



世界粮食和农业领域 土地及水资源状况

— 濒危系统的管理



中国农业出版社

earthscan
from Routledge



世界粮食和农业领域 土地及水资源状况

—— 濒危系统的管理

翻译 张慧新 刘旭桦 孙佑琴 张冉
审校 张慧新 何彦平 赵睿阳

中国农业出版社
地球瞭望出版社
联合国粮食及农业组织
2012 · 北京

本出版物的原版系英文，即*The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture - Managing Systems at Risk*，由联合国粮食及农业组织和地球瞭望出版社于2011年联合出版。此中文翻译由中国农业出版社安排并对翻译的准确性及质量负全部责任。如有出入，应以英文原版为准。

ISBN 978-92-5-506614-6 (粮农组织)
ISBN 978-7-109-17269-2 (中国农业出版社)

本信息产品中使用的名称和介绍的材料，并不意味着联合国粮食及农业组织（粮农组织）对任何国家、领地、城市、地区或其当局的法律或发展状态、或对其国界或边界的划分表示任何意见。提及具体的公司或厂商产品，无论是否含有专利，并不意味着这些公司或产品得到粮农组织的认可或推荐，优于未提及的其它类似公司或产品。本出版物中表达的观点系作者的观点，并不一定反映粮农组织的观点。

版权所有。粮农组织鼓励对本信息产品中的材料进行复制和传播。申请非商业性使用将获免费授权。为转售或包括教育在内的其他商业性用途而复制材料，均可产生费用。如需申请复制或传播粮农组织版权材料或征询有关权利和许可的所有其他事宜，请发送电子邮件致：copyright@fao.org，或致函粮农组织知识交流、研究及推广办公室出版政策及支持科科长：Chief, Publishing Policy and Support Branch, Office of Knowledge Exchange, Research and Extension, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy。

© 粮农组织 2012年（中文版）
© 粮农组织 2011年（英文版）

目录

序	vii
前言	ix
致谢	xii
简称与缩写对照表	xiv
表格目录	xvii
插文目录	xix
图表目录	xxii
地图目录	xxiii
《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》简介	xxiv
摘要	1
水土资源面临的挑战	3
可持续集约化生产中的水土资源	9
迎接挑战——工作力度亟待加强	14
结论	16
第一章 水土资源状况与趋势	19
水土资源的现状	21
雨养农业中的水土资源	28
灌溉农业中的水土资源	35
森林、牧场、内陆渔业和水产养殖业	45
2050 年前的农业需求	52
对灌溉农业的潜在影响	54
对雨养农业的潜在影响	56
结论	60

第二章 社会经济压力与制度建设 63

社会经济对水土资源的依赖性	65
基本的分配制度	72
以往的应对政策	76
制度性手段与效果	81
旧有政策的环境后果	86
水土资源领域的投资	90
水土资源领域的国际协作	92
结论	99

第三章 濒危的水土资源系统 101

水土资源争夺加剧	103
水土资源退化：影响与成因	108
气候变化的预期影响	120
濒危系统	123
结论	132

第四章 可持续水土资源管理的技术选择 137

提高雨养农业生产力	139
管理土壤健康与肥度	140
管理雨养地区土壤水分	145
提高雨养系统生产力的综合手段	149
为灌溉农业寻找水源	154
实现灌溉系统现代化	156
提高农田水资源的生产率	158
管理集约化带来的环境风险	163
用于应对气候变化的水土资源管理措施	168
实施前景	174

总体政策环境	179
确保水土资源利用的渠道畅通	184
制定国家战略	189
知识的作用	197
强化国际合作	199
加强国际协作和投资	207
对未来的启示	213
第六章 结论与主要政策推荐	217
保证主要水土资源系统实现可持续生产	219
可持续水土资源管理的政策与战略	223
对水土资源管理的国际协作进行改革	227
未来展望	231
附件	233
A1 – 采用的国家分组方式	233
A2 – 与灌溉农业有关的外部环境效应	239
A3 – 可持续土地管理的国家级项目	241
A4 – 各国/各地区的水土资源核心指标	245
本报告所用术语与定义对照表	251
关于本报告内附的世界地图的补充说明	257
参考文献	260

序

本期《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》(SOLAW)填补了联合国粮农组织(FAO)旗舰级系列出版物在内容上的一项重要空白，并对农业生产领域中水资源和土地资源这两个最重要因素的现状、趋势和所遇挑战进行了综合客观的描述和分析。

水土资源对农业和农村开发来讲至关重要，与粮食危机和贫穷、适应和减缓气候变化，以及全球农业人口赖以生存的自然资源的退化和耗竭等全球挑战之间存在着本质联系。

按目前预测，到2050年，世界人口将从现在的69亿增至91亿。不仅如此，经济上的进步，特别是在新兴国家中，会转化为对粮食和多样化饮食需求的增加。全球粮食需求将随之猛增，根据预测，全球范围内和发展中国家的粮食生产将分别递增70%和100%。然而，作为我们粮食生产根基的水土资源却都是有限的，业已压力重重，所以未来农业生产需要同时兼顾产量的增加和可持续性的提高。

因此，本书的主要宗旨之一就是要提高对水土资源状况的认知并对相关机遇与挑战进行揭示。纵观过去，FAO已将自身打造成全球水土资源多样化数据的唯一来源。本书在编撰过程中充分利用了这些数据，针对水土资源的可用性、用途和管理以及相关的趋势和发展进行了最全面和最新的全球性审视。本书还进一步将全球挑战的重要动因纳入视野，如人口带来的增长需求、消费模式的改变、生物燃料生产和气候变化影响等。

全球农业用地状况的多样化是SOLAW的侧重点。本书对雨养和灌溉农业生产系统中那些不堪重负并极有可能随着产量和生产率的提高而触及临界线的高人口密度地理分区进行了圈定。提出这些“濒危系统”是为了唤起全球社会的关注，在国际层面上还有那些对农业经济不作为可能导致最严重后果的地区，通过投资和国际间合作的方式联手进行及时的补救性干预。

适宜的政策、制度和投资在确保经济保持一定发展水平的同时，还对资源的公平利用及资源可持续性和生产力的管理加以保证，对于这种往往被一笔带过的实质性贡献，SOLAW 也予以了特别关注。另外，本书还针对缺水和土地退化等日益严重的问题探讨了应对方案和战略。

SOLAW 收录了世界各地众多的成功案例，从中汲取了多种可能适用于其他地区的方案。若对此予以仿效，规划和协商机制就绝对必不可少。考虑到水土资源争夺的加剧，对于这些方案的取舍，必然要求投资人就一系列生态产品和服务进行权衡评估。这一认知将有助于在最高决策层面上催生政治意愿、优先倾向性和具有政策性导向的补救措施。



联合国粮农组织
总干事
雅克•迪乌夫
(1994 — 2011 年)

前言

养活不断膨胀的人口

水土资源以及相应的利用方式对改善全球粮食安全这一挑战而言至关重要。人口压力、气候变化以及水土资源争夺的加剧可能会降低防范粮食危机的能力，尤其是对非洲和亚洲而言。为全球人口提供充足口粮的挑战从未如此艰巨过。

世界人口在持续膨胀着。眼下近 70 亿的人口预计会在 2050 年增至 90 亿左右 (United Nations, 2009)。那时，就需要将 10 亿吨的谷物年产量翻一番并每年新增 2 亿吨畜产品 (Bruinsma, 2009)。让农业按如此幅度增长的迫切需求，在发展中国家中显得最为强烈，而这些国家所面临的挑战不光是生产粮食，还包括确保各个家庭都可获取能为其带来粮食安全的渠道。

如今，有差不多 10 亿人处于营养不良的状态，尤其是在非洲撒哈拉以南地区 (2.39 亿) 和亚洲地区 (5.78 亿)。到 2050 年时，即使发展中国家将农业产量翻一番，每 20 人中还是会有 1 人面临营养不良的风险，饥饿人群总计可达 3.7 亿，其中大部分仍在非洲和亚洲地区。如此幅度的增长意味着农业要继续作为发展动力，在经济发展和环境服务以及农村扶贫中发挥至关重要和关键性的作用。

要改善营养状况并缓和粮食危机和营养不良的局面，未来农业生产量的增速就必须快于人口增长。而这必须主要依靠现有农业用地来实现。因此，必须在可持续集约化上下功夫，以此来有效利用水土资源，使其免遭破坏。

关于扩大产量和加强粮食安全所需的政策、方式和技术等议题已进行过很长时间的探讨。在国际层面上，已经针对按可持续方式实现生产率提高所需的制度机制、商贸发展水平和金融机构进行过协商。在国家层面上，旨在提高产量和加强粮食安全的举措正在落实到位，如制定以穷人为导向、有利于市场的政策、制度和激励机制，以及按生产率提高的需要发展基础设施和服务。然而，挑战仍然存在。

水土资源争夺加剧

预警信号已经出现。农业生产增长率一直在持续下滑，发展中国家 3% 的年增长率目前只剩下一半。2007 和 2008 年，在谷物价格飙升的背景下，每一次欢欣鼓舞都被粮价动荡所颠覆。自那时起，随着主权国家和商业投资者开始在发展中国家收购农田，水土资源争夺加剧的趋势就已完全凸显出来。在拥有肥沃良田的重要地区，生物燃料原材料生产和粮食生产之间形成了竞争态势。而一系列严重的洪水、干旱和滑坡则进一步危及了水土资源的稳定。

自然资源内部更深层次的结构性问题，也已变得突出。缺水问题在加剧。水资源和水体的盐化和污染以及与水资源相关的生态系统的退化也在加剧。在许多大型河流中，在流水量只有此前的 5%，而黄河之类的河流则终年都不再汇流入海。大湖和内海已经萎缩，欧洲和北美的湿地已经消失了一半。水库正在通过侵蚀土壤中的径流来蓄水，导致水电和供水能力出现下降。地下水正在被密集地过度抽取，某些沿岸地区含水层的受污染和盐化程度正在加剧。各大洲多数地区都在经历着严重的生态破坏，尤其表现在土质下降、生物多样性减少，以及对宜居性和文化遗产价值的破坏上。

农业是当前温室气体的一个主要来源，占全球温室气体排放量的 3.5%（IPCC, 2007）。与此同时，气候变暖和随之而来的干旱、降雨格局的改变以及极端天气的日益频繁等气候变化使农民面临更大的风险和不可预知因素。低收入国家的贫苦农民是最易受影响又最没有能力应对这些变化的群体。

另外，内陆水产养殖业的稳步增长亦加剧了水土资源的争夺：在 1970–2008 年，水产养殖业中用于消费目的的食用鱼人均年供应量实现了年均 6.6% 的增长（FAO 2010a），导致饲料需求以及鱼塘建设对水土资源需求的增加。

生态系统提供关键性产品和服务的能力出现了恶化趋势，已经对重要产粮区的生产潜力造成了影响。这些趋势若继续下去，在极度缺乏水土养分的发展中国家中，粮食安全将遭受最为严重的影响。然而，在某些地区，更好的技术应用、管理手段和相关政策（这些政策对在环境需求与农业生产之间促成合理平衡的需求进行了考量）已经遏制并扭转了不良趋势，并借此指明了可持续集约化生产的发展方向。然而，存在的风险却不容忽视。就目前趋势而言，一系列主要的水土资源系统及其粮食产量正处于濒危状态。

本书内容范围

本书主要关注了作物生产中的水土资源问题。书中对解决需求所需的各种生产应对措施进行了研究。另外，针对产量和生产率的预期增长所赖以实现的全球水土资源，书中亦对其潜力进行了评估。风险利弊的研究以及资源管理方案的审视也都有所涉及，以寻求不破坏资源基础的解决之道。

虽然第一章中对林业和畜牧业中水土资源的使用有一定阐述，但这些议题在联合国粮农组织（FAO）早前推出的报告中有更为详细的论述，请读者参阅《世界森林状况》（FAO, 2009a）和《粮食及农业状况》（FAO, 2009b）。同样，关于内陆渔业和水产养殖业的趋势与挑战的深入分析则体现在联合国粮农组织新近发布的报告之中 —《世界渔业和水产养殖业状况》（FAO, 2010a）。这些全球报告所未涉及的农业内两性问题在 FAO 和世界银行其他报告中有全面的分析论述（FAO, 2011a; World Bank, 2009b）。

第一章对水土资源的现状与趋势进行了分析。文中对这些资源及其利用进行了生物物理和技术层面的评估，并对 2050 年的形势进行了展望。第二章对当前的制度情况进行了评论并对当前水土资源管理在社会经济和环境方面的影响进行了评估。第三章对水土资源当前和今后所面临的威胁以及这些威胁对一系列主要濒危系统的潜在影响进行了评论。第四章对可持续运作方式所要求的产能和生产力水平在实践中的要求和相关方案进行了研究。第五章对各地、各国和国际上的制度性应对举措进行了评估，并总结出对于未来的启示。最后，第六章进行归纳总结，提出政策建议。全文的主旨就是倡导采取务实渐进的手段，以各国政府和国际社会制定的政策、制度和激励机制为依托，以农民践行更注重生态的水土资源管理为根基，树立可持续性更强、更加低碳的集约化农业生产的新典范。

致谢

《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》（SOLAW）报告的编撰得益于大量人员和专门机构的协助和付出：

策划和总监制：P. Koohafkan。

协调：H. George。

SOLAW 核心编写团队：H. George、J-M. Faurès、J. Burke、N. Forlano、F. Nachtergaele、P. Groppo、S. Bunning、P. Koohafkan 和 P. Steduto。

外审人员和顾问：H. P. Binswanger、R. Conant、P. Mahler、R. Stewart 和 R. Brinkman。

概要报告编写组：C.S. Ward（独立专家）和 J. Pretty（埃塞克斯大学）。

主题报告和 SOLAW 的编撰与审阅：

D. Bartley、C. Batello、M. Bernardi、R. Biancalani、H. P. Binswanger、J. Bonnal、J. Bruinsma、S. Bunning、J. Burke、C. Casarotto、N. Cenacchi、M. Cluff、R. Cumani、J. De la Cruz、C. De Young、O. Dubois、T. Facon、J. M. Faurès、N. Forlano、G. Franceschini、K. Frenken、T. Friedrich、A. Flynn、J. Gault、H. George、P. Gerber、P. Grassini、P. Groppo、T. Hofer、J. Hoogeveen、B. Huddleston、W. Klemm、P.K. Koohafkan、R. Lal、D. Lantieri、J. Latham、C. Licona Manzur、L. Lipper、M. Loyche-Wilkie、J. Mateo-Sagasta、P. Mathieu、G. Munoz、F. Nachtergaele、C. Neely、D. Palmer、M. Petri、T. Price、T. Robinson、S. Rose、M. Salman、V. Sadras、S. Schlingloff、P. Steduto、L. Stravato、P. Tallah、L. Thiombiano、J. Tranberg、F. Tubiello、J. Valbo-Jorgensen 和 M. van der Velde。

参与主题报告编撰的机构：

- **国际应用系统分析学会 (IIASA)** – G. Fischer、E. Hizsnyik、S. Prieler 和 D. A. Wiberg。
- **国际粮食政策研究所 (IFPRI)** – R. Meinzen-Dick、E. Nkonya 和 C. Ringler。
- **国际环境与发展研究所 (IIED)** – L. Cotula。
- **伯尔尼大学发展与环境中心 (CDE)** – G. Schwilch、C. Hauert 和 H. Liniger。
- **德国波恩大学/法兰克福大学** – S. Siebert。
- **地理数据研究所 (南汉普顿大学)**。
- **水土及自然资源管理协会 (AGTER)**。

统计数据与地图编制：K. Frenken、H. George、J. M. Faurès、J. Hoogeveen、L. Peiser、M. Marinelli、M. Petri 和 L. Simeone（感谢 R. Biancalani、J. Latham 和 R. Cumani 的大力支持）。

SOLAW 网页：H. George、L. Peiser 和 S. Giaccio（感谢 G. Lanzarone、M. Fani、D. Lanzi、M. Marinelli、B. Mukunyora、F. Snijders 和 K. Sullivan 的大力支持）。

出版事务及平面设计：N. Forlano、R. Tucker 和 J. Morgan（感谢 G. Zanolli、M. Umena 和 P. Mander 的大力支持）。

文秘协助：M. Finka。

简称与缩写对照表

AEZ	农业生态分区 (agro-ecological zoning)
AGTER	水土及自然资源管理协会 (Association for the Governance of Land, Water and Natural Resources)
AgWA	非洲农用水伙伴组织 (Partnership for Agricultural Water in Africa)
APFAMGS	安德拉邦地下水耕农自管系统 (Andhra Pradesh Farmer Managed Groundwater Systems)
AQUASTAT	联合国粮农组织水与农业全球信息系统 (FAO's global information system on water and agriculture)
ARID	西非和中非灌溉及排水的区域性组织 [Association Régionale de l'Irrigation et du Drainage en Afrique de l'Ouest et du Centre (West Africa)]
ASEAN	东南亚国家联盟 (Association of Southeast Asian Nations)
AU	非洲联盟 (African Union)
CA	保护性农业 (conservation agriculture)
CAADP	非洲农业综合发展项目 (Comprehensive Africa Agriculture Development Programme)
CBD	联合国《生物多样性公约》 (Convention on Biological Diversity)
CBO	社区组织 (community-based organization)
CCX	芝加哥气候交易所 (Chicago Climate Exchange)
CDE	发展与环境中心 (Centre for Development and Environment)
CDM	清洁发展机制 (Clean Development Mechanism)
CEC	阳离子交换能力 (cation exchange capacity)
CEOS	地球观测卫星委员会 (Committee on Earth Observation Satellites)
CGIAR	国际农业研究磋商小组 (Consultative Group on International Agricultural Research)
DFID	英国国际发展部 (UK Department for International Development)
EIA	环境影响评估 (environmental impact assessments)
EMBRAPA	巴西厄尔尼诺 (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária)
ENSO	南方振荡农业研究机构 (El Niño southern oscillation)
ESA	欧洲航天局 (European Space Agency)
EU	欧洲联盟 (European Union)
FAO	联合国粮农组织 (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

FAOSTAT	联合国粮农组织统计数据库 (FAO statistical database)
FCT	森林碳追踪任务 (Forest Carbon Tracking Task)
FDI	外国直接投资 (foreign direct investment)
FIVIMS	粮食不安全和易受害信息及绘图系统 (Food Insecurity and Vulnerability Information and Mapping Systems)
FLO	国际公平贸易标签组织 (Fairtrade Labelling Organizations International)
GAEZ	全球农业生态区 (Global Agro-Ecological Zones)
GEF	全球环境机构 (Global Environment Facility)
GEO	地球观测组织 (Group on Earth Observation)
GEOSS	全球对地观测综合系统 (Global Earth Observation System of Systems)
GHG	温室气体 (greenhouse gas)
GIAHS	全球重要农业文化遗产 (Globally Important Agricultural Heritage Sites)
GIS	地理信息系统 (geographical information system)
GIZ	德国国际合作机构 (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH)
GLADIS	全球土地退化信息系统 (Global Land Degradation Information System)
GLASOD	全球土壤退化评价 (Global Assessment of Soil Degradation)
GTOS	全球陆地观测系统 (Global Terrestrial Observing System)
GWP	全球水伙伴组织 (Global Water Partnership)
HASHI	坦桑尼亚欣延加土地治理项目 [Hifadhi Ardhi Shinyanga (Shinyanga Land Rehabilitation Programme, Tanzania)]
IDA	世界银行国际开发协会 [International Development Association (World Bank)]
IEA	国际能源署 (International Energy Agency)
IFAD	国际农业发展基金 (International Fund for Agricultural Development)
IFPRI	国际粮食政策研究所 (International Food Policy Research Institute)
IIASA	国际应用系统分析学会 (International Institute for Applied Systems Analysis)
IIED	国际环境与发展研究所 (International Institute for Environment and Development)
IMAWESA	促进非洲东部与南部农用水管理 (Improved Management of Agricultural Water in Eastern and Southern Africa)

IMT	灌溉管理转权 (irrigation management transfer)
INM	养分综合管理 (integrated nutrient management)
IPM	害虫综合管理 (integrated pest management)
IPCC	政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change)
IPPC	污染综合防治 (指令) [Integrated Pollution and Prevention Control (Directive)]
IRWR	内部可再生水资源 (internal renewable water resources)
IWMI	国际水资源管理研究所 (International Water Management Institute)
LADA	干旱区土地退化评估 (Land Degradation Assessment in Drylands)
LCBC	乍得湖流域委员会 (Lake Chad Basin Commission)
LIFDC	低收入缺粮国 (low-income food-deficit countries)
M&E	监测与评估 (monitoring and evaluation)
MASSCOTE	针对运河营运技术的绘图系统和服务 (Mapping System and Services for Canal Operation Techniques)
MDG	千年发展目标 (Millennium Development Goal)
MEA	千年生态系统评估 (Millennium Ecosystem Assessment)
MICCA	农业减缓气候变化项目 (Mitigation of Climate Change in Agriculture)
NGO	非政府组织 (non-governmental organization)
NPK	氮磷钾 (化肥) (nitrogen, phosphorus, potassium)
OAS	美洲国家组织 (Organization of American States)
ODA	政府开发援助 (official development assistance)
OECD	经济合作与发展组织 (Organisation for Economic Co-operation and Development)
PES	环境服务付费 (payment for environmental services)
PIM	参与式灌溉管理 (participatory irrigation management)
PNTD	参与性协商式国土开发 (participatory and negotiated territorial development)
PPP	公私合作制 (public-private partnership)
PRA	参与式农村评估 (participatory rural appraisal)
PRODEBALT	乍得湖流域可持续发展项目 (Lake Chad Basin Sustainable Development Program)
RAE	干燥环境治理 (Rehabilitation of Arid Environments)

REDD+	在发展中国家中减少毁林和森林退化所致排放量并提高和保持森林碳储量和森林可持续管理（Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation and the enhancement and conservation of forest carbon stocks and sustainable management of forests in developing countries）
SADC	南部非洲发展共同体（Southern African Development Community）
SARIA	南部非洲区域灌溉协会（Southern Africa Regional Irrigation Association）
SLM	可持续土地管理（sustainable land management）
SLWM	可持续水土资源管理（sustainable land and water management）
SNIF	罗马尼亚国家土地复垦协会（National Land Reclamation Society）
SOLAW	《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》（State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture）
SRI	水稻集约化生产系统（system of rice intensification）
UNCCD	《联合国防治荒漠化公约》（United Nations Convention to Combat Desertification）
UNCTAD	联合国贸易与发展会议（United Nations Conference on Trade and Development）
UNDP	联合国开发计划署（United Nations Development Programme）
UNEP	联合国环境规划署（United Nations Environment Programme）
UNFCCC	《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change）
UN-REDD	减少发展中国家毁林和森林退化所致排放量的联合国合作方案（United Nations Collaborative Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries）
WFD	欧盟《水框架指令》[Water Framework Directive (EU)]
WFP	世界粮食计划署（World Food Programme）
WOCAT	世界水土保持技术与方法纵览（World Overview of Conservation Approaches and Technologies）
WTO	世界贸易组织（World Trade Organization）
WUA	用水户协会（water user association）
WWAP	《世界水评价计划》（World Water Assessment Programme）
WWC	世界水理事会（World Water Council）

表格目录

表 1-1 : 主要土地利用的地区分布情况 (2000 年)	21
表 1-2 : 主要土地利用中的净变化 (百万公顷)	24
表 1-3 : 可用于各农耕系统的全球适耕地份额	25
表 1-4 : 主要用水领域的汲水量 (2003 年)	27
表 1-5 : 雨养系统类型	30
表 1-6 : 按天然养分含量划分的不同土质耕地的分布情况	34
表 1-7 : 关于谷类作物、根茎作物、结荚作物、糖类作物、 油料作物和蔬菜作物的总体产率缺口预测 (上涨潜力百分率)	37
表 1-8 : 灌溉建成区面积 (耕地百分比和地下水灌溉区百分比)	38
表 1-9 : 长期的年均可再生水资源及灌溉汲水量	42
表 1-10 : 灌溉区份额以及谷物总产量中的灌溉产量份额 (2006 年)	44
表 1-11 : 畜牧系统区划	49
表 1-12 : 谷物产量的历史增长与未来增长情况	53
表 1-13 : 农业生产增长预测 (最可能结果)	53
表 1-14 : 2050 年灌溉建成区展望	55
表 1-15 : 远期的年均可再生水资源及灌溉汲水量 (2006 和 2050 年)	57
表 1-16 : 全球宜耕土地的可用性和土质情况 (括号内为非保护性用地数值)	59
表 2-1 : 个别发展中国家农业领域的公共开支情况 (1980–2002 年)	90
表 2-2 : 各地区各行业外国直接投资存量引进情况 (1990 年和 2004 年, 百万美元)	91
表 2-3 : 2005 年 7 月至 2050 年投资需求预测 (按 2009 年的美元指数计算, 十亿美元)	94
表 2-4 : 2005 年 7 月至 2050 年农耕生产预期投资的地区分布情况	94

表 3-1 : 温室气体人为排放量的年度情况（2005 年）	119
表 3-2 : 依赖地下水的主要产粮国	120
表 3-3 : 主要的濒危水土资源系统（概述）	124
表 4-1 : 农林业 2030 年减排潜力	172
表 5-1 : 各种技术/方式成本效益分布情况的走向趋势	183
表 5-2 : 致力于提供、整合和分享数据的国际项目	200
表 5-3 : 个别地区的水土资源管理合作	202
表 5-4 : 个别国家虚拟水交易	207
表 6-1 : 促进水土资源管理的技术性和制度性应对措施	220

插文目录

插文 1.1 :	土地适耕性评价方式	26
插文 1.2 :	非洲北部地区、近东地区和地中海地区的牧转农情况	48
插文 1.3 :	饲料和能源燃料中的草料应用	50
插文 2.1 :	也门达尔旱谷的争端、应变力和动平衡	75
插文 2.2 :	欧盟水框架指令	80
插文 2.3 :	水循环的水域管理成效	83
插文 2.4 :	灌溉管理转权的成败经验：罗马尼亚的运维状况	85
插文 2.5 :	水土资源管理中激励机制扭曲带来的影响	88
插文 2.6 :	总体政策对土地可持续性管理的影响方式	88
插文 2.7 :	中国黄河流域中黄土高原的水域治理	89
插文 2.8 :	发展中国家土地交易情况	92
插文 2.9 :	荒漠化：干旱区水土资源的挑战与 《联合国防治荒漠化公约》的对策	95
插文 3.1 :	液态生物燃料的供需趋势	107
插文 3.2 :	拉丁美洲和加勒比地区的天然林破坏情况	109
插文 3.3 :	联合国粮农组织干旱区土地退化评估框架的主要特点	110
插文 3.4 :	塞内加尔国内土地退化状况评估	111
插文 3.5 :	非洲撒哈拉以南地区小型农耕系统的养分耗竭情况	115
插文 3.6 :	气候变化对谷物生产潜力的预期影响	122
插文 4.1 :	肥料树—成功的典范	143
插文 4.2 :	土壤肥度综合管理	145
插文 4.3 :	雨水集蓄	146
插文 4.4 :	植被带	147
插文 4.5 :	结构屏障	148
插文 4.6 :	坦桑尼亚欣延加的林牧混合体系	151
插文 4.7 :	肯尼亚巴林哥草原的抗荒漠化情况	153
插文 4.8 :	滴灌技术	158
插文 4.9 :	提高作物水资源生产率的 5 个案例研究	161
插文 4.10 :	中国是节水型社会	163

插文 4.11 :	中国的氮污染问题	165
插文 4.12 :	关于灌溉中农药管理的建议	167
插文 4.13 :	干旱区的畜牧系统和气候变化	171
插文 4.14 :	巴西的社区再造林项目：对洪水和滑坡的反击	173
插文 4.15 :	中国甘肃省用植被防沙障抵御风蚀	174
插文 4.16 :	尼日尔成功打造民间灌溉体系	175
插文 5.1 :	土地退化损失估算	184
插文 5.2 :	安德拉邦地下水资源的集体型参与式管理	188
插文 5.3 :	生态系统框架内的土壤健康评估	190
插文 5.4 :	联合国粮农组织的“为运河营运技术提供绘图系统和服务” 项目：鼓励灌溉人员实现现代化	193
插文 5.5 :	私营机构参与灌溉管理的范围	194
插文 5.6 :	全球对地观测综合系统（GEOSS）	199
插文 5.7 :	全球环境机构扶持可持续水土资源管理的实例	203
插文 5.8 :	全球对乍得湖流域可持续水土资源管理的扶持情况	205
插文 5.9 :	可持续水土资源管理的民间项目	206
插文 5.10 :	打造绿色农业，开创绿色经济	208
插文 5.11 :	实施可持续水土资源管理，实现远大发展目标	210
插文 5.12 :	减少发展中国家毁林和森林退化所致排放量的联合国合作方案	212
插文 5.13 :	针对中国小农群体的实验性碳金融项目	212
插文 5.14 :	自愿性碳交易市场	213
插文 5.15 :	环境服务付费	214
插文 6.1 :	可持续水土资源管理的国家战略	225
插文 6.2 :	加强水土资源协作的新途径	229
插文 6.3 :	监测濒危水土资源系统	230

图表目录

图 1-1 : 土地利用的地区分布和覆盖范围	22
图 1-2 : 灌溉农业和雨养农业中的土地变迁情况（1961–2008 年）	24
图 1-3 : 各地理区适耕性的总体情况	25
图 1-4 : 灌溉建成区	37
图 1-5 : 1961–2009 年全球产量、收成面积和耕地面积的增长情况	46
图 1-6 : 2000 年和 2050 年的人均耕地情况	58
图 2-1 : 发展中国家农村地区五档贫困人群对牧场用地、 雨养耕地和灌溉耕地的人均占有情况	66
图 2-2 : 土地退化和贫穷之间的关系	66
图 2-3 : 关于农村、水资源和环境投资的政府开发援助中 水土资源所占比例情况	98
图 2-4 : 各地区水土资源援助的分布情况（1995–2008 年）	98
图 3-1 : 土地用途发生重大变更后（林转牧）6 项相关生态服务的 状态变化趋势示意图	112
图 3-2 : 全球土地退化状况和趋势	113
图 3-3 : 矿物肥料（氮磷钾）的应用趋势	117
图 3-4 : 主要农业生产系统相关危机的全球分布情况—总览示意图	133
图 4-1 : 玉米、小麦和水稻的水生产率：潜能、灌溉和雨养	160
图 4-2 : 按区域衡量的湄公河流域水稻单位蒸发蒸腾量的产率情况 (千克/公顷/毫米)	162
图 5-1 : 构建灌溉投资框架的国家战略范例	195

地图目录

地图 1-1 : 主要土地的覆盖范围和用途	23
地图 1-2 : 全球主要江河流域物理性缺水区的分布情况	29
地图 1-3 : 主要农业系统	31
地图 1-4 : 低投入耕作在土壤和地形方面所面临的主要制约因素	33
地图 1-5 : 主要作物产率缺口的总体情况	36
地图 1-6 : 灌溉建成区的土地份额	39
地图 1-7 : 地下水灌溉区所占比例	41
地图 2-1 : 儿童营养不良的普遍性	67
地图 2-2 : 贫困人口分布情况（基于儿童营养不良状况）	68
地图 3-1 : 灌溉导致的盐化土地的比例情况	116
地图 3-2 : 濒危农业系统：水土资源面临人口压力	126

《世界粮食和农业领域 土地及水资源状况》 简介

过去 50 年内，世界耕地面积增加了 12%，而同期的全球灌溉面积则翻了一番，是耕地面积净增量的主要构成部分。与此同时，随着主要作物实现增产，农业产能递增了 2.5~3 倍。

然而，全球范围的增产却在一些地区导致了水土资源退化以及相关生态产品和服务的恶化。具体涉及生物量、碳贮量、土壤健康、储水和供水、生物多样性，以及社会和文化服务等方面。出于农耕需要，农业已占用了世界土地面积的 11%。另外，含水层、溪流和湖泊中汲水总量的 70% 亦被借用。农业政策的主要惠及对象是拥有富饶土地和灌溉水源的农民，而对于那些因条件恶劣、土地退化和无常气候而深陷贫困之中的绝大部分小农群体则是不闻不问。

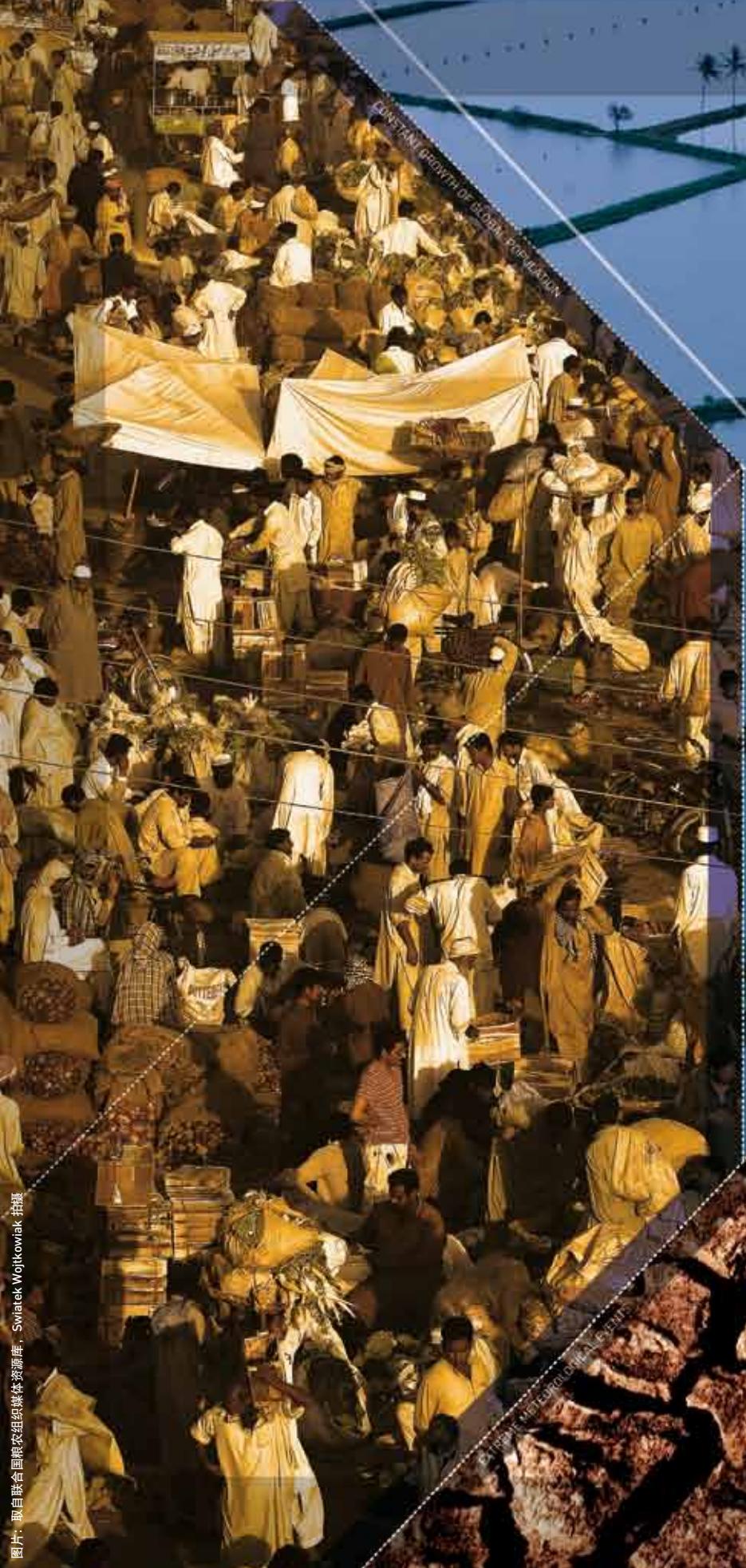
对于农业的发展态势以及水土资源之间那种愈演愈烈的依存与竞争关系，水土资源机制已然落伍。需要适应性更强、更加强调合作的机制，以便有效应对自然资源的稀缺和把握市场机遇。

随着人口和收入的增长，与 2009 年的水平相比，2050 年全球范围内的粮食产量预计需要再增加 70%，而在发展中国家中这一比例将达到 100%。然而，水土资源的分布情况对那些需要在日后增产的国家来说并不妙：低收入国家的人均可利用耕地不及高收入国家的一半，而适宜耕种的土地面积普遍来说则更少。某些粮食需求增长迅速的国家同时也是那些水土资源极度匮乏的国家。提高农业产量的最好方法，有望通过在现有农业用地上进行集约化生产来实现。这就需要广泛采用可持续性的土地管理手段，通过提高灵活性和可靠性以及定时灌溉等方式实现灌溉用水的更有效利用。

农业生产的通行做法亟待深入评估。在当前人口压力过大和农耕手段不可持续的背景之下，一系列水土资源系统的生产能力正日益面临崩溃的危险。由于受到气候变化、来自其他领域的竞争，以及社会经济变革等外部因素的影响，上述系统内可利用水土资源的界限范围可能会进一步缩减。这些濒危系统亟需被视为当务之急并加以补救，原因就一个，因为别无他选。

通过有效扩大产能的方式来解决粮食安全和贫困问题并限制对其他生态系统要素的影响，这是可以实现的。对需要为可持续水土资源管理措施的普及付出更积极努力的政府和农民等民间团体而言，需涉及如下范围的事宜。应对措施不仅包括采取技术手段促成可持续集约化生产和降低生产风险，还包括创造一系列条件来消除障碍，提供灵活性。具体包括：① 纠正激励机制中的扭曲行为；② 改善土地租赁制度和资源利用条件；③ 强化水土管理机制且更注重机制的协作性；④ 有效的配套服务（涉及学术交流、适应性研究及农村金融）；⑤ 建立更好和更可靠的市场准入机制。

可持续水土资源管理方式的普及，还需要国际社会达成政治意愿，愿意为推动负责任农业生产方式的普及提供资金和制度上的支持。对水土资源方面的国家预算和政府发展援助中的不良势头，应当加以纠正。新的资金筹措手段包括征收环境服务付费（PES）和建立碳市场。最后，对水土管理方面的国际政策和相关项目，还需要进行更加有效的统筹。只有作出上述改变，才能在环境限度内通过可持续农业实现世界人民的自给自足。



图片：取自联合国粮农组织媒体资源库，Swiatek, Mojtkowik 拍摄



概要

在一个人口不断膨胀且消费方式不断改变的拥挤世界中，人类并未付出足够的努力去规划和管理水土资源的未来。数十年过去了，关于投资不足、管理不善和治理不力的例证比比皆是。从无法承载人类居住的陡峭坡地发生严重泥石流，到整个江河流域被史无前例的洪水所吞噬——新闻报道中充斥着极端气候对人类生活的影响。然而，对全球粮食安全和农村生计所依赖的水土资源系统正在悄然退化一事，却未引起注意。在某些地区，整个系统都处于濒危状态。必须在维护好它们的完整性和生产力的同时，采取措施扭转其退化趋势。

毫无疑问，大力改善水土资源利用渠道和管理方式是必不可少的。粮食和农业产量的预期需求要满足，营养不良和农村贫困也要解决，水土资源的争夺必须协调，而自然系统的快速退化也应加以关注。这就要求强化对水土资源管理和政策的整合，并在粮食安全和扶贫方面辅以更大规模、更具战略性的专项投资。

本书介绍了粮食生产领域的水土资源状况并分析了粮食安全和可持续发展方面所面临的威胁。这些威胁不仅仅是由某些水土资源物理性稀缺造成的。人口增长趋势、饮食的调整和气候的变化带来了一系列错综复杂的挑战，农业生产方式必须相应改变。文中对世界水土资源体系应对这些挑战的潜力进行了评估。针对以何种方式管理某些“濒危系统”使之实现可持续生产水平，以及其中涉及的风险利弊，都进行了探讨。书中对政策制度上的调整需求以及特定环境中的技术要求也进行了探索。主要结论和建议在下文有述。

水土资源面临的挑战

随着目前物价水平（及浮动水平）的上涨以及大规模征地的增多，有多少水土资源可用于解决各国和全球粮食和农业生产需求的问题就凸显出来。就粮价飞涨的社会影响来讲，最穷困群体受害最深。全球农业市场在消化供给冲击和平稳农产品物价方面的缓冲能力，取决于水土资源系统能持续不断地发挥作用。与此同时，由于气候变暖及干旱并发、降水周期的改变以及极端性事件的频发和持续，气候变化给农民带来了更多风险，进一步加大了收成的不可预测性。虽然变暖趋势可能会扩大北半球的农业生产范围，但预计低纬地区的主要农业系统则需克服新的温度、湿度和水源的压力。

水土资源利用中的状况与趋势

过去 50 年里，水土资源管理满足了粮食和纤维食物需求的快速增长。特别一提的是，农业和灌溉的集中投入和机械化加速了生产力的快速提高。全球农业产量在这一时期内增长了 2.5~3 倍，但耕地面积的增幅只有 12%。粮食生产中 40% 以上的增长来自面积已经增长 1 倍的灌溉区。同时期人均耕地面积缓步下滑至 0.25 公顷以下，充分说明了农业集约化的成功。出于农耕需要，农业目前占用了世界土地面积的 11%，并使用了含水层、溪流和湖泊中汲水总量的 70%。

可耕种土地的分布对最需要提高产量的国家却是相悖的。低收入国家中人均耕地面积不及高收入国家的一半，而适耕面积则普遍更低。考虑到人口和收入变化带来的粮食增产需求可能主要集中在低收入国家，这一点令人堪忧。其所带来的主要启示是，必须在全球范围内调整农业生产，以补偿地理位置上的实际缺憾。

雨养农业是全球最主要的农业生产方式，而且是多数农村贫困人口赖以生存的基础。北半球的温带谷物产地将继续供应全球市场，在全球变暖推动下，范围甚至会向北方延伸。然而，在干旱的热带和亚热带，雨养作业受到了不规律降雨的制约。生长期中土内水分供给的不确定性降低了养分的获取，继而导致减产。由于

热带土壤的肥度和碳含量不高，许多低收入国家中雨养农业系统的产量刚刚超过潜在产能的一半。虽然改善土地和养分管理可以带来高产，但只要不规律降雨的威胁没有消除，实施起来就并非易事。生活在贫瘠土地上的农村贫困人口可以利用的良种、肥料和知识有限，仍属于弱势群体。

用最适耕土地搭配高投入农业的趋势缓解了土地扩张压力，并限制了对森林和其他用地的侵占。发展精准农业、实现各类粮食和经济作物商业化的既定趋势已经逐渐明朗化。1961-2009 年间，耕地总量净增了 12%，但灌溉区面积却翻了一倍还多。虽然适宜灌溉的良田中大都已进行了开发，但有关因需、适时施水的呼声正日渐高涨，且全球配备灌溉设备的地区继续在以每年 0.6% 的速度实现增长。地下水灌溉的应用正在提速，当前灌溉区中有近 40% 在使用地下水，不是将其用做主要水源，就是与地表水源进行混用。通过集中投入的方式，这种集约化模式减缓了主要谷物雨养种植区面积的扩大，并建立了一个向城市输送各种农产品的安全供应链。

然而，太多地方的增产都在借助于那些会导致水土资源系统出现退化的管理手段，而这些系统正是生产的依存基础。其中一些地方，主要水土资源系统的环境影响已积累到一定程度，危及了生产和农民生计。某些情况下，农业集约化生产方式已经造成了严重的环境退化，如生物多样性的丧失、化肥和农药使用不当造成的地表和地下水的污染。

使用灌溉的直接好处体现在产量和收入上，间接好处是可以降低下游地区的洪水破坏程度。然而，也会带来一些附带影响，往往造成超过产量收益的损失。这些影响包括造成环境流量减少、致使下游地区可用水量发生变化，或者导致具有生物多样性、养分充足和防洪等重要生态功能的湿地面积萎缩。有些情况下，主要水土资源系统的环境影响已积累到一定程度，危及了生产和生计。

虽然水土资源的集约化开发能够降低用地压力，从而对森林进行保护，特别是在大型农业系统中，但它也会导致范围更大的生态恶化，如森林生物量的气候缓冲和碳储存功能随着砍伐而消失、生物多样性的丧失，以及宜居性、旅游价值和文化遗产价值的丧失。小型农场所不可持续的管理方式也会导致退化现象（如养分压榨、侵蚀等），并加大温室气体排放量。通常，这些方式的出现都是因为社会经济条件欠佳（如土地权属没有保障，缺少市场渠道或合适的技术，所用土地贫瘠不堪）。

在那些可再生水资源已多被挪作他用，或跨境资源管理无法协商的地区，农用水源的制约作用愈发严重。整体而言，日益严重的缺水问题制约了灌溉生产，尤其是在压力最大的国家和地区。在人口增长迅速的中低收入国家里，水需求量已超过了供水量。农业和其他领域不断增长的用水需求正在形成争抢态势，造成了环境压力和社会经济的紧张。在降水不足且无法开发新水源的地区，预计缺水状况对农业生产的制约将大于缺地问题的制约。

地下水抽取为灌溉提供了一种宝贵的现成水源，但实践证明，要对其加以控制几乎是不可能的。因此，在高、中、低收入国家的主要谷物产区中，当地超大的地下水汲取量正在超过自然补给量。由于大量主要产粮区都依赖地下水，所以含水层水位的下降和对不可再生的地下水的持续抽取将愈发危及当地和全球的粮食生产。

贫困与缺乏水土资源利用渠道之间有着密切联系。全球范围内，最贫困人口接触到的水土资源最少，且其小农场所土壤质量差并极易受土地退化和无常气候的影响，令他们深陷贫困之中。这些贫困人口所能接触到的技术和农耕系统属于典型的管理差、投入低的系统，可能导致土地退化，也可能对不规律降雨产生一定缓冲作用。最严重的土地退化、趋势与贫困人口不无关系。

水土资源领域的政策、制度和投资

水土资源使用权限不明确、缺乏稳定性且管理和执行能力差，造成了用地争端和用水冲突。特别一提的是，要想保护农村生计并刺激水土资源利用的负责任使用，首先要在国家立法中系统性地纳入有关使用权限的惯例和传统做法。

农业发展政策历来都侧重于对高潜力地区进行投资，侧重于灌溉、机械化以及以农贸和出口为导向的定向种植（单一作物制）。它们所惠及的是那些有良田、有水源、有农机、有资本的农民，而对于那些普遍受制于贫瘠脆弱的土地且农作系统属于典型的管理差、投入低的多数小农则几乎不闻不问。此类政策经常会把短期经济利益放在首位，对长期的资源退化和生态服务所受影响漠不关心。随着新农业系统的实施，农村生计和文化也受到了影响。

农业中的水土资源利用陷入了一个政策迷局。一方面，农业政策在因应需求提高方面富有成效，但另一方面却导致了一系列意外后果，如化肥和农药的过度利用以及地下水源的耗竭等。与此相类似，用水政策促进了供水和蓄水，但在缺水地区却导致了需求过度和“人为”缺水。另外，灌溉服务费用偏低也推动了使用中的浪费行为。

在许多江河流域中，社会经济的变更和环境问题的积累已经超过了制度建设的步伐。虽然环境政策在高收入国家中已取得了一定成效，但就目前来看，对较贫穷国家发展进程的影响还远远不够。

用水和用地制度之间的协同度已落后于利用和消费格局的变更。虽然水土资源是一个整体运作的系统，但很多制度却对其分而治之。水土资源在法律层面的分治是刻意为之，为的是避免强占资源，但各江河流域开发强度的不断提升以及水土资源之间依存与竞争局面的加剧却要求建立适应性和协作性更强的制度，以便有效因应自然资源的稀缺和市场机遇的变化。即便是那些旨在对地区性或江河流域性管理进行整合的专项制度，也只是对水资源或土地资源以及其各自的多种利用进行单一管理，而非合而治之。在许多国家中，随着水土资源争夺的加剧，水土资源利用的全国性和地方性制度在对各种利用进行仲裁上已经力不从心。跨境协作框架（各州省之间和沿河国家之间）的缺失或薄弱已经导致了投资不力并造成上下游用户间的紧张关系。

过去 20 年间，政府和民间针对基本的农业基础设施和制度的投资一直处于下降趋势。农业基础设施（农村的道路、灌溉项目、仓储和营销链）已经愈发不能因应市场变化，不能适应高品质农产品的生产。针对现代农业进行更大规模的再投资已被视为全球复苏中提高粮食供应整体稳定性的关键因素。采用集约化生产方式的江

河流域中水土资源依存与竞争的加剧说明了：若没有行之有效的自然资源分配和环境监管是无法实现这种稳定性的。现有水土资源系统备受自然资源枯竭与退化的威胁，要作为当务之急来处理。

在水土资源丰富可用的亚非和拉美等部分地区，大规模征地现象正在增多。这些现象的出现不仅是因为对粮食和能源安全的担忧，也来自其他一些因素的影响，如商业机会以及工业和受援国对农贸产品的需求等。在世人当中，通常是当地人普遍存在一种看法，即剩余的适耕地中大都已被占用或征用，“空地”非常有限，然而恰恰相反，各国的大规模征地在适耕地中的比例仍旧很小。虽然征地可以提供发展机遇，但也会给农村贫困人口带来危机，令其流离失所或无法利用水土和其他相关资源。许多国家都缺乏完备的机制来保障当地民众的权利，关心他们的利益、生计和福祉。合同磋商中透明度和制衡性的缺失可能会催生那些无法实现公共利益最大化的交易。无保障的地区土地权属、不方便的登记程序、定义模糊的生产用途要求、立法方面的空白以及其他一些因素，往往会使当地民众处于更糟糕的境地之中。

2050 年水土资源利用展望

到 2050 年时，人口和收入的增长预计将会导致全球对农业产量的需求出现 70% 的上涨。若以 2009 年的水平为基准，中低收入国家中的涨幅就得达到 100%。这意味着全球和中低收入国家的年增长率要分别达到 1% 和 2% 的水平。产量的提高预计将主要通过在现有耕地上实施集约化生产的方式来实现。在非洲撒哈拉以南地区和拉美地区，扩地空间仍旧存在。从长远看，气候变化预计会给某些温带地区带来更大的扩地潜力。

灌溉农业和雨养农业都应对这些增长的需求作出响应。现有产量的翻倍增长可借由已开发的水土资源来实现。还有一些水土资源也可以挪用到作物生产领域，但多数情况下它们都在承载着重要的环境和经济功能。若挪用于作物生产，就应预先对产量增益、现有生态和社会经济功能的丧失进行权衡。

发展中国家中作物产量的未来增长可能大都借由集约化生产来实现，并在实践中通过改善用水服务、提高用水效率和生产率、扩大种植密度的方式让灌溉发挥越来越大的战略作用。灌溉区和农用水的增长预计会相当缓慢：灌溉土地将从 2009 年的 3.01 亿公顷增长至 2050 年的 3.18 亿公顷，上涨 6 个百分点。然而，任何增长都有利弊，尤其是在跨领域的水资源分配和环境影响方面。补充灌溉和加压灌溉方式在私有农场中的应用可能会有显著提高。从农用水效率和产量收益的现有趋势来看，到 2030 年，农业汲水量预计需增至每年 2 900 千米³的水平，而到 2050 年则需增至每年近 3 000 千米³。这意味着从现在到 2050 年要实现 10% 的净增长。

随着水土资源短缺的凸显，城市和工业需求间的争夺将会加剧，而农业内部各领域间的争夺，即畜牧、粮食作物、液体生物燃料等非粮食作物之间的争夺，亦将普遍化。城市和工业用水需求的增速将远远大于农业需求，而且预计可能会挤占农业的配水额。与此同时，需要提高土壤管理和精准施水的水平以满足提高农业生产率的要求。这将导致内部各领域对稀缺水土资源的争夺，给最后一个天然淡水资源—地下水资源—带来严重影响。

气候变化预计将改变温度、降雨和江河流量的格局，而这些正是农业系统的依存基础。虽然有些高纬地区的农业系统可能凭借温度变化获得更多可用耕地从而实现净收益，但低纬地区预计将遭受负面影响的冲击。全球变暖预计将加大亚热带地区的旱涝频率和强度。三角洲和沿海地区预计将会受到海平面升高的负面影响。另外，依赖于夏日雪融水的山脉或高地系统以及灌溉系统预计将面临基流方面的长期变化。旨在发挥调节和减缓作用的战略应当侧重于提高农耕系统适应力，减少眼下和日后的风险，如干旱、过度降水和其他极端气候。这些战略还应减缓气候变化给农业生产带来的负面影响。

濒危水土资源系统：定义与分布

全球范围内，由于人口压力过大和农业生产方式不可持续的综合影响，一系列农业生产系统正处于濒危状态。从水土资源利用和退化趋势的全球统计数字中很难

看出资源水平的地区差异。水土资源的限制预计将会危及主要农业生产系统解决需求的能力。由于受到气候变化、来自其他领域的竞争，以及社会经济变革等外部因素的影响，这些自然资源的制约程度预计会在某些地方进一步加剧。鉴于其不可再生性，这些濒危系统亟需引起重视，加以补救。

在《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》（简称 SOLAW）中，若一个生产系统中现有适耕地和水资源在局部地区的可用性和利用受到了制约，即被视为处于“濒危”状态。另外，局部地区的水土资源缺乏可能会受到不可持续的农业生产方式、日益严峻的社会经济压力或气候变化的进一步制约。在 SOLAW 中加以图示的全球九大类农业生产系统中，都存在着濒危系统。

可持续集约化生产中的水土资源

到 2050 年，农业产量中超过 4/5 的增幅预计将通过提高现有耕地生产率的方式来达成。产量的提高、制约因素的克服以及风险的管理可通过一系列农业和技术手段来实现。这些手段的实施需要更富成效、更注重协作的水土资源管理制度的配合和指导，既涉及政府和民间层面的制度，也涉及正式和非正式层面的制度。

水土资源的生产率缺口：潜力空间

由于土壤内在肥度不高、养分严重枯竭、土壤结构欠佳以及土壤管理手段不当，导致雨养耕地的土地生产率普遍不高。这在非洲撒哈拉以南地区更是如此，那里的产率通常低于 1 吨/公顷。可持续水土资源管理技术可以通过综合管理土壤肥度的方式来提高降雨规律地区的生产率水平。

雨养农业综合生产方式，如保护性农业、复合农林业和农畜综合系统，或综合灌溉和水产养殖业，将那些适用于当地生态、文化和市场需求的最佳管理方式融为一体。通过害虫综合管理（IPM）可最大程度降低农药使用及相关风险。结合了雨水集蓄功能的土地肥度综合管理以及坡地水土保持可以提高雨养农业产量。这些方式侧重于氮和碳的循环，还能起到加强固碳并减缓温室气体（GHG）排放的作用。

实践证明，将上述方式纳入含有配套服务和更好市场接入的农村发展和改善农民生计战略后，成效斐然。教育、激励机制及农民田间学校的实施则加速了向生产

率更高、适应性更强的土地利用系统的过渡。然而，风险性及初始阶段收益低可能会阻碍这些技术付诸实践。总体而言，需要进行可行性及风险评估来分析社会经济制约因素，并制定有效的一揽子激励方案，促使农民采用合理的管理方式，并根据具体农耕条件对各项技术及方式进行相应调整。

全球大多数灌溉系统都未将其能力完全发挥出来，也未针对当今农业需求进行调整。管理问题导致了水分生产率偏低，转而又造成了资源利用率和经济效益错失改善良机。在众多缺水地区，灌溉用水供应量目前的提升空间有限。额外的灌溉水源可取自大型多功能水电项目。小型蓄水项目预计也会促进供水量的提高，而新的地下水开发项目亦在筹划之中。不过，用水需求管理仍将变得愈发重要。通过改善灌溉项目管理、投入现代化技术、学科开发和培训等方式，可大幅提高用水效率并提高针对贫困人口居多的末端用户的供水量。另外，还可以对那些含水层功能和服务的维护体现着集体利益的地区进行水源管理水平的改善。在非洲撒哈拉以南地区和亚洲部分地区，取得成效的潜力最大。

要提高较大型灌溉项目中水土资源的生产率，必须制定一个整合了基础设施升级和管理系统改善等内容的一揽子现代化方案，同时还要创造一个能提供公平激励机制、可控风险和市场接入的经济环境。另外，小型及非正规的灌溉设施中也存在提高灌溉效率和生产力的空间。这就要求建立与当地管理方式和社会经济背景相适应的机制，确保提供知识、技术和投资方面的配套支持。

水循环和再利用是另一个备选方案，但必须加以有效管理才能安全地从污水、咸水和废水处理中获取水源。在许多灌溉项目中，必须针对盐化和积水给当地和异地造成的风险认真作好排水规划、投资和管理工作。另外还需要进行水盐平衡研究并建立管理监督体系。

国家对可持续水土资源管理的扶持

全球农民仍将是实施变革的主要力量，他们的看法必须倾听。水土资源的规划和可持续管理必须要有农民的参与，但由于贫困、缺乏统一激励机制，土地权属和用水权无保障，缺少完备的地方组织以及配套服务欠佳（如农村信贷金融、市场、

技术和知识利用渠道)等原因,许多人被迫采取不可持续的方式。其实,可以对公共资源进行更具战略眼光的分配,配套以相应机制鼓励民间资本参与融资,这不光是在国家层面上,还应通过信贷机制体现在地方层面上。这样一来就可以提高政府在农业上的投资比例。在各个国家中,三大领域的投资至关重要:① 在国家层面上,政府需要针对公共财产进行投资,如道路、仓储、水土资源保护工程等,以利于私人资本介入;② 需要在以监管和促进可持续水土资源管理为目标的制度建设方面进行投资:研究与开发、激励机制和监管体系、用地规划和水资源管理等;③ 在江河流域或灌溉项目的层面上,需要进行综合规划,推动水土资源投资项目的有序进行。就灌溉项目而言,需要侧重于实现基础设施和制度建设的现代化。

要改善水土资源使用权制度中阻碍生产率提高的缺陷,可以通过加强水土资源行政管理制度的方式来实现。可通过法律认定和保护的方式,或是通过个人权属协商解决和合法转化的方式对共有财产制度进行调整,提供有保障的土地权属。可通过繁荣土地市场并进行监管的方式,提高分配效率和公平性。

让投资人参与水土资源系统各级管理中来的做法可极大提高水分生产率,并通过改善各领域间分配效率、引入技术和管理模式来提高用水效率的方式降低用水压力。参与式的集体灌溉或地下水集体管理就是实例。始于技术层面的跨境水资源管理合作可以促成多目标的优化投资以及流域范围内的利益分享。未来的制度建设可能会愈发涉及跟参与式和多元化方式有关的内容,将越来越多的权利和责任下放基层。灌溉改革将依托于政府所采取的旨在下放灌溉控制权并让实施灌溉的农民担负更多责任的措施。流域管理方式则立足于最大程度实现水土资源管理权向基层地理单元的下放以及投资人对规划和决策过程的参与。

特别一提的是,利弊问题的处理必须侧重于集约化的程度与方式、保护与养护、农贸生产与粮食生产之间的平衡、增长与收入分配之间的平衡、国家粮食安全

水平，以及城乡人口关于成本和收益分配等方面的问题。最重要的是，分析要到位，决策要着眼于覆盖面更广的公共利益。因此，参与度和透明度就显得很重要。

要改善可持续水土资源管理方面的技术应用，就必须将科研成果与当地情况与适应度放在一起加以统筹。对多数水土资源系统而言，研究基础深厚，但研究和推广必须做到能根据需求提供改良技术才行。通过与当地农民团体、非政府组织（NGO）和民营组织的合作，“农民田间学校”等推广项目已成功普及了一系列可持续技术和方式，如加压灌溉、保护性农业、产品认证等。

SOLAW 发现，在现有数据库和信息系统中存在大量空白和矛盾之处。这些空白应通过进一步清查水土资源的方式加以完善，以便有助于对决策和实施进行指导。对现有主要农耕系统进行进一步的研究是制定保护性战略和集约化战略所必不可少的。而涉及水土资源审计等内容的生态服务评估和评价方法，也应予以制定，以便为开发方案的评定提供必要工具，并为决策提供参考信息。网络和现代化媒体则需要在知识的交流与传播以及知识空白的发现与填补方面发挥更富成效的作用。

要想以更加高效的方式管理水土资源，首先就要纠正那些导致水土资源退化的扭曲现象，如对低效率高耗能的农耕方式或地下水耗竭起到了助推作用的能源价格偏低现象。有鉴于此，可以设计一个包含价格激励和监管举措的激励体系，以便推动更好的行为方式。环境服务付费的做法就可以在农民的付出与社会其他部门的收益之间实现重新平衡。

对于新近出现的征地趋势，应通过制定合理规定以及颁布对土地资源量和使用权予以更多关注的宽泛粮农政策的方式加以解决。在加强各级能力建设的基础上制定土地管理方针或国际投资管理规范，会对决策和协商起到促进作用。

国际合作和投资方面的要求

国际上与水土资源管理相关的项目亟需进行更好更有效的整合。出于对粮食安全、扶贫、环境保护和气候变化的担忧，可持续水土资源管理的国际合作已经在许

多制度体系内被列为当务之急。多个国际协议都涉及了对包括水土资源在内的自然资源进行保护的原则性内容，不过这些内容很少被转化为实质性的行动或国际行为准则，而且尚未形成统一的协议和框架来指导可持续水土资源管理方面的行动。

一些组织和规划署，如全球环境机构（GEF），一直致力于唤起社会对可持续水土资源管理的认知并敦促采取相关行动，而另一些组织则已加强了制度和管理方面的建设。然而，不同组织经常是在同一领域开展工作，导致目标分散和影响力下降，而且工作主要局限于单一领域，并未实现统筹兼顾。

近来，一些民间社团和民间组织（如公平贸易组织、环境认证组织、有机标签组织等）的行动和合作也对可持续水土资源管理产生了积极影响。要通过更好的知识及监测机制促进和指导这些活动。特别一提的是，大型农业具有降低碳交易相关交易成本的潜力，因而须提供激励机制，促进可持续管理。

全球范围内的水土资源投资水平仍然不足以解决长期存在的粮食危机和自然资源短缺状况。据估算，2007–2050 年，灌溉开发和管理方面的投资总需求近 1 万亿美元。此外，土地保护和开发、土壤保护和防洪等方面也需要 1 600 亿美元左右的资金。新的融资手段包括环境服务付费（PES）及碳市场。全球层面上的融资应该作为国家层面上政府和民间融资的补充。为了有效吸引和吸收这些上层投资，各国需要制定有利的政策、制度和激励机制，并加强监测及评估机制，来处理与可持续性相关的社会、经济和环境问题。

推动可持续水土资源管理的资金需要通过现有基金和/或民间与市场渠道进行筹集和开销。在全球针对气候变化进行固碳融资磋商的背景之下，可以设立一个面向小农、以扶持可持续水土资源管理为目标的专项基金，侧重于实现多重良性目标，如提高土壤固碳能力、减少土壤养分流失和控制农田径流。随后，可以开展相关项目，通过建立激励机制的方式来推动可持续水土资源管理在基层领域的普及，推动再造林和碳捕捉等全球性行动，并减少对环境的负面影响。而秉承 PES 理念的项目将有助于农民开展上述行动。

水土资源管理为一举实现因应气候变化并减缓其影响提供了重大机遇。在人为温室气体（GHG）排放总量中，有 1/3 是由农业和毁林造成的。与此同时，气候变化预计也会对农业生产中的水土资源利用格局产生影响。然而，很多被推荐用来提高气候变化适应力并降低受影响程度的可持续水土资源管理方式也可以起到减缓作用，这主要是通过其固碳作用来实现的。除了能起到碳汇作用外，土壤中有机物储量的提高还能带来很多其他方面的好处，如改善土壤的储水量和保持土壤养分等。这些好处可以降低化肥需求量，提高吸收效果。水土资源管理的改善在减缓气候变化影响上的作用意味着，发展中国家应通过它们在实施可持续水土资源管理过程中所发挥的固碳作用来吸引资金支持。

迎接挑战 — 工作力度亟待加强

农业面临的首要挑战是：在 2050 年之前至少实现 70% 的粮产增幅；改善农村贫困人口的粮食安全及生计；维护必要的生态服务；协调水土资源利用方面的冲突。由于气候变化的预期影响会给农业生产带来纯粹的负面影响，因此所有这些挑战必须加以解决。要想应对这些挑战，就必须满足以下条件：

- 要对现行农业生产方式进行改革，以减轻水土资源系统承受的压力。
- 大幅降低集约化生产系统造成的负面影响，并在粮食增产的同时实现扶贫、粮食安全和生计安全，以及生态服务的维护。
- 对于人口密度高、贫困现象普遍、缺乏水土资源安全获取渠道的小农农业，要减少其负面影响。
- 将濒危农业系统的治理作为大事来抓，并随时监控风险解决的进展。
- 投资、经济和贸易方面的政策要有利于农业的可持续性及农村的均衡发展。

- 用综合规划和管理方式实施可持续集约化，先从地方层面开始实施，然后扩大范围，着手治理濒危农业系统，同时做好因应主要气候变化、减缓其影响的工作。

可持续水土资源管理的主要举措可以围绕下列原则和方式展开：

- 广泛采用参与式、多元化的水土资源管理方式，将权力和责任陆续下放。
- 加大投资，以便对生产到消费的完整市场链中所牵涉的关键性公益基础设施予以改进。
- 建立涉及水土资源审计等内容的生态服务评估制度，为规划和投资政策设定框架。
- 对现有全球性和区域性水土资源组织的使命及活动进行评估，以期推动合作，甚至是一体化。
- 缔结有利于推动“绿色经济”方式并有助于实现农业整体可持续性的国际贸易协定。
- 建立能够通过协作实现经济价值的优化、确保跨国流域地区实现利益均享的合作框架和全流域管理机制。
- 设立面向小农、以扶持可持续水土资源管理为目标的专项基金。随后开展相关激励项目，如针对流域管理及洁净水、生物多样性及可持续生产等内容实施PES，以此推动可持续水土资源管理方式，实现碳捕捉，减少负面环境影响。

结论

由于当前需求量空前巨大，作为全球众多主要粮食生产系统根基的水土资源系统已不堪重负。而气候变化预计将在一些主要产粮区加剧这些压力。

各国政府及民间团体（包括农民）仍有机会发挥更加积极主动的作用，推动和促进可持续性更强的水土资源管理方式的普及。这些方式可以在限定其他生态价值所受影响的同时，有效扩大生产，解决粮食危机。然而，这就要求对水土资源管理的方式进行深刻变革。全球性和国家性政策必须协调一致，制度也必须进行改革，以便相互协作来推广知识的应用并对自然资源的利用进行负责任的监管。墨守成规、稍作调整或是连调整都不做，这样的态度是不够的。

SOLAW 中所揭示的粮农领域水土资源状况及趋势，为那些旨在促进可持续水土资源管理、整治濒危系统的地区性项目和融资活动提供了设计依据和优先进行的依据。



图片：取自联合国粮农组织媒体资源库，Bartek Pogoda 摄



第一章 水土资源状况与趋势

世界上的水土资源是有限的，不断增长的人口令其备感压力。虽然全球统计数字反映了农用水土资源实际份额相对不高的事实，但这些数字并未反映出主要的地区差异以及一系列在地方中凸显的供需不平衡现象。来自非农领域的水土资源需求，以及对环境必须达标的认知的提高，令争夺进一步加剧。本章对水土资源的现状与趋势、地理分布以及其在农业领域中的应用进行了评估。文中对2050年前农业需求的未来走向进行了展望，并对其给雨养农业和灌溉农业带来的内在影响进行了分析。



水土资源的现状

过去 50 年间，全球净耕地面积已经增长了 12%，大都以牺牲森林、湿地和草原栖息地为代价。同一时期内，全球灌溉面积翻了一番。水土资源在各国的分布是不平衡的。虽然世界水土资源中只有一小部分用于作物生产，但是在容易被利用（故而更具经济性）的资源当中，多数已被开垦或用于生态或经济方面的其他重要用途。因此，进一步扩大耕地面积的空间是有限的。唯有在南美洲和非洲撒哈拉以南的部分地区尚有一定的扩增潜力。与此同时，水资源的争夺在不断加剧，以至于全球目前有超过 40% 的农村人口正生活在缺水地区。

土地的分布、利用和适用性

全球土地面积为 132 亿公顷。其中，有 12%（16 亿公顷）目前正在用于农作物种植，28%（37 亿公顷）为森林用地，还有 35%（46 亿公顷）为草原和生态林地等生态用地。低收入国家的土地占有率为 22%（表 1-1）。

土地利用取决于气候条件、土壤条件以及人类的影响（地图 1-1）。图 1-1 按地区对主要的土地利用情况进行了进一步说明。非洲和亚洲的北纬偏南地区，大都被沙漠所覆盖。南美洲中心地带、北美洲海岸沿线、加拿大和北欧全境、俄罗斯大部分地区，以及非洲中部和东南亚的热带地区，则尽数被茂密的森林所覆盖。各组别国家

表 1-1：主要土地利用的地区分布情况（2000 年）

国家分类		耕地		森林用地		草原和生态林地		植被稀疏的不毛之地		居住点和基础设施		内陆水体		
全球土地中所占比例 (%)	全球人口中所占比例 (%)	百万公顷	%	百万公顷	%	百万公顷	%	百万公顷	%	百万公顷	%	百万公顷	%	
低收入国家	22	38	441	15	564	20	1 020	36	744	26	52	1.8	41	1.4
中等收入国家	53	47	735	11	2 285	33	2 266	33	1 422	21	69	1	79	1
高收入国家	25	15	380	12	880	27	1 299	39	592	18	31	1	123	4

来源：改编自 Fischer et al., 2010。

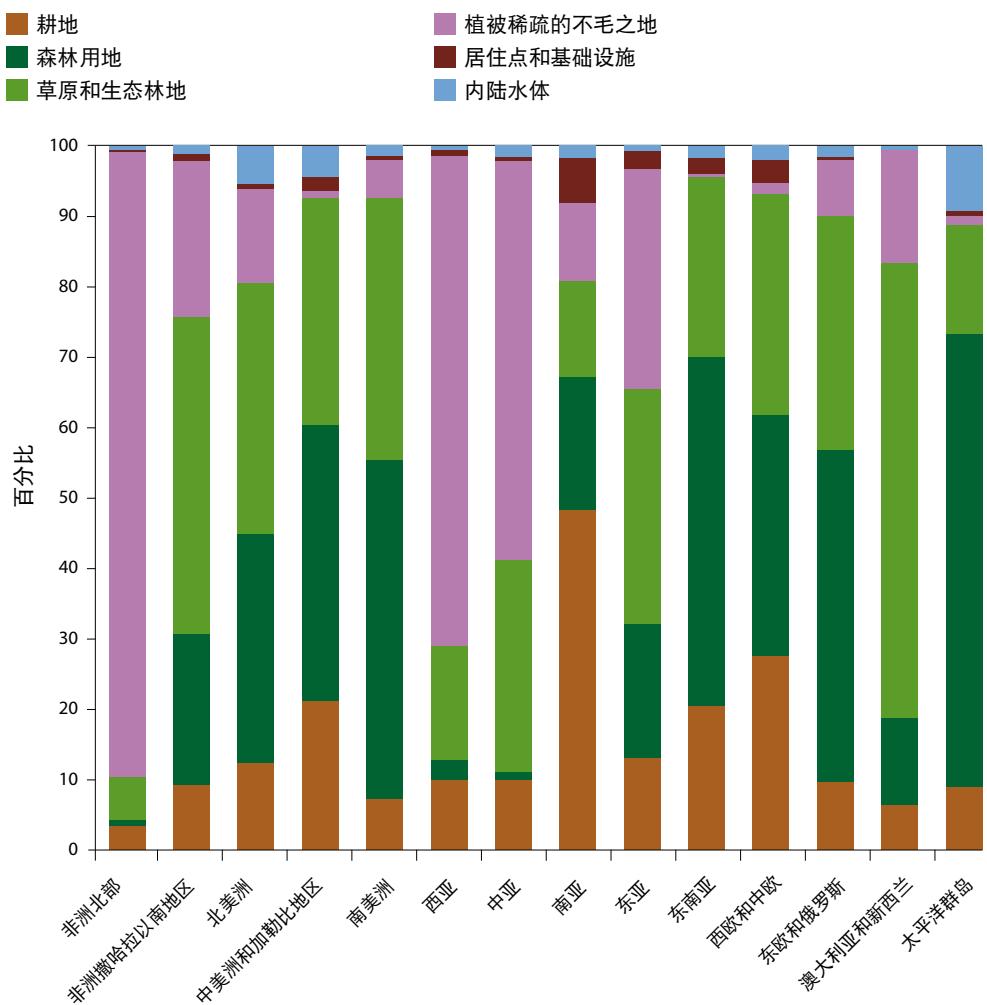
备注：土地覆盖情况是从全球农业生态建模中的一个数据集里提取出来的。由于数据采集具有时效性且在空间分辨率、定义及处理技术上存在差异，表中估算结果可能与其他来源的新近数据有所出入。例如，根据 FAO (2010d) 报告，全球森林用地面积为 40 亿公顷，而表中则为约 37 亿公顷。参见附件 A1 中关于地区及分区内的国家分组情况。

中，耕地在土地总量中的比例都在 12%~15% 之间。草原和生态林地（33%~39%）及森林用地（20%~33%）在三类收入国家中均是主要的土地利用方式和覆盖媒介。

在南亚和东南亚、西欧和中欧以及中美洲和加勒比等地区，耕地是主要的土地利用方式（占土地总量的 1/5 以上），但在非洲撒哈拉以南地区和北部地区重要性就下降了，耕地面积不及总面积的 1/10。

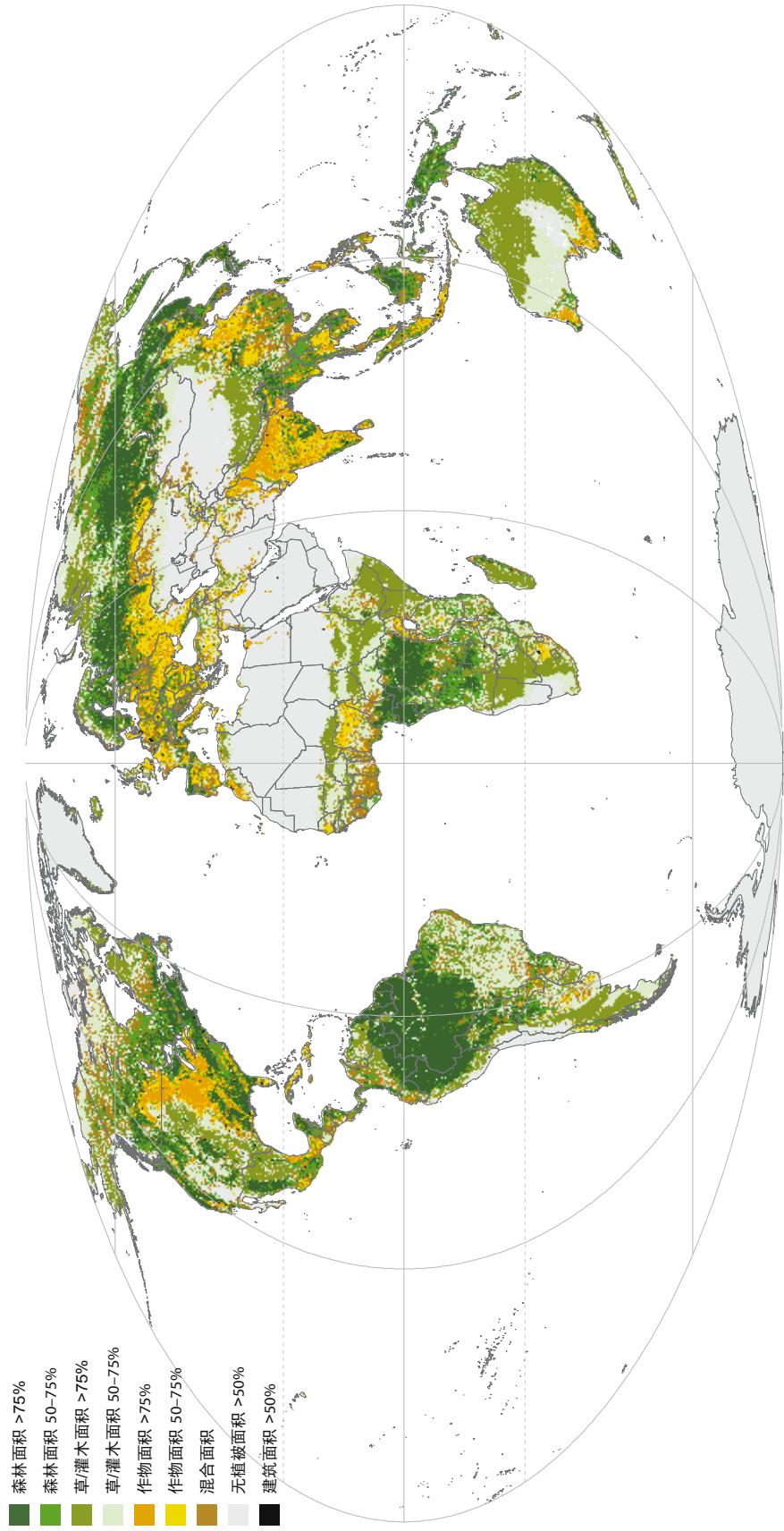
全球耕地面积自 1961 年以来净增了 1.59 亿公顷（表 1-2 和图 1-2）。然而，这一增量中较大部分都是新增耕地，因为同期内原有耕地出现了停产现象。耕地面积

