시행되는 위기관리 방법 때문에 정확한 자료를 얻기는 더욱 어려워진다. 이 위기관리 방법 중에는 사회적 네트워크 안에서 가축을 광범위하게 교환하고 축군을 관리 단위 별로 나눠 소유자의 농장으로부터 멀리 떨어진 곳에서 키우기도 하고 여러 소유자들의 가축을 하나의 축군으로 모아서 관리하기도 하는 것이 포함된다.

이 사례 연구에서는 나이지리아 북서부에 있는 잠파라 보존구역에서 매월 단면조사를 실시하여 가축의 수를 셈으로써 방목밀도 정보를 획득하였다. 동물의 수를 조사한 자료에서 얻은 것이다(Schaefer 1998). 그렇게 동물 수 조사로 얻은 숫자는 열대 가축 단위(TLUS)인 생체중 250kg으로 환산하였다.

1년을 통틀어 방목장 1헥타르 당 평균 0.84마리의 소, 0.55마리의 양, 0.38마리의 염소가 있는 것으로 나왔으며, 이는 0.81TLU/ha의 방목밀도에 해당한다. 이 방목밀도는 권장치를 초과하는 것이다. 소의 최고 밀도는 8월에 관측되었으며 2.3마리/ha나 되었다. 이는 우기 절정기, 식물의 성장 속도 그리고 정량정성적 목초 공급 상황과 일치하는 것이다. 건기 동안 방목지의 가축 방목 밀도가 계속 감소하는 것은 가용한 먹이와 물이 줄어드는 것과 일치하며 잠파라 보존구역 밖으로 가축 사육자들이 이동하는 것과도 일치한다. 우기에는 작물재배 지역에 가축은 하나도 없었는데, 마을 당국이 접근을 금지시켰기 때문이다. 작물재배지역의 가축 수는 12월부터 3월 사이에 1.6마리/ha 정도로 유지되다가, 그 후 급속하게 감소하였다. 그와는 대조적으로 건기 중 작은 반추동물의 방목밀도는 1헥타르 당 0.3마리에서 0.1마리까지 점차적으로 감소했다. 방목밀도가 높으면 퇴비를 통한 영양물질 투입에 기여한다(Hoffmann et al. 2001).

여러 설문조사를 통해 가축 보유 상황에 대해 질문 받은 특별 보호구역 내의 플라니족 유목민들과 유목농민들은 소가 69마리에서 75마리, 양이 33마리에서 43마리, 염소가 34마리에서 36마리라고 대답했다(Kyilogwom et al. 1994). 카메룬 북부에 정착한 플라니족 사람들보다 비슷한 수준의 소와 보다 적은 수의 작은 반추동물을 소유하고 있었다(Vabi 1993). 플라니족의 축군 규모가 하우스족보다 크다. 하우스족 농민의 77%는 평균 13마리의 양을, 75%의 농민은 11마리의 염소를 키우고 있다. 그들은 대개 몇 마리의 다 자란 수소를 견인 목적으로 키우는데, 7%의 농민만이 10마리 이상의 소를 키우고 있다.

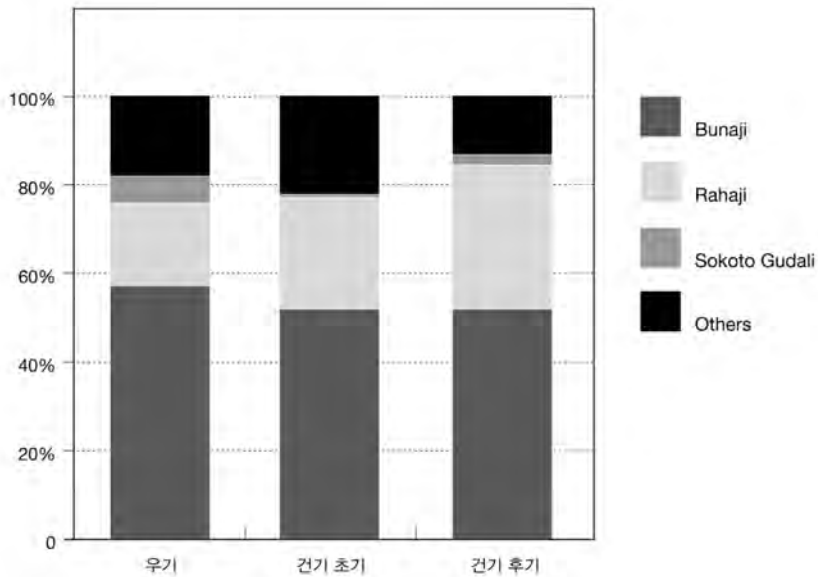
사육단위별 소 또는 작은 반추동물의 숫자는 작물 재배지와 방목지 사이에 다르지 않았다. 1,264개 사육단위에 포함되어 있는 소의 평균 숫자는 20.2마리 (1마리에서 183마리 사이)였다. 사육단위의 3분의 2는 20마리 미만의 소로 구성되어 있었다. 사육단위를 관찰함으로써 소유 형태에 대해 직접적인 결론을 낼 수는 없지만, 이 숫자는 농민들은 대부분 작업용 수소의 비율이 높고 규모가 작은 사육단위를 소유하고 있는 사실을 설명한다(Hassan 2000; Hoffmann et al. 2001). 유목민들은 면접조사에서 커다란 축군은 나누어 사육하는데 소는 범주별로 나눈다고 말했다. 즉 수소, 암소, 어린 소 및 송아지를 따로 나눔으로써 먹이 수요와 견기 능력에 더 잘 맞출 수 있게 된다(Schaefer 1998).

이 지역의 주요 생태형이랄까 품종은 Bunaji(백색 플라니), Rahaji(레드 보로로), Sokoto Gudali 등이다. 라하지는 우유와 고기 두 가지 용도의 품종이다. 부나지와 소코토 구다리는 거기에다가 견인력을 추가로 제공하는데 부나지는 주로 우유 생산을 위한 것이고 근육이 잘 발달된 소코토 구다리는 우육과 노동력을 얻는데 사용된다(FDLPCS 1992a).

이 지역에서 734개의 축군(58%)은 단일 품종으로 이루어져 있었다. 축군이 어느 정도 균일할 경우에는 일정한 유형의 번식용 가축을 선발한다. 이는 특정 환경과 목적에 대한 소의 적응성에 대해 가축 소유자들이 확실한 개념을 가지고 있으며 그에 맞춰 수소를 선발한다는 것을 의미한다. 특별 보존지구의 절기와 지역이 이들 품종의 분포에 상당한 영향을 미쳤다(박스 그림 6.4).

보다 거칠고 건조한 환경에 보다 잘 적응하는 라하지는 특별 보존지구의 북쪽에서 더 자주 볼 수 있다. 라하지는 방목용 고급 품종으로 건조한 환경에 잘 적응하지만 습도와 관련된 질병에는 민감하다(Blench 1999). 북부 지방 축군의 42%에서 가장 높은 비율을 차지하는 부나지는 특별 보존구역의 중부와 남부 지역에 보다 많이 분포한다(각각 62%와 90%).

품종의 온순한 정도는 라하지, 부나지, 소코토 구다리 순으로 증가한다(FDLPCS 1992a). 따라서 라하지는 경작을 하느냐에 상관없이 유목민들만 키우는 품종이다. 부나지는 유목민들과 유목농민들이 키우고 소코토 구다리는 주로 (하우사와 플라니) 농민들이 키운다. Vabi(1993)와 Blench(1994)는 정착 생활을 하는 플라니 사람들의 축군에서 라하지와 부나지가 소코토 구다리 소로 대체된 것을 관찰하였다. 따라서 소 품종의 분포를 보면, 품종의 선택에 있어서 특정 목적과 특정용도 그리고 생태계 환경에 대한 적응성을 신중하게 감안한다는 것을 알 수 있다.



박스 그림 6.4 잠파라 특별 보존지구 방목지의 절기별 소 품종 분포(Schaefer 1998).

잠파라 특별 보존구역의 사례 연구는 유목민들이 생물다양성을 사용, 관리하는 전략을 개발하였다는 점을 보여준다. 일반적으로 그 전략은 현지의 토양, 야생 및 재배 식물, 가축에 대한 지식과 이동성, 변동하는 소유권을 포함한 천연자원에 대한 시공간적 접근성 변화, 시스템 내와 시스템 간 물자와 서비스의 교환, 소득 활동의 결합 가능성 등에 근거를 둔 것이다.

이는 강우량 변동, 인구 팽창, 변화하는 시장 등의 상황에 대응하여 축산과 경작에 의한 생산시스템을 유지해온 서아프리카의 건조 지역에 전형적인 현상이다. 모든 전략은 예측 불가능한 변수들에 보다 현명하게 대처하기 위해 고도의 다양성, 융통성 및 적응가능성을 바탕으로 한다.

출처: Hoffmann (2003).

유목인과 농민은 어떻게 품종을 유지하는가?

세계 전역에 걸쳐있는 유목 사회에서조차 가축의 번식을 통제하는 전략은 매우 다양하다(Blench 2001). 수컷의 거세를 어떤 사회에서는 용납하지 않으며, 목축 또는 방사 시스템에서 수컷과 암컷을 분리시키는 것은 어려운 일이다(박스 6.5). 어떤 유목민들은 워낙 대규모의 축군을 가지고 있기 때문에 번식용 가축을 축군 안에서 선발할 수 있으며 보통은 특정 품종을 특별히 선호한다(Köhler-Rollefson 2003). 반면에 어떤 이들은 자신의 축군 안에서 번식을 제어하기보다는 자신의 축군이(질병 제어 등의 이유로) 다른 축군들과 섞이지 않게 하는 데에 더 뛰어나다. 서아프리카의 유목민들은 가축들이 환경적으로 다른 구역으로 이동하면 새로운 품종을 도입할 필요가 생긴다는 사실을 잘 알고 있음에도 불구하고 소에 대해서조차 번식 통제에 별로 신경을 쓰지 않는 것으로 보인다(Blench 1994, 1999). 유목민들은 적응된 희귀종의 소유자이자 관리자이다.

박스 6.5 가축의 거세

수컷의 거세는 많은 유목시스템에서 흔히 사용하는 전략이다. 거세한 동물은 살이 찌기 쉽고 보다 온순해지지만(그래서 관리하기 더 쉬워짐), 거세하지 않고 남기는 가축의 유전적 속성에 대해 잘못된 결정을 하거나 수컷들에게 사고가 날 경우, 저급한 품질의 개체로 축군을 번식시켜야 하는 일이 생길 수 있다. 한 가지 대응책은 기계적인 수단으로 번식을 막는 것이다. 예를 들어, 양과 염소를 위한 생식기 덮개가 서아시아에서는 상당히 널리 사용된다. 사하라 사막 이남의 아프리카에서는 거세가 수컷들에게 닥치는 위험성 때문에 예전에는 거의 시행되지 않았다.

하지만 보다 발전된 건강관리 방법이 점차 보급되면서 전략적으로 널리 사용되기 시작했다. 안데스 지역에서는 거세가 모든 종에 대해 광범위하게 시행되었던 것 같다. 거세는 수컷의 효과적인 거래를 위한 사회적 제도에 달린 문제이기도 하다. 어떤 면에서는 가뭄 및 눈보라의 효과와 구조적으로 유사하다. 잠재 품질이 우수한 수컷이 너무 적으면 그 수컷이 죽을 경우, 가족이나 지역사회 밖에서 동물을 빌려올 수밖에 없다. 사회가 결속이 잘 되어 있을수록 이 일이 보다 효과적으로 이루어진다. 하지만 수컷의 수를 줄임으로써 실질적인 위험에 직면하게 될 수도 있다 (Blench 2001).

목축과 경작 혼합형 농업시스템에는 전통적인 가축 교환시스템이 존재하며 이는 인간의 대가족과 관련된 경우가 많다. 인간의 계보가 가까우면, 가축들도 그럴 것이라는 의식이 있다. 그래서 주요하게 기억될 만한 이벤트(출생, 결혼)가 있을 때에 가축을 선물하는 것이다. 몽골의 유목민들은 인간과 가축의 혈통을 확실하게 연관지어 왔는데, 이러한 프로세스는 축군이 집단화되고 일부 과학적인 번식방법이 도입되면서 방해받았다(Blench 2001). 가축의 교환은 유전 물질의 교환을 넘어서 일종의 보험이고 사회적 유대강화의 수단이다. 변형된 결과물 공유계약제를 통해서 가축을 받은 사람이 기증자와 그 새끼를 나눠 가지기도 한다.

AnGR의 변화와 AnGR에 대한 위협 요소

AnGR의 유전적 침식은 그 속도가 점점 더 빨라지고 있다. DAD-IS에 등록된 6,300개의 품종 가운데 1,350개가 멸종 위기에 놓여 있거나 이미 멸종되었다. 세계적으로 포유류의 35%와 조류의 52%에 해당하는 품종이 이미 사라졌거나 사라질 위험에 처해있다. 멸종 위험이 있거나 이미 멸종된 품종의 비율이 가장 높은 곳은 유럽이다(포유류의 55%와 조류의 69%). 반면에 아프리카와 아시아의 비율은 평균치를 밑돌고 있다(표 6.2).

유전적 이입 또는 외래종과의 교잡으로 인해 토착 품종이 아예 없어지거나 차츰 사라질지 모른다는 염려가 커지고 있다. 그러한 품종들이 소실되면 소, 양, 염소 등의 휴면병 내성, 영양이 결핍되어도 튼튼하게 자라는 마르와리 염소의 더위와 가뭄에 대한 내성, 야쿠트 소의 추위에 대한 내성 같은 경우에 따라서는 수백 년에 걸쳐 형성된 유전적 특성이 같이 소실될 것이다.

표 6.2. 1999년 12월 현재 세계의 포유류와 조류 품종의 위기 상황 : 지역별 실제 수치.

위기 상황	아프리카	아시아 태평양	유럽	라틴아메리카 및 카리브	근동	북아메리카	계
포유류 품종							
총 품종 수	632	1,031	2,512	304	562	289	5,330
알 수 없음	205	280	265	116	278	103	1,247
위험함	74	99	857	43	37	69	1,179
멸종됨	39	43	515	27	25	55	704
위험하지 않음	314	609	875	118	222	62	2,200
조류 품종							
총 품종 수	106	220	611	53	34	25	1,049
알 수 없음	45	99	63	0	0	2	209
위험함	21	43	391	24	7	22	508
멸종됨	0	4	32	0	0	0	36
위험하지 않음	40	74	125	29	27	1	2296

출처 : Domestic Animal Diversity Information System, in Scherf (2000).

품종 집단에 대한 가장 큰 위협은 다음과 같다:

- 전쟁, 병해충과 질병(가축과 인간), 기타 천재지변(예: 가뭄, 홍수, 지진)의 발생
- 환경상 변화, 지구온난화, 농업 생태계 변동
- "농민의 퇴출"이나 "서식지의 소실"을 야기하는 사회경제적 변화, 도시화, 시장 변화 및 집약화
- 전통적인 생업과 문화적 다양성의 소실
- 번식 재료의 글로벌 마케팅과 그로 인한 품종 또는 변종의 대체 혹은 흡수, 외래 품종과 토착 품종 간 교잡
- 단기적 목표, 현재 혹은 미래의 AnGR의 가치에 대한 몰이해
- 빈약한 감시와 관리, 지속 가능한 육종 프로그램의 결여
- 빈약한 축산 분야 발전 정책, 조기 경보 체제의 결여, 재해 발생 후의 부적절한 축군회복
- 유목 사회를 해체시켜 동물 품종의 소실을 야기하는 공유 초지에 대한 토지 이용 정책

환경 변화

방목지로의 작물경작지 확대와 그에 따른 식생 및 토지 이용 상의 변화, 삼림 개간 혹은 사냥과 그에 연계된 동물 질병 매개체의 서식지 변화, 지구 온난화 등과 같은 자연 환경상의 변화는 가축의 품종

또는 심지어 종이 누리던 상대적 강점에 영향을 미칠 수 있다(Anderson 2004). 가축의 분포와 생산성은 방목지의 분포 또는 전염성 가축질병의 분포상 변화에 간접적으로 영향을 받는다(Tano et al. 2003; 박스 6.2, 6.3, 6.4 참조).

인구 증가와 사바나의 경작지 전환으로 인해 가축들이 나가나병의 위협을 받는 체체벨트(tsetse belt)가 남하해 갔다. 따라서 아프리카의 건성 아습윤기후대의 수십만 평방킬로미터에는 이제 사바나 나가나병이 없어져서 소, 양 및 염소 품종의 파동편모충 내성의 상대적 가치가 바뀌었다. 인구 압력과 환경에 대한 인간의 영향으로 나가나병은 지금보다 더 줄어들고 야생생물 보존지역은 감소할 것으로 예상된다. 흑소는 키가 더 크기 때문에 나가나병이 없는 지역의 농민들이 선호하는 품종이다. 나가나병에 관한 토착지식 덕분에 파동편모충 내성이 있는 품종과 그렇지 않은 품종 간의 공간적 분포가 대단히 정교하게 조정될 수 있었다. Jabbar와 Diedhiou(2003)는 몸이 작고 나가나병에 저항성인 무투루(Muturu)나 케테쿠(Keteku)가 질병 저항성과 까다롭지 않은 먹이습성 등의 장점을 가지고 있다는 것을 인정하면서도, 농민들은 몸이 더 크고 나가나병에 약한 제부계통의 품종인 ‘화이트 플라니’를 선호한다는 사실이 밝혀졌다. Rege 등(1994)은 남부 나이지리아에서 무투루 품종이 가진 고유한 사회적 문화적 역할을 설명했다. 나가나병 발생위험이 낮은 지역에서 파동편모충 내성을 가진 품종의 유리한 점은 더욱 낮아진다. 그래서 무투루와 케테쿠는 남서부 나이지리아의 사바나 지역에서 사라져버렸고 삼림지대에만 남아 있다. 하지만 나가나병의 예방과 치료용 약물에 대한 내성의 증가가 파동편모충 내성이 강한 품종을 계속 번식시키는 동기가 될지도 모를 일이다(Jabbar and Diedhiou 2003; Tano et al. 2003; 박스 6.2).

사하라 사막 이남 아프리카의 반건조 기후대에서는 강수량 감소와 과도한 방목 및 토지 경작에 의한 방목지 훼손 때문에 반추동물, 특히 소과 동물에게 적합한 목초지가 눈에 띄게 감소했다. 아습윤기후대에서는 삼림 개간을 통해 새로운 사바나가 조성되고 있다. 방목지가 훼손된 경우, 농민들은 그 상황에 적합한 사료 공급 전략으로 사료가 적게 든다든가 식성이 다른 품종을 선택하게 된다(박스 6.3과 6.6 참조). 1970년대 중반과 1980년대 사헬(Sahel) 지역의 대기뭍 이후, 가축 중에 작은 반추동물, 특히 염소의 비율이 늘어났으며 단봉낙타의 수는 아직도 증가하고 있다. 그 이유는 가뭄에 대한 저항성과 사료자원 부족에 대한 적응성이 단봉낙타가 가장 높고, 다음은 염소, 양, 소의 순서이기 때문이다. 각각의 종 안에서도 가장 잘 적응하는 품종을 이용해왔다. 예를 들어, 서아프리카에서는 소코토 구다리 품종을, 남아프리카에서는 은구니 품종을 각각 채택하였는데 이들 품종은 나무 싹을 잘라먹는 데에 잘 적응되어 있다(박스 6.7).

사헬 지역에서 가축집단들이 대거 남쪽으로 이동하면서 소위 동물견인지대도 남쪽으로 이동하게 되었는데, 그 남쪽과 북쪽에서는 모두 경운작업에 동물 견인력을 사용할 수 없다(6.6

참조). 1980년대 이후 대부분의 지역이 대기질의 영향을 받은 동아프리카와 남아프리카에서는 농사용 가축을 소에서 가축 저항력이 보다 큰 나귀로 바꾸어야 했다.

박스 6.6. 북서 나이지리아에서 토양 비옥도 관리를 위해 소를 낙타로 대체한 사례

북부 나이지리아에서는 서로 분리되어 있는 생산자집단 간의 교환을 기반으로 경작과 축산 간의 상호작용이 성행하고 있다(McIntire et al. 1992). 유목 형태 가축의 이동이 이 시스템의 주요 구성요소이며 여기서 유목민집단은 정기적으로 특정 지점으로 이동한다. 유목민의 이동경로 선택의 주요 결정요인은 물과 방목지에 대한 접근 권한과 작물 잔여물의 비용이다. 이러한 작물과 가축 간 상호작용 대신에 농장 안에서 경작과 축산이 동시에 이루어지는, 보다 통합적인 시스템이 생겨나고 있다. 인구 증가는 이런 변화의 한 원인이다.

가축들이 자연방목지에서 자유롭게 풀을 뜯기보다는 우리 속에 갇혀 지내는 일이 더 많아지고 있다. 작물 잔여물, 풀, 싹 등을 베어 나르는 노동집약적 사료시스템에 대한 의존성이 점점 더 커져가고 있다. 생산은 퇴비, 견인력 및 우유 생산을 지향한다(Mortimore and Adams 1998). 작물 잔여물이 유목민과 농민의 자산이 되어가고 있다.

해가 가면서 이동을 보장하고 농민과 유목민 사이의 갈등의 해결을 도울 제도적 장치가 마련되고 있다. 농민과 유목민은 보통 작물잔여물과 퇴비를 맞교환 하는데, 이들 품목은 두 그룹이 가장 쉽게 이용할 수 있는 품목으로 발전한 것이다. 농민은 자신이 소유한 가축의 사료로 작물잔여물이 필요하고, 또 한편으로는 토양의 영양물질을 보충하기 위해 퇴비가 시급히 필요하다. 농민들이 직면한 또 하나의 문제는 건기 동안 목초와 물이 부족해지면 유목민들이 그 지역을 떠나 남쪽으로 이동하는 것이다.

그래서 전통적으로 풀라니 사람들의 소떼를 이용해 밭에 시비해오던 것과는 달리, 투아레그 족(Tuareg) 소유의 단봉낙타(*Camelus dromedarius*)에 의존한 시비가 이루어지고 있다. 장거리를 이동하는 준유목민인 투아레그 족의 낙타가 풀라니족 소 유목민의 시비 역할을 이어받은 것이 근래의 변화이다. Dundaye 지구의 마을에 유목 낙타 축군이 처음 나타난 것은 25년 전이었다. 1985년에 몇몇 농민이 밭의 시비를 위해 낙타 유목민들과 계약을 하기 시작했으며 1992년부터는 다른 사람들도 낙타 유목민과 계약을 해오고 있다. 1995년에 계약을 맺은 농민 14명 중에서 8명은 이미 1994년에 동일한 유목민과 계약을 했었다. 니제르 공화국에서 북나이지리아로 낙타의 이동방목이 시작되는 것은 12월과 1월이며 우기가 시작되면(5월과 6월 중) 다시 니제르공화국으로 돌아간다. 낙타 유목민의 계절 이동으로 특히 건기 중 북나이지리아의 낙타 수에 큰 변화가 생긴다. 소코토, 케비, 잠파라 주의 유목 낙타와 마을 소유 낙타 수는 각각 6,800마리와 36,500마리로 추정되었다(FDLPCS 1992a, 1992b). 최근 수십 년간 낙타 도살과 함께 견인 및 짐 나르는 용도로 낙타의 사용이 증가했다 (Mohammed 2000).

시비계약을 맺은 유목민은 밭에 작물잔여물이 더 이상 남아있지 않고 주위 식물도 거의 사라지는 건기 후반이 되면 밤에 낙타 떼를 밭에 모아둔다. 낙타들은 낮 동안 가까운 수풀에서 풀과 나뭇잎을 뜯어먹는다. 따라서 건기 후반에 가축을 밭에 두면 영양물질이 방목장에서 경작지로 확실하게 이전되고 낙타의 똥과 오줌이 토양에 기여하게 된다. 그런 식으로 방목장에서 경작지로 영양물질을 이전하면 이에 대하여 농민은 보통 돈을 지불한다. 건기 초에 시비하여 그루터기가 뜯어 먹히는 방법에 비하여 이렇게 하는 것이 다음 번 작기가 다가올 때, 휘발을 통한 질소 소실이 적다(Hoffmann et al. 2001). 낙타는 똥의 영양 성분에서 소나 작은 반추동물과 별로 다르지 않다.

퇴비생성 동물을 소에서 낙타로 교체하면서 나뭇잎과 가지까지 사료에 포함되어 사료가 아직도 풍부하게 되었다. 낙타는 풀과 목초에 대한 의존성이 덜한 대신, 그 지방에 아직 풍부하게 남아있는 목질의 활엽수종을 선호한다. 건기 후반에 낙타를 밤 동안 밭에 놓아두면 3가지 이점이 있다. 첫째, 작물잔여물 전량을 농민은 자기들이 소유한 가축용으로 사용할 수 있다. 둘째, 우기가 시작되기 직전에, 포장이 비어있는 상태이기 때문에 토양에 대한 퇴비의 효과가 훨씬 커진다. 셋째, 낙타의 먹이 중 나무의 잎이나 가지가 차지하는 비율이 크기 때문에 소와 작은 반추동물보다 낙타의 분뇨에는 잡초 씨가 들어있을 확률이 더 낮다.

출처: Hoffmann & Mohammed (2004).

기후 변화는 그 유형과 정도에 따라 보완 수단이 달라진다. 초기에는 통제축산시스템의 경우에는 (환경냉각, 사료 공급의 변화 등) 관리기법을 바꿈으로써 기후 변화에 대처할 수 있다. 조방적 시스템에서는 축군을 고산지대 같은 보다 적절한 위치로 이동시킬 수 있을 것이다. 내서성이 강한 품종을 도입하면 생산력이 저하될 수 있다.

생산적인 품종을 유지하기 어려운 경우, 사헬 지역의 사례처럼, 보다 저항력이 높은 종으로 대체하는 것이 가능한 옵션이다. 일반적으로 상업적, 집약적 축산시스템은 새로운 기술을 이용해 적용할 수 있는 반면, 조방적 유목 혹은 자급형 시스템에서는 기술의 적용 가능성이 낮아서 (Anderson 2004) 종의 대체를 선택할 가능성이 높다.

박스 6.7 페루 고원 지대 대규모 개방형 핵의 양 유전 개량 사업 경험

여기서는 안데스산맥 영세농 사회의 생활수준 개선을 목표로 사료가 적게 드는 양 육종과제의 개발과 수행의 경험을 살펴보겠다. 대상으로 한 사회는 리마의 동쪽, 기후가 저온 습윤한 고산지대 유목환경(해발고도 4,000~4,500미터)인 시에라 센트럴에 있으며 가구 별로, 공동체 별로, 또는 공동체 간에 이루어지는 조방적 유목 생산시스템을 통해 가축을 키우고 있었다. 이 지역에서 중요한 가축은 양, 알파카, 소의 순이었다. 가구별 축군은 전형적으로 30마리에서 400마리까지의 양을 소유자의 집 근처에서 방목하면서 가족의 기본적 생계수요를 조달하는 형태이다. 공동체 축군은 약 4천 마리의 양을 영세농 공동체가 근처에 있는 공유지에서 한꺼번에 키우는 것이다. 그렇게 생산된 고기와 양털로부터 얻은 수입은 지역사회 구성원들(대략 1천 가구)이 나눠 갖는다.

복수 공동체의(평균 6개에서 10개 공동체에 속하는) 축군은 예전에 개인 소유였던 토지와 광산 회사를 수용한 결과이다. 최대 10만 마리의 양을 여러 장소에서 키우되 종축 생산공급은 하나의 공동방식을 따른다. 생산시스템이 다르면 번식 기반, 조직 능력, 투입 기술 등이 달라지고 그 결과, 생산성 변량에도 차이가 생긴다.

이 지역에서 키우는 양의 대부분은 두 가지 목적(고기와 양털)을 위한 코리데일(Corriedale) 품종 혹은 개량 정도가 다양한 토착종이다. 체중은 남아메리카의 보다 나은 환경에서 상업적 목적으로 키우는 품종과 거의 비슷하지만 양털의 무게가 가볍고 품질과 균일성이 떨어진다. 번식 담당자는 개량된 품종 특히 보다 가는 고품질 양털을 원하는 시장 신호에 부합할 수 있는 종자를 찾는다. 숫양은 가정에서 키우거나 구입 또는 교환하거나 독립적인 번식용 숫양떼로 기르거나, 외부로부터 도입한다. 코리데일 종 전체를 포괄하는 유전적 구조가 따로 있는 것은 아니다. 게다가 성능 기록이나 혈통 기록도 없다. 즉, 모든 선발 결정은 가축에 대한 육안 평가를 근거로 하며, 보다 규모가 큰 복수공동체 축군에 대해서도 공식적으로 설계된 육종 프로그램은 없다.

시에라 센트럴에는 정부나 사립의 농업자문 서비스가 없다. 테러리즘과 생산 및 판매상의 난점 때문에 동물연구와 개발활동이 저해되었다. 시에라 센트럴에서 전통적인 축산시스템을 분석하여 양 육종 프로그램을 만들려는 페루와 아르헨티나 간 공동노력이 1996년에 시작되었다. 2년여의 토의를 거쳐, 양털생산 개선을 목표로 하는 육종 프로그램을 개발하고 가용한 육종기술을 최대한 활용할 수 있도록 적절한 지도서비스를 갖추자는 데에 7개 영세 농공동체와 복수공동체가 설립한 1개 회사가 동의했다.

육종 전략은 이 지역에 있는 코리데일 집단 전체에 숫양을 생산, 공급할 수 있는 공동의 번식체계를 만드는 것으로 결정하였는데, 이는 비능률적일지라도 확대와 지속가능성의 여지가 있는 것이었다.

이 계획에 참여한 각 공동체는 번식용 축군(일부 마을은 이미 가지고 있었음)을 만들고, 중심핵에 최고의 암양을 제공했다. 복수공동체가 설립한 회사도 추가적인 구성원 자격으로 참여하여 가장 우수한 암양을 제공했다. 최우수 암양들을 한 핵에 집중시키고, 늙은 암양들은 핵과 참여 축군에서 가용한 최상의 어린 암양으로 선발정확도에 따른 비율로 대체함으로써 적절한 개방형 핵을 구축하였다(Mueller 1984). 하지만 성능기록과 (표현형의) 유전적 연계가 없기 때문에 축군 간의 정확한 선발은 불가능했다. 게다가, 모든 참여자들이 숫양에 대해 똑같이 접근할 수 있기를 원했기 때문에, 각각의 축군이 동일한 수의 원종 암양을 내 놓았는데, 이는 비능률적인 방법임이 확실하지만 조직 화합을 위해 수용한 것이다. 필요한 숫양, 유효 번식률, 교미 비율, 연령 구조 및 근친교배 내성 등을 고려하여 중심핵의

최소 크기는 암양 250마리, 숫양 6마리로 정했으며, 증식군의 최소 규모는 암양 200마리, 숫양 4마리로 정했다. 처음에는 아르헨티나 코리데이일축협회가 기증한 3마리 아르헨티나 숫양과 북수공동체가 설립한 회사가 기증한 다른 숫양 3마리의 동결 정액을 사용하였다. 현지 토착 숫양은 높은 평가를 받고 있었으며 외국산 숫양들은 다른 곳에서 좋은 결과를 보인 바 있었다. 중심 핵에 대해서는 성능(이유 시 체중, 1년생의 체중, 양털 무게)과 혈통을 기록하기로 계획하였으며, 후대가 검정된 최고의 수컷 종자양을 집중적으로 이용한다. 증식군에 대해서도 성능을 기록하는 것으로 계획하였다. 운영상의 문제가 향후의 유전적 향상을 제약할 요인으로 예상되었다.

1997년 6월, 드디어 432마리의 암양을 동시에 인공수정 하였는데, 절반은 수입된 냉동정액을 복강경 시술에 의해 주입했고 절반은 토착종의 신선 정액을 사용했다. 새끼 양의 후대 검정 결과 양털 무게와 품질 면에서는 외국산 종모가 더 나은 결과를 나타냈지만 체중에서는 토착종에 못 미쳤다. 매년 암양 중 절반을 새끼 양들과 함께 마을에 돌려보내 기초 증식군으로 삼았다. 2001년에는 참여 마을이 15개, 중심핵의 암양이 300마리로 늘었다. 대부분의 증식군은 바람직한 크기에 도달했다. 핵에서는 어린 숫양들의 성능을 검정하고 육안으로 분류하였다. 최고의 숫양은 핵 암양과 증식군 암양에게 사용한다. 이 프로그램과 관련 있는 양은 총 16만 마리에 이른다.

현명하게도 참가자들은 기술 지원이 필요함을 강조했다. 다양한 경험과 예측되는 자원에 비추어 여러 가지 옵션을 분석하였다. 결국 공동체 지도자들이 대학교에 땅을 양도하여 연구 및 소농 훈련소(CICCA)를 설립하는 데에 동의하였는데, 이곳에 중심핵을 둘 뿐만 아니라 전시농장으로도 이용한다. CICCA에는 육안선발 기준, 번식 및 건강상태 검사절차, 양털 등급판정, 인공수정 등에 관한 교육과정이 운영되고 있다. 농민들은 CICCA 활동이 성공적이라고 판단해 계약을 5년 연장했는데, 아마도 이는 프로그램의 미래를 위해 가장 중요한 결정일 것이다.

이 프로그램이 거둔 주된 건설적인 결과는 사회적인 것이다. 참여자들 간의 협력과 교류를 통해 육종 프로그램의 기술적, 운영적 측면과 마을의 다른 문제들(마케팅 및 법적인 문제, 안전 문제 등)에 대한 의견교환이 촉진되었다. CICCA의 설립은 교육, 신뢰 구축, 농민들의 참여 등에 매우 중요한 역할을 했으며 사적, 공적, 국가적, 국제적 협력과 후원에 대한 관심을 불러일으켰다. 예측된 여러 가지의 사양기술이 현실에 맞지 않아서 운영상의 어려움이 예상보다 컸다. 성능기록에 관한 난점이 남아있기 때문에 선발 정확도가 계획한 만큼 빨리 향상되지는 않고 있다.

출처: Mueller et al. (2002).

사회적 · 경제적 변화

사회경제적 발전이 가축유전자원의 이용과 생존에 영향을 미친다. 가장 값어치 있고 흥미로운 동물유전자원의 일부(예: 적응과 행동 관련 형질)는 전통적인 토착사회, 특히 거친 환경 속에서 살아가는 유목민이 가지고 있다. 이러한 소수민족 집단 출신의 젊은이들은 가축을 치는 일에 더 이상 관심이 없으며 도시에 나가 직업을 구하기를 선호하며, 그로 인해 전통 지식이 사라지고 있다(Köhler-Rollefson 2003). 일부 개발도상국에서는 농촌 외부의 일자리 증가로 인해 전통적으로 주로 생계목적이나 가치 보존의 역할에 이용하던 토착품종들이 점점 빠른 속도로 사라져가고 있으며, 구매한 물건이 예전에 동물에게서 얻던 가내생산물을 대체해가고 있다. 농가에서는 가축을 돌볼 시간 여유가 없어지고 가치보존에는 현금 경제와 은행이 대체 수단을 제공해 준다(Tisdell 2003). 게다가, 자동차, 고정 모터, 전기를 사용할 수 있게 되면서 동물의 견인력은 덜 필요하게 된다. 시장경제 시스템의 확대와 그에 따른 변화는 토착품종의 생존에 이렇게 중대한 영향이 미친다. 이런 변화의 영향은 포괄적으로는 쉽게 인지되는 것이지만 가축 다양성에 미치는 영향에 대해서는 알려진 것이 별로 없다. 축산정책의 변화가 가축유전자원에 직접적으로 영향을 미치는 경우에도 보통은 그런 정책의 순수비용과 혜택에 관한 자료가 없으며, 보존과 적절한 이용을 촉진하기 위한 정책 환경이나 전략 또한 정립되어 있지 않다.

식량 안보와 농업 생물다양성의 목표를 달성하는 데에 있어서 이해관계의 충돌이 일어날 수 있다. 가금 사육과 양돈 산업의 높은 수직계열화와 경제적 효율 덕분에 전체 시장 공급 중에서 상업 양계, 양돈의 비율이 높아지면 국가의 식량 안보 목표의 달성은 보다 쉬어진다. 표준화된 생산환경을 통제하는 것이 용이하기 때문에 식품 안전기준의 충족도 쉬울 것이다. 환경에 대한 관심이 구조적인 변화에 영향을 미칠 수도 있다. 말레이시아의 양계 업계는 급속한 도시화와 대규모 사업장에 대한 필요로 인해 현재의 영농지역에서 보다 멀리 떨어진 장소로 사업장을 이전할 것으로 예측된다. 계사와 양계 농장이 일반적으로 보다 환경친화적으로 바뀌어야 하고 가금류 제품은 위생과 검역 상의 요구에 부응해야 할 것이다. 최근에 조류독감과 같은 새로운 전염병이 출현한 사실 또한 정책적, 구조적 시사점을 가지고 있다. 하나의 옵션은 생물안전 조치를 쉽게 취할 수 있는 생산시스템을 장려하는 것이다. 또 다른 옵션은 주로 토착품종으로 이루어진 뒤뜰 닭장이 질병의 온상이 될 수 있음을 인정하고 백신접종과 보다 나은 위생관리를 독려하는 것이다. 그런데 태국과 같은 수출국은 대규모 생산, 획일적인 품종, 생물안전 조치 등에다 초점을 더 맞추고 있는 것으로 보인다.

시장의 확대와 특이 품종의 국제적 마케팅을 포함한 경제의 세계화가 진행되면서 무차별적인 교잡을 통한 토착품종의 소실이 심각하게 일어나고 있다(Tisdell 2003; FAO 2001; 17장 참조). 유럽산 품종에 비해 라틴아메리카의 흑소와 크리올료 소는 유지방 함량이 높음에도

불구하고 계속해서 외래 품종과 교잡이 되고 있으며 일부 크리올로 품종은 위기에 처해있다.

개발도상국에서는 외래품종 수입의 영향이 다방면적이어서 유전적 다양성 뿐만 아니라 사회경제적 다양성에도 미치고 있다. 외래품종을 적합한 생산환경으로 도입하는 것은 수입상 개인에게는 경제적으로 유익한 일인데, 산업적 생산시스템을 위해 상업화된 닭 계통을 수입하는 경우가 그렇다. 반면에, 개발도상국의 토착품종의 개량과 교잡(예: 서아프리카의 Operation Coque)은 대부분, 동물들이 거칠고 질병이 만연한 환경에서 제대로 성능을 발휘하지 못하고 살아남지도 못해, 실패로 돌아가고 결국 영세한 생산자들에게 경제적 손실을 입혔다. 유목 생산시스템에 외래품종을 도입하려던 시도는 대부분 실패했으므로 이런 직접적 관여에 의한 토착 AnGR의 손실은 그리 크지 않다. 토착 AnGR은 집약적 산업 부문이 국가 내에서 일정 시장 점유율을 차지하게 되는 경우, 시장 경쟁이라는 간접적 영향에 의해 보다 더 큰 위협을 받는다. 토착 가축과 상업적 가축 간의 시장 분할 혹은 그들이 생산한 축산물의 시장 분할이 일어나는 경우에도 그럴 수 있다. 그 경우, 동일한 시장에 생산성이 떨어지는 품종의 상품을 공급하는 농민은 생계에 위협을 받게 될 것이고 계속해서 생산을 하더라도 토착품종을 키우는 것은 더 이상 경제적이지 못할 것이다.

결론

개발도상국의 품종개량 프로그램은 대부분 부적절한 전략, 인프라의 부재, 능력 부족으로 실패했다. 지금까지 대부분의 가축 품종개량 노력은 초점이 지역에 맞춰져 있었고 범위가 제한적이었다. 유전자원에 관한 필수 정보가 결여되어 있는 상황에서 현재까지의 대부분 가축개량 프로그램은 전략적으로 최적의 유전자원을 대상으로 할 수가 없었으며 가뜩이나 부족한 재원을 낭비하는 결과를 낳았다. 가난한 농민들이 개량된 AnGR 자원에 접근하는 데에는 한계가 있었다. 그러나 토착품종의 유전적 특성은 질병에 대한 저항성, 생존 및 효율적 생산 등을 위해서 지속가능한 해결책을 제공할 수 있는 보따리가 된다. 저투입 시스템의 가축생산 문제에 대한 기술 및 관리 차원의 해결책을 찾으려고 노력하는 과정에서 이러한 특성들이 무시되곤 했다. 특히 한계환경에서는 생산환경을 고성능 품종이 필요로 하는 조건에 맞추려고 하면 지역적으로 적응되어 있는 품종을 개량하는 것보다 비용이 더 들 수도 있다(Wagner and Hammond 1999).

저투입 시스템을 위한 육종 프로그램을 개발할 필요가 있다. 모든 축산시스템에 유전적 개량 프로그램을 시작하는 데에 필요한 기초지식이 있다. 저투입 시스템에서 가축 유전자원을 개량할 기회는 있지만 상당한 투자를 필요로 한다. 우간다에서처럼 유목민들의 가축을 개량된 축군의 가축과 교환하는 식의 개방형 핵 육성체계를 통해 최근 이런 방향에서 얼마간 진전이

있었다. 그러한 프로그램은 유목 축군과 유전적으로 가깝고 유목환경과 유사한 조건에서 사육된 동물들에 대해 효과적이다(박스 6.7과 6.8 참조).

가축 유전자원을 현지 내에서 보존하고 이용하는 일은 그것을 가능하게 하는 적절한 정책적 환경에 달린 일이다. 현대적 육종시스템에서 AnGR을 관리하는 것은 유전적인 면과 사회, 경제 환경에 동등한 관심을 기울일 때에만 가능하다. 따라서 육종사업의 조직적 성격, 제도적 요구사항, 사회경제적 요인, 가축을 기르는 사람들의 문화적 정체성 같은 면들을 모두 고려해야 된다. 그렇게 하면, 농민과 육종담당자가 제도적으로 분리되어 있을 경우, 두 입장 사이의 차이와 간극을 보다 잘 이해할 수 있게 될 것이다. 지역사회를 기반으로 하는 AnGR 관리의 전략적 개념은 이용을 통한 현지 내 보존, 즉 토착품종을 기능 면에서 생산 시스템의 일부로 유지하는 것을 보장하는 것이다. 재래 품종이 그 소유자들에게 매력이 있거나 앞으로 매력적이 될 수 있어야만 그 전략이 지속가능하고 비용효율적일수 있을 것이며(Rege 1999), 이를 위해서는 토착품종의 유전적 개량이 필요하다.

저투입 생산시스템을 위한 육종은 앞으로도 계속 공공부문이 담당해야 할 일이며 생산자 협동조합이나 지역사회 기반의 육종프로그램의 도움을 받을 수 있을 것이다(박스 6.2, 6.3, 6.7, 6.8 참조). 하지만 한편으로 토착 지식과 토착 생산시스템에 내재한 선택권, 역동성, 적응력과 다른 한편으로 보존에 투입할 수 있는 공공 자원의 한계 등을 고려할 때, 토착 품종이 어느 정도 소실되는 것은 불가피한 일이다. AnGR의 현지 내 개발을 위해 가장 중요한 것은 축산인들이 정보를 가지고 자신들에게 필요한 품종과의 농업생산시스템을 선택할 수 있도록 환경을 유지, 조성하는 것이다. 농민의 활동이 없는 농업 생물다양성이란 존재하지 않으며 앞으로도 그러할 것이라는 사실과 토착품종의 축산물이 소비되어야만 토착품종이 살아남을 기회가 극대화될 것이라는 사실은 분명히 언급되어야 한다. 틈새 시장과 지역 제품이 중요한 역할을 담당할 수도 있다.

축산 분야 개발을 위한 국가 정책에는 개발 목표를 달성하는 데에 필요한 AnGR을 고려해야 한다. 정부는 상쇄관계에 있는 다양한 요인을 고려하고 공공투자 대 민간투자, 대규모 대 소규모 농업, 고용창출 대 자영농, 식량안보 대 농업생물다양성, 식품안전 대 식품다양성 등 양극단 사이에서 선택 가능한 무수한 옵션에 관해 정부의 입장을 결정할 필요가 있다. 국내 및 국제 정책은 목표를 확실하게 해야 하며 품종의 유지, 문화의 다양성, 유전적 변이 등에 대해 입장을 정해야 한다. 이러한 결정은 품종의 개량 및 보존 방법과 필요한 자금의 조달에 대해 시사점을 주게 될 것이다. 또한 특성의 조사와 평가에 필요한 연구 및 기술에 관해서도 시사하는 바가 있을 것이다. 대부분의 목표를 달성하기 위해서는 민관제휴가 필요하다. 전반적으로 볼 때, 식량과 농업에서 AnGR이 지니는 가치에 대한 인지도를 높이는 것이 시급한 일이다.

박스 6.8. 남아프리카의 소 은구니 품종에 관한 사례 연구

철기시대 유목민들이 CE 600년경에 남아프리카에 은구니 소 품종을 최초로 도입했다. 유지를 위한 요구 수준이 낮은 이 품종은 정착민의 영농시스템에 맞는 이상적인 품종이었으며 정착된 곳에서는 그 후 천년 동안 변함없이 유지되었다. 19세기 중반, 유럽의 식민지 정책이 시작되고 이어서 식민 농민을 역할 모델로 받아들여지게 되면서 외래품종이 밀려들어와서 적응되어 있던 가축의 본래 유전자 풀은 결국 퇴화하고 고갈되었다. 이러한 변화는 정치무대의 변화, 도시화, 문화적 신념과 관습의 붕괴, 천재지변과 같은 추가적 요인에 의해 한층 악화되었다.

토착 품종은 열등하다는 인식으로 인해 급기야 1934년에 재래종 품종과 유형을 쓸모 없는(정체를 알 수 없는) 것으로 간주하는 법령이 공포되었다. 공동체 지역에서 황소를 검사해서 열등한 것으로 판단되면 거세시킬 수 있는 권한을 검사관들이 갖게 되었다. 다행히, 가축 소유주들이 좋아하지 않았기 때문에 이 법령은 도입 초기 몇 년 동안만 시행되고 말았다. 은구니 품종을 점증하는 상업부문에 편입하고 방대한 기록을 통해 품종개량을 가능하게 할 조직이 이 나라에 만들어졌다. 그렇게 해서 이 품종은 상업부문에서는 개량되었지만 농촌에서는 외래종과 교잡되거나 외래종으로 대체되면서 침식되어갔다. 이는 품종의 유지관리에 큰 노력을 들이지 않아도 되기 때문에 은구니가 공동체의 저투입 농업시스템에 이상적으로 적용된 품종임에도 불구하고, 몸집이 큰 외래종보다 열등하다는 인식 때문에 일어난 일이었다. 다행히, 품종 자체의 유전적 내성 덕분에 은구니는 살아남았고 지금도 몇몇 시골 지역사회에서 순종을 적은 수나마 찾아볼 수 있다.

최근 이 강건한 품종이 남아프리카 환경에 독특하게 적응한 품종이라는 사실을 인지하게 되면서 상업부문에서 평가와 개발이 이루어지게 되었다. 1985년에 재래종 가축의 기내 유전자은행을 만드는 것이 바람직한가와 외래 품종정액의 수입통제에 대하여 검토, 보고하기 위한 위원회가 결성되었다.

풀과 나뭇잎을 선택적으로 섭취하는 은구니는 자연 식물로부터 적절한 영양소를 취할 수 있어서, 유럽산 소 품종처럼 대량의 풀을 소비하는 품종이 살기 어려운 환경에서도 살아남을 수 있다. 은구니는 성질이 아주 유순하다. 기타 다양한 적응특성 덕분에 은구니는 목초와 물을 찾아 오랫동안 걸을 수 있다. 또한 극단적인 온도환경을 견디며 겨울철에는 시멘탈 품종보다 몸의 컨디션을 유지하는 능력이 뛰어난 것으로 보고되어 있다.

은구니는 현재 유지관리를 위한 소요가 적으면서 산출이 높은 가축을 필요로 하는, 다급한 상황에 처한 흑인 농민의 관리 방식과 필요에 잘 맞는 유전자원이라고 평가된다. 은구니는 예비평가에서 조방 및 집약 농업시스템 모두에서 육우 품종으로서의 잠재력을 보여줬다.

다른 품종과 비교했을 때 은구니는 암소 크기와 다산 능력으로 남아프리카에서 가장 번식력이 뛰어난 육우 품종임이 증명되었다. 교잡 번식의 마지막 단계에서 어미 소 계통으로도 매우 적합한 것으로 나타났다. 또한, 더위, 진드기, 질병 등에 대한 저항성 때문에 조방적 시스템에 이상적인 품종이다.

과거에는 공동체 부문에 소 외래품종을 도입하는 계획들이 지속 가능한 수준 이상으로 생산을 늘리는 복잡한 기술로 인해 번번이 실패하곤 했다. 현재 진행 중인 프로젝트에서는 적응력이 낮은 외래품종의 영향을 완화하기 위해 강건하고 손이 많이 가지 않는 은구니를 공동체 부문에 재도입하는 것을 장려하고 있다. 이런 재도입은 시장가격으로 동물을 판매할 수 있게 하기 위한 관리 및 마케팅을 개선할 기술지원과 병행하여 추진되고 있다. 또한, 지역사회 의견 모아서 결정을 내리는 인프라를 창출하기 위하여 작목반 또는 농민조직의 결성도 장려하고 있다.

출처: Bester et al. (2002).

용어 설명

품종(Breed): 정의와 식별이 가능한 외관 특성이, 종 내에서 비슷한 방법으로 정의한 다른 그룹과 육안 평가로 구분이 가능한 가축 종의 하위 그룹, 또는 표현형이 유사한 그룹들 중에서 지리적, 문화적으로 분리되어 별도의 정체성을 인정받는 그룹.

주(註): 품종은 지리적, 문화적 차이에 따라 그리고 인간의 식량과 농업상 필요를 충족시키기 위해 개발되었다. 그런 뜻에서 '품종'은 전문 용어가 아니다. 품종들 간의 시각적이든 다른 면에서든 차이는 가축 종 각각에 관한 다양성의 많은 부분을 설명해준다. 품종은 전문 용어라기보다는 문화적인 용어로 이해된다. **지역적응품종(locally adapted breeds)**은 특정 국가나 지역에 충분히 오랫동안 있어왔기 때문에 그 지역의 하나 혹은 그 이상의 전통적 생산시스템이나 환경에 유전적으로 적응된 품종이다. **토착품종(indigenous breeds)**은 토종 혹은 자생품종(autochthonous or native breeds)이라고도 불리며 특정한 지역이 원산지이고 그곳에 적응해서 그곳에서 이용되는 품종이고 지역적응품종의 부분 집합이다(FAO 2001). **외래품종(exotic breeds)**은 그것이 개발된 지역이 아닌 곳에서 유지되는 품종으로 지역에 적응되지 않은 품종들을 포함한다. 외래 품종에는 최근 5세대 정도까지의 짧은

기간 중에 도입된 **최근도입품종**(recently introduced breeds)과 지방 유전자풀이 하나 혹은 그 이상의 외국 원천으로부터 정기적으로 보충되는 **계속수입품종**(continually imported breeds)을 모두 포함한다. 집약적 생산시스템에서 이용되거나 국제적인 육종회사가 판매하는 품종 중 다수가 이 범주에 속한다.

위기에 처한 품종(breed at risk): 해당 품종의 수적인 감소의 원인이 되는 요인을 제거하거나 경감하지 않을 경우, 멸종할 수도 있는 품종 모두를 일컫는 말. 품종은 여러 가지 이유로 인해 위기에 처할 수 있다. 멸종 위기는 집단 내의 적은 개체 수 농가, 국가, 국제적 차원의 직간접적인 정책의 영향, 적절한 번식체계의 부재, 시장의 수요에 대한 적응 부족, 또는 성능이 낮다는 인식 등에서 비롯될 수 있다. 현재의 수컷 혹은 암컷 번식개체 수와 순종 암컷의 백분율을 기준으로 하여 품종이 위기에 처했는지를 분류한다.

멸종된 품종(extinct breed): 더 이상 재현할 수 없는 품종 집단. 더 이상 번식하는 수컷이나 암컷이 남아있지 않을 때 이러한 돌이킬 수 없는 상황이 된다. 실제로 멸종은 마지막 동물, 생식세포 또는 배아가 소실되기 이전에 충분히 파악할 수 있다..

가축유전자원(farm animal genetic resources: AnGRs): 식량 생산과 농업에 이용되거나 사용될 수 있는 동물 종과 각각의 종에 속한 집단. 각각의 종 내의 집단은 야생 집단, 지방 및 일차집단, 표준화된 품종, 선발계통, 변종, 계통 및 기타 보존 중인 유전자원 등으로 나눌 수 있는데, 현재 모두 이들은 품종이라는 범주로 분류된다(FAO 2001).

집단(population): 유전적 의미로 사용될 경우, 교배 그룹이라고 정의되며 품종 내에 속하는 모든 동물을 가리킬 수 있는 일반적인 용어. 집단의 유전적 조성은 그 안에 포함되어 있는 모든 개체들의 유전, 그리고 집단에 연관된 유전적 변이 표본의 세대간 전달과 관련이 있다(FAO 2001).

참고 문헌

- Anderson, S. 2004. *Environmental Effects on Animal Genetic Resources*. FAO Background Study Paper No. 28. Rome: FAO.
- Bayer, W., A. von Lossau, and A. Feldmann. 2003. Smallholders and community based management of farm animal genetic resources. In *Proceedings of the Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 1–12. Mbabane, Swaziland, May 7–11, 2001. Rome: FAO.
- Behnke, R. H. and N. Abel. 1996. Revisited: The overstocking controversy in semi-arid Africa. *World Animal Review* 12:5–27.
- Bester, J., L. E. Matjuda, J. M. Rust, and H. J. Fourie. 2002. The Nguni: A Case Study. Paper presented to the Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems, Montreal, Canada, November 8–10, 2001.
- Blench, R. 1994. The expansion and adaptation of Fulbe pastoralism to subhumid and humid conditions in Nigeria. *Cahiers d'Études Africaines* 133–135:197–212.
- Blench, R. 1999. *Traditional Livestock Breeds: Geographical Distribution and Dynamics in relation to the Ecology of West Africa*. ODI Working Paper 122. London: ODI.
- Blench, R. 2001. *Pastoralism in the New Millennium*. FAO Animal Production and Health Paper No. 150. Rome: FAO.
- Bruford, M. W., D. G. Bradley, and G. Luikart. 2003. DNA markers reveal the complexity of livestock domestication. *Nature Reviews Genetics* 4:900–10.
- Chagunda, M. G. G. and C. B. A. Wollny. 2002. Consequences of differences in pricing of economic values for milk yield of dairy cattle in Malawi. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France, Session 25: Developing Sustainable Breeding Strategies for Medium and Low- Input Systems. Communication 25–03.
- CIRDES/ILRI/ITC (Centre International de Recherche–Développement sur l'Élevage en Zone Subhumide, International Livestock Research Institute, and International

- Trypanotolerance Centre), 2000. Collaborative research programme on trypanosomosis and trypanotolerant livestock in West Africa. In *Joint Report of Accomplishments and Results (1993–1999)*. Banjul, The Gambia: ITC.
- Coppock, D. L. 1994. *The Borana Plateau of Southern Ethiopia: Synthesis of Pastoral Research, Development and Change, 1980–1991*. Addis Ababa, Ethiopia: ILCA.
- Cousins, N. J. and M. Upton. 1988. Options for improvement of the Borana pastoral system. *Agricultural Systems* 27:251–278.
- "Egyptian chicken plan hatches . . . 50 years later." 1997. *The Iowa Stater*, May, www.iastate.edu/IaStater/1997/may/chicken.html.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Executive Brief. Rome: FAO.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. Guidelines for the development of country reports. State of the World. Annex 2, Working Definitions for Use in Developing Country Reports and Providing Supporting Data, dad.FAO.org/en/Home.htm.
- FDLPCS (Federal Department of Livestock and Pest Control Services). 1992a. Livestock in Sokoto State. *Nigerian Livestock Resources*. Vol. II: *National Synthesis*. Vol. III: *State Reports*. St. Helier, Jersey, UK: RIM.
- FDLPCS. (Federal Department of Livestock and Pest Control Services). 1992b. *Nigerian Livestock Resources*. Vol. I: *Executive Summary and Atlas*. St. Helier, Jersey, UK: RIM.
- Flock, D. K. and R. Preisinger. 2002. Breeding plans for poultry with emphasis on sustainability. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France, Session 24: Sustainable Breeding Plans in Developed Countries. Communication 24–02.
- Gondwe, T. N. P. and C. B. A. Wollny. 2002. Traditional breeding systems in small holder rural poultry in Malawi. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France, Session 25: Developing

Sustainable Breeding Strategies for Medium- and Low-Input Systems. Communication 25–26.

Grell, H. and M. Kirk. 2000. The role of donors in influencing property rights over pastoral resources in Sub-Saharan Africa. In N. McCarthy, B. Swallow, M. Kirk, and P. Hazell, eds., *Property Rights, Risk, and Livestock Development in Africa*, 55–85. Washington, DC, and Nairobi, Kenya: IFPRI and ILRI.

Hassan, W. A. 2000. *Biological Productivity of Sheep and Goats Under Agro-Silvo-Pastoral Systems in Zamfara Reserve in North-Western Nigeria*. Goettingen, Germany: Cuvillier.

Haverkort, B. 1993. Agricultural development with a focus on local resources: ILEIA's view on indigenous knowledge. In D. M. Warren, D. Brokensha, and L. J. Slik kerveer, eds., *Indigenous Knowledge Systems: The Cultural Dimensions of Development*. London: Kegan Paul International.

Hillel, J., M. A. M. Groenen, M. Boichard, A. B. Korol, L. David, V. M. Kirzhner, T. Burke, A. B. Dirie, R. P. M. A. Croojimans, K. Elo, M. W. Feldman, P. J. Freidlin, A. Maki-Tanila, M. Oortwijn, P. Thomson, A. Vignal, K. Wimmers, and S. Weigend. 2003. Biodiversity of 52 chicken populations assessed by microsatellite typing of DNA pools. *Genetics Selection Evolution* 35:533–557.

Hoffmann, I. 2003. Biodiversity management in West African pastoral and agro-pastoral systems. A case study from northwest Nigeria. In *Biodiversity and the Ecosystem Approach in Agriculture, Forestry and Fisheries*, 28–49. Satellite event on the occasion of the 9th regular session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, FAO, Rome, October 12–13, 2002. Available at www.fao.org/DOCREP/005/Y4586E/y4586e03.htm#P0_0.

Hoffmann, I., D. Gerling, U. B. Kyiogwom, and A. Mané-Bielfeldt. 2001. Farmers' management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86(3):263–275.

Hoffmann, I. and I. Mohammed. 2004. The role of nomadic camels for manuring farmers'

- fields in the Sokoto Close Settled Zone, northwest Nigeria. *Nomadic Peoples* 8(1): 99–112.
- Homann, S., G. Dalle, and B. Rischkowsky. 2004. Potentials and constraints of indigenous knowledge for sustainable range and water development in pastoral land use systems of Africa: A case study in the Borana Lowlands of Southern Ethiopia. Eschborn, Germany: GYZ/TÖB.
- Hossary, M. A. and S. Galal. 1995. Improvement and adaptation of the Fayoumi chicken. *Animal Genetic Resources Information* 14:33–42.
- Huelsebusch, C. G. and B. A. Kaufmann. 2002. *Camel Breeds and Breeding in Northern Kenya. An Account of Local Breeds of Northern Kenya and Camel Breeding Management of Turkana, Rendille, Gabra and Somali Pastoralists*. Nairobi: Kenya Agricultural Research Institute.
- Jabbar, M. A. and M. L. Diedhiou. 2003. Does breed matter to cattle farmers and buyers? Evidence from West Africa. *Ecological Economics* 45(3):461–472.
- Kamara, A. 2001. *Property Rights, Risk and Livestock Development in Southern Ethiopia*. PhD thesis, *Wissenschaftsverlag Vauk*, Kiel, Germany.
- Köhler- Rollefson, I. 2000. *Managing Animal Genetic Resources at the Community Level*. Eschborn, Germany: GTZ. Available at www.gtz.de/agrobiodiv/download/koehl.pdf.
- Köhler- Rollefson, I. 2003. Community based management of animal genetic resources, with special reference to pastoralists. In *Proceedings of the Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 13–26. Mbabane, Swaziland, May 7–11, 2001. Rome: FAO.
- Kyilogwom, U. B., I. Mohammed, H. M. Bello, S. A. Maigandi, and C. Schaefer. 1994. The economic situation of the livestock farmer in Zamfara. In *Range Development in the Endangered Sudan Savanna in Sokoto State*, 63–70. Unpublished report, Giessen.
- Masinde, I. A. 2001. *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems. Local Management of Agricultural Biodiversity by Communities in Kenya*. Montreal: United Nations University. Available at www.unu.edu/env/plec/cbd/Montreal/papers/Masinde.pdf.

- McIntire, J., D. Bourzat, and P. Pingali. 1992. *Crop-Livestock Interaction in Sub-Saharan Africa*. Washington, DC: The World Bank.
- Mhlanga, F. N. 2002. *Community-Based Management of Animal Genetic Resources: A Participatory Approaches Framework*. Eschborn, Germany: GTZ. Available at www.gtz.de/agrobiodiv/download/mhalanga.pdf.
- Mohammed, I. 2000. *Study of the Integration of the Dromedary in Small holder Crop-Livestock Production Systems in Northwestern Nigeria*. Goettingen, Germany: Cuvillier.
- Mortimore, M. and W. M. Adams. 1998. Farming intensification and its implications for pastoralism in northern Nigeria. In I. Hoffmann, ed., *Prospects of Pastoralism in West Africa*, Vol. 25, 262–273. Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I. Giessen, Germany: Wissenschaftl. Zentrum Tropeninstitut.
- Mueller, J. P. 1984. Single and two- stage selection on different indices in open-nucleus breeding systems. *Genetics Selection Evolution* 16:103–120.
- Mueller, J. P., E. R. Flores, and G. A. Gutierrez. 2002. Experiences with a large scale sheep genetic improvement project in the Peruvian highlands. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France, Session 25. Developing Sustainable Breeding Strategies in Medium-to Low-Input Systems. Communication 25–12.
- Nortier, C. L., J. F. Els, A. Kotze, and F. H. van der Bank. 2002. Genetic diversity of indigenous Sanga cattle in Namibia using microsatellite markers. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France. Session 26: Management of Genetic Diversity. Communication 26–07.
- Preisinger, R. 2004. *Internationale Tendenzen der Tierzucht und die Rolle der Zuchtunternehmen*. Presentation, Agrobiodiversität entwickeln: Handlungsstrategien und Impulse für eine nachhaltige Tier-und Pflanzenzucht, Umweltforum Berlin, February, 3–4, www.agrobiodiversitaet.net/site/page/downloads/dateien/2.
- Rajasekaran, B. 1993. A framework for incorporating indigenous knowledge systems into

- agricultural research, extension, and NGOs for sustainable agricultural development. *Studies in Technology and Social Change* 21. Ames: Technology and Social Change Program, Iowa State University.
- Rege, J. E. O. 2003. Defining livestock breeds in the context of community based management of farm animal genetic resources. In *Proceedings of the Workshop on Community Based Management of Animal Genetic Resources. A Tool for Rural Development and Food Security*, 27–35. Mbabane, Swaziland, May 7–11, 2001. Rome: FAO.
- Rege, J. E. O. 1999. The state of African genetic resources. I. Classification framework and identification of threatened and extinct breeds. *Animal Genetic Resources Information* 25:1–25.
- Rege, J. E. O., G. S. Aboagye, and C. L. Tawah. 1994. Shorthorn cattle of West and Central Africa II. Ecological settings, utility, management and production systems. *World Animal Review* 78:14–21.
- Richards, P. 1985. *Indigenous Agricultural Revolution: Ecology and Food Production in West Africa*. London: Hutchinson.
- Röhrs, M. 1994. Entwicklung der Haustiere. In H. Kräusslich, ed., *Tierzüchtungslehre*, 4th ed., 37–55. Stuttgart, Germany: Ulmer.
- Schaefer, C. 1998. *Pastorale Wiederkäuerhaltung in der Sudansavanne: Eine Untersuchung im Zamfara Forstschutzgebiet im Nordwesten Nigerias*. Göttingen, Germany: Cuveillir.
- Scherf, B., ed. 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed. Rome: FAO/UNDP.
- Sere, C., H. Steinfeld, and J. Groenewold. 1996. World livestock production systems. Current status, issues and trends. *FAO Animal Production and Health Papers* 127. Rome: FAO.
- Steglich, M. and K. J. Peters. 2002. Agro-pastoralists' trait preferences in N'dama cattle: Participatory methods to assess breeding objectives. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France, Session 25. Developing Sustainable Breeding Strategies in Medium- to Low-Input Systems.

Communication 25–04.

- Steinfeld, H., C. De Haan, and H. Blackburn. 1997. *Livestock and the Environment: Issues and Options*. Brussels: European Commission/FAO/World Bank.
- Tano, K., M. Kamuanga, M. D. Faminow, and B. Swallow. 2003. Using conjoint analysis to estimate farmers' preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45(3):393–408.
- Tempelman, K. A. and R. A. Cardellino. In press. *Community- Based Management and Use of Animal Genetic Resources in Traditional Livestock Farming Systems*. Rome: FAO.
- Thebaud, B. and S. Batterbury. 2001. Sahel pastoralists: Opportunism, struggle, conflict and negotiation. A case study from eastern Niger. *Global Environmental Change* 11:69–78.
- Tisdell, C. 2003. Socioeconomic causes of loss of animal genetic diversity: Analysis and assessment: *Ecological Economics* 45(3):365–377.
- Vabi, M. B. 1993. Fulani Settlement and Modes of Adjustment in the Northwest Province of Cameroon. ODI Pastoral Development Network Paper 35d. London: ODI.
- Valuing angr. 2003. *Ecological Economics Special Issue* 45(3). Wagner, H.-G. R. and K. Hammond. 1999. *The Management of Farm Animal Genetic Resources and FAO's Global Strategy*. Berlin: Deutscher Tropentag, Berlin, Humboldt University.
- Warren, D. M. 1991. *Using Indigenous Knowledge in Agricultural Development*. World Bank Discussion Paper No. 127. Washington, DC: The World Bank.
- Weigend, S. and M. N. Romanov. 2002. The World Watch List for Domestic Animal Diversity in the context of conservation and utilisation of poultry biodiversity. *World's Poultry Science Journal* 58(4):411–430.

7. 미작 생태계의 수중 생물 다양성

M. HALWART AND D. BARTLEY

쌀을 재배하는 관개, 천수답, 심층수(deepwater) 시스템은 민물고기 및 기타 수중 생물들이 살기에 적합한 환경을 제공해준다(그림 7.1). 전세계에서 생산되는 쌀의 90% 이상이 담수 환경에서 재배되며 이는 약 1억3천4백만 헥타르의 면적(그림 7.2)에 해당한다. 이러한 환경은 매우 다양한 수중 생물들에게 서식지가 되어줄 뿐 아니라 그들의 수를 늘리고 키울 수 있는 기회가 된다. 쌀작물 자체와 더불어 내수면 수산물은 개발도상국의 농촌 생계 및 생업에 있어서 매우 중요한 자원이다. 수중 식량 자원은 가장 쉽게 얻을 수 있고 가장 믿을 만하며 농가와 땅이 없는 사람들이 가장 저렴하게 동물성 단백질과 지방산을 섭취할 수 있는 원천이기 때문에 자체 소비와 판매 모두 식량 안보를 위해 매우 중요하다. 이 장에서는 미작 생태계에서 비롯하는 수중 생물다양성에 관한 최신 정보를 종합하고 농촌의 생계와 생태학적 서비스에 있어서 그것이 하는 중요한 역할을 부각시키도록 하겠다. 이 정보는 흔히 알려져 있지는 않지만 정보에 입각한 정책 결정을 위해 매우 중요한 것이다.

이슈

미작(rice-based) 생태계에서 쌀 외에 얻을 수 있는 물자와 농촌 생계에 있어서의 그것의 중요성은 일반적으로 과소평가되고 흔히 평가 절하되곤 한다(예: FAO/MRC 2003; Halwart 2003). 현지에서 자체 소비되어 버리거나 판매가 한정적이라 공식적인 국가적 통계자료에 반영되지 않기 때문이다. 게다가 이러한 물자의 가용성이 시간과 공간에 따라 가변적인데다가 어획, 채취, 양식되는 생물이 보통 적은 양이다. 일반적으로 쌀은 단일재배(monoculture)로 간주되고 지역과 국가의 식량 안보에 중요한 역할을 하는 상품으로 취급된다. 따라서 국가의 농작물 생산 전략은 보통 쌀 수확량 증가에 중점을 두게 되고 그로 인해 비료와 농약 투입이 증가된다. 이러한 관행과 정책은 흔히 미작 생태계의 다른 구성요소를 무시하고 위협한다.



그림 7.1 - 미작 생태계는 논, 저수지, 관개수로, 강등이 밀접하게 연결되어 있는 역동적인 복합체이다 (베트남). (사진: FAO/M. Halwart)

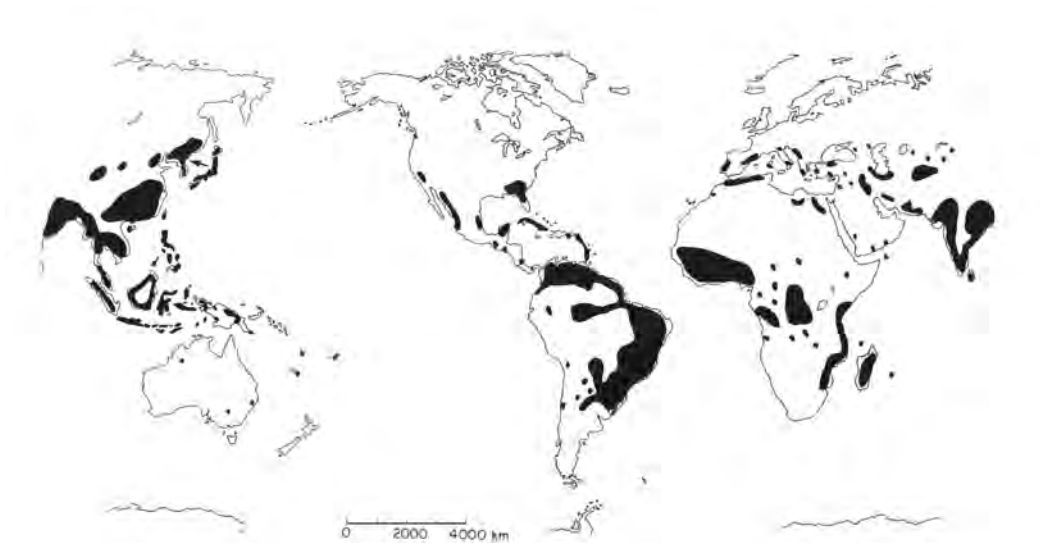


그림 7.2 - 쌀은 전 세계적으로 약 1억5천1백만 헥타르의 관개 토지(57%), 저지대 천수답(31%), 심층수(4%) 및 밭(11%) 등의 환경에서 재배된다 (Fernando 1993, Fernando and Halwart 2001; IRRI 세계 벼농사 통계와 www.irri.org/science/ricestat/index.asp에 나온 FAO 데이터베이스 2001 자료)

정책 입안자들은 건전한 정보에 입각하여 결정을 내려야 한다. 하지만 그들에게 필요한 논에서의 내수면 어업과 미작 담수양식(rice-based aquaculture)에 대한 정보가 없는 경우가 많고, 그렇기 때문에 이 자원이 농촌 생계에 기여하는 바가 인정되지 못하고 있다. 개발 계획이 쌀 증산에만 초점을 맞추다 보면 식량으로 사용할 쌀은 많이 공급할 수 있겠지만 논과 그 주변에서 채취되는 많은 수중 동물과 식물은 잊게 된다. 논 생태계를 구성하는 쌀 생산 이외의 요소들을 제대로 이해하고 조심스럽게 적절한 확장을 고려하지 않는다면 담수 동물과 식물의 다양성이 극도로 줄어들 수 있다. 중요한 사실은 그런 개발이 수반하는 부정적인 영향으로 인해 가장 고통당할 이들은 농촌 사회에서 혜택을 받지 못하는 빈농들이라는 점이다.

어업에서부터 양식까지 : 연속체

논에서의 내수면어업 시스템은 어류의 원천에 따라 어획과 양식 시스템으로 구분할 수 있다. 두 시스템 모두 미작 기반 시스템(rice-based system) 또는 미작-어업 시스템(rice-fish system)이라고 부를 수 있는데 양식을 하는 농가는 쌀 생산이 주 소득원이기 때문이다. 어획 시스템에서는 야생 담수어가 인접 수역(water body)에서 논으로 들어가 그 안에서 번식을 하게 된다. 양식 시스템에서는 쌀 재배와 동시에 혹은 그 전후로 어류를 논에 의도적으로 투입하는 것이다. 이것은 미작양어 동시 복합영농 혹은 미작양어 교호 복합영농(rotational rice-fish farming)이라고 한다. 논을 치어(fingerling) 또는 식용 민물고기를 양식하는데 이용할 수 있으며 이는 이식(stocking)용 종자어의 크기, 양어 기간, 그리고 치어와 민물생선에 대한 시장의 수요에 따라 달라진다(Halwart 1998 Demaine and Halwart 2001).

논 생태계에는 풍부한 생물다양성이 존재하며 지역민들은 이러한 생물다양성을 널리 사용하고 있다. 종의 다양성과 지역사회에서의 비중으로 보았을 때 가장 중요한 그룹은 담수 어류이다. 발저 등(Balzer et al. 2005)은 캄보디아에서 70가지의 담수어 종을 발견했으며 루오(Luo 2005)는 중국에서 52종을 찾아냈다(표 7.1). 담수어 외에도 100종 이상의 갑각류, 연체 동물, 양서류, 곤충, 파충류, 수중 식물이 영양, 의약, 장식 및 기타 용도로 사용된다(Balzer et al. 2005) (표 7.2).

논에서는 많은 담수어종이 잡힌다. 하지만 양식 시스템에서는 그 중 몇 가지만 상업적으로 가치가 있다. 가장 흔하고 가장 널리 분포하는 것이 잉어와 나일 틸라피아(Nile tilapia)이다. 이 두 민물고기는 먹이사슬에서 하단에 있는 것을 먹고 살기 때문에 양식 시스템에서 선호하는 종이다. 인기 있는 또 다른 종으로 실버 바브(*Puntius gonionotus*)와 네온 구라미(*Trichogaster spp.*)가 있다. 가물치(*Channa striata*)와 메기(*Clarias spp.*)와 같이 공기호흡을 하는 종도 늘

같은 논의 늪 같은 논 환경에 잘 적응해 산다. 이들은 시장에서 비싼 가격에 팔리기 때문에 어획 시스템에서 높게 평가되는 야생 담수어이다. 하지만 양식 시스템에서는 양어용 담수어를 모두 죽이기 때문에 좋은 평가를 받지 못한다.

표 7.1a. 농가에서 사용되는 미작 생태계 수중생물의 종 수.

그룹	캄보디아	중국
담수어	70	52
갑각류	6	2
연체 동물	1	4
양서류	2	4
곤충	2	3
파충류	8	-
수중 식물	13	19

출처 : Balzer et al. (2005); Luo (2005).

전통적으로 대부분의 가내 소비용 담수어는 논에서 잡았다. 그러나 낚시 필요성의 증가, 습지대의 경작지 전환, 집약적인 미곡 생산 등으로 논에서의 어획이 많은 지역에서 쇠퇴했으며 농부들은 동물성 단백질의 대체 원으로 양식에 의지하는 일이 많아졌다.

표 7.1b. 캄보디아 논에서 잡아 농가에서 이용하는 담수어종(총 70종).

종	명칭	종	명칭
<i>Thynnichthys thynnoides</i>		<i>Clarias batrachus</i>	Broadhead catfish
<i>Mystus albolineatus</i>		<i>Anabas testudineus</i>	
<i>Osteochilus melanopleurus</i>		<i>Trichogaster trichopterus</i>	Threespot gourami
<i>Leptobarbus hoeveni</i>	Mad barb	<i>Rasbora tornieri</i>	Yellowtail rasbora
<i>Trichogaster pectoralis</i>	Snake-skin gourami	<i>Rasbora trilineata</i>	Scissortail rasbora
<i>Botia modesta</i>	Red-tail botia	<i>Systemus partipentazona</i>	
<i>Cyclocheilichthys sp.</i>	Beardless barb	<i>Rasbora daniconius</i>	Slender rasbora
<i>Hemibagrus spilopterus</i>		<i>Rasbora borapetensis</i>	Blackline rasbora
<i>Xenentodon cancila</i>		<i>Cirrhinus microlepis</i>	








종	명칭	종	명칭
<i>Paralaubuca typus</i>		<i>Monopterus albus</i>	Swamp eel
<i>Notopterus notopterus</i>	Bronze featherback	<i>Trichopsis vittata</i>	Croaking gourami
<i>Trichogaster pectoralis</i>		<i>Botia sp.</i>	Sun loach
<i>Pristolepis fasciatus</i>	Catopra	<i>Pseudomystus siamensis</i>	Asian bumblebee catfish
<i>Hampala macrolepidota</i>		<i>Anguilla bicolor</i>	Shortfin eel
<i>Oxyeleotris marmorata</i>	Marbled sleeper	<i>Parambassis sp.</i>	Siamese glassfish
<i>Henicorhynchus siamensis</i>		<i>Ompok hypophthalmus</i>	
<i>Channa micro-peltes</i>	Snakehead	<i>Puntius brevis</i>	Swamp barb
<i>Macroglyphus siamensis</i>	Peacock eel	<i>Parambassis wolffi</i>	Duskyfin glassy perchlet
<i>Barbodes altus</i>		<i>Macroglyphus taenigaster</i>	
<i>Trichogaster sp.</i>		<i>Osteochilus hasselti</i>	Silver sharkminnow
<i>Mastacembelus favur</i>	Tire track eel	<i>Micronema micronema</i>	
<i>Trichogaster sp.</i>	Moonlight gourami	<i>Ompok bimaculatus</i>	Butter catfish
<i>Pangasius conchophilus</i>		<i>Chitala ornata</i>	Clown featherback
<i>Puntioplites proctozysron</i>		<i>Clarias macrocephalus</i>	Walking catfish
<i>Channa striata</i>	Snakehead	<i>Mastacembelidae</i>	
<i>Monotreta cambodgiensis</i>		<i>Esomus metallicus</i>	Striped flying barb
<i>Acantopsis sp.</i>		<i>Paralaubuca typus</i>	
<i>Mystus mysticetus</i>		<i>Clupeichthys sp.</i>	Thai river sprat
<i>Labiobarbus siamensis</i>		<i>Trichopsis schalleri</i>	Pygmy gourami
<i>Barbodes gonionotus</i>		<i>Macroglyphus siamensis</i>	
<i>Doryichthys boaja</i>	Long-snouted pipefish	<i>Parachela siamensis</i>	
<i>Botia helodes</i>	Tiger botia	<i>Trichogaster sp.</i>	
<i>Luciosoma bleekeri</i>		<i>Cyclocheilichthys enoplos</i>	
<i>Nandus nandus</i>			
<i>Morulius chrysophekadion</i>	Black sharkminnow	<i>Channa lucius</i>	

출처: Balzer et al. (2005)

생태학적 기능

미작 생태계에서 발견되는 많은 생물들은 의학상, 농업상 중요한 병독 매개 곤충들과 해충에 대해 생물학적 방제원 역할을 하며 병해충종합관리의 중요한 요소이다. 모기 애벌레나 특정 달팽이 종을 먹고 사는 담수어는 말라리아와 주혈흡충병(schistosomiasis)을 옮기는 곤충들을 구제할 수 있다. 어떤 담수어종은 우렁이(apple snails), 이화명나방(stemborers), 케이스웜(caseworms) 같은 벼를 가해하는 병해충을 생물학적으로 방제하는 것을 돕는다(Halwart 1994, 2001; Halwart et al. 1998). 또한 담수어는 잡초와 다른 곤충을 먹고 살기 때문에 잠재적 해충 문제를 검감시키고 생태계 균형을 유지시키는 역할을 한다. 실제로, 생물학적 방제는 예방적 차원 및 한계값에 근거한(threshold-based) 농약 처리보다 유익한 것으로 입증되었다(Rola and Pingali 1993). 더욱이, 벼와 담수어를 동시에 키우면 토양이 척박한 경우와 무시비(unfertilized) 재배 시에 벼의 수량이 늘었다는 경험적 보고가 있다. 이 결과는 이와 같은 환경에서 담수어 양식에 의한 시비 및 영양물질 순환 효과가 가장 커지기 때문인 것 같다. 따라서 농약을 쓰지 않아도 되고 민물고기 판매가 수입원이 되기 때문에 미작양어 혼합영농을 하는 경우, 벼 단일재배의 경우보다 순수입이 7~65%까지 높아졌다는 보고도 있다(Halwart 1999).

표 7.2. 논에서 채취되는 각종 수중 생물의 용도

분류군	학명	용도	사진
어류 Fish	<i>Cyclocheilichthys</i> sp.	식용	
파충류 Reptile	<i>Erpeton tentaculatum</i>	약용	
양서류 Amphibian	<i>Bufo melanostictus</i>	약용	
갑각류 Crustacean	<i>Somanniathelphusa</i> sp.	식용, 사료, 미끼	
연체동물 Mollusk	<i>Pila</i> sp.	식용, 사료, 미끼, 판매	
곤충식물 PlantInsect	<i>Nelumbo nucifera</i>	꽃, 잎, 씨, 식용, 판매용, 장식용으로 이용 포장	
곤충류 Insect	<i>Lethocerus</i> sp.	식용, 약용	

논은 또한 멸종 위기 종들의 보금자리이다. 캄보디아에 있는 톤레사프호수(Tonle Sap)의 심층수 미작 생태계와 인근의 풀과 관목이 무성한 습지대는 많은 새들의 서식지가 되고 있으며 그 중에는 세계적으로 두 집단 밖에 남아있지 않은 멸종 위기의 벵갈 플로리칸(Bengal Florican) 종이 살고 있다(Smith 2001). 약용 가치가 있는 바나 케실리언(Banna caecilian, *Ichthyophys bannanicus*)같은 위기에 처한 종을 사용할 수 있다는 것은 장기적인 관점에서 축복이라고 할 수 있다. 그 경제적 가치로 인해 재배를 하게 될 것이고 그럼으로써 종은 살아남을 것이기 때문이다.

최근의 활동

큰 하계의 범람원(floodplains)과 연계된 논에는 야생 담수어가 많기 때문에 어획 시스템으로 개발하는데 유리하다. 최근 중국 운남성 시쌍반나(Xishuangbanna)와 캄보디아의 캄퐁 톰 주의 메콩강 상·하류 범람원에서 수중 생물자원의 가용 정도와 벼농사를 짓는 농부들의 자원이용 패턴을 감안하여 이 시스템이 검토되었다. 산간 오지에는 야생 담수어가 많지 않으며 그로 인해 벼-어류 복합영농이 개발되어 발전하였다. 토착 담수어 종을 이용한 재래식 벼-어류 시스템은 북부 베트남과 라오스의 고원지대에서 볼 수 있다. 이러한 벼-어류 복합영농 사회의 전통 지식에 특히 초점을 맞춘 연구가 베트남의 호아빈(Hoa Binh), 선라(Son La), 라이쩌우(Lai Chau) 지방과 라오스의 시엥꽁(Xieng Khouang)과 후아판(Houa Phan)에서 최근에 진행되었다(Choulamany 2005).

최근 몇 가지 연구를 통해 수중 자원의 풍부한 다양성과 가치, 그것을 채취, 양식하는 전통적인 방법 그리고 수중양식에 대한 적절한 관리방법을 개발하기 위해 농민과 긴밀히 협조해야 할 필요성에 대해 이해와 인식을 하게 되었다. 이러한 미작벼기반 수중 생물다양성을 발전시키기 위한 첫 단계는 정부 차원에서 정책 입안자가 수중 생물다양성의 발전과 쌀을 생산하거나 그에 의존해 살아가는 농촌 인구(박스 7.1)의 식생활에 영양적으로 기여하는 수중 생물에 대해 좀 더 주의를 기울이는 것이다. 벼농사와 수중 생물자원 그리고 그러한 시스템을 관리하는 사람들의 생계 간 관계에 대해 예비적 조사를 실시한 결과 이러한 생물다양성이 농촌 사회에 커다란 가치가 있음을 알 수 있었다(박스 7.2).

박스 7.1 2002년 7월 23일~26일에 열린 국제쌀위원회(International Rice Commission) 제20차 회의에서 강조된 미작기반 수중 생물다양성

FAO의 국제쌀위원회는 쌀 생산 국가의 고위 정책 입안자들과 쌀 전문가들이 각국의 연구 개발 프로그램을 검토하는 포럼으로 쌀의 생산, 저장, 유통, 소비 사안에 대해 국내 및 국제 활동을 촉진하는 것을 목표로 한다. 이 위원회는 4년에 한번씩 개최되며 2002년 7월 방콕에서 열린 제20차 회의에서는 다음의 내용을 권고하였다.

- ▶ 회원국들은 미작 생태계에서의 수중 생물다양성의 지속 가능한 발전을 촉진하고 정책 결정과 관리 조치를 통해 수중 생물자원의 기반을 강화해야 한다. 야생 담수어가 고갈되고 있는 지역에서는 식량 안보를 강화하고 지속 가능한 농촌 발전을 보장할 수 있는 수단으로 벼-어류 복합영농을 고려하여야 한다.
- ▶ 쌀을 생산하거나 그에 의존해 살아가는 농촌 인구의 식생활에 수중 생물들이 영양상 기여하고 있음에 주의를 기울여야 한다.

출처: FAO (2002).

위협받고 있는 생산 생태계

농업 및 어업 종사자들을 대상으로 한 농촌 참여 연구평가에서 논에 서식하는 수중 자원의 가용성이 떨어지고 있는 것이 확실하다(Balzer et al. 2005; Luo 2005). 소비되는 수중 생물의 양은 일정한 반면 10년 전에는 미작 담수어획(rice-based capture)을 통해 소비량의 절반이 공급되었던 것에 비해 오늘날에는 5분의 1에서 3분의 1 정도만 어획으로 얻고 나머지는 구입하거나 양식을 통해 얻는다(Luo 2005). 시솅반나의 농부들에 따르면 담수어가 예전처럼 그렇게 풍부하지 않고 현재 하루에 잡는 수중 생물 양은 10년 전에 1시간이면 잡을 수 있었던 양에 해당한다고 한다. 캄보디아에서의 연구(Balzer et al. 2005)도 지난 20년 담수어 어획량이 크게 감소했음을 지적하고 있다. 마을 주민들은 3년 내지 5년 후에는 담수어획으로 생계를 꾸려나가지 못하게 될 것이라고 예상하고 있다. 이렇게 수중 생물자원이 고갈되는 중요한 요인은 인구 증가와 그로 인해 수중 자원에 가해지는 어획 압력이다. 그 외에도 농약 사용, 담수어 번식기반의 파괴, 물에 전기충격을 주거나 유독한 화학제품을 투입하는 등의 불법적인 어획 방법도 담수어 고갈의 원인이 된다. 이러한 위협에 대응할 수 있는 노력이 시급하게 필요하다.

박스 7.2 베트남 중부 Quang Tri 성(省)의 영양 상태와 수중 자원

베트남은 동남아시아 국가 가운데 성인과 어린이의 영양실조 비율이 가장 높은 나라이다(FAO 1999). 많은 어린이가 기본적인 영양소의 필요량을 섭취하지 못하고 있으며(Reinhard and Wijayarathne 2002) 세계보건기구에 따르면 심각한 공중건강 문제가 있어 성인의 40%가 체질량 지수 18.5 미만이라고 한다. 이는 저체중 한계치에 해당한다. 핀란드 외무부가 기금을 지원한 빈곤구제사업의 일환으로 베트남 기획투자부(MPI), 중앙 베트남 쿠앙트리 농촌개발 계획과, FAO가 공동으로 벼농사 농가의 영양 상태와 중부 베트남에서 가장 빈곤한 지역 중 하나인 쿠앙 트리 주민의 1일 식단에서 수중 자원 역할에 대해 조사하였다. 특히 5세 미만 어린이의 영양실조 징후에 주의를 기울였다.

조사방법

농촌 주민이 참여하는 연구를 통하여 농촌 주민들의 영양과 건강 상태에 관한 행동과 경험을 평가하고 이들이 사용할 수 있는 자원이 무엇인지 집중적으로 다루었다. 조사는 가구 대상 설문조사, 5세 미만 어린이들에 대한 신체발달 측정, 포커스 그룹 면접으로 이루어졌다. 조사대상 지역 공동체(즉, 마을)는 무작위로 선정하여, 산간 오지 지방에서 있는 Dakrong 현(縣)의 5개 마을, Hai Lang 현의 2개 마을 및 저지대 지역에 있는 Cam Lo 현의 1개 마을을 대상으로 했다. 각 마을에서 다시 15~30%의 가구를 선정했는데 가구당 평균 가족 수는 5명이었다. 어린이들의 영양실조는 저체중(연령 대비 체중), 발육부진(연령 대비 신장), 급성 영양장애(신장 대비 체중) 등의 3개의 표준 지표로 측정하였다.

결과

가장 자주 섭취하는 수중 동물은 어류이었으며 하이랑 현은 80%, 캄로 현은 89%, 닥롱 현은 39%의 가정에서 1주일에 2회 또는 그 이상 민물고기를 먹는 것으로 밝혀졌다(박스 표 7.2a). 이들은 민물고기가 맛이 좋고 쉽게 구할 수 있으며 건강에 좋기 때문에 가장 좋아하는 음식이라고 말했다. 이 연구에 따르면 수중 동물을 소비하는 주된 이유는 맛이었다. 대부분의 응답자들이 뱀은 몸에 좋기 때문에 먹고 개구리, 곤충, 민물게는 쉽게 구할 수 있어서 먹는다고 하였다. 모든 현에서 뱀은 거의 먹지 않는 반면, 곤충은 산간 지대인 닥롱 현의 거의 절반 이상의 가구의 기본 식량으로 이용하였다.

박스 표 7.2a 설문조사 가구의 담수어와 기타 수중 생물 소비빈도(%)

	Never	1 x/mo	2-3x/mo	1x/wk	2-5x/wk	Every Day (6-7x/wk)	Occasionally
Hai Lang (n = 70)							
Fish	2.9	—	1.4	5.7	61.4	18.3	10.3
Snakes	84.3	8.6	4.3	—	—	—	2.8
Snails	45.7	21.4	8.6	10.0	1.4	1.4	11.5
Field crabs	54.3	15.7	7.1	5.7	4.3	—	12.9
Shrimps	5.7	1.4	4.3	4.3	67.1	4.3	12.9
Insects	92.9	1.4	1.4	—	2.9	0.1	1.3
Frogs	60.0	7.1	4.3	5.7	1.4	—	21.5
Cam Lo (n = 35)							
Fish	—	2.9	—	8.6	71.4	17.1	—
Snakes	94.3	—	5.7	—	—	—	—
Snails	68.6	8.6	8.6	—	2.9	—	11.3
Field crabs	51.4	2.9	8.6	11.4	11.4	—	14.3
Shrimps	20.0	8.6	5.7	25.7	37.1	—	2.9
Insects	88.6	—	—	5.7	2.9	—	2.8
Frogs	62.9	2.9	5.7	8.6	8.6	—	11.3
Dakrong (n = 169)							
Fish	1.3	21.5	27.8	10.1	33.5	5.1	0.7
Snakes	87.3	5.1	3.2	—	0.6	—	3.8
Snails	26.6	27.8	16.4	5.1	9.5	—	14.6
Field crabs	46.2	20.9	10.8	4.4	1.3	—	16.4
Shrimps	21.5	23.4	19.6	8.9	11.4	—	15.1
Insects	58.2	11.4	12.0	4.4	4.4	0.6	9
Frogs	48.1	21.5	9.5	5.7	1.3	—	13.9

평균적으로 외딴 지역의 가난한 닥룽 현 가정에서는 다른 현의 가정보다 더 많은 종류의 수중 생물을 소비하고 있으며 특히 달팽이뿐만 아니라 곤충, 개구리도 소비하고 있음을 알 수 있다. 보다 여유가 있는 하이랑 현에서는 가구당 1일 평균 민물고기 소비량이 310 g인 반면, 캄로 현과 닥룽 현에서는 각각 260 g와 240g이다(박스 표 7.2b).

조사에 응한 여성 중 높은 비율이 생후 4개월~1년 된 유아에게 민물고기, 작은 새우, 민물게를 먹인다고 하였다. 하이랑 현에서는 최고 80%의 가정에서 민물고기로 유아식을 만들며, 64%의 가정이 주중 2~5회 정도 작은 새우로 유아식을 만들고 있다. 여유가 있는 현과 그렇지 않은 현 사이에 차이가 있었으며 보다 가난한 닥룽 현에서는 30%의 가정에서 1주일에 2회 또는 그 이상 어린 아이들에게 민물고기를 먹이고 있다.

수중 생물다양성의 가용성

이 조사를 통해 40가지의 야생 민물고기 종이 보고 되었으며 그 중 일부는 양식에 사용되고 있었다. 모든 현의 조사 참가자들이 10년 전보다 야생 수중 동물을 채집하기가 어려워졌다고 말했다. 마을 주민들이 추정하는 이유로는 농사에 농약과 제초제를 보다 집약적으로 사용하는 것, 인구 증가로 인해 자원에 대한 수요가 늘어난 것이었다. 게다가 대부분의 현에서 전기 충격, 독극물 살포를 이용한 어획을 하고 있었고 어로 작업 시 모기장을 사용함으로써 수중 동물의 수와 번식 능력을 위태롭게 하고 있었다. 그렇지만 절반 이상의 가구가 논을 포함한 야생 환경에서 수중 동물을 채취하고 있었으며 이렇게 채취된 수중동물은 가내 소비 외에 소득원의 역할도 하고 있었다. 캄로 현과 하이랑 현 가구 중 9%는 야생 환경에서 잡은 동물을 시장에 내다 팔고 있었고 외딴 닥룽 현의 가구 중 75%는 야생에서 잡은 민물고기나 기타 수중동물을 다른 마을 사람들에게 팔고 있었다. 대부분의 가정에서는 민물고기와 새우를 시장에서 구입하고 있었지만 닥룽 현만은 예외로 67%를 직접 야생에서 채취하고 있었다. 모든 현에서 뱀, 달팽이, 개구리는 야생에서, 특히 외딴 닥룽 지역 가구들에 의해 채취된다. 이 조사에 따르면, 논에서의 생물다양성이 감소하고 있기 때문에 시장이 음식물을 구하는 주요 장소가 되고 있다.

영양 상태

영양 상태에 대한 연구 결과, 모든 지역의 어린이들이 영양실조를 보이고 있지만 특히 산간 오지의 닥룽 현이 심했다(박스 표 7.2c). 중부 베트남의 북쪽 지역의 영양 상태와 비교해 볼 때, 하이랑 현과 캄로 현에서는 저체중과 발육부진인 어린이들의 비율이 낮거나 비슷했으며 급성 영양장애 비율은 지역 평균의 3분의1에 불과했다. 여유가 있는 저지대보다 이 외딴 지역에서 수중 자원이 중요한 역할을 하고 있는 것이다.

박스 표 7.2b 가구 당 평균 수중 생물 소비량 (가구당 평균 가족 수 = 5명).

현	수중 생물의 양 (kg/1일)							계
	담수어	뱀	달팽이	민물 게	새우	곤충	개구리	
하이랑(n = 70)	0.39	0.01	0.05	0.05	0.11	0.03	0.02	0.66
캄로(n = 35)	0.26	0.02	0.04	0	0.21	0	0.06	0.74
닥롱(n = 169)	0.24	0.02	0.21	15	0.14	0.06	0.07	0.83

박스 표 7.2c 조사 지역별 5세 미만 어린이의 영양상태(%)

영양실조 지표	현(신체 측정된 어린이 수)과 지역(신체 측정된 어린이 수)								
	Hai Lang 하이랑(241)			Cam Lo 캄로 (50)			Dakrong 닥롱 (282)		
	Hai Thuan	Hai Le	Cam Lieu	Trieu Nguyen	A Ngo	A Bung	Huc Ngh	Ta Log	
저체중 Underweight	체중/연령	11.9	30.2	28	45.8	46.2	64.6	50.0	39.3
발육부진 Stuning	심각도 (낮음~매우 높음)	중간	매우 높음	높음	매우 높음	매우 높음	매우 높음	매우 높음	매우 높음
급성 영양장애 Wasting	체중/신장	3.0 7	3.8	2	6.3	7.7	14.6	6.4	10.7
	심각도 (낮음~매우 높음)	낮음	낮음	낮음	중간	중간	매우 높음	중간	높음

결론

이 연구는 미작 생산 시스템에서 수중 생물다양성이 농촌 인구의 식량 안보에 중요한 역할을 하고 있음을 보여준다. 외딴 산간 지방에서는 저지대보다 수중 생물을 더 많이 소비한다. 하지만 민물고기와 뱀은 보다 적게 소비하고 달팽이, 곤충, 개구리를 더 많이 소비한다. 일반적으로 야생이나 시장에서 얻을 수 있는 음식이 부족해 인구 전체의 수요를 만족시킬 수 없다. 하지만 수중 생물다양성은 인구 중 상당히 많은 구성원에게 영양상 혜택을 주고 있다. 신체 측정 자료를 보면 오지의 영양 상태가 더 나쁘다는 것을 알 수 있다. 다른 연구들에 따르면 이 지역은 기초 식료품의 부족에 시달리고 있으며 그런 상태가 연중 몇 개월 동안 지속되는 경우도 있다고 한다. 이 지역에서 식단에 포함되는 수중 생물들은 주민들의 기초에너지 필요량을 채워주는 데 도움이 되고 있으며 수중 생물다양성이 없다면 영양실조와 식량 안보 문제가 훨씬 커졌을 것이다. 사람에게 건강상태는 중요한 역할을 한다. 이 연구를 통해 특히 자원이 부족한 오지 사람들에게 다양한 수중 생물들이 하는 영양상의 역할에 대해 연구할 필요가 있음을 알 수 있다.

논의 수중 생물다양성에 의존하는 사람들은 특히 농촌의 영세민들이다. 그들은 돈은 없지만 많은 지역에서 아직 생물다양성에 대한 접근할 수 있고 그것이 그들을 지탱시키고 있다(박스 7.2). 이들에게 특히 위협이 되는 것은 산업적 내수면 어업에 의한 남획(overexploitation)으로 수산자원이 파괴되고 어장을 상업적인 어획 회사가 임차해버리는 등 그들이 수산자원에 접근하지 못하게 될 수 있다는 것이다. 이 가난한 사람들은 경작할 땅도 없이 야생 자원의 채취에 의존해 살기 때문에 큰 타격을 받게 될 것이다.

결론

수중 생물 종의 다양성과 그것이 벼농사를 짓는 농촌의 생계에 대해 갖는 중요성은 전 세계의 관계, 천수담, 심층수 미작 생태계와 중요한 연관성이 있다(그림 7.2). 미작 생태계 및 농촌 생계에 있어서 수중 생물다양성이 하는 역할을 평가하기 위하여 국제적, 국내적 차원의 노력이 필요하다. 수중 생물다양성이 벼농사 종사 가구에 미치는 영향, 특히 지방과 기름의 역할과 관련해 영양상으로 기여하는 바를 조사하고 그것이 사람들의 건강과 복지에 가치가 있다는 인식을 높이기 위해 보다 세밀한 연구가 필요하다(영양 연구에 대해서는 15장 참조). 현재 캄보디아, 중국, 라오스, 베트남의 현지 기관들이 기울이고 있는 노력 가운데 국내 및 지역 워크숍 개최가 있다. 이 기회를 이용하여 수중 생물의 채취와 사용, 그리고 농촌 생계에의 중요성에 대한 정보가 정책입안자들과 농촌 개발 전문가들에게 소개될 예정이다(FAO/NACA 2003). 다른 지역, 특히 서아프리카와 라틴 아메리카에서도 유사한 활동이 기획되고 있다.

정책적 차원에서 농촌개발, 식량안보, 빈곤구제 전략상 수중자원 관리에 각별한 주의를 기울일 필요가 있다. 쌀 증산 목표를 세울 때는 논 생태계가 전반적으로 다양성과 생산성이 높다는 사실을 인식해야 한다. 쌀 생산을 극대화하기 위해 시스템을 집약화, 전문화하면 기타 생산물 중 일부는 결국 소실될 수밖에 없다. 따라서 그러한 변화가 무엇이고 그 혜택을 누가 누리고 누가 잃어버리게 될 것인지 평가하는 것 그리고 손해를 최소화하고 이익을 극대화할 수 있는 방법을 찾으려고 노력하는 것이 대단히 중요하다.

주석

1. 어획과 양식 시스템을 명확하게 구별하기 어려운 경우도 있다. 예를 들어, 태국과 같이 야생종 어류를 잡기 위해 이식 보관된 어류를 미끼로 이용하는 관리 시스템 등

있처럼 중간적 시스템이 태국에 존재한다. 야생 어류에 대한 현지 시장가격이 매우 높기 때문에 이러한 방법을 이용하는 그러한 손실(미끼)을 감수할 수 있는 것이다 (Setboonsarng 1994).

