



联合国
粮食及
农业组织

2016

粮食及 农业状况

气候变化、农业和
粮食安全

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。

ISBN 978-92-5-509374-6

粮农组织鼓励对本信息产品中的材料进行使用、复制和传播。除非另有说明，可拷贝、下载和打印材料，供个人学习、研究和教学所用，或供非商业性产品或服务所用，但必须恰当地说明粮农组织为信息来源及版权所有，且不得以任何方式暗示粮农组织认可用户的观点、产品或服务。

所有关于翻译权、改编权以及转售权和其他商业性使用权的申请，应递交至www.fao.org/contact-us/licence-request或copyright@fao.org

粮农组织信息产品可在粮农组织网站 (www.fao.org/publications) 获得并通过publications-sales@fao.org购买。

© 粮农组织, 2016年

封面图片: ©粮农组织/D. Hayduk

坦桑尼亚联合共和国奇洛卡

稻田手工除草是实施气候智能型农业项目中水稻强化栽培系统方法的一部分。

2016年 粮食及 农业状况

气候变化、农业和
粮食安全

联合国粮食及农业组织
罗马，2016年

目录

前言	v	创造减缓和适应共同惠益, 促进粮食安全	76
致谢	viii	减缓措施的成本、激励措施和障碍	84
缩略语	x	粮食系统角度: 将损失和浪费最小化,	
内容提要	xi	促进可持续膳食	86
		结论	87
第一章		第五章	
饥饿、贫困与气候变化: 当前及未来挑战	1	前进方向: 调整政策, 建设制度能力	89
主要内容	3	主要内容	91
复杂的相互作用及不可分割的联系	4	农业成为“预期贡献”的关键问题	93
立即采取全球一致行动的紧迫性	8	从意愿到行动: 气候变化战略中的农业	95
农业的特殊作用和责任	13	气候目标与发展目标相结合的综合方法	96
		加强区域与国际合作	100
第二章		结论	103
气候、农业和粮食安全: 深入研究三者	17	第六章	
之间关系	17	为未来工作融资	105
主要内容	19	主要内容	107
从气候到人的连锁影响	20	农业气候融资	108
对农业的影响	20	以小博大: 气候融资的策略性使用	115
对收入和生计的影响	29	结论	119
还有千百万人面临饥饿风险	34	农林渔业国际公共候融资数据	120
农业对气候变化的作用	38	统计附件	123
结论	41	附表说明	124
		表A.1 全球各地因气候变化导致的作物	
第三章		单产变化预测	128
小农农业适应气候变化	43	表A.2 2014年农业、林业和其他土地用	
主要内容	45	途净排放量和净清除量, 以二氧化	
对脱贫路径的再思考	46	碳当量计	134
面对气候变化风险的主要脆弱性	47	表A.3 2014年农业各排放源排放量, 以	
建设具有抵御力的生产系统和生计	48	二氧化碳当量计	141
适应措施的成本是多少?	60		
实现小农系统向气候智能型农业转型	62		
结论	66		
		参考资料	148
第四章		《粮食及农业状况》特别章节	172
减缓和适应并举的技术潜力	69		
主要内容	71		
减缓和适应并举的技术潜力	72		

表、图及插文

表

1. 21世纪温度高于前工业化时代水平1.5℃至2℃条件下气候对全球和热带地区若干作物单产的影响	12
2. 气候变化对各区域的若干潜在影响	24
3. 2030年不同气候与社会经济情景中无气候变化影响条件下的极端贫困人口数量	33
4. 拉丁美洲部分地区因气温升高导致的农业收入变化	33
5. 2010年所有领域与农业、林业和其他土地用途领域主要温室气体排放量和清除量	39
6. 2014年各区域农业温室气体排放三大主要来源	41
7. 气候冲击对农业产量和生产率的影响	47
8. 不同气候条件下各类措施对赞比亚作物单产的影响	53
9. 东亚和撒哈拉以南非洲小农农业氮肥使用差异	53
10. 中国青海省实施先进放牧管理方式的机会成本	65

11. 2030年和2050年五种改良做法情景下一氧化二氮年减排潜力(累积效应)	77
--	----

12. 导致土壤碳储量减少的农业做法举例	83
----------------------	----

图

1. 2050年之前气候变化对不同区域谷物单产的影响	7
2. 2010年各经济领域温室气体排放占比	7
3. 影响路径: 从气候变化到粮食安全	21
4. 气候变化导致的世界范围内作物单产变化预测	26
5. 气候变化导致的发展中区域作物单产变化预测	27
6. 气候变化导致的发达区域作物单产变化预测	27
7. 2050年气候变化对全球层面作物单产、面积、产量、价格和贸易的影响	36
8. 2050年气候变化对各区域面临饥饿风险人口的影响	36
9. 有无气候变化条件下面临饥饿威胁的人口	36

10. 粮食不安全与气候变化脆弱性: 当前、最坏情景和最好情景	37
---------------------------------	----

11. 以二氧化碳当量计算的农业、林业和其他土地用途年均净排放量/清除量	39
--------------------------------------	----

12. 2014年以二氧化碳当量计算的各区域农业、林业和其他土地用途净排放量/清除量	40
--	----

13. 2014年全球以二氧化碳当量计算的各排放源在农业排放中占比	40
-----------------------------------	----

14. 采用改良农业技术后2050年面临饥饿风险人口数量相对于基准情景的变化	55
--	----

15. 2030年各区域农业、林业和其他土地用途领域的经济减缓潜力	85
-----------------------------------	----

16. 从国际承诺和机制到国家政策 and 制度	97
--------------------------	----

17. 2010-2014年国际公共融资各渠道对各领域减缓和/或适应行动的投入	109
---	-----

18. 2010-2014年各领域年均多边承诺和拨付	113
----------------------------	-----

插文

1. 粮食安全的四个维度	9	11. 越南的气候智能型水产养殖	55	20. 粮食系统排放：供应链各环节的能源使用情况	85
2. 气候变化与营养	9	12. 马拉维和赞比亚的气候风险、多样化和小农福利	57	21. 农业与《联合国气候变化框架公约》	94
3. 农业在国家层面行动指导方针中地位突出	12	13. 投资于小农适应措施的收益与成本	61	22. 农业与能源政策协调一致的必要性	97
4. 可持续粮食和农业共同愿景	15	14. 阻碍适应能力提高的因素	64	23. 减少灾害风险，促进粮食安全与营养	101
5. 气候变化对农业的影响概述	21	15. 调整研究方向，应对气候挑战	65	24. 知识空白与数据挑战	101
6. 极端天气事件的影响	26	16. 农业部门的碳氮元素	73	25. 气候专项基金与农业	111
7. 预测气候变化：典型浓度路径与共享社会经济路径	31	17. 利用核技术和同位素技术促进气候变化减缓	77	26. 增强撒哈拉以南非洲的可持续性和抵御力	113
8. 农村女性属于最脆弱人群	49	18. 畜牧和水稻生产中的甲烷减排	79	27. 将气候变化纳入经济评估	117
9. 遗传多样性有助于提高抵御力	49	19. 中国的退化草原恢复	83	28. 国际金融机构中的气候变化主流化	117
10. 中国节水措施的效益	53				

前言

去年见证了具有历史意义的《巴黎协定》的签订和《2030年可持续发展议程》的确立，绘制了通向更加可持续未来的路径，2016年要做的就是化承诺为行动。世界气候的迅速变化引发了更加极端和频繁的气候事件、热浪、干旱和海平面上升。

气候变化对农业和粮食安全产生了惊人的影响，这正是本报告研究的主题。报告提出的一项重要结论是，迫切需要为小农户适应气候变化提供支持。农民、牧民、渔民和社区林农赖以谋生的活动与气候有着不可分割的密切联系，这些群体也最容易受气候变化的影响。为调整生产系统和生产方法以适应气候变化，他们需要比现在获得多得多的技术、市场、信息和投资信贷。

除非立即采取行动，提高农业的可持续性、生产率和抵御能力，气候变化影响将严重危害粮食安全。本就十分严重的那些国家和地区，这些影响将危及到2030年消除饥饿和贫困这两个关键可持续发展目标的实施进展；2030年之后，农业将普遍受到日益加剧的不利影响。

气候变化对农业、生计和基础设施产生影响，威胁到粮食安全的方方面面，城市和农村贫困人口均将因此而面临粮价的上涨和剧烈波

动。气候变化还将造成作物、畜牧和渔业生产率下降，影响粮食的可供量，妨碍粮食的获取，干扰千千万万依靠农业获得收入的农村人口的生计。

饥饿、贫困和气候变化问题要综合处理。重要的是，这在道义上也有必要，因为对气候变化产生不利影响最小的人们，目前受到的影响却最为严重。本报告介绍如何帮助小农生产适应气候变化和加强农村人口生计的抵御能力。粮食生产系统多样化并与复杂生态过程更好的整合，将与自然生境形成合力而不是造成自然资源枯竭。例如，农业生态方法和可持续集约化这两种方法，通过施用绿肥，种植固氮覆盖作物，进行可持续土壤管理，以及与混农林业和畜牧业相结合等，均可提高单产和增强抵御能力。