图 1-1：土地利用的地区分布和覆盖范围



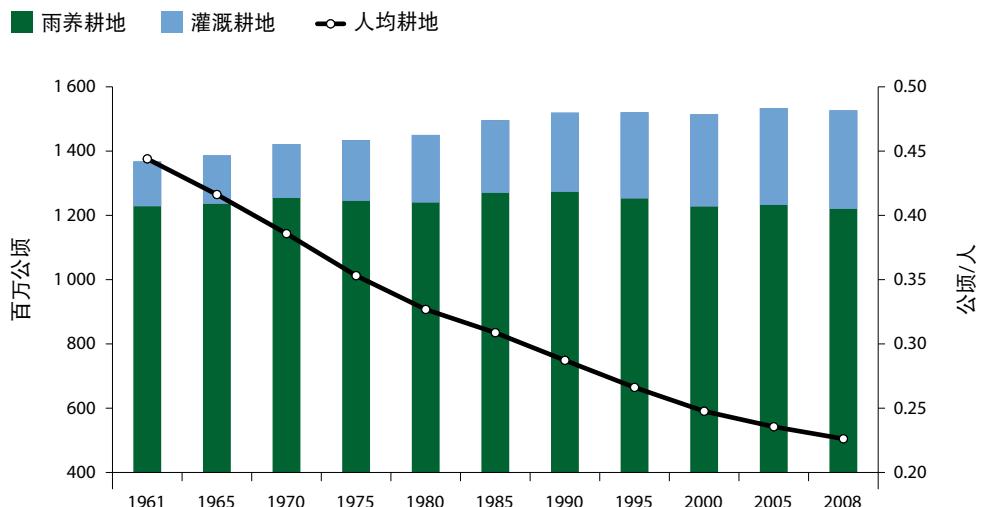
来源：改编自 Fischer et al, 2010。

地图 1-1：主要土地的覆盖范围和用途



来源：IIASA/FAO, 2010。

图 1-2：灌溉农业和雨养农业中的土地变迁情况（1961–2008 年）



来源：FAO, 2010b。

表 1-2：主要土地利用中的净变化（百万公顷）

	1961	2009	净增长 1961–2009 (%)
耕地	1 368	1 527	12
• 雨养耕地	1 229	1 226	-0.2
• 灌溉耕地	139	301	117

来源：FAO, 2010b,c。

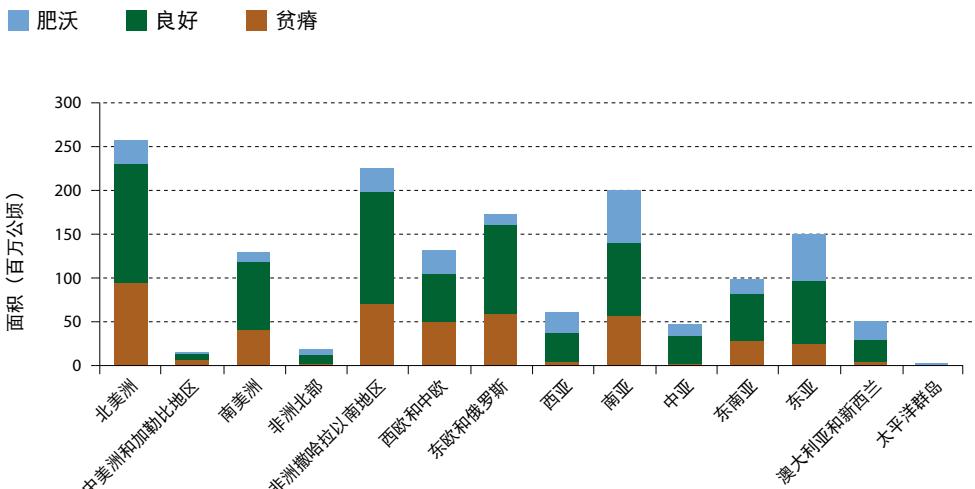
在过去 50 年间的净增量全部得益于灌溉农业出现了净增长，而且雨养系统用地的减少非常有限。这一时期内，灌溉面积翻了两倍多，而人均生存用地则大幅下降，从人均 0.45 公顷下滑至 0.22 公顷（FAO, 2010b）。

随着时间的推移，森林核算方式、森林定义，以及评估所涉及的地理范围也会相应进行调整，导致难以进行对比。然而，森林面积在 1990–2010 年间减少了约 1.35 亿公顷（3.3%），说明通过原有林地的转化已经部分完成了耕地面积的增扩和退化耕地的更替（FAO, 2010d）。

从全球来看，世界人均耕地面积大约为 0.23 公顷。高收入国家人均耕地面积（0.37 公顷）是低收入国家（0.17 公顷）的两倍以上，而中等收入国家的人均耕地面积则为 0.23 公顷（表 1-3）。

联合国粮农组织（FAO）对土地适耕性的界定是以其对一组作物潜在产能的兑现情况为标准（见插文 1.1）。假设现行生产系统十分适用，那么当前耕地中大都属于肥沃（占总量的 28%）和良好（占总量的 53%）土质。当前肥沃土地比例最高的地区是中美洲和加勒比地区（42%），其次是西欧和中欧地区（38%）以及北美洲（37%）。就高收入国家整体来看，当前肥沃土地比例为 32%（表 1-3）。在低收入国家中，土壤通常要差一些，全部耕地中只有 28% 被归为肥沃土地之列（图 1-3）。

图 1-3：各地理区适耕性的总体情况



来源：Fischer et al., 2010。

表 1-3：可用于各农耕系统的全球适耕地份额

地区	耕地 (百万公顷)	人口 (百万)	人均耕地 (公顷)	雨养作物 (%)		
				肥沃土地	良好土地	贫瘠土地
低收入国家	441	2 651	0.17	28	50	22
中等收入国家	735	3 223	0.23	27	55	18
高收入国家	380	1 031	0.37	32	50	19
总计	1 556	6 905	0.23	29	52	19

来源：改编自 Fischer et al., 2010。

插文 1.1：土地适耕性评价方式

本报告将适耕性分为三个级别：肥沃、良好和贫瘠/不适耕。肥沃土地能实现一组作物 80% 的潜在产能。良好土地可实现 40%~80% 的潜在产能。贫瘠/不适耕土地实际产量不足潜能的 40%。无论在何地，管理都会对产量产生影响。表 1-3 中的数字针对的是生产系统合理且管理和投入水平与土地适耕性相称的情况。在这一前提下，全球范围内肥沃土地和良好土地的比例预计在 70%（投入水平低时）~ 80%。

来源：*Fischer et al., 2010.*

用水、汲水、缺水和水质

在全球水循环中，可再生水资源量为每年 42 000 千米³。其中，约 3 900 千米³是从河流和含水层中抽取供人类使用的：70%（约 2 710 千米³）用于灌溉，19% 用于工业用途，11% 用于市政领域（表 1-4）。据估算，全部汲水量中有超过 60% 将通过重新汇入河水或地下水的方式回流到当地水文系统中。其余部分则被视为蒸发和植物蒸腾过程中的消费性用水。

随着全球灌溉面积在过去 50 年内的翻倍增长，农业汲水量也相应增加。从全球来看，总汲水量仍然只占很小一部分—在内部可再生水资源（IRWR）中的比例为 9% 左右（表 1-4），但这一均值水平并未反映出巨大的地理性差异。各各地区的汲水量相差甚大。欧洲只抽取了其内部可再生水资源的 6%，其中仅有 29% 流向农业。亚洲的集约化农业经济则动用了其内部可再生水资源的 20%，其中超过 80% 都用于灌溉用途。在中东、非洲北部和中亚的许多低雨量地区，大部分可利用水资源已使用殆尽，动用的资源中有 80%~90% 流向了农业，因此河流和含水层的耗竭已达到了难以为继的程度。

全球人口中，有 40% 左右住在跨境江河流域，有超过 90% 住在境内拥有跨境河流的国家（Sadoff and Grey, 2005）。这些跨境流域数量达 263 个之多，占据了约 50% 的全球土地面积和 40% 的淡水资源（Giordano and Wolf, 2002）。其中，很多跨境河流的流水量都名列世界前茅。汲水量的上涨—主要由农业导致—要求各国加强协作，如缔结沿河国家条约和协议、签订类似于 1997 年《联合国国际水道非航行使用法公约》之类的国际协议、开展诸如《南部非洲发展共同体水资源共享协议》之类的地区性行动。

表 1-4：主要用水领域的汲水量（2003 年）

大洲 地区	各领域总汲水量							淡水汲取 总量*	内部可再生 水资源中淡 水汲取量所 占比重		
	市政		工业		农业		汲水总量*				
	千米 ³ /年	%	千米 ³ /年	%	千米 ³ /年	%					
非洲	21	10	9	4	184	86	215	215	5		
非洲北部	9	9	5	6	80	85	94	94	201		
非洲撒哈拉 以南地区	13	10	4	3	105	87	121	121	3		
美洲	126	16	280	35	385	49	791	790	4		
北美洲	88	15	256	43	258	43	603	602	10		
中美洲和 加勒比地区	6	26	2	11	15	64	24	24	3		
南美洲	32	19	21	13	112	68	165	165	1		
亚洲	217	9	227	9	2 012	82	2 456	2 451	20		
西亚	25	9	20	7	227	83	271	268	55		
中亚	5	3	8	5	150	92	163	162	61		
南亚	70	7	20	2	914	91	1 004	1 004	57		
东亚	93	14	150	22	434	64	677	677	20		
东南亚	23	7	30	9	287	84	340	340	17		
欧洲	61	16	204	55	109	29	374	374	6		
西欧和中欧	42	16	149	56	75	28	265	265	13		
东欧和俄罗斯	19	18	56	51	35	32	110	110	2		
大洋洲	5	17	3	10	19	73	26	26	3		
澳大利亚和 新西兰	5	17	3	10	19	73	26	26	3		
太平洋群岛	0.01	14	0.01	14	0.05	71	0.1	0.1	0.1		
全球	429	11	723	19	2 710	70	3 862	3 856	9		
高收入国家	145	16	392	43	383	42	920	916	10		
中等收入国家	195	12	287	18	1 136	70	1 618	1 616	6		
低收入国家	90	7	44	3	1 191	90	1 324	1 324	18		
低收入缺粮国	182	8	184	8	1 813	83	2 180	2 179	16		
最不发达国家	10	5	3	1	190	94	203	203	5		

* 包括淡化水水量。

来源：FAO, 2010c。

备注：参见附件 A1 中关于地区及分区内的国家分组情况。

水资源的分布非常不均，有些国家水资源丰富，可很多国家却要应付极度缺水的局面。另外，即使在水资源看似丰富的地方，不是大部分水资源不可用，就是开发费用过高，要不就是远离陆地而无法用于农业。缺水有三种层次：物理性缺水（可供水量无法满足需求）、设施性缺水（在用基础设施无法满足所有用户的用水需求）和制度性缺水（制度和立法不能确保用户得到安全、可靠和公平的水源供应）。

就物理性缺水而言，据估算，可再生水资源的平均汲取量超过 20% 就会给水资源带来巨大压力，超过 40% 就会达到“临界点”。某些地区，特别是在中东、非洲北部和中亚地区，有些国家的汲水量已超过了临界限值。由此给生态系统功能带来愈发明显的压力。按目前估计，世界农村人口中有超过 40% 居住在物理性缺水的江河流域。地图 1-2 根据灌溉中的消费性用水量揭示了全球各主要流域的缺水分布情况。

还有，有些国家已经借助政策和投资的双重手段来大力开发水资源，以期加大供应、刺激需求。这样一来，许多国家中出现了供不应求的局面，而这种失衡将给农业领域带来新的压力。低投入、易建设的基础设施项目已所剩无几，因此开发新水源项目的边际成本就变得很高。

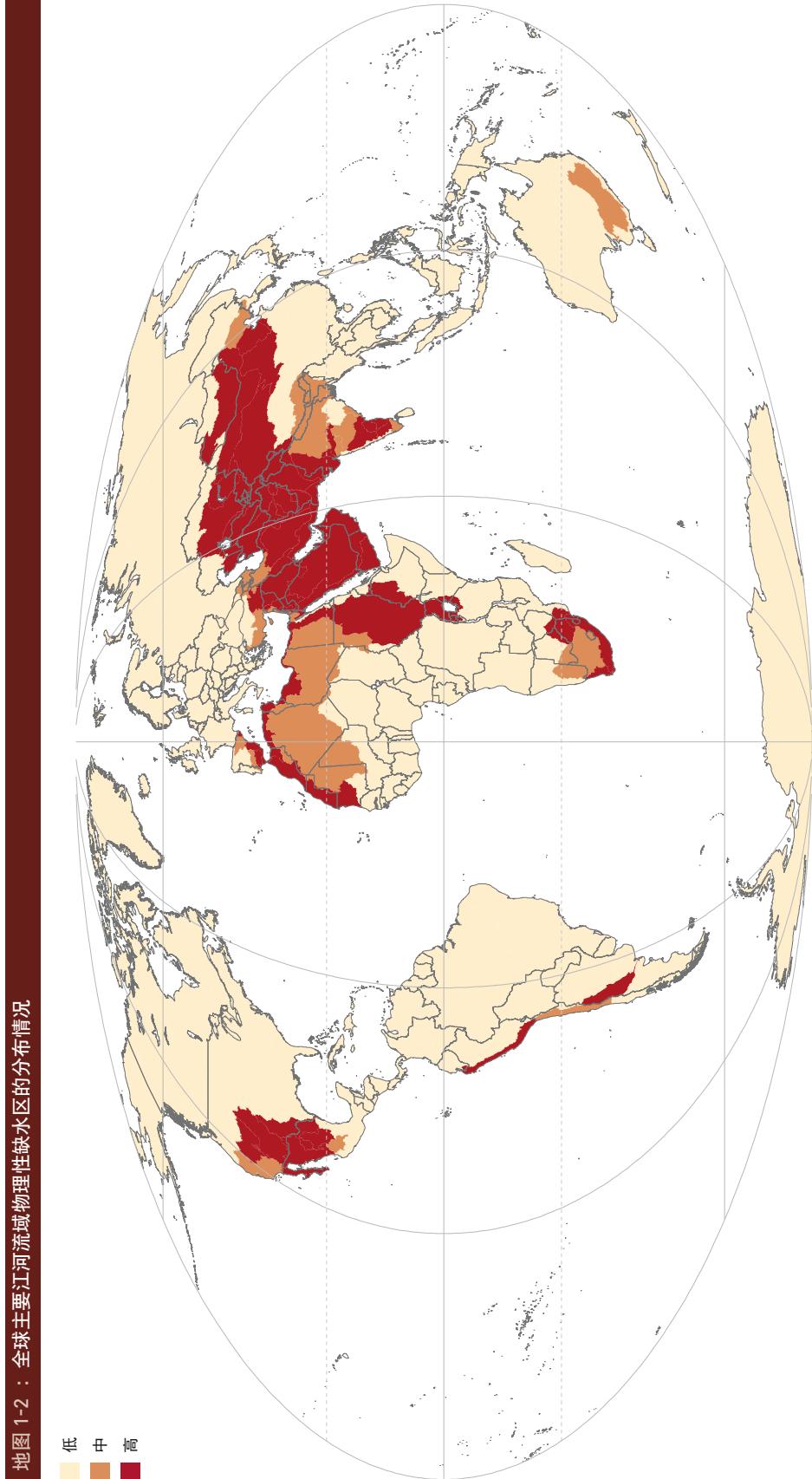
与此同时，来自其他领域的需求，特别是在市政和工业方面，其增速已超过了农业领域的需求。虽然欠发达国家中农业用途仍占首位，但欧洲 55% 的汲水量却为工业所用。全球各地都存在用水压力，但有些地方全地区都面临着巨大压力，特别是在中东、印度次大陆和中国东北地区。而非洲撒哈拉以南和美洲地区的用水压力则普遍偏小。

当水经过生产生活的使用又被排入环境后，就会造成水质变化。总体而言，人口的增长、经济的发展，再加上不用或鲜用水处理措施，已给水质造成了更多的负面影响。作为最大用水户的农业就是一大罪魁。其非点源污染主要来自作物和牲畜管理中的养料和农药。而盐化现象则将问题进一步加剧：巴基斯坦、中国、印度、阿根廷、苏丹和许多中亚国家的大型灌溉项目都报告了许多有关水土盐度的问题，在这些地区中目前有超过 1 600 万公顷的灌溉用地出现了盐化现象（FAO, 2010c）。

雨养农业中的水土资源

雨养农业是世界范围内主要的农业生产系统。由于应用范围是在高地地区和干湿的热带，所以这类系统主要是以更穷困的小农为使用对象，出现资源退化的风险最大。许多雨养耕地中土壤养分含量通常不高，而坡地地形和降水径流的格局又加剧了侵蚀现象。温度高、雨量小且不规律，往往会造成土壤水分不足，而改善水分

地图 1-2：全球主要江河流域物理性缺水区的分布情况



来源：本报告。

的技术手段价格不菲（如集蓄水）。加大投入和强化管理可以提高生产率，但其成本或风险不是许多农民所能承受的。所有这些因素都会对雨养农业中的水土资源产生影响，令使用这种系统的农民变得更加脆弱并加剧了他们的粮食危机。

水土资源的分布情况

雨养农业依靠降水进行作物种植，再无其他永久性灌溉水源。在全球当前 16 亿公顷的耕地当中，有约 13 亿公顷（80%）被用于雨养耕作。众多生产系统当中，雨养农业的产出约占全球产量的 60%（表 1-5 和地图 1-3）。产能最大的生产系统主要集中在欧洲温带地区，其次是北美洲，而雨养系统则主要位于亚热带和湿热带。高地地区和干热带的雨养种植，其产量往往相对较低，通常被归为生计型农耕系统。来自全球各地农场的证据显示，被植物用来进行生物量生产的降水量不足 30%。其余则蒸发到空气中、渗入地下水或是补给河水径流（Molden, 2007）。

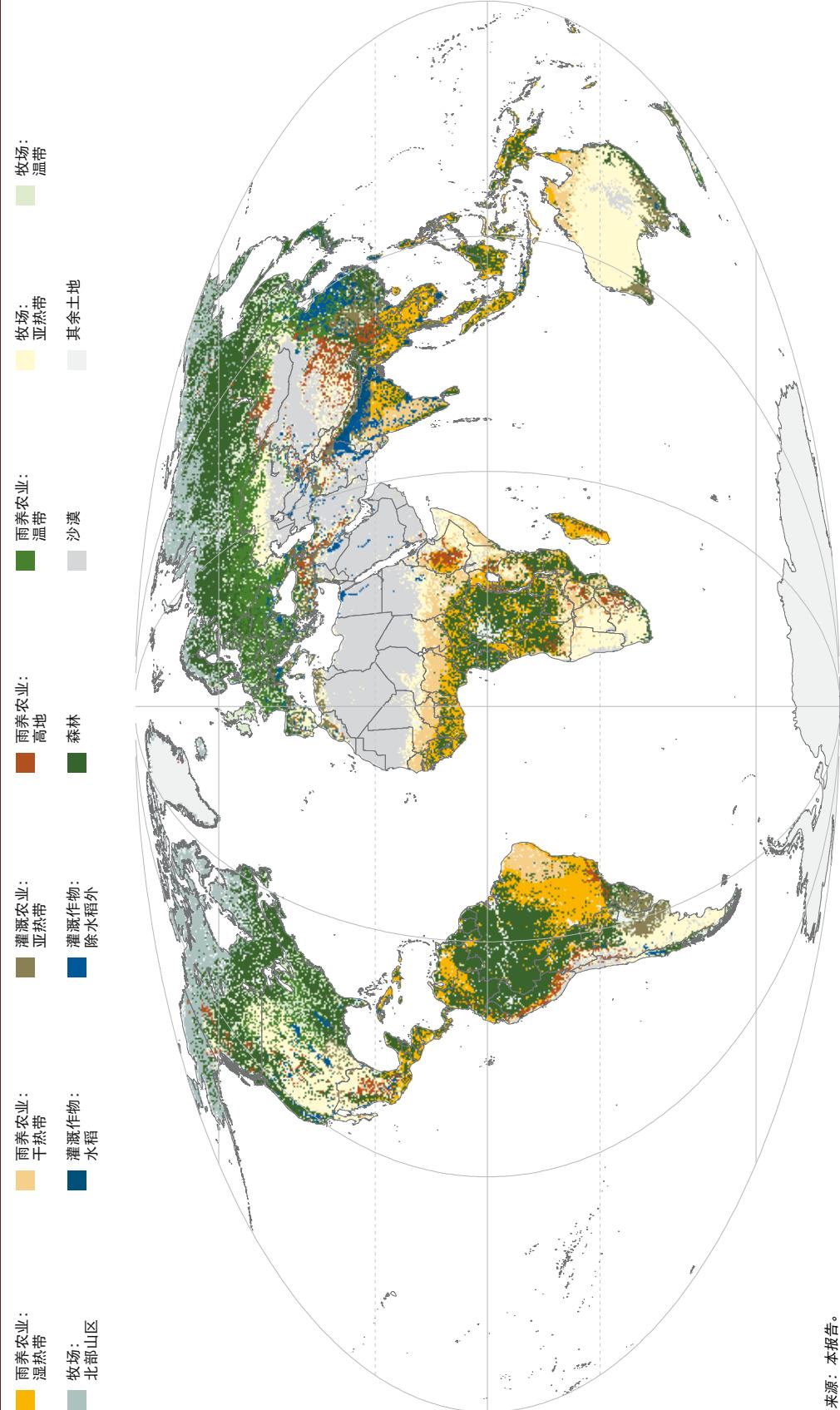
基于温度和土壤条件，可在年降水量超过 300 毫米的地方进行某类作物的雨养种植。生长季节的雨量分布也是一个关键因素：年均雨量大可能无法反映出生长季

表 1-5：雨养系统类型

系统	特征与精选实例
雨养农业： 高地	生产力低下、规模不大的生计型农业：小块土地中种有多种作物，并饲养有少量牲畜
雨养农业： 干热带	玉米、高粱和粟米等耐旱谷物。通常饲养山羊和绵羊等牲畜，尤其是在非洲苏丹-萨赫勒地区和印度。养牛在非洲南部和拉丁美洲则更为普遍
雨养农业： 湿热带	主要是根茎作物、香蕉、甘蔗，还有在拉丁美洲和亚洲比较多见的大豆。玉米是最重要的谷物类型。比较贫困的农民通常会饲养山羊和绵羊，而比较富裕的农民则会养牛
雨养农业： 亚热带	小麦（最重要的谷物）、水果（如葡萄和柑橘）和油料作物（如橄榄）。牛是最主要的牲畜。山羊在地中海南部地区也很重要，而中国主要是养猪，澳大利亚主要是饲养绵羊
雨养农业： 温带	主要作物包括小麦、玉米、大麦、油菜、甜菜和马铃薯。在西欧的工业化国家以及美国和加拿大，这类农业系统产量很高，通常还顺带进行集约化的牲畜圈养（主要是猪、鸡和牛）

来源：本报告。

地图 1-3：主要农业系统



来源：本报告。

节中的分布不当现象，再加上降水量的年度差异等不确定因素，由此加大了风险并降低了雨养农业实现高产的可能性。

近些年来，雨养区的范围并未扩大，但实际上有些土地因退化严重而不再适合作物生产，已被由森林和草原转化而来的可耕地所淘汰和取代。这种淘汰退化土地并代之以新开发土地的过程正是投入低、管理差的农耕系统的典型特征，此类系统包括湿热带的“刀耕火种”以及坡地种植等。由于这类农耕系统的数据不多，再加上此类土地中有些并非永久性退化，可在漫长休耕期后复耕，所以相关面积难以估测。

各地区的雨养耕地变化趋势各不相同。在非洲撒哈拉以南地区，主要作物 97% 的产量皆由雨养农业提供，那里的谷物耕地面积自 1960 年起已翻了一番。而在拉丁美洲和加勒比地区，雨养耕地则在过去 40 年间扩大了 25% (FAO, 2010b)。

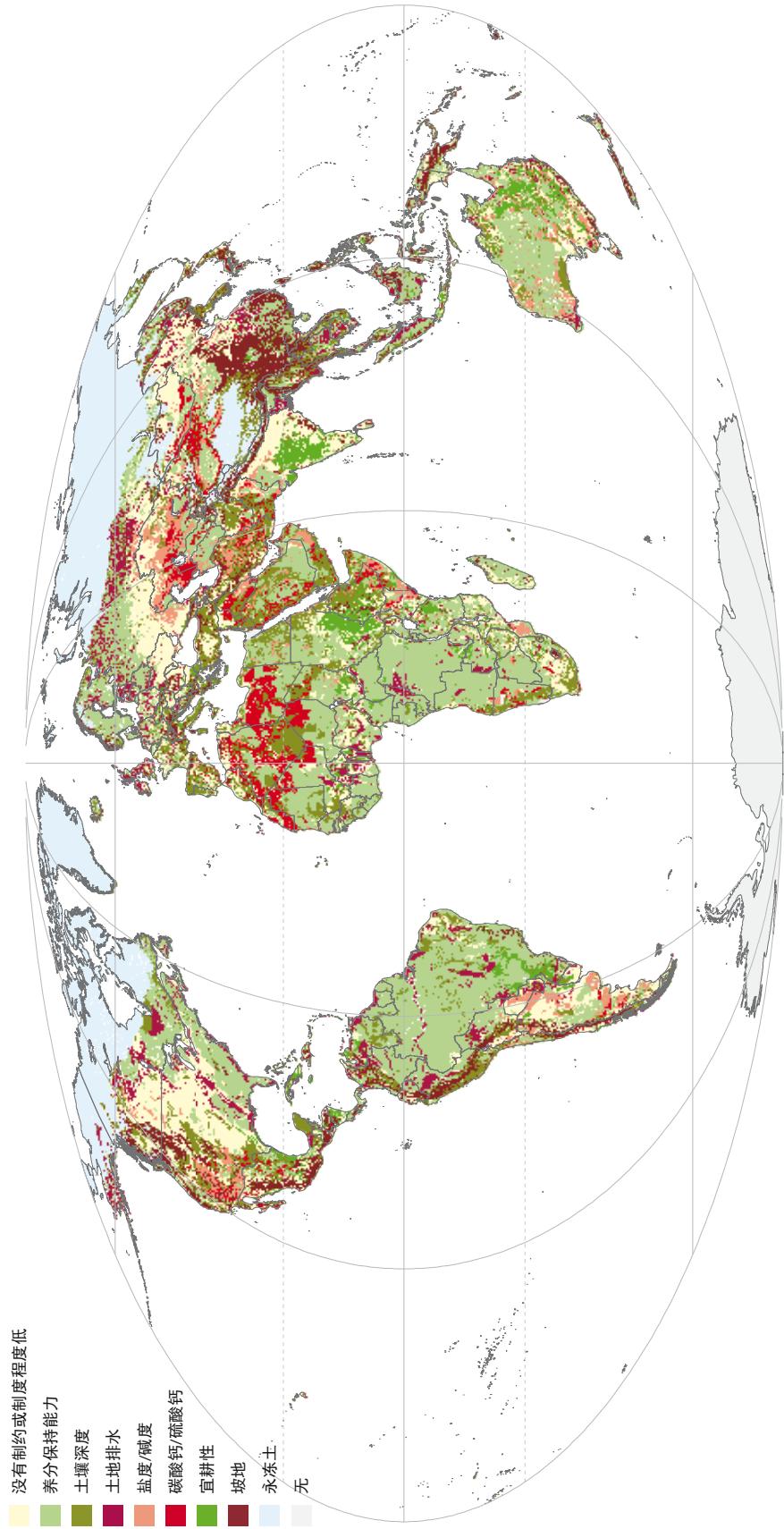
土壤和地形的制约

若土壤中水分充足，那么雨养耕地的主要潜力很大程度上要通过土壤质量来判断（地图 1-4）。最关键的因素是土壤中的养分含量和相关的养分保持能力。此外，土壤深度会影响到作物发根，而排水特性则会对生根过程中的供氧量产生影响。土壤结构对耕作难易度影响重大，且与土壤化学和耕作手段息息相关。最后，土地倾斜度也会影响土壤质量，因为倾斜地形会因径流和块体运动而遭受侵蚀。

土壤养分含量是多数地区现有耕地中普遍存在的土壤制约因素，尤其是对热带发展中国家而言。这在部分上是因为养分含量相比温带土地要低。在非洲撒哈拉以南地区、南美洲、东亚、东南亚以及澳大利亚和新西兰，土壤的天然养分含量特别低。土壤养分制约程度低或没有制约的土地在高收入国家中最多（76%），相形之下，低收入国家中的比例则为 68%（表 1-6）。此外，某些土壤的自然肥度已经随着“养分压榨”而逐渐恶化。

在不少地区，土壤质量的制约波及了一半以上的耕地，特别是在非洲撒哈拉以南地区、南美洲、东南亚和北欧地区。在低收入国家中，耕地中只有 44%（约

地图 1-4：低投入耕作在土壤和地形方面所面临的主要制约因素



来源：IIASA/FAO, 2010。

表 1-6：按天然养分含量划分的不同土质耕地的分布情况

国家分类	耕地 (百万公顷)	按土壤养分含量区分的各级土地的面积 (%)			
		< 40	40–60	60–80	> 80
低收入国家	443	0	20	12	68
中等收入国家	740	1	16	15	67
高收入国家	382	1	9	13	76

来源：改编自 Fischer et al., 2010。

1.96 亿公顷) 没有受到制约或只受到轻度制约。而其余 2.47 亿公顷土地所面临的主要制约因素是养分含量低，有 24% 的土地受到了影响，受制约程度从轻微到非常严重都有。

不过，通过出色的土壤管理是可以改善土质的。在高投入的农耕条件下，天然养分含量低的情况可以通过施肥加以缓解，前提是土壤具有足够的养分保持能力。然而，在非洲南部、亚马孙地区、中亚和北欧等地，养分保持能力并不高。若只是一味地在这些地区加大施肥量的话，可能无法有效提高作物产量，所以必须辅以额外的土壤改善手段。作物种植中的另一大阻碍就是土壤结构和“宜耕性”不好，这在埃塞俄比亚、苏丹和印度中部的大部分地区都很普遍。此类制约因素也可以通过加大投入以及对土壤加以适当管理的方式来缓解。通常，这些地区以变性土为主，理论上应该在耕种中采用免耕技术。

雨养生产率和产量缺口

雨养种植的生产率通过产率（单位面积的产量）来衡量。生产率的上下浮动很大，极易受到非水土因素的影响，如技术和投入的水平和承受能力、市场接入，以及当地收益等。在一种极端情况下，旱作系统中高粱或粟米的产率每公顷也就几百千克。而在另一种极端情况下，欧洲农民实现了每公顷高达 7~10 吨的小麦产率 (FAO, 2010b; Molden, 2007)。

在非洲撒哈拉以南地区，产率方面自 20 世纪 60 年代起就基本没发生过什么变化，而产量增加几乎全部源于扩地行为。具体来说，雨养玉米产率一直维持在每公顷 1 吨的水平。相形之下，拉丁美洲和加勒比地区的雨养玉米产率则在同期内翻了 3 番，从每公顷刚过 1 吨增加至每公顷 3 吨多。而整个欧洲的小麦产率平均增长了

两倍多（从每公顷 2 吨增至每公顷 5 吨）。在假设投入和管理都已针对当地水土资源状况进行了优化的前提之下，FAO 将当前生产率和潜在生产水平进行了对比，得出了“产率缺口”（地图 1-5 和表 1-7）。

结果显示，非洲撒哈拉以南地区的产率缺口最大（高水平管理条件下的潜在产率目前只实现了 24%）；东亚地区的缺口最小（11%）。这就意味着，若将当前水土资源加以妥善管理的话，产率缺口在 50% 以下的地区，如非洲北部、非洲撒哈拉以南地区、中美洲和加勒比地区、南美洲、西亚、中亚、南亚、东欧和俄罗斯以及太平洋群岛，可实现产量的双倍增长。相比之下，亚洲农耕系统则大都采用了先进的管理手段，特别是在实现了 89% 潜能的东亚地区，那里的农耕系统可与发达国家最出色的生产系统相提并论。

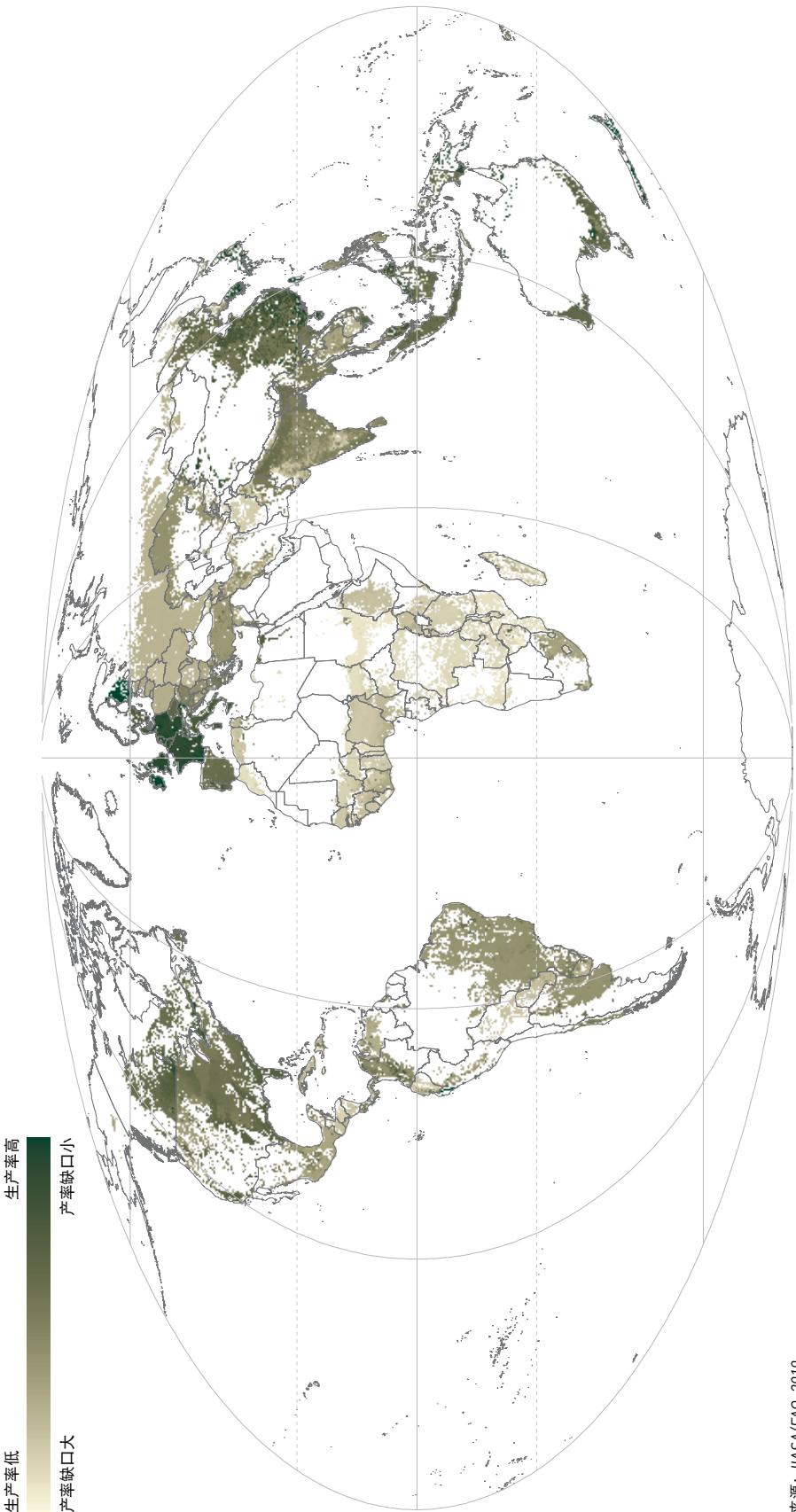
灌溉农业中的水土资源

近些年来，灌溉有所发展，起到了控水作用，再加上水分生产率的快速增长，极大促进了农业产量和收入的增加。然而，多数灌溉耕作系统都未将其潜力完全发挥出来，提高水土资源生产率的空间还很大。地下水抽取为灌溉提供了一种宝贵的现成水源，但实践证明，要对其加以控制几乎是不可能的。由此，农业领域正在加大地下水的抽取，有些重要含水层已经枯竭。地表水和地下水都受到了灌溉的影响，水质正在恶化，而灌溉地的盐化问题也日益严重。生活用水和工业用水之间的争夺正在加剧，许多国家和流域都面临缺水问题，造成了灌溉供水量的减少。建设新集水区和分流区的边际成本提高了，而且会造成日益严峻的环境挑战。循环水虽然可以增加供应量，但却是一种有局限性的高成本资源，需要深入管理。

用地范围和水资源控制

2006 年，全球灌溉建成区面积锁定在 3.01 亿公顷（表 1-8）。近几十年来，为了确保通过水资源控制实现作物生产率的优化，灌溉得到了迅猛发展，尤其是在发展中国家（图 1-4）。随着全球人口的增长，灌溉建成区已经增加了两倍多（从 1.39 亿公顷增至 3.01 亿公顷），而灌溉汲水量也几乎翻了两番（从 1 540 千米³增加至 2 710 千米³）。同一时期内，耕地总量中灌溉区的份额已从 10% 增加到了 20%。

地图 1-5：主要作物产率缺口的总体情况



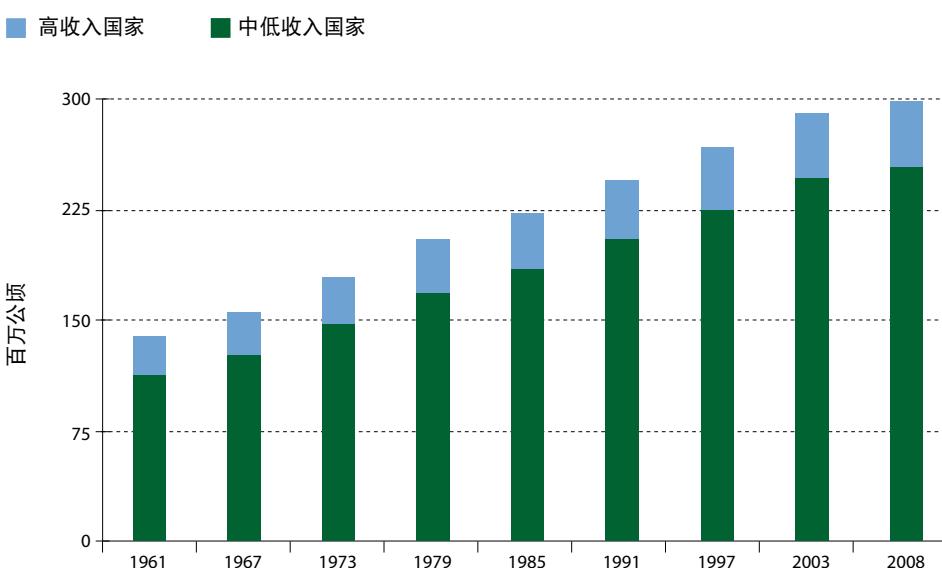
来源：IIASA/FAO, 2010。

表 1-7：关于谷类作物、根茎作物、结荚作物、糖类作物、油料作物和蔬菜作物的总体产率缺口预测（上涨潜力百分率）

地区	2005 年实际产率与潜在产率比值 (%)	产率缺口 (%)
	2005年	
非洲北部	40	60
非洲撒哈拉以南地区	24	76
北美洲	67	33
中美洲和加勒比地区	35	65
南美洲	48	52
西亚	51	49
中亚	36	64
南亚	45	55
东亚	89	11
东南亚	68	32
西欧和中欧	64	36
东欧和俄罗斯	37	63
澳大利亚和新西兰	60	40
太平洋群岛	43	57

来源：改编自 Fischer et al., 2010。

图 1-4：灌溉建成区



来源：FAO, 2010b。

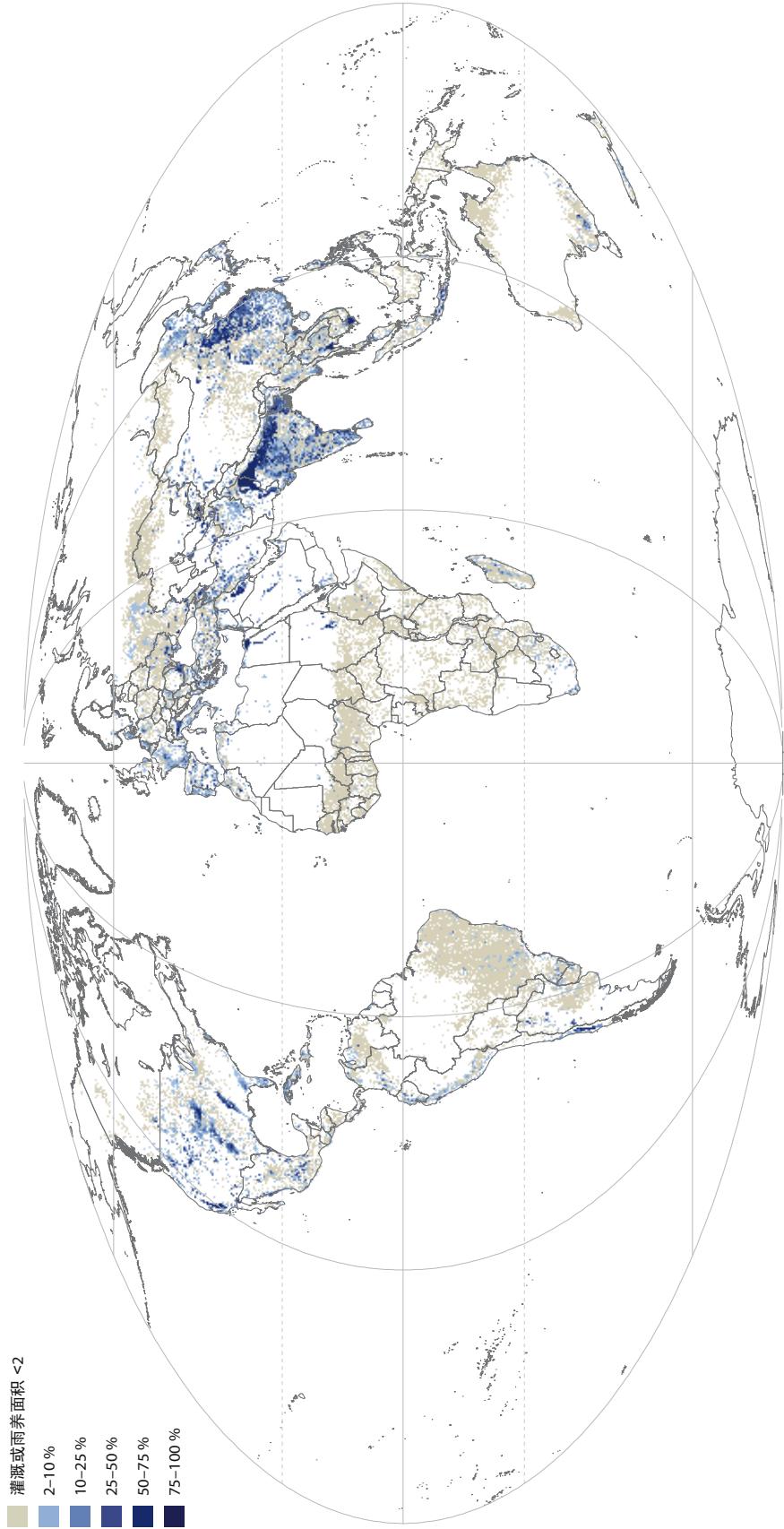
表 1-8：灌溉建成区面积（耕地百分比和地下水灌溉区百分比）

大洲 地区	建成区 (百万公顷)		占耕地百分比		地下水灌溉区 (2006 年)		
	年度	1961	2006	1961	2006	建成区 (百万公顷)	占总灌溉面积的 百分比
非洲		7.4	13.6	4.4	5.4	2.5	18.5
非洲北部		3.9	6.4	17.1	22.7	2.1	32.8
非洲撒哈拉以南地区		3.5	7.2	2.4	3.2	0.4	5.8
美洲		22.6	48.9	6.7	12.4	21.6	44.1
北美洲		17.4	35.5	6.7	14.0	19.1	54.0
中美洲和加勒比地区		0.6	1.9	5.5	12.5	0.7	36.3
南美洲		4.7	11.6	6.8	9.1	1.7	14.9
亚洲		95.6	211.8	19.6	39.1	80.6	38.0
西亚		9.6	23.6	16.2	36.6	10.8	46.0
中亚		7.2	14.7	13.4	37.2	1.1	7.8
南亚		36.3	85.1	19.1	41.7	48.3	56.7
东亚		34.5	67.6	29.7	51.0	19.3	28.6
东南亚		8.0	20.8	11.7	22.5	1.0	4.7
欧洲		12.3	22.7	3.6	7.7	7.3	32.4
西欧和中欧		8.7	17.8	5.8	14.2	6.9	38.6
东欧和俄罗斯		3.6	4.9	1.9	2.9	0.5	10.1
大洋洲		1.1	4.0	3.2	8.7	0.9	23.9
澳大利亚和新西兰		1.1	4.0	3.2	8.8	0.9	24.0
太平洋群岛		0.001	0.004	0.2	0.6	0.0	18.7
全球		139.0	300.9	10.2	19.7	112.9	37.5
高收入国家		26.7	54.0	6.9	14.7	26.5	49.1
中等收入国家		66.6	137.9	10.5	19.3	36.1	26.1
低收入国家		45.8	108.9	13.1	24.5	50.3	46.2
低收入缺粮国		82.5	187.6	16.6	29.2	71.9	38.3
最不发达国家		6.1	17.5	5.2	10.1	5.0	28.8

数据来源：FAO, 2010b,c。

全球灌溉建成区中有大约 70% 位于亚洲，后者的耕地灌溉比例达到了 39%（图 1-6）。南亚和东亚则占据了全球灌溉建成区面积的一半以上，光是印度和中国（灌溉建成区面积各有约 6 200 万公顷）的比例就达到了 40%。此类灌溉系统中多数都用于对主要流域进行大规模开发，主要着眼于水稻生产。另外，对于耕地灌溉比例达到了 37% 的西亚，还有非洲北部地区（耕地面积的 23%），灌溉也是非常重要的。灌溉程度最低的地区位于非洲撒哈拉以南地区，那里的灌溉比例只有 3%。

地图 1-6：灌溉建成区的土地份额



来源：Siebert et al., 2007。

扩增速度

20世纪60和70年代，曾实现了每年2%以上的灌溉增长，如今速度已大大放缓。原因有很多，如粮食供应的长期稳定和粮价不断下跌（截止到2007年）、人口增长率下滑以及其他领域投资重要性的提高等（Faurès *et al.*, 2007）。此外，投资维护成本的不断增加（以及灌溉项目的相关经济回报不高），还有对负面的社会和环境影响的担忧，也导致了政府和捐助者积极性的减弱。

灌溉农业大都由雨养农业转化而来。不过，也有部分灌溉系统位于不适宜雨养农业的干旱和超干旱地区（沙漠）。据估算，在发展中国家现有的2.19亿公顷灌溉地当中，约有4 000万公顷位于干旱和超干旱地区，这一数字可能会在2050年增至4 300万。在某些地区和国家，采用灌溉系统的干旱和超干旱土地是现有灌溉耕地的一个重要组成部分：在近东和非洲北部2 800万公顷灌溉耕地中占据了1 900万公顷，在南亚8 500万公顷灌溉耕地中占据了1 500万公顷。

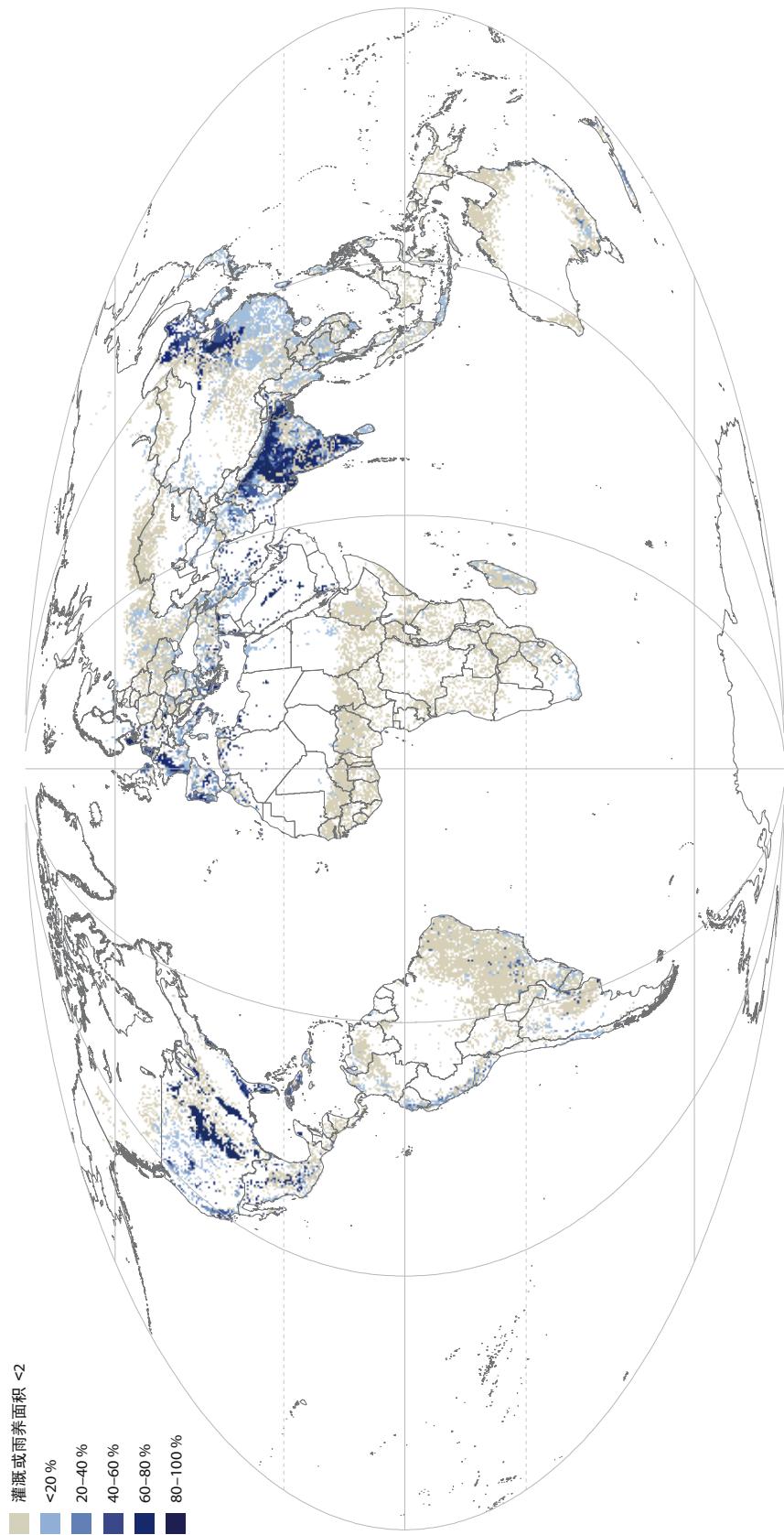
某些地区性因素也会产生一些影响。在亚洲，几乎所有地块都已开发完毕。东欧和中亚国家曾在20世纪60和70年代大力发展灌溉系统，而在前苏联解体后则经历了经济危机，进入重组阶段。东欧和俄罗斯的一些地区，其灌溉建成区在过去20年里多遭摈弃。

灌溉水来源

灌溉系统通过河流、湖泊和含水层来抽取水源。约1.88亿公顷土地（占灌溉面积的62%）采用地表水供水，还有1.13亿公顷（38%）采用地下水供水（地图1-7）。随着管井技术的应用，外加低能源价格的推动，地下水使用量近几年来增长迅猛，尤其是在亚洲、非洲北部和中东地区。就印度的农业普查数据来看，设有地下水设施的灌溉面积从1960年的1 000万公顷左右（Mukherji and Shah, 2005）增加到了2010年的近4 000万公顷（Seibert *et al.* 2010）。在南亚地区，当前灌溉土地中有57%在利用地下水，而在阿拉伯半岛这一数字达到了88%。

已处理废水和淡化水等非传统水源可为灌溉系统提供一小部分水源（约占1%）。随着城镇水处理方面的投入，已处理废水应用在不断增加，在城郊农耕中尤其普遍。而那些没有替代水源的高收益作物种植区则会对淡化水加以利用，但这种情况并不常见。

地图 1-7：地下水灌溉区所占比例



来源：Siebert et al., 2010。

水资源制约因素

某些地区中，用水方面的争夺以及缺水问题的加剧正制约着灌溉系统的当前供水量以及灌溉面积的进一步扩增。缺水问题已经非常严重，尤其是在有一半或一半以上水资源都被用于灌溉的西亚、中亚和南亚地区（表 1-9），还有就是非洲北部，那里因地下水开采过度和再循环等因素，其灌溉汲水量已经超过了可再生资源量。相形之下，南美洲的资源利用率仅为 1%。而在中东、非洲北部、中国和其他地区，由于农民的汲水量超过了补给水平和含水层越流补给量，多数地区的水位正在下降。

表 1-9：长期的年均可再生水资源及灌溉汲水量

大洲 地区	降水量 (毫米)	可再生水资 源量* (千米 ³)	用水效率比 (%)	灌溉汲水量 (千米 ³)	灌溉导致的水资 源压力 (%)
非洲	678	3 931	48	184	5
非洲北部	96	47	69	80	170
非洲撒哈拉以南地区	815	3 884	30	105	3
美洲	1 091	19 238	41	385	2
北美洲	636	6 077	46	258	4
中美洲和加勒比地区	2 011	781	30	15	2
南美洲	1 604	12 380	28	112	1
亚洲	827	12 413	45	2 012	16
西亚	217	484	47	227	47
中亚	273	263	48	150	57
南亚	1 602	1 766	55	914	52
东亚	634	3 410	37	434	13
东南亚	2 400	6 490	19	287	4
欧洲	540	6 548	48	109	2
西欧和中欧	811	2 098	43	75	4
东欧和俄罗斯	467	4 449	67	35	1
大洋洲	586	892	41	19	2
澳大利亚和新西兰	574	819	41	19	2.3
太平洋群岛	2 062	73	-	0.05	0.1
全球	809	43 022	44	2 710	6
高收入国家	622	9 009	45	383	4
中等收入国家	872	26 680	39	1 136	4
低收入国家	876	7 332	50	1 191	16
低收入缺粮国	881	13 985	48	1 813	13
最不发达国家	856	4 493	28	190	4

* 内部可再生水资源，不包括地区层面的“来水流量”。

来源：FAO, 2010c。

在国家层面上，差别甚至更大。2005–2007 年，有 4 个国家（阿拉伯利比亚民众国、沙特阿拉伯、也门和埃及）的灌溉水量超过了其年度可再生水资源量。整体而言，有 11 个国家将其 40% 以上的资源量用在了灌溉上，这已达到公认的临界值。还有 8 个国家动用了 20% 以上的资源量，说明压力巨大且缺水在即。

对一些国家来说，整体数据相对偏低可能会造成对用水压力形势的过度乐观：举例来说，中国北方严重缺水，但南方水资源却仍旧丰富。另外，在近东、南亚和东亚、中美洲和加勒比地区，虽然从国家层面来看水平衡状况貌似还不错，但某些地区却存在着地下水破坏性开采现象。

灌溉和土地生产率

近几十年来，灌溉极大促进了全球农业的生产率和产量。在 1964–1966 到 1997–1999 这 35 年间，主要借助于灌溉投资以及对水土资源生产率促进措施的推广，印度和中国的产量实现了 3 倍增长。目前，在发展中国家，灌溉农业占据了耕地总量中 1/5 左右的土地，但是却贡献了近一半（47%）的作物产量和近 60% 的谷物产量。在最不发达国家，灌溉面积不足谷物收成面积的 1/5（17%），但是却贡献了近 2/5（38%）的谷物产量（表 1-10）。

灌溉农业之间的差别很大。灌溉单位不尽相同，从单个的农场到大规模综合项目不一而足，而巴基斯坦涉及 104 万公顷土地的“罗赫里运河系统（Rohri）”就属于后者。

主要的模式包括：大规模的公共系统（不是针对潮湿地区稻田的水稻耕作，就是针对干燥地区的主要作物和经济作物）；中小规模的社区管理型系统；经济作物的商业化民营系统；以及针对本地市场的个人管理型农场系统（Molden, 2007: 359）。输配水可采用自流或加压方式，而管理制度建设则可采取政府模式、用户经营模式、私营模式、社区模式或综合模式。

水分生产率和生产率缺口

对于墨西哥之类的缺水国家，所面临的挑战就是要对水分生产率进行优化，以化解市政和工业用水之间的冲突。在中国和印度大部分地区，巨大量级的农业用水

表 1-10：灌溉区份额以及谷物总产量中的灌溉产量份额（2006 年）

大洲 地区	所有灌溉作物		灌溉谷物		
	实际灌溉面积 在耕地中的 百分比	总收成面积中 灌溉面积 百分比	灌溉收成总面 积中谷物灌溉 面积百分比	谷物收成总面 积中谷物灌溉 面积百分比	谷物总产量中 谷物灌溉面积 百分比
非洲	5	7	48	7	24
非洲北部	21	43	48	33	75
非洲撒哈拉以南地区	2	3	48	3	9
美洲	10	15	44	14	22
北美洲	11	20	43	15	22
中美洲和加勒比地区	7	18	32	17	32
南美洲	8	8	47	13	22
亚洲	34	43	68	51	67
西亚	28	49	52	32	48
中亚	30	43	45	27	45
南亚	38	41	70	52	70
东亚	44	58	69	68	78
东南亚	19	21	84	35	49
欧洲	5	9	28	4	8
西欧和中欧	9	12	30	5	10
东欧和俄罗斯	1	5	23	2	4
大洋洲	7	12	14	2	7
澳大利亚和新西兰	7	12	14	2	7
太平洋群岛	1				
全球	17	25	62	29	42
高收入国家	11	19	39	13	20
中等收入国家	26	28	63	32	49
低收入国家	14	26	69	33	55
低收入缺粮国	26	34	68	42	64
最不发达国家	8	10	83	17	38

来源：FAO, 2010b,c。

意味着要对水分生产率加以改善，但污染和地下水开采过度等环境问题又对资源基础产生了威胁。在巴基斯坦，排水问题和随之而来的盐化问题是灌溉中的首要处理事项，而在孟加拉和越南沿海三角洲地区，当务之急却是防洪。

灌溉系统的产率与邻近雨养作物相比至少要高出 1 倍。从全球来看，发展中国家雨养谷物的平均产率为每公顷 1.5 吨，但灌溉产率则达到了每公顷 3.3 吨。灌溉系统中的种植密度通常也会更高，亚洲大部地区都是一年两收（Faures et al., 2007）。

另外，水分生产率一直都在提高：过去 40 年间，单位用水量的水稻和小麦产率实现了两倍以上的增长。不过，随着需求的增加，这些灌溉建成区需要实现更大的产量。

过去 50 年里，全球重要作物种群的产量增幅超过了耕地面积和永久性作物的增幅。就目前来讲，谷物是最重要的作物种群（就收成面积而言），已经在产率方面实现了相对较高的平均增幅（图 1-5）。产量增长中有超过 2/3 源于产率的提高，尤其是在灌溉条件下。按照 Bruinsma 的估算（2003 年），发展中国家 77% 的产量增长源于产率和种植密度提高过程中的“集约化行为”。在灌溉耕地比例最高的南亚和东亚地区，生产率提高的幅度最大，产量增长中有 94% 要归功于集约化方式。

有两大因素促成了灌溉产率的提高：对新品种、新投入与新耕作方式的广泛采用；灌溉技术的突破，如管井和加压灌溉技术。

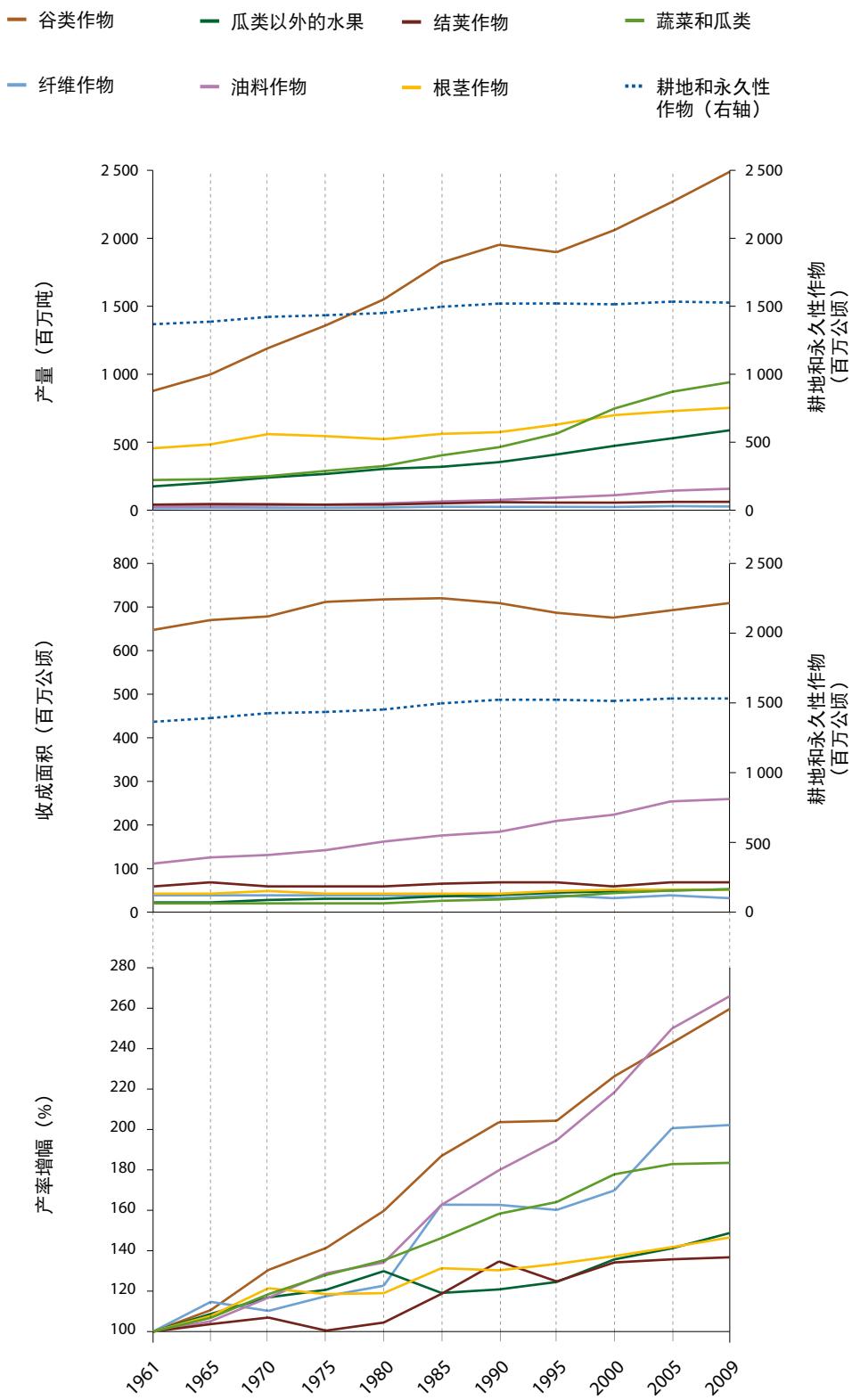
森林、牧场、内陆渔业和水产养殖业

森林

联合国粮农组织在《全球森林资源评估》中对世界森林的状况、范围和健康程度，以及其社会经济和环境功能的状态进行了例行评估（FAO, 2010d）。2010 年的森林覆盖面积约为 40 亿公顷。以热带森林转农业用地为主要成因的毁林现象，日前出现了下降迹象，但其速度仍维持在一个惊人的水平。过去 10 年里，每年有 1 300 万公顷左右的森林被转作他用或是因自然原因消失，而在 20 世纪 90 年代这一数字为每年 1 600 万公顷。然而，过去 10 年间，森林面积的净减少受到了大规模植树造林的极大制约，21 世纪头十年的年损失量预计为 520 万公顷。林地的净损失主要发生在南美洲、非洲撒哈拉以南地区、东南亚和大洋洲，而美国、印度、中国、俄罗斯和不少欧洲国家则出现了林地的净增长。原始森林在森林面积中占 36%，但是从 2000 年起却减少了 4 000 多万公顷。原始森林的减少可能会对森林的生物多样性造成重大影响。

森林在水循环中具有举足轻重的作用，因此从地形角度分析水资源时必须对其加以考虑。它们可捕获和封存水分、防止土壤侵蚀并充当天然的净水系统。森林会影响水分含量，调节地表和地下水流量，确保水质良好。此外，森林和树木还有助

图 1-5：1961-2009 年全球产量、收成面积和耕地面积的增长情况



来源：FAO, 2010a。

于降低与水相关的风险，如滑坡和地方性旱涝等，并有助于防止荒漠化和盐化现象。在全球满足生活、农业、工业和生态需求的可用水资源中，有 3/4 是由林覆流域和湿地贡献的（FAO, 2008c）。

牧场

牧场在各个纬度上都有分布，通常会因土壤、温度和含水量的制约而具有生物量产量低的特征。其在全球土地中的比例为 25% 左右，包括非洲和阿拉伯半岛的旱地（非洲旱地面积占整个大陆面积的 66%）、中亚的干草地和拉丁美洲的高地（Nori and Neely, 2009）。植被主要以天然植物群落中的多年生和一年生物种为主，包括草类、灌木和树木等。就其本质而言，牧场是脆弱的生态系统，若管理不当极易造成退化、生物多样性丧失、持水能力丧失、碳排放和生产力减弱等后果。

牧场范围和发展趋势是难以估测的。全球统计数据显示，2000 年的牧场总面积为 34.3 亿公顷，到 2008 时轻微下滑至 33.6 亿公顷。虽然这些小幅变化的成因难以查明，但可能跟数据不足以及农业用地的荒漠化和侵蚀有关。将更干燥的草原大面积转为农地以及不当的管理方式已经造成了不良后果，如 20 世纪 20 和 30 年代在美国大平原中出现了“尘暴区”（dust bowl）。20 世纪中期，苏联曾广泛开垦旱地，但仍无法在那里实现可持续农作（Boonman and Mikhalev, 2005），所以这些地块现在又被恢复成牧场。

牧场在维护生态系统功能和生物多样性方面发挥着重要作用。除了可为牲畜提供饲料外，它们还在野生动物栖息地的提供、水分的保持以及植物遗传资源的保护等方面发挥着重要作用。牧场拥有丰富的植物种群：含有大约 750 类、12 000 个草种。这些生态系统对动物种群的维续也发挥着重要作用；譬如，草原囊括了全球 11% 的地方性鸟类栖息区（White et al., 2000: 40），对授粉昆虫和其他有重要调节作用的昆虫的维续起到了促进作用。生态系统的益处，特别是滤水和净水、气候调节（如固碳）和授粉等调节机制，已经开始被赋予经济价值，所以应将发达国家和发展中国家牧场数据的系统收集作为全球大事来抓。

有 6 亿多人是通过牧场来维持生计的。针对数量有限、变化巨大又不可预知的天然资源，游牧群体不断制定着战略对策（如迁徙畜牧），不过牧场和牧农也会动辄受到人口压力、耕地转化（见插文 1.2）和气候改变等变化的影响。降水和干旱的起落不定反复困扰着牧场：举例来说，7 000 万非洲角居民（牧民不在少数）长期遭受着慢性粮食危机的影响（FAO, 2000）。表 1-11 中收录了主要的畜牧系统并对其历史变迁情况进行了介绍。

旱地中损失了大量的碳，这主要归咎于因人口和牲畜压力不断加大而导致的管理不善。由于退化，旱地土壤远未达到碳饱和状态，其固碳潜力可能是非常巨大

插文 1.2：非洲北部地区、近东地区和地中海地区的牧转农情况



摩洛哥的牧场退化

随着人口和牲畜数量的不断提高，加之传统放牧权的丧失，导致地中海沿岸附近出现了严重的过度放牧和牧场退化现象。大部分半干旱地区都已开垦，用于种植一年一收作物，而当前农作方式具有不可持续性。畜牧生产系统正在通过集约化生产、牲畜疾病稳步控制和畜牧产品商业化等方式进行调整，特别是在城郊地区。由于气候变化原因，干旱和荒漠化进程正在加剧。

配图：G. Schwilch。

表 1-11：畜牧系统区划

地区	主要品种	现状
非洲撒哈拉以南地区	牛、骆驼、绵羊、山羊	因农业推广而呈下滑趋势
地中海	小型反刍动物	因圈地和农业推广而呈下滑趋势
近东、南亚和中亚	小型反刍动物	在某些地区因圈地和农业推广而呈下滑趋势
印度	牛、骆驼、绵羊、山羊	因农业推广而呈下滑趋势，但城郊畜牧生产呈扩大趋势
中亚	牦牛、骆驼、马、绵羊、山羊	随着去集体化进程呈扩大趋势
极地附近	驯鹿	在西伯利亚随着去集体化进程而呈扩大趋势，但在斯堪的纳维亚地区却备受压力
北美洲	绵羊、牛	随着圈地增多以及替代经济模式的出现而呈下滑趋势
安第斯	无峰驼、羊驼	由于道路系统扩建以及欧洲畜牧生产模式的推广，无峰驼养殖出现萎缩，但羊驼生产却呈扩大趋势

来源：Bleach, 1999。

的。据估算，通过改善管理，牧场具有在 2030 年前实现封存 13 亿~20 亿吨全球二氧化碳排放当量的生物物理潜力（Tennigkeit and Wilkes, 2008）。着眼于提高牧场碳储量的战略，其内容涉及恢复土壤的有机物质和根生物量，进而改善土壤的生物群（恢复方式包括豆类和禾草植物的改进；粪肥循环和复合农林业；侵蚀控制；植树造林和森林恢复；优化放牧密度；水保持和集蓄；改变土地利用，如不种庄稼改种草木；以及划出保留地等）。然而，目前在旱地固碳潜力、可行性方法以及小农和小牧民固碳手段的成本效益分析方面仍存有巨大的知识空白。

草料与草原

新增不冻土面积中，有近 30% 是草原（包括牧场、灌木地、牧草场以及植有牧场林木和草料作物的农田）。在全球农业用地中，草料区和牧草场占到了 60% 以上的比例（FAO, 2010b）。草料和草原可用于多种用途：它们可提供必要的生态服务并以多种方式支撑生计（如，作为粮食生产和可持续集约化生产的遗传资源；作为能源生产资源；为工业生产提供原材料；以及用于固碳用途）。许多永久性草料区和草原区在流域保护、污染土地恢复和生物能源生产中都得到了利用。因此，以草

料、草原和牧场管理的改进为根基的农牧系统可持续集约化，可有力推动大规模的可持续发展（见插文 1.3）。从全球来看，草原土壤具有在 2030 年前实现每年封存 0.2 亿~0.8 亿吨二氧化碳排放量的潜能，具体视放牧方式和其他管理手段的应用情况而定。草原的覆盖可令水分捕获率提高 50~80 个百分点，降低了旱涝风险。所有这些特性对因应气候变化并减缓其影响来说都是至关重要的。

农牧业为全球大多数小农提供了生计，而畜产品需求的快速增长又意味着必须想方设法减少畜牧业系统的生产消耗。这立即为农牧综合系统提供了一个合理性依据，因为在这个系统中作物残茬可为牲畜提供饲料，而牲畜随后又可为作物提供粪肥，从而在原地或地区内实现养分循环。虽然这些就是传统农业几百年来的特征之一，但农牧综合系统目前正从现代农业、畜牧业和复合农林业中汲取着增益成分。

对包括约 2 亿游牧家庭在内的近 10 亿人来说，草原对其生计有着重要影响。在改善作物的集约化生产并实现其多样化的实践中引入草料、豆类饲料和混合草饲料等品种，有效利用粪肥和养分管理方式，并在农场内实现农牧生产的多样化，将有助于此类人群提升其收入稳定性和水土资源利用效率，并改善其农作方式的防患能力和适应能力。

内陆渔业和水产养殖业

在全球范围内，对内陆渔业有着重要意义的湖泊、水库和湿地，其面积达到了 780 万千米² 左右。在东南亚、北美洲、西非东部和中部、亚洲北部、欧洲以及南美

插文 1.3：饲料和能源燃料中的草料应用

现如今，我们将大量农产品都用在了牲畜饲养上，所以我们需要根据农民在经济上和可持续性发展方面的当务之急来重新审视我们的系统，着眼于更多使用那些能提供饲料和燃料、起到固碳作用并提高生态系统生物多样性、改善土壤肥度的功能性饲料作物。而紫狼尾草（象草）、奇岗（柳枝稷）和狗尾草就属于这类饲料作物。它们的生物量产率高，可通过生物质提炼设备转化为生物燃料，并且还能剩下余料，用于畜牧生产。另外，其成分中还含有可用做工业原料的物质。

洲，有相当大的土地面积为地表水域所覆盖（FAO, 2010a）。内陆渔业是一个极富多样化的领域，既包括大规模的工业捕鱼，也包括无需本钱或所需本钱不多的小规模生计型捕鱼。正因如此，在其他粮食生产领域无计可施的时候，内陆渔业可为贫困人口提供上好的滋补品、生存机会和安全保障。

发展中国家的内陆鱼捕捉率约为 90%，而低收入缺粮国则为 65%。在呈报的捕获量中，通常约 90% 都来自亚洲和非洲。全球内陆渔业的呈报收获量已由 1950 年的 200 万吨增长至 2008 年的 1 000 多万吨。然而，产量据信还有再进一步提升的空间，因为小规模的生计型捕鱼大多并未记录在案。而大规模的工业化内陆捕鱼，结合非洲大湖区的实例来说，可实现价值百万美元的捕鱼量并经常用于出口（FAO, 2010a）。

从全球来看，水产养殖业的年产量已经由 1950 年不足 100 万吨提高至 2008 年的 5 250 万吨，在全球用于消费目的食用鱼产量中占到了 45.7% 的比例（FAO, 2010a）。在全球许多地方，水土资源的综合利用方式已取得了成效（FAO/ICLARM/IIRR, 2001; Halwart and Van Dam, 2006）。近几十年来，经常以家庭为单位、在改造水田中实施的鱼米养殖，已经在中国米农中迅速推广开来，且养殖用稻田的总面积在 2008 年达到了 147 万公顷。而许多国家中，基于淡水湖和淡水河的笼式水产养殖也已发展起来，成为一种非常有效的非消费性淡水利用方式。

若考虑到土地面积和水面面积因素，亚洲（特别是中国）的淡水养殖产量是最大的，不过一些欧洲和非洲国家的产量也不小。按单位土地或水面面积来计算的话，美洲的淡水养殖产量较低，但潜力还是有的（Bostock *et al.*, 2010; Aguilar-Manjarrez *et al.*, 2010）。虽然淡水养殖在非洲和拉丁美洲尚有巨大的发展空间，但在那些人口密度高的地区和国家，如亚洲国家和地区，随着城镇的开发以及对土地资源（特别是淡水资源）的争夺的加剧，该领域的淡水利用将受到更多制约。在淡水和土地资源日益稀缺的情况下，利用沿海和近海水环境养鱼为水产养殖业和全球食用鱼供应提供了一个备选方案和新的机遇（FAO, 2010a）。

2050 年前的农业需求

2050 年前的粮食和纤维食物需求

2050 年，世界人口预计将由目前的 69 亿增至 90 亿左右。随着收入和营养标准的提高以及人类饮食方式向高耗地、高耗水方向过渡，尤其是对更多肉类和乳制品的消费，粮食和纤维食物的需求量将会加速增长。当前趋势和模型模拟结果显示，全球谷物需求量将从如今的约 21 亿吨增长到 2050 年的 30 亿吨左右（FAO, 2006b）。因此，到 2050 年时，全球每年将需要分别增产近 10 亿吨谷物和 2 亿吨畜产品。

生产方面的应对措施

根据对粮食增产的估算（Bruinsma, 2009），全球农业产量在 2030 年之前将以每年 1.3% 的速度递增，而在 2030–2050 年将以每年 0.8% 的速度递增。为了跟上人口的增长速度，发展中国家的粮食增产速度预计将稍快于发达国家：2005–2030 年实现每年 1.5% 的增幅，2030–2050 年实现每年 0.9% 的增幅。这些估算建立在对有效需求所需产能进行评估的基础之上。从全球来看，评估结果是：2030 年以前要在 2005–2007 年的产量基础上实现 43% 的增长，并在 2050 年以前实现 70% 的增长。从地区上看，最大的谷物产量增幅预计将来自人口压力仍旧很大的非洲撒哈拉以南地区以及尚有商业化粮食生产空间的拉丁美洲和澳洲（表 1-12）。