참고 문헌

- Balzer, T., P. Balzer, and S. Pon. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. I. Kampong Thom Province, Kingdom of Cambodia. In M. Halwart, D. Bartley, and H. Guttman, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems (CD-ROM)*. Rome: FAO.
- Choulamany, X. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. III. Xieng Khouang and Houa Phan provinces, Lao pdr. Northern Laos. In M. Halwart and D. Bartley, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems (CD-ROM)*. Rome: FAO.
- Demaine, H. and M. Halwart. 2001. An overview of rice-based small-scale aquaculture. In *Utilizing Different Aquatic Resources for Livelihoods in Asia: A Resource Book*, 189-197. Cavite, Philippines: International Institute of Rural Reconstruction, International Development Research Centre, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia, Pacific, and International Center for Living Aquatic Resources Management.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *Nutrition Country Profiles: Viet Nam*. Rome: FAO. Available at <ftp.fao.org/es/esn/nutrition/ncp/viemap.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. *Report of the 20th Session of the International Rice Commission, Bangkok, Thailand, July 23.26, 2002*. Rome: FAO.
- FAO/MRC (Food and Agriculture Organization of the United Nations and Mekong River Commission). 2003. *New Approaches for the Improvement of Inland Capture Fishery*

- Statistics in the Mekong Basin. Report of the Ad Hoc Expert Consultation, Udon Thani, Thailand, September 2.5, 2002. Publication No. 2003/01. Bangkok: FAO/RAP.
- FAO/NACA (Food and Agriculture Organization of the United Nations and Network of Aquaculture Centres in Asia Pacific). 2003. Traditional Use and Availability of Aquatic Biodiversity in Rice- Based Ecosystems. Report of a Workshop, Xishuangbanna, Yunnan, P.R. China, October 21.23, 2002. Rome, Italy: FAO. Available at <ftp.fao.org/fi/document/xishuangbanna/xishuangbanna.pdf>.
- Fernando, C. H. 1993. Rice field ecology and fish culture: An overview. *Hydrobiologia* 259:91.113.
- Fernando, C. H. and M. Halwart. 2001. Fish farming in irrigation systems: Sri Lanka and global view. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences* 6:1.74.
- Halwart, M. 1994. Fish as Biocontrol Agents in Rice: The Potential of Common Carp *Cyprinus carpio* and Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. Weikersheim, Germany: Margraf Verlag.
- Halwart, M. 1998. Trends in rice-fish farming. *FAO Aquaculture Newsletter* 18:3.11.
- Halwart, M. 1999. Fish in rice- based farming systems: Trends and prospects. In D. van Tran, ed., *International Rice Commission: Assessment and Orientation Towards the 21st Century*, 130.141. Proceedings of the 19th Session of the International Rice Commission, Cairo, Egypt, September 7.9, 1998. Rome: FAO.
- Halwart, M. 2001. Fish as biocontrol agents of vectors and pests of medical and agricultural importance. In *Utilizing Different Aquatic Resources for Livelihoods in Asia: A Resource Book*, 70.75. Cavite, Philippines: International Institute of Rural Reconstruction, International Development Research Centre, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Network of Aquaculture Centers in Asia-Pacific, and International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Halwart, M. 2003. Recent initiatives on the availability and use of aquatic organisms in rice-based farming. In *Proceedings of the 20th Session of the International Rice Commission*, 195-206. Bangkok, Thailand, July 23-26, 2002. Rome: FAO.

- Halwart, M., M. C. Viray, and G. Kaule. 1998. The potential of *Cyprinus carpio* and *Oreochromis niloticus* for the biological control of aquatic pest snails in rice fields: Effects of predator size, prey size and prey density. *Asian Fisheries Science* 10:31-42.
- Luo, A. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. II. Xishuangbanna, Yunnan, P.R. China. In M. Halwart, D. Bartley, and J. Margraf, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems (CD-ROM)*. Rome: FAO.
- Meusch, E. 2005. Traditional use and availability of aquatic biodiversity in rice-based ecosystems. III. Northwestern VietNam. In M. Halwart and D. Bartley, eds., *Aquatic Biodiversity in Rice-Based Ecosystems (cd-rom)*. Rome: FAO.
- Reinhard, I. and K. B. S. Wijayaratne. 2002. The Use of Stunting and Wasting as Indicators for Food Insecurity and Poverty. Working Paper 27, Integrated Food Security Programme TRINCOMALEE. Available at www.sas.upenn.edu/~dludden/stunting_wasting.pdf.
- Rola, A. and P. Pingali. 1993. *Pesticides, Rice Productivity, and Farmers' Health: An Economic Assessment*. Manila: International Rice Research Institute and World Resources Institute.
- Setboonsarng, S. 1994. Farmers' perception towards wild fish in ricefields: "Product, not predator". An experience in ricefish development in northeast Thailand. In C. R. dela Cruz, ed., *Role of Fish in Enhancing Ricefield Ecology and in Integrated Pest Management*, 43-44. ICLARM Conf. Proc. 43. Manila: International Center for Living Aquatic Resources Management.
- Smith, J. D., ed. 2001. *Biodiversity, the Life of Cambodia: Cambodian Biodiversity Status Report 2001*. Phnom Penh: Cambodia Biodiversity Enabling Activity.

8. 수분 매개체 서비스

P.G KEVAN AND V. A. WOJCIK

생태학에서는 초식동물, 포식자(predators), 기생포식자(parasitoids), 기생충, 병원체 등을 생태계와 그 다양성 유지에 결정적인 존재라고 생각한다. 하지만 그 중요성은 상호공생적 관계에 있어서만 성립되는 것이다. 수분(pollination)은 인간, 가축, 야생 생물 등 온갖 종류의 소비자들이 차축을 이루며 늘어서 있는 생산이라는 바퀴살이 여러 개인 바퀴의 중추축이다(그림 8.1). 생태학적 상호작용과 복잡성은 이제 보존과 지속 가능성의 영역 안에 들어와 있다. 세계의 주요한 식물군(fauna, 현화 식물들)과 주요 동물군(fauna, 곤충들)의 생물다양성이 수분을 통해 워낙 가깝게 얽혀있고 동반 진화하도록 되어있기 때문에 만약 이 프로세스가 손상되면 환경상 심각한 결과가 나타날 수 있다. 실제로, 수분은 집약적 농경지에서부터 황야에 이르기까지 모든 지구 환경을 돌보는 생태학적 서비스이지만 현재는 위기에 처한 상태라고 간주된다(Buchmann and Nabhan 1996). 게다가 생명의 그물 안에서 수분을 하지 않는(nonpollinating) 꽃 방문자는 혜택을 주기도 하고 문제를 일으키기도 하는데 이들은 생태계 기능상의 다른 면에 있어서 없어서는 안될 존재들이다.

수분은 200년 전부터 연구되어 왔지만 간과되거나 오해되는 경우가 흔하다. 따라서 수분 매개체와 꽃의 역할, 생물다양성이 감소함으로써 발생하는 문제와 이를 보존해야 할 필요성에 대해서 설명해 둘 필요가 있다. 수분 매개체와 기타 꽃을 좋아하는 생물(안토폴, anthophiles)의 중요성은 생태계의 지속가능성, 식물의 번식, 작물의 생산성, 병해충 관리를 넘어 인간이 누리는 삶의 질의 심미적, 윤리적 측면에까지 이르는 것이다. 결국 수분 매개체와 꽃에 사는 곤충은 생태계의 건전성에 민감하게 반응하는 생물지표(bioindicators)라고 할 수 있을 것이다.

수분, 수분 매개체, 안토폴

수분이란 간단하게 말해 꽃밥에서 암술머리로 꽃가루를 이동시키는 것이다. 식물이 생식 기관을 만든 뒤 번식의 다음 단계는 수분이다. 무생물적(abiotic) 수분은 바람, 물, 또는 중력 등에 의해 이루어진다. 생물적 수분은 동물이 행하는 것이다. 수분과 식물의 번식에 관한 전문 용어가 많이 있지만 본 논문에서는 상세히 거론할 필요가 없을 것이다. 작물에 관해서는 루빅(Roubik 1995)과 프리(Free 1993)의 상세한 저서가 있다.

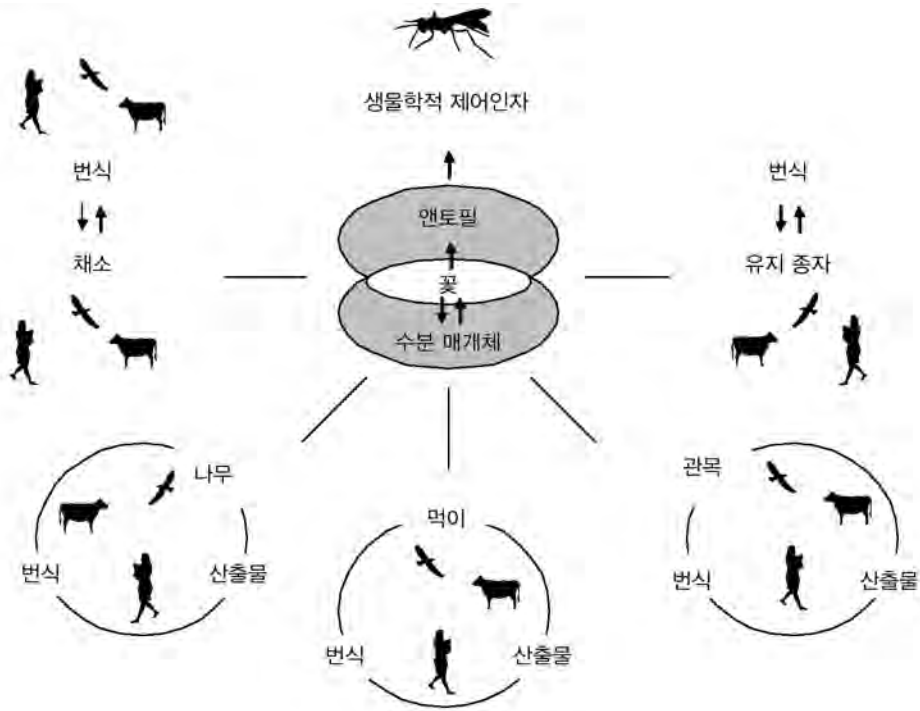


그림 8.1 수분 시스템은 여러 생태계와 생태계 기능의 핵심적 위치에 있는 것이다. 어떻게 보면, 직, 간접적 상호작용을 통해 생물권(biosphere) 전체가 수분 매개체의 서비스에 매달려있다고 할 수 있다.

안토피(anthophiles)이란 방화(訪花) 동물을 가리킨다. 이들은 꽃가루, 화밀(nectar), 유지 또는 식물 조직을 먹이로 삼는다(Kevan 1999). 수분 매개체란 수분을 하는 안토피이다. 안토피 이라고 해서 모두 유능한 수분 매개체 역할을 하는 것은 아니다. 일부는 수분 매개체들이 찾아 다니는 자원을 제거해버리거나 비생물적 수분에 필요한 꽃가루를 먹어 치우는 식물 도둑에 불과하다(Inouye 1980). 또 어떤 것들은 수분이 완료된 후 꽃에서 그저 휴식을 취하거나 남은 자원을 주워 모으기만 하는 무해한 존재들이다. 수분 매개체는 식물의 번식에 없어서는 안될 존재이지만 수분 매개를 하지 않는(혹은 극히 미미한 수분 밖에 하지 못하는) 안토피도 생태계 기능에 있어서 중요할 수 있다. 예를 들면, 생물학적 해충 구제에 유용한 여러 곤충들이 짝짓기를 하고, 숙주를 찾고, 산란을 하고, 수명주기를 다하기 위해서는 꽃에서 유래된 영양분을 필요로 한다(Ruppert 1993). 또한 먹이를 잡기 위해 꽃을 거점으로 이용하는 안토피도 있다(Kevan 1999).

안토필, 수분 매개체, 수분의 생물다양성

개괄

안토필의 종류는 매우 다양해서 그 수가 수백만 종에 이른다. 꿀벌과 나비는 거의 모두 꽃에 의존한다. 나방, 파리, 딱정벌레, 말벌, 개미도 꽃을 찾는다. 총채벌레(thrips), 꽃가루여치(pollen katydids, Zaprochilinae)처럼 그다지 화려하지 않은 곤충에서도 꽃을 좋아하는 특성을 흔히 찾아볼 수 있다. 다른 곤충목에서는 풀잠자리, 톱토기 등 꽃에 사는 곤충이 간헐적으로 보인다. 척추동물 중에서는 벌새, 플라워페커, 꿀빨이새, 꿀먹이새, 태양새, 진홍잉꼬와 같은 일부의 조류와 박쥐(과일 먹는 큰박쥐, 구열대지역의 여우얼굴 닮은 큰박쥐 또는 신열대지역의 리프노즈 박쥐) 등이 꽃을 좋아하는 수분 매개체로 유명하다. 흔하지는 않지만, 특히 호주와 아프리카에는 미끄러지듯 이동하며 높은 곳에 기어오르는 특기를 가진 포유동물(기어오르는 습성이 있는 포유동물)이 중요한 수분 매개체이다. 심지어는 일부 지역에 사는 영장류 동물도 수분 매개체로 중요한 역할을 한다.

농업 생태계에서

농업에서는 꿀벌(*Apis* spp.)이 가장 가치가 큰 수분 매개체이다. 그들은 많은 작물의 수분을 위해 운반이 용이한 상자 안에 담긴 채 관리된다. 꿀벌 특유의 생활상은 잘 알려져 있으며 수분을 위한 양봉이 정착되어 있다. 그렇지만 꿀벌만이 유일하게 상업적으로 이용되는 수분 매개체도 아니고 모든 꿀벌이 모든 작물에 똑같이 수분 매개 작용을 하는 것도 아니다(Kevan 1999). 예컨대, 뒤펙벌(*Bombus* spp.)은 화통(corolla tube)이 너무 깊어서 꿀벌이 화밀에 접근할 수 없는 콩과 작물에 대해서만 선택적으로 수분 매개 역할을 한다(Free 1993). 땡땅벌은 봉봉거리면서 수분 매개하는 행동(꽃에 진동을 일으켜 꽃가루를 추출해내는 수분 매개체)과 재배시설에 침입해 들어가는 능력으로 인해 꿀벌과는 확실히 구분이 된다. 과수원벌(*Osmia* spp.)은 능력이 더 우수해서 꿀벌보다 낮은 기온에서 재배시설에 침입해 들어오기 시작한다(Kevan 1999). 최근 말레이시아에서는 꽃이 너무 커서 꿀벌이 수분할 수 없는 패션프룻의 수분 매개를 위해 벌집 재료를 제공해 줌으로써 목수벌(*Xylocopa* spp.)을 이용할 수 있게 되었다(Mardan et al. 1991).

일부 작물의 수분은 꿀벌이 아닌 다른 수분 매개체에 의해 이루어진다(표 8.1). 열대 지방에서는 많은 식물(작물 및 기타)의 자연적 수분 메커니즘이 알려져 있지 않기 때문에 수분 문제가 특히 중요하다(Roubik 1995; Kevan 2001). 이 영역에 대한 연구는 최근에 진전이 있었다. 가시여지(sour sop)와 커스터드 애플 같은 아노나세오스과(*Annona* spp.) 과실수 작물의 수분 매개체로 딱정벌레가 발견되었다. 하지만 이들 식물에 가장 적합한 수분 매개체가 무엇인지에

대해서는 알려진 바가 별로 없다(Roubik 1995). 아시아의 기름야자나무는 서아프리카에서 도입된 바구미과 곤충인 *Elaeidobius kamerunicus* Faust(바구미과 Curculionidae)에 의해 효과적으로 수분되는데 이 곤충은 이 식물의 자연 서식지에서도 수분 매개체 역할을 했었다(Kevan 1999). 브라질너트는 멜리토티필러스(mellitophilous, 암꽃과 수꽃이 서로 다른 시기에 피는 식물)이기 때문에 자가 수분(self-pollination)이 일시적으로 불가능하다. 따라서 열매를 맺으려면 수분 매개체의 활동에 의존할 수밖에 없다(Maues 2002). 대규모 집단인 깔따구(midges)와 파리가 야생 과일의 수분 매개체라는 사실은 여러 작물의 대안적 수분 매개체에 대해 생각해 볼 필요가 있음을 보여준다. 열대 식물의 수분을 완벽하게 이해하기 위해서는 아직도 기울여야 할 노력이 많이 남아있다.

표 8.1 상용 작물에 유용한 수분 매개체

작물명	수분 매개체	참고자료
레드 클로버(<i>Trifolium repens</i>) 및 기타 콩과식물	뒤영벌 (<i>Bombus</i> spp.)	Free 1993
시설재배 토마토 및 기타 가지과(Solanaceous)작물	뒤영벌	Banda and Paxton 1991
나무 딸기	뒤영벌(꿀벌보다 우수)	Willmer et al. 1994
이과(pome fruit)	과수원 벌(<i>Osmia</i> spp.)	Kevan 1999
알팔파와 기타 콩과 작물	알팔파 가위벌(<i>Megachile</i> spp.)	Richards 1993
블루베리	블루베리 벌(<i>Habropoda laboriosa</i>)	Cane and Payne 1988, 1990
호박	늪은 호박벌(<i>Peponapis pruinosa</i>)	Kevan 1999
패션프룻	목수 벌(<i>Xylocopa</i> spp.)	Mardan et al. 1991
기름야자나무	바구미(<i>Elaeidobius kamerunicus</i> Faust) (Curculionidae)	Kevan 1999
각종 아노나세오스 과실 작물	딱정벌레	Roubik 1995
카카오	깔따구(Diptera: Ceratopogonidae)	Free 1993; Roubik 1995
망고	파리 및 기타 곤충	Free 1993; Roubik 1995
두리안	박쥐	Roubik 1995
캐슈	꿀벌(<i>Apis mellifera</i>)과 토종 독립성(solitary) 벌, Breno et al. 2002 토종 오일채집 벌(<i>Centris tarsata</i>)	

수분 매개체들이 추구하는 대가의 유형과 양이 수분에 영향을 미친다. 이는 육종가들이 흔히 간과하는 사실이다. 화분을 찾아 다니는 꿀벌이 화밀을 뒤져내는 꿀벌보다 더 나은 수분 매개체로 생각되곤 하며 이는 열린 주발 모양의 꽃을 피우고 상당량의 화밀을 생성하는 사과 및 비슷한 유형의 작물에 대해서도 마찬가지이다(Free 1993). 꽃의 형태가 특이한 작물(예: 블루베리, 크렌베리 등)에 대해서는 화분을 추구하는 벌이 화밀을 찾아 다니는 벌보다 효과적이다(Cane and Payne 1988). 벌 군집 내에 화분을 추구하는 벌의 비율이 낮고 꽃에서 꽃가루를 털어내지 못하며 붕붕거리어서 수분을 시키지 못하기 때문에 이러한 작물에 대해서는 대부분의 경우 꿀벌이 적합한 수분 매개체가 되지 못한다(Buchmann 1983). 곤충 수분을 필요로 하거나 곤충 수분을 이용하는 몇몇 식물 작물들은 화밀을 생성하지 않으며 꽃가루를 찾아 다니는 수분 매개 곤충들에게 의존한다. 그 예로는 키위, 토마토가 있으며 석류도 마찬가지인 것 같다. 루핀(lupine)도 꽃가루만 생성하는 작물이긴 하지만 언제나 자가 수분한다.

수분 매개체

꿀벌과 양봉

꿀벌의 종류는 유럽산 품종, 교잡종(*Apis mellifera* spp., *ligustica*, *caucasica*, *carnica*, 또는 이탈리아 종, 카프카스 종, 카니올란 종 꿀벌) 등으로 다양하며 꿀벌의 품종 이상으로 양봉법도 여러 가지이다. 꿀벌은 사람에게 가장 잘 알려져 있으며 수분과 벌집에서 나오는 산출물을 얻을 목적으로 관리가 용이한 벌 종류에 속한다(Graham 1992 ; Crane 1990 참조).

아프리카와 중동에 걸친 *Apis mellifera* 서식 지역에서는 토착종(재래종)을 각종 관리 기술을 이용해 다양한 종류의 벌집 안에 넣어 키운다. 이종은 대부분 방어적이며 인공이든 천연이든 벌집으로부터 도망을 잘 치는 경향이 있다. 따라서 기르기가 쉽지 않다. 아프리카 꿀벌로 더 많이 알려져 있는 킬러 비(killer bee, 유럽산과 아프리카 산의 잡종)는 1956년에 *A. m. scutellata*의 아프리카 산 모계 봉군(蜂群)이 남동 아프리카에서 도입된 후, 브라질로부터 열대와 아열대 아메리카 지역으로 퍼져나갔다. 지극히 수세적이며 쉽게 도발해 침입자를 공격하는 것으로 유명한 종이다.

아시아에서는 다른 종의 꿀벌을 키우거나 이용하도록 장려되고 있다. 가장 중요한 것은 아시아 하이브 벌(*Apis cerana*)로 *Apis mellifera* 만큼 다양한 생물다양성을 포함하고 있다(Kevan 1995). 아시아 하이브 벌은 그 동안 순종적이고 다루기 쉬운 종이라는 악평을 받아왔으나 최근 들어 그 잠재적 가능성에 주목하게 되었으며 유럽산 꿀벌을 자연 서식지 밖으로 이주시키는 것이 현명한 일인지에 대해 심각한 문제제기가 이루어졌다. 열대 아시아와 아열대 아시아

지역에서는 또 다른 종의 꿀벌이 상업적 목적에 이용되고 있다. 인도, 방글라데시, 스리랑카, 말레이시아, 태국, 베트남, 캄보디아 및 라오스에는 큰 꿀벌(giant honeybee) 또는 락 하니비(rock honeybee)라고 불리는 *Apis dorsata*가 서식하며 그들 또는 자매 종의 꿀이 채취된다. 히말라야 산맥 기슭에는 *Apis laboriosa*가, 동남아 군도 지역에는 아피스 도르사타 빈가미 *A. d. binghami*가 서식한다.

최소종 꿀벌인 *Apis florea* 역시 상업적으로 이용된다. 토종 아피스(꿀벌) 종이 전혀 없는 열대와 아열대 아메리카 지역에서는 미국 대륙 발견 전부터 전통적으로 침 없는 벌(멜리포니네 Meliponinae)가 존재했다. 멜리포니네 벌은 전세계 열대 지방에서 볼 수 있는 벌로 인간에 의해 관리되는 농업적 수분을 위해 엄청난 잠재력을 나타내고 있다. 하지만 수분 매개체로서 이들 벌의 생활 방식에 대해서는 관찰이 거의 이루어지지 않았다(Roubik 1995)..

토종 수분 매개체

농작물의 수분에 있어서 토종벌들의 의미와 역할에 대해서는 알려진 바가 거의 없다(Kremen et al. 2002). 아마도 꿀벌이 한다고 알려져 있는 수분 중 상당히 많은 부분이 실제로는 다른 종의 벌들에 의해 이루어지고 있을 것이다. 카스트로(Castro 2002)는 브라질의 바히아에서 약 32종의 과실수를 연구한 결과, 여타의 외래종만큼 많은 수는 아니지만 그래도 침 없는 토종벌들(Apidae: Meliponinae)이 수분 매개체로 중요한 역할을 하고 있음을 발견했다. 자연농법(전통적인 자연적 환경 내에서 이루어지거나 그러한 환경을 유지하면서 이루어지는 농업)에서 토종 수분 매개체는 "무료 서비스"를 한다(Kremen et al. 2002). 하지만 이것은 진정한 의미에서 무료라고 할 수 없다. 이 서비스는 토착종들이 살 수 있는 서식지가 되는 생태계의 건강에 달려있기 때문이다. 토종이 아닌 꿀벌과 기타 외래종이 토착 수분매개 시스템에 상당한 영향을 준다(Kremen and Ricketts 2000).

기타 사람에 의해 관리되는 수분 매개체

채취 가능한 정도의 양에 해당하는 꿀을 생성하지 않으면서 수분 매개체로 관리되는 또는 관리 가능한 다른 종류의 벌로는 가위벌, 알칼리벌, 과수원벌, 호박벌, 블루베리벌, 그리고 목수벌 등이 있다. 앞에서 이미 특정 작물에 관하여 이 벌들을 언급한 바 있다. 크레인(Crane 1990)은 수분을 위해(거의 드물기는 하지만) 상업적으로 관리되거나 실험적으로 관리된 적이 있는 벌 약 50여종을 열거하고 있다. 몇 가지 작물들은 큰 경제적 가치가 있기 때문에 그들을 성공적으로 수분시킬 수 있도록 벌을 적절하게 관리할 수 있는 방법을 개발하는데 관심이 유발되었다. 브라질에서의 캐슈수분 사례(박스 8.1)는 그 과정이 얼마나 복잡하고 난해한 문제인지를 보여준다.

수분 매개체의 죽음

농약 사용, 서식지 파괴, 병원체와 기생충의 번성 그리고 도입된 방화 생물과의 경쟁 등 네 가지 주요한 인간 활동을 통해 수분 매개체의 죽음이 초래되었다.

농약

농약, 그 중에서도 살충제가 수분 매개체에게 위험하다는 사실은 특히 유럽산 꿀벌에 대한 상세한 기록을 통해 잘 알려져 왔다. 하지만 제대로 알려지지도 않고 대부분의 경우 무시되는 것은 바로 일부 벌들의 수명을 단축시키고 먹이를 찾는 활동과 기억력 그리고 비상 능력에 불리하게 작용하는 치사효과이다(MacKenzie 1993). 현재까지 발표된 몇 가지 비교 연구 결과로 볼 때 농약이 꿀벌에게 미치는 독성은 다른 종들에게 가해지는 위해에 대한 빈약한 정보치인 것이 확실하다(Kevan 1999).

비농업적 환경과 농용림에서의 농약 문제는 훨씬 광범위한 수분 매개체에 연계되는 것이기 때문에 보다 더 복잡하다. 캐나다 동부 지방에서는 블루베리 농장에 인접해 있는 숲에서 발생한 가문비나무좀벌레(*Choristoneura fumiferana*)를 퇴치하기 위해 뉴브런즈윅에서 페니트로티온이라는 살충제를 사용했고 이로 인해 수분 매개체의 종류와 양이 극단적으로 줄어들어 통계상 블루베리 수확량이 예상 수준에 훨씬 못 미치게 감소했다(Kevan 1999). 피너모어와 니어리(Finnamore and Neary 1978)에 따르면 블루베리는 곤충이 수분을 시키는데, 캐나다 토종벌 약 190종이 블루베리와 관련이 있다고 한다. 그 후 회복이 되기까지는 손해의 심각도에 따라 1년에서 2년, 심지어는 7년 이상의 시간이 걸린 경우도 있었던 것으로 보인다(Kevan 1999). 오늘 날 블루베리 수분 매개체의 다양성과 생식 잠재능력은 제초제 사용으로 인해 감소되고 있다. 블루베리 꽃이 피어 있지 않은 시기에 수분 매개체들이 대신 섭취해야 할 먹이를 제초제가 모두 죽여 버리기 때문이다.

박스 8.1 브라질에서의 캐슈(*Anacardium occidentale* L.)의 경제적 가치와 수분의 필요

캐슈는 브라질 북동부 지방이 원산지인 응성양성동주(雄性兩性同株: andromonoecious) 나무이며 견과, 오일과 캐슈 애플 생산으로 이 지역에서는 경제적으로 대단히 중요하다. 브라질에서의 캐슈의 연간 경제적 가치는 다음의 수치가 잘 설명해준다.

상업적 캐슈 농원의 총 면적	650,000 ha
연간 견과 수확량	126,000 metric tons
수출액 (견과 전용)	US\$135 million
(견과 셀 오일)	US\$91 million
브라질 내에서의 작물(견과, 오일, 과실) 가치	US\$54 million

그런데 상업적 농장에서의 캐슈 작물 수확량은 실망스러운 정도로 낮은 편이며 연구 결과에 따르면 주요한 원인이 부적절한 수분에 있을지도 모른다고 한다. 캐슈 꽃의 형태와 모양으로 보아 캐슈의 수분은 곤충 특히 벌에 의해 이루어지는 것으로 짐작된다. 캐슈 꽃을 찾아 날아드는 곤충, 즉 말벌, 나비, 나방 등이 수분 매개체로 거론되어 왔지만 그들은 대부분의 경우 과실을 맺게 하지 못한다. 이는 꽃을 찾는 방문자라고 해서 반드시 수분 매개체가 되지는 않는다는 것을 보여준다. 브라질 북동부에서는 오직 벌들만이 정기적으로 캐슈 꽃에 날아든다. 특히 2종의 벌이 캐슈 꽃의 수분에 효과적이는데 토종 독립성 벌인 *Centris tarsata* 와 외래종 꿀벌(*Apis mellifera*)이 그것이다.

그런데 브라질 북동부에서 상용으로 재배하는 캐슈의 수분이 제대로 이루어지지 않는 데에는 두 가지 측면이 있다. 첫째, 과수원에서 자라는 캐슈 꽃을 찾아오는 곤충이 거의 혹은 아예 없다는 사실이다. *Apis mellifera*를 대량으로 농원에 풀어놓아도 주위에 캐슈꽃과 직접 경쟁하는 잡초의 꽃이 많이 있기 때문에 캐슈 꽃 주위에는 다가오지 않는다.

또 다른 적합한 수분 매개체인 *C. tarsata*는 서식지 교란과 대량으로 키울 수 있는 양봉 기술의 부족 때문에 상업적 캐슈 과수원에서는 거의 찾아보기가 어렵다. 수분 매개체가 부족한 두 번째 이유는 원예 기술에 관련된 문제다. 화합성 꽃가루 공급원의 필요성이 고려되지 않은 채 부분적인 자기불임성 클론 품종이 광범위하게 자라고 있는 것이다. 점점 더 많은 경작지에서 왜성 클론(dwarf clones)이 이식, 재이식됨에 따라 이 문제는 더욱 악화된다. 한가지 해결책은 이과배(梨果) 농원에서 하듯이 주요 식재 품종 사이에 화합성 꽃가루를 내는 나무들을 교호식재(interplant)하는 것이다.

호주와 브라질에서 실행된 인공 수분 실험을 통해 보다 수확량이 높은 캐슈의 유형 또는 품종이 무엇인지 밝혀졌다. 하지만 화합성 꽃가루의 벡터로 벌을 필요로 하므로 상업적 캐슈 과수원에서 벌을 어떻게 관리할 것인지의 문제는 여전히 고민거리로 남는다.

브라질 북동부에서 캐슈 수확량을 높이기 위해서는 효과적이라고 인식되어 있는 수분 매개체들의 보호와 관리, 그리고 화합성 품종을 적절히 혼합해 심는 농원 설계를 심각하게 고려해야 한다는 것이 결론이다.

*브라질 북동부 지방에서의 캐슈 수분에 대해 추가적으로 읽어볼 만한 자료

Freitas, B. M. 1994. Beekeeping and cashew in north-eastern Brazil: The balance of honey and nut production. *Bee World* 75(4):160168.

Freitas, B. M. and R. J. Paxton. 1998. A comparison of two pollinators: The introduced honey bee *Apis mellifera* and an indigenous bee *Centris tarsata* on cashew *Anacardium occidentale* in its native range of ne Brazil. *Journal of Applied Ecology* 35:109121.

Freitas, B. M., R. J. Paxton, and J. P. Holanda-Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in ne Brazil. In P. Kevan and V. L. Imperatriz-Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229244. Brasília, Brazil: Ministry of Environment.

Holanda-Neto, J. P., B. M. Freitas, D. M. Bueno, and Z. B. Araújo. 2002. Low seed/nut productivity in cashew (*Anacardium occidentale*): Effects of self-incompatibility and honey bee (*Apis mellifera*) foraging behavior. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 77(2):226231.

출처: Freitas et al. (2002).

대부분의 농약 문제는 농약을 사용할 때의 사고와 부주의 그리고 상표 상의 경고와 권장사항에도 불구하고 의도적으로 농약을 남용함으로써 발생한다(Johansen and Mayer 1990). 농약 사용에 대한 규제가 강화되고 사용자에게 안전 및 사용에 대한 교육을 받은 후 자격증을 소지하도록 함에 따라 문제는 줄어들 것이다. 규정이 미비한 경우라도 개화하는 식물에는 농약을 도포하지 않거나 수분 매개체가 먹이를 찾지 않을 때 농약을 살포하는 등의 방법을 통해 농약 사용으로 야기되는 문제를 줄이는 것이 상식적인 접근법이다.

서식지 파괴

어떤 생명체에 대해서와 같이 서식지 파괴가 수분 매개체의 수에 영향을 미치는 방식은 먹이 원천의 파괴, 둥지나 산란 장소의 파괴, 휴식처나 짝짓기 장소의 파괴 등 세 가지이다. 가장 흔한 서식지 파괴 수단은 단일작물재배, 과도 방목, 토지 개간, 그리고 관개(irrigation)이다.

농경지에서 먹이 원천을 파괴하는 가장 좋은 예는 작물이 개화하지 않은 시기에 수분 매개

체의 먹이가 되는 식생을 제거하는 것이다(Kevan 2001). 대부분의 경우, 제거된 식생은 불필요하거나 잡초 혹은 재배 작물의 경쟁자로 간주되지만 수분 매개체와 기타 유익한 곤충들에게는 매우 귀중한 것이다. 노변이나 도로에 제초제를 살포함으로써 수분 매개체의 대체 먹이의 다양성이나 공급량을 감소시킬 수 있다.

등지틀기나 산란 장소의 파괴가 1950년대 매니토바에서 가위벌 개체군들을 죽게 만든 원인이라는 기록이 남아있다. 채종(seed production)을 위해 알팔파 밭을 넓히자 가위벌들이 등걸과 통나무에 집을 지을 수 있는 장소가 사라져버렸던 것이다(Stephen 1955). 유럽에서는 산울타리 안의 미개밭지와 그 밖의 미간지재배하지 않는 땅이 줄어들자 뒤영벌이 사라졌다(Corbet et al. 1991). 열대 지방의 카카오 플랜테이션에서 깔따구(midges)를 이용해 부적합하게 수분을 시킨 것은 산란에 필요한 하충토(예: 부패한 식생)가 사라진 것과 연관되어 있다. 하충토를 너무 세심하게 제거해 버렸던 것이다(Winder 1977). 말레이시아에서는 썩어가는 야자나무 줄기에 쌓인 하충토로 인해 수분 매개체의 개체수가 증가했다(Kevan 1999).

농업과 연계해 서식지를 조작함으로써 먹이 원천과 등지틀기 장소 확보 모두에 나쁜 영향을 주는 경우가 자주 있다. 이런 경우, 그곳에 서식하는 수분 매개체들에게는 이종고를 야기하게 되고 뒤영벌의 봉군과 같이 수명이 긴 수분 매개체에게서 특히 두드러지게 나타난다. 전 세계에서 아프리카와 같은 개발 도상 지역에서는 농경 목적 때문에 서식지를 조작함으로써 그와 같은 수분 자원에 문제가 생기는 일이 생긴다. 박스 8.2에 기술된 케냐의 원예 산업의 사례는 야생 서식지가 자연적인 수분매개 활동에 어떤 식으로 활기를 불어 넣어주고 연속성을 증가시키는지 보여주는 수많은 예 가운데 하나일 뿐이다.

수분 매개체들에 대한 서식지 파괴라는 포괄적인 문제는 광범위한 우려를 자아내 왔다. Daniel Janzen은 1974년도 논문 "The Deflowering of America"에서 이 문제를 서술했다. 그는 수분 매개체의 자원인 식생이 감소하면 식생에서의 수분이 줄어들고 그렇게 되면 식물의 번식이 성공적으로 이루어지지 못해 종자와 과실의 착과가 감소하고 결국에는 생물다양성이 기대치보다 낮아져 식생의 복원이 불가능해지는 악순환에 대해서 설명하고 있다.

박스 8.2 케냐에서 원예 작물에 수분 서비스를 제공하는 야생 서식지

케냐의 많은 지역에서는 자연 서식지를 농장과 밭으로 개조하여 주로 수출 시장을 겨냥한 원예 작물을 키우고 있다. 마사이족과 같이 대부분 목축에 의존해 살아가는 집단의 농장까지도 이 시장에 참여하기 시작하고 있다.

나이로비의 남서쪽, 마가디 호수 너머에 있는 올 키리마시안(ol' Kirimatian) 집단 농장에서는 연구루만 절벽으로부터 흘러내리는 작은 강들의 지류를 변경해 들판 위에 관개 수로를 만듦으로써 원예 작물재배가 가능하도록 만들었다. 강변의 가시왕관 아카시아(*Acacia tortilis*) 숲이 대부분 농경지로 개조된다. 시장 수요에 따라 원예 작물이 주년재배되고 이 채소는 중개인이 구매해 공항으로 수송한 뒤 런던이나 유럽의 시장에서 판매된다.

가지, 오크라(okra), 조롱박(bitter gourd) 등 올 키리마시안 집단 농장에서 자라는 원예 작물의 대다수는 수분 서비스를 필요로 하거나 그 혜택을 받고 있다. 가지의 경우, 토종벌 특히 봉봉거리며 수분시키는 벌들에게 100% 의지해 수분시킨다. 다시 말해서, 이 벌들이 꽃을 물고 일정한 진동수로 날개 근육을 떨면 꽃에 있는 작은 구멍으로부터 꽃가루가 떨어져 나와 다른 꽃으로 날아가서 열매를 맺게 되는 것이다. 꿀벌은 봉봉거리는 수분 매개체가 될 수 없다. 2종의 독립성(solitary) 벌만이 유능한 수분 매개체 역할을 하는데 하나는 오래된 나무에 집을 짓는 목수벌이고 다른 하나는 땅에 집을 짓는 *Macronomia rufipes*라는 벌이다. 이들은 모두 원래 숲이었지만 농장으로 만들기 위해 개간된 땅에서 자연 발생한 벌들이다. 가지는 화밀을 생성하지 않으므로 이 벌들은 꽃가루만 취한다. 따라서 그들은 경작지에서만 살 수 없으며 농장 길 주변과 아직 개간되지 않은 숲 속 땅에서 다른 자원들도 이용한다.

농작물의 수분 매개체들이 야생 서식지에 있는 꽃 자원을 어느 정도까지 이용하는지 알아보기 위해 경작지 주위 자연 환경을 조사해 보았다. 가지의 수분 매개체들은 연중 대부분의 시기에는 농장, 특히 농장 도로 주변의 거친 땅에서 서식하는 잡초의 꽃 자원을 이용하고 있었다. 하지만 우기가 시작되기 직전, 가장 건조한 달에는 강변의 가시왕관 아카시아 숲에 있는 자투리 땅에 모여들어 그곳에서 나는 꽃 자원을 보다 많이 사용했다.

수분 서비스의 대부분을 야생 서식지가 제공하는 것은 아니라고 말할 수도 있다. 하지만 수분 매개체들이(비록 건기라는 가장 힘든 시기에만 잠시 이용하는 것이긴 하지만) 대안적으로 활용할 수 있는 야생 서식지의 꽃 자원이 없었더라면 그 척박한 불모지의 생태계에서 달리 연명할 방법을 찾지 못할 것이다. 이처럼 경작지 사이에 남아있는 야생 서식지를 보존하는데 드는 기회비용은 가시왕관 아카시아 꼬투리가 염소 먹이가 된다는 점을 포함한 몇 가지 가치에 의지하게 될 것이다. 그리고 그 가치는 이 땅을 개간해서 경작지로 전용할 경우에 얻을 수 있는 잠재 소득을 상쇄할 것이 틀림없다. 농작물의 수분 매개체들에게 서식지를 제공한다는 가치까지 더하면 농지 개발을 하더라도 일부 야생 서식지는 보존하는데 결정적인 동기를 제공할 수 있을 것이다.

출처:Barbara Gemmill, African Pollination Initiative, Nairobi, and Alfred Ochieng, University of Nairobi Department of Botany.

기생충과 병원체

기관 진드기(tracheal mites, *Acarapis woodi*)와 꿀벌응애(*Varroa jacobsoni*)가 무서운 속도로 퍼지면서 꿀벌의 기생충인 진드기가 세계의 주요 관심사로 떠올랐다(Needham et al. 1988 ; Connor et al. 1993). 진드기를 감시하고 만약 발견이 되면 구제(驅除)를 해야 하는 등 꿀벌 관리가 훨씬 복잡해지자 아마추어와 소규모 양봉가들이 양봉을 많이 포기한 것으로 알려져 있다. 미국 전역에 진드기가 만연하게 됨에 따라 야생 꿀벌 봉군의 수가 현저하게 줄어들었다. 취미 삼아 양봉을 하는 사람들과 야생 봉군의 감소로 생기는 병합 효과는 몇 년 전에 예견된 적이 있으며(Kevan 1999) 이미 농촌과 도시 환경 내 수분에 악영향을 미치고 있다. 게다가 진드기를 화학적으로 구제하면 사람이 먹는 음식과 기타 양봉 상품들까지 오염될 가능성이 있어 100% 순수한 꿀을 생산하는 사람들에게는 적합하지 않다.

예찰과 감시와 치료를 통해 질병을 제대로 제어하지 않으면 심각한 피해를 유발할 수 있다. 유럽산 꿀벌을 양봉할 경우, 꿀벌 유충이 세균성 병원균에 감염되어 생기는 아메리카 부저병이 가장 심각하다. 유럽 부저병(세균성), 백묵병(진균성) 낭충병(sacbrood, 바이러스성) 같은 다른 유충 질환은 문제가 덜하다. 유럽산 꿀벌 성충의 질병 중에서 유일하게 우려할 만한 것은 적리(dysentery, protozoan Nosema)이다. 아시아 하이브 꿀벌의 경우, 바이러스성 전염병인 타이 색브루드가 아시아를 휩쓸었을 때 많은 지역에서 손해가 발생했으며 그 후 저항력과 회복 능력을 얻게 되었다(Kevan 1995).

가위벌도 질병을 앓는다. 가장 중요한 병은 알팔파 가위벌(*Megachile rotundata*)의 진균성 백묵병(*Ascosphaera aggregata*가 원인)이다(Vandenberg and Stephen 1982). 이 벌들이 주로 알팔파의 꽃가루 매개를 담당하는 지역(예: 캐나다 서부)에서 진단 기술이 개발되었다. 이 질병을 구제하기 위해서는 위생 관리를 철저히 하고 병원체에 감염된 벌집 재료는 훈증 소독해야 한다(Goettel et al. 1993).

경쟁적 상호작용

수분 활동을 하는 수분 매개체들이 경쟁적 상호작용에 대한 연구가 많이 된 것은 남아메리카와 중앙아메리카의 토종 수분 매개체들과 유럽산 꿀벌에 대해 아프리카 꿀벌이 미치는 영향을 다룬 것이다. 루빅(Roubik 1978)은 중앙아메리카에 분포하던 토종벌의 숫자가 아프리카 꿀벌의 침입 후 확실하게 감소했음을 최초로 지적했다. 그 후 그는 이러한 현상이 보다 넓은 지역에서 나타나는 것으로 보았다(Roubik 1989). 그렇지만 남아메리카와 중앙아메리카에서의 아프리카 꿀벌과 토종 수분 매개체 간 경쟁적 상호작용이라는 문제는 전반적으로 매우 복잡한 것이다. 외래종 꿀벌과의 경쟁적 상호작용을 겪으면서 멸종한 토종벌은 하나도 없는 것 같다.

최근 호주에서는 유럽산 꿀벌을 도입함으로써 수분 매개체의 토착 식물군 및 동물군에

나타난 영향에 대해 토론이 열렸다. 패이튼(Paton 1993)에 따르면 새들이 추구하는 식물의 화밀을 유럽산 꿀벌이 제거함으로써 새의 수와 먹이를 구하는 습성에 변화가 생겼으며 유럽산 꿀벌 때문에 일부 토착 식물, 특히 새들이 수분을 담당하던 식물의 수분이 감소하고 있다는 것은 근거 있는 우려라고 한다. 서그던과 파이크(Sugden and Pyke 1991)는 꿀벌과의 경쟁으로 인해 토종벌(예: *Exoneura asimillima*)의 수가 줄었다는 결론을 내렸다. 토종 꽃가루 매개 곤충에 대해 유럽산 꿀벌이 미치는 영향은 식물학적인 면에서 그리 명확한 문제가 아니지만 토종벌에 대해서는 이러한 경향이 뚜렷이 나타난다. 그로 인해 파생되는 결과는 다음과 같다.

1. 꿀벌이 꽃의 자원을 소진함으로써 토종 수분 매개체들을 쫓아낸다.
2. 꿀벌은 자기들이 자원을 소진해버린 꽃을 수분시키지 못한다.
3. 그러면 식물은 성적으로 혹은 여타의 방법으로 번식할 수 없게 되고 따라서 그 수가 줄어든다.
4. 가뜩이나 수가 줄어든 잔존 토종 수분 매개체들은 한층 더 감소하게 된다.

상업적 목적으로 기르는 뒤영벌은 시설재배 토마토 생산에 매우 중요한 요인이 된다(Kevan 1999). 유럽의 서양뒤영벌(*Bombus terrestris* L.), 북아메리카 동부 지역의 *B. impatiens* Cresson, 북아메리카 서부 지역의 *B. occidentalis* Greene 등 최소한 3종의 토착종이 활용되고 있다. 비토종벌을 계획적으로 도입할 경우 검역에 만전을 기해야 하며, 보다 중요하게는 불가피할 수밖에 없는 벌들의 도주로 인해 야기될 수 있는 생태학적 결과에 대해 최대한 숙고를 거친 후 신중하게 진행해야 한다. 이미 유럽산 뒤영벌은 뉴질랜드, 칠레, 타스마니아, 일본에 도입되었고 아르헨티나에까지(1993년 혹은 1994년도에) 들어간 것으로 추정되며 대부분의 경우, 적절한 숙고 과정 없이 이루어졌다. 대프니와 슈미다(Dafni and Shmida 1996)도 이스라엘의 마운트 카멜에 서식하는 식물군의 수분과 안토필 동물군에 대해 서양뒤영벌(*Bombus terrestris* L.)이 미치는 영향을 설명하며 우려를 표시한 바 있다. 인도네시아에서는 아시아 하이브 벌(*Apis cerana*)이 윌러스와 베게너 경계 서쪽에서 이리안자야 주로 도입된 후 이웃인 파푸아뉴기니로 퍼져나갔고 이제는 호주로까지 세력이 확장될 위험이 있다. 이들이 도입됨으로 인해 토종 수분 매개체 본연의 다양성과 풍부함에 어떤 영향이 있을지 그리고 더 나아가 토착 식물군에 어떤 결과가 야기될 것인지 평가된 바 없다.

보호와 진흥

토종 수분 매개체를 보호하는 것은 전 세계의 지속 가능한 생산성을 위해 매우 중요한 일이다. 서식지 파괴는 집 지을 장소에서부터 먹이 문제에 이르기까지 주요한 이슈이다(Janzen 1974). 아프리카에서는 외지에서 전해진 질병이 토종 꿀벌의 품종과 건전한 수분 활동을 위협하고 있다. 북아메

리카와 유럽의 농촌에서는 살충제 사용이 감소함에 따라 농약으로 인한 영향의 비중이 점차 줄어들고 있지만 기타 다른 지역에서는 여전히 매우 중요한 문제로 남아 있다. 꽃을 찾는 곤충들 사이의 경쟁적 상호작용은 열대 아메리카와 아열대 아메리카 그리고 호주에서 중요한 문제인 것 같다.

기타 안토필

안토필 중 다수는 수분 매개체로 중요한 역할을 하지 않는다. 하지만 꽃 자원은 그들의 삶에 중요하다. 그 외에도 꽃을 찾는 곤충, 특히 포식자와 기생포식자는 매우 소중한 존재들이다. 그들이 없다면 환경 전체에 존재하는 해충의 수를 통제하는 것이 불가능하기 때문이다. 농업 생태계에서 생물학적 제어인자는 특별히 소중한 집단이다. 레이어스(Leius 1967)는 사과 과수원에 잡초 같은 식물 자원이 존재할 경우, 과수원에 서식하는 코들링나방에 맵시벌상과(Ichneumonoidea)가 기생하는 경우가 많아진다는 사실을 보여주었다. 사임(Syme 1975)에 따르면 숲에서도 식물 자원이 생물학적 제어자로서 매우 중요하다고 한다. 실제로 알퐁텡이(Japanese beetles)에 대해 잠재적으로 유용한 생물학적 제어자를 밝혀내지 못한 이유 중 하나는 일부 식물 자원이 부족했기 때문이라는 사실이 이미 오래 전에 나왔다(King and Holloway 1930). 저투입(low-input) 농업 시스템에서 해충에 대한 천연 생물학적 제어자가 많이 발생했다는 성공 사례들은 확실히 가용한 식물 자원이 많이 존재하기 때문이라고 해석되어야 할 것이다(Kevan 1999 참조).

작부 체계, 지속가능성, 생물다양성

전 세계적으로 농업이 급속하게 변화하고 있다. 북아메리카와 유럽에서는 땅의 일부를 경작하지 않고 놀리는가 하면(Corbet 1995) 다른 땅에서는 보다 집약적인 경작이 이루어지고 있다. 환경 문제에 민감한 또 다른 경우에는 유기농, 저경운 및 무경운 농법(無耕耘農法) 같은 저투입 농사법이 사용되고 있다(Johnston et al. 1971; Gess and Gess 1993). 농약 사용 감소와 결부된 이런 동향은 일반적으로 수분 매개체와 수분에 좋은 징조라고 할 수 있다. 하지만 이러한 토지 이용의 변화에 대해 생태학적으로 적절한 계획이 실행되지 않고 있으며 수분 매개체의 중요한 위상이 대부분 묵살되고 있다.

개발 도상 지역 내 농업 확대, 단일작물재배 증가, 집약적 경작 체계, 화학 비료 사용의 증가, 자연 생태지의 급속한 훼손 등이 모두 심각한 문제점이다. 히말라야 힌두쿠시 산맥의 애플 벨리 사례는 건전한 생태계와 산업을 위해 수분 체계에 주의를 기울일 필요가 있음을 확실하게 보여준다(박스 8.3). 수분 매개체의 역할과 생물다양성에 대한 적절한 정보가 부족하고 그들이 자연 및 농업 시스템 내에서 감소하는 것은 심상치 않은 일이다. 이 국가들의 상황이 극단적인 것이고 국제 별 연구소(International Bee Research Institute)가(열대 지방에서의 양봉에 관한 끊임없는 컨퍼런스 개최를

통해) 노력을 경주해 어느 정도 반향을 얻고는 있지만(Kevan 2001) 수분은 여전히 무시되고 있는 분야이다. 수분 생태학을 이해함으로써 보다 향상된, 그리고 보다 지속 가능한 생산을 통해 농업경제가 개선될 수 있으며 이와 관련된 사람들에게 보다 나은 삶의 환경을 제공할 수 있다는 것은 의심의 여지가 없다(그림 8.2).

박스 8.3 히말라야 힌두쿠시 산맥의 애플 벨리에 올려 퍼진 경계 정보

히말라야 힌두쿠시 산맥(HKH)의 여러 지역에서는 사과가 주요 현금 작물로 떠올라 많은 농민들을 가난으로부터 벗어나게 해주었다. 사과는 이 지역 가계총소득의60~80%에 해당하며 사과 생산 지역은 현재 식량 안보와 경제적 복지가 보장되었다는 연구 결과도 있다. HKH 지역에서 나는 사과의 연간 생산량은 220만 톤으로 추정되며 사과 재배와 판매에 종사하는 이들에게 연간 미화 5억 달러 이상의 소득을 안겨다 주는데 일조했다.

하지만 향후 발전 가능성도 상당히 크다. HKH 지역의 평균 사과 생산량(1헥타르당 2.5~12.9톤)은 낮은 편에 속하는데다가 점점 감소하고 있기 때문이다. 국제종합산지개발센터(International Center for Integrated Mountain Development)의 현장 조사를 통해 생산성 감소의 가장 중요한 원인이 부적절한 수분의 문제, 꽃가루 매개 곤충의 부족으로 인한 빈약한 수정, 굿은 기후라고 밝혀졌다.

수분이 제대로 이루어지지 않는 데에는 두 가지 주요 요인이 있다. HKH 지역 농가에서 키우는 상업 용도의 사과 품종은 자가 불화합성(self-incompatible)이며 화합적인 수분수(pollinizer) 품종과 수분(cross-pollination)을 필요로 한다. 많은 사과 재배자들은 이를 이해하지 못한 채 상업적 가치가 별로 없는 수분수 품종을 심는데 땅을 할애하고 싶어하지 않는다. 조사가 이루어진 지역의 사과 재배자들 중 절반 이상이 최소 필요량인 20%에도 못 미치는 수분수 품종을 과수원에 보유하고 있었으며 대부분의 경우, 고작 7~12%의 수분수 밖에 가지고 있지 않았다.

최근 몇 년 사이에 농업 목적으로 숲과 목초지를 개간하고 농약을 무차별 사용하면서 먹이를 찾고 집을 지을 서식지가 부족해지는 등 몇 가지 이유로 인해 자연 꽃가루 매개 곤충들의 종류와 수가 감소해왔다. 대부분의 과수 재배자들은 자연 꽃가루 매개 곤충이 줄어든 주요 원인으로 농약의 사용을 꼽았다. 사과 재배 지역이 확대된 것도 원인이 된다고 생각되었다. 곤충들이 담당할 수 있는 자연 수분 범위는 좁은 편이므로 새로 개발된 넓은 사과 재배 지역을 전부 수분시키기에 역부족이었기 때문이다.

연구가 이루어진 HKH의 두 지역 인도의 히마찰 프라데시(Himachal Pradesh)와 중국의 마오시안(Maoxian) 골짜기는 생산성이 워낙 급감했기 때문에 농가와 기관이 해결책을 강구할 수 밖에 없었다. 바로 이 두 지역에서 수분이 불충분해서 생기는 문제가 최초로 인식되었으며

농가와 기관이 수분 관리 옵션에 대해 조사하고 시험해 보기 시작한 것도 바로 이 지역에서였다.

연구가 이루어진 HKH의 두 지역 인도의 히마찰 프라데시(Himachal Pradesh)와 중국의 마오시안(Maoxian) 골짜기는 생산성이 워낙 급감했기 때문에 농가와 기관이 해결책을 강구할 수밖에 없었다. 바로 이 두 지역에서 수분이 불충분해서 생기는 문제가 최초로 인식되었으며 농가와 기관이 수분 관리 옵션에 대해 조사하고 시험해 보기 시작한 것도 바로 이 지역에서였다.

정부 기관의 노력 덕분에, 히마찰 프라데시의 사과 재배자들 대부분은 이제 사과의 수분 문제와 그 원인에 대해서 충분한 지식을 갖추게 되었으며 수분을 개선하기 위해 여러 가지 방법을 시도하고 있다. 다양한 품종의 수분수를 심고 수분수의 비중을 늘리는 한편, 과수원에 사는 수분 매개 곤충 수를 늘리고 사람이 관리하는 봉군을 보다 많이 사용하는 등 관리 노력을 기울이고 있다.

중국의 마오시안 지역에서는 약간 다른 접근이 이루어지고 있다. 여기서는 사과에 대한 인공 수분이 관행화되었다. 과수원이 작기 때문에, 가족 구성원 모두 훈련을 받아 각자의 과수원을 직접 수분시키고 지역사회가 함께 노력을 기울이고 있다. 또한 과수원의 수분을 위해 재배자들끼리 서로 품앗이를 하고 인부를 고용하기도 한다. 이 인부들은 꿀벌이 할 일을 대신 하는 사람들이기 때문에 "인간 꿀벌"이라고 부른다. 이러한 방법의 장점은 땅을 할애해서 수분수를 심을 필요가 거의 없기 때문에 상업적 가치가 있는 과실 품종을 키우는데 넉넉지 못한 땅 자원을 최대한 활용할 수 있다는 것이다.

출처: Uma Partap, International Centre for Integrated Mountain Development.

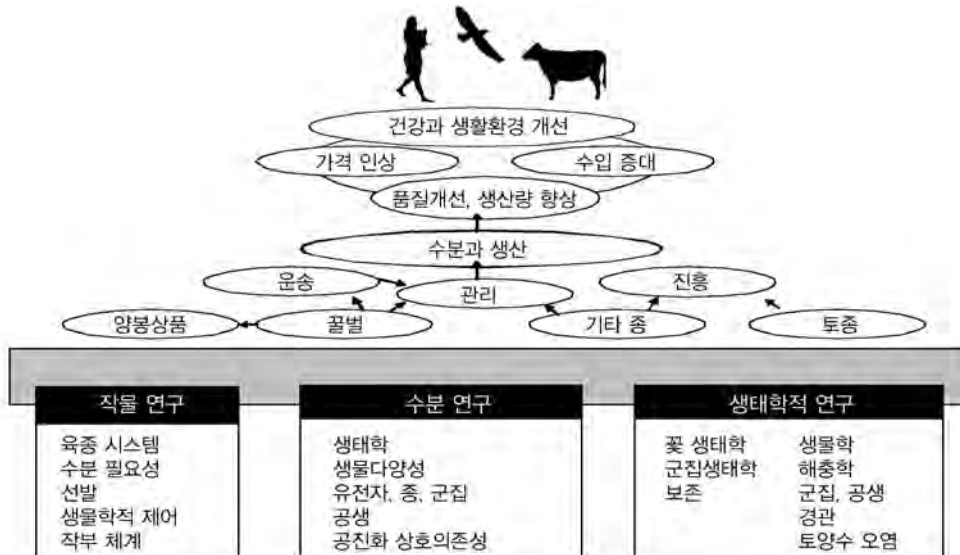


그림 8.2 수분 생태학을 확실하게 이해하는 것이 생산 시스템 안에서 적절하고 현명한 결정을 내리는데 기본이 된다. 이는 더 나아가 관련된 생물 모두가 보다 건강하고 나은 삶을 누릴 수 있게 해준다.

생물지표(生物指標)

생물지표란 생태계 내에서 존재(풍부) 또는 부재를 통해 진행되고 있는 활동을 표시해주는 생명체다. 생물 지표가 되는 종은 보통 문제를 진단하는데 사용되며 무산소수, 급속한 부영양화(eutrophication), 오염, 농약에 대한 지표가 존재한다. 그들은 또한 문제가 개선되었음을 나타낼 수도 있고 생태계 활동이 정상적인 범위 내에서 기대에 부응하도록 실행되고 있음을 의미할 수도 있다. 후자의 경우, 사용되는 종은 건강한 생태계의 양상을 나타내는 지표가 된다.

화학 비료농용 화학 물질

수분 매개체, 특히 꿀벌은 살충제에 의해 폐죽음 당하는 일이 빈번하다. 또 어떤 농약은 꿀벌의 몸이나 벌통 안에 축적될 수도 있다. 잔류 농약 탐지에 필요한 분석 기술이 발달되어 있기 때문에 꿀벌과 양봉 상품은 환경 내 농약 감시에 이용될 수 있다. 독성 잔류물은 환경 감시 목적 보다는 벌의 사인과 농약이 수분 매개체에게 미치는 해악이 무엇인지 알아내는데 사용하기 위해 측정, 분석된다.

오염물질, 오염원

오염물질을 감시하는 방법으로 꿀벌을 조사하는 일이 자주 있다. 꿀과 꽃가루는 각종 산업 오염물에 의해 오염될 수 있다. 비소와 카드뮴의 배출로 인해 꿀벌이 집단 폐사하고 꽃가루가 오염되지만 화밀은 오염이 되지 않는다(Krunic et al. 1989). 1986년 4월에 일어난 체르노빌 원전사고 후 꿀과 꽃가루에 방사성 동위원소가 축적된 사실은 봉군이 지역이나 지대 및 전 세계 환경의 품질에 대한 견본이 될 수 있음을 보여준다. 또한 그들은 화밀, 꽃가루 그리고 자신의 몸을 통해서 플루오르화물, 불소화합물, 중금속, 유기화합물의 시료가 되기도 한다. 꿀벌이 자연과 농업, 산업 및 도시 환경 내 생물 지표로 인정되고는 있지만 그 가치가 이미 입증되었음에도 불구하고, 그들을 생물 지표로 사용하는 계획은 아직 실행되지 못하고 있는 것 같다(Kevan 1999, 2001).

브로멘셴크 등(Bromenshenk et al. 1991)은 오염에 관한 꿀벌 개체군 동태론의 문제를 다루면서 수분 매개체의 건강에 대한 관심을 농약의 위험 외의 것들로 확대시켰다. 여타의 수분 매개체에 대한 오염물질의 영향에 대해서는 현재 나와 있는 정보가 많지 않다. 듀이(Dewey 1973)는 알루미늄 공장 주변에 사는 뿔뿔벌에서부터 나비, 물결넓적꽃등에(hover fly)에 이르는 꽃을 찾는 곤충들의 몸에서 높은 수치의 플루오르화물불소화합물이 발견되었음을 데이터를 통해 보여주었다. 이산화황은 꿀벌과 수컷 꼬마꽃벌(*Lasioglossum zephyrum*) 같은 수분 매개체의 활동을 둔화시키지만 그들을 죽이지는 않는다(Ginevan et al. 1980).

생태계 스트레스와 건강

건강의 개념을 생태계에 적용할 수 있으리라는 생각은 그리 참신한 것이 아니다. 하지만 건강을 측정하는 방법상에 문제가 있기 때문에 그 생각이 수용되기 어려웠다(18장 참조). 생태학에서 의견 일치를 본 개념 중 하나는 오버랩의 정도에 따라 배열되는 경쟁적 배제(competitive exclusion)와 생태적 지위의 계층구조(niche hierarchies)이다. 복잡한 유기체생명체들의 공동체에서 종(species)은 부분적으로 중첩된 생태적 지위의 계층을 점유한다고 스기하라(Sugihara 1980)는 주장한다. 환경의 물리적 제약을 고려한다면, 그러한 배열로 얻어지는 이론적 결과는 종의 종류와 수 사이의 소위 로그정규(log-normal) 관계이다. 여기서 로그정규 관계라는 말은 스기하라(1980)가 주장하는 생물학적 의미로 이해하면 된다. 수분 활동에서 나타나는 동물과 식물의 상호작용으로 볼 때 생태학적 군집의 구조와 역학에 관해 약간의 일반화를 적용할 수 있었고 그것은 수분 매개체를 포함한 생태계의 건강을 측정하는 것으로 구체화되었다..

케반 등(Kevan et al. 1997)은 1970년부터 1975년까지 캐나다 중남부 뉴브런즈윅의 살충제 스트레스를 받은 블루베리 밭이라는 환경에서 꽃가루 매개 꿀벌들의 종 다양성과 수의 로그정규 분포 관계가 교란되었을 것이라는 가설을 세웠다. 우리는 페니트로티온 살충제가 중부 지역에 살포된 당시와 블루베리 밭 부근에서 살충제 살포를 중단한 이후, 이렇게 두 시기에 걸쳐 뉴브런즈윅의 동부, 중부, 남서부 지역에서 얻은 데이터를 가지고 이 가설을 시험해 보았다. 우리의 데이터세트는 거의 모두 로그정규 분포를 나타냈다. 다만 페니트로티온 살충제가 살포된 때, 뉴브런즈윅 중부 지역에서 얻은 데이터만 예외였다. 하나의 데이터세트에서 로그정규 분포가 나타나지 않는다는 것은 곧 건강 상태가 악화되었음을 나타낸다고 짐작할 수 있었다.

결론

꿀벌과 여타 길들여진 벌, 야생벌 및 그 밖의 다른 수분 매개체를 보존하는 것은 전 세계의 농업과 자연의 지속 가능한 생산성에 있어서 매우 중요한 문제이다. 세계의 온대 지역에서 자라는 수많은 작물의 주요 수분 매개체가 잘 알려져 있는 반면, 수분 매개체 집단들 간의 정량적 관계와 활동과 조밀도가 식물과 꽃의 밀도와 그 결과 얻어지는 종자 형성에 대해 어떤 관계를 갖는지 대부분 알려져 있지 않다는 것은 이상한 사실이다. 수많은 열대작물의 수분 매개체는 확인되지 않았거나 알려지지 않았거나 혹은 꿀벌일 것이라고 추측되고 있다. 게다가 많은 열대작물의 육종 시스템은 불분명하거나 잘못 알려져 있다. 양봉에 종사하는 사람들이 영역을 넓혀 꿀벌 외의 품종을 길러보고 농업에 있어서 여타의 수분 매개체가 중요하다는 사실을 이해하는 것이 중요하다. 전 세계 환경의 지

속가능성과 생물다양성의 보존에 대한 관심이 고취되고 있다. 수분과 그에 해로운 프로세스가 중요하다라는 사실 안에는 광범위한 이슈들이 포함되어 있으며 이들은 서로 밀접한 관계를 맺고 있다. 세계 환경의 지속가능성과 생물다양성 보존이라는 새로운 정신으로 무장한 생물학자, 생태학자, 농업인 및 일반 시민들은 보존과 더불어 보다 창의적인 관리기법과 기초 생물학적 연구가 필요하다는 사실을 충분히 인식해야 한다.

참고 문헌

- Anderson, J. and M. A. Wojtas. 1986. Honey bees (Hymenoptera: Apidae) contaminated with pesticides and polychlorinated biphenyls. *Journal of Economic Entomology* 79:1200.1205.
- Banda, H. J. and R. J. Paxton. 1991. Pollination of green house tomatoes by bees. *Acta Horticultura* 288:194.198.
- Breno, M. F., R. J. Paxton, and J. P. de Holanda- Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in NE Brazil. In P. G. Kevan and V. L. Imeratriz- Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229.244. Brasilia-DF, Brazil: Ministry of the Environment.
- Bromenshenk, J. J., J. L. Gudatis, S. R. Carlson, J. M. Thomas, and M. A. Simmons. 1991. Population dynamics of honey bee nucleus colonies exposed to industrial pollutants. *Apidologie* 22:359.369.
- Buchmann, S. E. 1983. Buzz pollination in angiosperms. In C. E. Jones and R. J. Little, eds., *Handbook of Experimental Pollination Biology*, 73.113. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Buchmann, S. E. and G. P. Nabhan. 1996. *The Forgotten Pollinators*. Washington, dc: Island Press.
- Bunzl, K., W. Kracke, and G. Vorwohl. 1988. Transfer of Chernobyl-derived ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I, and ¹⁰³Ru from flowers to honey and pollen. *Journal of Environmental Radioactivity* 6:261.269.
- Cane, J. H. and J. A. Payne. 1988. Foraging ecology of *Habropoda laboriosa* (Hymenoptera:

- Anthophoridae), and oligolege of blueberries (Ericaceae: Vaccinium) in south-eastern United States. *Annals of Entomology* 81:419.427.
- Cane, J. H. and J. A. Payne. 1990. Native bee pollinates rabbiteye blueberry. *Highlights in Agricultural Research, Alabama Agricultural Research Station* 37(4):4.
- Castro, M. S. 2002. Bee fauna of some tropical and exotic fruits: Potential pollinators and their conservation. In P. G. Kevan and V. L. Imeratriz- Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 275-288. Brasilia-DF, Brazil: Ministry of the Environment.
- Connor, L. J., T. Rinderer, H. A. Sylvester, and S. Wongsiri, eds. 1993. Asian apiculture. In *Proceedings of the First International Conference on the Asian Honey Bees and Bee Mites*, 8. Cheshire, CT: Wicwas Press.
- Corbet, S. A. 1995. Insects, plants and succession: Advantages of long-term set-aside. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 53:201.217.
- Corbet, S. A., I. H. Williams, and J. L. Osborne. 1991. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European Community. *Bee World* 72:47.59.
- Crane, E. 1990. *Bees and Beekeeping: Science, Practice and World Resources*. Oxford, UK: Heinemann Newnes.
- Dafni, A. and A. Shmida. 1996. The possible ecological implications of the invasion of *Bombus terrestris* (L.) (Apidae) at Mt Carmel, Israel. In A. S. L. Matheson, C. Buchmann, P. O'Toole, P. Westrich, and I. H. Williams, eds., *The Conservation of Bees*, 183.200. *Linnean Society Symposium Series Number 18*. London: Academic Press.
- Dewey, J. E. 1973. Accumulation of fluorides by insects near an emission source in western Montana. *Environmental Entomology* 2:179.182.
- Finnamore, B. and M. A. Neary. 1978. Blueberry pollinators of Nova Scotia, with a check list of the blueberry pollinators of eastern Canada and northeastern United States. *Annales de la Societe Entomologique de Quebec* 23:161.181.
- Ford, B. C., W. A. Jester, S. M. Griffith, R. A. Morse, R. R. Zall, D. M. Burgett, F. W. Bodyfelt, and D. J. Lisk. 1988. Cesium- 134 and cesium- 137 in honey bees and cheese samples collected in the US after the Chernobyl accident. *Chemosphere* 17:1153.1157.

- Free, J. B. 1993. *Insect Pollination of Crops*, 2nd ed. London: Academic Press.
- Freitas, B. M., R. J. Paxton, and J. P. Holanda- Neto. 2002. Identifying pollinators among an array of flower visitors, and the case of inadequate cashew pollination in ne Brazil. In P. Kevan and V. L. Imperatriz-Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 229.244. Brasilia, Brazil: Ministry of Environment.
- Gess, F. W. and S. K. Gess. 1993. Effects of increasing land utilization on species representation and diversity of aculeate wasps and bees in the semi-arid areas of southern Africa. In J. Lasalle and I. D. Gauld, eds., *Hymenoptera and Biodiversity*, 83.114. Wallingford, uk: cab International.
- Ginevan, M. E., D. D. Lane, and L. Greenberg. 1980. Ambient air concentration of sulfur dioxide affects flight activity in bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 77:5631.5633.
- Goettel, M. S., K. W. Richards, and D. W. Goerzen. 1993. Decontamination of *Ascosphaera aggregata* spores from alfalfa leaf cutting bee (*Megachile rotundata*) nesting material by fumigation with paraformaldehyde. *Bee Science* 3(1):22.25.
- Graham, J. M. 1992. *The Hive and the Honey Bee*. Hamilton, il: Dadant & Sons.
- Inouye, D. W. 1980. The terminology of floral larceny. *Ecology* 61:1251.1253.
- Janzen, D. H. 1974. The deflowering of America. *Natural History* 83:48.53.
- Johansen, C. A. and D. F. Mayer. 1990. *Pollinator Protection. A Bee and Pesticide Handbook*. Cheshire, CT: Wicwas Press.
- Johnston, A., J. F. Dormaar, and S. S. Smoliak. 1971. Long-term grazing effects on fescue grassland soils. *Journal of Range Management* 24:185.188.
- Kevan, P. G., ed. 1995. *The Asiatic Hive Bee: Apiculture, Biology, and Role in Sustainable Development in Tropical and Subtropical Asia*. Cambridge, on, Canada: Enviroquest Limited.
- Kevan, P. G. 1999. Pollinators as bioindicators of the state of the environment: Species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:373.393.
- Kevan, P. G. 2001. Pollination: A plinth, pedestal and pillar for terrestrial productivity. The why, how and where of pollination protection, conservation and promotion. In C. S. Stubbs and F. A. Drummond, eds., *Bees and Crop Pollination: Crisis, Crossroads*,

Conservation, 7.68. Lanham, md: Entomological Society of America.

- Kevan, P. G., C. F. Greco, and S. Belaoussoff. 1997. Log-normality of biodiversity and abundance in diagnosis and measuring of ecosystemic health: Pesticide stress on pollinators on blueberry heaths. *Journal of Applied Ecology* 34:1122-1136.
- King, J. L. and J. K. Holloway. 1930. *Tiphia popillivora* Rohwer, a Parasite of the Japanese Beetle. U.S. Department of Agriculture Circular No. 145. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
- Kremen, C. and T. Ricketts. 2000. Global perspective on pollination disruptions. *Conservation Biology* 14:1226-1228.
- Kremen, C., N. M. Williams, and R. W. Throp. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *PNAS* 99:16812-16816.
- Kronic, M. D., L. R. Terzic, and J. M. Kulinčević. 1989. Honey resistance to air contamination with arsenic from a copper processing plant. *Apidologie* 20:251-255.
- Leius, K. 1967. Influence of wild flowers on parasitism of tent caterpillar and codling moth. *Canadian Entomologist* 99:444-446.
- MacKenzie, K. E. 1993. Honey bees and pesticides: A complex problem. *Vector Control Bulletin of the North Central States* 1(2):123-136.
- Mardan, M., I. M. Yatim, and M. R. Khalid. 1991. Nesting biology and foraging activity of carpenter bee on passion fruit. *Acta Horticultura* 288:127-132.
- Maues, M. M. 2002. Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonl. Lecythidaceae) in eastern Amazonia. In P. G. Kevan and V. L. Imeratriz-Fonseca, eds., *Pollinating Bees: The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, 245-254. Brasilia-DF, Brazil: Ministry of the Environment.
- Morse, R. A., T. W. Culliney, W. H. Gutenmann, C. B. Littman, and D. J. Lisk. 1987. Polychlorinated biphenyls in honey bees. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 38:271-276.
- Needham, G. R., R. E. Page, M. Delfinado-Baker, and C. E. Bowman, eds. 1988. *Africanized Honey Bees and Bee Mites*. Chichester, England: Ellis Harwood, Ltd.
- Paton, D. C. 1993. Honeybees in the Australian environment. *BioScience* 43:95-103.
- Richards, K. W. 1993. Non-*Apis* bees as crop pollinators. *Revue Suisse de Zoologie*

- 100:807-822.
- Roubik, D. W. 1978. Competitive interactions between neotropical pollinators and Africanized honeybees. *Science (Washington)* 201:1030-1032.
- Roubik, D. W. 1989. *Ecology and Natural History of Tropical Bees*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Roubik, D. W., ed. 1995. *Pollination of Cultivated Plants in the Tropics*. FAO Agricultural Services Bulletin No. 118. Rome: FAO.
- Ruppert, V. 1993. Einfl usz blütenreicher Feldrandstrukturen auf die Dichte blütenbesuchender Nutzinsekten insbesondere der Syrphinae (Diptera: Syrphidae). *Agrarökologie* 8:1149.
- Stein, K. and F. Umland. 1987. Mobile und immobile Probensammlung mit Hilfe von Bienen und Birken. *Fresenius Zeitschrift für Analytische Chemie* 327:132141.
- Stephen, W. P. 1955. Alfalfa pollination in Manitoba. *Journal of Economic Entomology* 48:543548.
- Sugden, E. A. and G. H. Pyke. 1991. Effects of honey bees on colonies of *Exoneura asimillima*, an Australian native bee. *Australian Journal of Ecology* 16:171181.
- Sugihara, G. 1980. Minimal community structure: An explanation of species abundance patterns. *American Naturalist* 116:770787.
- Syme, P. D. 1975. The effects of flowers on the longevity and fecundity of two native parasites of the European pine shoot moth in Ontario. *Environmental Entomology* 4:337346.
- Vandenberg, J. D. and W. P. Stephen. 1982. Etiology and symptomology of chalkbrood in the alfalfa leafcutting bee, *Megachile rotundata*. *Journal of Invertebrate Pathology* 39:133137.
- Willmer, P. G., A. A. M. Bataw, and J. P. Hughes. 1994. The superiority of bumblebees to honeybees as pollinators: Insect visits to raspberry flowers. *Ecological Entomology* 19:271284.
- Winder, J. A. 1977. Some organic substrates which serve as insect breeding sites in Bahian cocoa plantations. *Revista Brasileira de Biologia* 37:351356.

9. 농업 생태계 내에서의 토양 생물다양성 관리

G. G. BROUWN, M. J. SWIFT, D. E. BENNACK, S. BUNNING, A. MONTÁNEZ,
AND L. BRUSSAARD

토양 생물다양성의 요소

토양이란 단순히 식물이 사용하는 이온을 함유한 작은 유기물과 무기입자 덩어리가 아니다. 토양은 살아있는 생명체로 어찌면 토양 밖, 지상에 사는 생물보다 훨씬 다양할 수 있는지도 모를 무수한 생명체의 보금자리이다.

토양계는 본질적으로 서로 다른 생명체들이 지구상에서 가장 다양하게 모여 있는 집단을 내포하고 있다(Brusgaard et al. 1997; Giller et al. 1997; Wall and Moore 1999). 이 생명체들은 천차만별의 몸 크기와 먹이 전략, 그리고 다양한 생활 습성을 가지고 있어, 철저하게 수중생활을 하는 것이 있는가 하면 반드시 육생(陸生)해야 것도 있다(Bater 1996). 몸의 크기로 보면 미소한 단세포 박테리아에서부터 조류(藻類), 진균류, 원생동물, 보다 복잡한 선충류, 미소 절지동물 그리고 육안으로 볼 수 있는 지렁이, 곤충, 작은 척추동물과 식물에 이른다. 이러한 생명체 군집이 토양 내에서 먹이그물을 이루고 있다. 즉, 1차 생산자(식물, 지의류, 이끼, 광합성 세균, 조류), 식물, 기타 생명체, 폐기 부산물에서 나오는 유기화합물을 소비하는 토양 생물, 그리고 무기화합물로부터 에너지를 얻는 박테리아 사이에서 에너지와 영양물질의 변환과 상호작용이 일어난다.

토양 속에는 유전자적 수준, 종 수준, 생태학적 수준에서 생물체의 다양성(토양 생물다양성)이 존재하며 상호작용이 일어난다. 토양 생물다양성이란 지표면 폐기물과 부패 역할을 담당하는 유기물을 포함해 일생 중 일부 기간 동안 흙 속이나 흙 표면에서 살아가는 생명체를 모두 합친 것이라고 생각하면 편리하다. 세상에 존재하는 땅벌레곤충의 종 가운데 다수가 삶의 단계 중 일부를 흙 속에서 보낸다(Bater 1996). 토양 생물군(soil biota)에는 흰개미, 지렁이, 개미 같이 우리에게 익숙한 유기체생물들 뿐만 아니라 잘 알려져 있지 않은 수많은 무척추동물과 미생물까지 모두 포함된다.

자연 속 어디에도 토양만큼 수많은 종이 밀집해 모여 있는 곳은 없다(Hågvar 1998). 예를 들어, 토양 1g에는 박테리아가 수천 종, 수백만 개체나 들어있을 수 있다(Torsvik et al. 1994). 전형적인 건전한 토양 속에는 몇 종의 척추동물과 지렁이, 20~30종의 진드기, 50~100종의

곤충, 수십 종의 선충류, 수백 종의 진균류 그리고 아마도 수천 종의 박테리아와 방선균류(放線菌類)가 들어있을 것이다(Ingham 1999). 토양 생물다양성은 방목지나 경작지보다 숲, 초원처럼 교란이 거의 없었거나 처너지에서 훨씬 더 큰 경향이 있다. 그렇지만 생명체의 다양성, 수, 유형은 토지 이용 시스템 각각의 생태계 환경과 통풍, 온도, 토양산도, 수분, 포함된 영양물질과 유기물의 질과 양 등 인간 활동에 의해 심하게 변하는 여러 가지 요소에 따라 달라진다.

또한 토양은 물리적으로 복잡한 물질이기도 하다. 미세공극(micropore), 큰 공극(macropore), 터널이 거대한 망처럼 얽혀있는 토양은 공극과 넓은 지표면을 통해 생명체들의 서식지가 되며 이들의 생명 프로세스를 생물학적으로 중재, 성립시키는 모태 역할을 한다. 토양 안에 들어있는 유기물, 수분, 기타 영양물질은 시공간적으로 변동이 심하며 이것이 토양의 복잡한 생태적 지위구조(niche structure)를 발달시킨다. 토양의 구조와 먹이자원은 토양 유기체생명체들 사이에서 복잡하고 상호 연결되어 있고 때로는 기능적으로 과도한 영양 상호작용이 전개·유지되는 조건을 제공한다. 이러한 생태학적 복합성으로 말미암아 무수한 식물, 동물, 미생물 군집이 공존하면서 일련의 기능과 서비스를 제공할 수 있는 것이다. 하지만 이렇게 중요하고 역동적인 토양 생태계를 인지하지 못하거나 거의 이해하지 못하고 있어 올바른 관리를 하지 못하는 일이 발생한다.

토양이 이토록 어마어마하게 다양한 반면, 토양 생태계를 연구하는 것 자체가 기술적으로 어려운데다가 그것을 제대로 설명, 기술할 수 있는 분류학자는 단 한 명도 없기 때문에 결과적으로 토양 생물다양성에 대한 지식은 극히 빈약한 수준에 머물러 있다. 현재 나와 있는 분류학적 어휘 목록은 토양 체계 속에 살고 있는 종의 수를 정확하게 묘사하기에는 턱없이 부족한 것이다. 토양 군집은 너무나 다양한 데 반해 알려진 바나 기술된 내용은 극히 빈약하기 때문에 토양을 "또 다른 최후의 생명 경계선"(André et al. 1994), 혹은 "가난한 자의 열대 우림"이라고 부르는 사람들도 있다(Usher et al. 1979).

표 9.1은 특정 토양 생물군에 대해 현재까지 알려지고 기술된 종의 수(추정치)를 정리해 놓은 것이다. 하지만 이 숫자들은 임시 추정치에 불과하며 각 그룹의 총 종수로 짐작되는 것에 훨씬 못 미치는 것임을 강조해 둔다. 예를 들면, 여기에는 토양에 서식하는 진균종의 수가 18,000에서 35,000 종에 이른다고 되어 있다. 하지만 실제로 짐작되는 추정치는 10만 종이 넘는다(Hawksworth 1991). 선충류와 진드기는 훨씬 더 풍부해서 현재 기술된 총수는 각각 3%와 5%에 불과한 것으로 짐작된다. 박테리아와 원시세균(archaea)의 수는 더더욱 확실하게 말할 수 없다(Hawksworth and Kalin-Arroyo 1995). 이 그룹에 속하는 종을 정의하는 기준에 대해 과학자들의 의견이 분분하기 때문이다. 게다가 각 생명체의 순수 종을 분리 배양하는 것이 어렵기 때문에 이들을 식별해내기가 더 어렵고 복잡하다. 하지만, 토양 미소식물군(soil microflora)의 유전자 구조를 추출해 분석하는 분자생물학적 방법의 발달로 토양 내 박테리아

와 기타 미생물을 연구할 수 있는 새로운 시대가 열렸으며 미생물 생태학의 근본적인 혁신을 기대할 수 있게 되었다(Amman & Ludwig 2000; Torsvik & Ovreas 2002).

표 9.1. 주요 토양 생물 기록 종 수

생물체명 (크기 순)	기술된 종 수
Microorganisms	
Bacteria and archaea	3,200
Fungi	60,000
Microfauna	
Protozoa (Protista)	36,000
Nematodes	15,000
Rotifers	2,000
Tardigrades	750
Mesofauna	
Mites (Acari)	ca. 45,000
Springtails (Collembola)	7,500
Pseudo-scorpions	3,235
Diplura	659
Symphyla	200
Pauropoda	700
Enchytraeids	800
Macrofauna	
Root herbivorous insects	>40,000
Beetles (Coleoptera)	350,000
Millipedes (Diplopoda)	10,000
Centipedes (Chilopoda)	2,500
Scorpions	1,259
Spiders	38,884
Snails (Gastropoda)	30,000
Woodlice (Isopoda)	4,250
Termites (Isoptera)	2,800
Ants (Formicidae)	11,826
Harvestmen (Opiliones)	5,500
Earthworms (Oligochaeta)	3,800
Velvet worms (Onchophora)	90

출처: Hawksworth and Mound(1991); Brussaard et al.(1997); Wall and Moore(1999); Moreira et al.(2006); Lewinsohn and Prado(2005, 2006)

생태계 기능, 스케일 효과, 조절적 계층구조

그렇지만 토양 속 생명체를 연구해야 하는 것은 매우 다양하고 복잡한 상호관계 때문이 아니라 이들이 자연 생태계와 농업 생태계에서 대단히 중요한 기능을 하기 때문이다(표 9.2). 토양은 토양 속 생명체들을 매개로 여러 가지 주요 순환 프로세스, 특히 영양물질 순환(nutrient cycling), 탄소 격리(carbon sequestration), 질소 고정(nitrogen fixation)이 일어나는 장소이다.

보다 정확히 말하자면, 토양 생물군이 바로 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 성격과 프로세스에 영향을 미치면서 토양 환경을 변화시키는 당사자이다. 예를 들어, 대부분의 생물교란(bioturbating: 토양을 이동시키거나 소비하는) 동물과 식물 뿌리와 일부 미생물들은 토양 구조 형성에 영향을 미친다. 따라서 토양 내 수리(hydrological) 프로세스와 수자원 상황(예: 물의 침투, 배수, 보수력)에도 직접 관여한다. 대다수의 미생물들은 식물과의 공생 및 기생 관계와 해충, 미생물 기생충, 질병에 대해 식물을 보호하는 일에 밀접하게 관여한다. 어떤 미생물은 주로 식물 뿌리 근처에 살면서 공생 관계에 있지 않은 식물의 성장을 촉진시키며 일부 세균들은 농약, 석유와 같은 오염물질을 분해시키고 유기물의 분해, 영양물질 순환, 특히 메탄, 산화질소, 이산화탄소 같은 온실 기체의 격리에 적극 개입한다. 마지막으로, 많은 토양 생명체가 직, 간접적으로 식용, 약용 원천이 된다.

그러므로 생명체들이 토양에 작용하는 방식과 생태계 기능에 기여하는 바는 지극히 가변적이다. 이들의 몸의 크기, 행동 패턴, 개체 수와 활동성, 생명 유지 전략, 생활과 먹이 요건, 다른 생명체와의 (상승적, 길항적) 상호작용의 차이에 따라 중요성이 달라진다. 특정 종이 토양 환경에 미치는 전반적인 기능적 영향을 결정하는데 시공간 스케일이 특히 결정적이다(Anderson 2000). 시간상, 공간상 많은 생명체와 종이 서로 다른 정도로 작용하여 특정한 토양 프로세스를 만들어낸다. 더불어, 많은 생명체 또는 종은 몇 가지 불연속적(discrete) 프로세스에도 기여한다.

표 9.2. 토양 생물군의 생태계 기능

기능	관여하는 생명체
토양 구조의 유지	생물교란적(토양을 이동시키거나 소비하는) 무척추 동물과 식물 뿌리, 마이코라이자(균근) 및 기타 미생물
토양 수리(水利) 프로세스 조절	대부분의 생물교란적 무척추 동물과 식물 뿌리
가스 교환과 탄소 격리	주로 미생물과 식물 뿌리,

기능	관여하는 생명체
토양 해독	주로 미생물
영양물질 순환	주로 미생물과 식물 뿌리, 토양이나 폐기물을 먹고 사는 무척추동물
유기물 분해	각종 부패 유기물, 폐기물을 먹이로 삼는 무척추 동물(유기 분해물을 먹고 사는 동물 detritivores), 진균류, 박테리아, 방선균 및 기타 미생물
해충, 기생충, 질병 억제	식물, 마이코라이자(균근)과 기타 진균류, 선충, 박테리아, 기타 여러 가지 미생물, 톡토기, 지렁이, 각종 포식자(predators)
식용, 약용 재료	식물 뿌리, 각종 곤충(귀뚜라미, 딱정벌레 애벌레, 개미, 흰개미), 지렁이, 척추동물, 미생물 및 이들의 부산물
식물이나 식물 뿌리와 맺는 공생, 비공생 관계	뿌리혹박테리아(Rhizobia), 마이코라이자(균근), 방선균, 질소고정 박테리아(diazotrophic bacteria) 및 기타 여러 가지 식물뿌리 근처에 서식하는 미생물, 개미
식물의 생장 조절(촉진 및 저해)	직접적 효과: 식물 뿌리, 뿌리혹박테리아, 마이코라이자(균근), 방선균, 병원균, 식물기생 선충, 식근성 곤충, 식물성장 촉진 근권(根圈) 미생물, 생물학적 방제제(biocontrol agent) 간접적 효과: 대부분의 토양 생물군

예컨대, 마이크로미터 크기의 박테리아와 진균류를 먹고 사는 선충이 질소 무기화 작용에 영향을 줄 수도 있고(Ingham et al. 1985) 몇 밀리미터 크기의 선충과 진균류를 먹고 사는 진드기와 톡토기가 몇 센티미터 옆의 미생물 군집 프로세스에 영향력을 미칠 수도 있다(Anderson 1995). 한편, 지렁이의 활동으로 수 밀리미터의 직경과, 수 센티미터 길이에 이르는 터널 또는 굴이 몇 미터나 되는 토양 구조와 수리(水利) 프로세스에 영향을 미칠 수 있다. 심지어, 흰개미와 개미 집단의 광범위한 활동은 몇 헥타르에 걸친 토양의 물리적, 화학적 프로세스에 영향을 미칠 수 있다(Swift et al. 1996). 이렇게 해서 생성된 구조는 그것을 만들어낸 생명체들 모두 수명을 다하여 사라진 후에도 오래 동안(수십 년까지) 남아있게 된다. 개미, 흰개미, 지렁이 등의 활동(박스 9.1)으로 인해 토양이 식물, 무척추동물, 미생물을 포함한 다른 생명체들의 서식지로 변할 수 있다.

그러므로 보다 큰 토양 생명체들의 영향이라고 생각되는 현상의 배경에는 보다 작은 토양 생명체들의 활동이 보이지 않게 숨어있게 마련이고 그런 식으로 하향 제어식 계층적 시스템(Lavelle et al. 1997)이 시작되는 것이다. 이런 시스템에서는 작은 규모의 생물학적인 결과는 시공간적으로 규모가 더 큰 생물학적 활동의 효과 안에 묻히게 된다(그림 9.1의 작은 박스). 그리고 모든 토양 생명체들의 활동은 자원의 양과 질, 토양의 특성과 기후 조건 등으로 표현되며 이 또한 계층적으로 조직된다.

박스 9.1 생태계 엔지니어란?

생태계 엔지니어(Jones et al. 1994의 정의에 따름)란 생물 또는 무생물적 물질(예: 토양)에 물리적인 변화를 일으켜 다른 종들이 이용할 수 있는 자원의 가용성에 직접적 혹은 간접적으로 변화 조절하는 종이다. 이들의 활동에 의해 서식지가 바뀌거나 유지되고 새로 만들어지기도 한다.

동종 엔지니어(Allogenic engineers)는 기계적 혹은 그 밖의 수단을 통해 (생물 또는 무생물) 물질의 물리적 조건을 변형시켜 환경을 바꾼다. 토양 생태계에 대한 동종 엔지니어링의 예는 지렁이가 굴을 파고 분변토를 배설하고(cast) 먹이를 먹는 활동이다. 그런 활동으로 인해 토양의 물리적 구조가 바뀌고 식물 뿌리를 포함해, 다른 토양 생명체들이 이용하는 죽은 유기물과 자원의 가용성을 변화시킨다(Lavelle et al. 1997).

자발적 엔지니어(Autogenic engineers)는 자신의 생체나 사체 바이오매스를 가지고 환경을 조절한다. 자발적 엔지니어링의 예에는 나무가 포함된다. 나무는 물의 양, 영양물질 순환, 토양 안정성, 온도, 습도, 풍속, 조도와 생명체들의 먹이와 그 밖의 자원 가용성을 조절한다.

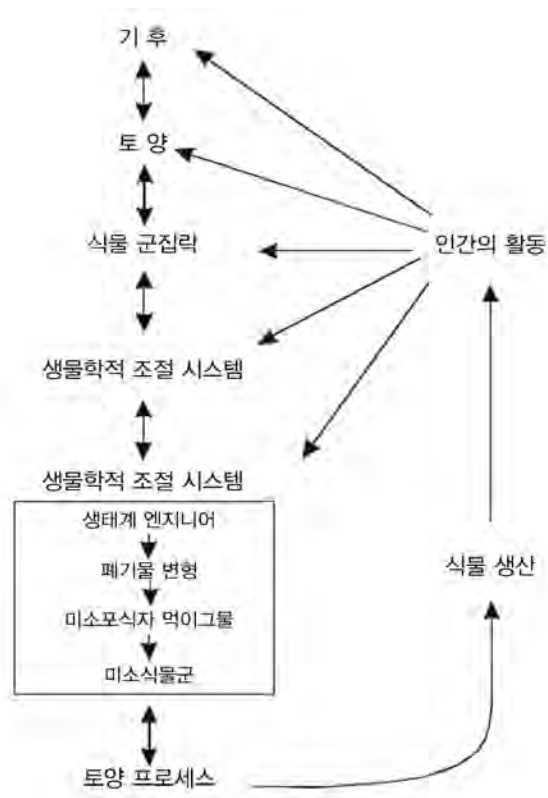


그림 9.1 토양 기능의 계층적 조직(Lavelle 1996 이후)

특정한 생명체 또는 생명체의 그룹이 계층구조의 상부에 있는 다른 생명체에게 영향을 미치게 될 때 토양 내 군집에서 상향식 통제(피드백)가 일어난다(그림 9.1 참조). 예컨대, 지렁이는 토양 안의 종자 중 상당 비율을 소비하고(분변토의 형태로) 배설함으로써 새로운 식물 개체의 전파와 식물 군락 형성에 영향을 미친다고 알려져 있다. 즉, 지렁이가 특정한 식물 종의 종자를 선택해 소비함으로써 발아를 유발할 수 있다는 것이다. 식물 종자는 종피를 싸고 있는 보호막에 따라, 그리고 지렁이의 소화 과정에 따라 다양한 방법으로, 상이한 정도로 지렁이의 장 내에서 소화되고 약화된다. 지렁이는 특정한 식물의 종자를 토양층에 분산시키거나 지표면에 떨어 뜨려 놓음으로써 지렁이의 활동으로 생기는 토양 환경의 생화학적, 생물학적 변화에 의존하는 특정 식물 종의 성장을 촉진하게 되는 것이다(Willems and Huijsmans 1994; Pearce et al. 1994; Decaëns et al. 2001; Brown et al. 2004).

토양 생물군의 기능적 분류

토양 생물학에서는 토양 생물군의 다양성과 환경 내 프로세스에서 이들이 하는 역할을 연결지어 토양 유기체생명체들을 다양한 기능적 그룹으로 분류한다. 생명체들은 중복되거나 유사한 기능을 수행하는 그룹으로 나뉘게 되는데 이것이 분류학적 그룹과 반드시 일치하는 것은 아니다. 토양 안에서 수행하는 기능, 그 기능을 수행하는 생명체, 그리고 특정 생태계에서 어떤 기능과 어떤 생물군이 더 중요한지 등을 이 분류 그룹을 통해 보다 간단하게 설명할 수 있다. 현재 나와 있는 여러 기능적 분류 가운데 가장 유용한 것은 몸의 크기, 먹이 섭취 행동(혹은 영양 단계), 생성되는 물리적 구조 및 이 세가지 중 어느 한 변수를 조합해 토양 내 생명체들을 카테고리화하는 방법일 것이다.

몸의 크기

몸의 크기가 항상 기능과 연관되는 것은 아니지만 토양 생물군의 생태학적 기능에 대한 대체 체계로 사용될 수 있다. 예를 들어, 토양을 운반하고 섭취하여 그 물리적인 구조를 크게 변화시키는 능력은 일반적으로 생명체의 몸의 크기와 관련이 있다. 균근균(mycorrhizal fungi)처럼 독보적인 예외 경우를 제외하고는 몸의 크기가 작은 유기체생명체들보다는 지렁이, 흰개미, 개미처럼 몸의 크기가 클수록 토양을 변화시키기 쉽다. 반면에 비록 몸집이 큰 생물군(litter shredder)이 물질을 전처리해서 작은 생물군의 활동을 돕는 것이 중요하긴 해도, 폐기물 분해와 토양 화학 반응은 주로 비교적 크기가 작은 생물군(진드기, 톱토기와 특히 미생물)이 한다고 할 수 있다. 따라서 몸의 직경 사이즈에 근거한 분류는 생물학적 분류와 기능 간의 상관관계를 성립한다.

대형생물군(macrobiota)과 초대형생물군(megabiota)은 보통 직경이 2.0mm 이상으로 육안

으로 볼 수 있는 생물이며 다음과 같이 두 개의 그룹으로 나뉜다. 첫째는 주로 먹이와 집을 만들기 위해 흙을 파고 들어가는 척추동물(예: 뱀, 도마뱀, 쥐, 토끼, 여우, 오소리, 두더지)로 초대형동물군(megafauna)이라고 한다. 둘째는 토양 안이나 지표면 혹은 지표 폐기물과 그 구성성분 안에서 서식하며 먹이를 구하는 무척추동물들(예: 개미, 흰개미, 노래기, 지네, 지렁이, 쥐며느리, 갑각류, 모충, 매미, 명주 잠자리, 딱정벌레 애벌레와 성충, 파리 유충, 집게벌레, 소드피쉬(swordfishes), 좀벌레, 달팽이, 거미, 추수 일꾼, 전갈, 귀뚜라미, 바퀴벌레)로 대형동물군(macrofauna)이라고 부른다. 꿀벌, 말벌 같은 커다란 곤충이 흙 속에 굴을 파는 경우가 있다. 이들은 중요한 영향을 미치는 것이 사실이지만 일반적으로 토양 생명체로 간주하지는 않는다. 마지막으로, 식물 뿌리는 땅 위와 땅 아래 사는 식물과 동물에게 광범위하고 지속적인 영향을 미친다. 따라서 이들도 토양 생물군에 포함시켜야 한다.

중형생물군(mesobiota: 직경이 보통 0.1mm~2.0mm 크기인 생명체)은 미소절지동물(microarthropods)로 의전갈(pseudoscorpions), 낫발이(protozoa), 좀붙이(diplura), 톡토기(springtails), 진드기(mites), 작은 다족류(결합류와 소각류), 애지렁이 등이 여기에 속한다. 이 그룹에 속하는 생명체는 굴을 파는 능력에 한계가 있어 일반적으로 토양 내 공극(pore)에서 살아가며 유기물, 미소생물군, 다른 무척추동물 등을 먹고 산다.

미소생물군(microbiota)은 가장 작은(직경 0.1mm 미만) 생명체들로 종류가 대단히 많고 어디서나 찾아볼 수 있다. 매우 다양한 미소식물군(조류, 박테리아, 원시세균, 남조류, 진균류, 효모, 변형균류, 방사산균)이 여기에 포함된다. 자연에 존재하는 거의 모든 물질을 분해하는 능력을 가졌으며 식물의 병원성 종과 성장을 촉진시키는 종 모두 여기에 속한다. 또한 일반적으로 토양 내 수막에 살면서 미소식물군, 식물 뿌리, 기타 미소동물군과 이따금 더 큰 생명체를 먹기도 하는 미소동물군(선충, 원생 동물, 와충류, 와보류 및 담류충)도 여기에 포함된다.

먹이 섭취 행동

먹이섭취 행동 또한 토양 생명체의 생태학적인 기능에 대해 대체 체계 역할을 할 수 있다. 토양 생명체가 특정 먹이 자원을 사용하면 먹이사슬 하단으로 연쇄 효과를 일으키게 되고 따라서 궁극적으로 토양의 기능에 영향을 미치기 때문이다. 생명체와 영양 단계 간의 상호작용은 복잡한 토양 먹이그물 안에서 흔히 볼 수 있는 것으로 어떤 생명체는 살아있는 식물과 동물을 먹고 사는데 반해, 다른 생명체는 식물 잔해, 진균류 또는 박테리아를 섭취하고 또 어떤 생명체는 숙주에 기생 또는 공생해 살면서 숙주를 죽이지는 않지만 쇠약하게 만들거나 혹은 성장을 돕는다.

생성되는 물리적 구조와 기능적 영역

또 하나의 분류체계(Lavelle 2000년)는 토양 생명체가 생성하는 생체 구조(공극, 토양 입단, 섬유질 등)에 따라 토양 생명체를 그룹화하는 것이다. 이렇게 생성된 구조들은 다양한 토양 기능과 프로세스의 핫스팟(활동이 매우 활발하게 일어나는 지점) 역할을 한다(표 9.2 참조). 기능적 영역이란 토양 기능의 일부가 되는 기본 프로세스가 특정 시공간 범위에서 일어나는 물리적 장소 또는 영향 권역을 나타낸다(Lavelle 2002). 이 장소와 구조는 보통 토양으로부터 물리적으로 분리할 수 있다. 생물학적 권역의 몇 가지 예로는 천공대(지렁이), 흰개미권(흰개미), 개미권(개미), 근권(뿌리), 유기 분해물권(식물 폐기물) 등이 있다.

토양 내 구조는 모두 기능적 영역의 일부이다. 어떤 구조가 하나 이상의 영역에 포함될 수도 있고 각 영역 간 경계선이 분명하지 않은 경우도 있으며 영역 사이에서 상호작용이 일어날 수도 있다(Brown et al. 2000). 기능적 영역은 식물 생산에 중요한 영향을 주며 그 영향은 긍정적인 수도 있고 부정적인 수도 있다.

토양 생물다양성의 경제적 이득

전통적으로 토양은 식물의 토대(하층토)로 여겨져 왔으며 이것이 토양이 인류에게 하는 가장 중요한 역할일 것이다. 하지만 토양은 수없이 많은 상호작용을 통해 유기적 폐기물의 순환, 흙의 형성, 질소 고정, 화학적 오염의 생물적 정화(bioremediation), 생물학적 방역 등 인류와 자연환경에 직, 간접적으로 유용한 여러 가지 서비스를 제어하는 곳이며 식품과 생명공학 제품의 원천이기도 하다.