增强农业的抵御能力和为小农提供明智投资可带来转型变革，改善全球最贫困人口的前景并提高其收入，同时减缓其受到的气候变化影响。本报告表明，适应行动产生的效益远大于不作为所付出的代价。要想实现向可持续而且更公平农业的这种转型，必须改进获取技术推广服务和进入市场的渠道，还要消除土地权属无保障、交易成本过高以及资源占有量过少等障碍，这对农村女性来说尤为严重。

生计多元化也有助于农业家庭将自身农活与农业及其他经济部门的季节性工作相结合，从而防范气候风险。在所有情况下，社会保障计划都需要发挥重要作用，帮助小农户改善管理风险，降低面对粮价波动的脆弱性，改善离乡农村人口的就业前景。

为将全球温度升幅控制在2 °C的关键上限以内，温室气体排放量到2050年必须减少70%。没有农业部门的贡献，就无法将气候变化保持在可控范围内。农业排放量目前至少占排放总量的五分之一，其主要来自于毁林造田以及畜牧业和种植业。面临的挑战是既要减少排放量，又要满足空前的粮食需求。

农业可对全球碳循环平衡做出重大贡献。同样，在林业部门，避免毁林、扩大森林面积以及对木材生产实施持续单产管理，可封存大量大气二氧化碳。土壤对调节二氧化碳和其他温室气体的排放也至关重要。合理的土地利用和土壤管理可提高土壤质量和肥力，还有助于减缓大气中二氧化碳浓度的升高。

国家承诺奠定了2015年气候变化《巴黎协定》的基础，现在关键是要将这些承诺转化为行动。2016年11月将在摩洛哥举行的缔约方大会将明确聚焦农业部门的实施行动。本报告明确指出了策略、融资机遇以及数据和信息方面

的需要，并介绍了能够克服实施障碍的变革政策和制度。随着各国修订并有望加强其国家计划，能否履行其承诺，尤其是在农业方面，对形成不断追求更高目标的良性循环将至关重要。

气候变化是粮农组织以往工作的一个根本重点。为了向成员国提供支持，我们已在能够同时促进粮食安全和气候变化适应与减缓的领域进行了投资。粮农组织正在帮助气候风险最大的那些国家调整其粮食和农业体系的方向，并把支持小农作为一个明确重点。

粮农组织在其所有专业领域开展工作，努力寻求可持续包容性农业新模式。粮农组织通过全球土壤伙伴关系，促进在最脆弱人口居住区的投资，以尽量减少土壤退化和恢复土壤生产力，从而稳定全球土壤有机质储量。

我们参与《可持续畜牧业全球议程》并启动了相关计划，通过适合当地农业系统的措施减少反刍动物的肠道甲烷排放。在渔业领域，我们的“蓝色增长倡议”将渔业与可持续环境管理相结合，同时我们还与欧盟实施联合计划，着力开展对富碳森林的保护。我们就如何将遗传多样性纳入国家气候变化适应规划提供指导，并与联合国开发计划署一道，支持各国将农业纳入适应规划和预算编制过程。粮农组织还帮助发展中国家与气候融资来源建立联系。

国际社会如今需要立即采取行动应对气候变化，促使农业、林业和渔业采用气候友好型方法。这将决定人类到2030年是否能成功消除饥饿与贫困，生产人人所需的粮食。“维持常

态”是行不通的。农业始终构成了自然资源与人类活动之间的联系。如今，农业已成为应对人类面临的两项最大挑战，即根除贫困和维持通向文明繁荣的稳定气候通道的关键。



粮农组织总干事

若泽·格拉济阿诺·达席尔瓦

致谢

《2016年粮食及农业状况》由联合国粮食及农业组织（粮农组织）跨学科团队在农业发展经济司（ESA）司长Rob Vos和《粮食及农业状况》高级经济师、主编Andrea Cattaneo的指导下编写而成。经济及社会发展部（ESD）临时助理总干事Kostas Stamoulis提供总体指导。此外，自然资源副总干事Maria Helena Semedo与经济及社会发展部管理团队也提供了指导。粮农组织林业部助理总干事René Castro Salazar和气候及环境司司长Martin Frick也对报告做出了重要贡献。

研究和撰写团队

Jakob Skøt（农业发展经济司组长）、Leslie Lipper（农业发展经济司首席技术顾问）、Graeme Thomas（顾问编辑）、Astrid Agostini（气候及环境司）、Raffaele Bertini（农业发展经济司）、Cassandra De Young（渔业和水产养殖部）、Sarah Lowder（农业发展经济司）、Alexandre Meybeck（农业及消费者保护部）、Anne Mottet（动物生产及卫生司）、Selvaraju Ramasamy（气候及环境司）、Simone Rose（林业部）和Henning Steinfeld（动物生产及卫生司）。

撰稿人

背景文件

Franck Ackermann（美国突触能源经济咨询公司）、Benjamin Bodirsky（德国波茨坦气候影响研究所）、Oscar Cacho（澳大利亚新英格兰大学）、Angela Cadena Monroy（哥伦比亚安第斯大学）、Alessandro De Pinto（国际粮食政策研究所）、Pierre Gerber（世界银行）、Ben Henderson（澳大利亚联邦科学与工业研究组织）、Mario Herrero（澳大利亚联邦科学与工业研究组织）、Ana María Loboguerrero（国际农业研究磋商组织气候变化、农业和粮食安全研究计划）、Mario Londoño（哥伦比亚安第斯大学）、Alberto Millán（国际热带农业中心）、Jonathan Moss（澳大利亚新英格兰大学）、Marigold Norman（英国海外发展研究所）、Oene Oenema（荷兰瓦赫宁根大学）、Katherine Ovalle Sanabria（哥伦比亚环境与可持续发展部）、Vittoria Pinca（顾问）、Dave Robb（顾问）、Marc Sadler（世界银行）、Jean-François Soussana（法国农业科学研究院）、Rita Strohmaier（奥地利格拉茨大学）、Rodrigo Suarez Castaño（哥伦比亚环境与可持续发展部）、Mark Sutton（英国生态与水文研究中心）、Stacy A. Swann（世界银行）、Timothy Thomas（国际粮食政策研究所）、Philip Thornton（国际家畜研究所）、Caroline Van

der Does de Willebois（顾问）、Ioannis Vasileiou（国际粮食政策研究所）和Keith Wiebe（国际粮食政策研究所）。

做出贡献的粮农组织其他人员

Adriana Arango Guillen、Aslihan Arslan、Solomon Asfaw、Stephen Baas、Tarub Bahri、Karel Callens、Clayton Campanhola、Frederic Castell、Barbara Cooney、Barbara Cooney、Olivier Dubois、Jean Marc Faurès、Michelle Kendrick、Nancy McCarthy、Matta Rao、Doris Soto和Francesco Tubiello。

统计附件

附件由Raffaele Bertini和Sarah Lowder（农业发展经济司）编写。附件表1基于Andrew Challinor（英国利兹大学）、Julian Ramirez-Villegas（国际农业研究磋商组织气候变化、农业和粮食安全研究项目）和James Watson（澳大利亚昆士兰大学）提供的数据编制。作者对上述各位允许在本报告中使用的数据表示感谢。附件表2和3基于粮农组织统计司与气候及环境司共同编制的粮农组织统计数据库数据编制。

行政支持

Paola Di Santo和Liliana Maldonado。

粮农组织感谢技术研讨会提供的意见和指导，参与人员包括：Alessandro De Pinto（国际粮食政策研究所）、Fiona Guy（世界粮食计划署）、Ada Ignaciuk（经济合作与发展组织）、Alberto Millán（世界银行）、Torben Nilsson（国际农业发展基金）、Marigold Norman（英国海外发展研究所）、Shivaji Pandey（独立专家）、Rita Strohmaier（奥地利格拉茨大学）、Terry Sunderland（国际林业研究中心）和Keith Wiebe（国际粮食政策研究所）。

翻译及印刷服务由粮农组织大会、理事会及礼宾事务司会议规划及文件处提供。

粮农组织全组织交流办公室**出版处**为所有六种官方语言版本提供了编辑、桌面设计及排版支持。

缩略语

AFOLU

农业、林业和其他土地用途

AgMIP

农业模型比较与改进项目

ASAP

小农农业适应计划

BCR

收益成本比

C

碳

CFU

海外发展研究所气候基金更新网

CH₄

甲烷

CO₂

二氧化碳

COP

《联合国气候变化框架公约》缔约方会议

CRS

经合组织贷方报告系统

CSA

气候智能型农业

GDP

国内生产总值

GEF

全球环境基金

GHG

温室气体

Gt

十亿吨

GtC

十亿吨碳

GtCO₂-eq

十亿吨二氧化碳当量

ha

公顷

IDA

国际开发协会

IFAD

国际农业发展基金

IFPRI

国际粮食政策研究所

IMPACT

国际农产品和贸易政策分析模型

INDC

预期国家自主贡献

IPCC

政府间气候变化专门委员会

LDC

最不发达国家

LULUCF

土地利用、土地用途变化及林业

N

氮

N₂O

一氧化二氮

NAMA

国家适当减缓行动

NAP

国家适应计划

NAPA

国家适应行动方案

NDC

国家自主贡献

NPV

净现值

ODI

海外发展研究所

OECD

经济合作与发展组织

RCP

典型浓度路径

REDD

减少毁林和森林退化所致排放量

SOC

土壤有机碳

SSP

共享社会经济路径

SME

中小企业

t

吨

UNDP

联合国开发计划署

UNFCCC

联合国气候变化框架公约

WTO

世界贸易组织

内容提要

世界面临前所未有的双重挑战：消除饥饿与贫困，及早稳定全球气候

国际社会通过了《2030年可持续发展议程》和《巴黎气候变化协定》，承担起构建可持续未来的责任。然而，要实现2030年消除饥饿与贫困的目标，并同时应对气候变化的威胁，将需要在世界范围内实现粮食和农业体系的深刻转型。