上述增幅小于过去 50 年的增幅（表 1-12）。对于未来增长的估算建立在一种预测情况的基础之上，即发展中国家中约 4/5 的增长可能将来自于产率提高（71%）和种植密度加大（8%）为表现形式的集约化生产。土地稀缺地区中的集约化比例甚至会更高，如在南亚（95%）及近东和非洲北部地区（100%）。相形之下，在非洲撒哈拉以南和拉丁美洲的某些地区，耕地扩增预计仍将是作物增产的一个手段，虽然土地增长还不及以往水平（Bruinsma, 2009）。然而，这可能导致重要的生态和文化服务功能的丧失。此外，即使发展中国家在 2050 年之前实现产量翻倍，仍将有 5% 的人口处于营养不良的状态（表 1-13）。

表 1-12 : 谷物产量的历史增长与未来增长情况

大洲 地区	谷物产量年度增幅 (%)	
	1961–2006	2006–2050
非洲	2.4	1.9
非洲北部	3.0	1.6
非洲撒哈拉以南地区	2.3	2.0
美洲	2.0	1.2
北美洲	1.8	1.0
中美洲和加勒比地区	1.7	1.8
南美洲	2.6	1.7
亚洲	2.5	0.7
西亚	2.4	1.0
中亚	1.1	0.8
南亚	2.3	1.1
东亚	2.5	0.3
东南亚	2.9	0.8
欧洲	1.1	0.3
西欧和中欧	1.5	0.2
东欧和俄罗斯	0.3	0.5
大洋洲	2.3	2.0
澳大利亚和新西兰	2.3	2.0
太平洋群岛	-	-
全球	2.0	0.9
高收入国家	1.6	0.8
中等收入国家	2.1	0.8
低收入国家	2.4	1.2
低收入缺粮国	2.7	0.9
最不发达国家	1.9	1.9

来源：FAO, 2010a。

表 1-13 : 农业生产增长预测（最可能结果）

	农业生产指数			营养不良状态的延续	
	2005–2007	2030	2050	%	百万
全球	100	143	170	无	无
发展中国家	100	158	197	4.8	370

来源：Alexandratos, 2009。

对灌溉农业的潜在影响

灌溉农业的集约化潜力

到 2050 年时，灌溉建成区面积预计将实现 6% 左右的增幅。而灌溉汲水量预计在 2050 年前会有 10% 左右的增长。根据预测，种植密度和生产率水平将会提高，所以灌溉粮食产量预计会上浮 38 个百分点（Tubiello and van der Velde, 2010）。总体而言，考虑到项目间和项目内的巨大差别，灌溉项目中水土资源生产率的提升空间仍很巨大。

到 2050 年时，预计全球范围内在用灌溉地的种植密度将从 127% 增加到 129%。而发展中国家的密度预计会更高，从 2005–2007 年的 143% 增至 2050 年的 147%（Bruinsma, 2009; Frenken, 2010）。这种增长在技术上是可行的，而管理最出色的系统已经实现了 200% 和 200% 以上的种植密度。加大密度的关键因素是：实现基础设施的现代化、调整制度以提升用水服务，还有就是形成获利性的农业市场（Netherlands *et al.*, 2010b）。

灌溉的扩增空间

灌溉的扩增潜力难以确定。过去各国曾努力对其灌溉潜力进行评估，通过将水土资源相结合、将经济与环境因素相结合的方式得到了一些估算数字。然而，灌溉潜力的计算应当以江河流域（即水资源内在地理单元）为基础进行。若河流为多国所共用，那么就会出现同一水量在多国灌溉潜力评估中被反复计算的风险。此外，有许多灌溉潜力估值是在环境问题不像现在这般突出、其他领域用水需求不像现在这般巨大的情况下得出的。

虽然灌溉发展在不少富水地区仍有巨大潜力，但在缺水地区中已经达到极限。非洲撒哈拉以南地区和拉丁美洲，是灌溉预期潜力发挥程度最低的两个地区。譬如，在富塔贾隆和埃塞俄比亚高原等高地地区，径流量大但水利基础设施少。取决于可用地和有利经济形势等情况，上述两地之类的地区是可以转而发展灌溉农业

的。另外的极端情况是，某些位于非洲北部、西亚、中亚以及南亚和东亚大部地区的国家已经或正在将其潜力发挥出来。按 FAO 的估测，这些国家中有 8 个已经实现了灌溉的超越式发展，而另外 20 个国家（包括中国）则只发挥了 75% 的潜力。

灌溉用地的扩增速度正在急剧减缓。根据供应（灌溉潜力）与需求（农产品）之间的对比情况，FAO 预测，相对于 2006 年 3.01 亿公顷的数字，全球灌溉建成区面积可能会以相对平缓的速度进行增长，并在 2050 年达到 3.18 亿公顷的水平（表 1-14）。这就是说要实现 6% 左右的增幅（每年增长 0.12%）。预计大部分增扩面积将来自发展中国家。这一增幅与前些年相比要低很多；1961–2009 年，灌溉面积在全球范围内曾实现了每年 1.6% 的增长，在最不发达国家中则实现了超过 2% 的增长。

据预计，在那些土地更稀缺、迫切需要加强集约化农耕方式来提高粮食产量的

表 1-14：2050 年灌溉建成区展望

大洲 地区	年份	灌溉建成区				
		面积（百万公顷）		年增长率（%）		
		1961	2006	2050	1961–2006	2006–2050
非洲		7.4	13.6	17.0	1.3	0.5
非洲北部		3.9	6.4	7.6	1.0	0.4
非洲撒哈拉以南地区		3.5	7.2	9.4	1.5	0.6
美洲		22.6	48.9	46.5	1.6	-0.1
北美洲		17.4	35.5	30.0	1.5	-0.4
中美洲和加勒比地区		0.6	1.9	2.4	2.5	0.5
南美洲		4.7	11.6	14.1	1.9	0.5
亚洲		95.6	211.8	227.6	1.7	0.2
西亚		9.6	23.6	26.9	1.9	0.3
中亚		7.2	14.7	15.0	1.5	0.0
南亚		36.3	85.1	85.6	1.8	0.0
东亚		34.5	67.6	76.2	1.4	0.3
东南亚		8.0	20.8	23.9	2.0	0.3
欧洲		12.3	22.7	24.6	1.3	0.2
西欧和中欧		8.7	17.8	17.4	1.5	0.0
东欧和俄罗斯		3.6	4.9	7.2	0.6	0.9
大洋洲		1.1	4.0	2.8	2.7	-0.8
澳大利亚和新西兰		1.1	4.0	2.8	2.7	-0.8
太平洋群岛		0.001	0.004	-	2.9	-
全球		139.0	300.9	318.4	1.6	0.1
高收入国家		26.7	54.0	45.1	1.5	-0.4
中等收入国家		66.6	137.9	159.4	1.5	0.4
低收入国家		45.8	108.9	113.8	1.8	0.1
低收入缺粮国		82.5	187.6	201.9	1.7	0.2
最不发达地区		6.1	17.5	18.4	2.2	0.1

来源：FAO, 2006b, 2010b,c。

地区，灌溉建成区的扩增将最为迅猛（从绝对值来看）。中等收入国家预计将新增 2 100 万公顷，而低收入缺粮国则新增 1 400 万公顷。相形之下，北美洲、西欧和大洋洲的高收入国家预计将减少其灌溉面积。而东欧、俄罗斯和中亚预计会恢复到前苏联解体前的水平。虽然中国整体的可耕地面积预计将进一步减少，但灌溉面积预计将通过转化雨养耕地的方式持续增加。灌溉地的增加将主要通过把雨养农业用地转化为灌溉耕地的方式来实现。各地水资源压力将继续加大，即使是在水资源已然吃紧的地区，如非洲北部和亚洲大部（表 1-15）。

非传统水源

虽然非传统水源目前做为次要水源来使用，但某些地区和国家正在更多将其用作淡水的替代资源。从全球来看，农业用水量中只有 1% 是已处理废水或淡化水。然而，在阿拉伯半岛等地区，使用量却达到了 10% 左右；而在科威特、马耳他和卡塔尔等国家，非传统水源提供了超过 50% 的用水量，其中淡化水约占 40%，废水占 10%。根据呈报的数据，灌溉中已处理废水年人均使用量（米³/人/年）最高的 5 个国家是：科威特（82.3）、阿联酋（71.1）、卡塔尔（51.7）、以色列（46.4）和塞浦路斯（31.9）（Mateo-Sagasta and Burke, 2010）。灌溉农业中的淡化水应用仍旧不多，主要是因为淡化成本高，与此同时，城市废水却经常为城郊农业所用，借以满足用水需求。

对雨养农业的潜在影响

虽然未来数年所需的增产产量预计将主要借由灌溉农业实现，但目前为发展中国家贡献了 60% 农业总产量的雨养农业，仍将作为全球粮食生产的一大来源。根据 Bruinsma 的预测（2003 年），1997–2030 年的增产产量中有 43% 将来自雨养农业。若不想增加雨养耕地面积，雨养种植的生产率就必须提高。

表 1-15：远期的年均可再生水资源及灌溉汲水量（2006 和 2050 年）

大洲 地区	降雨量 (毫米)	可再生 水资源* (千米 ³)	用水比** (%)		灌溉汲水量 (千米 ³)		灌溉导致的水资 源压力 (%)	
			2006	2050	2006	2050	2009	2050
非洲	678	3 931	48	53	184	222	5	6
非洲北部	96	47	69	81	80	95	170	204
非洲撒哈拉以南地区	815	3 884	30	32	105	127	3	3
美洲	1 091	19 238	41	41	385	438	2	2
北美洲	636	6 077	46	46	258	244	4	4
中美洲和加勒比地区	2 011	781	30	33	15	23	2	3
南美洲	1 604	12 380	28	29	112	171	1	1
亚洲	827	12 413	45	48	2 012	2 073	16	17
西亚	217	484	47	56	227	251	47	52
中亚	273	263	48	50	150	133	57	50
南亚	1 602	1 766	55	58	914	889	52	50
东亚	634	3 410	37	42	434	458	13	13
东南亚	2 400	6 490	19	21	287	342	4	5
欧洲	540	6 548	48	48	109	100	2	2
西欧和中欧	811	2 098	43	43	75	81	4	4
东欧和俄罗斯	467	4 449	67	67	35	19	1	0
大洋洲	586	892	41	41	19	25	2	3
澳大利亚和新西兰	574	819	41	41	19	25	2	3
太平洋群岛	2 062	73	-	-	0.05	-	-	-
全球	809	43 022	44	47	2 710	2 858	6	7
高收入国家	622	9 009	45	45	383	317	4	4
中等收入国家	872	26 680	39	42	1 136	1 330	4	5
低收入国家	876	7 332	50	52	1 191	1 212	16	17
低收入缺粮国	881	13 985	48	51	1 813	1 992	13	14
最不发达国家	856	4 493	28	31	190	263	4	6

* 内部可再生水资源，不包括地区层面的“来水流量”。

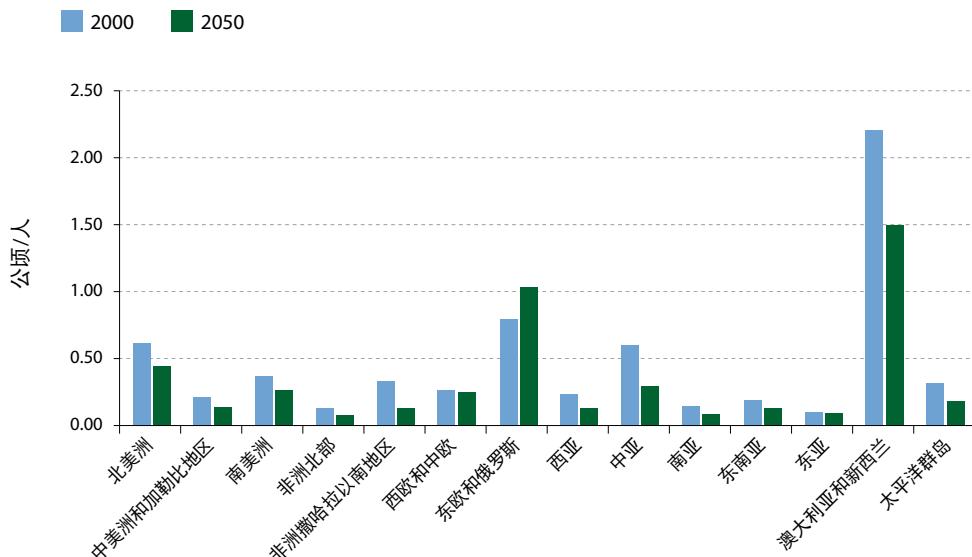
** 用水比是指灌溉用水需求和灌溉汲水量之间的比值。

来源：FAO, 2010c。

雨养农业的发展机遇

某些地方，耕地相对于人口来说已经十分有限。总体而言，发展中国家受缺地制约的程度比发达国家要大。发达国家人均可利用耕地面积（0.5 公顷）是发展中国家（0.2 公顷）的两倍。东亚人均可利用耕地不足 0.1 公顷，与之相对，澳大利亚为

图 1-6：2000 年和 2050 年的人均耕地情况



来源：改编自 Fischer et al., 2010。

2 公顷以上。除中亚地区以外，发展中国家的人均土地面积全都没有超过发达国家的均值水平，而且情况还在恶化之中。

由于未来数十年内将面临巨大人口压力，发展中国家的人均可利用土地面积预计会在 2050 年时下降一半（0.12 公顷），导致耕地扩增压力日益严峻（Fischer et al., 2010）。

新增耕地的适应性

世界范围内，宜耕土地（肥沃和良好类土地的总和）约有 44 亿公顷（若不计保护性土地的话，则为 40 亿公顷）。这一数字远远多于 16 亿公顷的现有耕地面积（表 1-16）。因此，就理论层面而言，目前存在大量可转做生产之用的土地。然而，这部分土地中大都不能在农耕领域加以有效利用。另外，粮产潜力也普遍低于现有耕地：现有非农土地大都受到了一些因素的制约，如生态脆弱、肥度不高、具有毒性、疾病多发或缺少基础设施等。这些制约因素会降低生产率，要求采用高投入、重管理的方式来实现可持续性，或是需要天文数字的投入来实现可用性或无病状态。Fischer 等人的研究成果（2002 年）显示，在非洲撒哈拉以南和拉丁美洲地区，具有雨养种植潜力的土地中有超过 70% 都受到了上述某个或多个因素的制约。

表 1-16：全球宜耕土地的可用性和土质情况（括号内为非保护性用地数值）

土质情况	耕地 (10 亿公顷)	草原和 生态林地 (10 亿公顷)	森林用地 (10 亿公顷)	其他土地 (10 亿公顷)	总计 (10 亿公顷)
肥沃土地	0.4	0.4 [0.3]	0.5 [0.4]	0.0	1.3 [1.2]
良好土地	0.8	1.1 [1.0]	1.1 [1.0]	0.0	3.1 [2.8]
贫瘠土地	0.3	0.5 [0.5]	0.3 [0.3]	0.0	1.1 [0.9]
非宜耕土地	0.0	2.6 [2.3]	1.8 [1.5]	3.4 [3.0]	7.8 [6.9]
总计	1.6 [1.5]	4.6 [4.1]	3.7 / [3.2]	3.4 [3.0]	13.3 [11.8]

来源：Fischer et al., 2010。

因此，大多数土地将仅能实现中低水平的均产产率。一般而言，中等水平的均产产率为冬小麦每公顷产 3~5 吨；水稻每公顷产 3~6 吨。只有采用集约化程度非常高的管理方式并辅以高水平的投入，才能让大多数此类土地实现冬小麦每公顷产 10 吨、水稻每公顷产 9 吨的最大产率。另外，转化现有土地的机会成本也会很高。而这类土地全是现有生态系统的有机组成部分，具有重大的经济、社会和环境价值，而这些价值将会在用途转化过程中丢失。还有一大部分土地属于受保护范畴、拥有固碳和生物多样化价值（包括森林用地），或是正被用来支撑全球 35 亿反刍牲畜的给养，从而不能用于农耕用途。

最后，具有耕作潜力的非农土地在各地区和国家的分布是不均的，并非总是恰好位于那些市场和商机兼备的可扩产地区。在发展中地区，非洲撒哈拉以南和南美洲是首屈一指的具有明显农业扩产潜力的地区。在发达地区，欧洲、俄罗斯、北美洲和澳大利亚则拥有大片宜耕土地。剩余土地中，竟然有一半集中在 7 个国家：巴西、刚果民主共和国、安哥拉、苏丹、阿根廷、哥伦比亚和玻利维亚。而另一种极端就是，南亚、东亚、近东和非洲北部的农业区中几乎没有富余土地可用于扩大农业生产。

结论

本章对需求激增背景下的全球水土资源利用情况进行了介绍。农业产量中的增量部分主要借由集约化生产来实现，特别是在有灌溉系统的肥沃农田中实施集约化。相形之下，热带和山区的雨养系统，其生产率增幅较低，经实践证明，更易导向粮食危机和贫穷。水土资源系统的许多利用方式正在持续对原地或异地的生态系统服务功能施加负面影响。

然而，全球粮食产量可能会在未来 40 年内增长 70%（而发展中国家可能会实现翻倍增长）。虽然产量可能要对需求上涨作出回应，但重要的是如何实现这一结果。因此，成功的界定不应只以是否能为全球人口带来稳定可靠的优质粮食为准绳。主要水土资源系统的环境可持续性及其满足城乡人口生计需求的能力，也是重要的衡量标准。

决策者们需要对产量与环境方面的取舍作出抉择。只有对社会经济后果和环境影响有了全面的认知，才能作出决断。为减少决策的负面影响，需要在践行中辅以相关措施；管理亦须加强，以避免生产活动中为满足上涨需求而造成水土资源的进一步退化或是损及粮食安全和扶贫对象。



图片：取自联合国粮农组织媒体资源库，J. Morgan 摄影



第二章 社会经济压力与制度建设

如第一章所述，人口增长和消费方式的改变是造成水土资源系统压力的主要原因。当今世界联系越来越紧密，随着农业生产方式的转变和城市化进程的加快，人们在社会和文化层面上对水土资源的依赖性已经发生了改变。贸易、农村补贴制度以及生产激励措施等众多相关政策的实施提高了水土资源的利用率。然而水土资源管理系统却滞后于宏观经济政策和部门发展计划。许多时候是在环境退化后才采取积极的管理措施。

一些地区仍然缺乏保护自然资源的意识，薄弱的自然资源基础加上居高不下的人口增长率给资源带来巨大压力。简言之，比起自然资源的供给能力，宏观经济计划的制定者总是更关心农业产品的供需情况，而忽略了接近极限的资源困窘局面。

对水土资源系统进行大规模的空间管理可以追溯到流域文明的兴起，与耕地发展状况密切相关。近来，不断发展的水土资源体系与突飞猛进的基因技术，共同有效促进了粮食的集约化生产，这就是所谓的“绿色革命”。然而在实践中，在水土资源综合管理方面却几乎找不到成功的体系案例。最近的一份研究表明，水土资源体系与其利用和竞争模式不匹配，在环境和经济的冲击面前，几乎不能起到调节作用。就这一点而言，政策调整和综合管理体系只是停留在了理想层面而不具备可操作性。例如，土地利用和农业规划常常因为水利发电或河流航运的原因与江河流域规划和运营管理脱节。我们可以由此判断，经济的发展良机已经错过，亟待向信息传递顺畅、理论基础深厚的水土资源综合体系转变。

本章介绍水土资源体制的现状、提高水土资源生产力水平的途径以及造成社会、经济和环境可持续性低下的原因。这种现状已经对水土资源基础以及相关生态系统造成伤害，并严重影响了贫困和粮食安全问题的解决。

社会经济对水土资源的依赖性

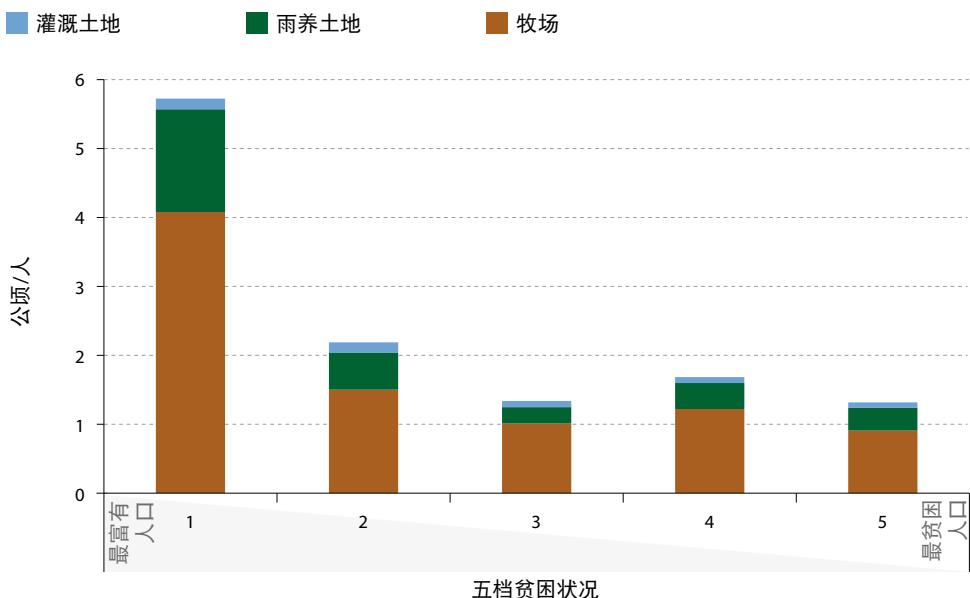
随着农业生产力的提高，单位面积土地的产出、人均增长率和人均收入有望增加，贫困和粮食安全问题得到改善，这也引发了对农村经济的又一轮投资。一般而言，在不堪雨养农业生产不稳定的地区，经常会出现更多集约化的灌溉农业。然而，集约化农业并没有带来更多的农村就业机会。在许多情况下，预算有限的公共机构不得不选择最需要的农业生产方式。例如，投资灌溉农业的增长率较高，但受益者较少；相比之下，投资雨养农业的影响力较广，但总的增长率较低。尽管考虑到了这些因素，但营养不良和粮食安全没有保障的人口（包括长期处于危机状态的这些国家的人口）在全球的分布状况各异（FAO and WFP, 2010），他们与农业生产力基本上没有关系。对于资源匮乏的国家而言，人口压力仍是一个主要因素（Alexandratos, 2005, 2009）。

贫困、水土资源利用程度及土地退化三者间的关系

世界范围内的贫困人口要么是没有土地，要么是无权使用水土资源（图 2-1），而无权使用土地就意味着贫穷。另外，资源管理不善以及农耕系统落后也是造成贫困的原因。贫困地区的农耕系统往往非常单一。然而，并非所有的贫困人口都生活在土地退化地区（图 2-2）。全球仅 16% 的贫困人口生活在土地退化地区。不论当前的生态系统状况如何，生态系统健康状况的细微变化都会对贫困地区和人口密集地区产生严重影响。由于贫困人口严重依赖于生态系统的健康状况，即便是细微的不利变化也会让他们屈指可数的收益荡然无存。

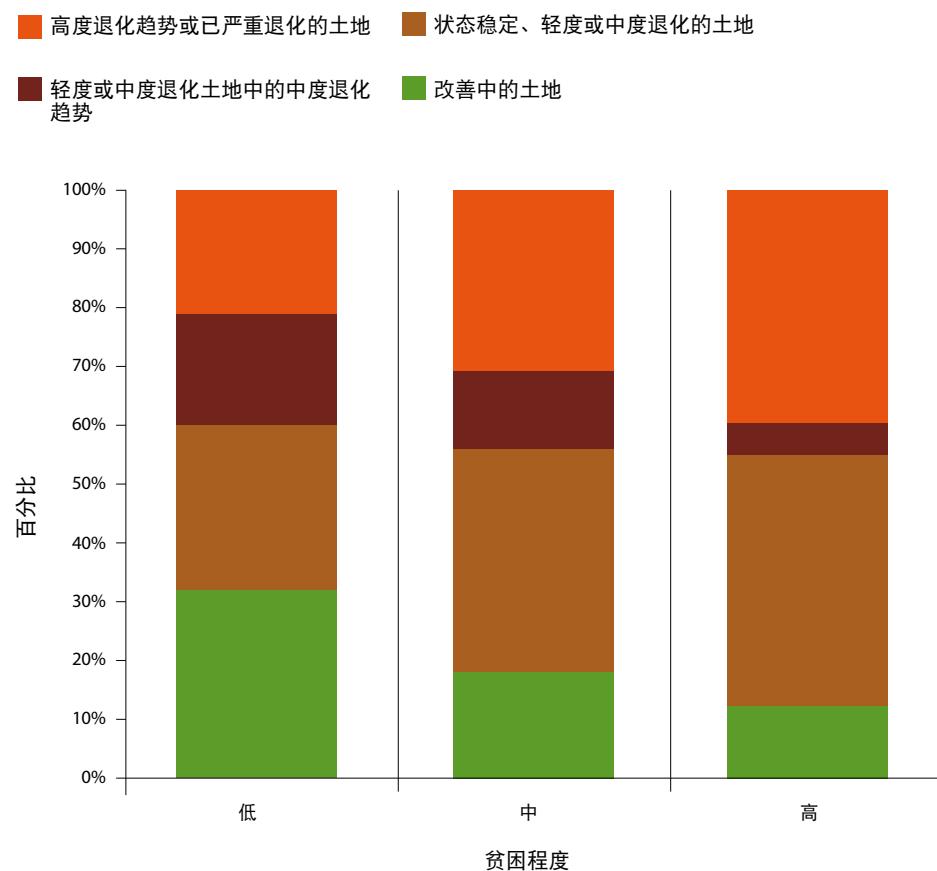
人们用各种各样的货币和非货币指标来衡量贫困程度（Coudouel *et al.*, 2002）。联合国粮农组织（FAO）用少年儿童的营养不良程度作为衡量因贫困导致慢性营养不良的手段（Gross *et al.*, 1996; FAO and FIVIMS, 2003）。事实上，要寻找一个衡量贫困的指标，“发育不良发生率是最可靠、最适合的监测和衡量贫困的指标之一”（Simondon, 2010）。地图 2-1 显示了 5 岁以下儿童营养不良的发病情况。从地图上可以看出，贫困在亚洲和非洲高度集中，尤其是非洲撒哈拉以南地区和印度。整个非洲撒哈拉以南地区，将近一半（45%）的农村人口属于贫困人口。地图 2-2 显示了贫困人口数量的分布情况（根据营养不良儿童的分布密度）。从绝对数上看，世界上大部分贫困人口生活在亚洲。

图 2-1：发展中国家农村地区五档贫困人群对牧场用地、雨养耕地和灌溉耕地的人均占有情况



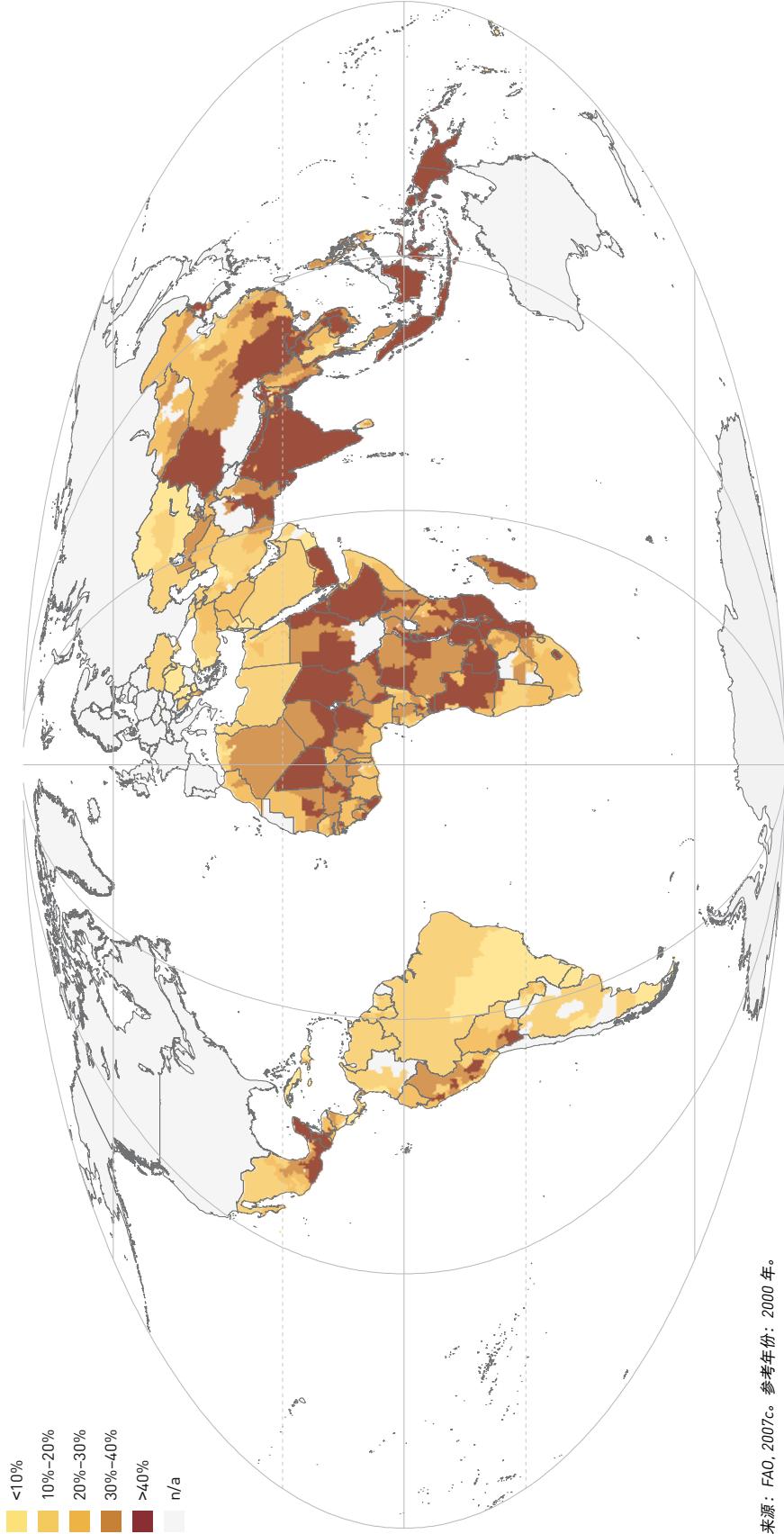
来源：Geodata Institute, 2010。

图 2-2：土地退化和贫穷之间的关系

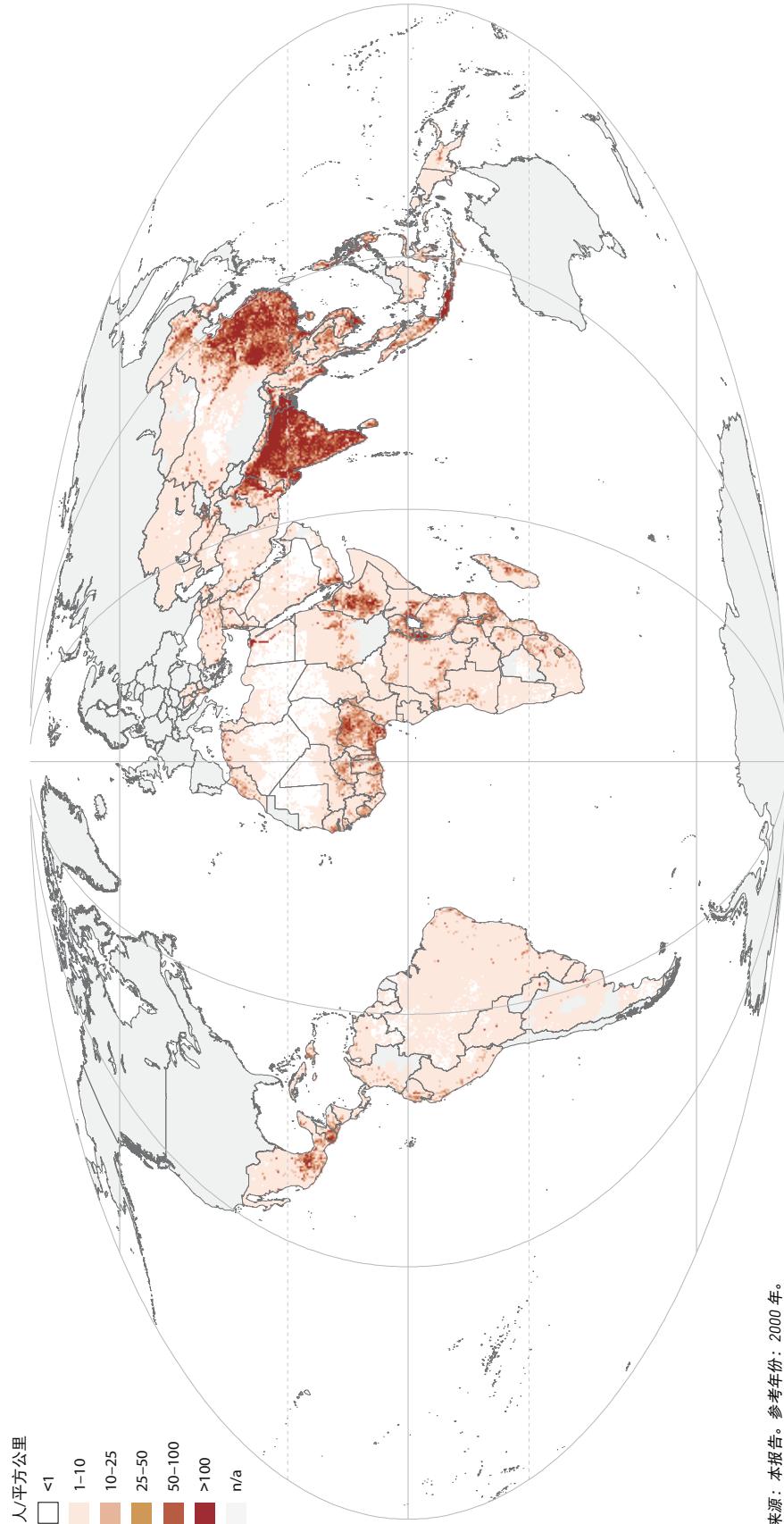


数据来源：FAO, 2007a; LADA, 2010a。

地图 2-1：儿童营养不良的普遍性



地图 2-2：贫困人口分布情况（基于儿童营养不良状况）



来源：本报告。参考年份：2000 年。

农村地区贫困相对集中是由于在边缘地区获得水土资源的不确定性。贫困的农民往往都依靠偏远落后的狭小地块谋生，通常都会有土地使用权不稳定、土壤贫瘠、土地易退化程度高以及气候多变等问题出现。同时，他们所掌握的科技和农耕系统管理水平低下，低水平的投入往往又造成了资源的退化。然而，农耕系统的改进可以改变水土资源与贫困之间的关系：当农耕系统改进以后，贫困现象发生的可能性会大大降低（不到一半）（Hussain and Hanjra, 2004）。因此，改善这些地区水土资源的使用权制定和管理方式可能对解决粮食安全和贫困问题产生直接的积极影响（Lipton, 2007）。

集约化生产与减轻贫困

20世纪后半叶，氮素反应技术、短期栽培技术以及水利灌溉的应用使亚洲的绿色革命生产力迅速提高。借此，亚洲如同踏上一块“跳板”，很快摆脱了贫困，并为20世纪最后20年间更广阔的经济和工业发展奠定了基础（World Bank, 2005; Huang *et al.*, 2006）。40个国家的样本实验数据表明，粮食生产力每进步1%，贫困程度就随之下降1%，人类发展指数也会相应增长0.1个百分点（Irz *et al.*, 2001）。然而，值得强调的是生产力进步带来的效益并非均匀分布。在许多情况下，集约化生产战略的实施让最贫穷的人失去了土地和工作，当地物价下降，那些没有从事集约化农业生产的贫困生产者的收入也相应减少。

水利灌溉与减轻贫困

最近的一份关于亚洲6国26套灌溉方案的研究（Hussain, 2007）显示，发展大规模灌溉农业有助于减轻贫困。灌溉地区的贫困人口比例远低于干旱地区，尤其是在东南亚和印度部分地区。利用农业用水降低了贫困发生概率，同时也减轻了贫困程度。农业用水使农民可以提高并稳定作物生产能力，种植经济价值高的作物，创造高收入与就业机会，提高隐性收入比例。灌溉地区收入不平等现象和贫困发生率始终保持在较低水平。有农业用水和其他生产投入的家庭陷入贫困的概率要小得多。

灌溉发展遭到的一个主要非议是，它只让相对较小的一部分人口获益，从基础设施建设以及水资源份额的角度为他们带来了可观的价值（Smith, 2004）。水利灌

溉通过市场活动（投入、劳动力、承包、运输、加工和包装）产生额外收益的倍增效益，从部分程度上抵消了这种不平等。尽管史密斯（2004）评估的倍增范围在 1.3~2 倍，但亚洲许多作者发现倍增效应已经超过了 3 倍（Bhattarai and Narayananamoorthy, 2003; Hussain and Hanjra, 2004）。印度的私人和公共地下水资源开发利用被证明能够使贫困人口广泛获益（Shah and Singh, 2004）。

水利灌溉可从三方面减少贫困：提高了粮食产量、增加了就业需求、提高了实际收入。随着农村地区投入资金的增多，水利灌溉通过倍增效应推动了农村地区的消费水平上升，增加了农村地区的非农业输出与就业，对解决贫困问题有更长远的作用。水利灌溉还可以降低风险，包括降低产出的多变性，就业和收入的增加也降低了受贫困问题影响的程度。实现作物种植多样化的机会增多也降低了陷入贫困的风险。风险的降低反过来又为进一步的生产投资创造了条件，减少了危机时资本（例如股票）的周期变现需求。水利灌溉还带来一些其他好处，比如减少了农村地区的季节性人口外迁以及提高了女童入学率。

然而，尽管水利灌溉对于减少贫困的好处如此之多，但是在灌溉系统覆盖到的地区仍生活着许多贫困人口。如果水利灌溉在社会、健康以及环境上付出的代价远远高于贫困人口获得的收益，它就会对贫困问题产生一些直接的消极作用。贫困的发生还与在规划方案中所处的位置（末端地区的人口通常很穷）及不均等的土地资源分配有关：在土地（和水资源）使用权分配均等的地区，水利灌溉对贫困现象产生的影响最大（World Bank, 2008）。另外，在主食作物中引入灌溉生产，也会损害在当地市场中参与竞争的雨养生产者通过季节性价格增长获得的利益（FAO, 2006c）。

水资源的多种用途

除了农业生产之外，水利灌溉系统和相关基建设施还可以在其他方面发挥作用。例如，饮用水供给（正式和非正式）、蓄水、水洗及干洗设备、渔业（池塘、稻田及灌溉排水渠）以及江河漕运等。有些情况下，甚至利用设计精良的灌溉系统进行发电和蓄水，例如位于中亚的费尔干纳盆地的一些城镇。尽管水利灌溉和相关基建设施有如此多的潜在用途，但也仅仅是最近几年，水利灌溉的众多功能才在一些发展项目中得以系统地整合，并在发展灌溉的经济评估中将其诸多益处考虑在内（Smits *et al.*, 2008; FAO, 2011e）。

渔业生产也是农村地区一项非常重要的收入来源。但是大多数的农村人却将自己视为“农民”，尤其是在非洲和亚洲，他们通常忙于各式各样的农事活动。人们

根据季节和年度变化搬离原地并对农事活动加以调整，在汛期时尤为明显。每一块土地都可以根据季节用做耕地、牧场和鱼塘。每项活动的重要性取决于从业人员的社会经济地位和文化背景，也根据环境条件而动态变化。因此，这样的生产策略不仅保证了食物的多样性，并且均衡地减弱了对于某一种资源的依赖性，同时也增强了他们生活的应变能力。资源的使用权在水文循环中是不断变化的，因为土地使用权通常只适用于非洪涝期的土地。一旦土地被洪水淹没，每个人都有权利使用这些资源，当然也包括那些无地人口。

农村人口所从事的农事活动种类繁多，因此，单纯依靠某一个部门的措施来提升粮食安全水平往往适得其反。在众多农事活动中，内陆渔业通常被忽视。

在分配与增长之间寻求平衡

随着农业生产能力的提高，农业产量得到了增加，粮食安全水平也得到了提升。在过去的 40 年间，农业生产力水平实现翻番，尽管营养不良的问题仍未全面解决，但全球粮食安全和贫困问题得到了改善。雨养地区和灌溉地区的集约化生产已初见成效，一部分原因在于收割后损失的减少以及更加可靠的仓储和运输手段。然而，这些成绩的取得是以牺牲自然资源资本为代价的，一些水土资源系统要么被过度开发，要么荒废到了无法修复的程度。尽管灌溉地区的单位面积劳动力密度要更高些，但由于土地资源整合、集约化以及农业机械化进程，农业人口在农业集约化的过程中发生了转移。

与此形成鲜明对比的是，投资雨养农业通常会出现更明显的分配效果，但是农民的收入增幅却很小。通过投资雨养农业来减少贫困可以实现良好的分配效果；投资集约化灌溉农业可以推动增长（World Bank, 2007a），当财政预算有限时，政策的倾向性已经日趋明朗。但是一般来讲，如果政策上可以同时保证雨养农业的增长和分配均实现最大化，并且通过扶贫措施将灌溉农业的投资分配影响最大化，那么一个结构合理的农业部门就会兼顾两者，雨养农业在这类地区还是存在发展的可能性的。对于雨养农业和灌溉农业而言，最大程度减少对环境造成的负面影响都十分重要。

基本的分配制度

水土资源的管理通过分配制度和使用权得以巩固，分配制度和使用权为资源的有效利用和可持续利用提供了渠道，保障了安全并起到一定的激励作用。传统的土地使用权制度可能包括受保护的权利，但是往往是集体所有。然而，人口和经济的快速增长给土地使用权的分配与安全带来了很大压力，从而导致水土资源方面的纷争不断，有时还会升级成为冲突。由此引发的权力部门挪用集体所有土地的情况十分普遍。与此同时，还出现了多种形式的现代土地使用权制度。尽管将传统体系向现代体系融合的过程是一个挑战，当今正式和非正式的土地使用权制度已经出现了重合。这些体制上的适应性改变已经落后于经济社会领域的变化，适应经济社会变化也正是它们的初衷所在。不稳定的土地使用权加上僵化的土地市场，最终导致了投资不足和资源利用率低下。

灌溉用水的使用权一向都是受到保护的，然而快速的经济发展和科技进步让许多传统体制力不从心。人们正在尝试通过用水户协会（WUA）重新制定本地的集体所有制。在流域层面，水利灌溉、市政供水、工业生产以及日益增多的水力发电之间对水资源的争夺正在得到解决，但是由于使用权和使用规则常常模糊不清，因此在实践中几乎没有条理清楚、使用权规范的例子。在国际层面，区域和流域协定中公平的利益共享和损害必偿原则被许多国家所接受。但是，这两项原则也仅仅偶尔发挥作用而已。

土地使用权

当今正式和非正式的土地使用权制度已经出现了重合。在竞争和解决纷争的历史进程中，土地使用权体制已经适应了当地的社会经济状况（FAO, 2002a）。集体所有制是传统土地使用权的主要形式，包含了经过反复磋商后制定的规则和标准，保证了个体的使用权。因此，这种使用权通常为农民投资水土资源开发利用提供了安全保障和激励措施。现代的立法制度倾向于用个人产权制度取代传统体制。因此，现代法律对集体权利几乎没有定义或保护条款。在某些情况下，这也导致了对某些权利的逐步剥夺以及土地资源的分配不公。

体制上的适应性调整已经滞后。在人口密度偏低、农业系统水平低下的情况下，在这一法律不平衡的体制中，存在巨大的潜在压力。然而，资源和传统体制都

受到了人口压力的威胁。与此同时，体制上适应性调整的步伐并没有跟上科技和经济的快速发展。

雨养农业地区在水土资源方面的竞争与纠纷不断加剧。随着竞争的日益激烈，现有体制在解决紧急的水土资源冲突方面越来越力不从心。这种冲突来源于资源分配不公，由于资源集中在少数人手中，先前传统体制下的领导人通过手中的权力将集体所有制资源变为私有财产。水土资源用途的改变同样导致了传统体制与现代体制间的冲突。例如，当山民传统的田园生活被外来农业打乱的时候，矛盾就出现了。土地用途的改变还引起了土地和水资源使用权的变化，由先前共同管理变成单独管理。比如，当先前为下游农田提供径流灌溉的江河流域变成耕地时，土地和水资源的管理就分离了。

在生产体系内的不同文化群体之间也会出现矛盾。例如，拉丁美洲的地主和无地劳动者之间就存在着长期的矛盾，非洲的农牧民也因为人口增长对水土资源的压力日益增大而产生矛盾。在一些国家，如巴西，没有土地成为了一个主要政治问题。大地主和佃农间的紧张局面在印度次大陆和菲律宾也十分普遍。

法律法规对集体权利通常界定模糊且缺乏保护，这就导致了很多地方的强权对集体利益的侵占现象十分普遍。在很多国家，集体土地所有制和土地私有制同时存在。非洲以及印度、巴西和墨西哥都存在集体土地所有制。在历史上，现代土地私有制被引入占主导地位的集体土地所有制中时，通常都会出现紧张局面，例如在原住民和殖民者之间就会产生冲突。近来，新灌溉计划地区的农牧民之间就出现了类似的紧张局面（Hardin, 1968; McCay and Acheson, 1987）。那些鼓励采用或维护可持续水土资源管理的激励措施会被这类矛盾冲突削弱。

尽管如此，土地集体所有制仍然能够进行适应性调整。土地集体所有制通过赋予个人可继承性的土地使用权利来保障他们的土地使用权。同时，为了适应日益减少的土地资源，还允许存在土地租赁市场以及社区内土地交易。因此，土地集体所有制可以在一定程度上保障土地使用权，这是可持续水土资源管理的基础。然而，

土地集体所有制也存在缺点：由于集体权利不可用做贷款抵押，所以对土地的投资常常受到限制。传统的土地使用权缺乏安全保障，导致资源投资不足和利用率低下。由于土地使用权没有保障，从事雨养农业的农户要么不投资，要么选择能够带来短期收益的技术。例如，为了减缓水土流失，农户更愿意用植被防护带而不用石头砌的防护墙，因为植被防护带可以在短期内收回成本，而且收益快、风险低。

土地所有制改革没有明显可辨的趋势。为了应对人口压力以及对土质带来的相关影响，土地所有制改革会周而复始地进行，但是国家圈地或出售公共土地的行为却是不常见的。然而，这些压力正在促使对土地所有制中的区域性方案及普遍性问题进行更进一步的考察（FAO, 2011b）。与此同时，人们也意识到了稳定的土地所有制与减少贫困之间的关系。

由此可以得出两条经验：首先，土地使用权规定的性质决定土地资源管理的范围和质量，没有稳定、透明的规定，就会出现投资不足以及农业实践缺乏可持续性；其次，将传统体制融入现代法制仍然面临严峻的挑战。

用水权

传统上的用水权，大多过渡到了灌溉水资源的共享，但是这些权利如今由于经济和技术的发展而发生了变化。历史上，用水权体制的演变更多是源于灌溉体系的发展，而不是其他任何部门的利益（Caponera, 1992; FAO, 2006e）。就灌溉系统而言，水土资源是生产系统中不可或缺的组成部分。资源管理体系按灌溉区域、地方政府以及用水户协会（WUA）的形式对水土资源进行共同管理。

水控制技术和电水泵的发展为扩大灌溉区域面积和集约化生产提供了条件。然而，这些都远远超出了集体所有制及其相关规定的范围，同时也改变了先前灌溉方案内和跨江河流域的资源使用方式。事实证明，传统的体制无法应对这些改变以及当今普遍的水权纠纷（见插文 2.1）。

地下水如今已广泛应用于灌溉农业。精确灌溉的用水需求和经济上的激励措施（比如，农村地区的能源税就鼓励“加快抽水灌溉步伐”），导致了含水层枯竭以

插文 2.1：也门达尔旱谷的争端、应变力和动平衡

用水冲突在也门有很长的历史了，当然也进行过调整变化。然而，距离萨那古城不远的达尔旱谷，在相当长的一段历史时间里，对当地水资源的管理却井井有条。经过几个世纪的时间，在不断发展的冲突中，通过对裁断的反复争议，新规最终出台并为民众所接受，并逐渐形成“既有传统”。

1970 年，管井技术蓬勃发展为结构平衡的水资源经济。达尔旱谷下游的一个社区向法庭酋长抱怨说，上游的水泵减少了溪流的水量，而且打乱了“我们沿袭几千年的法律和习俗”。如今，这个新矛盾解决了，但这不是法庭的功劳，而是下游有钱有势的富裕农户通过自己投资开发新的水泵技术解决了这一矛盾。“溪流越来越小，直到最后枯竭，但是有钱有势的人已经不再关心这个了”。一种新的平衡形成了：资产经过重新平衡，更多地聚集在富人手中。冲突解决了，同时形成了一种新的“既有传统”。

来源：Mundy, 1995; World Bank, 2010b。

及地下水水质的恶化。以印度为例（Shah, 2009），各邦政府试图对地下水抽取和使用进行规范，但几乎没有起到任何效果。干预各地数以万计的地下水使用者，无异于向他们发起挑战，而这也超出了许多水资源管理部门的能力。但这并不是说各地自主解决这一问题完全不可能（Blomquist, 1992）。

如果体制和激励框架保持不变，那么现有的农业地下水使用方式（Siebert *et al.*, 2010）势必继续对地下水资源储备的总量和质量造成永久性破坏。城乡和工业领域对淡水的需求日益增加，地下水作为淡水的重要来源也会受到影响。就地下水保护而言，亟需制定“抽水点”的地方法规，用水群体更明智的管理方式可以缓解对地下水的需求，至少可以就最大程度地保护共有地下水含水层水位达成地方性共识（World Bank, 2010a）。

体制上也不得不在农业、市政和工业的需求（以及日益增加的水力发电）之间作出权衡。政府通常会优先考虑市政和工业供水。尽管与农业或水力发电用水相比，这两方面的用水量相对较小，但日益增长的市政和工业用水需求着实增大了供水压力。在中东和北非这样的水资源稀缺地区，比如约旦，部门间竞争激烈，分配

给农业的水资源在不断减少。有关放弃用水权的体制规定饱受质疑，对农业用水的再分配可能会造成社会不稳定。在许多发达的江河流域地区，水利灌溉和水力发电之间对于排放水的竞争不仅会限制水资源在生产部门之间的优化配置，还会影响市政供水的可靠性与水质安全。

在国际层面，合作原则被视为最佳方案，而不是遵循用水权原则。一个国家依靠自身力量发展要付出高昂的政治和经济成本，再加上流域范围投资规划的附加值损失，这些因素促使一系列合作协议以及“平等利用”和“无重大损害”原则的出现。这些原则虽然尚未正式成为法律，但已被列入《联合国国际水道非航行使用公约》。尽管如此，在实际操作中，相对于合作和共同受益的需求，很多国家还是会优先考虑本国的水资源利益（Bingham *et al.*, 1994; Yetim, 2002）。

在竞争日益激烈的情况下，对水土资源进行共同管理的需求也变得越来越迫切（FAO, 2004b）。然而，由于各国内部的管理制度也存在模糊地带，土地使用权与用水权之间的关系充满变数。例如，美国的一些州以及印度采用开采者优先原则，而其他地区则采用上游优先原则。与此同时，土地资源的使用对水资源的质量和总量有重要影响。因此，土地资源的使用和分配决定会直接或间接地影响水资源的使用和分配，反之亦然。所以，许多国家都十分提倡对土地、水以及其他自然资源的使用进行综合管理。《2002年安德拉邦水、土地和森林资源法案》将这些方法写入法律条文，但像这样的立法并不多见。

以往的应对政策

政府通过政策及其激励措施框架将经济发展和社会发展目标结合起来。很多政策都对农业领域的水土资源利用作出了交叉规定，这样也很容易造成不一致或者相互矛盾。因此，政策和激励措施经常会助长不可持续的资源利用，扩大对环境造成的负面影响。

农业政策往往以公平增长为目标，但有时会破坏农业增长所赖以生存的环境服务。例如，化肥补贴一定程度上加剧了富营养化污染，能源补贴加速了地下水资源枯竭。土地政策的目标通常是保障公平、安全的土地使用权。然而，负责界定、协商和管理资源使用权问题的体制却常常力不从心。过去以供给为中心的水资源政策

在许多流域造成了过度的水资源需求。近年来，对水资源采取了综合管理政策，采用了跨部门但分散的管理方式。因此，我们有了更好的方案有效地分配和管理稀缺的水资源，但是这些方案的全面应用仍需时日。

相比之下，环境政策的出现成为诊断问题的积极力量，但往往只能起到亡羊补牢的作用，而不能进行有预见性的干预，而且监管能力不足。在低收入国家的发展进程中，环境政策如何发挥其影响力面临严峻挑战。在这些地区，环境政策可能被视为阻碍发展甚至是穷人不利。针对具体的环境问题，根据流域规划以及水土资源的总体规划，制定出了一些水土资源综合管理方案。然而，尽管流域规划改进了水资源管理的做法和问责制，但这些方案对于宏观经济规划和发展的影响却微乎其微。

农业及相关政策

在制定水土资源管理的相关政策和体制时，通常要与国家目标一致，较为典型的就是效率、公平和可持续性这三大原则。但是地方政府以及农民个人等较低层次的选择决定也会影响到政策和体制的制定。政策目标以效率为宗旨，通过分配资源创造最高的经济价值。效率目标又要结合公平目标。公平目标的宗旨是减少农村经济中的贫困现象。第三个目标是可持续性，它反映了保护自然资源的长期利益，维护经济增长和国计民生赖以生存的环境服务的可持续性。

这些目标已经通过一系列工具转变成政策及体制框架。这些工具包括价格和贸易政策、财政政策和预算分配、水土资源管理的立法和体制建设以及农业服务。农业政策的主要特征是通过一系列激励措施产生影响力，这些激励措施包括税收制度、补贴政策以及生产投入（尤其是化肥和能源）的定价。影响生产成本的政策，如贸易政策、关税壁垒和出口禁令等，经证明也是强大的激励措施。其中的一些政策对环境产生了意外的负面影响。

土地政策

土地政策的目的通常是为了保证人们能够享有公平、可靠的土地使用权（Molden, 2007）。土地政策明确了土地的分配框架和规划用途；制定土地投资规范，包括商业投资和主权投资；制定和规范土地使用权规则、管理和解决争端、管理土

地税收信息系统（FAO, 2004a）；还提供特殊的土地使用权措施，如公共土地的管理、开发和私有化，小块土地的整合（FAO, 2003），以及原来集体土地的土地改革和分配（如前苏联实施的土地政策）。具体的问题包括：

- **定义、协商和管理土地使用权的机构资源不足。** 土地登记功能差、权利保障薄弱、所有权市场及租赁市场表现不佳。
- **公共财产制度不能很好地适应不断变化的社会经济情况。** 运作良好的公共财产制度应按协商制度的规则运作，任何一方均无例外，竞争程度低，合作程度高。如上面所述，传统的机构能力削弱或不太适应新的变化，个人不按规则使用公共资源，导致过度开发和土地退化。
- **性别和土地使用权。** 在许多社会，妇女从事大部分农活，可能是一个家庭农场的唯一经营者，但土地所有制将妇女排除在外，因此她们无权拥有土地，土地使用权没有保障或者无权获得银行贷款（FAO, 2002c; Ellis, 2000）。
- **外来商业投资和主权投资。** 以生产为目的的土地外来投资正在兴起。根据现代土地使用权法规，政府可以将传统土地所有制下已经有归属并在使用中的土地划拨他用。这种现象的增长如若没有完善的政策和体制确保当地人民的利益，可能会导致贫困、粮食不安全，以及社会和政治局势紧张（Cotula *et al.*, 2009）。

用水政策

许多用水政策和部门战略一直都以供水作为工作重点。20世纪大部分时期，江河流域机构的活动主要都是开发水资源，用于满足灌溉、水力发电、市政和工业需要。人们大规模投资大型公共灌溉计划，60年代到80年代期间，许多国家的公共农业预算以及世界银行的农业贷款均有一半以上用于灌溉（Rosegrant and Svendsen, 1993）。可以说，这种以供水为导向的方法已经导致许多国家的需求过度。在水资源短缺的国家，资源可能全部划拨给一个部门（通常是农业部门），从而产生了刚性权利。水费政策压低了真正的供水成本，可能鼓励了人们过度使用水资源（FAO,

2004c）。事实证明，水权被固定到这些用途，很难下放给农民，即使他们提高了用水生产率。但是，从社会、经济和环境角度阐明农业用水情况的压力正在日益增加（OECD, 2010a）。

许多国家最后都轻而易举地扩大了灌溉面积，导致成本上升、需求过度和财政不堪负重等问题变得愈发明显。与此同时，对环境和社会经济造成的负面影响也开始显现。调整供需关系，同时考虑到一系列环境外部因素，都要求对体制进行改革。应对方案通常包括制定需求管理措施，如定价措施、限量和减少分配等。但减少贫困和粮食安全目标也必须考虑在内，并作为水资源综合管理方案的制订依据。

将水土资源纳入宏观经济规划

有一点是明确的，那就是我们需要进行更加全面的水土资源规划和管理，以应对日益加剧的资源竞争，一些水土资源联合管理方法也已经出现。地理学家们最初的愿望是将水文学与地球和社会科学相结合（Chorley, 1969），这一愿望已经纳入全球性倡议，如 1992 年里约环境与发展会议，以及有关生物多样性、荒漠化和气候变化等问题的公约。截止到目前，共出现了两种方法：① 作为缓解集约化农业带来的不良副作用的一种补救措施（欧洲清理莱茵河和多瑙河系统以及采用欧盟《水框架指令》就是很好的例子；见插文 2.2）；② 作为在流域或区域范围进行开发规划的一种手段，迫使在开发全过程中考虑土地管理和水循环问题。

一般来说，在后工业经济区高度发展的江河流域，例如多瑙河和莱茵河（基建发展和密集使用程度相当高），土地资源和水资源的管理是紧密相联的并且受到监管，以保护使用权并减少对环境造成的影响。在其他地方，土地资源和水资源的管理一直是分离的，由不同的机构负责满足各自领域的需求，或者故意如此安排，以使自然资源在各使用者和部门之间自由转移。澳大利亚的墨累-达令盆地的演化就是一个很好的例子。

尽管取得了这些进展，但在宏观经济和部门规划中很少采用自然资源管理标准。只有当水土资源限制影响了经济增长时，更为明确的水土资源规划和管理形式才会出现在政治议程上，例如布基纳法索的综合景观规划。

插文 2.2：欧盟水框架指令

随着欧盟各国公民和环保组织对更加清洁的河流、湖泊、地下水和海滩的需求日益增高，2000 年 10 月出台了欧盟《水框架指令》（WFD）。欧洲早期的水法包括 1975 年制定的从河流和湖泊中汲取饮用水的标准，20 世纪 80 年代开始关注饮用水的质量，立法标准着眼于鱼类和贝类生活的水域、洗浴水和地下水。1991 年颁布了《城市污水指令》以进行二级污水处理，还颁布了《硝酸盐指令》以解决农业生产中的氮污染问题。后来的《饮用水指令》审查并加强了饮用水水质标准，并于 1996 年制定了《污染综合防治指令》（IPPC），以解决大型工业设施造成的污染问题。

对欧盟用水政策进行根本性反思的压力于 1995 年年中达到了高峰，当时随着人们和其他有关各方对水资源的质量和管理的意识不断提高，要求欧盟以更加协调一致的方式解决水的问题。新的欧洲水政策的主要目的是减少污染，确保清洁水域继续保持清洁。它的目标如下：

- 将水资源的保护范围扩大到所有水域、地表水和地下水；
- 在设定的期限内使所有水资源保持“良好状态”；
- 以江河流域为基础进行水资源管理；
- 为排放量限制和质量标准寻找“两全之法”；
- 确定合理的价格；
- 让民众更密切地参与进来；
- 精简立法。

民众在改革过程中起到核心作用：通过包容性和开放性的协商流程，由各成员国、区域和地方当局、执法机构、水供应商、工业、农业以及消费者和环保主义者的代表一起制定了政策。

来源：European Commission, 2010。

今天，集成的空间“总体规划”对发展影响甚微。在 20 世纪 70 年代和 80 年代，针对农业制定了详细的土地利用规划（例如，土壤分类和土地用途的适用性）并纳入了区域发展“总体规划”。但是，这些规划一般只用做信息存储库，而不是作为空间规划工具。在工业化国家，区或县级发展规划今天给出了广阔的区划界限，包括“绿色空间”和环境保护区，但一般不用于详细的农业规划或土地利用的环境管理。

然而，流域规划改善了水资源管理和问责制。20世纪70年代和80年代的地区或流域水资源总体规划重点已不再继续，虽然它们形成了各种基于江河流域的水资源分配和管理机构（如坦桑尼亚的江河流域办事处），并继续为统计国家的用水情况提供强大的信息基础。这些总体规划还在20世纪80年代末协助完成了第一次联合国粮农组织水与农业全球信息系统（AQUASTAT）的数据编撰。总体而言，虽然土地政策和管理可能不会总是伴随流域规划，但水资源综合管理的“观念”促使采取更积极的水资源核算和环境监管。在减缓对社会经济和环境造成的负面影响方面，这些流域规划方法究竟起到多大的作用仍是未知的（Molle and Wester, 2009）。

制度性手段与效果

为了应对日益增长的水土资源需求，制度上采取的措施包括分配资源及监管资源使用情况的政策、激励机制和规范性法律法规。这些水土资源机构采取的措施包括：

- 水土资源开发政策、规划和组织，以及分配和保护土地和水权的体系；
- 相关的农业政策、规划和组织，以及更为广泛的、影响财务政策和贸易政策等激励机制的政策；
- 涉及自然资源保护规定和激励机制的环境政策和组织，以及水土资源使用造成的“外部效应”的后果。

水土资源面临的挑战在于，虽然政策可以由政府制定，但管理主要由农民负责。农业部或者农村发展部的主要责任通常是对水土资源管理给予指导，但越来越普遍的做法是将服务（如扩充）精确下放到最需要的地方。一些联合性的水土资源管理方法在江河流域层面一直有效，但需要更加关注水土资源综合管理方法。目前还几乎没有能够长期实施以取得显著成效的计划。

尽管如此，土地利用规划已经借助更方便的工具得到改善，一些发达国家已实现了土地资源有效分配。但是，这样的土地利用规划对发展中国家的发展计划影响

不大，在几乎没有机构能力的国家，计划的执行一直受到诸多因素的制约。有些权力下放和参与性土地利用规划已经取得了成功，但一般只是在地方层面。

农业机构

水土资源管理的体制责任主要由农业部或农村发展部承担。这些机构为农村社区或农民个人提供技术支持和服务，所起到的作用一直是鼓励他们增加投入，并采用更先进的农艺做法。在有些情况下，私营部门和设备供应商一直发挥着重要的作用，尤其是在应用精确灌溉方面。传统的推广服务在现场部署资源有限的政府官员，对提高水土资源管理的生产率产生的影响有限。最近，在全球范围内对推广做法的调查（FAO, 2008b）发现，国家咨询服务已经进行了权力下放，形成以农民为主导，以市场为导向的推广系统。

水域管理方法

体制方法的一个例子就是水域管理方法，这种方法旨在以综合方式管理水土资源和更广泛的水域生态系统。目前所取得的效果很有限，部分原因是上游和下游利益相关者之间的利益不对称，另一部分原因是在水域范围对自然和人为作用的看法不一（见插文 2.3）。

在发展中国家，20世纪 70 年代和 80 年代的第一代水域管理项目采用了水土资源规划方法，强调的是当地和下游所能取得的具体成果需要的工程量。一般情况下，人们很少关注上游人口的需求或他们对行动方案的所有权。结果导致投资成本高昂，不能及时作出合理的调整，而且创造的资产往往使用寿命很短。到 20 世纪 80 年代末，这种“以工程为主导”的方法明显是比较失败的，国家和国际机构对水域管理方法展开了重要的反思。

20 世纪 90 年代，在国际社会的支持下，发展中国家开始推行水域管理方案。新方案并没有排除工程解决方案，但将重点更多地放在耕作系统以及以权力下放的方式实行的参与性方法上。发展计划重申了农村扶贫工作的重要性，得到了大力支

插文 2.3：水循环的水域管理成效

津巴布韦东南部的经验证了这个说法：“上游源头的不良农业做法导致水库淤积增加”。位于低地的大型制糖庄园是水资源的主要使用者，依靠中间集水区的众多储水坝来供水，这些储水坝现在正面临着泥沙淤积问题。增加的泥沙归咎于不良的耕作方式，包括上游源头的“土著”、“温饱型”农民的毁林和过度放牧。

自 20 世纪 90 年代初经历严重干旱后，一些制糖庄园开始推广方案，与上游源头的农民合作，以“改善”他们的土地管理做法。到了 20 世纪 90 年代末，这些推广方案取得了积极的效果：进入水坝的悬浮固体大大减少。然而，这时又出现了一个矛盾：推广方案涉及的范围很小，而集水面积很大。研究还发现，高于和低于“平均”降雨的现象以 10 年为一个循环周期，这可能与厄尔尼诺南方涛动（ENSO）现象有关。整个 20 世纪 80 年代一直是记录上最干燥的时期。

研究结果和当地农民的看法相结合，从另一个角度反映了甘蔗种植农的生活。在多年干旱期，水位下降，草木枯死，牲畜（在死之前）吃光了所有能吃的东西，使局势更加恶化。在此期间，沉积物水平普遍提高，降雨期来临时就会发生水土流失。尤其是枯水期结束后的大风暴事件导致大量“积存”的土壤移动。然而，一旦进入多雨期，嫩芽和植被迅速恢复，加上牲畜数量较少，水土流失基本停止。研究网站上 20 世纪 90 年代的照片显示裸露的红土，但自那时以来，植被一直郁郁葱葱。沉积物移走后留下一个小小的水源集水区，那里一直没有推广方案，一直是自给自足的农业生产方式，产量从未超过 5 吨/公顷—远低于许多实验所报告的 70 吨~100 吨/公顷。

来源：FAO, 2002b。

持。从计划性投资转向参与性方法，目的是要在当地通过水土资源管理获得的效益和下游受到的影响之间寻求平衡。但是，计划的实施时间一般很长，很少能持续足够长的时间以取得显著成效，而且对水资源储备的长期影响也值得商榷（Batchelor *et al.*, 2003）。

土地利用规划

自 20 世纪 70 年代以来，土地利用规划构成了区域发展规划的一部分，如通过土壤调查和土地能力或评估测绘作业（FAO, 1976, 2007b）。随着更低廉的计算系统的问世，更多复杂的地理信息系统（GIS）方法已经得到应用，例如在肯尼亚、

斯威士兰和孟加拉国（全部由联合国粮农组织提供支持）。然而，尽管这些方法增强了国家在土地利用方面的决策能力，但并没有变成农业规划或投资战略，主要是因为它们在推进经济自由化和市场渗透时试图过于确定（确定什么样的土壤和地形条件适合种植哪些农作物）。虽然作出了规划，但执行起来却受到诸多限制，因为监管土地利用情况的制度能力很弱甚至缺失。相比之下，欧洲的土地利用规划在针对不同的用途（如城市、森林、耕作或保护区）分配土地方面就发挥出更有指导性的作用。

一般而言，土地利用规划在地方范围内比较成功，在大范围内效果较差。结合权力下放和农业部门的支持计划，更能说明需要为土地利用规划提供本土化的投资和支持。20世纪90年代，采用参与式农村评估（PRA）作为主要规划工具改善了地方一级的所有权状况。然而，重点分散和以需求为导向导致了土地细碎化。目前这仍然是水域管理中的主要问题之一，例如，在地方一级，参与式和需求导向式规划与下游的需求不匹配，或与流域范围内的水土资源综合管理规划不匹配。

灌溉管理机构

鉴于大中型灌溉方案投入的公共资金规模较大，因此政府机构在开发、运作和维护灌溉系统方面的作用一直占主导地位。但是，由公共部门管理的大型灌溉方案很少能实现财政效率或按需供水服务（Molden, 2007）。供水服务差的主要原因在于官僚机构和严格的技术设计，这两方面都是以规划为主导的方法自上而下影响灌溉方案。资金不足、缺乏运维和系统恶化形成了恶性循环，往往导致需要进行周而复始的修复。

尽管如此，政府已经将一些大型灌溉方案的管理责任转移给用户组。但参与式灌溉管理（PIM）和灌溉管理转权（IMT）的经验已经混在一起（FAO, 2007a; Molden, 2007, Ch. 5）。灌溉管理从公共机构逐步转移给集体机构和以市场为导向的机构，在这个转权过程中，灌溉管理必将变得更加复杂和多元化（Meinzen-Dick, 2007）。然而，收回运维成本，将转权的资产变成可盈利的、可行的经营业务仍然是一个相当大的问题（见插文2.4）。

插文 2.4：灌溉管理转权的成败经验： 罗马尼亚的运维状况

罗马尼亚的灌溉系统严重依赖于水泵抽水。在 20 世纪 80 年代末开发的 310 万公顷的土地中，约有 285 万公顷采用喷灌，能源成本极高：在有些地区，灌溉系统的静升力超过 270 米。自 1990 年国家和集体农庄解散后，没有明确指定任何机构来运作和维护灌溉设施，国家机关既没有工作人员，也没有预算资金来担负起这项责任。由于灌溉设施老化，加上政府和农民无力承担能源成本，以前每年灌溉用水为 2 500~3 000 米³/公顷，现在减少到约 1 000 米³/公顷，灌溉收取的费用也不足以弥补灌溉设施的维护成本。而且，农田里的设备和水泵遭到破坏或被盗，有的过于陈旧而无法正常使用。

1999 年的《土地复垦法》正式成立了用水户协会（WUA），并将罗马尼亚国家土地复垦协会（SNIF）完全重新组成一个土地复垦机构。这次重组包括重大裁员、将权力移交给区域办事处，以及由用水户协会在系统管理中担负更重要的作用。现在，运河和二次加压泵站都由用水户协会工作人员操作，他们还负责收取用水费用。2004 年和 2005 年，国家进一步修改了法律，允许用水户协会控制从主泵到河流的管理。目前灌溉的面积只有约 70 万公顷，原因在于灌溉系统缺乏维修、大型抽油机老化以及能源成本高昂。《土地复垦法》规定，只有当用水需求至少占控制面积的 20% 的情况下，才能使用灌溉系统，无论是在分流运河层面还是整体系统层面都是如此。用水户协会面临的挑战仍然是既能保证足够的灌溉面积，又能正常维护现有的基础设施。

来源：FAO, 2007a。

在某些情况下，私营部门在引进现代灌溉技术方面发挥了重要的作用，帮助引进了更先进的耕作方法，如下游控制、波涌灌溉、地基滴灌和施肥等。当时，市场条件对精确灌溉产生了强大的拉动力，在私人融资举措的引导下引进了这些先进的技术。有时候，一些私人举措的效率与公共运作方案形成了鲜明的对比：例如，苏丹中部有一家私人经营的克纳纳制糖庄园，向北只有 100 千米处有一个大型公共杰济拉计划，相比之下二者的生产力差距悬殊，前者全部投入运营，而后者只有部分种植。另一个例子是，印度许多自流灌溉区开始使用浅层地下水，引发了 Shah (2009) 所说的“原子灌溉”——这是私人对当局的体制和水利措施不完善作出的回应。总而

言之，灌溉管理需要更多的灵活性和应变能力，不仅需要制定深思熟虑的能力建设方案，还需要尽可能现代化的基础设施（FAO, 2007e）。

这些私人经营者已经证明他们有能力管理好商业计划，公私合作制（PPP）模式也许适合由私人管理小规模计划。国家补贴作物（如糖、茶叶和柑橘类水果）的大型商业经营者一直是高效的灌溉管理者，即使在困难情况下也是如此。由私人经营者运作公共计划是完全可能的，但实际的经验目前仍然有限。对灌溉领域新兴的公私合作制（PPP）进行调查（World Bank, 2007b）给出的建议是，引进第三方服务提供商来提高服务效率是可行的，但必须注意降低第三方服务提供商的风险。

公共部门之外显现的灵活性

整体而言，灌溉农业的自由化，摒弃了集中规划和生产配额或由价格支持计划占主导地位，已经能够通过灌溉生产和更加多元化的作物成功应对不断变化的市场需求。传统的地面灌溉方案无法满足按需、及时灌溉的要求，而是严重依赖地下水实现供水的灵活性（Shah, 2009），对含水层更密集的使用产生了严重的负面影响（Llamas and Custodio, 2003）。

随着水资源短缺现象日益加剧，已经出现正规和非正规的地表水和地下水交易市场。水资源交易市场具有很强的理论优势，可以实现较高的效率，尤其是本地市场，它们可以提高水资源的利用率，而且只需很少的基础设施和管理机制。正规的水资源交易市场已被证明能够有效地分配地下水所产生的惠益（Shah, 1993）。然而，只有智利、澳大利亚和美国西部才存在这样的正规交易市场。它们的苛刻要求包括：规定清晰、保障水权、建立贸易体制和法律框架以及在用户之间传输水资源的基础设施。

旧有政策的环境后果

以往的政策和体制举措提高了水土资源的生产力和产量，但也导致一些地区出现了环境问题。农业政策促进了机械化、施肥和农药的使用，所有这些都为环境带来了风险，让环境付出了沉重的代价。在某些情况下，土地政策推动了人们向边缘土地、森林和湿地扩张；而土地使用权缺少保障导致人们对土地的投资不足和生

产战略缺乏远见。水资源政策促进了大规模灌溉计划、地下水开采和大规模汲取。虽然这些政策大部分都为迅速提高生产力作出了贡献，但也造成广泛的水土资源退化。近年来，环境政策和环保组织一直在积极地调查这些问题，但一直是消极被动，而不能主动出击，而且监管能力往往很弱。

为了应对集约化农业生产方式对环境造成的影响，已经成立了一些环保机构，但这些环保机构要想对发展中国家的发展计划产生影响力，仍然面临着严峻的挑战。1992年里约会议之后，随着人们对环境问题的认识得到提高，大多数国家制定了法律体制框架和政策，并成立了环保组织，旨在影响经济增长和自然资源管理方式，使其朝着环境可持续的方向发展，并控制和减缓环境退化势头。这些机构已经有效地对发展计划进行了“绿化”，特别是在发达国家。例如，美国环保局已经制定了主要方案，以减少化肥和农药在农业用地中的非点源。然而，环保机构必须解决执行力不足的问题，而且往往是消极被动的，不能主动出击。另一个问题是环保计划的所有权问题：虽然发达国家对环境很重视，但在发展中国家，推行环保政策被视为阻碍发展，甚至是对穷人不利；环境政策要想影响发展计划，仍然面临严峻的挑战。

无意采取的不合理的激励措施也是造成负面影响的强大推动力。国家为了促进农业增长而采取的激励措施常常会带来负面效应，例如在一些没有相对优势的地区，宏观经济和贸易政策偏重于粮食生产和自然资源开采。在一些国家，扭曲的激励措施是导致水土资源退化的原因之一（见插文 2.5）。例如，能源价格补贴在许多国家加快了地下水枯竭的速度。

这个问题不仅是采用不合理的政策，还在于没有好的政策。肯尼亚和埃塞俄比亚的例子（见插文 2.6）表明，合理的政策对水土资源会产生强大的影响，而不合理的政策或者政策的缺失会产生负面影响。

核心问题是，外部因素的成本和收益是不对称的。当地的集约化生产可能会同时为当地和下游的水土资源带来风险。例如，动物放牧率越高，当地的水土流失就越严重，造成土壤肥力丧失和下游泥沙淤积。大量使用化肥可能会污染当地的地下

插文 2.5：水土资源管理中激励机制扭曲带来的影响

在一些国家，扭曲的激励机制加速了水土资源的退化。在化肥补贴力度大的国家（如孟加拉国和中国），施肥频率往往高于建议的次数，导致化肥使用过量。2008 年，中国农民每公顷获得 84 美元的化肥补贴。2008 年和 2009 年，孟加拉国共花费 7.58 亿美元用于尿素补贴。在这两个国家，地下水的水质已经受到严重的负面影响。

在 20 世纪 90 年代初发生经济危机之前，巴西一直采用信贷补贴和免税的方式鼓励农民开垦亚马孙地区的林地，用于进行不可持续的农业生产。扭曲的激励机制不仅造成森林生态系统的永久性丧失，同时也未能达到促进高效、公平或可持续性农业生产的目的。