전 세계의 토양 생물군이 제공하는 생태계 서비스의 가치는 연간 미화 1조 5천억 달러로 추정되며(Pimentel et al. 1997; 18장 참조) 전 세계 토양 생물군 활동이 주는 혜택에서 유기적 폐기물의 재활용이 차지하는 비율은 50%나 된다. 토양 생명체들의 분해 및 재생 활동이 없다면 세계 지표면의 대부분은 유기물 쓰레기로 뒤덮이게 될 것이다.

토양 생물다양성의 외형적 이득과 기타 환경에 미치는 혜택에 대해 흔히 시장가격을 매기지는 않는다. 그러므로 많은 토양 생명체가 식물 번식과 인류사회에 유해할 수도 있음을 인식하는 동시에, 토양 생물다양성에서 파생되는 생태계 서비스의 가치를 적절하게 산정하고 그 값을 치르는 것이 효과적인 보존을 위해 중요한 방법이 될 것이다.

토지이용 동향과 세계의 토양 생물다양성에 대한 위협

전 세계적으로 생물종과 서식지의 영구 소실을 초래하는 인간의 각종 활동 때문에 토양 생물다양성이 위협받고 있다. 현재의 생물다양성 위기(Wilson 1985)는 과거에 경험했던 것과는 달리, 인간의 사회 조직, 국가 간 무역, 천연자원 이용, 인구 증가, 환경과 자원의 가치를 제대로 인정하지 않는 정책과 경제 시스템의 광범위한 적용, 생물학적 자원을 사용하고 보존함으로써 얻을 수 있는 이익의 불공평한 소유, 관리 및 흐름 등에 기인하는 것이다(McNeely et al. 1995).

농업 집약화와 생물 다양성

개발도상국에서 작물재배에 사용되는 땅은 전체 토지 면적의 11%이며 가축 방목지가 25%, 삼림이 30%를 차지하는 등(FAO 2002) 전 세계 농업 활동의 규모가 엄청나다. 이것을 고려했을 때, 단기적(사회경제적) 시각과 장기적(생태학적) 시각이 균형을 이루지 못한 채 토지관리 방법(예: 농업생산용으로 사용하는 것)을 결정하면 재앙이 되는 결과를 낳을 수 있다. 일반적으로 농업 집약화란 개량된 기술과 투입자재 증가를 통해 상업적 가치가 높은 상품(예: 개발도상국에서의 콩 작물)에 전문화를 꾀하는 개념이다. 농업 집약화와 함께 살충제, 제초제 사용이 증가하는 것은 높은 수확량을 유지하여 단기간 내에 수익을 내기 위한 고투입 농법(HEIA, high-external input agriculture)과 관련이 있다. 하지만 이는 환경과 생태계 기능에 미치는 위협에 대해(정책적으로, 기술 수준상, 농업종사자 단계에서) 무지하거나 방관하기 때문일 수도 있다. 그래서 작부체계(cropping system)가 균일화 되고 결국 유전자, 생물종, 경관 차원의 농업 생물다양성 및 그와 연계된 생물다양성의 손실이라는 결과가 초래된다.

개발도상국의 농약 사용, 가축 수, 야생생물 수와 토지 이용 및 관리기술 상의 질적, 양적 변화에 대한 자료가 미비하기 때문에 이러한 손실을 평가하기란 극히 어렵다. 토양 생물다양성은 매우 복잡하고 대부분 눈에 보이지 않는 것이기에 그에 대한 지식이 특히 부족하다. 많은 경우, 사회경제적인 조건과 시장의 힘으로 인해 소규모 혹은 대규모 농업종사자들이 다양한 시스템을 차용하기 힘든데다가 농업생태학적 접근을 통해 생물다양성을 보존하고 토지와 수자원을 보호하며 작물재배와 방목에 의해 사용된 토양 영양물질을 보충하기 위해 유기질과 무기질 비료를 적절하고 균형 있게 사용하기가 어려운 일이기 때문에 이러한 위험성은 앞으로도 계속될 것으로 예상된다.

과거와 현재의 재앙적 사건들은 토지의 남용 또는 오용에 대한 강력한 경고이다. 고대의 모든 문명은 집약적이고 지속 가능하지 않은 농법으로 인해 토양이 황폐해져서 몰락했다(Lowdermilk 1978; Hillel 1991). 토지의 훼손을 막고 이미 손상된 토지를 복구하며 토양의 비옥도와 농업생산성을 강화하기 위해서는 토지의 이용 및 관리기법을 시급히 개선해야 한다.

농업기법과 토양 생물군

생물다양성의 소실을 막으려는 노력이 최근 들어 강화되었지만 아직 미약한 수준에 머물러 있어 인간이 유발하는 변화의 속도와 보조를 맞추지 못하고 있다. 게다가, 그러한 노력은 주로 소수의 생물종, 특히 관광 목적이나 심미적 이유를 위해 크기가 큰 식물과 동물을 보호하거나 식품, 섬유 및 기타 제품을 얻는데 사용되는 생물종을 보존하는 데만 초점이 맞춰져 있다. 크기가 작은 생명체, 특히 먹이그물의 구조와 생태계의 기본적 기능을 지배하는 토양 생물군은 대체로 경시되어 왔다. 최근 국제연합식량농업기구(FAO)와 생물다양성보존협약의 토양 생물다양성 보존 및 지속 가능한 사용을 위한 국제 이니셔티브에 참여한 단체들이 전개하는 활동의 일환으로 열린 워크숍에서 농업 생태계의 토양 생물다양성을 보존, 관리하는 전략과 방법이 협의되었다.

그래도 보전농업(conservation agriculture) 원칙과 기법(무경운 또는 저경운)이 아메리카 대륙을 비롯한 그 밖의 지역에서 점차 확대되고 있으며 유기농에 대한 소비자들의 선호도가 높아지는 등 몇 가지 긍정적인 추세가 나타나고 있다. 보전농업과 유기농 모두 토양 보호, 토양의 건강과 생물학적 활동, 운작의 중요성, 농화학제품의 위험성과 비싼 대가를 인정하는 것이다.

박스 9.2 생물다양성보존협약의 토양 생물다양성 보존 및 지속 가능한 사용을 위한 국제 이니셔티브

생물다양성보존협약(CBD) 당사국 총회는 VI/5(CBD 2002:78) 결정을 통해 "농업 생물학적 다양성에 대한 활동 프로그램 내 공동 이니셔티브로 토양 생물다양성 보존 및 지속 가능한 사용을 위한 국제 이니셔티브를 제정하기로" 결의하고 "FAO 및 다른 관련된 조직에게 이를 촉진 및 조정해달라고" 요청했다.(추가 정보와 FAO 및 참여당사국의 활동에 대해서는 www.FAO.org/ag/AGL/agll/soilbiod/를 참조할 것)

그 첫 번째 공동 연구활동의 일환으로 통합적 토양관리의 개념 및 적용에 대해 논의하고 성공적인 생물학적 토양관리 경험을 공유하며 토양 생물다양성 이니셔티브의 우선적 활동과제를 정하기 위해 FAO와 Embrapa-Soybean이 2002년 6월 브라질의 룬드리나에서 지속 가능한 농업을 위한 토양 생태계의 생물학적 관리에 대해 국제 기술 워크숍을 개최했다. 상세한 워크숍 보고서가 FAO에 의해 발행(2003년)되었으며, 그에 대한 추가 정보는 Brown 등(2002a)의 연구에서 찾아볼 수 있다

(www.FAO.org/ag/AGL/agll/soilbiod/docs.stm 참조).

이 이니셔티브를 위해 2003년 FAO에 제출되었던 활동 및 실행 골격 안이 2006년 3월, 브라질의 쿠리티바에서 열린 제8회 CBD 당사국 총회에서 협약 당사국 및 그 외 국가 정부, 국제기관, 비정부 조직에 의해 승인되었으며 관련된 이해관계자들은 이를 지지 및 집행함과 동시에 이 이니셔티브를 강화하기 위해 토양 생물다양성에 대한 추가적 사례 연구를 제공해달라는 요청을 받았다.

이 골격 안에서 결정된 세 가지 전략적 활동 분야는 다음과 같다:

- ▶ 토양 생물다양성이 제공하는 주요한 서비스와 지속 가능한 토지 관리와의 관련성에 대한 인식을 모든 생산 시스템에 걸쳐 제고
- ▶ 토양 생물다양성의 지속 가능한 사용을 위해 통합적 접근법과 협력 활동 촉진 능력 배양. 평가와 감시, 적합한 관리, 표적 연구와 개발을 포함한 농업 생태계 기능의 증진
- ▶ 토양 생물다양성과 농업 생태계의 지속적 생산성에 유익하게 공헌하는 토양 생명체의 보존, 복구 및 지속 가능한 사용을 적극 촉진하기 위해 주류화 과정과 조정 활동을 통해 파트너십과 공동체적 과정 개발

이 이니셔티브의 발전 여부는 토양의 생물학적 관리와 생태계 접근법에 대한 정책 지원과 투자동원에 달려있다. 또한 이는 토양 생물다양성의 소실과 그 유익한 기능과 특정 농업 시스템 하에서 제공되는 생태계 서비스에 대한 경제적 평가를 수반하게 될 것이다.

토양 생물다양성의 보존과 관리

토양 비옥도의 생물학적 관리 원칙

기술개발을 통해 증산을 달성하여 명명한 녹색혁명(Green Revolution)은 식물이 필요로 하는 것으로 무기질 비료와 그 밖의 토양개량제 같은 외적 자원을 투입함으로써 토양의 한계를 극복하는 것이었다(Sanchez 1994, 1997). 하지만 세계의 농부들 대부분은 HEIA의 원리와 기법을 적용하는데 필요한 외적 자원(화학 비료, 개량된 작물 품종, 1대 잡종 종자, 현금과 융자금)에 접근할 방법이 없거나 그럴 여유가 없다(Vandermeer et al. 1998).

토양의 생물학적 관리 기술을 사용할 수 있는 최적의 기회는 토양 교란 정도가 중간 정도이며 외부 자원 및 노동력이 중간 정도 이하로 개입된 시스템에서 나타날 수 있다(그림 9.2).

따라서 토양의 생물학적 관리는 중 정도의 복잡성을 보이는 농업생태계(농림업과 윤작 체계), 토지 훼손을 방지해야 하는 한계농지, 생물학적 회복(bioreclamation)을 요하는 훼손된 토지, 외적 투입자원의 가용성, 접근성, 사용이 제한된 곳 등에서 토양 비옥도를 유지하기 위해 생물학적 프로세스를 광범위하게 적용하여 큰 효과를 나타낼 수 있다(Anderson 1994; Mando et al. 1997; Sanchez 1997; Senapati et al. 1999; Swift 1999).

생물학적 토양 종합관리의 원리는 다음을 기본으로 한다 :

- ❖ 토양 생명체와 생물학적 프로세스가 토양의 비옥도를 만들고 조절하는데 중요한 역할을 한다.
- ❖ 생명체의 다양성이 토양의 기능과 프로세스를 다양하게 변화시킨다.
- ❖ 토양의 비옥도와 생산성(다시 말해서 농업 생태계의 지속가능성)을 유지하는데 토양 기능과 프로세스의 다양성이 반드시 필요하다.
- ❖ 토양 생명체는 직접, 간접적 방법을 통해 농업 생태계 내에서 조작 가능하다.

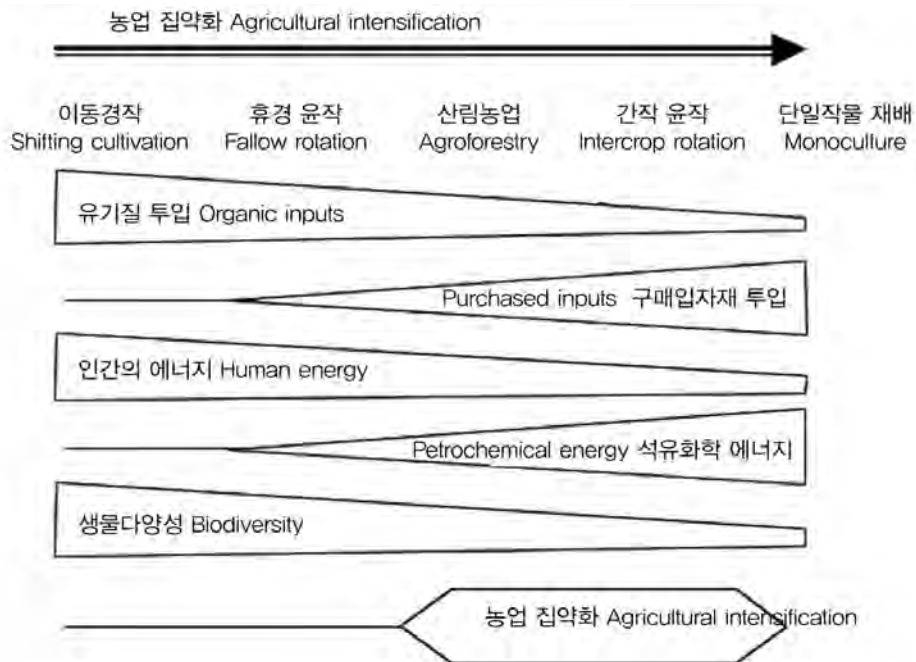


그림 9.2 농업 집약화와 농업 생태계, 생물다양성, 소비되는 인간의 에너지에 대한 다양한 투입량(유기질 투입, 구입자재 투입, 석유화학제제 투입) 사이의 관계. 생물학 토양관리(조정)의 최적 기회는 이들 다양한 요인들이 균형을 이루도록 선택되며 각각의 지점에서 얻을 수 있는 여러 가지 인간적, 사회경제적, 환경적 요인에 달려있다(M.J. Swift의 도식).

생물학적 토양관리에 필요한 직, 간접적 조정

생물학적 토양관리의 여러 가지 가능성에 대해 스유프트(Swift 1999)는 관리기술을 적용할 수 있는 가능한 개시점을 제시 하였다. 그러한 관리기법에는 다음과 같은 직접적·간접적 조정이 포함된다(박스 9.3).

- 농업 시스템의 설계 및 관리: 식물 선택과 시공간적 조직, 가축관리 기술(간접적)
- 병해, 식물 잔해(뿌리 분비물)에 대한 식물의 저항성을 를 변화시켜 토양 기능을 유전적으로 통제(간접적)
- 병해 방제와 토양 비옥도 향상을 위해 질병 길항제, 미소공생체(microsymbionts), 근권 세균 및 지렁이 접종/주입(직접적)
- 유기물의 양과 질을 변경함으로써 토양 생물군 조작(간접적)
- 해충, 질병에 대한 생물학적 방제(직접적)

박스 9.3 직접적 조정과 간접적 조정

생산 시스템을 직접 조정하는 방법은 특정 생명체 그룹의 수 또는 활동을 변경시키고자 하는 노력이다(Hendrix et al. 1990).

직접적 조정의 예는 묘의 성장을 강화하기 위해 종자나 뿌리에 흑박테리아, 마이코라이자(균근), 진균, 근권세균을 접종하는 것이나, 생물학적 방제제(해충이나 병해 방제용) 또는 유익한 동물군(예: 지렁이)을 토양이나 환경에 주입하는 것이다.

간접적 조정은 생명체보다는 생물적 활성을 조절할 수 있는 요인(서식지 구조, 미기후상, 영양물질, 에너지 자원)을 조작하여 토양의 생물학적 프로세스를 관리하는 방법이다(Hendrix et al. 1990).

간접적 조정의 예는 대부분의 농업기법(예: 토양에 유기물을 뿌리는 것, 경운, 시비, 관개, 녹비, 석회 살포)과 작부체계 설계(cropping system design) 및 관리 등이 있다. 최신 기술로는 식물잔사와 근권의 질(뿌리 분비물), 질병과 해충에 대한 저항력을 변화시켜 토양 기능을 유전적으로 통제하는 방법이 있다.

이러한 조정방법 중 특히 직접적인 조정 방법, 즉, 질소고정 식물 종과 품종의 선택, 콩과식물에 대한 뿌리흑박테리아 접종, 수목 활착(活着, tree establishment)을 위한 마이코라이자(균근) 주입, 질병과 해충 방제를 위한 생물학적 방제제 사용 등은 이미 잘 발달된 기술로 선진국과

개발도상국의 농민과 토양 관리사들이 이 기술을 사용하고 있다. 하지만 저개발국, 특히 자원이 부족한 농민은 아직 이러한 방법을 적게 사용한다. 직접적 기술 사용의 잠재력은 매우 중요한 것으로 농업 개발을 담당하는 관련 기관과 정부가 이의 이용을 촉진하여야 한다.

그렇지만 장기적으로 큰 성과는 작물의 선택과, 시공간적 배치, 병해 저항성 강화, 작물 잔사(residues)의 질 개선, 유기물, 비료 등의 외적 투입자재 등에 대한 간접적 조정을 통해 얻을 가능성이 높다(TSBF 1999). 보다 넓은 범위에서 작물, 가축, 농용림 체계를 혼합 관리하면 자원의 사용과 공간적(예: 군집과 조경의 고려), 시간적(예: 다년생 식물과 윤작) 관리 효율을 높일 수 있는 것으로 나타났다(13장과 14장 참조). 게다가 이러한 조정을 통해 토양의 생물학적 활성과 생물다양성에 매우 중요한 결과를 얻는다.

지난 15년 동안 과학자들은 유기물의 분해, 고정화(immobilization), 무기질화 과정과 성장하는 식물의 영양 요구를 최적화되도록 일치시키기 위해 유기물의 분해 조절에 연구의 초점을 맞춰왔다(Myers et al. 1994; Palm et al. 2000, 2001). 재배가 최소화되고 작물 잔사(residues)가 토양 표면에 남아있는 곳(예: 무경운, 저경운 시스템)에서는 재래식 재배가 이루어지는 토양에 비해 토양 속 먹이그물과 프로세스의 공간적 시간적 분화가 훨씬 큰 것으로 나타났다(House and Parmelee 1985; Brown et al. 2002b). 재래식 경운에서는 박테리아를 기본으로 한 먹이그물이 특히 경운층에서 더 중요한 역할을 하고 그 결과, 경운에 부수된 무기화 작용의 급증으로 인해 유기물 손실이 더 커져 영양물질 보유량이 떨어진다. 무경운 체계에서는 진균류를 기본으로 하는 먹이그물이 보다 중요하고 영양물질의 가용성과 토양 입단 안정성에 영향을 주어 질소 보유량이 증가하고 용탈(leaching)이 감소되는 경향이 나타났다(Hendrix et al. 1986).

생물학적 토양 관리의 실천

토양 생물군의 중요성 인식

토양 생물군, 생물다양성과 농업 생태계를 종합 관리하는 것은 현지에서 가용한 자원, 기후, 사회경제적 조건과, 그리고 무엇보다 현지 조건에 적합한 관리기법을 찾아 적용하는 농민과 기타 이해관계자들이 직접 참여해야 성과를 낼 수 있는 총합적인 과정이다. 문제의 진단에서부터 실험과 적용을 거쳐 기술적응에 도달하기까지 모든 이해관계자들이 참여해야 하는 전 과정을 7단계로 나누어 놓은 것이 그림 9.3이다(Chambers 1991을 수정 Swift et al. 1994; Swift 1997).

적절한 관리와 보존을 위한 첫 단계는 토양 생물군이 농업생산의 지속에 중요한 역할을 한다는 것을 인식하는 것이다(단계 1). 전통적이든 현대적이든 여러 가지 재배를 하는 농민과 농업종사자들은 농업생산에서 토양 생물군이 하는 역할과 중요성을 아직 충분히 인식하지

사라지고 있다. 집약적 시스템을 위해 생태학적 프로세스를 보다 잘 활용하고, 단일작물 재배, 심경과 과다 경운(deep and frequent plowing), 화학비료 과다 투입의 잠재적 손해와 중장기적 위험을 줄일 수 있는 대안이 제시되어야 한다.

토양 품질 지표의 식별과 사용

지역의 환경조건과 가용 생물 자원(예: 인간, 식물, 유기물, 토양 생물군) 및 무생물 자원(예: 기계, 현금 혹은 용자, 외적 투입자재, 토양내 영양함유량)을 확인하는 것이 어떤 생물학적 토양관리기법을 사용할 것인지 결정하는데 매우 중요하다. 이 진단 과정(그림 9.3의 단계 3)을 통해 다양한 수준에서의 잠재적 한계점과 기회 요인 및 필요를 이해할 수 있기 때문이다.

생태계 원리와 인위적 관리 문제에 대한 관심이 증가하는 추세를 반영하여 토양과 환경 자원 및 이들의 품질을 평가하는데 사용할 수 있는 몇 가지 최소한의 데이터세트가 제시되었다(Doran and Johns 1996). 여기에는 일반적으로 유기물 자원, 토양의 질과 기능 같은 생물지표 등 현재의 농업 시스템의 특성과 여러 농민 그룹에서 사용하는 농사법이 포함되어 있다(박스 9.4). 생물지표를 사용해서 얻을 수 있는 이점은 일반적으로 토양의 질에 대한 전통적인 화학적, 물리적 지표보다 생물지표가 더 빨리 농업 생태계의(긍정적 혹은 부정적) 변화를 탐지해낼 수 있다는 것이다.

토양의 질에 대한 물리적, 화학적 지표로 현재까지 제시된 데이터세트에는 생물학적 토양 품질 지표가 거의 없으며 독립적인 척도(예: 미생물체 총량, 잠재적 질소 무기화, 토양 호흡 및 미생물체 총량에 대한 호흡의 비율 등 Doran과 Parkin의 1994년 연구에서 제시된 내용)가 아닌 경우가 대부분이다. 중복되는 지표들을 잠재적 질소 무기화와 같은 하나 혹은 몇 개의 주요 통합 지표로 줄이면(Keeney & Nelson 1982) 문제는 단순해진다. 하지만 이 지표들은 토양의 구조나 표토의 수리적 혹은 생물학적 특성이 아닌 대부분 단순하고 기초적인 변화에 대한 것이라는 근본적인 단점을 해결하지는 못한다. 따라서 해결해야 할 문제는 토양 품질 지표의 최소 집합이 무엇인지 식별해내되 영양물질, 오염물질, 토양 구조 및 표토의 수리적 특성과 연계할 수 있어야 한다는 것이며(Brussaard et al. 2004) 동시에 다음과 같은 추가 목적을 만족시킬 수 있어야 한다.

❖ 화학적, 물리적 지표보다 더 신속하고 정확하게 토양 품질 변화를 나타내야 한다. 그림 9.4가 하나의 예이다. 여기서 미생물 바이오매스 탄소는 토양 내 총 탄소 함량보다 조기에, 더 정확하게 토양 유기물에 변화가 생겼음을 나타내주고 있다.

❖ 물리적, 화학적, 생물학적 특성상의 변화에 대해 통합적 평가를 제공해야 한다. 그 예는 환경독성학에서 많이 찾을 수 있다. 환경독성학에서는 생명체의 성장, 번식, 수명 및 이에 연계된 생물학적 프로세스에 미치는 다수의 오염 효과를 통합적으로 평가하기 위해 물 또는

토양 생명체를 사용한다. 이와 유사하게, 지렁이가 존재한다는 것은 유기물의 가용성을 의미하고 따라서 토양 내 영양물질과 보수력(water-holding capacity), 공극율, 입단형성 정도, 호기성 미생물 활동 등을 나타낼 수 있다.

박스 9.4 토양 품질 지표란 무엇이고 왜 사용하는가?

토양 품질지표란 토양 기능상의 변화를 감지하기 위해 측정하는 생물학적, 물리적, 화학적 특성이자 프로세스이다(Muckel and Mausbach 1996). 토양이 건강한지 평가하고 시스템 붕괴 시 조기 경보를 올려줌으로써 돌이킬 수 없는 손상이 생기기 전에 토지 관리자가 조치를 할 수 있게 해주는 도구이다(Pankhurst et al. 1997). 지표는 신속한 반응 장치로서 확실하되 민감해야 하고 (배경 잡음 이상의 것을 탐지할 수 있어야 함), 의미있는 동시에 예측을 할 수 있어야 하며(지표와 기능 간 높은 상관 관계), 측정과 해석이 용이해야 한다. 토양 내 생물 활성도(biological activity)와 관련된 지표의 예는 다음과 같은 것들이 있다.

- 분자적, 유전자적, 분류학적, 기능적 수준에서의 생물다양성
- 일부 박테리아와 진균류 선충, 원생동물, 지렁이, 흰개미, 개미, 일부 딱정벌레, 등각류, 노래기, 거미, 파리, 톱도기, 진드기, 뿌리, 잡초 종자수, 식물 병원체와 식근체(root feeders), 미생물 바이오매스 탄소, 질소 같은 생명체들과 이들의 특성(존재 여부, 종, 속, 군집 혹은 기능적 그룹 수준의 생물량과 밀도)
- 경토화, 입단화와, 토양입단 안정성과 침식, 투수성, 잠재적으로 무기화 가능한 탄소와 질소, 질소고정, 질화와 탈질화작용, 토양호흡, 분해율, 효소활성, 에르고스테롤 등과 같이 생물 활성에 의해 영향을 받는 토양 프로세스
- 토양품질과 건강한 농업 생태계의 궁극적인 지표인 식물생장을 도와주고 지속시킬 수 있는 토양 기능. (Pankhurst 1994)

농민 각자가 실제로 토양 품질 지표를 사용하는 것은 매우 중요하다. 따라서 셰퍼드(Shepherd 2000)가 뉴질랜드에서 개발한 방법과 같이 토양 품질에 대한 육안 평가법이 기본적인 출발점이다. 이 방법은 아주 간단하여 농부가 토양을 한 삽 떠서 그 토양의 구조와 공극율, 색깔, 반점, 지렁이 수 등을 육안으로 확인 하면 된다. 평가치를 토양 점수 카드에 기록하고 총점으로 나쁨(poor)에서부터 좋음(good)까지 사이의 종합점수를 준다. 농민의 육안 평가는 연구소에서 실시하는 화학적, 물리적, 생물학적 토양 품질 결과로 보완하고 상관 관계를 검토할 수 있을 것이다. 이 시스템을 활용할 것을 요청 받은 과학자와 농민 가운데 90% 이상은 그것이 유용하고 과학적으로도 문제가 없는 것이라고 판단했다.

육안 토양 평가 도구를 FAO가 개발하고 있으며 여기에는 토양 훼손의 예방과 개선, 농촌의

지속 가능한 관리에 대한 지침이 담겨있다(Benites 2005). 또한 FAO의 아시아 지역사회 병해 총중합관리 프로그램 당국이 종합적 토양관리에 대한 일련의 교육 내용을 담은 유용한 소책자를 발행한 바 있으며(Settle 2000), 토양 동물군 및 생물학적 품질 평가 교본도 조만간 FAO에서 나올 예정이다. 하지만 기존의 토양 품질 평가도구(예: 농부 면접, 설문조사 및 토양 건강 측정 키트)를 토양 과학자 보다는 농민과 농업지도자들이 사용할 수 있도록 열대 다습 지방과 반건조 지역의 소자작농 환경과 조건에 맞게 개선할 필요가 있다. 앞에서 기술한 간단한 방법과 측정법이 가장 유용하고 가장 널리 이용될 수 있을 것이다.

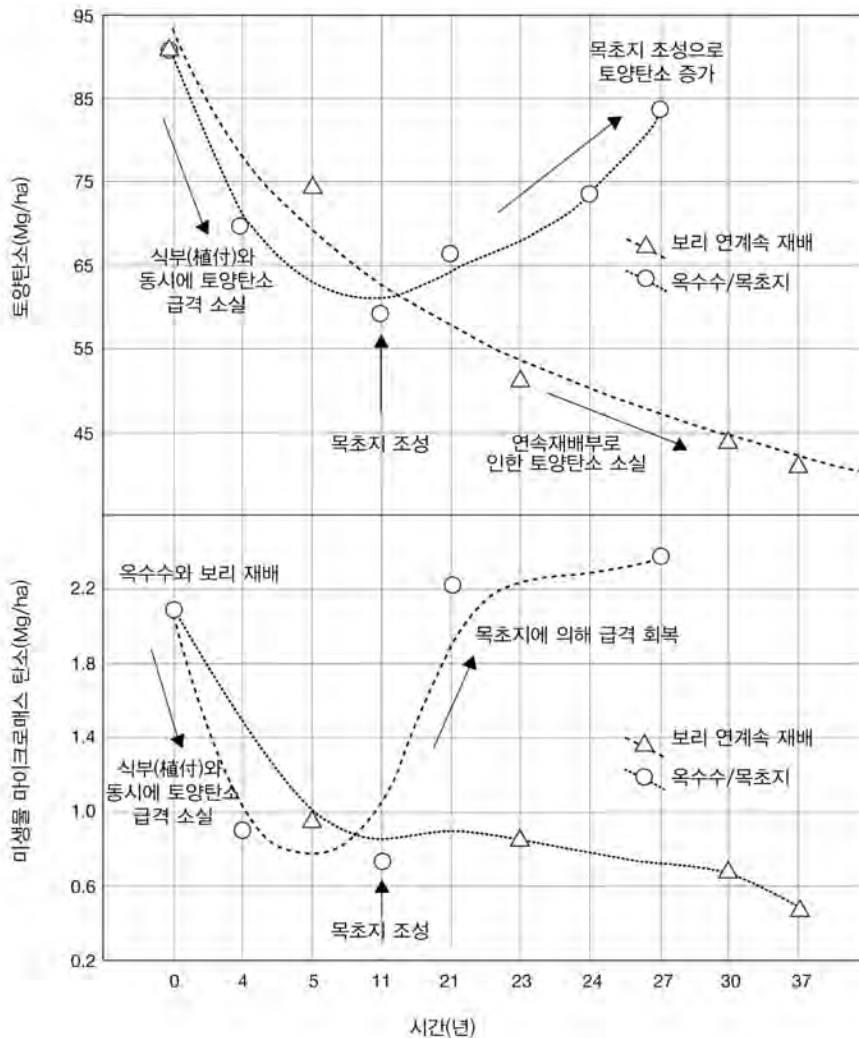


그림 9.4 옥수수 밭과 연속해서 보리만 심은 밭과 11년간의 옥수수 농사를 지었다가 방목지로 전환된 땅의 표토(0-20cm)에 들어있는 총 토양 탄소, 미생물 바이오매스 탄소가 시간이 흐름에 따라 소실되기도 하고 늘어나기도 하는 유형. 방목지로 바뀐 후(총 토양 탄소에 비해) 바이오매스 탄소가 보다 신속하게 회복됨을 주목할 것(T.G. Shepherd, 개인 자료, 2002)

한계 극복

주요한 생물적, 무생물적 제약이 무엇인지 식별해냈으면 이것들을 계층적으로 조직해야 하고 잠재적(지역의 인적, 기후, 토양, 농업 생태계 환경에 적합한) 대안을 선택해야 한다. 이 때 현지 또는 외부에서 수입된 자원과 지식과 능력을 이용하여 어떻게 각 차원에서의(사회적, 문화적, 경제적, 정치적, 농업상, 생물학적, 환경적, 토양적, 유전자적) 농업생산 한계를 극복할 수 있을지와 농법이 토양 생물군과 이들의 활동에 어떤 영향을 미칠 수 있을지 이해하는 것이 가능한 관리 옵션과 해결책을 예견하는데 매우 중요하다.

안타깝지만 다양한 농법이 토양 생물군에 미치는 효과를 토양 생명체들 전부에 대해서 알 수 없고, 동일한 생명체에 서로 다른 농법이 사용되었을 때와 서로 다른 생명체에 대해 동일 농법이 사용되었을 때의 영향과 결과가 서로 현저하게 다를 수 있다. 일부 생명체들은 어떤 토양관리 기법에 더 민감하게 반응해 부분적으로 소멸될 수 있는 반면, 다른 생명체들은 바뀐 환경에 긍정적으로 반응해 이를 잘 활용해 개체 수와 바이오매스와 활동을 증가시킬 수 있다.

주어진 토양 기능에 대해 각각의 종이 미치는 효과와 관리기법이 그 종의 집단 수와 활동에 미치는 영향을 적절하게 평가하기 위해서는 특정 종에게 상응하는 시공간적 범위 내에서 표본 측정이 이루어져야 한다. 다시 말해서 측정은 해당 종의 기능 영역 내에서 이루어져야 한다는 뜻으로 이는 방법론적으로 특히 어려운 경우가 많다.

복잡하기는 하지만 농민이 개인적으로 관리 효과를 예측하고 잠재적 해결책을 선택하는데 사용할 수 있는 몇 가지 일반적인 규칙이 있다. 그 중 일부가 다양한 관리기법에 있어서 주요 제한 사항과 이들이 토양 기능에 미치는 영향에 대한 설명과 함께 그림 9.5와 표 9.3에 제시되어 있다.

농작물 재배, 특히 경운(plowing)을 통해 흙을 반전시키는 프로세스는 토양 환경에, 다시 말해서 생명체의 수와 종류에 막대한 영향을 미친다. 일반적으로 숲이나 방목지가 경작지로 용도 변경되면 식물 잔사의 양과 질 그리고 고등 식물 종의 수가 크게 감소하고, 그로 인해 토양 생명체들의 서식지 범위와 먹이 원천이 줄어든다. 서로 다른 생명체들과 그들의 상호작용의 비율 또한 현저하게 달라진다. 일반적으로 몰드보드 플라우(moldboard plowing), 단일작물 재배, 농약 사용, 침식, 토양 오염이나 공해는 대부분의 생명체들에게 부정적인 영향을 주므로 그 영향을 관찰하면서 가능한 범위 내에서 농법을 개선하거나 피하거나 최소화해야 한다. 반대로, 유기질 폐기물의 사용, (화학)비료 사용의 자제, 윤작, 건조한 지역에서의 관개, 습한 지역에서의 배수 같은 방법은 일반적으로 토양 생명체의 밀도와 다양성과 활동에 긍정적인 영향을 준다. 대부분의 경우 이러한 기법들도 자원 사용 효율을 높이기 위해 개선될 수 있다.

그러나 생물리학적 요인들 뿐만 아니라 사회경제적인 문제도 농민들의 의사결정(그림 9.3의

단계 4)에 영향을 준다. 다양한 생물학적 토양관리 기법을 사용하는데 공통적으로 나타나는 제약으로는 금전적 비용(구매한 투입자재), 노동과 시간 비용, 자원의 가용성 그리고 그것들을 실행하기 위한 도구 등이 있다(표 9.3).

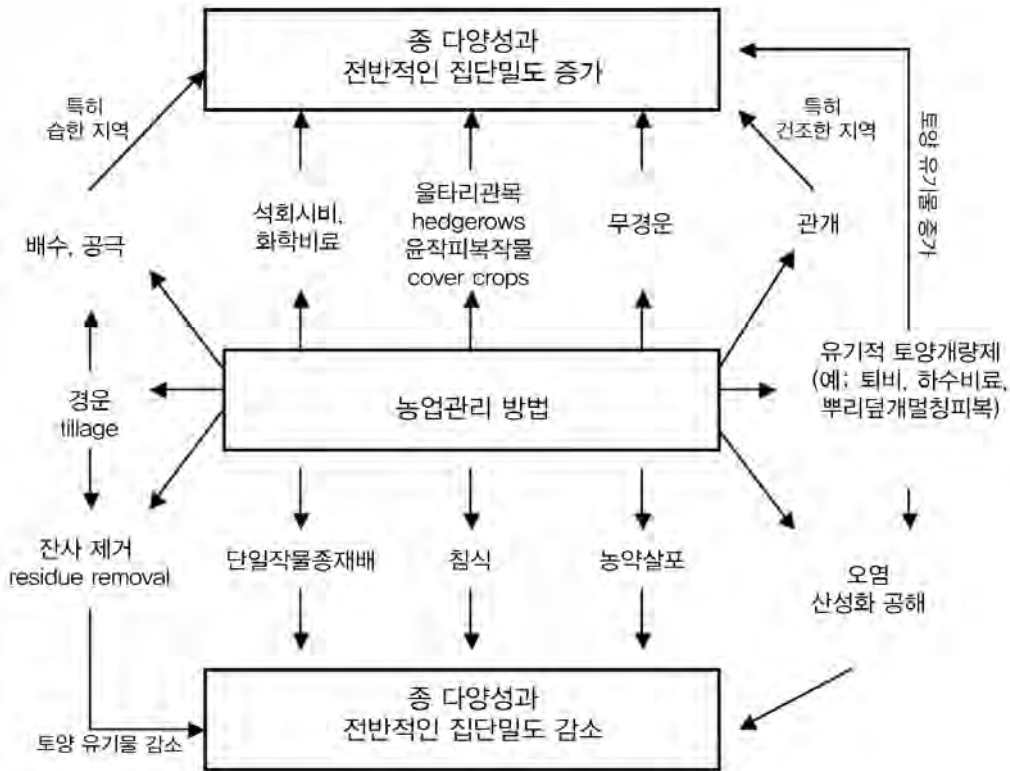


그림 9.5 서로 다른 농업관리 방법이 토양 생물군에게 미치는 영향(Hendrix et al. 1990을 변형)

표 9.3. 서로 다른 농업관리 기법의 이들이 토양 생물군과 토양 기능에 미치는 영향

관리기법	사용상 한계	생물군과 기능에 미치는 영향
경운	노동력, 도구, 기계, 비용, 토양전염병, 경사지	보다 급속한 유기물 분해, 진균류에 비해 높은 비율의 박테리아, 대형동물군과 중형동물군 수의 감소, 단기적으로 영양물질이 증가하나 장기적으로는 소실됨. 경운층에서의 뿌리성장 개선. 침식 위험성 증가
무경운	기계장비, 비용, 토양 경토화와 무거운 토성, 병해충관리	대형동물군, 중형동물군, 미소동물군의 수 증가 박테리아에 비해 진균류 비율 높아짐 지표면에 유기물 축적 영양물질 보존 유출과 침식 저하 폐기물 층에 관련된 병해충과 질병의 출현 및 발생률 증가
유기물 투입	가용성, 노동력, 가축의 존재, 비용	분해 비율과 생명체 수 변화(유기물의 유형에 따라 증가 또는 감소); 영양물질의 가용성, 저장, 교환 증가 토양의 물리적 구조와 물 관계 개선 토양산도와 시 독성 감소 미생물과 동물군 특히 유기분해물을 먹고 사는 생물의 활동 증가
시비(施肥)	가용성, 비용	보통(각각 인(P)과 질소(N)와의) 균근화와 질소고정 감소, 무기화와 고정화 간 균형 변화, 식물 생산과 유기물 투입 증가, 먹이 공급 증가를 통한 일부 생명체 수 증가
농약	비용, 환경 및 건강상의 영향	질병, 병해충, 기생충 및 병원성 생명체의 출현 감소하지만 유익한 곤충, 지렁이 같은 비표적 생물군에 대해 부정적 효과 식물 생산 증가하지만 주로 의존 관계 형성 영양물질 순환의 불안정 토양 구조의 손실 장기적으로 표적 생물군의 저항력 증가
관개 또는 담수(灌水)	비용, 경사, 노동력, 도구, 가용 물 자원	물 가용성 증가, pH 중화, 영양물질의 가용성과 순환상의 변화(주로 혐기성 분해 상승), 비공생적 질소고정 증가, 수분결핍 시 스트레스 받는 생물군의 수 증가, 민감한 생물군 수 감소, 유기물 분해 비율 저하, 토양병과 잡초의 저감
윤작	사회적 용인, 기회 비용, 농업 생태계 화합성, 기후, 토양 조건	생산성 및 병해충 질병 관리 개선 등의 윤작 효과 토양 내 영양물질 사용 효율 개선 지상과 지하 다양성 증가 대부분(특히 콩과식물에 대한) 생명체의 수, 바이오매스 및 활동 증가 토양 입단화와 투수성 개선 용적 밀도 감소 유기물 증가
선택된 토양 생물군의 접종/투입(예: 뿌리혹박테리아, 마이코라이자, 지렁이, 근권세균, 길항세균, 생물학적 방제제)	비용, 가용성, 환경 적응성, 토착 생물군과의 경쟁이나 교체, 적합한 토양 조건	질소고정, 토양 내 영양물질 가용성, 수분흡수율 증가 및 식물의 영양물질 섭취 개선 수확량 증가 중금속 내성 증가 질병, 병해충, 기생충 저항력 증가 공극율, 통기, 토양입단 안정성, 투수성 및 보수성 등의 증가/개선 분해율과 영양물질 순환 속도 개선

출처: Expanded from Swift (1997).

적응형 관리: 최선의 해결책 선택

우수한 농부들의 농법, 혁신기법, 신기술 중에서 해결책이 될 몇 가지 방법을 선정하고 나서 이들을 적응실험이라는 반복적이고, 농민이 참여하는 적용시험을 통해 검증하여야 한다(그림 9.3의 단계 5). 국제열대농업센터의 열대 토양 생물학 및 비옥도 연구소가 토양 생물학적 프로세스의 적응형 관리방법을 개발하였는데 여기서는 농민, 농업지도자, 지역사회 농업개발전문가, 과학자 간의 반복적이고, 협력적인 교류를 강조하고 있다(TSBF 2000). 이 적응형 프로세스에서는 가장 적합하고 경제적이며, 실용적인 동시에 사회적으로도 수할 수 있는 방법이 무엇인지 판별하기 위해 여러 가지 처리와 기술을 몇 번의 재배기간(cropping cycles) 동안에 동시에 시험하고 반복해 검증한다.

FAO는 동아프리카와 아시아 지역 파트너들과 함께 농업인 현장학습 방법을 이용해 토양과 물 자원관리에 대한 농민들의 경험적 그룹 학습을 장려하고 있다. 이 방법론에는 농민 주도형 역동적 프로세스를 위한 훈련과정과 현장에서 적용·체험할 수 있는 도구 개발이 포함되어 있다. 한편, FAO는 보전농업에 대한 실용 교육자료로 토지와 수자원 디지털 미디어 시리즈(Land and Water Digital Media Series)를 제작, 발행하기도 했다(www.FAO.org/landandwater/lwdms.stm CD No. 27와 22를 참조할 것).

의사결정 시 다양한 차원에서 바람직한 혹은 적합한 실행기술을 최종적으로 선정하는 사람은 농민과 이해관계자들이다(그림 9.3의 단계 6). 어떤 방법을 이용할 것인지에 대한 최종 결정은 실제로 이해관계자가 소자작농인지 아니면 대단위 농업에 종사하는 농민인지에 따라 다를 것이고 자원이 부족한 농민의 결정과 자원이 풍부한 농민의 결정이 서로 다를 것이다.

생물학적 토양 종합관리의 실행

생물학적 토양 종합관리의 적용(그림 9.3의 단계 7)은 진단, 대안 분석, 우선순위 결정, 선택, 검증, 적응화, 토론, 동의 및 최선의 생물학적 토양관리 방법 선택 등을 거치게 되는 장기적이고, 참여적인 학습과정이다. 이 과정의 최종 단계는 최선의 대안을 농민이 현장에서 평가하여 그 기법을 보다 광범위하게, 장기적으로 실행할 것인지 아니면 전통적으로 사용해왔던 관리전략으로 돌아갈 것인지 결정하는 것이다. 여기서는 이전 단계에서 열심히 노력한 모든 것이 허사가 되기도 하므로 대단히 중요한 단계라고 할 수 있다. 선정한 작물 종 혹은 품종의 종자 제공, 적절한 가격과 분량의 비료 공급, 적용하는 도구 제조를 위한 기술자 훈련, 그리고 유기물과 비료 사용에 필요한 농민 훈련 등의 지원 서비스가 필요할 수도 있다.

생물학적 토양 비옥도 관리의 사례

유기물 관리의 중요성

지금까지 알려진 여러 가지 성공적인 방법 가운데 토양 생물군의 보존과 장기적인 생산성 유지를 위해 가장 흥미로운 것은 토양 내에 활성화된 유기물 풀(pool)을 자극하거나 유지하는 것에 관한 것이었다. 작부체계 전체에 대한 조정, 적절한 작물의 조합, 시간과 공간상의 적절한 패턴, 적절한 토양관리 기법을 통해 유기물의 양과 질을 증가시킬 수 있으며 이를 통해 토양 전체 생명체와 물리·화학적 기능에 연쇄 효과를 촉발할 수 있다. 훼손된 생태계가 회복되고 있을 때 이러한 현상을 흔히 관찰할 수 있다. 식물이 활착하고 나면 뿌리가 토양 속으로 침투하기 시작하고 지표면에 폐기물 보호층이 형성되며 탄소 가용성이 증가함으로써 얻어지는 상승효과, 토양환경의 미기후(microclimatic) 변화, 생물학적 활동으로 생태계 회복 속도가 빨라진다. 건조한 환경에서는 토양 수분이 이러한 복구 프로세스와 토양 유기물 형성에 중대한 역할을 한다. 토양 보수력(soil moisture retention)은 복작물 또는 멀칭, 그리고 식물뿌리 바이오매스와 토양 유기물을 유지시키는 무경운 또는 저경운을 통해 향상할 수 있다.

간접적인 생물학적 토양관리

생물학적 토양 복원 프로세스의 적용과 생태계 접근의 좋은 사례는 멕시코 툴락스칼라 주의 그루포 빈센테 구에레로(Grupo Vicente Guerrero, GVG) 농민들이다(Ramos 1998). 툴락스칼라 주의 토양은 수천 년 동안 전통적인 기법으로 경작되어 왔다(Gliessman 1990). 그런데 이 지방에 부실하고 쉽게 침식되는 토양이 증가하면서 경관을 심하게 해쳤고 주 전체에 토양 침식과 유실, 매물(siltation), 집수(water catchment)문제를 야기했다. 이 문제를 해결하기 위해 빈센테 구에레로라는 작은 마을의 소자작농들은 20년이 넘는 세월 동안 실험을 통해 경험을 축적하고 이를 공유, 활성화하기 위한 활동을 (퀘이커 봉사단과 함께) 전개해 그들과 이웃의 삶의 질을 높이고자 노력하고 있다.

GVG가 성공을 거둔 것은 지역의 자연자원을 점진적·통합적으로 사용한 것에서 확실하게 알 수 있듯이 이들이 진정한 환경 존중정신을 가지고 있었고 자신들이 알게 된 것을 다른 농민들과 공유하는 것이 당연한 도덕적 의무라고 생각하는 확고한 믿음을 바탕으로 했기 때문이었다. 그런 동기를 가지고 있었기 때문에 이 그룹은 농촌개발 전문가들과 기술 전문가들이 전수해 준 지식을 이웃의 다른 농민들에게 전하기 위해 농민 간의 일대일 접촉 모델을 끈기 있게 시행했고 그 결과, 성공적인 개선을 이룰 수 있었던 것이다. GVG의 멤버들은 지난 20년간 멕시코를 비롯한 라틴아메리카의 소자작농 2천명 이상을 교육시켰다. 이 그룹이 채택한 성공적인 관리기법 몇 가지가 박스 9.5에 정리되어 있다. 오래 지속될 수 있는 결과를 얻기

위해서는 농업 시스템 개발에 있어서 통합적, (단순히 하향식이 아닌) 다변적 접근이 중요하다는 점을 이 성공적인 사례는 강조하고 있다.

박스 9.5 멕시코 툴락스칼라 주, GVG가 채택한 적응형 관리와 보존 방법

GVG는 성취한 주요한 성과로 다음의 내용을 꼽는다.

- ▶ 처음에 유기질 비료를 거부하던 많은 농민들이 화학 비료 사용을 현저하게 감소시켰고, 일부 농민은 완전히 시여를 하지 않았음.
- ▶ 지역 농민들이 토양 및 수질 보존 대책과 토양 비옥도 복구 노력을 채택하는 일이 늘어남.
- ▶ 토양에 작물의 그루터기와 작물 잔주를 넣는 일이 확대됨.
- ▶ 농업생산성 향상. 그룹에 속한 농민 한 명은 건조지역 옥수수(dryland maize) 수확량 5.5-Mg/ha(툴락스칼라 주 평균 수확량보다 훨씬 높음)으로 농가 생산증진 대회에서 일등상을 받았음.
- ▶ 이들의 노력에 대해 툴락스칼라 주 정부로부터 공식적인 인정을 받음.
- ▶ 공동체적 경험과 그 동안 쌓은 명성 덕분에 외부 자금조달을 준비해 유지할 수 있는 집단적 능력이 향상되었음.

GVG가 채택한 관리와 보존 기법으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- ▶ 토양 생물다양성과 생물학적 기능을 강화시키는 기술을 사용한 곡물 생산
- ▶ 윤작, 콩과 피복작물, 토종 종자개량, 다양한 작물조합을 통한 농업 생태계 회복력 제고와 수확량 증대
- ▶ 토양 구조와 토양 생물군의 교란을 줄이기 위한 저충격 경운 기법
- ▶ 그루터기, 추수 후 남은 작물 잔주, 가축 두엄 및 녹비를 이용한 유기 비료 생산
- ▶ 토양의 구조와 수분함량을 유지하기 위한 토양 피복 보존
(soil cover conservation)
- ▶ 동식물 다양성이 토양의 생물 활성화에 연관되도록 토지관리
- ▶ 다양한 작물과 다양한 토지 이용의 혼합
- ▶ 식물, 동물 및, 사람이 사용하도록 빗물의 저장과 보존
- ▶ 정원에서 동물(토종 닭, 칠면조, 토끼)을 기르고, 그의 배설물은 정원에 사용
- ▶ 토종작물, 약용식물, 수목 종 등을 심어 농업 생물다양성 복원.

GVG가 사용한 참여의 방법과 도구로는 다음과 같은 것들이 있다.

- ➔ 농민이 일하는 현장 방문
- ➔ 작물과 토양 관리 기술의 현장 시연
- ➔ 농민의 밭에서 실험 실시
- ➔ 신속한 농민참여 진단
- ➔ 워크숍, 대화, 교육, 교육적 게임, 지역사회 내 극장 공연

* GVG 및 본 사례연구에 관한 추가정보는 Ramos 1998과 www.FAO.org/ag/AGL/agll/soilbiol/cases/caseD1.pdf에서 확인할 수 있다.

브라질의 파라나 주에서도 지난 20년 간 이와 유사하게 협력을 통한 기술의 개발, 적용 및 확대 보급을 하였으며 그 결과 보전 농법, 특히 무경운 농법이 널리 채택되었다. 1970년대와 1980년에 걸쳐 커피 재배를 포기하고 전통적인 방식의 일년생 작물(특히, 콩과 밀) 재배를 시작한 후, 멕시코 GVG와 비슷한 문제들이 파라나 주에서도 발생했다. 큰 도랑이 사방에 생겨났고 강의 매몰, 홍수, 수질 문제, 심한 작물 손상 등이 생겨 농민부들은 전통적인 정지 방법인 원판쟁기와 몰드보드 플라우 사용에 대한 대안을 찾을 수밖에 없었다. 농부들의 실험, 적용 및 요구에 힘입어 정부 보조금을 받아 산업 분야와 농촌 협동조합 간 협력 체제가 만들어 졌으며 축력이나 트랙터를 이용해 수동 조작할 수 있는 무경운 파종기가 개발되었다. 동시에 윤작, 잡초 관리 및 토양 보호를 위한 피복작물, 토양 치밀경토화를 최소화하기 위한 통행량 축소 등을 기본으로 한 관리기법도 개발되었다. 그 결과, 현재 브라질에서는 거의 2천만 헥타르의 농지에서 무경운농법이 사용되고 있으며 그 중에서 550만 헥타르가 파라나 주의 농지(주 전체 면적의 25%에 해당)이다. 이 기술은 생물학적 관점에서 특히 흥미롭다. 왜냐하면 토양 교란을 피하고 유기물을 (대부분 지표면에 Sá 1993) 형성해 토양의 생물 활성을 회복시키고 토양 비옥도 증진에 대한 역할을 강화하기 때문이다(House and Parmelee 1985; Hendrix et al. 1990; Brown et al. 2002b).

보완적인 직접적 생물학적 관리 기술

농업 생태계의 보다 상위단계에서 조절을 하면 성공 가능성도 높아지고 아랫 단계로의 연쇄 효과(폭포효과)를 통해 토양 먹이사슬 아래로 영향을 미칠 확률도 커진다. 하지만 직접 토양 생물군을 조절하는 기술 또한 유용하여 유기물과 농업 생태계 관리를 통해 간접적인 조절을 보완할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 일반적으로 이런 기술은 적용 상 제약이 크기 때문에 농업 생태계 특성을 참작

하여 특정 조건 하에서만 적용하여 한다. 아래에서는 미생물, 대형동물균을 사용한 토양의 생물학적 관리 기술의 예와 그 사용 전망과 효과 그리고 이를 널리 이용하기 위해 극복하여야 할 문제점을 소개하겠다.

유익한 토양 미생물

유익한 미생물이란 식물 뿌리와 공생 관계를 맺고 영양물질의 무기화와 가용성을 증진시키고, 식물성장 호르몬을 만드는 것들로 식물의 병해충, 기생충, 또는 질병에 대한 길항체(antagonists)이다. 이 생명체들 중 다수는 토양 속에 자연적으로 존재하지만 어떤 경우, 접종/주입을 통해 혹은 그 수와 활동을 강화시키는 여러 농업 관리 기술을 사용해 그 수를 증가시켜주는 것이 유리할 수도 있다.

농업생산에서 질소고정 뿌리혹박테리아 과(科)의 역할은 직접적 생물학적 관리 기술 중에서 가장 성공적이고도 잘 알려진 형태이다(박스 9.6). 뿌리혹박테리아는 식물 뿌리에 퍼져서 질소고정이 일어나는 뿌리혹을 형성함으로써 식물이 성장하는데 필요한 질소의 대부분을 제공한다. 뿌리혹이 잘 발달되어 공생이 효과적으로 이루어지면 연간 1헥타르 당 수백 킬로그램까지의 질소를 고정시킬 수 있다. 이 질소 중 일부가 식물성장 도중에 누수 뿌리(leaky roots)에 의해 토양으로 유출될 수도 있지만 대부분은 열매(콩과식물 열매)로 보내지거나 식물 조직에 남아 잔여물 분해 시 방출되어 다음 번 작물 또는 간작작물(intercrop)이 유용하게 사용한다. 그에 앞서 마이코라이자(균근)가 먼저 콩과식물 뿌리에 균체를 형성하고 있으면 뿌리혹박테리아가 뿌리혹을 훨씬 더 잘 형성할 수 있으며 궁극적으로 잠재적 성장 혜택을 증가시킨다. 박테리아 접종을 통한 수확량 증가의 사례는 많이 알려져 있으며 그 중에서 질러(Giller 2001)와 몬타녜스(Montañez 2002)는 주요한 제한점 몇 가지를 다루고 있다. 그러나 뿌리혹박테리아 접종 또는 관리를 통해 얻을 수 있는 이득이 분명함에도 불구하고 질소비료 사용 권장, 콩과식물 재배에 대한 시장에서의 인센티브 부족, 질소고정 또는 박테리아 접종원(inoculants) 채택의 중요성에 대한 농민들의 이해 부족, 환경적 제약(예: 토양 내 낮은 인 함량, 가뭄), 박테리아 접종원의 저급한 품질과 구매가 용이하지 않은 현실, 숙주 식물과 박테리아 간 유전자적 화합성 부족, 적절한 정치적, 경제적 인센티브와 기반의 부족 등으로 인해 콩과식물의 생산 향상이 이 기술이 광범위하게 사용되지 않고 있다.(Giller et al. 1994; Hungria et al. 1999)

마이코라이자(균근)는 토양 진균류와 식물 뿌리가 매우 긴밀하게 상호공생적으로 결합(mutualistic associations)한 것이다. 식물은 마이코라이자에게 탄소를 주고 반대급부로 토양 내 천연 자원을 이용할 수 있는 능력을 보강 받는다. 전 세계 식물의 90% 이상이 균근식물이며 정도의 차이는 있지만 이 결합 관계에 의존해 거기서 파생되는 혜택을 누린다.

박스 9.6 박테리아 접종: 기회와 한계

생물학적 질소고정(BNF, Biological nitrogen fixation)은 농업 지속가능성에 매우 중요하다. 하지만 토양 속에 효과적이고 경쟁력 있는 질소고정 미생물이 부족해서 제한을 받는 일이 자주 있다. 농작물 생산을 위해서는 그러한 미생물이 중요하기 때문에 그들의 가용성, 품질 및 유통을 개선할 필요가 확실히 있다. 지난 수십 년간 BNF에 대해 활발한 연구가 이루어져 그 프로세스에 대한 지식은 크게 향상되었다. 그러나 BNF 기술의 적용이나 농업 시스템에의 영향은 아직 기대에 못 미치고 있다. 주요한 식용 콩과식물의 생산에 있어서 박테리아 접종원이 그리 큰 역할을 하지 못하고 있으며 세계에서 생산되는 다양한 박테리아 접종원의 품질은 여전히 보잘것없는 수준이다(FAO 1991년). 농민들이 BNF의 혜택을 직접 경험하고 혁신을 가져야 자연스럽게 기술을 채용하게 될 것이므로 과학자, 민간 부문, 정책입안자 간의 협력이 있어야 그 한계를 극복할 수 있다.

다음과 같은 방법을 통해 다양한 농업 생태계 및 사회경제적 환경 속에서 BNF를 제고할 수 있다.

- 시스템 내 효과적인 공생 또는 연계합 생명체 수를 변경(박테리아 접종)
- 박테리아 접종 방법과 기술 제고
- 최적의 작물과 미생물 품종(microbial strain) 평가 및 선정
- 작부체계(예: 윤작, 녹비 시비, 무경운 농법, 콩과식물의 전략적 사용 Montañez 2002) 내에서 질소고정과 순수질소 투입물의 재활용(recycling of net N inputs)이 가능하도록 하는 관리방법

* 이 주제에 대한 추가 정보가 필요하면 Giller(2001)와 www.FAO.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseB1.pdf를 참고하십시오.

여러 가지 종류가 있지만 그래도 가장 잘 알려져 있고 가장 흔한 균근공생체로는 내생균근(나뭇가지형 균근, 다수의 작물 종)과 외생균근(ectomycorrhizae, 주로 수목, 관목 같은 목본 종만 해당)이 있다(Allen et al. 1995). 식물생산에 있어서 마이코라이자가 하는 긍정적인 역할에 대해서는 많은 문헌에서 다루고 있으며 특히 매우 의존적이고, 감염이 쉬운 식물에서 성장과 수확이 증진되는 사례가 많이 알려져 있다. 이러한 식물의 반응은 여러 가지 요인에서 비롯되는 것일 수 있다. 하지만 대부분의 경우, 마이코라이자 균사망(mycorrhizal hyphal network)이 식물뿌리 체계의 연장처럼 기능하기 때문에, 물과 영양물질을 흡수하는 뿌리 부위가 연장되기 때문이다. 마이코라이자 결합으로 얻어지는 또 다른 이득으로는 병원체에 대한 보호 강화, 오염물질에 대한 내성 향상, 토양 내

수분 악조건(물 부족 스트레스), 높은 토양 온도, 불리한 토양 pH, 이식 충격 등에 대한 저항력 강화가 있다.

그렇지만 내생균근을 재배하여 접종원을 적정한 가격에 충분히 공급하는 것이 어렵기 때문에 농업 생태계에서 마이코라이자 접종원을 널리 사용하는 데에는 한계가 있다. 게다가, 토양 비옥도(특히 인산 함량)가 증가하거나 고인산 함유 비료가 시어되면 공생 관계의 효율이 감소한다. 현재 마이코라이자가 가장 유용하게 사용되는 것은 토지 개간과 복구의 경우 그리고 종묘장에서 나무와 작물 묘목에 내생균근과 외생균근을 접종하는 경우인 것 같다. 그럼에도 불구하고, 농지 토양에 자연발생적 마이코라이자 개체 수를 늘리는 것은(그래서 작물 성장에 대한 잠재적 혜택을 늘리는 것은) 가능한 일이며 저경운, 윤작, 화학비료(특히 질소와 인산 비료) 시어 감소 그리고 주 작물 파종 전에 적절한 숙주를 선택하여 토양의 감염성을 증가시키는 방법 같은 관리방법을 적용함으로써 그 이득을 얻을 수 있다(Abbott and Robson 1994). 그러므로 외적 투입이 감소되는 농업 생태계와 유기농에서 특히 마이코라이자 공생을 늘려줌으로써 그 혜택을 누릴 수 있는 것으로 보인다.

토양 내 유익한 대형동물군

직접적인 생물학적 관리기법에는 토양 생태계 엔지니어를 투입하거나 그 활동을 강화시키는 것도 포함될 수 있다. 이 기술의 성공사례는 인도의 타밀나두 주의 차밭에서 지렁이와 유기 비료를 사용한 것이다(Giri 1995; Lavelle et al. 1998; Senapati et al. 1999, 2002).

차는 인도에서 (100년 이상 된 농장이 많이 있을 정도로) 오랜 역사를 가진 가치가 큰 재배작물이다. 최근 들어, 비료와 농약과 같은 외적 투입자재를 늘렸음에도 불구하고 녹차 생산량이 제자리에 머물고 있었다. 차밭의 토양이 워낙 오랜 기간 동안 경작에 이용되었기 때문에 여러 가지 물리적·화학적·생물학적 조건들이 변하고 유기물의 양, 양이온 치환용량, 보수력이 감소하고 토양 내 대형동물군의 개체 수가 70%까지 줄어들고 pH 농도가 저하된 동시에 유독성 알루미늄이 농축되었던 것이다.

이와 같이 한계에 이른 차 생산에 대응하기 위해 패리 애그로 인터스트리 주식회사는 프랑스의 개발조사연구소(IRD) 및 인도 오리사 주에 있는 삼발푸르 대학교와 공동으로 수목 재배 지용 생물유기적 비옥화 제재(Fertilisation Bio-Organique dans les Plantations Arborées, FBO)라는 이름의 특허기술을 개발했다. 이 기술은 차나무 사이에 도랑을 파고 저품질과 고품질의 유기물 혼합물(가지 치기한 차의 가지와 두엄)을 지렁이와 함께 투입함으로써 토양의 물리적, 화학적, 생물학적 조건을 개선하는 것이다. 1994년 이후 두 곳에서 실시된 측정 결과로 볼 때 100% 유기질 비료만 사용하거나 100% 무기질 비료만 사용하는 것보다 훨씬 효과적임을

알 수 있다. 이 기술을 적용한 첫 해에 평균 수확량이 276% 증가했고 수익도 그만큼 높아졌다 (전통적인 기술을 사용했을 때 1헥타르 당 미화 2천 달러였던 것이 FBO 기술 사용 후 1헥타르 당 미화 7,600달러로 상승). 이 기술은 다른 나라에까지 확대 적용되었으며 그 원리는 여타의 다년생 재배 작물에도 이용할 수 있다. 이 기술에 대한 자세한 내용은 특허 기술 문서(pct/fr 97/01363) 에 나와 있으며 www.FAO.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA1.pdf를 참고하면 된다.

사헬(아프리카 사하라사막 남쪽 끝 지역)에서는 딱딱한 토양(*crusted soil*)에 유기물을 투입 함으로써 앞의 사례와 유사하게 그러나 간접적인 방법으로 생태계 엔지니어 집단을 조작하여 흰개미 활동을 증가시킨 결과 토양구조가 복원되고 식물생산이 향상되었다(Mando et al. 1997; www.FAO.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases/caseA2.pdf 참조). 최근 수십 년간 사헬에서는 불모의 딱딱한 토양이 증가하여 경관을 해치고 농작물 생산을 감소시켜왔다. 그런데 부르키나 파소 북부지방에서 이 토양 위를 멸칭하자 인근 지역에서 이동해 온 흰개미들이 유기질 물질 (*organic substrate*)과 표토에 침입해 토양의 물리적 구조를 상당히 바꾸어놓았다. 토양의 표면에 갱도가 만들어지고 토양표면 밀봉현상(*sealing*)이 감소했다. 표토 단면 전체에는 불규칙한 모양과 크기의 큰 공극이 만들어져 토양 치밀화가 완화되고 물의 침투와 배수가 가능해져 다시 작물을 심을 수 있게 되었다. 게다가, 흰개미들이 멸칭재료의 분해와 무기화를 증가시켜 식물이 섭취할 수 있는 영양물질을 만들어냈다. 멸칭을 한 토양 중 인위적으로 흰개미를 제거한 곳에서의 동부(*cowpea*) 수확량은 흰개미가 살면서 활발한 활동을 하는 곳의 수확량의 1%에도 미치지 못했다. 이 사례를 통해 농업 생태계에서 흰개미는 결코 해충이 아니며 식물의 생산과 생태계 기능에 엄청나게 중요하다는 것과 경우에 따라서는 인간에게 이득이 되도록 그들의 행동을 관리할 수 있다는 사실을 알 수 있다.

아프리카의 많은 지역에서는 해충(특히 흰개미)과 벌레 발생에 대한 두려움으로 농부들이 밭에서 유기물을 전부 제거해버린다. 실제로 흰개미는 본래 건조한 곳을 좋아하지만 먹이가 없으면 작물을 먹이로 삼는 습성이 있다. 예컨대, 연구용 시험포장 등을 이용해 멸칭을 하면 생물학적 활성과 물 침투를 높일 수 있고 수분 증발을 줄여 식물에게 필수적인 영양물질과 수분을 공급할 수 있다는 사실을 농민들에게 설득시킴으로써 행동의 변화를 가져올 수 있을 것이다.

토양 생물다양성 사고

앞에서 언급한 사례들은 모두 생물학적 수단을 통해 농업관리 기법을 개선하려는 목적에서 사람이 계획하여 적용한 조정이었다. 그렇지만 사고가 일어나는 바람에 뜻하지 않게 생물학적 관리 원칙

을 시험해 볼 수 있는 기회도 가끔 생긴다(Lavelle 2000). 이러한 사고는 주로 인간의 개입으로 발생하는 일이 많은데 일단 사고가 나면 특정 지점에서 주요한 기능을 하던 토양 생물군 그룹이 소실됨으로써 생태계 기능에 결정적인(일반적으로 부정적인) 영향을 끼칠 수 있다. 그런 사례 중 하나가 아마존 분지의 카올리나이트질(고령토) 토양의 토양구조 파괴와 목초지 훼손이다(Chauvel et al. 1997; Barros et al. 2004).

브라질의 아마존에서는 삼림 개간지의 95%가 방목지로 개조되는데 그 가운데 약 50%는 관리 소홀과 식물검역(phytosanitary) 문제, 척박한 토양 비옥도, (동물군의 활동으로 인한) 토양구조 변화 때문에 훼손된다고 볼 수 있다. 아마존 지역에 주로 분포하는 카올리나이트질 토양은 옥시수산화 메탈의 함량이 낮기 때문에 유리한 그러나 허약한 미세응집 구조를 갖고 있다. 숲이 방목지로 변경되면 땅이 기계와 가축들에게 짓밟혀 특히 5~10센티미터 토양층이 심하게 경토화된(Chauvel et al. 1997).

그러나 이보다 더 중요한 사실은 숲이 있던 땅에서 토착하던 대형동물군에 극단적인 변화가 생겨 토착 생명체(native taxa) 대부분이 사라져버린다는 것이다. 그리고는 이 기회를 틈타 침입해 들어온 지렁이 종, *Pontoscolex corethrurus*가 생태계의 빈 곳을 차지해버려 바이오매스가 450kg/ha(토양 내 총 동물군 바이오매스의 거의 90%에 달함) 이상이 된다. 이 지렁이 종은 매년 100Mg/ha 이상의 분변토(casting)를 배출해 토양의 큰 공극율을 막대하게 감소시키는데 이는 중장비 기계가 토양 위를 밀고 지나가는 수준에 맞먹는다(2.7cm³/100g). 우기 동안 지렁이 분변토는 토양을 가득 채우며 혐기성 환경으로 가득한 두껍고 끈적끈적한 층을 만들어(동시에 메탄 방출과 탈질소반응을 증가시키며) 지표면을 막히게 한다. 건기에는 건조작용으로 지표면을 갈라지게 만들어 뿌리성장을 방해하고 식물뿌리가 토양으로부터 수분을 흡수하지 못하게 만든다. 그래서 식물들이 시들어 죽게 되고 목초지에 텅 빈 나무껍데기만 남게 된다(Chauvel et al. 1997).

브라질의 마나우스 부근에서 실시된 실험을 통해 토양 구조 파괴와 복원에 있어서의 *Pontoscolex corethrurus*와 기타 다양한 토양 생명체 집단(예: 다른 지렁이 종, 흰개미, 노래기, 등각류, 개미)의 역할을 알 수 있다(Barros et al. 2004). 가로, 세로 각각 25센티미터 되는 판 모양의 흙덩어리(monolith)를 방목지에서 떼어내 숲에 가져다 놓고 숲에서도 똑같은 류의 흙덩어리를 떼어내 방목지에 갖다 놓았다. 1년이 지난 뒤 변화를 관찰해보니 경토화된 방목지 토양 구조는 숲에서 가져다 놓은 흙 속에 서식하는 다양한 무척추동물 군집의 작용으로 전형적인 숲의 토양과 같은 수준으로 완전히 회복되어 있었다. 반면에 숲 토양의 단면입자(macroaggregate) 구조는 *Pontoscolex corethrurus*에 의해 완전히 파괴되어 치밀화되고 공극율이 훼손된 방목지 수준에 도달해 있었다.

이 연구는 토양(특히 이러한 카올리나이트질 토양의) 구조를 유지하는데 여러가지 대형

무척추동물군이 대단히 중요한 역할을 수행한다는 사실 뿐만 아니라 환경(삼림개간 후 문제가 있는 토양 위에 형성된 광대한 방목지)에 제대로 적응되지 않은 관리방법의 문제점, 그리고 외래 침입 종이 생태계적 자산과 프로세스에서 하는 역할까지 확실하게 보여준다. 이러한 연구 결과를 농민과 농업 지도자들이 활용할 수 있게 만들어야 한다. 농민들과 과학자들 간의 경험의 공유를 통해 혁신과 적응형 관리를 촉진할 수 있으며 과학자들과 정책입안자들이 알아야 할 제한점에 대한 피드백을 제공할 수 있기 때문이다.

결론

지금까지 토양 생물군이 지구상의 생물학적 다양성에 실질적 몫을 담당하고 있다는 것을 볼 수 있었다. 이들은 또한 농산물에서부터 기후 조절, 지하수품질에 이르기까지 재화와 용역의 생산에 있어서 막은 역할을 통해 인류의 복지에 상당한 공헌을 한다. 하지만 이 생명체 군은 대중에게 대부분 알려져 있지 않고 생물다양성에 대한 과학적 평가에서 크게 무시되고 있으며 농업 시스템 개발에서도 홀대 받고 있다. 토양 생명체는 지상의 유기체생명체, 그 중에서도 특히 식물과 밀접하고도 복잡한 관계를 맺고 있기 때문에 현재와 같은 소홀하게 취급하는 상황은 지극히 걱정스러운 것이다. 이 생명체들에 대한 지식 기반의 관리 능력이 아직 부족하긴 하지만 원칙과 방법의 개발에 있어서 상당한 발전이 있었다. 이러한 접근법을 발전시키고 활용하는 것이 앞으로 21세기에 이룩해야 할 가장 중요한 과업 중 하나라고 해도 과언이 아니다.

지속 가능하면서 보다 생산적인 농업 시스템을 구현하고자 한다면 토양관리 상의 변화가 토양 생태계의 단기적, 장기적 기능에 미치는 영향이 명확하게 설명되어야 한다. 그러기 위해서는 토지 이용과 토양 생물다양성의 상호작용에 대한 이해를 증진시키는 동시에 농업생태계와 그 구성요소의 보존 및 지속 가능한 이용을 촉진할 수 있는 동향과 영향 및 발전상을 검토, 평가할 수 있도록 적절한 지표가 개발되어야 한다. 그러한 지표가 개발되면 다양한 지역 단위의 검토가 용이해지고 지역과 국가 차원에서 토지 자원과 그 생물다양성을 적절하게 관리할 수 있으며 동시에 생물다양성과 천연 자원의 상태 및 동향을 국지적, 세계적으로 조망할 수 있는 도구가 될 수 있을 것이다.

토양, 작물, 병해충 관리기법은 별개의 기술로 개발되는 일이 많으며, 그래서 이들이 생태계의 다른 부분에 미치는 영향이 무시되곤 한다. 생태계 지향적 관리기법을 개발하기 위해서는 구성 요소에 국한한 지엽적 연구가 아닌 통합적 시스템적 사고가 필요하다. 토양의 프로세스가 토양, 물, 작물, 가축, 인간 관리의 상호작용을 모두 고려한 시스템적 사고를 통해 동시에 다루어진다면, 농민과 가축관리자들의 여러 가지 목표를 보다 효과적으로 다룰 수 있는 전략과

실행 방안이 개발될 수 있다. 생물학적 토양관리 기법이 농업생산성과 생태계 생물다양성을 향상시키는데 미치는 긍정적, 부정적 효과를 모두 보여주는 다양한 사례들이 있다. 관리 전략이 생태계적 맥락에서 고려되지 않거나 지식의 부족으로 인해 잠재적 위험이나 제약을 제대로 평가하지 못할 경우, 미흡한 기술이나 부적절한 실행을 통해 재앙적인 결과가 만들어질 수 있다. 반대로 특정 생태계의 특성과 기회와 농업 체계의 한계를 고려할 경우, 조정사업이 성공을 거둘 확률은 높아질 수 있다. 그렇다고 반드시 성공을 보장하는 것은 아니다. 통합적 토양 생물학적 농업 생태계 관리를 위해서는 토양 생명체들과 그들의 상호작용 및 요구조건, 다양한 기법이 생명체 군집과 기능에 미치는 영향, 그리고 토양, 식물, 가축, 농업 생태계, 기후, 사회경제, 인간에 대한 지식이 반드시 필요하다.

참고 문헌

- Abbott, L. K. and A. D. Robson. 1994. The impact of agricultural practices on mycorrhizal fungi. In C. E. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta, and P. R. Grace, eds., *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*, 88-95. East Melbourne, Australia: csiro.
- Allen, E. B., M. F. Allen, D. J. Helm, J. M. Trappe, R. Molina, and E. Rincon. 1995. Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. *Plant Soil* 170:47-62.
- Amman, R. and W. Ludwig. 2000. RNA ribosomal-targeted nucleic acid probes for studies in microbial ecology, *Federation of European Microbiological Societies Microbiology Reviews* 24:555-565.
- Anderson, J. M. 1994. Functional attributes of biodiversity in land use systems. In D. J. Greenland and I. Szabolcs, eds., *Soil Resilience and Sustainable Land Use*, 267-290. Wallingford, UK: CAB International.
- Anderson, J. M. 1995. Soil organisms as engineers: Microsite modulation of macroscale processes. In C. G. Jones and J. H. Lawton, eds., *Linking Species and Ecosystems*, 94-106. New York: Chapman and Hall.
- Anderson, J. M. 2000. Foodweb functioning and ecosystem processes: Problems and perceptions of scaling. In D. C. Coleman and P. F. Hendrix, eds., *Invertebrates as Webmasters in Ecosystems*, 3-24. Wallingford, UK: CAB International.
- Andre, H. M., M.- I. Noti, and P. Lebrun. 1994. The soil fauna: The other last biotic

- frontier. *Biodiversity and Conservation* 3:45-56.
- Barros, M. E., M. Grimaldi, M. Sarrazin, A. Chauvel, D. Mitja, T. Desjardins, and P. Lavelle. 2004. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. *Applied Soil Ecology* 26:157-168.
- Bater, J. E. 1996. Micro- and macro- arthropods. In G. S. Hall, ed., *Methods for the Examination of Organismal Diversity in Soils and Sediments*, 163.174. Wallingford, UK: CAB International.
- Brown, G. G., I. Barois, and P. Lavelle. 2000. Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. *European Journal of Soil Biology* 36:177.198.
- Brown, G. G., C. A. Edwards, and L. Brussaard. 2004. How earthworms affect plant growth: Burrowing into the mechanisms. In C. A. Edwards, ed., *Earthworm Ecology*, 13.49. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Brown, G. G., M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning, and A. Montanez. 2002a. Programme, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture. Serie Documentos Vol. 182. Londrina, Brazil: Embrapa Soja.
- Brown, G. G., A. Pasini, N. P. Benito, A. M. de Aquino, and M. E. F. Correia. 2002b. Diversity and functional role of soil macrofauna communities in Brazilian no-tillage agroecosystems. In *Proceedings of the International Symposium on Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*, November 8.10, 2001, CD-ROM, 1.20. Montreal: UNU/CBD.
- Brown, K. S. Jr. 1991. Conservation of neotropical environments: Insects as indicators. In N. M. Collins and J. A. Thomas, eds., *The Conservation of Insects and Their Habitats*, 349.403. London: Academic Press.
- Brussaard, L., V. M. Behan- Pelletier, D. E. Bignell, V. K. Brown, W. Didden, P. Folgarait, C. Fragoso, D. Wall- Freckman, V. V. S. R. Gupta, T. Hattori, D. L. Hawksworth, C. Klopatek, P. Lavelle, D. W. Malloch, J. Rusek, B. Soderstrom, J. M. Tiedje, and R. A. Virginia. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26:563-570.
- Brussaard, L., T. W. Kuyper, W. A. M. Didden, R. G. M. de Goede, and J. Bloem. 2004. Biological soil quality from biomass to biodiversity: Importance and resilience to

management stress and disturbance. In P. Schjøning, S. Emholt, and B. T. Christensen, eds., *Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture*, 139.161. Wallingford, UK: CAB International.

CBD (Convention on Biological Diversity). 2002. *Action for a Sustainable Future: Decisions from the Sixth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity*. Montreal, Canada: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.

Chambers, R. 1991. Farmer first: A practical paradigm for the third agriculture. In M. Altieri and S. B. Hecht, eds., *Agroecology and Small Farm Development*, 237.244. Boca Raton, FL: CRC Press.

Chauvel, A., E. M. Barbosa, E. Blanchart, M. Grimaldi, J. Ferraz, P. D. Martins, O. Topall, E. Barros, T. Desjardins, N. F. Filho, I. P. A. Miranda, M. Sarrazin, and D. Mitja. 1997. Mise en valeur de la foret et modifications ecologiques. In H. Thery, ed., *Environnement et developpement en Amazonie Bresilienne*, 42.75. Paris: Editions Berlin.

Chauvel, A., M. Grimaldi, E. Barros, E. Blanchart, M. Sarrazin, and P. Lavelle. 1999. Pasture degradation by an Amazonian earthworm. *Nature* 389:32.33.

Decaens, T., L. Mariani, N. Betancourt, and J. J. Jimenez. 2001. Earthworm effects on permanent soil seed banks in Colombian grasslands. In J. J. Jimenez and R. J. Thomas, eds., *Nature's Plow: Soil Macroinvertebrate Communities in the Neotropical Savannas of Colombia*, 274.293. Cali, Colombia: CIAT.

Doran, J. W., D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication 35. Madison, WI: ASA.

Doran, J. W. and A. J. Jones. 1996. *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49. Madison, WI: ASA.

Doran, J. W. and T. B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart, eds., *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, 3.21. Madison, WI: ASA.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1991. *Expert Consultation on Legume Inoculant Production and Quality Control*. Rome: FAO.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. *World Agriculture: Towards 2015/2030, Summary Report*. Rome: FAO.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2003. Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture. World Resources Soil Reports 101. Rome: FAO.
- Giller, K. E. 2001. Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems, 2nd ed. Wallingford, UK: CAB International.
- Giller, K. E., M. H. Beare, P. Lavelle, A.- M. N. Izac, and M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6:3.16.
- Giller, K. E., J. F. McDonagh, and G. Cadish. 1994. Can biological nitrogen fixation sustain agriculture in the tropics? In J. K. Syers and D. L. Rimmer, eds., *Soil Science and Sustainable Land Management in the Tropics*, 173.191. Wallingford, UK: CAB International.
- Giri, S. 1995. Short Term Input Operational Experiment in Tea Garden with Application of Organic Matter and Earthworm. M.Phil. thesis, Sambalpur University, Jyvoti Vihar, India.
- Gliessman, S. R. 1990. Understanding the basis of sustainability for agriculture in the tropics: Experiences in Latin America. In C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller, and G. House, eds., *Sustainable Agricultural Systems*, 378.390. Ankeny, IA: SWCS.
- Hagvar, S. 1998. The relevance of the Rio Convention on Biodiversity to conserving the biodiversity of soils. *Applied Soil Ecology* 9:1-7.
- Hawksworth, D. L. 1991. The fungal dimension of biodiversity: Magnitude, significance, and conservation. *Mycological Research* 95:641-.655.
- Hawksworth, D. L. and M. T. Kalin- Arroyo. 1995. Magnitude and distribution of biodiversity. In V. H. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 107-191. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hawksworth, D. L. and L. A. Mound. 1991. Biodiversity databases: The crucial significance of collections. In D. L. Hawksworth, ed., *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*, 17.29. Wallingford, UK: CAB International.
- Hendrix, P. F., D. A. Crossley Jr., J. M. Blair, and D. C. Coleman. 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. In C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden,

- R. H. Miller, and G. House, eds., *Sustainable Agricultural Systems*, 637.654. Ankeny, IA: SWCS.
- Hendrix, P. F., R. W. Parmelee, D. A. Crossley Jr., D. C. Coleman, E. P. Odum, and P. M. Groffman. 1986. Detritus food webs in conventional and non-tillage agroecosystems. *BioScience* 36:374-380.
- Hillel, D. 1991. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil*. Berkeley: University of California Press.
- House, G. J. and R. W. Parmelee. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Tillage Research* 5:351-360.
- Hungria, M., M. A. T. Vargas, D. de S. Andrade, R. J. Campo, L. M. de O. Chueire, M. C. Ferreira, and I. C. Mendes. 1999. Fixação biológica do nitrogênio em leguminosas de grãos. In J. O. Siqueira, F. M. S. Moreira, A. S. Lopes, L. R. G. Guilherme, V. Faquin, A. E. Furtani Neto, and J. G. Carvalho, eds., *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*, 597-620. Lavras, Brazil: UFLA.
- Ingham, E. R. 1999. The food web and soil health. In A. J. Tugel and A. M. Lewandowski, eds., *Soil Biology Primer*, B1.B10. Ames, IA: NRCS Soil Quality Institute.
- Ingham, R. E., J. A. Trofymow, E. R. Ingham, and D. C. Coleman. 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs* 55:119-140.
- Jones, C. G., J. H. Lawton, and M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373.386.
- Keeney, D. R. and D. W. Nelson. 1982. Nitrogen: Inorganic forms. In C. A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White, and F. E. Clark, eds., *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 682-687. Madison, WI: ASA.
- Kevan, D. K. M. 1985. Soil zoology, then and now-mostly then. *Quaestiones Entomologicae* 21:371.7.472.
- Lavelle, P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International* 33:3.16.
- Lavelle, P. 2000. Ecological challenges for soil science. *Soil Science* 165:73.86.
- Lavelle, P. 2002. Functional domains in soils. *Ecological Research* 17:441.450.
- Lavelle, P., I. Barois, E. Blanchart, G. G. Brown, L. Brussaard, T. Decaens, C. Fragoso, J. J. Jimenez, K. Ka Kajondo, M. A. Martinez, A. G. Moreno, B. Pashanasi, B. K.

- Senapati, and C. Villenave. 1998. Earthworms as a resource in tropical agroecosystems. *Nature and Resources* 34:28.44.
- Lavelle, P., D. Bignell, M. Lepage, V. Wolters, P. Roger, P. Ineson, O. W. Heal, and S. Ghillion. 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. *European Journal of Soil Biology* 33:159.193.
- Lewinsohn, T. M. and P. I. Prado. 2005. How many species are there in Brazil? *Conservation Biology* 19:619.624.
- Lewinsohn, T. M. and P. I. Prado. 2006. Sintese do conhecimento da biodiversidade brasileira, Vol. I. Brasilia: Ministerio do Meio Ambiente, Secretaria do Biodiversidade e Florestas, 21.109.
- Lowdermilk, W. C. 1978. Conquest of the Land Through 7,000 Years. *Agriculture Information Bulletin* 99. Washington, DC: USDA.
- Mando, A., L. Brussaard, and L. Stroosnijder. 1997. Termite- and mulch- mediated rehabilitation of vegetation on crusted soil in West Africa. *Restoration Ecology* 7:33-41.
- Mando, A., L. Brussaard, L. Stroosnijder, and G. G. Brown. 2002. Managing termites and organic resources to improve soil productivity in the Sahel. In G. G. Brown, M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning, and A. Montanez, eds., Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture, Serie Documentos Vol. 182, 191.203 (also available at www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm). Londrina, Brazil: Embrapa Soja.
- McNeely, J. A., M. Gadgil, C. Leveque, C. Padoch, and K. Redford. 1995. Human influences on biodiversity. In V. H. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 711.821. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Montanez, A. 2002. Overview and case studies on biological nitrogen fixation: Perspectives and limitations. In G. G. Brown, M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning, and A. Montanez, eds., Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture, Serie Documentos Vol. 182, 204.224. Londrina, Brazil: Embrapa Soja. Available at www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm.
- Moreira, F. M. S., J. O. Siqueira, and L. Brussaard. 2006. Soil organisms in tropical ecosystems: A key role for Brazil in the global quest for the conservation and

- sustainable use of biodiversity. In F. M. S. Moreira, J. O. Siqueira, and L. Brussaard, eds., *Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems*, 1.12. Wallingford, UK: CABI.
- Muckel, G. B. and M. J. Mausbach. 1996. Soil quality information sheets. In J. W. Doran and A. J. Jones, eds., *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Special Publication 49, 393-400. Madison, WI: ASA.
- Myers, R. J. K., C. A. Palm, E. Cuevas, I. U. N. Gunatilleke, and M. Brossard. 1994. The synchronisation of nutrient mineralisation and plant nutrient demand. In P. L. Wooster and M. J. Swift, eds., *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, 81.116. Chichester, UK: Wiley.
- Oades, J. M. and L. J. Walters. 1994. Indicators for sustainable agriculture: Policies to paddock. In C. E. Pankhurst, B. M. Doube, V. V. S. R. Gupta, and P. R. Grace, eds., *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*, 219-223. East Melbourne, Australia: CSIRO.
- Ortiz, B., C. Frago, I. Mboukou, B. Pashanasi, B. K. Senapati, and A. Contreras. 1999. Perception and use of earthworms in tropical farming systems. In P. Lavelle, L. Brussaard, and P. F. Hendrix, eds., *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*, 239.252. Wallingford, uk: cab International.
- Palm, C. A., K. E. Giller, P. L. Mafongoya, and M. J. Swift. 2001. Management of organic matter in the tropics: Translating theory into practice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61:63-75.
- Palm, C. A., K. E. Giller, and M. J. Swift. 2000. Synchrony: An overview. In *The Biology and Fertility of Tropical Soils*. Tropical Soil Biology and Fertility Programme Report 1997.1998, 18-20. Nairobi, Kenya: TSBF.
- Pankhurst, C. E. 1994. Biological indicators of soil health and sustainable productivity. In D. J. Greenland and I. Szabolcs, eds., *Soil Resilience and Sustainable Land Use*, 331.351. Wallingford, uk: cab International.
- Pankhurst, C. E., B. M. Doube, and V. V. S. R. Gupta. 1997. *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford, UK: CAB International.
- Paoletti, M. G. 1999. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes: Practical Use of Invertebrates to Assess Sustainable Land Use*. Amsterdam: Elsevier.
- Pearce, T. G., N. Roggero, and R. Tipping. 1994. Earthworms and seeds. *Journal of Biological Education* 28:195-202.

- Pimentel, D., C. Wilson, C. McCullum, R. Huang, P. Dwen, J. Flack, Q. Tran, T. Saltman, and B. Cliff. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience* 47:747.757.
- Puentes, R. and M. J. Swift. 2000. Tropical soil ecology: Matching research opportunities with farmers' needs. In M. J. Swift, ed., *Managing the Soil Biota for Sustainable Agriculture: Opportunities and Challenges*. Nairobi, Kenya: TSBF
- Ramos, S. F. J. 1998. Grupo Vicente Guerrero de Espanita, Tlaxcala. Dos decadas de promocion de campesino a campesino. Mexico City, Mexico: Red de Gestion de Recursos Naturales and Rockefeller Foundation.
- Sa, J. C. M. 1993. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Ponta Grossa, Brazil: Fundacao ABC.
- Sanchez, P. A. 1994. Tropical soil fertility research: Towards the second paradigm. In *Transactions of the 15th World Congress of Soil Science*, Vol. 1, 65.88. Acapulco, Mexico: ISSS.
- Sanchez, P. A. 1997. Changing tropical soil fertility paradigms: From Brazil to Africa and back. In A. C. Moniz, ed., *Plant Soil Interactions at Low pH*, 19.28. Lavras, Brazil: Brazilian Soil Science Society.
- Senapati, B. K., P. Lavelle, S. Giri, B. Pashanasi, J. Alegre, T. Decaens, J. J. Jimenez, A. Albrecht, E. Blanchart, M. Mahieux, L. Rousseaux, R. Thomas, P. K. Panigrahi, and M. Venkatachalan. 1999. In-soil technologies for tropical ecosystems. In P. Lavelle, L. Brussaard, and P. F. Hendrix, eds., *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*, 199.237. Wallingford, UK: CAB International.
- Senapati, B. K., P. Lavelle, P. K. Panigrahi, S. Giri, and G. G. Brown. 2002. Restoring soil fertility and enhancing productivity in Indian tea plantations with earthworms and organic fertilizers. In G. G. Brown, M. Hungria, L. J. Oliveira, S. Bunning, and A. Montanez, eds., *Program, Abstracts and Related Documents of the International Technical Workshop on Biological Management of Soil Ecosystems for Sustainable Agriculture*, Serie Documentos Vol. 182, 172.190. Londrina, Brazil: Embrapa Soja. Available at www.fao.org/ag/AGL/agll/soilbiod/cases.stm.
- Settle, W. 2000. *Living Soils: Training Exercises for Integrated Soils Management*. Jakarta, Indonesia: FAO Programme for Community IPM in Asia.
- Shepherd, T. G. 2000. *Visual Soil Assessment*, Vol. 1, Field Guide for Cropping and

Pastoral Grazing on Flat to Rolling Country, 84. Palmerston North, New Zealand: Horizon.mw & Landcare Research.

Stork, N. E. and P. Eggleton. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:38.47.

Swift, M. J. 1997. Biological management of soil fertility as a component of sustainable agriculture: Perspectives and prospects with particular reference to tropical regions. In L. Brussaard and R. Ferrera-Cerrato, eds., *Soil Ecology in Sustainable Agricultural Systems*, 137.159. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.

Swift, M. J. 1999. Towards the second paradigm: Integrated biological management of soil. In J. O. Siqueira, F. M. S. Moreira, A. S. Lopes, L. R. G. Guilherme, V. Faquin, A. E. Furtani Neto, and J. G. Carvalho, eds., *Inter-relacao fertilidade, biologia do solo e nutricao de plantas*, 11.24. Lavras, Brasil: ufla.

Swift, M. J., L. Bohren, S. E. Carter, A. M. Izac, and P. L. Woomer. 1994. Biological management of tropical soils: Integrating process research and farm practice. In P. L. Woomer and M. J. Swift, eds., *The Biological Management of Tropical Soil Fertility*, 209.227. New York: Wiley.

Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, and B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E.- D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 261.298. New York: Wiley.

Torsvik, V., J. Goksøyr, F. L. Daae, R. Sørheim, J. Michalsen, and K. Salte. 1994. Use of DNA analysis to determine the diversity of microbial communities. In K. Ritz, J. Dighton, and K. E. Giller, eds., *Beyond the Biomass: Composition and Functional Analysis of Soil Microbial Communities*, 39.48. Chichester, UK: Wiley.

Torsvik, T. and L. Ovreas. 2002. Microbial diversity and function in soil: From genes to ecosystems. *Current Opinion in Microbiology* 5:240.245.

TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Institute). 1999. *Managing the Soil Biota for Sustainable Agricultural Development in Africa: A Collaborative Initiative. A Proposal to the Rockefeller Foundation*. Nairobi, Kenya: TSBF.

TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility Institute). 2000. *The Biology and Fertility of Tropical Soils. Tropical Soil Biology and Fertility Programme Report 1997. 1998*. Nairobi, Kenya: TSBF.

- Usher, M. B., P. Davis, J. Harris, and B. Longstaff. 1979. A profusion of species? Approaches towards understanding the dynamics of the populations of microarthropods in decomposer communities. In R. M. Anderson, B. D. Turner, and L. R. Taylor, eds., *Population Dynamics*, 359-384. Oxford: Oxford University Press.
- Vandermeer, J., M. van Noordwijk, J. M. Anderson, C. Ong, and I. Perfecto. 1998. Global change and multi- species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems Environment* 67:1.22.
- van Straalen, N. M. 1998. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology* 9:429.437.
- Wall, D. H. and J. C. Moore. 1999. Interactions underground: Soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes. *BioScience* 49:109.117.
- Willems, J. H. and K. G. A. Huijsmans. 1994. Vertical seed dispersal by earthworms: A quantitative approach. *Ecography* 17:124.130.
- Wilson, E. O. 1985. The biological diversity crisis: A challenge to science. *BioScience* 35:700.706.

10. 농업생태계의 다양성 및 해충 관리

생태학에 대한 몇 가지 견해

A. WILBY AND M. B. THOMAS

인류의 활동으로 인해 생물다양성이 전례 없는 속도로 소실되어 감에 따라 생태계의 기능과 안정성 및 생태계 서비스(ecosystem services)의 제공에 대한 생물다양성의 중요성 평가에 대해 상당한 연구가 이루어져 왔다. 생물다양성은 인류의 활동으로 인한 위험한 상태에 있으며 (Naylor and Ehrlich 1997) 생물다양성에 의해 제공된 해충 방제는 유용한 생태계 서비스의 하나라는 점이 수많은 연구에 의해 증명되어 왔다 (Pimentel 1961; Horn 1988; Altieri 1991; Mooney et al. 1995a, 1995b; Naylor and Ehrlich 1997; Naeem et al. 1999; Schläpfer et al. 1999). 생산량을 늘리고 경관을 바꾸기 위해 외부 투입량을 증가시키는 농업생산시스템의 변화에 따라 해충 발생의 범위와 빈도가 증가됨으로써 생물다양성이 소실되고 불안정해지는 경향이 있다는 많은 증거가 있다 (Pimentel 1961; Andow 1991; Kruess and Tschardtke 1994; Swift et al. 1996; Knops et al. 1999). 그러나 우리는 이러한 불안정화를 유발하는 생태학적 메커니즘이나 해충방제에 있어서의 천적의 다양성이 얼마나 중요한가에 대해서는 아직 잘 모르고 있다. 이 장의 목적은 생태학으로부터 얻어진 식견들이 이러한 메커니즘에 대한 연구를 어떻게 촉진시킬 수 있으며 해충 방제를 위한 생물다양성의 역할을 조사하고 이해하기 위한 체계의 개발에 기여할 수 있는지, 또한 이러한 일들이 서로 다른 관리 체계에서 어떻게 조화될 수 있는지를 탐구하는데 있다. 이를 통해, 이전의 연구를 통해 도출된 결과로부터 (Wilby and Thomas 2002a, 2002b 참조) 지속가능한 해충관리를 위한 농업생물다양성의 역할 및 관리에 대한 가설들과 앞으로의 연구방향을 제시코자 한다.

우리가 해충 방제를 위해 인간에 의해 사라진 종들의 결과를 예측하기 위해서는, 농업생태계 생태학의 두 가지 연결된 문제점들에 대한 이해를 증진시킬 필요가 있다. 첫째, 우리는 농업생태계 관리가 해충과 천적 집합들의 종의 구성과 다양성에 영향을 미치는 메커니즘을 확인하고 특징지를 필요가 있다. 둘째, 우리는 해충 방제를 위한 이러한 영향들의 결과에 대해 이해할 필요가 있다 (Wilby and Thomas 2002a). 이러한 논제에 접근함에 있어 우리는 군집의 구성과 생물다양성의 기능에 대한 현재의 생태학적 이론들을 이용할 것이다. 특히 후자는

약간의 논쟁에도 불구하고 최근 중요한 진전이 있었다. 먼저 우리는 이러한 논쟁들에 대해 알아보고 그동안 얻어진 경험들이 다양성과 해충 방제의 관계에 대한 우리의 연구에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 의문을 제기하고자 한다.

생물다양성과 생태계 기능

지난 수십년 간 생물다양성과 생태계 기능간의 관계에 대한 특성연구는 생태학의 주된 연구 목표였다(9장 참조). 수많은 이론적, 실험적 연구들이 바이오매스(biomass) 생산(생산자, 소비자 및 분해자), 영양분 흡수, 유지, 분해, 토양 산성도, 토양수 및 유기물, 군집 호흡작용을 포함한 여러 가지 생태계 특징들에 대해 이루어져왔다(Schlöpfer et al. 1999). 대다수의 연구들이 다양성과 생태계 기능간의 충분히 긍정적인 관계를 밝혔음에도 불구하고(Schwartz et al. 2000), 다양성과 생태계 기능 관계에 대한 해석에 있어서는 몇가지의 이슈가 있어 왔다. 예를 들면, 다양성과 생태계 기능의 관계를 특정하는데 있어 관찰적 및 실험적 증거의 상대적 장점에 대한 논란이 있다. 실험적 연구에서의 종의 구성과 발생량은 가끔 자연적인 군집과 충분히 유사하지 않으며 종의 동일성 및 종 다양성의 영향들이 제한적일 수 있다는 점에서 비판받아 왔다(Huston 1997; Wardle 1999 Wardle et al. 2000). 게다가, 다양성의 영향이 있을 경우에 이것이 서로 다른 분류군들의 보완적 기능 혹은 기능적 그룹 종들간의 긍정적인 상호작용 때문인지, 또는 다양성이 증가함에 따라 영향력이 큰 종이 포함될 확률에 따른 표본추출 효과인지에 대한 논쟁이 있어 왔다(Huston 1997; Tilman et al. 1997). 앞의 두 가지 메커니즘은 다양성으로부터 발생하는 특성들이므로 진정한 다양성의 결과로 보여지는 반면, 후자는 자연에서 나타나는 종의 조합이 포함되었을 때 실질적인 다양성의 결과로서 실험적으로 나타날 수 있는 확률적 영향으로 보고 있다. 표본추출 혹은 선발된 영향으로부터 진정한 다양성 영향들을 분리해 내기 위해 연구 방법들이 개발되어 왔다. 예를 들어, 서로 다른 구성을 가진 다양성 수준들의 반복은 다양성과 동일성의 혼동을 제거하며, Loreau-Hector 방정식(Loreau and Hector 2001)은 연구가 제대로 설계되었을 때 보완적인 영향 및 종의 긍정적인 상호작용으로부터 다양성의 표본추출 효과를 분리해낼 수 있게 해 준다.

실험적 접근이 가진 문제점들 때문에 일부 연구자들은 관찰적 연구에 보다 중점을 두어 왔다. 이들 역시 다양성과 연관된 가변성을 통제하지 않으므로써 생태계 기능에 있어 생물다양성의 중요성을 확실하게 결정하는데 사용될 수 없다는 점에서 비판받아 왔다(Naeem et al. 1999; Naeem 2000). 그러나 좀 더 현실적인 실험 설계의 중요한 단계로서 관찰적 연구는 자연에 존재하는 다양성의 형태를 알아내는데 필요한 것으로 인식되어져 왔다(Wardle et al. 2000).

생물다양성과 생태계 기능 연구의 결과해석이 가지는 이러한 문제점들 외에 실질적인 생태계에 최근 학설을 적용하는 데는 또 다른 어려움이 있다. 특히, 연구의 배경과 범위가 관찰된 다양성과 기능 간 관계의 양상에 큰 영향을 미칠 수 있다는 점을 감안하면 연구의 결과들이 규모와 환경이 다른 경우에 어떻게 추론근거가 될 수 있는지가 불분명한 것이다 (Fridley 2001).

생물다양성과 생태계 기능의 관계에 관한 가설의 핵심은 분류학적인 혹은 기능적인 생물다양성 요소들의 상보성에 대한 개념이다. 관계의 형태는 생물다양성 요소들(예: 유전자형, 종, 먹이 조합)이 어디에서 혹은 어떻게 유사한 기능을 수행하는지에 대한 범위에 의해 결정된다. 만약 이러한 요소들 간에 특수한 기능적인 면에서 상당한 상보성이 있다면 관련된 진행과정의 속도는 각각의 요소의 손실과 더불어 감소할 것이다. 반대로, 요소들 간에 다량의 잉여분이 있다면 초기의 생물다양성 손실은 생태계 진행률에 영향을 미치지 않을 것이다.