可持续农业转型是一项严峻挑战。变革方式不能危及种植业、畜牧业、渔业和林业等各农业生产部门满足世界粮食需要的能力。在人口和收入增长以及快速城市化的推动下，到2050年全球粮食需求预计将在2006年的水平上至少增加60%。未来几十年，人口增长将集中在食物不足发生率最高和抵御气候变化最脆弱的区域。与此同时，农业促进世界实现碳平衡的努力会导致水资源和土地需求的冲突，一方面生产粮食和能源需要用水用地，另一方面为减少温室气体排放所采取的森林养护措施会限制可用于种养业的土地数量。

转型还需要让千百万粮食生产者适应气候变化影响。目前，气候变化的影响已在农业生产中显现，尤其是在热带地区，而大多数贫困和粮食不安全人群正是生活在这些地区。转型还必须逆转从土壤到森林到渔业等领域农业自然资源基础广泛退化的趋势，因为这直接威胁到粮食生产可持续性。

因此，需要进行全面的粮食和农业体系转型，以保障全球粮食安全，为所有人提供经济和社会机遇，保护农业所依赖的生态系统服务，增强对气候变化的抵御力。不适应气候变化，就无法让人人享有粮食安全，也无法消除饥饿、营养不良和贫困。

不利影响会随着时间推移而恶化，因此面向可持续粮食和农业的全球转型必须立即启动

气候变化对农业和畜牧生产的影响预计将随着时间的推移而加剧，且在各国和各区域间存在差异。2030年之后气候变化将对所有区域的种植业、畜牧业、渔业和林业生产率都产生日益严重的不利影响。

生产率下降将对粮食安全造成严重影响。粮食供应短缺会导致粮价大幅上涨，而气候变异加剧会导致粮价波动性增强。由于受影响最显著的是那些本就面临着严峻的饥饿与贫困形势的地区，因此，粮价上涨将直接波及千百万低收入人群。最弱势人群中就包括那些生计和收入依赖于农业的人群，尤其是发展中国家的小农生产者。

虽然气候变化只是造成贫困和粮食不安全的因素之一，但预计其影响将十分突出。据预测，在不发生气候变化的情况下，随着经济持续增长，多数区域面临饥饿风险的人口数量将在2050年前下降。但是，有了气候变化，到

2030年贫困人口数量可能比不发生气候变化的情况增加3500万至1.22亿，主要原因在于气候变化对农业生产部门的收入将产生不利影响。贫困人口增长最多的区域为撒哈拉以南非洲，部分原因在于当地人口对农业的依赖性更强。

粮食和农业必须放在全球适应气候变化工作的中心地位，通过政策和行动应对脆弱性和风险，并建设具有抵御力和可持续性的农业体系。这一行动必须立即开展，因为随着气候变化影响不断加剧，增强抵御力的难度也将不断提高。拖延农业领域的转型将迫使较贫困国家同时面对贫困、饥饿与气候变化的局面。

我们拥有经济上可行且具有可持续性的农业生产方式，但必须克服普及这些方式时遇到的障碍

引入可持续农业生产方式后，可以大幅改善粮食安全状况和形成对气候变化的抵御力。广泛采用各种方式，比如使用氮高效和耐高温的作物品种、免耕法及土壤肥力综合管理等，将提高生产率和农民收入，并有助于降低粮价。有一种估计认为，仅仅依靠广泛采用氮高效作物品种，就能让2050年发展中国家面临食物不足风险的人口数量减少1.2亿以上。

尽管改良的农业生产方式拥有巨大潜力，但在农民中的普及率依然十分有限。这些生产方式的普及常常受到政策的阻碍。诸如投入品补贴等政策导致不可持续的生产方式得以延

续，而不利于推广能提高资源利用效率、加强土壤养护、降低农业温室气体排放强度的方式。小农在通往可持续农业发展的道路上尤其面临诸多障碍，他们获得市场、信贷、推广服务、天气信息、风险管理工具和社会保障的途径都非常有限。占发展中国家农村劳动力43%的女性处于尤其不利的地位。相比男性，女性掌握的各项条件与权利有限，对信息和服务的获取更受限制。女性还承担着因其性别而带来的各项家庭责任，并由于男性外出务工而面临着越发沉重的农活负担。

然而，并不存在单纯的“技术妙计”。要想解决问题，就需要重新定位农业和农村发展政策，重新设定激励机制，减少粮食和农业体系转型的障碍。尤其应注重支持低收入小农加强风险管理的能力和采用有效的气候变化适应策略的能力。

除了农业生产方式之外还应采取其他行动：小农对气候变化风险的适应将对全球减贫和粮食安全发挥关键作用

发展中国家的小农家庭数量约为4.75亿，仅凭这一数量之巨，就有充足的理由特别关注气候变化对于这些家庭生计的威胁，关注其生计可持续转型的迫切需要。如果不广泛采用可持续的土地、水资源、渔业和林业管理方式，构建小农农业对气候变化的抵御力，则消除全球贫困和饥饿的目标将很难实现。在其他有利因素的配合下，例如提供适当的信贷和市场渠

道，同时采取行动消除在法律、社会文化和人员流动方面对农村女性的制约等，上述可持续管理方式能显著提高生产率水平。然而，改善生产管理方式未必足以维持农民收入。

农民可通过多样化生产进一步增强抵御力。多样化生产可以降低气候冲击对收入的影响，并为农户管理未来风险提供更广泛选择。多样化的形式之一是整合作物、畜牧和林业生产活动，比如一些混农林业体系利用具有固氮作用的豆科乔木树叶饲养牛只，粪便用于土壤施肥，并在季节性粮食不安全期利用豆类提供额外的蛋白质。

对于农场内多样化手段有限的农户而言，可能就需要进行生计多样化，在农村寻找非农就业或迁入城市。因此，适应气候变化的措施除了可持续集约化和农业多样化以外，可能还需要结合非农就业机会的创造，包括本地就业机会和城乡紧密联系之后带来的就业机会。这个过程中可能需要解决男女平等问题，因为社会规范常常阻碍女性从事非农活动。还需要社会保障、教育和积极的劳动力市场政策，以防范因多样化和外出务工带来的风险。

农业、林业和土地用途改变占温室气体排放的五分之一；这些农业部门需要为遏制温室气体排放做出贡献

如果我们不立即采取行动减少引起全球变暖的温室气体排放，那么适应气候变化的挑战

将随着时间推移变得越发严峻。为了抑制气候变化并将全球气温与前工业化水平相比的上升幅度控制在1.5 °C或2 °C范围内，需要大幅削减温室气体排放。向低排放强度转型是一项全球责任，需要所有经济部门的参与。

农业乃至整个粮食产业对于减缓气候变化负有重要责任。农业、林业和土地用途改变约占全球温室气体排放的五分之一。农业二氧化碳排放主要源于地面和地下有机质损失，一方面来自森林转化为牧场或农田等土地用途改变，另一方面来自因过度放牧等原因导致的土地退化。甲烷和一氧化二氮这两种主要温室气体的直接排放则主要源自家畜的肠道发酵、漫灌型水稻种植以及氮肥和粪肥施用，都可通过改善管理方式予以降低。

整个粮食系统在全球温室气体排放总量中占比更高，因为农用化学品的制造会产生排放，农场经营以及产后运输、加工和零售环节还要使用化石能源。

农业可对气候变化适应与减缓作出贡献，但需要采取广泛行动

广泛的农业和农村发展有助于减少对气候冲击的暴露风险与敏感性，并让农民获得改善农村生计与粮食安全的新机遇。本报告显示了采用先进的管理方式将如何能够推动实现大幅减少粮食不安全状况的目标。但是，在农村发展中起重要作用的基础设施、推广、气候信

息、信贷渠道和社会保险需要同步推进完善，以促进先进生产方式的采用和农村生计的多样化。

目前掌握的估算结果显示，适应气候变化和提升农场系统抵御力的累积成本远小于不作为将付出的代价。适应行动具有良好经济效益，在降低农业、林业和土地用途改变所产生的温室气体排放方面也拥有巨大潜力。提高资源利用效率、减少化石燃料使用、避免直接环境退化将为农民节约资金，可持续地提高生产率，降低对外部投入品的依赖。

多项实例表明，适应与减缓工作可以同步推进。目前看来，改进作物生产和肥料管理在减少一氧化二氮排放上的潜力最大，同时还能减少投入品支出。增加土壤有机碳储量能提高作物单产并增强对干旱和洪水的抵御力，同时也能起到固碳作用。干湿交替稻田在节约水资源且保持单产水平与完全漫灌相似的同时，能将水稻田甲烷排放减少45%。在温带与热带区域，农作体系多样化和种、养、林一体化可提高农场整体效率，降低排放强度，提高生产率。在畜牧业中，广泛采用可持续生产方式可将反刍动物的甲烷排放量减少高达41%，同时还因动物饲养、动物卫生和畜群结构管理的改善而提高生产率。但在许多地区，这些方式的普及水平很低。促进小农采用这些方法的工作需要建立在充分了解现有财政、制度与政策障碍的基础之上。