来源：*Huang et al., 2011; Binswanger, 1991。*

插文 2.6：总体政策对土地可持续性管理的影响方式

在肯尼亚的前马查科斯地区，从 20 世纪 30 年代到 90 年代，人口增长了 6 倍，而农业产量却增长了 10 倍。近年来，其广泛采用了水土流失控制措施，并大大增加了林地覆盖面积。有利于这些发展的条件包括：相对有利的价格政策、进入国际出口作物市场、建设基础设施、靠近内罗毕市场、流动人口的汇款、可靠的个人土地使用权、当地对水土保持做法的推广服务。

在埃塞俄比亚的海尔·塞拉西和德格时期，农民生活在各种苛捐杂税的重压下。基础设施和市场开发有限，农业服务严重缺失。进入国内和国际市场的渠道常常中断。农村非农业部门和城市经济的就业机会非常有限。土地使用权极其没有保障，加上基础设施不健全、市场准入困难、缺乏激励措施以及政策扭曲，导致土地资源普遍退化。

来源：*Tiffen et al., 1994; Grepperud 119941; Heath and Binswanger, 1996。*

水，也会造成下游水体污染。当地的成本可以内部化；也就是说，如果激励措施和支持性框架鼓励大家保护自然资源，那么农民将会纠正损害自身耕地的生产做法。但农民缺少更正外部诱因的动机。通常需要对激励框架作出一些调整。因此，现在的挑战是，如何调整实际的激励结构，鼓励上游农民（承担更正外部诱因的大部分

费用，但得到的好处甚少）保护他们自己所在水域的水土资源。有一些很好的例子实现了自然资源保护与集约化生产目标的协调发展（见插文 2.7），但也有一些计划在建立有效的激励框架上遇到了问题。

随着水土资源的竞争加剧，缺乏明晰而稳定的使用权使私人投资和管理激励机制减少，而政策往往又推动人们采用不可持续的做法和负面效应的进一步扩大。尽管土地资源和水资源要在功能上实现系统化的统一，但现代法律和体制往往将二者分开处理。即使专门进行综合资源管理的机构（如流域机构）也在多种用途中主要处理一种资源，而不是将水土资源联合起来处理。随着自然资源规划越来越关注微观效益，而采用了权力下放和以需求为导向的方法，这种体制上的差距越来越大。

在水土资源越来越稀缺，来自其他行业的竞争越来越激烈的地方，除了对自然资源造成影响外，也产生了社会经济成本，如竞争和冲突。水土资源分配方式的改变、使用权缺少保障、水土资源退化等都是造成贫困和粮食不安全的因素。在大多数流域和国家，制度上的应对措施已经远远滞后于社会经济的发展和环境影响的积

插文 2.7：中国黄河流域中黄土高原的水域治理

在中国黄河流域的黄土高坡地区，不可持续的农业做法，包括毁林、过度放牧和不合理的土地复垦做法，以及上几个世纪不断增长的人口压力，导致保护性植被减少到只有总面积的 20% (Brismar, 1999)。这里曾经实施过一个成功的水域复兴项目，包括修建梯田、带状种植、沉积物拦截大坝和大规模植树种草。此外，还建成了大约 2 100 个小型沉积物控制结构，每年可以拦截约 2 500 万吨沉积物。

这些措施通过减少水土流失和河流淤积来改善土地和水质。禁止放牧（特别是在坡地上），以较低的成本形成稠密的自然植被覆盖度。在平坦或坡度很缓的荒地上种植人工牧草（主要是黄芪和苜蓿）作为圈养动物的草料，以减少在坡地上进行过度放牧。现在，建立可持续生产系统使农民也可以获益，从而使他们也有动力来维护自己的投资。初期的高额公共投资已取得了此效果。

来源：World Bank, 2003, 2007d。

累。江河流域开发的强度与日俱增，水土资源的相互依存程度和竞争越来越激烈，因此需要建立更多适应能力强的权威机构（Molle and Berkoff, 2006）。

水土资源领域的投资

水土资源管理方面的投资对实现农业生产力可持续增长至关重要。过去 5 年，虽然水土资源领域的总投资略有增加，但仍然低于实现进行集约化生产，同时最大限度地减少对生态环境造成负面影响所需要的水平。特别令人担心的是，在更为脆弱的雨养系统中，贫困和粮食不安全现象普遍存在，水土资源退化风险较高，而在这一领域的投资水平却较低。

农业领域的公共投资

1980 年–2002 年，全球农业领域的公共开支虽然在所有公共开支中所占的比例从 11% 下降到 7%，但实际投资额增加了一倍（表 2-1）。实际支出的增幅在亚洲特别明显，到 2002 年几乎增加了两倍，达到约 1 920 亿美元。在非洲撒哈拉以南地区，农业领域的公共投资水平依然很低。

私人资本和外国直接投资

近年来，私人资本和贸易流量更多地集中在工业国家，占全球外国直接投资（FDI）激增的一大部分，2000 年达到 1.1 万亿美元。在发展中国家，外国直接投资总流量主要集中在东亚、太平洋地区以及拉丁美洲和加勒比地区，在非洲撒哈拉以南地区的投资持续不足。但长期的趋势表明，非洲撒哈拉以南地区所占的比例较大（Winpenny, 2010）。

表 2-1：个别发展中国家农业领域的公共开支情况（1980–2002 年）

地区*	按 2000 年美元指数计算 (十亿)				农业 GDP 百分比				农业在所有政府开支中 所占比例 (%)		
	1980	1990	2000	2002	1980	1990	2000	2002	1980	1990	2002
非洲 (17)	7.3	7.9	9.9	12.6	7.4	5.4	5.7	6.7	6.4	5.2	4.5
亚洲 (11)	74	106.5	162.8	191.8	9.4	8.5	9.5	10.6	14.8	12.2	8.6
拉丁美洲和加勒比 地区 (16)	30.5	11.5	18.2	21.2	19.5	6.8	11.1	11.6	8.0	2.0	2.5
合计	111.8	125.9	190.9	225.6	10.8	8	9.3	10.3	11.3	7.9	6.7

* 每个地区考察的发展中国家的数量。

来源：Akroyd and Smith, 2007。

2万亿美元，农业占143亿美元），但这一领域的投资正在增长，1990年-2004年增长了两倍（表2-2）。这些外来资本一部分作为商业投资和主权投资进入水土资源领域，以生产粮食和生物燃料为目的。这种投资可能会给东道国的资源储备和粮食安全带来什么样的影响，已经引起人们的广泛关注（见插文2.8）。

未来的投资需求

根据对粮食需求的长期预测，联合国粮农组织预计，2007年-2050年，发展中国家的初级农业和相关产业的投资需求总额可能达到9.2万亿美元。初级生产投资总额的18%（9600亿美元）分配给水资源管理和灌溉，约3%（1.61亿美元）用于土地开发、水土保持和防洪（表2-3）。

大部分投资（58%）预计将在亚洲，反映了该地区农业基地广阔，整体产量较高，农业生产方式相对属于资本密集型（表2-4）。亚洲农业生产的增长率较为平缓。与亚洲形成鲜明对比的是非洲撒哈拉以南地区，由于这里一般采取劳动密集型和资本节约型生产方式（占总数的9%），所以该地区的整体投资需求水平预计相对较低。但增长率预计会很高，反映了该地区在人口数量和消费群翻番的推动下，正在逐渐转向资本密集型农业生产方式，人均生产水平正在稳步上升。

表2-2：各地区各行业外国直接投资存量引进情况（1990和2004年，百万美元）

地区	1990				2004			
	发达国家	发展中经济体	全世界	发达国家	发展中经济体	东南欧和独联体国家	全世界	
初级行业	139 563	23 715	163 278	268 171	151 632	20 725	440 529	
• 农业	3 193	4 063	7 256	7 739	14 339	483	22 561	
• 采矿、采石和石油	136 371	17 601	153 972	256 642	137 294	20 242	414 177	
• 其他初级行业	-	2 051	2 051	3 791	-	-	3 791	
制造业	586 379	144 372	730 750	2 406 127	613 559	20 448	3 040 135	
服务业	716 544	151 589	868 133	4 624 699	1 224 356	34 286	5 883 341	

来源：UNCTAD, 2006。

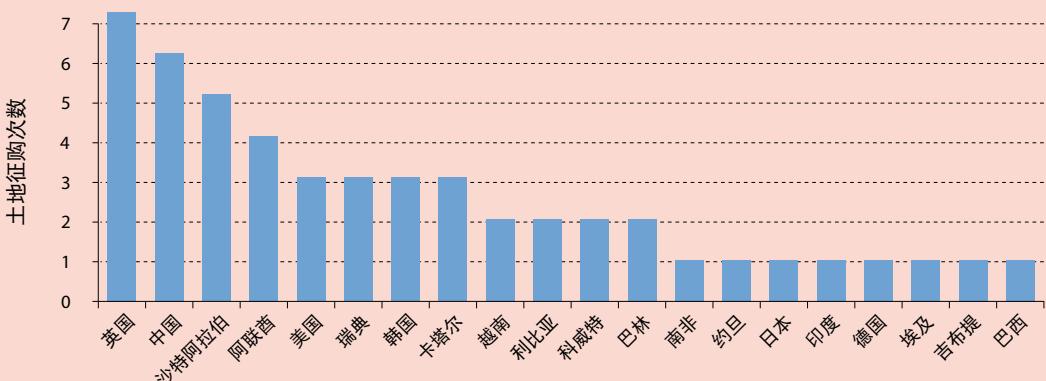
插文 2.8：发展中国家土地交易情况

在发展中国家，肥沃土地得到的投资显著增加。通常情况下，土地交易涉及的地块数量较多（超过1万公顷），并有50年~99年的租期。主要参与者为各国政府、农业投资基金和私营部门，包括投资银行、农业综合企业、商品贸易商和矿业公司（Smaller and Mann, 2009）。这些土地征购可分为4种（Bickel and Breuer, 2009）：

- 人口众多和持续增长的国家（中国、印度、日本、韩国）通过吸引投资来满足国内对农产品不断增长的需求。
- 粮食供需不平衡、水土资源有限但资本雄厚的国家（海湾国家、利比亚）。
- 工业化国家通过土地投资生产生物燃料。
- 发展中国家的国内土地投机活动（如旅游目的）。

土地征购次数

投资国



来源：IFPRI, 2009。

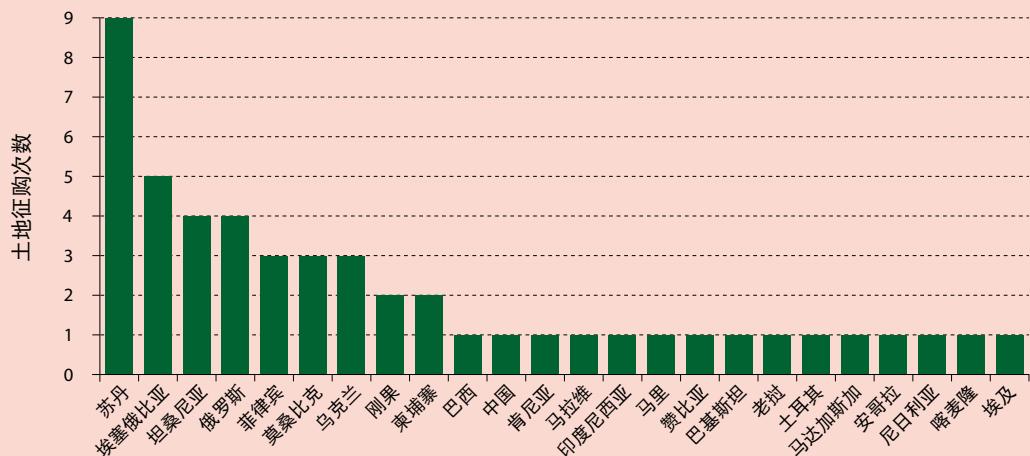
水土资源领域的国际协作

水土资源领域的国际协作可以追溯到20世纪40年代，当时，随着新兴国家对粮食安全的担心以及农村地区的发展需要，国际协作应运而生。从20世纪80年代开始，无节制地利用自然资源而对环境造成的负面影响，在地方、区域和全球层面越来越明显。评估产生这些影响的原因，引起国际社会对土壤侵蚀、灌溉土地盐碱

土地征购可以看做是一种双赢战略。投资国获得土地，粮食安全得到保障，同时获得较高的经济回报。东道国的农业部门获得资本注入，推动了经济发展。然而，这种方式不仅为投资国带来了风险（例如在东道国的政治风险），也为东道国的民众带来了风险，他们可能面临土地被征用、虐待劳工和自身粮食安全丧失等问题（Cotula et al., 2009）。

对于其他国际贸易和外国直接投资，有必要制定“游戏规则”，以确保外国投资对东道国以及永久或暂时失去土地的土地使用者都有利。这些规则可能包括确保谈判和贸易协定的透明度、保护投资者的利益、对土地使用者进行补偿、尊重现有的土地权利、重点进行对当地社区有利的投资，以及对潜在的积极或消极的环境影响进行评估（Von Braun and Meinzen-Dick, 2009; Cotula et al., 2009）。任何单方面的体制都不能保证对有关各方都有利，应该通过国际法、政府的政策、民间社会的参与以及媒体和当地社区的合作，确保土地交易遵循游戏规则。

东道国



化、水源性疾病的传播、水资源枯竭和污染等水土资源问题的关注。自 20 世纪 90 年代以来，由于生物多样性减少、气候变异和气候变化，导致出现进一步的水土资源问题，与早先人们对环境问题的担心联系起来。鉴于这些原因，粮食安全、环境和气候变化带来的挑战成为全球关注的焦点，而可持续的水土资源管理问题已经成为其中不可或缺的一部分。

表 2-3：2005 年 7 月至 2050 年投资需求预测
(按 2009 年的美元指数计算, 十亿美元)

	净额	折旧	总额
93 个发展中国家合计	3 636	5 538	9 174
初级生产投资总额	2 378	2 809	5 187
其中, 作物生产	864	2 641	3 505
土地开发、土壤保护和防洪	139	22	161
扩大和改进灌溉设施	158	803	960
确定永久性作物	84	411	495
机械化	356	956	1 312
其他能源和设备	33	449	482
流动资本	94	0	94
其中, 畜牧业生产	1 514	168	1 683
下游扶持性服务投资总额	1 257	2 729	3 986

来源: Schmidhuber et al., 2009。

表 2-4：2005 年 7 月至 2050 年农耕生产预期投资的地区分布情况

	净额	折旧	总额	所占百分比
	按 2009 年美元指数计算, 十亿美元			%
93 个发展中国家	3 636	5 538	3 505	100
非洲撒哈拉以南地区	478	462	319	9.1
拉丁美洲和加勒比地区	842	962	528	15.1
近东和北非	451	742	619	17.7
南亚	843	1 444	1 024	29.2
东亚	1 022	1 928	1 015	29.0

来源: Schmidhuber et al., 2009。

里程碑及取得的成就

20 世纪 80 年代, 联合国成为一个国际性论坛, 各国在这里商谈全球可持续发展的价值观和原则问题。里程碑式的会议包括里约首脑会议 (1992 年)、千年首脑会议 (2000 年)、约翰内斯堡可持续发展首脑会议 (2002 年)。这些会议帮助形成了全球发展议程, 并汇总成 2002 年的千年发展目标 (MDG)。《联合国防治荒漠化公约》(UNCCD, 见插文 2.9)、《生物多样性公约》(CBD) 和《联合国气候

变化框架公约》（UNFCCC）都与水土资源管理具有重要的联系。此外，在联合国的倡导下，还进行了全球研究和合作，如千年生态系统评估（MEA）、全球环境展望、政府间气候变化专门委员会（IPCC）等。

过去 30 年，在国际社会围绕可持续发展问题作出的卓越努力下，全球对发展途径和基准达成了共识。经济、社会和环境可持续发展原则已经得到广泛采纳。从历届会议以及之后采取的行动可以得出这样一个结论，水土资源管理议程中的重要议题还需要制定更明确的原则，特别是对于森林的可持续管理、水资源综合管理和防治荒漠化等问题。

插文 2.9：荒漠化：干旱区水土资源的挑战与《联合国防治荒漠化公约》的对策

世界上的干旱地区包括沙漠、草原、大平原和林地，气候跨度从最炎热的沙漠一直到最寒冷的北极地区。大部分干旱地区的生态系统脆弱，水资源匮乏，生产力低下。由于管理做法不当和人口过度增长，干旱地区的资源受到日益严重的威胁。防治荒漠化的斗争也是对抗农村贫困和粮食不安全的斗争，它们紧密联系在一起。

《联合国防治荒漠化公约》（UNCCD）是国际社会对抗干旱地区荒漠化问题取得的主要进展。这项公约于 1994 年通过，1996 年开始生效，目前已有 194 个成员国。《联合国防治荒漠化公约》从物理、生物和社会经济各方面分析了荒漠化的成因、重新确定技术转让方向的重要性（以需求为导向），以及当地社区在防治荒漠化和土地退化过程中的参与情况。《联合国防治荒漠化公约》的核心是由各国政府与发展伙伴合作制定行动方案。2008 年制定了战略行动计划和框架，以促进可持续土地管理（SLM）做法和扶持政策的主流化和推广，并与粮食安全、气候变化和生物多样性议程产生协同效应。这些计划旨在通过权力下放，在相关机构之间建立合作，加强农民和牧民的组织建设。它们倡导制定安全的土地使用权制度，发掘新的市场机会（包括绿色产品），以及实行参与式土地利用规划、研究和推广计划。

防治荒漠化的切实行动包括推广一些可持续性集约化做法，如保护性农业和免耕技术、作物轮作和间作、病虫害综合管理、农林间作和再造林计划、通过有计划的放牧改善牧场等。另外，还通过在水域和乡村层面落实集水和小规模灌溉投资，改善了水资源管理。

通过国际协作，各国也实现了知识共享，制定了能够在区域、国家和地方层面实施的发展原则和措施。国际协作使各国能够在行动上达成一致，使每个国家和个人都能为这个“全球大家庭”的可持续管理作出自己的贡献。国际协作也为各国创造了获得财政和技术资源的机会，环境服务付费（PES）、清洁发展机制（CDM）和碳交易等创新的融资机制已经开始测试改善激励措施的方法。

然而，无论是在国际层面还是国家层面，可持续发展议程都没有取得完全令人满意的结果。在国际层面，提高援助水平及其效力的进展比预期要慢，而全球经济危机预计会使这一进程进一步放缓。此外，议程中的一些重要议题一直没有达成一致，包括世界贸易组织（WTO）多哈回合谈判陷入僵局，特别是关于农产品贸易的关键问题。而且，捐助议程的分歧使得更难以确定重点发展要求的优先顺序。

在土地问题上，有些国家最近在没有进行国际协商的情况下制定并实施了生物燃料政策；有些国家缔结了国际土地租赁和购买合约，不仅没有进行更广泛的协商，也没有考虑会对当地和全球社会带来什么样的后果。在水资源问题上，涉及跨界资源时，有些国家并没有遵照《联合国国际水道公约》，往往优先考虑自己的内部议程，而不是那些需要合作和惠益分享的议程。已经进行的主要蓄水和引水投资没有考虑优化流域层面利益的可能性，也没有考虑单边发展会对其他沿岸国带来什么样的负面影响。

整体而言，国际层面上一致认可的原则和方案对改进各国采取的政策和措施作出了重要贡献，但对改变各国的实际行为产生的影响力一直很有限。只有极少数地方成功解决了面临的挑战，不仅实现了水土资源的集约化开发利用，同时又控制了对资源储备和更广泛的环境造成的负面影响。发展中国家的主要粮食生产系统不堪一击，这一状况仍然非常突出；而对于热带地区和山区的雨养系统，扶贫和生态可持续集约化发展一直没有取得多大进展。尽管制定了可持续地下水水资源管理协议，但过度开采问题仍然与日俱增。自 1992 年在都柏林召开国际水与环境会议后，大会上一致认可的、翔实的、深思熟虑的水资源综合管理框架已被广泛纳入各国的政策和体制中，但实际取得的效果一直很有限。

有没有一个大家认可的可持续水土资源管理框架？

尽管对重要的构成原则达成了一致，但除了本报告中讨论的原则和做法外，对于在可持续生态系统背景下进行水土资源综合管理，尚未达成全面一致的原则。因此，无法制定出一个大家一致认可的国际综合框架，以围绕此框架制定可持续水土资源管理的重大举措。然而，面对水土资源退化和风险不断提高的严峻形势，有几个特别受到全球环境机构（GEF）和《联合国防治荒漠化公约》（UNCCD）支持的方案，已经绘制出愿景和战略蓝图，最近的概念和实证工作也明确了生态系统服务的定义，并将农业生产和水土资源管理纳入生态系统框架。我们应该藉此机会，制定出一系列大家认可的水土资源管理原则。

政府开发援助的趋势

在发展中国家，与水土资源¹有关的 9 大部门的总捐款援助显示出上升的总体趋势，从 1995 年的 570 亿美元增加到 2008 年的 1 580 亿美元（按 2008 年美元指数计算）。然而，20 世纪 90 年代，农业领域的具体水土资源部门（即部门 3 — 农业用地资源，部门 4 — 农业用水资源）获得的全面支持出现下降并一直处于停滞状态，直到 2005 年才开始明显有一些复苏，这在很大程度要归功于作出了环保政策和研究（部门 8）的承诺。在农村、水和环境投资方面的全部政府开发援助（ODA）中，水土资源所占的比例也一直在下降（图 2-3）。近年来，大部分水土资源领域的政府开发援助（54%）流向亚洲，大约 1/4（21%）流向非洲撒哈拉以南地区（图 2-4）（OECD, 2010b）。

承诺与实际投资之间的差距

在联合国粮农组织世界粮食安全高层会议（罗马，2008）制定的承诺框架内，在日本（2008 年）和意大利（2009 年）举行的八国集团首脑会议上，各国作出承诺，每年为发展中国家的农业领域投资 300 亿美元（占经济合作与发展组织国家向本国农民支付的补贴的 8%）。八国集团拉奎拉首脑会议承诺，将在 3 年内投资 200 亿美元专门用于粮食生产，以摆脱紧急粮食救济的状况，实现可靠、可持续的国内生产。

这些承诺在区域层面上受到非洲撒哈拉以南地区各级政府的效仿。在 2003 年马普托会议上，非洲联盟政府承诺拨出至少 10% 的国家预算支持农业和农村发展。然

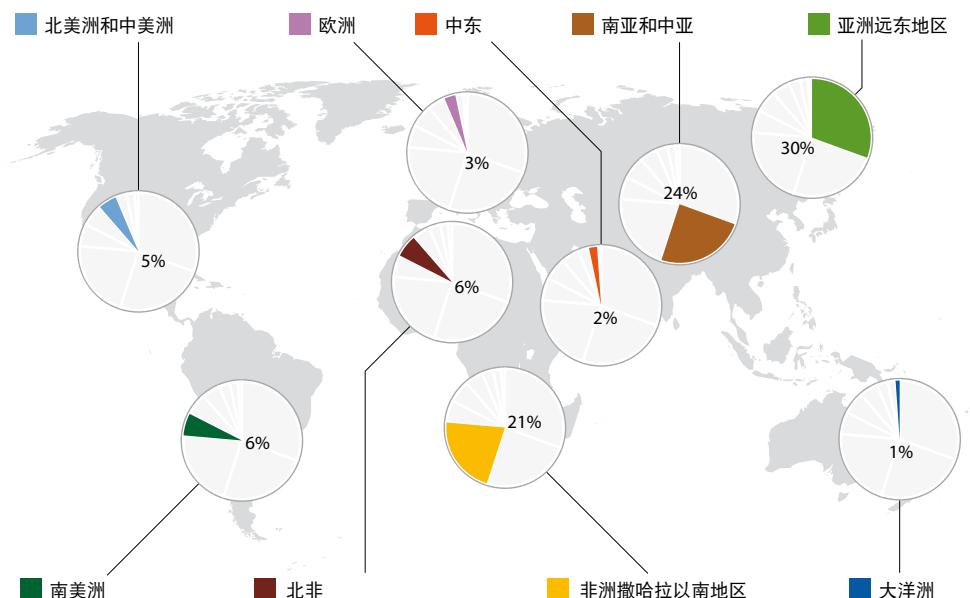
¹ OECD 定义的主要“土地和水”部门：①水资源保护；②河流开发；③农业用地资源；④农业用水资源；⑤林业发展；⑥环境政策和行政管理；⑦防洪/控制；⑧环境研究；⑨农村发展。

图 2-3：关于农村、水资源和环境投资的政府开发援助中水土资源所占比例情况



来源：CRS Database of OECD, accessed June 2010; OECD, 2010b。

图 2-4：各地区水土资源援助的分布情况（1995—2008 年）



来源：ODA 资料; CRS Database of OECD, accessed June 2010; OECD, 2010b。

而，实际的划拨情况和投资远没有达到这些目标。因此，各国政府、国家机关和发展工作从业者面临着两难局面：已经制定的发展目标需要利用逐渐减少的人均自然资源占有量增加生产，而需要的投资却迟迟不能到位。

结论

保持紧密联系的水土资源系统的完整性，以满足日益复杂化的竞争需求，已经成为全球公认的当务之急。20世纪中叶以来，综合性的江河流域开发被认为是协调这些需求的理想工具。但这种做法已经远远跟不上经济发展的步伐和之后在各江河流域出现的城市、工业和农业土地利用的扩张速度。21世纪的前10年，回归一体化应该变得更加理智。先进的水文循环知识、经过改进的农业做法，以及减轻化学污染物影响和废水管的新工具，为减少对环境造成的影响提供了一系列知识丰富的解决方案。结合以利益相关者为中心的资源管理体制办法，对全球粮食供应赖以为继的水土资源系统产生积极影响的范围进一步扩大。在此背景下，森林和湿地的保护将变得尤为重要，因为它们在水文循环中扮演着天然调节器的重要角色。为了拯救濒危系统，水土资源管理机构在与利益相关者交涉以及部署解决方案时，需要采取更加足智多谋的方式。



图片：取自联合国粮农组织媒体资源库

第三章 濒危的水土资源系统

前几章重点描述了全球农业系统当前和未来所面临的威胁。显而易见，过去 50 年所采取的现有农业发展做法和模式在减少贫困、保证食品安全和环境可持续性方面远不能令人满意。有 9.75 亿人口并未享受到应有的粮食安全，他们大多生活在农村地区。在农业压力下，水土资源恶化、侵蚀加速、盐化和海水入侵加快，地下水也面临枯竭。此外，现有的集约化农业模式已经导致碳和温室气体的排放量居高不下，与此同时，众多农业系统在应对气候变化所带来的可预测性影响方面脆弱不堪。

面对这样的状况，各地区在应对生物物理和社会经济因素方面所采取的措施却千差万别。这些因素包括：气候、土壤、水、人口和经济发展，以及国家政策和全球变化。因为本研究是在全球范围内展开的，所以有必要介绍和分析世界主要农业生产系统及其面临的具体挑战。本章讨论的主要问题包括：水土资源争夺加剧、水土资源恶化以及气候变化所带来的可预测性影响等。在全球不同的农业领域水土资源使用系统中，这些问题带来的影响及其严重程度也不尽相同，本章最后将对主要濒危系统进行讨论。

第一章中的地图 1-3 展示了主要农业生产系统的全球概况。由于水土资源受限、当前水土资源使用和管理做法以及制度和社会经济因素的影响，雨养区和灌溉区正在面临退化的风险。

水土资源争夺加剧

随着水土资源压力的持续增加，出现的一个问题是，某些人口增长最快的国家恰恰就是水土资源最匮乏的国家。在某些地区，用于农作物生产的水土资源原本已经受到限制，以后将会面临日益加剧的竞争，尤其是在发展迅速的城市居住区。对生态系统服务保护范围的扩大以及对此的愈加重视，将会进一步限制水土资源的使用，农业内部对水土资源的竞争也由此加剧。

灌溉用水导致水资源压力增大的情况

从全球来看，用于灌溉的汲水量预计增长了 6%~7%，在发展中国家增长了 8%~9%，但是，这一数据之所以看起来并不十分令人担忧，是因为忽略了一个事实：很大一部分灌溉用水出现在水资源匮乏的地区。不同地区和国家的水资源可用量差别很大，一些国家已经在承受水资源短缺的压力。

在工业化和经济转型国家，灌溉用水量预计会趋于稳定甚至降低。总体来看，高收入国家的灌溉用水量预计可以降低 17%；相反，在低收入、食物匮乏的国家，灌溉用水量预计会增加 10%。从绝对数值上看，用水量增长最多的地区预计是东南亚（该地区灌溉用水已变得尤为重要：年增长 55 千米³，占现有汲水量的 19%）和南美洲（年增长 59 千米³，占现有汲水量的 53%）。相对来说，灌溉用水预计也在增长的是非洲撒哈拉以南地区（增长 21%），尽管这一地区目前需要灌溉的土地面积较小，但用水量的增长绝对值仍保持在中等水平（年增长 22 千米³）。在这三大地区，灌溉用水量的比例依旧很低（不足 5%），可利用的水资源基本上不会成为制约因素。

最令人担忧的地区是近东和非洲北部地区，两地的用水量已经接近甚至是超过了其可再生水资源总量，并且降雨量偏低。在非洲北部，水资源压力主要来源于灌溉用水量居高不下，导致必须大量使用循环水和地下水资源超量开采的窘境。

由于全球平均数字掩盖了区域差异，国家层面的变化便被隐藏了起来。至少有 3 个国家（利比亚、沙特阿拉伯和也门）2005 年-2007 年的灌溉用水导致的蒸发率远高于其水资源年再生速率（FAO, 2010c）。以中国为例，地域压力在中国北部地

区尤为明显，并且愈演愈烈。像阿拉伯半岛这样主要依赖不可再生地下水的地区，面临着一个严峻的挑战：水资源总量呈现出潜在的枯竭趋势（Nachtergael et al., 2010b）。

城市化

农作物生产被迫与其他产业不断增长的水土资源需求展开竞争。城市化进程仍将继续，城市区域、基础设施建设和其他非农业项目对土地需求的扩张预计至少会与人口的增长速度保持同步。持续发展的城市、工业和旅游业在水资源供应方面拥有优先权，这势必会降低水资源对当地农业的投入，从而导致耕地的进一步流失，尤其是在干旱地区。也门的萨那盆地和摩洛哥的乌姆赖比阿河（Oum er Rbia）流域已经出现这一现象，在这两个地区，水资源正在被调用于市政和工业，灌溉面积正在逐渐缩小。

城市发展引起的土地竞争在发展中国家表现得最为激烈，其中 90% 以上的额外土地需求来自城市和建筑用地。与此同时，快速的城市化进程将会催生高价值农业市场，集约化的城郊商品蔬菜种植业也势必会成为一大增长点。城郊农业对废水的安全再利用将会起到有利的协同作用。经过处理的废水富含营养和有机成分，能够提供全年的廉价水供应，同时废水再利用减轻了下游水资源的污染负荷。但是，这需要制定明确的安全再利用指导方针和有效的监管框架（Mateo-Sagasta and Burke, 2010; Fischer et al., 2010）。

日益重视环保要求

水土资源从被其他行业占用到为耕地所用，这种转变对生态系统服务具有重要的影响。为了确保自身的可持续性，生态系统要具备支持相关功能或服务的能力，如若管理不善，这一能力可能就会有所减损（Molden, 2007）。随着人们对生态系统各部分间的相互依赖性愈加重视，农业在降低危害生态系统的消极因素（例如，减少侵蚀或使碳储量最大化）方面面临的压力将会进一步增加。在一定限度内，水土资源的计划性使用将会提高耕地使用的受限程度。耕地已经部分甚至是完全控制在 15 亿公顷（占全球土地面积的 11%），这些面积的耕地已经明确规定为保护性区域（Fischer et al., 2010）。

畜牧业生产

畜牧业生产模式的改变以及对草料的需求导致对水资源的竞争加剧。人们的膳食习惯对动物蛋白的偏爱导致了全球消费模式的改变（FAO, 2006b,c），这致使草料需

求增长迅猛。食草动物的蛋白质转化会产生损失——要生产出人类所需的等量卡路里，动物需要消耗 5 倍的草料 (Fischer *et al.*, 2010)。用于牲畜放牧的土地扩张已经导致了多国森林被乱砍滥伐。集约化的畜牧业生产也是造成污染的一大原因。畜牧业为全球 GDP 贡献了不足 2% 的产值，但据估计却制造出了大约 18% 的温室气体 (FAO, 2006b)。

从现在一直到 2030 年（及之后），对畜牧业产品的消耗量将会继续增长，但是速率会有所改变。在高收入国家，由于对畜牧产品（肉和乳制品）的需求量已经达到高峰（平均每人每年消耗大约 305 千克），因此随着人口增速减慢，消耗畜牧产品的增长幅度将会受到限制。相比而言，中低收入国家每人每年消耗 60 千克，世界人口平均每人每年消耗 115 千克。到 2050 年，这组数据预计分别将会达到每人每年 330 千克、110 千克和 150 千克。同时，对动物脂肪引发的健康和食品安全问题的关注以及新疾病的出现也可能会降低对肉类的需求 (FAO, 2006c)。

内陆渔业和水产养殖业

由于农作物和渔业在用水方面存在空间和时间上的差异，灌溉用水和渔业用水之间的纠纷通常难以解决。农作物生产扩张和集约化导致的湿地水流失、灌溉系统和防洪工作的扩大以及肥料和农药的加大使用都对渔业造成了负面影响。因此，任何水利开发项目都应当考虑到鱼类和渔场对水的数量和质量的需求。大多数发达国家和部分发展中国家已经对环境流量和水质标准作出了严格的规定，在和其他产业争夺水资源时，这一点将有利于保护鱼类和渔业。伴随着对发展的合理规划和全局分析，一些问题得到缓和，农业和渔场不再是针锋相对的产业。亚洲地区的稻田渔场就是个很好的实例，足以证明这两种模式可以共存。比如，众多示例显示，鱼类的存在降低了对农药的使用需求，对水稻作物有着积极的影响。

大规模征购耕地

近些年，商业化农业中出现了两种新的投资领域。一种是主要依赖粮食进口的国家通过在发展中国家投资农业生产，来确保本国的粮食供应；另一种是投资液态生物燃料的原料生产（见下文）。如下几种因素构成了农业投资的内部支撑：商品价格、土地价值、投资国和受援国间的政策调整，以及对粮食和能源安全的重视程度。2007 年全球粮食价格飞涨所带来的震撼以及能源价格持续走高吸引了众多目光。

主要的投资国集中在欧洲和非洲、海湾地区以及东南亚。国内投资者的土地征购也不可小觑。非洲撒哈拉以南地区、东南亚和拉丁美洲都是主要的目标区域（Cotula, 2010）。

上述现象的规模相当可观。投资商对产值较高的土地颇为关注，因其具有较高的生产力、较优的灌溉潜力、更好的基础设施、更加接近市场，这导致和现有农业用地之间的竞争变得更加激烈。这些土地往往是当地人为了小面积种植而精心开垦的，如果没有合理的协商和保护措施就将这些土地用于商业耕作，将会对当地的农民生计和粮食安全带来风险（Cotula, 2010）。

国际复兴开发银行（IBRD, 2011年）对这一问题进行了研究，不同国家适于农田扩张和缩小产量差距的土地，以及不同发展途径是否适合应对相关风险和机遇都取决于当地的具体情况。在管理薄弱的国家，投资者的重大兴趣点（很明显，这些和当地权利有关）被视作是造成几大风险（例如补贴不足、落实延迟、就业机会少等）的一个主要因素。但投资打破了现有束缚，农业生产得到发展（例如获得技术、资金和基础设施），因此机遇也同样存在。除此之外，这要求国家通过战略手段有力地吸引投资者，改善土地管理和决策，增强体制能力。

液态生物燃料原料生产

目前，生物能源大约占据了全球能源用量的 10%，主要用于发展中国家的传统烹饪和取暖。发展中国家大约 25 亿人依赖于传统的生物质作为他们主要的烹饪燃料。但在这些传统生物能源产品中，液态生物燃料（生物酒精和生物柴油）的生产量持续上升，这将会对水土资源使用造成最大影响。生物能源和粮食生产已经就水土资源的使用展开了竞争。由于粮食作物、乙醇和生物柴油原料生产对土地适用性的要求基本相当，因此这种竞争很可能会加剧。近来国际粮食价格的上涨部分归因于液态生物燃料的出现。

到 2030 年，液态生物燃料用量预计将占据交通运输能源用量的 5%，碳减排的压力也会促使这一比例上升。为了保证供应量，2007 年-2030 年，用于液态生物能源原料生产的土地使用量将至少翻一番，占耕地面积的 3%~4.5%。目前所有国家级液态生物燃料政策和计划在全球的推行可能已经占用了 3 千万公顷的农田（占当前耕地面积的 2%），从而导致当前的粮食农作物生产用地被取代，森林和草地进一步被改造（Fischer *et al.*, 2010）。

液态生物能源生产也会对水资源造成压力—生产 1 升液态生物燃料的用水量几乎相当于为 1 个人生产 1 天粮食的用水量。目前，全球用于液态生物燃料生产的灌溉用水量预计达到了世界总灌溉用水量的 1%~2%。如果当前所有国家级液态生物燃料计划在全球推行，液态生物燃料生产的用水量将会占到全球灌溉用水量的 5%~10% (Hoogeveen *et al.*, 2009)。

但是，生物能源与粮食之间的资源竞争、粮食安全受到的影响以及生产的环境可持续性等难题备受关注，上述雄心勃勃的扩张计划因此将会有所收敛 (Tilman *et al.*, 2009)。此外，温室气体净减排量的程度存在众多问题，尤其是在森林或草地被改造用于生产液态生物燃料的地区。

以上考虑促使很多国家重新评估他们近期的生产目标（见插文 3.1），以及第二代液态生物燃料的潜能（主要从生物质废料中提取，不会对粮食作物直接构成竞争）。

插文 3.1：液态生物燃料的供需趋势

2007 年，全球液态生物燃料日供应量达到了 70 万桶，比 2006 年增长了 37%，相当于交通运输燃料用量的 1.5%。各种趋势显示，全球日需求量到 2015 年将迅速增长到 160 万桶，2030 年将达到 270 万桶，占世界交通运输能源需求的 5%。为确保全球温室气体的浓度控制在 450 微升/升的二氧化碳当量，全球达成了一致承诺，这将进一步促使全球液态生物燃料的需求到 2030 年翻倍，同时交通运输领域为了实现 3% 的二氧化碳减排量，对液体生物燃料的使用量也会上升。

但是生物能源和粮食之间对稀缺的水土资源的竞争、粮食安全受到的影响、温室气体实际减排量以及生产的环境可持续性所引发的关注，已经促使众多国家对近期液态生物燃料生产目标进行了重新评估，尤其是对于“第一代”液态生物燃料（主要从玉米和甘蔗等专门的能源作物中获得）。第二代液态生物燃料（大多从生物质废料中提取）的引入可以减少给农田和粮食安全带来的潜在不利影响。到 2030 年，1/4 的液态生物燃料的生产可能都来源于此。

来源：Tubiello and van der Velde, 2010。; IEA, 2009。

水土资源退化：影响与成因

在农业生产增长取得显著成绩的同时，也给当地和下游的水土资源带来了消极的副作用或外部效应。这种退化一方面是由于采用不适宜的生产作业系统引起的；另一方面，则是由于为了提高农业产量而刻意选择以牺牲生态系统服务为代价。

水土资源利用和生态系统：土地退化的定义

最近的研究（Nachtergaele *et al.*, 2011）对“土地退化”的定义进行了拓展，不仅仅指水土流失或土壤丧失生产能力，而是将其扩大到生态系统平衡的恶化和生态系统丧失提供服务的能力。因此，应当综合考虑土地退化，把所有生态系统的产物和服务—生物物理和社会经济因素都纳入考量范围。

以农田耕种、森林管理或放牧为主导活动的生态系统目前常常受到人为因素的不利影响，最重要的是土地使用和土地用途的变化（见插文 3.2）影响了土地的生物物理特性（例如：污染、盐化、养分耗竭）。当管理模式与当地的生态情况不相匹配的时候，就会出现土地退化。甚至是一些看起来很自然的原因也完全或者部分是由人类活动间接造成的（灌木砍伐、森林火灾、洪水、山体滑坡以及干旱）。

《干旱区土地退化评估》（LADA）：联合国粮农组织（FAO）评估土地退化的框架

近日，FAO 紧密结合《世界水土保持技术与方法纵览》（WOCAT），出台了一个全新的、可衡量的、综合性的土地退化评估框架，是《干旱区土地退化评估》（LADA, 2010a）的组成部分。这个项目最初是根据《联合国防治荒漠化公约》（UNCCD）的要求，为了支持该公约而设立的。它以《千年生态系统评估》（MEA, 2005）中提出的生态系统服务概念为基础，反映了在评估土地退化的出现、严重性、诱因和影响，以及优秀管理模式的范围和有效性等方面的方法论转变。这种评估方法和早期的方法不同，譬如《全球土壤退化评价》（GLASOD; Oldeman *et al.*, 1990）主要关注了土壤情况（见插文 3.3）。因此，“土地退化”是个更加广泛的概念，不仅仅是指土壤退化和水污染，也涉及与生态系统密切相关的各个组成部分以及各部分之间的取舍：例如，集约化耕作下生物多样性的丧失和经济服务的发展不相符。

插文 3.2：拉丁美洲和加勒比地区的天然林破坏情况



玻利维亚的圣克鲁斯山地区的原木在传统“刀耕火种”模式下难以开拓出新领域

从 1990 年–2010 年，拉丁美洲和加勒比地区的森林净面积锐减了大约 8 700 万公顷，减少比率约为 9%（FAO, 2011c）。特别是亚马孙地区，拥有全世界最大面积的热带雨林和独一无二的多样性生物群，却也是世界上毁林最严重的地区之一。商业农民开垦了大量林区，在巴西、玻利维亚和巴拉圭用于种植供出口的黄豆，在巴西用于种植咖啡，在中美、哥伦比亚、厄瓜多尔以及加勒比地区用于种植香蕉。拥有小面积土地的农民在森林周边采用“刀耕火种”方式推广他们的农业，同样也造成了森林的退化。

来源：CDE, 2010。配图：Wocat

《联合国粮农组织干旱区土地退化评估框架》（FAO-LADA）最近已经在部分国家（阿根廷、中国、古巴、塞内加尔、南非和突尼斯）的干旱区土地退化评估项目中进行了国家层面的推广，对这些地区的生物物理退化、土地管理模式和生态系统影响等几种类型的总面积作了评估。国家及地方层面的干旱区土地退化评估结果已被用来支持自然资源管理政策的制定和介入，同时也写入了各国给《联合防治荒漠化公约》（UNCCD）的报告中（见插文 3.4）。

FAO 开发了一套可操作的方法学，将 FAO-LADA 框架用于对全球数据（GLADIS：全球土地退化信息系统）进行综合分析，目前正处于收尾阶段（LADA, 2010a）。全球土地退化信息系统采用了一套涵盖生态系统服务的社会、经济和环境三方面的指标，对本地区土地退化的现状、趋势和影响做了评测。在全球土地退化信息系统

插文 3.3：联合国粮农组织干旱区土地退化评估框架的主要特点

- 利益相关者的主要作用是评测多种生态系统效益的现状和趋势，包括的三大方面—社会、经济和环境—被广泛称为“可持续性”的三大要素。
- 利益相关者团体直接或者间接地对生态系统的“管理”负责，按照这个阶层认为可接受的一个甚至多个利益的价值，（在大约 10 年甚至更长的时期内）对生态系统施加一个使其持续趋于恶化的压力，退化必然会出现。基本依据是，利益相关者会对多种利益持续作出取舍，在 3 个“可持续性”的标准下，以“管理”生态系统，使其朝着可接受的层面发展。
- 如果使用当前可行的技术手段对退化土地进行改造，利益相关者从经济和/或社会角度对其花费进行评价，必定认为这是不可接受的，从而导致土地退化永无止境。
- “土地退化情况”（等同于某一时间点生态系统效益的情况）和土地退化的“趋势”只能按照一个基准年进行评测。“情况”和“趋势”是衡量采取补救措施的迫切性的重要考量因素。如果生态系统服务中的下等“情况”伴随迅速恶化的“趋势”，这必然导致严峻的情况出现。呈现中下等“情况”和恶化“趋势”的地区应当加强预防性措施，以获得更高的成本效益。
- 用于衡量各方面退化情况的数据收集方法随着时间而有所改变。FAO-LADA 框架可以作为特殊的方法在不同的范围内独立使用。可以使用测量变量，也可以使用相关指标。
- 在不同的范围内对土地退化的诱因和影响进行评估，便于综合理解各种土地使用者的行为和策略，有助于对不同层面的决策作出一致行动。

中，多种生态系统效益的情况以雷达图的形式体现，可以对现状和趋势进行迅速评测，主要涉及和水土资源相关的生态系统服务的六大方面：生物量、土壤、水、生物多样性、经济和社会（图 3-1）。

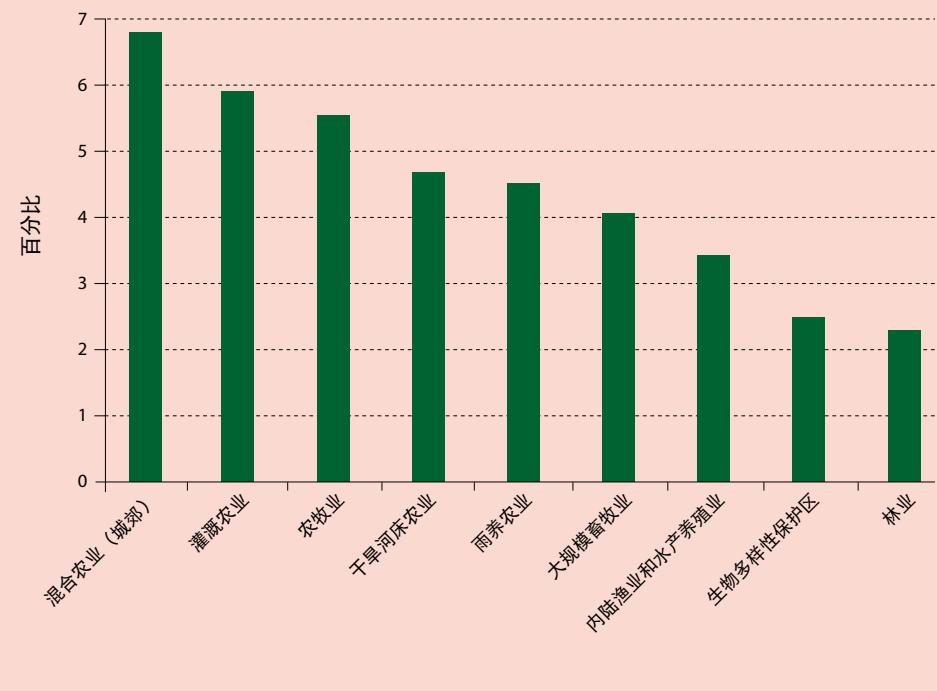
全球土地退化信息系统（GLADIS）评估显示，土地的使用和管理是导致退化的最主要的成因。例如，森林变成农田致使部分生态系统服务丧失，土壤耕种而产生的耕地也更加容易发生退化。森林在制造生物质、保持土壤健康和生物多样性方面的能力更高，但是当森林被改造成耕地后，许多生态服务就会丧失，随后出现的耕地也更容易退化。

各种趋势是评估生态系统服务的一个重要元素。GLADIS 对 1990–2005 年的生态服务变化情况作了评估，旨在对情况的改善或进一步恶化进行监督。各洲的大部分地区都面临土地退化问题，特别是沿美国西海岸、横穿南欧和北非、萨赫勒地区

插文 3.4：塞内加尔国内土地退化状况评估

根据 LADA 的国家评估方法，在所有主要土地使用系统内，对生物物理退化特定类型的空间范围、程度和速度、成因以及对生态系统服务造成的影响作出专业评估。退化的类型包括土壤侵蚀（风蚀、水蚀）和土壤变质（化学的、物理的、涉水的以及生物的）。导致退化的原因有土壤管理、农作物管理、森林砍伐、满足家用导致的植被过量开采以及过度放牧（LADA, 2010b）。

退化程度（土地使用系统的面积百分比）



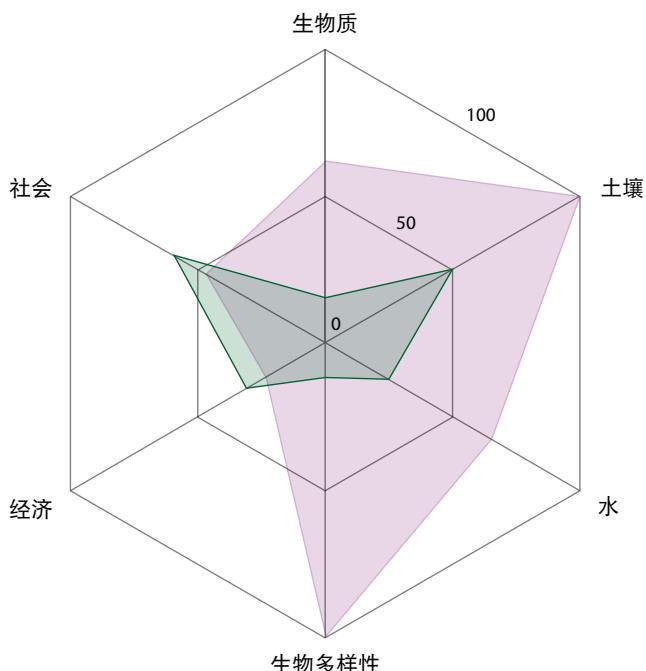
和非洲之角、遍及整个亚洲的这些地区极易发生退化。最严重的威胁来自于丧失土壤质量，并随之丧失生物多样性以及水资源枯竭（Molden, 2007）。

全球退化区域的范围—GLADIS 调查的初步结果

在 GLADIS 系统中（LADA, 2010a），将涉及环境、经济和社会三方面的全球数据导入模型，计算出反映当前生态系统效益的当前状况（即“基本”情况）和趋势（即，这些效益的长期和整体变化趋势，无论改善与否）。依据退化的状况和趋

图 3-1：土地用途发生重大变更后（林转牧）6 项相关生态服务的状态变化趋势示意

■ 森林 - 未开发区 ■ 植被稀疏区 - 中等偏上的牲畜密度



来源：本报告。

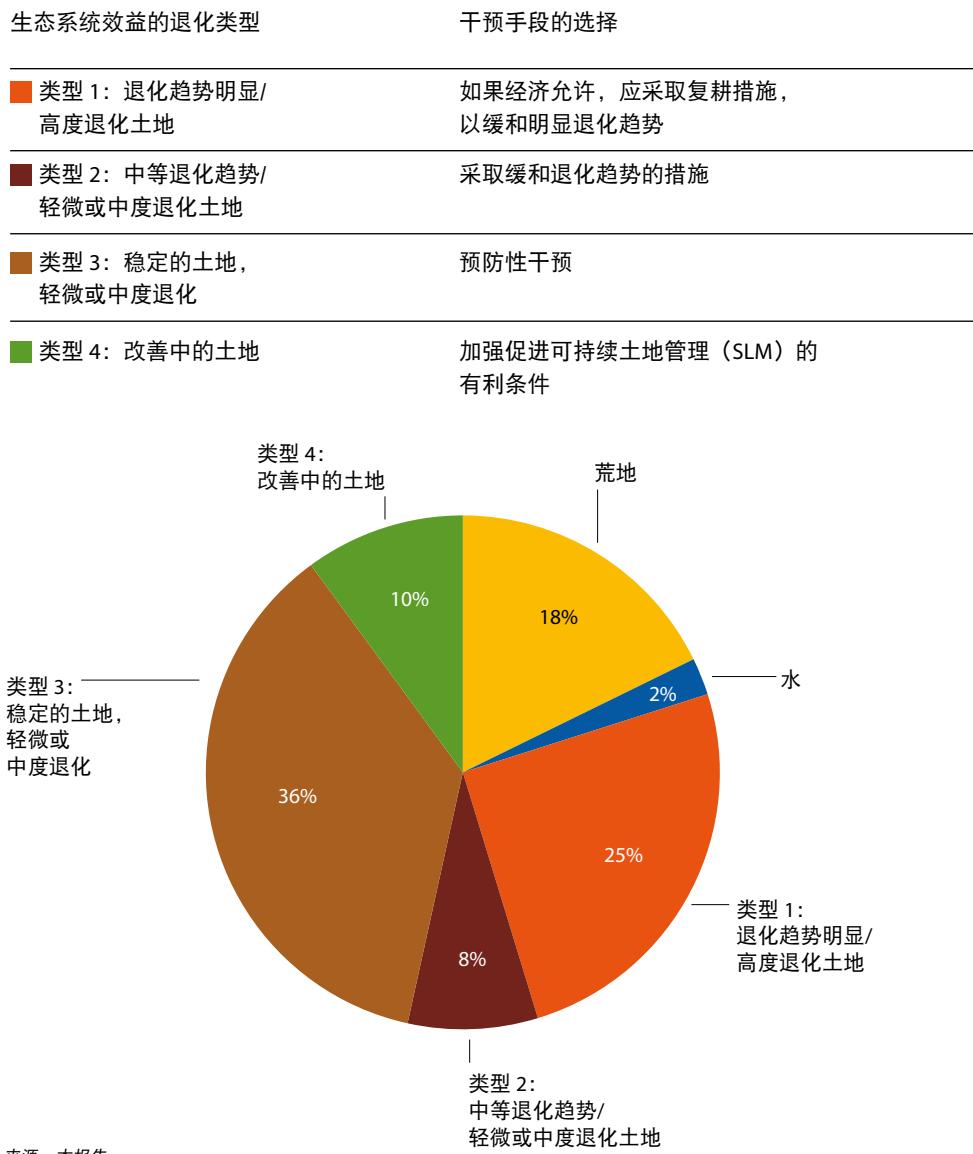
势，GLADIS 定义了 11 种重要的全球土地使用类型，并将退化划分为 4 种不同的类型（图 3-2）。这些类型有助于补救策略和干预手段的地理定位以及优先次序的设定。

依据土地使用的情况，不同退化类型的相对范围有所变化。“植被稀疏区—中等偏上的牲畜密度”的类型 1 拥有最高效益（这类土地使用占全球范围的 68%）。而在“改善中的土地”（类型 4）中，占最大比例的是“较少甚至无畜牧的农田种植”（占到 24%）。从全球来看，大约 25% 的土地属于危险的类型 1；46% 是处于稳定状态（没有明显的上升或下降趋势），略趋于中度恶化（类型 3）；只有 10% 是处于改善状态（图 3-2）。

农业对农田本身的消极影响

目前，全球土地资源中较好的高产耕地为 16 亿公顷。但是，耕作方式导致了水蚀、风蚀、养分开采、表土层板结、盐化和土壤污染等问题，使得这部分耕地出现

图 3-2：全球土地退化状况和趋势



来源：本报告。

了退化。因此，土地资源的生产力开始下滑。土地退化也导致了其他周边问题，例如水库淤积、分水岭系统的机能下降以及二氧化碳的排放。

以下几种情况都会导致土地生产力的退化。第一，土壤有机物的流失和物理性恶化，比如森林被彻底砍伐致使土壤结构迅速退化。第二，土壤养分耗竭和化学性退化的出现。就全球来看，农作物从土壤中吸收的养分量回归到土地的仅有半，众多亚洲国家的养分消耗量每年达到了 50 千克/公顷。非洲东部和非洲南部的部分国家每年

的氮消耗量估计在 47 千克/公顷，磷消耗量为 6 千克/公顷，钾消耗量为 37 千克/公顷。如果耕作系统不包含人工施肥和固氮，那么养分开采和相关侵蚀所带来的消耗量将更加巨大 (Sheldrick *et al.*, 2002)。

土壤退化的第三种情况是落后的土地管理引发的当地水土流失。众多研究证明，土壤养分和有机物的流失以及蓄水能力的下降都会对土壤生产能力的丧失造成影响。土质和覆盖保护层的缺失对生态系统服务造成的影响更加广泛，导致水文紊乱和上下土层生物差异减少，降低了土壤碳储量，也使得二氧化碳排放量上升。

发达国家和发展中国家中很多种植系统的土壤健康都在衰退。最严重的地区出现在喜马拉雅山脉、安第斯山脉、落基山脉以及阿尔卑斯山脉等高地雨养种植系统，以及低投入、低耕种的系统，例如非洲撒哈拉以南地区的草原雨养种植系统（见插文 3.5），萨赫勒地区、非洲之角和印度西部的农牧系统，以及集约系统（一旦管理不善，施肥和农药就会对土壤和水质造成污染）。

水利灌溉的发展对提高全球农业产量具有至关重要的作用，但是集约化灌溉耕作对土壤和水资源带来的消极副作用也是不容忽视的。耕作、盐化和水涝是主要问题。鲜有植物能够承受如此浓度的盐分，因为它会阻止对水分的摄入，从而导致产量迅速下降。当水利灌溉将土壤中已有的盐分释放出来，或者灌溉用水和矿物肥料增加了土壤含量盐时，盐化就可能出现。另一个相关问题是水涝。它将土壤中的空气排出，严重阻碍了植物生长。此外，水涝也经常会导致土壤盐化。据 FAO 估计，全球大约有 3 400 万公顷土地（11% 的灌溉区）受到一定程度的盐化影响（地图 3-1）。其中超过 60%（2 100 万公顷）的区域分布在巴基斯坦、中国、美国和印度。另外有 6 000 万~8 000 万公顷土地在某种程度上受到水涝和相关盐度的影响。

外围影响及外部效应

水土资源管理除了对当地造成影响外，也带来了大范围的外围影响和下游影响，包括河流水文和地下水补给率的改变、下游水体和地下水的污染、农田径流导致的下游泥沙淤积以及对水资源相关生态系统造成的影响。

插文 3.5：非洲撒哈拉以南地区小型农耕系统的养分耗竭情况



塞内加尔传统耕种、未经施肥的土地在植物种植上存在较大的空间变化性

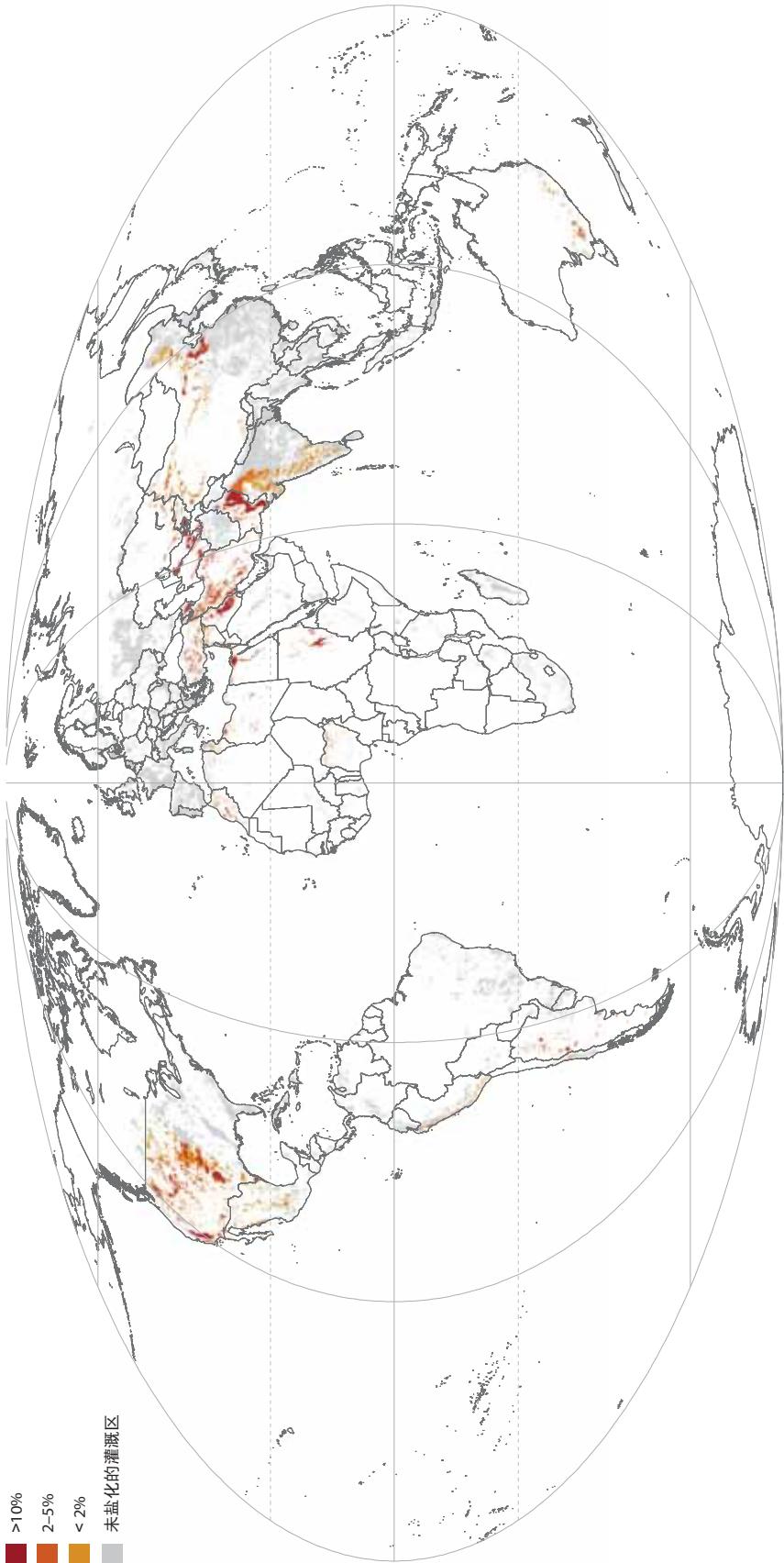
非洲撒哈拉以南地区只有 7% 的土地是耕地。农作物产量非常低。该地区的土壤肥度耗竭已经达到了一个非常严重的程度，尤其是小面积的土地使用。收获物从土壤中汲取的养分量相比于粪肥和矿物化肥对土壤的养分补给量至少要高出 4 倍，营养的不均衡导致了土壤退化。

来源：CDE, 2010；配图：USGS。

灌溉用水汲取对水文状况带来的影响

灌溉农业对与水有关的生态系统有着深远的影响。它改变了河流的水流流态，有时还会对下游水资源的可用性和下游水生生态系统造成显著的不利影响，明显降低了流入海洋的水量。很多河流被大量用于灌溉，不再拥有充足的流量以保持河流系统的“开放性”。在中国和印度的一些人口密集的盆地地区，河流不再向海洋供给水量，导致上游盐化加剧，沿海栖息地和经济活动消失。尽管这也会减少有益沉积层的转移（Molden, 2007），但是改善洪水管控和含水层补给仍会带来积极的影响（Charalambous and Garratt, 2009）。灌溉汲水也导致大量湖泊缩小：墨西哥的查帕拉湖 1979 年–2001 年失去了 80% 的水量；咸海在 20 世纪末几乎完全消失了，原因是用于棉花种植的灌溉汲水降低了水的流入量。

地图 3-1：灌溉导致的盐化土地的比例情况



来源：本报告。

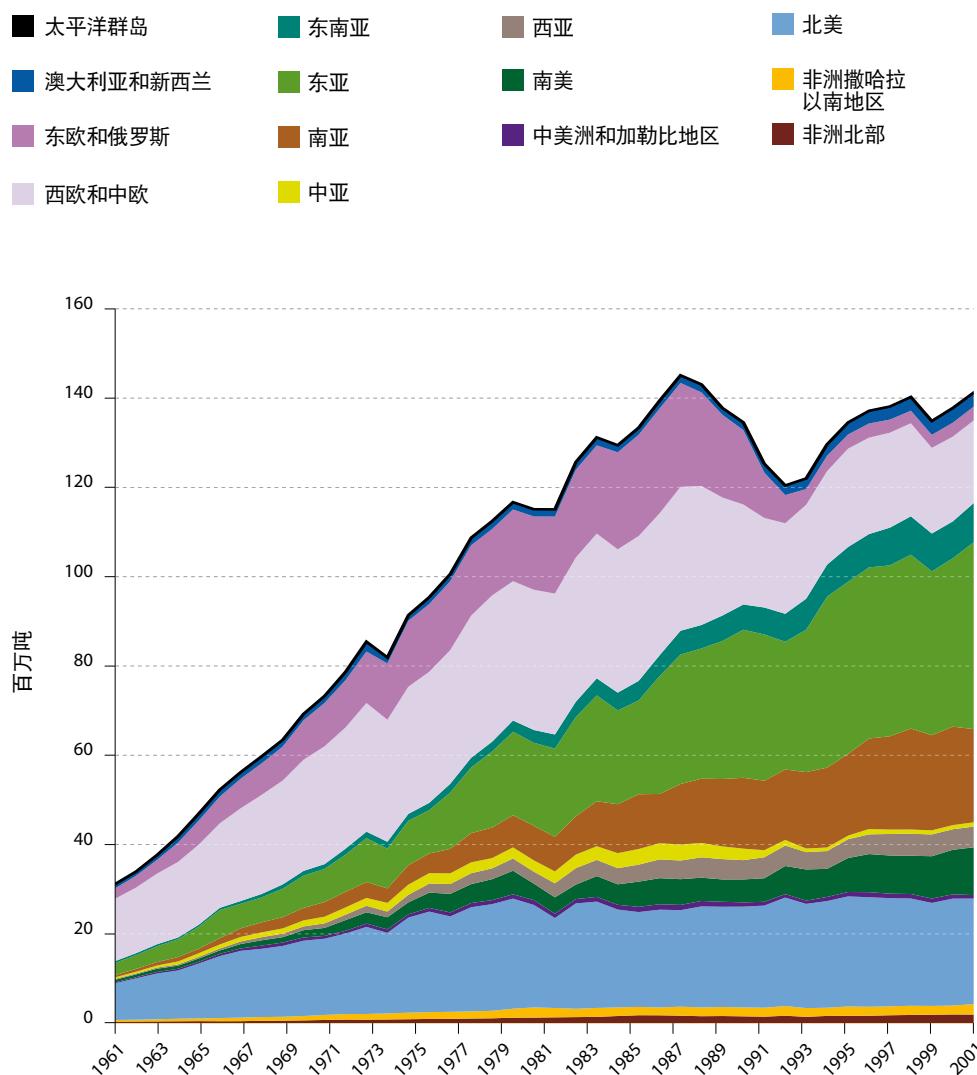
此外，湿地也已枯竭。在欧洲和北美洲，超过一半的湿地已经因农业生产而枯竭，从而导致生物多样性丧失、洪水泛滥风险增加以及下游富营养化（FAO, 2008c; Molden, 2007: 249）。

农业导致的水污染

农业带来的最严重的水污染问题是，表层和海岸沿线水源营养物堆积过剩、地下水硝酸盐累积、地下水和表层水体农药聚集。

由于农业集约化和城市污水大量注入，过度施肥（主要是硝酸盐和磷肥）导致的水污染已经加重。矿物肥料用量增加（图 3-3）和牲畜密度加大也是导致污染的主要原因之一。

图 3-3：矿物肥料（氮磷钾）的应用趋势



数据来源：FAO, 2010b。

要原因。通过雨水径流和排放，农田营养物的增加也加速了硝酸盐在水系统中的流动和积累。如今，在东亚和东南亚大部、欧洲、美国和中亚国家的部分地区以及中美洲和拉丁美洲的某些种植园中，农药污染已经成为了一个严重而普遍的问题。

表层水体营养过剩会导致水富营养化、氧气不足（溶解在水中、供养水生物的氧气含量下降）、海藻泛滥以及其他生物（例如水葫芦）侵扰。澳大利亚、欧洲和美国的沿海地区以及众多内陆水域地区都受到了此类影响（Mateo-Sagasta and Burke, 2010）。包括波罗的海和亚得里亚海的部分海域在内的一些海洋，海内生物经常被扼杀。遭受营养物注入的湿地和湖泊可能也到了富营养化的节点。有人提出，改变全球氮循环（Rockström *et al.*, 2011）和淡水富营养化的界限或者可承受上限已经被突破（Carpenter and Bennet, 2011）。全球受污染的淡水资源大约有 12 000 千米³，相当于全球 6 年的灌溉用水量。

某些农药的使用带来了其他问题（Turrall and Burke, 2010）。自现代大规模的水稻和小麦种植出现以来，病虫害治理一直是灌溉农业经常遇到的问题。单一种植模式下，当各种条件对某种病原体或者害虫有利时，病虫害和疾病就会传播得非常迅速，从而暴发流行病。现已证明，一些高产的水稻品种非常容易产生某些虫害（例如，IR64 号水稻产生的褐飞虱）。像有机氯这种早期的农药已被证明具有永久残留性，积聚在整个食物链中。尽管 20 世纪 70 年代很多农药已被查禁，但世界上某些地区仍在继续使用。随后，取而代之的是像有机磷农药这种看起来更加温和的配方农药，但不久也被大量查禁和限制使用。农药污染的风险是和不同化学分子的可溶性和流动性密切相关的。例如，在美国，广泛用于玉米生产的除草剂阿特拉津导致大量地下水污染，对此该药负有不可推卸的责任。而且，农业雨水径流和排放很容易地将这些污染物运送到了各个水体。

温室气体

农业也大大增加了温室气体的排放。农业生产每年的排放量达到 50 亿~60 亿吨二氧化碳当量。同时，毁林活动产生的温室气体量也占到了人为温室气体排放总量（每年为 130 亿~150 亿吨二氧化碳当量）的 1/3（表 3-1）。每年人为活动造成的排放量大约占二氧化碳（主要是毁林活动产生）总量的 25%、甲烷（稻米、糖醇发酵和动物粪便产生）总量的 50% 以及二氧化氮（施肥和动物粪便产生）总量的 75%。尽管集约化农业不可避免地产生了大量气体排放，但是针对农业和林业而制订的很

表 3-1：温室气体人为排放量的年度情况（2005 年）

	10 亿吨二氧化碳当量	百分比 (%)
全球	50	100
农业	5~6	10~12
甲烷	{3.3}	
二氧化氮	{2.8}	
林业	8~10	15~20
毁林	{5~6}	
腐烂物及泥炭	{3~4}	
农林业总量	13~15	25~32

来源：FAO, 2008a。

多减缓策略仍被认为有利于保持全球大气浓度的稳定性。这些方案将在第五章进行讨论。

地下水资源枯竭

许多地区可用于农业的水资源量很可能受到地下水资源减少的影响。正如前文所述，管井技术、廉价能源以及获益丰厚的市场，刺激了地下水使用的大爆发，导致地下水储备普遍枯竭，包括某些含水层遭到不可逆转的开采（Shah, 2009; Llamas and Custodio, 2003; Morris *et al.*, 2003）。尽管水资源枯竭是最主要的影响，但在某些情况下，抽取也可以增加水的人工补给（Shamsuddoha *et al.*, 2011）。

农业生产对地下水进行广泛、大量、无管制的汲取，已经导致了世界上某些最便捷而优质的含水层的枯竭和退化。虽然加利福尼亚中央峡谷和美国大平原奥加拉拉含水层的枯竭已经是众所周知，但是据记载，旁遮普、中国北部平原以及摩洛哥苏斯河流域等主要农业区域，从 1980 年以来的地下水年下降率也达到了 2 米（Garduno & Foster, 2011）。随着地下水位的下降，个体农民的泵水花费增加了，公共地下水供应方案也随之出台。但是在某些情况下，用于高收益作物的地下水需求似乎是必须的（Hellegers *et al.*, 2011）：也门地区某些泵水都是来自地下 1 000 多米深的地方。

随着含水层结构的崩塌，地下水枯竭也导致了沉降。迄今为止，最为著名的例子是加利福尼亚的中央峡谷，成因在于灌溉对深层地下水的持续开采。在伊朗，对

地下水的集约化汲取导致传统坎儿井（泉水和浅水井）干涸，也使得地下水减少，潜在含水层被压缩，富饶的农业用地出现沉降。

此外，地下水枯竭导致的另一风险是地下水资源的盐化。当含盐的灌溉排出水过滤到含水层时，这一情况就会出现。但是在很多沿海地带和小岛上，对地下水进行密集抽取并用于农业已经诱发了盐水入侵，使得众多对经济发展重要的含水层不再适合作为水资源供应。某些含水层已经被永久盐化（例如，加沙、印度古吉拉特邦、爪哇西部和墨西哥海岸沿线的含水层）。

FAO 进行的全球农业领域地下水资源使用情况调查（Siebert *et al.*, 2010）显示，现在全球大约有 40% 的灌溉区依赖于地下水（表 3-2）。主要的产粮区依赖于地下水，世界上某些主要的谷物生产区也受其影响，比如旁遮普和中国北部平原地区。全球最大的产粮国中的 4 个国家，有 1/3 甚至更多的灌溉区依赖于地下水，印度（64%）和美国（59%）有 2/3 的灌溉区都依赖于地下水。因此，含水层的枯竭和恶化对全球粮食供应带来了巨大的风险。

气候变化的预期影响

全球范围内，农业系统也应当考虑气候变化所带来的风险（FAO, 2011d）。气候变化及其多变性会影响热能类型和水文类型，这些反过来又会影响生态系统的结构和功能以及人类生计。同时，温度和降雨方式及其多变性的预期改变、二氧化碳

表 3-2：依赖地下水的主要产粮国

国家	需要灌溉的面积（公顷）	地下水（公顷）	地表水（公顷）	依靠地下水的比例 (占需要灌溉的面积比例)
巴西	3 149 217	591 439	2 557 778	19%
中国	62 392 392	18 794 951	43 597 440	30%
埃及	3 422 178	331 927	3 090 251	10%
印度	61 907 846	39 425 869	22 481 977	64%
巴基斯坦	16 725 843	5 172 552	11 553 291	31%
泰国	5 279 860	481 063	4 798 797	9%
美国	27 913 872	16 576 243	11 337 629	59%

来源：Siebert *et al.*, 2010。

的上升，以及这些因素相互间的复杂作用，都会对水土资源造成冲击，也会对未来几十年的农作物产量和农业部门带来影响。

这些影响会随着地区和时间的不同而改变。预计到 2050 年，适度变暖会使温带地区的作物和牧草产量增加，但是会降低半干旱和热带地区的产量。因此，全球变暖有可能会提高世界上某些地区的粮食产量（例如加拿大、俄罗斯），也会降低其他地区的产量（例如非洲南部）。降雨格局的改变也是可预测的。蒸散量相对于降雨比率的变化将会改变生态系统的生产力和功能，尤其是在边远地区。这可能会增加极端事件—比如热浪、冰雹、过度寒冷、超长强降雨以及干旱—出现的频率，对农作物产量造成不良影响。对未来水土资源管理策略的考虑也要将气候变化这一因素纳入其中（FAO, 2010c）。

气候改变可能对全球造成的影响

由于日益加剧的干旱、愈加不可预测的天气状况以及更加明显的降雨事件，气候变化的影响预计将会和产量降低以及生产风险加大联系在一起。降水增多、温度上升可能会增加农作物和家畜发生病虫害的压力。随着时间的推移，这些影响会变得更加不利和明显，尤其是在发展中地区。但是更为温暖的气候、更多的水量以及更长的生长季可能会使世界上的某些地区受益。甚至是大气中正在增多的二氧化碳也会对产量带来益处，但这还未得到确定。

根据考虑到的情况，气候变化对全球谷物总产量的影响可能在 -5%~+3% 变化（见插文 3.6）。如果风险变成事实，气候变化对发展中国家造成的后果会很严重。因为人口中较为贫穷的那部分人更加脆弱、没有粮食保障，缺乏采取适应措施所需的资金，他们要求的基线气候更加温和，更加容易受极端事件影响。气候变化估计会使营养不良人口增加到 1 千万到 1.5 亿。

按地域划分的可预测的气候变化的影响

尽管对于气候变化的所有预测都具有很多不确定性，但是据预测显示，非洲目前退化为干旱和半干旱气候带的耕地的比率正在上升，尤其是在非洲北部和非洲南部。到 2080 年，非洲的干旱和半干旱面积将会增加 5%~8%（6 000 万~9 000 万公顷）。愈加干旱的土地就愈加低产，甚至是颗粒无收。相比之下，干旱会造成整个

插文 3.6：气候变化对谷物生产潜力的预期影响

如果气候变化的影响不可避免，那么数据结果显示雨养谷物的生产潜力总体将会下降 5%（参见下面的表格）。如果采用谷物改良品种，或者气候变化导致二氧化碳增加，出现增肥效应，那么生产潜能的减损将会降低。如果采用谷物改良品种，同时假定出现二氧化碳增肥效应，那么气候变化将会使全球生产潜能的总量增长 3%。产量增长最多的地区出现在亚洲中东部，但是某些地区的产量仍旧是下降的，尤其是在非洲西部地区。通过这些推测可以看出，贫瘠的雨养耕地和农民最难适应，因此遭受的影响也更严重。

气候改变对当前耕地中的雨养谷物生产潜能的影响

地区	耕地	当前气候下生产潜力的变化百分比*			
		无二氧化碳增肥效应，现有的谷物类型	无二氧化碳增肥效应，改良谷物类型	具有二氧化碳增肥效应，现有的谷物类型	具有二氧化碳增肥效应，改良谷物类型
非洲北部	19	-15	-13	-10	-8
非洲撒哈拉沙漠以南地区	225	-7	-3	-3	1
北美	258	-7	-6	-1	0
中美洲和加勒比地区	16	-15	-11	-11	-7
南美	129	-8	-3	-4	1
西亚	61	-6	-6	-1	-1
中亚	46	19	19	24	24
南亚	201	-6	-2	-2	2
东亚	151	2	6	7	10
东南亚	99	-5	-2	-1	4
西欧和中欧	132	-4	-4	2	3
东欧及俄罗斯	173	1	1	7	7
澳大利亚和新西兰	51	2	4	7	9
太平洋群岛	0	-7	-3	-2	2