오늘날까지 생물다양성 요소들 간의 기능적 상보성에 관한 이론은 그 요소들 자체의 생태학적 특성들에 초점이 맞추어져 왔다. 그러나 연구의 생태학적 배경이 기능적 상보성에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 만약 요소들이 배타적으로 공간이나 시간을 사용하거나 특수한 기능들만 수행한다면 상보성이 발생한다. 따라서 상보성의 잠재력은 이용할 수 있는 공간적인 그리고 시간적인 요소들 및 연구하고자 하는 과정의 범주에 따라 결정된다. 연구의 범위와 주제를 결정함에 있어 연구자는 이러한 속성들을 각각 결정한다. 시간적, 공간적, 그리고 연구과정의 규모가 증가할수록 최고의 기능을 위해 필요한 영역과 요소들의 수도 증가할 것이다. 이는 그림 10.1a 가설의 예에서 보듯이 하나의 과정 속에서 상황들(박스) 사이의 변화에서 생물다양성 요소들의 역할을 나타내는(소문자) 것으로 설명된다. 주어진 시간과 공간 내의 위치(예: 특수한 생태학적 배경)에서 생태계 기능을 충족하기 위해 필요한 생물다양성 요소들의 수는 알아보고자 하는 과정의 범위에 달려있다. 만약 관심대상의 과정의 범위가 단순히 A상태에서 B상태로의 전환이라면 단지 하나의 생물다양성 요소를 필요로 한다(예: a2). 그러나 우리가 만약 A상태에서 D상태로의 전환을 포함하는 과정에 관심을 가진다면 전체 기능을 위해 세 가지의 요소들을 필요로 하게 된다(예: a2, b1, c1). 시간적 혹은 공간적 연구범위가 늘어날수록 최대 기능을 발휘하기 위한 요소들의 수도 증가하는데, 이는 서로 다른 요소들이 공간과 시간상의 서로 다른 지점에서 가장 효과적이기 때문일 것이다. 그러므로 이 예시에서 공간을 가로질러 A상태에서 B상태로 이동하는 것은 세 가지 생물다양성 요소들(a1, a2, a3)의 활동을 수반한다. 시간과 공간의 모든 조합을 거치는 A에서 D로의 과정의 전체 범위에서는 최대 27가지 요소들이 전체 기능을 위해 필요하다. 따라서, 포화된 기능이 보통의 생물다양성-생태계 기능 관계라 하더라도 (Schwartz et al. 2000), 최대 기능 시 최소의 다양성이 획득되는 것은 부분적으로 연구의 공간적-시간적-과정의 범위에 의해 결정될 것이다 (그림 10.1b).

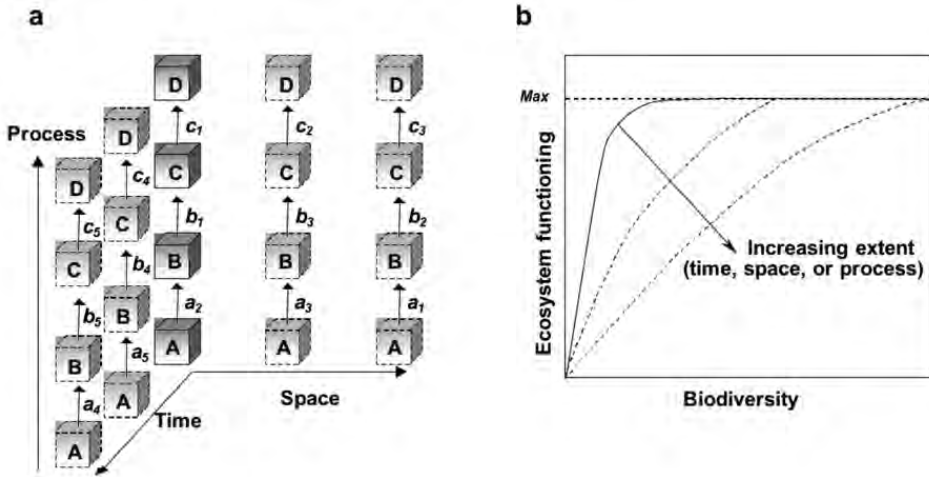


그림 10.1 - 생물다양성과 생태계 기능의 관계에서 과정 및 공간적, 시간적 범위의 영향. (a) 각각의 상태들(대문자가 기입된 박스) 간의 전환 과정의 가상 예제는 각각의 생물다양성 요소들(소문자로 기입)의 활동에 의해 조정된다. 생태학적 조건들(그늘진 입방체로 표현된)의 기준 세트에서 과정, 시간 또는 공간 범위의 확대는 더 많은 영역들을 둘러싸며 최대의 기능을 위해 필요한 생물다양성 요소들의 수를 증가시킨다. (b) 이것은 생물다양성-생태계간의 기능관계의 형태를 변화시킨다.

물론 이 개념적 모델은 극히 간소화된 것이어서 우리는 어떻게 영역들이(niches) 공간, 시간 그리고 과정의 규모를 걸쳐 축적되는지 알지 못한다. 또한 영역의 표출이 종 간의 상호작용에 있어 어느 정도 좌우된다는 것도 분명하다. 그러나 공간 내에서의 환경적 기율기에 따른 공간적 외연효과와 (Tilman et al. 1997; Fridley 2001; Wellnitz and Poff 2001) 종 간의 생물기후학적 차이점에 기인하는 시간적 외연효과가 존재한다는(Hooper 1998) 증거들도 있다. 또한, 종의 다양성에 대한 보호 가설(Naeem and Li 1997; Petchey et al. 1999; Yachi and Loreau 1999)은 환경변화에 따라 시간과 공간의 영역들이 종 간에 시간적으로 상보적 기능을 가질 가능성을 제시하고 있다. 생태계 기능의 정의에 대한 토론에서 Ghilarov(2000)는 과정척도(process scale)의 중요성을 지적한다. 예를 들어, 생태계 기능을 이야기 할 때 모든 유기체에 의해 사용되는 전체 화합물의 생산 및 소비보다는 모든 식물에 의해 소비되는 전체 이산화탄소(CO₂)에 대해 한정할 경우 우리는 생태계 기능과 생물 다양성간의 매우 다른 관계를 기대할 수 있다. 이러한 규모와 배경의 영향들은 시간적, 공간적 혹은 규모가 다른 경우에 대해 실험결과를 적용할 경우 농업정책 등을 결정하기 전에 그 내용이 충분히 이해되어야 한다는 점에 주의할 필요가 있다.

농업 관리, 생물다양성 및 해충방제 간의 관계 연구에 대한 생태학적 기본구조 개발을 위해 이러한 이슈들의 내포하는 관점들은 무엇인가? 실험적 연구에 있어 비현실적인 군집들의

이용에 따른 문제점들과 관찰적 연구에 있어 원인을 밝혀내는 문제가 주어졌을 때, 우리는 해충방제에 있어 생물다양성 변화의 결과와 생물다양성에 대해 농업적 관리가 미치는 영향들을 연결시키는 시도가 앞으로의 연구에서 행해져야 한다고 제안하는 바이다. 생태적 관점에서 이것은 생물다양성의 집합과 기능이 연계된 연구를 뜻한다. 이러한 접근법을 통해 우리는 비자연적인 종들의 조합과 비현실적인 종의 소실 패턴에 관련된 문제들을 조화시킬 수 있을 것이다. 생물다양성-생태계의 기능적 관계가 척도와 규모에 의존적일 수밖에 없고 척도가 누적되는데 따른 예측 모델이 없는 상태에서의 실험적 연구는 관심대상인 모든 생태계의 과정에 초점을 두어야 하며 정상적인 농업적 관리에서 적용할 수 있는 적절한 척도를 사용하여야 할 것이다. 천적에 의한 해충 방제의 경우, 이것은 단작 또는 여러 작기 동안의 농경지 척도를 이용하는 것이 될 것이다.

다양성과 종의 구성 효과 모두 여러 생태계 과정들에 대해 큰 영향을 미칠 수 있다는 것이 분명하며 해충방제라고 해서 예외가 될 수는 없다. 우리의 관점에서 보면, 연구를 위한 유익한 방향은 해충방제 기능을 결정하는 요소로서의 다양성과 조합의 상대적인 중요성에 영향을 주는 해충 및 천적의 생물학적 특성들을 밝혀내는 것이다. 종 구성의 영향들이 강할 경우, 종의 다양성 소실 메커니즘을 이해하고 기능을 결정하는 종 소실의 확률에 영향을 주는 생태적 또는 생물학적 인자들을 비교하는 것이다. 이러한 방법을 따르게 되면 하나의 조합에서 특정한 하나의 종을 포함한 확률을 평가하는 것이 그 연구의 궁극적인 목표가 되는 것이므로 무작위적인 결과가 아니라는 점 때문에 표본추출 효과에 따르는 문제를 피할 수 있다. 다음 서술에서는 농업생태계 관리 연구를 위한 생태계 기본틀을 제시하고 이것이 절지동물 조합, 천적 다양성, 해충 방제 기능에 미치는 영향에 대해 논의코자 한다. 그 다음에는 농업의 집약과 확장에 있어 해충 발생을 예측하는데 이러한 것들이 어떻게 유효하게 연결될 수 있는지 논의할 것이다.

농업생태계 관리와 절지동물군의 조합

농업생태계 관리가 절지동물의 풍부도, 분포 및 다양성에 미치는 영향들에 대해 수많은 연구가 이루어져 왔다. 예를 들어, (특히 해충 방제에 관해 언급하자면) 토마토에서 해충 피해와 절지동물군의 구조에 대한 유기농 및 전통적 생산의 영향들을 비교한 Letourneau와 Goldstein(2001)는 초식성 해충의 풍부도가 생산 시스템 간에 다르지 않으나(예: 해충 문제는 살충제가 제한되는 곳에서는 크지 않다) 유기농 농장은 전통적인 농장에 비해 절지동물의 모든 기능 그룹에서 종 분포가 더 풍부하며 천적도 더 많다는 것을 발견했다. 이러한 차이점들은 특히 농작물의 관리, 주변 서식지 및 정식 시기 등 특정 농법과 경관 특성과 연관되어 있었다. 또 다른 미국 시스템에서 Menalled 등

(1999)은 농업 경관 구조가 기생과 포식 기생자의 다양성에 영향을 미치는가를 조사했다. 그들은 중-후반의 연속적인 비경작지가 혼합된 복합농경지로 구성된 경관에서 단순(일차적인 농경지) 경관에 비해 기생과 포식 기생자의 비율이 더 높다는 것을 발견했다(11장 참조). 그러나 이러한 패턴은 모든 장소에서 일정하게 나타나지는 않았으므로 복합적 경관이 기생자에 미치는 영향에 대해 확실한 효과는 알 수가 없었다. 이러한 모호한 결과는 복합적 경관이 평지꽃가루막정벌레(rape pollen beetle)의 기생을 촉진하고 방제효과가 있다는 Thies과 Tschamtker(1999)에 의한 연구와 상충된다. 그러나 Weibull 등(2003)의 연구처럼 다른 연구들도 농장 규모에서 비록 종의 풍부함이 경관 다양성과 함께 일반적으로 증가한다 할지라도 다양성의 변화가 자연적인 해충방제 효과로 이어지는 것이 아니라는 점을 지적하고 있다.

전술된 연구들에서 절지동물 다양성에 대한 농업 관리 효과(그런 이후 해충방제를 위한 다양성의 모든 변화들의 영향)를 우리가 더욱 잘 이해하기 위해서는 특정 지역에 서식하는 종의 생태적 메커니즘을 기술하는 시스템이 필요하다는(Wilby and Thomas 2002a) 것은 명백하다. 집합의 규칙들은 특정 서식지에서 어느 종들이 발생할 것인가 예측하는데 목표를 두고 있는 군집생태학 학문 영역 내에 긴 역사를 가지고 있다 (Keddy 1992; Kelt et al. 1995; Belyea and Lancaster 1999).

한 종이 특정 장소에서 존재하기 위해서는 맨 처음 한 지역에 도달 할 수 있어야만 한다. 확산억제요인에 의해 한 지역의 종 풀(pool)에 포함되어 있던 지방종 풀이 다른 장소로 확산될 수 있는지가 좌우된다(그림 10.2). 지방종 풀(pool) 내에는 종은 해당 지역의 환경적 장애요인을 극복한 종들만이 포함될 수 있다. 최종적으로, 종 내 및 종 간에 존재하는 군집 내부의 역동성에 의해 실제적인 종의 풀이 관리된다. 또한 군집 내에 종의 존재를 지배하는 이러한 과정들은 종의 풍부 도에도 영향을 미친다. 이러한 특성이 종의 다양성과 풍부도를 좌우하는 중요한 과정으로서 생태계의 기본 틀을 제공하게 된다.

이러한 기본 틀이 모든 군집에 적용될 수 있다 하더라도, 농업생태계의 어떤 특징들은 다른 생태계와 비교할 때 종의 다양성을 지배하는 요소들의 상대적 중요성을 변화시킬 수 있다. 예를 들어, 교란은 종 간 상호작용 등 평형 과정에 비해 상대적으로 확산과 정착 등 비평형 과정의 중요도를 높이는 경향이 있다(Chapin et al. 1997). 농업생태계는 수확, 경작 또는 살충제에 의해 정기적으로 교란되기 때문에 확산 장애요소의 중요성이 크게 확대될 수 있는데, 왜냐하면 많은 종들이 이러한 교란 후에 다시 정착과정을 거쳐야 하기 때문이다. 이러한 기본틀을 이용하여 군집조합과정을 설명하는 의의는 다양성에 대한 농업관리활동이 조합과정을 구성하는 한 개 또는 그 이상의 요소들에 변화시킬 수 있다는 관점에서 이해할 수 있게 하는데 있다.

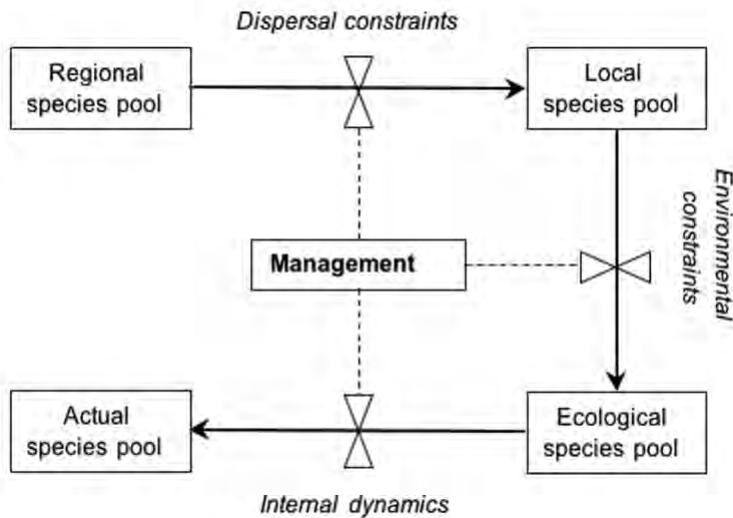


그림 10.2 - 군락 구성과정은 지역 종 풀에서 실제적인 종 풀로의 변천에 있어 확산, 환경 그리고 내적 군락 원동력의 가장 중요한 순차적 여과들을 강조한다. 농업생태계 관리의 이러한 과정들을 각각 수정할 수 있다.

예를 들어, 확산 장애요소들은 토지 사용 변화로 초래되는 경관의 구조적 변경에 의해 크게 영향을 받는다. 이러한 영향들은 확실히 질적이며(예: 서로 다른 종들의 상대적 양의 변화), 또한 잠재적으로는 양적인(예: 다양성 혹은 전체 양의 변화) 것들이다. 일반적으로 농업 개발 과정은 비경작지에 비해 경작지의 증가를 초래한다. 따라서 하나의 특정 지역은 작물과 관련된 곤충에 대해 보다 많은 자원을 제공하는 지역이 되며 그러한 농경지는 특정 절지동물들이 쉽게 정착하게 된다. 그러나 일반적인 절지동물에 있어서 농경지에서 얻을 수 없는 자원이 필요하다면 그 반대의 효과가 나타날 수도 있다. 농업 개발은 또한 평균적인 농지 크기를 증가시키는 경향이 있으므로, 농경지의 중심지는 정착지로부터 멀어지는 경향을 나타내게 된다. 한 지역에서의 천적의 종류와 수에 대한 근처 식생의 영향에 대해서는 여러 연구에서 언급되어 있으며 (Wain house and Coaker 1981; Altieri and Schmidt 1986a, 1986b; Thomas et al. 1991, 1992; Landis et al. 2000; Gurr et al. 2003), 일반 곤충의 풍부도 및 종의 다양성은 복합적인 경관에서 더 높다고 보고 되고 있다(Carmona and Landis 1999). 따라서 토지이용이 달라지는데 따른 종의 다양성과 구성은 정착지의 숫자와 격리의 변화에 따라 달라진다. 중요한 점은, 우리가 이미 토지 이용의 변화에 대한 반응을 결정하는 절지동물의 식이 범위 또는 몸의 크기 등 생물적 요소에 대해 알고 있다는 것이다. 만약 우리가 해충방제를 위해 이러한 기능적 중요성을 잘 이해한다면 토지이용 변화에 따른 해충방제 대책을 잘 예측할 수 있을 것이다.

농업적 관리는 또한 우리 체제의 두번째 관심 요소인 농지의 환경적 조건에 큰 영향을

미친다. 예를 들면, 벼 생산 시스템의 집약화는 연간 재배 횟수를 증가시킨다. (여기서부터는 우리의 주된 연구 체계 중 하나인 벼 생산에서 파생된 예들을 묘사할 것이나, 우리의 생각과 해석은 다른 체계로도 확대될 것이다.) 이러한 다기작은 한 지역의 벼 생태계 내에서 작기 사이에 곤충들이 지속적으로 발생하는 특성을 나타내게 한다 (Loevisohn 1994). 이는 긴 휴작기를 가지는 더욱 전통적인 농경 관습과 대조되는데, 휴작기 이후에는 대부분의 절지동물 군집이 새로 형성되어야 하기 때문이다. 휴작기의 두드러진 효과는 인도네시아의 벼 관련 곤충군에 의해 나타났는데, 두 번째 작기가 첫 번째 직후에 시작된 데 비해, 첫번째 작기는 긴 휴작기 뒤에 시작되었기 때문에 곤충 군집의 변동이 매우 다르게 나타났기 때문이다 (Settle et al. 1996).

휴작기와 마찬가지로 더 짧은 시간 동안 이기는 하나 살충제 또한 곤충 군집의 많은 부분을 재정착 하도록 유도하는 환경적 제한요인이 된다. 살충제 사용에 따르는 일반 포식자와 해충 종의 개별적인 재정착률은 남동 아시아의 광대한 지역에서의 벼멸구(*Nilaparvata lugens*) 문제의 주안점이다 (Heong 1991; Cohen et al. 1994; Settle et al. 1996).

농업적 관리는 또한 우리 기본틀의 세 번째 관심 요소인 내부 군락의 변동에 영향을 미친다. 예컨대, 시비에 의한 먹이 품질의 변화는 풍부도의 증가, 각종 해충군에 의한 피해 등으로 나타났고 이러한 효과들은 해충 종들의 생존율 증가, 빠른 성장 및 번식률의 증가에 기여하였다 (Ooi and Shepard 1994). 이러한 효과들은 먹이사슬을 통해 단계적으로 나타나는데 Kraker 등(2000)은 벼 경작지에서 질소 비료의 사용으로 식식자와 천적의 풍부도가 증가하였다는 것을 보고하였다.

경작 주기와 관련된 시간을 통한 식생의 변이에 덧붙여, 한 작물 내 식생의 다양성은 그 작물 내 절지동물의 다양성에도 영향을 미친다. 일반적으로, 다양한 식생으로부터 실질적인 단일 작물 재배로의 변화는 잡초관리를 수반하는데 다양성은 감소하는 반면 절지동물의 풍부도에는 영향을 미치지 않는다 (Andow 1991; Tonhasca and Byrne 1994). 질적으로는, 벼 작물에서 잡초의 존재는 특정 곤충에 비해 일반 식식자의 증가를 가져오게 된다. Afun 등 (1999)은 서 아프리카 벼에서 일반 식식자와 포식자의 풍부도는 잡초의 바이오매스와 정의 상관관계가 있는 반면, 특정 식식자의 풍부도는 벼의 바이오매스와 정의 상관관계가 있다고 하였다.

농업생태계에 관련된 이러한 군집 구성에 대한 간략한 분석은 농업관리가 어떻게 절지동물의 종 다양성을 지배하는 각각의 요소들에 영향을 미칠 수 있는지를 보여준다. 만약 우리가 해충방제에 대한 농업적 관리의 영향을 예측하고자 한다면 앞으로 농업적 관리에 따른 각 요소들의 일반적 반응 특성을 파악하고 해충관리 기능과 연계된 기능적 중요성을 연구해 나가야 할 것이다.

천적 다양성과 해충방제 기능

앞에서 농업생태계에서 절지동물 군집 구성 연구를 위한 생태학적 기본 틀을 논의하였고, 농업적 관리에 따르는 특정 요소들의 반응이 어떻게 나타나는지 알아보았으므로 다음에는 종 다양성과 구성이 어떻게 자연적인 해충방제 기능에 영향을 미치는가에 대해 논의하고자 한다.

자연적 또는 관리된 시스템에서 초식자에 대한 천적의 반응을 예측하는 몇가지의 광범위한 패턴에 대한 일부 연구가 이루어져 왔다. 예를 들면, Dyer와 Gentry(1999)는 포식자가 매끄럽고 보호색을 띤 유충을 더 잘 방제하는데 비해, 기주범위가 좁은 군생성 나비목 유충은 기생자에 의해 더 잘 방제된다는 자료를 제시한 바 있다. 이와 비슷하게 Hawkins 등(1997)은 특정한 내부 가해성 초식자들이 기생자에 의한 사망률이 높은 반면, 포식외부 가해성 식식자들은 포식자 및 병원균에 의한 사망률이 높다는 데이터를 발표하였다. 그러나 일반적으로 생물다양성과 해충방제 기능간의 관계와 에 대한 우리의 지식은 아직 부족하며 해충방제의 범주와 안정성을 결정하는 천적의 상호작용 메커니즘에 대한 이해도 부족한 실정이다. 예를 들어, 곡물 시스템에서 경관의 효과, 서식지 다양성 및 종 다양성 관리의 영향에 대한 최근의 연구에서 Weibull 등(2003)은 농장 지대나 개별 곡물포장, 생물학적 방제에 있어 carabids, 반날개 딱정벌레의 일종, 거미 종의 다양성 사이에는 직접적인 관계가 없다는 것을 밝혀냈다. 그들은 종의 풍부함 그 자체는 생물학적 방제에 대한 전반적인 유효성에 있어서 땅과 앞에 있는 포식자, 봄과 여름 동식물, 그리고 낮과 밤에 활동하는 종들과 마찬가지로 전반적인 생물적방제 효과 측면에서는 서로 다른 포식자군의 높은 다양성만큼은 중요하지 않다는 결론을 내렸다. 즉, 효과적인 자연적 방제의 열쇠는 해충 종과 천적 간의 기능적 상보성을 최대화하는 데 있다는 것이다. 불행히도, 다종의 포식자 조합의 특성 발현을 결정하는 상보성과 그 요인들에 대한 우리의 지식은 아직 매우 제한적이다 (Schmidt et al. 2003). 거미 종들간의 미소 서식 환경과 기능적 상보성에 관여하는 중요한 영역 분할의 증거가 있음에도 불구하고 (Sunderland 1999) 일부 다른 연구들은 천적들간의 상호간에도 상당한 상보성이 있음을 보고하고 있다 (Snyder and Wise 1999). 또한, 포식자들 간의 상승적 상호작용의 예에도 불구하고(예: 잎 위의 포식자들은 진딧물이 땅으로 떨어지게 함으로써 땅 위의 포식자에 대한 취약성을 높이는 경우 Losey and Denno 1998), 포식자 집단 간의 포식 같은 과정들은 생물학적 방제를 매우 교란시킬 수도 있다 (Rosenheim et al. 1995; Snyder and Ives 2001; Finke and Denno 2004).

앞에서 복잡성의 종류를 살펴보았으므로, 우리는 이제 생물다양성과 생태계 기능 사이의 연관성의 본질과 천적들간의 상보성의 범위를 결정하는 생태적인 요인들에 대해 더욱 상세하게 탐구해 보고자 한다. 실험 연구에서 공통적으로 관찰되는 관계와 유사한 생물다양성과 생태계 기능간의 관계에 있어 기율기가 종간의 상보성의 양에 의존하는 가설상의 정의 상관관

계를 생각해 보자 (그림 10.3). 어떤 과정에서 모든 종들은 동등하고 겹치지 않는 효과를 준다고 할 때 (완벽한 상보성) 종의 풍부함이 감소하면 과정의 진행률에서는 직선적인 감소가 일어날 수 있다. 정반대의 경우, 만약 상보성이 없다면 (기능에 관해서 종은 풍부하다), 남아있는 종들은 사라진 종들을 보완할 수 있으며 마지막 기능적인 종이 사라졌을 때 기능의 갑작스럽고 완전한 상실이 나타날 것이다. 평균 기능 비율과 다양성간의 관계의 형태와는 별도로, 종의 구성은 종종 기능 비율을 결정함에 있어 큰 역할을 하는 것이 이미 보고되어 있다. 종의 구성 효과는 종의 풍부함과 과정진행률의 관계에 있어 변수를 증가시킨다. 다른 종들보다 진행률에 더 큰 영향력을 가지는 단일종의 (예: 핵심종) 극단적인 경우, 관찰된 관계는 상실되는 종의 순서에 따라 반응의 폭넓은 범위 내에서 어떤 궤도를 택할 것이다 (Sala et al. 1996). 포식자 군집내 포식 등 종들 간에 현저한 부정적인 상호작용의 경우, 종의 풍부함이 감소할수록 기능은 더욱 증가할 수 있다. 조합적 효과가 강할 경우에는 종의 풍부함은 진행률의 예측에 도움이 안될 수도 있으며 이럴 경우에는 종 간의 특성 차이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다. 해충방제 기능에 관한 최근의 연구결과들에 따르면 어떤 종의 생활사 특성을 이용하여 생물다양성과 생태계 기능과의 관계 양상을 예측할 수 있고 종 구성 효과가 강하게 나타나는지 여부도 알아 볼 수 있다고 한다 (Wilby and Thomas 2002b).

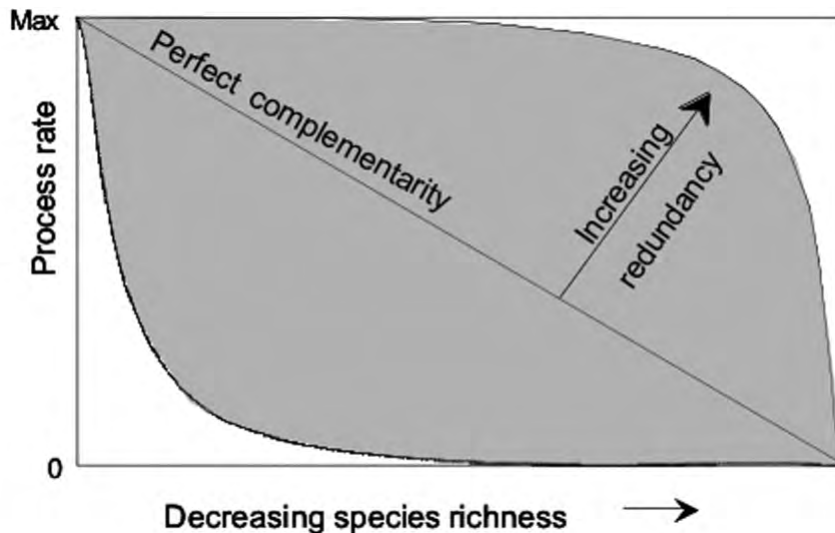


그림 10.3-종 다양성 감소에 대한 생태계 기능의 반응 가설. 만약 종이 풍부한 경우에는 반응과정이 최고점에 도달했을 때 기능의 심각한 저하로 인해 감소하는 반면, 종이 각각 상보적으로 역할을 할 경우에는 반응이 직선적으로 변한다.

예를 들어, 해충의 생활사에서 그것이 내시류 혹은 외시류 곤충인 것과 같은 주된 차이점은 그들을 공격하는 천적의 수와 다양성에 중요한 영향력을 가질 수 있다 (Wilby and Thomas 2002b). 내시류 곤충들은 알, 유충, 번데기, 그리고 성충 사이에서 극적인 형태학적, 행동적 변화를 겪고, 이러한 생활단계들은 종종 서로 다른 먹이를 섭취하고 다른 장소를 장악함으로써 매우 다른 생태적 역할을 수행한다. 반대로 외시류 곤충들은 종종 유사한 장소를 장악하고 비슷한 먹이를 섭취함으로써, 생활단계들간에 점진적인 변화를 경험한다. 이러한 차이의 결과로, 우리는 이러한 곤충의 종류와 그들의 천적 사이에서의 연결 구조의 차이를 기대할 수 있다. 내시류 곤충들과 상호 작용하는 천적 복합체는 식식자들의 특정한 생활단계를 공격하는 그룹으로 크게 분화되어야만 하는데, 성충을 먹이로 삼는 대부분의 천적들이 유충이나 번데기 도 먹을 것이라고는 기대하기 어렵기 때문이다. 이런 경우는 특정한 내시류 곤충들에서 관찰된다(예: Barrion et al. 1991; Mills 1994; Luna and Sánchez 1999). 그러나 장소 장악 및 행동에서의 유사성 때문에 외시류 곤충을 먹이로 하는 천적들은 애벌레와 성충 둘 다를 먹는 것으로 예상된다. 생활사 구조로 인해 내시류 곤충을 먹이로 삼는 천적 복합체는 외시류 곤충을 먹이로 삼는 것들보다 종들 사이에서 더 큰 상보성을 나타내야만 한다. 내시류 곤충 천적간의 더 큰 상보성은 천적 다양성의 극심한 감소 후에 해충방제 기능의 갑작스런 손실과 더불어 외시류의 역제가 더 저항력 있는 것과는 반대로, 감소하는 천적 종 다양성과 더불어 점진적인 해충방제기능의 손실을 불러일으킬 수 있다. 이러한 예측들은 아시아의 벼 생산 시스템이 집약화함에 따라 나타난 해충 발생 패턴과 일치하였다 (Wilby and Thomas 2002b).

식식자 생활사의 다른 측면은 해충방제 기능과 밀접한 관계를 가진 천적 복합체의 풍부함이나 특성에 영향을 미치기 쉽다는 것이다. 예를 들면, 형태적이거나 행동적인 은폐는 식식자와 천적 사이의 군집 변화에 밀접한 연관관계를 촉진시키는 경향이 있다. 그러므로 은폐된 식식자에게 있어서는 특화된 기생자가 일반적인 포식자에 비해 더 중요하며 (Memmott et al. 2000) 은폐된 식식자는 특화된 기생자보다는 일반적인 기생자에 의해 더 공격을 받는 것으로 알려져 있다 (Hawkins 1990; Hawkins and Gross 1992). 본질적으로, 특화된 천적과 해충 간의 밀접한 관계는 종 구성 효과의 중요성을 부풀리고 무작위적인 종 감소에 대한 반응의 불확실성을 증가시킨다.

초식성 곤충의 수명은 또한 천적 복합체의 풍부함과 특성에 대한 중요한 영향을 준다. 초식 종의 수명이 짧아질수록 초식자와 생물기후학적으로 공통점이 있는 천적 종의 수 또한 감소한다. 이러한 결과는 초식자를 공격하는 기생자 종의 풍부 도에도 영향을 미치는 것으로 보여진다(Cornell and Hawkins 1993). 결과적으로, 수명이 짧은 해충의 역제는 외시류 곤충의 경우에는 전 생활사에 걸쳐, 내시류 곤충의 경우에는 생활사 안에서 중복성이 낮은 천적군에 의존해야 한다. 어떤 경우에도 수명이 짧은 곤충의 방제는 평균적으로 천적종의 감소에 따른

반응으로 방제효과가 빨리 감소하게 된다.

이러한 예들이 시사하는 것은 유기체의 기본적인 생활사 특성들이 해충방제 기능을 결정함에 있어서 다양성과 종의 구성의 상대적인 중요성에 대한 예측을 다르게 할 수 있다는 것이다. 따라서 어떤 종류의 해충이 어떤 천적종에 의해 방제가 될 수 있는지 예측한다거나 어느 다양한 천적군이 더 방제효과가 높을 것이라는 것을 예측하는데 있어 종의 구성과 다양성 중 천적 군집에 더 많은 영향을 주는 것이 무엇인지에 대한 논쟁 이상의 관점이 필요하다는 것이다. 농업적 관리가 어떻게 해충의 발생에 영향을 미치는지 이해하기 위해서는 이러한 정보를 앞에서 논의한 농업생태계 내의 절지동물 군집 구조와 연결지어 보아야 할 것이다.

해충 발생과 농업생태계 관리

두 가지 생태학적 기본틀의 연결이 서로 다른 종류의 농업생태계 관리에 대해 반응하는 자연적인 해충방제 기능을 예측하는데 어떤 도움을 줄 수 있을까? 벼멸구(Delphacidae)와 매미충(Cicadellidae)과 같은 노출된 외시류 해충들에 대해, 우리는 천적 종 감소에 저항하는 천적에 의한 억제를 예측할 수 있을 것이다. 그러나 살충제 사용과 같은 어떤 관리 기술은 천적 다양성에 큰 영향을 주며 비기능적 천적 조합에 영향을 미칠 수 있다. 그러한 영향은 아시아 관개 벼 생태계에서 벼멸구(*Nilaparvata lugens*)에 대한 좋은 연구 사례에 의해 제시되었다. 벼멸구는 일반적으로 천적에 의해 잘 억제되는 편이지만 종종 살충제 사용 후 밀도가 회복되어 다시 해충이 된다 (Kenmore et al. 1984; Heong 1991). 이러한 현상의 메커니즘은 잘 설명되었고, 그것은 벼멸구 밀도가 낮을 때 부식성 곤충들에 의해 유지되는 일반 포식자 군집의 거의 완벽한 제거가 해충으로서의 벼멸구의 발생 원인인 듯 했다 (Settle et al. 1996). 벼멸구는 어느 정도의 살충제에 대한 회피를 통해 일부가 살아남아 멀리 도망감으로써 벼 포장에서 빨리 재정착할 수 있으며 증식률이 매우 높다 (Heinrichs and Mochida 1984). 벼멸구가 천적을 피한 것 보다는 멀리 분산하고 환경 및 생물적 제한요소들에 대해 성공적으로 적응함으로써 해충이 된다는 것이다. 따라서 효과적인 방제는 해충 종이 부족할 때 포식자를 위한 대체 먹이가 제공되고 살충제의 사용을 제한함으로써 대부분 달성할 수 있다. 내시류 초식자의 방제는 천적 종 다양성의 감소에 보다 민감할 것으로 예측된다. 벼 집약재배의 초기단계에서 내시류 해충의 발생은 천적 다양성의 유지를 보장하는 관리를 통해 회피할 수 있다. 앞서 지적했다시피, 천적의 풍부도와 다양성에 관해서는 경작되지 않은 토지의 효과에 대해 많은 연구보고서가 있다. 우리의 기본틀에 의하면, 농작물 가까이 있는 경작되지 않은 지역은 농작물 서식지 밖에서 생활사의 일부를 보내는 천적 종의 분산 방해요인들을 완충하는 역할을 한다. 동시에 아주 근접한 농작물 서식지는 더욱 특화된 곤충들의 정착 기회를 증가시킨

다. 물론, 여기에 초식자들도 포함되지만 우리는 통상적인 해충종의 발생은 천적에 의한 방제를 수반하므로 잠재적인 해충종의 정착은 그들의 천적 정착이 방해받지 않는 한 문제가 되지 않는다는 점을 근거로 하고 있다.

은폐된 식식자들에 대해서는 특정한 종이나 천적군의 관리 효과를 예측하기 위해 보다 자세한 조합의 기본틀을 이용할 필요가 있다. 은폐된 식식자들은 포식자에 보다는 기생자에 의해 더 공격을 받으므로 이런 특성은 기능적 천적 조합의 지속성과 복잡한 관계가 있다. 기생자는 포식자보다 더 특화되어 있으며 따라서 더 적은 수의 기주종에 의존할 가능성이 있다. 예를 들면, 해충의 발생과 천적의 밀도 증가 사이에는 기주 밀도의 증가와 천적의 대응에 따른 불가피한 시간적 차이가 있다. 이것은 천적이 해충 수를 억제하기 전에 해충이 피해를 주는 밀도에 도달할 가능성을 증가시키므로, 안정적인 기생자-기주 간의 밀도변동을 유지하기 위한 관리 목표가 중요하다. 이는 농작물(생물학적 장애들의 경감) 내, 혹은 가까이에 있는 잡초들로부터 제공되는 밀원과 휴경 기간 동안 기생자의 생존을 용이하게 하는 휴한지 관리의 변화들(환경적 장애들의 경감), 그리고 지역 내 군집 형성의 기반을 확보하는 경관 관리(동식물 확산 장애들의 경감) 등 기생자를 위한 보완적인 먹이의 공급을 수반할 수 있다. 경관관리는 먹이사슬에서의 위치와 몸의 크기 때문에 식생 분화에 민감한 특화된 곤충에 있어서 더욱 중요할 가능성이 있다 (Tscharrntke and Brandl 2004).

대체적 또는 보완적인 활동이 효과적인 일반 천적 복합체의 발생을 도와주거나 해충에 저항성인 품종 이용을 통해 (Thomas 1999) 밀도가 올라가는 것을 지연시키거나 (기본적으로 추가적인 밀도 비의존성 치사율 제공) 해충밀도 싸이클의 초기에 기생성 천적을 방사하는 것도 방법이 될 수 있다. 이러한 접근 방법은 아프리카벼혹파리(*Orseolia oryzivora*)의 방제에 있어서 2종의 기생자들이 혹파리의 밀도를 억제하는 것으로 알려져 있으나 억제 효과가 너무 늦게 나타나 작물의 경제적 피해를 막을 수 없는 경우가 그 예로 보고되어 있다 (F. Nwilene, pers. comm., 2002). 흥미롭게도, 해충 밀도 억제가 소수의 특화된 천적에 의존하는 경우라 하더라도 이러한 일반 천적의 보조적 역할은 전반적인 시스템에서 천적 다양성의 중요도를 증가시킨다. 이것은 적용하고자 하는 시스템의 내용에 생태학적인 관점을 포함시키는 것이 중요하다는 것을 시사한다 (여기에서는 경제적인 해충방제 관점이므로 군집변동 관점은 별개임).

결론

해충과 천적간의 상호작용에 대해 생태학적 이론 조합과 생물다양성의 기능을 적용함으로써 농업 생태계 관리에 대응한 해충 방제의 반응에 관해 여러 가지의 가설들이 도출되었다. 간소화된 먹이

사슬에 대한 고찰은 특정 요소를 가진 해충들이 천적 다양성의 감소에 어떻게 반응하는지에 대한 예측을 가능케 한다. 우리의 분석 결과, 주로 일반 천적에 의해 억제되는 해충들은 천적의 다양성이 감소되면 역치까지 증가하거나 아니면 점진적인 억제력의 소실을 나타낼 것으로 예측된다. 이러한 종들을 위해서는 생물적, 환경적, 확산장애물의 조절을 통해 천적 다양성을 유지하기 위한 관리기술이 일반적으로 해충발생을 예방하는데 적절할 것이다. 반면, 특정 천적에 의해 관리되는 식식성 해충들은 천적 다양성의 감소에 대해 예측 불가능한 반응을 나타낼 것이다. 이러한 경우, 해충과 천적에 대한 확산 및 정착 과정들에 대한 이해가 천적 다양성 감소 시 해충억제 반응을 예측하는데 필요하다. 특화된 천적에 대한 일반적인 생물적 이론들은 우리의 농업적 관리가 그들의 풍부도를 결정하는 확산, 환경, 생물적 장애요인들에 대해 어떻게 작용하는지 예측을 가능케 해 준다.

우리의 관점에서, 생물다양성의 조합과 기능의 생태적 과정을 연계시킴으로써 인간의 활동들이 생물다양성 효과를 통해 생태계 기능에 어떤 영향을 끼치는지 답할 수 있게 되었다. 우리는 종의 어떤 인자가 인간이 유발한 생태계 변화에 대한 반응과 그들의 기능적 특성을 연계시키는지 알게 되었다. 비록 우리의 논의가 해충방제에 국한되어 있지만, 이와 유사한 접근방법들이 그 외의 생태계 진행과정에 대한 관리 효과를 보다 더 정확하게 예측해 줄 수 있을 것으로 생각한다. 생태계 과정 및 유기체의 상세한 생물학적 특성들에 대한 고찰은 다양성의 효과가 더 중요한가 아니면 구성 효과가 중요한가라는 논쟁에서 벗어나게 해 줄 수도 있을 것이다.

참고 문헌

- Afun, J. V. K., D. E. Johnson, and A. Russell-Smith. 1999. Weeds and natural enemy regulation of insect pests in upland rice: A case study from West Africa. *Bulletin of Entomological Research* 89:391-402.
- Altieri, M. A. 1991. Increasing biodiversity to improve insect pest management in agroecosystems. In D. Hawksworth, ed., *The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture*. Wallingford, UK: CAB International.
- Altieri, M. A. and L. L. Schmidt. 1986a. Cover crops affect insect and spider populations in apple orchards. *California Agriculture* 40:15-17.
- Altieri, M. A. and L. L. Schmidt. 1986b. The dynamics of colonizing arthropod communities at the interface of abandoned, organic and commercial apple orchards and adjacent woodland habitats. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 16:29-43.

- Andow, D. A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36:561-586.
- Barrion, A. T., J. A. Litsinger, E. B. Medina, R. M. Aguda, J. P. Bandong, P. C. Pantua Jr., V. D. Viajante, C. G. de la Cruz, C. R. Vega, J. S. Soriano Jr., E. E. Camañg, R. C. Saxena, E. H. Tyron, and B. M. Shepard. 1991. The rice *Cnaphalocricis* and *Marasmia* (Lepidoptera: Pyralidae) leafroller complexes in the Philippines: Taxonomy, bionomics and control. *Philippines Entomologist* 8:987-1074.
- Belyea, L. R. and J. Lancaster. 1999. Assembly rules within a contingent ecology. *Oikos* 86:402-416.
- Carmona, D. M. and D. A. Landis. 1999. Influence of refuge habitats and cover crops on seasonal activity- density of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in field crops. *Environmental Entomology* 28:1145-1153.
- Chapin, F. S., B. H. Walker, R. J. Hobbs, D. U. Hooper, J. H. Lawton, O. E. Sala, and D. Tilman. 1997. Biotic control over the functioning of ecosystems. *Science* 277:500-504.
- Cohen, J. E., K. Schoenly, K. L. Heong, H. Justo, G. Arida, A. T. Barrion, and J. A. Litsinger. 1994. A food- web approach to evaluating the effect of insecticide spraying on insect pest population- dynamics in a Philippine irrigated rice ecosystem. *Journal of Applied Ecology* 31:747-763.
- Cornell, H. V. and B. A. Hawkins. 1993. Accumulation of native parasitoid species on introduced herbivores: A comparison of hosts as natives and hosts as invaders. *American Naturalist* 141:847-865.
- de Kraker, J., R. Rabbinge, A. van Huis, J. C. van Lenteren, and K. L. Heong. 2000. Impact of nitrogenous-fertilization on the population dynamics and natural control of rice leafrollers (Lep.: Pyralidae). *International Journal of Pest Management* 46:219-224.
- Dyer, L. A. and G. Gentry. 1999. Predicting natural- enemy responses to herbivores in natural and managed systems. *Ecological Applications* 9:402-408.
- Finke, D. L. and R. F. Denno. 2004. Predator diversity dampens trophic cascades. *Nature* 429:407-410.
- Fridley, J. D. 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: How, where, and why? *Oikos* 93:514-526.

- Ghilarov, A. M. 2000. Ecosystem functioning and intrinsic value of biodiversity. *Oikos* 90:408–412.
- Gurr, G. M., S. D. Wratten, and J. M. Luna. 2003. Multi- function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology* 4:107–116.
- Hawkins, B. A. 1990. Global patterns of parasitoid assemblage size. *Journal of Animal Ecology* 59:57–72.
- Hawkins, B. A., H. V. Cornell, and M. E. Hochberg. 1997. Predators, parasitoids, and pathogens as mortality agents in phytophagous insect populations. *Ecology* 78:2145–2152.
- Hawkins, B. A. and P. Gross. 1992. Species richness and population limitation in insect parasitoid–host systems. *American Naturalist* 139:417–423.
- Heinrichs, E. A. and O. Mochida. 1984. From secondary to major pest status: The case of insecticide- induced rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resurgence. *Protection Ecology* 1:201–218.
- Heong, K. L. 1991. Management of the brown planthopper in the Tropics. In *Migration and Dispersal of Agricultural Insects*, 269–279, Tsukuba, Japan, September 25–28, 1991.
- Hooper, D. U. 1998. The role of complementarity and competition in ecosystem responses to variation in plant density. *Ecology* 79:704–719.
- Horn, D. J. 1988. *Ecological Approach to Pest Management*. New York: Guilford.
- Huston, M. A. 1997. Hidden treatments in ecological experiments: *Re-evaluating* the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110:449–460.
- Keddy, P. A. 1992. Assembly and response rules: Two goals for predictive community ecology. *Journal of Vegetation Science* 3:157–164.
- Kelt, D. A., M. L. Taper, and P. L. Meserve. 1995. Assessing the impact of competition on community assembly: A case- study using small mammals. *Ecology* 76: 1283–1296.
- Kenmore, P. E., F. O. Cariño, C. A. Perez, V. A. Dyck, and A. P. Gutierrez. 1984. Population regulation of the rice brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) within rice fields in the Philippines. *Journal of Plant Protection in the Tropics* 1:19–37.
- Knops, J. M. H., D. Tilman, N. M. Haddad, S. Naeem, C. E. Mitchell, J. Haarstad, M. E. Ritchie, K. M. Howe, P. B. Reich, E. Siemann, and J. Groth. 1999. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and

- diversity. *Ecology Letters* 2:286–293.
- Kruess, A. and T. Tschardt. 1994. Habitat fragmentation, species loss, and biological control. *Science* 264:1581–1584.
- Landis, D. A., S. D. Wratten, and G. M. Gurr. 2000. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. *Annual Review of Entomology* 45:175–201.
- Lawton, J. H. and V. K. Brown. 1993. Redundancy in ecosystems. In E.- D. Schulze and H. A. Mooney, eds., *Biodiversity and Ecosystem Function*, 255–270. Berlin: Springer-Verlag.
- Letourneau, D. K. and B. Goldstein. 2001. Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *Journal of Applied Ecology* 38:557–570.
- Loevinsohn, M. E. 1994. Rice pests and agricultural environments. In E. A. Heinrichs, ed., *Biology and Management of Rice Insects*, 487–513. New Delhi: Wiley Eastern.
- Loreau, M. and A. Hector. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* 412:72–76.
- Losey, J. E. and R. F. Denno. 1998. Positive predator–predator interactions: Enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology* 79:2143–2152.
- Luna, M. and N. Sánchez. 1999. Parasitoid assemblages of soybean defoliator Lepidoptera in north- western Buenos Aires province, Argentina. *Agricultural and Forest Entomology* 1:255–260.
- Mommott, J., N. D. Martinez, and J. E. Cohen. 2000. Predators, parasites and pathogens: Species richness, trophic generality and body sizes in a natural food web. *Journal of Applied Ecology* 69:1–15.
- Menalled, F. D., P. C. Marino, S. H. Gage, and D. A. Landis. 1999. Does agricultural landscape structure affect parasitism and parasitoid diversity? *Ecological Applications* 9:634–641.
- Mills, N. J. 1994. Parasitoid guilds: Defining the structure of the parasitoid communities of endopterygote insect hosts. *Environmental Entomology* 23:1066–1083.
- Mooney, H., J. Lubchenco, R. Dirzo, and O. Sala. 1995a. Biodiversity and ecosystem functioning: Basic principles. In V. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*,

- 279–323. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mooney, H., J. Lubchenco, R. Dirzo, and O. Sala. 1995b. Biodiversity and ecosystem functioning: Ecosystem analyses. In V. Heywood, ed., *Global Biodiversity Assessment*, 347–452. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Naeem, S. 2000. Reply to Wardle et al. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81:241–246.
- Naeem, S., F. S. Chapin III, R. Costanza, P. R. Ehrlich, F. B. Golley, D. U. Hooper, J. H. Lawton, R. V. O'Neill, H.A. Mooney, O. E. Sala, A. J. Symstad, and D. Tilman. 1999. Biodiversity and ecosystem functioning: Maintaining natural life support processes. *Ecological Society of America. Issues in Ecology* 4:1–12.
- Naeem, S. and S. B. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390:507–509.
- Naylor, R. L. and P. R. Ehrlich. 1997. Natural pest control services and agriculture. In G. C. Daily, ed., *Nature's Services*, 151–174. Washington, DC: Island Press.
- Ooi, P. A. C. and B. M. Shepard. 1994. Predators and parasitoids of rice insect pests. In E. A. Heinrichs, ed., *Biology and Management of Rice Insects*, 586–612. New Delhi: Wiley Eastern.
- Petchey, O. L., P. T. McPhearson, T. M. Casey, and P. J. Morin. 1999. Environmental warming alters food-web structure and ecosystem function. *Nature* 402:69–72.
- Pimentel, D. 1961. Species diversity and insect populations outbreaks. *Annals of the Entomological Society of America* 54:76–86.
- Rosenheim, J. A., H. K. Kaya, L. E. Ehler, J. J. Marois, and B. A. Jaffee. 1995. Intraguild predation among biological- control agents: Theory and evidence. *Biological Control* 5:303–335.
- Sala, O. E., W. K. Lauenroth, S. J. McNaughton, G. Rusch, and X. Zhang. 1996. Biodiversity and ecosystem functioning in grasslands. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E. D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 129–149. New York: Wiley.
- Schläpfer, F., B. Schmid, and I. Seidl. 1999. Expert estimates about effects of biodiversity on ecosystem processes and services. *Oikos* 84:346–352.
- Schmidt, M. H., A. Lauer, T. Purtauf, C. Thies, M. Schaefer, and T. Tschardtke. 2003. Relative importance of predators and parasitoids for cereal aphid control. *Proceedings*

- of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences 270:1905-1909.
- Schwartz, M. W., C. A. Bringham, J. D. Hoeksema, K. G. Lyons, M. H. Mills, and P. J. van Mantgem. 2000. Linking biodiversity to ecosystem function: Implications for conservation ecology. *Oecologia* 122:297-305.
- Settle, W. H., H. Ariawan, E. T. Astruti, W. Cahyana, A. L. Hakim, D. Hindayana, A. S. Lestari, and P. Sartanto. 1996. Managing tropical pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77:1975-1988.
- Snyder, W. E. and A. R. Ives. 2001. Generalist predators disrupt biological control by a specialist parasitoid. *Ecology* 82:705-716.
- Snyder, W. E. and D. H. Wise. 1999. Predator interference and the establishment of generalist predator populations for biocontrol. *Biological Control* 15:283-292.
- Sunderland, K. 1999. Mechanisms underlying the effects of spiders on pest populations. *Journal of Arachnology* 27:308-316.
- Swift, M. J., J. Vandermeer, P. S. Ramakrishnan, J. M. Anderson, C. K. Ong, and B. A. Hawkins. 1996. Biodiversity and agroecosystem function. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, and E. D. Schulze, eds., *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, 261-297. New York: Wiley.
- Thies, C. and T. Tscharntke. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285:893-895.
- Thomas, M. B. 1999. Ecological approaches and development of "truly integrated" pest management. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 96:5944-5951.
- Thomas, M. B., S. D. Wratten, and N. W. Sotherton. 1991. Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: Predator densities and emigration. *Journal of Applied Ecology* 28:906-917.
- Thomas, M. B., S. D. Wratten, and N. W. Sotherton. 1992. Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: Predator densities and species composition. *Journal of Applied Ecology* 29:524-531.
- Tilman, D., C. L. Lehman, and K. T. Thomson. 1997. Plant diversity and ecosystem productivity: Theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 94:1857-1861.
- Tonhasca, A. and D. N. Byrne. 1994. The effects of crop diversification on herbivorous

- insects: A meta- analysis approach. *Ecological Entomology* 19:239-244.
- Tscharntke, T. and R. Brandl. 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annual Review of Entomology* 49:405-430.
- Wain house, D. and T. H. Coaker. 1981. The distribution of carrot fly (*Psila rosae*) in relation to the fauna of field boundaries. In J. M. Thresh, ed., *Pests, Pathogens and Vegetation: The Role of Weeds and Wild Plants in the Ecology of Crop Pests and Diseases*, 263-272. London: Pitman.
- Walker, B. H. 1992. Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:18-23.
- Wardle, D. A. 1999. Is "sampling effect" a problem for experiments investigating biodiversity-ecosystem function relationships? *Oikos* 87:403-407.
- Wardle, D. A., M. A. Huston, J. P. Grime, F. Berendse, E. Garnier, W. K. Lauenroth, H. Setälä, and S. D. Wilson. 2000. Biodiversity and ecosystem function: An issue in ecology. *Bulletin of the Ecological Society of America* 81:235-239.
- Weibull, A. C., O. Östman, and A. Granqvist. 2003. Species richness in agroecosystems: The effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12:1335-1355.
- Wellnitz, T. and N. Poff. 2001. Functional redundancy in heterogeneous environments: Implications for conservation. *Ecology Letters* 4:177-179.
- Wilby, A. and M. B. Thomas. 2002a. Are the ecological concepts of assembly and function of biodiversity useful frameworks for understanding natural pest control? *Agricultural and Forest Entomology* 4:237-243.
- Wilby, A. and M. B. Thomas. 2002b. Natural enemy diversity and natural pest control: Patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecology Letters* 5:353-360.
- Yachi, S. and M. Loreau. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 96:1463-1468.

11. 전통적인 농업생태계에서의 농작물 병해 관리

유전자 다양성의 이익과 위험

D. I. JARVIS, A. H. D. BROWN, V. IMBRUCE, J. OCHOA, M. SADIKI,
E. KARAMURA, P. TRUTMANN, AND M. R. FINCKH

수 천년 간, 농민들은 그들의 농작물과 생계를 위협하는 해충과 병해에 맞서 싸워왔다. 재배종 품종 또는 지방종과 같은 유산은 집단 간 또는 집단 안에서 공히 주목할 만큼 유전적으로 다양하다. 자연스럽게 생기는 의문은, 농업의 다양성(특히 기주와 병원균의 상호작용에 영향을 미치는 유전자에 대한) 유지가 농민들에게 농작물 병해에 대처하는 효과적인 전략이 될 것인지, 또는 반대로 병원균 집단이 나쁜 방향으로 진화하는 기회를 주는 것인가에 대한 것이다. 바꾸어 말하면, 농작물 유전자의 다양성이 농작물 병해를 적절히 감소시키는데 도움이 되는 것인가 또는 이것이 초강력 병원균의 출현에 대한 여지를 제공할 위험이 있는 것인지에 대한 의문이다.

두 개의 상충된 가설이 농업에 있어 유전적 다양성을 최상으로 관리하기 위해 해결하여야 할 주요한 문제를 요약하였다. 이 가설들은, 농민이 저항성 구조에 있어서 유전자형을 혼합하여 만들 수 있는 혼작에 의존하여야 하는지 또는 한 가지 형태의 저항성으로 보호되는 한 작물품종의 단작에 의존하든지 하는 문제로 아주 자세히 설명할 수 있다.

다양성 이익의 가설에 따르면, 저항성의 다양한 유전적인 토대가 농민들에게 이익이 된다는 것으로 이는 단작이 허용하는 것보다 병에 걸릴 가능성에 대하여 보다 안정적인 관리를 가능케 한다는 것이다. 이는 얼마나 단작의 저항성이 쉽게 파괴되고 전체 집단이 절멸할 수 있는지를 이론과 경험이 적시하고 있기 때문이다. 유전적으로 다양한 포장에서 상당한 병 피해를 일으키기 위해서는 상이한 유형의 저항성이 동시에 붕괴되는, 일어나기 어려운 사건이 발생하여야 한다.

그에 맞서는 가설인 다양성 위험 가설은 다수의 유전자(multigenic)를 가진 품종, 즉 유전학적으로 상이한 몇 가지 주동 유전자 저항성이 결합된 품종을 단일재배하는 것이 병원균 집단을 작은 상태로 유지하기 때문에 더 안정적이라는 것이다. 모든 저항성을 극복하는데 필요한 양자 결합 또는 다수의 돌연변이는 극도로 드물 것이다. 완전한 대비되는 내용으로서, 이 이론은 혼합된 기주 집단이 다양한 병원형에 저항성을 달리하는 유전인자를 가지고 있어서 다양한

병원균 집단이 형성되고, 한 단계의 돌연변이나 재조합을 거쳐 초병원성 병원균이 형성될 가능성이 있다는 것이다. 이러한 주장 뒤에 본 이론은 많은 논의(Mundt 1990, 1991; Kolmer et al. 1991)를 할 수 있으나 초병원성 균의 위협을 실험적으로 측정하기는 어렵다.

이번 장에서는 지방종 품종의 다양성이 병원균에 대한 유전적 이병성을 감소시키는 것과 관련된 증거에 대해 살펴보았다. 이러한 연구의 최종 목적은 지방종 품종이나 유전자형을 이용하는 것이 병해충 발생에 있어서 언제, 어떻게 농민들에게 도움을 줄지 발견하는 데 있다. 우리는 병원균의 압력을 관리하는데 있어 다양성의 적정 이용을 판단하고, 두 가설 간 결정을 하기 위해서 어떤 연구가 필요한지를 토의하였다. 끝으로 농민은 기주 병원균-환경의 삼각형의 중심에 있고 오랫동안 관리된 지방종 품종(재래종)과 저투입 농업체계는 기주-병충해-환경과 농민의 역동적 교호작용으로 이루어진 유전적 변이의 보고임을 주목한다.

유전적 취약성과 유전적 균일성

일찌기 1930년대에 농학자들은 단일의 균일 품종의 대면적 재배에 따른 잠재적인 피해 가능성을 인식했다(Marshall 1977). 이러한 경우를 유전적 취약성이 높아진다고 하는데 병의 대발생 위험이 증가하기 때문이다. 유전적으로 다양하게 재배하여 위험성의 감소를 기대하는 것은 다양성이 익 가설과 맥을 같이 한다. 한편으로, 병해 발생은 특히 개발도상국에서의 생산에 큰 영향을 미친다. 전 세계의 연간 수확량의 30% 정도의 손실 중 대부분은 개발도상국에서 발생한 병해충에 의하여 손실된다(Oerke et al. 1994). 표면상으로, 다양성 위험 가설은 재래품종들이 그러한 손실을 일으키기 쉬울 것으로 예측하고, 개발도상국에서의 병해의 심각성을 설명한다. 그러나 전통적인 시스템에서 환경적, 그리고 농법의 복잡성을 무시한 저항성 유전자 개발에 부적절하거나 제한된 전략들이 쓰인 것이 이러한 일반화의 근거에 놓여있을지 모른다.

1840년대에 발생한 잎마름병(late blight) 병원균 침입의 결과인 아일랜드 감자 기근은 유전적 균일성이 수반하는 유전적 취약성과 작물의 막대한 손실로 이르게 이의 극단적인 예이다(Schumann 1991). 또 다른 것으로는 1979-1980년에 단일 품종이 사탕수수 지대의 40%에 이르는 쿠바의 사탕수수를 습격한 녹병균(*Puccinia melanocephala*에 기인)으로서, 손실액이 미화 5억 불에 이르렀다(FAO 1998:32). 옥수수깨씨무늬병(*Cochliobolus carbonum*에 기인)은 1970년대 미국 옥수수에 10억 불의 손실을 끼쳤으며(Ullstrup 1972), 바나나의 5대 주요 상업 재배종이 진균성 병해인 블랙 시가토카(*Mycosphaerella fijiensis*에 기인)에 감염되어 중앙 아메리카 국가에서 바나나 수량이 약 47% 감소되는 결과를 낳았다(FAO1998). 병 방제 방법이 있음에도 불구하고, 8년 이상 중앙 아메리카, 콜롬비아, 그리고 멕시코에 미화 3억5천만 불의

대가를 치르게 했고 살충제에의 노출에 의한 심각한 인류 건강 상 문제점을 야기시켰다. 카사바 모자이크 바이러스(Cassava mosaic virus)는 많은 사람이 중요한 영양 공급원으로 카사바를 이용하고 있는 아프리카의 일부지역에서 40%에 이르는 수량 손실을 야기시켰다. 전세계에 재배되는 대부분의 천연고무 클론은 매우 제한된 유전자 변이에 이용한 교배육종에서 유래되었다. *Microcyclus ulei*가 일으키는 남미 잎마름병은 남미의 천연고무 농장에 막대한 피해를 준 적이 있으며 잎마름병의 변이성 커서 그곳의 천연고무 개발에 주요 걸림돌로 남아있다 (Rivano 1997). 고무나무 잎마름병의 실질적인 위협은 고무의 90%가 생산되는 아시아에 있다. 현재 이 지역은 무병지대이나, 재배하는 클론은 매우 병에 약한 것으로 판단된다(Compagnon 1998; Kennedy and Lucks 1999).

넓은 지역에 걸쳐 널리 이용되는 저항성 유전자를 붕괴하는 새로운 병해충 레이스의 분화는 심각한 손실을 야기한다. 새로운 저항성 유전자를 가진 신품종이 육성되면 그 저항성은 새로운 병원성 계통이 나타날 때까지 불과 몇 작기 동안 작물을 보호할 수 있다. 그러나 유전자 이용은 병원균의 복잡성을 증가시킬 수 있다. 예를 들면, 다양성 위험 가설을 암시하는 예로서 에콰도르 퀴노아(quinoa) 쌀보다 조금 작은 둥근 모양으로 조리가 쉽고 단백질·녹말·비타민·무기질이 풍부하여 영양 면에서 우유에 버금가는 곡물(네이버 백과사전)의 재래종은 저항성 유전자를 사용하기 전에는 흔한 저병원성 노균병 균주에 저항성이었다. 그러나 저항성 재래종의 확대 재배와 더불어, 이용된 모든 과민성 반응 저항성에 병원성인 병균 균주가 발달하였다(Ochoa et al. 1999; 박스 11.1). 그렇지만 실제적인 발병역학적 결과는 저항성 재래종 품종의 경작 범위를 알 수 없기 때문에 추정하기 어렵다.

박스 11.1 에콰도르에 있어서 새로운 저항성 품종의 보급과 병원성의 변천

에콰도르에서 밀 황녹병, 퀴노아 노균병, 잡두 녹병, 그리고 탄저병 병원균의 진화가 상세히 기록되었다.

병원성 레이스 검정을 위해 사용되는 모든 판별품종에서 무독성 반응을 보일 정도로 황녹병균(*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)집단의 구조는 매우 단순했다(iniap 1974). Ochoa 등(1998)은 1991년 조사에서 황녹병균 저항성 유전자(Yr1, Yr2, Yr3, Yr6, Yr7, YrA)에 대한 병원성을 확인했다. 그 이후로, Yr9와 다른 유전자에 대한 병원성을 에콰도르 집단에서 확인하였다. 현재는 육종가가 쓸 수 있는 주요한 저항성 유전자 모두가 병원균에 의해 붕괴되었다.

계통 선발에 의한 퀴노아 육종은 1980년대 초에 시작되어 1990년대 초까지 계속되었다. 페루와 볼리비아에서 도입한 유전자원과 현지의 유전자원을 수개의 장소에서 검정하여 네 가지 품종을(Cochasqui, Imbaya, Tunkahuan, 그리고 Ingapirca) 보급하였다. *Peronospora farinosa* f. sp. *chenopodii*가 일으키는 노균병에 대한 저항성이 이 프로그램의 주요 선발 기준이었다. 1994-1995년에 *P. farinosa*의 병원 집단 구조에 관한 연구에서 병원성이 확실히 연속적으로 한 단계씩 다른 4가지 병원형 군이 발견되었다. 병원성이 없는 분리주(V1-group)는 오타발로의 지방 재래종에서만 단 한번 발견되었다. 그러한 병원성이 없는 분리주는 품종개량이 시작되기 전 이전에 존재한 퀴노아 시스템에서는 더 흔했을 것이다. Imbaya 품종은 확실하게 저항성 인자 R1을 갖고 있으며, Ingapirca은 저항성 인자 R2(페루와 볼리비아에서 기원)를, 그리고 가장 최근 보급된 Tunkahuan은 모든 저항성 인자를 갖고 있지 않다. 저항성 인자 R1은 재래종에 흔하며, R3는 고세대 계통에서 더욱 흔하다. V4군의 분리주에 대한 유전자원의 저항성 검정은 지금까지 실패하였다(Ochoa et al. 1999).

짧은 품종 개량의 기간에도 불구하고 퀴노아-노균병 병원시스템에서 진화과정이 빠르게 일어났다. 덜 공격적이고 덜 복잡해 보이는 병독성이 낮은 분리주는 전통적 농업생태계에서 흔할 것이라고 생각하였다. 반대로, 병원성 분리주는 아마도 높은 병원성 때문에 현재의 퀴노아에서 더 흔하다. 퀴노아를 감염하는 노균병 병원균은 다른 완전 활물기생균과 같이 빠르게 적응하는 것으로 보인다.

잠두 녹병균(*Uromyces appendiculatus*)과 탄저병(*Colletotrichum lindemuthianum*)은 에콰도르에서 강낭콩(bush bean) 재배를 심각하게 제한한다. 이 두가지 병해에 대한 병원균 구성과 기주 저항성에 대해 연구하였다. 변이 정도에 대한 연구를 위해 선정한 21개의 분리주에서 17가지의 서로 다른 녹병균 병원형이 확인되었다. 20개 판별품종 중 14개는 이병성이었다. 지방종과 재래종이 병원형 구분에 더 유용하였는데, 이는 기주와 병원균의 공진화를 나타내는 것이다. 대부분의 현대 상용 품종은 녹병균에 이병성인 것으로 밝혀졌다(Ochoa et al. 2002).

녹병균에 대한 결과와 유사하게 공식적 판별품종은 탄저병 병원형을 구별하는 데 효과적이었다. 판별품종을 사용하여 6개 레이스를 발견하였다. 그러나 지방종과 재래종을 포함하였을 때는 12가지 서로 다른 패턴이 포함되었다. 잠두의 녹병균과 같이 대부분의 상용 품종은 이병성인 것으로 밝혀졌다(Falconi et al. 2003).

녹병균과 탄저병에 대한 저항성이 강낭콩 품종개량에 있어서 중요 목표라고 하더라도, 보급 시에는 콩 품질이 주요 목표이다. 가장 널리 보급된 품종(Paragachi)은 녹병균과 탄저병 둘 다에 이병성이다. 녹병균 저항 재배종인 Gema는 녹병균이 제한요인인 낮은 계곡에 적당

하지 않지만, 이 품종이 탄저병에 이병성 이지만 탄저병이 빈발하는 지역에서 재배된다. 이와 같이 정말 모순점은 강낭콩의 품종개량과 선발이 외국에서 행해지고 오직 적응성과 생산성만을 보급 전에 검정하기 때문에 발생한다. 대신에, 지역조건에 적합한 복합내병성 품종을 육성하기 위한 프로그램은 필요하다.

병원균 환경에서 지방종의 적응

지방종에는 서로 다른 종류의 저항성이 광범위하게 존재하는 것으로 보인다(Teshome et al. 2001). 이는 병해와 숙주가 1차적 그리고 2차적 다양성 센터에서 장기간에 걸친 공진화의 결과이다. 많은 농작물에서 농작물의 유전적 다양성 센터와 해충 혹은 병원균의 다양성 센터는 일치하는 경우가 많다(Leppik 1970; Allen et al. 1999).

인류가 농작물을 가지고 전세계를 이주하는 동안, 저항성 유전자원과 병원균의 병원성 레이스로 그랬을 것이다 저항성 유전자들은 새로운 병원균에 대응하여 진화하나, 작물이 과거에 병과 접촉한 적이 있었으면 그 지역에는 이미 저항성이 잔존하는 경우가 있다. 이러한 현상은 다양성의 일차적 중심 밖에서 저항성이 생긴 경우인데, 안데스의 잠두(*Vicia faba*)에 대한 초콜릿반점병(*Botrytis fabae*에 기인)의 저항성의 예가 있다(Hanounik and Robertson 1987). 잠두는 수 백 년 전에 아메리카 대륙에 처음 도달했는데, 이의 다양성 중심은 비옥한 반원 지대(팔레스타인)이다.

해충과 질병의 존재 여부와 관련된 숙주 저항성의 현저한 지리적 패턴은 공진화가 일어나는 것을 암시하고 있다. Qualset (1975) 는 전세계의 보리 수집종을 평가하면서, 다양성의 중심지인 에티오피아에만 국한된 barley yellow dwarf virus (BYDV)에 대한 저항성을 발견하였다. Qualset는 에티오피아에서만 BYDV 저항성 돌연변이가 발생하였고, 이는 병해가 존재했던 것이 보리의 저항성에 자연선택이 유리하게 작용하였기 때문이라고 결론지었다.

Subrahmanyam 등(1989)은 전세계 땅콩 수집종에 대해 *Puccinia arachnidas*가 일으키는 녹병과 *Phaeoisariopsis personata*가 일으키는 엽고병에 대한 저항성을 검정하였다. 이들은 저항성 유전자원의 75%가 페루의 타라포토 지역으로부터 왔다는 것을 발견했는데, 페루는 작물순화의 일차 중심지인 남부 볼리비아에서 발달된 땅콩 다양성의 이차중심지이다.

지방종은 해충과 병원균이 포함하는 생물 환경에 적응한다는 증거가 있다. Leppik(1970)와 Harlan(1977), 그리고 Buddenhagen(1983)는 숙주와 병원균이 장기간 공존했던 지방종에서 대다수의 질병 저항성 유전자가 발견되는 것을 확인하였다. 이러한 집단은 수량은 낮을지

모르지만, 집단 간 그리고 집단내의 저항성 유전 변이는 병 발생의 위험에 대응할 수 있는 어느 정도의 대비책이 된다.

그 외 기주의 환경에 있어서의 병원균의 크기와 상대적인 중요성이 결합하여 저항성 선발의 강도 결정한다. 예를 들면, 도열병(*Pyricularia grisea*가 발병시킴)의 발생은 부탄의 높은 고도에서 막대한 피해를 주고 지역 전체의 작물을 전멸시킬 수도 있다. 이는 도열병이 강력한 선발압이라는 것을 암시한다. 그러나 내한성은 중요한 특성이며 실제로 여기에서는 중요한 선발압으로 작용한다(Thinlay 1998).

박스 11.2는 잠두의 잎에 발생하는 주요 병인 초콜릿반점병과 *ascochyta blight*에 대한 저항성을 갖고있는 지방종에 대한 최근의 연구에 대한 것이다. 이 연구에서 중요한 관심대상은 실험실과 포장조건에서 수행한 대부분의 검정시험에 지역의 분리주를 이용한 것이다. 기주 집단은 저항성에 대해 다양성이 있는 것으로 밝혀졌는데, 유전분석의 결과 잠두의 초콜릿반점병 저항성은 다수의 유전자가 관여하고 부분우성이었다.

저항성 유전자 자체에 덧붙여, 지방종의 저항성 반응은 형태학상의 차이점, 관련 특성, 혹은 간접적인 영향 등이 원인이 될 수 있다. 예를 들면, 터키의 밀 지방종에서 속이 찬 줄기형은 잎벌(*sawfly*)에 대한 저항성이 있지만 속이 빈 줄기형은 그렇지 않다.(Damanian et al. 1997). 동 아프리카에 있어서 폭우에 대한 내성을 대상으로 선발하는 것은 탄저병에 대한 저항성과도 연관이 있다(Trutmann et al. 1993).

박스 11.2 다인자 저항성의 원천인 모로코 지방종 품종

*Botrytis fabae*가 일으키는 초콜릿반점병은 모로코에서 잠두(*Vicia faba* L.)에 큰 피해를 끼치는 잎을 가해하는 병해이다. 이 병원균은 병 발달을 위한 최상의 조건에서는 매년 생산량을 80%까지 감소시킬 수 있다. Bouhassan 등(2003a)은 지역 유전자원에 있는 저항성의 소재를 확인하고 보고했다. *B. fabae*에 대한 저항성을 선발을 위해 136개의 잠두 지역수집종을 검정하였다. 포장조건과 절취된 잎에 *Botrytis* 지역균주를 인공 접종하여 평가하였다. 두 실험 모두에서 유전자형에 따른 병 반응이 현저하였다. 실험실과 포장실험 둘 다에서 9개 수집종은 저항성이 있었으며, 2개 고도의 저항성이었다. 그러나 완전한 저항성은 관찰되지 않았으며 이들은 이 유전자형이 다수의 유전자가 관여하며 부분 저항성을 가질 것이라고 하였다.

Bouhassan 등(2003b)은 병에 대해 포장 이병성의 정도가 다른 5개의 서로 다른 잠두 지방종으로부터 개발한 5개의 계통을 이용하여 초콜릿반점병에 대한 부분 저항성의 발병병리학적 구성요소를 분석했다. 이들은 잎의 손상부위 지름, 잠복기 및 소엽의 포자 수 등이

부분 저항성과 유의하게 관련되어 있음을 밝혀냈다. 배양 기간은 중요하지 않았다. 이 연구는 지역에서 수집한 균주를 이용하여 이루어졌다.

Ascochyta fabae Spieg.가 가해하는 *Ascochyta blight*는 전세계 참두의 주요 질병의 하나이다. 이 균은 식물의 모든 노출부분에 해를 입힐 수 있고 수확물에 질적, 양적으로 심각한 손실을 끼친다. 유전적 저항성은 종합병해관리의 주요 구성요소 중 하나이다. 공동협력 네트워크(FRYMED)를 통해, 저항성 유전자풀(genepool)을 개발하기 위해 북 아프리카 지역의 유전자원을 대상으로 이 병원균에 대한 저항성을 검정하였다(Kharrat et al. 2002). 총 309점(그 중 106개는 모로코에서 유래)을 지역 병원 균주 fry aft04를 집중하여 포장에서 검정하였다. 가장 저항성이 큰 계통은 2개의 병원성 균주(fry aft04 and fry aft37)에 대하여 인공적 접종을 통하여 배양실과 포장에서 확인을 위해 재검사하였다. 이 검정을 통해 18개의 저항성 참두 자원을 확인하였다. 몇몇 자원은 앞에서 보다 줄기에서 더 나은 저항성을 보였으며, 광범하게 유전적 저항성을 구성할 수 있도록 보관하였다. 저항성이거나 부분적으로 저항성인 것으로 확인된 대부분의 유전자원은, 중소립종에 속하고 생육주기와 기타 형질에 있어서는 변이가 컸다. 이러한 저항성 유전자형은 모로코, 라바트에 소재한 iav Hassan II 연구소의 *Ascochyta* 질병 특이 유전자풀 콜렉션(*Ascochyta* Disease Specific Gene Pool collection)에 도입되었다.

유전적으로 매우 다양한 합성종이나 혼합채종집단은 어떻게 기주 집단이 다양한 병원균 집단의 압박에 대응하기 위해 진화하는지 파악할 수 있는 실험 시스템이다(Brown 1999). Allard (1990)는 보리의 합성종에서 화상병(*Rhynchosporium secalis*에 기인)에 대한 저항성의 시간적 추이를 분석하고, 모든 저항성 대립유전자가 유용한 것은 아니며 어떤 것은 생산성, 번식력 및 적응성에 있어서 해로울 수 있을 것으로 추측했다. 그는 또 병원형들도 다양한 저항성 대립유전자를 붕괴하고, 숙주를 감염시켜 해를 입힐 수 있는 능력이 서로 다를 것이라고 하였다. 병원균 집단의 병원성 대립유전자와 기주 식물집단의 저항성 대립 유전자들의 빈도를 포함해서 병원형 시스템의 여러 가지가 기주와 병원균의 집단 역학에 영향을 주도록 상호 관련되어 있다.

여러 가지 메커니즘이 저항성이 다양한 기주 집단에서 병의 발생이나 정도의 변화에(일반적으로 감소) 기여한다(Wolfe and Finckh 1997). 7가지의 그런 메커니즘을 여기에 나열하였는데, 앞의 4가지는 대상 기주와 병원균 간 특이성에 관계없이 모든 혼합 또는 변이 집단에 적용된다. 나머지 3가지는 특수한 저항성이 있는 숙주와 병원균 간 시스템에 적용된다.

- 집단에서 더 이병성 유전자형 식물간의 간격을 떨어뜨리면 포자 밀도가 감소하고 기주에 병원성인 포자가 이병성 기주에 착상하게 될 가능성이 감소된다.
- 저항성 식물들은 병원균이 퍼지는 것에 대한 방어막으로 작용한다.
- 기주집단에서 더욱 경쟁적이거나 더 저항성 있는 유전자형 선발하면 전체적인 병해의 감염정도를 낮출 수 있다.
- 어떤 경우, 병원균 집단의 다양성을 증가시키는 그 자체로도 병해의 발생을 줄일 수 있다(Dileone and Mundt 1994).
- 숙주 유전자형에 대한 병원균의 특이성이 있는 경우, 무독성인 병포자가 야기하는 저항성 반응이 인접한 감염성 포자들에 의한 감염을 방지하거나 지체시킬 수 있다(예: 보리 혼합품종에서 흰가루병과 밀의 황녹병균).
- 병원 레이스간의 상호작용은(예: 가용 기주 조직에 대한 경합) 병의 발병정도를 감소시킬 수 있다.
- 방벽 효과는 가역적이다. 즉, 어떤 유전자형의 식물이 다른 유전자형의 식물에 특이성이 있는 병원균에 대해 장벽으로 작용하면, 후자의 식물도 전자의 식물에 특이성이 있는 병원균에 대해 장벽으로 작용한다.

이러한 메커니즘은 공기전염, 수적(水滴) 전염, 토양전염 병에 적용된다. 그러므로 다양한 식물 병에 반응을 다양하게 나타나는 숙주 유전자 혼합은 집단 내에서 더 저항성이 있는 구성원의 병 정도와 연관 있는 종합된 병해 반응을 보이는 경향이 있다. 그리고 특정한 유전자형이 병에 영향을 받게 되면, 즉 일반적으로 병해에 더 저항성 있는 개체들이 수량에 있어서 그에 대한 보상작용을 보인다.

숙주 저항성 관리에 대응하는 병원균의 진화

지방종의 생물 환경은 적어도 두 가지에 있어 비생물적인 환경과 수준이 다르다. 첫째, 생물환경은 반응하는 동적목표로서 기주의 변화와 진화적 기회에 부합하기 위해 변화한다. 둘째, 병원균의 구성요소는 부분적으로 숨겨져 있어서, 집단 내에서 통제되고 있는 잠재적 병해는 위협적인 것으로 분명하지 않을 수 있다. 그러므로 악성 병원균은 특정한 기주에서 발병을 일으켜야 그 존재가 명확해지는 반면, 토양이나 기후 스트레스는 한 지역에서 물리적 또는 생물학적인 데이터에 의해 분명하다.

중요한 관심은 유전적으로 다양한 기주 집단에 대한 저항력이 생겨 모든 저항성을 동시에 상실할 수 있는 슈퍼 레이스가 생길 가능성이다. 그러나 모든 유전자형을 공격할 수 있는 병원균 레이스의 우점화는 기주집단의 다양성이 증가하면서 늦어질 것이다. 왜냐하면 기주의 유전자형이 증가함에 따라 병원균이 기주를 하나 더 가해할 수 있는 데 대한 선발이익이 줄어들 것이기 때문이다(Wolfe and Finckh 1997). 반면에, 저항성 반응의 다양성이 증가되는 것은 적응성을 떨어뜨리고 농민들에게 있어 작물의 이용성이나 가치가 낮아질 수도 있다. 그러므로 숙주의 복잡성에는 적정선이 있을 수 있다.

슈퍼 레이스의 진화를 늦추는 다른 전략도 있다. 예컨대, 몇몇 연구자들이 제시한 바와 같이 지역 집단 내에기주의 저항성에 대한 변이와 병원균의 병원성을 상보적인 양상이 되도록 개발하는 것이 최적의 진화 전략이 될 것이다. 계획적인 혼합 전략에 대해서는 상당한 이론 및 경험에 관한 문헌이 있으나, 전통적인 지방종에 대해서는 거의 알려진 것이 없다.

병원균 개체군의 유전자 구조에 대한 저항성 유전자의 적용에 대한 장기적인 효과에 대해서는 폭넓게 논의되었다. 농업 시스템에서 공진화 모델에 대한 다수의 연구는 저항성과 병원성과 관련된 적응비용의 중요성에 관한 것이었다. 그러나 그러한 비용들은 산출하기 어렵다. 만약 병원성이 병원균에 대한 적응비용이 있다면, 서로 다른 저항성 유전자를 가지는 혼합집단은 병원균의 진화를 지연시킬 것이고 단순한 균계가 병원균 집단을 지배할 것이다. 그러나 최근의 모델들은 병원성의 비용과 다른 기구가 같은 효과를 낼 수 있을 것이라고 지적한다(Lannou and Mundt 1996; Finckh et al. 1998).

농민들이 작물에 유전자 다양성을 조정할 때, 병원균은 어떻게 반응해 왔는가? 이 중요한 질문에 대한 답은 아마도 재배 시스템만큼이나 많은 해답을 가지겠지만, 한 가지 가장 중요한 법칙은 병원균의 진화적 변화이다. 박스 11.1은 에콰도르의 최근 연구에서 몇 가지 예를 제시한 것인데 저항성 유전자의 이용이 수반하는 복잡한 상황을 강조하였다. 저항성 품종의 부적절한 이용으로 말미암아 부지불식간 원하지 않는 방향으로 병원균의 병원성이 변화하였고 그 이상의 병 저항성 재료를 사용해야 하였다.

병해 관리를 위한 유전적 다양성의 이용

농민들과 식물 육종가들 모두 작물이 해충과 병원균에 저항성을 갖도록 유전자원을 선발하거나 이용하였으며 발생하는 손실을 감소시키는 작부체계를 개발하였다(Frankel et al. 1995; Finckh and Wolfe 1997; Thinlay et al. 2000a). 여기에서는 세 가지의 유전자형 사용법(농민의 직접 이용, 혼합 이용, 육종 프로그램에 이용)에 대해 논의하고자 한다.

농민들에 의한 직접적인 이용

전통적인 농민들은 종종 주요 병원균에 대한 품종간 이병성 차이를 알고 활용한다. 박스 11.3은 우간다의 바나나에 있는 질병과 해충의 일단을 극복하기 위한 유전자형 다양성을 농민들이 사용한 예를 제시하였다. 이병성은 종종 농민들이 씨앗을 선정하는 복잡한 기준표에 포함된다. 종자의 선정은 상반되는 기준 간의 절충점을 반영하거나 농민들은 별개의 요구에 부합하기 위해 몇 가지 품종을 선정하기도 한다.

박스 11.3 동 아프리카 하이랜드 바나나 생산 시스템의 잎점무늬병 관리

동 아프리카의 Great Lakes 지역에서 바나나 재배종의 다양성은 100-150가지로 추정된다 (Karamura and Karamura 1995). 바나나 재배는 식물의 모든 부분이 가정에서 사용되는 군락의 사회문화적 체제에서 매우 밀접하게 서로 얽혀있으며, 서로 다른 재배종들이 탄생, 죽음 그리고 결혼과 같은 문화적 의식에서, 그리고 약으로서 사용된다. 민속 식물학 연구에서 Karamura 등 (2003)은 농민들이 품종 개량에서 그들의 선택을 위해 사용하는 7가지 기준 및 해충과 질병에 연관되는 5가지 기준을 보고했다. 그리고 수확후의 밀통 뽑기, 흡지제거, 깊게 식재하기와 같은 문화적 관습들은 실제 바나나 시스템에서 해충 및 질병 관리에 대한 재배방법이다.

동 아프리카 하이랜드 바나나인 aaa-eahb (Karamura 1999)는 동 아프리카의 Great Lakes 지역의 특산물 군이며, 이곳은 현재 바나나 다양성의 제2의 중심지로 여겨진다(Karamura et al. 1999). 비록 이 군이 지역 내 작물을 지배하기는 하나(78%), bluggoes(abb), dessert bananas(aaa-Gros Michel), ab(Sukali Ndiizi), 그리고 plantain(aab-Gonja)와 같은 다른 바나나 군들이 농장마다 30-40가지 서로 다른 재배종들이 aaa-eahb와 혼합되어 재배된다.

이 지역의 작물을 공격하는 바이러스, 구균 및 박테리아성 질병 및 해충의 기주는 작물들로부터 여러 가지 반응들을 이끌어낸다. 이들 스트레스 중 최고는 엽고병 복합체인데, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet에 기인한 블랙 시가토카, *Cladosporium musae* Mason에 기인한 Cladosporium speckle, *Mycosphaerella musicola* Leach에 기인한 옐로우 시가토카가 그들이다. 이따금, 덥고 습한 기후조건을 가진 지역에서 작물은 eye spot disease에 의해 공격 당할 수도 있다(Drechslera sp.).

Tushemereirwe(1996)는 하이랜드 바나나에 특별히 초점을 맞추어 Great Lakes 지역의 엽고병들의 발병률과 분포를 연구했다. 그의 결과는 서로 다른 엽고병들에 관한 식물 집단을 가로지르는 반응의 범위를 보여주었다. 박스 표 11.3은 실험에서 "발포성" 바나나인, Kayinja 재배종이 가장 높은 발병률을 가진 것과는 반대로, aaa-eahb 품종이 가장 낮은

발병률을 보인 것에 관해 *M. musicola*(병균)에 대한 것들을 요약하였다. 질병이 유행하는 지역의 평균적인 농장에서 이 재배종은 일반적으로 밭에서 있는 농작물의 5% 미만을 구성한다 (Karamura and Karamura 1995). 이것은 농민들의 손실을 최소화시키고 정원에서 질병 집중률을 낮추는데 도움을 줄 수 있다. 블랙 시가토카(*M. fijiensis*) 질병에 대한 반응은 옐로우 시가토카와 상반된다. *aaa-eahb*가 매우 감염되기 쉬운 것으로 나타난 반면, *ABB* 재배종은 저항력이 매우 높은 것으로 드러났다.

박스 표 11.3 - 바나나 게놈의 옐로우 시가토카의 발생률과 블랙 시가토카의 반응

Cultivar	Genome	<i>M. musicola</i>	Incidence	Black Sigatoka	Response*
Kayinja	ABB	72%	Susceptible	7.1 ± 0.1	Resistant
Gros Michel	AAA	19%		5.2 ± 0.3	
3 cultivars	AAA-EAHB	7%	Resistant	—	
Many cultivars	AAA-EAHB	—		4.7 ± 0.0	Susceptible
Sukali Ndiizi	AB	—		5.4 ± 0.1	
Plantain	ABB	—		4.8 ± 0.2	

출처: Tushemereirwe (1996).

*가장 어린 반점 있는 잎을 측정한 반응(± 표준오차), 마지막 말려진 잎이나 확장되지 않은 잎은 0으로 계산. 감염되기 쉬운 재배종에서 증세는 어린잎들에서 빨리 나타난다. 그에 저항력 있는 재배종들은 늙은 잎에만 증세를 보인다.

병해 억제를 위한 다계품종 및 혼합품종

세계 여러 지역에서 농민들은 지역의 병해충에 대한 저항성을 제공하고 생산에 안정성을 향상하기 위하여 품종을 혼합하여 재배하는 것에 지역적인 선호가 있다. (Trutmann et al. 1993). 그러므로 작물내의 다양성(품종 혼합, 다계품종, 동일 환경에서 계획적인 다수 품종 이용)이 병해충에 의한 피해를 줄일 수 있다.(박스 11.4).

농민들이 이용할 수 있는 또 다른 접근 방법으로 재래품종과 현대품종을 혼합하여 심음으로써 병해충에 의한 피해를 경감하고 재래품종을 농장에 보유하면서 이용할 수 있다.(Zhu et al. 2000; 12장). Pyndji와 Trutmann(1992)와 Trutmann and Pyndji(1994)은 세 작기에 걸쳐 저항성 품종을 세균성모무늬병(ALS, *Colletotrichum lindemuthianum*에 기인)에 이병성인 혼합지방종 25-50%에 첨가함으로써 혼합지방종에 있는 이병성인 부분이 보호되고 생산성이 기대 이상으로 급격히 증가 했음을 보여 주었다. 그러나 병해의 압력이 없으면 생산 증가의 이점은

발생하지 않았다. 세균성모무늬병(ALS)은 생산성 제한의 중요한 요소이고, 새로운 저항성 재료는 재래품종 혼합종의 수확량에 결정적 영향을 미친다. 이러한 새로운 저항성과 이를 혼합하여 사용하면 재래종을 보존하는 것을 돕고 단일품종재배에 의한 재래종의 소멸되는 것을 막는다.

박스 11.4 동 아프리카: 병 발생 감소를 위한 강낭콩 유전자 다양성의 농민의 사용

아프리카의 Great Lakes Region은 주요 식량 작물인 강낭콩(*Phaseolus vulgaris*)에 대한 제2의 다양성 중심지이다. 강낭콩은 높은 수확량과 생산에 있어서 우수한 안정성 때문에 유전적인 혼합품종으로 재배하고 있다(Voss 1992). 농민들은 가변성이 높은 환경에서 이용 가능한 유전적 다양성을 개발하고 조절하여 생산을 극대화하기 위해 주요한 역할을 담당하고 있다. 전통적으로 각 재배지에 대한 혼합종은 경사, 일광 노출, 비에 대한 흙의 노출도 및 그 외 요소에 대한 각각의 특성별로 따로 선정, 보존된다. 맨 처음에 농민들이 한지역에 정착하거나 새로운 땅을 경작할 때 이들은 각각 재배지에 가능한 한 많은 종류의 씨를 뿌리고, 살아남은 작물들을 수확하는 과정을 몇 작기와 해를 거듭해 반복하여 혼합종을 개발한다. 마침내 다른 선발 기준이 더해지는데, 이는 가족의 기호와 색, 선호 조리법과 같은 여타의 목적을 만족시키기 위함이다. 새로운 품종은 나중 단계에 선택적으로 혼합품종에 첨가 되는데, 이는 이들을 따로 분리하여 시험한 후에만 가능하다. 농민의 선발이 없으면 혼합품종의 구성은 급격히 변화한다. 따라서 농민의 혼합품종 구성은 부분적으로 자연 선택의 결과이며 또 한편으로는 농민의 관리이다. 지역의 병원균에 대한 높은 저항성 수준은 이 혼합종에서 선천적이며, 병원균에 대해 더 적합한 지역에서 저항성 수준이 증가한다(Trutmann et al. 1993). 특히 통제된 조건하에서 혼합품종들은 탄저병이라 불리는 치명적인 병을 일으키는 병원균인 *Colletotrichum lindemuthianum*의 지역 레이스에 대하여 저항성을 가진다. 농민들이 혼합품종은 지역에 따라 다른 씨앗의 유형의 수(혼합종의 풍부한 다양성)와 구성 종자의 비율(다양성의 균일성) 모두 다양하였다. 탄저병에 좋은 환경인 지역 유래품종의 지역 탄저병 병원균에 대한 저항성은 고도가 높아짐에 따라 증가하며, 저항성 수준이 높은 품종의 수도 마찬가지로 증가하였다. 농민들이 병해에 대한 저항성을 관리하는 또 다른 방법에는 식물 초형의 이용, 선발과정에서 손상된 종자 제거, 시간과 공간적으로 유전적 다양성 사용의 다변화가 있다.

품종들은 강우에 대한 내성이 있어야 한다. 강우에 대한 내성과 수량은 품종 선발에 대한 농민들의 가장 중요한 기준이다. 일반적으로 개체에 따라 병이 확인되지 않더라도 병이 비와는 관련이 있다. 비는 농부들이 볼 때, 비는 잎이나 뿌리가 썩는 것과 관련이

있고, 낙화의 원인이 된다(Trutmann et al. 1996). 비의 영향을 피하는 식물 초형이 선호되었고 환경조건에 따른 특정한

초세를 가진 것이 선발되었다. 또한 농민들은 첫 번째 우기와 두 번째 우기에 각각 다른 혼합종 사용하는 등 유전적 다양성을 이용하였다. 전통적으로 각 계절에 대한 종자는 각 경작지에 따로 유지된다. 이 방법은 윤작과 같이 얽혀 있다. 또한 경작지를 작게 하고, 콩은 바나나, 고구마, 옥수수와 같은 다른 작물과 간작을 한다. 그 전체적인 효과는 병해를 관리하기 위한 유전적 다양성이 다양성을 사용하는 장소, 빈도나 정도, 시기에 따라 향상되었다. 이와 같은 방법으로 지역의 농민들은 지역 병원균에 대한 저항성을 직접적으로 제공하는 작물 내 유전자의 이용을 초월하여 쓸 수 있는 유전적 다양성의 사용을 증대하였다.

이야기는 더 복잡하다. 여러 장소에서 이루어지는 평가에서, 새로운 저항성 혼합품종의 수량 증가에 의한 이익은 병저항성 정도가 보이는 것만큼 뚜렷하지 않다. 이곳에서 예상되는 상호작용 요인은 세균성 모무늬병 저항성 품종이 이병성인 또 다른 질병인 가루 엽고병(floury leaf spot; *Ramularia phaseoli*에 기인)이다. 이러한 결과가 육종가가 다른 형질과 함께 복합 저항성을 선발할 때 직면하는 전형적인 어려움을 보여준다. Wolfe(1985)는 혼합품종이 이와 같은 목표의 달성을 도와줄 것이라고 했는데, 왜냐하면 다른 병에 대한 저항성을 가진 다른 부분이 혼합품종 내에 있으면 목적달성이 충분하기 때문이다.

다계품종이란 유전적으로 유사한 계통이나 품종을 혼합한 것으로 이 계통이나 품종은 상이한 병원형(pathotype)에 상이한 저항성을 보인다. 이는 미국의 곡물(Finckh and Wolfe 1997)과 콜롬비아의 아라비카 커피에 이용되고 있다. 콜롬비아 품종은 녹병(*Hemilera vastatrix*에 기인)에 저항성이 상이한 커피계통의 다계품종으로 36만 헥타르 이상에서 재배된다(Moreno-Ruiz and Castillo-Zapata 1990; Browning 1997).

실험적 혼합품종과 다계품종을 이용한 병원균 집단의 감염역학적인 연구는 지방종 집단의 저항성 변이가 병의 확산을 감소시키는지에 대한 실제 실험적 평가가 되었다. Wolfe(1985)는 실험적 증거로부터 100가지 이상의 관찰결과를 분석하였으며 이병성인 두품종을 혼합한 품종이 혼합하지 않은 것의 감염율의 25% 정도인 것을 발견했다. 혼합품종의 전반적인 감염율은 저항성 품종을 단독으로 재배했을 경우의 감염율과 비슷한 수준이다. 또한 혼합품종이 일반적으로 유전적 다양성이 크기 때문에 다계품종보다 더 효과적이라는 것을 확인하였다.

다양한 저항성의 적응 특성을 뒷받침하는 논란의 다른 면은, 야생 식물집단에서 광범위하게 보이는 복합저항성이다. Burdon(1987)은 *Avena*, *Glycine*, 그리고 *Trifolium*과 8개의 초본식

물 및 나무에서 나타난 것과 같이 자연 식물집단은 병원균에 대한 반응이 다양하다는 것을 검토하였다. 야생 *Linum marginale*-*Melampsora linii* 시스템에서, 더 큰 저항성이 있는 자연 식물집단이 더 병원성이 큰 녹병균 집단을 갖고 있었다(Thrall and Burdon 2003). 그러나 이 시스템에서 저항성의 유전적 다양성이 큰 기주집단에서 병이 덜 심하였다. 이와 같은 것들 비 지방종과 도열병에 있어서도 관찰한 바 있다(Thinlay et al. 2000b).

경쟁과 보상은 식물 집단에서 발생하는 가장 중요한 유전자형간의 상호작용으로서 모두 생산량과 생산안정성에 영향을 미친다. 병해가 없으면 수량은 각 구성품종의 평균과 비슷하고 전체의 평균은 각 구성품종의 평균보다 약간 높다(Finckh and Wolfe 1997). 유전자형 혼합품종의 수확량 증가는 구성요소들의 적합환경 분화에 부분적으로 기인하는 것 같다(Finckh and Mundt 1992). 원인을 알수 없는 타감작용과 상승작용 또한 역할을 할 것으로 보인다.

혼합품종의 병해 수준은 대개 그들 구성 요소의 평균 수준보다 낮다(Burdon 1987; Burdon and Jarosz 1989). 병이 있는 경우, 품종혼합은 그 구성 요소를 단일재배할 때의 평균보다 수량이 많다(Finckh and Wolfe 1997). 그러나 단일품종을 재배하는 경우에는 병 감염도와 수량 사이의 상관이 명확하지만 혼합품종에서는 언제나 명확한 것은 아니다(Finckh et al. 1999). 이는 병 감염도와 수량의 상관이 혼합품종 내에 있는 구성식물에 있어서는 낮기 때문이다. 이 사실에 대한 가장 중요한 원인 중 하나는 재배 품종간의 경쟁적인 상호 작용에 대한 병의 효과이다(Finckh and Mundt 1992; Finckh et al. 1999).

육종

육종 프로그램에서 저항성 유전자의 가치 때문에, 많은 연구원들은 포장에서 새로 수집한 표본뿐 아니라 유전자은행의 지방종과 야생작물 근연종 표본을 평가해왔다. 그러한 연구의 결과를 해석할 때 유전자은행 표본이 언제 수집되었는지 그리고 저항성을 평가할 때 어떤 병원형을 사용하였는지를 명심하는 것이 중요하다(Teshome et al. 2001). 시간적 요인은 병원균과 기주 집단들은 포장에서 시간이 지나면 변하기 때문에 중요하다. 시간을 달리하여 수집한 표본이 반응의 다양성을 보일 수도 있는데 이는 어느 한 시점에 어느 정도의 다양성이 있었는지에 대해 오해를 일으킨다. 지방종의 저항성 반응을 위한 검사에서 그 지역이 아닌 병원형 병원균을 사용하는 것이 특별한 육종 목표에 부합하더라도, 이런 종류의 데이터는 현지에서 공진화 과정의 연구에는 유용하지 않을 수 있다. 지방종이 저항성에 있어서 다양하지만, 다수의 병원균 레이스에 대한 평가를 하기 위해서는 충분히 큰 표본수를 사용하는 것이 중요하다. 종종 지방종의 일부만이 저항성을 갖는 경우가 있다(Thinlay et al. 2000b). 더구나 주로 자식을 하는 작물이라도 다양한 지방종으로 유지되는 동안 어느 정도의 타가수분이 되고 그래서 시간이 지나면 분리하기도 하며 저항성에 변화를

보이게 된다(Finckh 2003).

육종가가 지방종의 저항성을 이용하려면 유전자원의 검정으로 시작한다. 예를 들면, Negassa(1987)는 밀 녹병(*Puccinia recondita*에 기인)에 대한 지방종의 반응을 평가하기 위해 에티오피아 밀 지방종을 검정했고, 6개의 유전자에서 병원성인 균주에 대해 중정도의 저항성을 찾아냈다. 그 후, Dyck와 Sykes(1995)는 그러한 저항성을 밀 육종 프로그램에 이입할 수 있는지를 시험하였다. 교배와 여교배를 이용한 시험에서 4배체와 6배체의 에티오피아 밀에 있는 잎과 줄기 녹병 저항성을 이용할 수 있음을 증명하였다.

보리의 에티오피아 지방종에서 Alemayehu와 Parlevliet(1996)는 *Puccinia hordei*에 레이스 특이적인 주동 저항성이 거의 없고 중정도의 부분 저항성이 높은 빈도로 존재하는 것을 알아냈다. 양적이거나, 부분적 혹은 다인자 저항성을 가진 품종육성은 종종 연관된 표지인자의 도움을 받을 수는 있지만 현대 식물 품종육종에서의 어려움을 주고 있다. 대안으로, 농민이 자신의 땅에서 선발하는 것을 포함한 참여형 육종방법에서와 같은 분산된 품종육성 방법이 박스 11.5 보고서와같이 장려할 만하다.

유전적 배경이 복잡한 저항성은 계통육종보다 다른 방법으로 취급할 수 있다. 병원균이 "변화하는 적"(Stakman 1947)으로서 인식된 이후, 많은 육종가들은 진화하는 병원균 집단에 대처하려면, 기선을 제압하지는 못하더라도, 저항성 유전자 다양성의 이용을 주장해 왔다(예: Suneson의 1956 "evolutionary plant breeding" 방법 Le Boulc'h et al. 1994). 다른 육종방법 중집단선발, 합성품종, 톱교배, 그리고 다계품종 등이 모두 작물 내 다양성을 이용한다(Finckh and Wolfe 1997).

박스 11.5 모로코에서의 참여형 순환선발 대한 지방종의 반응

모로코에서 순환선발에 기초한 유전자원 개발은 잠두 집단의 개량, 특히 양적형질 개량에 효과적인 방법임이 입증되었다(Sadiki et al. 2000). 이러한 전략은 잠두의 지역 유전자원 개선을 위한 참여형 육종방법으로서 매력적이다. 지방종에서 유래한 폭넓은 유전집단을 자연감염 조건에서 *Botrytis fabae*에 대한 저항성과 수량 구성 요소를 대상으로 세 주기의 반형매집단 선발을 하였다. 구성요소 및 (Sadiki et al. 2000). 선발반응에 대한 평가 결과, 수량에 대한 현저한 유전적 진전이 있었고 *Botrytis*에 대한 저항력은 54%로 개선되었다. 첫 번째 선발주기에서 모든 특성의 선발반응이 가장 컸다. 이러한 접근법은 지역 농민들이 저항 유전자가 결합된 병 저항 유전자의 빈도를 증가시킴으로써 그 지역에서 그들의 품종들을 개량할 수 있다는 것을 보여주었다. 그럼에도 불구하고, 개선된 집단은 여전히 눈에 보이는 특성과 병 저항성 반응에 있어서 상당히 다양하였다. 개선된 집단은 지역의 병원균 집단에 대하여 선발되었다.