随着农业产量为了满足需求而不断提高，农业排放量也会增加。农业的碳氮循环管理需要得到显著改善，以降低排放强度，即单位农业产出排放量，从而遏制农业排放量随着产量增加而增加的趋势。因此，实现农业领域的减缓潜力并非易事，不仅因为农业领域需要重大转型，普及先进生产方式，也因为对农产品的需求预计将出现增长。

并非所有减缓方案都可视为能产生共同减缓惠益的适应措施。有些举措本身就是出于减缓目的。比如，停止毁林和森林退化可以说是农业领域具有最大减排潜力的工作。这项工作应成为重中之重，但需要在其他方面做出牺牲：减少毁林通常需要农民为此付出代价。《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）下的REDD+倡议正在推动这方面的工作。尽管在过去二十年内，转换森林用途所产生的排放量已经大幅下降，但是这一过程中付出的代价令减排效益难以经受住考验。其他经济部门的适应与减缓行动通常彼此独立，但在农业领域，粮食安全、适应和减缓的目标是相互联系的。

即便是气候智能型可持续农业得到广泛普及，也可能无法满足实现全球气候目标的需要，整个粮食系统需要进行大规模调整。全世界三分之一的粮食总产量在产后阶段被损失或浪费。减少粮食浪费和损失不仅会提高粮食系统效率，还能降低自然资源和温室气体排放压力。粮食加工、储存和运输阶段的能耗与排放

强度很高，且仍在上升。降低整个粮食链的排放强度需要改变消费者意识，以及为环境足迹较小的食品提供价格激励。重新平衡膳食以减少动物源食品将对此起到很大的促进作用，或许还能对人类健康带来益处。

《巴黎协定》承诺需要奠定粮食和农业全系统行动的基础

从经济和技术角度讲，农业和粮食系统转型变革似乎十分可行。然而，只有通过恰当的政策、制度框架和投融资机制给予支持，变革才会真正实现。这些有利因素原本对普遍农业发展就具有重要性，在气候变化背景下则显得更有必要。各政策框架需进行大刀阔斧的调整，以实现农业发展、粮食安全和营养以及气候稳定目标的协调一致。

《2015年巴黎气候变化协定》的基础，即“国家自主预期贡献”（INDC）文件，现在需要转化为“国家自主贡献”（NDC）文件，具体描述各国如何通过政策和行动推动实现全球气候目标。农业各生产部门在国家自主预期贡献文件中地位突出，94%的国家将各农业部门纳入其减缓和（或）适应贡献。发展中国家主要强调农业和粮食安全在适应工作中的重要性，但通常也把农业作为实现减缓目标工作的一部分。约三分之一的国家在其国家自主预期贡献文件中提到农业有望实现减缓和适应的共同惠益。各国有明确意愿通过农业转型和农业投资来应对气候变化。

许多国家已制定全面的气候变化政策和战略，确立了总体目标和细化目标，但很少有国家提出实现气候目标的具体行动方案。国家自主预期贡献文件是在气候变化背景下重新思考农业农村发展这一更广阔进程的第一步。《联合国气候变化框架公约》已经建立起包括国家适应计划在内的重要机制以支持各方采取一致行动，应对气候变化。根据本报告提出的政策建议，这些机制应纳入更宏观的农业、粮食安全和营养政策。

气候、农业、粮食和营养政策应重新协调与整合

政策、市场力量和环境制约推动着投入品和其他资源在农业中的使用，进而对生产率和自然资源保护或损耗程度产生影响。在气候变化背景下，农业领域的决策应从了解这些驱动因素以及它们对农民生计和环境的影响出发。然而这一任务相当复杂，恐怕并非总能找到双赢的解决方案。此外，各国各区域存在的驱动因素千差万别，例如，小农对政策和市场信号作出反应的能力就不同于国际性农业企业。

政策制定者必须意识到有必要权衡利弊作出取舍，并提出具体措施，使各个目标和激励机制更具一致性。例如，应系统地分析行动计划对性别平等的影响，比如，向间作系统的转变虽然会带来更强的抵御能力，但有时会导致女性丧失对特定作物的控制权。政策上具有较大调整潜力的一个领域是重新设计农业支持措

施，使其促进而不是阻碍向可持续农业的转型。2015年，发达国家和主要发展中国家投入了5600多亿美元农业生产支持，其中包括投入品补贴和对农民的直接支付。某些措施，例如投入品补贴，可能会造成农用化学品的低效使用，并增加农业生产排放强度。把采用低排放、保护自然资源的农业生产方式作为享受支持政策的条件，不失为协调农业发展与气候目标的一种方式。

同样地，营养、粮食消费、粮价支持、自然资源管理、基础设施建设、能源等领域的政策可能也需要重新设计。为权衡利弊作出取舍，决策过程必须更加包容、透明，同时提供使公众和集体能够长期受益的激励措施。例如，经验表明，通过发动当地群众，并以协商的方式确立合理的基层制度安排，可以实现森林的良好管理并扭转森林退化趋势。

气候变化带来了新的风险。要管理这些风险，需要加强一致行动，以及建立完善的风险、脆弱性和适应措施评估体系。精心设计的社会保障计划能保证最低收入或温饱，这项工作固然重要，但应与其他形式的气候风险管理措施相配套。减灾工作不应停留在单纯应对极端天气事件的层面，而应成为全方位的气候变化适应战略的有机组成部分。

国际合作、多利益攸关方伙伴关系和联盟在应对气候变化中十分关键。例如，气候变化会导致新的病虫害出现，并增加其跨境传播的

风险。而推动信息和知识共享，管理鱼类资源等共同资源，保护和利用农业生物多样性，也需要加强区域和国际合作。同样，填补人们在气候变化对农业、粮食安全和营养产生的影响方面的知识空白，评估可持续农业生产方式的可推广性和经济可行性，评估整个粮食体系的生态足迹，都需要开展合作。

农业融资和气候融资应相互结合，并借此推动农业转型

为了推动向可持续农业生产方式转型，还需要更多的气候融资和农业投资。然而，农业投资可融资金严重供小于求。发展中国家的小规模生产者在获取信贷以投资新技术、新方法方面面临巨大障碍，女性农民的困境则更为严重。融资短缺限制了对于农业和粮食安全的投资，并因此影响到小农的气候变化适应能力。

流向农业领域的气候融资应增加，以满足农业各生产部门大规模转型和建立气候智能型粮食生产体系所需的投资成本。有两个融资领域需要公共融资渠道和定制金融产品提供更多资金。

首先，需要有更多的前期支持，提高农民的生产率，并建设适应气候变化和降低生产排放强度的能力。这将需要大幅增加资金供应，并设置更为灵活的条件，例如适应现金流情况的还款计划。这样一来，农民将能通过投资来减少资源投入但同时维持现有单产水平，并采

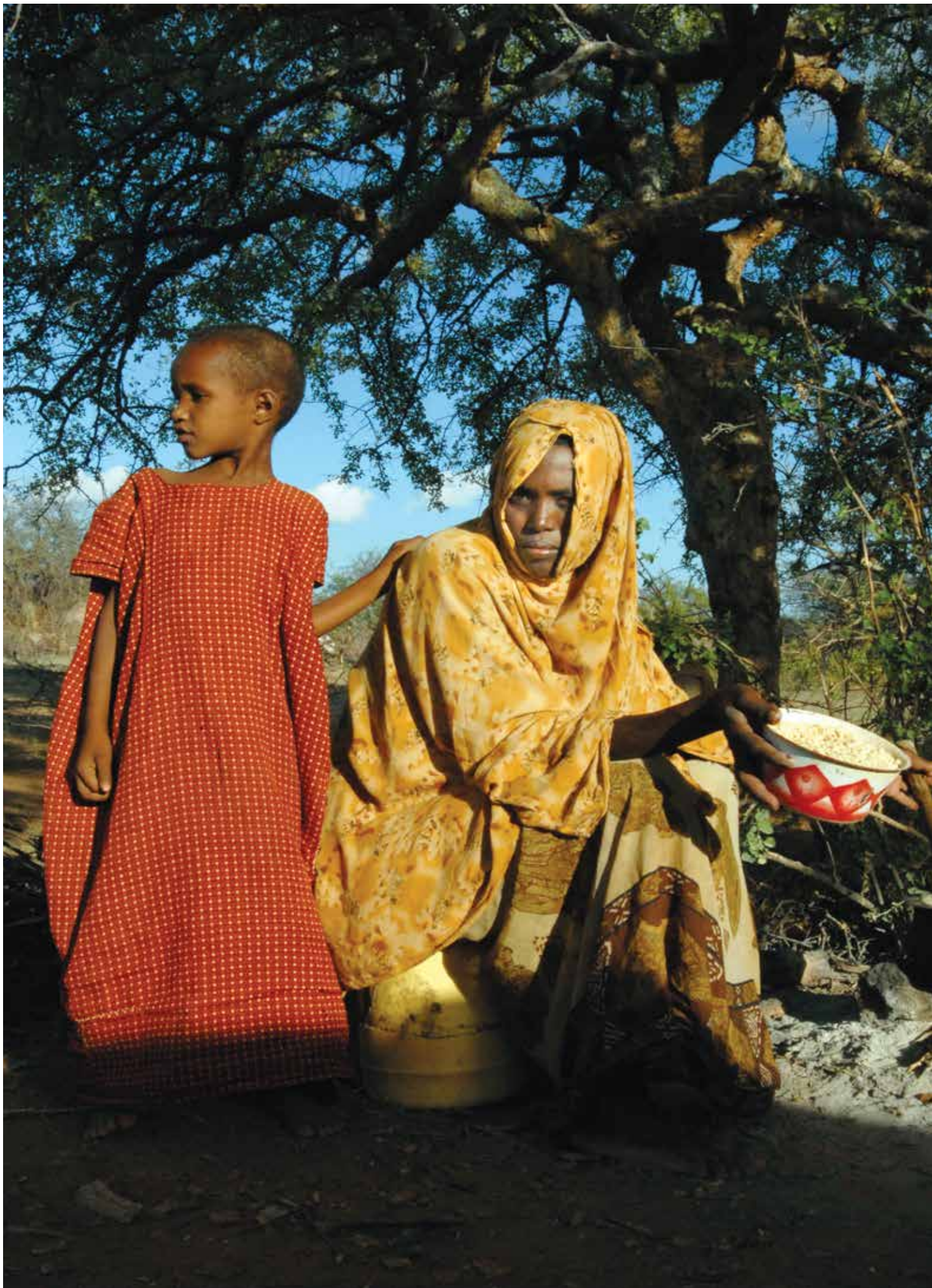
用气候智能型做法和技术，在减少排放的同时提高抵御力。然而，要想在这一领域取得成功，还需在另一领域进行融资——通过恰当的制度和政策来培养能力，使农民能够顺利地实现转型变革。广大小农事实上被剥夺了气候融资的权利，失去了通过投资生产性活动改善生计、提高生产率和增加收入的机会，因此尤其需要为他们创造更加有利的环境。