* 2050年使用 Hadley A2 情景与参考气候对比。

来源：改编自 Fischer et al., 2010。

亚洲地区减产。在温带地区，尽管需要折中考虑出现更多极端天气事件的可能性，但是气候变化的影响可能会相对较弱。温度和降雨模式的可测性变化，以及相关土壤湿度的状况将会改变农作物品种的适宜性。这进而会改变管理要求，比如很多地区灌溉需求加大、出现新的种植时间安排以及改变收种作业（Fischer *et al.*, 2010）。

气候变化对灌溉的影响

尽管气候变化存在很多不确定因素，但据预计，它对水资源的影响将非常重要，到 2050 年前水资源面临的压力将非常显著（FAO, 2011a）。通过在融化雪水和河道水流之间的转换，地域性可用水就会发生改变。降雨量的主要改变将会影响主要灌溉区的河道水流，特别是在印度次大陆地区（FAO, 2011a; De Fraiture *et al.*, 2008）。尽管这些影响很难被量化，但是河水基流降低、洪水增多、海水平面升高的共同作用将会对丰产的灌溉系统造成很大影响，这将有利于保持谷物生产的稳定。而主要依赖于冰川融雪的冲积平原（例如科罗拉多、旁遮普）和低地三角洲（例如恒河、尼罗河）的生产风险将加大。

从需求方面考虑，气候变化对灌溉需求的作用将通过降雨量和蒸发蒸腾量的净改变实现（Bates *et al.*, 2008）。到 2080 年，全球农作物灌溉净需求量将增长 5%~20%，某些地区的需求变化会非常明显，比如，东南亚的需求将增长 15%。在温带地区，气候变化不但引起蒸腾需求上升，而且还拉长了生长期，由此可以预知将出现更大的影响（Fischer *et al.*, 2007）。此外，气候变化使灌溉汲水量占可用的可再生水资源的比例上升，尤其是在中东和东南亚地区。北非的灌溉需求也可能会增长，但中国正好相反（Bates *et al.*, 2008）。发生干旱的频率增加也加重了水资源的储备压力，因为需要越来越多的水资源来缓解农作物日益增长的需求。

濒危系统

《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》（SOLAW）划分出了 9 种主要的濒危系统，这些系统尤其需要引起关注（按照具体的濒危类型和发展方式，可进一步划分为 14 种子系统）。所有这些系统都预计将经受某些不利影响，如果不采取矫正措施，它们也会把不利的外部效应强加给其他系统。表 3-3 中列出了划分各个系统中水土问题的主要特征（状况和趋势）和方式。还描述了预期负面影响的发生率和严重性，以及用于界定风险、恢复可持续性、提升对地区和全球粮食需求贡献量的主要方式。

表 3-3：主要的濒危水土资源系统（概述）

全球生产系统	濒危系统的案例或地理分布	所面临的风险
高地雨养种植系统	人口密集的高地贫困区： 喜马拉雅山、安第斯山、 美国中部高原、大裂谷、 埃塞俄比亚高原、非洲南部。	侵蚀、土地退化、水土资源生产力降低、洪水频发、人口外迁加快、 贫困和粮食短缺现象普遍存在。
半干旱热带地区雨养种植系统	非洲大草原地区西部、 东部和南部的小农种植， 萨赫勒地区、非洲之角和 印度西部的农牧系统。	土壤沙漠化、生产潜能下降、气候多变和 变暖导致农业歉收加重、冲突增多、贫困 和粮食短缺现象普遍存在、人口外迁。
亚热带雨养种植系统	人口密集的精细耕作区， 主要集中在环地中海流域。	土壤沙漠化、生产潜能下降、农业歉收 加重、贫困和粮食短缺现象普遍存在、 土地细碎化加剧、人口外迁加快。气候变化 导致降雨量减少和河水径流、干旱和洪 涝频发，预计将对这些地区造成影响。
温带雨养种植系统	西欧的高度集约化农业。	土壤和含水层污染导致治污成本增加、 生物多样性丧失、淡水生态系统退化。
以水稻种植为基础的灌溉系统	美国、中国东部、土耳其、 新西兰、印度部分地区、 非洲南部以及巴西的集约化农业。	土壤和含水层污染、生物多样性丧 失、淡水生态系统退化、气候多变 导致许多地区农业歉收加重。
其他农作物灌溉系统	东南亚和东亚。 非洲撒哈拉以南地区、 马达加斯加、非洲西部和非洲东部。 江河流域 干旱地区靠近河道的大型临近灌溉系 统：科罗拉多河、墨累-达令河、 克利须那河、印度河-恒河平原、 中国北部、中亚、非洲北部和中东。 含水层 内陆干旱平原依靠地下水的灌溉系 统：印度、中国、美国中部、澳大 利亚、北非、中东以及其他地区。	土地荒废、稻田缓冲作用丧失、 土地保护成本增加、污染导致健 康问题、土地文化价值丧失。 需要频繁复垦、投资回报率低、生产 力停滞不前、大面积征地、土地退化。 水资源紧缺加剧、生物多样性和 环境服务能力丧失、土壤沙漠化、 气候变化导致许多地区可利用水 资源和季节性水流量减少。 含水层缓冲作用丧失、农业用地 丧失、土壤沙漠化、气候变化导 致许多地区水资源补给下降。

全球生产系统	濒危系统的案例或地理分布	所面临的风险
牧场	牧区和牧场：非洲西部（萨赫勒地区）、北非和亚洲部分地区的脆弱土壤。	土壤沙漠化、人口外迁、土地荒废、粮食短缺、极端贫困、冲突加剧。
林区	东南亚、亚马孙河流域、非洲中部以及喜马拉雅林区的热带雨林与农业种植交界区。	耕地侵占、刀耕火种导致森林生态系统服务能力丧失、土地退化。
其他重要的区域子系统	三角洲和滨海地区： 尼罗河三角洲、红河三角洲、恒河/雅鲁藏布江、湄公河等；沿海冲积平原：阿拉伯半岛、中国东部、贝宁湾、墨西哥湾。	农田和地下水流失、健康问题、海平面上升、旋风频发（东亚和东南亚）、洪涝和枯水现象增多。
	小岛 包括加勒比海和太平洋群岛。	淡水含水层整体丧失、淡水处理成本增加、气候变化引发的破坏性后果增多（飓风、海平面上升、洪水）。
	城郊农业	污染、消费者和生产者健康问题出现、土地竞争加剧。

来源：本报告。

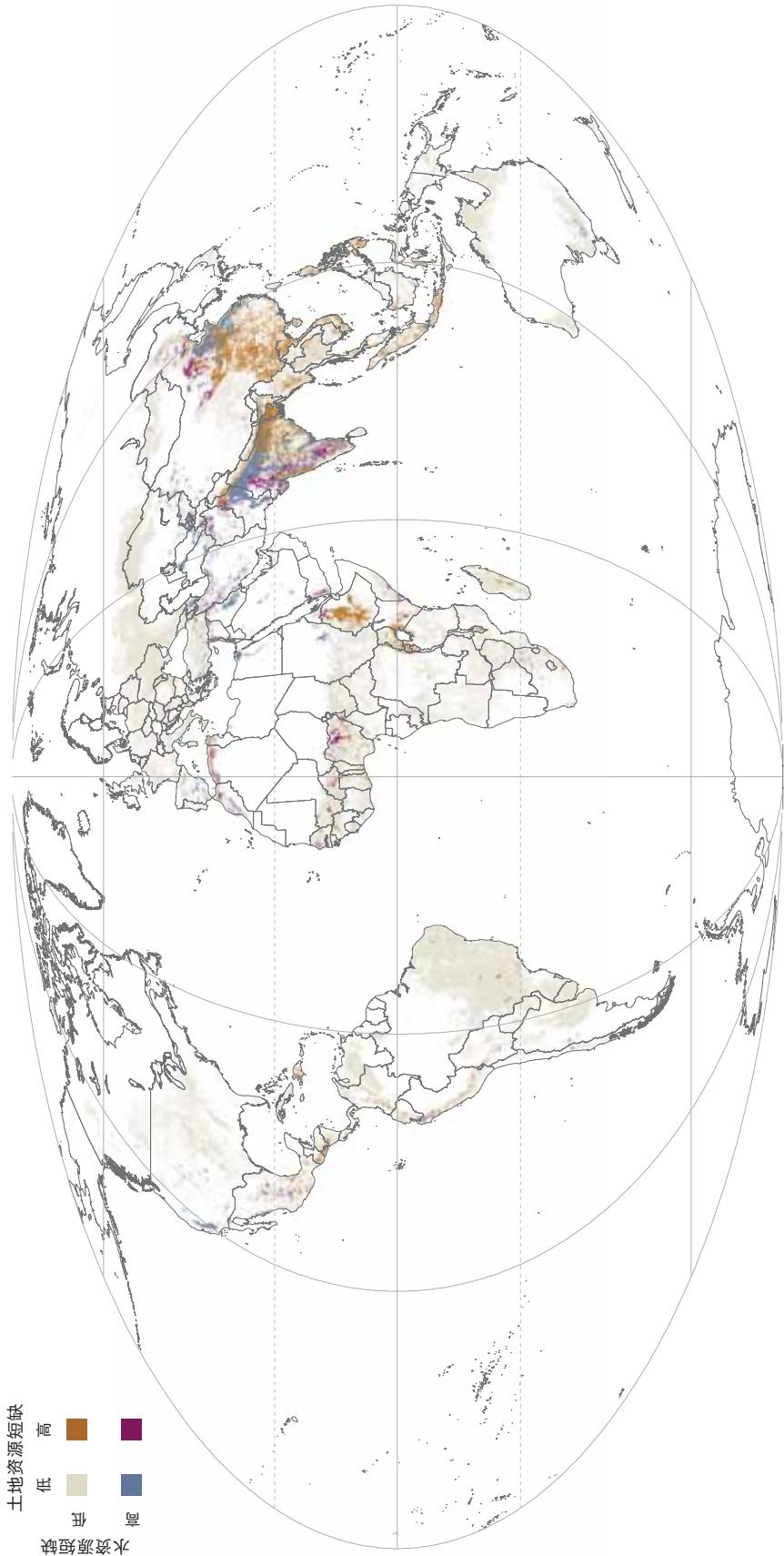
农业系统中，某些地区的农村人口数量已经超出了水土资源为其提供粮食的能力。地图 3-2 就突出了这些地区，展现了农村人口密度给农业系统带来的挑战，以及综合考虑可持续集约化生产和降低环境人口压力所应采取的对策。

人口密集的高地贫困区

这些系统包括喜马拉雅山、安第斯山、非洲撒哈拉以南的高地（包括大裂谷、埃塞俄比亚高原和北美五大湖地区），其主要特征为：生态系统脆弱，人口压力过大。向边缘地区的扩张导致土壤侵蚀速度加快、山体滑坡风险加大、径流模式改变以及下游水资源恶化。侵蚀和土壤沙漠化的不良影响是导致生产力下降，并且可能会因气候变化而加重。

在这些系统中，耕地面积几乎很难扩张。进行集约化生产的范围仅限于非边缘地区，并且对水土资源的保护措施也要求投入更多的资金支持。为降低对脆弱土地造成的影响，就需要更合理的土地耕种和更多的努力，否则贫穷和人口外流

地图 3-2： 濒危农业系统：水土资源面临人口压力



来源：本报告。

就很可能发生。这些脆弱的生态系统要采取的应对方案包括：水土资源保护、江河流域管理办法、开垦梯田、防洪以及最脆弱地区的森林再造。对江河流域管理实施环境服务付费、发展农业旅游、计划性人口外迁、提供基础服务和基础设施等非农业方案也应得到发展。

半干旱热带地区的雨养种植系统

这些系统包括非洲撒哈拉以南地区的小农种植、亚洲（印度西部）和非洲的某些农牧系统。许多地区目前出现自然资源和薪材过度开采以及向更加边缘地区扩张的普遍现象。同时伴以种植潜力低下、农业方式落后、土壤有机质和肥度耗竭导致生产力低下、土壤酸化、土壤蓄水能力不足，以及风蚀和水蚀等特征。生态环境退化，并伴有生物量和生物多样性减少、火灾和缺水频发。体制缺失导致土地保有权和使用权问题以及农牧冲突。许多地区普遍存在贫困现象，易受气候冲击，气候变化导致生产非常不稳定。农牧业间的土地使用问题和冲突也普遍存在。

由于土地并非过于贫瘠，灌溉水源尚可利用，因此土地扩张的潜在可能性仍处于中低水平。推行集约化的可能性尚不确定，其依赖于稀缺的水资源、脆弱的土地资源和人口密度。改善方式包括加强土地使用权的安全性、在可能的地方实现土地改革和整合、推进农牧一体化、在可能的地方加大灌溉和集水设施的投资、设立作物保险、综合植物养分、半干旱地区采用作物育种、改善管理以及投资基础设施（市场、道路）。这些地区也为农业和居民消费更加系统地使用太阳能提供了可能。在这种超级压力系统内，计划性的人员外迁也是必需的。

亚热带系统

亚热带系统分布在环地中海流域和亚洲人口密集的精细耕作区。这些地区正在遭受水土资源过度开采导致侵蚀发生、土壤肥度低下、植被和生物多样性减少、水资源短缺以及火灾的困扰。除此之外，面临的社会经济问题包括土地细碎化、人口外迁率高—尤其是男性家庭成员。

由于大多数适宜农业耕种的土地已被使用，因此这一系统的扩张潜力非常低下。恰恰相反，其他行业对水土资源带来的综合压力使得耕地面积很可能减少。由于集约化潜力相对低下，并且随着土地细碎化的加重，这一潜力很可能受到抑制。因此，人口外迁和农业逐渐被边缘化就很可能继续。土地退化的速度以及对农村人口生计造成的影响主要取决于农业政策以及更加完善的保护措施的有效实施。

采取的应对方案涉及半干旱地区采用作物育种、加强水土资源保护和综合植物养分。在基础设施方面，实行土地改革和整合、制定气候变化适应方案、建立可行的作物保险体系，同时投资农村基础设施和服务以及计划性人口外迁也必不可少。为了确保城乡环境的良好平衡和统一，必须在社会发展的整体形势下对这一系统进行考量，同时要预测社会更加城市化的必要转变。

温带集约化农业系统

大多数温带系统都位于高收入国家。西欧的农业系统就表现为高生产率和高度集约化。集约化农业也同样出现在美国、中国东部、土耳其、新西兰、印度部分地区、非洲南部和巴西。这些系统都很好地融入了全球市场，并且包含了世界上某些最活跃的粮食出口区。有些地区还享受着全球最高级别的农业补贴。

一些系统确实拥有进一步扩张的潜力：欧洲地区预留的土地可以再次用于农业生产，同时北美和南美也可能扩张。虽然欧洲地区的集约化潜能非常有限，但是其他地区仍存在可能性。尽管如此，包括中国东部在内的部分地区的产能差异正在迅速缩小。气候变化可能会对欧洲产生增温效应，从而使农业生态区继续向北转移，适宜农业发展的区域得以扩张。但是，可靠的降水减少、极端事件频发可能会抵消所带来的所有好处。

这些富饶的系统经常伴随着众多环境问题。它们所面临的主要挑战有土壤健康退化（土壤压实、有机物减少、土壤表面板结）、土壤和含水层污染（导致健康问

题和治污成本增加）、生物多样性丧失以及淡水生态系统退化。这种高度集约化如若管理不善，对环境造成的负面影响将会加大。

采取的应对方案包括控制和减缓污染、实施保护性农业、植物养分综合管理以及害虫综合管理。市场推动可能会引起扩张和集约化，但需要进行慎重的规划和监控，以防对环境造成进一步的负面影响。

以水稻种植为基础的系统

以水稻种植为基础的系统大多集中在东南亚和东亚，以及非洲撒哈拉以南的少部分地区（马达加斯加、非洲西部和非洲东部）。这些地区特征明显，所面临的挑战也千差万别。在亚洲地区，以水稻种植为基础的系统生产力高且平均，但是生态系统脆弱，干旱和洪涝出现增多，土壤和水资源受到污染。大多数国家对水土资源和劳动力的竞争以及活跃的经济转型给这些系统带来了新的压力。

由于众多驱动因素的影响，亚洲的灌溉系统正处于高风险状态。以水稻种植为基础的系统已经进行集约化生产，很难有机会实现进一步集约化或者扩张；同时，城市居民和工业对水土资源和劳动力资源的激烈竞争也给系统带来重重压力。这些系统还面临着更多的挑战：城市人口对产品多样性的要求提升、无常降雨增多、干旱和洪涝多发、土地废弃、稻田缓冲作用丧失、土地保护成本增加、污染导致健康问题、土地文化价值丧失。改善蓄水、实现机械化、增加产品多样性（引进鱼类和蔬菜）、控制污染以及实施环境服务付费等手段将有助于这些系统应对快速改变的经济环境和气候变化。

相反，非洲撒哈拉以南地区的水稻种植系统生产力低下，主要是由于管理不善导致众多制度性问题（特别是与灌溉和用水户协会有关的问题、基础灌溉设施的迅速退化和落后的市场发展）。这些系统在实现集约化和扩张方面极具潜力，但需要解决困扰至今的制度和经济难题。解决方案必须考虑市场和技术、更好地激励农民、投入资金以提升多元化、改善管理和基础设施。很多系统会从改善后的一揽子农业计划中获益，比如采用适宜当地水资源控制和地形的水稻种植集约化系统（Uphoff *et al.*, 2011）。

干旱地区大型连续地面灌溉系统

大型连续灌溉系统分布在亚洲盆地、北美、中国北部、亚洲中部、非洲北部以及中东，这些系统遭受水资源匮乏、过度开采和竞争激烈的困扰，同时还造成很多负面外部影响，例如沉积物和盐分转移，并对和水资源相关的生态系统造成影响。对于干旱地区的大型连续灌溉系统，尤其是亚洲地区，人口压力和城市化进程会加重水土资源的压力。因此系统扩张的潜力微乎其微。通过灌溉服务现代化和改善水土资源管理，有可能进一步实现集约化和多元化。但是，若不采取正确的措施，集约化给生态系统带来的负面影响就很可能会加重。气候变化也会改变河水的径流量和模式，导致作物用水需求上升，可能引起可用水资源供求不平衡。

很多地方的水土资源可利用量已经达到了极限，因此这些地区的扩张可能性就非常低下。但是在灌溉项目方案得到很好计划、环境和社会问题得到综合考虑的地区，扩张还是有可能的。为了改善供水服务、提高供水的灵活性和可靠性以支持多元化进程，必须对灌溉项目（包括基础设施和管理）进行现代化改造。同时还必须出台节约用水的激励机制，以及制定和实施气候变化适应方案。

依靠地下水的灌溉系统

依靠地下水的内陆干旱平原灌溉系统分布在印度、中国、美国中部、澳大利亚、非洲北部、中东以及其他地区。这些系统的主要特点是，许多地区的优质地下水持续枯竭、污染和盐化导致含水层缓冲作用丧失、农业用地丧失和土壤沙漠化。它们还面临来自城市和工业对优质水源的竞争。气候变化预计也会影响这些地区含水层补给的方式和类型。

在含水层已经枯竭的地区，扩张的潜力非常有限。随着水位的下降，依靠密集含水层的农业用地的范围会逐渐缩小，但其他地区用于补充灌溉的地下水使用量则会上升。针对地下水的汲取制定监管措施、实行更有效的水资源分配和使用、提升灌溉用水的生产率是避免生产力过度丧失的唯一途径。

牧场

牧区和牧场在各大洲都有分布。目前濒危的地区有西非（萨赫勒地区）、北非和亚洲部分地区。这些系统的特点是传统牧场和食品的缩减、土地的畜牧压力增

加、外来入侵物种的发展、火灾、土地细碎化、游牧、冲突不断、赤贫、粮食短缺和人口外迁。这些系统在应对气候多变性方面极其脆弱，影响了土地的生产力。温度升高和降水量多变导致的气候变化很可能会加强这种趋势。

由于土地已经非常接近甚至是超出了使用的极限，特别是对于贫困国脆弱的土地而言，因此扩张的可能性非常有限。尽管如此，依据经济和气候状况、采用更好的措施（包括降低或控制放牧率、改善牧场管理、有控制的放牧以及加强农牧一体化），仍然有机会改善土地耕种。

农林交界系统

农林交界系统大多分布在热带地区（东南亚、亚马孙河流域和非洲中部）以及喜马拉雅山一带。热带雨林所面临的最主要的威胁是农业的入侵，包括生物多样性和森林生态系统服务能力的丧失、外来物种入侵、病虫害、火灾、土壤侵蚀、泥沙淤积和土壤退化。森林转化为农田导致全球温室气体排放量有所上升这一点也是证据确凿的。

农业扩张导致林区被侵占，这在很多情况下是不可取的。只有改善对林区资源和林业的管理、制定环境付费服务等激励措施，才有可能实现集约化。

三角洲、沿海冲积平原和小岛

三角洲、沿海地区和小岛具有人口密度大和海岸生态系统脆弱的特点。这些地方对于区域性的食品生产有着至关重要的作用。人口高度密集的三角洲有尼罗河、红河、恒河/雅鲁藏布江以及湄公河等。沿海冲积平原主要有阿拉伯半岛、中国东部、贝宁湾以及墨西哥湾。这些系统都承受着巨大的地理压力，而且生物多样性丧失严重，尤其是红树林生物群。工业和城市居民对水土资源的竞争日益加剧。系统污染（特别是砷）加重，土壤出现碱化和压实，工业导致浅层冲积含水层和地下水系统污染。在河流淡水径流降低和海平面上升的双重压力下，地下水和河流的盐水入侵正在加重。地下水耗竭是众多小岛和沿海地区所面临的普遍问题。

气候变化预计将会导致这些系统海平面上升、旋风高发（东亚和东南亚地区）、洪涝和枯水频发。系统面临的风险包括农业用地和地下水丧失（小岛淡水含水层有可能完全枯竭）以及健康问题。由于土地竞争业已剧烈，能否扩张取决于地理情况和海平面上升情况，因此，这些系统的扩张机会渺茫。

集约化的程度取决于现有的生产力水平，很多地区已经高度集约化。采取的应对方案包括制订土地使用计划、抑制地下水枯竭、制订气候变化适应计划、控制洪水和污染、通过改善灌溉方式减缓砷污染，以及在江河流域层面实施综合水资源管理战略。

城郊农业

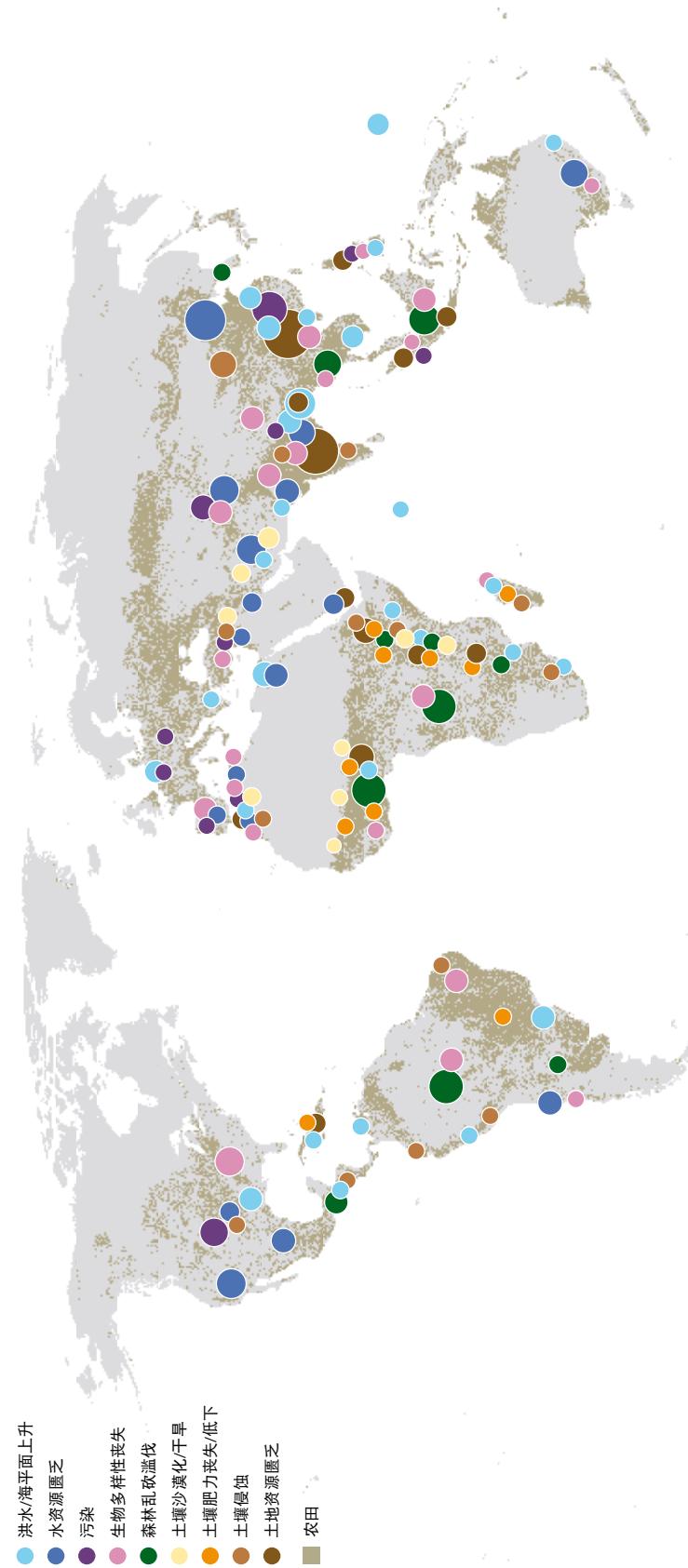
为了满足城市对农业产品持续上涨的需求，城郊农业遍布全球。这些系统面临着适宜土地匮乏、土地使用权缺乏保障、清洁水资源有限和污染等问题。在水土资源尚可利用的地区，利用城市化带来的充满活力且发展迅速的市场，城郊农业将继续扩张。无论是对于生产者还是消费者，健康风险需要实施比当今更加系统的管理，尤其是针对未经处理的废水利用。城市规划中城市和城郊农业深层一体化将有利于为持续发展的城市提供有效而安全的服务。

结论

全球人口数量与日俱增且生活水平日益提高，对粮食和其他农产品的需求也不断加大，全球农业系统以及赖以为继的水土资源都应当对此作出反应。提高生产力主要可通过以下方式实现：温带以及广袤江河流域的灌溉系统的可持续集约化生产；拉丁美洲和非洲部分地区耕地面积的延伸；雨养地区的可持续集约化生产；以及在经济和技术可行的情况下，逐步将一些雨养土地转变为灌溉种植。在可行的情况下，继续依靠地下水为生产力逐渐提高的农业提供补充灌溉。

从整体上讲，世界各地水土资源的供需不平衡正在日益加剧：已经达到产能极限的地区数量正在急剧上升。虽然粮食贸易能够弥补一些赤字，但是这将对本地区和本国粮食的自给自足以及农村地区的生计产生重大影响。另一方面，以往的集约

图 3-4：主要农业生产系统相关危机的全球分布情况—总览示意图

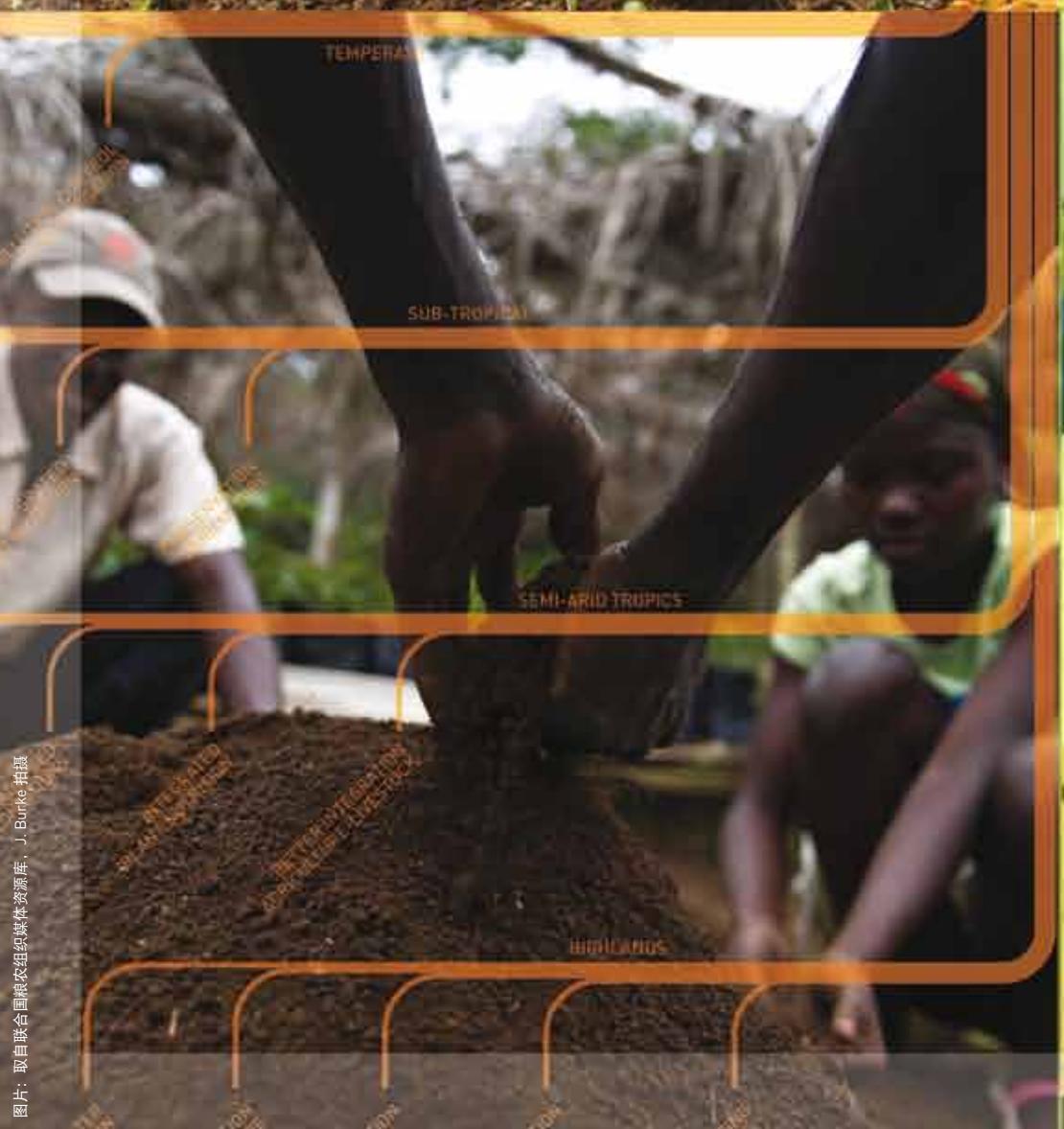


来源：本报告。

化农业生产方式虽然提高了生产力，但同时也导致生态系统服务的严重退化。若不采取纠正措施以扭转这种发展趋势，那么人口压力和集约化给许多农业系统当地和下游带来的风险仍将继续存在，甚至进一步加重。这是对水土资源管理可持续性的重大挑战。

气候变化将会对农业系统（尤其是对于半干旱和亚热带地区）带来负面影响，以多种方式对水资源和灌溉系统造成冲击，并且要求大多数地区加大改善力度。由于海平面上升和雨季降水多变的影响，三角洲和沿海地区受到洪涝灾害的风险将会加倍。图 3-4 对全球主要农业生产系统的风险分布作了扼要概述。

总之，全球大部分水土资源及其生态完整性正在承受着不断上涨的需求和不可持续的农业方式所带来的压力。来自农业和其他领域的进一步需求以及可预见的气候变化将使水土资源承受更大的压力，进一步威胁水土资源系统未来的生产力。





第四章

可持续水土资源管理的技术选择

正如第一章中所论述的，据预计，到 2050 年，超过 4/5 的增产必须通过提高现有土地的生产力才能实现。然而，由于当前生产力已达到较高水平，加之技术、社会经济或制度的制约，许多系统都已被束缚。此外，随着耕作强度的加大，前一章中所讨论的风险及相关技术取舍会变得更加迫切。本章回顾了实现“可持续水土资源管理”的技术选择，即：对土壤、水、养分及其他因素进行更集中的综合管理，以提高作物价值，同时保持或提高环境质量，保护当地和异地自然资源。



尽管雨养农业地区的产量增长一直停滞不前，但据预计，在未来几十年，全球 1/3 甚至更多的粮食增产仍将通过雨养农业来实现。在温带地区，雨养系统已经实现了高产，但却面临土地养分不足及农药污染问题，而发展中国家的小农雨养系统面临的问题则更多，如土壤贫瘠、土壤水分不足和农业气候风险高等，这些问题随着气候变化而加剧。此外，由于缺乏可盈利的市场环境且不具备投资提高生产力所需的资源，这些雨养系统的生产力也受到了阻碍。

提高雨养农业生产力

产量的增长对于减少贫困发挥着重要的作用。据估计，农业产量每增长 1%，绝对贫困人口（无法满足基本生存需要的家庭）的数量将减少 0.6%~1.2% (Thirle *et al.*, 2001)。但是，这些数据也表明，如果发展中国家无法营造改善农耕系统的有利环境，那么传统管理方式下的谷物产量可能停滞在不足 2 吨/公顷的水平。例如，一些非洲国家的产量只占潜在产量的 20% 左右。相比之下，其他一些国家（如非洲南部）近年来只实现了几个百分点的增长。2000 年-2005 年这 5 年期间的相关趋势证明，这些潜在生产力的增长是能够实现的，从而缩小较发达国家（增长 4%）和欠发达国家（增长 3%）的产率缺口。在非洲撒哈拉以南的部分地区，谷物的实际产量和潜在产量之间差距最大，甚至低投入农业都有潜力实现两倍的产量增长。因此，对于世界上最贫穷的一些地区而言，减少产率缺口的空间相当大，而发展中国家也有实现平均谷物产量翻番的潜能，即从 2.9 吨/公顷增长到 5.7 吨/公顷 (Fischer *et al.*, 2010)。

近年来，一些地区雨养农业产量的快速增长表明，如果具备有利条件，就可以实现增产 (Molden, 2007)。这些条件包括：进行制度改革以提供研究和咨询服务、为投入和产出创造高效的市场环境、改善道路基础设施、实现机械化、更好地使用化肥和高产品种以及改善土壤水分管理。亚洲和发达国家就是通过创造这些条件，实现了雨养农业系统生产力的快速增长。尽管前述条件已为众人所知并已体现出其价值，但在发展中国家，即使经过了多年的努力，许多小农生产系统的雨养农业产量却仍然停滞不前，非洲撒哈拉以南地区尤甚。在东非地区，多年来，雨养农业的产量一直停滞在其潜在产量的 16%。

雨养农业面临的一个主要挑战是如何引进可行的技术解决方案，在不增加风险的前提下，改善管理。由于水资源供应不足或不稳定，加之环境和土壤盐度、温度和缺乏养分等一系列问题，发展中国家的雨养系统往往生产力低下。现有的技术解决方案也都无法实现高产：绿色革命的创新在很大程度上取决于水的供应。此外，提高雨养系统生产力通常都会导致更高的风险。气候变化带来的风险也加剧了雨养农业的不安全性。

一些地区已克服了这些限制条件。在中国，通过结合水土资源管理投资，已取得良好效果，且风险水平在可控范围内。在黄土高原上进行的面积达150万公顷的水域治理项目证明，改善水土资源管理是有利可图的（见插文2.7）。在世界其他一些地区（阿根廷、澳大利亚、加拿大、哈萨克斯坦和非洲撒哈拉以南地区），引进的一系列雨水管理技术和保护性农业技术已初见成效，并有越来越多的证据表明，农民正在接受这些技术（Pretty *et al.*, 2011）。最大的问题之一是有些创新需要一定的时间才能获得投资回报。

管理土壤健康与肥度

雨养耕地普遍面临土壤养分低且正在逐渐耗尽以及土壤结构差的挑战。非洲撒哈拉以南地区的雨养农业的平均生产力最低（谷类作物的产量通常都低于1吨/公顷），尤其是小规模系统，原因在于其土壤固有肥度低，加之养分消耗严重。如果依赖于大量施用化肥的方案来解决往往又过于昂贵，而且对于许多低潜力的雨养种植系统而言风险太大。在这些情况下，可持续的水土资源管理技术，包括保护性农业，将有助于通过土壤肥度综合管理恢复并提高土壤肥度（Pretty *et al.*, 2011）。

保持土壤健康的益处

改善农业系统的土壤管理所产生的直接和间接益处可从经济、环境和粮食安全方面进行评估：

- 经济效益：改善土壤管理可通过提高资源利用率（特别是分解和养分循环、固氮以及水的积蓄和流动）来降低成本投入。如果养分循环的效率提高，从生根区浸出的养分会减少，所需的化肥也随之减少。如果存在多样化的害虫控制生物，也有利于降低农药需求量。如果土壤结构得到改善，植物就能获得更多的水和养分。据估计，每年在所有“生态系统服务”（包括文化、服务、废物处理、干扰调节、供水、粮食生产、气体调节和水分调节）产生的总价值（33万亿美元）中，养分循环所占比例最大（51%）（Costanza *et al.*, 1997）。
- 环境保护：土壤生物能够过滤和解除化学品的毒性并吸收过剩的营养，否则，一旦化学品接触到地下水或地表水，将对其造成污染。土壤生物管理有助于防止污染和土地退化，尤其是通过最大限度地减少农药的使用，从而维持或改善

土壤结构和阳离子交换能力（CEC）。土壤生物多样性的过度减少，特别是关键物种或具有特殊功能物种的消失（例如，由于过度使用化学品、土壤板结或过度干扰），可能产生灾难性的生态效应，导致土地失去农业生产能力。土壤生物的多样性也在一定程度上决定了土壤的可恢复力。

- 粮食安全：改善土壤管理可以提高作物产量和质量，尤其是通过控制病虫害，促进植物生长。土壤生物多样性决定资源利用率、农业生态系统的可持续性和可恢复力。

土壤肥度管理技术

低投入农业会使土壤退化，消耗土壤养分，引起农业生产下降，并最终导致农耕系统不可持续。事实证明，如果正确使用矿物肥料，并结合其他改善土壤健康的技术，便能有效地恢复和提高土壤肥度并增加产量。然而，许多农民买不起矿物肥料，而且在任何情况下，矿物肥料也仅仅是保护土壤肥度解决方案的构成要素之一。

有机植物养分能够提高土壤肥度，改善土壤结构，增强保水性和生物活性。有机养分可以通过吸收作物残茬、施用畜禽粪便、有机废弃物堆肥获得，或者通过豆科作物、绿肥或固氮树进行生物固定而获得。然而，单靠这些养分还不足以维持土壤肥度。回收利用作物残茬确实能够减少损失，却无法弥补作物生长时所消耗的养分，也无法增加固有养分的总量。因此，需要将有机肥料与其他养分来源结合使用。

利用当地现有磷矿是综合植物养分系统的重要组成部分，可以作为一种重要的磷供应手段或磷资源结构调整战略。磷矿的作用主要是有利于酸性土壤和固磷土壤，此类土壤多分布于湿热带地区，这些地区草木丛生或布满油棕、可可或咖啡等多年生植物。为了达到效果，还必须同时均衡地供应其他主要植物养分。

对于强酸性土壤，石灰或白云石等土壤改良剂的应用能够弥补钙和镁的不足，并中和铝的毒性，因为铝限制了作物根系穿透的能力，导致作物获得土壤层其他营养物质和水分的机会降低。若不使用土壤改良剂，提高土壤肥度的其他措施将收效

甚微。所需的土壤改良剂取决于土地的用途（某些作物耐酸）和土壤的特性。若石灰使用过量，可能会导致必要微量元素的可用性降低。

在种植系统中，作物多样性能减少单作方式对土壤带来的负面影响，并有利于改善土壤健康，提高土壤质量，改善养分循环以及维持生物多样性。农耕系统内的生物多样性可以通过间作（在同一块土地上同时种植两种或多种作物）、轮作（在同一块土地上相继种植不同种类的作物）和套作（种植生长季节部分重叠的不同作物）来实现。也有证据显示，农作物的多样性可以提高种植系统中菌根（真菌根共生）共生的有效性，但前提是土壤未曾受过机械性的干扰（例如会对真菌、中型和大型土壤生物群产生负面影响的耕作）。

豆科植物的种植能够增强生物固氮作用。然而，虽然实验条件下对豆科植物的固氮量进行了充分的研究，但是在实际农业条件下的种植系统中，并未获得足够的相关数据。豆科植物经常需要嫁接，但又往往缺乏所需的基础设施和技术推广。此外，固氮的效果也因土壤中含磷量不足而受限。为了获得更多粮食，农民往往会种植多种豆科植物（如绿豆、豇豆、木豆、花生），这也证明了轮作或混作能带来经济回报。

农林复合系统能够提高土壤肥度。微白相思树的使用就是一个很好的例子。树冠下谷物的产量大大高于开阔地带的产量（见插文 4.1）。这是因为土壤中有机物质的含量相对较高，且树荫下食草动物的粪便产生了施肥效果。同时维持土壤保护覆盖层也很重要，如通过实行最低耕作或免耕，使用作物秸秆和地膜，以减少裸露土壤水分蒸发，优化雨水渗入和地下水补给。这些做法都有助于改善土壤肥度，从而提高作物产量和水分利用率，同时还能减轻旱灾风险。

改进的必要性

提高和恢复土壤肥度的技术方案必须根据不同环境中具体的有利和不利因素进行选择和设计。在不种植豆科植物的地区提倡生物固氮可能收效甚微。在潮湿多雨的半湿润地区的酸性土壤中使用磷矿才能获得预计效果。在酸性土壤中使用石灰能有效中和铝的毒性，但在钙非常饱和的土壤中就显得画蛇添足。在半干旱地区施用

插文 4.1：肥料树—成功的典范



坦桑尼亚南部地区在微白相思树下种植玉米

在农耕系统中将树木与保护性耕作相结合的方式（复合农林业）正在兴起，这种农耕方式以科学为基础，具有经济实惠和易于实施的特点，能够更好地保护土地，并提高小农群体的粮食产量。在赞比亚、马拉维、尼日尔和布基纳法索，数以百万计的农民正在通过这种方法恢复贫瘠的土壤，提高作物产量和收入。最大的成效来源于肥料树与作物的混合种植。这些树木吸取空气中的氮，然后通过树根和落叶将其转移到土壤中，从而提高土壤的肥度。

多年来，来自世界混农林业中心和国家机构的科学家们一直在评估不同品种的肥料树，包括田菁、皂莢和山毛豆等。目前，微白相思树的效果比较突出。在非洲大陆的大部分地区，这种土生土长的非洲相思树已经成为种植系统的自然组成部分。与其他多数树木不同，相思树在雨季初期就开始落叶，在整个作物生长期都保持休眠状态；而旱季开始时，树叶再次生长。这种反向物候的特性使其与粮食作物高度兼容，因为在作物生长期，相思树不会与作物争夺阳光、养分或水分。

目前，赞比亚有 16 万农民采用与相思树混合的农林间作方式，种植面积达 30 万公顷。赞比亚的保护性耕作机构观察发现，在未施肥的情况下，与相思树邻近的玉米的平均产量为 4.1 吨/公顷，而稍远范围（超出树冠）的玉米平均产量为 1.3 吨/公顷。马拉维也收获了类似的良好效果，与树冠覆盖范围外的土地相比，相思树树冠下的玉米产量增长高达 280%。在尼日尔，目前以相思树为主的农林间作面积超过 480 万公顷，从而提高了小米和高粱的产量。经研究发现，印度和孟加拉国也同样获得了可喜的成果。

来源：Garrity et al., 2010。配图：© World Agroforestry Centre。

化肥时，必须同时进行集水和节水，或者进行小规模灌溉，这样化肥才能生效。对于植物养分保持能力低的土壤，则需要慎重确定施肥的时间。在半干旱地区，由于水资源匮乏，生物量生产严重受限，因此，依托有机植物养分来源是不现实的。同样，在采采蝇横行的地区，依靠动物粪便也不切实际。

在勉强维持生计的地区，现金投入的采用率极低。尽管在非洲撒哈拉以南地区，少数国家的化肥使用显著增加，但由于成本效益比不高，加之风险较高，市场也不景气，化肥的使用率仍普遍较低。然而，与过去相比，在施肥的主要农作物中，主食作物（如玉米、画眉草、大麦、小麦）所占比例越来越大（Morris *et al.*, 2007）。

解决方案也必须根据当地农业状况量身定制。由于所提供的技术不符合当地实情，或者忽视了当地自然资源基础的基本特征，提高土壤肥度的尝试经历过无数次失败。若对整个国家或地区套用相同的方案，而不考虑农民层面普遍存在的巨大差异，结果往往会事与愿违。目前所需要的是适合当地实情的解决方案及根据当地生态环境和社会经济条件而研发的技术。

大量的社会经济制约条件需要适应。作物残茬有多种用途，例如可用做饲料、燃料和建筑材料，且通常不可取代。为了控制杂草和虫害，作物残茬也常被焚烧。在家庭花园农场，动物厩内饲养，可以使用粪肥，但在其他地方，动物在广袤的牧场上喂养，导致无法收集粪便。制作堆肥需要大量的劳动力，而且小农场的有机废物有限。杂草和豆科覆盖作物往往与粮食作物争夺土地以及可用的水分和养分。施用绿肥也面临着同样的限制因素，因为生物质的施用过程需要大量的劳动力。在土壤中施用其他有机物质所面临的主要制约因素是畜力不足以及缺少短期回报。

因此，解决方案需要进行“可行性和风险”评估，以融入激励措施。最近在非洲撒哈拉以南地区和亚洲地区制定了一揽子解决方案，旨在进行风险管理，并提供激励农民的措施（见插文 4.2）。事实上，有些技术似乎提供了多项激励措施。植物多样性还具备其他方面的优势，包括分散市场风险、增加收入机会、改善膳食平

插文 4.2：土壤肥度综合管理



尼泊尔的农家肥

所谓土壤肥度综合管理，即综合利用有机和无机植物养分的策略，旨在提高作物产量，防止土壤退化，减少养分流失。主要通过有机投入（如堆肥、粪肥、无机肥和/或营养固氮作物）增加土壤养分来实现。在作物生产过程中，综合运用有机物和矿物投入能产生诸多积极效应。然而，若要长久保持土壤健康，则应避免土壤耕作。

来源：CDE, 2010。配图：K. M. Sthapit。

衡、更均匀地分配一年四季的劳动力需求以及降低害虫和干旱等不利环境因素带来的风险，因此对农民更有吸引力。

管理雨养地区土壤水分

雨养农业的改善依赖于为植物根系提供充足的水分。土壤保墒的第一要领就是最大限度地利用可获得的雨水。这包括最大限度地减少非生产性的水分蒸发、增加土壤有机质含量以及通过保护性农业等适当的技术来减少土壤扰动。

在高降雨量地区，传统上主要通过一系列雨水集蓄系统来实现土壤水分管理，其中包括梯田耕作和径流引流等。通过更多雨水集蓄技术和更好的土壤保墒技术来改善雨养种植地区农业用水的管理，目前还有相当大的技术空间—但也需要克服许多技术和社会经济方面的制约因素。

雨水集蓄旨在提高对水的控制，保证作物根系在生长季节能获得足够的水分（见插文 4.3）。雨水集蓄是指从设定的集水区截流，然后将收集到的雨水引流到蓄水区或土壤剖面。相关的技术包括将雨水引流到定植穴的简单田间结构、将雨水转移到蓄水区或生长期农田的径流集水结构，以及永久性梯田和水坝结构（CDE, 2010）。有效地收集雨水能使传统雨养农业的产量提高 2~3 倍，加上品种改良、最少量耕作和

插文 4.3：雨水集蓄



叙利亚的犁沟雨水集蓄（径流截流）

雨水集蓄是指利用各种技术收集径流雨水，用于农业生产或日常生活。雨水集蓄旨在最大限度地减少供水差异，提高农业生产的可靠性。雨水集蓄系统的基本组成部分包括：

(① 集水区，② 集中区/蓄水区，③ 耕作区。若将径流雨水存储在土壤剖面，则 ① 等同于 ③)。雨水集蓄涉及多种不同的技术，从简单的措施（如 V 形结构的定植穴）到更复杂的大型建筑物（如水坝）等，不一而足。因此，投资成本也各不相同。

来源：CDE, 2010。配图：F. Turkelboom。

水分保持等措施，效果尤为明显。国际农业研究磋商小组（CGIAR）的几个研究中心正在研究雨水集蓄、耐旱节水的种质资源和旱地农艺管理等相关问题。

在坡地上耕种所面临的问题是土壤剖面的水分迅速流失和径流侵蚀。解决坡地水土保持的植物性和结构性技术有很多，包括保持水分和防止侵蚀的等高线植被带（见插文 4.4）以及作为结构性屏障的梯田和堤岸（见插文 4.5）。相对于要求更高的结构性措施，植物性措施所需的投资通常较低且更容易实施，往往更受农民青

插文 4.4：植被带



菲律宾的自然植被带

植被带可由草、灌木和乔木组成。植被带通常沿等高线种植，以帮助保持多余的雨水，但也可以与风向垂直，以控制风蚀。在下坡田地进行耕作时，由于土壤运动形成“耕作侵蚀”，等高线植被带往往会导致堤岸和梯田的形成。因此，与梯田和堤岸相比，植被带更容易建立，且成本更低。在平坦地区，植被带也有用武之地，如可作防护带、防风林或田地周边的栅栏。

来源：CDE, 2010。配图：A. Mercado, Jr.

插文 4.5：结构屏障



泰国建立小梯田

结构屏障由土堤和石线在坡地形成，旨在降低径流速度，减少土壤侵蚀。其原理是降低陡度和/或斜坡的长度。结构屏障为人所熟知，也是使用率最高的传统水土保持措施。结构屏障经常与改善土壤肥度的措施（如土壤覆盖、施用粪肥或化肥）相结合。

来源：CDE, 2010。配图：S. Sombatpanit。

睐。在某些区域，如非常陡峭且容易被侵蚀的坡地上，仅有植物性措施往往不够，还应采用结构性措施。最理想的情况就是将结构性措施与植物性或农艺措施相结合，从而保护水土资源、提高土壤肥度、改善水资源管理。

传统上，这些技术依赖于高度廉价或享受高额补贴的劳动力和畜力。在降雨量低的贫瘠地区，田间控制及相关土壤保护的机会有限，仍然面临风险。最近在许多国家引进技术的经验表明，农民往往无法从中获利，反而面临更大的风险。因此，在没有项目支持的情况下，难以为继。

最佳方案是采取适应性强的管理手段，以增加植被覆盖，更好地保持有机质和土壤水分，同时引进适应性强的作物品种。面对变化多端的气候条件，保持产量稳定的策略需要与提高土壤质量、改善水和生物资源的管理齐头并进。改善农业水资

源管理的投资需助力整体方案，从而将土壤、水资源和农艺的管理融为一体，从更广泛的角度促进农村发展，改善农民主计，尤其是打开投入和产出市场的大门。

提高雨养系统生产力的综合手段

目前已研发的一些综合生产方法融合了可持续水土资源管理的最佳实践，适应了当地的生态系统和社会环境，并能满足当地市场需求（Neely and Fynn, 2010; CDE, 2010）。这些方法以特殊方式融合改善水土资源管理的技术，并通过土壤肥度综合管理、提高水的利用率和增加作物多样性等方式强化生产。从而为农民（尤其是小农）提供可持续性增产的机会。其中一些方法也适用于较大规模的生产。

农业生态方法

农业生态方法结合生态知识和农业科学，利用各种传统和现代的方法，促进农业和粮食系统的整体系统方法。农业生态方法将传统知识、替代农业、先进科学技术和当地粮食系统相结合。通常情况下，该方法采用最少量耕作和浅耕方法，实行轮牧、间作、轮作、作物牲畜相结合，提倡种内多样性、节约种子、栖息地管理、病虫害管理，而不是“控制”。农业生态方法也提倡有益的捕食性和寄生性昆虫，扩大有益生物群，包括菌根和固氮植物，鼓励节约资源，包括能源、水资源（通过旱作农业和高效灌溉）、土壤养分储备和有机质（Neely and Fynn, 2010; Pretty *et al.*, 2011）。

保护性农业

保护性农业旨在保护自然资源，同时提高产量和恢复力。保护性农业系统的划分围绕三大核心技术进行：土壤扰动最小化、土壤覆盖永久化和作物种类多样化。这三种技术同时应用，通过协同效应为持续提高生产力打下坚实的基础。

保护性农业能带来以下好处：①改善雨水渗入（通过减少径流、蒸发和侵蚀）；②增加生物多样性和土壤有机质含量；③改善土壤结构。保护性农业减少了劳动力

需求，最大程度地减少了人工合成化肥、农药和化石燃料的使用。每项技术都可作为一个切入点。然而，只有 3 种技术同时应用，才能获得最佳效果。小型和大型农业系统均可采用保护性农业。在劳动力严重短缺的情况下，其吸引力更大。鉴于以往良好的实践效果，联合国粮农组织（FAO）正在全球推广保护性农业，目前全球保护性农业的面积已达约 1.17 亿公顷。

有机农业

有机农业避免使用合成产品，保护水土资源，并通过有机手段优化生产力。有机农业是一个整体管理系统，可最大限度地减少或消除人工合成化肥、农药和转基因生物，保护水土资源，优化相互依存的植物、动物和人类的健康及生产力。

有机农业包括一系列措施：实行作物轮作，增加作物多样性；对牲畜和植物进行不同组合；与豆科植物共生固氮；施用有机肥；以及对虫害进行“推拉式”生物防治。所有这些策略旨在充分利用本地资源。但是，中型和大型的有机生产往往需要进口有机材料（如堆肥、地膜等），以保持土壤生产力，此外也常常涉及机械耕作。

有机农业是可持续的系统，最大限度地减少了与其他生态系统服务的冲突。随着消费者越来越偏好有机产品，其经济价值也不断提升。目前，全球有 120 万农民采取有机农业方式，种植面积超过 3 200 万公顷，收获有机野生产品的面积达 3 000 万公顷左右（CDE, 2010; Neely and Fynn, 2010）。

复合农林业

所谓复合农林业，是集多年生木本植物、农作物和牲畜于一体的土地使用系统，三者形成有益互动，用可持续的方法获得树木和森林资源，维持生态平衡。复合农林业益处良多—例如提高水土资源、多种燃料、饲料和粮食品的使用率和可持续性，并为相关物种提供栖息地等。通常情况下，该系统中的各成员之间相互产生生态和经济效益。

复合农林业主要有 5 种形式：巷带种植、农林混作、林牧混合（见插文 4.6）、河岸植被缓冲带、防风林。复合农林业可融合多种技术：等高种植、多层次种植、

插文 4.6：坦桑尼亚欣延加的林牧混合体系

林牧混合体系在牧区种植树木，可以提供树荫和庇护，提高恢复力，在某些情况下还可提高牧草质量。林牧混合带来了翻天覆地的变化：20 年前，在坦桑尼亚欣延加地区，土壤侵蚀极其严重，导致沙尘暴屡见不鲜；而如今，实施了坦桑尼亚欣延加土地治理项目（HASHI）以后，不仅有林地提供柴火和建筑木材，而且还有果园提供食物，饲料树为牲畜提供高蛋白饲料。

来源：Neely and Fynn, 2010。

（接替）套种、复种、灌木和树木休耕、有树丛的开阔草地或家庭花园。其中许多方法已存在于传统的土地使用系统中，因此，只需引进新的或改良的技术进行升级。

作物和家畜综合系统

混合系统和综合系统可以优化作物和家畜生产系统内的生物质和养分的循环利用。作物和家畜综合系统有利于生物多样性、土壤健康、生态系统服务和森林保护。由于多种要素融为一体，因此这种综合系统能够从经济上与密集型的大规模专业化系统相抗衡。不仅如此，这种综合系统还可演变为含/不含林木或水产养殖的系统，以及含/不含林木的农牧系统。

其目的是让系统成员协同互利。例如，家畜粪便等废物可用于提高土壤肥度，促进作物生长；而作物残茬又为家畜提供补充饲料。混合系统实现生产多样化，提高资源利用率，并增强对气候变化、市场变动或作物歉收等风险的应对能力。

传统农业系统

传统农业系统包括土著生态农业形式，是社会和环境系统协同进化的结果。这些系统通常具有高度复杂和植物多样性的特点。由于生产和自然系统高度融合，环保知识和自然资源在这些系统中得到特殊运用，因此，有许多学习和借鉴之处。其中一些现已成为全球重要农业文化遗产（GIAHS）。在可持续水土资源管理技术的基础上，谨慎地改善对这些系统的管理可能会带来更高的收益，对于农林复合系

统、作物和家畜综合系统而言尤为如此。然而，有些传统农业形式正在遭遇压力，可持续性可能会降低，因此需要改进（CDE, 2010; Neely and Fynn, 2010）。

可持续农牧及放牧方式

在干旱地区，通过将家畜聚群并频繁迁移来维持草原的健康和喂养能力。有控制的放牧能使动物的粪便和尿液分布更均匀，从而提高土壤有机质和养分的含量，促进植物生长。事实上，过度放牧往往是由放牧时间，而不是由动物的绝对数量造成的一若植物的地上部分和生根系统还未来得及恢复就开始放牧，就形成了过度放牧。整体规划的放牧方法（Savory and Butterfield, 1999）应改善土壤覆盖，增加植物多样性和生物量，增强水的渗透，增加动物密度，以更均匀地分布动物粪便和尿液，同时限制放牧时间。这样既能提高生物质生产，也可以改善牲畜的质量和生产率。

农牧系统的许多研究人员得出的结论是：在公共土地上进行广泛的畜牧生产，是非洲半干旱地区最恰当的利用方式（Scoones, 1995）。因此，若将牧场地区事实上的共同财产资源变成私有用户权利，更容易导致资源短期过度利用，而不是他们所期待的长期保护。在肯尼亚，社区管理的部落利用整体放牧，提高了牲畜的生产力以及野生动物的数量（见插文 4.7）。

由于没有土地使用权，未促进私有化，缺乏最低的医疗和教育服务，因而产生了诸多制约因素，而其中最核心的部分必须得到解决，才能在维持以畜牧业为基础的生存方式的同时，享有健康和可持续的环境（UNCCD, 2007）。增强牧民对牧场进行可持续管理的能力，需要同时具备适宜的管理办法、社会组织和土地保有权措施，其中土地保有权需涵盖动物赖以生存的共同财产资源。

制约和挑战

上述方法都具有特定的背景，使用时应根据当地的农业生态和社会经济背景加以调整。主要挑战是知识、激励机制和资源不足。所有方法都需要知识和知识转移以及相应的体制基础。尽管所有的方法都有其经济原理，但财务成本往往高于传统系统，且整体盈利能力具有不确定性。“生态适应”农业方式的部分利益并不会发

插文 4.7：肯尼亚巴林哥草原的抗荒漠化情况



在肯尼亚中部大裂谷的巴林哥湖周围的土地上，一场扭转毁灭性土地退化和重新建立草原恢复力的自然革命正在悄然发生。干旱环境治理（RAE）信托机构意识到，草是牧区最重要的商品。通过与当地共同努力，他们正在改变巴林哥盆地的现状。通过种植树木和草，已成功修复了约 2 200 公顷土地，并改善了家畜管理。植草所产生的积极影响已惠及 1.5 万~3 万人，包括个体家庭、牧民管理的公共领域和牧场，以及自助和妇女团体。现在人们已开始收获牧草种子，并在整个肯尼亚出售。

让多年生牧草重回大地不仅翻新了生态系统过程（土地、营养、水和生物多样性），还让当地人们重新获得了自给自足的信心和能力。关注非洲的旱地和牧场是扭转土地退化趋势和减少贫困的各项工作中不可或缺的一部分。

来源：*Elizabeth Myerhoff and Murray Roberts, RAE Trust*。配图：*W. Lynam*。

生在当地，而是流向下游或全球的受益者，然而农民却要承担所有的成本。因此，尽管具备利润激励措施，在这些方法“回本”之前，农民（特别是贫穷的小农群体）仍然受到投资成本和生产周期的制约。

为灌溉农业寻找水源

新的改道措施和多用途项目

到 2050 年之前的几十年内，预计农业用水将净增约 150 千米³，东南亚、南美和非洲撒哈拉以南地区的增加量最大。这其中的大部分将来自地表水，因为大多数地区的地下水已被完全开发。

建立大型储水坝的机会相比过去会减少，由于经济效益低，加上对环境和安全方面的考虑，建造大型水坝的吸引力会随之下降。高成本意味着大型水坝通常只能靠水电效益来证明自身的价值。然而，许多国家（包括中国、伊朗和一些非洲国家）的项目仍在筹划或建设之中。通过优化现有水坝的储水释放规定，也许能够增加一些灌溉用水。对水资源的开发和管理进行跨国合作，也可以增加灌溉用水的供应能力。例如，埃塞俄比亚蓝色尼罗河上的水电站大坝就能够为下游提供额外的灌溉用水。

但大多数专门为灌溉而新建的储水设施的规模往往较小。许多国家都可以选择这样的小型设施。所有这些储水设施的社会、经济、环境风险和利弊关系都需要进行评估，而项目也需要在流域规划框架内进行研究。在政策层面，将多余的水资源分流到农业领域，需要做出将这部分水资源固定为农业用水的决策，而不是用于其他领域（也许具有更高利用价值的领域），并评估是否会对下游的水环境和湿地构成风险。涉及跨国资源时，政府必须针对主权和水的安全等问题从流域规模上权衡优化投资的好处（例如，可能建议在上游投资建立水电站，在下游引水灌溉）。是否投资于灌溉开发而非雨养农业或其他有利于穷人的资产和服务，将以其他替代性投资方案的影响为前提条件。

地下水

尽管出现了枯竭和污染问题，地下水仍将继续作为关键的缓冲水源，为灌溉作物保持最佳土壤水分，而且这一角色将随着气候变化的加剧而越发重要（FAO, 2011d）。在许多国家，新的地下水资源开发利用的机会很少，因此，重中之重就是更好地利用现有的地下水资源。

但集约型农业造成地下水枯竭问题不可小觑（Siebert *et al.*, 2010）。虽然出台管理办法无法完全恢复含水层的可持续性，但其使用寿命和生产力会得到提高。最

近，社区对地下水进行自我管理，取得了令人鼓舞的经验，其中浅层地下水得到积极补给，用户有很高的兴趣来保持可靠的农业生产水平（World Bank, 2010a）。

若灌溉农业中被污染的水或盐水渗透，含水层枯竭或者盐的浓度上升，都会导致含水层盐碱化。此外，沿海含水层的枯竭会导致盐水入侵。解决问题的关键是积极管理含水层，以减少汲水量，维持可持续的供应量。通过人工注入淡水来稀释盐水，或者创造障碍来阻碍盐水入侵，都能够恢复含水层健康，但是成本昂贵，而且需要高度控制（Mateo-Sagasta and Burke, 2010）。

非传统水源的投资空间

在全球范围内，实际上只有大约 60% 的汲取水是在直接蒸发中消耗掉的一约为 5 200 千米³ 中的 2 900 千米³。其余的则返回水文系统，有可能通过回收进行二次利用，例如用于农业。如果所有这些水资源都被回收，其总量就相当于目前农业用水的 3/4 以上。因此，尤其是对于缺水的国家，对排出水、生活或工业废水的再利用进行投资，可以缓解水资源缺乏的问题。

排出水可通过系统中的循环或由农民直接从水渠中抽取得到重新使用。由于可能会造成土壤盐碱化和下游水质恶化，使用这些盐分含量相对较高的水对农业和环境会产生一定的风险，因此，需要进行盐度风险评估和监测。另外，还需要采取措施防止水土资源进一步盐碱化，或者修复盐碱化土壤。取得成功的国家包括埃及，该国重新利用超过 10% 的年淡水汲取量，但并未破坏盐分的平衡。到目前为止，由于能源成本过高，对咸地下水和微咸排出水进行淡化并用于农业领域仍然没有经济利益可图，除非种植高密度的高价值经济作物，如生长在沿海地区的蔬菜和花卉（主要是在温室内）。另外，在海边安全处置盐水比内陆地区更容易（Mateo-Sagasta and Burke, 2010）。然而，包括排出水在内的淡化水正在成为一个更具竞争力的选择，因为其成本在下降，而地表水和地下水的成本却在上升。

随着城市不断扩大，将出现更多的生活和工业废水。废水具有养分丰富的优势，而且接近人口和市场的中心，所以是城郊园艺场和水产养殖业的理想资源。然而，废水中的污染物对人类健康和环境构成风险。为将废水利用的利益最大化，并

最大限度地减少所产生的相关风险，需要制定强大的政策和体制框架（WHO-FAO-UNEP, 2006）。有关技术方面的决策需要提前作出，因为这将决定重新利用污水的处理方法。水资源分配方面也需要进行规划：需要对获得这些水资源的对象进行评估并利用合同加以制约。在环境方面，需要制定规章制度，从源头控制污染物，保护人类健康。最后，在农业方面，可能需要采用有限制的灌溉和种植方式。

实现灌溉系统现代化

改善大型灌溉体系的供水服务

灌溉系统的生产效率和水土资源的生产率仍然有相当大的提升空间。世界各地的生产效率远未达到技术的顶端；加压灌溉系统和保护农业所占的面积仍然很少；低价值的主食依然是种植系统中的主力；农业产量和农民收入也远远低于潜能值（Molden *et al.*, 2010）。以下 3 个要素有助于实现“提高每滴水的价值”（more value per drop）：改善供水服务、提高农业用水效率（特别是农田用水效率）、提高农艺效率。

提高灌溉系统的生产率、缩小产率缺口的途径包括：通过利用和维护分流和运河系统，或通过改善系统内的水资源分布（例如，通过增加对运河末端地区的供水量），来提高灵活性和可靠性，改善供水服务的时间安排。原则上，改善供水服务在几乎所有的灌溉体系中都是可行的。

对生产系统中的不同要素—土壤、水、农艺等进行投资，需要综合性的方法以及经济和体制上的改善。大型灌溉体系现代化的概念涵盖对灌溉输送系统、农艺做法以及体制结构和激励机制进行的所有必要改进，以便为农民提供可持续的、高效率的、响应及时的供水服务，从而建立高生产率和可持续的农耕系统（FAO, 2007e）。

另一个途径是提高用水效率（灌溉中的消耗性用水仅占灌溉汲水量的一部分），从而提高引流水的有效使用比例（例如，通过减少灌溉系统中的损耗，提高农田的水资源管理，或者回收利用排出水）。在许多地区，汲水量远远大于需求量，所汲

取的水超过植物增长实际所需量的 3 倍，这说明灌溉系统中水资源的有效使用比例还有很大的提升空间。然而，节水的范围必须慎重考虑，因为很大一部分未使用的水会通过渗透和排水系统返回河流和含水层。

综合现代化需要对“硬件”和“软件”同时进行投资。硬件投资不是对现有系统进行简单修复，而是包括对系统进行实质性的改善。例如，正确选择闸门和控制结构；用土工合成材料进行渠道衬砌；建设拦截运河和水库；安装现代信息系统；以及引进农田灌溉改善技术，如滴灌和实现无污染盐平衡管理的排水网络。现代化投资还包括一系列“软件”改进，例如，计划管理和体制结构；农田水资源管理办法；水资源和土壤肥度一体化管理；排出水管理；以及应对干旱、盐碱化和洪水的综合方法。投资于灌溉现代化以实现高效率的可持续农业，需要具备良好的经济环境，以提供正确的激励机制、风险管理和服务准入。

小型和非正式灌溉系统的生产率提升空间

提高灌溉系统的生产率并不局限于大型灌溉系统。在亚洲、非洲和中东，许多小农群体以小型和传统灌溉系统的农业方式为生。通常情况下，小型灌溉系统基于社区建成的引水和输送系统，由用户管理机构运营。包括以洪水为基础的系统（如洪水引流或洪水退落），泉水和浅井系统，从河流中取水的小规模灌溉区，径流/截流系统，雨水集蓄系统，以及本地使用水井、当地径流或者自来水的市场园艺系统。

小型灌溉系统存在于几乎所有的农业生态区。在某些地区，水是作物生产的重要制约因素，在这些地区或者在水资源有限或使用过度的地区，尤其是半干旱到半湿润地区，小型灌溉系统发挥着重要的作用。一般情况下，这些系统在一定程度上（或主要）靠雨养，而灌溉仅作为补充。通常情况下，由于缺乏规模经济，缺乏适当品种和水资源控制，且进入市场困难，因此这些灌溉系统的产量远低于那些大型正式的灌溉系统。然而，其优势在于传统知识发达、能够对水土资源进行可持续管理以及当地社会资本水平较高。

面临的挑战是如何提高这些灌溉系统的性能，而不影响其目前的可持续性。有些技术是现成的，例如，泉水补给系统的渠道衬砌，或市场园艺的脚踏水泵。所需

插文 4.8：滴灌技术



滴灌系统

提高水资源回报率的目标（“一滴水用于更多作物”）可以通过多种途径实现，包括更高效地收集、提取、储存、分配和利用水资源。滴灌，即在植物根区附近频繁地浇灌少量的水，是节约水资源的灌溉系统。在滴灌系统中，水通过过滤器进入特殊的滴水管，直接流注到植物附近的土壤中。若管理得当，这项技术可带来以下优点：更好地控制水资源、改善植物养分以及减少劳动力需求。非常适合高价值作物，包括蔬菜和果树。

来源：CDE, 2010。配图：W. Critchley。

要的是传播知识和技术的机制以及对投资的支持，以确保在传统可持续水土资源管理作法的框架内进行革新（见插文 4.8）。

提高农田水资源的生产率

水资源利用效率

提高农田水资源的利用效率（有益的蒸散消耗占所输送水的一部分），取决于农民对农田水资源的管理技能。提高农田水资源利用效率的措施包括提高农民的技能，更好地掌握作物的灌溉时间和灌溉质量；还包括投资农田灌溉技术，以更好地控

制水的输送，减少浪费。通过管道系统和精确灌溉植物根部（例如，通过滴灌或喷灌），可以进行更好的控制。这些技术通过减少输送过程中的渗流和无益蒸发，还可以减少无益的水资源消耗。通过控制作物周围的微型气候，如大棚下的保护型农业，也可以进一步提高水资源利用效率。

农艺效率取决于农民的技能，但也有一些限制条件，如气候和社会经济因素等是在他们的控制之外的。可通过以下方式提高农艺效率：

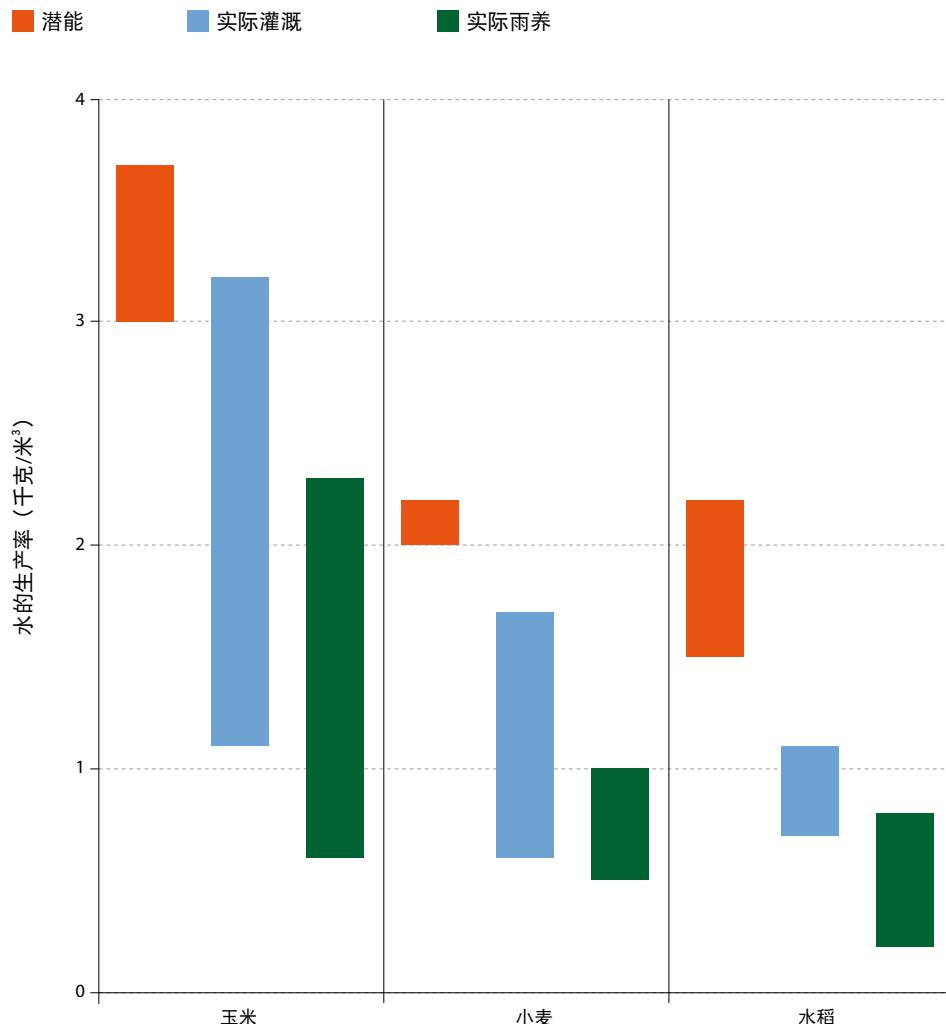
- 水资源控制和土壤水分管理，以确保供应充足的水分，促进植物根系的最佳生长。实行保护性农业，尤其要大量减少非生产性的水资源损耗。
- 水土资源和养分管理，以确保植物根系及时获得并高效地吸收养分。特别是，提高氮可用性的水土资源和投入管理对获得较高的单位蒸散量产量至关重要。
- 进行作物管理，选择最佳种植模式和最优良的品种，根据水分供应情况调整种植时间，在正确的时间播种，并作好杂草和病虫害治理。

水资源的生产率

提高灌溉用水效率的另一途径是提高农艺或经济生产率，使单位用水量获得更多产出。这可以通过更好的农业生产方式来实现，提高灌溉作物的产量（包括达到更高的收获指数），因为这样可以减少额外的灌溉用水；在考虑整体的生物物理限制的前提下，采用悬挂式种植模式或改种价值更高的作物（Steduto et al., 2007）。

尽管近年来水的生产率大幅度提高，但单位用水量的实际产量和可达产量之间仍然存在差距。图 4-1 记录了灌溉系统和雨养系统中水的实际生产率，并与水的潜在生产率进行了对比。这些数据证实，灌溉农业中水的生产率通常高于雨养农业。但在灌溉和雨养这两种条件下，实际生产率都远远低于潜在水平。其中小麦和水稻显示出的差距最大，这表明水的生产率仍然可以大幅提高。

图 4.1：玉米、小麦和水稻的水生产率：
潜能、灌溉和雨养



来源：Sadras et al., 2010。

据一般观察，在水资源受限的地区，种植模式会逐步转向价值更高的作物。例如在中国，经过了一些转变，水稻和小麦的种植量略有下降，而玉米、蔬菜和其他高价值作物的种植量则大幅增加。缩短水的生产率差距仍有相当大的潜力，但提高水的生产率水平需要更集约化的生产技术。

有许多众所周知的农业做法可以提高作物用水的生产率，这些方法能够将水的生产率提高 1 倍。由于不同作物和生产系统的情况千差万别，因此，对改进措施的

分析和提案需要有较强的针对性。插文 4.9 包含 5 个案例研究，分别来源于具有不同环境、技术和文化的地区，涵盖了从温饱型到高科技生产系统等农耕系统。在大多数情况下，采取措施提高土壤水分的可用性和作物吸取水分的能力，往往是提高水资源生产率的最经济、最快捷的方式。此外，提高整体水资源的生产率还可通过改进收获方法，减少收获时和收获后的损失来实现，这可能会使农田最初的产量提高 30%~40% (Lundqvist *et al.*, 2008)。

插文 4.9：提高作物水资源生产率的 5 个案例研究

澳大利亚东南部、地中海盆地、中国黄土高原和北美大平原地区的雨养小麦：单位用水量的实际产量和最大潜在产量之间存在巨大差距。北美大平原南部地区的平均差距为 68%，地中海盆地为 63%，中国黄土高原、北部大平原和澳大利亚东南部为 56%。造成这些差距的原因包括养分、播种时间和土壤限制因素。土壤水分管理是其中的一个关键问题。制定的解决方案包括：快速覆盖地面以减少蒸发、最少量耕作和残茬管理。