공진화 유전적 다양성 형성에 있어서 농민의 역할

농민은 작물의 유전적 구성과 포장 내외의 생물적, 비생물적 환경을 조절하므로써 농업 시스템에 있어서 특수한 선발압을 형성한다. 4가지 유전적 관리는 주목할 만하다.

작물유전적 다양성의 선발

농민들이 하는 재배식물의 재료 선택은 확실히 병원균 집단에 주요한 영향을 미친다. 병원균의 피해를 피하는 것을 포함하여, 종자를 명확하고 효과적으로 선발하기 위한 농민의 기준은 작물별로 상당히 다양하다 많은 경우에(예: 잠두, 박스 11.2; 바나나, 박스 11.3; 강낭콩, 박스 11.4) 병 반응은 농민들의 결정에서 매우 높은 순위이다. 확실한 병 증세가 없는 다른 농작물들의 저항성 선발은 수량에 대한 실용적인 선발을 통해 간접적으로 이루어진다.

농민들의 종자 선택의 효과는 유전적 자원에 대한 접근과 지역 내에서 영농 기간에 의해 좌우된다. 종이 순화된 지역에서 자라는 지방종 작물은 여전히 잡초, 공통 해충, 병원균, 유익한 생물체를 비롯하여 야생 선조종, 근연종과 상호관계를 하고 있다. 반대로 대륙을 횡단했거나 그들의 기원으로부터 떨어진 농작물들은 유전적 다양성을 훨씬 적게 보유하고 병해충과 다양한 관계를 보인다. 특정한 상황에 대한 결과는 예상하기 어렵다. 공진화한 병해충의 속박으로부터 벗어난 대부분의 농작물들은 변성할 가능성이 크다. 몇몇 경우에 농작물이 순화 중심의 밖에서 저항성이 발달되었는데(예: 잠두 *Vicia faba*) 이는 아마도 농민의 선발의 결과일 것이다.

경지 크기 및 위치

경지의 위치는 다른 농민의 농지에 있는 작물 집단과 주위 자연 식생의 야생 대체 기주의 집단들과의 상호작용에 영향을 미친다. 작고 고립된 경지는 큰 경지보다 더욱 분화되는 경향이 있어서 전통적인 시스템의 작은 경지는 대규모 전염병이 거리는 기회를 감소시키는 다양성의 모자이크가 된다. 인접한 경지는 숙주와 병원균 각각의 집단 간에 유전자가 유통되는 기회를 증가시킨다. 야생 근연종 자연집단은 병원균의 진화와 농작물의 저항성을 붕괴시키는 병원균의 잠재능력을 도울 수 있다(Allen et al. 1999). 극단적인 예로서 히말라야 밀의 야생 근연종으로부터 인도와 파키스탄에 재배되는 밀로 병원성 녹병균이 유입되어 병이 대발생된 것을 들 수 있다.(Joshi 1986).

작물 유전적 다양성의 경지 내 공간적 배치

농민들은 단일품종 재배 또는 종의 혼합 재배 및 다양한 간작 방법으로 작물을 재배한다. 앞서 논의한 바와 같이, 이들 각각의 전략은 기주와 병원균 간 상호작용의 비율과 정도에 영향을 미친다.

일시적인 가변성

식재와 수확과 관련하여 기온, 강우량과 같은 계절적 특성은 작물과 병원균간의 상호작용에 영향을 미친다. 휴경, 윤작, 파종기 조정, 생육기간이 다른 품종의 사용, 합정작물 이용, 특수 저항성의 일시적 이용과 같은 농민의 경종법은 병해충 관리에 계절성을 형성할 수 있다(Thurston 1992). 윤작은 다양한 방식으로 농작물의 건강을 증진시키는 중요한 방법이다(Finckh 2003). 윤작의 효과는 시간적 효과에 따라 토양 또는 농작물 잔사에 있는 병원균 번식체에 미치는 장기간 지속되는 효과, 토양 미생물 활동을 통한 간접 효과, 특정 작물의 특정 병원균에 미치는 직접 억제효과로 구분된다. 병원균이 있는 것이 병을 발생시키는 데 필수적인데도 불구하고, 병원균이 없는 것이 반드시 건강한 농작물의 필요조건이라 할 수 없다. 사실, 이로운 생명체와 해로운 생명체 사이의 균형이 항상 결과를 결정하는 것이다.

그러나 본 장에서는 윤작과 같은 종합해충관리 방법의 보완과 확대에, 핵심자원으로서 지방종 작물 품종의 종내 다양성의 이용과 관리가 필요하다는 것을 보여주었다. 개발도상국의 자원이 부족한 농민들에게는 지역 농작물의 다양성과 그에 대한 관리가 병해충의 압력에 대응하여 쓸 수 있는 몇 안 되는 자원 또는 가용 방법 중 하나이다. 그러므로 이러한 접근의 적용을 통해 얻는 생물학적 다양성의 이익에는 농업생물학적 다양성을 보존하는 것 뿐 아니라 환경 파괴를 줄이고, 인접한 생태계의 곤충, 진균, 토양 미생물, 및 수생 생물다양성을 보존하는 것을 포함한다.

논의 및 연구과제

작물 유전자 다양성이 병해충에 의한 압박을 감소시키는데 이용될 수 있다 할지라도, 이러한 접근이 모든 상황에 적절한 것은 아니라고 알려져 있다. 문제는 병해충 압박을 관리함에 있어서 언제, 어디서 다양성이 중요한 역할을 수행하거나 발휘될 수 있는지를 결정하는 조건을 개발하는 데 있다. 이러한 조건은 농민들과 개발자들이 병해충을 관리하는 데 다양성을 풍부하게 사용하는 전략

을 적절하게 적용할 수 있도록 하는 도구나 결정 과정을 위한 기본사항이 될 것이다. 작물 유전자 다양성의 이용에 있어 그러한 지침을 수립할 연구를 위한 주요 질문은 아래와 같다:

- 숙주의 저항성 다양성 : 재래종 품종 간 또는 품종 내에 병원균의 집단에 대한 어떤 저항성 유전적 변이가 있는가?
- 다양성 및 포장 저항성 : 작물 내 존재하는 저항성 다양성이 최소한 짧은 기간이라도 실제적으로 병해충의 압력과 취약성을 감소시키는가?
- 생물형 다양성 : 병원균의 집단 구조는 시스템과 공간적으로 어떻게 바뀌는가?

이러한 질문들의 해답은 기주, 해충, 병원균 및 주변 환경을 분석하기 위하여 직접 현장에서 조사한 측정치와 농민들로부터 얻은 정보를 연계하여 얻은 데이터에 근거하여야 한다. 일반적으로, 식물 집단에서 질병의 발달과 저항성과 병원성의 공진화는 세 가지 요인- 발병 삼각형으로 묘사되는 기주, 해충 혹은 병원균, 그리고 환경간의 상호작용의 결과이다(Burdon 1987). 전통적인 재배 시스템에서 숙주와 병원균의 공진화는 또한 천연 군락집단 혹은 혼성 합성 교배집단에서도 같이 삼각형으로서 표현된다. 그러나 전통적인 시스템의 지방종을 위해서, 선발에 결정적인 역할을 하기 때문에 농민을 이 모델에 포함시키는 것은 중요하다 (Finckh and Wolfe 1997).

결론

변화가 큰 환경에서 작물 유전적 다양성의 적절한 유지와 관리에 입각하여 효과적으로 병에 대응하는 메커니즘을 개발하려면, 농업생태계 내에서 농민, 작물, 환경 및 숙주와 해충간에 상호 연결되는 힘이 작용한다는 것이 필수적이다. 자원이 부족한 농민들은 수확량을 낮추는 모든 요인들을 극복하기 위해 지방종의 다양성에 의존한다. 이들의 요구를 충족시키기 위해 여러 가지 저항성을 결합한("피라미드 육종") 고도의 순계 육성품종을 만드는 것과 같은 대안은 비용이 많이 든다. 이들 품종은 한계생산지나 변화가 큰 환경에는 적응하기 어려울 것이다. 불가피하게, 그런 품종들은 그들을 공격하는 새로운 질병이나 새로운 병원형 병원균이 발생하여 다른 품종으로 곧 교체되어야 한다. 대부분의 개발도상국들은 그렇게 지속적인 유지를 위한 육종에 자금을 조달할 수 없다. 공공분야는 축소되고 환경은 매우 변하기 쉬우며 기후는 대부분의 병원균에게 최상의 조건이기 때문이다. 그러므로 농민들에게 현재의 농작물 생산이

나 앞으로의 선택할 방안을 보장하기 위해서라도 저항성의 다양성을 유지하고 적절하게 이용하는 것은 필수적이다. 부적절하게 적용한 예가 이러한 근본 원칙을 배제하지 않는다. 다양성은 그 자체가 위험하지도 반드시 이익을 주지도 않는다. 오히려, 임무는 농민들이 다양성을 이용하여 이익을 얻고 병에 대한 작물의 취약성을 경감시키려 할 때 영향을 미치는 주요한 유전적, 환경적, 재배학적 요인을 판단하는 것이다.

참고 문헌

- Alemayehu, F. and J. E. Parlevliet. 1996. Variation for resistance to *Puccinia hordei* in Ethiopian barley landraces. *Euphytica* 90:365.370.
- Allard, R. W. 1990. The genetics of host-pathogen coevolution: Implications for genetic resource conservation. *Journal of Heredity* 81:1.6.
- Allen, D. J., J. M. Lenne, and J. M. Walker. 1999. Pathogen biodiversity: Its nature, characterization and consequences. In D. Wood and J. Lenne, eds., *Agrobiodiversity. Characterization, Utilization and Management*, 123.153. Wallingford, UK: CAB International.
- Bouhassan, A., M. Sadiki, and B. Tivoli. 2003a. Evaluation of a collection of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes originating from the Maghreb for resistance to chocolate spot (*Botrytis fabae*) by assessment in the field and laboratory. *Euphytica* 135:55.62.
- Bouhassan, A., M. Sadiki, B. Tivoli, and N. El Khiati. 2003b. Analysis by detached leaf assay of components of partial resistance of faba bean (*Vicia faba* L.) to chocolate spot caused by *Botrytis fabae* Sard. *Phytopathologia Mediterranea* 42:183.190.
- Brown, A. H. D. 1999. The genetic structure of crop landraces and the challenge to conserve them in situ on farm. In S. Brush, ed., *Genes in the Field: On Farm Conservation of Crop Diversity*, 29.48. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
- Browning, J. A. 1997. A unifying theory of the genetic protection of crop plant populations from diseases. In I. Wahl, G. Fischbeck, and J. A. Browning, eds., *Disease Resistance from Crop Progenitors and Other Wild Relatives*. Berlin: Springer Verlag.
- Buddenhagen, I. W. 1983. Breeding strategies for stress and disease resistance in developing countries. *Annual Review of Phytopathology* 21:385.409.
- Burdon, J. J. 1987. *Diseases and Plant Population Biology*. Cambridge, UK: Cambridge

University Press.

- Burdon, J. J. and A. M. Jarosz. 1989. Disease in mixed cultivars, composites, and natural plant populations: Some epidemiological and evolutionary consequences. In A. H. D. Brown, M. T. Clegg, A. L. Kahler, and B. S. Weir, eds., *Plant Population Genetics, Breeding and Genetic Resources*, 215-228. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Calonnec, A., H. Goyeau, and C. de Vallavieille-Pope. 1996. Effects of induced resistance on infection efficiency and sporulation of *Puccinia striiformis* on seedlings in varietal mixtures and on field epidemics in pure stands. *European Journal of Plant Pathology* 102:733-741.
- Chin, K. M. and M. S. Wolfe. 1984. The spread of *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* in mixtures of barley varieties. *Plant Pathology* 33:89-100.
- Compagnon, P. 1998. El caucho natural, *Biologia- Cultivo- Produccion*, 142:1559. Paris: Consejo Mexicano del Hulei y cirad.
- Damania, A., B. L. Pecetti, C. O. Qualset, and B. O. Humeid. 1997. Diversity and geographic distribution of stem solidness and environmental stress tolerance in a collection of durum wheat landraces from Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution* 44:101-108.
- Dileone, J. A. and C. C. Mundt. 1994. Effect of wheat cultivar mixtures on populations of *Puccinia striiformis* races. *Plant Pathology* 43:917-930.
- Dyck, P. L. and E. E. Sykes. 1995. Inheritance of stem rust and leaf rust resistance in some Ethiopian wheat collections. *Euphytica* 81:291-297.
- Falconi, E., J. B. Ochoa, E. Peralta, and D. Daniel. 2003. Virulence Pattern of *Colletotrichum lindemuthianum* in Common Bean in Ecuador. Bean Improvement Cooperative (BIC). East Lansing: Michigan State University.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1998. *The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome: FAO.
- Finckh, M. R. 2003. Ecological benefits of diversification. In T. W. Mew, D. S. Brar, S. Peng, D. Dawe, and B. Hardy, eds., *Rice Science: Innovations and Impact for Livelihood*, Proceedings of the International Rice Research Conference, September 16-19, 2002, 549-564. Beijing: International Rice Research Institute, Chinese Academy of Engineering and Chinese Academy of Agricultural Sciences.
- Finckh, M. R., E. S. Gacek, H. J. Czembor, and M. S. Wolfe. 1999. Host frequency and

- density effects on disease and yield in mixtures of barley. *Plant Pathology* 48:807-816.
- Finckh, M. R., E. S. Gacek, H. J. Nadziak, and M. S. Wolfe. 1998. Suitability of cereal cultivar mixtures for disease reduction and improved yield stability in sustainable agriculture. *Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry* 1:571-576.
- Finckh, M. and C. Mundt. 1992. Plant competition and disease in genetically diverse wheat populations. *Oecologia* 91:82-92.
- Finckh, M. and M. S. Wolfe. 1997. The use of biodiversity to restrict plant diseases and some consequences for farmers and society. In L. E. Jackson, ed., *Ecology in Agriculture*, 203-237. San Diego, CA: Academic Press.
- Frankel, O. H., A. H. D. Brown, and J. J. Burdon. 1995. *The Conservation of Plant Biodiversity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hanounik, S. B. and L. D. Robertson. 1987. New sources of resistance in *Vicia faba* L. to chocolate spot caused by *Botrytis faba*. *Plant Disease* 72:696-698.
- Harlan, J. R. 1977. Sources of genetic defense. *Annals of New York Academy of Sciences* 287:345-356.
- INIAP. 1974. Annual Report. Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones Agropecuarias (iniap). Quito, Ecuador: Department of Plant Pathology.
- Joshi, L. M. 1986. Perpetuation and dissemination of wheat rusts in India. In L. Joshi, D. Singh, and K. D. Srivastava, eds., *Problems and Progress of Wheat Pathology*. New Delhi: South Asia Malhorta Press.
- Karamura, D. A. 1999. Numerical Taxonomic Studies of the East African Highland Bananas (*Musa* AAA.East Africa) in Uganda. PhD thesis, University of Reading, UK.
- Karamura, D. A., S. Mgenzi, E. Karamura, and S. Sharrock. 2003. Exploiting indigenous knowledge for the management and maintenance of *Musa* diversity. *African Crop Science Journal* 12:67-74.
- Karamura, E., E. Frison, D. Karamura, and S. Sharrock. 1999. Banana production systems in eastern and southern Africa. In C. Picq, E. Foure, and E. Frison, eds., *Bananas and Food Security*, 401-412. International Symposium, November 10. 14, 1998, Cameroon. Montpellier, France: INIBAP.
- Karamura, E. B. and D. A. Karamura. 1995. Banana morphology. Part II. The aerial shoot: In S. Gowen, ed., *Bananas and Plantains*, 190-205. London: Chapman and Hall.
- Kennedy, D. and M. Lucks. 1999. Rubber, blight, and mosquitoes: Biogeography meets

- the global economy. *Environmental History* 4:369-383.
- Kharrat, M., M. Sadiki, R. Esnault, B. Tivoli, A. Porta Puglia, and M. R. Hajlaoui. 2002. Identification of Sources of Resistance to *Ascochyta* Blight in Faba Bean. *Grain Legumes in the Mediterranean Agriculture (legumed)*. Paris: AEP.
- Kolmer, J. A., P. L. Dyck, and A. P. Roelfs. 1991. An appraisal of stem rust resistance in North American hard red spring wheats and the probability of multiple mutations to virulence in populations of cereal rust fungi. *Phytopathology* 81:237-239.
- Lannou, C. and C. C. Mundt. 1996. Evolution of a pathogen population in host mixtures: Simple race complex race competition. *Plant Pathology* 45:440-453.
- Lannou, C., C. de Vallavieille- Pope, and H. Goyeau. 1994. Induced resistance in host mixtures and its effect on disease control in computer-simulated epidemics. *Plant Pathology* 44:478-489.
- Le Boulc'h, V., J. L. David, P. Brabant, and C. de Vallavieille- Pope. 1994. Dynamic conservation of variability: Responses of wheat populations to different selective forces including powdery mildew. *Genetics Selection Evolution* 26:221-240.
- Leppik, E. E. 1970. Gene centers of plants as a source of disease resistance. *Annual Review of Phytopathology* 8:323-344.
- Marshall, D. R. 1977. The advantages and hazards of genetic homogeneity In P. Day, ed., *The genetic basis of epidemics in agriculture*. *Annals of the New York Academy of Sciences* 287:1-20.
- McDonald, B. A., J. M. McDermott, S. B. Goodwin, and R. W. Allard. 1989. The population biology of host-parasite interactions. *Annual Review of Plant Pathology* 27:77-94.
- Moreno- Ruiz, G. and J. Castillo- Zapata. 1990. The variety Colombia: A variety of coffee with resistance to rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.), Cenicafe Chinchina. *Caldas. Colombia Technical Bulletin* 9:1-27.
- Mundt, C. C. 1990. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids. *Phytopathology* 80:221-223.
- Mundt, C. C. 1991. Probability of mutation to multiple virulence and durability of resistance gene pyramids: Further comments. *Phytopathology* 81:240-242.
- Negassa, M. 1987. Possible new genes for resistance to powdery mildew, Septoria, glume blotch and leaf rust of wheat. *Plant Breeding* 98:37-46.
- Ochoa, J., H. D. Frinking, and T. H. Jacobs. 1999. Postulation of virulence groups and

- resistance factors in the quinoa/downy mildew pathosystem using material from Ecuador. *Plant Pathology* 48:425-430.
- Ochoa, J., J. Lowers, and L. Broers. 1998. Analysis of virulence and evolution of the Ecuadorian population of stripe rust in wheat. *Fitopatologia* 33:160-164.
- Ochoa, L. B., E. Cruz, and D. Daniel. 2002. *Physiological Variation of Bean Rust in Ecuador*. Bean Improvement Cooperative (BIC). East Lansing: Michigan State University.
- Oerke, E. C., H. W. Dehne, F. Schonbeck, and A. Weber. 1994. *Crop Production and Crop Protection, Estimated Losses in Major Food and Cash Crops*. Amsterdam: Elsevier.
- Oldfield, M. L. 1989. *The Value of Conserving Genetic Resources*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Otim-Nape, G. W. and J. M. Thresh. 1998. The current pandemic of cassava mosaic virus disease in Uganda. In D. G. Jones, ed., *The Epidemiology of Plant Diseases*, 423-443. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Pyndji, M. M. and P. Trutmann. 1992. Managing angular leaf spot development on common bean in Africa by supplementing farmer mixtures with resistant varieties. *Plant Disease* 76:1144-1147.
- Qualset, C. O. 1975. Sampling germplasm in a center of diversity: An example of disease resistance in Ethiopian barley. In O. H. Frankel and J. G. Hawkes, eds., *Crop Genetics Resources for Today and Tomorrow*, 81-96. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Rivano, F. 1997. South American leaf blight of Hevea. 1. Viability of *Microcyclus ulei* pathogenicity. *Plantations, Recherche, Developpement* 4:104-114.
- Sadiki, M., L. Belqadi, S. Mehdi, and A. El Alami. 2000. Selection de la fève pour la résistance polygénique aux maladies par voies d'amélioration des populations. *Petria* 10:203-262.
- Schumann, G. L. 1991. *Plant Diseases: Their Biology and Social Impact*. St. Paul, mn: APS Press.
- Stakman, E. C. 1947. Plant diseases are shifting enemies. *American Scientist* 35:321-350.
- Subrahmanyam, P., V. Ramanatha Rao, D. McDonald, J. P. Moss, and R. Gibbons. 1989. Origins of resistances to rust and late leaf spot in peanut (*Arachis hypogea*, Fabaceae).

- Economic Botany 43:444-455.
- Suneson, C. A. 1956. An evolutionary plant breeding method. *Agronomy Journal* 48:188-191.
- Teshome, A., A. H. D. Brown, and T. Hodgkin. 2001. Diversity in landraces of cereals and legume crops. *Plant Breeding Reviews* 21:221-260.
- Thinlay, X. 1998. Rice Blast, Caused by *Magnaporthe grisea*, in Bhutan and Development of Strategies for Resistance Breeding and Management. Dissertation No. 12777. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology.
- Thinlay, X., M. R. Finckh, A. C. Bordeos, and R. S. Zeigler. 2000a. Effects and possible causes of an unprecedented rice blast epidemic on the traditional farming system of Bhutan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78:237-248.
- Thinlay, X., R. S. Zeigler, and M. R. Finckh. 2000b. Pathogenic variability of *Pyricularia grisea* from the high- and mid- elevation zones of Bhutan. *Phytopathology* 90:621-628.
- Thrall, P. H. and J. J. Burdon. 2003. Evolution of virulence in a plant host-pathogen metapopulation. *Science* 299:1735-1737.
- Thurston, H. D. 1992. Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Systems. Boulder, co: Westview Press.
- Trutmann, P., J. Fairhead, and J. Voss. 1993. Management of common bean diseases by farmers in the Central African highlands. *International Journal of Pest Management* 39:334-342.
- Trutmann, P. and M. M. Pyndji. 1994. Partial replacement of local common bean mixtures by high yielding angular leaf spot resistant varieties to conserve local genetic diversity while increasing yield. *Annals of Applied Biology* 125:45-52.
- Trutmann, P., J. Voss, and J. Fairhead. 1996. Indigenous knowledge and farmer perception of common bean diseases in the central African highlands. *Agriculture and Human Values* 13:64-70.
- Tushemereirwe, W. K. 1996. Factors Influencing the Expression of Leaf Spot Diseases of Highland Bananas in Uganda. PhD thesis, University of Reading, United Kingdom.
- Ullstrup, A. J. 1972. The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970. 1971. *Annual Review of Phytopathology* 10:37-50.
- Voss, J. 1992. Conserving and increasing on- farm genetic diversity: Farmer management of varietal bean mixtures in Central Africa. In J. Lewinger Mook and R. E. Rhoades,

eds., *Diversity, Farmer Knowledge, and Sustainability*, 34-51. Ithaca, NY: Cornell University Press.

Wolfe, M. S. 1985. The current status and prospects of multilane and variety mixtures. *Annual Review of Phytopathology* 23:251-273.

Wolfe, M. S. and M. R. Finckh. 1997. Diversity of host resistance within the crop: Effects on host, pathogen and disease. In H. Hartleb, R. Heitefuss, and H. H. Hoppe, eds., *Plant Resistance to Fungal Diseases*, 378-400. Jena, Germany: Fischer Verlag.

Zhu, Y., H. Chen, J. Fan, Y. Wang, Y. Li, J. Chen, J. Fan. S. Yang, L. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. Wang, and C. C. Mundt. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718-722.

12. 발병 억제를 위한 농작물 품종의 다변화

Y. Y. ZHU, Y. Y. WANG, AND J. H. ZHOU

고투입과 고산출을 내는 지금의 현대 농업 방법은 증가하는 식량 수요에 부응하기 위해 벼의 생산성을 향상시키는데 대단히 중요한 역할을 해왔으며, 중국의 식량 안보에 상당한 공헌을 해왔다(Lu 1996a, 1996b).

이러한 집중적인 경작에도 불구하고, 소수의 개량 다수 품종을 대규모의 벼 재배지에 심고 및 장기간에 걸쳐 다량의 화학비료와 살충제를 투여하여 벼의 생태학적 시스템을 심각하게 악화시켰고 농업생산 환경을 위태롭게 하였다. 그 결과, 질병의 발생이 더욱 흔해지고 병원균의 진화가 더욱 빨라졌다. 질병의 확산 및 발생 주기 또한 더욱 빈번해졌다(Shigehisa 1982; Bonman et al. 1992; Dai et al. 1997; Zhu et al. 2000a, 2000b). 이러한 모든 요소가 농작물 생산량의 심대한 감소를 야기하였다.

Pyricularia oryzae Sacc.(teleomorph *Magnaporthe grisea* Barr.)로 인해 발생하는 도열병은 중국 남서부 윈난성(Yunnan)의 벼 생산의 제한 요소가 되어온 유행성 식물병의 하나이다. 화학비료와 살충제의 다량 투입은 도열병을 억제하는데 그리 효과적이지 못했다. 그와 반대로, 이는 벼의 생태계를 파괴시켰고 벼 생산량을 더 증가시키는 것을 제한했다. 이번 장에서는 서로 다른 벼 품종을 혼합하여 심어서 생긴 생물다양성이 어떻게 도열병을 제어하였으며, 그리고 도열병(blast fungi)의 유전학적 다양성이 어떻게 연구되었는지를 논의한다(Shigehisa 1982; Staskawicz et al. 1995; Baker and Staskawicz 1997).

박스12.1 중국에서의 품종 혼합 재배

도열병에 이병성인 재래 찰벼 품종과 저항성인 현대 잡종 벼와 간작되었을 때, 그 결과 이병성 품종의 병 발생을 94%까지 감소시켰다. 혼작지에서 단위 면적 당 찰벼의 생산량은 단일재배 농지보다 84% 더 높았으며, 잡종 벼의 생산량은 혼작 시 1%만 감소함으로써 농민들의 수익을 증가시켰다. 이러한 접근법의 간편함과 유효성은 농민들의 활발한 참여를 유도했다. 장간종 벼와 단간종의 벼의 교차 재배열은 중국의 윈난성과 그 외 지방의 많은 논의 유명한 모습이 되었고 이러

한 다양화 전략의 사용 확대로 전원 풍경이 크게 변화되었다. 1998년부터 2002년까지 중국에서는 벼의 혼작지가 확대되었다. 벼 혼작지가 증가할수록 혼작 시 사용되는 품종의 수도 늘어났다. 농부들은 이병성 재래 벼 품종 대신 다른 고품질 품종을 현대의 벼 품종과 간작하기 시작했고 헥타르 당 0.5에서 1.0톤의 평균 생산량을 수확하였다. 다양화 방법의 조기 보급은 현과 부락의 공무원, 연구원 및 지도직 종사원을 포함한 조직적인 지도 캠페인에 힘입은 바 크다. 지도 조직망은 농민을 교육하고 파종기에 충분한 양의 종자를 보급하였다. 이러한 확산은 수익성(농부마다 평균 헥타르 당 US\$150의 수입 증가)의 증가와 특정 고품질 품종에 대한 농민의 선호도 의해 유지되었다. 이 생산시스템은 이병성이어서 40년 이상 재배되지 못했지만, 다시 생산되기 시작한 고품질 재래품종의 농장 현지 유전자 보존에도 관련이 있다.

다양화의 개념은 원난성에서 해충과 병해 방제를 위해 다른 주요 농작물 특히, 밀(*Triticum aestivum*), 보리(*Hordeum vulgare*), 그리고 잠두(*Vicia faba*)로 확대 적용되었다. 원난성에서는 벼-밀의 생산 시스템의 일부분으로 밀과 잠두가 250,000 헥타르 이상 겨울에 심긴다. *Puccinia striiformis*에 의해 생기는 밀녹병(Wheat strip rust)은 주요 질병으로 최대 20%의 수량 손실을 일으킨다. 잠두는 밀과 함께 심는 중요한 현금성 작물이지만 잠두 비행 구더기(*Ophiomyia phaseoli*)에 의한 잎과 줄기의 심각한 피해 때문에 종종 생산량이 감소되었다. 밀과 잠두를 간작하였고 그 결과 원난성의 다섯 지역에서 밀녹병이 24% 가량 감소되었으며, 잠두 비행 구더기로 인한 피해 역시 감소되었다. 밀은 간작으로 단일 재배와 같은 생산량을 유지했으나 잠두의 양은 증가되었다. 원난성에서 2002년말까지, 작물 혼합 재배(밀과 잠두, 보리와 잠두, 유채와 잠두, 감자와 옥수수, 그리고 옥수수와 땅콩) 지역이 확대되었다.

혼합 품종 재배에 있어 해충과 병해 감소의 바탕이 되는 상세한 메커니즘을 명료하게 밝히는 것이 남아있지만, 우리의 데이터는 현대와 재래 벼 품종을 혼합재배하여 지역민에게 수입의 증가와 고품질 식품을 제공하고 높은 생산성을 달성하는 것이 가능하다는 것을 보여준다. 현지 보존에 있어 충분히 다양한 생태계인 생산체계로 재래품종을 재도입함으로써 집중적인 생산 시스템과 조화를 이룰 수 있다. 생산성을 유지한다는 의미에서 다양화 개념은 다른 벼 재배 국가로 퍼져나갔다. 필리핀에서의 포장 시험은 품종 혼합이 열대지역의 심각한 바이러스성 질병인 tungro를 감소시킬 수 있다는 것을 보여주었다. 또한 관행 재배된 농작물이 병해 저항성을 갖지 못하는 메콩강 삼각주와 베트남 중심에서 도열병을 방제하고자 다변화 실험을 계획하고 있다. 이러한 서로 다른 생태계에서 얻은 긍정적인 결과는 현대 농학에서 중요한 방법으로서 다양화를 더욱 지지할 것이다.

혼합 식재에 있어 벼 품종의 유전적 다양성

중국 남서부에 위치한 윈난성 지방은 풍부한 생물다양성으로 유명하며 재배 벼(*Oryza sativa* L.)의 기원 중심지로 알려져 왔다(Cheng 1976; Oka 1988; Shi et al. 1999). 윈난성은 벼의 풍부한 유전자 자원을 가지고 있으며 새로운 저항성 인자가 지방종에서 발견되었다(Pan et al. 1998).

저항성 유전자 30개의 염기서열 분석과 예상된 아미노산 서열 결과로 저항성 유전자를 공통 분자모형에 따라 다섯 개의 그룹으로 분류할 수 있었다(Baker and Staskawicz 1997). 유전자의 보존 서열이 알려져 있으므로 여러 식물에서 알려진 저항성 유전자의 보존서열을 이용하여 DNA 단편을 분리하기 위한 프라이머(또는 degenerated primer)의 설계가 가능하다. 저항성 유전자 유사서열(resistance gene analogue, RGA) 분석은 유전적 다양성의 평가와 후보 저항 유전자의 식별에 대한 효과적인 방법이다.

전체 137개의 벼 품종을 윈난성 지방의 서로 다른 벼 생태지역에서 수집하였다. 여기에는 재래종과 잡종품종, Indica와 Japonica 벼, 찰벼와 멍쌀 품종, 그리고 밭 벼 품종들이 포함되었다. 연구목표는 다음과 같다.

- 저항성 유전자 유사서열에 대한 PCR 분석으로 윈난성 지역의 벼 품종 다양성 평가
- 도열병 저항성과 연관된 DNA 표지 탐색
- 벼의 병 저항성 품종육성 및 벼 지방종 품종의 효율적인 이용의 기초가 되는 분자유전학적 정보 제공

RGA 분석을 위한 PCR 증폭

이 연구에서 세 개의 RGA 프라이머 조합을(S1/AS3, XLRR for/XLRR rev, and Pto-kin1/Pto-kin2) 사용하였다(표 12.1). PCR 프라이머 서열은 XLRR for/XLRR rev 조합은 Xa21 유전자(LRR)의 병 저항성 유전자 보존서열을 기초로 하고, Pto-kin1/Pto-kin2는 Pto 유전자의 protein kinase의 염기서열을 바탕으로 설계하였으며 S1/AS3는 N 유전자(NBS-LRR)의 염기서열을 바탕으로 설계하였다. 이들 프라이머 쌍을 이용하면 전체 게놈 DNA에서 이들 세 종류의 서열을 정밀 검사하여 NBS-LRR, LRR, and Pto와 관련된 저항성 유전자의 일부를 탐색하는 것이 가능하다. PCR 증폭, denatured 폴리아크릴아마이드 젤 전기영동 및 silver staining 염색은 Chen 등(1998)의 방법을 따랐다.

클러스터 분석

벼 품종 간의 유전적 유연관계를 분석하기 위해 모든 증폭된 밴드를 우성 유전자 표지로 간주하였다. 클러스터 분석은 binary data를 이용하여 unweighted pair-group average for linkage rule을 적용하고 STATISTICA(release 4.5) tree clustering 방법으로 얻은 거리측정값과의 불일치율을 기본으로 하여 수행하였다.

표 12.1. 저항성 유전자 유사서열 프라이머를 이용하여 얻은 137개 벼 재배품종의 다형화

프라이머	서열 5'-3'	증폭 밴드의 수	다형 밴드	
			개수	비율(%)
S1	GGTGGGGTTGGGAAGACAACG	82	48	58.5
AS3	IAGIGCIAGIGGIAGICC			
XLRR for	CCGTTGGACAGGAAGGAG	41	23	56
XLRR rev	CCCATAGACCGGACTGTT			
Pto-kin1	GCATTGGAACAAGGTGAA	52	28	54
Pto-kin2	AGGGGGACCACCACGTAG			
Total		175	99	57

RGA-PCR에 의해 검정된 DNA 다형화 정도

세 가지 프라이머 쌍에 의해 나타난 RGA 밴딩 패턴은 고도의 품종 간 다형현상을 나타냈다. 이들 벼 품종에서 세개의 프라이머 쌍에 의해 증폭된 밴드는 30bp에서 2 kb까지의 크기였으며 총 밴드 수와 평균 다형화 정도는 표 12.1에 나타나있다. XLRR for/XLRR rev로부터 증폭된 350-bp 밴드는 Japonica 재배종에서 특이적으로 나타났다. 부분적인 RGA에서 나타나는 Indica-Japonica의 분화는 서로 다른 환경 조건 하에서 벼의 병원균의 오랜 공진화와 상호작용의 결과인 것으로 보인다.

유사도 분석

어떤 식물 계층에서 RGA의 분포와 진화는 그 식물 종의 병 저항성을 부분적으로 반영한다. 클러스터 분석은 세 개의 프라이머 쌍을 이용하여 얻은 데이터를 이용하여 unweighted pair-group average for linkage rule을 적용하고 STATISTICA(release 4.5) tree clustering 방법으로 얻은 거리측정값과의 불일치율을 기본으로 하여 수행하였다. 일반적으로 풍부한 RGA 다형 현상이 검정

한 품종에서 관찰된다. 검정품종은 RGA 밴딩 데이터의 비유사도 96%를 기준으로 세 개의 연관 그룹으로 나뉘었다. 첫 번째 그룹의 품종에는 Japonica와 소수의 지방종이 속하였다. 두 번째 그룹의 대다수의 품종은 몇몇 Japonica 품종과 Xunza 29, Xunza 36, Liming 251, Jingguo 92, 및 Huangkenuo와 같은 Indica 품종이었다. Xunza 29와 Xunza 36는 Indica의 가계가 섞인 Japonica 잡종 벼로 알려져 있다. 세 번째 그룹은 Indica였다. 같은 모계와 부계를 가진 재래종들 간의 비유사도는 8~70%로 정도로 다양하였다. 이러한 변이는 벼의 육종과정 중의 정방향 선발과 안정화 선발에 기인한 것으로 보인다.

RGA 밴딩 패턴과 클러스터 분석의 결과로 얻은 dendrogram은 Japonica 벼와 Indica-Japonica 벼 사이의 교잡동보다 Indica 벼에서 고도의 다형 현상이 나타나는 것을 보여주었다. 이와 같은 결과는 혼합 식재로 인한 도열병의 발생 억제에 있어서 Indica 품종이나 Indica-Japonica 품종 간의 혼합식재나 윤작이 Japonica 품종 간의 혼합식재나 윤작보다 더욱 효과적인 이유 중 하나일 것이다(Zhu et al. 1999a).

혼합재배 시 도열병의 유전적 다양성

1999년과 2000년도에 시핑 현에서 단일품종 재배지와 혼합품종 재배지로부터 총 251개의 도열병 병원균 분리주를 수집하였으며, DNA 클러스터 데이터(혼합품종 재배지에서 24개, 잡종품종 단일 재배지에서 28개, 찰벼품종 단일 재배지에서 10개의 분리주를 수집, 이용)에 의하여 병원성을 검정하였다. 유전적 다양성 분석에 두 개의 프라이머(pot2?1:5' cggaagccctaaagctgttt3' and pot2?2:5' ccctcattcgtcacacgttc3')를 이용하였다.

특이 밴딩 패턴이 긴 단편을 증폭하는 PCR 조건과 두 개의 프라이머 조합을 이용함으로써 형성되었다. 증폭된 밴드는 길이는 400bp에서 23 kb이상이었고 83.7%가 다형성 밴드이었다. Dendrogram은 Pot2의 반복서열을 PCR 증폭한 fingerprint data를 이용하여 작성하였다.

1999년에 수집한 113개의 분리주는 0.65의 연관거리에서 4개의 유전자 계통(G1, G2, G3, G4)으로 그룹화 되었고, 2000년에 수집한 138개의 분리주는 0.65의 연관거리에서 6개의 유전자 계통(G1', G2', G3', G4', G5', and G6')으로 그룹화 되었다. 각각의 유전자 계통은 각각 다른 재배양식과 분리주를 포함하였다. 134개의 분리주를 포함하는 G1 (G1')은 95개의 분리주가 잡종벼 단일 재배지에서 수집되었고 나머지 39개의 분리주는 혼합품종 재배지조에서 수집되었다. G2의 11개 분리주는 찰벼 단일 재배지에서, 혼합품종 재배지에서 20개의 분리주가 수집되었다. G3 (G3')에는 25개의 분리주가 포함되는데 7개는 찰벼 단일 재배지에서, 18개는 혼합품종 재배지에서 수집하였다. 57개의 분리주를 포함하는 G4 (G4') 중 55개는 찰벼 단일

재배지에서 수집되었고 2개 분리주만이 혼합품종 재배지에서 수집되었다. G5' 와 G6'에 속한 4개의 분리주 중 G5'는 혼합재배지에서 2개의 분리주가 나왔고 G6'는 찰벼 단일 재배지에서 2개의 분리주가 수집되었다.

혼합품종 재배지에서 보다 단일품종 재배지에서 아주 확실한 우성계통이 발견되었으나 유전자 계통은 매우 적었다. G1 (G1')은 잡종 단일품종 재배지에서 우성 계통이었고, G4 (G4')는 찰벼 단일품종 재배에서 우성계통이었다. 1999년과 2000년 사이에 유전자 계통의 구성에 큰 차이가 없었다. 벼 품종 다양성은 병원균에 대한 안정된 환경을 조성하였다.

단일품종 재배와 혼합품종 재배에서의 도열병 분리주의 생리적 계통 구성

2000년 수집된 62개의 분리주를 7개 품종을 이용한 저항성 또는 이병성 반응을 기초로 한 생리적 레이스로 분리하였다. 혼합품종 재배지에는 6개 그룹(ZB, ZC, ZD, ZE, ZF, and ZG)에 7개의 레이스가 속하였고, 찰벼 단일품종 재배지에는 4개의 레이스가 4개 그룹(ZC, ZD, ZE, and ZG)에,, 그리고 잡종품종 단일 재배지에는 10개의 레이스가 3개 그룹(ZA, AB, and ZC)에 속하였다. 단일품종 재배지보다 혼합품종 재배지에 더 많은 그룹이 존재하였는데 이는 병원균에 대한 안정화 선발의 증거이다. 잡종 단일 재배지의 우성 레이스(zb13)의 빈도가 50.0%인 반면, 찰벼 단일품종 재배지의 우성 레이스(zg1)의 빈도가 70.0%로 나타났는데 이는 병원성 레이스에 대한 정방향 선발의 결과이다. 따라서 벼재배 품종의 다양성은 정방향 선발이 약화되는 환경을 조성하여 특정 병원균의 병원성이 강하게 되는 능력을 제한하는 것으로 결론지을 수 있다..

수량에 대한 상대 습도와 벼 표면적의 영향

도열병에 의한 벼 수량 감소는 품종, 재배기술, 그리고 기후조건에 따라 달라진다. 도열병에 영향을 미치는 생태, 기후 요건에 대해 많은 연구가 수행되었다(Kong and Zhou 1989; Yu et al. 1994; He et al. 1998; Ding et al. 2002). 이들 연구에 의하면 병원균의 포자 형성능력과 벼의 저항성은 온도, 습도, 강수, 안개, 이슬, 그리고 빛에 크게 영향을 받는다. 아침저녁으로 이슬과 안개가 형성되고 온도가 20°C 이상일 때 도열병균은 가장 빨리 포자를 형성하는 것으로 밝혀졌다(Dong et al. 2001). 도열병의 분생포자(conidia)는 상대습도가 93% 이상이 아니면 형성되지 않으며 습도가 높을수록 분생포자의 생성 또한 커지고 빨라진다. 포자의 발달은 임계상대습도(RH)가 96% 이상일

때 물방울(수적)의 존재 여부에 달려있다. RH가 100%일 때 수적이 없으면, 단지 1.5%의 분생포자가 발아한다(Qiu 1975). Xu 등(1979)은 많은 균들이 습도가 포화상태에 가까워졌을 때만 포자가 발아하지만, 물방울이 있는 경우 더욱 잘 발아한다고 보고했다. Yang 등(2000)은 병원균의 포자형성력과 형성량이 습도에 확실하게 영향을 받으며, 균의 포자도 포화 습도에서 쉽게 발아하고 병을 감염시킬 수 있다고 하였다.

최근 몇 년간 도열병 발생을 억제하기 위한 벼 품종 혼합재배가 350,000 헥타르 이상으로 확대되어 중국의 원난성, 스촨성 및 후난성에서 경제적, 사회적, 그리고 생태적 혜택을 받았다(Zhu et al. 2000b). 작물 혼합에서 도열병의 억제와 관련된 중요 요소의 영향을 연구하기 위해, 포장 상대습도와 벼 포기 수적 생성 여부를 조사하였는데, 이 조사결과는 벼 혼합품종 재배에 있어서 도열병의 방제에 대한 이론적 근거를 제시하게 될 것이다.

본 연구에는 단간 잡종 품종(Shanyou63) 하나와 장간 찰벼 품종(Huangkenuo and Zinuo) 두 종류를 이용하였다(표 12.2). 두개의 장간 찰벼 품종은 비슷한 저항성 유전자 fingerprint (91%의 유사도)를 가졌으나, 찰벼 품종과 잡종 품종 간에는 저항성 유전자 fingerprint에 큰 차이(59%의 유사도)가 있었다(Zhu et al. 1999b).

장간 찰벼 품종을 단간 잡종 품종과 교호로 재배하였을 때, 벼 포기에서 수적으로 덮인 표면적이 훨씬 작았다. 2000년에는 단일품종 재배를 한 장간 찰벼 품종의 벼 포기가 수적으로 덮인 평균 표면적이 혼합재배 시 보다 두 배 이상 컸다. 유사한 결과를 2001년에도 얻었다.

장간 찰벼 품종을 단간 잡종 품종과 혼합재배하였을 때 포장 미소환경의 상대습도는 2000년과 2001년 모두 상당히 낮았다(표 12.3).

혼합품종 재배에서 찰벼 품종의 도열병 발생율과 이병정도는 감소하였고, 단일품종재배와 잡종 벼 Shanyou63 혼합재배에 있어서는 도열병 억제 효과에 큰 차이가 없었다.

표 12.2. 벼 품종과 작물 특성.

품종	유형	도열병 내성	생장기간 (d)	초장 (cm)	1,000립중 (g)	수당/립수	수량 (kg/ha)
Shanyou63	ndica	저항성	158	120	30.3	143	10,250
Hyang-kenuo	Glutinous	이병성	168	160	30	205	3,975
Zinuo	Glutinous	이병성	165	155	28	198	3,675

표 12.3. 혼합재배 및 단일재배에서의 상대 습도.

연도	유형	품종	상대습도 범위(일수)			
			100%	95%~100%	90%~95%	<90%
2000	단일재배	H	24	11	11	12
	혼합재배	H/S	2	14	22	20
	단일재배	Z	19	13	6	20
	혼합재배	Z/S	6	17	12	23
2001	단일재배	H	19	12	7	20
	혼합재배	H/S	0	9	21	28
	단일재배	Z	18	7	8	25
	혼합재배	Z/S	1	12	16	29

H = Huangkenuo in monoculture; H/S = Huangkenuo with Shanyou63; Z = Zinuo in monoculture; Z/S = Zinuo with Shanyou63.

벼 품종의 식물 규소 함량

벼는 전형적인 규산 식물이다. 규소는 벼에서 함유율과 전체 함유량 모두에서 가장 풍부한 무기물이다(Chen et al. 1998; Chen 1990). 규소는 식물에서 중요한데 세포를 강건하게고 병원균이 침투하기 어렵게 하기 때문이다. 벼에서 규소가 결핍되면, 도열병, 벼깨씨무늬, 벼 줄기 부패(*Sclerotium oryzae* and *S. oryzae* var. *irreyulare*), 벼 이화명충, 그리고 벼 멸구류와 같은 병해 및 해충에 피해를 받기 쉽다. 또한, 벼의 아래쪽 잎들은 쉽게 시들고 상부의 잎으로 점차 확대된다. 출수기는 2~3일 늦어지며; 낱알은 벼깨씨무늬병과 목 도열병(neck blast)에 쉽게 감염된다. 그리고 줄기가 약해져 쉽게 쓰러진다(Shui et al. 1999; Hu et al. 2001; Chen et al. 2002). 규소는 도열병에 대한 저항성에 도움을 주고(Qin 1979), 벼 상피조직에 축적된 규소는 규토질 세포와 병원균의 감염과 및 확대에 물리적 장벽으로 작용하는 각질화된 바실리카 층을 형성한다(Yoshida and Kitagishi 1962; Nanda and Gangopadhyay 1984). 벼의 규소 함량은 병충해와 도복에 대한 저항성에 직접적 영향을 미친다. 나아가, 규소는 식물의 형태를 개선하고 생산량을 증가시킬 수 있다(Hu et al. 2001). 병해 저항성과 생산량에 미치는 규소 비료 시용의 효과를 포함한 토양 및 작물의 규소 영양에 대해 많은 연구가 이루어졌다(Ye 1992; Hu et al. 2001).

경작지에서 품종의 다양화가 도열병 억제에 효과적일 수 있다는(Zhu et al. 2000a) 것이 밝혀지면서, 이 기술의 대규모 혼합품종 재배가 원난성을 포함한 중국의 10개 성으로 확대되었다. 혼합 벼 재배지에서 고품질 이병성 품종의 병해 저항성이 향상되고 고품질 찰벼의 생산량 증가와 살균제 시용과 장간 품종의 도복이 감소되었다. 동시에 경제적, 사회적, 그리고 환경적 이익을 달성하였다(Zhu et al. 2000a).

도열병과 도복 관리를 위한 품종 다양화 혼작의 원리를 이해하기 위해 혼작에 추천된 두 가지 주요 재래품종을 혼작과 단일재배 시 이들의 규소 함유량 연구에 사용하였다. 연구 결과는 도열병과 도복 관리를 위한 다양화 실험에서 품종 조합이 효과적이라는 과학적 근거를 제공할 수 있다.

두 가지 재래품종에는 도열병에 이병성이고 쉽게 도복되는 장간 찰벼 품종과 장간 육도품종이 포함되었다. 고 수량이며 도열병에 저항력이 있는 단간 잡종 품종도 포함되었다. 실험지로는 원난성 Mile 현, Donghong 촌의 중정도 비옥도를 가진 농지가 이용되었다. 처리와 시험구 배치 등은 Zhu 등(2000b)이 보고하였다. 모든 시험구는 살균제를 살포하지 않고 주위의 혼합 품종과 같이 관리하였다.

규토질 세포의 형태와 수에 대한 주사전자현미경(SEM) 분석을 위해 표본을 채취하였고, 규소 함유량 측정을 위한 표본도수집하였다.

목도열병은 수확 7일 전에 평가하였다. 각 표본으로 선정된 수수는 경험이 풍부한 조사가원이 육안으로 도열병균(*Magnaporthe grisea*) 피해로 생긴 괴저 지경의 피해율을 측정하였으며, 피해가 없는 0에서부터 이삭이 100% 괴저증상을 보이는 5까지의 등급으로 판정하였다. 각 시험구의 이병정도는 $\{[(N_1 \times 1) + (N_2 \times 2) + (N_3 \times 3) + (N_4 \times 4) + (N_5 \times 5)] / \sum N_0 \dots N_5\} \times 100$ 로 계산하였으며, 여기서 $N_0 \dots N_5$ 은 등급별 줄기의 개수이다.

깨끗한 벼 줄기는 규소함유량 분석을 위해 회화(灰化)하였다. 혼작한 재래품종의 평균 규소 함유량은 단일품종 재배 시보다 높았다(표 12.4). 혼작과 단일재배 간의 규소 함유량의 차이는 성숙 단계에서의 Milexianggu를 제외하고는 현저하게 나타났다.

주사전자현미경 분석을 위해 관찰 샘플을 준비하여(Revel et al. 1983), KYKY-1000B 주사 전자현미경(배율 800배, 가속전압 18 kV)으로 규토질 세포의 형태와 수를 관찰하였다.

표 12.4. 줄기의 규소 함량(%).

품종	생육단계	유형	반복 1	반복 2	반복 3	평균	증가율	평균 ($t_{0.05}=2.78$)
Huangkenuo	Booting	단일재배	8.11	7.57	7.22	7.63	14.68	3.89*
		혼합재배	8.64	8.61	8.99	8.75		
	Maturation	단일재배	7.52	7.51	8.05	7.69	11.83	3.14*
		혼합재배	8.28	8.48	9.04	8.6		
Milexianggu	Booting	단일재배	6.4	6.37	6.89	6.55	14.81	3.13*
		혼합재배	7.03	7.91	7.63	7.52		
	Maturation	단일재배	6.63	5.48	5.55	5.89	16.47	1.89
		혼합재배	6.28	6.8	7.51	6.86		

*유의도 .05 수준에서 유의한 차이가 있음.

혼작지에서 큐티클 층의 규토질 세포 형태와 수에 현저한 효과가 나타났다. 주사전자현미경(800×)은 혼작 시 재래품종의 규토질 세포의 형태와 수가 단일재배 시에 비해 매우 다른 것을 보여주었다. 혼작 시 재래품종의 규질세포는 더 컸으며, 수도 단일재배 시보다 훨씬 많았다.

혼작지에서의 도열병, 도복, 및 수량

재래품종과 현대품종의 혼합은 도열병 억제에 효과적일 수 있다. 재래품종의 목도열병의 발병율과 이병 지수, 도복율은 현저히 낮아졌다(표 12.5). 1998년에서 2002년에 이루어진 조사에서 단일재배한 재래품종의 발병율이 5.73~100%이며 이병 지수는 0.011~0.804인데 반해, 혼합식재의 빈도 및 지수는 각각 1.14~58.79%와 0.0024~0.328이었다. 현대품종의 경우, 단일재배에서 발병율은 1.3~81.9%이며 이병 지수는 0.0026~0.486인데 반해 혼합식재의 빈도 및 지수는 1.27~65.1%와 0.0045~0.297로 각각 36.75%와 39.82%의 감소를 보였다.

재배 지역의 생태적 차이와 품종의 저항성 차이로 인해 도열병 억제 효과는 서로 다른 지역과 품종의 조합 간에 큰 차이가 발견되었다. 그러나 혼합재배는 단일 재배와 비교했을 때 도열병 발병률에 있어 항상 긍정적인 효과가 있었다.

혼합 식재 시스템에서는 현대품종과 재래품종의 평균 생산량인 8,044 kg/ha와 533.9 kg/ha를 각각 포함하여 전체 생산량은 8,577.9 kg/ha였다. 단일재배 시스템에서 현대품종의 평균 생산량은 8,060.5 kg/ha였으며 재래품종의 경우에는 3,663 kg/ha였다. 따라서, 현대품종과 재래품종 두 가지를 함께 식재한 전체 산출량은 각각의 품종을 단일 재배했을 때보다 높았다.

혼합 품종 재배의 규모 확대

혼합 품종의 재배를 대규모로 확대한 것은 1998년부터 실시되었으며 조합을 만들기 위해 더 많은 품종을 선발하였다(표 12.6). 1998년에는 도열병 억제를 위한 벼 혼합 재배의 확대가 Shiping 현의 Baxing, Maohe, Baoxiu, Yafangzi, Taochun의 812 헥타르에서 이루어졌다. 1999년에는 혼합 식재가 Shiping, Jianshui, Honghe를 포함한 여섯 개 현에서 실행되었으며, 그 면적은 3,534 헥타르에 달하였다. 이는 2000년도에는 40개 이상의 현에서 34,740 헥타르로 증가하였고, 2001년에는 84,467 헥타르, 그리고 2002년에는 136,189 헥타르로 증가하였다. 윈난성의 15개 현에서의 전체 면적은 1998에서 2002년까지 259,742 헥타르로 증가하였다.

표 12.5. 도열병과 도복 비율.

품종	유형	도복			목 도열병		
		비율(%)	내성(%)	발생률(%)	경감율(%)	이병지수	경감율(%)
Huangkenuo	단일재배	99.38	0.62	56.02**	77.26	43.61**	82.69
	혼합재배	0	100	12.74**		7.55**	
Milexianggu	단일재배	97.68	2.32	66.2**	80.8	42.7**	81.01
	혼합재배	0	100	12.71**		8.11**	

**유의도 .01에서 유의한 차이가 있음.

표 12.6. 원난성 지역의 식재 혼합에 사용된 품종 수

품종	1998	1999	2000	2001	2002
재래종	2	4	40	65	94
신품종	2	3	12	12	20
조합	4	8	65	121	173

품종 조합

품종 조합은 품종의 병 저항성 배경, 경종 특성, 경제적 가치, 지역의 재배 조건, 그리고 농민의 재배 습관의 종합적인 분석을 기본으로 하였다. 병 저항성 배경을 위한 선발 기준은 유전자적 유사점이 RGA 분석치를 기준으로 70% 이하여야만 한다. 장간 품종과 단간 품종은 초장의 차이가 30cm 이상이며 생육기간의 차가 10일 이하여야 한다는 조건을 기본으로 조합되었다. 농민의 참여를 증대 시키려면 혼합 재배 경제적 효과를 주고 높은 생산량과 고품질의 요구를 충족해야만 했다. 재래종 들은 관개, 비옥도, 토양 생산력, 그리고 고도와 같은 현지 재배 조건들에 기초하여 신품종과의 혼합 품종으로 선발되었다. 동시에, 농부들이 선호하는 품종은 그 지역 재배 습관에 맞도록 혼합 품종으로 선발되었다.

성장 경과

수확의 편의를 위해서는 서로 다른 품종들을 같은 시기에 수확하는 것이 필요하다. 따라서 파종은 서로 다른 품종의 성장기간에 조정하였다. 예를 들어, 장간 고품질의 재래품종인 Nuodao, Xiangdao, Zidao와 Ruanzhimi는 고 생산성인 잡종 신품종보다 10일 일찍 파종하였다. 묘는 4월

과 5월에 모판에서 재배지로 이양하였다. 각 지역에서 도열병 발생과 벼 생산량을 기록하기 위해 조사포장을 임의로 선정하였다. 도열병은 중국 국가표준(Anonymous 1996) 평가점수법을 이용하였고 생산량은 유효한 생산물에 한했다.

훈련

농민들이 혼합 재배의 주요 실행자이기 때문에 농민들이 의식적으로 관련기술을 적용하도록 인식을 향상시키는 것이 중요하였다.

각급 정부 레벨에서 열린 농업 모임에서 마을 지도자들의 지지를 얻기 위해 혼합재배의 사회적, 생태적 효과에 대한 교육을 하였다. 동시에 재배기술의 방법, 순서 및 요점과 주요 지도 방법을 소개하여 이들이 기술지도관이 될 수 있도록 하였다. 농업기술원들이 기술보급의 주요 요원이었으며, 기술훈련의 주 대상이었다. 농업기술원을 배출하기 위해 93개의 훈련소가 윈난성의 15개의 현에 설립되었다. 이렇게 훈련된 농업기술원들은 교육을 하기 위해 농민을 조직하여 밤이나 편한 시간에 농민학교를 통한 교육을 하였다. 못자리와 이앙 기간 동안에는 마을 공무원과 농부 대표에게 실제 기술을 하는 법을 포장에서 시연하였다. 그렇게 해서 숙련된 농민들이 이끌어 작업을 시행했다. 기술을 소개하기 위해 라디오, TV 및 포스터를 광범위하게 사용하였다. 2002년에는 Dali, 곤명, Dehong, Lijiang, Linchang, Simao, Zhaotong, Chuxiong, Xiangyun 및 Binchuan 등에 33개의 시범소, 3개의 TV 방송사 및 29개의 VCD 방영소가 설치되었다. 382,000개의 교육 파일을 발행하였으며, 836개의 TV프로그램과 파워포인트 파일을 제작하였으며 5,871개의 교육코스가 윈난성에서 편성되었다. 전체 교육 받은 농민은 929,000명이었다.

전시포장은 확대 보급과정에서 매우 중요했다. 1998년에서 2002년 사이에 전시포장 64,133 헥타르가 15개 현 90개 부락에 설치되었다. Mile, Jianshui 및 Tengchong에서는 일반 경작하는 6,667 헥타르의 상설 전시포가 설치되었으며, 이것이 확대 보급을 크게 활성화시켰다.

결론

앞의 결과로부터 우리는 농작물 품종의 다양화가 병해에 대한 단일재배 작물의 취약성에 효과적인 해결책이라고 결론 내릴 수 있다. 이론과 관찰결과 모두 유전적으로 잡박한 것을 넓은 지역에 걸쳐 사용하였을 때 병해 발생을 크게 억제한다는 것을 나타냈다. 우리의 연구결과는 농작물 품종의 다변화가 살균제 살포를 감소시키는 반면 농작물 생산의 지속 가능성에 기여할 수 있는 병해 방제에

대한 생태학적 접근을 제공한다는 관점을 지지한다. 또한 효과적인 다양화 기술의 개발과 보급에 과학자, 연구자 및 농민 그룹의 종합된 노력이 중요하다는 것을 증명하였다. 다양화 기술의 광범위한 채택은 간편성, 유효성 및 농민들에게 확실한 경제적 이익을 줄 수 있는 점에 좌우된다.

다른 한편으로, 농작물 품종의 다양화가 현대농업에서 발생하는 병해의 관리와 안정적인 생산에 대한 문제들에 해결안을 모두 제공할 수는 없다. 서로 다른 목적을 위한 최상의 방안을 찾기 위해서, 그리고 혼합재배에 이용하는 특수 용도를 가진 품종을 육성하기 위해 더 많은 연구가 필요하다.

참고 문헌

- Anonymous. 1996. Rules for Investigation and Forecast of the Rice Blast. The State Standard of the People's Republic of China, No. Gb/t 15790-1995, 1?13. Beijing: China Standard Press.
- Baker, J. and Z. J. Staskawicz. 1997. Signaling in plant-microbe interactions. *Science* 276:726-733.
- Bonman, J. M., G. S. Khush, and R. J. Nelson. 1992. Breeding rice for resistance to pests. *Annual Review of Phytopathology* 30:507-528.
- Chen, J., G. Mao, G. P. Zhang, and H. D. Guo. 2002. Effects of silicon on dry matter and nutrient accumulation and grain yield in modern Japonica rice (*Oryza sativa* L). *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)* 28(1):22-26.
- Chen, X. M., R. F. Line, and H. Leung. 1998. Genome scanning for resistance-gene analogs in rice, barley and wheat by high- resolution electrophoresis. *Theoretical and Applied Genetics* 97:345-355.
- Chen Y. Q. 1990. Characteristics of silicon uptaking and accumulation in rice. *Journal of Guizhou Agricultural Sciences* 6:37-40.
- Cheng, T. T. 1976. The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and African rice. *Euphytica* 5:425-441.
- Dai, S. F., Z. H. Ye, Y. Z. Cao, and Y. Y. Guo. 1997. Disaster- causing characters and disaster- reducing strategies of crop pests in China. *Chinese Journal of Applied Ecology* 10:119-122. [in Chinese]
- Ding, K., G. Tan, Z. Gao, and B. Ji. 2002. Effects of ecological factors on infection process

- of *Pyricularia grisea*. Chinese Journal of Applied Ecology 13(6): 698-700.
- Dong, J., H. L. Li, J. M. Wang, A. Y. Ding, J. Chen, J. H. Zhu, W. Wang, B. D. Li, and Y. Q. He. 2001. Agricultural Plant Pathology (northern edition), 2-7. Beijing: China Agricultural Press.
- He, M., D. Lu, and J. Mao. 1998. The effect of key ecological factors on rice blast disaster. Journal of Southwest Agricultural University 20(5):392-395.
- Hu, R., S. Fang, and G. Q. Chen. 2001. Effects of silicon ion the physiological targets and yield of modern rice. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences) 27(5):335-338.
- Kong, P. and R. Zhou. 1989. The multi- effect and modeling of dew temperature and time and nitrogen application on infection on *Pyricularia grisea*. Acta Phytopathologica Sinica 19(4):223-227.
- Lu, L. S. 1996a. Agriculture and agricultural science and technology in the 21st century. Science and Technology Review 12:178. [in Chinese]
- Lu, L. S. 1996b. The current status, perspectives and strategy of modern agriculture development. Science and Technology Review 2:41744. [in Chinese]
- Nanda, H. P. and S. Gangopadhyay. 1984. Role of silicated cells in rice leaves on brown spot disease. International Journal of Tropical Plant Disease 2:89798.
- Oka, H. I. 1988. Origin of Cultivated Rice. Tokyo: Japan Scientific Societies Press.
- Pan, Q. H., L. Wang, T. Tanisaka, and H. Ikehashi. 1998. Allelism of rice blast resistance genes in two Chinese rice varieties and identification of two new resistance genes. Plant Pathology 47:165-170.
- Qin, S. 1979. The analysis about the effects of rice resistance diseases and increasing yield using silicon fertilizer. Zhejiang Agricultural Sciences 5:12-15.
- Qiu, W. 1975. Agricultural Plant Pathology, 1-11. Beijing: Agricultural Press. Revel, J. P., T. Bernard, G. H. Haggis, and S. A Bhatt. 1983. Science of biological specimen preparation for microscopy and microanalysis. In Proceedings of the 2nd Pfefferkorn Conference. O'Hare, IL: SEM Inc.
- Shi, Z. M., S. C. Qin, and S. H. Jiang. 1999. Famous Flowers from Yunnan. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press. [in Chinese]
- Shigehisa, K. 1982. Genetics and epidemiological modeling of breakdown of plant disease resistance. Annual Review of Phytopathology 20:507-528.

- Shui, M., D. Chen, S. C. Qin, and S. H. Jiang. 1999. The silicification of young tissues of rice and relationship with its resistance to blast of rice. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* 5(4):352-358.
- Staskawicz, B. J., F. M. Ausubel, J. Baker, J. G. Ellis, and J. D. G. Jones. 1995. Molecular genetics of plant disease resistance. *Science* 268:661-667.
- Xu, Z. G., X. B. Zhen, H. F. Li, H. S. Shang, and W. Z. Liu. 1979. *Common Plant Pathology*, 2nd ed., 2-7. Beijing: China Agricultural Press.
- Yang, X. M., G. Q. Li, X. Li, J. G. Wang., L. Li. 2000. *Plant Ecological Phytopathology*, 51-52. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press.
- Ye, C. 1992. The relationship between soluble- silicon in soil, yield grain and rice physiology. *Journal of Agricultural Science Translation Series* (1):24-27.
- Yoshida, S. and K. Kitagishi. 1962. Histochemistry of silicon in rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition* 8(1):30-41.
- Yu, L., J. Y. Zhang, and W. J. Fan. 1994. The effect and forecast of weather factors on rice blast. *Heilongjiang Weather* (2):35-36.
- Zhu, Y. Y., J. X. Fan, Y. H. Wang, and S. F. Yu. 1999a. Demonstration trial of mixture variety culture for rice blast management. In S. Yu, ed., *Symposium of the Key Laboratory for Plant Pathology of Yunnan Province*, Vol. 2, 93-100. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press. [in Chinese]
- Zhu, Y. Y., Y. Y. Wang, H. R. Chen, J. H. Fan, J. B. Chen, and Y. Li. 1999b. Exploiting crop genetic diversity for disease control: A large-scale field test. In *Articles Collection of Key Laboratory for Plant Pathology of Yunnan Province*, 75-80. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Science and Technology Press.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, J. X. Fan, S. S. Yang, L. P. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. H. Wang, and C. C. Mundt. 2000a. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718-722.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, Z. S. Li, J. Y. Zhou, J. X. Fan, S. S. Yang, M. G. Liang, L. P. Hu, C. C. Mundt, E. Borromeo, H. Leung, and T. W. Mew. 2000b. Current status and prospects of mixture planting for the control of rice blast in Yunnan [A]. In T. W. Mew, E. Borromeo, and B. Hardy, eds., *Impact Symposium on Exploiting Biodiversity for Sustainable Pest Management*, 21-23. Kunming, Yunnan, China: International Rice Research Institute.

13. 공간적·시간적으로 복잡한 농업경관 내에서의 생물다양성 관리

H. BROOKFIELD AND C. PADOCH

농민들은 생물다양성에 관여한다. 그들은 토질을 화학적으로 강화하고 보호하면서 단일 작물을 수 천 헥타르에 심어서 생물다양성을 최소화시키는가 하면, 다른 한편으로는 가장자리나 군데군데에 여러 작물과 수목을 심어서 다양한 형태의 농지를 조성하기도 한다. 본 장은 앞 장에서 다루었던 내용들과는 큰 차이가 있다. 본 장의 내용은 농업 생물다양성뿐만 아니라 자연 및 기타 관리되는 생물다양성을 포함하여 전체 농지와 농업지역 차원에서의 생물다양성 관리에 관한 것이다.

또한 본 장에서는 농업경관의 생물다양성을 다소 폭넓은 시간적 차원에서 바라본다. 농부들은 작물을 윤작하고 수확 후에 자연적 재생산을 유도하고 관리함으로써 작물의 지속적 생산을 보장한다. 그들은 계절에 따른 물과 토양 조건의 변화를 활용하여 각 계절에 맞게 생존하고 잘 자랄 수 있는 작물들을 도입하여 재배한다. 일부 농민들은 토질악화, 염류집적, 배수불량과 같은 문제점들에 대처하기 위해 관리방법을 변경하며 따라서 환경의 역동성이 보다 잘 반영한 토지이용 모자이크가 만들어진다. 이러한 모든 변화는 농업 전반에서 생물다양성에 영향을 미친다. 본 장의 목적은 이러한 폭넓은 변화를 평가하고, 변화의 정도를 이해하고 측정하는 과학적 노력에 대하여 알아보기 위한 것이다.

농업 경관

생물다양성에 대한 최근의 연구는 대체로 소규모 농지의 세부적 분석을 중심으로 진행되었다. 한편, 보존 목적의 조사활동은 종종 특별한 가치가 있다고 판단되어 보호체제를 제안하거나 적용하려는 대규모 지역에서 실행되어 왔다. 한편, 농업 생물다양성에 관한 더욱 전문화 된 연구에서는, 신중하거나 경솔하거나 간에, 농민 선택이 중요한 요소이다. 그러므로 농지 및 과수원, 정원, 휴경지, 목초지는 견본 추출 및 조사에 중요한 단위가 된다. 농민 역시 다양한 그룹의 사람이다.

생물다양성이 모여 밭이 되고, 밭이 모여 농장이 되며, 농장이 모여 농촌이 된다. 우리가 농지의 생물다양성 유지에 관심을 갖는다면, 유전자의 흐름이 있으며 변화 및 교체가 일어나는 메타개체군이 있는 지역을 주목해야 한다. 모든 것이 논과 밭 또는 더 넓은 지역 사이 어딘가에 있다. 이곳이 다양성의 구조가 표출되는 곳이며, 다양성 생성 프로세스가 작용하는 곳이며,

상호 관련성을 관찰 및 이해할 수 있는 곳이다. 이것이 경관이지만 시작하기에 앞서, 우리는 이것을 좀 더 명확한 용어로 정의할 필요가 있다.

특정 관점에서 본 단순히 경치라는 질적인 의미와는 반대되는 과학적 의미의 경관(landscape)은 쉽게 정의되지 않는다. ‘경관’이라는 용어는 19세기 후반 독일 지리학 용어에서 영어권의 과학 용어로 변형되었는데 특정 지역의 자연경관(Naturlandschaft)과 인공경관(Kulturlandschaft)을 분석(때로는 통합된 방식으로 분석)한데서 유래되었다. 그 당시 분석은 지도에 의존했으나, 현재는 원격 탐사에 의존한다. 그러나 ‘경관’의 정의는 지면 차원에서 눈으로 볼 수 있는 것에 한정되어 있기 때문에 경관의 단위는 지형학적 단위의 범위 내에서 정의된다. 이 단위는 밭 및 모자이크 개념의 발전을 통해 1970년대 이후로 생태학에서 중요하게 되었으며, Forman(1995:13)은 ‘경관’을 특정 지역의 생태계와 토지 이용이 혼재되어 넓은 면적에 걸쳐 비슷한 형태가 반복되는 지역으로 편리하게 정의하였다. 생태계 및 토지피복에 관한 저술의 관찰적 증거를 통해, 경관은 몇 제곱킬로미터에서 몇 백 제곱킬로미터, 심지어는 인구가 희박하여 경관에 대한 기록이 거의 없는 지역에서는 더 넓은 면적에까지 이를 수 있다. 좁은 지역이라고 할지라도 미세 환경적 다양성을 포함하며, 때로는 역동적이다. 이 다양성에 적합한 여러 가지 관리 시스템이 토지 이용 패턴을 창출한다.

순수과학은 별개로 하고, 경관 차원에서 생물다양성 분석의 가장 일반적인 목적은 인간의 사용으로 인한 변화 및 그 사용 조건의 변화를 평가하거나 측정하는 것이다. 19세기 이후, 특히 1950년 이후로 많은 변화가 발생했기 때문에, 이것은 특히 중요하게 되었다. 인구의 성장은 변화의 기본 동인이었다. 1850년 이후 총 인구는 세계적으로 12억 5천만 명에서 60억 명 이상으로 증가하였다. 농업 기술은 1950년 이후 크게 변화했으며, 생산성 면에서는 크게 성공했지만 생태계에 심각한 결과를 낳았다. 현대적인 농업 기술이 있는 지역이나 없는 지역 모두 종 및 유전적 다양성이 크게 손실되고 있음은 잘 알려진 사실이다.

이미 전통 농업기술로 불리던 것이 나타난 후 30년도 채 안 되어 오염, 토양 손실 및 약화, 산림 벌채 및 경관 균질화, 유전적 침식, 기계화와 화학화에 적합하지 않은 지역의 빈곤과 같은 결과가 정책 결정자와 소수의 농민들 사이에 심각한 골칫거리가 되었다. 새 기술로 가장 많은 변화가 일어난 지역에서는 이러한 걱정이 더 일찍 시작되었으며, 단순히 인간의 사용이 증대되면서 걱정은 계속 확산되고 있다.

유럽에서는 경관의 약 3%만이 자연식생으로 취급되며 44%는 농지로 관리된다. 토양 악화 및 기타 변화들도 1980년부터 대중의 관심사가 되었다. 1990년대까지, 이러한 관심은 현재 EU의 일반적인 농업 정책에 있어서 주요 변화를 일으키는 시발점을 제공했다. 이 정책은 환경 관리에 대한 새로운 기준을 포함하며, 보조금을 받는 모든 농지에 적용될 것이다. 특히 특별 기금을 받는 농업환경 프로그램은 그 참여 수준이 매우 다르긴 하지만 모든 회원국들이

현재 운영하고 있다(Pierr 2003). 이러한 프로그램에는 일곱 개 농지 중 적어도 1개가 참여하며, 2004년 이전 EU의 농지 중 17%가 어떤 형태이든 농업환경 프로그램에 참여하였다(Bureau 2003). 유럽의 거의 전 지역이 인위적으로 변경된 것을 감안한다면, 토지이용 관리를 통해 해결책을 찾아야 할 것이다. 몇몇 농업환경 프로그램은 가축 밀도를 감소시키는 것이 전부인 반면, 어떤 프로그램은 좀 더 건설적으로 관목이나 잡목 숲을 조성하거나 재조성하여 숲이 남은 지역과 연결하고 1950년 이후 엄청나게 확대된 벌목 지역을 줄여 나가고 있다. 이러한 프로그램의 목적은 경관 차원에서 적절한 서식지 구역별 모자이크에 있는 다양성의 척도를 회복시키는 것이다.

경관 차원의 생물다양성 특성:

유럽 및 개발도상국

다양성이 사라지고 있다는 사실에는 거의 논쟁의 여지가 없지만, 변화를 정밀하게 관찰하는 일은 연구가들에게 여전히 과제로 남아 있다. 유럽인들은 세금의 일부를 농업 환경을 복구하는 데 사용할 수 있도록 준비하고 있으며, 농업환경 프로그램에 참여하는 농민들은 그렇게 하기 위해 보조금을 지급 받는다. 이것은 관찰의 필요성을 창출하며, 몇 년 동안 경관 차원에서 생물다양성 변화의 특징을 찾고 관찰하기 위한 방법을 찾으려는 노력이 계속되어 왔다. 비록 유럽이 본 논문의 주요 초점이 되는 개발도상국의 사정과 매우 다르긴 하지만, 대륙 상당 부분의 특징을 나타내는 매우 복잡한 토지이용 모자이크는, 예를 들어 북아메리카의 넓은 경관보다 개발도상국과 더 유사하다. 그러므로 대부분이 독일에서 이루어진 본 연구 중 몇몇을 검토해보는 것은 그만한 가치가 있다.

지금까지 여러 가지의 방법이 시도되었다. 그 중 어떤 것은 다양한 방식으로 사용되는 경작지에서의 식물 다양성 목록을 작성하는데 집중하였다. 1950년대 이후로 경작을 포기했던 한 지역에서 실시한 이러한 연구 중 하나는 경작을 중지한 이후 해마다 생물다양성이 증가했다고 밝혔는데, 이것은 뜻밖의 결과가 아니다(Waldhardt and Otte 2003). 이러한 표준 다양성 목록 작성에 시간과 돈을 다량 투입하는 폐단을 없애기 위해, 생물다양성의 변화를 관찰하는데 있어 쉽게 찾을 수 있고 이용할 수 있는 지표 종을 탐색하는 데 많은 노력을 기울여 왔다. 곤충군에는 빨리 잡을 수 있는 딱정벌레와 같은 종에 특별한 관심을 가져왔다(Duelli 1997; Büchs 2003). 표본 추출이 가장 중요하며, 몇 가지 접근법은 경관을 서식지 유형 지역으로 하위 분류하는 것에 특별히 초점을 맞추었다. 특성 및 모자이크의 크기를 포함한 경관 구조는 그 자체가 가치 있는 대응 지표가 될 수 있어, 관심 지역의 제한경이 종의 다양성에 미치는 영향을 나타낸다. (Dauber et al. 2003).

한 연구는 랜드셋 위성(Landsat) 이미지와 이미 몇 년 전에 작성하였던 생물소(小)서식지 세밀 지도를 조합하여 계층화 된 견본을 개발하였다(Osinski 2003). 생태학적 지역 견본 프로젝트에서는 위성 생성 지표 피복 데이터를 활용하여 독일을 28개 토지 범주로 분류하였으며, 각 범주 내에서 1km²의 견본을 뽑아(농지만) 생물소서식지 정보를 자세히 분석하였다(Hoffmann-Kroll et al. 2003). 이러한 연구는 1990년대 중반에 실행되었으며, 각 지역에 대한 전국적인 정보를 수집하기 위해 유사한 접근법을 사용한 대규모의 영국 지방 조사와 거의 동일한 시기에 이루어졌다(Haines-Young et al. 2000). Opperman(2003)은 몇 가지 지표 중, 즉 식물군과 동물군의 존재 여부에 의해, 그러나 사실은 농지 공간의 물리적 특성과 농지의 관리를 평가하는, 훨씬 간접적이지만 더 참여적인 방법을 제안했다.

주로 독일과 스위스에서 실행한 최근 연구를 비교 검토한 Waldhardt(2003)과 Waldhardt 등(2003)은 향후 길잡이가 될 수 있는 생물 및 경관 지표를 조합하는 것에 중요한 가치를 두었다. 그러나 지표 탐색에는 많은 문제가 야기되며, 제안된 견본 추출 및 평가 방법은 모두 비용이 많이 든다. 본 연구의 대부분에서 고려한 종과 조사 지역의 크기는 작으며, 농업환경 연구 진전을 측정하는데 광범위하게 사용할 수 있는 지표 중 탐색은 여전히 갈 길이 멀다. 지역적으로 과학적 투자를 많이 하고 있으며 방대한 양의 가치 있는 정보를 모으긴 했지만, 전체적인 유럽의 노력은 여전히 초기 단계에 머물러 있다. OECD(1997)가 제안한 것처럼, 국제적인 타당성을 갖는 농업 경관을 위한 지표를 개발하려는 장기적인 목표는 이것을 처음 제안했던 때와 거의 마찬가지로 진행에 별 차도가 없다.

개발도상국들은 광범위한 농업 시스템, 기후, 생물적/비생물적 조건의 관점에서 대리 지표를 거의 예측할 수 없다. 서식지 다양성과 패턴이 잠재적으로 중요하지만 원격 탐사 및 지상 검증을 통해 해석하려면 기술과 자원이 필요하며, 이것은 단 몇 국가에서만 가능한 일이다. 지상에서 행하는 표본 지역 조사로 대부분의 정보를 얻어야 한다. 논문에서 발견되는 50개 이상의 생물다양성에 관한 양적 측정(대부분이 수 년 전에 개발됨)은 그 설명이 제한적임에도 불구하고 농업 지역이거나 자연상태인 지역의 생물다양성을 분류하는 유일한 수단이 되고 있다(Whittaker 1972; Magurran 1988).

12 개국이 참여하는 사람, 토지 관리, 환경 변화(PLEC) 프로젝트는 농업 관리에 있어 다양성 전략을 사용한다면 생물다양성을 지속시키고 심지어 향상시킬 수도 있다는 가정 하에 수립되었다. 이러한 관점은 유럽에서도 지지를 받았는데, 이미 유럽에서는 1950년대 현대 기술이 발달하기 전까지, 1,000년 간의 농업이 서식지나 생물서식지 전담의 역학적 모자이크를 창출하여 식물 및 동물의 종 다양성뿐만 아니라 구조적, 기능적 다양성, 그리고 유전적 다양성까지 향상시키는 효과를 경험하였기 때문이다(Waldhardt et al. 2003). 생물다양성 목록을 준비해야 하는 PLEC의 경우, 모든 실증 지역에서 다양성을 기록할 필요가 있었으며 1999년 이를 위해

표본 추출 안을 세운 후(Zarin et al. 2002), 데이터베이스를 설계(Coffey 2000)하고 α 다양성 (그리고 그 지역 합 γ)과 β 다양성의 가장 적절한 지표를 계산하는 것에 대한 자세한 가이드 라인을 제시하였다(Coffey 2002). PLEC는 동물군이 아닌 도관 식물의 다양성에만 관심을 가졌다.

유럽에서조차도 완전히 만족스러운 임의 표본을 추출하는 것은 논리적으로 실행 불가능하기 때문에, 우리는 표본 추출 과정을 임의적이 아닌 좀 더 의도적인 방향으로 진행하였다. 12개국 각각에서 1~7개 경관 지역(실증 지역)을 선택하여 프로젝트를 실행하였는데, 지역 대표성이 있는 특정 마을이거나 연락이 가능한 농민 그룹이 함께 일하기를 원하는 지역을 선정하였다. 이 지역은 범위가 10km^2 이하에서 최대 100km^2 까지 다양하지만, 종종 최종 선택 전 조사활동을 시행한 횡단밴드 지역 내에 위치한다. 이 경관 내에서 공통의 지피식물을 통해 구별되는 개략적인 토지의 이용 형태를 먼저 확인하였다. 우리는 토지를 윤작하거나 최근 윤작했던 지역을 대상으로 하였기 때문에 토지피복의 비영속성을 강조하기 위해, 이를 토지이용 단계라고 하였다. 12개국에서 27개의 단계를 확인하였으며, 비교를 위해 가장자리 포함한 7개 주요 범주로 축소할 수 있었다(Pinedo-Vasquez et al. 2003a).

이러한 개략적인 토지이용 구분(class) 내에서 서식지(habitats) 또는 생물소서식지(biotopes)의 독특한 유형이나 집합을 찾아보았다. 이것이 다른 단계의 관리되거나 또는 관리되지 않은 휴경지나 산림을 포함하고 있긴 하지만, 농민들의 관리 방식을 통해 토지이용 구분을 정의하는 것을 강조하기 위하여 우리는 이것을 필지 유형(field types)이라고 불렀다. 그런 다음 필지 유형 내에서 실제 표본 지역을 선택하였는데, 가장 명백하게 다양성이 나타나는 필지, 또는 이미 다른 정보를 수집한 특정 가구들이 일하고 있는 필지를 선택하는 일종의 편향된 표본채취를 하였다(Guo et al. 2002). 이러한 필지 내에 종 목록을 만들기 위해 표본채취용 사각형을 표시하였다. 이와 동시에 생물다양성 목록 사각형 주변의 전체 표본 농지에 대한 관리 방식 정보를 자세하게 수집하였다(Brookfield et al. 2002). 가정용 정원 및 농지 간 가장자리는 다른 방법을 통해 별도로 표본 추출하여 처리하였다(Zarinet al. 2002).

PLEC의 생물다양성 평가는 지상에서 실행되었으며, 가끔씩만 항공사진이나 원격 탐사 이미지를 통해 부분적인 도움을 받았다. 이 시스템은 제한적인 인력 및 재정 자원을 가장 잘 활용하기 위해 설계되었다. PLEC의 목적은 농민의 관리 방식 및 그 효과를 연구하는 것이었다. 이러한 연구는 농민들과 밀접한 협력을 통해 이루어져야 했다. Kaihura 등(2002)은 탄자니아의 메루산 상부의 몇 제곱킬로미터 되는 좁은 지역에서 박스 13.1에서 요약한 바와 같이 일목요연한 순서를 발견했다. 이들은 이 지역이 일 년에 세 번 파종하기 때문에 농지의 작물 구성이 몇 달마다 변화할 수 있다고 언급하였다. 작물 구성은 필지 유형을 구별하는 하나의 중요한 기준이었으며, 토지 소유, 농민의 연령 및 부, 경사, 비옥도 등급, 질소/인/칼륨 부족의

증거, 사용된 경운 및 경운 도구 유형, 기르는 가축, 병충해와 잡초를 조절하기 위해 사용한 방법, 침식/토양 수분/배수 등을 관리하는 데 사용한 방법과 같은 많은 다른 정보들도 기록하였다. 1999년 만든 12개 필지 유형과 함께 한 농지에 대한 추후 조사를 시행한 결과, 10개 다른 식량 및 현금 작물, 6개 유형의 수목, 30가지 이상의 질병을 치료하는 데 사용하는 10개 이상의 약용 식물, 증식 및 판매를 위한 17개 유형의 형틀묘, 6개 채소 작물, 18개 과수, 7개 관상식물을 발견하였다(Kaihura 2002:136). 그러므로 관리방법의 다양성은 농업생물다양성의 배경을 제공한다.

박스 13.1 탄자니아 Arumeru, Olgilai/Ng'iresi의 토지이용 단계 및 농지 형태의 특징

박스 표 13.1

토지이용 단계	농지 유형	농지 유형 설명
Natural forest 자연림	최소 간섭	메루산 상부 구릉지대 가파른 경사와 깊은 계곡 때문에 접근이 불가능. 85%~50%의 경사 습한 열대성 기후, 몇몇 야생동물, 관보에 기재된 지역.
	약간 간섭	메루산 상부 녹부사면 재목, 장작, 의료 식물로 이용. 마을과 멀고 가파르기 때문에 사용이 제한. 15~35%의 경사 야생 동물이 거의 없는 습한 열대성 기후, 관보에 기재된 지역.
	고도 간섭	원뿔 모양의 언덕으로 가끔 휴양지로 이용, 재목, 장작, 의료 식물로 이용. 마을에서 수목 벌채를 조절, 그러나 가장 경제적인 수목과 관목은 이미 수확됨.
Planted forest 조림지	침엽수림에서 일시적 재배	자연림을 개간한 후 피너스목 재배 옥수수과 콩을 일반적으로 양배추, 감자와 윤작 작물 조합 및 배열은 농민과 시즌에 따라 달라진다. 10%~20% 경사.
		사이프러스림에 사이프러스 목 재배, 침엽수림과 유사한 재배 시스템. 서 일시적 재배
		유클립투스 재배자연림을 개간하고 유클립투스만 재배. 농장
Agroforestry 농림지	작물 및 수목	농지 규모, 계절, 농민 선호도에 따라 작물 및 수목을 복잡하게 혼합 커피, 바나나, 수목, 옥수수와 콩이 가장 대표적, 경사는 다양함.
	수목, 옥수수 및 콩	옥수수와 콩 간작, 외곽 및 경제 지역에 수목이 울타리 구실을 함. 가장 경제적인 작물이 가장 넓은 지역을 차지한다.
	감자와 야채	윤작 첫 시즌에는 상업적 감자를, 다음 시즌에는 양배추를 윤작하고 그 해 세 번째 시즌에는 휴경.
Maize	옥수수	옥수수를 단일 작물로 재배.

토지이용 단계	농지 유형	농지 유형 설명
Natural forest 자연림	최소 간섭	메루산 상부 구릉지대 가파른 경사와 깊은 계곡 때문에 접근이 불가능. 85%~50%의 경사 습한 열대성 기후, 몇몇 야생동물, 관보에 기재된 지역.
	약간 간섭	메루산 상부 녹부사면 재목, 장작, 의료 식물로 이용. 마을과 멀고 가파르기 때문에 사용이 제한. 15~35%의 경사 야생 동물이 거의 없는 습한 열대성 기후, 관보에 기재된 지역.
	고도 간섭	원뿔 모양의 언덕으로 가끔 휴양지로 이용. 재목, 장작, 의료 식물로 이용. 마을에서 수목 벌채를 조절, 그러나 가장 경제적인 수목과 관목은 이미 수확됨.
Planted forest 조림지	침엽수림에서 일시적 재배	자연림을 개간한 후 피너스목 재배 옥수수와 콩을 일반적으로 양배추, 감자와 윤작 작물 조합 및 배열은 농민과 시기에 따라 달라진다. 10%~20% 경사.
		사이프러스림에 사이프러스 목 재배, 침엽수림과 유사한 재배 시스템. 서 일시적 재배
		유칼립투스 재배자연림을 개간하고 유칼립투스만 재배. 농장
Agroforestry 농림지	작물 및 수목	농지 규모, 계절, 농민 선호도에 따라 작물 및 수목을 복잡하게 혼합 커피, 바나나, 수목, 옥수수와 콩이 가장 대표적. 경사는 다양함.
	수목, 옥수수 및 콩	옥수수와 콩 간작. 외곽 및 경제 지역에 수목이 울타리 구실을 함. 가장 경제적인 작물이 가장 넓은 지역을 차지한다.
		감자와 야채 윤작 첫 시즌에는 상업적 감자를, 다음 시즌에는 양배추를 윤작하고 그 해 세 번째 시즌에는 휴경.
	Maize 옥수수	옥수수를 단일 작물로 재배.

규모 역시 중요한 고려사항이다. 서식지 유형이나 필지 유형은 넓은 지역에서 반복되는 경우 토지 이용 단계와 구별하는 것이 힘들 수 있다. 다른 식물상의 구성을 통해 구별이 가능하다 하더라도, 이것은 항상 농민의 관리방법 차이에 의해 결정된다. 동남아시아의 매우 많은 지역에서는 관개식 연못 포장, 교대로 경작 및 휴경되는 건조한 농지, 경작 및 관리되는 농용림이나 식림지, 철저하게 관리되는 가정용 정원이 주요한 네 가지 농지 유형을 구성하며, 각각은 토지이용 단계를 구성하지 만 또한 작물 내용이나 관리 면에서 세분화 될 수도 있다. 이와 비슷하게 서아프리카 기니의 Fouta Djallon에서는 소규모의 수림 및 경작할 수 없는 폐허를 제외한 모든 토지를 세 가지 토지이용 단계 로 분류할 수 있다. 매년 경작되는 철저한 경작 내야와 더욱 광범위한 외야와 관련된 휴경지, 소규모 로 경작 및 관리되는 농림지가 그것이다. 한 Fouta Djallon 마을에서는 이 단계를 서로 간의 가장자 리를 포함하여 수많은 농지 형태로 세분화할 수 있었다. 두 단계의 분류 모두 유효하며 전체 경관과 관련이 있다. 어떤 것을 선택하는지는 특성화의 목적에 따라 달라진다.

농민을 포함한 생물다양성의 사용자

경관이 넓은 지역이든 단일 지역사회 영역이든 상관없이 농지는 생산을 위해 대부분의 다양성을 관리하는 단위이다. 농민들이 한 가지 필지 유형이나 한 가지 토지이용 단계를 관리하는 경우는 거의 드물다. 이들은 종종 경작지 및 목초지, 그리고 이 유형 사이의 경계지 뿐만 아니라 수림 지역, 식재 삼림지, 수체 등을 포함한다. 휴경지는 관리할 수도, 안 할 수도 있으며, 꽤 자주 이곳에서 자원을 수확한다. 경관 차원에서 다양성을 측정하고 관리하는 것은 토지 소유주와 사용자 간에 동의가 있어야 할 뿐 아니라 활발한 협력도 필요하다. 공유지의 경우에도 자원을 사용하는 사람들로부터 배워야 할 것이 많다.

PLEC에서 우리는 Brookfield와 Padoch(1994)가 처음 제안한 농업 다양성의 개념을 광범위하게 사용하였다. 이 개념은 대부분의 경관 연구에 나타나는 자연적 구분과 문화적 구분을 비교하는 것을 넘어, 농업 생물다양성과 관리 다양성, 생물물리학적 다양성을 상호 연관시키고 이를 조직적 다양성이라고 부르는 4차원적 정황에 대입한다. 후자의 개념에는 설명이 필요하다. 농지가 돈을 벌어들이도록 구성되었든 되지 않았든, 이것은 유사한 기업 및 더 높은 수준의 지역사회, 당국, 지역/국가/세계 경제와 뚜렷한 관계를 맺고 운영되는 하나의 기업이다. 다른 기업과 마찬가지로 이것은 더 큰 사회적, 경제적 시스템 속에 자리잡은 하나의 사회적, 경제적 시스템이다. Blaikie와 Brookfield(1987)가 사용한 개념에서, 농장 운영자는 토지 관리자이다. 농민이나 농가가 어떤 작물과 가축을 생산할지를 이미 결정한 시스템 내에서 일을 하더라도, 이들은 연간, 월간, 일간 단위로 생산에 필요한 결정을 내려야만 한다. 농지는 서로 크게 다르며, 농지 운영자의 자원이나 기술 역시 크게 다르다.

이것이 다양성의 핵심 부분이다. 이것은 농민이 토지를 소유하거나 임대하여 운영하는 방식의 다양성과 증여자원 및 농지 인력을 사용한 다양성을 포함한다. 그 요소에는 노동력, 가구 크기, 가구의 차별적인 증여 자원, 농외 고용에 대한 신뢰 등이 포함된다. 또한 농업에서의 연령대나 성별, 외부 지원보다는 농지에의 의존도, 농지의 공간적 분포, 농장 사이에 발생하는 상호 도움의 정도, 토지 접근성에 있어서의 농민 간 차이 등도 포함된다. 자원 보유, 자원에 대한 접근 조건, 그리고 Leach 등(1999)이 환경적 권리로 설명한 것 등은 기본적으로 중요하다. 조직적 다양성은 토지, 작물, 노동력, 자본, 기타 투입을 포함한 모든 자원의 관리를 수반한다.

소유 조건이 무엇이든, 최대 수요기에 인력을 단순하게 조직하는 데 필요한 기술은 농업 발달에 대한 일반적인 논문에서 크게 과소평가되고 있다. 녹색 혁명 혁신으로 일모작에서 이모작, 심지어 삼모작으로의 변화가 가능해지면, 이러한 기술이 크게 요구되고 있다. 그러나 농민들은 이러한 시기에 자신들의 자원과 인력을 어떻게 관리해야 하는지에 대한 안내나 교육을 받은 적이 거의 없다. 이들은 스스로 이것을 학습했다. 조직적 다양성은 매우 역학적이다.

농민들은 환경에 따라(때로는 매우 짧은 시간 안에) 노동력 및 자원의 조직을 바꾸고 생산 요소들을 새로운 방식으로 조합해야 할 필요성에 빠르게 반응한다.

이 작업을 가장 잘 하는 전문 농민들은 종종 그들 지역사회의 정치적 또는 사회적 리더들이 아니다. 중국 PLEC는 이전 화전민이고 수렵민이었던 혁신 전문가 Mr. Li Dayi의 놀랄 만한 예를 발견했다. 1980년대에 그는 숲에서 발견되는 희귀하지만 가치 있는 목재 종인 *Phoebe puwenensis*를 재배하는 실험을 하는 데 관심을 갖게 되었다. 식물학적으로 확실한 방법은 없었지만, 그는 2년 만에 생존 가능한 묘목을 키우는 데 성공하였다. 그 후 그는 1983년 발생한 집단 농장의 민영화 과정에서 자신에게 할당된 옥수수 재배지 0.13 헥타르를 혼합 조림지로 전환시켰다. PLEC의 지원으로 그는 자신의 기술을 95명의 마을 농민들에게 전파시켰다(Dao et al. 2003).

지난 몇 년간 파푸아뉴기니의 외진 마을의 농민들은 생계 유지를 위한 농법을 변경하여 환금 작물을 포함시키는 시스템으로 변경하였다. 수많은 농민들이 마(yam)를 재배하는 첫 해나 두 번째 해에 정원에서 카카오나 커피 묘목을 재배하고 있다. 1990년까지 이 지역의 유일한 환금 작물은 1960년대 지도 사업으로 도입된 로버스타 커피였다. 로버스타 커피는 평균 150 그루씩 심어진 작은 필지에서 재배되었으며, 이차림(二次林)에 둘러 쌓여 있고 *Leuceana*(콩과의 나무 또는 관목)가 그늘을 만들어 준다. 이 커피는 1960년대 모든 가구가 적어도 한 두 필지에 열심히 경작했던 이후로는 거의 추가로 재배되지 않았다. 그러나 1990년과 2001년 사이에 70,000 그루 이상의 카카오 나무가 재배되었다. 이 경우 화전 경작 시스템은 새로운 상황에 따라 변경되고 있다. 옛날에는 3년 경작의 최종 단계에서 필지는 잡초로 뒤덮였지만, 현대에 와서는 이 잡초들은 지면을 덮는 고구마를 도입하여 막고 있다. 현재, 휴경지의 나무들과 키가 큰 풀들을 제초하고 카카오 나무를 그늘지게 하기 위해 *Gliricidia*(콩과의 관목, 울타리, 그늘막 조성을 위해 심음)를 재배한다. 그렇게 하여 식량작물 포장이 환금작물 포장으로 변화한다. 농민들은 20년 안에 카카오를 제거하고 식량작물을 다시 재배할 것이라고 주장한다. 이들은 카카오와 *Gliricidia*, *Leuceana*를 개간한 토지에서는 20년 휴한림에서 만큼이나 식량작물이 잘 자란다는 사실을 알고 있다. 그러므로 이러한 방법이 식량생산의 감소라는 결과를 낳지는 않을 것이다. 오히려 이 방법은 휴경 중 자연적으로 명맥을 이어가는 식물종의 손실을 20년간 가져올 것이고, 이 식물들을 수집하는 사람들이 더 이상 이용할 수 없게 될 것이다. 농민들은 이 문제를 인식하고 있지만, 식량작물을 위해 개간된 모든 토지가 카카오나 커피로 변환되는 것은 아니기 때문에 그 손실이 심각하지 않을 것이라고 생각한다. 이들은 그 정도의 많은 카카오나 커피를 수확하고 처리할 노동력을 가지고 있지 않을 것이기 때문이다(Sowei과 Allen 2003).

이런 종류의 다른 예들도 많이 인용할 수 있다. 현대사에서 가장 잘 알려져 있는 예는

1890년과 1920년 사이에 서 아프리카 가나 남부에서 기업 이민 농부들이 이차림(二次林)에 넓은 카카오 재배지역을 만들면서 다른 사람에게서 구매한 토지를 용이하게 활용하기 위해 새로운 토지 계약 시스템을 개발한 것이다(Hill 1963). 본 장 후반부에서는 브라질 아마존의 농민들이 가격 변동에 대응하여 밭작물 시스템을 농림업 시스템으로 어떻게 전환하는가를 설명한다. 이러한 형태의 활동은 전체 경관의 생물다양성을 변화시킨다.

박스 13.2 - 방글라데시 시골 극빈층의 농업 생물다양성과 생계 전략

가난한 사람들이 생존 및 생계를 위해 재배되지 않은 식량에 의존한다는 사실은 방글라데시 시골 마을에서는 잘 알려져 있다. 그러나 이러한 의존성의 특성은 무엇인가? 우리는 연구를 통해 극빈층이 토지, 수자원, 그리고 이들이 살고 있는 숲으로부터 식품 및 식물을 수집하여 사용한다는 사실을 밝혔다. 우리가 마을 사람들에게 "가난한 사람들은 어디에 있습니까?"라고 물었을 때 대답은 "Chak" 이었는데, 그것은 다른 사람의 경작지 또는 길 가를 의미한다. Bhadra에서 Kartik에 이르는 달까지 이들은 농민을 위해 사탕수수를 수확하면서 바쁘게 보낸다(역자 주: 인도의 표준 달력에 의하면 Bhadra는 8월 23일 ~ 9월 22일이며, Kartik은 10월 23일 ~ 11월 21일이다). Agarhayan(11월 22일 ~ 12월 21일), Poush(12월 22일 ~ 1월 20일), Magh(1월 21일 ~ 2월 19일) 달에는 농민을 위해 바쁘게 감자를 수확하고 논에 심을 묘를 준비한다. 이들은 노동의 대가로 얼마간의 돈을 받을 수 있는데, 이것을 기름이나 소금, 학비, 채무 상환 등에 사용할 것이다. 그러나 이들은 또한 감자로 임금의 일부를 지급받기도 하고, 감자 재배 지역의 지면을 덮는데 사용했던 짚을 모아 연료로 쓰기 위해 집으로 가져가기도 한다. 이들은 식용으로 농지에 있는 황마 잎을 줍기도 하고 논 주변에 자라난 엽채류들을 모아 이들 중 얼마간은 판매도 한다. 이들은 쌀을 사기 위해 놓아 먹이는 닭의 달걀을 팔고, 끼니를 위해 웅덩이의 작은 물고기들을 잡을 것이다. 이것이 이들의 생계 수단이다.

이러한 식량자원을 확보하기 위한 도전에 대한 적절한 대응은 무엇일까? 몇몇 작물에 기초한 농업 개발은 농약 사용의 확장과 단일 작물 재배와 같은 농작 방식으로 인해 극빈층이 겪게 되는 비경작 식량자원 이용 불능에 대한 손실을 적절하게 보상해 주지 못한다. 이것은 사람들이 이러한 비경작 식량자원을 사용할 수 있도록 하는 공유자산관리체제 및 사회적 규칙이 붕괴하는 것에 대한 보상도 할 수 없다.

비경작 식량작물이 방글라데시의 식품안전에 끼친 기여도를 분석한 결과, 이러한 식량자원을 적정 수준에서 활용할 수 있게 하는 것은 개별적인 식물종이나 농지, 뒤뜰 등이 아니라

지역사회 경관 차원에서 이루어진다는 것을 알았다. 단순히 다양성에 기초한 농작물 재배 시스템을 장려하고, 농약으로부터 마을 토지를 보호하고, 공유지에 보호 울타리를 치는 것만으로도 막대한 양의 비경작 식량자원을 또한 확보할 수 있다. 이러한 전략은 경작지의 경작 식물에 기초한 매우 제한된 의미의 농업 정의와 대조적으로, '경관 경작'이라고 부를 수 있다. 지역사회가 생물다양성의 농업의 개선은 생물다양성을 갖는 식량 시스템에 필요한 조건을 창출하고 유지할 수 있는 능력을 향상시킬 수 있도록 좀 더 광범위한 전략으로 이루어져야 한다. 궁극적으로 생물다양성은 재배되는 것이 아니라 오히려 생물다양성이 있는 농업생태계에서 배양되는 것이다.