本报告所设想的转型虽然需要扩大气候融资才能实现，但供资的增加也相应地对各国执行能力提出了更高的要求。系统性的能力制约使得发展中国家难以获得气候融资，也难以有效利用气候融资来发展农业。这类政策制定和制度建设方面的能力“短板”在资金供给端和接收端都有可能存在，阻碍可持续农业转型获得更多支持。投资者和各个国家都应将消除能力短板作为重点工作，这样，当各国如期获得更多资金时，气候融资才能发挥应有作用，推动粮食和农业系统转型。

如果推动转型的政策和制度框架已经到位，气候融资还可以调动更大规模的公共资金和民间资金支持可持续农业发展。通过展现气候智能型农业投资的可行性，设计并试行吸引其他投资来源的创新机制，气候融资有助于缩小资金缺口。如能对气候基金加以策略性利用，用其建设气候智能型农业发展所需的有利环境，确保公共农业投资做到气候智能，并利用其调动民间资金，那么气候基金可以成为气候变化适应和减缓工作的重要推动力。

气候融资通过填补融资缺口和促进投资可以强化风险管理机制，推动合适的金融产品的开发，并消除借贷双方的能力制约。因此，气候融资能够极大地推动为气候智能型农业投资营造更有利的环境，推动气候变化工作在国内预算分配和执行中主流化，释放民间资本对于气候智能型农业发展的投资。除非这一切得以实现，否则小农农业投资所需的气候融资将继续处于不足状态，导致丧失生计和粮食安全形势愈发严峻等严重后果。

投资农业农村发展的时机就在当下。面临的挑战在于如何汇聚多样化的融资渠道，尽可能协调各渠道的目标，并创造良好的政策和制度环境，以推动变革，实现消除贫困、适应气候变化和控制温室气体排放的目标。



第一章

饥饿、贫困 与气候变化： 当前及未来挑战

肯尼亚阿尔巴-吉拉姆索

一名母亲和她的女儿在准备晚饭。
由于干旱，该地区的牧民失去了
他们90%的牲畜。

©粮农组织/Ami Vitale



肯尼亚纳洛克
马赛人在看护他们的牧群。

©粮农组织/Ami Vitale

主要内容

1 气候变化已对农业和粮食安全造成影响，若不立即采取行动，将令千百万人面临饥饿和贫困的风险。

2 尽管不同国家和地区**的农业单产与生计所受影响各异**，但是随着时间推移都将不断恶化，并有可能在某些地区造成灾难性后果。

3 将全球温升限制在高于前工业化时代水平**1.5 °C之内**将大幅减少气候变化的风险和影响。

4 为实现气候变化适应和减缓措施的共同惠益最大化，**农业和粮食系统（产前到消费）需要深刻转型。**

5 农业部门具有限制其温室气体排放的潜力，但是为了确保未来的粮食安全而需要着重关注适应。

饥饿、贫困与气候变化： 当前及未来挑战

气候变化对全球粮食安全造成了主要威胁，并且这种威胁正日益加剧。气候变化的预计影响包括温度上升、极端天气频发、水资源短缺、海平面上升、海洋酸化、土地退化、生态系统破坏以及生物多样性丧失，有可能严重影响农业为最脆弱人群提供粮食的能力，并阻碍为实现消除饥饿、营养不良和贫困所取得的进展。因此，迫切需要采取行动，令种养业、渔业和林业为环境条件可能发生的快速改变做好准备，并减少农业部门自身造成全球变暖的温室气体排放。

即便不发生气候变化，世界农业和粮食安全也面临着严峻挑战。多数发展中国家的人口增长和收入增加推动粮食和其他农产品需求达到了前所未有的高水平。粮食及农业组织（粮农组织）估计，为了在2050年能满足对粮食的需求，世界种植业和畜牧业年产量届时需要比2006年水平增加60%。所需增加的产量中，约80%需要依靠提高单产来实现，10%需要通过增加每年的收获季节来实现（Alexandratos和Bruinsma，2012）。但是广泛的土地退化和水资源短缺的加剧限制了提升单产的潜能。如果不加强减贫工作，并使农业朝着高产和可持续发展的方向转型，许多低收入国家将难以确保其所有人口都能获取充足数量的粮食。

通过对农业的影响，气候变化将加剧所有这些趋势的不良影响，并导致在2030年前消除饥饿、实现全年粮食安全以及建立可持续粮食

生产系统这一可持续发展关键目标更加难以实现。长期而言，气候变化的严重程度和速度，以及整个经济部门减缓措施和农业部门适应工作的有效性，对于世界大部分人口的未来，甚至可能是整个人类的未来具有重大影响。■

复杂的相互作用及不可分割的联系

农业部门，包括作物、畜牧、渔业、水产养殖业和林业的独特特征使其在全球适应气候变化的工作中处于中心地位。首先，农业对于我们的粮食供应至关重要，因此也事关满足人类最基本的需求。而粮食生产又直接依赖于自然资源，包括生物多样性、土地、植被、降雨和日照，而这些资源则与气候及天气条件存在着紧密且无法分割的联系。由于农业也为世界极端贫困人口中的约三分之二（约7.5亿人）提供生计，因此，气候变化对农业的冲击直接波及本就脆弱的农村人口，对其粮食安全造成深远影响。

农业部门也是导致全球变暖和相关气候变化的温室气体的主要排放部门。因此，农业部门也在促进世界气候稳定方面具有独特潜能，可通过改善作物、土地和家畜管理来减少排放，提高植物生物质与土壤的固碳水平。

气候变化如何影响农业

在许多区域，气温升高、气温变化幅度加大、降水量和频率变化、干旱和洪涝越发频繁、极端天气事件不断加剧、海平面上升，以及耕地和淡水的盐碱化已对农业生产造成不利影响。随着气候变化对农业的影响加剧，采用与过去同样的方式在同样的地点种植作物、饲养家畜、管理森林和捕捞鱼类的难度也将不断加大。

用以提供粮食、纤维和能源的作物需要特定条件才能良好生长，包括适宜的温度和充足的水资源。在一定范围内，温度升高可能有利于世界某些地区一些作物的生长。但是，如果气温超过了作物的适宜温度，或者缺少充足的水和养分，就可能导致减产。极端天气事件，尤其是洪水和干旱的发生频率提高也将损害作物生长，造成减产。对于平均气温预计将上升而降水量预计将减少的地区而言，应对干旱可能会成为主要挑战。气温升高、气候变潮湿以及大气中二氧化碳含量增加会令多种杂草、害虫和疫病呈多发态势。更为极端的气温加上降雨量减少可导致作物根本无法生长。

随着气候变化，热浪的发生预计将更为常见，并对家畜构成直接威胁。随着时间推移，高温胁迫将使家畜遭受疫病时更为脆弱，从而降低生育力并导致肉和奶产量降低。气候变化还将改变家畜寄生虫和疫病的流行率。在降雨

量增加的地区，喜湿的病原体预计将大量出现。气候变化还威胁草原和牧场载畜能力及用于非放牧体系的饲料生产。

渔业和水产养殖为低收入国家千百万人口提供了至少50%的动物蛋白，但其已经面临多重压力，包括过度捕捞、生境丧失以及水体污染（粮农组织，2012）。气候变化会使这些压力加剧。水温上升可能导致某些鱼类灭绝，某些鱼类的生境范围改变，并加大了整个生产链范围内的疫病风险。由于大气中二氧化碳含量增加，世界各大洋的酸度也不断提高，其后果对于依赖贝类、乌贼、红树林和珊瑚礁的渔业尤为严峻。暴风、飓风和气旋的频率和强度不断加剧将对水产养殖业、红树林和沿海渔业造成损害。