阿根廷潘帕斯草原西部的商业雨养向日葵存在类似的产率缺口，养分和水资源的可用性以及播种时的互动是提高产量和水资源生产率的最重要因素。

湄公河流域下游的水稻系统存在较大的产率缺口，单位用水量的实际产量仅为最高潜在产量的 15%~30%。改善这一现状的主要机会包括：使用高产品种，使用更多的化肥、除草剂和杀虫剂，利用补充灌溉。改变种植模式，种植价值更高的作物，如咖啡、蔬菜、花生（这些作物的每毫米用水产量高于水稻），也可能是一种选择。

在美国西部玉米带的灌溉商业玉米系统，实际产量仅低于最高潜在产量的 10%~20%。然而，如果水资源得到更好的管理，例如，根据作物的实时需要安排灌溉时间并进行一些水文监测，仍然有可能进一步提高生产率。

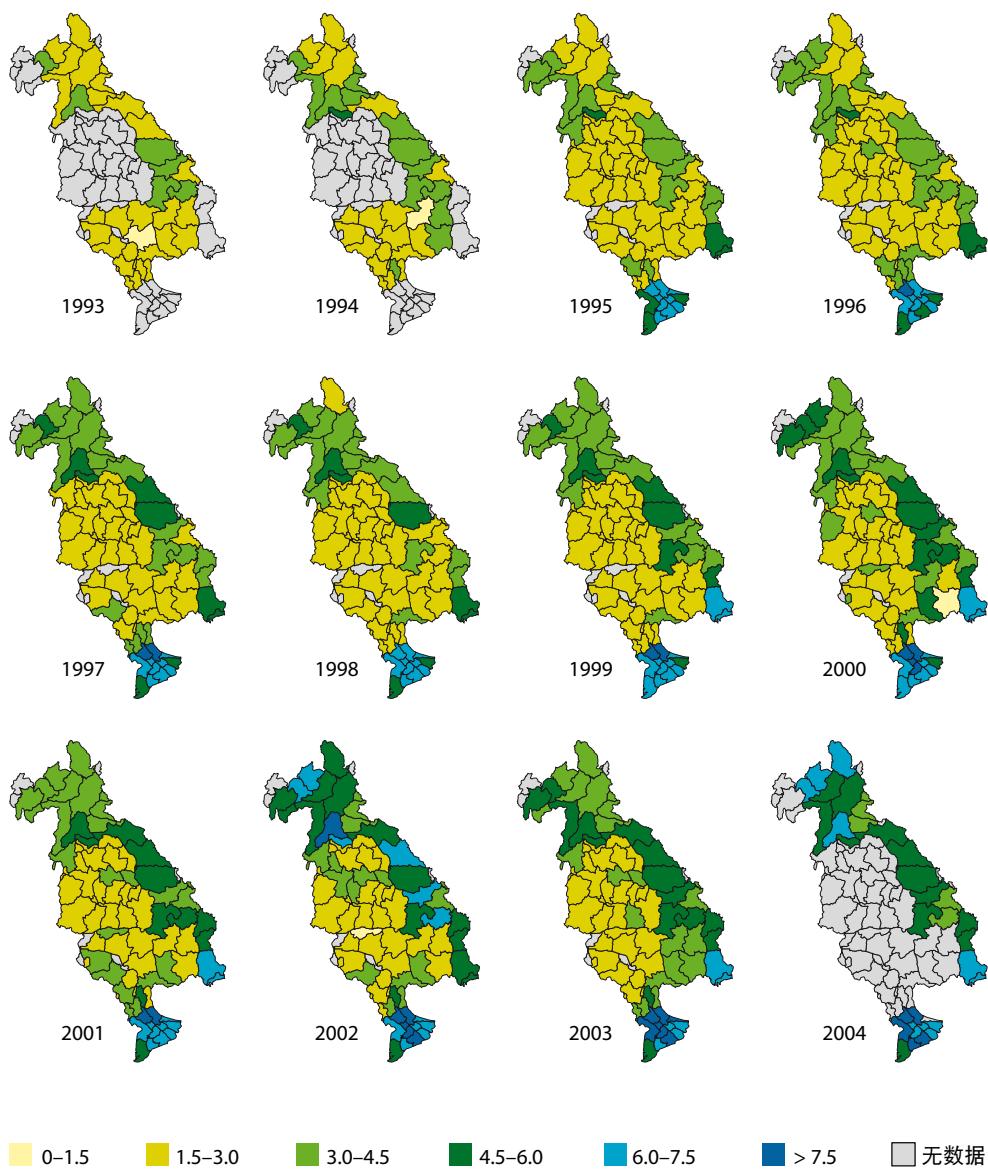
在萨赫勒地区，环境、管理以及与植物相关的因素导致小米的水生产率非常低，平均每立方米用水的产量仅为 0.3 千克。在干燥、炎热的非洲，提高小米的水生产率需要更高的投入，主要是增加化肥的使用量。小米收获指数低，导致小米的水生产率低下，然而，提高小米的收获指数需在权衡增产和作物残茬价值的背景下进行考虑。

来源：本报告。

提高作物的水生产率将给哪些领域带来改变？

近期在某些系统中取得的成效表明，即使在相对较短的时间内，水的生产率仍然可以提高。例如，在湄公河流域下游，水稻的水生产率很低（只有潜能值的14%～35%），但近年来一直在迅速提高（图 4-2）。这主要归功于：采用高产品种，更好地使用化肥、除草剂和杀虫剂，以及进行补充灌溉。有些作物（如鹰嘴豆和向日

图 4.2：按区域衡量的湄公河流域水稻单位蒸发蒸腾量的产率情况（千克/公顷/毫米）



来源：改编自 Mainuddin and Kirby, 2009。

插文 4.10：中国是节水型社会

得益于体制和技术创新，中国在节约农业用水方面已经取得了显著成效。1980 年–2004，尽管用水总量上升了 25%，灌溉用水量仍维持在 340~360 千米³。但同一时期，灌溉面积增加了 540 万公顷，粮食生产能力提高了 2 000 万吨，保障了 2 亿人的粮食安全。在过去十年中，中国全国每公顷的灌溉用水从 7 935 米³下降到了 6 450 米³。

来源：Wang et al., 2007。

葵）实现了直接的技术收益，每单位用水量的产量得到大幅提升，而这仅仅是因为将其生长季节从春夏调到了秋冬，并妥善管理病虫害和杂草。

提高作物用水生产率的技术范围因作物种类、生产系统和地区而异（见插文 4.10）。就粮食增产而言，水稻的潜在空间最大，但小麦和某些玉米系统也有相当大的增产余地。有些地区的物理作物的用水生产率已经达到一定高度，在目前的技术条件下，提升空间有限。而这主要是指生产率最高的地区，如黄河流域下游、欧洲大部分地区、北美和澳大利亚。增长潜力最大的地区为非洲撒哈拉以南地区、南亚、东南亚和中亚。在所有这些地区，提高水的生产率，意味着也提高了土地的生产率，从而增加了现有耕地的产出，而总用水量无需产生太大变化。然而，提高这些生产率，需要考虑维持整个江河流域和含水层的平衡（Perry et al., 2009）。

管理集约化带来的环境风险

提高生产率的技术必须同时施用充足和平衡的化肥，以提高产量，弥补作物生长过程中消耗的土壤养分。集约化生产经常也需要进一步管理杂草和病虫害。但某些产品（如化肥和农药）的使用会产生污染风险。若不具备可持续水土资源管理的技术和社会经济条件，就会为当地带来风险，而且下游水体和人类健康也会面临重大风险。因此，为了避免这些负面影响，对所使用产品的管理是必不可少的（FAO, 1996）。

在灌溉系统中，就改善健康方面而言，可能还有另一个缺憾：疟疾和血吸虫病常常困扰灌溉工程。改善水资源管理（例如，通过减少积水池），可以减少受到的影响的风险。此外，通过结合现代化与节约用水，可以推广为当地社区供水的方案（Molden, 2007）。

化肥污染和养分管理

对农作物施用量最大的化肥为氮磷化合物。氮以硝酸盐的形式被根系吸收。可实现的最大效率（吸收/应用）仅为 50% 左右，而在实践中，化肥效率很少超过 20%~30%。因为氮肥具有高度水溶性，并在土壤中迅速循环，因此大部分并未被作物吸收，而是以硝酸盐的形式溶化并进入排水系统，流向下游河道和地下水。氮还可能以氨或氧化亚氮的形式进入大气。

通过结合以下方式，可以减少氮肥流失：① 采用更好的施肥方法；② 植物更有效地吸收氮；③ 更好地管理水资源。此外，健康的土壤才能更好地留持氮。提高应用效率（从而减少硝酸盐流失）的措施包括以下简单步骤：

- 对于特定作物，在吸收最快的生长阶段分多次施肥。
- 对园艺作物进行“少量多次”施肥，将水溶性肥料溶入灌溉水中，进行精确施肥。例如，澳大利亚桑瑞西亚（Sunraysia）的农民发现，通过灌溉施肥，将氮肥溶于灌溉系统末端（水流到达土壤前 25 分钟的 10 分钟~15 分钟内），肥效最高。
- 将肥料施于根系区下面及作物两侧，以根系最密集的深度为宜。
- 深施氨肥以获得持久肥效（CULTAN 法）。部分氮以氨的形式被植物吸收，无需经过硝酸盐的状态，从而避免硝酸盐的流失。

促进植物吸收的措施包括使用受保护、释放慢的化合物。此类化合物会根据土壤水分含量、pH 和土壤温度逐步释放氮，从而创造较长的化肥供应期。对于高价值、浅根系的作物，以及硝酸盐流失率高的地区，这些化合物具有良好的商业价值。通过

使用生物添加剂，促进根系生长和更活跃地吸收，减缓氮肥以氨的形式释放的速度，也可提高氮的利用效率。添加剂已使甘蔗的氨挥发减少了 54%，并使小麦的氨挥发减少了 79%。

土壤管理解决方案包括利用介质留持养分，并将其有效地转换成植物营养素。有必要提高对土壤健康的重视。这不仅提高了内部的养分供应，从而提高化肥肥效，而且显著减少土壤养分因侵蚀和淋溶而导致的流失。在几个地区（如巴西和德国）的实践证明，水体对硝酸盐和磷酸盐的吸人量与土壤耕作有直接关系；若要将污染降低到可接受的程度，且不对生产水平产生负面影响，减少或避免土壤耕作是至关重要的。

虽然为了提高利用效率，减少对外部环境的影响，化肥行业在不断创新，但农民既没有减少环境污染行为的知识，也没有激励措施。目前有几种政策可供选择：① 联合化肥行业、农民和科研机构，继续研究；② 在一切可能的地区，尤其是氮流入水体风险最高的地区，采用有选择性的调控和激励措施，鼓励使用缓释肥；③ 对农民进行教育（见插文 4.11）。

与氮不同，磷通常束缚在土壤颗粒之中，缓慢地被植物吸收。因此，进入排水系统或地下水的可能性较小。对水资源进行良好管理，结合正确施肥方法，几乎可以完

插文 4.11：中国的氮污染问题

据报道，目前世界上氮使用率最高的国家是中国【在东部、东南部和华北平原地区，氮的使用量为 550 千克~600 千克（公顷/年）】。1998 年至今，化肥的使用迅速增加，特别是园艺业中使用氮磷钾复合肥和氮肥的现象更加普遍。导致中国的 131 个大型湖泊中有一半以上的水体已被富营养化。调查显示，大多数农民不了解化肥的利用效率和过量施用所造成的环境后果。有迹象表明，化肥价格过低，导致过度使用。但调查显示，在无法获取灌溉用水的地区，农民并不会大量施用氮肥，这表明了价格的敏感性。因此，减少氮污染，取决于研发和使用适当的肥料、制定调控和激励机制以及对农民进行教育。

来源：*Turral and Burke, 2010; Jua et al., 2009.*

全避免磷酸盐的流失。总体来说，虽然在减少城市负荷方面取得的效果更显著，但在政策和方案已落实的地区，减少农业污染负荷的工作也已初见成效。

农药污染

为了解决农药对水源的污染和人类健康所带来的危害等问题，已制定了一系列的害虫综合管理（IPM）方法。该管理方法通过定期监测，确定害虫数量，将农药的使用最少化、合理化，努力保持自然界天敌的正常数量，并提供有利于其生存的栖息地。此外，该管理方法还包括培育和种植抗虫品种（使用传统的方法或基因改造技术进行培育），把具有不同抗虫特性的品种进行杂交，实行作物轮作和休耕。害虫综合管理方法还可能包括引进害虫天敌。

在发达国家，为了提高效益和效率，回应日益增强的环保意识，商业化农场主广泛采用了害虫综合管理（IPM）方法。在发展中国家，虽然田间学校有效地帮助农民增长知识，了解害虫综合管理方法，但这种综合管理方法的应用比例一直较低（Settle and Garba, 2011）。在限制农药使用方面，立法、产品审核要求、农民的教育和产品价格也发挥了重要作用。发达国家和发展中国家之间的监管措施滞后是值得关注的一个因素，尤其是当廉价的普通农药从发达国家的市场上淘汰后，在某些地区仍会继续生产。

在保护性农业中，机械性土壤扰动及其他物理影响被最低化。因此，更广泛地采用保护性农业也有可能减少农药侵蚀而引起的水污染。

许多农药具有可溶性和流动性，因此，水资源管理技术必须将流入河道的农药降至最低（见插文 4.12）。当下游存在高污染风险时，必须对化合物的使用进行严格的现场监管。

将砷风险降至最低

据报道，目前已有 20 多个国家出现了地下水砷污染。在这些国家，受污染的浅层地下水仍用于饮用和灌溉目的。其他工业源，如来自采矿和加工过程的废物、家禽和猪饲料添加剂、农药和大量的高度可溶性三氧化二砷等都会加重土壤和地下水的污染。约 1.3 亿人处于砷中毒的危险中，砷中毒会引起皮肤损伤及各类癌症。食物

插文 4.12：关于灌溉中农药管理的建议

1. 不可在灌溉前或大雨来临前使用农药。
2. 灌溉时间安排应该避免农药使用后的高危期（特别是沟灌或喷灌时）。
3. 农药的液滴大小和剂量比例要适当，避免喷洒的液体在目标区域内形成径流。
4. 降低土壤和沉积物通过地表径流的流失率。大幅减少农药随着径流的流动，尤其是对土壤微粒有高吸附作用的化合物，如百草枯、氟乐灵和毒死蜱等。
5. 在大型区域，分多次用药可显著减少农田外的农药污染风险，如果遇上灌溉或大雨，还可减少潜在污染源。
6. 一些除草剂具有高流动性，并能快速流动到农田外（通过径流或浸透方式），在灌溉或下雨时更是如此。
7. 与那些已经凝固在土壤或叶子上的农药相比，新用农药的流动性往往更高。
8. 灌溉尾水中农药残留较多；对灌溉尾水进行回收再利用，以及避免用药后过度灌溉，都可以减少农田外农药流失。
9. 农药可能会通过暴雨或灌溉径流进入溪流或敏感栖息地，因此，需采取额外的预防措施。良好的水资源管理离不开有效的农药管理。
10. 在土壤渗透性强或地下水位浅的地区，应选择流动性差的农药，以降低污染地下水或河流基流的可能性。

来源：*Simpson and Ruddle, 2002*。

链中砷的积累令人担忧，例如在亚洲地区，就出现了土壤中的砷向稻米中转移的现象（FAO, 2007d）。预防和减少食物砷污染的管理办法正在研发和测试中。使稻米能在受污染的地区继续生长的砷管理策略包括：在含氧环境中种植水稻，或者转移到未受污染的表面或深层地下水，避免砷在土壤中进一步积聚。

盐度和排水

在灌溉区域，盐化和水涝给农田内外带来风险，已成为世界上许多国家面临的一个严重问题（Mateo-Sagasta and Burke, 2010）。在干旱地区，需要通过浸出和排放来保持土壤中的盐分平衡，维持作物的产量。然而，通过浸出和排放的方法去除土壤盐分，会增加排出水的盐度，其含盐度可能会高达灌溉水的 50 多倍。排放这些水，可能会使接收水体的含盐度升高，甚至无法再利用。

用水效率更高的解决方案能够减少水的过量使用，通过适量的浸出保持盐分平衡。后续排水方案包括：① 排出水管理；② 排出水再利用；③ 排出水排放；④ 排

出水处理。上述每个方案对水文和水质都会产生不同的影响，当选择多个方案时，会产生复杂的相互作用和抵消反应。

排出水管理是控制土壤盐度的主要方法。排水系统应该允许少量的灌溉水（10%~20% 的排出水或浸出水）排干或排出灌溉系统外。可以通过明渠、瓷砖排水渠或从井眼抽水的方法实现。具体选择什么方法，取决于土壤、下层土和底层含水层物质的渗透性，还要考虑基本建设工程的可用资金、当地社区使用和维护该系统的资源以及抽水的能源成本等。

如果含盐的排出水与淡水混合，就可以在下游得到再利用。这就要求对下游水域进行农业规划，调整农业做法并种植耐盐度较高的农作物。选择什么种类的作物非常重要，因为不同的作物适应盐分的能力也各不相同：硬粒小麦、黑小麦和大麦的耐盐度高于水稻和玉米。用含盐的水灌溉某些植物甚至可以提升其品质，例如，可以提高番茄或瓜类作物的含糖量。

可选的处理方案包括直接排入河流、溪流、湖泊、沙漠、海洋和蒸发池。但这种含盐的排出水会给下游地区带来环境问题。必须认真地考虑这些危害，如有必要，应采取缓解措施。这种排放应尽可能选择在雨季进行，从而将含盐排出水所造成的危害降到最低。建造人工湿地，是保护灌溉区下游或封闭流域的水域生态系统和渔场的一种成本相对较低的方案。

用于应对气候变化的水土资源管理措施

农业与气候变化

水土资源管理与气候变化的关系已在一些主要的农业生产系统中得到认定（FAO, 2011d）。水土资源管理做法对气候变化的诱因影响重大，既有负面影响，也有正面影响。许多过去和现在进行的农业活动是导致气候变化的原因之一，在人为温室气体排放中，农业及相关的毁林活动所占比例超过 1/3。同时，预计将来的

气候变化会对未来农业的用水、用地产生相当大的影响（IPCC, 2007; Fisher *et al.*, 2007），而且，面对日益加剧的气候威胁，特别是一些比较贫困的国家已经处在粮食不安全的边缘，全球需要解决的首要问题是增加适应策略的资金，提高农业系统的恢复力。

在应对气候变化所带来的挑战时，可持续水土资源管理不仅能提高农业的恢复力，而且能对气候变化的诱因产生积极影响，提供低本高效的缓解措施（Tubiello *et al.*, 2008）。许多管理技术能够改善生产系统，还能在地表或地下固碳，并减少温室气体的直接排放。

气候变化适应方案

适应气候变化需要农民和决策者解决另外一些关键问题：① 对于农民而言，需要提高自身使用新技术（或调整以前已知的技术）来应对气候变化的能力；② 对于决策者而言，需要提高制定正确的激励机制，以及有计划、有远见地建设必要的基础设施的能力。若农民理解了气候变化，就会自主地采取适应行动，而无需上级的干预。如果对气候变化的适应不良（例如，被迫耕种贫瘠土地，或在产量降低时采用不可持续的耕种行为），可能会加剧水土退化，并削弱未来应对不断增加的环境危险的能力。为了促进适应策略的实施并使长期效益最大化，应该采取有计划的适应方式，包括改善政策、制度和专用基础设施。

从技术角度来看，适应方式与那些过去开发出来的应对气候变化的活动十分相似。广义上讲，为了适应变化，农民将需要：① 适应管理；② 选择更加强健的作物品种；③ 选择其他作物；④ 调整水资源管理方式。这些改变是科学知识和实地经验相结合的产物。无论是单独使用还是结合使用，如果能够得到广泛采用，这些适应措施有可能抵消气候变化带来的负面影响，并利用气候变化产生的积极影响。另一方面，随着极端事件发生的频率增加，适应将会更加困难，尤其因为这种新的制度历史上没有可参考的对象。

作物种植方案包括：通过改变作物品种和种类，来改善作物的耐热性、抗旱性、耐涝性和耐盐碱性；改变肥料施用量和种植的时间、位置；使作物生产多样化；广泛使用综合虫害管理方法；开发并种植能抗病虫害的品种，提高检疫能力和

监测体系；以及根据牧草生长情况调整牲畜放牧率。特别是，通过同时改善作物多样化、土壤结构和有机质含量，保护性农业可以降低气候变化的影响，是一种广泛的适应气候变化的应对措施。

在未来的数十年，为了适应气候变化所带来的压力，水资源管理将是重要组成部分。这些压力将因水资源供应（供水量和季节分布）、农业和其他竞争领域的用水需求的变化而加剧。提高灌溉用水效率，将显著提高所有土地生产系统未来应对气候变化的适应潜力。同时，改善灌溉和水资源管理，是确保粮食生产、人类及环境获得水源的关键（FAO, 2007e, 2011d）。有一些农田、灌溉系统和流域层面的适应技术及方法专门针对农业用水的管理。包括：调整灌溉量、灌溉时间或灌溉技术；在雨养农业区，采用补充灌溉和更好的土壤水分管理技术；采用更有效的水资源分配原则；结合利用地表水和地下水；采用结构性和非结构性措施来应对水灾和旱灾。

更精确的数据和更有效的监测将为更准确地预测气候变化（尤其是季节性预测）提供有力的支持。在一些国家，预测技术已经存在并可通过商业手段获得，通过预测，甚至可以帮助优化雨水利用。要使预测技术在适应气候变化方面产生积极的效果，还有很多工作要做，以改善预测质量，并以用户友好的方式进行交流。

政府层面的解决方案应着眼于开发新的基础设施，制定新的政策和制度，包括在发展计划中纳入应对气候变化的办法，增加在水资源控制、灌溉基础设施和精确用水技术等方面的投资，确保相应的运输和存储设施到位，修订土地使用权协议（包括明确产权），并为产出和投入（包括水的定价方案）以及金融服务（包括保险）建立高效便捷的市场。

为减缓气候变化作出的贡献

所有有助于保护水土资源、有效利用资源和投入、减少农业浪费和损失、增强水土资源利用系统适应异常天气和市场变化能力的措施，都已经为减缓和适应气候变化作出了应有的贡献。更具可持续性的水土资源管理将产生更显著的影响（见插

插文 4.13：干旱区的畜牧系统和气候变化

在减缓气候变化和适应气候变化之间，畜牧系统的协同潜力巨大。畜牧系统占据全球 2/3 的干旱地区。在农村地区，与其他行业相比，畜牧系统的人口更加贫困。而较之于其他土地使用系统，畜牧系统更容易导致沙漠化，且不利于土壤中碳的积累。在广袤的干旱地区，改善草地和牧场管理，有助于积累和储存大量的碳。

事实证明，在恢复和提高土壤恢复力、建立碳库方面，改善放牧是一个有效的策略。最有效的固碳方法之一就是在农用土地上轮作根系深的常青植物（包括草的休耕或轮作），并将饲料作物、树木或其他多年生品种融入种植系统（即维持作物、家畜及树木的混合系统）。

固碳的管理措施能够为已退化的干旱地区的家庭带来经济效益，不仅可以通过固碳获得收入，更重要的是，通过提高产量、促进生态系统过程和增加可持续利用资源，还可以增强适应气候变化的能力。虽然固碳付费目前局限于自愿性碳交易市场，但针对未来全球气候变化的协议正在谈判之中，一些发达国家也正在制定国内法律，可能很快就会提高对发展中国家的牧场管理活动的减排要求（Lipper et al., 2010）。

草原固碳的经济可行性还取决于碳价。政府间气候变化专门委员会（IPCC）于 2007 年称，如果每吨二氧化碳当量的价格为 20 美元，那么截止到 2030 年，牧场管理和恢复退化土地的策略有望封存总量约为 3 亿吨的二氧化碳；如果每吨二氧化碳当量的价格为 100 美元，那么，同期封存的二氧化碳总量有望达到约 14 亿吨。

文 4.13）。据预计，如果改进作物和畜牧的管理和农林业实践活动，减少耕作，恢复土地，利用生物质生产生物能源，林业部门制定相关减灾战略等，二氧化碳的总排放量将减少 40 亿~180 亿吨，几乎可以完全抵消农业领域的排放量（表 4-1）。

减少甲烷和氮的排放量

农业生产中排放的甲烷和氮可能会对全球变暖产生重大影响。因此，减少这些非二氧化碳温室气体的排放将至关重要。除了关于牲畜饲养的特定措施外（不在本书的研究范围内），减少种植业产生的甲烷气体的主要方法是如何开发更有效的水

表 4.1：农林业 2030 年减排潜力

10 亿吨二氧化碳当量	
全球减排潜力	15~25
农业减排潜力	1.5~5.0
非二氧化碳气体的减少	{0.3~1.5}
农林业	{0.5~2}
加强土壤固碳	{0.5~1.5}
森林减排潜力	2.5~12
REDD+	{1~4}
可持续的森林管理	{1~5}
森林恢复*	{0.5~3}
生物能源减排潜力	0.1~1.0
所有领域的减排潜力	4~18
所有领域的排放量	13~15

* 包括造林和再造林。

来源：FAO, 2008; Tubiello and van der Velde, 2010。

稻种植体系，包括降低水的使用要求（如有氧水稻种植，避免耕地受洪水影响），将插秧水稻种植改为直播水稻种植体系和水旱稻交替种植体系（FAO, 2006c）。

在作物和畜牧业混合的集约化农业体系中，从田地施肥和动物粪便中所释放出的一氧化二氮占农场释放温室气体总量的一半以上。这些氮会随着空间转移和时间推移而弥散到空气中，因此很难减少。目前的技术主要关注于如何减少施用的氮肥中氮的绝对含量，同时最大程度减少土壤板结（板结会导致土壤厌氧，从而增加了一氧化二氮的排放）以及牲畜养殖体系的转变。

在作物和畜牧业混合的集约化耕作体系中，欧洲和北美的一些地方采用了缓解非二氧化碳气体排放的有效策略，包括改变人们的饮食习惯、减少食用肉类产品等。这样不仅可以直接减少甲烷和一氧化二氮的排放，还减少了牲畜对谷物的消耗。然而，由于受到文化发展模式、品味、生活方式和人口结构变化等因素的影响，人们的饮食习惯正在向相反的方向发展，饮食变化的主要驱动因素是发展中国家对肉类、脂肪和糖类的摄入量在食物摄入总量中所占的比例继续显著增长（Tubiello and van der Velde, 2010）。

可持续农业和林业

由于更广泛的生态和经济原因，许多可持续农业和农林业的管理做法很早就被推荐，这些做法主要利用固碳技术，对缓解气候变化的影响也起到了积极的作用。将树木融入农耕系统，不管是作为防护林来保护坡地，还是用于提供林木生物质或生产水果及坚果，树木不仅构成了可持续水土资源管理的一部分，有助于土壤保持水分，减少水土流失，还起到了固碳的作用（见插文 4.14）。此外，在农林系统中种植树木和灌木，能够改善微气候环境，增加土壤覆盖，进而调节气候，减少极端事件的影响（例如，减少潮湿和干旱地区的强风影响，防止高温和辐射，减少干旱和温暖地区的水分流失）。

减缓和适应之间的协同作用

前面讨论的许多水土资源管理战略不仅与减缓气候变化有关，还与适应气候变化有关。例如，减少耕作、推广农林业以及其他“最佳实践”水土资源管理战略，不仅能够通过增加土壤保水和抵御侵蚀的能力来提高土壤的生产力和可持续性，还能够通过建立更加多样化的种植系统去丰富生态系统的生物多样性。在应对气候变化时，这些战略也提高了种植系统的长期稳定性和恢复力，帮助其更好地抵御（适应）气候变化引起的干旱和洪涝灾害。此外，这些战略还有助于土壤固碳（减缓）。插文 4.15 显示，植物防沙屏障等可持续农业投资能够保护耕地免受侵蚀（适应），并实现固碳（减缓）。同样，避免乱砍滥伐、改善保护和管理森林的技术不仅能增强生态系统的恢复力，使其更加健康，而且还具有重要的减排和适应气候变化的作用。

插文 4.14：巴西的社区再造林项目：对洪水和滑坡的反击

巴西内陆地区的许多人已经迁移到了里约热内卢等大城市，现在他们居住在建于陡峭的山坡之上的贫民区（贫民窟）里，房屋破旧。由于贫民窟的数量快速增长，导致了乱砍滥伐、水土流失和山体滑坡等问题，继而又引起沉降、洪水和湿地蚊子滋生等次生问题。早在 1986 年，里约便建立了一个社区再造林项目，旨在让城内那些受侵蚀的地区重新造林，控制土地侵蚀，减少由此产生的山体滑坡和洪水等危险。该项目还为居民创造了就业机会，并引入原生树种来控制水土流失。

来源：CDE, 2010。

插文 4.15：中国甘肃省用植被防沙障抵御风蚀



植物屏障

中国北方地区正在遭受严重的土地荒漠化，这给旱作农业生产带来了严重的经济损失，同时还对铁路沿线造成损坏。铁道部筹集资金，在这一地区建起了很高的防护林。这些防护林选用高度适当、具有渗透性，并能够在干旱沙地条件下存活的灌木和树木物种。防护林有助于保护田地和基础设施，使其免受风沙的侵害。

来源：CDE, 2010。配图：Yang Zihui。

实施前景

在一些地区，为满足预期粮食需求，计划对农业生产进行适当集约化，然而，水土资源面临的压力越来越大，使这一努力遭受严重制约。目前已处于或预计将来处于“濒危”状态的生产系统亟需采取补救措施。补救性管理措施不仅应包括技术手段，促进可持续集约化生产，减少本章所述的风险，还应结合其他有利条件，淘汰那些导致工作效率低下、社会不平等和资源退化的体制机制，并创造有利条件进行知识研究和交流，如《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》（SOLAW）的其他章节中所述（另见插文 4.16）。

插文 4.16：尼日尔成功打造民间灌溉体系

在尼日尔，过去一直依赖于简易传统的提水（如汲水提杆、吊桶）方式，进行小规模的农田灌溉，而今水泵的引进推动了农田的快速扩张和集约化。截止到 2006 年，小型民间灌溉体系惠及的土地面积已达 1.6 万公顷。这些地区的地块面积往往不足 1 公顷（通常为 0.1 公顷～0.75 公顷）。生产的绝大多数产品是销往不同市场的园艺类作物。一些地区的生产商专门生产在国内外都有旺盛需求的品种（如洋葱、辣椒、大蒜和番茄）。

1996 年，尼日尔政府决定支持小型民间灌溉体系的发展，并鼓励建立民间灌溉行业的尖端行业协会。在项目的支持下，该协会帮助农民掌握了新技术（典型的例子是使用脚踏泵），并促使畜牧业和农耕模式发生了变化。同时还培养了一批技术工人，包括钻井工人、打井技术人员、水泵生产商和维修人员等。小额贷款、私有部门的农业咨询服务和农民经营的农业投入产品都得到了推广。农民年净收入从 159 美元增加至 560 美元（该国人均年收入中值为 60 美元）。收益惠及广泛人群，其中超过 2.6 万个贫困家庭已从中受益。该项目还为促进社会发展和出口、增加家庭收入、减少贫困作出了杰出的贡献。

来源：World Bank, 2008。



图片：取自联合国粮农组织媒体资源库



第五章 应对可持续水土资源管理的 制度性措施

主要粮食生产系统正在面临退化的危险，致使全世界粮食安全受到威胁。对于生产潜力处于中高水平的这些大面积区域，水土资源管理措施亟待改善，以逆转退化势头，保持生产力水平。在全球主要粮食生产区，适应气候变化也极为关键。面对这些趋势，制定什么样的发展之路才能实现更具可持续性的集约化生产？

对某些国家和地区而言，当务之急是要把注意力集中到濒危系统上来。但除此之外，还需要将可持续水土资源管理纳入这些国家和地区的议事日程。鉴于目前和预期的水土资源状况，本章为落实这些议程指明了方向。本章还指出如何加强国家机构的力量以确保使用权得到保护，如何调整知识和技术以便与使用者进行合作，以及如何对水土资源的规划和管理机制进行有效授权。

总体政策环境

宏观环境

应强调的一点是，需要制定出有针对性的，能够根据濒危系统进行灵活调整的规划流程和实施方案。这些流程和方案，在何种程度上能够通过协调一致的方式与水土资源管理“联合”起来，实现所期待的环境目标，主要由两个因素决定：第一个是环境问题的紧迫性以及环境问题在政治上所引起的关注。第二个是制度上的应对措施能否解决公共利益问题。在定义明确、通过协商制定的规划框架中，针对具体情况的具体方法应该是逐级嵌套并且有序进行的。实践证明，国家机构对自然资源的治理措施要想延伸到地方水土资源管理并能够继续执行，使社会和经济利益得以普及，使环境发展趋势得以逆转，目前来说难度极大。许多负责决定如何利用水土资源的机构（公共机构和私营机构）可能会招来许多“指责”。

在决定应该选择什么方式来管理自然资源时，农民和农业政策制定者承受着巨大的压力。选择可持续方式对规模存在依赖性。在地方层面上，农民生计和生态系统的兼容性将决定所采用的模式。在下属行政范围（如辖区或子流域层面上），制定农业发展规范和界限时需要考虑水土资源规划和环境法规。在国家层面上，经济发展、粮食安全、减少贫困和保护自然的政策目标都是重要的推动因素。在全球层面上，关注发展中国家的发展和权益，与保护全球跨江河流域公共淡水资源、森林覆盖率、海洋环境、气候和生物多样性的必要性同样重要。

从一个中立性的规划角度上来讲，确定优先级要从四大方面进行考虑。首先，优先级需要明确体现国家在可持续性、公平性和高效增长方面的发展目标。对于中低收入国家，目标可能是扶贫以及提高当地食物安全。农村地区或商品（如食品、衣物）的具体增长目标，或者社会经济目标（如减少边缘化群体的贫穷或防止水土资源的冲突）也可决定解决问题的优先级。其次，投资需要具有最高成本效益比。第三，选择的方案必须能够带来最大的生态提升，包括对减缓和适应气候变化的考虑。最后，需要根据国家和地方的实际社会经济和政治情况对优先级进行灵活的调整，或者必须至少要能够调整激励结构，使地方的利益相关者愿意采取可持续的做法。

“发展”与“保护”之间、商业性耕作和主要粮食生产之间、经济增长和收入分配之间以及城乡之间的权衡取舍不可避免。但重要的是，分析应该明确，而在生计和农业生产力面临危险的地区做出的决策应该符合公众的利益。

公共投资的作用

研发、技术转让、土地和水利基础设施以及道路等方面的公共投资，可作为政府促进可持续水土资源管理在政治上可以接受的最有效途径。政府的关键作用之一是投资一些能够展示可持续农业技术和经济的试点项目。巴西的农业研究机构（EMBRAPA）项目就是一个成功的例子，该项目不仅促进了保护性农业，还展示了涉农企业如何实现盈利。政府还可以通过更智能化的农业服务为农民机构提供支持。面向农民的咨询服务现在可以包括更广泛的信息“推送”，甚至可以通过移动技术提供信贷服务。在印度农村地区，已经试行了以ATM模型为基础的信息亭，同时还宣传了近实时遥感产品。这些类型的创新将超越农业和农村发展机构所采用的传统“推广服务”模式。

为可持续水土资源管理制定激励措施

促进或制约农业生产的最常见激励措施是通过税收制度、投入补贴、支持价格、监管措施、基础设施投资（例如投资节水技术）和支持措施（如扩大或开发产品市场）来实现的。影响生产或消费价格的政策，如禁止出口或征收进口关税的贸易政策，也可以很快转化成对农业生产的新需求，因此可以直接通过水土资源利用决策来满足。

摒除现有激励机制中缺乏持续性的水土资源管理做法也应得到重视。能源价格低导致频繁抽取地下水就是一个例子。政府通常会控制能源价格。将能源价格提高到临界同价水平会增加抽取地下水的成本，因而能够缓解地下水的过度开采。但是，通过提高价格来纠正扭曲的激励机制在政治层面的可行性不大。通常政府会选择允许通过通货膨胀这只看不见的手来对萎缩行业进行补贴，而不是提高政治敏感商品的价格。而且，连锁效应可能难以控制。能源价格上涨将导致运输成本和居民消费价格全面升高。高成本的农业生产又将增加食品的成本，或者导致贫困农民的

收入缩水。因此，对激励机制的重新制定，必须在明确的政治和经济战略指导下谨慎地规划和管理。另一个问题是家庭收入和农村经济的影响，这两方面取决于现有激励机制所带来的好处。提高能源价格补贴也许可以节约用水，但同时也会减少农业收入和就业。这些风险从侧面证明了，必须在扭曲的激励机制与旨在恢复农业收入的正面激励措施之间进行权衡。

对于生活在边缘地区的贫困农民，变革（包括采用适当的技术）可能会增加风险。对于从事灌溉工作的农民，鼓励他们去管理原来由公共融资机构经营和维护的公共资产，同样也存在风险。变革必须带来实实在在的好处。显然，任何激励机制都不仅要满足保护生态系统、集约化自然资源利用和生计目标，还要考虑到对贫困问题产生的影响。规划一个能够实现多重目标的框架需要认真研究，而且不可避免地要涉及权衡取舍问题。

应对外部效应

转向更加高效、更具可持续性的水土资源管理做法的激励措施在市场上可能并不存在。原因之一就是存在强大的“外部效应”。比如说，只有远在下游的淤积情况才能让人感受到不合理的水土资源管理做法所产生的代价。改变做法能带来哪些好处，农民可能感觉不到，感觉到的可能是他的邻居（如减少了地下水过度开采）、流域层面（如减少了污染物总量）、国家层面（减少了荒漠化或大气尘埃）甚至全球层面（增强了生物多样性或文化景观价值的保护力度，或者减少了二氧化碳排放量）。农民们会根据切身利益考虑问题，因此不可能改变对公共利益的态度，除非为个人生计（包括家庭保健）带来了显而易见的好处。

由此可知，促进生态上更加合理的集约化所面临的主要挑战之一是设计一个激励机制，可以使这些外部效应“内部化”，从而纠正利益相关者之间的“不对称利益”。这个机制从本质上讲就是要解决这种不对称问题，这个问题不仅存在于现状中，即农民获利，而由远处的利益相关者承担代价，还存在于纠正措施中（例如水域管理），即让农民承担代价，而由利益相关者（如下游的城市居民）获利。此外，激励机制还要面对时间跨度不同这样一个事实—投资纠正性措施也许只要几年就能造福农民（比如开垦梯田或植树），但小农群体的吃饭问题刻不容缓。

某些情况下，生产力提高有可能同时解决农民问题和公共利益问题，例如，保护农业或农林业或者改善灌溉和排水管理之类的综合性管理方法。而在另外一些情况下，随着化学制品的使用日益增多，集约化道路和公共利益之间可能会产生矛盾。激励措施需要纠正农民利益和公众利益之间的不匹配状况。

纠正这种利益不对称现状的一个例子就是土壤保墒，从而延长土地的无压力生长期，但可能由于投资成本高或者效益滞后，该做法对农民缺乏吸引力。举例来说，开垦梯田尽管具有可观的长远效益，但初期需投入极大的人力物力。然而，在土壤保墒方面的投资也可能会为下游居民带来好处。针对环境服务付费的机制已经出台，根据该机制，上游土地使用者在为下游提供可靠的水量和水质方面所作的贡献会获得报酬。

这一机制可以延伸到土壤固碳方面。恢复土壤有机碳可以提高农业生产力。农民们虽然有投资这种农业的动机，但会发现此做法见效慢，短期经济效益不如那些不太利于保护土壤的做法。然而，土壤有机碳的恢复也有利于提高农业的碳平衡。许多以农业为基础的土壤固碳做法都是以低成本方式减缓气候变化，很容易通过一系列行之有效的水土资源管理技术来实现。从这个意义上讲，有理由建立一个支持农民投资土壤有机碳的机制。

因此，环境服务付费的原则是基于对某一类利益相关者采取的做法对其他利益相关者有利这一事实的认可，不管是在下游（水域冲蚀或污染控制）还是在全球层面（固碳、维护生物多样性）。可以利用环境服务付费鼓励采用更多可持续的水土资源利用系统，提高给定管理系统的经济可行性。表 5-1 显示了哪些人能从给定做法（现场或非现场）中受益—这是认识环境服务的第一步。

评估成本和效益及其分布情况

为了给通过调整激励结构来补偿外部效应和不对称利益的做法提供理由，必须要有一种方法来计算成本、效益及其分布情况，还要有一种机制来检查实际的成效。但目前的方法很薄弱（见插文 5.1）。为了制定广为接受的技术和经济方法来

表 5-1：各种技术/方式成本效益分布情况的走向趋势

技术/方式	短期	长期	现场效益*	非现场效益*	备注
保护性农业 (CA)	+/-	++	++	+	建立保护性农业的进入成本可能相对较低： 手工工具、新作物和覆盖作物的种子。 但是，这些工具和种子的供应情况和 经济负担可能是一个主要的障碍， 尤其是对于小规模土地使用者而言
土壤肥度综合 管理	++	+++	+	++	采用有机肥料和/或无机肥料形式等 相对较小的额外投入能对作物生产产生 显著影响，因此这项技术可以逐步引进， 以允许进行实验和风险管理。但是， 能否获得收益要取决于价格的高低
污染控制/ 害虫综合管理	+	+++	+/-	++	害虫综合管理和农药污染控制需要更多 专业技能，可能不会立即对使用者产生吸 引力。受益对象包括农田和下游用水者
地下水监测和 有控制的开采	-	+	-	+	一个蓄水层的所有使用者的开采量。 对农民个体产生的短期影响是消极的， 而对整个社区的长期影响则是积极的。 这种做法意味着需要非常了解蓄水层 补水机制和强大的社区管理机制
农林业、 植被带	+	+++	+/-	+	需要考虑苗圃的建立以及植物在社区/ 集水区的分布，还要考虑社会/个人为了 保护所种植的树木受到牲畜和火灾危害所 付出的代价。植被带可作为具有成本效益 的等高种植措施以减少径流，或者作为防 风带。它们起到的效果类似于结构屏障， 通常也需要人力，但整体投资成本较低
结构屏障	+/-	+++	+	+/-	建立结构性防护措施，例如梯田和石料线， 需要较高的初始投资成本和人力。这些 措施在陡峭的土地和干燥环境下可能很 有效，但施工方面往往需要在财力或 物力上提供支持

关键：收益大于成本就是积极的，反之则是消极的。

* 如果所倡议的变革使农民获利就是现场效益，使其他人获利就是非现场效益。

插文 5.1：土地退化损失估算

自 1987–1990 年最初的全球土壤退化评价 (GLASOD) 研究之后，针对土地退化的损失展开了一场辩论。早期有一个说法是“土壤侵蚀对农业的可持续发展和生产能力是一个严重的环境威胁。在过去 40 年中，世界耕地面积有近 1/3 已经由于侵蚀而被吞没，并且正在以每年超过 1 000 万公顷的速度被吞没。在每天新增人口 25 万的情况下，世界人口的粮食需求不断增加，与此同时人均粮食产量却开始下降” (Pimentel et al., 1995)。

最近一项有关土壤侵蚀和粮食安全的研究 (den Biggelaar et al., 2003) 指出，“估计的生产损失因农作物、土壤和地区而不同，但如果改变农民的做法，全球范围内平均每年要损失 0.3%。因此，通过限制土壤侵蚀减少生产损失来保证粮食安全还有很长的路要走，尤其是在热带和亚热带地区的发展中国家”。

然而，目前并没有一个明确的方法来衡量生产力损失的实际成本，因为土壤损失和生产力之间不存在一貫仅凭经验就能够证明的因果关系 (Eswaran et al., 2001)。而且，大多数研究只估算了土壤侵蚀的成本，而没有估算土地退化的成本，如果将生物、水资源和生物多样性都考虑在内，那么后者的估算值可能要高出很多很多倍。其他生态系统服务没有可接受的成本估算，或者估算值差别很大—例如，碳交易市场显示不同交易市场的碳价格差异为 1 : 10。除非环境成本（碳损失、水资源减少、文化服务的损失）估算正确，否则经济上的评估结果将远远低于实际损失。我们不仅需要更先进的方法来衡量土壤损失/生产力的关系，还要有大家一致认可的方法来估算生态系统产品和服务。除非实现了这一点，否则我们在准确估算全球或全国土地退化实际损失的道路上将不会取得任何进展。

来源：Nachtergaele et al., 2006d。

衡量和评估直接关系（如土壤流失和生产之间）的成本，以及针对整个生态系统内的退化情况所采取的措施的整体成本、效益和权衡，还有更多的工作要做 (FAO, 2006d)。

确保水土资源利用的渠道畅通

对包容性和稳定的土地使用权的需求

预计到 2050 年，低收入国家的人均土地占有量将减少一半，这为开垦新的农业用地带来了压力。虽然有相当多的土地理论上都适合耕种，但其中几乎全部都已用于经济生产或者为当地和生物圈提供重要的生态系统服务。而且，可用土地数量最

大的地区并不一定是最需要土地的地区。尽管如此，预计到 2050 年将有 1.2 亿公顷的新土地投入耕种。

从全球和国家政策层面上讲，扩大耕地面积必须与当前土地使用状况以及维持现有生态系统功能、保护全球基因库、加强陆地碳库的需求保持平衡。扩大耕地面积的决策应该是在全球社区共同参与，进行理性协商后制定的国家政策的成果。仔细评估土地使用备选方案的局限性和风险也是必要的前提。

制定了政策并从政策层面上作出了扩大耕地面积的决策后，应考虑新土地的最佳使用条件。首先，对土地压力进行有序管理的战略将变得越来越重要。这就需要一些运作良好的体制，特别是对土地使用权的管理体制。其次，需要有政策和制度上的支持，确保在进行土地所有权流转时，对水土资源的利用进行适当的规管，以保持可持续和生态友好的生产系统的完整性。鼓励进行受管制开发和可持续耕作的激励机制和监管框架是必需的。研究和技术转让、农民咨询服务、获取资本和信贷以及市场开发都需要到位。最后，作物和生产系统应能够盈利和具备可持续性，并且与可持续水土资源管理的原则和方法相互兼容。农业应尽量减少权衡，减轻生态系统服务的损失。参与性监测与评估将成为决策制定的一个有益的支持。

可持续农业要求水土资源的使用者要从长远利益出发看待资源的完整性，以保证未来的生产能力。在大多数国家或地区，这种安全保障通过个人终身保有或长期租赁土地使用权的系统来实现。但如果公共权利界定不清，不受法律保护，则必须进行明确。最常采用的方法有两种：第一种方法是协助公有土地使用权系统进行调整（例如，通过法律承认和保护、划清土地界限、加强土地持有者进行自我管理和自我规管的制度能力）。南非、加纳、印度和巴西都采用了这种方法。另一种解决方案是引入法律和制度变革，使公共权利公平流转为正式的个人财产权利。公共区域或社区内的各个地块可以作为一个整体变成个人财产权利。有些国家或地区（如莫桑比克和坦桑尼亚）的土地法提供了这样的协商程序。

土地市场可以协助控制竞争性使用和土地的日益稀缺。土地租赁市场已经证明要加强土地分配的效率与公平性。然而，租赁市场往往受到土地所有权不稳定，或

者禁止或控制进行土地租赁和分成经营的限制。要发挥租赁市场的最大潜能，则需要改进土地使用权的稳定性和登记、减轻对租赁市场的监管力度。土地销售市场也需要完善的产权和管理。

大多数国家或地区已经定期进行土地改革和重新分配。国有土地很难由政府进行管理，因为常常受到入侵、殖民、历史性所有权申索以及通过租赁和出售进行非透明和不公平分配的制约。通常政府甚至不知道自己有多少土地以及土地在何处，即便知道，也不愿意处置。因此，任何改革举措都需要确保维护一个准确的地籍登记册，并为国有资产的处置提供诚信保障。然而，最近的土地改革效果参差不齐。在采取改革举措的同时，还要提供获得资本和信贷的机会、将规划和执行授权给受惠对象，并进行培训和能力建设。

现有权利所有者如果没有认识到他们已经存在的权利，往往会反对进行改革。扭曲机制、补贴和其他特权的受益对象也会坚决反对改革：即使新的法律和条例已经颁布，但可能未得到执行、遭到实力强大的利益相关者反对、因缺乏制度支持而受到制约或者因行不通的规定而受到严重削弱。登记程序可能使一些现有使用者的权利很难或不可能得到承认。保证一些使用者的权利可能要以强化排除其他人的不公平现象和制度僵化为代价。改革可能获得了经济效益，但却使环境要求没有得到满足（Bruns *et al.*, 2005）。因此，重要的是要慎重选择改革的目标和顺序，以及在现有历史和政治背景下最有可能被采用和执行的具体政策、权利和制度变化。

保证水资源供应，确保水资源灵活分配

随着可用水资源的数量成为进一步集约化的决定因素，物理和经济上的水资源短缺将进一步限制可再生水资源使用比例较高的地区的生产和环境治理。

建立现代用水权系统以实现负责任的水资源利用，同时促进负责任的土地使用，并非在所有情况下都具有现实的可能性（FAO, 2006e）。但这样就产生了两个原则。首先，要确保生产用地的基本用水，仍然需要努力涵盖所有使用者。其次，一旦基本用水有了保证，灵活用水和监管用水情况的能力将要求使用者和监管机构掌握更高层次的知识。

保证农业用户的基本使用权，在寻找到新资源后，仍然需要逐步将习惯性使用方式转变成正式接受的防御权（FAO, 2009）。灵活使用用水权是用水户协会面临的一个关键问题。协会的规模需要与自然体系和实际联网水平相衬，使成员之间能够进行有效的资源分配决策和转让。要成为一个成功的协会，主要前提是保证信息在流域或水资源监管机构与用户之间，以及用户与用户之间的顺畅流通。因此，用户协会必须掌握丰富的知识。

这些使用模式发生在资源盆地每天都在变化的流域或含水层环境中。任何流域管理者或监管机构都必须找到一种方法与最终用户进行沟通（用户协会）、对分配进行裁决、保持水资源产生的生产力水平并遵守环保法规。按照同样的方式，用水户协会可以在一定的自由度内进行调整，监管机构也要以灵活的方式运用规章制度。在最低限度，不管技术和投资水平如何，高质量的信息流都是至关重要的。在竞争条件下，这种信息流变得更加重要。政策调整可以纠正供需不平衡，提高水资源分配和利用的效率、公平性和可持续性。水资源综合管理提出了 4 个基本要素：水资源分配系统，高效用水激励机制，改进节水技术，以及利用权力下放和建立合作制的方法进行水资源管理。

大多数现代水资源管理部门都将权力授予州/省级部门，以便根据不同用途分配水资源、规范公共用水权和水资源的利用、确保维护水质并为用户和地方机构提供研究和知识方面的支持。考虑到规管地方水资源管理的复杂性，已经出现了在当地用户参与的基础上对地表水和地下水进行分散管理的解决方案。在灌溉方案方面，已经采取了参与式灌溉管理方式，用户通过用水户协会（WUA）越来越多地参与到方案管理、运作和维护过程中来，并以使用费的形式为方案的执行提供资金。对于其他形式的农业用水管理，采取的措施重点放在恢复或建立社区水资源管理机构上。对于地下水，随着地下水储量的迅速枯竭，传统机构的忽视和薄弱的监管能力加剧了竞争。由用户群体自我调节和管理已被证明可以有效地保护地下水资源。政府机构可以提供支持，公共机构可以与地方政府或特定的水文单位联合（见插文 5.2）。

插文 5.2：安德拉邦地下水资源的集体型参与式管理



安德拉邦地下水耕农自管系统（APFAMGS）项目，是荷兰政府与联合国粮农组织在2006-2010年，为了应对大面积干旱和全州外迁而展开的一个项目。该项目旨在通过授权农民参与监测和管理地下水资源，来提高地下水资源的使用效率。各个含水层或水文单位的地下水管理委员会聚在一起，预测可用地下水资源的总量，并制定合适的耕作制度与之相结合。然后，这些委员会向整个农业社区传播信息，鼓励开展相应的节水/集水项目，促进低投入有机农业，并帮助制定规则，确保有限的地下水资源在每个年度间的可持续性。

已经有643个社区约6500名农民接受了培训，帮助收集了解当地含水层情况所需要的数据。农民们记录了191个雨量站的日降雨量。他们对2000多个观测井的地下水位定期进行测量。共有4500多名农民（包括男性和女性）自愿参与数据收集。收集的数据保存在地下水管理委员会办公室的存储器内，同时还列在每个村的展示板上。在含水层地区，“水文单位成员”进行了培训，使用这些数据估算夏季季风雨季结束后的地下水补给量。就累计取水量而言，42%的水文单位在项目开展的3年间连续减少了*rabi*（旱季）干旱，51%的水文单位间断性地减少了干旱，而只有7%的水文单位在此期间发现地下水枯竭情况加重。从实际获得的地下水汲取量和受影响的地理范围上讲，这个项目的影响是空前的，其覆盖了十几个含水层，几百个社区和超过100万农民。

来源：FAO; www.apfamgs.org; World Bank, 2010a。配图：J. Burke。

在一些主要跨界河流域，合作框架的缺乏造成不理智投资并导致沿岸国之间局势紧张。随着水土资源需求量的增加，可能会出现进一步的单边发展，导致本来可以通过有计划的水土资源投资（目的是优化回报并在流域范围内共享利益）获得的附加值损失。在可能的情况下，应从技术层面开始形成一个合作框架，进行互惠互利的发展和管理，并最终形成国际水资源协定。

制定国家战略

本节将讨论有可能会变得越来越重要的制度性手段。经验丰富的调查和参与性规划手段反映了自下而上确定问题和解决问题的必要性。对于灌溉管理，获取生产和环保效果数据依然是当务之急，不管是通过公共机构还是私营机构。

调查

可持续水土资源管理方案依赖于将通过研究获得的知识与实地调查相结合，以确定适当的切入点。全球、地区和国家各级已经存在大量知识，而农业以及水土资源机构需要把这些知识汇集起来，并与农民一起将知识与需求相结合。

在地方，具有优先级的选择需要借助选择知识进行指导，并基于当地社区与公共机构和其他机构之间的合作关系进行选择。不仅要考虑到私营部门的利益和投资机会，还要考虑到短期收益和长期可持续性之间的平衡。选择将通过本地和个人计划体现出来，需要时可由公共机构提供支持和经费。地方的优先级通过与国家优先级进行互动以及地方和国家机构之间的合作关系来制定。

在系统和/或国家层面上，绘制空间范围（包括土地退化和保护的原因及影响）以反映哪些方面最适合投资、哪些做法有可能推广以及需要什么样的支持。这还有助于为进一步研究和发展制定日程。在许多地方，基础设施退化和管理手段过时导致大型灌溉方案效果不佳。

国家层面的选择也将受益于灵活性和公开辩论，并以经验教训以及从现场经验和全球知识中获得的最佳实践为基础。这些选择还需要在法律、政策、计划和投资中体现出来。调查手段也可以应用于更一般的农业方式。例如，对某个领域进行调查可以是评估土壤状况，以及在作物产量和盈利能力方面的土壤健康与其当前和潜在生产力之间的关系。插文 5.3 说明了在生态系统框架内，如何将土壤健康作为综合评价的一部分进行评估。

制定战略—调动多元化和参与

从以往的做法中吸取的一个主要教训是，技术手段在水土资源管理中虽然正确，但不能强行运用。正规的水土资源管理机构很少对知识和能力进行垄断。一个具体的项目可能会在一段时间内提供改变行为的激励措施，但这种手段很少能产生可持续的改进。更有效的参与性规划手段可以吸引当地民众并产生持久的所有权。这些方法还可以发掘当地的知识，并将这些知识与新的思路相结合，以确定能够与可持续耕作方法相集成的解决方案。从这个意义上讲，多元化水土资源管理手段不仅需要甄别，还需要加以应用。另外，虽然参与性规划并不是一个新概念，但在技术解决方案胜过更为平衡的问题解决手段的许多地方，参与性规划的具体应用仍然是一个挑战。

插文 5.3：生态系统框架内的土壤健康评估

对水土资源及其在可持续农业发展过程中发挥的潜能进行的完整评估，将包括对土壤的物理、化学和生物特性及工艺对土壤生命的影响进行的评估，对土壤所接触的空气和水资源的影响进行的评估，以及对农业生产方式对土壤生物群及其功能的影响进行的评估。同时，衡量排水、淋溶、径流和侵蚀当前和可能对环境造成的影响，对于评估各种水土资源管理战略可能的可持续性和外部效应也必不可少。调查还需要评估这些交互活动对土壤退化的影响，对粮食生产和环境问题（包括温室气体效应和水污染）的相关效应。从气候、土壤类型、植物物种和多样性以及农业生产方式方面，提高对生物和相关流程以及它们在农业系统内的相互作用的认识，将有助于制定出相应的水土资源管理方案。难点在于如何找到对生产者、专家和政策制定者有用的土壤质量和土壤健康评估手段。然后可以参考土壤健康临界值来调整方向，形成更具可持续性的作物集约化生产方式。

参与性手段和社区水域管理计划已被用来调和人类活动对自然形成水域的覆盖。例如，在更广泛的水域管理项目中，已经采用了参与性手段来制定管理计划。如果所有人或大部人拥有共同利益，或参与性过程非常灵活并且提供了能力建设和真正的权力，或存在收入和生计激励措施，那么参与性过程就会取得成功。如果社区居民能够看得到经济效益，那么他们会更愿意投资长期保护。

但是，参与并不能保证一定会有结果。它涉及国家与当地社区之间的决策制定权力转移，以及当地社区的不同部门之间的决策制定权力转移。因此，必须根据所期望的发展和分配结果来设计参与性过程。参与性手段提出了一系列苛刻的要求—政治上的承诺和公平规则、过程成熟的时间、过程中包含所有利益相关者、公共机构理解参与的依据和流程，以及各级利益相关者和公共机构均能得到可持续的能力建设。

根据最近几年的经验，就如何引进和推广成功的创新活动（特别着重于社区行动以及合作关系）方面，已经取得了一些切实的经验教训。基本原则包括：

- **利益相关者的参与非常关键。**这就需要首先找出问题所在，接下来进行规划和实施，然后进行监测、评价和研究。针对如何激励土地使用者实施并进一步完善技术，已经测试并记录了许多手段。
- **工作必须从地方开始，在地方结束。**当地的水土资源使用者对他们自己的生态系统非常了解。他们的知识需要通过合作伙伴以及咨询服务、专业培训、技术和财政援助等，从外部予以补充。合作伙伴可以与他们一起在当地范围内确定、评估、选择和实施可能的战略。一旦计划得到大家认可并且支持措施落实到位，当地利益相关者就可以对计划的实施承担主要责任。
- **知识和传播是关键。**利益相关者需要能够轻松查阅信息，且这些信息要来自可靠的知识和经验。因此，决策支持系统是必不可少的。要通过绘图、监测、评

估和其他决策支持工具来确保投资决策基于事实，并且在出现新的影响后能够对实施进行相应调整。

- **需利用永久合作制手段。** 变革需要各级（土地使用者、技术专家和政策制定者）建立协作与合作关系，以确保正确找出退化的原因并确定纠正措施。涉及政府机构、非政府组织、民间社会组织、私营机构以及个人土地所有者和使用者在内的合作关系能够促进相互尊重，并使这些不同的利益相关者群体之间能够为一个共同的、可持续发展的未来进行协商。专家网络是这些合作关系的关键。
- **调查和方案不仅要涵盖技术，还要涵盖本地和高层支持环境，包括关键的激励机制问题。** “任何农场都不是一座孤岛”，而且有必要通过嵌套的手段从农场或家庭级向上扩大调查和相关解决方案的范围。如果要进行变革，许多条件都必须考虑周全，其中包括激励机制和财政支持的问题、市场和价格、服务和基础设施、法律和法规、教育和宣传以及文档记录和知识管理。通过合作制和参与性手段，必须在制定技术解决方案的同时确定这些框架条件。

现代化灌溉管理

大型灌溉方案为集约化提供了一个特有的切入点，因为它们不仅为管理大规模作物生产提供了手段，还为集中知识转移、输入的供应和进入输出市场提供了平台。然而，许多管理大型方案的制度性模式和商业模式得到的结果却参差不齐，有些既没有实现财政效益，也没有实现需求响应性供水服务（World Bank, 2006; Molden, 2007）。因此，让用户通过用水户协会进行参与、提高水资源管理职能和成本回收的授权以及分阶段转移灌溉管理等问题已经进入许多国家的议事日程，目的是减轻政府的财政负担以及管理和维护资产的责任，从而通过授权给农民来提高效率。

在这种程度上，能否成功取决于方案内在的盈利能力和实际的可持续性，方案管理的能力建设、运作和维护，水土资源使用权利的保障，以及用水户协会培训/管理转移过程（包括交接后的支持）的周密管理。如果因规模和复杂程度阻碍了完整的农民管理，同时没有一个专业机构来替代，就需要在财政上实现自给自足。水务收费必

须足以支付实际运作和维护成本，而管理成本需要保持在最低水平。最重要的是，机构必须保持透明并且对用户负责—这通常只有在用户真正参与机构管理的前提下才能实现。将来的实施阶段需要在经过充分研究和咨询的基础上进行规划，并且要很好地适应当时的具体情况。有些情况下，政府选择继续由国家进行管理，但在联合国粮农组织（FAO）的《针对运河营运技术的绘图系统和服务计划》（MASSCOTE）的倡导下，采用了面向服务的新手段（见插文 5.4）。其他国家或地区也通过为农民组织分配经营和维护责任，或通过灌溉管理转移过程，逐步增加农民的参与力度。

插文 5.4：联合国粮农组织的“为运河营运技术提供绘图系统和服务”项目：
鼓励灌溉人员实现现代化



FAO 定义的灌溉现代化是一个技术和管理升级的过程（而不仅仅是恢复），目的是通过更好的供水服务来提高资源利用的生产力。MASSCOTE 计划（Mapping System and Services for Canal Operation Techniques; FAO, 2007e）是通过分析和评估灌溉系统的不同组成部分来制定现代化规划的方法。该计划包括一套物理、技术、制度和管理上的创新方法，以提高供水服务以及操作和维护的成本效益。

该计划已介绍给大型灌溉系统中的工程师和管理人员，以推广面向服务的管理理念，帮助他们制定专属的系统现代化计划。举例来说，自 MASSCOTE 计划于 2006 年引入印度卡纳塔克邦以来，工作人员已经将他们的工作重点从面向供给转向了面向服务，并改进了他们设定投资规划目标的方式。南亚和中亚、中东和北非的其他国家或地区最近也引入了这种方法。

配图：R.Wahaj。

增加私营机构或用户参与管理指出了进一步的前进方向。这些通常被称为公私合作制（PPP），需要在农民和政府之间寻找一个可行的“第三方”。其可以是一个公共实体，例如经过重组或者财政自主的政府机构。也可以是一个私营机构，例如承包公司或者变身为私营企业或农民公司的用水户协会。这种公私合作制过去 20 年已经出现在水和卫生部门，结果喜忧参半，而且在灌溉部门并不普遍。比如说，公私合作制的一部分可能涉及将大型灌溉渠道系统的管理拆分成水库、干渠和流通网络，与电力部门采取的改革方式类似。公私合作制可能对筹集资金、落实投资计划、改进供水服务等非常有用。摩洛哥（Guerdane）和埃及（West Delta）已经成功协商制定了公私合作制灌溉方案。中国已经尝试使用私人承包商并取得了一些成功（见插文 5.5）。斯里兰卡也尝试成立了由农民管理的灌溉公司。马里、法国和新西兰的经验也证明，私营机构能够有效地管理灌溉系统并收取水费，即使不存在正规的用水户协会。

制定国家投资框架

将实施办法发展成能够调动和维持水土资源管理中的公共和私人投资的国家计划，还需要付出更多努力并作出制度上的承诺。例如，要想取得成效，可能需要对国家层面上的灌溉战略进行一系列的技术和管理升级，确保其能够在供水服务中

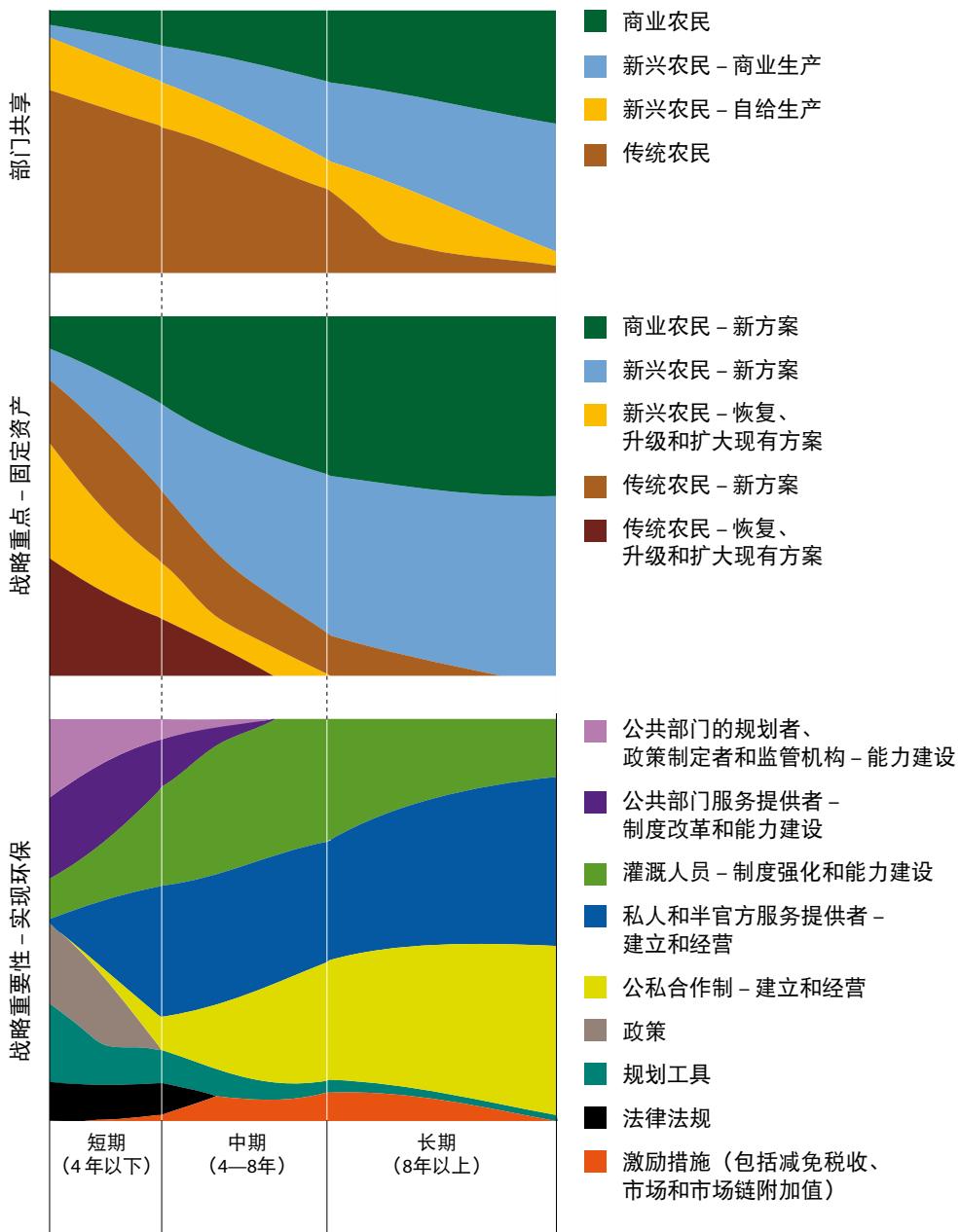
插文 5.5：私营机构参与灌溉管理的范围

责任转移给用户也有其局限性，而公私合作制（PPP）可能是带来高效的管理技能和新的资金，减轻政府的财政和行政负担的方法之一。供水部门的经验表明，在某些情况下，私营机构可以帮助筹集资金、落实投资计划并提高提供服务的效果。在公私合作制下，管理职能通常仍由政府承担，但有些范围会进行外包。经营、管理和维护已经证明是最容易外包的职能。在投资方面，私营机构面临的风险相对较高，基本上都不愿意承担风险和投资资本，除非政府承担了大部分风险。虽然工作效率和服务交付有了一定的改进，但通常费用也会随之增加，从而产生了需要裁员的社会问题。总之，供水部门的经验表明，PPP 虽然不能完全减轻政府的投资负担，但有利于确立财政自主原则，提高专业水平。

来源：FAO 2007a; World Bank, 2007b。

通过更高的可靠性、灵活性和公平性来响应高值农业的需求。需要对公共资源的分配和促进私人投资方面的决策进行规划和监控。投资框架可以作为一个工具对公共和私人资源进行规划，从而根据国家发展目标对灌溉分部门进行重组，以及对投资进行跟踪。通过这种方式，可以对任何国家的灌溉投资进行全面的监测与评估。图 5-1 说明了如何将这种框架的概念性战略模型应用于国家灌溉战略。最后，利用

图 5-1：构建灌溉投资框架的国家战略范例



来源：粮农组织通用投资框架，水土资源司的内部报告。

监测与评估可以跟踪进展情况，对结果和影响作出技术和经济评估，然后利用评估结果来改进和扩大投资计划。在这种投资计划内，可以对个别计划作出评价并“定为标准”。

江河流域机构的作用

将来，跨江河流域经济发展强度和相互依存程度以及对水土资源的竞争力度预计会促使各方回归到一体化上来。然而，尽管水土资源在职能上进行了系统整合，但现代法律和制度往往将土地资源和水资源分开处理。即使是原则上致力于综合资源管理的流域机构，主要还是处理单一资源，而不是对土地资源和水资源进行综合管理。到目前为止，江河流域管理对土地利用和土地利用规划产生的直接影响甚微，只不过对非点源污染的整治作出了贡献，或者限制了农业用水。流域管理很大程度上局限于河流功能，如水电、导航和鱼类资源。

目前，江河流域管理在制度上的趋势不是受到“水资源开发”推动，就是受到“生态系统方法”推动。例如，在中国和印度，主要的水资源转让项目已经在水资源开发规划框架的设想之中，而欧盟《水框架指令》和墨累-达令河流域规划则遵循了生态系统保护方法。在此期间，为了响应国家和跨境层面上迫切的发展需要，一系列的解决方案已经浮出水面，并在不同程度上关注了经济和环境问题。

不管发展或环境问题的议程是否对跨流域水土资源的利用具有真正综合的效果，规划和谈判工作都不能只考虑河流沿岸的河道内用水问题。江河流域审计是一个切入点。这些审计从社会、经济和环境方面对整个流域的水土资源利用情况进行基本的说明。此阶段之后，可以从可行的发展和环境成果方面对该流域的发展愿景进行设想。这需要与流域用户进行广泛磋商，从社会、经济和环保效果方面制定可衡量的目标。

江河流域机构目前可以使用的政策工具范围包括：① 保持健康的生态和鱼类种群的法定最低环境流量要求；② 作为授予用水（最常见的地表水和地下水抽取和废水处理）许可证前提条件的环境影响评估（EIA）的要求；③ 申报和监督储备和保

护区（例如湿地），以维护生物多样性，保护水土资源质量；④ 保护水域（例如，通过水域管理项目或其他形式的环境服务付费）的协商和监督措施。

知识的作用

研究和发展日程

大多数研究必须适应现实情况。例如，在雨养农业中，扩大保护性农业技术而产生的积极环境和土壤保墒效益取决于对降雨事件迅速作出反应的机械化能力。虽然方法众所周知，但必须根据具体的土地、水资源和社会经济情况加以调整。如果实行了技术含量低的投机性径流农业（这种农业生产方式缺乏对整个种植期内的整体用水控制），则必须制定出风险管理方法，特别是在更不稳定的降雨状况下。

可持续集约化不仅仅在于改善水土资源管理。提前播种、肥力管理、杂草控制和使用优良品种等农业做法也发挥了关键作用（Wani *et al.*, 2009）。面对气候变化，要稳定现有雨养系统的产量，需要更好地分析气候对农业的影响（降雨方式以及因社会经济弱点造成的土壤水分不足），不仅是为了预测粮食产量的波动情况，还有利于建立投入和服务结构。

在灌溉系统中，以知识为基础的精确灌溉为农民提供了可靠、灵活的水应用，将继续形成集约化的重要平台。将来，加肥灌溉技术、调亏灌溉以及经过处理的废水回收利用等因素，特别是对果园作物（Winpenny *et al.*, 2010），可能会成为更广泛的应用。所有的技术预计都能更好地集成到按需供水、及时供水的灌溉系统中。研发工作需要对这些技术加以调整，以适应当地的耕作方式。

对于大型灌溉计划，由于投资规模和成本方面的原因，为实现现代化而采取的措施也将需要政府干预。但在许多情况下，研发最好由私营机构进行。例如，在发展中国家，低水头滴灌袋和加压底土滴灌园艺做法已经得到推广。此外，价格低

廉的农用塑料压模制品和塑料膜的供应量也将得到扩大。但是，大规模采用替代品（如太阳能技术）或防污技术（塑料）需要通过政府监管措施加以引导，有效确保合规性。

农业系统研究对制定集约化战略也是必不可少的。如果要借助增强土壤水分存储来稳定雨养生产，需要明确这一目标得以实现的物理和社会经济情况。还需要填补知识空白，特别是在经济和金融方面，而且要对水土资源的退化情况以及可持续管理措施的积极影响进行监测与评估。

传输信息

水土资源管理的可持续集约化需要引导众多农民改进他们的耕作系统，并采用提高水土资源生产率的方法，这些方法要符合农民们的土壤、供水、劳动力、投入和市场接入以及收入目标。因此，集约化措施必须在技术和经济方面是可以承受并且是可行的，还要确保农民的劳动力和资源投资能够获得经济回报。有足够的证据证明自上而下的技术驱动方法是不可持续的。因此，将集约化措施与农民的财力和目标对接需要有一个“需求驱动”的方法，以解除由农民自己确定的限制条件。

为农民输送信息和配套技术的现有扩展系统的能力往往是有限的。因具体地点而异的行为变化最好通过培训方式来提供（例如，通过农民田间学校，增强农民的决策能力，以适应水土资源管理状况的变化）。需要制定灵活的课程，专门解决与可持续、环境友好的水土资源管理有关的问题，以提高产量。可能的情况下，还要结合本土知识和传统做法。农民问题通常应从高于个人的层面上进行解决，因为水土资源管理一般都需要合作。

虽然在技术和方法方面存在大量的信息，但各个阶层在分享经验方面都做得不够，包括国家之间或地区之间。现有知识库通常都没有得到广泛普及，而且在行业或制度上也可能存在偏见。知识并不总是便于用户获取，而且很少能够直接由土地使用者访问。系统很大程度上也是“被动的”，很少有机会得到定期更新。因此，要创造一个有利的环境，关键是要开发网络、论坛和媒体，以交流和传播知识，发现和填补知识空白。

强化国际合作

资源统计及使用情况监测

随着可持续水土资源管理面临的挑战日益加剧，管理者和使用者需要掌握准确及时的数据来监测水土资源的变化情况。目前已经采用了许多新技术（特别是遥感技术）来测绘和监测各种参数。一些国际性计划正在开发资源统计和监测工具。这些空间技术改善水土资源管理的潜力是无比巨大的。面临的挑战之一是要确保所有人都能利用这些数据，有一些计划（如联合国环境规划署（UNEP）/FAO数字化世界地图和FAO的空间网络）已经开发出空间数据基础设施和空间标准，用以加强平台间的数据交换。

新的合作关系正在针对管理目的搜集和解读数据（表 5-2）。全球对地观测综合系统（GEOSS）采取的措施（见插文 5.6）包括扶持亚洲和非洲撒哈拉以南地区水土资源管理决策的项目，其中包括森林碳追踪。“千年生态系统评估”是一个合作项

插文 5.6：全球对地观测综合系统（GEOSS）

荒漠化、生物多样性丧失以及气候变化带来的全球性挑战迫切需要一个综合系统，用以监测环境变化并为采取进一步的措施提供所需的信息，以实现更具可持续性的自然资源管理。地球观测组织（GEO）是政府和国际组织在 2005 年自愿成立的一个合作组织，旨在建立一个全球对地观测综合系统（GEOSS），用以生成、传播和管理来自大量观测系统（海洋航标、水文和气象站以及卫星）的地球观测数据，并协助进行各个领域的数据分析，其中包括缓解灾难风险、适应气候变化、综合水资源管理、生物多样性保护、农林业可持续发展、公共卫生以及天气监测等。

2008 年，GEO与FAO、欧洲航天局（ESA）以及地球观测卫星委员会（CEOS）合作，启动了森林碳追踪任务（FCT）。FCT的目标是开发一个根据卫星、飞机及森林实地测量数据进行森林观测及碳监测、报告和验证的系统，以此来支持那些希望监测其森林状况的国家，并建立一个碳核算系统。