출처: Farida Ahkter, 개발 대안을 위한 정책 연구 센터, 방글라데시

농민과 별도로 생물다양성을 사용하는 사람도 있다. 이동 방목자들은 연중 특정 시기에 특정 경관을 사용할 수 있으며, 이들 중 몇몇은 휴경지에 가축을 방목할 수 있도록 농민들과 계약을 맺는다. 이것은 서부 아프리카의 사바나 지역에서는 널리 퍼진 방식이다. Toulmin(1992)은 말리 북부의 밤바라 마을 가구들이 이주한 플라니 목자들을 유지하기 위해 1970년대와 1980년대에 손으로 우물을 파게 된 사연을 알려주었다. 이주 목자들의 가축은 우물 소유주의 농지에서 있으면서 퇴비를 제공하였고, 이로써 농민들은 작물 재배를 확장할 수 있었다. 그러나 마을 사람들은 목자들이 계속 자신의 고객이 되어 줄 것을 확실히 하는 반면, 플라니 목자들이 주변에 정착하여 자신의 우물을 팔 수 있는 땅을 확보하지 못하게 하였다. 확실한 자원 접근성을 유지하는 것은 밤바라에서는 많은 조직력을 필요로 한다.

상주인구 중 몇몇은 매우 적은 땅을 소유하거나 아예 땅을 소유하지 않는다. 이들은 공유지나 경관의 거의 모든 지역에 있는 자원에 의존할 것이다. 이들이 이용하는 식품은 전혀 경작되지 않은 것일 수 있다. 방글라데시 개발 대안을 위한 정책 연구 센터의 Farida Ahkter가 몬트리올에서 발표한 논문 초록에서 발췌한 박스 13.2는 극빈층이 얼마나 경관 다양성에 의존하는지를 사실적으로 설명한다.

시간적 차원

농업생태계 안팎에서 발견되는 생물다양성은 항상 변천한다. 온대지방의 계절적 변화, 순번에 따른 작물 윤작, 단기간의 경작과 및 휴경은 북부 농업에 있어 시간적 변화의 익숙한 형태이다. 그러나 열대지방의 소규모 자작농 시스템에서의 시간적인 복잡성은 과학자들에게 익숙하지 않으며 이해도 쉽지 않다. 또한 정부는 이를 종종 무시하거나 비난한다.

가장 일반적으로 연구되는 소규모 자작농 패턴 중에서 관리의 복잡한 시간적 변화 이러한 소규모 자작농업의 범열대성 형태는 매우 다양하지만, 일반적으로 벌채나 소각을 통해 농지를 개간한 후 짧고 집약적으로 작물을 재배하는 시기와 다음 몇 년간 수풀이나 덩굴로 휴경하는 시기를 교대로 갖는다. 최근까지 화전 시스템은 작물의 관리가 집약적이지 못하고, 휴경 단계에서는 보통 일시적으로 방치하는 것으로 이해되었다. 이 주기 동안에는 대부분의 작물을 경작, 제초, 수확할 때 이곳의 식물 및 동물을 관리하는 모든 적극적인 활동은 중지되었으며 필지로부터 파생되는 직접적인 경제적 혜택은 보잘 것 없었다. 사실, 휴경 중인 농지는 종종 완전히 자연 식생으로 회귀한 듯 보인다.

지난 몇 십 년 간 특히 남아메리카와 동남아시아에서 실행한 연구는 다른 사실을 나타냈다. 많은 연구 결과들에 의해 증명된 바로는 대부분의 이동 경작 시스템이 주기적인 농림업으로써 더 정확하게 설명되며, 화전 관리가 시간이 흐르면서 크게 변할 수는 있지만 많은 필지들을 실제로 절대 포기하지 않는다는 사실이다. 식물 식생의 상당 부분이 자생 혹은 자연발생적인 것 같아 보인다 하더라도, 현지에 있는 동식물의 빈도와 종을 구체화하는 적극적이고 노련한, 그러나 부지불식간에 이루어지는 관리가 지속적으로 수행되고 있다. 특정 휴경지에 있는 식물 중 어떤 것이 실제로 경작되었거나 거의 경작되지 않았다는 것을 결정하는 것은 어렵거나 불가능한 일이다. 또한 표본 추출한 종이 변화하지 않는다 하더라도, 휴경지를 부지불식간에 관리하는 몇 달 혹은 몇 년 사이에, 야생종과 재배종의 비율은 자연적인 재생과 혼입 종들이 경작 식물과 합세하거나, 경작 식물을 교체함으로써 변하게 된다.

화전이 생계를 이어가는 일반적인 방식이었던 열대 아시아 및 세계의 다른 지역에서 경제적 인 압력은 계속 증가하고 있으며, 농촌 인구도 증가하고 있다. 이러한 변화에 발맞추어 화전 및 휴경지의 관리도 급격하게 변화하고 있다. 시장 지향적인 종을 크게 부각시키면서, 경작 주기의 모든 단계를 관리하는 것은 점점 더 집약적이고 가시적으로 되고 있다. 주로 고무나 과일, 빠르게 자라는 수목이 농림지를 차지하면서, 이러한 집약적인 화전-휴경 시스템은 이제 다양한 형태를 취하게 되었다. 또 다른 더 집약적인 그러나 여전히 복잡하고 주기적인 시스템으로는 경제적 가치가 있는 관목과 초본 두과 식물이 주를 이루는 휴경지가 있다(Cairns 2006).

끊임없이 변하는 화전-휴경 농림지 시스템의 생물다양성을 어떻게 정확하게 측정할 수 있을까? 연구 단위로 더 넓은 경관을 선택하고, 다양한 관리 수준과 연륜의 농지 및 "휴경지"를 포함시키는 것이 연구자가 이러한 농업 패턴의 상당한 정도의 풍부성과 복잡성을 파악하는데 도움이 된다. 계절적인 변화 및 다른 변화들을 파악하기 위해서는 시간에 따라 표본을 재추출하는 것이 필요하다. PLEC 프로젝트를 통해 우리는 각 지역 연구자들이 지역 상황에 맞게 방법을 다양화해야 한다는 사실을 발견했다. 또한 연구자들은 장기 연구 및 재표본 작업이 불가능한 경우 이들의 자료가 제한적일 수 있음을 이해해야 한다.

시간에 따른 복잡성은 여러 가지 형태를 띠며, 그렇기 때문에 연구자들에게 많은 어려움을 안겨준다. PLEC가 연구 지역을 몇 군데 선택한 아마존 강의 범람 지역에서는 필지가 한 해 동안 육상과 수중의 단계를 거친다. 페루의 강 상부 지역의 농민 필지는 해마다 약 10미터 높이의 홍수로 물 속으로 사라진다. 몇 달 후 범람한 물이 빠진 후 나타나는 농지는 식생뿐 아니라 그 규모, 토양 유형, 기타 현재와 미래의 영농을 결정하는 특성들에 변화가 생긴다. 연구자들이 이 문제에 대해 이해하기 어려운 점은 필지가 물속에 있으면서 그 생물다양성이 크게 변하긴 하지만, 이것은 비생산적인 일이 아니며 단순히 다른 수중 단계를 거치고 있다는 것이다. 예를 들면 PLEC 연구지인 페루 Muyuy의 많은 범람지대 농민들은 결과수(結果樹)를 포함한 강가 및 호반의 식생을 관리하여 육상 단계에서 소비자들을 위해 과일을 생산할 뿐 아니라 홍수 시기에는 물고기를 유인한다. 아마존 농민들이 개발한 다목적 수중 및 육상 단계의 관리는 농업연구자들이 관찰하고 이해하기 어렵다. 그 생물다양성 구성요소는 측정하기에 분명 어려움이 있다.

한 필지의 농업, 농림업, 산림 자원의 다기능성과 동시 관리는 열대지방의 소규모 자작농에게는 일반적인 일이다. 많이 보급되어 있음에도 불구하고 이러한 접근법은 논문에서 언급되는 일이 거의 없으며 대부분의 연구자들 눈에 띄지 않는 듯하다. 많은 농민들이 몇 달 안에 수확을 하기 위해 농지에 일년생 작물을 관리하는 동시에, 들판심성 심어진 30년 또는 그 이후에 벌목할 묘목을 손질한다. 묘목은 자연 발생 식물이거나 의도적으로 근처 수림이나 정원에서 옮겨 심은 것일 것이다. 작물을 파종, 제초, 수확하는 동안, 더 늦게 자라는 수목은 대강 손질하고 이따금씩 가지치기를 해 주는 것 이상의 관심을 받지 못할 것이다. 열대 지방의 소규모 자작농에게 이어져 온 비 기계화된 농법은 이러한 다양성을 가능하게 만든다. 지역 농민들은 각 농지 구석구석의 특정 가능성 및 한계뿐만 아니라 많은 유기체와 그 조합 물들의 성장 특징에 대한 지식이 있기 때문에 이렇듯 복잡한 관리로 수익을 낼 수 있다. 박스 13.3은 브라질의 아마존 범람지대에서의 이러한 관리 과정의 결과, 가치 있는 수종의 묘목을 파종하거나 키우는 것으로 화전 단계를 시작하여 휴경 단계를 거쳐 수림개발로 최종 통합되었음을 보여준다.

역동성(주: 농업 생물다양성의)은 잘못 해석하기 쉬운데, 특히 다양성이 풍부하거나, 또는 정치적으로 중요하지 않거나 문화적으로 구분되는 농민 및 지역사회가 관리하는 시스템에서는 더욱 그러하다. 기니의 문화인류학자인 Fairhead와 Leach(1996)는 연구를 통해 현재 잘 알려져 있는 한 사례에서 이 점을 설명한다. 이들은 현재 Kissidougou 지방에 농지, 수림, 초원 지대가 있으며 오랫동안 계속 변하여 왔다는 사실에 일반적으로 동의하는 상황을 설명한다. 그러나 Kissidougou 지역의 변화 및 인간-수림 상호관계의 본질적 특징을 공식적으로 이해하는 것과 지역적으로 이해하는 것은 완전히 다르다. 경관에서 점점이 흩어져 있는 다양한 대규모 수림 고립지 대부분은 주로 인간이 창출한 것이라는 지역적 논쟁을 인정한다면, 지역적 농업 생물다

양성의 범위와 지역 경관을 인간이 조작했다는 개념은 산림 소멸이 진행되는 것은 경쟁에 의한 것이라는 시나리오가 확인되는 경우의 개념과는 본질적으로 반대되는 것이다. 초기의 조사뿐만 아니라 항공 사진술과 원격탐사의 현대적 증거들을 효과적으로 사용한 Fairhead와 Leach는 지역적 해석을 뒷받침했다.

세계의 또 다른 곳에서는 Yin(2001)이 중국 운난성의 현존하는 화전 농민들이 어떤 것은 최근에, 또 어떤 것은 오래 전에 어떻게 그들의 시스템을 크게 변화시켰는지를 보여주었다. 작물 및 경작 방법은 변화되어 왔으며, 윤작은 짧아지고 이러한 짧은 윤작에서 비옥도를 유지할 수 있는 방법을 발견하였다. 환금 작물을 도입하거나 이전에는 생존을 위해서만 사용되었던 식물로 돈을 벌 수 있는 방법을 발견하였다. 심지어 계단 모양의 필지가 등장하기도 했다. 그러나 지금까지 이론 그리고 앞으로도 계속될 높은 기술적 적용에도 불구하고, 많은 공무원들과 몇몇 과학자들은 화전 농민들의 활동을 빨리 교체해야 할 원시적인 것으로 간주한다. 농림업의 생태학적 장점에 대해 현대적인 진기를 알면서 전통 기술에 대한 새로운 이해가 뒤늦게나마 시작되고 있다.

박스 13.3 브라질 아마존 하류에 위치한 두 지역의 산림 단계 생물다양성

두 지역에서 우리는 소규모 농가의 보유 토지 중 일부인 산림 지역이 농지 단계에서 시작하여 휴경지 및 산림 단계로 이어지는 연속 관리 활동의 결과라는 사실을 발견하였다. 10 헥타르 (Mazagão 5헥타르, Ipixuna 5헥타르)의 표본 지역에서 실행한 조사는 종의 많은 다양성을 보여 준다(박스 표 13.3)

두 지역 모두 수림이 종(種)을 매우 풍부하고 균등하게 포함하고 있다. 그러나 Mazagão 수림에서 발견한 평균 종 수(51)는 Ipixuna에서 발견한 평균 수(36)보다 약간 더 많다. 반대로 Ipixuna의 표본 수림은 Mazagão(평균 1,041)에서 표본 추출한 것보다 더 많은 수목(평균 1,117)을 가지고 있다. 이 결과는 두 지역의 소규모 자작농들이 행하는 관리 및 자원 추출 방식을 반영한다. Mazagão 사람들은 산림 활동에 더욱 적극적이며, 원하는 수목이나 약재, 과수로 산림을 계속 풍부하게 만든다. Ipixuna의 농민들은 수목 추출보다는 농림업과 과일 및 약재를 채집하는 데 적극적이다.

Mazagão와 Ipixuna의 주민들이 행하는 수림 사용 및 관리 방법의 차이에도 불구하고 두 지역의 수림은 매우 높은 다양성 혹은 샤논(Shannon) 지표를 보여준다. 측정된 다양성 지표에 기초할 때, Mazagão 수림(평균 $H' = 2.59$)이 Ipixuna 수림(평균 $H' = 1.77$)보다 수치가 더 높다. 이 결과는 강어귀의 바르제아(várzea) 범람원의 다른 지역에 있는 수림 지대에서 측정된 샤논 지표와 매우 유사하다(Anderson과 Ioris 1992).

Mazagão 수림이 Ipixuna 수림보다 종이 더 풍부하다 하더라도, 상업적으로 가장 가치 있는 두 종(*Euterpe oleraceae* and *Calycophyllum spruceanum*)은 두 지역에서 모두 우점종이고 가장 풍부하다. 이것은 사람들이 자신의 수림에서 가치 있는 종을 개발, 성장시키려 한다는 것을 말해 준다. 이와 비슷하게, 많은 수의 수목, 과실, 약재는 두 지역의 지역민들이 이것을 집약적으로 자주 관리한다는 것을 보여준다. 조사 자료는 또한 사람들이 몇몇 비상업적인 종을 적게 유지한다는 것을 보여준다. 이러한 종들 중에는 사냥을 위해 동물들을 유인하는 데 중요한 역할을 하는 *Cecropia palmate* 및 *Croton sp.*와 같은 몇몇 선구 식물 종(pioneer species)이 포함된다.

박스 표 13.3

Mazagao				Ipixuna		
표본 부지	종 수	개체 수	H	표본 부지	종 수	개체 수
1	48	892	2.96	6	26	623
2	55	1,096	2.66	7	41	1,032
3	54	1,118	2.43	8	38	1,610
4	45	778	2.66	9	43	1,696
5	55	1,322	2.26	10	34	923

측정한 중요도 가치 지수는 Mazagão와 Ipixuna의 수림 지대에서 발견한 10개중 8개의 가장 중요한 종들이 상업 제품을 생산한다는 것을 보여준다. 휴경지를 관리하는 사례에서처럼, 사람들은 특정 환경/경제 조건에 상응하는 새로운 기술을 적용, 개발하고 있다. 소규모 농민들은 다른 일광 및 환경적 조건 하에서 종의 재생을 촉진시키는 관리 방법을 적용하여 경제적으로 중요한 종을 풍부하고 우세하게 유지한다. 예를 들어 대다수의 농민들은 수림의 지나친 파괴를 막기 위해 수확 전 준비 작업을 실시하며, 이를 통해 생산을 최적화한다. 가장 최근의 혁신적인 수확 전 준비 작업은 수목을 베기 전에 가치 있는 종의 종자를 뿌리고 묘목을 식재하는 것이다. 대부분의 묘목은 수림의 다른 지역에서 수집한다. 그러나 안디로바(*Carapa guianensis*)의 묘목은 주로 정원에서 생산된다.

출처: Pinedo-Vasquez et al. (2003c:69-71).

소규모 농민의 농업생태 시스템의 변화는 종종 증가하는 방향으로, 그리고 복잡성 및 모호성을 띠는 분리된 단계로 발생한다. 농촌 가구들이 지속적인 환경 변화를 만들어내기 위해 사용할 수 있는 노동력 및 기타 자원은 한정되어 있기 때문에 장기적이고 농지 맞춤형의 접근방

법이 필요하다. 농업적으로 낙후된 환경에서는 경작할 수 있는 토지를 개간하는 데 수 년이 걸릴 수 있으며 많은 노동 집약적 활동이 요구될 것이다. 예를 들어 인도네시아 서부의 칼리만탄 지방 해변의 토탄 습지를 생산적인 코코넛 과수원이나 람부탄 정원으로 전환하기 위해서는 수로 작업 및 관개 시설을 만들고, 수익을 내는 과수원을 형성하기 전의 벼를 경작하고 또 제거하는 데 수 년이 걸린다. 이러한 지역의 전형적인 경관은 필지의 여러 가지 이용 형태, 관리 방법 및 다양성의 복잡성을 포함할 것이다. 이러한 경관 모자이크의 모든 구성 요소는 다양하고 복잡하며 역동적인 소규모 자작농의 수목 재배 시스템의 일부이다.

칼리만탄의 내륙, 토탄 습지에서는 한 시스템에서 다른 시스템으로의 변화가 진행되고 있으며, 이 역시 불연속적이며 점진적이고 시각적으로 혼란스러운 과정을 거친다. Padoch 등은 Dayak 마을 사람들이 고지대 화전의 밭벼 경작에서 벼 관개재배로 전환하는 방법을 설명하였다. 변화과정은 다수의 중간단계를 거치며, 이들 과정은 생산성 및 경관의 외관에 있어서 각기 다르다. 이러한 역동적인 시스템 내에서의 농업 생물다양성 연구는 그 풍부함을 정확하게 표현해야 하는 과학자들에게는 도전 과제가 되고 있다.

결론

경관 차원의 생물다양성은 그 측정 및 해석에 있어서 많은 도전 과제를 안고 있다. 경관 차원에서는 광범위한 조사가 실제로는 불가능하기 때문에, 표본 구조의 특성이 중요하며, 이것은 특히 내포된 (nest) 표본을 정의하는 데 있어 많은 어려움을 만들어낸다. 강한 의도적인 요소를 항상 도입하게 된다. plec에서 우리는 전체 정원뿐 아니라, 필지 유형 내에서 개별 필지를 선택하였고 그 안에서 포괄적으로 표본을 추출하는 방형구를 선택하였다. 유럽의 연구에서는 경관 전체를 조사하는데 따른 규모 문제를 극복하기 위한 지표를 찾는 데 많은 노력을 기울였지만 보편적으로 적용할 수 있는 지표는 발견하지 못했다. 목적은 관리 개선의 성공여부를 평가하는 것이기 때문에, 선택된 생물 지표를 영농 매트릭스의 구조적인 면이나, 심지어는 특정 관리 특성과 조합하는 것은 그럴듯한 방법으로 보인다. 수정된 이러한 접근법을 개발도상국에 적용할 수 있다.

과학적으로 인정할 수 있는 방식으로 경관수준의 농업 생물다양성을 측정하는 것이 아무리 어렵다 하더라도, 이를 평가하는 것은 특히 개발도상국에서 소규모 자작농의 여러 강점을 이해하는 데 필요하다. 이 시스템에서 나타나는(직접 경작하지 않는 경우) 다양성 중 많은 부분이 농지 변두리, 농가의 사이, 수로 및 길을 따라 발견된다. 이러한 식생 지역은 정기적으로 수확되며 그 과실은 많은 경제적 필요성을 충족시키기 위해 사용, 판매 또는 자가소비 된다. 농민들에게 이렇듯 눈에 잘 띄지 않는 자원이 부족해 질 경우, 이들의 가용 식품과 소득은

감소하며 기후적 또는 경제적 충격을 해소할 수 있는 능력을 잃게 된다.

농민들이 관리하는 생물다양성의 시간적 구성 요소에 대하여 더 많은 문제들이 제기되고 있다. 해마다 범람하는 지역의 수생 및 육생 단계의 교차는 자세히 논의되었다. 그러나 더 큰 문제는 의도적으로 한 토지이용 단계를 관리하여 추후 토지이용 단계에서 변형된 생물다양성을 창출하는 것이다. 다시 말하면 토지이용을 의도적으로 변경함으로써 다른 생물다양성이 나타나는 것이다. 이 과정은 경관 차원의 관리를 이해하는 데 중요하며, 이러한 경관 관리가 생물다양성에 얼마나 큰 영향을 미치는지를 나타낸다. 본 장에서는 생물다양성에 영향을 미치기 위한 의도적 관리나, 생산의 필요성에 의해서 일어나는 변화를 통한 간접적 관리를 통해 생물다양성이 변경되는 것을 논의하였다. 생물다양성의 지속적인 변화가 중심 결론이며, 이 결론은 식물, 식물 군, 관리된 경관에서의 "정적인" 조건을 유지한다는 모든 가설에 이익을 제기한다.

각주

1. 알파 다양성은 부지나 방형구 내의 다양성(즉 국지 다양성)을 말하며, 베타 다양성은 지역간 종 구성의 변화이다(즉 종 전환). 감마 다양성은 경관이나 모든 부지 전체의 다양성(즉 지역 다양성)이다.

참고 문헌

- Anderson, A. and E. Ioris. 1992. The logic of extraction: Resource management and resource generation by extractive producers in the estuary. In K. Redford and C. Padoch, eds., *Conservation of Neotropical Forests*, 175–199. New York: Columbia University Press.
- Blaikie, P. M. and H. Brookfield. 1987. *Land Degradation and Society*. London: Routledge.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. New York: Columbia University Press.
- Brookfield, H. and C. Padoch. 1994. Appreciating agrodiversity: A look at the dynamism and diversity of indigenous farming practices. *Environment* 36(5):6–11, 37–45.
- Brookfield, H., M. Stocking, and M. Brookfield. 2002. Guidelines on agrodiversity assessment. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 41–56.

- London: ITDG Publishing.
- Büchs, W. 2003. Biotic indicators for biodiversity and sustainable agriculture: Introduction and background. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:1–16.
- Bureau, J.- C. 2003. *Enlargement and Reform of the EU Common Agriculture Policy: Background Paper* [mimeo]. Washington, DC: Inter-American Development Bank.
- Cairns, M. 2006. *Voices from the Forest: Farmer Solutions Towards Improved Fallow Husbandry in Southeast Asia*. Washington, dc: Resources for the Future Press.
- Coffey, K. 2000. *PLEC Agrodiversity Database Manual*. New York: New York Botanical Garden for the United Nations University.
- Coffey, K. 2002. Quantitative methods for the analysis of agrodiversity. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 78–95. London: itdg Publishing.
- Dao, Z., H. Guo, A. Chen, and Y. Fu. 2003. China. In H. Brookfield, H. Parsons, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195–211. Tokyo: United Nations University Press.
- Dauber, J., M. Hirsch, D. Simmering, R. Waldhardt, A. Otte, and V. Wolters. 2003. Landscape structure as an indicator of biodiversity: Matrix effects on species richness. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:321–329.
- Doolittle, W. E. 1984. Agricultural change as an incremental process. *Annals of the Association of American Geographers* 82:369–385.
- Duelli, P. 1997. Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: An approach at two different scales. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 62:81–91.
- Fairhead, J. and M. Leach. 1996. *Misreading the African Landscape: Society and Ecology in a Forest–Savanna Mosaic*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Forman, R. T. 1995. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Guo, H., C. Padoch, Y. Fu, Z. Dao, and K. Coffey. 2002. House hold-level biodiversity assessment. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural*

Diversity,70–125. London: ITDG Publishing.

Haines- Young, R. H., C. Barr, H. Black, D. Briggs, R. Bunce, R. Clarke, A. Cooper, F. Dawson, L. Firbank, R. Fuller, M. Furse, M. Gillespie, R. Hill, M. Hornung, D. Howard, T. McCann, M. Morecroft, S. Petit, A. Sier, S. Smart, G. Smith, A. S. Stott, R. Stuart, and J. Watkins. 2000. *Accounting for Nature: Assessing Habitats in the U.K. Countryside*. London: Department of Environment, Transport and Regions.

Hill, P. 1963. *The Migrant Cocoa- Farmers of Southern Ghana: A Study in Rural Capitalism*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Hoffmann- Kroll, R., D. Schäfer, and S. Seibel. 2003. Landscape indicators from ecological area sampling in Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:363–370.

Kaihura, F. B. S. 2002. Working with expert farmers is not simple: The case of PLEC Tanzania. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*,132–144. London: ITDG Publishing.

Kaihura, F. B. S., P. Ndongi, and E. Kemikimba. 2002. Agrodiversity assessment and analysis in diverse and dynamic small- scale farms in Arumeru, Arusha, Tanzania. In H. Brookfi eld, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity:Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 153–166. London: ITDG Publishing.

Leach, M., R. Mearns, and I. Scoones. 1999. Environmental entitlements: Dynamics and institutions in community- based natural resource management. *World Development* 27:225–247.

Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

OECD. 1997. *Environmental Indicators for Agriculture, Vol. 1, Concepts and Framework*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development Publications Ser vice.

Opperman, R. 2003. Nature balance for farms: Evaluation of the ecological situation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:463–475.

Osinski, E. 2003. Operationalisation of a landscape- oriented indicator. *Agriculture,*

- Ecosystems and Environment* 98:371–386.
- Padoch, C., E. Harwell, and A. Susanto. 1998. Swidden, sawah and in-between: Agricultural transformation in Borneo. *Human Ecology* 26:3–20.
- Pinedo- Vasquez, M., K. Coffey, L. Enu- Kwesi, and E. Gyasi. 2003a. Synthesizing and evaluating PLEC work on biodiversity. *PLEC News and Views NS* 2:3–8.
- Pinedo- Vasquez, M., P. P. del Aguila, R. Romero, M. Rios, and M. Pinedo- Panduro. 2003b. Peru. In H. Brookfield, H. Parsons, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 232–248. Tokyo: United Nations University Press.
- Pinedo- Vasquez, M., D. G. McGrath, and T. Ximenes. 2003c. Brazil (Amazonia). In H. Brookfield, H. Parsons, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 43–78. Tokyo: United Nations University Press.
- Piorr, H.- P. 2003. Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:17–33.
- Sowei, J. and B. Allen. 2003. Papua New Guinea. In H. Brookfield, H. Parsons, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 212–231. Tokyo: United Nations University Press.
- Toulmin, C. 1992. *Cattle, Women and Wells: Managing Household Survival in the Sahel*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Waldhardt, R. 2003. Biodiversity and landscape: Summary, conclusions and perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:305–309.
- Waldhardt, R. and A. Otte. 2003. Indicators of plant species and community diversity in grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:339–351.
- Waldhardt, R., D. Swimmering, and H. Albrecht. 2003. Floristic diversity at the habitat scale in agricultural landscapes of central Europe: Summary, conclusions and perspectives. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98:79–85.
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21:213–251.
- Yin, S. 2001. *People and Forests: Yunnan Swidden Agriculture in Human-Ecological Perspective*. Kunming, Yunnan, China: Yunnan Education Publishing House.

Zarin, D. J., H. Guo, and L. Enu- Kwesi. 2002. Guidelines for the assessment of plant species diversity in agricultural landscapes. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: Understanding, Analysing and Using Agricultural Diversity*, 57–69. London: ITDG Publishing.

14. 환경 및 경제 여건 변화에 대응하는 소규모 자작농시스템의 다양성 및 혁신

K. RERKASEM AND M. PINEDO-VASQUEZ

대부분의 농업 생산물이 산업적으로 생산되는 세계에서도 열대 지방의 소규모 자작농들은 자신들의 토지에서 다양한 작물과 여러 가지 생물학적 자원을 여전히 재배, 관리하고 있는 몇 안 되는 그룹에 속한다. 전문가들은 이러한 소규모 농지에서 작물의 매우 희귀한 종과 품종을 확인하였으며 이를 보존할 것을 요청하였다. 작물의 다양성과 이것이 제공하는 적응력을 손실함으로써 세계의 농업에 닥치는 위기는 잘 알려져 있으며, 이러한 귀중한 자원을 현지 내 또는 현지 외에 보존하려는 프로그램이 확립되었다. 그러나 사람, 토지 관리, 환경 변화(PLEC) 프로젝트의 경험에 기초해, 우리는 소규모 자작농들이 미친 중요한 기여가 이들 농지의 희귀 작물 및 품종을 나열하는 것으로 그치는 것이 아니라고 주장한다. 소규모 자작농들은 중요하면서도 위협에 처한 자원에 대해 복잡하고 다양한 사용 시스템을 창안하였으며 이를 계속 개발하고 있다. 이러한 생산 시스템의 의미 있는 생물다양성은 생물학적 자원과 기술적 자원을 모두 반영, 통합한다. 가치 있는 상품을 생산하는 자원 사용 시스템을 문서화하여 그 상품만큼이나 부지런하게 이를 실험, 개선, 촉진한다면 농업 생물다양성의 보존은 크게 향상될 것이다.

본 장에서는 이러한 자원 사용 시스템을 검토하고 자작농들이 이를 어떻게 지속적으로 생성하고 변경하는지를 알아본다. 우리는 특히 토착이나 비토착, 전통적이거나 현대적인 엄격한 범주에 포함되지 않는 소규모 자작농의 생산 및 관리 기술에 초점을 맞춘다. 현장 경험은 광범위한 범주의 소규모 자작농들이 높은 생물다양성 가치가 있는 시스템을 유지시키며, 따라서 소규모 자작농들의 기술을 이러한 범주로 분리하는 것은 종종 불가능하거나 비생산적이라는 것을 보여준다. 우리가 논의하는 복잡하고 다양한 자원 사용 기술 및 보존 방식은 작물 및 기타 경작되거나 관리되는 생물의 높은 다양성을 함유한 환경을 만들고 유지시킨다. 우리는 높은 수준의 농업생물다양성과 소규모 자작농이 관리하는 다른 형태의 생물학적 다양성이 전세계 소규모 농민들의 가장 중요한 경제적 자산 중 하나라는 사실을 알고 있다. 우리는 또한 소규모 자작농들의 농업다양성은 이들이 기술적, 경제적으로 반응할 수 있는 능력과, 매우 빠르게 변화하는 환경과 사회적 특징을 지닌 수많은 생태학적, 사회적 프로세스에 적응할 수 있는 능력을 반영하고 뒷받침한다고 주장한다.

우리의 보편적 논리를 뒷받침하기 위해, 우리는 열대 지방 전역의 PLEC 시범 지역으로부터

업은 보존 방식 및 역동적인 농업, 산림농업, 산림 관리기술에 대한 몇 가지 경험적 자료를 제시, 분석, 논의한다. PLEC 프로젝트는 중국, 파푸아뉴기니, 탄자니아, 케냐, 우간다, 가나, 기니, 멕시코, 자메이카, 페루, 브라질 등의 소규모 농민들의 농지에서 실행되고 있다(13장 참조). PLEC 접근법은 농민 전략의 다양성과 발달 과정 및 그 결과로 나타나는 농업생물다양성에 초점을 맞추며, 오랫동안 쌓아 온 지역사회 경험의 전통적인 생산품으로써 뿐만 아니라 무자비한 환경적, 사회 정치적, 경제적 변화에 직면한 개인의 결정과 창의성의 결과로써 이 내용을 다룬다. 여기서 우리가 논의하는 변화는 매우 다양한 원인(중중 복잡한 원인들의 결합)으로 발생하며, 기간, 정도, 형태 등이 다양하다. 우리는 지역 수준의 변화와 반응에 집중한다. 즉 우리는 세계적인 관심을 받은 큰 재해에 대한 반응을 조사하지 않으며 "세계화"와 같은 보편성에 대한 소규모 자작농의 움직임을 일반화하지 않는다. 비록 우리가 설명하는 예시 중 몇몇은 "재난", 즉 "큰 손해나 손상, 파괴를 야기한 갑작스러운 불행한 사건"(메리엄-웹스터 온라인 사전에 의함)으로 분류할 수 있는 것들이며, 대부분이 세계적 관점에서 가격 및 시장의 변화를 설명하고 있긴 하지만 말이다. 몇 개 마을이 소용돌이치는 아마존 물 속으로 수몰된다든지, 새로운 병이 지역사회의 주요 현금작물을 휩쓸어가거나 중요한 커피 가격이 급격히 떨어지는 것은 재난처럼 보인다. 그러나 우리가 논의하는 갑작스럽고 비극적인 사례들은 지역적 차원에서 관찰되며, 일반적이면서도 특정한 관심을 가지고 설명된다. 우리가 포함시킨 대재해의 "비시각성"은 그 작은 규모 및 시골이라는 위치뿐만 아니라 소규모 자작농들이 이러한 사건에 성공적으로 대처하면서 보여준 고유의 적응력과 다양성을 반영한다.

소규모 자작농 시스템은 변화 가능하며 색다르고 지역 특이적일 것이다. 그러나 우리는 이러한 시스템이 보통 여러 유형의 자원 사용 기술이나 보존 방식을 구분하기 보다는 통합시킨다는 점을 강조한다. 소규모 자작농 간에 자원을 개발할 뿐 아니라 보존하는 데 초점을 맞춘 다양한 기술들이 계속 저평가되고 있다. 우리는 일반적 관찰과 연구 및 개발 전략과 관련한 몇 가지 권장 사항으로 결론을 내린다. 만약 우리가 후진 국가들이 생물적 다양성을 지속적으로 사용할 수 있도록 돕고, 가장 빈곤한 농민들의 상황을 개선시킬 목적이라면, 소규모 자작농들이 몇 세기 전부터 지금까지도 관리하고 있는 생산 경관에서 발견되는 높은 수준의 농업생물다양성을 뒷받침하는 기술 자원 및 보존 방식에 가치를 부여하고 통합할 필요가 있다고 확신한다.

농업다양성: 과정 및 생산물

과정보다 산물을 더욱 강조하는 것은 소규모 자작농들이 개발한 시스템의 발전 과정을 모호하게 만드는 데 일조할 것임이 분명하다. 이와 비슷하게 많은 연구가들이 장기적 지속과 적응을 강조한

것은 이 시스템이 절대 변하지 않는다는 것을 암시한다. 우리는 많은 주민들이 가지고 있는 장기적인 안목과 소규모 자작농 생산의 특징이 되는 장기 경험의 근거가 중요하다는 것을 분명하게 인식하고 있다. 그러나 동시에 소규모 농민들이 혁신적인 기술 및 전략을 창출할 수 있는 능력은 이들이 환경적, 경제적 변화로 야기되는 문제들과 기회들을 설명해야 하는데 있어 가장 중요한 자산이 될 것이라고 단언한다. 생물학적, 기술적 다양성은 종종 이러한 적응력의 핵심이 된다. "농민들이 작물 선택 및 토지, 물, 생물 종의 전체적인 관리를 포함하여 생산 환경의 자연적 다양성을 활용하는 여러 가지 통합된 방식" 또는 "농업다양성"(Brookfield과 Padoch 1994:8)은 소규모 자작농들이 사회적, 자연적 경관 속에서 긍정적 또는 부정적인 변화들을 다룰 수 있도록 하는데 필수적이다.

연구자들은 변화에 대한 반응으로 소규모 자작농 사회의 생산 시스템에서의 기술적 적응과 혁신을 오랫동안 연구해 왔다(Feder와 O'Mara 1981). 예를 들어 지난 40년간 이 분야에서 가장 영향력 있는 연구로 추정되는 Boserup의 '농업성장의 조건'에서는 토지이용 증대와 인구 증가 간의 관계를 수립하였다(Brookfield 2001). 그러나 주목할 만한 몇몇 예외가 있지만(Richards 1993; Scoones and Thompson 1994) 대부분의 연구자들은 소규모 자작농 간의 기술적 변화를 시스템의 장기적이고 진화적인 변화, 또는 갑작스러운 압력에 의한 포기, 퇴화, 붕괴를 의미하는 것으로 받아들였다. 우리는 대신 소규모 농민들이 존속하기 위하여 생산에 있어서 중요한 역할을 해 온 변화와 적응, 그리고 적응하는데 있어 농민의 기본 수단이 되었던 농업다양성에 대해 초점을 맞추어 연구한다.

PLEC 연구자들이 수 년에 걸쳐 수집한 풍부한 농업다양성 자료는 농민들이 기회의 혜택을 얻고 문제를 해결하기 위해 지속적으로 기술을 혁신하고 적응시키고 있다는 것을 보여준다(이 자료에 관한 좀 더 광범위한 견본은 Brookfield et al. 2002, 2003 참조). 우리는 사용된 다양한 시스템과 극복해야 할 난점들을 설명하기 위해 몇 가지 예를 들 것이다. 즉, 브라질 아마존의 농민들은 일모작 플랜테이션 시스템에서 경작되는 바나나에 세균성 질병이 들끓고 있는 상황에서도 바나나를 생산할 수 있도록 해 주는 banana emcapoeirada라 불리는 산림농업 시스템을 개발하였다(Pinedo-Vasquez et al. 2002b). 타이 북부에 있는 가난한 농민들은 나물에 대한 시장 수요가 증가하고 토지정책이 변화함에 따라 변두리 농작 시스템을 개발하도록 자극 받았다(Rerkasem et al.2002). 케냐의 커피 가격 하락은 생산자들이 적당한 규모의 커피 농작지는 유지하면서 일년생 작물이나 다년생 작물의 몇 가지 종 혹은 변종을 경작하는 클러스터 시스템을 개발하도록 만들었다(Kang'ara et al. 2003). 페루의 농민들은 강둑 침식이라는 재해 가능성을 고려하여 작물을 생산하고 역학적인 경제적/생물물리학적 환경을 관리하기 위한 "변화의 전통 방식"을 개발하였다 (Pinedo-Vasquez et al. 2002a).

변화에 대한 농민 반응에서의 농업다양성 및 생물 변이

약 20년 전, 엘니뇨가 일어났던 해에 산불은 소규모 가나 농민들의 농지에서 경작되던 카카오 및 기타 과실 종을 심하게 손상시켰다. 이 사건은 이미 카카오 재배에 실패한 경제적 경관에서 발생하였다. 카카오 콩의 가격은 낮았고, 대부분의 가나 농민들은 이미 카카오 경제가 호황에서 불황으로 빠르게 변화하고 있음을 경험하고 있었다. 1990년대 초기 PLEC 과학자들은 선별된 가나 마을을 조사하기 시작했다. 이들은 대다수의 농민들이 생산 시스템을 옥수수과 카사바 윤작으로 전환시키는 데 필요한 다양성을 보존했다는 것을 발견하였다(Gyasi et al. 2003). 가나 농촌의 대규모 스와스(swath)는 카카오 플랜테이션이 우세했던 경관이 매우 다양한 작물이 재배되는 소규모 농지의 모자이크로 전환되어 경작되었다. 이러한 생산 경관을 위해 농민들은 닭, 심지어 달팽이를 포함하여 생산물을 계속 추가하였다. 다양한 종류의 마 역시 다시 도입되었다. 마는 카카오 재배가 붐을 일으키면서 거의 사라졌었다(박스 14.1).

코코아 원두의 가격이 떨어지고 엘니뇨로 일련의 산불이 카카오 경작지를 훼손했을 때 단작(monoculture)을 하던 가나 농민들이 "농업 다양성"으로 전환한 것은 많은 사람들에게 경제적으로 그 중요성을 입증하였다(Gyasi와 Uitto 1997). 그러나 그 결과로 발생한 다양한 생산 경관은 다른 중요한 기능을 가지고 있었다. 이것은 농민들이 화재의 위험을 줄이고 식물성 피복을 회복하고 유지하도록 도왔으며, 따라서 광대한 카카오 플랜테이션으로 심각한 피해를 입었던 다양한 생태계의 활약을 회복시켰다.

또한 타이 고지대의 Hmong 지역사회에서 환금 작물 및 임산물 용 시장 손실을 극복하기 위한 전략으로 생산품 및 생산 시스템을 변화시킨 것은 농민들이 변화의 혜택을 누리기 위해 얼마나 농업다양성에 의존하는지를 보여주는 또 다른 예이다. Hmong 농민들은 복잡한 작물 윤작 시스템을 사용해 상업적으로 양배추를 재배한다. 이러한 윤작 시스템의 핵심 기능은 Hmong 농민들이 공간적, 시간적 척도로 이들의 작물을 재배열하여 높은 수준의 농업생물다양성을 유지하고 그 결과 생산 및 노동력의 효율성을 극대화하며 농지 및 주변 환경에서 비료와 살충제의 부작용을 최소화할 수 있도록 해 주는 것이다. 윤작 시스템에서의 여러 가지 산물은 농민들이 양배추 가격의 변동에 대처하고 시장가격이 하락하는 동안에도 이익을 실현할 수 있도록 도와 준다 (Rerkasem et al. 2002).

소규모 자작농들이 PLEC의 변화에 반응하는 방식의 종류를 확인하고 기록함으로써 농지, 가구, 경관 차원에서 작물 및 여러 형태의 생물학적 다양성을 생산, 관리, 보존하기 위한 기술 및 방법이 풍부하다는 것을 알 수 있었다. 변화에 대한 소규모 농민들의 기술적 반응이 천차만별이었지만, 전문가들이 제안한 해결책과는 항상 다르다는 것을 발견했다. 중국의 소규모 농민들이 경사지 및 삼림이 파괴된 기타 지역을 재식립하기 위해 개발한 다층, 다용도 시스템(박스 14.2)은 이러한 대조적인 예를 제공한다(Guo et al. 2003).

박스 14.1 가나의 작물 윤작 시스템

작물 윤작 시스템은 농민들이 자신들의 식림지에서 더 많은 작물의 종 및 품종을 재배하도록 도와주고 있다(박스 표 14.1). 현재 농민들은 그들의 보유지에서 평균 13종의 카사바와 140종의 마 품종을 재배하고 있다. 또한 복잡한 윤작 시스템을 통하여 농민들은 몇 종의 질소 고정 동부콩, 옥수수, 고추, 채소, 콩과 식물 등을 망고, 아보카도, 감귤류, 코코넛, 아데사(*Chrysophyllum albidum*)와 같은 과실과 함께 간작하고 있다.

박스 표 14.1. 윤작 작부체계 및 그 혜택

방식 또는 체제	주요 특징 및 이점
수풀-휴경 윤작, 불을 이용해 토지 개간	토양 비옥도를 재생하고 야생 식물을 보존하는 방법.
최소 경운 및 수풀 제거 위한 불의 통제 사용	토양 및 생물상의 최소 침해.
혼합 재배, 윤작, 혼합 영농	토양 영양분 사용을 최대화 작물의 생물다양성 유지 완전한 작물 손실 위험 분산 식품형태 및 영양의 다양성 항상 토양 재생에 유리.
혼합 농림업: 현장에 남은 수목 사이 작물 경작	수목 보존 산림 부산물(낙엽, 가지)을 통한 토양 비옥도 재생. 몇몇 수목은 질소 고정으로 토양의 생산 능력 추가.
Oprowka, 비화전 영농 방식. 절단생초의 피복을 통해 현장에서 분해	미생물 보존 및 증가, 식생 분해를 통한 퇴비 추가 효과로 토양 비옥도 유지 화전을 지양함으로써 토양 내 식물 번식체(종자, 주아 등) 보존
정원에 가정 쓰레기 및 퇴비 사용	토양 생산성 유지.
마 재배 버팀목으로 nyabatso(<i>Neuboulidia laevis</i>) 사용	직근을 가진 nyabatso는 마의 괴경이 비대하도록 돕고, 앞으로 그들을 재공하며, 낙엽은 토양 피복과 부엽토를 제공한다. Nyabatso는 질소를 고정시키는 것으로 추측.
시차제 작물 수확	장기간에 걸친 식품 공급 확보.
작물의 저장, 특히 마 종류의 추후 재배를 위해 토굴 저장	식품 안정 공급 및 종자 확보.
배후 산림 보존	산림 종의 보존 즉각적인 약재원, 양봉, 달팽이 양식, 마와 같은 음식 작물에 유리.

출처 : Gyasi et al. (2003).

중국 남서부의 소규모 자작농은 성(省)정부가 인가한 재녹화 프로그램에 참여하고 있다. 이 프로그램에서는 농민에게 그다지 혜택을 주지 못하는 성장이 빠른 두 가지 수종을 재배하도록 장려한다. 그래서 농민들은 다단계 다용도 시스템의 일부로, 몇몇 토착 수종을 혼합하였다. 토착 수종의 추가에 대하여 처음의 반응은 의아해 하는 것이었다. 왜냐하면 이러한 수종을 수확하는 윤작 기간이 임학자들이 추천하는 수종보다 세 배나 더 길기 때문이다. PLEC연구자들은 현장 조사를 통해, 지역 수종을 경작하는 농민들이 이익을 얻기 위해 지역 수목의 윤작이 끝날 때까지 기다릴 필요가 없다는 사실을 발견하였다(Dao et al., 2001). 토착 수종은 버섯 및 나물의 성장, 심지어 닭 사육에 유리한 곤충 및 초본 식물의 서식지를 만들어 준다. 반대로, 임학자들이 권장하는 수종으로만 재식한 지역은 곤충이 매우 적고 버섯이나 나물이 성장할 수 있는 서식지를 제공하지 않는다. 중국의 이 예는 일어난 변화에 대한 반응으로 지역에서 개발된 기술을 PLEC 구성원들이 관찰, 기록하여 문서화 한 많은 사례 중 하나이다. 중국 농민들이 토착 수종으로 토지를 재녹화하는 데 사용한 기술의 보급은 다른 소규모 농민들을 매우 쉽게 재녹화 프로그램에 참여할 수 있게 하였다. 이 사례는 또한 농민이 개발한 방식에 초점을 맞추는 것이 퇴보적인 것이 아니며 전통적인 방법에만 제한된 것도 아니라는 우리의 주장을 설명해 준다. 많은 가난한 농민들이 역동적이며 전향적이다.

박스 14.2 중국 雲南省 百花嶺 保山市의 다단계 및 다용도 재녹화 시스템

중국 농민들이 개발한 다단계 및 다용도 재녹화 시스템은 이들의 전통적인 농림업 시스템이 향상된 것이다. 경작하거나 보호하는 가장 일반적인 수종 중에는 다음이 포함된다.

- ▶ *Phoebe puwenensis*, 자연적으로 번식되는 상장이 빠른 목재용 수종
- ▶ *Alnus nepalensis*, 농림지에서 주로 식재되는 수종으로, 조림지에 있는 수종의 자연적 반식을 위한 피복을 제공
- ▶ *Toona sianensis*, 목재 및 나물용 수종
- ▶ *Toona ciliate*, 성장이 느린 경질 목재용
- ▶ *Cunninghamia lanceolata*, 목재 및 화목용
- ▶ *Punica granatum*, 목재 및 화목용
- ▶ *Pinus armandii*, 성장이 빠른 목재용
- ▶ *Lindera communis*, 성장이 빠른 목재용
- ▶ *Trachycarpus fortunei*, 직조용 섬유 생산 및 꽃을 식용
- ▶ *Crateva unilocularis*, 성장이 빠른 목재용으로 식용 꽃 생산
- ▶ *Paris* sp., 약재로 사용되는 수종

이러한 수종이 확립되면, 농민들은 호두, 밤, 여러 종류의 배, 약용 난초인 철피석곡과 같은 수많은 약용 식물을 경작하여 부지를 풍부하게 만든다. 수림을 풍부하게 하는 과정에서 농민들은 나물을 경작하거나 보호하는 작은 클러스터(보통 1.5×3m)를 만든다. 또한 이러한 나무의 가지는 버섯을 생산하기 위해 가장 큰 나무 아래에 저장된다. 다단계 및 다용도 시스템을 사용한 재녹화 부지에는 73종이 포함되어 있으며, 이 중 52(71%)종이 경제적으로 중요한 가치를 갖는다.

출처: Dao et al. (2001, 2003)

우리는 가난한 농민들이 장단기 혜택을 부여하는 새로운 기술을 끊임없이 만들고 이를 사회에 제공하고 있으며, 대부분의 현대적 생산 시스템이 그러하듯이 이들도 중요한 생태학적 과정을 근본적으로 변경하지 않고 이러한 작업을 실행한다는 사실을 발견하였다. 식생 지역을 여러 단계로 유지하고, 농지와 연계시킴으로써 가난한 농민들은 종종 중요한 생태계 서비스를 유지하고, 생물다양성 및 토양, 물을 보존한다. 이렇듯 지역에서 개발된 시스템은 또한 질병의 가공할 파괴력 및 급격한 환경 변화에 대해 쉽게 접근할 수 있는 실용적인 해결책을 제시한다. 아마조니아에서의 PLEC 연구를 통한 두 가지 예는 농민들이 절박한 재해로 보이는 상황을 극복하기 위해 생태계의 기능과 작용에 대한 자신들의 지식 및 농업다양성의 혜택을 어떻게 받고 있는지를 보여준다.

아마존 조수 범람원에 있는 많은 마을들은 최근까지 주요 바나나 수출지였다. 이 지역의 소규모 자작농들은 아마파(Amapá) 주의 도시 시장에 바나나를 판매할 뿐 아니라, Belém의 아마조니아 도시로 수출하기도 했다. 그러나 지난 몇 년간 이 지역의 바나나 생산은 지역적으로는 febre de banana로 알려져 있는 Mokko 병으로 인해 거의 전멸되었다. 이 병은 많은 바나나 생산 지역에서는 일반적인 것으로, 이병 작물을 제거하고 모든 농기구들을 반복 살균하며 모든 경작지를 지속적으로 조사하는 등의 매우 값비싼 공동 캠페인을 통해 방제할 수 있다 (Stiver와Simmonds 1987). 이러한 방제 조치는 지역 바나나 생산자들에게는 경제적으로 실행 가능성이 없다. 지역 주민들은 지역적으로는 banana emcapoeirada 시스템으로 알려져 있는 농림업 시스템을 개발하였다. 이를 통해 농민들은 질병을 완전히 없애지 않고도 이를 관리할 수 있다.

Emcapoeirada 농림업 시스템은 농림업 기술과 수림 관리 방식을 혼합한 새로운 시스템이다. 아마조니아 사람들이 현대적 필요와 기회에 어떻게 기존 패턴을 적용하였는지를 포함하여 아마조니아의 농림업 시스템에 관한 많은 논쟁들이 벌어질 수 있다(Padoch et al. 1985; Padoch

and de Jong 1987, 1989, 1995; Denevan and Padoch 1988; Irvine 1989; Posey 1992). 그러나 이 연구는 febre de banan 등과 같은 식물 질병을 통제하기 위한 방법으로써 농림업 시스템을 조사하는 것은 아니다.

아마파에서 농민들은 현재 바나나를 재배하며 파초과(Musaceae)의 두 토착 야생종인 소로로카(sororoca)나 파리리(pariri)의 자연 번식 및 성장을 장려한다. 주민들은 이 두 종이 바나나와 경쟁하지 않는다고(지역 용어로 brigar) 설명한다. 오히려 이 두 종은 질병의 확산으로부터 바나나 구획을 보호한다. 이 두 종과 별개로 banana emcapoeirada 구획은 수많은 기타 식물을 포함하여 수림과 비슷한 모양을 띤다. 이 시스템을 채택한 이후로 헥타르 당 바나나 생산량이 500%까지 증가하였다(표 14.1).

아마존 강 반대편에 있는 Sector Muyuy는 페루의 매우 활발한 범람원의 일부이다. 이 지역은 인간 정착지와 토지 형성, 웅덩이, 식생으로 덮인 매우 다양한 불균질 경관으로 구성된다. 세 세트의 랜드샷 위성사진을 조사한 결과, 1987년에서 2000년 사이에 강의 방향 및 구조적 특징의 위치에 주요한 변화가 발생하였다. 이 기간 동안 호수가 새롭게 형성되었으며 강의 지류가 침전되고 아마존 강의 방향이 크게 변하였다. 이로 인해 Padre에 대규모로 차지하고 있는 섬의 크기가 감소하였다. 이 섬에 위치한 다섯 마을 중 두 마을은 강의 다른 쪽으로 이동했으며 두 개의 새로운 마을이 발견되었다. 많은 농민들이 농지를 완전히 잃어버렸으며, 지형과 강의 면적 및 수적 변화는 복수의 다른 주요한 경제적 변화를 야기하였다. 이러한 변화에는 물고기 수의 변화, 건기 동안 사용할 수 있는 실트 바의 증가, 높은 강독이 포함된다.

표 14.1. 바나나 emcapoeirada 농림업 시스템에 사용된 바나나의 생산량 및 품종의 증가

연도	생산량(다발/ha)	경작된 바나나 품종
1997	63	3 (지역 내음성 품종)
1998	165	3 (지역 내음성 품종)
1999	247	5 (지역 종 3, Santarém에서 도입한 2 품종)
2000	284	6 (지역종 3, San tarém에서 도입한 2, Obidos에서 도입한 1 품종)
2001	332	9 (지역종 3, Santarém 2, Obidos 1, embrapa 3)
2002	378	9 (지역종 3, Santarém 2, Obidos 1, embrapa 3)

이 지역에서 banana emcapoeirada로 알려진 바나나 생산 시스템은 목재 수종의 관리와 함께 사용된다.

마을 사람들은 이 극심한 변화에 반응하여 마을을 이동시킬 뿐만 아니라 광범위한 농업 종목을 변화시켰다. 이들은 건조한 호수 바닥과 낮은 제방의 평평한 곳에 벼와 일년생 작물을 경작하였다. 이들은 새롭게 나타난 높은 제방을 활용하여 과실과 기타 농림업 작물을 재식하였다. 농업 생물다양성(예를 들면 매우 다양한 재배 조건에서 경작될 수 있는 18종의 콩)과

많은 지형을 개발하기 위한 기술(최소 12개의 다른 농업 시스템[Padoch and de Jong 1989])의 풍부도는 이러한 생동적인 환경에서 주민들에게 가장 중요한 자원이 된다.

농업에 영향을 끼치는 변화와 함께 강한 물살이 새로운 지류를 따라 식생을 이동시키고 있다. 이로 인해 큰 섬의 내부에 있는 산림 자원으로의 접근을 수월하게 만드는 작고 새로운 하천이 여럿 형성되었다. 이 지역으로의 접근이 향상되면서 *catahua*(*Hura crepitans*) 및 기타 목재용 수종의 채취가 증가하였다. 이러한 결과로 주민들은 자원에 접근하여 채취하는 것을 통제하게 되었다. 예를 들면 외부인들이 지역사회 영역에서 목재를 벌채하는 것을 금하고 주민들은 연간 네그루의 수목(흉고지름 55cm 이상)을 채취하도록 제한하는 지역사회 규칙이 만들어졌다. 마을을 통제하는 이러한 변화는 *riberños*(페루에서 아마존 강 주민들을 지칭하는 용어)가 개발 기술을 변화시킬 뿐만 아니고, 새로운 개발 기회에 적합하도록 사회 규칙을 변형시킴으로써 얼마나 효과적으로 변화에 반응하는 지를 잘 설명해준다.

변화 및 혼합성 평가

가난한 농민들의 생산 시스템이 유리한 조건에 있으며 생물다양성이 풍부한 상황에 있을 때 조차도 연구자들과 기술자들이 이를 평가하는 것이 어려운 데에는 몇 가지 이유가 있다. 일반적인 문제는 열대지방 농민들이 개발한 많은 기술들이 농업 혁신을 연구, 개발, 보급한 사람들에게 친숙한 개념과 범주를 혼동한다는 것이다. 농민들의 재배방법을 설명할 때 사용되는 몇몇 일반적인 용어들(예를 들면 일모작, 다모작, 간작 등)조차 많은 소규모 자작농 농지에서 발견되는 다양성을 거의 표현할 수 없다(Scoones and Thompson 1994). 변화에 대해 지역적으로 개발한 반응을 통찰하는 것은 농지를 개간, 제초, 경운, 방제, 수확, 휴경하는 등과 같이 겹으로 보기에 기본적인 임무에 대한 기술적 다양성을 관찰하지 않고는 달성하기가 어렵다(Agrawal 1997). 농지 활동의 이러한 범주는 이것이 나타내는 것만큼이나 감추고 있는 것이 많을 수 있다.

PLEC가 장려하는 여러 가지 소규모 자작농 시스템들은 몇 가지 이유에서 농업 전문가들의 눈에 띄지 않거나 이해할 수 없는 것이 된 것 같다. 농업다양성 자체는 시각적으로 그리고 개념적으로 모호할 수 있다. 생물학적으로 다양한 시스템은 특히 농사에서 규칙, 단순성, 획일성을 찾으려고 훈련 받은 사람들에게는 이해가 어렵다. PLEC가 처음으로 장려한 많은 관리 시스템은 심지어 관리 시스템으로 인정하기도 어려웠다. 역동성 역시 잘못 이해되기 쉽다. 현재 지속적인 생산이 바람직하다는 점을 강조하고 있는 환경 개발 직원들 사이에서는 역동성은 퇴화와 혼동하기가 쉽다. 소규모 자작농 기술 역시 정기적으로 지역 기술과 외부 기술을 합쳐서 예상치 못했던 복합기술을 탄생시킨다(Gupta 1998). 그러므로 이러한 생산 기술은

종종 토착 기술 수호자들이나 현대 기술을 옹호하는 사람들에게 무시되거나 비난을 받는다.

물론 지역 및 외래 기술의 신규 결합은 모든 지식과 자원의 관리 방식의 특징이다. 그러나 "생산 패키지" 및 현대주의자(그리고 보수주의자) 이데올로기가 판치는 현 세계에서는 이렇듯 명백하게 혼합된 시스템이 때로는 평가받지 못한다. 대개 이러한 시스템은 간과된다. 이러한 기술은 특정 토양이나 수로, 기후, 생물다양성, 생태계 프로세스의 관리 등에 관해 지역적으로 개발한 심오한 지식을 지속적으로 반영한다(박스 14.3), 그러나 이 기술은 마을 외부에서 농민들이 학습한 지식 및 방식으로 업데이트되거나 융합되어 왔다(Fairhead 1993).

융합 시스템은 일반적으로 훨씬 더 높은 수준의 생물다양성을 일모작 시스템에 도입한다. 우리는 최근 동남아시아의 국제농림연구센터 연구가들이 "정글 러버(jungle rubber)"라고 이름 붙인 시스템을 포함한 예를 확인하였다. 이러한 생산 시스템은 고무나무 경작을 부지 내 많은 다른 종의 관리와 결합시킨다. 이 부지는 자연림을 모방한 것으로 별목하지 않은 수림의 많은 생태계 서비스를 제공한다. 정글 러버는 혼합 시스템의 가장 일반적인 구성 패턴 중 두 개의 소산물이다. 즉 소규모 자작농으로부터 그들이 임금 노동에 종사하는 동안 얻은 지식을 융합하고, 개발 업체가 도입한 현대적인 생산 시스템 및 기술을 채택하는 것이다.

박스 14.3 농업 생물다양성의 현지 내 보존에 있어서 재배 방식의 도구로서의 생태계 구성 요소

본 연구의 목적은 농민이 작물 유전자원을 매일 관리하는 데 있어서 필요한 의사결정에 작용하는 사회문화적 요소에 생태계 구성요소가 끼치는 영향력을 이해하는 것이었다. 수수(*Sorghum bicolor*), 기장(*Pennisetum glaucum*), 땅콩(*Arachis hypogaeae*), 광저기동부(*Vigna unguiculata*), 오크라(*Abelmoschus esculentus*), fabirama 혹은 fra fra 감자(*Solenostemon rotundifolius*) 등 총 6개 재배종이 연구의 초점이 되었다.

연구는 부르키나파소의 세 개의 각기 다른 농업생태 지역에서 실행하였다. 세 지역은 연간 강수량이 500mm 이하인 북부 지역의 Ouahigouya 마을, 연간 강수량이 400~600mm인 중북부 지역의 Tougouri 마을, 연간 강수량이 1,000mm 이상인 남동부 지역의 Thiougou 마을이었다.

여러 전문 분야로 이루어진 팀이 세 곳의 농민들에게 설문조사를 시행하였다. 각 농업생태계에서 한 지역을 선택하였는데 그 기준은 지역 주민에게 농업의 중요성, 이미 진행 중인 (종의)유전적 퇴화 정도, 연구 대상 종이 지역주민의 생활에 끼치는 역할, 환경이 농업 생물다양성의 보존에 미치는 영향, 사회적 현상과 농업 개발의 상호의존성 등 이었다. 세 곳에서 수집한 자료는 식물 개발(생물 계절학), 동물의 행동(동물 행동학), 벌의 움직임, 우기 및 농사철 예측과 관련한 대기 변화 등에 대해 농민들이 관찰한 것이었다.

농민들은 다가올 시즌에 대한 두 종류의 신호를 고려한다. 작물의 여러 생육 단계와 동물 행동과 관련한 징후이다. 즉, 특정 새의 외견이나 노래 소리의 길이, 이들의 동지를 짓는 방법과 위치, 파충류의 자리 바꿈, 양서류의 움직임과 울음 소리와 같은 것이다(박스 표 14.3). 이 신호들은 우기가 온다는 것을 예측하는 데 사용된다. 그 다음으로 가장 많이 사용되는 신호 종류는 "la petite ours"와 같은 특정 별의 움직임, 바람의 방향과 방위, 전통적인 음력 참조 등이다.

박스 표 14.3 - 가나 농민들이 우기를 예측하기 위해 사용하는 환경 신호

작물	동물	별, 계절	관습
<p>판야나무(<i>Ceiba pentandra</i>)의 개화 발아 양호 <i>Xemenia americana</i>, <i>Ficus platyphylla</i>, <i>Diospiros mespiliformis</i>, <i>Vitelaria paradoxa</i>, <i>Sclerocarya birrea</i>, <i>Heeria insignis</i> (lebnorè), and <i>Lannea microcarpa</i>의 균일한 결실. Bèga일(전통적 축제일)에 폭우. Rônier(<i>Borassus palm</i>, <i>Borassus aethiopum</i> Mart.)의 잎이 많이 남.</p>	<p>Frouko와 Falaogo의 장기적인 신호. Waali(황새)가 동지에서 머리를 서쪽으로 돌린다. Taba는 나무 꼭대기에 동지를 튼다. 한 황새만이 마을 이리저리로 돌아다닌다. Taba의 외견. Buffalo toad가 서쪽을 바라본다. 야생 뿔닭과 바라누스(도마뱀 일종)가 잘 잡힌다. 적색 애벌레가 마을에 출현. Wonnonwondo 풍부. 흰개미들이 많은 개미집 형성. 귀뚜라미가 1월에서 2월까지 구멍을 파고 다시 밀봉. 세 가지 형태의 Yantyaaki 모습.</p>	<p>첫 비가 밤 늦게 내림.기우사의 바람이 남쪽에서 북쪽으로 강하게 불. 따름. 3월이 매우 따뜻함. 추장이 12월부터 3개월 간 예측. 매우 추움. 낮 동안 물 신기루 현상. 첫 비를 시작으로 모든 곳에 비가 내림. 물이 서쪽에서 동쪽으로 흐르는 듯 함(Koungny 마을의 경우).</p>	<p>예견에 봄. 따름. 추장이 예측. 매우 추움. 신기루 현상. 모든 곳에 비가 내림. 동쪽으로 흐르는 듯 함(Koungny 마을의 경우).</p>
<p>출하용 포장 식물이 잘 자라지 못함. Rônier와 <i>Heeria insignis</i>(lebnorè)의 첫 번째 잎이 시들어버림. Karité, raisinier, kuna, nobga의 생산이 미약하고 획일적이지 않음. 나쁜 우기를 나타내는 신호 타라민드와 무화과의 결실은 좋은 반면 잎은 그대로 유지. Raisinier와 karité 과실이 일찍 떨어짐. 판야나무의 개화가 형편없음.</p>	<p>Waali가 동지에서 동쪽을 바라보고 있음. Frouko의 노래 소리가 끊김. Falaogo가 더 적게 노래함. 알을 품고 있는 멧비둘기가 동쪽을 바라봄. 많은 황새들이 마을에 나타남. 새들의 동지가 서쪽을 향해 있음. 엽조가 많이 잡힘. 거북이가 동쪽을 바라봄. buffalo toad가 동쪽을 바라봄. 많은 거북이들이 농지에 나타남. 메뚜기 떼가 일찍 나타남. 귀뚜라미가 웅덩이에 가까이 있지 않음. 흰개미들이 나무 안으로 이동. Mimimana가 반복적으로 통과.</p>	<p>추운 계절(겨울)이 3개월 이하로 지속됨.예견에 바람이 모든 방향에서따름. 불어옴(광풍). 음력 문순바람이 북쪽에서참조. 남쪽으로 불어옴. 범람원의 물이 동쪽에서 서쪽으로 흐름. 첫 비와 함께 과다한 천둥. 우기가 시작될 때 대부분의 바람에 흥진(紅塵)이 가득함.</p>	<p>기우사의 예견에 따름. 음력 참조. 남쪽으로 불어옴. 범람원의 물이 동쪽에서 서쪽으로 흐름. 과다한 천둥. 대부분의 바람에 흥진(紅塵)이 가득함.</p>

예측을 위한 근거로써 생태계 구성요소의 역할을 이해하는 것은 Burkinaabè 농민에게는 매우 중요하다. 농업생태계 구성요소는 매우 변하기 쉽기 때문에, 농민들은 자연의 신호를 해석함에 따라 다양성을 해결, 유지할 필요성을 이해한다. 농민들은 자연의 신호에 따라 파종할 품종을 권장하고 사용할 재배 방식을 선택하며 파종 날짜를 결정한다. 또한 흉작일지 풍작일지도 예측한다. 이러한 방식은 기후 조건 및 토양, 생물적 요소에 관한 지식을 통해 농업생태계 환경을 통제하는 데 큰 역할을 한다. 이것은 농업 생물 다양성의 보존을 보증하는 환경 관리 토착 시스템이 존재한다는 사실을 보여준다. 농민들은 자신만의 관리 기준이 있으며, 지역, 종족, 환경, 문화 및 관습, 농업 활동 등에 따라 다양하게 사용한다. 이러한 방법은 진화적인 방식으로 작물의 유전적 변이성을 보존시켜주며, 지역 재래종과 야생 근연종 간의 유전자 흐름을 보증한다. 그러므로 수목 및 동물과 같은 생태계 구성요소가 보존되는 것은 작물 유전자원의 현지 보존에 매우 중요하며, 생태계는 농민의 생계와 분리할 수 없다.

출처: Sawadogo et al. (2005).

보존 우선순위에 대한 반응

소규모 자작농들은 환경적, 경제적, 정치적인 새로운 문제들과 기회에 빠르고 적절하게 반응할 수 있는 능력을 보여주었다(Agrawal 1997). 이들의 반응은 자원 사용의 혼합 및 경제 활동의 위치, 거주 패턴, 업무 조직, 농업다양성의 모든 요소들을 다양화 하는 것을 포함한다. 생물다양성 보존 우선순위가 보호 지역의 형태를 띠는 몇몇 지역에서는 소규모 소작농들이 적응할 수 있도록 돕기도 한다. 지역 농민들이 확인하고 창출하는 다수의 경제 옵션들을 통해 영역의 대상 분포, 자원 사용의 제한, 야생 집단의 증가 등과 같이 보존 프로그램이 종종 야기하는 변화에 효과적으로 반응할 수 있었다.

생물다양성 보존을 위한 소규모 자작농 생산 시스템의 중요성은 많은 형태를 띤다. 그러나 소규모 농민들의 기술 보존 가치를 해석하고 이해하려는 시도는 때로 이 기술들을 과대평가되거나 지나치게 간소화하였다. 예를 들면, 많은 전문가들은 결합된 작물 다양성의 수준에만 기초해 생산 시스템의 보존 가치에 관한 결론을 내린다(Brush 2000; Hamlin and Salick 2003). 농업다양성과 농지 관찰에 대해 수집한 자료는 많은 예에서 농업다양성의 보존 가치가 단순히 작물의 종류를 세어서(특히 자주 변할 수 있는 경우) 측정할 수 없다는 것을 보여준다. 앞쪽의 중국의 예는 이 점을 분명하게 설명한다. 농민들이 만든 재녹화 시스템은 성(省) 임학자가 제안한 시스템보다 경제성과 생물다양성 면에서 모두 더 높은 가치를 갖는다. 우리는 경작하는

목재 종의 추가 수와 관련 작물 및 동물 생물다양성의 간접적인 향상을 고려해야만 한다. 이들 시스템에서 소득이나 경제적 가치를 측정할 때도 동일하게 복잡한 양상이 된다. 종종 이 가치들은 정확히 측정하기도 어렵고 확인하는 것도 어렵다.

소규모 자작농 사회에서 농업다양성의 보존 가치는 농지, 휴경지, 수림, 하천의 경계 장소를 창출, 유지, 관리하는 면에서 측정할 수도 있다. 제방이나 관개 농지 사이 경계 지역을 따라 작물을 경작하며 농업생물다양성이 풍부한 수많은 농업 시스템이 중국, 탄자니아, 케냐, 기타 PLEC 지역에서 관찰되고 기록되었다. 지역사회가 이러한 시스템의 경제적, 생태학적 중요성을 평가하긴 하지만 외부인들에게는 거의 알려져 있지 않다. 이러한 경계지역 경작 시스템은 풍년이 든 해의 주요 수입원이 아니었기 때문에, 몇몇 사례에서 이 시스템의 중요성이 간과되었다. 그러나 흉작인 해에는 그 유용성이 증명될 수 있다. 이러한 시스템을 분석할 때 경제적 가치에 더해 사회적, 생태학적 가치를 포함시킨다면, 그 중요성은 아주 명백해 질 것이다.

결론

우리는 PLEC 프로젝트에 참여한 200명 이상의 연구자들이 소규모 자작 농업에서 단지 생산물이 아닌 생물다양성의 유지 과정에 초점을 맞추는 것을 우선순위로 정한 몇 가지 가장 중요한 이유를 개략적으로 설명하였다. 우리는 이 시스템을 특징짓는 다양성과 발전 과정에 모든 초점을 맞추었다. 소규모 농민들과 그 지역사회는 보통 생계 및 작물 보존, 기타 형태의 생물다양성을 위해 농림지가 농지만큼 중요한 자투리 생산 경관을 유지한다. 우리는 소규모 자작농가가 새로운 기술과 문제에 효과적으로 반응할 수 있는 능력을 유지시키는 데 다양한 기술과 생산물이 미치는 역할을 강조하였다.

우리가 자투리 생산 경관, 시스템의 혼합성 및 변화의 중요성을 강조하는 것은 생물다양성 분야에서 일고 있는 최근 관심사에 반박하는 것으로 보일 수 있다. 생태계 단편화와 지속적이지 않은 생산 방식, 전통 혹은 토착 시스템/종의 파괴가 현 상황에서 절박한 문제라는 것에는 이견이 없지만, 이러한 개념들이 잘못 적용 되거나 오해되어서는 안 된다. PLEC 과학자들이 설명하고 장려하는 많은 시스템들이 문화 보존 관련 사람들에게는 너무 현대적이며, 현대화 관련 사람들에게는 너무 전통적이고, 자연보호론자들에게는 너무 생산 지향적이다. 이 시스템들은 과학자들의 범주를 무시하고 연구자들의 이해를 회피한다. 그러나 이 시스템들이 겉으로 보기에는 규칙이 없는 듯하지만, 가장 현대적인 농업이 여전히 의존하고 있는 생물다양성을 보존하고 있으며 10억 인구의 필요를 충족시켜 주고 변화하는 환경에 적응할 수 있도록 해준다. 우리의 정책과 프로그램은 최소한 이렇게 가장 중요한 자원을 파괴하지 않아야 한다.

참고 문헌

- Agrawal, A. 1997. *Community in Conservation: Beyond Enchantment and Disenchantment*. Gainesville, fl: Conservation & Development Forum.
- Brookfield, H. 2001. *Exploring Agrodiversity*. New York: Columbia University Press.
- Brookfield, H. and C. Padoch. 1994. Appreciating agrodiversity: A look at the dynamism and diversity of indigenous farming practices. *Environment* 36(5):6–11, 37–45.
- Brookfield, H., C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking. 2002. *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*. London: ITDG Publications.
- Brookfield, H., H. Parson, and M. Brookfield. 2003. *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*. Tokyo: United Nations University Press.
- Brush, S. 2000. *Genes in the Field: On-Farm Conservation of Crop Diversity*. Rome: IPGRI Ottawa: IDRC Boca Raton, fl: Lewis Publishers.
- Dao, Z., X. H. Du, H. Guo, L. Liang, and Y. Li. 2001. Promoting sustainable agriculture: The case of Baihualing, Yunnan, China. *PLEC News and Views* 18:34–40.
- Dao, Z., H. Guo, A. Chen, and Y. Fu. 2003. China. In H. Brookfield, H. Parson, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195–211. Tokyo: United Nations University Press.
- Denevan, W. M. and C. Padoch. 1988. Swidden–fallow agroforestry in the Peruvian Amazon. *Advances in Economic Botany* 5.
- Fairhead, J. 1993. Representing knowledge: The "new farmer" in research. In J. Pottier, ed., *Practicing Development: Social Science Perspectives*, 187–204. London: Routledge.
- Feder, G. and G. T. O'Mara. 1981. Farm size and the adoption of green revolution technology. *Economic Development and Cultural Change* 30:59–76.
- Guo, H., Z. Dao, X. H. Du, L. Liang, and L. Yingguang. 2003. China. In H. Brookfield, H. Parson, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 195–211. Tokyo: United Nations University Press.

- Gupta, A. 1998. *Postcolonial Developments: Agriculture in the Making of Modern India*. Raleigh, NC: Duke University Press.
- Gyasi, E. A., W. Oduro, L. Enu- Kwesi, G. T. Agyepong, and J. S. Nabila. 2003. Ghana sub- cluster final report. In H. Brookfield, H. Parson, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 79–109. Tokyo: United Nations University Press.
- Gyasi, E. A. and J. I. Uitto, eds. 1997. *Environment, Biodiversity and Agricultural Change in West Africa*. Tokyo: United Nations University Press.
- Hamlin, C. C. and J. Salick. 2003. Yanesha agriculture in the Upper Peruvian Amazon: Persistence and change fifteen years down the "road." *Economic Botany* 57:163–180.
- Irvine, D. 1989. Succession management and resource distribution in an Amazonian rain forest. *Advances in Economic Botany* 7:223–237.
- Kalliola, R., M. Puhakka, and W. Danjoy. 1993. *Amazonía Peruana: Vegetación húmeda tropical en el llano subandino*. Jyvaskyla, Finland: Gummerts Press.
- Kang'ara, J. N., E. H. Ngoroi, C. M. Rimui, K. Kaburu, and B. Okoba. 2003. Kenya. In H. Brookfield, H. Parson, and M. Brookfield, eds., *Agrodiversity: Learning from Farmers Across the World*, 154–168. Tokyo: United Nations University Press.
- Padoch, C., J. Chota Inuma, W. de Jong, and J. Unruh. 1985. Amazonian agroforestry: A market- oriented system in Peru. *Agroforestry Systems* 3:47–58.
- Padoch, C. and W. de Jong. 1987. Traditional agroforestry practices of native and ribereño farmers in the lowland Peruvian Amazon. In H. L. Gholz, ed., *Agroforestry: Realities, Possibilities and Potentials*, 179–194. Dordrecht, The Netherlands: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers.
- Padoch, C. and W. de Jong. 1989. Production and profit in agroforestry: An example from the Peruvian Amazon. In J. Browder, ed., *Fragile Lands of Latin America*, 102–113. Boulder, co: Westview Press.
- Padoch, C., and W. de Jong. 1995. Subsistence- and market- oriented agroforestry in the Peruvian Amazon. In T. Nishizawa and J. I. Uitto, eds., *The Fragile Tropics of Latin America: Sustainable Management of Changing Environments*, 226–237. New York:

United Nations University Press.

Pinedo-Vasquez, M., J. Barletti Pasquale, D. Del Castillo Torres, and K. Coffey. 2002a.

A tradition of change: The dynamic relationship between biodiversity and society in Sector Muyuy, Peru. *Environmental Science & Policy* 5:43–53.

Pinedo-Vasquez, M., C. Padoch, D. McGrath, and T. Ximenes. 2002b. Biodiversity as a

product of smallholders' strategies for overcoming changes in their natural and social landscapes. In H. Brookfield, C. Padoch, H. Parsons, and M. Stocking, eds., *Cultivating Biodiversity: The Understanding, Analysis and Use of Agrodiversity*, 167–178. London: ITDG Publications.

Posey, D. 1992. Interpreting and applying the "reality" of indigenous concepts: What is

necessary to learn from the natives? In K. Redford and C. Padoch, eds., *Conservation of Neotropical Forests: Working from Traditional Resource Use*, 21–34. New York: Columbia University Press.

Rerkasem K., N. Yimyam, C. Korsamphan, and B. Rerkasem. 2002. Agrodiversity lessons

in mountain land management. *Mountain Research and Development* 22:4–9.

Richards, P. 1993. Cultivation: Knowledge or performance? In M. Hobart, ed., *An*

Anthropological Critique of Development: The Growth of Ignorance, 61–78. London: Routledge.

Sawadogo, M., J. Ouedrago, M. Belem, D. Balma, B. Dossou, and D. Jarvis. 2005. Infl

uence of ecosystem components on cultural practices affecting the in situ conservation of agricultural biodiversity. *Plant Genetic Resources Newsletter* 141: 19–25.

Scoones, I. and J. Thompson. 1994. Knowledge, power and agriculture: Towards a

theoretical understanding. In I. Scoones and J. Thompson, eds., *Beyond Farmers First: Rural People's Knowledge, Agriculture Research and Extension Practice*, 16–32. London: Intermediate Technology Publications Ltd.

Stiver, R. H. and N. W. Simmonds. 1987. *Bananas*. Tropical Agriculture Series. Rome:

FAO.

15. 농업생물다양성과 식품 그리고 인간의 건강

T. JOHNS

식물 다양성은 인간 건강에 필수적이다. 식물은 영양분과 약리 성분을 제공하고 활발한 생태계의 구성요소들을 형성하며 사회문화적 복지에 기여한다. 전통적 가치와 과학적 개념은 건강을 위한 식품군, 특히 과일이나 채소의 다양성에 대한 필요성과 일치한다. 경제적, 환경적 변화와 당면하여 대다수 사람들의 식단이 고에너지 식품에 한정되는 방식으로 점점 더 단순화되고 있는 것은 건강에 전례가 없는 방해물이 되고 있다. 동시에 작물 속성에 대한 문화적 지식도 침식되고 있다. 그러므로 생물다양성의 보존과 그 사용 지식은 과거의 적응 교훈을 지속시키며 현재와 미래 건강을 위해 필요한 자원을 제공한다.

영양소 및 건강문제는 인간의 복지를 보장하고 생물다양성을 보존하는 의무 사이에 강한 연대감을 구축한다. 따라서 영양적 관점은 작물 유전자원(PGRs)에 관해 생각해 볼 수 있는 방법을 알려주며, 영양성분은 PGRs를 보존하고 사용하려는 노력에 있어서 중요한 위치가 될 수 있다. 농업생물다양성과 식단의 다양성, 건강과의 관계가 우선은 논리적으로 보이지만, 실제로 이 관계가 어떻게 작용하는지에 대해 의사 결정권자들을 납득시키기 위해 필요한 건강을 위한 식품 기반 접근법의 타당성에 관한 경험적 자료는 불충분하다. 또한 이러한 자료는 개발도상국의 생산자와 소비자들에게 작물 유전자원의 사용 및 중요성을 인식시켜 이를 보존할 수 있는 전략을 실행케 하는 데 필수적이다. 가장 중요한 것은 식품군 다양성과 건강, 생물다양성 간의 관계에 관한 경험적이고 참여적인 연구가 개발도상국들이 식량체제 및 환경, 질병 패턴의 현 문제와 향후 변화들에 대해 효과적인 반응을 가능하게 하는 프로그램 설계의 기초를 제공할 수 있다는 것이다.

식품의 다양성과 건강

전염병과 관련된 일련의 연구는 다양한 식품을 섭취하는 것이 좋다는 섭생에 관한 옛 지혜를 확인한다(Johns 2003; Johns and Sthapit 2004). 예를 들면 권장 식을 더 많이 섭취한 미국 여성(평균 연령 61세)의 사망률이 더 낮았다(Kant et al. 2000). 고사분위(高4分位) 여성들(다양성 점수 15)은 저(低)사분위(다양성 점수 7)와 비교했을 때 5.5년 안에 사망할 확률이 0.69였다. 식품군의 다양성

과 장수와의 관계, 그리고 남녀의 심혈관계 질환, 당뇨병, 암과 같은 만성 퇴행성 질환의 비율 감소는 Kant 등(1995)의 이전 연구에서 밝혀진 바 있다.

한 이탈리아 연구에서는 식품의 다양성, 특히 야채, 과일을 다양하게 먹는 것이 위암 발병률을 낮추는 것과 관련이 있다고 밝혔다(La Vecchia et al. 1997). 이것은 만성 퇴행성 질병을 감소시키는 지중해식 식사의 혜택과 과일/야채 섭취와의 잘 알려진 관계와 일치한다 (Trichopoulou and Vasilopoulou 2000). 이와 비슷하게 Drewnowski 등(1996)은 프랑스 식단이 미국 식단보다 지방이 더 높으며 식단의 질이 더 떨어지고 하지만, 전체적인 다양성으로 그 장점을 설명할 수 있을 것임을 보여준다.

식단의 다양성이 개발도상국에서 건강에 미치는 기여도를 증명하는 자료는 더 적다 (Johns 2003). 그러나 식단의 다양성은 케냐의 1세~3세 어린이의 성장이 향상되는 것과 관련이 있었다 (Onyango et al. 1998). 말리에서는 Harløy 등(1998)이 과일/야채의 다양성과 전체적인 영양분의 적합성, 비타민 A 나 C와 같은 특정 영양소와의 강한 상호 관계를 증명하였다.

다른 연구에서는 개별적인 식품 수와 고품질 식품 수에 따른 다양성이 일관성 없이 측정되어 비교 및 일반적인 결론의 도출이 어렵다. 그럼에도 불구하고 다른 접근법을 통한 자료들은 과일 및 채소의 다양성이 영양 및 건강에 기여한다는 가정을 일관되게 뒷받침한다. 식단의 품질이 식단 다양성의 건강 혜택에 기여하는 것처럼 이것은 부분적이지만 유일하게 영양소 함량에 영향을 끼칠 수 있다. 식단의 영양 품질은 더욱 다양한 식품을 소비할수록 향상된다 (Hatløy et al. 1998; Johns 2003). 그러나 비타민, 무기질, 단백질, 에너지 함유 만으로는 지중해나 한국(Kim et al. 2000), 또는 다른 국가의 식품과 관련한 혜택을 설명하지 못 한다. 에너지원의 질 뿐만 아니라 식물성 화학물질이나 식이섬유와 같은 다양한 비영양소 역시 중요한 역할을 한다(Trichopoulou and Vasilopoulou 2000).

이러한 과학적 통찰력은 소위 기능성 식품이라는 것에 관심을 갖도록 고무시켰으며(Johns and Romeo 1997; Hasler 1998; Milner 2000), 소비자 수요와 기업 주도권이 흥미를 유발하는 선진국에서 더욱 그러하다. 1991년에 시작된 일본의 특정보건용 식품(Arai 2000; Arai et al. 2001) 특허제와 1990년 제정된 영양표시교육법에 따른 미 식품의약청의 건강정보표시 허용(www.cfsan.fda.gov/~dms/lab-hlth.html; Ross 2000)은 식품 능력에 대한 승인을 제재 및 자극하여 기본 영양소에 대한 기여도를 넘어 건강을 촉진시키고 있다. 동시에 많은 식사 보충제와 마늘이나 포도 씨 등과 같은 조제 형태로 판매되는 자연 건강 제품은 식이요법과 관련한 질병 및 건강상태에 초점을 맞춘 것이다. 이러한 제품은 기존 음식과 약초로 만들며, 선진국 소비자들 사이에서 섭취하는 식물 다양성을 향상하는 데 기여한다.

이들 중 많은 제품들이 오랫동안 쌓아온 명성을 가지고 있으며 세계 여러 곳에서 사용되고 있다. 관련된 식재료 및 음료의 사례에는 Vaccinium(크랜베리, 빌베리, 블루베리), 마카

(*Lepidium meyenii*)(Johns 1981; Quiros and Aliaga-Cardenas 1997), 루이보스(*Aspalthanthus* sp.) (Standley et al. 2001), prickly pear leaf (*Opuntia ficus-indica*), 어유, 기타 해산물 등과 같이 지역적으로 생산되는 종뿐만 아니라 대두, 차, 아마, 토마토와 같은 주요 상품도 포함한다.

표 15.1은 상업적으로 중요한 기능성 식품의 예를 나열한 것이다. 많은 경우에 기능성은 특정 화학 성분에 기인할 수 있다(Johns and Romeo 1997). 예를 들면 많은 페놀(플라보노이드 등), 카로티노이드, 기타 식물성 화학 물질 등은 지방질 신진대사에 중요한 역할을 하는 산화방지제이며 항돌연변이제이다. 이러한 활동은 심혈관계 질환, 암, 기타 질병의 위험을 적극적으로 조정한다. 다른 항암제들로는 십자화과 채소에서 얻는 인돌(indole), 이소티오시아네이트(isothiocyanate), 대두나 아마에서 얻는 이소플라보노이드와 같은 식물성 에스트로겐과 리그닌(lignan)이 포함된다. 식물에게만 존재하는 피토스테롤과 파속 식물 중에서 얻는 황화합물(thiosulfinate)은 혈액 지방질을 낮추어 관상 동맥 심질환의 위험을 감소시키는 듯 하다. 게다가 식품의 지방질 구조의 특성, 특히 고리 길이 및 지방산의 불포화성은 건강을 증진할 수 있다. 18개 탄소를 갖는 불포화 지방산인 올레인산 때문에 올리브오일이 건강에 기여하는 것이다. 동물성 식품에서 형성되는 긴 고리의 다중불포화 지방산은 아이코사노이드의 대사 작용을 통해 몇 가지 주요한 신진대사 및 건강 관련 역할을 담당한다(Simopoulos 1994). 식이섬유, 특히 수용성 섬유질은 귀리, 금불초(*psyllium*)와 같은 곡류 제품과 다양한 과일, 채소가 관상 심장 질환 및 암의 발병률을 감소시키는 역할을 하게 한다. 수용성/비수용성 섬유와 소화를 억제하는 식물성 화학 물질, 그리고 특정 탄수화물은 혈당 조절 능력을 향상시키고 당뇨병 환자의 고지혈증을 감소시킨다.

표 15.1. 식물 유래의 기능성 식품, 음료, 양념의 예

작물	생리학적 효과	알려진 활성 성분	참조
Bitter melon	저혈당		Marles and Farnsworth (1995)
Blueberry, bilberry	산화 방지	Polyphenols(다카 페놀)	Wang et al. (1999)
브로콜리 및 기타 십자화과 채소류	항암	Indole-3 carbinol, isothiocyanates	Hasler (1998)
Citrus fruits 감귤류 과일	항암	Limonoids	Montanari et al. (1997)
Cranberry	요로 감염 방지	Proanthocyanidins	Howel et al. (1998)
Fenugreek	저혈당		Marles and Farnsworth (1995)
Flaxseed	항암, 발정 촉진, 콜레스테롤 저하	Lignan precursors, α -linolenic acid	Hasler (1998), Blumenthal et al. (2000)

작물	생리학적 효과	알려진 활성 성분	참조
마늘	지방질 감소, 혈압 강하, 항균	Thiosulfates	Hasler (1998), Blumenthal et al. (2000)
귀리	콜레스테롤 저하	β -glucans 베타-글루칸	Hasler (1998)
올리브유	cvd 발병률 감소	올레인산,	Visioli and Galli (1998)
Prickly pear leaf	항당뇨	수용성 섬유	Trejo-Gonzalez et al. (1996)
Psyllium 금불초	cvd 발병률 감소	수용성 섬유	Hasler et al. (2000)
Rooibos	항돌연변이, 산화 방지	Polyphenols(다가 페놀)	Standley et al. (2001)
대두	콜레스테롤 저하, cvd 발병률 감소, 발정 촉진, 항암	대두 단백질, 이소플라본	Hasler (1998)
차	산화 방지	Polyphenols(다가 페놀)	Mukhtar and Ahmad (2000)
백리향	산화 방지, bronchospasmodic	페놀: 티몰, 카르바크롤	Nakatani (1997); Blumentha et al.
토마토	산화 방지, 항암	Lycopene 리코핀	Hasler (1998)
와인 및 포도	산화 방지, cvd 발병률 감소	Polyphenols(다가 페놀)	Hasler (1998)

CVD = 심혈관계 질환

다양한 구조와 개별 성분으로 이루어진 수 천 개의 식물성 화학물질은 작물에 따라 매우 다양하다. 화학 성분의 범위 및 기능성이 완벽하게 설명된 식품은 거의 없지만, 자료가 증가하면서 기능성 식품 및 관련 화합물의 목록이 증가할 것이다. 표 15.1에서 더욱 광범위하게 알려진 종 목록을 확장하는 것과 별개로, 업체소와 같이 개발도상국에서 식품 및 약재로 섭취되는 다양한 기존 작물에 초점을 맞춘 연구(Chweya and Eyzaguirre 1999; Trichopoulou et al. 2000)는 기존 생계형 시스템에서 그것들의 중요성을 이해하는 데 크게 도움이 될 것이다(Johns and Sthapit 2004).

세계 변화, 식품, 건강

선진국 및 개발도상국의 빠른 변화 과정은 인간과 인간이 살고 있는 생태계 사이의 관계를 완전히 바꾸고 있으며 식품도 여기에 포함된다. 기존의 생계형 시스템은 자주 영양 및 건강 필요성을 확실히 충족시키는 독특하고 잘 맞아 떨어지는 인간과 자원의 상호작용을 나타낸다(Johns 1996; Kuhnlein and Receveur 1996). 환경적 완전성의 붕괴는 차례로 인간의 건강 패턴과 질환, 영양 상태 등에 영향을 끼친다(Johns and Eyzaguirre 2000). 다양성 소실 등을 포함한 부적절한 식사는 건

강을 직접적으로 위협하면서 변화의 주요 결과를 나타낸다. 환경적 스트레스와 결합한 식품의 품질 하락은 영양실조, 면역 및 감염, 환경 독소, 산화성 스트레스 등을 통하여 전례가 없는 방식으로 인간 사회의 건강에 위협을 가한다.

영양실조

식량생산을 위태롭게 하는 생태계 및 생물다양성의 파괴를 야기하는 요소 및 인구 과잉 문제는 영양분이 부족한 식품의 섭취, 소비를 하게 하여 결과적으로 단백질 에너지 영양실조로 이어질 것이다. 미량영양소의 부족은 기존 생계 패턴의 혼란을 반영하는 것일 수 있으며, 특정 생물 자원의 획득 및 섭취를 감소시킬 수 있다.

기존의 생계 패턴은 식품 조달 및 기타 활동을 위한 에너지 소비와 에너지 밀도가 낮은 식품 섭취로 이루어진다. 에너지의 과소비와 함께 가공식품에 대한 의존도가 증가하면서, 건강을 좀 더 세밀하게 보호해 주는 영양소와 기능성 성분 섭취가 감소하여 건강에 영향을 끼칠 수 있다(Johns 1999).

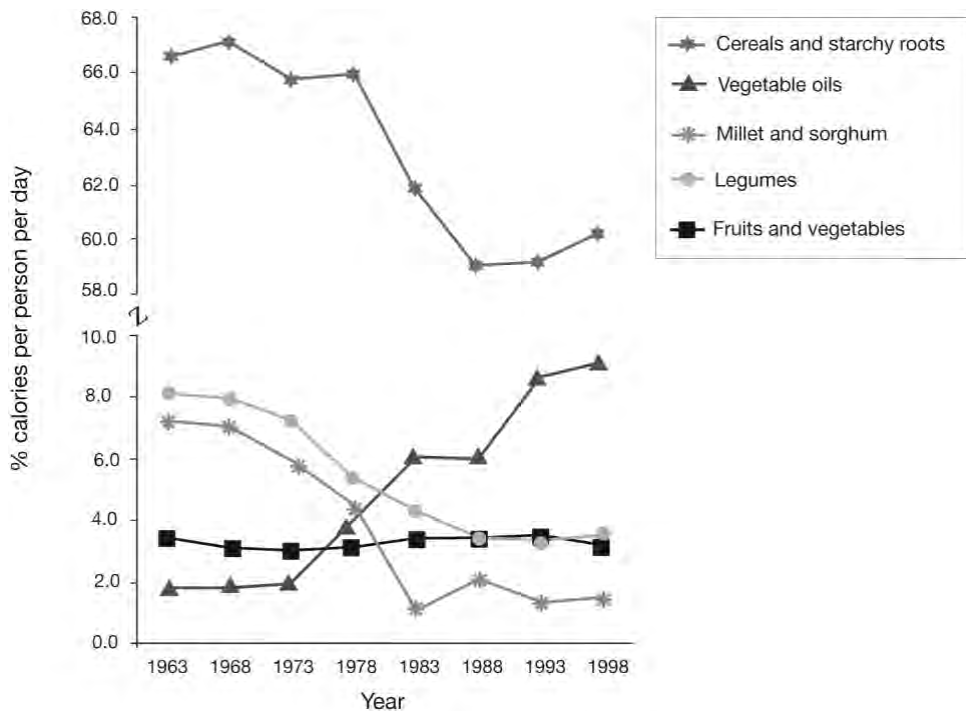


그림 15.1 - 소비 가능한 케냐 식품의 비교(1963-1998). 3개년 평균(± 1년)을 나타낸다.(from fao 식품수급표, apps.fao.org/default.jsp).

대부분의 사람들을 대상으로 한 식단 패턴 자료는 일정 시간 동안 개인의 과일, 채소섭취의 다양화를 확립하는 데 부적당하다. 그러나 여러 가지의 전국적인 소비 경향은 당뇨병이나 심혈관계 질환과 같은 신생 질병 현상을 설명하기에 충분히 심각하다(Popkin et al. 2001b). 지난 35년간 몇몇 동 아프리카 국가를 위해 사용한 국제연합식량농업기구(FAO) 식품수급표(apps.fao.org)는 식용유로 섭취하는 에너지가 증가하면서 1인당 콩 종류의 소비가, 특히 케냐에서 크게 감소했음을 보여준다(그림 15.1). 잘 알려진 콩과작물의 영양적(철, 섬유, 단백질), 기능적(Milner 2000) 혜택을 고려할 때, 미량영양소와 단백질 결핍, 그리고 에너지 과소비와 관련한 질병으로 새롭게 대두된 공중 보건면에서의 충격은 크며, 이것은 과일과 채소 다양한 섭취에 의한 조정에도 불구하고 발생한다.

임상 및 섭생 첨가제와 가공식품의 보강(Allen and Gillespie 2001)을 포함하여 영양 결핍에 대한 재래식 보완방법은 적절히 관리된다면 효과적일 수는 있지만, 경제적, 기술적, 문화적인 이유로 일반 상황에서는 개발도상국 국민들에게는 불완전한 해결책이다. 더욱이 확인이 가능한 결핍에 대한 단일 영양소의 반응은 즉각적으로는 나타날지 몰라도, 보통 더욱 복잡한 결핍 때문에 일어나는 지도 모르고 따라서 장기적인 건강에 필요한 균형을 제공하지 못할 수도 있다.

비타민 A와 C, 폴산, 철, 기타 미량영양소의 공급량과 섭취량을 증가시키는 데 더해, 식품 기반의 해결책은 지속성이 있으며, 특히 생태계적, 문화적으로 적절한 경우라면 알맞은 듯 하다(Allen and Gillespie 2001). 그러나 식품 기반 조정 프로그램의 평가가 불충분했으며, 이러한 목적으로 PGRs를 사용하기 위해 모든 노력을 기울이는 것에 우선순위를 두어야 할 것이다.

면역 및 감염

환경에서 기원하는 질병 요소들은 영양 상태를 위협에 처하게 하고, 차례로 질병의 심각성과 전염성에 중요한 역할을 한다. 자연 생태계가 붕괴하면 말라리아, 리슈마니아증, 뎅기열(Spielman and James 1990)과 같은 매개체 질병에의 노출이 증가하거나 공중 위생, 직접적인 사람간의 전염과 같은 밀도 관련요인을 통해 감염성 질병의 발병률이 증가할 수 있다. 결핵, 위장 질환, 홍역, 호흡기 질환 등과 같이 세계적으로 중요성을 갖는 주요 공중 보건 문제는 모두 영양적, 환경적 요소들의 상호 작용을 반영한다(Platt 1996). 영양실조는 비타민 A나 철과 같이 면역 체계에 영향을 끼치는 미량영양소의 결핍을 야기할 수 있으며 HIV나 AIDS와 같은 기타 질병들(Tomkins 2000)을 악화시킬 수 있다. 기존 식품군과 약품의 잠재적인 기능적(면역촉진 작용이나 항산화 작용 등) 특성의 효과는 훨씬 덜 이해되고 있다.

산화 상태

산화 상태는 당뇨병이나 심혈관계 질환, 암과 같은 만성 질환을 포함한 여러 질병 상태의 유발 인자 및 역기능으로써 중요한 역할을 한다. 중금속이나 유기염소계 살충제, 방사성 핵종 등과 같은 산업적, 농업적 화학 물질로 인한 환경오염이 영양 상태를 악화시키며(Kuhnlein and Chan 2000), 산화성 스트레스의 심각한 원인으로써 지역적으로, 세계적으로 식품 및 건강에 영향을 끼친다. 외인성 항산화제, 특히 식이성 비타민과 비영양소는 산화성 스트레스를 방어하는 핵심 성분이다. 그러므로 식이성 식물을 다양성이 부족 되게 섭취하는 것은 부정적인 결과를 가져오며, 반면 더욱 다양한 섭취는 긍정적인 해결책을 제시한다.

도시화와 영양 전환

도시 인구는 시장 수요와 산업 성장 및 도시 폐기물과 관련한 오염으로 인해 환경에 점차 더 많은 영향을 끼치고 있다. 이러한 상황에서 도시 빈민층은 비위생적인 환경에서 생활해야 하는 부정적인 결과와 부족한 식사로 인해 이중으로 영향을 받는다.

점점 더 많은 사람들이 에너지에 대해 안정을 누리는 동시에, 고투입, 고생산성 농업, 양질의 탄수화물(밀, 벼, 설탕)과 식용유(WHO 2003)의 이용과 보급을 향상시키는 장거리 이송 역시 영양 전환을 떠받치고 있다. 게다가 문화 및 상업의 세계화는 개발도상국의 식품 체계와 식단을 서구화 하도록 조장한다. 도시 인구는 시골 지역 사람들보다 구매한 식품에 의존하는 경향이 더 높은 반면, 다양한 자연산이나 지역적으로 경작한 식품을 이용하는 경향은 더 줄어든다. 구매 식품의 선택은 이용성과 보급성에 따라 결정되며, 도시 빈곤층은 전통적인 생계형 시스템에서보다 식단의 다양성이 더욱 제한된다. 동시에 농촌의 생산자들은 생계를 위해 도시 시장과 더욱 연계함으로써 대부분의 소비자들이 살 수 없는 식품은 수요부족으로 시장 규모가 감소되어 생산이 비경제적으로 된다.

영양 전환

고 에너지 작물과 동물성 식품에서 파생한 음식 소비는 낮은 식품 에너지 비용과 맞아 떨어진다. 일반적으로 도시 인구가 이용할 수 있는 과일, 채소를 포함한 더 많은 다양성이 꼭 소비로 이어지는 것은 아니며(Popkin et al. 2001b), 특히 빈민층의 경우에 더욱 그러하다. 현대 시장 체제를 통해 구매할 수 있는 가공식품은 브랜드와 구성성분이 다양하다 하더라도 종종 지역 산물 대신 수입품을

사용하기 때문에 실제 생물 다양성은 제한적일 수 있다.

이러한 영양 전환으로 후진국에서조차 새로운 유행병인 타입 2 당뇨병, 심혈관계 질환, 비만, 암, 기타 만성 비전염성 질환이 만연하고 있다(Popkin et al. 2001a; Chopra et al. 2002; Popkin 2002; WHO 2003). 고 탄수화물, 고 지방 식사의 결과는 더욱 복잡하며, 식단의 변화가 빈곤 및 높은 전염병 발병률과 함께 이루어지고 있으며 영양실조가 이중고를 만들고 있는 개발도상국의 혜택 받지 못한 사람들 사이에 더욱 심화되고 있다(Popkin et al. 2001a; Popkin 2002). 낮은 다양성 및 영양 품질과 결합한 저가의 식품 에너지는 특히 여성들에게 가정의 영양실조와 결합한 비만 패턴을 만들어 낸다(Doak et al. 2000). 유년시절 초기의 영양실조(태아 프로그래밍)는 추후 당뇨병이나 기타 건강 상태에 대한 취약성을 증가시킬 것이다(Popkin et al. 2001a). 만성 비전염성 질환의 유행은 추후 고령 인구가 많은 국가들에서 가속화 될 것으로 예상할 수 있다. 건강식과 운동에 관한 세계전략(The WHO Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health)(WHO 2003)은 비전염성 질병에 대처하기 위한 식품 기반 접근법의 중심적 역할을 강조한다.

아프리카 도시에서 실행된 몇몇 식이 요법 연구는 아시아와 라틴 아메리카에서 잘 알려져 있는 연구와 맥락을 같이 한다. 즉 식품 에너지 비용의 감소는 카사바, 밀, 감자 등과 같은 전분질 자원에서 비롯된 튀김류에의 의존도가 높아지고 신선한 채소, 과일의 섭취가 줄어든 것과 관련이 있다는 것이다(Mennen et al. 2000). 인구의 극 빈곤층과 가장 피해를 입기 쉬운 계층의 경우, 이 제품은 종종 영양분이 적은 거리 음식의 형태를 띤다(Van t' Riet et al. 2001). 결과적으로 아프리카의 대다수 인구 층의 경우 에너지 과소비 상태는 아마도 전형적인 영양 결핍 및 전염병과 공존하게 될 것이다(Bourne et al. 2002; Johns 2003).