森林为超过1亿人提供有偿就业的机会，并支持着世界许多农村地区贫困人口的生计。森林也是世界上80%陆生生态多样性的家园，提供了粮食、药物、燃料和关键的生态系统服务。气候变化和气候变异的加剧对森林和依赖森林的人群产生了直接和间接影响，限制了森林提供上述关键产品和服务的能力。尽管一部分森林会得益于大气中二氧化碳浓度增加、温度升高和降水变化，但大部分森林都会遭受重要物种损失、单产下降以及风暴和其他干扰因素的频率和强度不断增强等影响（粮农组织，2013）。

虽然气候变化对农业的确切影响极难预测，但多数研究表明这些影响将会随着时间推移而变化，在不同地区也不尽相同。为政府间气候变化专门委员会（IPCC）《第五次评估报告》进行的研究审议表明，尽管对2030年之前作物单产所受正面和负面影响的预测在全球层面相互抵消，但在此之后，负面影响将占上风（Porter等，2014；也见第二章）。

不同作物和区域所受的影响也存在显著差异。图1显示了不同的全球变暖路径下到2050年谷物单产的变化情况预测；假设采用经济和人口增长“中间路线”及适应有限，但不包括“二氧化碳施肥”，即大气中二氧化碳浓度增加对植物生长的助长作用。相对于预计没有气候变化的情况而言，由于生长季延长，高纬度地区的一些作物的单产损失幅度较小、甚至会提高。低纬度区域的单产损失通常更为严重。多数区域的玉米单产在多数气候情景下会出现下降，越极端的情景下损失就越严重。全球层面小麦单产受到的影响较小，但是在南亚和撒哈拉以南非洲较为显著。

农业如何推动气候变化

农业不仅受到气候变化影响，还直接或间接促进了二氧化碳、甲烷和一氧化二氮等三种主要温室气体的大量排放。根据IPCC报告分类，源于“农业、林业和其他土地用途”（AFOLU）的年度人为温室气体排放主要由砍伐森林、畜牧业生产，以及土壤和养分管理所致。此类排放估计占全球排放总量的21%（图2）。尽管这一比重显著低于20世纪90年代的27%，但降低的原因是其他部门的排放量增幅更快。

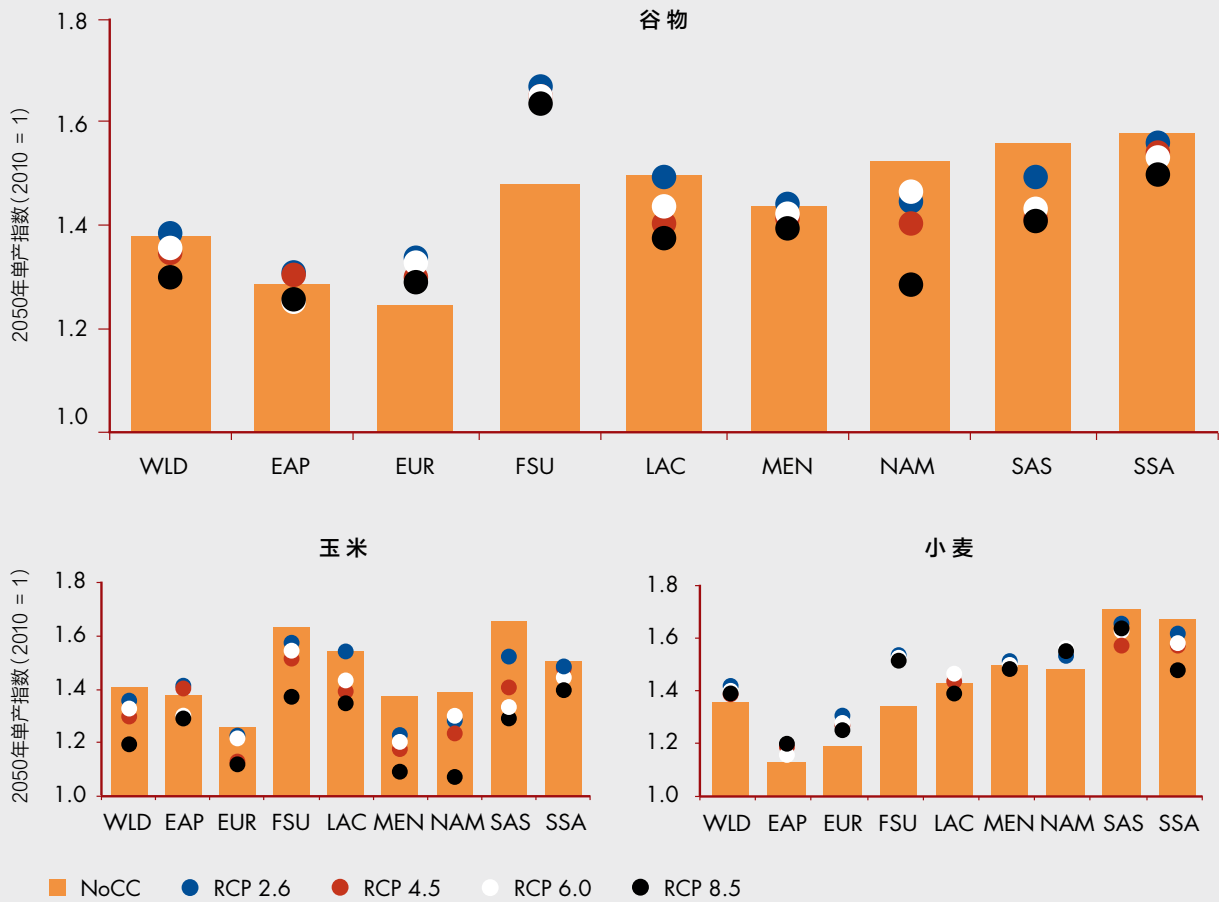
20世纪90年代，农业排放的温室气体与林地用途净改变引起的排放大致相当；但是自本世纪初以来，林地用途改变导致的排放量已经降低，而农业排放量则增加了。作物和畜牧生产尤其导致大量甲烷和一氧化二氮这两种强有力的温室气体的排放。甲烷在反刍牲畜消化时产生，也会从储存的粪便和有机废弃物中逸出。一氧化二氮排放是有机和矿物质氮肥施放到田间后的间接产物。

在IPCC报告中，“农业、林业和其他土地用途”排放类别中未包括现代食品供应链产前和产后阶段产生的温室气体，后者被列为源自其他部门的排放，主要涉及工业、能源生产和运输部门。此类排放包括化肥等农资的生产，化肥生产与有机肥生产不同，是一个高能耗的过程；化石能源使用（如用于驱动农用机械）产生的排放；以及产后运输、加工和零售部门（Smith等，2014）。粮食供应的每个阶段都促进了大气中温室气体的增加。如果加上农业食品链直接和间接用能产生的排放，则“农业、林业和其他土地用途”排放类别占总排放量的比例将增至三分之一（粮农组织，2011）。

粮食系统所致排放占在温室气体排放总量中所占比例因国家和区域而异，受当地供应链结构的影响。国际农业研究磋商组织的估计数表明，在高收入国家，产前和产后阶段所致排放与生产阶段相当。但在发展中国家，农业生产仍然是导致温室气体排放的主要阶段（Vermeulen、Campbell和Ingram，2012）。»

图 1

2050年之前气候变化对不同区域谷物单产的影响



WLD = 世界
EAP = 东亚和太平洋
EUR = 欧洲

FSU = 前苏联
LAC = 拉丁美洲和加勒比
MEN = 中东和北非

NAM = 北美洲
SAS = 南亚
SSA = 撒哈拉以南非洲

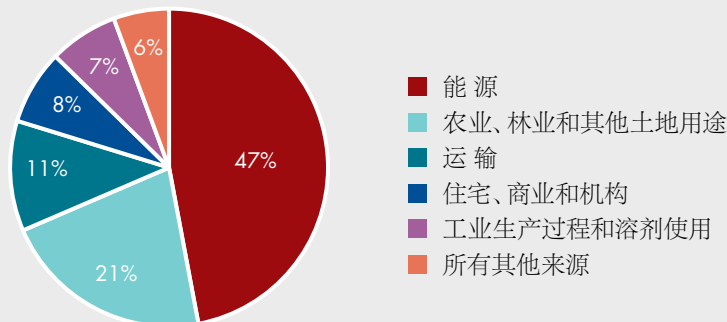
NoCC = “无气候变化”
RCP = 典型浓度路径 (全球变暖情景)

注：谷物指下列商品的面积加权平均：大麦、玉米、小米、稻米、高粱、小麦及国际农产品和贸易政策分析模型中的其他谷物。假设共享社会经济路径 (SSP) 情景为“中间路线”。参见第二章插图7对典型浓度路径和共享社会经济路径的解释。

资料来源：De Pinto、Thomas和Wiebe (2016) 文中所用的模拟，采用国际粮食政策研究所的国际农产品和贸易政策分析模型。

图 2

2010年各经济领域温室气体排放占比



注：能源领域的排放包括工业、制造业和无组织排放。“所有其他来源”包括国际航空航海舱载燃料、废弃物和其他来源。

资料来源：粮农组织，即将出版。

» 对粮食安全的影响

通过对农业的影响，气候变化会对粮食安全的各个维度产生不利影响（**插文1**）。尽管粮食安全会通过其他途径受到影响，比如极端天气事件减少城市居民的收入，从而影响其对粮食的获取，但是农业依然是气候变化影响粮食安全的关键途径，也是本报告的关注重点。