来源：GEO, 2010。

表 5-2：致力于提供、整合和分享数据的国际项目

项目	与水土资源相关的目标	网址
联合国粮农组织水与农业全球信息系统	水资源、水利用和农用水管理的全球信息系统，重点针对非洲、亚洲、拉丁美洲和加勒比海地区	www.fao.org/nr/aquastat
联合国粮农组织水土资源数字媒体系列	提供大量有关水土问题的数据和教育资源	www.fao.org/landandwater/lwdms.stm
联合国粮农组织统计数据库	全球最大的农业数据资源，拥有超过 100 个时间数列	faostat.fao.org
空间网络	FAO（联合国粮农组织）的空间信息交换中心是一个标准化的分散目录，为访问地理相关的数据、制图产品及其元数据提供多种渠道	www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home
全球对地观测综合系统	地球空间数据网络	www.earthobservations.org
全球土壤勘测联盟	进行土壤分析以制定土地资源管理方法	www.globalsoilmap.net
全球土壤伙伴计划（讨论中）	整合全球土壤数据库	www.fao.org/nr/water/news/soil-db.html www.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/index.html
全球陆地观测系统	改进自然资源地球观测的跨机构协调机制	www.glcn.org
干旱区土地退化评估	评估干旱区土地退化情况	www.fao.org/nr/lada/
联合国环境规划署/联合国粮农组织数字化世界地图	提供有关土地覆盖率和人口密度的信息	www.fao.org/docrep/009/a0310e/A0310E09.htm
联合国水事组织	促进所有涉及淡水管理的联合国机构和外部合作伙伴之间的信息共享和知识提供	www.unwater.org/flashindex.html
世界水土保持技术与方法纵览	传播可持续水土管理（SLM）方法相关知识的全球网络	www.fao.org/ag/agL/aglI/wocat/default.stm

来源：Nkonya et al., 2010。

目，用以追踪人类活动对生态系统服务的影响。除了其对教育的冲击和对科研与政策的影响外，合作过程本身已经让人们对人类与自然界之间的关系有了更深层次的理解。

虽然取得了一些进展，但效果仍然很片面。重点项目的资金日渐减少，而确保数据协调性、可访问性以及数据共享和使用的措施仍需进一步加强。在气候和水文方面，全球水文数据和观测网络仍不能满足需求，许多国家和地区能利用的数据非常有限。此外，还需进一步整合所生成的数据并将其进行更广泛的传播。除了遥感技术的潜力外，数据仍未得到足够的开发，数据匮乏已成为制约合作和投资的关键因素。另外，还需进一步努力将数据转换为有用的格式。为了便于知识共享，国际合作是必不可少的，而由决策者和管理者提供的有关信息应用方面的教育和培训也有待加强（WWAP, 2009）。

协调一致的政策和行动

由于各区域间存在着经济联系、共享的水土资源以及共同的开发挑战等多种共同的议题，促使了水土资源方面的区域性合作。区域性措施有很多，主要集中在非洲撒哈拉以南地区，反映出该地区突出的资源高度退化问题对贫困产生的影响（表 5-3）。

国际性水土资源联合管理和保护手段

历届国际会议已就有关管理和保护水土资源等方面的问题达成了国际协议。包括联合国粮农组织、联合国环境规划署和世界银行在内的几个联合国机构对其实施情况共同承担责任。本节将讨论这些协议实施的进展情况。

在土地方面，《联合国防治荒漠化公约》（UNCCD）支持国家行动计划以及捐助者与各国之间的合作，以应对干旱地区水土资源退化的问题。该公约提高了人们的意识，也产生了一些政治力量，但要产生显著影响，还需获得资金支持和更明晰的指令。

全球环境机构（GEF）成立于 1991 年。其目标是促进国际合作，以防止全球环境退化并恢复已退化的自然资源。迄今为止，GEF 已拨款 88 亿美元，另外还有超过

表 5-3：个别地区的水土资源管理合作

区域合作	与水土资源管理相关的活动	来源
非洲的合作机构		
非洲农业综合发展项目（CAADP）	非洲农业综合发展项目（CAADP）的“第一支柱”是可持续的土地管理和可靠的水控制系统的面积扩大。其目标是农业生产率增长 6%，10% 的公共开支预算用于农业	www.africa-union.org/root/au/Documents/Treaties/treaties.htm
TerrAfrica	合作关系建立于 2005 年，旨在通过在非洲撒哈拉以南地区实行国家推动的可持续土地管理（SLM）来解决土地退化问题	www.terrafrica.org
非洲农用水伙伴组织（AgWA）	非洲农用水伙伴组织（AgWA）提倡并鼓励对非洲农用水管理的投资。五项重点工作是：宣传、调动资源、知识共享、捐助者的协调和能力发展。非洲农用水伙伴组织（AgWA）是一个协调框架，用于与非洲分区域合作伙伴的联系，如促进非洲东部与南部农用水管理（IMAWESA）、西非和中非灌溉及排水的区域性组织（ARID）和南部非洲区域灌溉协会（SARIA）	www.agwaterforafrica.org
非洲联盟（AU）	建立非洲化肥发展中心公约，非洲自然和自然资源保护公约	www.africa-union.org/root/au/Documents/Treaties/treaties.htm
南部非洲发展共同体	协同水资源管理措施	Giordano and Wolf (2002)
其他合作机构		
东南亚国家联盟（ASEAN）	通过保护区域环境和自然资源，建立可持续发展机制	ASEAN Ministerial Meeting on Environment 2009 www.aseansec.org/19601.htm
美洲国家组织（OAS）	建立公平有效的土地所有权制度，提高农业生产力	www1.umn.edu/humanrts/iachr/oascharter.html
欧盟	《跨界环境影响评价公约》（1991年），《跨界水道和国际湖泊保护和利用公约》（1992年），《江河流域综合管理水资源框架指令》（2000年）	Giordano and Wolf (2002)

源：本报告。

387 亿美元的联合融资，这些资金已投入到 2 400 多个项目中。GEF 还通过小额赠款计划直接向非政府组织和社区组织进行了一万多次小额捐款。迄今为止，GEF 已在可持续土地管理方面进行了 7.92 亿美元的投资，是这一领域全球最大的投资方（见插文 5.7）。目前存在的问题是 GEF 的各项重点领域之间的协同效应不足，以及从项目到方案实施过程中存在着各种制约因素。

插文 5.7：全球环境机构扶持可持续水土资源管理的实例

- 在中美洲的咖啡生产领域，GEF 正与农民合作，通过提高在树荫下栽种咖啡的产量来增加收入。这有助于保护生物多样性，减少对农药的依赖并吸收多余的碳。
- GEF 资助罗马尼亚恢复退化的湿地，取得的成绩是在多瑙河水流入黑海之前，从河水中移走了约 55 吨磷、1 200 吨氮以及 4 万吨泥沙。
- GEF 在湿热带地区、亚马孙流域、圭亚那地盾、高加索山脉和喜马拉雅山脉的各个项目通力合作，保护现存的大面积热带雨林，保护数百万物种的家园。
- 墨西哥南部和中美洲地区正在通过 GEF 支持的一个项目来帮助恢复中美洲生物走廊，该项目将自然保护与提高当地人民生活水平结合起来。
- 在 GEF 实施的一个项目中，巴西的技术人员正在设计一种生物质燃气涡轮机，靠制糖残渣和废物运行，这些残渣和废物包括采伐中产生的废物和甘蔗渣以及处理过程产生的残渣。新的涡轮机能够提供高效的清洁能源，同时减少废气排放量。

来源：GEF, 2011。

国际土地联盟是以一个“召集者”身份成立的组织，该组织将土地政策和实践方面的民间社会、政府和政府间的利益相关者召集到一起，其宣传使命就是让穷人能够获得更多的土地资源，特别是通过更安全的土地使用权的形式。

在水资源方面，1996 年成立了全球水伙伴组织（GWP），旨在促进水资源的综合管理以及水土资源的协调发展和管理。GWP 向政府提供有关管理手段方面的建议。1996 年还成立了世界水理事会（WWC），旨在提高人们的意识，树立实现可持续水资源管理的决心，最为人们所熟知的就是其旗舰会议：世界水资源论坛。

所有这些协议和组织所追求的就是，完成国际会议上通过的在广泛原则范围内制定的议题，它们对成员国就水土问题提高意识并采取行动方面作出了巨大贡献。在某些情况下，这些举措增强了机构实力和管理力度。例如，GWP 的伙伴成员们在提高水资源综合管理意识以及将水资源综合管理纳入国家法律、战略和实践等方面作出了巨大的贡献。所有举措都支持同一种方法，那就是在原则上将土地资源和水资源问题整合在一起。然而在实践中，采取的方法在很大程度上仍很片面。例如，GWP 主要针对水资源，国际法委员会（ILC）主要针对土地资源。针对可持续水土资源管理问题制定一个国际性公约也许有助于解决这些难题。

几个组织同时参与到同一个资源有限的领域，这便降低了对问题的关注度和影响力。而且这些措施取得的成功和存在的问题得不到足够的反馈，使得经验教训不能及时运用到新的方法中。我们需要的是一个常设论坛和信息交流平台，以便将最佳做法和经验教训汇集起来。

江河流域合作

虽然合作机制的缺失一直是制约许多跨界河实现最佳开发效果的因素，但近年来还是取得了相当大的进展，实现了不同程度的合作。江河流域开发和管理方面的合作通常始于技术合作（例如信息交流），随着时间的推移，可逐步实现规划、投资和利益共享方面的合作。合作的收益可能极为可观：据一项研究估计，“蓝色尼罗河”沿岸国家之间的合作可能使该河流每年的净收益增加 50 亿美元（Whittington *et al.*, 2005）。

《联合国国际水道非航使用法公约》规定了国际水体的公平使用原则、保护和养护义务、信息交换以及解决争端的办法。该公约尚未生效，因为没有得到足够的成员认可，但它提供了一套可供沿岸国家参考的原则和标准。

在一些流域，合作已经达成了正式条约并依法建立了江河流域组织，其中包括湄公河、塞内加尔河、沃尔特河和尼日尔河（Nkonya *et al.*, 2010）。湄公河流域委员会通过规划，减少洪水在三角洲的泛滥。在维多利亚湖流域委员会的合作框架下，维多利亚湖的水葫芦问题得以解决（Foster and Briceño-Garmendia, 2010）。然而经验表明，实现各国联合开发和管理可能还需要数十年的时间。举例来说，在非洲撒哈拉以南地区，自 20 世纪 60 年代发起的有关江河流域合作的 18 项措施中，只有 4 项进入依法建立江河流域委员会的阶段（Grey and Sadoff, 2006）。有一些方案则是专门解决跨界江河流域的水土管理和退化问题。全球环境机构的两个项目（西非的富塔贾隆项目和东非的卡盖拉河项目）以及乍得湖流域可持续发展计划（见插文 5.8）支持环境管理和监测，以改善水土资源管理、减少碳排放并保护生物多样性。

新的伙伴关系和机制

最近的一些措施与合作可能对可持续水土资源管理产生积极的影响。除了传统的发展伙伴关系外，民间社会、非政府组织（NGO）和私营部门以及私人基金会在促进可持续发展方面正在发挥着越来越重要的作用（见插文 5.9）。

插文 5.8：全球对乍得湖流域可持续水土资源管理的扶持情况

乍得湖流域可持续发展项目（PRODEBALT）于 2007 年设计，用于协助实施乍得湖流域委员会（LCBC）的战略行动计划和 2025 年远景规划。其目的是通过对乍得湖流域进行综合、明智的管理，恢复和保护该流域生态系统的生产能力，使生产系统适应气候变化，从而减少湖周边居民的贫困问题。该项目始于 2009 年，持续时间为 6 年。该项目的成本约为 9 700 万美元，由多家机构联合投资，其中一半来自非洲发展银行，其余的资金则来自包括德国国际合作机构（GIZ）、BGR、欧盟、世界银行和伊斯兰发展银行等的其他捐助者。

乍得湖流域可持续发展项目（PRODEBALT）开展的具体活动包括：

1. 保护乍得湖及其流域：土壤保护，牧场生态系统再生；控制水体中的侵害性水生植物，保护库里（Kouri）牛种，研究和规划流域中水库和供水点的优化管理。
2. 使生产系统适应气候变化：扩展压力观测网络，可持续地管理森林、牧场和渔业资源，建立本地发展基金，为社区基础设施提供资金。
3. 制度支持：提高利益相关者的技能；建设乍得湖流域委员会（LCBC）的机构能力，包括加强乍得湖流域天文台的建设；开展学习和研究，包括侵蚀和泥沙淤积控制总体规划的编制；协助完成将乌班吉水域转移到乍得湖项目的最终设计。

来源：AfDB, 2008。

在水土资源开发和管理中已出现了公私合作制。最近的例子包括摩洛哥的 Guerdane，其中一个国际财团获得了灌溉用水供应及分销网络的建设、联合融资、营运和管理的 30 年的特许经营权；在巴西的半干旱地区，政府投资在 20 万公顷的土地上进行大型灌溉项目，示范新的种植方法、技术和生产过程，并因此吸引了私人投资，从而进行另外 36 万公顷的开发。

插文 5.9：可持续水土资源管理的民间项目

公平贸易（Fairtrade）：除了溢价购买农民的产品外，公平贸易（Fairtrade）项目还在参与的社区建立了人力资本和社会资本，同时促进以长期可持续生产为重点的良好农场管理实践。今天，58个发展中国家的500多万人已经受益于公平贸易（Fairtrade）。一个很好的例子是泰国的绿网合作项目，它是由一群生产者和消费者于1993年建立的。当时的本地农民一直苦于生产成本上升而农产品价格下降的状况。同时，泰国的消费者正逐渐意识到杀虫剂对他们的健康和环境的影响。绿网是泰国第一个（也是最大的）新鲜有机农产品的批发商。2002年，绿网通过了国际公平贸易标签组织（FLO）认证，现在它已经通过公平贸易（Fairtrade）将大米出口到瑞士、比利时、德国、法国、意大利、奥地利、荷兰和瑞典等国（Fairtrade, 2011）。

绿色/有机标签和认证：有机农业系统的产品标签和认证有许多实例。小农群体可以从特定商品的认证项目中受益（例如，通过成立合作社或参与农业合同协议）。涉及的产品包括咖啡、茶、可可、非木材林产品和棉花。

生态旅游：发展可持续生态旅游的关键是在当地居民之间进行利益共享的可持续生态系统管理。有效的生态系统对生态旅游的蓬勃发展至关重要，而生态旅游是在整个生态系统中激励可持续农业和林业发展的关键机制。

环保兴趣小组：很多人都在积极参与合作以促进可持续水土资源管理。他们不仅发挥了融资作用，还发挥了宣传作用，促使形成各种政策和方案，以应对气候变化带来的影响，增强生物多样性，提高水质和水量。例如，赞比亚农商联合企业技术援助中心就帮助赞比亚的小农群体投资可持续发展的灌溉商品蔬菜种植业，并与批发商联系出口事宜。现在，小农群体可以将种植灌溉的新鲜“有机”蔬菜供给欧洲市场。

基金会：许多私人基金会（如洛克菲勒基金会和福特基金会）都在扶持可持续的农业发展。比尔和梅林达·盖茨基金会侧重于具有高影响力的、可持续的解决方案的领域，包括农业发展领域。该基金会最近在可持续农业方面的拨款包括投资种植可将氮固定在土壤中的豆类，种植高粱和小米等高收益品种，以及研究能抵御干旱和洪水的作物。该基金会还投资扶持小型企业开展改善农用水管理方面的研究。

表 5-4：个别国家虚拟水交易

	农业部门国内 水资源使用总量 (千米 ³ /年)	进口农产品 节水量 (千米 ³ /年)	出口农产品 失水量 (千米 ³ /年)	农产品贸易 净节水量 (千米 ³ /年)	净节水量占国内 用水量的比例
中国	n.a.	79	23	56	0.08
墨西哥	94	83	18	65	0.69
摩洛哥	37	29	1.6	27	0.73
意大利	60	87	28	59	0.98
阿尔及利亚	23	46	0.5	45	1.96
日本	21	96	1.9	94	4.48

来源：Hoekstra, 2010。

全球化还增加了虚拟水交易的机会。虚拟水是指在商品生产或服务中使用的水。虚拟水的概念表明，一个运作良好的全球贸易体系将促使国家根据其自身的自然资源条件来出口或进口商品。水资源和/或土地资源贫乏的国家将是水资源丰富国家生产的农产品的净进口国。有人认为，这种体系将更有可能实现水土资源的优化利用。很多国家已经成为农产品的净进口国，因此进口大量的虚拟水。例如约旦，每年进口约 6 千米³ 的虚拟水，而只汲取 1 千米³ 的国内水资源（Hoekstra and Chapagain, 2007）。表 5-4 给出了国际虚拟水贸易带来的节水量。

有人认为，农产品贸易中虚拟水含量从水土资源相对富足的地区流向水土资源匮乏的地区有助于提高水土资源的利用率。事实上，要实现明显的“相对优势”是很难确定的（Wichelns, 2010），因为国家经济政策要评估多种生产力因素，而不只是水“含量”。在确定某种作物的相对优势时，劳动力或能源因素可能占据更大的比例。从这一方面讲，重要的是不要“过度吹嘘”水在农业中的重要性。水可能是至关重要的，但其他生产因素可能具有同等的重要性或主导性。

加强国际协作和投资

水土资源投资对于持续提高农业生产力和生产是必不可少的。在过去 5 年中，水土资源投资虽略有增加，但仍然低于既能加强生产又能最大限度减少对生态环境产生的负面影响所需要的水平。特别值得关注的问题是，对更脆弱的雨养系统的投

资水平很低，而在这些系统中，贫困和粮食危机却非常普遍，并且水土资源退化的风险非常高。

兴趣越来越高，但需求却没有得到满足

水土资源方面的国际合作在很多方面已享有较高的优先权。由于人们越来越关注气候变化、近期的粮食价格危机和相关的土地收购问题，因此倍加关注粮食安全、扶贫和环境保护等问题。由于人们转变了观念，考虑发展新的“绿色经济”的可能性（见插文 5.10），这也使人们更有兴趣把可持续水土资源管理作为一种核心的发展方式。然而，尽管有这些积极的趋势，但相对于遏制水土资源状况的消极趋势以及在生态系统中可持续地开发更高的生产力所需的水平来说，投资水平仍然很低。

关注可持续水土资源管理的实例

发展农业是扶贫的关键，强劲的农业增长已成为成功扶贫国家的共同特征。在帮助最贫困人口方面，农业 GDP 增长的效率是非农业 GDP 增长的 4 倍（World Bank, 2007c）。提高农业生产力增加了农民的收入，产生了农业就业，降低了粮食

插文 5.10：打造绿色农业，开创绿色经济

面对重重危机，许多有关如何改革全球商业模式的问题已经频繁出现。一种观念是将价值进行确认并分配给自然资本的低碳“绿色经济”，这将有助于减缓气候变化并适应其影响，扭转目前生态系统中的消极趋势（如水资源枯竭、污染、土地退化、社会和文化价值损失、渔业崩溃）。绿色农业经济将把旧的“绿色革命”（更适宜的作物品种和畜禽品种）中的最佳元素纳入更具生态友好性的水土资源管理之中，采取生态系统/文化景观的方法来应对全球环境威胁、土地退化、生物多样性的丧失，特别是气候变化。这种绿色农业已成为“里约 +20”方案所提出的一个重要方向。

很多国家准备应对最近金融危机所采取的财政刺激措施包含用于绿色项目的资金，其中很多关系到能源效率和低碳技术，河流恢复和水资源管理（World Bank, 2009a; Robins *et al.*, 2009）。这一绿色刺激计划表明，经济下滑已被当做一个投资绿色经济的机遇（即通过投资经济体制改革来恢复增长）。它还表明，绿色经济需要大量初期公共投资和法规，同时也需要私营部门随时提供新的技术和市场。

来源：*Salman et al., 2010.*

价格，使当地非农业经济中的收入和就业倍增，所有这些都减少了贫困，因为穷人通常将 2/3 的收入用于购买粮食。这种生产力的增长将需要增加农业投资，尤其是在水土资源开发方面。

绿色经济以及既能提高生产力又能维护生态系统服务的双赢方法成为人们关注的新焦点，这有力地证明了各方对可持续水土资源管理的重视。插文 5.11 概括了可持续水土资源管理对多个发展目标作出的贡献。然而，这些领域的投资却日渐减少，或者说，充其量是停滞不前。对农业水土资源投资的下降主要是由于与其他行业中可替代的投资相比，农业水土资源投资的回报率有所下降，但近期粮食价格的飙升和粮食安全形势的恶化显示出这种短视战略的局限性。此外，投资农业的资本回报率远比不上投资工业和城市服务的资本回报率这一事实，并没有反映出投资农村除了对粮食安全的直接影响外所带来的成倍效益和社会效益。因此，只有将健康的农业部门与越来越多的非农经济以及有效安全网和社会保护方案相结合，才足以应对全球经济衰退，消除粮食危机和贫困现象。

一些成功实例和新的举措

尽管如此，还是有一些令人鼓舞的迹象。首先，一项有利于提高缺粮发展中国家小农生产的政策已经得到国际上和各国的广泛接受。在 2008 年八国集团拉奎拉峰会上作出的全球粮食安全联合声明中，意大利强调有必要采取一项全面的战略聚焦小农群体。其次，许多国家在消除饥饿方面已经取得了相当大的进展。例如，在过去 5 年中，加纳、马拉维、莫桑比克、泰国、土耳其、乌干达和越南等国已经显著降低了本国营养不良人口的数量。8 个非洲国家已经完成了马普托宣言中声明的将政府预算的 10% 分配给农业的目标，尽管多数目标仍未完成 (Fan et al., 2009)。提高农业生产力和生产，促进粮食安全的基础已经奠定：方案、项目和计划已经制订，只等政治决策和财政资源到位便可实施。

第三，根据《援助实效问题巴黎宣言》和《阿克拉行动议程》提高援助实效并调整国家方案已经形成许多更具纲领性的融资手段，以支持国家政策和战略。

插文 5.11：实施可持续水土资源管理，实现远大发展目标

水土资源方面的合作本身并不是目的。它是一个实现更远大的发展目标—千年发展目标（MDG）的手段，包括总体粮食安全、扶贫、保护本地和全球生态系统服务等。水土资源投资适合从大范围的方案和基金中融资。

远大发展目标与可持续水土资源管理之间的主要联系包括：

- **农村扶贫：**农村扶贫直接取决于基于水土资源的活动的生产力和盈利能力，而所有这些都受到水土资源退化的威胁。
- **粮食安全：**国家层面的粮食安全在很大程度上取决于利用水土资源可持续地生产粮食，这需要可持续水土资源管理。另外，可持续水土资源管理可以减少对粮食净进口的依赖，从而保护重要的财力资源。
- **提供一系列民生产品，如木材、纤维和生物燃料：**水土资源退化降低了自然资源的生产力，不仅影响粮食生产，而且影响其他产品的生产，如纤维、建材、生物能源和非木材林产品。
- **减缓和适应气候变化：**不合理的水土资源管理加剧了温室气体的产生。更具可持续性的水土资源管理方式可以提高农业土壤固碳能力，减少温室气体排放量。通常还有助于适应气候变化，提高面对气候变化和极端事件的应变能力。

在此背景下，建立了一些新的融资机构，例如，“非洲化肥融资机制”或“全球农业和粮食安全计划”就是在 2008 年八国集团峰会后建立的。然而，针对范围狭窄的目标设立专项资金，其实效可能不如为国家综合发展计划提供资金以提供可替代的资源。

吸引固碳融资，实现水土资源战略

一项重要的创新是碳市场的发展。不过，尽管通过农业实现减排目的的潜力很大，但很多监管市场（如京都协议下的清洁发展机制以及欧盟排放交易计划）都不包括农业。所幸目前正在努力扭转这种局面。此外，根据减少发展中国家毁林和森林退化所致排放量的联合国合作方案（UN-REDD），新的举措正在讨论之中（见

- **保护生物多样性：**单一经营和不合理的水土资源管理趋势对生物多样性产生了负面影响。将水土资源利用与土地资源的潜力相匹配，从而产生不同的自然景观和产品以及适宜的土地使用制度，对于保护现存的生物多样性水平非常重要。
- **维护其他生态系统功能：**可持续水土资源管理还可以支持其他生态功能或服务，包括分解废物、授粉、确保土壤生物活性以保持养分和有机质循环，以及用生物的方法控制病虫害等。这些重要的调控作用和土壤形成过程只能通过适当的水土资源管理方式来保持。
- **自然灾害的预防/缓解：**可持续水土资源管理可以提高生态系统的适应能力，从而降低水灾、旱灾、冰雹或虫害等自然灾害的风险和影响。
- **生态系统健康：**总体而言，可持续水土资源管理不仅可以遏制生态系统退化，还可以积极改善某些服务，如生物量、土壤健康、蓄水和供水以及经济生产力。市容、旅游和文化景观遗产的价值也可以得到改善。
- **社会稳定：**农村地区的健康幸福和社会稳定直接关系到依靠自然资源维持生活的可能性，并因此关系到通过可持续水土资源管理来利用水土资源、保障使用权以及以最有利、最可持续的方式管理这些资源的能力等问题。

来源：Nkonya et al., 2010; Salman et al., 2010。

插文 5.12），允许对在所有土地，包括“农业、林业和其他用地”中使用固碳技术进行奖励。发展中国家正在实施自愿碳标准试点项目。一个全球性的农业减排项目调查确定了 50 个侧重于气候变化的农业项目，其中 22 个是专门为实现温室气体减排目标开发的。

然而，在发展中国家，无论是在设计方案还是在制定有效战略方面存在的问题都尚未完全解决。基本困难在于对农业减排战略的量化和监测，以及由此产生的信任度低、交易成本高和合格排放价格低等问题。发展中国家的问题既包括政策方面（对适应和减缓气候变化的投资缺乏公开承诺），也包括实施方面（产权薄弱、机构能力低）。为了克服这些障碍，有几个试点项目正在开发之中（见插文 5.13）。

插文 5.12：减少发展中国家毁林和森林退化所致排放量的联合国合作方案

《减少发展中国家毁林和森林退化所致排放量的联合国合作方案》（UN-REDD）旨在为存储在森林中的碳创建金融价值，从而为发展中国家提供奖励，鼓励他们减少林地排放、投资低碳可持续发展之路。《在发展中国家中减少毁林和森林退化所致排放量并提高和保持森林碳储量和森林可持续管理》（REDD+）不仅包括毁林和森林退化，还包括保护作用、森林的可持续管理和提高森林碳储量。UN-REDD 于 2008 年 9 月启动，是联合国粮农组织（FAO）、联合国开发计划署（UNDP）和联合国环境规划署（UNEP）之间的一次合作。该方案设立了一项多边捐助信托基金，以便捐助者集中资源并为方案开展的活动提供资金。《哥本哈根协议》认识到了 UN-REDD 的作用，并呼吁“立即”建立 REDD+ 机制。发达国家承诺提供近 300 亿美元的新增额外资源以支持进一步的减排行动，包括为 REDD+ 提供“大量资金”。

来源：UN-REDD, 2011。

插文 5.13：针对中国小农群体的实验性碳金融项目

FAO 目前正在与中国的同行合作，开发针对中国的可持续放牧项目，旨在利用碳金融提高高山放牧系统的应变能力。此外，该组织目前还在通过《农业减缓气候变化项目》（MICCA）开发了几个试点项目，支持小农群体在通过农业减缓气候变化并走向气候智能型农业实践方面的尝试。MICCA 注重有关温室气体（GHG）减排潜力方面知识的形成，以及在乡村和野外进行试验，以确定促进减排的技术如何能与农业实践相结合。

来源：FAO, 2010e。

另外还有一个自愿性碳交易市场，由希望抵消自己碳足迹的公司出资成立（见插文 5.14）。如果发展中国家的农业可以从碳市场中受益，那么这就有可能为国家和地方可持续水土资源管理战略带来可观的资金。早期的研究（Tennigkeit *et al.*, 2009）表明，通过改进管理技术而提高产量获得的收入远远超过碳信用获得的收入，因此碳信用在周密设计的水土资源方案中可能只起到补充或催化作用。

如果根据 UN-REDD 下的现有方案或未来可能采取的方案，可持续水土资源管理的投资不能获得补偿，那么有一种选择就是设立专项资金，通过制定具体规则

插文 5.14：自愿性碳交易市场

自愿性碳交易市场由一些出于企业的社会责任感，希望抵消自身“碳足迹”（即碳排放量）的公司出资成立，可以分为两类：芝加哥气候交易所（CCX）和“场外交易”市场。目前，正规市场（监管市场，如清洁发展机制和欧盟贸易计划）和自愿性碳交易市场在全球碳市场中所占的比例不到 2%（Capoor and Ambrosi, 2009），但这个数字正在不断增加。

CCX 是全球唯一的自愿总量控制和交易体系，而场外交易市场是不具约束力的补偿交易市场。CCX 是唯一一个在农业土壤项目中拥有相当大份额的市场。然而，2007–2008 年，该份额从 48% 下降到 15%。农业土壤项目份额的减少一方面归因于方案本身的增长，另一方面归因于对农业土壤协议的修订导致验证过程减缓（Hamilton et al., 2009）。

来源：Salman et al., 2010。

和要求，并结合根据本报告建议的方针，专门为支持可持续水土资源管理在政策、战略和农民层面上的实施而设计的方案，资助小农群体采取可持续的土地资源管理方式。

环境服务付费

环境服务付费机制已经引起了各国内外和国际投资者的兴趣并吸引到他们的投资。目前已经建立水域服务、生物多样性保护、跨界江河流域开发中的利益共享以及二氧化碳减排等体系（见插文 5.15）。

对未来的启示

只有采取的制度机制经证明适应发展规模和环境背景，而且使用者能够进行更全面（更多元化）的参与，实施更具前瞻性的水土资源管理政策，扭转退化趋势并保护未来资源的前景才可能是光明的。

可以通过将具有一定规模的政策性应对措施、创新的体制解决方案和更具包容性的（但更具战略性的）规划方案结合起来，满足人类对农业生产和环境服务的需求。但能否在保护或延长地球自然资源的使用寿命方面产生相当大的影响，是对这

插文 5.15：环境服务付费

近年来，为了解决可持续资源管理的成本由一方承担，而利益却由另一方获得的问题，已经建立了一些机制。在 PES 各方之间缔约的方式有几种。

水域服务 PES：PES：水域管理方案通常将投资用于江河流域上游贫困社区的可持续发展，理由是，将公共投资补贴用于这些地方主要是使下游地区受益，他们可以获得清洁水、进行有效的洪水控制并减少淤积等。

生物多样性 PES：为土地使用者提供财政激励措施以保护生物多样性。例如，哥斯达黎加在 1996 年实施了一项创新方案，根据该方案，山林和种植园所有者因其林地为全国和全球提供的环境服务而获得财政奖励并得到法律上的承认。早些年的 PES 计划表明，它的主要受惠对象是将林地用于休闲目的的大型农场主和农户。之后，为了促进小农群体和当地社区的参与，已经采取了多项措施。

跨界江河流域开发中的利益共享：这在很大程度上是以其他利益的形式补偿给承担了过多成本的国家或地区。例如，由于上游的抽取而造成的水损失可能通过水电利益的形式进行补偿。

碳交易市场的 PES：这一方式具有重要的潜力。例如，非洲的农业部门估计有 17% 的全球总减排潜力。这可能为非洲国家带来 48 亿美元的年价值流。然而，碳市场的实施机制还需要进一步完善，以便让贫困的土地使用者也能从中受益。

来源：Nkonya et al., 2010。

些干预措施的考验。在自然资源被滥用的地方，未来的国家制度更有可能受到环境议题的驱动。明确水土资源的价值并向资源使用者和投资者提供激励机制的议程现已完全制定（World Bank, 2009b）。

在水资源管理方面，“一滴水用于更多作物”（more crop per drop）的口号仍将适用，但是竞争性的水资源需求压力使得必须将这个口号改成“用更少的水和更小的环境影响种植更多的作物”（more crop with less drop and less environmental impact）。这意味着，可持续作物生产和集约化的水资源管理需要预见到更智能的精准农业。这将趋向于技术密集型和知识密集型。它还将要求从经济、社会和环境

的角度上说明农业用水情况，但只能在农业层面上利用农民自身的利益来改善环保成果。另外，还可对私营部门的利益（包括化肥和农业化学品供应）进行调控和激励，以支持他们采取更具可持续性的灌溉方案。所有这些事实都表明，政府的作用要从运作和维护灌溉计划转向智能调控，以促进采取行之有效的水资源管理技术与高知识含量的农业措施。

当前，可持续水土资源管理问题应该成为全球发展辩论的核心议题之一。当务之急是要在全球、区域和国家各个层面制定出一个综合性的共同愿景。这一愿景需要反映在战略和投资框架上，制定共同愿景的实施方案，确定切实可行的里程碑、人力和财力资源要求以及相关各方的职责。然后，才能在区域和国家层面上将该战略和框架转化为战略和投资方案。

在全球层面上，需要通过融资提高投资水平，这可能与碳信用有关。在农业层面，在江河流域、水域或灌溉方案层面以及在宏观层面都需要进行投资，可以通过政府对制度、知识和公共产品进行投资，也可以通过私人对研发和生产能力进行投资。而在实施方面，需要一个支持性环境和激励结构，还需要制度支持和强有力的监测与评估机制。

增加水土资源方面的国际合作，加强与私营部门合作伙伴、非政府组织（NGO）和国际基金会的合作空间是广阔的。在此背景下，需要为国际合作建立“从业规则”，以确保外国投资有利于东道国的利益，使小农群体和穷人能够利用随之增加的经济机会。



图片：取自联合国粮农组织媒体资源库



第六章 结论与主要政策推荐

本书讨论了作为农业之本的水土资源所面临的三大挑战：到 2050 年，将粮食产量提高近 70%；减少饥荒，改善最贫困人口的生活水平；最小化或减轻广泛生态系统中的水土资源退化。在前面的章节里，已经讨论过一系列的技术性和体制性解决方案。这些解决方案需要根据当地的农业系统和社会经济背景加以调整。改善规划并辅以灵活的激励措施，才能建立良好的投资框架，实现自然资本的预期价值。在此基础上，可在各个层面鼓励实行高效、公平、可持续的水土资源管理。

实现新的“绿色经济”的运动已经开始。政府、民间社会和私营部门正在加大努力寻找技术和方法，以提高生产力，同时保护自然资源和相关的生态系统。目前正在实施可更好实现可持续发展的一揽子农业方案，并已制定出了克服技术和社会经济制约的措施。

然而，尽管取得了这些进展，但仍有诸多障碍需要跨越。各种手段、会议和承诺激增消耗大量的时间和资源，却往往收获甚微。因此，各国及整个国际社会要作出政治承诺，以协同的方式解决问题，这是至关重要的。

实现更加可持续的集约化生产和生态管理，还需作出更多努力。政策、体制和实施战略将需要在国际、国家和地方各层面进行调整，以帮助各组织和农民掌握知识，并为其制定激励措施，提供所需的财政资源。有了这些支持，农民就能够持续提高生产力，在当地生态系统内权衡利弊，加强农业生产的整合，从而将不利影响控制在最低限度。在地方、国家和国际各个层面普及知识，实施策略，集中关注濒危水土资源系统，将最终在广大范围内实现社会经济增长，减少粮食不安全和由此带来的贫困问题。

保证主要水土资源系统实现可持续生产

许多主要的水土资源系统在全球范围都处于举足轻重的地位，在可持续性、生产力、解决贫困和粮食安全的能力等方面，都面临相当高的风险。本节总结如何在全球主要水土资源系统中采取相应措施，在可持续的生态框架内扩大生产，集中关注扶贫和粮食安全。

主要的濒危水土资源系统

虽然在许多水土资源系统中，仍有提高生产率、扩大种植面积的可能，但所有系统都面临着生产能力退化和丧失的风险。不同系统的具体情况各异。温带地区以外的雨养系统面临着荒漠化和土地退化的风险。在温带地区，生产还有相当大的扩展空间，但面临生态系统退化和污染等其他风险。在亚洲广袤的高产盆地，生产系统一般都高度发达，但存在水资源短缺和土地退化的问题。随着海平面上升，污染日益严重，三角洲地区的系统也将受到这些风险的影响；在许多地区，降雨可能会增加，但降雨模式多变，因此可能需要建设新的基础设施，以提高水资源的安全性和生产力。所有使用地下水的系统都面临含水层枯竭和退化的风险。

亟待采取行动的区域包括提供大量额外生产的区域（尤其是温带地区的灌溉系统和雨养生产系统）。此外，还需优先考虑贫穷和容易退化的地理区域，以及农业（包括畜牧业和林业）在减贫和粮食安全中起着主导作用的地区。在每个地区，特别容易出现退化的生产系统面临的问题也急需解决：例如，边缘山区的系统，由边缘牧场转变而来的雨养农业，或由森林转变而来的回报期短的商业性农业。

主要水土资源系统的可选方案

前面几章着重指出了在未来几十年，面对需求不断增长的挑战，世界上主要水土资源系统当前存在的问题以及未来面临的风险。本节概述了适用于这些系统的技术性和体制性可选方案，以控制这些系统的发展进程，提高生产率水平和产量，同时最大限度地减少负面影响（见表 6-1）。

表 6-1：促进水土资源管理的技术性和制度性应对措施

系统	通过改善水土资源管理提高生产力的技术性应对措施	支持可持续改善水土资源管理的体制性应对措施
雨养		
高地	<ul style="list-style-type: none"> • 水土保持 • 梯田 • 防洪 • 再造林 • 保护性农业 	<ul style="list-style-type: none"> • 水域的环境服务付费（PES） • 推广旅游业 • 有计划的人口外迁 • 提供基础服务和基础设施
半干旱热带	<ul style="list-style-type: none"> • 更好地融合农业与畜牧业 • 投资灌溉和集水设施 • 植物养分综合管理 • 针对半干旱地区进行植物育种 • 保护性农业 	<ul style="list-style-type: none"> • 增强土地使用权的安全性 • 在可能的情况下进行土地改革与整合 • 农作物保险 • 改善管理，投资基建（市场、道路） • 有计划的人口外迁 • 太阳能生产 • 农民田间学校
亚热带	<ul style="list-style-type: none"> • 适应气候变化 • 针对半干旱地区进行植物育种 • 改进水土保持 • 植物养分综合管理 • 保护性农业 	<ul style="list-style-type: none"> • 土地改革与整合 • 农作物保险 • 投资农村基建和服务 • 有计划的人口外迁
温带	<p>西欧：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 污染控制和缓解 • 保护性农业 • 植物养分和害虫综合管理 <p>其他区域：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 污染控制和缓解 • 植物养分和害虫综合管理 • 保护性农业 	<ul style="list-style-type: none"> • 扩张和集约化生产的参与式计划

需要根据所存在的问题和机遇对可选方案进行调整。对于土地，需要适度改变作物种类和土地用途，实行作物多样化，采取措施提高土壤质量，如通过土壤肥度管理和保护性农业等，从而提高农业系统的生产力、可持续性和适应能力。所有地区都需要普及农艺技术：实行最少量的耕作，在轮作中利用覆盖作物和固氮成分，对化肥和有机改良剂的使用进行控制，通过灌溉和排水等方式改善对土壤水分的管理，改用

系统	通过改善水土资源管理提高生产力的技术性应对措施	支持可持续改善水土资源管理的体制性应对措施
灌溉		
以水稻为基础（亚洲）	<ul style="list-style-type: none"> 改善储存 多样化（引进鱼类和蔬菜） 控制污染 	<ul style="list-style-type: none"> 环境服务付费（PES） 农民田间学校
（非洲）	<ul style="list-style-type: none"> 水稻集约化生产系统（SRI） 	<ul style="list-style-type: none"> 更好的激励机制、市场、投入渠道和改良品种 改善管理和基础设施 农民田间学校
江河流域系统	<ul style="list-style-type: none"> 灌溉系统的现代化（基础设施和管理），以改进供水服务，提高供水的灵活性和可靠性，支持多样化 制定并实施适应气候变化的计划 	<ul style="list-style-type: none"> 制定措施鼓励高效用水
基于含水层的系统	<ul style="list-style-type: none"> 提高水资源的生产率 	<ul style="list-style-type: none"> 对地下水的利用进行监管 更有效地分配水资源
其他		
三角洲和沿海地区	<ul style="list-style-type: none"> 适应气候变化的计划 防洪 污染控制 通过改进灌溉方式缓解砷污染 	<ul style="list-style-type: none"> 土地利用规划 控制地下水枯竭
城郊农业	<ul style="list-style-type: none"> 污染控制 	<ul style="list-style-type: none"> 保障水土资源的获得 将城郊农业更好地融入城市规划

优良品种，从而提高水资源的生产率。对于水资源，则需要采取一系列的供应措施，辅以需求管理措施，以调整存储容量，改善供应管理，降低地下水的枯竭率，促进更有效的联合运用，从而提高水资源的生产率。

就对贫困和粮食安全的影响而言，**高地区的雨养农业**尤其濒临危险。因此，需要通过保护水土资源、修筑梯田、采取防洪措施和植树等方式，减少水土流失和荒漠化的负面影响。这些地区是典型的贫困地区，因此需要外界提供支持，而且对这些地区进行投资会为下游带来好处。环境服务付费（PES）计划非常适合这些系统，而保护这些系统中的景观也将促进旅游业的发展。

通过更好地整合农业和畜牧业，可以提高半干旱地区的雨养系统的生产力；通过植物养分综合管理、选用优良品种、改善水的控制、采用补充灌溉或集水等方式，可以提高农业生产力。此外，需要制定体制性措施以改善土地使用权，在某些情况下，还需要进行土地改革和整合，结合研究、技术转让和投资农村基建项目，以帮助提高收入，减少人口外迁。

在**亚热带地区**，通过采取水土资源保护措施、植物营养综合管理以及使用适应性更强的新作物品种，可以发掘雨养系统的集约化潜力。所需的体制性支持措施包括土地改革和整合，以及投资农村基建项目。

在**温带地区**，一些地区的雨养系统还有进一步集约化和扩张的潜力，但需要认真规范和管理污染风险，并优先考虑集植物养分和害虫管理于一身的综合管理方法。体制性支持措施应包括研究、监管机制和有序扩大耕地面积的规划。

灌溉系统一般都面临较高的风险。在亚洲**以水稻为基础的系统**中，重点是改进储存，提高对水的控制，加强防洪，采用多样化的高价值作物和多功能系统（如水稻/鱼类），控制下游污染的影响。对于**非洲的灌溉系统**，关键是改善市场准入制度、政府监管和灌溉管理。

对于**跨江河流域系统**，实现基础设施和体制的现代化，可以改善供水服务，支持集约化和多样化。为推广高效用水，需要调整激励机制，还需要制定适应气候变化的规划。若能鼓励人们将用水需求控制在含水层补给的范围内，**地下水系统**可以进一步集约化。需要对濒危的**三角洲和沿海平原系统**予以高度重视，必须制定相关策略和投资计划，以适应气候变化，加强防洪。还需要优先考虑控制污染的技术性和体制性措施，以恢复退化的系统，防止出现进一步的影响。最后，**城郊农业**将需要制定废水再利用的规管架构。

可持续水土资源管理的政策与战略

濒危系统遍布各个区域乃至全球，但通过改善水土资源管理来修缮这些系统，则需要从各地区和国家层面做起，从而采用主权政策和投资。考虑到这些系统的整体目标，为了提供结构上的支持，进行更有效的管理，需要在国家层面采取哪些实际措施？

制定宏观政策

在国家层面，各级政府需要确保有利的环境，促进可持续、高效和公平的农业发展。这包括由贸易和价格政策、财政政策和预算分配、立法和水土资源管理体制计划以及生产性服务构成的框架。在理想状况下，这些政策框架通过共享分析、多方参与的透明程序制定，并产生高效、倾向于贫困群体、有利于保持生态系统可持续性的政策和体制。

一个关键的任务是鼓励多种协同效应，并确定集约化生产或扩大耕地面积的利弊，以及可持续生产系统和粮食安全、保护和可持续利用生物多样性、适应和减缓气候变化之间的协同作用。需要权衡的方面包括短期和长期利益、现有生态系统服务的生产和保护、粮食作物和生物燃料作物、商业性农业和小农农业、农业和城市及工业领域的资源分配、区域和全球利益。

制定激励框架

鼓励可持续管理的项目必须具备适当的技术、知识、资金和市场。最重要的是激励机制、投资支持或补贴需要在各个层面有所倾斜，以鼓励农民选择更促进可持续发展的方式。

支持性的激励机制是至关重要的，但需要符合用户的利益。在地方、国家和世界等不同层面，激励机制往往也各不相同，而公正、公平的成本和收益分配是可持续水土资源管理的关键。对于需要承担成本但不会获得利益的农民，则需要为其制

定灵活的补贴机制，例如通过签订环境服务付费（PES）合同的方式。若由农民投资，但获利有所滞后，则可能也需要建立激励机制，对农民进行相应的补偿。需要谨慎行事，以确保所有补贴针对政策目标、达到环保目的，并有利于贫困群体。

确保水土资源利用的渠道畅通

如果农民有保障获得稳定的水土资源，他们就会采用新措施和新技术。因此，最关键的是要建立合理的土地使用权和用水权系统，让农民能够从种植粮食作物和经济作物的相对优势中获利，在实行初期，还需要进行分析和调整。促进适合特定农业系统的农村信贷和金融也是一个必要的先决条件，但需要以年度生产信贷以及较长远的水土资源投资资金为基础。这些措施必须通过传播技术和良好做法的方式予以补充，因此需要足够多的公共投资。

可持续水土管理的国家战略

如果已具备必要的政策环境，地方和国家层面的可持续水土资源管理议程就需要转化成战略和投资计划。这就需要有健全的成本效益分析进行支持，以确定战略投资，从而推广水土资源最佳管理方法。插文 6.1 总结了编制可持续水土资源管理的国家战略所涉及的步骤。此类规划必须在当地民众的充分参与下完成。

体制性支持

可持续的水土资源管理需要强有力的体制支持及持续的预算分配，从公众利益的角度对自然资源的利用进行规管。面对不断变化的需求，体制需要具备相应的适应能力以及获取关键知识资源的渠道。为了支持可持续的水土资源管理，可能需要在国家层面上进行体制改革，包括：

- 水土资源体制的改革，以支持更公平的使用权和责任制管理。保障稳定的水土资源利用，制定责任制管理的激励机制，将不产生污染作为一项义务，这些因素非常关键。
- 在项目或计划层面，制定和加强水土资源综合管理体制，包括灌溉体系和基础设施的现代化，用户充分参与制定决策和融资方案。
- 在设有区域开发机构或者江河流域管理机构的地区，应采取方案，将跨区域或跨流域的水土资源管理紧密结合起来。可能需要制订水域管理计划，且这些计

诊断。在制定国家战略时，需要将深入的、参与性的诊断和形势分析作为参考点。

实施战略。战略需详细阐明如何实现可持续水土资源管理的共同愿景，包括有形的里程碑、人力和财政资源的要求，以及各方（公共机构、社区组织、非政府组织和私营部门）的详细角色和责任。

为实施提供强有力且适应性强的体制支持。可持续水土资源管理的合作需要强有力的体制支持和持续的预算支持，强大的监测、评估和冲突解决机制，以及其他问责机制。良好的水土资源数据库和知识共享机制是必不可少的。由于需求不断变化，体制还需要具有很强的适应能力。

规模化—投资框架的使用。投资框架需要通过完善的成本效益分析提供支持，以确定哪些战略投资能够迅速推广最可持续的水土资源管理办法。水土资源管理的投资框架可用于确定受益者和结构支持。

传播知识。知识的共享和传播是可持续水土资源管理战略的关键因素。必须充分利用当地的知识，并结合各区域和国际层面的研究和交流。如果对全球信息编录加以调整，使其适应当地的情况，符合国家的目标和政策，并与当地民众合作，定能发挥重要的作用。

监测与评估。实施战略和投资框架必须同时具有一个简单、全面、透明的监测与评估（M&E）框架，重点在于监测和评估战略的效果和影响。

划需要长期实施，并进行良好的监测和评估，以衡量在上下游复杂的相互作用下发生的变化。

- 落实框架条件，以保证竞争性的投入和产出市场的高效运作。
- 研究、扩展和推广方案，如农民田间学校，与当地农民团体、非政府组织（NGO）和私营部门建立合作关系。

同样重要的是，社会和农民组织可以与当地政府、技术机构、非政府组织（NGO）和私营部门通过建立合作伙伴关系的方法，对当地资源进行可持续管理。

规模化 — 为最需要的地方提供投资

在国家层面，需要结合公共资金和私有资金，并通过战略性国际财政支持予以加强。最近在一些非洲国家，农业获得了更多的资源配置，这一现象令人鼓舞，但只有增加公共资源的战略分配，并制定机制，使私有部门参与融资，才能与政策层面对可持续水土资源管理的承诺相匹配。第五章中阐述的投资框架方法可用于规划公共和私人金融资源，以使农业具有优良的结构，从而符合国家发展目标，适应不断变化的生产和环境服务的需求。

在一些国家，可以确定三个投资领域。在国家层面，政府投资可以面向当地市场，使其能够有效地满足当地需求，促进区域市场的发展。这将需要投资于公共建设，如道路和储水设施，但私人投资也将发挥很大的作用。此外，政府还需要投资于规范和促进可持续水土资源管理的机构：在特定背景下，对优良做法进行研究和开发，以实现作物、畜牧和水产系统的可持续集约化；养分综合管理（INM）和害虫综合管理（IPM）；促进可持续集约化的激励机制和监管体系；土地利用规划和水资源管理，包括在适当的情况下进行跨界水资源合作协议谈判。

在流域或灌溉计划层面，综合性规划方法将催生一系列的水土资源投资项目。对于灌溉计划，需要重点关注基础设施和体制安排的现代化，以提高各个项目的生产力，减少资源退化和外部不良影响。为了鼓励地方性管理，减轻有限公共资金面临的压力，需要优先考虑用水户协会（WUA）的发展、运营成本的回收和渐进式灌溉管理的转移。对提高用水效率的技术和畜牧业进行投资非常重要，而这些体制性措施也同样重要，但如果二者结合，在特定的背景下实施，更容易获得成功。

在地方层面，支持性知识、激励机制和资源（包括信贷）需要落实到位，帮助农民和牧民采取可持续管理的做法，但最终决定权属于土地使用者。任何方案都需

要进行调整，以适应不同的环境和社会经济背景，还必须对方案的采用和修改进行监测，并在需要的时候进行调整。

知识的应用

将原则和资金转化为行动，需要进行知识开发和转移。可持续水土资源管理具备丰富的技术和方法，包括当地的知识，但在各个层面的利益相关者之间、各国或各区域之间，经验共享仍然不足。因此，创造有利的环境，关键在于通过更好的协同作用，加强现有的网络和媒体功能，以促进知识的交流和传播，并发现和填补知识空白。

在确定战略时，对农业系统进行研究至关重要，不仅要考虑生产技术和数据，还要考虑社会经济因素，如农场规模、家庭规模、粮食安全，以及获得资本和进入市场的渠道。如果增强土壤水分的存储能够稳定雨养系统的生产，则需要很好地鉴别实现这一目标的物理和社会经济环境。

监测与评估

体制改革和投资的渐进影响需要仔细地监测和评估。可以将其作为投资框架的一部分。用来衡量的指标将来源于对水土资源供需状况的调查，可能包括：土地利用的状况和变化、土地覆盖和土地退化、水土资源健康状况变化、地上及地下生物多样性和碳储量的指标、贫困人口获得水土资源的渠道的变化、农业生产力的变化、农村贫困状况的变化，以及可持续水土资源管理办法的采用率。全球环境机构（GEF）和《联合国防治荒漠化公约》（UNCCD）已经开发出几套标准指标，可经过调整用于衡量国家层面的项目。

对水土资源管理的国际协作进行改革

关于原则和方法的协议

迄今为止，关于可持续水土资源管理，国际层面上尚未形成一致认可的框架。然而，一些全球项目开发的目标和战略为原则和办法的形成奠定了基础，从而使可持续水土资源管理的重大举措之间可以保持一致。

这样的协议将包括：在系统濒危的情况下，确定要通过可持续水土资源管理解决的共同的优先事项、大的发展目标和战略。这可能包括加强粮食安全、改善农村生活水平、可持续地保护和改善生态系统服务、固碳、减少农业温室气体排放量。这样，在国家和地方各层面的体制、政策和方案中，国际层面一致认可的共同愿景就能够得到体现。

要将共同愿景转化为行动，除了签订协议之外，还需要制定多部门战略和投资框架，说明如何才能使可持续水土资源管理的共同愿景具有可操作性，并设定有形的里程碑、人力和财政资源需求，以及各方（公共机构、国际组织、非政府组织、社区组织和私营部门）的详细角色和责任。

国际合作新的切入点

最近国际性合作的可能性不断增加，得益于一些因素的推动，包括对气候变化的关注、最近的粮食价格危机和世界经济衰退，以及向更环保型经济迈进的全球趋势。所有这些因素提高了人们对合作必要性的认识，突出了合作机制的益处。在水土资源的许多领域，当前就有很多国际合作的机遇，而且更多机遇正在不断出现。其中一些可能代表着合作的切入点，以后的合作会不断增加，而且可持续水土管理办法的采用和实施也将获得更多支持（见插文 6.2）。

融资

很显然，可持续水土资源管理需要相当多的财政资源，但最重要的将是投资质量。如果投资水平提高，则需要采用效率最高的机制进行融资，可以通过现有的基金机构，如全球环境机构（GEF）或国际开发协会（IDA），也可通过私营机构和市场资源。融资必须与《巴黎有效援助宣言》和非洲《阿克拉行动议程》的原则相一致。可能需要对划拨专项基金，支持小农实行可持续水土管理的可能性进行评估，评估背景可能为全球气候变化谈判与适应气候变化或固碳融资。为农民提供激励机制（特别是使小农和贫穷农民采用可持续管理做法）需纳入融资安排。

支持可持续水土资源管理的方案需要进行规划并配备激励措施和资金，以在地方进行推广，鼓励贫困农民采纳，提倡全球环保行为，如植树造林和碳捕获，以减

插文 6.2：加强水土资源协作的新途径

许多当前和新兴的水土资源合作活动是未来扩大合作规模的切入点。包括：

- 私营部门的合作机会，如公平贸易、绿色和有机标签和认证、生态旅游。
- 与国际基金会合作，如福特、洛克菲勒和盖茨基金会。
- 水域服务的环境服务付费（PES），生物多样性保护，跨界江河流域的惠益分享，减少二氧化碳排放。
- 对气候变化的关注：由此动员起来的技术、体制和财政支持，可能在全球、地区和国家层面都具备，对实现水土资源领域的议程将会产生广泛的正面影响（例如，以碳信用的形式）。
- 为新的“绿色经济”融资：全球性的思考正朝着支持“绿色经济”的方法前进，受到了联合国可持续发展大会（里约+20）计划的推动。因此，绿色经济的基本原理将促进可持续水土资源管理获得一系列的资金来源，还可能带动建立新的设施，推动水土资源管理的改善。
- 在发展中国家，外国直接投资（FDI）为农业带来的风险和机遇并存。国际合作存在建立“参与规则”的空间，确保外国投资有利于东道国，并且小农和贫困农民会因此获得更多的经济机会。通过国际法和政府政策合作，并让民间社会、媒体和当地社区广泛参与，将有助于确保达到双赢的结果。

少对环境的负面影响，如温室气体（GHG）排放。采用环境服务付费（PES）的概念，将有助于平衡倾向于生态治理的激励措施，并可促使农民采纳，否则，他们将没有能力或不愿意采取可持续管理的办法。

外国直接投资发挥着重要的作用，且在过去 10 年中快速增长，因此，需要在了解这些知识的前提下建立外资参与规则，以确保外国投资能使东道国和土地使用者获益。

知识

实现水土资源的国际合作的关键要素之一是《世界水土资源系统目录》，重点关注濒危系统和定期对其状况和趋势进行监测和报告的能力（见插文 6.3）。全球目录可以指导国际、区域和国家各层面的选择，帮助制定原则和方法，并协助国家及

插文 6.3：监测濒危水土资源系统

为了研发和传播水土资源知识工具，已经在知识资本和金融资本方面进行了大量投资。这些知识需要聚集起来，形成《世界水土资源系统目录》。此目录将包括：① 合作伙伴对大型农业系统中水土资源的概况和现状的共同诊断结论；② 对来自水土资源的商品和服务的需求清单；③ 采用可持续水土资源管理技术，对其面临的体制、预算和政策制约和机遇进行分析。该目录需简单、透明，并通过科学验证，以作为知识交流和国际合作的参考和平台。

为完善该目录，并为政府、规划人员和从业人员提供最佳实践工具，应完善并传播可持续水土资源管理办法的现有目录册。目录册的内容将包括可持续水土资源管理的解决方案的最佳实践经验、可选方案和经验教训，包括可行方案、实施地点和方法、取得成功的条件、采用和规模化的瓶颈、最佳方法（景观、参与性、水域管理）、最佳技术组合（保护性农业、农林业、有机耕作、作物与牲畜一体化）、新机遇和有前景的技术研发、利益和风险评估。

其合作伙伴设定优先事项。可持续水土资源管理的最佳实践、成功案例和方法的现有目录可以得到完善和更广泛地传播。可以对国际层面上的综合知识进行调整，使其适应各国和各地区不同实情，以及具体的农业系统。

在自然资源核算框架下，对生态系统服务的评估还需要进一步的工作。虽然相当多的研究正在进行中，特别是在复杂的热带雨林系统中，但尚未形成评估和评价生态系统服务的一致方法，而且仍然缺乏划分土地转换或土地保护优先事项、评估和验证结果的工具。以全球《濒危水土资源系统目录》为基础，制定监测框架，利用生态系统商品和服务的估值方法，跟踪监测退化和可持续土地管理（SLM）的轨迹和速度。这些方法将衡量各种因素（如土壤健康和生产之间）的直接关系并进行成本核算，

量化外部因素并进行成本核算，评估整体成本和效益，以及防止、减轻或逆转退化的措施的协同作用和利弊。各国政府和国际社会将需要完成这项研究议程，从而使这些困难的权衡和外部因素的评估有据可依。

体制

全球和区域性组织目前的方法往往是片面的，只关注水土资源管理的某些特定方面。与水土资源管理直接相关的若干公约和倡议提供了一个更完整的行动框架，但需要加强它们之间的协同作用，以避免重复并造成严重影响。可持续水土资源管理的国际协议将为形成更完整的方法指明方向，并推动这些必要改变的发生。

对于国际江河流域，合作框架和全流域管理体制将继续优化经济价值，并通过协商，确保公平的利益分享。对于受到威胁的主要流域，将需要制定和实施协调一致的经济、体制和农业工程规划，以减缓或扭转水土资源退化的趋势，克服人为因素造成的资源稀缺。对于促进可持续水土管理的私营机构和以市场为基础的机构（如国际公平贸易标签组织）应予以鼓励，而全球贸易协议应倾向于可持续农业实践。

未来展望

农业及其赖以生存的水土资源正面临着明确的多重挑战：到 2050 年，粮食至少增产 70%，水土资源的利用与保护更广泛的生态系统保持一致，改善粮食安全和农村贫困人口的生活水平。所有这些目标的实现都受到气候不断变化及相关风险的制约。

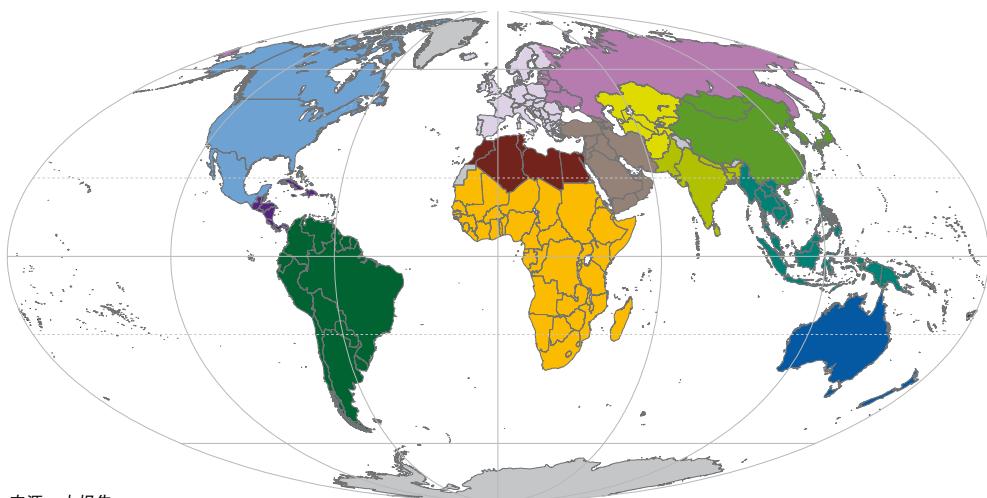
本书中给出的证据表明，在当前和新兴的农业模式下，全球大部分水土资源都面临着压力，或者说很脆弱。随着需求不断上升，当前趋势可能会进一步加剧，从而威胁当地的粮食安全以及生产生活所依赖的资源基础。这对全球粮食安全可能产生的影响是不容忽视的。世界贫困人口面临着严重风险。因此，本书建议加速采用更具可持续性的水土资源管理，在有效扩大生产的同时，减少对全球赖以生存的生态系统造成的影响。

这将需要在国家和全球层面调整政策、体制、激励机制、方案、融资和知识。首先，全世界的农民需要认识到，当前许多集约化模式和扩大耕地面积的做法是不可持续的，需要加以改变才能保证他们自身的长远利益。为了促进这种改变，国际社会和所有国家都需要作出政治承诺，采取可持续的集约化方式，落实必要的体制和财政支持。在当前以及遥远的未来，只有通过这些改变，地球才能养活其子民。通过发展可持续性农业，支持而不是伤害它所依赖的生态系统，从而确保管理世界的人类能够公平、公正地获得资源。

附件

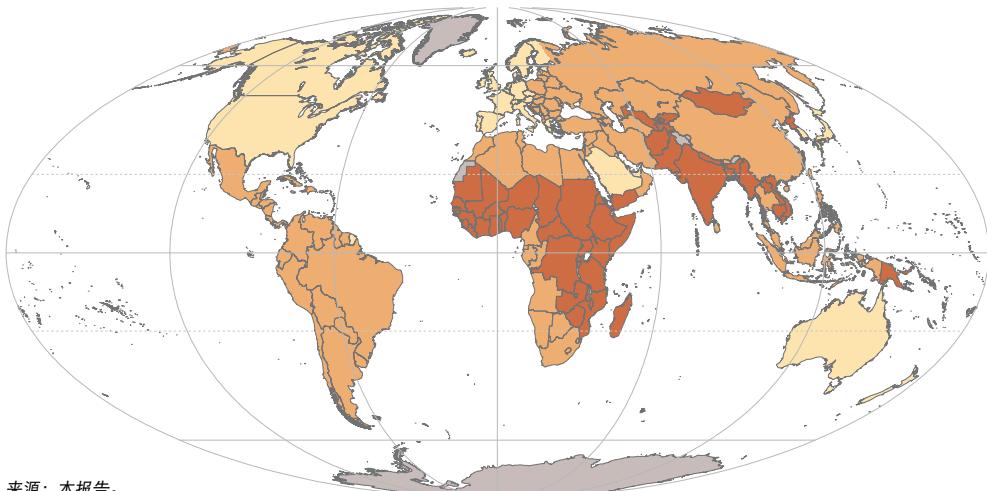
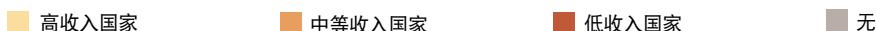
A1 – 采用的国家分组方式

按区域划分



来源：本报告。

按收入划分



来源：本报告。

A1-1：按分区划分的国家分组

大洲 地区	分区	国家
非洲		阿尔及利亚、安哥拉、贝宁、博茨瓦纳、布基纳法索、布隆迪、喀麦隆、佛得角、中非共和国、乍得、科摩罗、刚果、科特迪瓦、刚果民主共和国、吉布提、埃及、赤道几内亚、厄立特里亚、埃塞俄比亚、加蓬、冈比亚、加纳、几内亚、几内亚比绍、肯尼亚、莱索托、利比里亚、阿拉伯利比亚民众国、马达加斯加、马拉维、马里、毛里塔尼亚、毛里求斯、摩洛哥、莫桑比克、纳米比亚、尼日尔、尼日利亚、卢旺达、圣多美和普林西比、塞内加尔、塞舌尔、塞拉利昂、索马里、南非、苏丹、斯威士兰、多哥、突尼斯、乌干达、坦桑尼亚联合共和国、赞比亚、津巴布韦
非洲北部		阿尔及利亚、埃及、阿拉伯利比亚民众国、摩洛哥、突尼斯
非洲撒哈拉以南地区		安哥拉、贝宁、博茨瓦纳、布基纳法索、布隆迪、喀麦隆、佛得角、中非共和国、乍得、科摩罗、刚果、科特迪瓦、刚果民主共和国、吉布提、赤道几内亚、厄立特里亚、埃塞俄比亚、加蓬、冈比亚、加纳、几内亚、几内亚比绍、肯尼亚、莱索托、利比里亚、马达加斯加、马拉维、马里、毛里塔尼亚、毛里求斯、莫桑比克、纳米比亚、尼日尔、尼日利亚、卢旺达、圣多美和普林西比、塞内加尔、塞舌尔、塞拉利昂、索马里、南非、苏丹、斯威士兰、多哥、乌干达、坦桑尼亚联合共和国、赞比亚、津巴布韦
苏丹-萨赫勒地区		布基纳法索、佛得角、乍得、吉布提、厄立特里亚、冈比亚、马里、毛里塔尼亚、尼日尔、塞内加尔、索马里、苏丹
几内亚湾		贝宁、科特迪瓦、加纳、几内亚、几内亚比绍、利比里亚、尼日利亚、塞拉利昂、多哥
非洲中部		安哥拉、喀麦隆、中非共和国、刚果、刚果民主共和国、赤道几内亚、加蓬、圣多美和普林西比
非洲东部		布隆迪、埃塞俄比亚、肯尼亚、卢旺达、乌干达、坦桑尼亚联合共和国
非洲南部		博茨瓦纳、莱索托、马拉维、莫桑比克、纳米比亚、南非、斯威士兰、赞比亚、津巴布韦
印度洋群岛		科摩罗、马达加斯加、毛里求斯、塞舌尔
美洲		安提瓜和巴布达、阿根廷、巴哈马、巴巴多斯、伯利兹、玻利维亚（多民族玻利维亚国）、巴西、加拿大、智利、哥伦比亚、哥斯达黎加、古巴、多米尼加、多米尼加共和国、厄瓜多尔、萨尔瓦多、法属圭亚那（法属）、格林纳达、危地马拉、圭亚那、海地、洪都拉斯、牙买加、墨西哥、尼加拉瓜、巴拿马、巴拉圭、秘鲁、波多黎各（美属）、圣基茨和尼维斯、圣卢西亚、圣文森特和格林纳丁斯、苏里南、特里尼达和多巴哥、美国、乌拉圭、委内瑞拉（委内瑞拉玻利瓦尔共和国）

(续表)

大洲 地区	分区	国家
北美洲		加拿大、美国
	北美洲	加拿大、墨西哥、美国
	墨西哥	墨西哥
中美洲和 加勒比地区		安提瓜和巴布达、巴哈马、巴巴多斯、伯利兹、哥斯达黎加、古巴、多米尼加、多米尼加共和国、萨尔瓦多、格林纳达、危地马拉、海地、洪都拉斯、牙买加、尼加拉瓜、巴拿马、波多黎各（美属）、圣基茨和尼维斯、圣卢西亚、圣文森特和格林纳丁斯、特里尼达和多巴哥
	中美洲	伯利兹、哥斯达黎加、萨尔瓦多、危地马拉、洪都拉斯、尼加拉瓜、巴拿马
	大安的列斯群岛	古巴、多米尼加共和国、海地、牙买加、波多黎各（美属）
	小安的列斯群岛和 巴哈马群岛	安提瓜和巴布达、巴哈马、巴巴多斯、多米尼克、格林纳达、圣基茨和尼维斯、圣卢西亚、圣文森特和格林纳丁斯、特里尼达和多巴哥
南美洲		阿根廷、玻利维亚（多民族玻利维亚国）、巴西、智利、哥伦比亚、厄瓜多尔、法属圭亚那（法属）、圭亚那、巴拉圭、秘鲁、苏里南、乌拉圭、委内瑞拉（委内瑞拉玻利瓦尔共和国）
	圭亚那	法属圭亚那（法属）、圭亚那、苏里南
	安第斯	玻利维亚（多民族玻利维亚国）、哥伦比亚、厄瓜多尔、秘鲁、委内瑞拉（委内瑞拉玻利瓦尔共和国）
	巴西	巴西
	南美洲	阿根廷、智利、巴拉圭、乌拉圭
亚洲		阿富汗、亚美尼亚、阿塞拜疆、巴林、孟加拉国、不丹、文莱、柬埔寨、中国、朝鲜民主主义人民共和国、格鲁吉亚、印度、印度尼西亚、伊朗（伊朗伊斯兰共和国）、伊拉克、以色列、日本、约旦、哈萨克斯坦、科威特、吉尔吉斯斯坦、老挝人民民主共和国、黎巴嫩、马来西亚、马尔代夫、蒙古、缅甸、尼泊尔、巴勒斯坦被占领土、阿曼、巴基斯坦、巴布亚新几内亚、菲律宾、卡塔尔、韩国、沙特阿拉伯、新加坡、斯里兰卡、阿拉伯叙利亚共和国、塔吉克斯坦、泰国、东帝汶、土耳其、土库曼斯坦、阿拉伯联合酋长国、乌兹别克斯坦、越南、也门
中东地区 - 西亚		亚美尼亚、阿塞拜疆、巴林、格鲁吉亚、伊朗（伊朗伊斯兰共和国）、伊拉克、以色列、约旦、科威特、黎巴嫩、巴勒斯坦被占领土、阿曼、卡塔尔、沙特阿拉伯、阿拉伯叙利亚共和国、土耳其、阿拉伯联合酋长国、也门

(续表)

大洲 地区	分区	国家
中亚	阿拉伯半岛	巴林、科威特、阿曼、卡塔尔、沙特阿拉伯、阿拉伯联合酋长国、也门
	高加索地区	亚美尼亚、阿塞拜疆、格鲁吉亚
	伊朗伊斯兰共和国	伊朗（伊朗伊斯兰共和国）
	近东地区	伊拉克、以色列、约旦、黎巴嫩、巴勒斯坦被占领土、阿拉伯叙利亚共和国、土耳其
南亚和东亚		阿富汗、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦、乌兹别克斯坦
南亚	南亚	孟加拉国、不丹、文莱、柬埔寨、中国、朝鲜民主主义人民共和国、印度、印度尼西亚、日本、老挝人民民主共和国、马来西亚、马尔代夫、蒙古、缅甸、尼泊尔、巴基斯坦、巴布亚新几内亚、菲律宾、韩国、新加坡、斯里兰卡、泰国、东帝汶、越南
	东亚	中国、朝鲜民主主义人民共和国、日本、蒙古、韩国
	东南亚	文莱、柬埔寨、印度尼西亚、老挝人民民主共和国、马来西亚、缅甸、巴布亚新几内亚、菲律宾、新加坡、泰国、东帝汶、越南
欧洲		阿尔巴尼亚、安道尔、奥地利、白俄罗斯、比利时、波斯尼亚和黑塞哥维那、保加利亚、克罗地亚、塞浦路斯、捷克共和国、丹麦、爱沙尼亚、法罗群岛、芬兰、法国、德国、希腊、梵蒂冈、匈牙利、冰岛、爱尔兰、意大利、拉脱维亚、列支敦士登、立陶宛、卢森堡、马耳他、摩纳哥、黑山、荷兰、挪威、波兰、葡萄牙、摩尔多瓦共和国、罗马尼亚、俄罗斯、圣马力诺、塞尔维亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、西班牙、瑞典、瑞士、前南斯拉夫马其顿共和国、乌克兰、英国
西欧和中欧		阿尔巴尼亚、安道尔、奥地利、比利时、波斯尼亚和黑塞哥维那、保加利亚、克罗地亚、塞浦路斯、捷克共和国、丹麦、法罗群岛、芬兰、法国、德国、希腊、梵蒂冈、匈牙利、冰岛、爱尔兰、意大利、列支敦士登、卢森堡、马耳他、摩纳哥、黑山、荷兰、挪威、波兰、葡萄牙、罗马尼亚、圣马力诺、塞尔维亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚、西班牙、瑞典、瑞士、前南斯拉夫马其顿共和国、英国
欧洲	北欧	丹麦、法罗群岛、芬兰、冰岛、挪威、瑞典
	西欧	安道尔、奥地利、比利时、法国、德国、爱尔兰、列支敦士登、卢森堡、荷兰、瑞士、英国
	中欧	波斯尼亚和黑塞哥维那、保加利亚、克罗地亚、捷克共和国、匈牙利、黑山、波兰、罗马尼亚、塞尔维亚、斯洛伐克、斯洛文尼亚
	欧洲地中海地区	阿尔巴尼亚、塞浦路斯、希腊、梵蒂冈、意大利、马耳他、摩纳哥、葡萄牙、圣马力诺、西班牙、前南斯拉夫马其顿共和国

(续表)

大洲 地区	分区	国家
东欧		白俄罗斯、爱沙尼亚、拉脱维亚、立陶宛、摩尔多瓦共和国、俄罗斯、乌克兰
	东欧	白俄罗斯、爱沙尼亚、拉脱维亚、立陶宛、摩尔多瓦共和国、乌克兰
	俄罗斯	俄罗斯
大洋洲		澳大利亚、库克群岛、斐济、基里巴斯、密克罗尼西亚（密克罗尼西亚联邦）、瑙鲁、新西兰、纽埃、帕劳、萨摩亚、所罗门群岛、汤加、图瓦卢、瓦努阿图
澳大利亚和新西兰		澳大利亚、新西兰
太平洋群岛		库克群岛、斐济、基里巴斯、密克罗尼西亚（密克罗尼西亚联邦）、瑙鲁、纽埃、帕劳、萨摩亚、所罗门群岛、汤加、图瓦卢、瓦努阿图
全球		阿富汗、阿尔巴尼亚、阿尔及利亚、安道尔、安哥拉、安提瓜和巴布达、阿根廷、亚美尼亚、澳大利亚、奥地利、阿塞拜疆、巴哈马、巴林、孟加拉国、巴巴多斯、白俄罗斯、比利时、伯利兹、贝宁、不丹、玻利维亚（多民族玻利维亚国）、波斯尼亚和黑塞哥维那、博茨瓦纳、巴西、文莱、保加利亚、布基纳法索、布隆迪、柬埔寨、喀麦隆、加拿大、佛得角、中非共和国、乍得、智利、中国、哥伦比亚、科摩罗、刚果、库克群岛、哥斯达黎加、科特迪瓦、克罗地亚、古巴、塞浦路斯、捷克共和国、朝鲜民主主义人民共和国、刚果民主共和国、丹麦、吉布提、多米尼加共和国、厄瓜多尔、埃及、萨尔瓦多、赤道几内亚、厄立特里亚、爱沙尼亚、埃塞俄比亚、法罗群岛、斐济、芬兰、法国、法属圭亚那（法属）、加蓬、冈比亚、格鲁吉亚、德国、加纳、希腊、格林纳达、危地马拉、几内亚、几内亚比绍、圭亚那、海地、梵蒂冈、洪都拉斯、匈牙利、冰岛、印度、印度尼西亚、伊朗（伊朗伊斯兰共和国）、伊拉克、爱尔兰、以色列、意大利、牙买加、日本、约旦、哈萨克斯坦、肯尼亚、基里巴斯、科威特、吉尔吉斯斯坦、老挝人民民主共和国、拉脱维亚、黎巴嫩、莱索托、利比里亚、阿拉伯利比亚民众国、列支敦士登、立陶宛、卢森堡、马达加斯加、马拉维、马来西亚、马尔代夫、马里、马耳他、毛里塔尼亚、毛里求斯、墨西哥、密克罗尼西亚（密克罗尼西亚联邦）、摩纳哥、蒙古、黑山、摩洛哥、莫桑比克、缅甸、纳米比亚、瑙鲁、尼泊尔、荷兰、新西兰、尼加拉瓜、尼日尔、尼日利亚、纽埃、挪威、巴勒斯坦被占领土、阿曼、巴基斯坦、帕劳、巴拿马、巴布亚新几内亚、巴拉圭、秘鲁、菲律宾、波兰、葡萄牙、波多黎各（美属）、卡塔尔、韩国、摩尔多瓦共和国、罗马尼亚、俄罗斯、卢旺达、圣基茨和尼维斯、圣卢西亚、圣文森特和格林纳丁斯、萨摩亚、圣马力诺、圣多美和普林西比、沙特阿拉伯、塞内加尔、塞尔维亚、塞舌尔、塞拉利昂、新加坡、斯洛伐克、斯洛文尼亚、所罗门群岛、索马里、南非、西班牙、斯里兰卡、苏丹、苏里南、斯威士兰、瑞典、瑞士、阿拉伯叙利亚共和国、塔吉克斯坦、泰国、前南斯拉夫马其顿共和国、东帝汶、多哥、汤加、特里尼达和多巴哥、突尼斯、土耳其、土库曼斯坦、图瓦卢、乌干达、乌克兰、阿拉伯联合酋长国、英国、坦桑尼亚联合共和国、美国、乌拉圭、乌兹别克斯坦、瓦努阿图、委内瑞拉（委内瑞拉玻利瓦尔共和国）、越南、也门、赞比亚、津巴布韦