세네갈은 식용유와 지방을 통해 사용할 수 있는 칼로리가 1963년에서 1998년 사이 8%에서 20%로 증가하면서(그림 15.2), 케냐보다 식용유 소비가 훨씬 더 극적으로 증가하였다(그림 15.1). 지방 섭취가 증가하면 빈곤한 식단에서 에너지를 향상시키고 비타민 A를 수월하게 섭취하는 데 이롭긴 하지만, 세네갈인들의 식품군에서 지방으로 사용할 수 있는 총 칼로리가 18%에서 29%로 증가한 것, 즉 선진국의 권장 섭취량과 같은 수준이 된 것은 매우 많은 수의 사람들이 권장량 보다 훨씬 더 많은 지방을 소비하고 있음을 시사한다. 동시에 전형적인 기장, 수수류 곡물의 소비는 반으로(그리고 케냐보다 훨씬 더 높은 비율로) 떨어진 것으로 보인다. 이 식품들은 영양분, 소화, 맛 등의 측면에서는 차선택이긴 하지만, 밀, 벼, 옥수수 같은 외래 곡물에 상응하는 잠재적인 항산화 성분(Sripriya et al. 1996) 및 저혈당 작용을 제공한다.

UN 인간정착프로그램(www.unhcr.org/unhcr/en_english/stats/table2.htm)이 예측한 바, 사하라 사막 이남 지역에서 연간 4%, 향후 15년 안에 지역 인구의 50%가 도시화가 된다면 이러한 경향의 영양적, 보건적 문제를 대처할 방안이 시급하다. 이 지역 및 세계 어느 지역에서도

식물 성분의 과학적 분석에 기초한 식물 유전적 다양성의 활용, 문화 지원 프로그램, 식단 교육, 혁신적인 가공 및 마케팅은 변화의 충격을 흡수할 수 있는 방법을 제공할 수 있다.

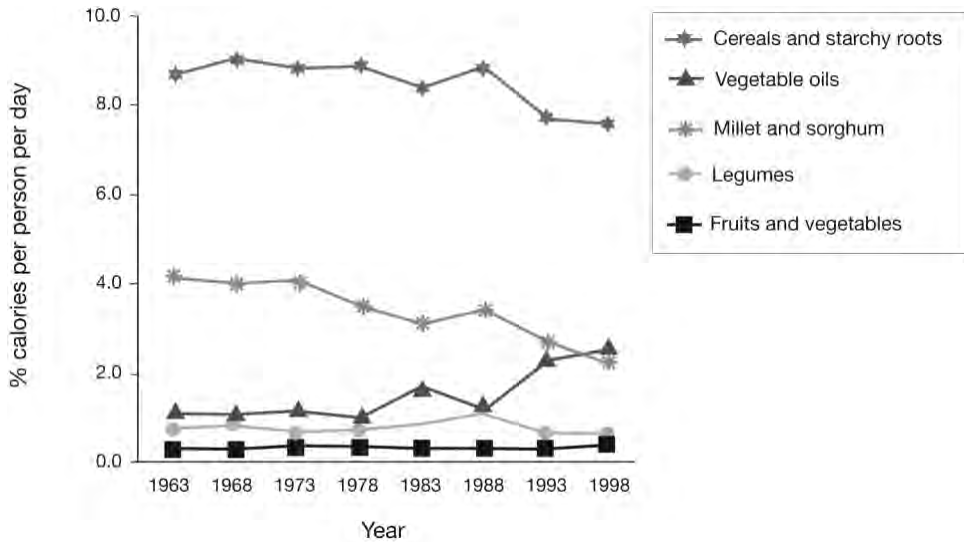


그림 15.2 - 소비 가능한 세네갈의 식품 비교(1963-1998). 3개년 평균(± 1년)을 나타낸다. (FAO 식품수급표, apps.fao.org/default.jsp).

작물 다양성의 중요성 및 방치되어 활용되지 않는 종

식량 작물 다양성의 침식

7,000종 이상의 식물 종(種)이 전통적으로 식품으로 사용되고 있는 반면, 벼, 밀, 옥수수 이 세 종이 오늘날 음식물 총 칼로리 섭취의 60%를 차지하고 있다. 세계의 현대 농업은 전형적으로 몇몇 작물의 수량에 초점을 맞추며, 여러 해에 걸친 품종 개량 연구는 병충해 및 기름 저항성이 있는 고 수량의 소수 특정 식품 종을 개발하였다. 세 가지 주요 작물에 들인 절대적인 노력의 결과, 다양한 곡류의 소비가 더욱 감소하였다. 더불어 소비되는 채소 및 과일의 종류 역시 감소하였다. 문화적 변화와 도시화가 이러한 추세를 강화시켰다(Chweya and Eyzaguirre 1999). 또한 많은 전통 음식이 현재 빈약하거나 퇴보하는 추세이다. 그 결과 식사 패턴의 붕괴와 식단 다양성의 손실이 야기된다. 이러한 식단의 변화가 인간의 영양과 건강에 미치는 영향은 거의 알려져 있지 않다.

방치되어 활용되지 않는 종

입증된 식단 다양성 원칙을 고려할 때, 다양한 식품이 지역사회의 균형 잡힌 식사에 기여한다는 것은 의심할 여지가 없다(Padulosi 1999). 예를 들면 아프리카 지역 식단에서 중요성을 띠면서도 방치되어 활용되지 않는 종(neglected and underutilized species, nuss)에는 포니오(*Digitaria exilis*)와 같은 알곡 작물, 압과 같은 덩이뿌리 및 줄기 작물, 콩류, 밤바라 땅콩(*Vigna subterranea*)과 같은 유지작물(Heller et al. 1997), 엽채류(Chweya and Eyzaguirre 1999), 아프리카 플럼(*Dacryodes edulis*)이나 부시 망고(*Dacryodes edulis*)와 같은 열대 과일 등이 포함된다.

다양성의 중요성과 nuss를 포함한 전통 체제에 스며있는 지혜는 식단의 각 요소에 있는 특정 영양 성분에 대한 지식 없이도 평가할 수 있지만, 몇몇 종에 관한 기존 자료는 이들 종이 건강에 기여하는 방식에 대한 유용한 통찰력을 제공한다. 예를 들면 어린 잎과 과일을 먹는 바오밥(*Adansonia digitata*)은 몇몇 아프리카 국가에서 지역적 식단으로 중요성을 갖는다. 과육과 건엽은 칼슘이 풍부한데, 죽을 끓일 때 넣거나 소스로 만들거나 요리에 바로 첨가하기도 한다. 이것은 또한 철과 비타민 C를 결합시켜 철의 흡수를 증가시킬 수 있도록 상호 작용하며 빈혈을 방지한다. 종합적인 연구를 하지 않더라도, 우리는 엽채류가 일반적으로 프로비타민 A, 비타민 C, 폴산, 철분, 칼슘, 섬유질, 단백질 등에 크게 기여한다는 것을 알고 있다(West et al. 1988; Uiso and Johns 1996; Chweya and Eyzaguirre 1999). 최근 프로비타민 A의 생물이용 가능성과 관련한 논쟁은 도외시 하고 말이다(Solomons and Bulux 1997; de Pee et al. 1998).

전래 식용 종(種) 및 품종의 영양 성분

대부분의 개발 지역에 존재하는 야생 및 재배 생물다양성이 식품 조사 및 성분 분석, FAO 식품수급 표, 정책-의사 결정 등에서 무시되고 있다 하더라도(Johns 2003), 이러한 자원이 식사의 적절성에 본질적으로 기여한다는 사실은 의심의 여지가 없다(Chweya and Eyzaguirre 1999; Burlingame 2000; Johns 2003; Kuhnlein and Johns 2003). 가정원예에 관한 연구는 다양성과 영양 상태 간의 관계를 수립하였다(Marsh 1998; Johns 2003). 몇몇 사례에서 특정 영양소를 위해 수집한 종의 기여도는 분명하게 증명되었으며(Ogle et al. 2001a, 2001b), 많은 토착종이 특별한 영양 성분을 가지고 있다(Rodriguez-Amaya 1999; Johns 2003).

종내(種內) 다양성이 영양소 및 건강에 미치는 기여도를 기술 한 것은 거의 주의를 끌지 못했으며 분석용 자원도 거의 받지 못했다. 농민 기반 연구는 지역 작물종의 건강, 감각 기관, 요리용 특성과 관련한 풍부한 전통 지식과 신념을 표출한다(FAO 2001). 주요 작물의 선발

(Fassil et al. 2000; Graham and Rosser 2000; fao 2001; Johns 2003; Johns and Sthapit 2004)은 비록 불완전하다 하더라도 전체 인구 및 개인 소비자들의 영양 상태를 확실히 나타내는 영양적, 기능적 특성의 다양한 변화를 분명하게 입증한다(작물 육종가에 대한 유용성 추가). NUSS 내 영양 구성에 대한 잠재적 유전 변이(참조. Calderon et al. 1991; Chweya and Eyzaguirre 1999; Burlingame 2000)는 기술된 자료가 훨씬 더 적다.

종내 다양성

식물 유전자원(PGR) 보존 및 사용 관점에서 볼 때, 작물의 영양적, 비영양적 성분의 종내 변화는 특별한 관심 대상이다. 체계적으로 종합된 자료는 거의 없지만, 고구마의 베타-카로틴(Huang et al. 1999; Ssebuliba et al. 2001)과 옥수수 카로티노이드(Kurilich and Juvik 1999)의 성분 변화는 종내에 존재하는 기능성분 다양성의 가능 범위에 대한 예를 제공한다.

전통적인 농식품 체계에서 감자는 흥미로운 사례를 나타낸다. 안데스 주민들은 여전히 농지와 식단에 다수의 서로 다른 유전자형을 보유하고 있으며, 기능 성분으로, 그리고 지도 사업으로 건강에 기여한다고 잘 알려져 있는 다카 페놀, 크산토틸(lutein and zeaxanthin), 카로티노이드(Brown et al. 1993) 등으로 특징지을 수 있는 색소에서 가장 두드러지게 다양성을 보인다.

개발도상국에서의 기능적 다양성

식단의 전통적 개념은 흔히 건강 문제와 관련을 짓고 있는데, 일반적으로 말해 영양분이 아닌 특정한 기능성 성분을 일컫는다. 강장제나 강화제와 같은 일부 전통적인 개념들은 영양적인 면에서 이해될 수도 있다. 다른 식품 특성들은 생리학적, 약학적 특성과 관련이 있으며 이 분야의 과학적 조사로 뒷받침될 수 있다.

비영양소의 여러 가지 혜택은 영양소에 기인한 혜택들보다 더 많을 수 있다. 예를 들면, 비타민 A의 상태를 향상시키도록 하는 채소 식단은 루테인의 혈청 내 수치(de Pee et al. 1998)를 크게 증가시키는 결과를 낳는다. 루테인은 심혈관계 질환이나 암 뿐만 아니라 눈 질환(Sommerburg et al. 1998; Brown et al. 1999; Gale et al. 2001)과 관련해 그 보호 역할이 선진국들 사이에서 점차 주요한 건강 혜택으로 인정받고 있는 항산화제이다. 이러한 결과는 백내장이 실명의 주요 원인이 되고 있는 아프리카와 같은 열대 국가에서 그 중요성이 더욱 크다(Lewallen and Courtright 2001). 크산토틸에 관한 자료(Holden 1999; O'Neill et al. 2001) 수집을 통해 이 카로티노이드가 엽채소에 풍부하다는 점을 알 수 있지만, 이러한 분석을 토착 작물 식품으로 확장시킬 필요가 있다. 이 중요한 기능 성분의 작용에 비추어 본다면, 엽채류와

그 외 식물 식단이 프로비타민 A(Solomons and Bulux 1997; de Pee et al. 1998)의 원천으로써 제한적이라는 고집스런 견해는 근시안적이다.

토착 식용 식물의 잠재적인 건강 관련 기능에는 항생작용, 면역조절, 신경계 활동, 해독 작용, 항염 작용, 항통풍 작용, 항산화 작용, 혈당, 항지질 효과 등이 있다. 많은 연구팀 중에서도 토착민의 영양 환경 센터(Centre for Indigenous Peoples'Nutrition and Environment)와 맥길 대학(McGill University)의 민족식물학적, 분석적 연구는 전형적인 식용 식물의 수많은 기능적 건강 혜택을 설명해 준다.

예를 들어, 서부 케냐와 탄자니아의 루오어(Luo)는 이들의 전통적 식단의 중요한 부분을 차지하는 엽채소가 위장 장애 해소에 효과가 있다고 설명한다. 이 중 특히 *Solanum nigrum*은 단세포 기생충인 람블편모충(*Giardia lamblia*)을 억제하는 강한 작용을 한다(Johns et al. 1995). 또한 우리는 유목 마사이족이 지방 수프와 우유에 첨가한 뿌리 및 수피 페늘류의 항산화 작용(Lindhorst 1998)과 사포닌의 콜레스테롤 흡착 작용(Chapman et al. 1997; Johns et al. 1999), 마사이족이 씹는 껌의 항지질 작용(Johns et al. 2000), 티벳인들이 심장 질환에 대처하는 항산화 작용(Owen and Johns 2002), 북미 동부 수림 토착민들의 향당뇨 치료법(McCune and Johns 2002) 등에 대해 보고하였다. 우리는 또한 북미 동부 수림 지역의 통풍(痛風)이나 관련 증상에 대한 전통적인 치료법(Owen and Johns 1999) 및 마사이족의 식용 첨가제(미발표 결과)로써의 크산틴 산화효소 작용을 확인하였다.

인간의 건강에 미치는 이러한 기능성 효과는 이러한 식물의 화학성분에 기인할 수 있기 때문에, 기능 성분 및 화학 성분의 다양성은 전 세계에서 사용되는 식품 및 약재 식물이 선천적으로 가지고 있는 다양성의 차원을 더욱 확대시킨다.

몇몇 전통 식품 및 약재 상품의 상업화에 따른 수입 증가의 가능성에도 불구하고, 기능성은 유럽이나 북미, 일본에서보다 개발도상국의 대다수 인구의 필요를 설명하는 데 일반적으로 또 다른 의미를 갖는다. 농촌 생계를 위해서든 도시 인구의 식사를 위해서든, 문화적으로 중요한 종의 기능은 개발도상국 국민들의 현재 및 향후 건강을 위해 즉각적인 생물학적, 사회적 중요성을 가지며, 연구 및 프로그램을 통해 이러한 상황에 알맞은 뒷받침을 보장해야 한다.

식단 적응 및 최적화

식용 자원을 합리적으로 사용하고 그 가치와 관련한 지식을 응용하는 것은 세계 인구가 직면한 변화에 최적으로 적응하는 하나의 과정이라고 할 수 있다. 생활양식에 나타나는 변화의 중요성과 예기치 못한 특성을 고려할 때, 환경, 식단, 건강 간의 관계 및 현 변화의 부정적 결과에 대한 과학적 통찰력, 동식물 식품의 특성에 대한 과학적 평가는 현 시대의 문제에 대한 새로운 해결책을 발견하

는 필수 수단인 듯 하다. 그러나 이러한 적응 과정에서 자원 자체의 다양성뿐만 아니라 생물학적 자원과 생태계에 대한 풍부한 토착 지식이 시사하는 과거의 교훈들도 필수적이다. 이러한 관점에서 세계의 생물 문화적 다양성의 기록과 연구는 높은 우선순위에 놓여야 한다.

영양소, 건강, 식물 유전자원(PGR) 보존 간의 연관성 개발

영양소 및 건강은 PGR 프로그램 및 활동의 몇몇 잠재적인 진입점을 제공하며, 영양소와 PGR 간의 관계는 몇 가지 방향으로 동시에 진행될 수 있다. 생물다양성을 보존하는 동시에 인간의 복지를 확실히 해야 하는 의무를 고려할 때, 생물 다양성의 보존과 사용, 그리고 지역적, 세계적으로 인간이 필요로 하는 것은 서로 다르지만 서로 보완적인 접근법을 제공한다. 전자의 경우, 영양과 관련된 활동은 PGR 보존 및 사용의 현지 내·외 전략으로 정의될 수 있다. 반면에 세계적인 관심을 받고 있는 과학적인 공공의 보건 문제뿐만 아니라 농민과 소비자의 영양적, 건강상의 필요성이 PGR 활동을 인도할 수 있다.

농업 및 환경과학에서 영양분 및 건강의 우선순위와 국제 보건 단체에서 식물의 생물적 다양성의 역할이 점점 더 크게 인식되고 있는 가운데, 농업, 환경 보존, 건강에 관여하는 과학자들 및 기관들은 협력 기회를 만들고 그 이점을 활용함으로써 현 시대의 문제들을 더욱 잘 표명할 수 있다.

영양 및 건강 연구에 대한 우선순위 설정

건강 관련 분야에서 PGR은 미량영양소 결핍 및 여러 가지 동시 발생적 결핍을 설명하는 음식 기반 전략을 포함한 수많은 현 시대의 과학적 공중 보건의 중요한 문제에 대하여 통찰력을 제공한다. 또한 프로비타민 A, 철분, 그리고 과일과 채소의 여러 영양소의 생물적 이용도 영양과 질병 영양 변천 건강의 생리학적 조정자로서의 약용 식물에 대한 통찰력을 제공한다.

이러한 건강 우선순위의 범위 내에서, 영양분 및 PGR을 연결짓는 연구 활동으로 부상할 수 있는 것으로는, 선택적 영양 성분에 대하여 작물 품종 및 비주류 작물을 연구실에서 분석하는 것(참조. Booth et al. 1994), 종내 다양성을 나타내는 성분 데이터베이스, 식물 자원의 건강 관련 특성에 대한 토착 지식에 초점을 맞춘 농가 및 지역사회 기반 활동, PGR 보존 및 사용을 위한 현지 내·외 접근법에 대해 소비자 품질(예를 들면 감각, 영양, 맛, 독성, 의학 관련 특성)을 평가하는 기준 및 지표의 구성 및 편집, PGR의 중요성을 더욱 확립하고 개발도상

국의 환경에서 영양 상태를 측정하는 간단하고 저렴한 표지로 사용할 수 있도록 하는 식단 다양성 지표(Hatløy et al. 1998), 그리고 공중 보건 연구(WHO 2003) 등이 있다.

빈곤은 영양실조와 질병의 가장 중요한 결정요소이기 때문에, 생물다양성 보존과 경제, 그리고 영양분 간의 시너지 작용을 더 잘 이해하는 것이 필수적이다(Johns and Sthapit 2004).

결론

식물 자원의 다양성은 인류가 영양적, 건강적, 사회 문화적 필요성을 충족하는 데 있어 필수적인 역할을 한다. 생물다양성은 식단 다양성과 일치하며, 이것은 건강과 일치한다. 세계적인 변화가 생물다양성을 위협하는 동시에 인간의 생계를 위협하게 하는 방식으로 기존의 생태계에 영향을 미치고 있는 현 세계에서, 건강은 생물다양성을 관리하고 PGR을 보존하기 위한 결정적 근거가 된다.

전통 체제에 내재되어 있는 생물 문화적 지혜와 결합한 식물 자원은 개발도상국들이 마주한 식품 불안정과 영양실조와 같은 심각한 문제를 설명하는 데 도움이 될 수 있다. 동시에 사회가 특히 도시화와 관련한 변화들에 적응하는 데 있어서 식물의 생물다양성은 없어서는 안될 자원이다. 이러한 관점에서 시골과 도시의 연계는 결정적으로 중요하다. 식물이 전통 문화에서 제공하는 다양한 영양소와 건강기능, 그리고 식물 다양성에 대한 토착 지식은 생물다양성을 통해 현 사회가 직면한 문제들을 설명할 수 있는 잠재적인 가치가 있는 해결책을 제공한다.

영양, 식량 안보, 농업의 국제적인 주요 의제들은 전형적으로 식량의 단일 특성이나 몇몇 종과 유전자형에 초점을 맞춘다. 많은 사람들의 미량영양분 결핍과 식량 불안정 문제의 심각성을 이해한다 하더라도, 이러한 접근법은 인간-환경 관계의 복잡한 특성과 인간 질병 및 건강의 다(多)요인적 특성을 간과한다. 식단의 다양성은 식단 품질의 직접적인 측정 수단이다. 그러므로 품질보다는 생산량을, 그리고 영양소 첨가나 식품군 변경 프로그램에서 단일 영양소나 제한된 식품 수를 지나치게 강조하는 것은 매우 근시안적인 조치가 될 수 있다. 빠르게 얻은 긍정적인 결과는 식단의 복잡성과 기능적 다양성을 제한하고 질병을 촉진할 수 있기 때문에 장기적으로는 실패하거나 부작용을 낳는다.

게다가 영양의 필요에 대한 단기 성공은 이 성공을 지속시켜 줄 다양성과 그 사용에 대한 토착 지식, 사회 문화적 가치를 침식시키는 부정적인 결과를 가져올 수 있다. 따라서 다양성 소실은 당뇨병과 같은 주요 건강 문제를 야기한다. 개발도상국의 제한된 경제적, 기술적 선택 내에서, 식단을 단순화하면 변화하는 환경에 사람들이 적응할 수 있는 능력을 제한함으로써 문제가 더욱 확대될 것으로 보인다. 기술적 해결을 강조하는 것은 필연적인 문제에 대처할 가능성이 없는 기술에 의존하는 것이다. 빈곤을 줄이지 않고, 또는 다양한 식단 가능성을 제한

하는 경제 요소들에 주의를 기울이지 않는다면, 전통적인 식품체제의 혜택은 지속될 수 없다. 다양한 작물과 식용 식물의 광범위한 이용 가능성을 뒷받침하는 식단 다양성에 대한 전체론적인 접근만이 인간의 영양 및 건강 상태를 지속적으로 향상시킬 수 있다.

인간의 식단 및 약재에 사용되는 PGR과 인간 생태학적 시스템의 복합 성분으로 문화에 내재하는 지식은 파괴적인 변화에 대한 완충장치를 제공한다. 직접적인 접근법은 최적이거나 궁극적인 해결책을 제공하지 않는다. 전 세계 인구가 원하는 건강은 단순히 질병과 결함 없는 것보다 훨씬 더 높은 차원이다(WHO 1946). 인간의 건강은 완전한 신체적, 정서적, 사회적 복지 상태로 인식되고 있기 때문에 본질적으로 우리가 살고 있는 생태계의 건강과 연결된다. 이러한 목적을 위해 식물 유전자원은 큰 유용성과 내재적 가치를 갖는다.

참고 문헌

- Allen, L. H. and S. R. Gillespie. 2001. *What Works? A Review of the Efficacy and Effectiveness of Nutrition Interventions*. Geneva: acc/scn.
- Arai, S. 2000. Functional food science in Japan: State of the art. *Biofactors* 12:13–16.
- Arai, S., T. Osawa, H. Ohigashi, M. Yoshikawa, S. Kaminogawa, M. Watanabe, T. Ogawa, K. Okubo, S. Watanabe, H. Nishino, K. Shinohara, T. Esashi, and T. Hirahara. 2001. A mainstay of functional food science in Japan: History, present status, and future outlook. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 65:1–13.
- Blumenthal, M., A. Goldberg, and J. Brinckmann. 2000. *Herbal Medicine: Expanded Commission E Monographs*. New York: American Botanical Council.
- Booth, S., T. Johns, J. A. Sadowski, and N. W. Solomons. 1994. Phylloquinone as a biochemical marker of the dietary intake of green leafy vegetables of the K'ekchi people of Alta Verapaz, Guatemala. *Ecology of Food and Nutrition* 31:201–209.
- Boukari, I., N. W. Shier, X. E. Fernandez R., J. Frisch, B. A. Watkins, L. Pawloski, and A. D. Fly. 2001. Calcium analysis of selected western African foods. *Journal of Food Composition and Analysis* 14:37–42.
- Bourne, L. T., E. V. Lambert, and K. Steyn. 2002. Where does the black population of South Africa stand on the nutrition transition? *Public Health Nutrition* 5(1A):157–162.

- Brown, C. R., C. G. Edwards, C. P. Yang, and B. B. Dean. 1993. Orange flesh trait in potato: *Inheritance* and carotenoid content. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118:145–150.
- Brown, L., E. B. Rimm, J. M. Seddon, E. L. Giovannucci, L. Chasan-Taber, D. Spiegelman, W. C. Willet, and S. E. Hankinson. 1999. A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in us men. *American Journal of Clinical Nutrition* 70:517–524.
- Burlingame, B. 2000. Wild nutrition. *Journal of Food Composition and Analysis* 13:99–100.
- Calderon, E., J. M. Gonzalez, and R. Bressani. 1991. Características agronomicas, fisicas, quimicas y nutricias de quince variedades de amaranto. *Turrialba* 41:458–464.
- Chapman, L., T. Johns, and R. L. A. Mahunnah. 1997. Saponin- like in vitro characteristics of extracts from selected non-nutrient wild plant food additives used by Maasai in meat and milk based soups. *Ecology of Food and Nutrition* 36:1–22.
- Chopra, M., S. Galbraith, and I. Darnton- Hill. 2002. A global response to a global problem: The epidemic of overnutrition. *Bulletin of the World Health Organization* 80:952–958.
- Chweya, J. A. and P. B. Eyzaguirre, eds. 1999. *The Biodiversity of Traditional Leafy Vegetables*. Rome: IPGRI.
- de Pee, S. C., W. West, D. Permaesih, S. Martuti, and J. G. A. J. Hautvast. 1998. Orange fruit is more effective than are dark- green, leafy vegetables in increasing serum concentrations of retinol and beta-carotene in schoolchildren in Indonesia. *American Journal of Clinical Nutrition* 68:1058–1067.
- Diouf, M., M. Diop, C. Lo, K. A. Drame, E. Sene, C. O. Ba, M. Gueye, and B. Faye. 1999. Sénégal. In J. A. Chweya and P. B. Eyzaguirre, eds., *The Biodiversity of Traditional Leafy Vegetables*, 111–154. Rome: IPGRI.
- Doak, C. M., L. S. Adair, C. Monteiro, and B. M. Popkin. 2000. Overweight and underweight coexist within house holds in Brazil, China and Russia. *Journal of Nutrition* 130:2965–2971.
- Drewnowski, A., S. A. Henderson, A. B. Shore, C. Fischler, P. Preziosi, and S. Hercberg. 1996. Diet quality and dietary diversity in France: Implications for the French paradox.

- Journal of the American Dietetics Association* 96:663–669.
- Eyzaguirre, P. B., S. Padulosi, and T. Hodgkin. 1999. IPGRI's strategy for neglected and underutilized species and the human dimension of agrobiodiversity. In S. Padulosi, ed., *Priority- Setting for Underutilized and Neglected Plant Species of the Mediterranean Region*, 1–19. Rome: IPGRI.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. *Specialty Rices of the World: Breeding, Production and Marketing*. Rome: FAO.
- Fassil, H., L. Guarino, S. Sharrock, Bhag Mal, T. Hodgkin, and M. Iwanaga. 2000. Diversity for food security: Improving human nutrition through better evaluation, management, and use of plant genetic resources. *Food Nutrition Bulletin* 21:497–502.
- Gale, C. R., N. F. Hall, D. I. Phillips, and C. N. Martyn. 2001. Plasma antioxidant vitamins and carotenoids and age- related cataract. *Ophthalmology* 108: 1992–1998.
- Glew, R. H., J. VanderJagt, C. Lockett, L. E. Grivetti, G. C. Smith, A. Pastuszyn, and M. Millson. 1997. Amino acid, fatty acid, and mineral composition of 24 indigenous plants of Burkina Faso. *Journal of Food Composition and Analysis* 10:205–217.
- Graham, R. D. and J. M. Rosser. 2000. Carotenoids in staple foods: Their potential to improve human nutrition. *Food Nutrition Bulletin* 21:405–409.
- Hasler, C. M. 1998. Functional foods: Their role in disease prevention and health promotion. *Food Technology* 52:63–70.
- Hasler, C. M., S. Kundrat, and D. Wool. 2000. Functional foods and cardiovascular disease. *Current Atherosclerosis Reports* 2:467–475.
- Hatløy, A., L. E. Torheim, and A. Oshaug. 1998. Food variety: A good indicator of nutritional adequacy of the diet? A case study from an urban area in Mali, West Africa. *European Journal of Clinical Nutrition* 52:891–898.
- Heller, J., F. Begemann, and J. Mushonga, eds. 1997. *Bambara Groundnut Vigna subterranea (L.) Verdc.* Rome: IPGRI.
- Holden, J. M. 1999. Carotenoid content of U.S. foods: An update of the database. *Journal of Food Composition and Analysis* 12:169–196.
- Howell, A. B., N. Vorsa, A. Der Marderosian, and L. Y. Foo. 1998. Inhibition of the

adherence of p-fimbriated *Escherichia coli* to uroepithelial-cell surfaces by proanthocyanidin extracts from cranberries. *New England Journal of Medicine* 339:1085–1086.

Huang, A. S., L. Tanudjaja, and D. Lum. 1999. Content of alpha-, beta- carotene, and dietary fiber in 18 sweetpotato varieties grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 12:147–151.

Johns, T. 1981. The ñu and the maca. *Journal of Ethnobiology* 1:208–212.

Johns, T. 1996. Phytochemicals as evolutionary mediators of human nutritional physiology. *International Journal of Pharmacognosy* 34:327–334.

Johns, T. 1999. The chemical ecology of human ingestive behaviors. *Annual Review of Anthropology* 28:27–50.

Johns, T. 2002. Plant genetic diversity and malnutrition: Practical steps for developing and implementing a global strategy linking plant genetic resource conservation and nutrition. *African Journal of Food and Nutritional Sciences* 2(2):98–100.

Johns, T. 2003. Plant biodiversity and malnutrition: Simple solutions to complex problems. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 3:45–52.

Johns, T. and L. Chapman. 1995. Phytochemicals ingested in traditional diets and medicines as modulators of energy metabolism. In J. T. Arnason and R. Mata, eds., *Phytochemistry of Medicinal Plants, Recent Advances in Phytochemistry* 29, 161–188. New York: Plenum.

Johns, T. and P. B. Eyzaguirre. 2000. Nutrition for sustainable environments. *SCN News* 21:24–29.

Johns, T. and P. B. Eyzaguirre. 2002. Nutrition and the environment. In *Nutrition: A Foundation for Development*. Geneva: acc/scn.

Johns, T., G. M. Faubert, J. O. Kokwaro, R. L. A. Mahunnah, and E. K. Kimanani. 1995. Anti-giardial activity of gastrointestinal remedies of the Luo of East Africa. *Journal of Ethnopharmacology* 46:17–23.

Johns, T., R. L. A. Mahunnah, P. Sanaya, L. Chapman, and T. Ticktin. 1999. Saponins and phenolic content of plant dietary additives of a traditional subsistence community,

- the Batemi of Ngorongoro District, Tanzania. *Journal of Ethnopharmacology* 66:1–10.
- Johns, T., M. Nagarajan, M. L. Parkipuny, and P. J. H. Jones. 2000. Maasai gummivory: Implications for Paleolithic diets and contemporary health. *Current Anthropology* 41:453–459.
- Johns, T. and J. T. Romeo, eds. 1997. *Functionality of Food Phytochemicals*, Recent Advances in Phytochemistry 31. New York: Plenum.
- Johns, T. and B. R. Sthapit. 2004. Biocultural diversity in the sustainability of developing country food systems. *Food and Nutrition Bulletin* 25:143–155.
- Kant, A. K., A. Schatzkin, B. I. Graubard, and C. Schairer. 2000. A prospective study of diet quality and mortality in women. *JAMA* 283:2109–2115.
- Kant, A. K., A. Schatzkin, and R. G. Ziegler. 1995. Dietary diversity and subsequent cause-specific mortality in the nhanes i epidemiologic follow- up study. *Journal of the American College of Nutrition* 14:233–238.
- Kim, S., S. Moon, and B. M. Popkin. 2000. The nutrition transition in South Korea. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:44–53.
- Kuhnlein, H. V. and H. M. Chan. 2000. Environment and contaminants in traditional food systems of northern indigenous peoples. *Annual Review of Nutrition* 20:595–626.
- Kuhnlein, H. V. and T. Johns. 2003. Northwest African and Middle Eastern food and dietary change of indigenous peoples. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 12:344–349.
- Kuhnlein, H. V. and O. Receveur. 1996. Dietary change and traditional food systems of indigenous peoples. *Annual Review of Nutrition* 16:417–442.
- Kurilich, A. C. and J. A. Juvik 1999. Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47:1948–1955.
- La Vecchia, C., S. E. Munoz, C. Braga, E. Fernandez, and A. Decarli. 1997. Diet diversity and gastric cancer. *International Journal of Cancer* 72:255–257.
- Lewallen, S. and P. Courtright. 2001. Blindness in Africa: Present situation and future needs. *British Journal of Ophthalmology* 85:897–903.
- Lindhorst, K. 1998. *Antioxidant Activity of Phenolic Fraction of Plant Products Ingested*

by the Maasai. MSc thesis, McGill University, Montreal, Canada.

- Marles, R. J. and N. R. Farnsworth. 1995. Antidiabetic plants and their active constituents. *Phytomedicine* 2:137–189.
- Marsh, R. 1998. Building traditional gardening to improve house hold food security. *Food, Nutrition and Agriculture* 22:4–14.
- Maundu, P. M., G. W. Ngugi, and C. H. S. Kabuye. 1999. *Traditional Food Plants of Kenya*. Nairobi: National Museums of Kenya.
- McCune, L. M. and T. Johns. 2002. Antioxidant activity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the indigenous peoples of the North American boreal forest. *Journal of Ethnopharmacology* 82:197–205.
- McIntosh, M. and C. Miller. 2001. A diet containing food rich in soluble and insoluble fiber improves glycemic control and reduces hyperlipidemia among patients with type 2 diabetes mellitus. *Nutrition Reviews* 59:52–55.
- Mennen, L. I., J. C. Mbanaya, J. Cade, B. Balkau, S. Sharma, S. Chungong, and J. K. Cruickshank. 2000. The habitual diet in rural and urban Cameroon. *European Journal of Clinical Nutrition* 54:150–154.
- Milner, J. A. 2000. Functional foods: The us perspective. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1654S–1659S.
- Montanari, A., W. Widmer, and S. Nagy. 1997. Health promoting phytochemicals in citrus fruit and juice products. In T. Johns and J. T. Romeo, eds., *Functionality of Food Phytochemicals*, Recent Advances in Phytochemistry 31, 31–52. New York: Plenum.
- Mukhtar, H. and N. Ahmad. 2000. Tea polyphenols: Prevention of cancer and optimizing health. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1698S–1702S.
- Nakatani, N. 1997. Antioxidants from spices and herbs. In F. Shahidi, ed., *Natural Antioxidants: Chemistry, Health Effects, and Applications*, 64–75. Champaign, IL: AOCS Press.
- Ogle, B. M., N. N. X. Dung, T. T. Do, and L. Hambraeus. 2001a. The contribution of wild vegetables to micronutrient intakes among women: An example from the Mekong Delta, Vietnam. *Ecology of Food and Nutrition* 40:159–184.

- Ogle, B. M., P. H. Hung, and H. T. Tuyet. 2001b. Significance of wild vegetables in micronutrient intakes of women in Vietnam: An analysis of food variety. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 10:21–30.
- O'Neill, M. E., Y. Carroll, B. Corridan, B. Olmedilla, F. Granada, I. Blanco, H. Van den Berg, I. Hininger, A.- M. Rousell, M. Chopra, S. Southon, and D. I. Thurnham. 2001. A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five-country comparative study. *British Journal of Nutrition* 85:499–507.
- Onyango, A., K. Koski, and K. Tucker. 1998. Food diversity versus breast feeding choice in determining anthropometric status in rural Kenyan toddlers. *International Journal of Epidemiology* 27:484–489.
- Owen, P. and T. Johns. 1999. Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern North American plant remedies for gout. *Journal of Ethnopharmacology* 64:149–160.
- Owen, P. and T. Johns. 2002. Antioxidants in medicines and spices as cardioprotective agents in Tibetan highlanders. *Pharmaceutical Biology* 40:346–357.
- Padulosi, S., ed. 1999. *Priority- Setting for Underutilized and Neglected Plant Species of the Mediterranean Region*. Rome: IPGRI.
- Platt, A. E. 1996. *Infecting Ourselves: How Environmental and Social Disruptions Trigger Disease*. Washington, dc: Worldwatch Institute.
- Popkin, B. M. 2002. An overview of the nutrition transition and its health implications: The Bellagio meeting. *Public Health and Nutrition* 5:93–103.
- Popkin, B. M., S. Horton, and S. Kim. 2001a. The nutrition transition and prevention of diet-related diseases in Asia and the Pacific. *Food and Nutrition Bulletin* 22:S1–58.
- Popkin, B. M., S. Horton, S. Kim, A. Mahal, and J. Shuigao. 2001b. Trends in diet, nutritional status, and diet-related non-communicable diseases in China and India: The economic costs of the nutrition transition. *Nutrition Reviews* 59:379–390.
- Quiros, C. F. and R. Aliaga- Cardenas. 1997. Maca. *Lepidium meyenii* Walp. In M. Hermann and J. Heller, eds., *Andean Roots and Tubers: Ahipa, Arracacha, Maca and Yacon*, 173–197. Rome: IPGRI.
- Rodriguez- Amaya, D. B. 1999. Latin American food sources of carotenoids. *Archivos*

Latinoamericanos de Nutricion 49:74S–84S.

Ross, S. 2000. Functional foods: The Food and Drug Administration perspective. *American Journal of Clinical Nutrition* 71:1735S–1738S.

Simopoulos, A. P. 1994. Fatty acids. In I. Goldberg, ed., *Functional Foods: Designer Foods, Pharmafoods, Nutraceuticals*, 355–392. New York: Chapman and Hall.

Solomons, N. W. and J. Bulux. 1997. Identification and production of local carotene-rich foods to combat vitamin A malnutrition. *European Journal of Clinical Nutrition* 51:S39–S45.

Sommerburg, O. E., J. E. Keunen, A. C. Bird, and F. J. van Kuijk. 1998. Fruits and vegetables that are sources for lutein and zeaxanthin: The macular pigment in human eyes. *British Journal of Ophthalmology* 82:907–910.

Spielman, A. and A. A. James. 1990. Transmission of vector-borne disease. In K. S. Warren and A. A. F. Mahmoud, eds., *Tropical and Geographical Medicine*. New York: McGraw-Hill Information Services Company.

Sripriya, G., K. Chandrasekharan, V. S. Murty, and T. S. Chandra. 1996. ESR spectroscopic studies on free radical quenching action of finger millet (*Eleusine coracana*). *Food Chemistry* 57:537–540.

Ssebuliba, J. M., E. N. B. Nsubuga, and J. H. Muyonga. 2001. Potential of orange and yellow fleshed sweet potato cultivars for improving vitamin A nutrition in central Uganda. *African Crop Science Journal* 9:309–316.

Standley, L., P. Winterton, J. L. Marnewick, W. C. A. Gelderblom, E. Joubert, and T. J. Britz. 2001. Influence of processing stages on antimutagenic and antioxidant potentials of rooibos tea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49:114–117.

Tomkins, A. 2000. Malnutrition, morbidity and mortality in children and their mothers. *Proceedings of the Nutrition Society* 59:135–146.

Trejo-Gonzalez, A., G. Gabriel-Ortiz, A. M. Puebla-Perez, M. D. Huizar-Contreras, M. del R. Munguia-Mazariegos, S. Mejia-Arreguin, and E. Calva. 1996. A purified extract from prickly pear cactus (*Opuntia fuliginosa*) controls experimentally induced diabetes in rats. *Journal of Ethnopharmacology* 55:27–33.

- Trichopoulou, A. and E. Vasilopoulou. 2000. Mediterranean diet and longevity. *British Journal of Nutrition* 84:S205–S209.
- Trichopoulou, A., E. Vasilopoulou, P. Hollman, C. Chamalides, E. Foufa, T. Kaloudis, D. Kromhout, P. Miskaki, I. Petrochilou, E. Poulima, K. Stafilakidis, and D. Theophilou. 2000. Nutritional composition and flavonoid content of edible wild greens and green peas: A potential rich source of antioxidant nutrients in the Mediterranean diet. *Food Chemistry* 70:319–323.
- Uiso, F. C. and T. Johns. 1996. Consumption patterns and nutritional contribution of *Crotalaria brevidens* in Tarime District, Tanzania. *Ecology of Food and Nutrition* 35:59–69.
- Van t' Riet, H., A. P. den Hartog, A. M. Mwangi, R. K. N. Mwadime, D. W. J. Foeken, and W. A. van Staveren. 2001. The role of street foods in the dietary pattern of two low-income groups in Nairobi. *European Journal of Clinical Nutrition* 55:562–570.
- Visioli, F. and C. Galli. 1998. The effect of minor constituents of olive oil on cardiovascular disease: New findings. *Nutrition Reviews* 56:142–147.
- Wang, M., J. Li, Y. Shao, T. C. Huang, M. T. Huang, C. K. Chin, R. T. Rosen, and C. T. Ho. 1999. Antioxidative and cytotoxic components of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). In F. Shahidi and C.- T. Ho, eds., *Phytochemicals and Phytopharmaceuticals*, 271–277. Champaign, IL: AOCS Press.
- West, C. E., F. Pepping, and C. R. Temalilwa. 1988. *The Composition of Foods Commonly Eaten in East Africa*. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Agricultural University.
- WHO. 1946. Preamble to the Constitution of the World Health Organization as adopted by the International Health Conference, New York, June 19–22, 1946.
- WHO. 2003. *WHO Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health*. Geneva: WHO.

16. 농민과 육종가의 선택 성향 비교

네팔 토종벼의 가치

D. GAUCHAN AND M. SMALE

네팔은 *Oryza sativa*("아시아" 벼)의 다양성의 주요 중심지이다. 아시아 벼는 네팔에서 베트남 북부까지 이르는 지역적, 문화적으로 다양한 지역에서 먼저 경작되었다(Vaughan and Chang 1992). 농민의 벼 품종(여기서는 토종을 말함)은 네팔에서 경작되는 총 벼농사 면적의 30% 이상을 차지한다(APSD 2001). 현대 품종들은 키가 균일하게 육종되며 특정한 형질 기준에 근거하여 선발되지만, 이 토종들은 더 비균질적 특색을 지니며, 특정 지역 사람들의 필요성 및 환경적 특성에 맞게 적응하였다(Simmonds 1979). 네팔 전역에서 농민들은 각기 다른 지역에 야생종 및 잡초성 근연종을 포함하여 약 2,000 종의 토종 벼 보존하고 있는 것으로 추정된다(Shrestha and Vaughan 1989; Upadhyay and Gupta 2000). 농민들의 세심한 종자 선택 및 관리 방식과 함께, 토종 벼는 매우 다양한 토양, 지형, 기후 상황에 맞게 진화되었다. 시장으로부터 멀리 떨어진 몇몇 지역에서는 농민들의 식품 필요성을 충족시키기 위해 자체 종자 생산에 더욱 의존하게 되었고, 이 과정이 더 강화되었다.

유전자원의 농가 보존은 네팔의 경우처럼 토종 품종들이 진화해 온 농업생태계 및 지역사회에서 토종을 지속적으로 경작, 관리할 농민들의 결정을 수반한다. 농민들은 종자를 파종하고, 수확을 통해 종자를 선택하거나 다른 농민들과 종자를 교환하여 재 경작함으로써 토종 유지를 선택한다(4장 참조). 이들은 또한 작물 개량에 대한 사회적 가치가 있는 유전자원을 현지 내에서 계속 재배할 것인지를 결정한다. 농민들은 생산이나 마케팅 환경의 변화로 인해 상대적인 가치가 손실되는 경우 토종의 재배를 중단할 것이다.

전문적인 식물 육종가들 역시 농지의 작물 생물다양성 보존에 영향을 끼치는 역할을 한다. 식물 육종가들은 새로운 품종을 개발하기 위해 유전자원을 선택하고 교배한다. 이들이 내리는 선택은 상업적 종자 시스템에 의해 보급될 새로운 품종으로써, 농민들에게 제공하는 유전자원의 범위를 구체화한다. 육종가들은 농민들의 필요를 충족시키거나 이미 재배하고 있는 작물을 보완하기 위해 새롭거나 재조합한 유전자원을 도입하여 농민들의 선택을 확대시킬 수 있다. 현지 외에 저장된 유전자원과 현지 내에서 재배되는 유전자원은 모두 향상된 생산성과 식품

가격의 저하를 통해 사회 가치를 창출하는 작물 개량 과정에 있어 매우 중요하다.

모든 토종을 농지에 보존할 수 있는 것은 아니며, 모든 농민들이 토종을 보존할 수 있는 것도 아니다. 직접적인 프로그램 비용 및 기회비용 등을 포함한 관련 비용 때문에 그러하다. 네팔은 국민총생산이 세계에서 가장 낮은 국가 중 하나이다(World Bank 2003). 네팔 정부가 직면한 과제는 미래 사회 뿐 아니라 오늘날의 농민들에게도 혜택을 주는 벼의 생물다양성을 유지하기 위한 동기를 창출하는 것이다. 미래의 필요성을 정확하게 예측할 수는 없지만, 벼 육종가들의 전문적인 평가를 통해 우리는 합리적인 추측을 할 수 있다. 그러나 농민과 마찬가지로 벼 육종가들 역시 다양한 관점을 가지고 있다.

본 장에서는 네팔에서의 연구를 통한 상세한 표본 조사 자료를 사용하여 벼의 생물다양성의 "현지 내(in situ)" 보존을 위한 농민과 육종가의 선택 관계를 연구한다. 농지에 보존할 유전자원을 선택하기 위한 몇몇 육종가들의 기준을 먼저 설명한다. 농민 의사결정의 미시경제학 모델에서 도출한 개념적 접근법은 농민들이 이 기준에 따라 정의된 선택 집단을 공공 투자 및 정책의 영향을 받을 수 있는 설명적 요소로 성장시킬 가능성과 관련짓는다. 그 후 이 관계를 계량경제학적으로 추정한다. 설명적 요소의 효과가 선택 집합과 상관없이 동일하다면, 이것이 선택 기준에 대해 중립적이라고 결론을 내릴 수 있다. 그 효과가 다르다면, 한 선택 집단을 보존하기 위한 전망을 향상시킴으로써 다른 선택 집단에 대한 전망을 축소시킬 수 있다. 이것은 정책적인 교환협상(trade-offs)을 암시한다.

몇몇 경험적 연구는 정책이 교육이나 기반 시설에서의 투자와 같은 설명 변수(explanatory variable)의 변화를 촉진할 때 한 형태의 다양성을 다른 형태와 비교하는 교환협상을 조사하였다(Van Dusen 2000; Benin et al. 2003; Smale et al. 2003). 이 분석은 품종 간 사회적 가치의 잠재적인 차이를 포함하지 않는 지표에 기초하였다. 여기에 제시한 분석에서 우리는 벼 육종가와 자연보호론자의 선호도와 농민 선호도를 명확하게 관련짓는다. 벼 육종가와 자연보호론자의 선택은 농민이 여전히 재배하고 있는 토종이 사회에 미치는 잠재적 가치에 관한 이들의 관점을 반영한다. 농민들의 선택은 수많은 경제적, 물질적 장애에 직면한 이들의 선호도를 나타내며, 품종의 개인적인 가치를 암시한다. 또한 다른 작물이나 경제적 정황을 연구하는데 어떤 유사한 방법을 적용했는지를 알아볼 수 있도록 연구 결과를 참고로 제시한다.

다음 부분에서는 자료를 수집하기 위해 선정한 연구 지역과 방법을 설명한다. 그 후 개념적 접근법과 계량경제학적 방법을 요약하고, 기술통계학적 결과를 제시한다. 결론은 마지막 부분에서 도출한다.

연구 지역

본 연구는 네팔의 "농지 농업 생물다양성의 현지 내 보존"이라는 프로젝트의 세 생태적 지역(에코 사이트) 중 두 곳에 집중한다. 이 생태지역은 지역사회나 마을들이 있는 수변 지역을 포함한다. 생태지역을 선택하는 데 사용된 기준에는 농가 보존을 위한 벼 및 기타 작물의 유전적 다양성의 중요성, 농업 생태학적 특징, 그리고 시장 기반시설이 포함되었다. 카스키(Kaski) 생태지역은 중간 수준의 시장 기반 시설을 가진 지형학적 경사 지역을 대표한다. 바라(Bara) 생태지역은 terai(저지대)에서 발견되며, 더욱 발달된 시장 기반 시설을 갖추고 있다. 두 생태지역에서 벼는 식품 경제의 주요 작물이며, 광범위한 미세생태학적 조건에서 경작된다. 고지대, 저지대, 늪지대 환경이 종종 동일한 농지에서 발견된다. 농민들은 기본적으로 토지 유형, 토양, 습도, 운작 등에 적합한 몇 가지 품종을 재배한다. 생태지역 차원에서, 표본 농민들은 구릉지대와 저지대 생태지역에 각각 50종, 23종의 벼 품종을 보존한다(표 16.1).

예상한대로 구릉지대 생태지역에서 가장 많은 수의 토종 벼(38)가 발견되었으며 토종이 재배에 할당된 지역(72.5)도 가장 많았다. 현대 품종과 토종이 두 생태지역에 공존한다 하더라도, 저지대 거의 모든 지역에는 현대 품종에 할당된다(96%). 저지대 생태지역의 표본 농민들 역시 구릉지대에서(11) 보다 더 많은 수의 현대 품종(18)을 경작한다. 구릉지대의 총 벼 품종 수는 저지대에서 발견된 수보다 2배 정도 높다.

표 16.1. 네팔 Bara, Kaski 생태지역에서 농민이 경작하는 벼 품종의 다양성

에코사이트 차원에서의 경작 패턴	Bara (저지대)	Kaski (구릉지대)
재배 변종 총수	23	50
토종 총수	5	39
현대 품종 총수	18	11
토종의 지역 점유율(%)	4	72.5
현대 품종의 지역 점유율 (%)	96	27.5

자료출처

벼 재배 가구의 표본 조사

여기서 보고하는 표본 조사 연구 및 분석은 네팔 현지 내 보존 프로젝트의 일부로써, 몇 년에 걸친 집약적이고 농민 참여에 의한 조사에 입각한 것이다. 처음에 조사 팀은 두 지역의 1,856가구를 모두

목록 작성하였다. 팀은 지역과의 접촉을 통해 이들 중 몇 가구는 더 이상 농사에 관여하지 않으며, 몇 가구는 더 이상 이 지역에 거주하지 않으며 또 몇 가구는 벼를 재배하지 않는다는 것을 알았다. 그리하여 실제 벼농사를 짓는 가구 중 17.25%를 임의로 추출하였는데, Kaski에서 159가구, Bara에서 148가구, 총 307가구가 표본으로 선택되었다.

조사 도구는 개인 인터뷰 형식으로 구성된 설문지였다. 질문에는 농민과 농가의 사회적, 인구 통계학적, 경제적 특징과 농장의 물리적 특성, 벼 생산의 경제적인 면, 시장 접근성이 포함되었다. 선임연구원은 노련한 지역 인력의 지원으로 연구를 진행하였다. 벼 생산 및 소비 결정에 관여하는 남녀 모두 인터뷰 하였다. 자료의 질과 통일성을 향상시키기 위해 일정한 간격으로 설문지의 동료 검토(peer review)를 거쳐 측정 오류나 모호성, 빠진 정보 등을 확인하였다. 조사 기간 동안 빠진 정보나 부적절한 응답에 대해서는 즉시 가구를 재방문하였다. 측정 단위의 획일성 및 일괄적인 용어를 확인하기 위해 연구자와 방문 조사원들이 조사 지역에서 설문지를 편집하였다.

벼 육종가의 핵심 정보 조사

네팔 현지 내 프로젝트와 벼 육종 연구에 관여한 작물 육종가 및 연구자 조사는 두 가지 단계로 시행되었다. 첫 번째 단계에서는 현지 내 프로젝트에 참여한 16명의 작물 육종가와 연구자들에게 농가 조사에서 확인한 품종 목록을 향후 작물 육종 및 사용상 보존의 중요성에 따라 순서대로 나열할 것을 요청하였다. 이 조사는 또한 육종가들이 토종을 선택하기 위해 사용하는 기준이 잠재적으로 유용하다는 사실을 확인할 수 있었다. 이 기준은 다양성(불균질로 표시된 이질 집단), 희소성(독특하거나 보기 드문 형질 표현), 적응성(광범위한 적응력)을 포함하였다. 두 번째 조사 단계에서는 8명의 작물 육종가들에게 경험에 비추어 각 기준에 만족하는지 여부에 따라 벼 토종 품종을 분류할 것을 개별적으로 부탁하였다.

개념적 접근

개념적 접근은 Van Dusen의 작물 생물다양성 분석에 적용한 것과 같이 농가 이론에 기초한다 (Singh et al. 1986). 기타 관련 모델 및 응용에는 Brush(1992), Meng(1997), Smale(2001), Benin(2003), Birol(2004) 등의 연구가 있다.

수학적 공식으로 다른 곳에서 발표한 것처럼, 이러한 접근에서 농가는 농지에서 생산되는 일련의 소비 품목과 시장에서 구매되는 소비 품목, 여가에 대한 효용을 최대화한다. 가구가

다양한 소비의 조합 및 수준을 통해 도출한 효용은 그 구성원들의 선호도에 의존한다. 이러한 선호도는 이번에는 인간 자본 및 기타 자산 기부 등을 포함하여 벡터 Ω HH로 표현되는 가구의 다양한 사회적, 인구 통계학적 특성에 의존한다.

가구가 생산할 수 있는 양은 주어진 농지의 물리적 특성(Ω F)과 생산 기술에 의해 제한된다. 생산 기술은 종자 및 노동력을 각 계절(A)에 경작되는 작물 면적에 구매 투입한 기타 물량과 결합시킨다. 작물 및 품종 결합의 선택과 각각에 할당할 토지 면적은 수확에 대한 가구의 기대 생산 수준에 따라 결정한다. 주어진 작물이나 품종의 면적 점유는 0(재배되지 않는 경우)에서 1(다른 작물이나 품종을 재배하지 않는 경우)까지 분포할 수 있다.

이러한 선택을 취할 때 시간 및 돈의 지출이 전체 수입을 초과해서는 안 된다. 모든 계절의 전체 수입은 작물 생산 판매를 통한 농업 순수익(이익)과 그 계절의 작물 및 품종 선택으로부터 외생적인(외부적) 수입으로 구성된다. 즉 이월된 제고 및 송금, 연금, 그 외 전 계절로부터의 이동(Y_0) 등과 같은 것이다. 작물에 대해 시장이 제대로 기능을 하지 못하거나 그 거래비용(Ω M)이 엄청날 때에는 생산-소비 결정을 분리하여 할 수 없으며, 작물의 시장 가격보다는 잠재가격이 의사결정을 유도한다. 잠재가격은 시장에서 거래되는 다양한 비용과 관련이 있으며 가구 특이적 특성(Ω HH)을 반영한다. 연구 지역에서의 이전 연구는 시장이 벼 품종, 특히 토종에 대하여 완전하지 않다는 것을 보여준다(Gauchan et al. 2005).

임의적인 효용 모델을 통해 표본 자료에 대한 품종 선택 결정을 통계적으로 해석할 수 있다. 구성원들이 도출하기를 기대하는 효용이 이용할 수 있는 다른 대안보다 더 큰 경우 ($U_i > U_j$, j 가 i 와 동일하지 않는 경우), 가구는 벼 재배 지역 중 일부에 특정 토종을 재배하기로 선택한다. 효용 수준(U)은 관찰할 수 없기 때문에, 자료에서 관찰한 선택은 가구에게 가장 큰 효용을 제공하는 대안을 나타낸다. 이러한 선택의 변화는 가구의 선호도 및 이들이 직면한 제약에 의해 체계적으로 설명된다. 선호도 및 제약은 가구 및 농지, 시장 특성과 관련하여 관찰할 수 있는 변수에 의존한다. 임의로 선택한 가구 표본에서 자료를 도출할 때에는 확률적인 요소를 도입하여, 체계적 요인(β 'X) 및 임의 오차(ε) 함수로써 가구가 토종을 재배할 확률을 예측하기 위한 통계적 배경을 제공한다.

$$\begin{aligned}
 \text{확률(선택된 토종 } i) &= \text{확률}(U_i > U_j) \\
 &= \beta_0 + \beta_1 H' \Omega HH + \beta_2 F' \Omega F + \beta_3 M' \Omega M \\
 &+ \beta_4 yY_0 + \beta_5 aA + \varepsilon
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

계량경제학적 방법

등식 1은 계량경제학적 분석 및 가설 실험의 근거가 된다. limdep(버전 7.0)에서의 회귀를 측정하기 위해 프로빗(확률을 재는 단위) 모델을 사용하였고, STATA로 교차 확인하였다. 계량경제학적 실험은 벼 육종가가 일반 다양성 및 희소성, 적응성으로써 분류한 토종을 농가가 재배할 것이라고 예측할 수 있는 확률을 의사결정 모델에 명시한 어떤 설명 요소가 주로 변경시키는지 조사한다. 회귀를 상이한 종속변수(선택 기준) 및 동일한 설명변수로 명시하여 실험을 실행한다. 회귀 계수의 기호 및 유효성을 비교한다.

회귀의 종속변수는 핵심정보 조사 결과에 따라 정의한다(표 16.2).

설명변수와 가설화된 효과는 표 16.3에 제시하며, 등식 1의 개념적 변수를 나타내는 일련의 관찰 특성에 따라 분류한다. 이 설명변수에 대한 간단한 설명은 다음과 같다.

가구 특성

농가 특성은 선호도 및 농가 특이적 시장 거래 비용을 통해 토종 간의 선택에 영향을 미친다. 농가의 연령, 교육, 성 구성은 선호도 및 습성에 영향을 준다. 고 연령 농민은 광범위한 토종을 재배해왔으며 이에 익숙해졌을 가능성이 더 크다. 더 많은 교육은 생산/소비 결정권자들(전형적으로 각각 남녀)이 정보와 실험을 습득할 수 있는 능력을 향상시킬 수 있지만 이것은 종종 현대 품종에 대한 선호도 및 전문화와 관련이 있다. 더욱 활기 있는 성인 노동력을 통해 농가는 대규모 품종을 경작하는 동시에 관리 요건을 다양화 할 수 있다. 활동적으로 일하는 여성 비율은 독특한 소비 속성을 갖는 특정 토종을 재배하는 것과 확실히 관련이 있다. 프로젝트 팀이 실시한 초기 연구는 벼 종자 보존 및 경작에 있어서 여성이 더 큰 역할을 한다는 것을 보여주었다(Subedi et al. 2000).

다수의 가치 있는 견인 동물(수송아지)이나 낙농 동물(물소, 젖소)을 소유하고 있는 농가들은 더욱 다양한 벼 품종을 재배할 것으로 기대된다. 왜냐하면 이들은 투입력 및 정보에 더 잘 접근할 수 있으며 실험 능력과 사료 수요가 더 크기 때문이다. 수송아지(견인력)를 소유하는 것 역시 적절한 토지 준비나 탈곡, 투입력 및 수확된 생산물 운송을 시기 적절하게 할 수 있도록 해 준다. 외부적인 수입은 한편으로는 농민이 더 넓은 범위의 활동을 하기 위해 노동력을 고용하고 생산재를 구매할 수 있는 능력을 향상시킨다. 그러나 다른 한편으로는 가구 구성원들이 비농지 활동에 관여하며 특정 벼 품종에 더 적은 시간을 할애한다는 사실을 암시할 수 있다. 예상했던 소비량 이상의 벼를 생산한 농민들은 토종을 더 잘 보존할 수 있으며 혹은 시장용으로 현대 품종의 생산을 전문화 할 수 있다.

표 16.2. 프로빗 회귀 모델에서의 종속변수 정의

다양성	확실적이지 않은 불균질 집단	그렇다 = 1, 그렇지 않다 = 0	이 선택 기준을 만족시키는 토종
희소성	독특하고 희귀한 특성	그렇다 = 1, 그렇지 않다 = 0	이 선택 기준을 만족시키는 토종
적응성	광범위한 적응력	그렇다 = 1, 그렇지 않다 = 0	이 선택 기준을 만족시키는 토종

표 16.3. 설명변수 및 다양성에 대한 가설적 효과 정의

변수 명	변수 정의	가설적 효과
가구 특징		
AGEPDM	생산 결정권자의 연령	(+)
EDUPDM	생산 결정권자의 교육기간(연수)	(+, -)
EDUCDM	소비 결정권자의 교육기간(연수)	(+, -)
AAGLABR	농지의 활기 있는 성인 노동력(명)	(+)
FAADTPCT	활동적으로 작업하는 성인여성 비율	(+)
LANIMLV	큰 동물(수송야지, 낙농 동물 등)의 가치(네팔 루피)	(+)
TOTEXP	본 시즌에 앞선 지난 수확 이후의 월간 평균 가구 지출(네팔 루피)	(+, -)
SBRATIO	평균 5년의 생산된 벼의 킬로그램과 소비된 벼의 킬로그램 비율	(+, -)
농지의 물리적 특성		
IRPCNT	면적 중 관개 비율	(+, -)
LNDTYP5	논의 형태 종류	(+)
RDPLCULH	집에서 논까지 걸어갈 때의 총 거리(분) 나누기 재배면적(ha)	(+)
시장 특성		
TMKTDS	집이나 농지에서 지역 시장까지 걸어갈 때의 총 거리(분)	(+)
LRSOLD	전 재배기간에 농가가 판매한 토종 곡물량(kg)	(+)
MVSOLD	전 재배기간에 농가가 판매한 현대 품종 곡물량(kg)	(-)

농지의 물리적 특성

매우 소규모의 농지 특성인 노동 집약적 영농체계에서, 농지가 작게 쪼개어져 있고 토지 형태가 불균질 한 것은 농지 기술면에서 중요한 부분이다. 농민이 벼를 경작하는 토지 형태가 더욱 명확하고 그 부지가 더욱 분산될수록, 특정한 계절적, 물리적 장소에 적합한 토종을 재배할 확률이 더 커진다. 관개는 수분의 이용 가능성을 향상시키며, 농민들이 특정 토종을 재배할 가능성에 부정적 또는 긍

정적 영향을 끼칠 수 있다. 수원(水源)에 접근이 더 쉬워지면 생산 과정을 더욱 균일하게 만들어 몇몇 품종의 특수화가 촉진된다. 이것은 또한 다양한 수분의 필요성과 성숙 기간에 따라 더욱 여러 가지 품종을 경작할 수 있게 한다.

시장 특성

시장변수는 농가가 그들의 버를 내다 팔고 필요한 농자재, 식품, 기타 농가에 필요한 것을 시장에서 구매하는 거래의 정도를 통해 다양성에 영향을 미친다. 가정에서 시장까지의 거리는 시장 거래와 관련한 비용의 주요한 요소이다. 농가가 시장으로부터 더 멀리 떨어져 있을수록 농가의 소비 필요성을 만족시키기 위해 자체적인 생산에 의존할 가능성이 더 높아진다. 소비 필요성은 광범위한 식량 사료를 포함할 수 있다. 과거의 토종 곡물 판매는 이를 경작하려는 동기와 긍정적으로 관련이 있을 것으로 예상된다. 현대 품종 생산을 통한 과거의 곡물 판매는 더 적고 획일화된 현대 품종의 전문화와 관련이 있을 것이다.

확인된 결과

기술 통계

더욱 고립된 산지(Kaski 에코사이트)에 거주하는 농가는 벼 육종가들이 확인한 것처럼 다양성, 희소성, 적응성 면에서 잠재적 가치를 지니는 토종을 재배할 가능성이 평지 농가보다 훨씬 더 높다(표 16.4).

벼를 재배하는 농가의 인구학적 구조는 생산 결정권자의 연령과 교육 수준, 일하는 성인 노동력, 활동적으로 농업에 종사하는 남녀의 숫자 및 비율 면에서 두 생태지역이 비슷하게 나타난다. 그러나 Bara 생태지역에서 여성 결정권자는 눈에 필 만큼 교육 수준이 더 낮다. 평균 수입이 비슷하다 하더라도 가축의 자산 가치는 평지에서 더 낮다. 이곳의 농가들은 현대 품종 곡물을 훨씬 더 많이 내다팔며, 현대 품종을 더 많이 재배한다는 것을 암시한다. 평균적으로 이들은 구릉지대에 위치한 사람들보다 자체적인 생산을 통해 벼 소비 필요량을 더 잘 충족시킨다. 토종에 대한 곡물 판매가 크게 차이 나지 않는 것은 아마도 Bara 생태지역의 한 농민이 방대한 양을 판매했기 때문일 것이다. 두 생태지역 농지의 물리적 특징은 벼를 재배하는 토지 형태의 수와 관계 비율 면에서 유사하지만, 논은 평지에서 훨씬 덜 분산되어 있으며 농가도 시장에 더 가깝다.

경제적 결과

개인적 가치와 사회적 가치의 일치 여부를 예측하는 요소들은 각 선택 기준(다양성, 희소성, 적응성)에 따라 표 16.5에 제시한다. 이들은 벼 육종가가 중요하다고 확인한 토종을 농민들이 재배할 가능성에 크게 영향을 미치는 요소들이다.

표 16.4. 종속변수 및 설명변수에 대한 요약 통계, 바라(Bara) 및 키스키(Kaski) 생태지역.

Variable	Ecosite		
	Bara(N=148)	Kaski(N=159)	All pooled(N=307)
Dependent Variables			
Percentage house-holds growing diverse landraces(+)	2	50.9	27.4
Percentage house-holds growing rare landraces(+)	2.7	20.8	12.1
Percentage house-holds growing adaptable landraces(+)	0.7	74.8	39.1
Explanatory Variables			
AGEPDM	48.27	46.20	47.20
EDUPDM	3.0	3.95	3.52
EDUCDM	0.48**	1.99	1.26
AAGLABR	2.52	2.51	2.52
FAADTPCT	0.27	0.28	0.28
LANIMLV	10,270**	18,490	14,527
TOTEXP	2,483	2,581	2,533
SBRATIO	1.40**	0.76	1.07
IRPCNT	0.42	0.39	0.407
LNDTYP5	1.54	1.49	1.517
RDPLCULH	120*	146	134.58
TMKTDS	163*	340	255.14
LR5OLD	16.89	43.68	30.76
MVSOLD	971**	38	487.8

비고 : 페어와이즈 t 검정은 변수가 동일하다고 가정한 양측검증(2-tailed test)에서 Kaski와 Bara 에코사이트 간에 평균 **p < .01와 *p < .05의 유의한 차이를 나타낸다. (+) x 2 테스트는 Kaski와 Bara 에코사이트 간에 유의한 차이(p < .05)를 나타낸다. 설명변수에 대한 정의는 표 16.3을 참조한다.

농가 특성 중 교육, 노동 구성, 가축 자산은 농가가 향후 작물 개량을 위해 중요할 것으로 간주되는 토종을 재배할지에 대한 통계적으로 유의한 예측 요소이다.

표 16.5. 육종가가 선택 기준에 따라 네팔의 두 생태지역에서 잠재적으로 가치 있을 것으로 확인한 토종을 농민들이 재배할지를 예측하는 요소들.

Explanatory Variables	Choice Criterion of Rice Breeders		
	Diversity	Rarity	Adaptability
Constant	-0.6221***	-1.4289***	-2.6499***
Site	0.2792***	0.1074***	1.0596***
AGEPDM	-0.000029	-0.00058	0.000387
EDUPDM	-0.0101	0.00212	0.00931
EDUCDM	0.0218**	-0.00483	-0.00679
AAGLABR	0.04315**	0.01702	0.14948***
FAADTPCT	-0.03892	0.13687*	-0.05048
LANIMLV	0.00005*	-0.0000019	-0.000002
TOTEXP	-0.000023	-0.000018	0.0000003
SBRATIO	-0.09510	0.02833	0.05185
IRPCNT	0.080216	0.005799	0.1390
LNDTYP5	-0.05990	0.06588***	0.03843
RDPLCULH	0.000029	0.000056	0.001112**
TMKTDS	0.00040**	0.000137**	0.000665*
LRSOLD	0.00021	0.000111*	-0.000094
MVSOLD	-0.00004	-0.000005	-0.0001188
Log likelihood function	-93.79	-75.50	-54.65
Pseudo R-squared	0.478	0.734	0.332

비고 : N= 307. 모든 사례에 사용된 회귀 모델은 프로빗이다. 단측 Z 검정은 ***p < .01, **p < .05, *p < .1에서 유의하다. 변수 정의는 표 16.3을 참조한다. Z 통계는 최대 가능성 평가와 관련이 있다. 표에서 보고한 값은 설명변수의 평균으로 산출된 한계효과이다.

인간 자본은 중요한 것처럼 보인다. 벼 소비 결정권자(특히 여성)가 더 많은 교육을 받을수록 농가가 유전적으로 불균질한 토종을 재배할 확률이 더 커진다. 농업에 종사하는 성인 노동력이 더 많아지면 적응력 있는 토종을 재배할 가능성에 큰 영향을 미치며, 동시에 유전적으로 다양한 토종을 경작하는 데에도 크게 기여한다. 농가의 활동적인 성인 중 여성의 비율이 더 높다는 것은 희귀한 토종을 재배할 가능성이 더 높다는 것을 의미한다. 가축 자산(물소, 축우, 황소)을 더 많이 소유할수록,

벼 육종가들이 다양하거나 적응성이 있다고 선택한 토종을 농가가 재배할 확률이 더 커진다. 토종을 재배하는 데에는 돈이 필요하지 않기 때문에 농의 수입은 뚜렷한 중요성이 없다. 벼 토지 형태(다양한 농지 생산 장소)의 수는 희귀한 토종을 재배할 기회를 증가시키며, 경작되는 총 지역에 대한 벼 부지의 분산은 적응력 있는 토종 재배에 긍정적으로 기여한다. 구릉지대 생태지역의 위치 및 시장과의 고립성은 벼 육종가들이 향후 작물 개량에 잠재적으로 가치 있을 것으로 확인한 토종을 농민들이 재배할 가능성을 더 높이는 데 관련이 있다.

토종 소집단 간에는 일반적인, 통계적으로 유의한 예측 요소의 경우, 효과의 크기는 다양하더라도(생태지역 위치, 농업 생산에 종사하는 활동적인 성인 비율, 시장까지의 총 거리) 그 효과의 방향은 동일하다. 세 가지 정책 관련 요소들은 비중립적인 효과를 갖는다. 즉, 효과의 통계적 유의성은 육종가의 선택 기준인 다양성, 희소성, 적응성에 의존한다. 첫째로, 여성의 교육 수준과 농지 생산에 관여하는 정도는 농가가 희귀하거나 다양한 토종을 재배할 것이라는 사실만을 예측하며, 그 효과의 크기는 선택 기준에 따라 다양해진다. 둘째로 과거의 토종 곡식의 판매는 정책 관련 요소를 제공하는데, 그것은 희귀한 토종을 재배하는 것과 크게 관련이 있지만 다양하거나 적응력이 있는 토종과는 관련이 없다는 것이다. 이러한 결과는 특수화된 시장을 통해 농민들이 희귀한 토종을 지속적으로 재배할 수 있을 것이라는 사실을 제시한다. 셋째로, 농지로 표준화 된 농업 부지의 분산은 가구가 적응성 있는 토종을 재배할 것이라는 사실을 예측하는 요소이다. 토지 보유 및 사용 방법은 부지의 공간적 분포를 암시하는 요소이다.

관련 연구로부터 확인된 결과

농가가 유지하는 작물 다양성 수준의 변화 혹은 이들이 토종을 지속적으로 재배할 확률을 설명하기 위해 본 장에서 가정하여 사용한 개념적 변수 집합에 따라, 관련 연구 결과를 표 16.6에서 제시한다. 각 사례 연구에서 이론적 기준은 농가 및 토지 조사에서 수집한 자료에 계량경제학적으로 적용한 농가 모델이다. 국가 및 작물은 광범위한 소득 수준 및 작물을 포함한다. 페루의 감자(Brush et al. 1992), 터키의 밀(Meng 1997), 멕시코의 옥수수, 대두, 호박(Van Dusen 2000; Smale et al. 2001), 에티오피아의 곡물류(Benin et al. 2003), 헝가리의 가정원예(Birol 2004) 등이 그것이다. 표에 입력된 표시들은 통계적으로 유의한 효과의 방향을 나타내며, 0은 통계적으로 유의하지 않은 회귀 계수를 말한다.

표 16.6. 작물의 유전적 다양성 또는 작물 종 다양성에 대한 경제적 연구결과의 비교

Direction of Effects Predicted in Case Studies								
Factor Affected by Economic Change and Public Policies	Peru: Potato Landrace Diversity	Turkey: Wheat Landrace Diversity	Mexico: Milpa System, Total Crop and Variety Diversity	Mexico: Maize Landrace Diversity	Ethiopia: Cereal Crop Diversity	Ethiopia: Cereal Variety Diversity	Hungary: Home Gardens, Crop Species Diversity	Hungary: Home Gardens, Landraces
Household characteristics	o	o	+		o	+, o, -	o	+
Age of head								
Education		o	+		o	+, o		
Farm labor supply		-	o		+	+, o	o	+, o
Women's education and participation					o	+, o		
Off-farm income, migration	-	-	-	o				
Assets Farm characteristics	-, +, o	-		o	+	-, o	+, o	-, o
Fragmentation	+	-	o		+	-, o		
Altitude		+	+					
Soil heterogeneity, multiple slopes		o	+	+	o	+, o, -		
Productivity potential, soil quality			o	o, +	-	+, o, -	+, o	-, o
Market infrastructure	-, o	+	-	-	o	+, o, -	-, o	o
Modern varieties grown	-, o	n/a	n/a	n/a	n/a	o		

출처 : Bruch 등(1992), Meng(1997), Van Dusen(2000), Smale 등(2001), Benin 등(2003), Birol(2004).

주 : "o"는 효과가 통계적으로 유의하지 않은 것을 의미한다. 빈 칸은 변수가 회귀에 포함되지 않은 것을 의미한다. n/a = 해당 사항 없음.

관련 접근법을 적용한다 하더라도 일반화는 쉬운 일이 아니다. 그 한가지 이유는 개념적 변수가 동일하다 하더라도, 각 경험적 조건에서 조사 수단을 통한 종속변수 및 설명변수의 측정이 연구 상황에 적합해야 하기 때문이다. 페루에서는 현대 품종의 채택과 재배되고 있는 감자 토종에 현대 품종이 미치는 영향을 예측하기 위해 등식을 추정하였다. 터키에서는 어떤 밀 토종이 재배되는지 예측하기 위해 등식을 추정하였으며, 밀 토종의 다양성은 이를 재배하려는 결정을 조건으로 하여 설명되었다. 멕시코의 한 연구에서는 화전 시스템의 옥수수, 대두, 호박 품종의 전체적 풍부성을 설명하였다. 다른 연구에서는 옥수수 토종에 할당된 지역 점유율을 조사하였다. 에티오피아 연구는 곡물류와 그 품종의 풍부성 및 균등도를 조사하였다. 헝가리의 과도기적 고수입 경제에서는 가정원예에 있어 재배작물의 종 풍부성 및 토종 풍부성을 포함한 농업 다양성의 몇 가지 요소를 연구하였다.

네팔의 벼 사례에서와 같이, 결정권자의 연령은 페루나 에티오피아와 같은 저소득 국가들에

서는 큰 영향력을 갖지 못한다. 멕시코나 헝가리와 같은 중간 혹은 고수입 국가들에서는 연령대가 높은 농민들이 토종을 경작할 가능성이 더 높다. 성 관련 변수를 측정해 온 네팔과 에티오피아에서는 여성의 교육 수준 및 농업 생산 관여도가 농가의 작물 유전적 다양성 수준에 긍정적인 영향을 미친다. 모든 국가들을 통틀어 소득 수준 및 농지 노동력 공급 계수, 농지의 혹은 이동성 소득은 대안적인 고용이 창출됨으로써 작물 다양성 및 유전적 다양성 수준이 농가 차원에서 감소한다는 것을 나타낸다. 부의 예측 효과는 모호하다. 어떤 사례에서는 토지, 가축, 농업 노동력 면에서 더 부유한 농민들이 다양성을 유지할 가능성이 더 높았다.

농업생계학적 요소들에 대한 결과가 혼합된다 하더라도, 농지에서의 토지 분할, 토양 불균질, 고도, 경사면에서의 농업 등은 작물 및 품종의 다양성과 더 크게 관련이 있는 경향이 있다. 흔히 지역 시장 하부구조가 더욱 발달할수록 가구의 다양성 수준은 더 낮아진다. 그러나 에티오피아의 산록에서 종자 또는 생산 시장에서의 근접성은 농민들이 유지하는 작물 및 품종을 보완하는 작물, 품종을 도입할 수 있도록 하는 것 같다. 터키의 경우 지역 시장은 다양한 밀 토종의 경작을 촉진시키는 듯 하다. 네팔의 토종 판매는 농민들이 희귀한 토종을 재배할 가능성과 크게 관련이 있었다.

결론

농민들은 작물을 재배할 것인지 여부와 어느 정도로 재배할지를 결정함으로써 주어진 기준 기억에서 작물 품종의 생존이나 특정한 유전자 복합체의 보존 등을 결정한다. 이들이 오늘날 내리는 선택은 이들의 복지에도 영향을 끼칠 뿐만 아니라 미래 사회의 복지에도 영향을 끼친다. 식물 집단이 감소하면서, 잠재적 가치를 지닌 몇몇 대립 형질이나 유전자 조합이 소실될 수 있다. 농민들은 개인적인 가치에 따라 재배할 작물 품종을 결정하며, 이것은 농지의 물리적인 특징뿐만 아니라 농민 특성 및 시장 조건에 따라서도 준 생계형 농업에서 다양해진다.

식물 육종가들은 육종이나 보존 목적을 위해 재료를 선택할 때 의사결정 기준을 사용하며, 이 기준은 농민들과는 다르며 육종가에 따라 다르다. 예컨대, 육종가들은 유전적으로 다양한 품종이나 희귀한 형질을 가진 품종, 혹은 광범위한 적응력을 가진 품종을 육종 프로그램 및 유전자원 보존에 잠재적으로 중요성을 갖는 것으로 구분한다. 이러한 것들은 토종의 사회적 가치와 관련한 가장 훌륭한 추측이 된다.

여기서 제시한 분석은 품종 보존 기준 선택과 관련한 정책적 상충관계에 초점을 맞춘다. 농민들이 하나의 선택 집합 중 일부인 품종을 유지할 가능성이 증가하면서 다른 집합의 품종을 계속 재배할 가능성이 감소할 수 있다. 만약 그렇다면 한 가지 목적을 달성하기 위해 입안된

정책은 다른 목적에 대해서는 심각한 결과를 초래할 수 있다. 우리의 결과는 이러한 충돌이 전혀 없음을 보여준다. 그러나 이 결과는 희귀한 토종의 지속적인 경작을 뒷받침하기 위해 입안된 프로그램이나 정책은 다양하거나 적응력 있는 토종에 필요한 프로그램이나 정책과는 다르다는 것을 보여준다. 특히 벼 생산에 대한 여성의 관여 및 지역 시장 발전을 위한 투자는 농가가 희귀한 토종을 재배할 가능성을 증가시킬 수 있다.

회귀 결과 및 요약 통계는 지역 및 농가가 벼 생물다양성의 지역 보존을 위해 어떻게 목표를 설정하는지를 보여준다. 분명, 구릉지대 생태지역(Kaski)의 벼 재배 농가는 유전적으로 다양하거나 희귀하고 적응성이 있는 토종을 재배할 가능성이 더 높다. 저지대 생태지역(Bara)의 벼 재배 농가는 벼의 현대 품종을 더 많이 재배하고 판매한다. 여성 결정권자들이 더 적은 교육을 받고 이 곳에 위치한 농가들이 더 적은 자산을 보유하며 농외소득 면에서 전혀 나을 것이 없다 하더라도, 이들은 자체 생산을 통해 자신의 소비 욕구를 더 잘 만족시키고 수 있다.

Kaski의 모든 농가와 Kaski의 모든 토종이 동등하게 보존 가능성이 있는 것은 아니다. 농업에 종사하는 활동적인 성인이 더 많은 농가는 사회적으로 가치 있는 토종을 유지할 가능성이 더 크며, 그 결과 농지 외 고용 기회가 증가함으로써 보존 전망에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다. 사회적으로 가치 있는 토종을 유지하는 가구들은 더 비균질적인 농지를 보유하며 시장과 더욱 고립되어 있다. 희귀한 토종을 재배할 가능성이 더 큰 농민들이 지역적으로 곡물을 판매한다는 것은 전문화되고 관리된 시장이 이러한 재료들을 유지할 수 있는 동기를 부여할 수 있다는 사실을 말한다. 그러나 이러한 프로그램의 실행 가능성이나 실행 비용은 알려져 있지 않다. 마지막으로, 목표 설정은 공평성 면에서 다른 상충관계를 포함할 수 있다. 사회적으로 가치 있는 토종을 재배할 가능성이 가장 큰 농민들은 가축 자산도 더 부유하며 예상 생산량 및 소비 필요성도 더 높다. 또한 현금 소득 면에서 최소한 넉넉하게 지낸다. 네팔 산록에 거주하는 대부분의 농민들이 세계적인 기준에서 보면 빈곤층에 속한다 하더라도, 가치 있는 토종을 유지할 가능성이 더 많은 지역 및 농가에 목표를 맞추는 것은 빈곤층에 목표를 맞추는 것과는 결코 동일하지 않다.

이미 완료되었거나 현재 진행 중인 관련 경제 연구 결과를 비교해보면 관련한 요소들의 예측 효과에 대한 지역 특이성을 강조하고 있는데, 여기에는 많은 요소들, 특히 인적 자본 및 농가의 부유한 정도가 포함된다. 시장 하부구조와 환경적 불균질 가설이 확실하다 하더라도, 작물 다양성 관리를 뒷받침하는 하나의 수단으로써 종자 시장 및 체계에 대한 훨씬 더 정밀한 이해가 필요하다. 이와 같은 사례 연구 결과를 해석할 때에는 적어도 한 개의 방법론적 주의사항을 명심해야 한다. 어떤 사례에서는 시장 하부구조 발전과 상호 작용을 하는 농업생태학적 고려 사항이 구릉지대와 평지 간의 벼 다양성 관리의 지속적 차이를 뒷받침할 것이라고 주장한다 하더라도, 교차 구역의 변화가 시간적 변화를 대체할 수 있는 범위는 제한된다. 종적 자료

혹은 다양성 결과 및 내재된 과정에 대한 정기적 감시가 가능한 자료는 더욱 분명한 결론을 도출할 것이며, 다양성의 주요 핵심지에서의 보존을 위한 적절한 동기를 수립하는 데 필요하다.

각주

1. 총 농경지 거리는 경작 면적과 크게 상호 관련이 있기 때문에, 경작되는 총 헥타르를 조절하는 동시에 분산된 부지의 효과를 포착하기 위해 두 변수를 하나로 통합하였다.
2. 벼 품종 선택을 설명하는 데 사용되는 독립변수가 선택변수가 아니라는 사실을 확인하기 위해서는 현 판매보다 과거 판매를 사용한다. 판매량은 더 많은 변화를 나타내기 때문에 0-1 변수가 선호된다.

참고 문헌

- APSD (Agri- Business Promotion and Statistics Division). 2001. *Statistical Information on Nepalese Agriculture*. Nepal: Ministry of Agriculture, HMG.
- Benin, S. B., M. Gebremedhin, M. Smale, J. Pender, and S. Ehui. 2003. Determinants of cereal diversity in communities and on house hold farms of the northern Ethiopian highlands. *Agriculture and Development Economics Division (ESA) Working Paper* 03- 14. Rome: FAO. Available at www.fao.org/es/ESA/wp/ESAWP03_14.pdf.
- Birol, E. 2004. *Agri-environmental Policies in a Transitional Economy: Conservation of Agricultural Biodiversity in Hungarian Home Gardens*. PhD thesis, University College London, University of London.
- Brush, S. B., J. E. Taylor, and M. R. Bellon. 1992. Biological diversity and technology adoption in Andean potato agriculture. *Journal of Development Economics* 39:365–387.
- Gauchan, D., M. Smale, and P. Chaudhary. 2005. Market- based incentives for conserving diversity on farms: The case of rice landraces in central Tarai, Nepal. *Genetic Resources and Crop Evolution* 52:293–303.
- Meng, E. 1997. *Land Allocation Decisions and In Situ Conservation of Crop Genetic Resources: The Case of Wheat Landraces in Turkey*. PhD dissertation, University of

- California, Davis.
- Shrestha, G. L. and D. A. Vaughan. 1989. *Wild Rice in Nepal*. Paper presented at the Third Summer Crop Working Group Meeting, National Maize Research Program, Rampur, Chitwan, National Agricultural Research Centre, Nepal.
- Simmonds, N. 1979. *Principles of Crop Improvement*. Harlow, UK: Longman. Singh, I., L. Squire, and J. Strauss, eds. 1986. *Agricultural House hold Models: Extensions, Applications, and Policy*. Washington, DC and Baltimore: The World Bank and Johns Hopkins University Press.
- Smale, M., M. Bellon, and A. Aguirre. 2001. Maize diversity, variety attributes, and farmers' choices in southeastern Guanajuato, Mexico. *Economic Development and Cultural Change* 50(1):201–225.
- Smale, M., E. Meng, J. P. Brennan, and R. Hu. 2003. Determinants of spatial diversity in modern wheat: Examples from Australia and China. *Agricultural Economics* 28(1):13–26.
- Subedi, A., D. Gauchan, R. B. Rana, S. N. Vaidya, P. R. Tiwari, and P. Chaudhary. 2000. Gender: Methods for increased access and decision making in Nepal. In D. Jarvis, B. Sthapit, and L. Sears, eds., *Conserving Agricultural Biodiversity In Situ: A Scientific Basis for Sustainable Agriculture*, 78–84. Rome: ipgri.
- Upadhyay, M. P. and S. R. Gupta. 2000. The wild relatives of rice in Nepal. In P. K. Jha, S. B. Karmacharya, S. R. Baral, and P. Lacoul, eds., *Environment and Agriculture: At the Crossroad of the New Millennium*, 182–195. Kathmandu, Nepal: Kathmandu Ecological Society.
- Van Dusen, E. 2000. *In Situ Conservation of Crop Genetic Resources in Mexican Milpa Systems*. PhD thesis, University of California, Davis.
- Van Dusen, E. and J. E. Taylor. 2003. *Missing Markets and Crop Genetic Resources: Evidence from Mexico*. Berkeley: University of California.
- Vaughan, D. and T. T. Chang. 1992. In situ conservation of rice genetic resources. *Economic Botany* 46:369–383.
- World Bank. 2003. *World Development Indicators 2003*. Washington, DC: The World Bank.

17. 가축 유전자원 보존 및 지속적인 사용의 경제학

기술현황

A. G. DRUCKER

가축은 인간이 필요로 하는 식품 및 농업의 30%를 제공하며(FAO 1999), 세계 농촌의 빈곤층 중 70%는 생계 수단을 가축에 의존한다(Livestock in Development 1999). 그러므로 동물 유전자원(angr)의 다양성은 동물의 특성을 다양화시키고 다양한 지역사회의 필요에 적합한 결과를 도출하여, 여러 면에서 인간 생존과 복지에 기여한다.

그러나 19세기 초반 이후 이렇듯 독특하게 적응된 종, 즉 광범위한 환경에서 수천 년 이상 사육되어온 종의 약 16%가 소실되었다(Hall and Ruane 1993). 또 다른 32% (포유류의 22%, 조류의 48%)는 멸종될 위기에 처해 있으며, 멸종율은 점점 가속화되어 주당 2종에 이르고 있다(fao 2000). 사육되는 ANGR의 유전자 풀이 작다는 것(40종 6,000-7,000 계통)은 이러한 소실이 특별한 관심 대상이 된다는 것을 의미한다. 이러한 돌이킬 수 없는 유전적 다양성의 소실은 식량 안보를 향상시키고, 빈곤을 줄이고, 지속적인 농업 방식을 채택할 수 있게 하는 기회를 감소시킨다.

개발도상국에서 위협에 처한 많은 수의 동물 유전자원과 보존을 위해 사용할 수 있는 재정 자원이 제한적이라는 사실은 경제분석이 보존 노력에 적절히 초점을 맞추고 있음을 확인하는데 중요한 역할을 할 수 있다(UNEP 1995). 그렇지만 동물 유전자원 보존 및 지속적인 사용의 경제학이 중요하지만, 이 주제는 최근에 와서야 관심을 받기 시작했다. 이러한 연구들은 여러 가지 방법들이 농민의 품종이나 형질 선호도의 가치를 측정하기 위해 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 토종 품종이 사라져 가는 데 대한 현재의 경향에 대응하는 정책을 입안하는 데 사용될 수 있다는 것을 나타낸다. 특히, 가축 소유자들이 적응력 관련 형질 및 소득과 관련이 없는 기능에 부여하는 중요성과, 육종 프로그램 설계에서 이를 고려해야 할 필요성을 인식할 수 있게 되었다. 또한 비용 절감형 다양성 확대의 보존 프로그램에 참여시켜야 할 우선 계통을 확인하고, 비가축 보유자들이 품종 보존에 부여하는 많은 편익과 관련된 비용을 비교하는 것이다.

본 장에서는 최근 아프리카, 라틴 아메리카, 유럽 등에서 실시한 광범위한 동물 유전자원

경제 연구 결과를 분석하기 전에 이러한 연구의 이론적 배경과 가능한 방법, 자료의 필요성, 실행 난점 등에 관해 간략하게 토론한다.

동물 유전자원 보존 및 지속적인 사용의 경제학

경제학이 기여하는 것

동물 유전자원의 보존 및 지속적인 사용에 대한 경제적 논쟁은 적절한 정책 개발을 포함해 필요한 공적 및 정치적 뒷받침을 얻는 효과적인 수단이 될 수 있다. 이러한 관점에서 중요한 업무는 동물 유전자원이 다양한 사회 및 그 사회 내 특정 단체에 미치는 경제적 기여도를 결정하고 가축 다양성을 보존하기 위해 취할 수 있는 비용 절감적인 수단을 확인함으로써 우선순위 평가를 뒷받침하며 개별적인 가축 보유자들이나 지역사회가 동물 유전자원을 보존할 수 있도록 경제적 인센티브 및 제도적 조정을 설계하는 것을 돕는 것이다.

분석적 구조

동물 유전자원의 침식은 인간복지에 직접적으로 기여할 수 있을 것으로 간주되는 소규모의 특별 "개량된" 품종을 통한 선택과 함께 가축의 기존 목록 보존¹의 관점에서 이해될 수 있다. 동시에 경제 이론은 기능 시장이 가격 구조를 통해 주어진 자원의 부족을 반영하고 이에 따라 자원의 사용이나 대체를 위한 올바른 동기를 부여함으로써 자원의 효과적인 할당에 강력한 동반자가 될 수 있다는 사실을 보여주었다.

Mendelsohn(2003)는 이러한 관점에서 동물 유전자원 소실을 검토함으로써 동물유전자원 보존에 직면한 주요 과제는 농민이 포기한 동물을 사회가 보존해야 하는 올바른 이유를 확인하는 것이라고 주장하였다. 시장이 가치 있는 가축 품종을 보존할 것임을 고려할 때, 자연보호론자들은 시장이 하지 않을 일에 초점을 맞추어야 한다. 이것은 시장이 포기한 동물 유전자원의 잠재적인 사회적 편익을 확인하고 정량화 하는 것을 포함한다. 그러므로 자연보호론자들은 먼저 사회가 무익해 보이는 동물 유전자원을 보호하기 위해 기꺼이 투자해야 하는 사례를 만들어야 하며 사회가 소중히 여기는 것을 효과적으로 보호할 보존 프로그램을 설계해야 한다.

Tisdell(2003) 역시 선진국 가축 기술(예: 인공 수정, 산업화된 집약적 가축 관리 등)이 개발도상국의 가축 집단에 미치는 영향력을 강조하면서, 시장이 동물 유전자원에 미치는 중요성을 인식하였다. 그는 또한 시장의 확장과 경제적 세계화가 품종의 소실을 가속화시킬 것으로

예상할 수 있다고 강조하였다. 이러한 결과는 지역적 특수화, 국제적 가축 품종 이동의 비용 감소, Swanson 우성 효과(즉 선진국에서 사용되는 품종이 개발도상국의 품종을 대체하는 경향), 다목적 가축에 대한 수요 감소를 야기하는 상대적인 이점에 의한 특수화, 변화하는 소비자 취향, 사료 수입 가격 및 이용가능성의 변화, 가축을 기르는 환경의 통제 범위 증가 등을 통해 발생할 수 있다(Tisdell 2003:367-368). Tisdell(2003:371)은 나이지리아의 식량농업기구(fao 년도 미정:45) 예를 인용하여 지역 간 교역의 시작과 수목 작물 가격의 증가로 인해 농민들이 지역 가축을 포기하게 된 과정을 설명한다. FAO는 "이것이 그들(농민들)에게 있어서는 아주 합리적인 중기 전략이긴 하지만, 세계 무역에서의 일시적인 패턴으로 인해 이러한 가축이 갖고 있는 유전자원을 소실하는 것은 정부로서는 근시안적인 처신일 수 있다"라고 주장한다.

이러한 "자유" 시장이 사회적으로 바람직한 결과를 강압적으로 제공하려는 능력은 추후 Pearce와 Moran (1994)이 다시 의문을 제기하였다. 이들은 생물다양성(및 유전자원) 보존 활동이 시장, 조정, 또는 세계적인 비축 실패로 인해 시장에서 얻을 수 없는 경제적 가치(사용, 비사용)를 창출한다고 주장한다. 이러한 실패 결과로 나타나는 것이 왜곡현상이며, 인센티브를 부여하는 것이 유전자원 보존에 반하며 이러한 유전자원을 파괴하는 경제 활동에는 유리한 것이다. Smale(2005)은 최근 농가의 작물 유전자원의 경제적 가치에 대한 경험적 연구와 방법을 추적하였으며 이러한 문제점을 논의한다.

예를 들어, 경제적 추론에 따르면 토착 가축 종을 외래종으로 교체하는 것과 같은 결정은 두 방법의 상대적인 수익률로 결정할 것이다. 그러나 상대적인 수익률은 전체적인 국가나 세계보다는 농민에게 발생하는 것이다. 유전자원 보존에 적합한 활동보다 수익률이 더 높기 때문에, 가축 소유자들에게는 토착종의 소실이 경제적으로 이치에 맞는 듯 보인다. 이것은 유전자원 보존 활동이 농민보다는 일반 사람에게 필요한 비시장성 이익으로 구성되며 수입 종의 사육에 필요한 투입 및 서비스(예: 인공 수정, 수의 치료 등)를 보조금으로 지급하기 때문이다.

Swanson(1997)은 생물다양성이 지역 간에 고르게 분포하는 것은 아니기 때문에 이러한 비시장 가치가 중요할 것이라고 주장한다. 그는 세계의 대외적 가치로 실제로 중요할 것이라고 제안한다. 그러므로 세계적으로 분권화된 기준에 입각하여 전환 과정이 규제되어 왔다는 사실에서 파생한 일련의 난점으로써 생물다양성 문제를 생각해 볼 수 있다. 역사적으로 주(州)와 개인은 다른 사람에게 초래할 결과에 상관없이 자신의 토지와 자원을 고려하여 전환 결정을 내릴 수 있었다. 연속적인 각 전환의 비용(손실된 서비스의 가치라는 면에서)은 동일하지 않기 때문에, 이것은 중요한 규제 문제를 창출한다. 전환 과정이 진행되면서, 연속적인 각 전환 비용(지구상의 모든 사회에서 소실된 다양한 자원 서비스 관점에서)은 빠르게 상승한다. 이러

한 비용을 주 또는 개인을 전환시키는 의사결정 구조에 이용할 수 있는 메커니즘의 부재는 생물다양성 문제에서 큰 부분을 차지한다.

그러므로 가축 소유자들이 토착종과 수입종 간에서 결정을 내리는 데 있어 직면한 재정적 동기와 지속적인 농업 발전 과정이 가축 종 다양성의 보존 및 지속적인 사용과 확실히 조화될 수 있도록 하는 조정 방법을 이해하는 데 도움이 되는 경제 분석이 필요하다.

동물 유전자원 보존 및 지속적인 사용에 대한 경제적 분석 방법 및 제약

동물 유전자원 보존이 경제학적으로 중요함에도 불구하고, 그리고 일반적인 생물다양성의 평가를 위한 개념적 구조가 존재함에도 이 주제는 거의 관심을 끌지 못했다(FAO/ILRI 1999). 이 같은 현상에는 여러 가지 이유가 있다.

방법론적 제약

먼저 수많은 방법론적 어려움이 있으며, 이들 중 많은 부분이 식물 유전자원(PGRs)의 가치를 측정하는 과정에서 발생하였다. 예컨대, Evenson(1991)은 작물 개량에 있어서 유전자원의 다양성이 주는 이득을 측정하는 것은 지극히 어려운 일이라고 주장한다. 유전자원은 시장에서 거의 거래되는 일이 없으며 주로 수 세대에 걸친 비공식적인 개량의 산물이다. 그러므로 특정한 토착종이 성공적인 개량 품종이나 계통에 미친 기여도를 확인하는 것은 복잡한 일이 될 것이다. 게다가 육종에 사용되는 기본 자원은 그 자체적으로 생산 기능의 결과이며, 각 요소(예: 노동력, 농지 기술, 지적 투입)에 대한 수익을 확인하는 것은 가장 보편적인 비용에서만 가능할 것이다.

그럼에도 불구하고, 이러한 분석을 실행하기 위한 다양한 분석기술을 다른 경제학 분야에서 도입할 수 있었다. Drucker 등(2001)은 이러한 기술들을 검토하였으며, 시행 가능한 실용적인 목적에 근거하여 이 방법들을 크게 세 그룹으로 분류하였다. 표 17.1에서 볼 수 있는 것처럼 이 세 그룹은 동물 유전자원 보존 프로그램 비용의 적절성 결정, 위험에 처한 종의 실질적인 경제적 중요도 결정, 동물 유전자원 육종 프로그램에서 설정하는 우선순위이다.

자료의 제한된 가용성

둘째, 자료 가용성도 하나의 제약이다. 이 방법들을 이용하기 위해서는 다음과 같은 활동을 이행할 필요가 있다.