气候变化对作物单产、鱼类资源以及动物卫生和生产率造成日益严重的负面影响，从而影响了粮食可供量，这在撒哈拉以南非洲以及南亚区域尤为显著，而当今世界多数粮食不安全人群也都位于这两个区域。气候变化对农村收入和生计的负面影响限制了对粮食的获得。随着气候波动加剧，预计与气候相关的自然灾害严重程度和发生频率也会增加。穷人，包括许多小农户和农业工人，面对此类灾害时的脆弱性更为突出。严重干旱或洪水可导致收入大幅降低，并引起财产损失，进而影响未来创造收入的能力。此外，因气候变化减少了粮食供应，粮价也会相应上涨。无论在城市还是农村，受影响最严重的都是穷人，因为他们在食物上的支出占收入的比例更高。贫困的小型家庭农户也将受到影响，他们中的大多数都是粮食净购买者（Zezza等，2008；世界银行，2008；Porter等，2014）。

粮食的利用发生变化也会影响穷人和脆弱人群的营养状况。例如，由于更高的温度有利于致病菌的生长，而缺水则会影响水质和卫生习惯，气候的影响可在2030年前将某些区域的腹泻发病率提高10%。受此影响最为严重的同样也是穷人，尤其是贫困的儿童（世界卫生组织，2003）。气候变化将通过其他许多方式影

响营养状况，包括照顾减少、主粮作物营养含量减少及食物污染风险增加等（**插文2**）。

最后，气候变异以及极端天气事件发生频率和严重程度提高会导致季节性发生改变、生态系统生产率波动加剧、供应风险提升和供应可预测性下降，从而影响粮食可供量、获得和利用的稳定性。这一问题对于内陆国家和小岛屿国家而言将尤其突出，这些国家面临粮食供应干扰和极端天气与气象事件所致破坏时更为脆弱。

气候变化只是贫困和粮食安全趋势的若干驱动因素之一。这两种趋势以及气候变化对其影响的严重程度将主要取决于未来的社会发展情况。世界银行的最近一项研究（Hallegatte等，2016）估计，如果不考虑经济增长，则影响较高的气候变化将导致2030年极端贫困人口数量增加1.22亿；在经济繁荣的情况下，则只会增加1600万。在一项类似研究中，利用国际粮食政策研究所的国际农产品和贸易政策分析模型估计，到2050年，气候变化将导致面临食物不足风险的人口增加约5000万。但是，相比人口和收入增加等其他驱动因素，气候变化在2050年前的总体影响较小（见第二章）。■

立即采取全球一致行动的紧迫性

所有现有证据都确认气候正在发生改变，且在短期内无法停止或逆转。毫无疑问，气候变化将影响农业部门和粮食安全，并且随着变化加剧，其负面影响也将越发严重。在一些特 »

粮食安全四个维度

1996年，世界粮食首脑会议就粮食安全的下列定义达成一致，并由粮农组织采用：

“只有当所有人在任何时候都能够在物质上和经济上获得足够、安全和富有营养的粮食来满足其积极和健康生活的膳食需要及食物喜好时，才实现了粮食安全。”这一定义包括四个维度：

- ▶ 通过国内生产或进口(包括粮食援助)可提供质量上佳、数量充足的食物。

- ▶ 个体能够获得充足的资源(也称为权利)，以便得到营养膳食所需的适当食物。
- ▶ 通过充足的膳食、清洁的水源、卫生和健康服务利用食物，以期达到营养的良好状态，满足各项身体需要。
- ▶ 稳定提供和获得粮食，不受突发冲击(如经济或气候危机)或周期性事件(如季节性粮食短缺)的影响。

资料来源：粮农组织，2006。

气候变化与营养

气候变化通过对粮食安全、疾病、水安全、卫生、生计、照顾等产生影响而影响营养状况和饮食选择，这反过来又影响人们适应或减缓气候变化的能力(国际粮食政策研究所，2015)。

气候变化使旱灾、水灾、暴风雨的影响加剧，众多人们尤其是穷人和最弱势群体在极端天气之后遭受营养不足的风险(Confalonieri等，2007)。季节性粮食供应和获取不足问题是导致农村贫困社区人们营养不足的主要原因，此问题因气候变化而加剧。气候变化还影响生计安全和家庭内食物分配，从而又特别影响儿童和妇女的营养状况(Wijesinha-Bettoni等，2013)。

一些研究显示，气候变化会导致关键粮食作物的营养质量受损。Myers等开展的研究(2014)估计，若在预计中2050年的二

氧化碳高浓度下种植，相比不发生气候变化的情况，小麦的锌含量会降低9%，铁含量降低5%，蛋白质含量降低6%，而稻米中这三种营养素的损失比例分别为3%、5%和8%。玉米的营养素损失情况类似；大豆尽管不会发生蛋白质损失，但是锌和铁的含量都会减少。

食品安全可能因食源性致病菌增加及污染或导致食品中有毒化合物发生率增加的化学变化而受到影响。比如，藻花大量发生所带来藻毒素影响饮用水和甲壳类水生动物(Paerl与Huisman，2009)，而温度和湿度升高会增加储存谷物和豆类受到霉菌毒素污染的风险(Paterson与Lim，2010)。此外，动植物病害形式发生变化，可能导致潜在有害农药使用量增加。

- » 别脆弱的地方，如小岛屿或受到大规模极端天气和气候事件影响的地区，气候变化带来的影响可能是灾难性的。

气候变化的速度和影响幅度很关键。在最理想的情景下，气候变化的速度和程度将允许农业部门至少能在中期通过相对简单的措施进行适应。如果出现生产率下降，幅度也会相对较小且是渐进式的，不会或很少会产生突发、非线性的效应。在这种情况下，对全球粮食安全的影响会较为温和。

另一种情景与此颇为不同，却很可能发生，那就是大范围发生骤然非线性变化，令许多地区的农业部门难以充分适应，引发生产率大幅下降。这种情况甚至有可能早在中期便会发生。对生产率造成的影响即便不具有全球性，至少在地理分布以及受影响人群规模上也极为广泛。粮食安全将受到巨大影响。供应短缺会导致粮价大幅上涨，而气候变异加剧会导致粮价波动性增强。气候变异还会在单产变化本已十分显著的地区影响农村家庭收入稳定。生产率降低和收入损失很有可能集中发生在一些粮食不安全和脆弱性最为严重的地理区域和人群中。更长期而言，除非采取措施停止或逆转气候变化，否则世界上大片区域都可能无法再进行粮食生产。

必须立即采取行动，应对气候变化对农业和粮食安全的潜在冲击。不确定性不能作为拖延实施气候变化适应和减缓措施的理由。行动的紧迫性主要源自两个方面的考虑。首先，气候变化的影响已经十分显著，且将随着时间推移不断扩大并达到非常严重的程度。其次，气候变化的驱动因素和应对措施都存在较大的滞

后性。今天排放的温室气体也在推动地球进入无法逆转的全球变暖，其影响将绵延几十年。这些长期风险是国际社会致力于实现稳定地球气候这一目标的主要原因。

所有社会都需要马上采取果断行动，减缓气候变化以避免粮食严重不安全的风险。在未来某个相对较远的未知时间点，气候变化可能导致人类无法养活自己，这样的可能性并非完全不存在。即便在较近的时间范围内，对某些地区的粮食安全也可能产生严重冲击。农业和林业具有减少温室气体排放的巨大潜能，但能否保证未来的粮食安全将在很大程度上取决于其他经济部门的减排情况。消费方面也需要调整。减少对排放和资源密集型粮食产品的需求将有助于加快朝着可持续农业转型，并促进气候变化减缓。

与此同时，农业部门以及依赖农业的人群需要适应当前或预计将发生的气候变化，将气候变化的有害影响降至最低，并充分利用气候变化可能带来的机遇。全世界的生物物理、经济和社会等各界需要加强对气候变化的抵御力。在某种程度上，农业领域的适应活动将会是农民、渔民以及林区居民的自发反应。然而，他们中的许多人，尤其是小规模生产者，可能既缺乏可行方案，也在采用适当解决办法时面临诸多限制。因此，为适应活动创造有利的环境十分关键。

短期来看，有可能的情况下在生产单位或农户层面采取适应措施或许已经足够。但是必须实现长期适应才能应对以往发生且现在仍在发生的大气中温室气体浓度增加所“锁定的”变化。这需要更具系统性的改变，诸如对特定

产品和物种的生产地进行大幅调整，并辅以贸易和消费模式的改变。

但是光靠适应还不够，减缓措施对于确保世界人口的长期粮食安全至关重要。适应与减缓，以及两者落实所需的激励措施之间存在根本性差异。适应是每个人出于自身利益愿意采取的措施。减缓是为了大家的利益必须共同采取的措施。减缓属于全球公共产品，也是农业部门必须与其他部门一道承担的社会责任。

即便小幅的温升都可能带来显著的影响差异，这凸显了全球对气候变化进行有效一致应对的紧迫性和惠益。最近的一项元分析显示，在多个亚热带区域，若温升在1.5 °C至2 °C之间，则可用水量下降以及早期延长的速度都会加快，尤其是在地中海、中美洲、加勒比、南非和澳大利亚。在热带区域，若温升超过1.5 °C，农业生产预计将受到严重影响（表1）。若同时出现氮磷限制或高温胁迫，从而抑制了二氧化碳“施肥”的积极效应，则影响程将更甚。