低收入缺粮国（LIFDC）

联合国粮农组织的国家分类依据为：① 人均收入是否低于世界银行在衡量国际开发援助资格时“使用过的”上限标准；② 粮食净贸易额（即进口总量扣除出口总量）；③ 当事国是否特别要求联合国粮农组织不将其归入低收入缺粮国名单。

非洲：

安哥拉、贝宁、布基纳法索、布隆迪、喀麦隆、中非共和国、乍得、科摩罗、刚果、科特迪瓦、刚果民主共和国、吉布提、埃及、赤道几内亚、厄立特里亚、埃塞俄比亚、冈比亚、加纳、几内亚、几内亚比绍、肯尼亚、莱索托、利比里亚、马达加斯加、马拉维、马里、毛里塔尼亚、摩洛哥、莫桑比克、尼日尔、尼日利亚、卢旺达、圣多美和普林西比、塞内加尔、塞拉利昂、索马里、苏丹、斯威士兰、多哥、乌干达、坦桑尼亚联合共和国、赞比亚、津巴布韦

亚洲：

阿富汗、亚美尼亚、阿塞拜疆、孟加拉国、不丹、柬埔寨、中国、朝鲜民主主义人民共和国、格鲁吉亚、印度、印度尼西亚、伊拉克、吉尔吉斯斯坦、老挝人民民主共和国、蒙古、尼泊尔、巴基斯坦、菲律宾、斯里兰卡、阿拉伯叙利亚共和国、塔吉克斯坦、东帝汶、土库曼斯坦、乌兹别克斯坦、也门

欧洲：

摩尔多瓦共和国

美洲：

海地、洪都拉斯、尼加拉瓜

大洋洲：

基里巴斯、巴布亚新几内亚、所罗门群岛、图瓦卢、瓦努阿图

较发达、欠发达和最不发达国家或地区

- (a) 较发达地区包括欧洲、北美洲、澳大利亚/新西兰和日本。
- (b) 欠发达地区包括非洲、亚洲（除日本以外）、拉丁美洲和加勒比地区，外加美拉尼西亚、密克罗尼西亚和波利尼西亚。
- (c) 根据联合国大会 2007 年的决议（59/209、59/210 和 60/33），最不发达国家涉及 49 个国家，其中 33 个在非洲、10 个在亚洲、1 个在拉美和加勒比地区，还有 5 个在大洋洲。
- (d) 其他的欠发达国家位于不包括最不发达国家在内的欠发达地区。

来源：*United Nations, 2009.*

A2 – 与灌溉农业有关的外部环境效应

原因	范围	外部效应特征
作物灌溉用水导致河水流量的枯竭	河流内部下游地区	<ul style="list-style-type: none"> • 流量减少 • 流量格局发生变化，尤其是在枯水方面 • 可能造成：缺氧、高温、积盐 • 生境和动植物种群的消失：鱼类资源 > 生计
	河岸地区	<ul style="list-style-type: none"> • 河岸植被、湿地和洼地的消失 • 河岸侵蚀加剧、来自岸边土地的泥沙流入量增多 • 近岸动物种群的消失 • 河岸区缓冲能力的丧失 • 河岸和邻近水体发生盐化
	湿地	<ul style="list-style-type: none"> • 湿润体形状发生变化、入流量减少 • 湿地的消失以及相关生计的丧失 • 林木和植被的消失—数量和物种构成方面
	泛洪区	<ul style="list-style-type: none"> • 河流功率损失 > 天然河槽和分洪河道能力羸弱 • 河槽淤积 • 地下水补给能力的丧失
	支流	<ul style="list-style-type: none"> • 入流量减少、生境发生变化：盐水入侵模式和范围发生改变
水坝或水库通过河水或径流蓄水带来的额外影响	河流内部	<ul style="list-style-type: none"> • 中小型洪水的消失 > 河流冲刷减弱 • 淤积的消失（坝内淤积）> 下游侵蚀（侵蚀量增大） • 回流：大于灌溉季（旱季）的自然流量，低于雨季的流量 • 阻碍鱼类迁徙繁殖 > 数量减少
	上游地区–下游地区	<ul style="list-style-type: none"> • 生境中的流量和泥沙量发生质变
	支流	<ul style="list-style-type: none"> • 径流量和可用水量减少 • 地下水补给量可能减少
上段集水区的开发	下游水道、现有的蓄水区和分流区	<ul style="list-style-type: none"> • 径流量和可用水量减少 • 地下水补给量可能减少
	含水层范围内	<ul style="list-style-type: none"> • 水位下降 > 抽取费用增加 • 某些地区可能出现砷、氟污染 • 相关地区含水层出现咸水和淡水混合的现象 • 土地塌陷 • 依赖地下水的湿地的损失 • 对水位有要求的地区，森林覆盖的丧失
	下游地区	<ul style="list-style-type: none"> • 河流底流量减少 • 河流系统对浅层含水层渗透量的增加（河水流量的“损失”）

原因	范围	外部效应特征
在盐渍土中进行灌溉，或是在含盐地下水水位贴近表层土的地区进行灌溉	灌溉系统内	<ul style="list-style-type: none"> 盐化严重，需要进行治理、排水和淋溶 影响产量 破坏土壤结构 丧失生物多样化（不涉及耐盐植物）
	下游地区	<ul style="list-style-type: none"> 地区性盐化（水土资源） 河网中偶发盐水冲刷（通常是在大雨后）> 动植物种群的损失 河岸植被、湿地等的盐化 地貌中林木消失 下流地区灌溉中水质下降
灌溉区的开发	涉及面广	<ul style="list-style-type: none"> 泛洪区（大坝、河堤、圩田）中-防洪功能丧失 湿地消失（排水）一生计丧失 水稻已经削弱了减洪功能，被淹后水稻存活期不超过 4~5 天 原生动物种群、林木和生境的消失
在年度参考蒸 发蒸腾量大于 降雨量的前提下 在盐渍土上进行灌溉	灌溉系统内	<ul style="list-style-type: none"> 造成积盐 盐化风险 限制了产量和作物种植模式的选择 可通过淋溶和有限排水等手段进行治理
在钠质土中 进行灌溉	沿海地区	<ul style="list-style-type: none"> 土壤分散和泥沙转移 > 沿海生态系统的退化（如珊瑚礁的退化），尤其是在伴生有吸附性磷酸盐的情况下
氮肥施用过度或不当	灌溉系统内	<ul style="list-style-type: none"> 长期的土壤酸化（水稻土壤中含有铵基化合物；旱地土壤含有多种化合物）
	下游地区	<ul style="list-style-type: none"> 水道和水体的硝酸盐污染 > 富营养化，易致（有毒）藻类激增 水草的过度繁殖
	地下水	<ul style="list-style-type: none"> 造成饮用水的硝酸盐污染（影响公共卫生），多发在浅水井中；可能造成富营养化现象
磷肥施用过度或不当	下游地区	<ul style="list-style-type: none"> 由于植被变化（清除杂草、植物衰败），在排水沟和河流的淤积中偶发磷酸盐冲刷现象 出现富营养化现象，易导致（有毒）藻类激增
	地下水	<ul style="list-style-type: none"> 虽然鲜有记载，但也会渗入优先流中，产生可溶性磷酸盐；后果不明
除草剂的利用	地下水	<ul style="list-style-type: none"> 长期的地下水污染—限制了以饮用为目的的汲水利用（如，在美国就发现了莠去津污染现象）
农药利用不当	地貌	<ul style="list-style-type: none"> 生物多样性的丧失，害虫天敌的消失 导致意外死亡或诱发慢性疾病 积聚在食物链中（目前已经很少发生）
	河网和地下水	<ul style="list-style-type: none"> 鱼类和动物种群的消失 饮用水的污染（发生在河流中、地下水中和浅水井中）

原因	范围	外部效应特征
利用了有机废物和未完全处理的废水	当地范围内	<ul style="list-style-type: none"> • 气味性 • 排泄物大肠杆菌对农产品的污染，囊状寄生虫—影响公共卫生 • 重金属物质的积累（最典型的就是集约化养猪中的铜含量） • 地下水污染—排泄物大肠杆菌、囊状寄生虫
长期的单一栽植	地貌	<ul style="list-style-type: none"> • 生物多样性的逐步丧失；授粉昆虫的消失 • 由于天敌种群的逐步消失，偶发昆虫和植物传染病 • 加速土壤养分和微量营养物的耗竭
农耕和牲畜管理不善	湿润土壤	<ul style="list-style-type: none"> • 结构的解体和通风功能的丧失 • 隔音 • 生产力下降
不良灌溉方式 (技术管理) 造成的用水过度	灌溉系统内， 浅层地下水， 河流	<ul style="list-style-type: none"> • 悬着水位 • 盐化（前提是与深层含盐地下水相连通） • 积水、作物损失 • 排水将污染物带入河流
流量过大或对 坡地犁沟进行灌溉	农场范围内 和下游地区	<ul style="list-style-type: none"> • 在原地造成侵蚀、泥沙转移和表土破坏

A3 – 可持续土地管理的国家级项目

国家级可持续土地管理（SLM）项目可通过一系列步骤加以部署：① 投资人的参与和协作；② 重估与诊断；③ 优先划定与内容规划；④ 投资规划；⑤ 实施及监测与评估。这些步骤并非要规划一个蓝图，而是要作为一个可通过调整来因应各国和各地情况的行为“模板”（TerrAfrica, 2009）。

这 5 个步骤旨在构建一个“**可持续土地管理（SLM）的投资框架**”，借此确立相关原则、政策和制度手段，以及优先事项、投融资项目和实施规划。

通常，可持续土地管理（SLM）活动可融入现有项目框架，并在国家或地方层面上借由专门机构和组织（政府、社团和民间组织）的在建项目和协约加以实现。因此，可持续土地管理（SLM）不应被视为个别“领域”的行为，而应被当做对现有政策、制度和实施框架的一个补充。

步骤 1：投资人的参与和协作

步骤 1 旨在打造一个拥有广泛基础的可持续土地管理（SLM）的联盟和平台，将中央和地方的政府机构、民间社团、捐助人以及最重要的土地使用者吸纳进来。这样一个联盟可能正是“**国家级可持续土地管理（SLM）团队**”需要的，应该进行灵活运作，避免过分拘泥于形式，并为下列行为的实施打下基础：

- 在技术部门（如农业、环境、能源、地方政府、财政和规划）、捐助组织、民间组织和非政府组织/民间社团（包括农民组织和用水户协会）以及土地使用者代表中打造一个关于可持续土地管理（SLM）的共同愿景。鉴于政府代表的监管可能会削弱合作机制，所以对民间社团和一系列民间组织代表的吸纳显得至关重要。
- 要确保在最高层面上（如总统、总理和内阁等）给予可持续土地管理（SLM）长期有效的政治承诺。
- 倡导公众采取实用手段实施可持续土地管理（SLM）。
- 加大合作方之间的协作、和谐和统一。可通过制定“可持续土地管理（SLM）行为准则”的方式对达成共识的方式加以归纳总结。

步骤 2：重估与诊断

为厘清各领域内的现有项目和活动并明确可持续土地管理（SLM）在推广和走向主流过程中所面临的主要瓶颈和机遇，需要进行涉及广泛的参与式**诊断研究**。这种诊断要围绕 5 个要素展开：

技术要素：通过对以往管理中经验教训的回顾和评估，这一要素可以发现能被推荐用来推广可持续土地管理（SLM）的最好方式，并针对不同土地使用者和地理区提出相应方案。

生态/空间要素：通过对主要的农业生态利用和土地利用的评估，这一要素可以发现提高生产率和维护/改善其他生态服务（如扭转土地退化现象）过程中出现的瓶颈和机遇，并针对引介或推广可持续土地管理（SLM）提出相应方案。

政策和激励框架要素：通过审视单一领域和跨领域的水土资源政策和战略的局限性和机遇，这一要素会把可持续土地管理（SLM）提升到国策层面，并发现有利

于引介和推广可持续土地管理（SLM）的变通方式。其中的要点在于，要对推动水土资源管理方式的激励框架加以分析，并伺机重新审视那些致力于推动可持续土地管理（SLM）的激励机制。

制度要素：通过对政府和民间在国家和地区层面上的水土资源相关制度的分析，这一要素可以找到能够担当水土资源及相关领域大任的机构，明确它们在可持续土地管理（SLM）中的现有和潜在作用，评估缺陷与不足，并针对强化和提高提出相应建议。

财政要素：通过对可持续土地管理（SLM）现有融资方式的评估，这一要素可以对现有和潜在的主要融资机制加以明确，并发现推广过程中的瓶颈和机遇。其目标是，要确保融资到位，可促进农民采用可持续土地管理（SLM）方式。这一要素会涉及地方融资机制（如信贷项目）、国家级项目以及全球性项目（如碳信用）等内容。

依托诊断研究的成果，国家级可持续土地管理（SLM）团队可以制定一份“**战略文件**”，明确可持续土地管理（SLM）中的主要优先事项（技术、区域、合作人）以及未来的可持续土地管理（SLM）投资框架的主要推动作用（见步骤 3）。这个战略文件的制定应当实现全面参与性，确保土地使用者和民间社团的意见得到完整体现。

步骤 3：内容规划和投资框架：明确轻重缓急

对于诊断研究（以及战略文件）中发现的主要推动作用，要参照国家针对协同、不足、冲突和衔接等问题的优先发展规划进行对照评估。之后，按照其协同能力和补充作用的大小进行评级。然后，根据结果制定一个初步的投资框架。此后，要进行一系列的磋商和立项研讨并对试验项目和其他未完的实地考察项目进行评估，以便最终敲定投资框架。在该步骤实施过程中，应与土地使用者和相关社团进行协商，确保其需求和侧重已被考虑在内，尤其要确保土地权属问题得到关注。

步骤 4：投资规划和成本计算

这一阶段涉及可持续土地管理（SLM）活动和投资的详细规划，需要所有受惠对象的参与并与开发合作人和捐助人进行协作。投资计划要与融资渠道相配套，最好是具有可持续外部融资渠道的长期国家项目，而不是那些短期的一次性项目。

步骤 5：实施及监测与评估

可能的话，首批投资应该是那些可以快速部署并实现快速收益的项目。举例来说，地区需求旺盛的地方受欢迎程度就高，易于借助农业经济和水土资源的形势取得成功。早期成功的示范效果将为项目提供经验，为可持续土地管理（SLM）的进一步普及打下基础。

监测与评估应当侧重于成效与影响的评判指标，这些指标主要借助多媒体技术（综合利用地面摄影、全球定位系统、数据表、地图的地理信息）通过简单、省钱、快速的评估项目获得。

时间表与费用

总体而言，投资框架的制定（步骤 1~3）预计耗时 6~12 个月，花费 10 万~20 万美元。对于一个可以通过可持续土地管理（SLM）的大范围普及为国家和个人带来多重成效的项目来说，这些花费只是一笔小小的“种子基金”。

A4 - 各国/各地区的水土资源核心指标

A4-1 : 在用耕地、作物密度和产粮土地

大洲 地区	年份	用地总量			雨养耕地			灌溉耕地*		
		A	CI (%)	H	A	CI (%)	H	A	CI (%)	H
非洲	2009	251	85	214	239	83	199	12	131	15
	2050	342	79	270	326	77	250	15	129	20
非洲北部	2009	28	74	21	22	54	12	6	149	9
	2050	27	92	25	19	70	13	7	149	11
非洲撒哈拉以南地区	2009	223	87	194	217	86	187	6	112	6
	2050	315	78	245	307	77	237	8	111	9
美洲	2009	395	69	273	356	66	233	40	102	40
	2050	468	82	384	427	80	340	41	106	44
北美洲	2009	253	58	146	224	52	117	29	100	29
	2050	241	80	192	214	77	165	27	100	27
中美洲和加勒比地区	2009	15	64	10	14	56	8	1	162	2
	2050	15	80	12	13	73	9	2	120	3
南美洲	2009	127	93	118	118	92	108	10	100	10
	2050	213	85	181	200	83	166	12	117	14
亚洲	2009	542	109	588	357	94	335	185	137	253
	2050	541	118	641	340	101	344	201	148	297
西亚	2009	64	66	43	47	47	22	18	117	21
	2050	55	93	52	31	80	24	25	110	27
中亚	2009	39	69	27	28	56	15	12	100	12
	2050	33	94	31	20	90	18	13	100	13
南亚	2009	204	113	232	126	108	136	78	122	95
	2050	212	115	243	135	97	131	77	145	112
东亚	2009	133	133	176	74	99	74	58	175	102
	2050	133	144	191	67	116	77	66	172	114
东南亚	2009	101	109	111	82	107	88	19	118	23
	2050	107	115	124	88	106	93	19	156	30

大洲 地区	年份	用地总量			雨养耕地			灌溉耕地*		
		A	CI (%)	H	A	CI (%)	H	A	CI (%)	H
欧洲	2009	293	63	184	280	60	168	13	119	16
	2050	264	83	219	245	82	200	19	100	19
西欧和中欧	2009	125	76	94	113	73	83	12	100	12
	2050	125	89	111	111	87	97	14	100	14
东欧和俄罗斯	2009	168	53	89	167	51	85	2	249	4
	2050	139	78	108	134	77	103	5	100	5
大洋洲	2009	46	57	26	42	52	22	3	100	3
	2050	58	83	48	55	82	45	2	101	2
澳大利亚和新西兰	2009	45	56	25	42	53	22	3	100	3
	2050	58	83	48	55	82	45	2	101	2
太平洋群岛	2009	1	70	0.4	1	-	-	0.004	-	-
	2050	-	-	-	-	-	-	-	-	-
全球	2009	1 527	84	1 286	1 274	75	958	253	130	327
	2050	1 673	93	1 562	1 393	85	1 179	279	137	382
高收入国家	2009	368	61	225	326	56	182	42	102	43
	2050	353	86	302	314	83	261	39	108	42
中等收入国家	2009	444	136	603	331	132	436	114	147	167
	2050	769	95	728	628	84	528	141	142	200
低收入国家	2009	714	64	458	617	55	341	97	121	117
	2050	551	97	532	451	87	391	100	141	140
低收入缺粮国	2009	642	107	685	476	95	453	167	139	232
	2050	766	104	794	587	89	524	179	151	270
最不发达国家	2009	173	94	163	159	92	146	14	118	17
	2050	227	82	187	211	78	164	16	145	24

A = 耕地面积（百万公顷）； CI = 作物密度（%）； H = 产粮土地（百万公顷）

* 指 2006 年前后的数据。

来源：FAO, 2010a, b。

A4-2：目前各主要用地类型在 2000 年和 2050 年的人均占有情况（公顷/人）

地区	耕地		草原和林地		森林用地		植被稀疏的不毛之地		居住点与基础设施	
	2000	2050	2000	2050	2000	2050	2000	2050	2000	2050
非洲北部	0.13	0.08	0.23	0.13	0.04	0.02	3.36	1.99	0.02	0.01
非洲撒哈拉以南地区	0.33	0.13	1.61	0.62	0.77	0.29	0.80	0.31	0.03	0.01
北美洲	0.62	0.45	1.77	1.28	1.61	1.17	0.66	0.48	0.04	0.03
中美洲和加勒比地区	0.21	0.13	0.33	0.20	0.40	0.25	0.01	0.01	0.02	0.01
南美洲	0.37	0.27	1.89	1.36	2.45	1.76	0.28	0.20	0.03	0.02
西亚	0.24	0.13	0.39	0.21	0.07	0.04	1.66	0.91	0.02	0.01
中亚	0.60	0.30	1.82	0.90	0.07	0.04	3.44	1.71	0.03	0.02
南亚	0.15	0.09	0.04	0.03	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
东亚	0.10	0.09	0.26	0.24	0.15	0.14	0.24	0.22	0.02	0.02
东南亚	0.19	0.13	0.24	0.16	0.46	0.31	0.00	0.00	0.02	0.01
西欧和中欧	0.26	0.25	0.30	0.28	0.33	0.31	0.02	0.01	0.03	0.03
东欧和俄罗斯	0.80	1.03	2.71	3.52	3.84	4.99	0.65	0.85	0.03	0.04
澳大利亚和新西兰	2.21	1.49	22.14	14.97	4.24	2.87	5.53	3.74	0.05	0.04
太平洋群岛	0.32	0.19	0.55	0.32	2.26	1.32	0.04	0.03	0.03	0.02

来源：改编自Fischer et al., 2010。

A4-3 : 各生产系统适用耕地的当前份额

地区	肥沃 (百万公顷)	良好 (百万公顷)	贫瘠 (百万公顷)	总计 (百万公顷)
非洲北部	3	9	7	19
非洲撒哈拉以南地区	71	128	26	225
北美洲	94	136	28	257
中美洲和加勒比地区	7	8	2	16
南美洲	41	77	10	129
西亚	4	34	23	61
中亚	0.3	32	13	46
南亚	57	84	60	201
东亚	25	72	53	150
东南亚	28	54	16	98
西欧和中欧	50	54	27	131
东欧和俄罗斯	59	102	12	173
澳大利亚和新西兰	4	26	21	51
太平洋群岛	0	0	0	0
总计 (百万公顷)	442	816	298	1 556
总计 (%)	28	53	19	100

“贫瘠”一栏中包括贫瘠土地和非适耕土地。

来源：改编自 Fischer et al., 2010。

A4-4：当前耕地中低投入农耕方式在土壤和地域上面临的制约因素（按地区百分比表示）

地区	没有制约或 制约程度低	土壤养分	土壤深度	土壤排水	盐度/碱度	碳酸钙/ 硫酸钙	宜耕性	坡地	永冻土
非洲北部	57	13	5	5	2	1	7	9	0
	41	37	3	6	1	0	9	2	0
撒哈拉以南地区	64	14	2	13	2	0	2	2	1
	47	18	1	3	0	1	17	14	0
中美洲和加勒比地区	36	42	2	6	2	0	8	4	0
	49	7	16	3	4	4	4	14	0
南美洲	68	12	2	5	6	3	0	4	0
	49	12	3	6	6	1	20	3	0
西亚	41	22	6	14	2	1	2	12	0
	20	46	5	17	0	0	6	6	0
中亚	47	16	14	12	1	2	5	3	0
	73	15	2	7	3	0	0	0	1
东南亚	41	20	1	17	17	0	3	1	0
	58	8	15	1	0	0	0	18	0
西欧和中欧	44	24	3	7	3	1	14	3	0
	49	24	4	9	2	1	4	6	0
东欧和俄罗斯	56	17	6	13	3	1	2	1	0
澳大利亚和新西兰									
太平洋群岛									
低收入国家									
中等收入国家									
高收入国家									

备注：□ 阴影部分为最高数值。

来源：改编自 Fischer et al., 2010。

本报告所用术语与定义对照表

吸收：分子被黏附和留存在（液体或固体）物质表面的过程。

农业用地：以务农为主要用途的土地。按联合国粮农组织统计数据库（FAOSTAT）中的定义，农用地是可耕种土地、永久性作物用地（常年无需复植的长期作物的种植用地）以及永久性草场和牧场的统称。

复合农林业：在同一土地管理单元中将林木种植与产粮和/或畜牧人为地结合起来的土地使用系统或方式。

碱化：土壤（表土）中碱盐含量出现净增长，导致农业生产率下降。

人为活动：与人类相关的活动。

可耕种土地：包括临时农作物用地、临时牧草场或牧场、商品菜园和家庭菜园，以及暂时处于休耕期的土地（休耕期不超过 5 年）。迁徙耕作造成的弃用土地不在此列。

“可耕种土地”并非是指有耕作潜力的土地的总和。

基流：河水流量中的一部分，主要来自地下水对河流的补给。

固碳：将空气中的碳含量通过物理或生物过程转移到海洋、森林或土壤等储存体中的过程。

（地表水和地下水的）综合利用：针对地表水和地下水供应量进行的协调管理，旨在实现产水量的最大化。

保护性农业（CA）：农业生态系统的一种管理手段，其目的是：在保护并改善资源基础和环境的同时，促进生产率的提高和可持续性的实现并提升盈利水平和粮食安

全。CA 具有三大原则性特征：维持最低水平的机械性土壤扰动、永久性的有机土壤覆盖、轮作或复种轮作中作物种类的多样化。

保护性耕作：一种土壤管理手段，与传统耕作相比，省去了刨土和埋覆作物残茬等工序。保护性耕作系统可分为五类：免耕（槽植）、覆耕、条耕/带耕、垄耕（含有免耕垄）以及少耕/微耕。

消费性用水：水源中用于工农业或生活用途且已蒸发、挥散或被整合到产品中的水量部分。用水量中未消费的部分称为回流。

农田（耕地）：在《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》（SOLAW）中，“农田”是指用于农作物种植的土地。在统计学术语中，“农田”是可耕种土地（参见上文词条）和永久性作物的统称。

沙漠化：干旱、半干旱和干次湿地区在气候变化和人类活动等多方面因素的影响下出现土地退化现象。

干旱区：（除了极地和近极地以外的）干旱、半干旱和干次湿地区，其年均降水量和参考蒸发蒸腾量均值之间的比值为 0.05~0.65。

生态系统：由植物、动物、微生物群落以及环境中非生命的物理成分（如空气、土壤、水和阳光）所构成的一个动态复合体，作为一个功能单元对外进行互动。

生态系统服务（或环境服务）：生态系统给予人类的福利，其中包括：给养服务（如食物和水）、调节服务（如洪水、干旱、土地退化和疾病的调节作用）、支撑服务（如土壤形成和养分循环）和文化服务（如娱乐性、精神性和宗教性福利，以及其他非物质性福利）。

富营养化：无机养分（如硝酸盐和磷酸盐）向淡水水体补充营养的现象，通常会导致藻类过分繁殖。

蒸发蒸腾：地表水分蒸发和植被水分蒸腾的统称。

外部效应：在生产过程中和/或产品和服务消费过程中所产生的（正面或负面）后果，主要是由无辜的第三方以及未获适当赔偿的一方来承担。

加肥灌溉：利用灌溉用水进行施肥作业。

淡水：产自地表河湖及地下含水层的天然水。其最大特征就是溶盐浓度低。除特别说明外，本报告用“水”代指淡水。

高产/优管：在高产优管的全球农业生态区（GAEZ）模式中（IIASA/FAO, 2010），农耕系统主要以市场为导向。实现商业化生产是管理上要达成的一个目标。生产活动以改进的高产品种为依托，采用劳动密集程度低的全机械化运作，并对养分的施加和病虫草害的化学控制手段加以优化。

养分综合管理（INM）：亦称植物养分综合管理（IPNS），指通过优化所有可用养分资源来获取植物养分的手段。基本目标是：减少无机肥料施用量、恢复土壤有机物含量、提高养分利用率，以及维护土质的物理、化学和生物特性。

害虫综合管理（IPM）：用于作物生产和保护的一种生态手段，它以培育健康作物为目标，在尽量减少农药用量的同时，对多种管理策略和方式加以综合利用。

中等产量/改进管理：在中等产量并采用改进型管理的全球农业生态区（GAEZ）模式中（IIASA/FAO, 2010），农耕系统未完全实现以市场为导向。兼顾自给自足和商业销售的生产是管理上要达成的一个目标。生产活动以改进品种为依托，采用人力劳作，并辅以手工器具和（或）牲畜运输以及一定程度的机械化。其劳动密集程度适中，并采用了一定程度的施肥作业和病虫草害的化学控制手段，以及充足的休耕期和一些保护性措施。

内部可再生水资源（IRWR）：界定一个国家可用淡水资源（地表水和地下水）的传统范畴，涵盖了所在国境内的降水资源。跨境水资源和矿物水资源未包括在内。

土地退化：土地向其受惠对象提供生态产品和服务的能力在一定时期内出现下降。

低产出/传统管理：在产出不高且采用传统管理方式的全球农业生态区（GAEZ）模式中（IIASA/FAO, 2010），农耕系统主要是为了自给自足，未必以市场为导向。生产活动以传统栽培品种（即使采用改进型栽培品种，处理方式也与本地栽培品种相同）和劳动密集型劳作为基础，不添加养分，不采用病虫害化学控制手段，且保护性措施极少。

综合产能：在全球农业生态区（GAEZ）综合产能模式中（IIASA/FAO, 2010），只有最好的土地被指定用于高产耕作；条件适中的土地和贫瘠土地则被指定用于中低产量的生产和管理。

现代化：就灌溉方面而言，现代化是指对灌溉模式在技术和管理上进行升级的过程（并非只是简单改建），需要的话，还会涉及制度改革，其目标是改善资源利用状况（劳动力、用水经济性和环境等）以及针对农场的输水服务。

菌根：在某些植物根部与其形成共生关系的真菌，可为其寄主提供更多养分。

有机氯：含有碳和氯等成分的化学品。某些具有环境残留特性的农药（如 DDT 杀虫剂）就由有机氯制成。

环境服务付费（PES）：一种自愿交易体系，服务供应商通过此体系从受惠对象处（或代表受惠对象）收取费用，然后提供相应的用地方案；这些方案预计可以带来持续的或更好的环境服务，而这些在不付费的情况下是无法得到的。

坎儿井：人工开凿的暗渠，旨在对山坡含水层中的地下水资源加以利用。

牧场：指原生植被（顶极群落或亚顶极群落）多为放牧用或可用于放牧的杂草、草类植物、非禾本科牧草或灌木的地区，是一个适宜畜牧生产和野生动植物栖息的天然生态系统。

河岸：与河川或溪流相临的土地。

径流：源自降水或灌溉系统并最终汇入地表河流，且不会渗入地下的流水量。

盐化：盐分在土壤内部或表层积聚的过程。人为导致的盐化现象主要是由不良灌溉方式造成的。

汲水提杆：一种杆式灌溉工具，一头放置平衡锤，另一头挂有水桶。

林牧混合体系：将树木和牧场与牲畜饲养进行人为整合的土地利用系统和方式。

钠质土：本身钠含量足以对多数作物生长产生不良影响的土壤（钠质土被定义为交换性钠含量超过 15% 的土壤）。

水稻集约化生产系统（SRI）：一种关于水稻的综合生产系统，其产量提高是通过管理方式的调整而实现的，而非单纯加大投资力度。SRI 的原则要点是：土壤水分管理（不使用处于持续饱和状态的土壤），单一种植且间距优化，以及在萌芽后 15 天内进行移植。

变性土：具有胀缩特性且富含黏土的深色土壤。

旱谷：季节性河流的河床或河谷，地处常年干燥且洪流时间短（持续几小时或几天）的干旱或半干旱地区。

水务核算：对环境中实有水量和流量的信息以及供水和用水的经济数据加以整理和呈报的系统方法。

水务审计：针对水资源供需现状和未来趋势的系统研究，尤其侧重特定区域中有关可用性、不确定性和管理等方面的问题。

水需求管理：以提高用水效率（参见下文词条）或对水资源进行领域内或跨领域的再分配为手段对用水需求进行控制的一系列行为。

雨水集蓄：这种技术可将收集的雨水直接渗入耕地并保存在土壤深处以供作物及时汲取（径流灌溉），或是将其蓄入水库以备日后生产之用（例如用于补充灌溉）。

水分生产率：一定用水量所实现的产出（包括服务）的数量或价值。作物水分生产率是指作物产率与供水量之间的比值。经济水分生产率以产品净增值和供水量之间的比值为表现形式。

水资源评估：水资源评估侧重于水务核算中的供应层面，针对水资源的变化和趋势等进行系统评估。其他内容参见“水务核算”。

用水权：就法律层面来讲，指有权对特定自然资源中的水加以抽取或转作他用；有权将某个自然资源中一定数量的水集蓄或储存在水坝或其他水利设施中；有权对水进行使用或将其维持在某种自然形态（如河流中的生态流量，以及将水用于娱乐、宗教仪式、饮用、洗涤、沐浴和牲口等用途）。

用水效率：某种用途的实际用水量与专门抽取或分流而来的水量之间的比值。

汲水量：出于各种目的（用于灌溉、工业、生活和商业用途等）而从河流、含水层或湖泊中抽取的水量。

积水：土地中的水位与地表齐平或接近地表的状态，对作物产率有影响。

关于本报告内附的世界地图的补充说明

《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》（SOLAW）内附少量精选的世界地图，旨在对本报告所传达的主要信息加以佐证。有些地图虽然此前曾出版过，但也有不少是专为 SOLAW 绘制的，是首次出版。下文简述了新绘地图的编绘方法并标明了此前出版过的地图的出处。详细资料参见 SOLAW 网页：<http://www.fao.org/nr/solaw/>。

地图 1-1：主要土地的覆盖范围和用途

本图揭示了全球范围内主要土地覆盖程度的分布情况，通过将耕地与杂草和灌木等类别相区分的方式，对土地利用的各种情形予以收录。本图来源于由联合国粮农组织（FAO）和国际应用系统分析学会（IIASA）进行维护的《全球农业生态区》3.0 版数据库，用作农业研究的一个依据。

来源：IIASA/FAO, 2010。

地图 1-2：全球主要江河流域物理性缺水区的分布情况

本图以灌溉中作物的蒸发蒸腾耗水量与可再生淡水资源之间的比值为媒介，对主要江河流域的缺水程度进行了说明。与先前缺水分布图所不同的是，本图以消费性用水为依据，而非汲水量。通过在水平衡模型中输入气候、土壤和灌溉农业等数据资料，对可再生淡水资源和灌溉用水净需求进行了计算。

来源：本报告。

地图 1-3：主要农业系统

本图依托 Dixon 等人在主要农耕系统测绘上所取得的成果（2001 年），为《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》（SOLAW）中濒危系统的分析提供了依据。本图基于全球土地覆盖程度的分析数据以及灌溉地和水稻范围的专题数据库绘制而成。

来源：本报告。

地图 1-4：低投入耕作在土壤和地形方面所面临的主要制约因素

本图揭示了低投入耕作环境下在土壤和地形方面受到的制约。它是国际应用系统分析学会和联合国粮农组织（IIASA/FAO）所编《全球农业生态区》3.0 版的一部

分，对土壤制约条件和坡向情况都进行了说明，并以土质评定的方式将这些因素纳入到分析之中。

来源：IIASA/FAO, 2010。

地图 1-5：主要作物产率缺口的总体情况

本图展示了现有耕地中主要农作物在 2000 年的实际产量和农耕技术提高后潜在产能的对比情况。图中对因投入和管理水平低所造成的生产力缺口（亦即通过升级当前农耕技术可实现的产能潜力）进行了说明。

来源：IIASA/FAO, 2010。

地图 1-6：灌溉建成区的土地份额

本图根据《灌溉区全球图册》（4.0.1 版）和地图 1-3 分别对 20 世纪末的灌溉区以及雨养农业区的分布范围进行了说明。

来源：Siebert et al., 2007。

地图 1-7：地下水灌溉区所占比例

全球大部分灌溉系统都在使用地表水、地下水，或是将两者混用（综合利用）。本图综合参考了地图 1-6 和一个全球地下水灌溉数据库，对采用地下水或是综合利用地表和地下水的区域一一进行了说明。

来源：Siebert et al., 2010。

地图 2-1：儿童营养不良的普遍性

本图由从联合国粮农组织（FAO）所维护的全球地理信息系统（GIS）数据库中提取的粮食危机、贫穷和环境方面的数据整合而成。此图依据的是 2000 年前后 5 岁以下儿童的营养不良数据。

来源：FAO, 2007c。

地图 2-2：贫困人口分布情况（基于儿童营养不良状况）

联合国粮农组织将儿童营养不良状况用作粮食危机和贫穷的指标。本图通过将营养不良率（见地图 2-1）和人口密度进行叠加的方式，揭示了发展中国家贫困人口的密度分布情况。

来源：本报告。

地图 3-1：灌溉导致的盐化土地的比例情况

本图对受到一定程度盐化影响的灌溉区的空间分布情况进行了揭示。它由联合国粮农组织水与农业全球信息系统（FAO AQUASTAT）中关于各国遭受盐化影响的灌溉区的统计数据汇编而成。针对那些因灌溉导致盐渣残留土中，又因降水不足而无法将其滤除的灌溉区，该图就其空间分布进行了说明。

来源：本报告。

地图 3-2：濒危农业系统：水土资源面临人口压力

本图揭示了缺地和（或）缺水对地图 1-3 中的雨养和灌溉农业系统的制约程度。雨养农业中缺地程度的评估方式为：将农村人口密度与雨养作物承载力进行对比，明确算出各承载力水平所对应的人口承载能力。灌溉区缺水程度的评估则是通过整合地图 1-2 和全球灌溉区地图来完成的。气候干燥的缺地地区被视为水土皆缺。

来源：本报告。

联合国粮农组织（FAO）所有公开的输入数据，包括参考书目在内，皆可在 FAO 空间网络元数据库中进行查询 (<http://www.fao.org/geonetwork>)。

参考文献

- AfDB** 2008. *Lake Chad Basin Sustainable Development Programme (PRODEBALT)*. Appraisal Report, October 2008. Abidjan and Tunis, African Development Bank Group. (Available at: <http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/30771454-EN-LACTCHAD-DEC-2008.PDF>)
- Aguilar-Manjarrez, J., Kapetsky, J. M. and Soto, D.** 2010. The potential of spatial planning tools to support the ecosystem approach to aquaculture. Expert Workshop. 19–21 November 2008, Rome, Italy. FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings. No.17. Rome, FAO.
- Akroyd, S. & Smith, L.** 2007. *Review of public spending to agriculture*. London/Washington, DC, DFID/World Bank. (Available at: <http://www1.worldbank.org/publicsector/pe/pfma07/OPMReview.pdf>)
- Alexandratos, N.** 2005. Countries with rapid population growth and resource constraints: issues of food, agriculture, and development. *Population and Development Review*, 31(2): 237–258.
- Alexandratos, N.** 2009. World food and agriculture to 2030/50: highlights and views from 2009. 32 pp. In: *How to feed the world in 2050*. Proceedings of an expert meeting, FAO, Rome, 24–26 June 2009. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak542e/ak542e04.pdf>)
- Batchelor C. H., Rama Mohan Rao, M. S. Manohar Rao, S.** 2003. Watershed development: A solution to water shortages in semi-arid India or part of the problem? *Land Use and Water Resources Research* 3:1–10. (<http://www.luwrr.com>)
- Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S. and Palutikof, J. P.** 2008. *Climate change and water*. Technical Paper VI of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat. Geneva, 210 pp. (Available at: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_technical_papers.shtml)
- Bhattarai, M. and Narayananamoorthy, A.** 2003. Impact of irrigation on rural poverty in India: an aggregate panel-data analysis. *Water Policy*, 5(5–6): 443–458.
- Bickel, M. and Breuer, T.** 2009. Foreign direct investments in land in developing countries. *Rural 21 – The International Journal for Rural Development*, 43(2), April.

Bingham, G., Wolf, A. and Wohlgemant, T. 1994. *Resolving water disputes*. Washington, DC, USAID. (Available at: <http://www.beyondintractability.org/articlesummary/10049/>)

Binswanger, H. P. 1991. Brazilian policies that encourage deforestation in the Amazon. *World Development*, 19(7): 821–829.

Blench, R. 1999. Extensive pastoral livestock systems: issues and options for the future. Rome, FAO. (Available at: <http://www.smallstock.info/reference/FAO/kyokai/document2.pdf>)

Blomquist, W. 1992. *Dividing the waters: governing groundwater in southern California*. San Francisco, CA, Institute for Contemporary Studies.

Boonman, J. G. and Mikhalev, S. S. 2005. The Russian Steppe. In: Suttie, J. M., Reynolds, S. G. & Batello, C. (eds.) *Grasslands of the World*. Rome. FAO Plant Production and Protection Series No. 34, 381–416.

Bostock, J., McAndrew, B, Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Little, D., Ross, L., Handisyde, N., Gatward, I. and Corner, R. 2010. Aquaculture: global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365: 2897–2912. (doi:10.1098/rstb.2010.0170)

Brismar, A. 1999. Environmental challenges and impacts of land use conversion in the Yellow River basin. Interim Report IR-99-016. Laxenburg, IIASA. (Available at: <http://www.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-99-016.pdf>)

Bruinsma, J. 2003. *World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective*. London/Rome, Earthscan/FAO. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y4252e/y4252e.pdf>)

Bruinsma, J. 2009. *The resource outlook to 2050: by how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050?* Expert Meeting on How to Feed the World in 2050. Rome, FAO and ESDD. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak542e/ak542e06.pdf>)

Bruns, B. R., Ringler, C. and Meinzen-Dick, R. 2005. Reforming water rights: governance, tenure and transfers. pp 283–309. In: Bruns *et al.* (eds) *Water Rights Reform*. Washington, DC, IFPRI. (Available at: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/oc49.pdf>)

Caponera, D. A. 1992. *Principles of water law and administration: national and international*. Rotterdam/Den Haag, Balkema.

Capoor, K. and Ambrosi, F. 2009. *State and trends of the carbon market 2007: a focus on Africa*. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://siteresources.worldbank.org/INTCARBONFINANCE/Resources/State__Trends_of_the_Carbon_Market_2009-FINAL_26_May09.pdf)

Carpenter, S. and Bennet, E. (2011) Reconsideration of the planetary boundary for phosphorus. *Environmental Research Letters*. 6: 014009 (12pp).

CDE 2010. Coping with degradation through SLWM. Centre for Development and Environment. SOLAW Background Thematic Report – TR12. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)

Charalambous, A. N. and Garratt P. 2009. Recharge-abstraction relationships and sustainable yield in the Arani-Kortalaiyar groundwater basin, India. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 42: 39–50. (doi:10.1144/1470-9236/07-065)

Chorley, R. C. (ed) 1969. *Water, earth and man*. London, Methuen.

Costanza, R., d' Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O' Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. and van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387. (Available at: http://www.uvm.edu/giee/publications/Nature_Paper.pdf)

Cotula, L. 2010. Land tenure issues in agricultural investment. SOLAW Background Thematic Report TR05B. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)

Cotula, L., Vermeulen, S., Leonard, R. and Keeley, J. 2009. *Land grab or development opportunity? Agricultural investment and international land deals in Africa*. Rome/London, Food and Agriculture Organization of the UN (FAO)/International Fund for Agricultural Development (IFAD)/International Institute for Environment and Development (IIED). (Available at: <http://pubs.iied.org/pdfs/12561IIED.pdf>)

Coudouel, A., Hentschel, J. and Wodon, Q. 2002. Poverty measurement and analysis. In: Klugman, J. (ed.) *A sourcebook for poverty reduction strategies, volume 1: core techniques and cross-cutting issues*, pp. 29–74. Washington, DC, World Bank. (Available at:

De Fraiture, C., Giordano, M. and Yongsong, L. 2008. Biofuels and implications for agricultural water use: blue impacts of green energy. *Water Policy*, 10 (Supplement 1): 67–81.

den Biggelaar, C., Lal, R., Wiebe, K., Eswaran, H., Breneman, V. and Reich, P. 2003. The global impact of soil erosion on productivity ii: effects on crop yields and production over time. *Advances in Agronomy*, 81: 49–95.

Dixon, J. and Gulliver, A., with Gibbon, D. (2001) *Farming systems and poverty: improving farmers' livelihoods in a changing world*. Rome, Italy/Washington, DC, FAO/World Bank.

Ellis, E. C. and N. Ramankutty. 2008. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(8):439-447 doi:10.1890/070062.

Ellis, F. 2000. *Rural livelihoods and diversity in developing countries*. Oxford, UK, OUP.

Eswaran, H., Lal, R. and Reich, P. F. 2001. Land degradation: an overview. In: Bridges, E. M., I. D. Hannam, L. R. Oldeman, F. W. T. Pening de Vries, S. J. Scherr, and S. Sompatpanit (eds.) *Responses to Land Degradation*. Proc. 2nd. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. New Delhi, India, Oxford Press.

European Commission. 2010. EU Water Framework Directive. (Available at: http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html)

Fairtrade. 2011. Fairtrade International. (Website: <http://www.fairtrade.net/>)

Fan, S., Omilola, B. and Lambert, M. 2009. *Public spending for agriculture in Africa: trends and composition*. Regional Strategic Analysis and Knowledge Support Systems (ReSAKSS) Working Paper No. 28. Washington, DC, IFPRI. (Available at: <http://www.resakss.org/index.php?pdf=42375>)

FAO 1976. *A framework for land evaluation*. FAO Soils Bulletin, 32. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/x5310e/x5310e00.HTM>)

FAO 1996. *Control of water pollution from agriculture*. Irrigation and drainage paper 55. Rome. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/W2598E/W2598E00.htm>)

FAO 2000. *The elimination of food insecurity in the Horn of Africa. A strategy for concerted government and UN agency action*. Summary report of the inter-agency task force on the UN response to long-term food security, agricultural development and related aspects in the Horn of Africa. Rome. 13 pp. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/003/x8530e/x8530e00.htm#TopOfPage>)

FAO 2002a. *Land tenure and rural development*. FAO Land Tenure Studies 3. Rome. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y4307e/y4307e00.pdf>)

FAO 2002b. *Land-water linkages in rural watersheds*. Land and Water Bulletin 9. Rome. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/lw9e.pdf>)

FAO 2002c. *Gender and access to land*. FAO Land Tenure Studies 4. Rome. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/y4308e/y4308e00.pdf>)

FAO 2003. *Legislation on water users' organization: a comparative analysis*. Legislative Study 79. (Available at: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y5049E/Y5049E00.HTM>)

FAO 2004a. *Decentralization and rural property taxation*. Rome, FAO Land Tenure Studies 7. Rome. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5444e/y5444e00.pdf>)

FAO 2004b. *Land and Water*. Legislative Study 79. (Available at: <http://www.fao.org/DOCREP/006/Y5049E/Y5049E00.HTM>)

FAO 2004c. *Water charging in irrigated agriculture. An analysis of international experience*. Rome, FAO Water Report 28. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr28e.pdf>)

FAO 2006a. *Integrated Agriculture-Aquaculture*. FAO Fisheries Technical Paper 407. Rome, FAO.

FAO 2006b. *World agriculture: towards 2030/2050. Interim report. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups*. Rome, FAO. (Available at: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/esag/docs/Interim_report_AT2050web.pdf)

FAO 2006c. *Livestock's long shadow*. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>)

FAO 2006d. *Stakeholder-oriented valuation to support water resource management processes. Confronting conceptions with local practice*. FAO Water Report 30 . Rome, FAO. (Available at: ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/wr30_eng.pdf)

FAO 2006e. *Modern water rights: theory and practice*. FAO Legislative Study 92. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0864e/a0864e00.pdf>)

FAO 2007a. *Irrigation management transfer: worldwide efforts and results*. FAO Water Reports 32. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/010/a1520e/a1520e00.htm>)

FAO 2007b. *Land evaluation: towards a revised framework*. FAO Land and Water Discussion Paper 6. Rome, FAO. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/a1080e/a1080e00.pdf>)

FAO 2007c. *Food insecurity, poverty and environment global GIS database*. FAO Environment and Natural Resources Working Paper 26. (Available at: <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home?uuid=0dc30f20-851b-11db-b9b2-000d939bc5d8>)

FAO 2007d. *Remediation of arsenic for agriculture sustainability, food security and health in Bangladesh*. FAO Working paper. Rome, FAO. (Available at: http://www.fao.org/nr/water/docs/FAOWATER_ARSENIC.pdf)

FAO 2007e. *Modernizing irrigation management – the MASSCOTE approach*. FAO Irrigation and Drainage Paper 63. (Available at: <http://www.fao.org/nr/water/docs/masscote/technical/Masscote.pdf>)

FAO 2008a. Financial mechanisms for adaptation to and mitigation of climate change in the food and agriculture sectors. High-Level Conference on World Food Security. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/013/k2516e.pdf>)

FAO 2008b. *Global review of good agricultural extension and advisory service practices*. Rome, FAO. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0261e/i0261e00.pdf>)

FAO 2008c. *Scoping agriculture-wetland interactions*. FAO Water Reports 33. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/water/docs/WaterReports33.pdf>)

FAO 2009a. *State of the world's forests 2009*. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/011/i0350e/i0350e00.htm>)

FAO 2009b. *The state of food and agriculture 2009*. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/012/i0680e/i0680e.pdf>)

FAO 2010a. *The state of world fisheries and aquaculture*. Rome, FAO. 197 pp. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/013/i1820e/i1820e00.htm>)

FAO 2010b. FAOSTAT database. (Available at: <http://faostat.fao.org/>)

FAO 2010c. AQUASTAT database. (Available at: www.fao.org/nr/water/aqua-stat/main/index.stm)

FAO 2010d. *Global forest resources assessment 2010*. FAO Forestry Paper 163. Rome, FAO. (Available at: http://foris.fao.org/static/data/fra2010/FRA2010_Report_en_WEB.pdf)

FAO 2010e. Global survey of agricultural mitigation projects. 30 pp. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/012/al388e/al388e00.pdf>)

FAO 2011a. *The state of food and agriculture 2010-11. Women in agriculture: closing the gender gap for development*. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/013/i2050e/i2050e00.htm>)

FAO 2011b. Land tenure. (Available at: http://www.fao.org/nr/tenure/lt-home/en/?no_cache=1)

FAO 2011c. *State of the world's forests 2011*. Rome. (Available at: <http://www.fao.org/forestry/sofo/en/>)

FAO 2011d. *Climate change, water and food security*. FAO Water Reports 36. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/water/jsp/publications/search.htm>)

FAO 2011e. Multiple use of water. (Website: http://www.fao.org/nr/water/topics_irrig_mus.html)

FAO and FIVIMS 2003. Poverty mapping, chronic undernutrition among children: an indicator of poverty. Food Insecurity and Vulnerability Information and Mapping Systems, Rome. (Available at: http://www.fivims.org/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=37&Itemid=56)

FAO and WFP 2010. *The state of food insecurity in the world. Addressing food insecurity in protracted crises.* Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/013/i1683e/i1683e.pdf>)

FAO/ICLARM/IIRR 2001. Integrated Agriculture-Aquaculture: a primer. FAO Fisheries Technical Paper 407. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/005/y1187e/y1187e01.htm>)

Faures, J-M., Svendsen, M. and Turrel, H. 2007. Reinventing irrigation. In: Molden, David (ed.). *Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture.* London/Colombo, Sri Lanka, IWMI/Earthscan. pp. 353–394.

Fischer, G., Van Velthuizen, H., Shah, M. and Nachtergael, F. O. 2002. Global agro-ecological assessment for agriculture in the twenty-first century: methodology and results. (Available at: <http://www.iiasa.ac.at/Admin/PUB/Documents/RR-02-002.pdf>)

Fischer, G., Tubiello, F. N., Van Velthuizen, H. and Wiberg, D. A. 2007. Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990–2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7): 1083–1107.

Fischer, G., Hizsnyik, E., Prieler, S. and Wiberg, D. 2010. *Scarcity and abundance of land resources: competing uses and the shrinking land resource base.* SOLAW Background Thematic Report TR02. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)

Foster, V. and Briceño-Garmendia, C. 2010. *Africa's infrastructure: a time for transformation.* Washington, DC, World Bank. 355 pp. (Available at: <https://www.infrastructureafrica.org/aicd/flagship-report>)

Frenken, K. 2010. Sources of water for agriculture. SOLAW Background Thematic Report TR03. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)

Garduno, H. and Foster, S. 2011. *Sustainable groundwater irrigation: approaches to reconciling demand with resources.* GW-MATE Strategic Overview Series No. 4. Washington, DC, World Bank.

Garrity, D. P., Akinnifesi, F. K., Ajayi, O. C., Weldezemayat, S. G., Mowo, J. G., Kalinganire, A., Larwanou, M. and Bayala, J. 2010. Evergreen agriculture: a robust approach to sustainable food security. In: Africa. *Journal of Food Security*, 2: 197–214.

GEF 2011. Projects and funding. Global Environment Facility. (Website: http://www.thegef.org/gef/gef_projects_funding)

GEO 2010. Group on Earth Observations. (Website: <http://www.earthobservations.org/>)

Geodata Institute 2010. *Where are the poor and where are the land and water resources.* SOLAW Background Thematic Report TR14. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>).

Giordano, M. A. and Wolf, A. T. 2002. The world's international freshwater agreements. In: UNEP (ed) 2002. *Atlas of international freshwater agreements*, pp. 1-8. UNEP, Oregon State University and FAO. (Available at: http://www.transboundarywaters.orst.edu/publications/atlas/atlas_pdf/2_WorldsAgreements_atlas.pdf)

Grepperud, S. 1994. *Population–environment links. Testing a soil degradation model for Ethiopia.* Divisional Working Paper No 1994–46. Environment Department, Washington, DC, World Bank.

Grey, D. and Sadoff, C. 2006. The global water challenge: poverty growth and international relations. Paper presented at Global Issues Seminar Series. Washington, DC, World Bank.

Gross, R., Schultink, W. and Sastroamidjojo, S. 1996. Stunting as an indicator for health and wealth: an Indonesian application. *Nutrition Research*, 16(11–12): 1829–1837.

Halwart, M. and Van Dam, A. (eds) 2006. Integrated Irrigation and Aquaculture in West Africa: Concepts, practices and potential. FAO Fisheries and Aquaculture Paper. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/009/a0444e/a0444e00.htm>)

Hamilton, K., Sjardin, M., Shapiro, A. and Marcello, T. 2009. Fortifying the foundation: State of the voluntary carbon markets 2009. Washington, DC/New York, New Carbon Finance/Ecosystem Marketplace. (Available at: http://www.ecosystemmarketplace.com/documents/cms_documents/StateOfTheVoluntaryCarbonMarkets_2009.pdf)

Hardin, G. 1968. The tragedy of the commons. *Science*, 162: 1243–1248.

Heath, H. and Binswanger, H. 1996. Natural resources degradation. *Environment and Development Economics*, 1 (1): 65–84.

Hellegers P. J. G. J., Perry, C. and Nasser, A. 2011. Incentives to reduce groundwater consumption in Yemen. *Irrigation and Drainage*. 60: 93–102.

Hoekstra, A. Y. 2010. *The relation between international trade and freshwater scarcity*. Economic Research and Statistics Division Working Paper ERSD-2010-05. Geneva, WTO. (Available at: http://www.wto.org/english/res_e/reser_e/ersd201005_e.pdf)

Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. 2007. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resource Management*, 21: 35–48.

Hoogeveen, J., Faurès, J-M. and Van De Giessen, N. 2009. Increased biofuel production in the coming decade: to what extent will it affect global freshwater resources? *Irrigation and Drainage*, 58: S148–S160.

Huang, Q., Rozelle, S., Lohmar, B., Jikun Huang and Jinxia Wang. 2006. Irrigation, agricultural performance and poverty reduction in China. *Food Policy*, 31(1): 30–52.

Huang, J., Xiaobing Wang, Huayong Zhi, Zhurong Huang and Rozelle, S. 2011. Subsidies and distortions in China's agriculture: evidence from producer-level data. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 55(1): 53–71. (Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-8489.2010.00527.x/pdf>)

Hussain, I. 2007. Pro-poor intervention strategies in irrigated agriculture in Asia: issues, lessons, options and guidelines: Bangladesh. *Irrigation and Drainage*, 56 (2–3): 119–126.

Hussain, I. and Hanjra, M. A. 2004. Irrigation and poverty alleviation: review of the empirical evidence. *Irrigation and Drainage*, 53(1): 1–15.

IBRD 2011. Rising global interest in farmland. Can it yield sustainable and equitable benefits? (Available at: http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/ESW_Sept7_final_final.pdf)

IEA 2009. *World energy outlook 2009*. International Energy Agency. Executive summary. (Available at: http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2009/WEO2009_es_english.pdf)

IFPRI 2009. ‘Land grabbing’ by foreign investors in developing countries: risks and opportunities. (Comprehensive table: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/bp013Table01.pdf>)

IIASA/FAO 2010. Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3.0). Laxenburg, Austria/Rome, Italy, IIASA/FAO.

IPCC 2007. *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden P. J. and Hanson, C. E. (eds), Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 273–313.

Irz, X., Thirtle, C. and Wiggins, S. 2001. Agricultural productivity growth and poverty alleviation. *Development Policy Review*, 19(4): 449–466.

Jua, Xiao-Tang, Guang-Xi Xing, Xin-Ping Chena, Shao-Lin Zhangb, Li-Juan Zhangc, Xue-Jun Liua, Zhen-Ling Cuia, Bin Yinb, Peter Christie, Zhao-Liang Zhub, and Fu-Suo Zhangc. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(9): 3041–3046. (Available at: <http://www.pnas.org/content/106/9/3041.full.pdf+html>)

LADA 2010a. Land degradation in drylands. (Available at: <http://www.fao.org/nr/lada/>)

LADA 2010b. *National land degradation assessment Senegal and review of global socio-economic parameters in the LADA data base*. SOLAW Background Thematic Report TR19 – prepared by the Centre for World Food Studies (SOW-U), Free University (VU), Amsterdam. (Available at: http://www.fao.org/nr/lada/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=685&Itemid=165&lang=en)

Lipper, L., Dutilly-Diane, C. and McCarthy, N. 2010. Supplying carbon sequestration from West African rangelands: opportunities and barriers. *Rangeland Ecology and Management*, 63(1): 155–166 (Available at: <http://www.bioone.org/doi/pdf/10.2111/REM-D-09-00009.1>)

Lipton, M. 2007. Farm water and rural poverty reduction in developing Asia. *Irrigation and Drainage*, 56: 127–146.

Llamas, M. R. and Custodio, E. (eds) 2003. *Intensive use of groundwater: challenges and opportunities*. Lisse, Balkema Publishers.

- Lundqvist, J., De Fraiture, C. and Molden, D.** 2008. Saving water: From field to fork – curbing losses and wastage in the food chain. SIWI Policy Brief. Stockholm International Water Institute. (Available at: http://www.siwi.org/documents/Resources/Policy_Briefs/PB_From_Filed_to_Fork_2008.pdf)
- Mainuddin, M. and Kirby, M.** 2009. Spatial and temporal trends of water productivity in the lower Mekong River Basin. *Agricultural Water Management*, 96(11): 1567–1578.
- Mateo-Sagasta, J. and Burke, J.** 2010. *Agriculture and water quality interactions*. SOLAW Background Thematic Report TR08. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)
- McCay, B. J. and Acheson, J. M. (eds)** 1987. *The question of the commons: the culture and ecology of communal resources*. Tucson, AZ, University of Arizona Press.
- MEA.** 2005. Millennium Ecosystem Assessment. (Available at: <http://www.maweb.org/en/index.aspx>)
- Meinzen-Dick, R.** 2007. Beyond panaceas in irrigation institutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(39): 15 200–15 205.
- Molden, D. (ed.)**. 2007. *Water for food, water for life. Comprehensive assessment of water management in agriculture*. Colombo/London, IWMI/Earthscan. (Available at: <http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/>)
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. A. and Kijne, J.** 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97(4): 528–535.
- Molle, F. and Berkoff, J.** 2006. *Cities versus agriculture: revisiting intersectoral water transfers, potential gains and conflicts*. IWMI Comprehensive Assessment Research Report 10. Colombo, Sri Lanka, IWMI Comprehensive Assessment Secretariat. (Available at: http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/files_new/publications/CA%20Research%20Reports/CARR10.pdf)
- Molle, F. and Wester, P. (eds)** 2009. *River basin trajectories: societies, environments and development*. CAB International. Wallingford UK: CABI; Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI) 311 pp. (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 8).

- Morris, B. L., Lawrence, A. R. L., Chilton, P. J. C., Adams, B., Calow, R. C. and Klinck, B. A.** 2003. *Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and options for management*. Early Warning and Assessment Report Series, RS. 03-3. Nairobi, Kenya, United Nations Environment Programme.
- Morris, M., Kelly, V., Kopicki, R. J. and Byerlee, D.** 2007. Fertilizer use in African agriculture. Directions in development agriculture and rural development 39037. The World Bank, Washington, 144p.
- Mukherji, A., and Shah, T.** 2005. Groundwater socio-ecology and governance: a review of institutions and policies in selected countries. *Hydrogeology Journal*, 13: 328–345. (doi: 10.1007/s10040-005-0434-9)
- Mundy, M.** 1995. *Domestic government: kinship, community and polity in North Yemen*. London, IB Tauris.
- Nachtergaele, F. Biancalani, R. and Petri, M.** 2010a. *Land degradation*. SOLAW Background Thematic Report TR06. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)
- Nachtergaele, F., Bruinsma, J., Valbo-Jorgensen, J. and Bartley, D.** 2010b. Anticipated trends in the use of global land and water resources. SOLAW Background Thematic Report TR01. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>).
- Nachtergaele, F. O., Petri, M. and Biancalani, R.** 2011. Land degradation. Chapter 3. In: Lal, R. & Stewart, B.A. (eds) *World soil resources and food security*. Advances in Soil Science. Boca Raton, CRC Press.
- Neely, C. and Fynn, A.** 2010. Critical choices for crop and livestock production systems that enhance productivity and build ecosystem resilience. SOLAW Background Thematic Report TR11. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)
- Nkonya, E., Cenacchi, N. and Ringler, C.** 2010. International cooperation for sustainable land and water management. SOLAW Background Thematic Report TR16. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)
- Nori, M. and Neely, C.** 2009. The tragedy is on, the tragedy is over: pastoral challenges and opportunities for conservation agriculture. *Proceedings of the IV World Congress on Conservation Agriculture, New Delhi, 4–7 February 2009*. (Also available at: <http://www.achmonline.org/Resource/Conservation%20Agriculture,%20Nori%20and%20Neely.pdf>)

- OECD** 2010a. *Sustainable management of water use in agriculture*. Paris, OECD.
- OECD** 2010b. Database on aid activities. Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development. (Websites: <http://www.oecd.org/dataoecd/20/29/31753872.htm>; ODA data: <http://stats.oecd.org/Index.aspx?DatasetCode=CRSNEW>)
- Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A. and Sombroek, W. G.** 1990. World map of the status of human-induced soil degradation. An explanatory note. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD) Working Paper 90/07. Wageningen, ISRIC. (Available at: http://www.isric.org/isric/webdocs/Docs/ISRIC_Report_1990_07.pdf)
- Perry, C., Steduto, P., Allen, R. G. and Burt, C.** 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities *Agricultural Water Management*, 96: 1517–1524.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R. and Blair, R.** 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201): 1117–1123.
- Pretty, J., Toulmin, C. and Williams, S. (eds)** 2011. Sustainable intensification: increasing productivity in African food and agricultural systems. *International Journal of Agricultural Sustainability (special issue)*, 9(1): 5–24.
- Robins, N., Clover, R. and Singh, C.** 2009. *A climate for recovery. The colour of stimulus goes green*. HSBC global research, London.
- Rockström, J., W. et al.** 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 32. (Available at: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>)
- Rosegrant M. W. and Svendsen M.** 1993. Asian food production in the 1990s: irrigation investment and management policy. *Food Policy*, 18: 13–32.
- Sadoff, C. and Grey, D.** 2005. Cooperation on international rivers: a continuum for securing and sharing benefits. *Water International*, 30(4): 420–427.
- Sadras, V. O. and Grassini, P.** 2010. *Status of water use efficiency of main crops*. SOLAW Background Thematic Report TR07. Rome, FAO.

- Salman, M., Koohafkan, P. and Casarotto, C.** 2010. *Investments in land and water*. SOLAW Background Thematic Report TR17. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)
- Savory, A. and Butterfield, J.** 1999. *Holistic management: a new framework for decision making*. Washington, DC, Island Press.
- Schmidhuber, J., Bruinsma, J. and Boedeker, G.** 2009. Capital requirements for agriculture in developing countries to 2050. In: *How to feed the World in 2050*. Proceedings of an expert meeting, Rome, FAO. 24–26 June 2009. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/ak542e/ak542e09.pdf>)
- Scoones, I.** 1995. *Living with uncertainty: new directions for pastoral development in Africa*. London, Intermediate Technology Press.
- Settle, W. and Garba, M.** 2011. Sustainable crop production intensification in the Senegal and Niger River basins of francophone West Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability (special issue)*, 15: 171–185.
- Shah, T.** 1993. *Groundwater markets and irrigation development: political economy and practical policy*. Bombay, India, Oxford University Press.
- Shah, T.** 2009. *Taming the anarchy: groundwater governance in South Asia*. London/Washington, DC, RFF Press.
- Shah, T. and Singh, O. P.** 2004. Irrigation development and rural poverty in Gujarat, India: a disaggregated analysis. *Water International*, 29(2): 167–177.
- Shamsuddoha, M., Taylor, R. G., Ahmed, K. M. and Zahid, A.** 2011. The impact of intensive groundwater abstraction on recharge to a shallow regional aquifer system: evidence from Bangladesh. *Hydrogeology Journal*, 19: 901–916. (doi: 10.1007/s10040-011-0723-4)
- Sheldrick, W. F., Syers, J. K. and Lingard, J.** 2002. A conceptual model for conducting nutrient audits at national, regional, and global scales. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62(1): 61–72.
- Siebert, Stefan, Döll, Petra, Feick, Sebastian, Hoogeveen, Jippe and Frenken, Karen.** 2007. Global map of irrigation areas version 4.0.1. Frankfurt am Main, Germany and Rome, Italy. Johann Wolfgang Goethe University and FAO, Rome, Italy.

Siebert, S., Burke, J., Faurès, J-M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P. and Portmann, F.T. 2010. Groundwater use for irrigation – a global inventory. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 1863–1880. (Available at: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/1863/2010/hess-14-1863-2010.html>)

Simondon, K. B. 2010. Review on stunting: clarification and use of the indicator for the assessment of poverty. United Nations System Standing Committee on Nutrition, Task Force on Assessment, Monitoring and Evaluation (Draft). SOLAW Background Thematic Report TR14.

Simpson, B. W. and Ruddle, L. J. 2002. Irrigation and pesticide use. pp. 193–198. In: Bruce R (ed). *Best practice irrigation in sugarcane production. Short course*. Course manual. Townsville, Qld, CSIRO. (Available at: <http://www.clw.csiro.au/publications/consultancy/2002/BestPracticeIrrigationinSugarcaneProduction.pdf>)

Smaller, C. and Mann, H. 2009. *A thirst for distant lands: foreign investment in agricultural land and water*. Foreign Investment for Sustainable Development Program, Winnipeg, International Institute for Sustainable Development (IISD). (Available at: http://www.iisd.org/pdf/2009/thirst_for_distant_lands.pdf)

Smith, L. E. D. 2004. Assessment of the contribution of irrigation to poverty reduction and sustainable livelihoods. *Water Resources Development*, 20(2): 243–257.

Smits, S., Renwick, M., Renault, D., Butterworth, J. and van Koppen, B. 2008. From practice to policy: background paper for the International symposium on multiple-use water services, Addis Ababa, Ethiopia, 4–6 November 2008.

Steduto, P, Hsiao, T. C. and Fereres, E. 2007. On the conservative behaviour of biomass water productivity. *Irrigation Science*, 25: 89–107.

Tanji, K. K. and Kielen, N. C. 2002. *Agricultural drainage water management in arid and semiarid areas*. Irrigation and Drainage Paper 61. Rome, FAO. (Available at: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp61e.pdf>)

Tennigkeit, T. and Wilkes, A. 2008. An assessment of the potential for carbon finance in rangelands. Nairobi, Kenya, World Agroforestry Centre, ICRAF. (Available at: http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/scpi/cgwg/ICRAF_WP68.pdf)

- Tennigkeit, T., Kahrl, F., Wölcke, J. and Newcombe, K.** 2009. *Agricultural carbon sequestration in Sub-Saharan Africa: economics and institutions*. Washington, DC, World Bank. (Available at: <http://africacarbonforum.com/2009/docs/presentations/Day2/timm%20tennigkeit.pdf>)
- TerrAfrica** 2009. Country Support Tool. For scaling-up sustainable land management in sub-Saharan Africa - Field Application. (Available at: http://knowledgebase.terrafrica.org/fileadmin/user_upload/terrafrica/docs/topic_page/Country_Support_Tool_2_.pdf)
- Thirtle, C., Irz, X., Lin, L., McKenzie-Hill, V. and Wiggins, S.** 2001. *Relationship between changes in agricultural productivity and the incidence of poverty in developing countries*. DFID report No. 7946, 27/02/2001. London, DFID. (Available at: <http://www.odi.org.uk/events/documents/2334-background-paper-colin-thirtle-relationship-between-changes-agricultural-productivity-incidence-poverty.pdf>)
- Tiffen, M., Mortimore, M. and Gichuki, F.** 1994. *More people, less erosion: environmental recovery in Kenya*. Chichester, UK, John Wiley.
- Tilman, D., Socolow, R., Foley, J. A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C. and Williams, R.** 2009. Beneficial biofuels – the food, energy, and environment trilemma. *Science*, 325, 270–271.
- Tubiello, F. and van der Velde, M.** 2010. Land and water use options for climate change adaptation and mitigation in agriculture. SOLAW Background Thematic Report TR04A. Rome, FAO. (Available at: <http://www.fao.org/nr/solaw/>)
- Tubiello, F. N., Soussana, J. F., Howden, M. and Easterling, W.** 2007. Crop and pasture response to climate change; fundamental processes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 19 686-19 690.
- Tubiello, F., Schmidhuber, J., Howden, M., Neofotis, P. G., Park, S., Fernandes, E. and Thapa, D.** 2008. *Climate change response strategies for agriculture: challenges and opportunities for the twenty-first century*. Agriculture and rural development discussion paper 42. Washington, DC, World Bank.
- Turral, H. and Burke, J.** 2010. *Sustainable crop production and intensification in irrigated cropping systems*. Land and Water Division, Rome, FAO.
- UNCCD** 2007. *High-level round table discussion on desertification and adaptation to climate change*. Conference of the Parties, Eighth session, Madrid, 3–14 September 2007. (Available at: <http://www.unccd.int/convention/menu.php>)

UNCTAD 2006. *FDI from developing and transition economies: implications for development*. World Investment Report 2006. New York and Geneva, UN. (Available at: http://www.unctad.org/en/docs/wir2006ref_en.pdf)

United Nations 2009. *World population prospects: the 2008 revision population database*. New York, UN Population Division.

UN-REDD 2011. The United Nations Collaborative Program on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries. (Website: <http://www.un-redd.org/>)

Uphoff N. Kassam, A. and Harwood, R., 2011. SRI as a methodology for raising crop and water productivity: productive adaptations in rice agronomy and irrigation water management. *Paddy and Water Environment*, 9: 3-11.

Von Braun, J. and Meinzen-Dick, R. 2009. ‘*Land grabbing*’ by foreign investors in developing countries: risks and opportunities. Policy Brief 13. Washington, DC, IFPRI. (Available at: <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/bp013all.pdf>)

Wang, Jinxia, Jikun Huang, Zhigang Xu, Rozelle, S., Hussain, I. and Biltonen, E. 2007. Irrigation management reforms in the Yellow River basin: implications for water saving and poverty. *Irrigation and Drainage*, 56: 247–259.

Wani, S. P, Sreedevi, T. K, Rockström, J. and Ramakrishna, Y. S. 2009. Rainfed agriculture: past trends and future prospects. In: Wani S. P. (ed). *Rainfed Agriculture: Unlocking the potential*, pp. 1-35. Wallingford, UK, CAB Intl. (Available at: http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Rainfed_Agriculture/Protected/Rainfed_Agriculture_Unlocking_the_Potential.pdf)

White, R. P., Murray, S. and Rohweder, M. 2000. *Pilot analysis of global ecosystems: grassland ecosystems*. Washington, DC, World Resources Institute. (Available at: <http://www.wri.org/publication/pilot-analysis-global-ecosystems-grassland-ecosystems>)

Whittington, D., Xun Wu and Sadoff, C. 2005. Water resources management in the Nile Basin: the economic value of cooperation. *Water Policy*, 7: 227–252.

WHO-FAO-UNEP 2006. WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 4. Excreta and greywater use in agriculture. World Health Organization. Geneva.

Wichelns, D. 2010. An economic analysis of the virtual water concept in relation to the agri-food sector, background reports supporting the OECD study (2010). *Sustainable Management of Water Resources in Agriculture*. Paris, OECD. (Website: www.oecd.org/water)

Winpenny, J. 2010. Global trends in financing water. In: Ringler C *et al.* (eds). *Globalization, Trade and Global Change*, pp 143–167. New York, Springer.

Winpenny, J., Heinz, I. and Koo-Oshima, S. 2010. The wealth of waste. FAO Water Report 35. (Available at: <http://www.fao.org/docrep/012/i1629e/i1629e.pdf>)

World Bank 2003. Implementation completion report for the Loess Plateau project. Report # 25701. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2003/05/01/000160016_20030501180454/Rendered/PDF/257011CN1Loess1d0Rehab0Project0IICR.pdf)

World Bank 2005. *Shaping the future of water for agriculture: a sourcebook for investment in agricultural water management*. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/Shaping_the_Future_of_Water_for_Agriculture.pdf)

World Bank 2006. *Directions in development. Reengaging in agricultural water management. Challenges and options*. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/DID_AWM.pdf)

World Bank 2007a. *Agriculture for development*. World Development Report 2008. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2008/Resources/WDR_00_book.pdf)

World Bank 2007b. *Emerging public-private partnerships in irrigation development and management*. In: Dargouth, S. *et al.* Water Sector Board Discussion Paper Series No 10, May 2007. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://siteresources.worldbank.org/INTWSS/Resources/WS10_txt.pdf)

World Bank 2007c. *Investment in agricultural water for poverty reduction and economic growth in Sub-Saharan Africa: synthesis report*. Report No 43768 (2008-01-01). Washington, DC, World Bank. (Available at: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2008/05/29/000334955_20080529023517/Rendered/PDF/437680SR0white10water0200801PUBLIC1.pdf)

World Bank 2007d. China second Loess Plateau watershed rehabilitation project; first and second Xiaolangdi multipurpose project; and second Tarim Basin project. Project performance assessment report. Report # 41122. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2007/10/31/000020953_20071031102004/Rendered/PDF/41122.pdf)

World Bank 2008. *Poverty analysis in agricultural water operations*. Water Working Notes No 16. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2008/06/18/00033037_20080618031322/Rendered/PDF/442260NWP0WN1610Box327398B01PUBLIC1.pdf)

World Bank 2009a. *Environmental flows in water resources policies, plans and projects: findings and recommendations*. Report No 48743. Washington, DC, World Bank. (Available at: http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2009/06/04/000334955_20090604063828/Rendered/PDF/487430PUB0envi101Official0Use0Only1.pdf)

World Bank 2009b. *World Development Report 2010*. Washington, DC, World Bank. (Available at: <http://econ.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/EXTDEC/EXTRESEARCH/EXTWDRS/EXTWDR2010/0,,contentMDK:21969137~menuPK:5287748~pagePK:64167689~piPK:64167673~theSitePK:5287741,00.html>)

World Bank 2010a. Deep wells and prudence: towards pragmatic action for addressing groundwater overexploitation in India. Washington, DC, World Bank. (Available at: <http://siteresources.worldbank.org/INDIAEXTN/Resources/295583-1268190137195/DeepWellsGroundWaterMarch2010.pdf>)

World Bank 2010b. *Managing Water Scarcity*. A background paper for the MNA study on Peace, Stability and Development. Washington, DC, World Bank.

WWAP 2009. *United Nations World Water Development Report 3: water in a changing world*. Paris/London, UNESCO/Earthscan. (Available at: <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/>)

Yetim, M. 2002. Governing international common pool resources. *Water Policy*, 4(4): 305–321.

图书在版编目 (CIP) 数据

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100125)
责任编辑 刘爱芳

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2012 年 10 月第 1 版 2012 年 10 月北京第 1 次印刷

开本: 印张:

字数:

定价:

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

世界粮食和农业领域土地及水资源状况

—— 濒危系统的管理

联合国粮食及农业组织

到2050年，全球范围内的粮食产量预计需要再递增70%左右，而在发展中国家这一比例将近100%。面对粮食增产的这一需求，再加上其他领域需求的争夺，使全球许多农业生产系统纷纷置于前所未有的压力之下。这些“濒临系统”正处于愈演愈烈的水土资源大战之中，而且还经常受到不可持续的农耕方式的掣肘。因此，需要对其特别注意并采取具体的救助措施。

《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》(SOLAW)就这些高危领域如何克服制约因素并改善资源管理探讨了多种方案。在每一个领域，除了要在制度和政策上作出一些列调整外，还必须将其与扩大技术应用结合起来，以获得更好的水土资源管理效果。另外，加大投资力度、提供新型融资机制以及开展国际合作与开发援助也有助于克服这些制约因素。

本书作为《世界粮食和农业领域土地及水资源状况》第一期，是对联合国粮食及农业组织出版的其他“世界状况”类报告的一个补充，其旨在揭示国家与国际层面上的论争和决策情况。

ISBN 978-92-5-506614-6



11688Ch/1/09.12

earthscan
from Routledge

an informa business



Routledge
Taylor & Francis Group
www.routledge.com



WWW.FAO.ORG