- ❖ 육종 능력 지표 측정
- ❖ 실질적이거나 잠재적인 육종 시스템의 특성 파악
- ❖ 다양한 생산 시스템 하에서 토착종에 대한 사용 및 가축 소유자의 형질 선호도(가축 소유자들이 기꺼이 거래하고자 하는 특정 형질의 가치 도출 포함), 그리고 이러한 요소들과 대체 종 채택에 영향을 미치는 강제력 확인
- ❖ 다른 종의 사용과 관련하여 정책 결정에 따른 농산품(사료나 작물) 가격 변화 및 외부(수의 비용) 투입 비용 등을 포함하여 가축 수요와 가격에 영향을 미치는 요소 확인
- ❖ 대체 종을 도입할 때 생계에 미치는 영향, 채택 및 접근 가능성에서의 제한적 요소, 그리고 보급 체계를 분석
- ❖ 토지 보유, 농업적 잠재력, 인구 밀도, 시장 접근 및 통합, 허가 조건, 세금 체제, 신용 및 지도 프로그램, 교육을 포함한 제 요인의 역할 고려

표 17.1. 동물 유전자원(AnGR) 가치 측정 방법 평가

측정 방법	취지: 목적 또는 장점	평가 방법과 가장 큰 관련이 있는 행위자	보존 역할	필요한 자료 형태	자료 가용성	개념적 약점 또는 난점
AnGR 보존 프로그램 비용의 적절성을 결정하기 위한 방법						
조건부 가치 평가 방법	AnGR 보존이나 외래종 대신 토착종을 기르기를 위한 농민 WTP 보상, 또는 농민 형질 가치 선호도 및 종에 의한 순이익을 결정하기 위한 사회의 지불의사 금액(WTP), 확인	보존 담당 정책결정자	경제적으로 입증된 보존 프로그램 비용에 대한 최고한도 정의	WTP 또는 수용의사 관점에서 표출된 사회 선호도	일반적으로 없음. 조사 필요.	중요하지 않음. 종이나 만성적인 유전적 침식에 사용하는 경우 대응의 어려움
생산 손실 방지	AnGR 보존 부재 시 있을 수 있는 생산 손실 정도 표시	보존 담당 농민 및 정책결정자	최소한의 보존 프로그램 비용 정당화	잠재적인 생산 손실 측정(예를 들면 두 수 및 동물의 시장 가치 퍼센트)	상업용 가축 품종의 시장 가치 잠재적 가축 수의 손실을 측정해야 함.	소비자/생산자 잉여 가치 측정이 아님. 대응 효과를 무시함.
기회 비용	AnGR 다양성 유지비용 확인	보존 담당 농민 및 정책결정자	AnGR 보존 프로그램의 기회비용 정의	생산에 대한 가구 비용 및 순수익	일반적으로 없음. 조사 필요.	
최소 비용	AnGR 보존을 위한 비용 효율적 프로그램 확인	보존 담당 정책결정자 어느 정도의 농민 및 육종가	보존 프로그램의 최소 비용 정의	생산에 대한 가구 비용 및 수익성	일반적으로 없음. 조사 필요.	
안전한 최소 기준	생장 가능한 최소 집단을 유지하는 데 필요한 교환조건 조사	보존 담당 정책결정자	AnGR 보존 프로그램의 기회비용 정의	보존 프로그램 비용 및 다른 종을 기르는 것과 관련한 이익 차	일반적으로 없음. 조사 및 모델링 필요.	종 대체가 토착 종 보존의 수량화 할 수 없는 이익을 초과하는 유용성을 창출할지 여부에 대한 판단 필요

측정 방법	취지: 목적 또는 장점	평가 방법과 가장 큰 관련이 있는 행위자	보존 역할	필요한 자료 형태	자료 가용성	개념적 약점 또는 난점
종의 실질적인 경제적 중요도를 결정하기 위한 방법						
총 수요 및 공급	사회에 대한 증 확인	보존 및 가축 정책결정자 육종가	AnGR 손실과 관련한 잠재적인 손실 평가	통시적 또는 농지 차원 자료	상업 종에는 있음 다른 종에는 일반적으로 없음 조사 필요	필요한 자가 노동력 및 사료의 잠재 가격
농장 및 농가의 단면	사회에 대한 증 확인	보존 및 가축 정책결정자 육종가 및 농민	AnGR 손실과 관련한 잠재적인 손실 평가	위치에 따른 소비자 및 생산자의 가격 차이	일반적으로 없음 조사 필요.	필요한 가구 노동력 및 마초의 잠재 가격
시장 점유	주어진 종의 현 시장 가치 표시	보존 및 가축 정책결정자 육종가 및 농민	주어진 종의 경제적 중요도 입증	종에 따른 축산물의 시장 가치	일반적으로 있지만 종에 따라 그렇지 않을 수 있음.	소비자/생산자 잉여 가치 측정이 아님 대용 효과를 무시함.
지적재산권 및 계약	AnGR 수익의 공정하고 정당한 분배를 위한 시장 창출 및 지원	보존 담당 정책결정자 육종가 및 농민	AnGR 보존을 위한 기금 및 인센티브 창출	로열티 금액 또는 계약 조건	어떤 계약이 있을 경우 가능하지만 상업적 기밀일 수 있음	제한된 계약 기간
AnGR 육종 프로그램의 우선순위 설정을 위한 방법						
육종 프로그램의 평가	가축 개량의 경제적인 순 이익 확인	농민 및 육종가	보존된 AnGR의 경제적 이익 최대화	증산 효과 및 투자 비용	상업 종에는 있음 다른 종에는 일반적으로 없음 조사 또는 연구 필요	유전 자원의 기여도를 프로그램의 다른 비용과 분리하기가 어려움
유전적 생산 기능	가축 개량의 경제적인 순 이익 확인	농민 및 육종가	보존된 AnGR의 경제적 이익 최대화	증산 효과 및 투자 비용	상업 종에는 있음 다른 종에는 일반적으로 없음 조사 또는 연구 필요	
향유	형질 가치 확인	농민 및 육종가 보존 담당 정책결정자	AnGR 손실과 관련한 잠재적 손실 평가 중 선호도 이해	동물의 특성 및 시장 가격	상업 종에는 있음 다른 종에는 일반적으로 없음 조사 또는 연구 필요	소비자/생산자 잉여 가치 측정이 아님 대용 효과를 무시함.
농지 시뮬레이션 모델	농업 경제에 대해 향상된 동물 특성 모델화	농민 및 육종가	보존된 AnGR의 경제적 이익 최대화	투자 및 생산 모든 주요 활동의 기술적 계수	상업 종에는 있음 다른 종에는 일반적으로 없음 조사 또는 연구 필요	농지의 객관적인 기능에 대한 정확한 정의의 소비자 잉여 추정에 대한 집적 역시 문제가 될 수 있음

출처: Drucker et al. (2001).

비시장 자료의 필요성 및 조사 기법

셋째, 생계에 미치는 가축의 비시장적 기여도(가뭄 및 질병 저항성, 견인 적합성, 문화적/사회적 가치, 금융 및 보험 수단으로써의 가축 등)는 경제적 모델 및 분석으로 나타나야만 한다. 왜냐하면 이러한 정보는 다른 종을 사용할 때의 상대적인 유리함을 평가하고 적절한 육종 프로그램 목표를 확인하는 데 매우 중요하기 때문이다.

그러나 국가적 차원에서 가축 생산 자료가 풍부할지라도 이러한 정보는 수많은 주요 품종에 제한된 경향이 있으며 대부분이 중요한 비시장적 기여도를 무시한다. FAO 가축 다양성 정보 시스템이나 국제 가축 연구소 가축 유전자원 정보 시스템과 같은 시스템은 최근에 와서야 이러한 문제를 설명하기 시작했다. 그러므로 방법론적 선택 문제는 자료 이용가능성의 부족과 관련 자료를 얻을 수 있는 제한된 가능성으로 구성된다.

넷째, 자료 이용가능성 문제는 자료 "입수 능력" 문제와도 밀접한 관련이 있다. 이것은 한계 생산 시스템 내의 토착 가축 종이 창출하는 대부분의 이익을 소비자가 아닌 생산자가 얻기 때문이다. 결과적으로 이러한 종의 유전자원은 대부분 생산자의 선호도에 따라 형성되어 왔다. 그러므로 토착 동물 유전자원의 가치에 대한 첫 번째 접근으로써 유전적으로 결정된 형질의 함축적 가치를 확인하기 위해 연구가 방향을 돌려야 할 것은 이러한 선호도를 확인하고 기술하는 작업이다. 한계 생산 시스템에서 가축에 대한 육종 압력은 한계 자원에 대해 만족할 만한 성능을 갖는 동물을 창출하는 것으로 직접 연결된다. 가축 생산성은 생산자에 의해 평가되지만 이러한 평가는 대부분이 비시장 개념에서 이루어진다. 그러므로 경제가치를 도출하기 위해 연구할 필요가 있는 것이 이러한 경제 주체와 비시장 기능의 범주이다. 그런 다음 이것을 어떻게 잘 실행할 수 있는지에 대한 문제를 제기한다.

농촌 평가 기술을 사용해야 하는 필요성

생물다양성 평가 연구의 경험적 결과 및 시장 경제에서 멀리 떨어진 시골 지역이나 부문에 방법 및 연구를 적용할 때의 난점과 관련하여, Pearce와 Moran(1994:94)은 "한 지역의 추후 연구는 참여적인 빠른 농촌 평가 방법의 구성체와 관련한 경제 기술의 수정 가능성을 포함한다"라고 주장한다.

농촌 평가방법은 가축 소유자들과 함께 유용한 계획 수단으로 옹호되어 왔다(Waters-Bayer and Bayer 1994). 이것은 가축 소유자들의 품종 관심 및 생산성, 기능성 형질에 대한 선호도를 이해하는 방법이며(Steglich and Peters 2002), 축우 향상 프로그램에서 유전 형질을 선택하는 방법(Tano et al. 2003), 상황 분석 및 기술 개발을 달성하는 방법(Conroy 2003), 가축 소유자가 핵심 지식 보유자인 지역 혁신 과정을 수월하게 하는 방법(예: 적은 외부 투입 시스템에서의 사료 옵션)이다(Peters et al. 2001).

핵심은 방법과 형태를 필요한 종류의 정보와 조화시키는 것이다. 대개의 경우에 가장 훌륭한 접근법은 몇 가지 다른 농촌 평가 방법을 조합한 것이 될 것이다.

결과 및 논의

동물 유전자원 보존 및 지속적인 사용에 대해 앞서 언급한 제약에도 불구하고 필요한 자료를 얻는데 있어 적절한 방법 및 접근법을 찾은 경우 수 많은 흥미로운 결과들을 얻었다.

품종 보존 우선순위를 확인하기 위한 결정 지원 수단

현재 위협 받고 있는 많은 수의 가축 종을 인식하고, 제한된 보존 예산으로 모든 가축 종을 구제할 수 없다는 사실을 깨달은 Simianer 등(2003)은 주어진 예산을 품종 세트에 할당할 수 있는 구조를 창출함으로써 결정 지원 수단을 개발하여 보존된 종 간 다양성의 기대치가 최대화되도록 하였다. 이들은 Weitzman(1993)을 참고로 하여, 보존 계획의 최적 기준은 품종 세트의 예상되는 총 유용성을 최대화하는 것이라고 주장했다. 이 유용성은 다양성, 세트에 나타난 품종 특성, 보존된 품종의 가치를 경제적으로 종합한 합계이다. 그 방법은 아프리카 Zebu와 Zenga의 축우 23품종의 예시로 설명한다. 이 결과는 보존 자금을 23종 중 3~9종(고려한 모델에 따라 달라짐)에만 사용해야 하며 이것이 반드시 가장 위기에 처한 종은 아니라는 사실을 나타낸다. 또한 모델을 충분히 명시하고 주요 변수들에 관한 기본 자료를 사용할 수 있는 경우, 세계적인 규모로 합리적인 의사결정을 내릴 수 있도록 그 구조를 사용할 수 있다.

비시장 평가를 위한 명시선호(조건부 가치추정법)

이러한 결정지원 수단에 사용할 수 있는 자료를 획득하는 것은 종종 농가 생산기능의 많은 귀중한 투입 및 산출로 가치를 도출할 수 있는 수 많은 기술 개발을 수반한다. Tano 등(2003)과 Scarpa 등(2003a, 2003b)은 가축의 토착종에 표현된 표현형 형질의 가치를 평가하기 위해 명시선호 선택 실험을 사용한다. 가축 소유주들에게는 적응 형질과 비소득 기능이 동물의 최종 가치의 중요한 요소로 나타난다. 예를 들어, 서아프리카에서는 품종 개량 프로그램 목적에 부합시킬 수 있는 가장 중요한 형질이 질병 저항성, 견인적응도, 번식 능력에서 발견되었다. 쇠고기 및 우유 생산은 덜 중요했다. 이 연구들은 또한 동물 유전자원 연구를 위해 이러한 기술(다른 분야의 환경적 경제 분석에서 응용) 기능을 이용할 수 있을 뿐 아니라 현재 가축 집단에서 폭넓게 인식되고 있지는 않지만 육종이

나 보존 프로그램에 대한 바람직한 대상인 유전적 결정 형질(예: 질병 저항성)을 조사하는 데에도 사용할 수 있다는 것을 보여준다.

게다가 논문에서는 농가 특성이 종 선호도 차이에 어떠한 결정을 내리는지를 조사한다. 이러한 추가적인 정보는 현재 토착종을 제외시키는 경향을 막는 정책을 입안하는 데 사용될 수 있다. 예를 들어, 이러한 정보는 종 보존을 위한 동기를 부여하는 데 사용될 수 있다. 멕시코 사례의 경우 선호 실험 결과, 소규모 생산자들이 크리올 돼지에 부여하는 순 가치가 다른 종의 가치와 매우 유사하기 때문에 지속적인 사용을 확실히 하기 위해 최소의 동기 부여와 개입이 필요하다는 사실이 나타났다.

선진국 사례 연구에서 Cicia 등(2003)은 위협 받고 있는 Italian Pentro 말을 위한 보존 프로그램을 확립한 후 그 이익을 평가하기 위해 이분선택형 명시선호 접근법을 사용할 수 있다는 것을 보여준다. 생물경제학적 모델은 보존 관련 비용을 평가하는 데 사용되며, 그 결과로 비용 편익 분석이 이루어진다. 이 결과는 제안된 보존 활동에 대한 광범위하고 긍정적인 현재의 순 가치를 보여줄 뿐만 아니라 이러한 접근법이 정책 결정자들로 하여금 점점 더 많아지는 멸종 위기 동물 종에 귀중한 자금을 할당할 수 있도록 하는 유용한 결정 지원 수단이 된다는 것을 증명한다.

시장 평가를 위한 명시선호 기술

앞서 언급한 선호도 접근법과 반대로 Jabbar와 Diedhiou(2003)은 가축 소유주의 교배 방식과 종 선호도를 결정하기 위해 명시선호 헤도닉 접근법(revealed preference hedonic approaches) 역시 사용할 수 있다는 사실을 보여준다. 남서부 나이지리아에서 이러한 요소들을 분석한 이들은 편모 충감염에 저항성이 있는 종, 특히 Muturu가 사라지는 강한 경향을 확인하였으며, 가축 소유자들이 다른 Zebu 종과 비교하여 이러한 종에서 가장 덜 바람직하다고 밝힌 형질들을 확인한다. 이 결과는 Muturu와 같이 멸종 위험에 처한 종을 위한 보존 또는 지속적 사용 전략을 실시하는데 있어 최고의 희망 사항은 편모충감염이 제약으로 남아있고 Muturu가 영농 시스템에 더 잘 들어맞으며 이러한 종을 위한 거대시장이 계속 존재하는 서남부 나이지리아와 같은 서아프리카의 다른 지역에서 하는 것이라는 점을 제시한다.

상대적인(토착종 및 교배종) 성능 평가를 위한 총 생산성 모델

많은 생산 시스템에서 육류 및 우유 생산 형질의 2차 중요성으로 인해, Ayalew 등(2003)은 기존의 생산성 기준이 가축의 시장 외 편익을 파악하지 못하기 때문에 생계유지적 가축 생산을 평가하는

데 부적절하며, 다수의 제한적 투입(가축, 노동력, 토지)이 생산 과정에 수반되기 때문에 단일한 제한적 투입이라는 핵심 개념은 생계유지적 생산에 부적절하다고 주장하게 되었다. 그러므로 가능한 많은 가축 기능(물리적, 사회경제적)을 재정적 가치에 추가시켜야 하며, 이러한 "생산품"이 시장에서 거래되거나 가정에서 소비되거나 혹은 추후 사용을 위해 보관되는지 여부에 상관없이 사용된 자원과 연결시켜야 한다. 동부 에티오피아 고지대에서는 생계유지형 염소 생산을 평가하기 위해 세 가지 보충적인 집단 차원의 생산성 지표를 수반한 광범위한 평가 모델을 개발하고 적용하였다. 그 결과는 토착 염소 무리가 전형적인 관리 하에서보다 향상된 관리 하에서 훨씬 더 높은 순 이익을 창출했음을 보여주며, 이것은 토착 가축이 관리 차원의 향상에 적절하게 반응하지 못한다는 지배적인 개념에 이익을 제기하는 것이다. 게다가 검토한 생계유지형 생산 모드 하에서, 교배 육성형 염소가 토착 염소보다 더 생산적이고 유리하다는 전제는 잘못된 것임을 증명한다. 그러므로 이 모델은 건전한 개선 조정안을 제안하기 위한 더 현실적인 기반을 제공한다.

보존비용 및 순익(다양한 기술)

토착종의 가치를 인식하고 지원 정책을 실행하는 경우에도 중요한 문제점을 확인할 수 있다. 유럽 연합(EU)에서 실시한 농장 동물 생물다양성 보존 측정 및 그 잠재적 비용 조사에서, Signorello와 Pappalardo(2003)는 FAO 감시대상 목록에 따라 멸종 위기에 처한 많은 종들을 지원 비용으로 감당할 수 없음을 보고하였다. 왜냐하면 이 비용은 나라의 농촌 개발 계획에는 포함되지 않기 때문이다. 게다가 이러한 비용을 마련할 때 종 간 다양한 멸종 정도는 고려하지 않으며, 비용 수준은 어느 경우에도 부적절하기 마련이다. 이것은 토착종을 사육하는 것이 여전히 이익이 되지 않을 수 있다는 것을 의미한다. 그러므로 EU 동물 유전자원 보존 지원 조치가 그 목적을 만족시키는 지 여부를 긴급하게 검토할 필요가 있다.

Drucker(인쇄 중)가 최소안전기준(SMS) 논문을 인용하고 Crowards(1988)의 종 보다는 품종을 고려하는 미니맥스 지불 매트릭스를 적용하여, 보존비용이 적다는 사실을 입증했음에도 불구하고, 토착 종 보존을 위한 동기 부여는 부적절한 상태이다. 기본적인 생각은 최소 생존 가능한 집단(최소안전기준, FAO가 "위험하지 않다"고 제시한 약 1,000 두 상당)이 보존되는 한 토착 가축 종 보존의 불명확한 이익도 유지된다는 것이다. 최소안전기준의 실행 비용은 외래 종 또는 교배종보다 토착종을 유지하는 기회비용 차이(존재 하는 경우)로 구성된다. 또한, 보존 프로그램의 행정적, 기술적 지원 비용을 고려해야 한다. 그 후 앞서 언급한 세 가지의 동물 유전자원 경제 사례 연구(즉, EU, 이탈리아, 멕시코)로부터 얻은 자료를 활용해 경험적 비용 견적을 얻는다. 그 결과는 가축 부분에 현재 제공하고 있는 보조금 규모와 비교했을 때(총 보조금의 1% 이하) 보존 이익과 연관 지었을 때 (편익비용 비율 2.9 이상) 모두 최소안

전기준 실행 비용이 낮을 것이라는(중에 따라 표 17.2에 제시한 것처럼 비용은 연간 약 3,000~426,000 유로) 가설을 뒷받침한다. 고무적인 것은 이 비용은 개발도상국에서 아주 낮으며, 현존하는 가축 종의 70%가 소실 위험이 가장 높은 개발도상국에서 발견된다는 점이다 (Rege and Gibson 2003). 이러한 보존 접근법을 지역 품종 보존에 아직도 우호적인 지역사회에 적용하는 경우에는 그 비용이 특히 더 낮다. 그러므로 이러한 최소안전기준 접근법을 지역사회와 협력하는 정부나 비정부 지원에 적용해야 한다.

그러므로 최소안전기준 접근법은 동물 유전자원 보존에 중요한 역할을 하는 것으로 나타나지만, 이것을 실제로 적용할 수 있기에 앞서 최소안전기준 비용을 결정하는 데 필요한 요소를 더욱 광범위하게 정량화해야 한다. 이러한 경제가치 평가는 고려되고 있는 품종이나 종의 총 범위를 망라해야 하며, 총 경제가치를 구성하는 가능한 한 많은 요소들이 고려되어야 한다.

Drucker와 Anderson은 동물 유전자원 보존 비용이 그 이익과 비교해 적은 것 같다는 가설을 뒷받침하는 추가 자료를 제공한다. 농촌 평가 방법²을 사용해 얻은 자료를 Drucker 등(2001)이 검토한 몇 가지 가치평가 방법에 어떻게 적용할 수 있는지를 보여주는 미발간 논문에서, 이들은 보존비용이 더 작은 크기 자릿수에 있음을 증명하였다³(표 17.3).

게다가 토착 종 돼지의 보존 및 지속적인 사용 프로그램에 대해 연간 비용이 낮게 추정됨으로써, 최소 비용 접근법(Brush and Meng 1996)이 실제로는 보존비용이 최소인 가구나 마을이 보존 프로그램에 비용을 지불할 수 있는 유용한 구조라는 사실을 제시한다. 그러므로 보존 및 지속 가능한 사용 프로그램을 실행하는데 있어 매우 강력한 경제적 주장을 할 수 있으며, 현재 FAO 위험 기준에서 심각한 것으로 분류된 품종이 멸종하지 않게 하려면, 이러한 프로그램을 긴급하게 실행해야 한다.

확인한 순 이익의 규모 역시 토착 종이 이론을 통해 예측한 것처럼, 농민의 개인적 관점에서 토착 종이 다른 종보다 이익이 적기 때문에 소실된 것이라는 데에 의문을 제기한다. 특정 농가 유형(예: 더 크거나 더 유복한 농가 등)이 이 이론을 뒷받침하는 형질 가치 선호도를 나타내긴 했지만, 대부분의 가구들은 그렇지 않다⁴. 그러나 모든 가구에서 소규모 토착 돼지 생산이 감소하였다. 그러므로 순종 집단이 이렇듯 낮은 수준으로 떨어져, 농민의 순수익 자체보다는 토종 원종의 가용성의 부족과 같은 요소들이 종 선택을 결정하고 있는 듯 하다.

사회적 차원에서 보존 및 지속 가능한 사용 계획에 대한 큰 폭의 순이익은 만약 이익가치(예: 질병 저항성의 보고로써, 또는 도시 소비자들에 대한 존재 가치로써의 토종 돼지)가 보존 목적으로 이용될 경우, 몇 가지 매우 중요한 시장 실패에 대하여 설명하여야 한다고 제안한다. 또한 상업 부문에서 외래 종 생산을 보조하여 발생한 시장 왜곡은 그 규모가 상당하며, 보조금 수준은 토착종 보존비용보다 더 큰 자릿수에 있다. 그러므로 농민 생계 유지에 중요한 유전자원은 극히 적은 기금의 부족으로 인해 소실되고 있는 반면 상업적 농민들에게는 고액의 동물 유전자원 다양성을 위협하는 보조금이 제공된다.

표 17.2. 선택된 가축 종에 대해 최소안전기준(SMS)을 달성하는 연간 비용(단위: 유로)

사례 연구	PB외래종	EB토착종	1,000마리 동물에 대한 기회비용 차	C토착종	SMS*의 연간 비용
크레올 돼지, 멕시코 ^a	24.1	21.5	2,600	200-1,100	<2,800- 3,700
여러 가지 종, 시칠리아, 이탈리아 ^b	29 (Comisana sheep)	-12 (Bar-baresca sheep)	41,000	행정적/기술적 지원 비용은 열거하지 않음 총 비용의 5%로 가정하여 €2,000~ 20,000/년	43,000
	15 (Maltese goat)	-27 (Gir-gentana goat)	42,000		44,000
	201 (Aveglinese horse)	-58 (Ragusana horse)	259,000		272,000
	306 (Bruna cattle)	-53 (Modicana, Cinisara cattle)	359,000		377,000
	224 (Landrace pic)	-182 (Nera Siciliana pig)	406,000		426,000
Pentro horse, 몰리세, 이탈리아 ^c	20.8 [†]	<-158.4 [‡]	<179,200	알려지지 않은 비율의 행정적, 기술적 지원비용이 EB토착종난의 생산 비용에 포함됨	179,200

출처 : Drucker(2005) 및 aScarpa 등(2003a) 응용, bSignorello와 Pappalarde(2003), cCicia 등(2003).

C토착종 = SMS 하의 토착종 보존 비용(행정적, 기술적 지원 비용 포함); EB토착종 = 토착종을 지속적으로 사용하는 것에 대한 예상 수익 PB외래종 = 외래종 사용에 기초한 가축 종 대체의 개인적 수익.

*SMS의 연간 비용 = 1,000(PB외래종 - EB토착종) + C토착종

† 다른 조사와 엄격하게 비교할 수 없는 자료. 과거 수입을 말함.

‡ 다른 조사와 엄격하게 비교할 수 없는 자료. "새로운 판매" 마이너스 "생산 비용"을 말함. 1,000마리 동물에 대한 기회 비용 차 = 1,000(PB외래종 - EB토착종)

표 17.3. Yucatec(멕시코) 크리올 돼지와 관련해 농촌 평가 자료를 이용한 가치평가 기술 결과의 요약

	보존 및 지속 가능한 사용 이익(€)	보존비용 (€)
시장 점유	54만	
회피 생산 손실 (Yucatan 주의 경우만 해당)	121만	
가상 가치평가 (도시 소비자 취향 테스트)	143만	
가상 가치평가(생산자 선택 조사)와 최소비용 접근법		<2,800-3,700

출처 : Drucker 및 Anderson, 미출간.

참고 : Original US\$ values converted to Euros at a rate of Euro 1 =US\$1.10.

결론

본 장에서 설명한 결과들(다양한 종, 계통, 생산 시스템, 위치, 분석적 접근법에 기초)은 동물 유전 자원 보존 및 지속 가능한 사용에 대한 경제적 분석 방법이 사실상 존재하며, 특히 농촌 평가 방법과 함께 사용할 경우 시장이나 비시장, 잠재적인 종의 속성에 관련된 가치를 유용하게 추산할 수 있음을 보여준다.

다른 형질에 대한 가축 소유자 선호도뿐만 아니라 종 특성 및 관리 필요성에 관한 가축 소유자들의 이러한 지식 정보는 육종 및 보존 전략에 대한 중요한 투입원이 된다. 또한, 향상된 관리 하에 있는 토착종의 성과 및 잠재력, 종 보존 우선순위, 보존 및 지속 가능한 사용 프로그램의 상대적인 비용 규모와 그 이익 등과 관련한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 자료는 동물 유전자원의 보존 및 지속 가능한 사용을 촉진하는 데 필요한 조정 유형과 순 비용을 이해하는 데 필수적이다.

남겨진 과제는 이제 이러한 유형의 작업을 적용하여 가축 소유주들에게 이익을 주고 국가 연구원 및 정책 결정자들의 작업을 뒷받침하는 데 이 결과를 사용할 수 있는 환경을 조성하는 것이다.

각주

1. 전환 및 교체는 대체뿐 아니라 교배 혹은 생산 시스템 변화로 인한 가축 소멸 등을 통해 발생할 수 있다.

2. 이것은 반구조적(半構造的) 인터뷰, 직접적인 관찰, 목록, 시각표, 계절 달력, 부(富)의 등급, 선호도 등급, 페어와이즈 등급 등을 포함하였다. 이렇듯 선택된 수단은 핵심 정보제공자(예: 지역 돼지 육종가, 정육점, 소비자, 가축 협회 직원)와 함께 중심 그룹, 농가, 상업적 농지, 시장 수준에 적용되며, 12개월 이상 선택된 농가를 관찰함으로써 종적으로 적용되었다.

3. 비슷하게 Signorello와 Pappalardo(2003)은 이탈리아 펜토스 말의 보존에 대한 거대한 순이익을 확인하였으며, 이는 산발적인 결과가 아님을 주장하였다.

4. 게다가, 더 크고 더 유복한 농가에서조차 교배를 외래종보다 선호한다. 그러므로 교배에 사용할 수 있는 순수 혈통을 유지하는 방법에 대한 문제가 남아있다.

참고 문헌

- Ayalew, W., J. King, E. Bruns, and B. Rischkowsky. 2003. Economic evaluation of smallholder subsistence livestock production: Lessons from an Ethiopian goat development program. *Ecological Economics* 45(3):331–339.
- Brush, S. and E. Meng. 1996. *Farmers' Valuation and Conservation of Crop Genetic Resources*. Paper prepared for the Symposium on the Economics of Valuation and Conservation of Genetic Resources for Agriculture, Centre for International Studies on Economic Growth, Tor Vergata University, Rome, May 13–15.
- Cicia, G., E. D'Ercole, and D. Marino. 2003. Valuing farm animal genetic resources by means of contingent valuation and a bio-economic model: The case of the Pentro horse. *Ecological Economics* 45(3):445–459.
- Conroy, C. 2003. *Participatory Livestock Research: A Guide*. London: Intermediate Technology Publications.
- Crowards, T. 1998. Safe minimum standards: Costs and opportunities. *Ecological Economics* 25:303–314.
- Drucker, A. G. In press. The role of safe minimum standards in the conservation of livestock biodiversity. *International Journal of Agricultural Sustainability*.
- Drucker, A., V. Gomez, and S. Anderson. 2001. The economic valuation of farm animal genetic resources: A survey of available methods. *Ecological Economics* 36(1):1–18.
- Evenson, R. 1991. Genetic resources: Assessing economic value. In J. Vincent, E. Crawford, and J. Hoehn, eds., *Valuing Environmental Benefits in Developing Economies*. Proceedings of a seminar series held February–May 1990 at Michigan State University, Special Report No. 29.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Undated. *Extensive Pastoral Livestock Systems: Issues and Options for the Future*. Available at www.fao-kyokai.or.jp/edocuments/document2.html.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1999. *The Global Strategy for the Management of Farm Animal Genetic Resources*. Rome: FAO.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2000. *World Watch List for Domestic Animal Diversity*, 3rd ed. Rome: FAO.
- FAO/ILRI (Food and Agriculture Organization of the United Nations/International Livestock Research Institute). 1999. *Economic Valuation of Animal Genetic Resources*. Proceedings of an fao/ilri workshop. Rome, March 15–17. Rome: FAO.
- Hall, S. J. G. and J. Ruane. 1993. Livestock breeds and their conservation: Global review. *Conservation Biology* 7(4):815–825.
- Jabbar, M. and M. Diedhiou. 2003. Does breed matter to cattle farmers and buyers? Evidence from West Africa. *Ecological Economics* 45(3):461–472.
- Livestock in Development. 1999. *Livestock in Poverty- Focused Development*. Crewkerne, UK: Livestock in Development.
- Mendelsohn, R. 2003. The challenge of conserving indigenous domesticated animals. *Ecological Economics* 45(3):501–510.
- Pearce, D. and D. Moran. 1994. *The Economic Value of Biodiversity*. London: Earthscan.
- Peters, M., P. Home, A. Schmidt, F. Holmann, P. C. Kerridge, S. A. Tarawali, R. Schultze-Kraft, C. E. Lascano, P. Argel, W. Stür, S. Fujisaka, K. Müller- Sämman, and C. Wortmann. 2001. *The Role of Forages in Reducing Poverty and Degradation of Natural Resources in Tropical Production Systems*. AgREN Network Paper 117, July. London: ODI.
- Rege, J. E. O. and J. P. Gibson. 2003. Animal genetic resources and economic development: Issues in relation to economic valuation. *Ecological Economics* 45(3):319–330.
- Scarpa, R., A. Drucker, S. Anderson, N. Ferraes- Ehuan, V. Gomez, C. Risopatron, and O. Rubio- Leonel. 2003a. Valuing animal genetic resources in peasant economies: The case of the Box Keken creole pig in Yucatan. *Ecological Economics* 45(3):427–443.
- Scarpa, R., P. Kristjanson, E. Ruto, M. Radeny, A. Drucker, and J. E. O. Rege. 2003b. Valuing indigenous farm animal genetic resources in Africa: A comparison of stated and revealed preference estimates. *Ecological Economics* 45(3):409–426.
- Signorello, G. and G. Pappalardo. 2003. Domestic animal biodiversity conservation: A case study of rural development plans in the European Union. *Ecological Economics*

45(3):487–499.

- Simianer, H., S. Marti, J. Gibson, O. Hanotte, and J. E. O. Rege. 2003. An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize loss of genetic diversity between livestock breeds. *Ecological Economics* 45(3):377–392.
- Smale, M., ed. 2005. *Valuing Crop Biodiversity: On-Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Steglich, M. and K. J. Peters. 2002. *Agro-Pastoralists' Trait Preferences in N'dama Cattle: Participatory Methods to Assess Breeding Objectives*. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, August 19–23, 2002, Montpellier, France.
- Swanson, T. 1997. *Global Action for Biodiversity*. London: Earthscan. Tano, K., M. Faminow, M. Kamuanga, and B. Swallow. 2003. Using conjoint analysis to estimate farmers' preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45(3):393–407.
- Tisdell, C. 2003. Socioeconomic causes of loss of animal diversity genetic: Analysis and assessment. *Ecological Economics* 45(3):365–376.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1995. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Waters- Bayer, A. and W. Bayer. 1994. *Planning with Pastoralists: PRA and More, a Review of Methods Focused on Africa*. Eschborn, Germany: GTZ.
- Weitzman, M. 1993. What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *Quarterly Journal of Economics* February:157–183.

18. 농업생태계에서 생물다양성의 생태적·경제적 역할

M. CERONI, S. LIU, AND R. COSTANZA

토지의 전환 및 집약화의 결과로 생태계가 덜 다양해지면서, 이러한 시스템의 기능과 인간사회에 기여하는 지속적인 서비스 흐름을 제공하는 능력에 대한 우려가 확산되고 있다(Ehrlich and Wilson 1991). 생물다양성 손실이 생태계 기능에 미치는 생태학적 결과를 십 년 이상 조사하여 왔지만, 농업 생물다양성 손실이 농업생태계 기능에 영향을 미치게 된 최근에 와서야 관심이 고조되었다. 집약농업은 수많은 작물 및 가축 품종의 감소에서 토양 생물 공동체 다양성 감소, 수많은 자연 천적의 지역적 소멸에 이르기까지 여러 다양한 차원에서 측정되는 농업 생물다양성의 감소를 확산시켰다.

종이 지역적으로 소멸해가는 때 시간마다, 생태계 효율성과 환경 변화에 반응하는 지역사회 능력의 필연적인 변화로 에너지 및 영양 통로가 소실된다. 단일작물 농업생태계는 기본적으로 가뭄, 홍수, 해충 증가, 침해 종 등과 같은 불안 요소나 시장 변화와 관련한 불확실성에 대한 낮은 탄력성을 나타낸다. 그러므로 비료나 살충제, 제초제, 관개와 같은 형태의 방대한 에너지 투입이 필요하다.

다기능 적이고 지속적인 농업은 생태계 기능 및 과정을 존중하면서, 다른 시스템에 대한 영향력을 줄이면서 생산을 이루는 것이며, 식용 및 섬유 바이오매스 생산 외에도 생태계가 줄 수 있는 모든 서비스를 하도록 기대 되기도 있다. 여기에는 토양 침식 방지, 탄소 격리, 영양 순환, 야생 동물의 피난지, 그리고 정신적, 문화적 즐거움의 제공 등이 포함된다.

생태계 기능성은 1차 생산, 분해, 영양 순환 등과 같은 생태계 과정의 속도 및 크기를 말한다. 생태계 서비스는 인간 복지에 직, 간접적으로 영향을 미치는 기능이다. 잘 확립된 생태계 기능성 척도인 무기물화의 속도, 유기물 생산과 같은 것이 존재함에도 불구하고, 생태학자들이 측정하는 것을 생태계 서비스로 표현하는 것은 어렵다. 생태계 서비스는 인간 중심적인 생태계 속성을 나타내기 때문에, 가치 개념은 본질적으로 이러한 정의의 일부에 포함된다. 이러한 이유로 생태계 서비스는 종종 에너지나 물질 흐름의 생태학적 관점보다는 경제학적 관점에서 측정된다(Costanza et al. 1997 참조). 지역 및 세계 경제가 생태계 서비스에 크게 의존한다 하더라도, 이 점은 상업적 시장에 의해서 기본적으로 무시되어 왔으며 정책 결정에서 거의 무게를 차지하지 못했다.

이러한 사실은 Costanza와 동료들(1997)이 세계적 차원에서 생태계 서비스의 경제학적 가치에 관해 시행한 연구에서 잘 입증된다. 이 연구는 16개 생물군계(사막, 초원, 온대림과 같은 다양한 기후 지역에 잘 적응하는 식물 및 동물 군락) 각각에 대한 생태계 서비스의 경제적 가치평가에 기초하여 지구 생태계 서비스의 총 경제 가치를 평가하였다.

표 18.1. 연간 생태계 서비스의 세계 평균가치 요약(미국 달러/헥타르/년).

Biome	Area (ha × 10 ⁶)	Gas Regulation	Climate Regulation	Disturbance Regulation	Water Regulation	Water Supply	Erosion Control	Soil Formation	Nutrient Cycling	Waste Treatment	Pollination	Biological Control	Habitat or Refugia	Food Production	Raw Materials	Genetic Resources	Recreation Cultural	Total Value per ha*	Total Global Flow Value†	
Marine	36,302																	577	20,949	
Open ocean	33,200	38							118		5		15	0				76	252	8,381
Coastal	3,102		88						3,677		38	8	93	4		82	62	4,052	12,568	
Estuaries	180		567						21,100		78	131	521	25		381	29	22,832	4,110	
Seagrass and algae	200								19,002					2				19,004	3,801	
Coral reefs	62		2,750							58	5	7	220	27	3,008		1	6,075	375	
Shelf	2,660								1,431		39		68	2			70	1,610	4,283	
Terrestrial	15,323																	804	12,319	
Forest	4,855	141	2		2	3	96	10	361	87	2		43	138	16	66	2	969	4,706	
Tropical	1,900	223	5		6	8	243	10	922	87			32	315	41	112	2	2,007	3,813	
Temperate and boreal	2,955	88			0			10		87	4		50	25		36	2	302	894	
Grasslands and rangelands	3,898	7	0		3			29	1		25	23		67	0	2		232	906	
Wetlands	330	133		4,539	15	3,800				4,177			304	256	106	574	881	14,785	4,879	
Tidal marsh and mangroves	165			1,839						6,696			169	466	162	658		9,990	1,648	
Swamps and floodplains	165	165		7,240	30	7,600				1,659			439	47	49	491	1,761	19,580	3,231	
Lakes and rivers	200				5,445	2,171				665				41		230		8,498	1,700	
Deserts	1,925																			
Tundra	743																			
Ice and rock	1,640																			
Crop-land	1,400										14	24		54				92	128	
Urban	332																			
Total	51,625	1,341	684	1,779	1,115	1,692	576	53	17,075	2,277	117	417	124	1,386	721	79	815	3,015	33,268	

출처 : Costanza 등(1997)에서 발췌.

주 : 열 및 행의 함은 \$ x 10⁹/yr 이다. 회색 칸은 발생하지 않거나 무시해도 좋다고 알려져 있는 서비스를 나타낸다. 빈 칸은 사용할 수 있는 정보의 부족을 나타낸다.

* \$/ha/yr 헥타르 당 총 가치

† \$ x 10⁹/yr 세계 총액

이 저자들은 연간 세계 국가총생산과 같은 세계 경제 활동의 평가지표는 세계 각지의 생물 군계가 주는 생태계 서비스의 실질적인 경제적 기여도를 설명하지 못한다는 사실을 발견했다. 세계적인 국가총생산은 연간 약 18조 달러로 측정된 반면, 생태계 서비스의 경제적 가치는 연간 16조 달러에서 54조 달러까지였으며 평균 33조 달러였다(1994년도 미국 달러 기준). 여러 농업 생태계가 생태계 서비스의 총 가치에 기여하는 정도는 이 연구에서는 잘 밝혀지지 않았다. 연간 총 1,280억 달러(총 평가 가치의 0.38%)의 가치를 갖는 농경지는 식품 생산 이외에는 생태계 서비스의 세계적 흐름에 거의 기여하지 않는 듯 하다(표 18.1). 그러나 이러한 결과는 주로 식품 생산 시스템의 생태계 서비스에 관련된 정보가 제한적이기 때문이며, 또한 농경지가 야생생물을 위한 서식지를 제공하지 않으며 가치 있는 휴양 자원이 아니라고 가정한 결과이다. 목초 및 방목장을 포함하면 이들 대부분은 영농 목적의 다양한 목초지로 간주되지만 농지의 연간 생태계 서비스 총 가치는 1조 3백억 달러(총 추정 가치의 3.1%)로 뛰어오른다. 농지 및 목초지, 방목지는 모두 식품 생산에 주로 기여하며(3,360억 달러), 생물학적 방제(1,210억 달러)와 수분(受粉) 작용(1,170 달러)이 그 뒤를 잇는다. 농지 중 목초지 및 방목장이 기여하는 주요 서비스는 폐기물 처리(3,390억 달러)와 침식 방지(1,130억 달러)이다. 이 연구의 방대한 규모와 주요 식물군계를 파악하기 위해 사용한 광범위한 범주를 고려할 때, 이러한 수치는 여러 가지 농지 사용(예: 새우 양식이나 양식업, 침수 지역, 농림업 등)의 역할을 파악하지 못하였고, 불가피하게 농업생태계의 기여를 과소평가하고 있다.

생물다양성은 우리 사회가 의존하는 생태계 서비스를 뒷받침하는 것이다. 그렇지만 농업 생물다양성과 일반적인 생물다양성이 생태계 서비스 가치에 미치는 특정한 경제적 기여도를 평가하는 것은 지극히 어려운 과제이다(Turner 등(2003)과 Smale 2005 참조).

생물다양성의 경제적 가치평가를 위해 생물학적 자원과 생물학적 다양성을 구별할 수 있다(OECD 2002). 생물학적 자원은 유전자나 종(種)과 같이 인간 경제에 직접적인 중요성을 갖는 생태계 요소이다. 생물학적 다양성은 종의 생태학적 상호작용, 생리학적 내성, 공간에서의 구조적 배열, 생태계 기능성을 결정하는 유전적 구조 등의 다양성 원천으로써 인간 사회에 가치를 갖는 것으로 간주된다.

생물다양성의 경제적 가치평가의 중요성은 생물다양성협약(CBD)을 통해 인식되었다. CBD의 당사국총회 결정 IV/10는 "생물다양성과 생물학적 자원의 경제적 가치평가는 잘 조율되고 보정된 동기 부여 조치를 위한 중요한 수단"임을 인식한다.

생물다양성 가치평가에 대한 대부분의 연구들은 특히 식물이나 작물, 동물의 유전자원 또는 약재 및 장식용으로 사용되는 식물 종의 직접적인 사용에 초점을 맞추어, 생물학적 자원의 직접적인 가치(즉, 상업 시장에서 더욱 손쉽게 얻을 수 있는 가치)를 평가하였다(작물 개량에서의 유전자원의 직접적인 가치에 대해서는 Alston 등, 1998; Evenson 와 Gollin 2003의 평론을

참조). 유전자원의 비시장 가치는 가축 유전자원(Drucker, 17장)을 포함한 매우 적은 사례에서 평가되었으며, 가장 최근에는 가정원예의 농업 생물다양성 요소도 포함하였다(Birol 2004; Birol et al. 2004). 종자은행에 보존된 작물 유전자원(Koo et al. 2004)과 농업 작물의 생물학적 다양성(Smale 2005; see also chapter 16)을 평가하는 것에 대한 이 두 가지 연구 자료는 모두 1차 자료를 사용하였으며 최근 출간되었다. 이 연구들은 세부적인 현장 연구에 기초하며 생물학적 다양성의 몇몇 구성 요소 또는 시작점을 평가할 수 있는 개선된 방법들을 가지고 있다.

생물학적 다양성의 대부분의 요소들이 인간 사회에 갖는 경제적 가치, 특히 간접적인 가치에 관한 정보는 거의 존재하지 않는다. 예컨대, 생태계에 있어 종이나 기능성 그룹의 다양성은 영양 순환이나 바이오매스 생산, 바이오매스 생산의 안정성과 같이 우리가 이익을 얻는 사항에 대해서만 이 사회에 가치가 있다. 그러나 지역사회 다양성이 실제로 중요하다는 것을 증명하는 일은 지극히 어려우며, 경제학적 가치평가의 광범위한 목적에 부합할 수 있는 일반적인 생태계 규칙을 확인하는 일은 훨씬 더 어렵다. 본 장에서 우리는 생태계 기능을 측정함으로써 생태계 서비스로 직접 설명할 필요 없이 생태계 서비스의 흐름 방향과 강도를 유용하게 표현할 수 있다는 전제 하에, 다양성과 생태계 기능(주로 농업 시스템 내에서) 간의 관계를 측정할 경험적인 생태학적 연구의 결과를 보고한다. 우리는 농업 생물학적 다양성(생물학적 자원 대신)의 역할에 주로 초점을 맞춘다. 경험적인 생태학적 연구로부터 증거를 제시하는 것과 더불어, 각 항목에서는 경제적 가치평가 정보를 제공하는데 농업생물다양성의 생태학적 지식을 어떻게 적용할 수 있는지를 간단하게 설명한다. 생물다양성과 생태계 서비스에 대한 가치평가 방법은 최근 광범위하게 검토되었기 때문에 (Wilson 1988; Orians et al. 1990; Drucker et al. 2001; Nunes and van den Bergh 2001) 그 방법론적 고찰은 본 토론에서 다루지 않는다. 우리는 지난 십 년간의 생물다양성 및 생태계 기능성에 관한 논문에서 도출한 결과 및 주요 개념을 설명하는 것으로 본 장을 시작한다. 그 후 농업생물다양성이 농업 시스템의 안정성과 탄력성에 어떻게 관여하는지를 논의한다. 또한 야생종을 유지하는 서식지 이질성의 역할을 조사하고, 경관 차원에서 농업생물다양성에 대해 알아본다. 우리는 농업생물다양성과 생태계 서비스 간의 관계를 평가해야 할 연구 필요성을 관찰하고 농업생물다양성의 경제적 가치평가 연구에 대한 예상된 결과로 결론을 내린다.

생산자 및 바이오매스 생산의 다양성

지난 십 년간, 생물다양성과 생태계 기능 사이의 관계에 대한 가장 영향력 있는 경험적 연구는 초원 지대(예: Naeem et al. 1994; Tilman et al. 1996, 2002; Hector et al. 1999)와 수중 미생물 미소(微

小)생태계(Petchey 등의 2002년 연구에서 리뷰)의 식물 종 다양성과 기능 집단 풍부도를 조작한 일련의 실험이었다.

최근 출판 논문들이 생물다양성 기능 연구를 광범위하게 다루기 때문에(Chapin et al. 2000; Loreau et al. 2001, 2002; Kinzig et al. 2002; 9, 10장 참조), 여기서는 핵심 문제들을 간단하게 검토하기만 한다.

많은 경우에 경험적, 이론적 연구는 생물다양성과 생태계 기능성 간의 결합을 확신하였으나, 미미한 것에서 중요한 것, 긍정적인 것에서 부정적인 것에 이르는 여러 관계들이 조사 규모에 따라 다르게 확인되었다(Naeem 2001). 지역 비옥도, 방해 요소, 서식지 규모, 기후(Wardle et al. 1997) 등과 같은 많은 요소들, 영양 집단의 존재 또는 부재(Mulder et al. 1999; Naeem et al. 2000), 종의 기능적 구성(Hooper and Vitousek 1997; Tilman et al. 1997a)은 생물다양성과 생태계 기능 사이의 관계를 결정할 수 있다.

몇몇 연구들은 종 풍부도와 식물 바이오매스 축적 사이에서 중요한 긍정적인 상호관계를 발견하였다(Schmid 등의 2002년 연구에서 리뷰). 이러한 상호관계 이면의 메커니즘은 두 가지 주요 가설(대안적인 설명 역시 논의되고 있기는 하지만)을 둘러싸고 오랫동안 논의되었다(Eviner와 Chapin의 2003년 연구에서 리뷰). Aarssen(1997), Huston(1997), Tilman(1997b) 등은 더욱 다양한 부지에서 흔히 발견되는 1차 생산량의 증가가 표본 추출 효과를 반영했을 수 있다고 주장하였다. 더 많은 종을 가진 지역사회는 본질적으로 특출한 형질을 가진 종을 포함할 가능성이 더 높다. 생태계 기능성에 미치는 다양성 효과에 대한 또 다른 설명은 생태적 지위 상보성(niche complementarity)이다(Naeem et al. 1995; Tilman et al. 1997a). 지역사회의 종 다양성이 더 높으면 생태학적 형질 범위, 결과적으로 사용할 수 있는 생태적 지위의 다양성을 향상시켜 다양한 환경에서 더욱 효과적으로 자원을 사용할 수 있도록 한다. 최근에는 이 논쟁이 증재된 듯 하다(Loreau et al. 2002; Naeem 2002). 생태적 지위 상보성과 표본 추출 효과는 다른 실험 조작 단계에서 다른 역할을 하는 것으로 보인다. 먼저 가장 높은 단작 포장의 생산량과 거의 동일한 생산량에 도달한 최상의 다양성 부지에서, 표본 추출 메커니즘과 양립할만한 빠른 성장 반응이 관찰된다. 2-3년 후 장기 반응은 최고의 다양성 포장이 가장 높은 단작 포장보다 더 높은 생산량을 내며 이러한 패턴은 생태적 지위의 분화로 인한 종간 경쟁으로 설명할 수 있다(Pacala and Tilman 2002).

십 년간의 다양성에 대한 기능적 연구가 창출한 대조적인 결과와 해석 중에서 한 가지 일반적인 결론이 대두된 듯 하다. 그것은 바로 이러한 실험적 지역사회의 기능에서 종의 역할은 매우 다양할 수 있다는 것이다. 핵심종(keystone species)(Paine 1966)이나 생태계 엔지니어(Jones et al. 1994; Wright et al. 2002)의 경우에서처럼, 어떤 종은 생태계의 기능을 유지하는데 필수적일 수 있다. 또 다른 종은 생태학적 기능에서 과다하게 나타날 수 있으며 생태계

기능에 분명한 결과를 나타내지 않고 다른 종과 쉽게 교체될 수도 있다. 이러한 종은 지역적으로 소멸할 것이다(Walker 1992; Gitay et al. 1996; Naeem 1998).

10장에서도 논의한 것처럼, 생물다양성 기능 연구의 제약 중 하나는 이러한 연구들이 자연 또는 심지어 관리된 생태계 조건을 모방하는 것과 거리가 먼, 작고 관리된 구획에서 시행되어 왔다는 것이다. 예를 들면, 기본적으로 사용되는 작물 종의 수가 적고 윤작 주기가 시스템의 시간적 역학을 지배하는 농업 시스템에 대해 이러한 형태의 연구가 암시하는 것을 추측하기는 어렵다.

바이오매스 생산에 대한 효과를 분석하기 위해 농업 시스템의 종 풍부도를 조작한 실험은 거의 없었다. 영국 남부 목초지에 관한 연구 결과는 이미 종의 수가 줄어든 목초지에서의 종 풍부도 회복이 목초 생산에 긍정적인 영향을 끼친다는 것을 보여준다. Bullock과 그 동료들(2001)은 영국 남부 지방의 7곳에서 시행한 목초지 회복 실험에서 종 풍부화 처리를 한 곳의 생산량이 60% 증가하였음을 보고하였다. 각 지역에서는 난괴법 실험에 두 종자를 혼합하였다(6 ± 17 종의 종 빈곤구, 25 ± 41 종의 종 풍부구). 목초 생산량은 두 번째 해부터 종 풍부 처리를 한 곳에서 60%까지 더 높았다(그림 18.1). 모든 지역에서 두 처리를 비교할 때, 종 수의 차이와 목초 생산의 증가량 사이에는 직선회귀 관계가 존재했다. 사료 품질은 두 처리 지역에서 동일했다. 이것은 농민이 생물다양성을 최대화함으로써 재파종 목초지대에서 고품질 목초 생산을 최대화 할 수 있음을 제시한다. 생물다양성을 향상시키려는 모든 노력은 식품 생산을 낮추는 결과를 낳는다는 농민들 사이에 만연한 오해를 생각해 볼 때, 본 연구 결과는 특히 주목할 만하다.

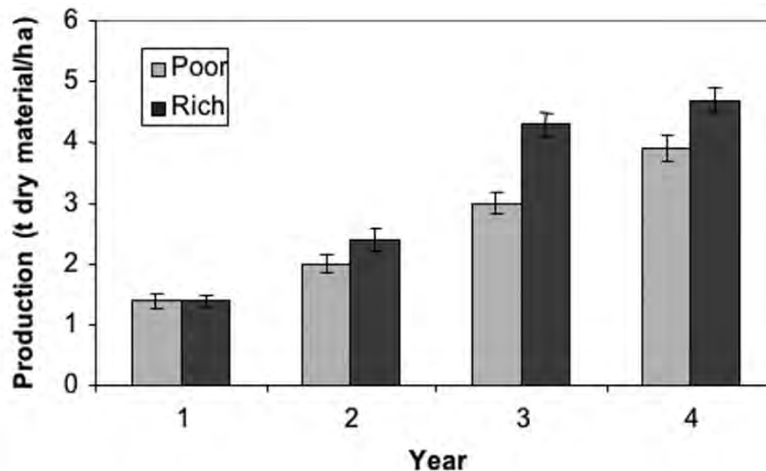


그림 18.1 각기 다른 해의 목초 생산에 대한 생물다양성 처리 효과(처리구 및 지역 평균과 ± 1 표준오차를 나타냄). 종 풍부 처리 지역이 두 번째 해부터 건물 생산이 더 높았다(Bullock 등의 2001년 연구에서 발췌).

본 연구에서 한 가지 표면적인 결점은 높은 다양성의 종자 혼합에 대한 고비용이다. 이러한 추가 비용을 상쇄시키기 위해서는 생산량이 더 크게 증가해야 할 것이다. 관찰된 패턴 이면의 생태학적 메커니즘은 처리구 및 대조구 간의 종 수 차이로 인한 결과로 보이지만, 저자들은 종수와 구성이 독립적으로 변화하지 않기 때문에(Hector et al. 1999) 구성 차이 역시 생산 차이에 기여했을 수 있다고 경고한다.

경제적 고려사항

본 연구 사례에서 종 풍부도가 목초 생산에 미치는 경제적 기여도는 두 개의 다른 풍부도 처리를 했을 때 생산 결과 간 차이로써 직접적으로 평가할 수 있다. 이러한 종류의 가치평가는 목초지 체계에서 식물 다양성을 더 높게 촉진시키기 위한 인센티브 제도를 개발하는 데 사용할 수 있다.

그렇지만 대부분의 경우, 작물 종 풍부도가 질소 순환이나 이산화탄소 조절과 같은 다른 생태계 서비스에 미치는 경제적 기여도를 평가하는 것은 직접적이지 않다. 가장 훌륭한 시나리오의 경우, 농업생물다양성과 생태계 기능 사이의 생태학적 인과 관계를 분명하게 확인했다고 가정하더라도 경제적 평가가 연구 지역의 규모를 넘어서서는 유효성을 거의 갖지 못한다.

다중회귀 모델에 기초한 지역 차원에서 자연 및 준자연 환경의 종 풍부도가 순 1차 생산량과 질소 순환에 미치는 특정 생태학적, 경제적 기여도를 평가하려는 시도가 계속되고 있다 (Costanza et al. 미발행).

소비자 및 분해자의 다양성

대부분의 연구들은 기본적인 생태계 서비스를 제공하는 데 있어 1차 생산자의 다양성 역할에 초점을 맞춰 왔다. 그러나 자연적인 먹이 그물의 더 높은 영양단계로 생산되는 생태계 서비스에 영향을 미치는 요소들에 대해서는 거의 알려진 바가 없다. 19개 식물-초식 동물-포식(捕食) 기생자 먹이 그물에 대한 최근 연구(Montoya et al. 2003)는 먹이 그물 구조의 차이와 초식동물의 풍부도가 천적이 제공하는 서비스를 촉진하여 숙주에 대한 기생물에 영향을 미친다는 것을 보여주었다. 이 연구의 한 가지 주요 결과는 포식 기생자가 복잡한 먹이 그물에서보다 단순한 먹이 그물에서 더 잘 기능한다는 사실이었으며, 이것은 더 복잡하고 다(多)영양적인 생태계를 조사하는 경우 종 풍부도가 본질적으로 더 높은 단계의 생태계 서비스에서 주요 요소가 아니라는 것을 가리킨다.

Brown 등(9장)이 주장한 것처럼 대부분의 결과는 토양에는 종 다양성과 특정 토양 기능 간에 예측할 수 있는 어떠한 관계도 없다는 것을 보여준다. 이것은 토양 종 풍부도의 감소

결과를 예측하는 것을 어렵게 만든다(Mikola and Setälä 1998). 여러 사례에서 토양 생태계 기능은 우점 종의 각 형질과 토양 먹이 그물의 구성요소 간 생물학적 상호작용의 복잡성에 의해 조절되는 듯 보인다(Cragg and Bardgett 2001).

미생물계의 더 높은 기능적 다양성은 자원 이용의 더 높은 효율성과 관련이 있었다. 예를 들어, 중부 유럽의 생물 역학적 영농(biodynamic farming), 유기농업, 전통적 영농 시스템을 21년 간 비교한 연구(Mäder et al. 2002)는 유기농업으로 관리된 토양의 특징인 더욱 다양한 미생물계가 더 낮은 에너지 비용으로 유기물 잔해로부터 바이오매스로 탄소를 변환한다는 것을 보여준다.

경제적 고려사항

한 개별 종의 역할이 주어진 일련의 생태학적 과정의 비율이나 주어진 생태계 서비스의 흐름을 결정하는 시스템에서는, 이 종은 독립적으로 가치를 가질 수 있다. 그러나 이것은 매우 드문 사례이다. 복잡한 생태학적 상호작용으로 인해 보통 특정 생태계 기능을 지원하는 데 있어 특정 종의 역할이나 다양성의 효과 자체를 찾아내는 일은 어렵다. 이러한 이유로 생태경제학자들은 생물다양성이 뒷받침하는 서비스를 평가함으로써 간접적으로 생물다양성의 가치를 평가하는 경향이 있다. 예컨대, Walker와 Young(1986)은 토양 침식이 아이다호 북부와 워싱턴 서부의 Palouse 지역 농업에서 발생한 소득 손실(헥타르 당 10달러에서 15달러 범위)의 원인이 된다고 평가한다. 이러한 평가는 특정 지역 농업생태계의 침식 조절에 책임이 있는 생태학적 기능을 나타내는 집합적 지표이다.

농업생태계에서의 다양성과 탄력성

생물다양성 및 생태계 기능에 관한 대부분의 연구들은 안정된 조건에서 시행되어 왔다. 농업생태계는 기본적으로 농업 방식의 결과로 다양한 정도의 순환적 변화를 겪기 쉬우며 해충의 증가나 가뭄과 같은 예측할 수 없는 사건이 발생하기도 한다. 그러나 다양성과 생태계 기능 사이의 관계는 격변하는 환경에 맞게 변화할 수 있다(13장, 14장 참조).

생태계 서비스와 관련한 생물다양성의 주요 역할은 환경적 변화에 대한 보험이라는 사실에는 일반적으로 동의한다(예: Holling et al. 1995; Perrings 1995). 환경 조건이 우세 종에 불리하게 변화했을 때 다른 종들이 우점종의 기능을 쉽게 대체하여 생태계의 안정성을 유지하고(Yachi and Loreau 1999) 생태계 신뢰도(즉, 주어진 시간 단위에 걸쳐 시스템이 지속적인 역할 수준을 제공할 가능성)를 향상(Naeem and Li 1997)시킬 수 있도록, 기능적으로 유사한

더 많은 수의 종들이 이러한 작용을 보증하고 있다.

예를 들면, 종자 및 과실 결실에 대한 수분 제한은 광범위할 뿐만 아니라(Burd 1994) 가장 중요하게는 수분 매개체 붕괴(Nabhan and Buchmann 1997; Kremen and Ricketts 2000; Cane and Tepedino 2001; 8장 참조)가 계속되고 있기 때문에, 수분 매개체 다양성은 식품 생산 시스템에 필수적이다. Kremen 등(2002)은 수분 매개체 군락의 구성이 매 년 변화하기 때문에, 수분 매개체 다양성이 캘리포니아의 일반농업(유기 농법과 비교)의 수분 서비스를 유지하는 결정 요소라는 사실을 발견하였다.

토양 미생물 군락의 중복은 변화에 대한 토양 탄력성을 유지하는 데 매우 보편적이고 중요한 요소인 듯 하다(9장 참조). 예를 들면, 훈증(fumigation) 기술을 통해 생물 다양성을 실험적으로 감소시키면 가장 다양성이 높은 토양이 그렇지 못한 토양보다 스트레스에 더욱 잘 저항한다는 것을 알 수 있다(Griffiths et al. 2000).

토양 군락이 훨씬 덜 다양한 남극 대륙의 드라이 밸리(Dry Valley)와 같은 극한 지역에서 시행한 연구는 토양 기능의 먹이 그물 복잡성을 설명해주는 유일한 실험 장소를 제공한다. 기껏해야 세 종으로 구성된 이 지역의 선충류는 기본적으로 중복성이 부족하며 특히 환경 변화에 민감하다(Freckman and Virginia 1997).

유전적 차원의 농업생물다양성 역시 변화하는 환경 조건에 직면해서 보험적 가치를 제공한다. 2장에서 6장까지는 작물 및 가축의 바람직한 유전 형질에 관한 소재를 제공함으로써, 식품 생산 시스템에서 유전적 다양성이 어떻게 적응성과 진화를 책임지는지에 관한 경험적 증거를 설명한다. 15장에서 Johns는 농업 다양성과 그 관리에 내재된 지식이 식단 다양성과 인간 건강에 얼마나 중요한지를 설명한다.

기능성이 크게 변하기 전에 더 높은 수준의 변화를 흡수할 수 있는 능력을 갖춘 생태계(즉 생태학적으로 더욱 탄력적인 생태계, Senu Holling 1973)는 더욱 지속적으로 생태계 서비스를 제공할 수 있다. 정도가 다른 해충 저항성을 갖춘 품종을 혼합 파종하는 것은 병원균과 싸우기 위한 성공적인 전략임이 증명되었다(11, 12장 참조, Zhu et al. 2002).

산업적 단작의 탄력성은 화학 비료나 살충제, 화석 연료와 같은 외부 투입물을 사용해 달성한다. 12, 13, 14, 16, 17장에서 언급했듯이, 덜 집약적인 시스템에서 농업 생물다양성은 예측할 수 없는 환경적 변화와 시장 변화에 완충 역할을 할 수 있다. 몇몇 과학자들은 관리된 시스템에서 생태학적, 사회학적 탄력성의 확고한 관계를 인식할 것을 주장하였다(Scoones 1999; Folke et al. 2003; Milestad and Hadatsch 2003). 사실 시스템은 생태학적으로 탄력적이지만 사회학적으로는 취약하거나, 사회학적으로 탄력적이지만 환경적으로는 수준이 떨어질 수 있다(Folke et al. 2003). 농업 시스템은 복잡한 적응성 시스템으로써 작용하는 사회-생태학적 시스템으로 간주할 수 있으며, 이 시스템 내에서 관리자들은 시스템의 필수 요소가 된다

(Conway 1987). 13장에서 농업생물다양성, 관리 다양성 및 생물물리학적 다양성을 조직적 다양성과 서로 관련시키기 위해 농업다양성이라는 용어를 사용하였다. 자연적 변화와 시장 변화에 탄력적이기 위해서 농업생태계는 방해 요소를 견뎌야 하며 변화 후 재조직될 수 있으며 변화에 직면하여 학습하고 적응할 능력이 있어야 한다(Walker et al. 2002). Resilience Alliance의 대변인은 탄력성은 "시스템이 외부 스트레스나 방해 요소와 직면하여 원치 않던 시스템 형태로 변화하는 것을 방지"하고 "시스템이 큰 변화에 이어 자체적으로 갱신되고 재조직 될 수 있도록 하는 요소들을 양성하고 보존"하도록 관리될 수 있고 관리해야만 하는 어떤 것이라고 주장한다(Walker et al. 2002). 생태학적 요소와 인간의 능력은 모두 탄력성 관리에서 중요한 역할을 할 수 있다. 예를 들면, 농업 생물다양성의 보험 가치는 생태계 탄력성을 보호하는 측면에서 그 역할이 잘 알려져 있다(Heywood 1995). 게다가 높은 수준의 사회적, 인간적 자산을 가지고 있는 농업 시스템은 불확실성과 직면하여 혁신을 꾀하는 능력이 더욱 뛰어나며 더욱 탄력적이다(Pretty and Ward 2001).

경제적 고려사항

생물다양성의 보험 가치를 확인하고 측정하는 것은 전혀 사소한 문제가 아니다. 예컨대, 주어진 시스템에서 탄력성을 보존하기 위해서는 어떠한 프리미엄을 지불해야 하는가? 한 가지 옵션은 비탄력적인 시스템을 유지하는 비용을 고려하는 것이다. 농업생태계에서 이 프리미엄은 살충제나 화학비료의 비용을 포함해 외부 투입물을 사용하여 집약적 농업 방식을 유지하는 총 비용과 동일할 것이다. 본 장의 앞 부분과 8장에서 언급했듯이, 수분 매개체 다양성은 수분 매개체 감소에 직면한 생산 시스템의 탄력성을 유지하기 위해 필요하다. Southwick과 Southwick(1992)은 62종의 미국 작물 각각에 대해 어떤 야생 수분 매개체가 꿀벌 기능(이들 모델에서 예측한 정도까지 감소하는 경우)을 대체할 수 있을지를 산출하였다. 야생 수분 매개체를 통해 대체할 수 없는 경우, 알팔파(콩과 목초, alfalfa) 생산량은 총 생산의 70%가 손실된 것으로 측정되었으며 이는 연간 3억 1,500만 달러에 해당하는 것이다.

종 및 유전적 다양성의 보호기능을 보존 및 향상하는 것은 식품 및 섬유 생산과 같은 인간 복지와 관련된 다른 기능들에 대한 비용과 함께 나타날 수 있다. 예컨대, Heisey 등(1997)은 생산량 손실과 관련하여 파키스탄 밀 품종을 유전적으로 더욱 다양한 포트폴리오로 전환시키는 것에 연간 수천만 달러를 할당했다. Widawsky, Rozelle(1998), Di Falco와 Perrings (2003), Meng 등(2003), Smale 등(1998)은 작물 시스템 상황에 따른 작물 품종 다양성, 작물 생산성, 생산량 가변성 간의 긍정적, 부정적 관계를 발견했다. 식품 생산 시스템에서 유전적 다양성의

보호 가치는 적어도 몇몇 사례에서 평가되어 온 반면(예: Drucker 등이 유전자원에 대한 보존 프로그램 비용을 분석한 2001년 연구 참조), 작물 종, 토양 미생물, 천적 등이 제공하는 표현 형질 및 기능의 다양화 된 포트폴리오에 대한 보호 가치를 평가한 연구는 전혀 없다. 보호 가치를 결정하는 것의 난점은 이러한 서비스의 무형적 속성과 향후 편익에 대한 적절한 측정이 불가능한 것과 관련이 있다. 게다가 가치평가 연구의 결과는 감지된 붕괴 위험 수준에 따라 다양할 수 있다.

농업 환경 및 경관의 다양성

많은 연구 결과 농업 경관의 다양성이 초식 곤충과 천적 집단에 영향을 미쳐 해충에 의한 생산량 손실을 감소시킬 수 있음을 보여준다(Andow 1991 리뷰 참조). 예를 들면, 더욱 건강한 딱정벌레 (포식자) 집단은 더욱 불균질한 농업 시스템(perimeter-to-area(P/A) 비로 불균질성 측정)과 작물 종 다양성이 더 많은 시스템에서 발견할 수 있다(Ostman et al. 2001).

농업 경관에서 다년생 작물과 일년생 작물의 구성 및 공간적 배치 역시 장기적인 포식자 집단의 역학에 매우 중요할 수 있다(Bommarco 1998; Thies and Tschardtke 1999).

또 다른 사례에서 복합재배는 단작과 비교했을 때 천적 집단에 대한 어떠한 이점도 제공하지 않는 듯 하다(Tonhasca and Stinner 1991).

인위적으로 조작한 경관구조와 식생 다양성의 실험에서 일치되지 않는 결과는 식생 실험 부지의 면적의 크기가 다른 데서 기인한 변이를 반영했을 수 있다. 18년 간에 걸친 이 분야의 논문 결과를 종합적으로 분석해 보면, 소규모 부지에서 시행한 실험에서 공간적 불균질성은 초식 곤충에게 커다란 부정적인 영향을 미치는 경향이 있으며 중간 규모 부지는 중간 효과, 가장 큰 부지는 사소한 효과를 나타내는 것을 알 수 있다(Bommarco and Banks 2003).

경관 다양성과 종 다양성 간의 관계에서 일반적인 패턴을 발견하는 것은 다양한 분류군(taxa)에 걸친 다양성을 조사할 때 훨씬 더 복잡하다(Tews et al. 2004과 포함된 참고자료, 13, 14장 참조). 이러한 관계는 특히 적어도 세 가지 요소, 즉 연구한 종 집단, 경관 다양성의 측정, 시간적/공간적 규모에 의존한다.

더욱 다양한 농업 경관은 천적뿐 아니라 수분 서비스를 향상시킬 수 있는 수분 매개체에게 중요한 서식지를 제공한다(8장 참조). 농업 경관 구조가 벌에게 미치는 영향에 대한 연구는 단생(單生) 야생벌의 종과 개체의 풍부도가 경관 다양성 지표인 준자연적 서식지 비율과 긍정적으로 상호 연관된다는 사실을 발견하였다(Steffan-Dewenter et al. 2002). 이러한 상관 관계는 면적 규모와 종 집단에 의해 좌우되었다. 예를 들어, 단생 야생벌이 소면적에서 경관 복잡성

에 반응한 반면, 꿀벌은 대면적에서만 경관의 구조적 특징과 상호 관련이 있었다. 또 다른 사례에서는 적절히 침입할 수 있는 서식지의 이용 가능성이 수분 매개체의 종 풍부도를 결정하는 데 있어 경관의 불균질성보다 더욱 중요하다(Steffan- Dewenter 2003).

조류와 포유류 종 풍부도 역시 농업 경관 다양성에 의해 향상될 수 있다. 최근 조사(Benton et al. 2003)는 서식지 불균질성이 개별 농지에서 전체 경관에 이르는 농지 생물다양성에 중요하다라는 충분한 증거를 제시한다. 예를 들면, 씨앗을 먹는 조류는 순수한 초원지대 경관보다는 작은 가경지를 포함한 목축 지역에서 더 많이 발견되는 듯 하다(Robinson et al. 2001). 몇몇 조류 종은 유럽(Pain and Pienkowski 1997)이나 중앙 아메리카(Daily et al. 2001)에서와 같이 아프리카의 농업 시스템이 제공하는 개방형 서식지에 특히 의존한다(Söderström et al. 2003).

농림업 부지는 본래의 수림 부지와 유사하거나 더 많은 다양한 야생종의 거처가 될 수 있다. 예컨대, Ricketts 등(2001)은 커피 단작, 그늘에서 기르는 커피, 목초지, 혼합 농지로 구성된 농업 구획과 산림 간에 나방 종의 풍부도가 크게 차이 나지 않음을 발견하였다. 다양한 사례에서 자연적인 시스템을 흉내 내기 위해 설계한 복합재배 커피 플랜테이션은 인접한 자연 수림 구획과 동일하거나 더 많은 종 풍부도를 보여준다(그림18.2)(Perfecto et al. 1997; Daily et al. 2003). 농림업에서의 종 다양성은 산림 구획과의 거리가 증가함에 따라 감소할 수 있다(Ricketts et al. 2001; Armbrecht and Perfecto 2003). 그러나 이 결과는 연구마다 서로 일치하지 않는다(예: Daily et al.. 2003). 중앙아메리카와 남아메리카에서는 콩과, 과실, 화목, 사료용 수목을 포함한 그늘 재배 커피 플랜테이션이 부지 당 100종 이상의 식물을 포함하며 180여 종의 조류를 유지시켜준다는 사실이 보고되었다(Michon and de Foresta 1990; Altieri 1991; Thrupp 1997).

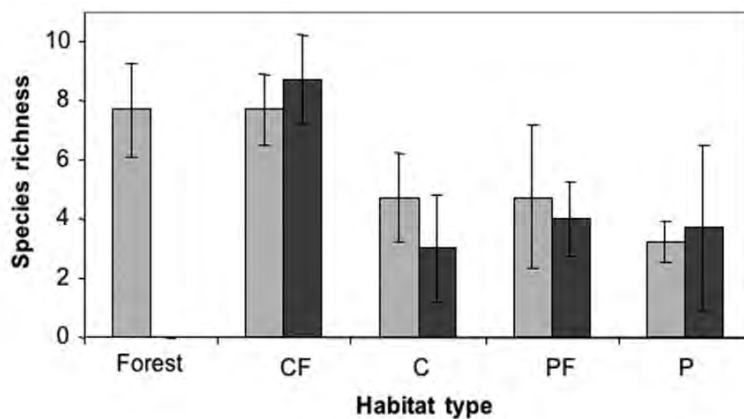


그림 18.2. 서식지 유형 및 광범위한 수림 구획으로부터의 거리등급에 의한 포유류 종 풍부도(평균 \pm I 표준오차). 회색 막대는 수림 안이나 인접한(<1km) 지역을 나타내며, 검은색 막대는 수림에서 멀리 떨어진(5-7km) 지역을 나타낸다. 종 풍부도는 특히 서식지 유형 간에 유의하게 다르지만 넓은 수림으로부터의 거리에 따라서는 크게 다르지 않았다. 커피 플랜테이션과 인접한 소규모 수림 잔여지(CF)는 종 풍부도 면에서 아주 넓은 수림과 다르지 않았으며, 커피 플랜테이션(C), 인접한 곳에 수림 잔여지가 있는 목초지(PF), 목초지(P)보다 더욱 풍부했다(Daily 등의 2003년 연구에서 발췌).

비경작 지역(예: 수변 완충지대, 방풍지대, 경계 식물)과 개량된 휴경지, 수목 식생은 잡초, 곤충, 절지동물, 조류의 생물다양성을 유지하는 데 중요한 역할을 한다(Benton et al. 2003 and references therein; McNeely and Scherr 2003). 야생 생물다양성을 위한 서식지를 제공하는 관목 줄(산울타리)과 수목 식생은 토양 안정화 처리와 토양 침식 조절, 탄소 격리 등과 같은 다른 생태계 서비스를 향상시킬 수 있다.

경제적 고려 사항

일단 농업 서식지 다양성과 야생 종 다양성 간의 강한 결속 관계를 기록한 후에는, 생물학적으로 더 풍부한 환경을 조성하는 데 드는 비용을 통해 야생 서식지 보호를 위한 농업생물다양성의 가치를 평가할 수 있다. 대안적으로 농업생물다양성이 제공하는 서식지의 다양성을 보호하는 비용을 평가할 수 있다. 예를 들어, 네덜란드 시민들은 네덜란드 목초 지역의 야생 서식지를 향상시킬 관리 방식에 자금을 제공하기 위해 가구당 연간 16~45 길더(2003년 미국 달러로 \$10.80~\$30.35에 해당함)를 흔쾌히 지불하였다(Nunes, van den Bergh 2001 인용).

농업 생물다양성의 오락적, 문화적 역할

다양한 농경지 사용은 지역 사회 경제에 긍정적인 영향을 끼칩니다. 동시에 아름다운 풍경을 조성할 수 있다. 예를 들면, 미학적 속성은 조경의 불균질성과 관련이 있다고 알려져 있다(Stein et al. 1999). 이탈리아의 토스카나 지역은 지역사회 전체가 포도원, 밀 밭, 목초지, 과수원, 올리브 나무 경작지에 이르는 다양한 농경지에 기초한 농촌 관광 사업으로 혜택을 보고 있다. 이와 비슷하게 포르투갈 남부 Alentejo 지역에 있는 Montado는 매우 다양한 농업 조경을 자랑한다. 코르크 나무와 헬름 나무가 다양한 밀도로 재배되며, 윤작지와 휴경지, 목초지와 결합하여 자연적, 풍경적, 휴양적 가치를 제공한다(Pinto-Correia 2000). 농업적으로 풍부한 지역의 또 다른 예는 쿠바의 Pinar del Rio 지방으로, 건전한 농업관광 산업이 농경지와 통합 담배 재배 지역, 사탕수수 재배지역, 과수 등이 모자이크 형태로 산재한 다양한 자연적 명소에 의존한다(Honey 1999). 여러 유럽 국가들과 미국의 주들은 농업 경관의 전통적인 특징을 보존하기 위한 정책을 세우고 있다. 예컨대, 스위스는 산간 지역의 농민들이 농경지와 자연 서식지를 적절히 혼용하여 유지할 수 있도록 보조금을 지급한다. 이것은 이러한 불균질한 시스템의 오락적 가치 때문이다(McNeely and Sherr 2003). 미국의 토지신탁과 같은 보존 조직들은 오락 활동과 문화적 향연의 원천으로 인식되는 농업 경관의 전원적인 다용도 특성을 유지하기 위한 한 방법으로 종종 개발권을 구매한다.

농업 다양성은 전통적인 영양 성분, 식품의 다양성, 오래된 지식에서 파생한 비물질적인 웰빙의 중요한 원천이다(15장). 소규모 영농에서 식물 및 동물 다양성은 종종 개인적인 향연이나 가족, 씨족의 전통 실행, 정신적 육구 만족 등의 용도로 사용될 수 있다. 예를 들어, 세계 각 지역에서 순화된 식물과 가축의 품종은 수 세기 동안 직물이나 다른 공예에서 예술적 표현을 위한 소재를 제공해 왔다. 또 다른 예로 정원은 식품 생산뿐만 아니라 마음 속의 장식적, 미학적 가치를 위해서도 경작되었다(Kumar and Nair 2004).

경제적 고려 사항

오락 목적의 경관 농업 다양성이 갖는 가치는 아직 종합적으로 평가되지 않았다. 그러나 다양하게 농지를 사용하고 있는 지역에서 오락적 지출에 관한 자료는 풍부하다(예: Fleischer와 Tsur 2000). 대안으로 농업 경관 불균질성의 가치는 방문객들이 경관 보존에 부여하는 경제적 가치를 측정하는 조사를 통해 평가할 수 있을 것이다. 예컨대, Drake(1992)는 스웨덴 사람들이 산림으로 전환하는 것에 반대해 농경지를 보존하기 위해 연간 헥타르 당 130달러를 흔쾌히 지불한다는 사실을 발견하였다. 그 가치는 스웨덴 대부분 지역의 농산물에서 얻는 이익보다 더 높았다.

생태학자들은 생태계 기능(1차 생산에 대한 바이오매스 또는 질소 순환에 대한 무기물화 비율)의 측정 수단을 확인한 반면, 농업 다양성과 관련한 사회적 기능의 측정 수단으로써 사용할 수 있는 해당 수치는 전혀 없다. 많은 농촌 사회에서 특정 식물 종의 문화적 가치는 재정적 수단의 개념을 넘어선다, 이러한 식물 사용에 대한 본질적 가치는 측정할 수 없다는 주장이 있을 수 있다. 이것은 생물다양성 서비스의 재정적 가치평가가 부적절할 때의 경우이다. 이러한 종류의 기여도를 위해 정책 및 의사결정과 관련한 대안적 가치평가 방법을 개발해야 한다. 이러한 방향의 첫 번째 단계는 이탈리아 가축 다양성의 역사적, 문화적 가치를 평가한 최근 연구에서 잘 나타난다(Gandini and Villa 2003). 저자들은 민속, 요리, 수공예, 지역 전통의 유지와 관련한 가치에 기초하여 9종의 지역 축우 품종을 질적으로 평가하였다.

결론

농업 생물다양성이 제공하는 서비스는 식량 지원 시스템의 기능에 매우 필수적이다. 이러한 서비스는 인간 복지에 직, 간접적으로 기여하기 때문에, 지구상의 총 경제가치의 일부라고 할 수 있다.

농업 생물다양성의 관리는 식품 생산을 향상시킬 수 있는 방법을 제공하며 동시에 다른 생태계 서비스에도 긍정적으로 영향을 끼칠 수 있다는 사실에는 일반적으로 동의한다. 다가

적이고 지속적인 농업은 생태계 서비스의 흐름을 더 많이 생산할 것으로 기대하지만, 이러한 기여도와 경제적 가치의 정도는 아직 정량화되지 않았다.

다기능 농업 시스템에 대한 연구로부터 얻은 긍정적 결과는 종종 간과된다. 이러한 결과는 일반적으로 소규모 농지에서 얻으며 기록하기가 어렵기 때문이다. 그럼에도 불구하고 소규모 영농은 세계의 많은 지역에서 우세한 영농 형태이며, 새로운 농업 기술이 나타날 수 있는 투자가 거의 없는 변두리 지역에서 계속 남아있을 것으로 예상된다(Wood et al. 2000). 농업생물다양성과 생태계 기능, 서비스 간 관계를 더욱 결정적으로 이해하게 된다면 대안적 실험 모델을 확인하는 것이 중요하게 될 것이다. 예를 들면, 중국 운난성에서 벼 품종을 혼합하여 사용하는 것과 마찬가지로 강한 정치적 의지가 있으며, 관여한 농민에 대한 경제적 혜택이 분명한 곳에서는 농업의 대규모 실험(수백 명의 소규모 농민 포함)이 이루어질 수 있다는 것이 잘 이해된다(Zhu와 그 동료, 12장).

그러나 토지의 농업생물다양성을 유지하기 위해 새로운 방식을 실험하거나 적용하는 데 있어 소규모 농민들이 얻는 이익은 즉시 나타나지 않을 수 있다. 특히 시장에서 농업생물다양성의 가치를 직접적으로 추적 할 수 없을 경우에 그러하다(16장). 이러한 가치에는 위험 및 불확실성에 대한 보험 가치, 관련 있는 생태계 서비스 가치, 문화 및 심미적 기능이 포함된다. 이러한 가치를 총체적으로 평가하는 것(생태학적 평가뿐만 아니라 재정적 평가도 포함)은 의사 결정자들이 농업생물다양성을 적극적으로 보호, 유지하기 위한 프로그램에 투자할 수 있도록 조장하는 핵심 요소이다. 특히 농업생물다양성의 비시장적 이익에 대한 경제적 가치평가는 농민들이 농업생물다양성에는 이로울 수 있으나 경제적으로는 실용적이지 않을 수 있는 혁신적인 재배 방식을 도입하도록 하는 장려 수단을 확인하는 데 사용할 수 있다.

일반적으로 말하면, 농업생물다양성과 생태계 기능 간 관계를 더 잘 이해하고, 대체할 수 없는 기능을 확인함으로써 현 가치평가 방법을 뒷받침해야 한다는 것이다.

최근 생태계 서비스 가치평가 분야의 발전은 관리를 수월하게 계획하고 보존 대상지역을 확인하는 가치 있는 시각화 도구로써 지리 정보 시스템에 기초하여 가치평가 자료를 공간적으로 표현하여 보여준다. 예를 들어, 매사추세츠 Audubon 학회가 시행한 연구에서, 연구자 M. Wilson과 A. Troy는 유역 차원에서 생태계 서비스의 비시장적 가치를 시각화 할 수 있었다(Breunig 2003).

지금까지 지역 규모로 시행한 가치평가 연구는 다양한 농지 사용 간에 차이가 없으며, 농업생태계가 제공하는 생태계 서비스의 경제적 가치를 더 큰 규모로 평가하는 것을 어렵게 한다.

정보를 제공하거나 정책을 재입안할 때 사용하는 농업 생물다양성의 경제적 가치평가 연구는 항상 암시적 평가로 간주되어야 하며, 여러 수준의 생태학적 유기조직에서 다양성의 실제 기여도에 관한 불확실성을 인식해야 한다.

참고 문헌

- Aarssen, L. W. 1997. High productivity in grassland ecosystems: Effected by species diversity or productive species? *Oikos* 80:183–184.
- Alston, J. M., G. W. Norton, and P. G. Pardey. 1998. *Science Under Scarcity: Principles and Practice for Agricultural Research Evaluation and Priority Setting*. Wallingford, UK: CAB International.
- Altieri, M. A. 1991. How best can we use biodiversity in agroecosystems? *Outlook on Agriculture* 20:15–23.
- Andow, D. A. 1991. Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36:561–586.
- Ambrecht, I. and I. Perfecto. 2003. Litter- twig dwelling ant species richness and predation potential within a forest fragment and neighboring coffee plantations of contrasting habitat quality in Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 97:107–115.
- Benton, T. G., J. A. Vickery, and J. D. Wilson. 2003. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology and Evolution* 18:182–188.
- Birol, E. 2004. *Valuing Agricultural Biodiversity on Home Gardens in Hungary: An Application of Stated and Revealed Preference Methods*. PhD thesis, University College London, University of London.
- Birol, E., M. Smale, and Á. Gyovai. 2004. *Agri-environmental Policies in a Transitional Economy: The Value of Agricultural Biodiversity in Hungarian Home Gardens*. Environment and Production Technology Division Discussion Paper No. 117. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.
- Bommarco, R. 1998. Reproduction and energy reserves of a predatory carabid beetle relative to agroecosystem complexity. *Ecological Applications* 8:846–853.
- Bommarco, R. and J. E. Banks. 2003. Scale as modifier in vegetation diversity experiments: Effects on herbivores and predators. *Oikos* 102:440–448.
- Breunig, K. 2003. *Losing Ground: At What Cost? Changes in Land Uses and Their Impact on Habitat, Biodiversity, and Ecosystem Services in Massachusetts*. Lincoln:

Massachusetts Audubon Summary Report.

- Bullock, J. M., R. F. Pywell, M. J. W. Burke, and K. J. Walker. 2001. Restoration of biodiversity enhances agricultural production. *Ecology Letters* 4:185–189.
- Burd, M. 1994. Bateman's principle and plant reproduction: The role of pollen limitation in fruit and seed set. *Botanical Review* 60:81–109.
- Cane, J. H. and V. J. Tepedino. 2001. Causes and extent of declines among native North American invertebrate pollinators: Detection, evidence, and consequences. *Conservation Ecology* 5:1. Available at www.consecol.org/vol5/iss1/art1.
- Chapin, F. S. III, E. S. Zavaleta, V. T. Eviner, R. L. Naylor, P. M. Vitousek, H. L. Reynolds, D. U. Hooper, S. Lavorel, O. E. Sala, S. E. Hobbie, M. C. Mack, and S. Diaz. 2000. Consequences of changing biodiversity. *Nature* 405:234–242.
- Conway, G. 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24:95–117.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, S. Naeem, K. Limburg, J. Paruelo, R. V. O'Neill, R. Raskin, P. Sutton, and M. Van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253–260.
- Cragg, R. G. and R. D. Bardgett. 2001. How changes in soil faunal diversity and composition within a trophic group influence decomposition processes. *Soil Biology and Biochemistry* 33:2073–2081.
- Daily, G. C., G. Ceballos, J. Pacheco, G. Suzan, and A. Sanchez- Azofeifa. 2003. Countryside biogeography of neotropical mammals: Conservation opportunities in agricultural landscapes of Costa Rica. *Conservation Biology* 17:1814–1826.
- Daily, G. C., P. E. Ehrlich, and G. A. Sanchez- Azofeifa. 2001. Countryside biogeography: Use of human- dominated habitats by the avifauna of southern Costa Rica. *Ecological Applications* 11:1–13.
- Di Falco, S. and C. Perrings. 2003. Crop genetic diversity, productivity and stability of agroecosystems. A theoretical and empirical investigation. *Scottish Journal of Political Economy* 50:207–216.
- Drake, L. 1992. The non- market value of the Swedish agricultural landscape. *Europe an*

- Review of Agricultural Economics* 19:351–364.
- Drucker, A., V. Gomez, and S. Anderson. 2001. The economic valuation of farm animal genetic resources: A survey of available methods. *Ecological Economics* 36:1–18.
- Ehrlich, P. R. and E. O. Wilson. 1991. Biodiversity studies: Science and policy. *Science* 253:758–762.
- Evenson, R. E. and D. Gollin. 2003. Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* 300:758–762.
- Eviner, V. T. and F. S. Chapin III. 2003. Biogeochemical interactions and biodiversity. In J. M. Melillo, C. B. Field, and B. Moldan, eds., *Interactions of the Major Biogeochemical Cycles. Global Change and Human Impacts*, 151–173. Washington, DC: Island Press.
- Fleischer, A. and Y. Tsur. 2000. Measuring the recreational value of agricultural landscape. *European Review of Agricultural Economics* 27:385–398.
- Folke, C., J. Colding, and F. Berkes. 2003. Synthesis: Building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems. In F. Berkes, J. Colding, and C. Folke, eds., *Navigating Social- Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*, 352–387. Cambridge, uk: Cambridge University Press.
- Freckman, D. W. and R. A. Virginia. 1997. Low- diversity Antarctic soil nematode communities: Distribution and response to disturbance. *Ecology* 78:363–369.
- Gandini, G. C. and E. Villa. 2003. Analysis of the cultural value of local livestock breeds: A methodology. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 120:1–11.
- Gitay, H., J. B. Wilson, and W. G. Lee. 1996. Species redundancy: A redundant concept? *Journal of Ecology* 84:121–124.
- Griffiths, B. S., K. Ritz, R. D. Bardgett, R. Cook, S. Christensen, F. Ekelund, S. J. Sorensen, E. Baath, J. Bloem, P. C. de Ruiter, J. Dolfing, and B. Nicolardot. 2000. Ecosystem response of pasture soil communities to fumigation- induced microbial diversity reductions: An examination of the biodiversity–ecosystem function relationship. *Oikos* 90:279–294.
- Hector, A., B. Schmid, C. Beierkuhnlein, M. C. Caldiera, M. Diemer, P. G.

- Dimitrakopoulos, J. A. Finn, H. Freitas, P. S. Giller, J. Good, R. Harris, P. Higberg, K. Huss- Danell, J. Joshi, A. Jumpponen, C. Korner, P. W. Leadly, M. Loreau, A. Minns, C. P. H. Mulder, G. O. O'Donovan, S. J. Otway, J. S. Pereira, A. Prinz, D. J. Read, M. Scherer- Lorenzen, E.- D. Schulze, A.- S. Siamantziouras, D. E. M. Spehn, A. C. Terry, A. Y. Troumbis, F. I. Woodward, S. Yachi, and J. H. Lawton. 1999. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science* 286:1123–1127.
- Heisey, P., M. Smale, D. Byerlee, and E. Souza. 1997. Wheat rusts and the cost of genetic diversity in the Punjab of Pakistan. *American Journal of Agricultural Economics* 79:727–737.
- Heywood, V. H. 1995. *Global Biodiversity Assessment*. United Nations Environmental Programme (UNEP). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Holling, C. S. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:1–23.
- Holling, C. S., D. S. Schindler, B. W. Walker, and J. Roughgarden. 1995. Biodiversity in the functioning of *ecosystems*: An ecological synthesis. In C. Perrings, K.- G. Mäler, C. Folke, C. S. Holling, and B.- O. Jansson, eds., *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues*, 44–83. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Honey, M. 1999. *Ecotourism and Sustainable Development: Who Owns the Paradise?* Washington, DC: Island Press.
- Hooper, D. U. and P. M. Vitousek. 1997. The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277:1302–1305.
- Huston, M. A. 1997. Hidden treatments in ecological experiments: Re-evaluating the ecosystem function of biodiversity. *Oecologia* 110:449–460.
- Jones, C. G., J. H. Lawton, and M. Shachak. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373–386.
- Kinzig, A. P., D. Pimentel, and D. Tilman, eds. 2002. *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

- Koo, B., P. G. Pardey, and B. D. Wright. 2004. *Saving Seeds: The Economics of Conserving Crop Genetic Resources Ex Situ in the Future Harvest Centres of the CGIAR*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Kremen, C. and T. Ricketts. 2000. Global perspectives on pollination disruptions. *Conservation Biology* 14:1226–1228.
- Kremen, C., N. M. Williams, and R. W. Thorp. 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:16812–16816.
- Kumar, B. M. and P. K. R. Nair. 2004. The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61:135–152.
- Loreau, M., S. Naeem, and P. Inchausti, eds. 2002. *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Loreau, M., S. Naeem, P. Inchausti, J. Bengtsson, J. P. Grime, A. Hector, D. U. Hooper, M. A. Huston, D. Raffaelli, B. Schmid, D. Tilman, and D. A. Wardle. 2001. Ecology—Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science* 294:804–808.
- Mäder, P., A. Fließbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296:1694–1697.
- McNeely, J. A. and S. J. Scherr. 2003. *Ecoagriculture: Strategies to Feed the World and Save Biodiversity*. Washington, DC: Island Press.
- Meng, E. C. H., M. Smale, S. Rozelle, H. Ruifa, and J. Huang. 2003. Wheat genetic diversity in China: Measurement and cost. In S. Rozelle and D. A. Sumner, eds., *Agricultural Trade and Policy in China: Issues, Analysis and Implications*. Burlington, VT: Ashgate.
- Michon, G. and H. de Foresta. 1990. Complex agroforestry systems and the conservation of biological diversity. Agroforests in Indonesia: The link between two worlds. In *Proceedings of the International Conference on Tropical Biodiversity*, Kuala Lumpur, Malaysia. Kuala Lumpur: United Selangor Press.
- Mikola, J. and H. Setälä. 1998. No evidence of trophic cascades in experimental microbial-based soil food web. *Ecology* 79:153–164.

- Milestad, R. and S. Hadatsch. 2003. Organic farming and social- ecological resilience: The alpine valleys of Sölktäler, Austria. *Conservation Ecology* 8:3. Available at www.consecol.org/vol8/iss1/art3.
- Montoya, J. M., M. A. Rodriguez, and B. A. Hawkins. 2003. Food web complexity and higher- level ecosystem services. *Ecology Letters* 6:587–593.
- Mulder, C. P. H., J. Koricheva, K. Huss- Danell, P. Högberg, and J. Joshi. 1999. Insects affect relationships between plant species richness and ecosystem processes. *Ecology Letters* 2:237–246.
- Nabhan, G. P. and S. Buchmann. 1997. Ser vices provided by pollinators. In G. C. Daily, ed., *Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems*, 133–150. Washington, DC: Island Press.
- Naeem, S. 1998. Species redundancy and ecosystem reliability. *Conservation Biology* 12:39–45.
- Naeem, S. 2001. Experimental validity and ecological scale as tools for evaluating research programs. In R. H. Gardner, W. M. Kemp, V. S. Kennedy, and J. E. Petersen, eds., *Scaling Relationships in Experimental Ecology*, 223–250. New York: Columbia University Press.
- Naeem, S. 2002. Ecosystem consequences of biodiversity loss: The evolution of a paradigm. *Ecology* 83: 1537–1552.
- Naeem, S. and S. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390:507–509.
- Naeem, S., D. Hahn, and G. Shuurman. 2000. Producer–decomposer code pendency modulates biodiversity effects. *Nature* 403:762–764.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton, and R. M. Woodfin. 1994. Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368:734–737.
- Naeem, S., L. J. Thompson, S. P. Lawler, J. H. Lawton, and R. M. Woodfin. 1995. Empirical evidence that declining species diversity may alter the performance of terrestrial ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences* 347:249–262.
- Nunes, P. A. L. D. and J. C. J. M. van den Bergh. 2001. Economic valuation of biodiversity:

- Sense or nonsense? *Ecological Economics* 39:203–222.
- OECD (Organization for Economic Cooperation and Development). 2002. *Handbook of Biodiversity Valuation. A Guide for Policy Makers*. Paris: OECD.
- Orians, G. H., G. M. Brown, W. E. Kunin, and J. E. Swierzbinski, eds. 1990. *Preservation and Valuation of Biological Resources*, 203–226. Seattle: University of Washington Press.
- Ostman, O., B. Ekbom, J. Bengtsson, and A. C. Weibull. 2001. Landscape complexity and farming practice influence the condition of polyphagous carabid beetles. *Ecological Applications* 11:480–488.
- Pacala, S. W. and D. Tilman. 2002. The transition from sampling to complementarity. In A. P. Kinzig, D. Pimentel, and D. Tilman, eds., *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 151–166. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Pain, D. J. and M. W. Pienkowski. 1997. *Farming and Birds in Europe: The Common Agricultural Policy and Its Implications for Bird Conservation*. Cambridge, UK: Academic Press.
- Paine, R. T. 1966. Food web complexity and species diversity. *American Naturalist* 100:65–75.
- Perfecto, I., J. Vandermeer, P. Hanson, and V. Cartin. 1997. Arthropod biodiversity loss and the transformation of a tropical agro-ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 6:935–945.
- Perrings, C. 1995. Biodiversity conservation as insurance. In T. Swanson, ed., *Economics and Ecology of Biodiversity Decline*, 69–77. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Petchey, O. L., P. J. Morin, F. D. Hulot, M. Loreau, J. McGrady-Steed, and S. Naeem. 2002. Contributions of aquatic model systems to our understanding of biodiversity and ecosystem functioning. In M. Loreau, S. Naeem, and P. Inchausti, eds., *Biodiversity and Ecosystem Functioning: Synthesis and Perspectives*, 127–138. Oxford, UK: Oxford University Press.

- Pinto-Correia, T. 2000. Future development in Portuguese rural areas: How to manage agricultural support for landscape conservation? *Landscape and Urban Planning* 50:95–106.
- Pretty, J. and H. Ward. 2001. Social capital and the environment. *World Development* 29:209–227.
- Ricketts, T. H., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, and J. P. Fay. 2001. Countryside biogeography of moths in a fragmented landscape: Biodiversity in native and agricultural habitats. *Conservation Biology* 15:378–388.
- Robinson, R. A., J. D. Wilson, and H. Q. P. Crick. 2001. The importance of arable habitat for farmland birds in grassland landscapes. *Journal of Applied Ecology* 38:1059–1069.
- Schmid, B., J. Joshi, and F. Schläpfer. 2002. Empirical evidence for biodiversity–ecosystem functioning relationships. In A. P. Kinzig, S. W. Pacala, and D. Tilman, eds., *Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 120–150. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Scoones, I. 1999. New ecology and the social sciences: What prospects for a fruitful engagement? *Annual Review of Anthropology* 28:479–507.
- Smale, M., ed. 2005. *Valuing Crop Biodiversity: On- Farm Genetic Resources and Economic Change*. Wallingford, UK: CABI Publishing.
- Smale, M., J. Hartell, P. W. Heisey, and B. Senauer. 1998. The contribution of genetic resources and diversity to wheat production in the Punjab of Pakistan. *American Journal of Agricultural Economics* 80:482–493.
- Söderström, B., S. Kiema, and R. S. Reid. 2003. Intensified agricultural land-use and bird conservation in Burkina Faso. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99:113–124.
- Southwick, E. E., and L. Southwick. 1992. Estimating the economic value of honey-bees (Hymenoptera, Apidae) as agricultural pollinators in the United States. *Journal of Economic Entomology* 85:621–633.
- Steffan-Dewenter, I. 2003. Importance of habitat area and landscape context for species richness of bees and wasps in fragmented orchard meadows. *Conservation Biology* 17:1036–1044.

- Steffan- Dewenter, I., U. Munzenberg, C. Burger, C. Thies, and T. Tscharntke. 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology* 83:1421–1432.
- Stein, T. V., D. H. Anderson, and T. Kelly. 1999. Using stakeholders' values to apply ecosystem management in an upper midwest landscape. *Environmental Management* 24:399–413.
- Tews, J., U. Brose, V. Grimm, K. Tielborger, M. C. Wichmann, M. Schwager, and F. Jeltsch. 2004. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: The importance of keystone structures. *Journal of Biogeography* 31:79–92.
- Thies, C. and T. Tscharntke. 1999. Landscape structure and biological control in agroecosystems. *Science* 285:893–895.
- Thrupp, L. A. 1997. *Linking Biodiversity and Agriculture: Challenges and Opportunities for Sustainable Food Security*. Washington, DC: World Resources Institute.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, and P. Reich. 1997a. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277:1300–1302.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, and P. Reich. 2002. Experimental and observational studies of diversity, productivity, and stability. In A. P. Kinzig, D. Pimentel, and D. Tilman, eds., *The Functional Consequences of Biodiversity. Empirical Progress and Theoretical Extensions*, 42–70. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tilman, D., C. L. Lehman, and K. T. Thompson. 1997b. Plant diversity and ecosystem productivity: Theoretical considerations. *Proceedings of the National Academy of Science* 94:1857–1861.
- Tilman, D., D. Wedin, and J. Knops. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature* 379:718–720.
- Tonhasca, A. and B. R. Stinner. 1991. Effects of strip intercropping and no-tillage on some pests and beneficial invertebrates of corn in Ohio. *Environmental Entomology* 20:1251–1258.
- Turner R. K., J. Paavola, P. Cooper, S. Farber, V. Jessamy, and S. Georgiou. 2003. Valuing nature: Lessons learned and future research directions. *Ecological Economics*

46:493–510.

- Walker, B. H. 1992. Biological diversity and ecological redundancy. *Conservation Biology* 6:18–23.
- Walker, B., S. Carpenter, A. Anderies, N. Abel, C. Cumming, M. Janssen, L. Lebel, J. Norberg, G. D. Peterson, and R. Pritchard. 2002. Resilience management in social-ecological systems: A working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6:14. Available at www.consecol.org/vol6/iss1/art14.
- Walker, D. J. and D. L. Young. 1986. The effect of technical progress erosion damage and economic incentives for soil conservation. *Land Economics* 62:83–93.
- Wardle, D. A., O. Zackrisson, G. Hörnberg, and C. Gallet. 1997. The influence of island area on ecosystem properties. *Science* 277:1296–1299.
- Widawsky, D. and S. Rozelle. 1998. Varietal diversity and yield variability in Chinese rice production. In M. Smale, ed., *Farmers, Gene Banks, and Crop Breeding*, 159–187. Boston: Kluwer.
- Wilson, E. O., ed. 1988. *Biodiversity*. Washington, dc: National Academy Press.
- Wood, S., K. Sebastian, and S. J. Scherr. 2000. *Pi lot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems*. Washington, DC: International Food Policy Research Institute and World Resources Institute.
- Wright, J. P., C. G. Jones, and A. S. Flecker. 2002. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia* 132:96–101.
- Yachi, S. and M. Loreau. 1999. Biodiversity and ecosystem functioning in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Science* 96:1463–1468.
- Zhu, Y. Y., H. R. Chen, J. H. Fan, Y. Y. Wang, Y. Li, J. B. Chen, J. X. Fan, S. S. Yang, L. P. Hu, H. Leung, T. W. Mew, P. S. Teng, Z. H. Wang, and C. C. Mundt. 2002. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406:718–722.

농업생태계 다양성의 보존과 활용

2010년 10월 발행

편역 편집 조명래, 권택륜, 백형진, 곽재균, 윤문섭, 마경호, 김정근, 조은기
편역 감수 윤진영, 목일진, 오대근

발행인 농촌진흥청 국립농업과학원장 정광용
발행처 국립농업과학원 유전자원센터 031-299-1813
인쇄처 과학원예사 02-577-1096

ISBN 978-89-480-0797-8 93520
행정간행물등록번호 11-1390802-000221-01

Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystem (Korean Version)

Published in October 2010

Translation Editing by
Myoung Rae Cho, Taek Ryoun Kwon, Hyung Jin Baek, Jae Gyun Gwag,
Mun Sup Yoon, Kyung Ho Ma, Jung Kon Kim, Eun Gi Cho

Translation Proof Reading by
Jin Young Yoon, Il Gin Mok, Dae Geun Oh

Published by
National Academy of Agricultural Science, R.D.A. Korea

Printed by
Horticultural Technology, Seoul, Korea