在2 °C温升范围内，考虑到人口增长的预计趋势，非洲、南亚和东南亚热带区域作物单产受极端高温的威胁尤为严重。将温升限制在1.5 °C的其他重要惠益包括面临严重退化风险的珊瑚礁区域会大幅减少，海平面上升会减少30%（Schleussner等，2016）。实际上，2015年结束的《联合国气候变化框架公约》结构性专家对话的一项主要内容便是，全球气温¹比前

工业化时代高2 °C是“一个上限，即需要严格防守的防守线，而最好是低于此温升”（《联合国气候变化框架公约》，2015）。IPPC将在2017年介绍关于2 °C与1.5 °C温升情景之间差异评估结果。

2015年12月《联合国气候变化框架公约》的《巴黎协定》明确了将全球平均温升限制在高于前工业化时代水平上“远小于2 °C”的长期目标，并提出努力将温升限制在1.5 °C，因为这将大幅降低气候变化的风险和影响。据IPPC报告，使温升保持2 °C以下的情景包括到本世纪中叶人为温室气体排放大幅减少，具体通过能源系统及有可能土地使用发生大规模变化。温升不超过2 °C上限的情景要求2050年的全球温室气体排放量比2010年低40–70%，2010年接近或低于零（IPPC，2014）。如果为保障未来世界粮食安全所需的农业增长保持与过去相似的排放量增长，那么将全球温升控制在2 °C以下的目标将很难实现（也见Searchinger等，2015；Wollenberg等，2016）。

现在所做的决定将影响着今后15年甚至15年之后我们所生活的世界。因此，农业部门必须做出应对，加强对气候变化影响的抵御力，同时尽可能推动减缓措施的开展。设计应对措施时必须遵循国家发展目标以及不同国家的优先重点，且不得危害减少粮食不安全的努力。对此，需要注意，与其他适应和减缓行动普遍相互独立的经济部门不同，在农业部门，粮食安全、适应和减缓目标之间可以形成协同效应，但也需要接受取舍。■

¹ 说明：“全球气温”系指整个地球全年平均气温。北极地区温升将比全球平均温升快，陆地温升将比海洋温升高。大部分陆地将更加频繁出现极端高温事件（IPPC，2014）。

表 1

21世纪温度高于前工业化时代水平1.5 °C至2 °C条件下气候对全球和热带地区若干作物单产的影响

作物	区域	较前工业化时代温升(百分比)	
		1.5 °C	2.0 °C
小麦	全球	2 (-6 至 +17)	0 (-8 至 +21)
	热带	-9 (-25 至 +12)	-16 (-42 至 +14)
玉米	全球	-1 (-26 至 +8)	-6 (-38 至 +2)
	热带	-3 (-16 至 +2)	-6 (-19 至 +2)
大豆	全球	7 (-3 至 +28)	1 (-12 至 +34)
	热带	6 (-3 至 +23)	7 (-5 至 +27)
稻米	全球	7 (-17 至 +24)	7 (-14 至 +27)
	热带	6 (0 至 +20)	6 (0 至 +24)

注：括号中的数字为66%置信区间。

资料来源：据Schleusner等（2016）图15整理。

插文 3

农业在国家层面行动指导方针中地位突出

农业、土地利用、土地用途变化及林业领域的适应和减缓目标在“国家自主贡献”中占有显著地位。根据2015年12月的《巴黎协定》，“国家自主贡献”文件将指导国家层面未来几年的气候行动。这其中不仅包括具体目标，也有应对气候变化根源及其后果的切实战略。

粮农组织对国家自主贡献的分析显示，在所有区域，农业都将为2030年前实现气候变化相关目标发挥关键作用。在188个提交了自主贡献的国家中，超过90%都将农业作为减缓和适应举措的一个部门纳入文件。

该分析还表明，农业部门将为形成适应-减缓的协同效应，以及产生社会经济和环境共同惠益提供最多的机遇。所有国家中约有三分之一提到（有些甚至重点强调）能在农业领域形成减缓和适应协同效应的各项行动。约30%的国家提及社会、经济和环境共同惠益，尤其是农村发展和卫生、减贫和创造就业，以及生态系统和生物多样性保护。在性别平等方面，也强调农业相比其他各部门更能为女性赋权及减少女性面对气候变化的脆弱性提供多样的机遇。

资料来源：粮农组织，2016。

农业的特殊作用和 责任

农业应对气候变化

在农业部门实施有效、持续性的气候变化应对措施，无论是适应还是减缓措施，其难度都远高于几乎其他任何部门，因为农业依赖生物物理过程及本身具有极为广泛的农业生态和社会经济条件。更为复杂的因素在于涉及方面众多——数亿农民、渔民和依赖森林的人群，其中很多人都难以获得市场、信息和公共服务。这种多样性要求采取不同且往往极具针对性的解决方案。因此，相比其他部门，农业部门的调整速度可能更慢，并且预计将在农业体系内出现很大程度的惯性。这恰恰加大了立即采取行动的紧迫性。

农业对气候变化的脆弱性往往没有得到应有的重视。对气候变化影响的评估主要采用的是全球经济模型，常常忽视对农业的影响，因为农业对全球国内生产总值（GDP）的贡献持续下降。如今，农业应对气候变化的重要性得到了广泛认可。这一认识在各国于2015年巴黎《联合国气候变化框架公约》第21届缔约方会议前提交的“国家自主贡献”中得到了明确体现（[插图3](#)）。“国家自主贡献”将在第五章中做详细讨论。

人们也越发认识到农业在气候变化减缓中能发挥特殊作用。各情景表明，只有将能源、工业、交通运输的温室气体排放量降至零并限制农业、土地使用和土地使用变化的排放量，才能将全球温升限制在2°C。首先，农业各部

门可降低排放强度（或单位产品排放量）并避免主要储存于森林和土壤中的碳进一步损失，从而促进减缓。这一努力可配合以减少粮食损失和浪费、改变粮食消费习惯的各项行动。此外，农业各部门还具有构成碳汇的独特潜力，通过林业和土地恢复以捕获二氧化碳并封存于生物质和土壤中（见第四章）。

制定气候变化应对措施时的一项关键挑战在于确保不会影响粮食安全或在减贫方面取得的进展，在面临长期、严重饥饿与贫困的国家尤为如此。《联合国气候变化框架公约》的序言体现了这一点，申明“应当以统筹兼顾的方式把应付气候变化的行动与社会和经济发展协调起来，以免后者受到不利影响，同时充分考虑到发展中国家实现持续经济增长和消除贫困的正当的优先需要”（《联合国气候变化框架公约》，1992）。同样，2015年12月达成的《巴黎协定》也在其序文中承认“保障粮食安全和消除饥饿的根本重要性以及粮食生产系统在面对气候变化不利影响时表现出的特殊脆弱性”（《联合国气候变化框架公约》，2015）。

气候智能型农业

各国将要实施的气候变化应对措施必须在农业可持续发展这一大背景下开展。这些措施也将反映各国为实现这一目标所设置的重点任务。粮农组织促进可持续粮食和农业的做法认识到各国需要追求经济、社会和环境多层面可持续发展的目标，并在目标与目标之间、短期需求与长期需求之间权衡取舍（[插图4](#)）。这种取舍因国而异，取决于各国的自然资源禀

赋、社会经济特点、政治体制和发展阶段。同样的，根据在制定气候变化应对措施时需要考虑的具体情况不同，各国的重点任务也会不同。

具体到如何在全球变暖这一不断变化的现实下发展农业，确保粮食安全，粮农组织在2010年海牙全球农业、粮食安全与气候变化会议上提出了“气候智能型农业”办法（粮农组织，2010）。作为该报告的基础和指导，气候智能型农业的主要原则同时也引导了在粮食与农业领域对气候变化的应对。

气候智能型农业有三大目标：可持续地提升农业生产力以支持收入、粮食安全和发展等方面的公平增长；从农场到国家多层次增强适应能力和抗冲击能力；减少温室气体排放，在可能的情况下增加碳封存。

由于各地情况不同，气候智能型农业的一个基本特点是要明确农业集约化政策对不同地区的粮食安全、适应与减缓所产生的影响。这在发展中国家尤其重要，因为在那里农业发展通常是首要任务。通常，那些可以大大增强适应性和促进粮食安全的措施也会减少温室气体排放或者增加碳封存，虽然并非总是如此。然而，实施这些具有协同效应的措施可能需要较高的成本，尤其是前期融资。因此，气候智能型农业项目包括对当地利益相关方的能力建设，以协助他们发掘资金来源，用于农业和气候相关领域投资。在每一个地区实施的每一项措施并非都将会、都能够甚至都应该带来“三赢”的结果；但若要制定适合当地的解决措施，体现当地或该国重点任务，则这三大目标必须全部考虑到。

气候智能型农业分析的起点是各国已经在农业政策和规划中列为重点的技术和做法。利用气候变化趋势的近期数据和短期预测信息来评估当地具体气候变化条件下这些技术和做法在促进粮食安全、增强适应性方面的潜力，并确定需要做出哪些调整。此类调整包括：改变种植时间，采用耐热抗旱品种；培育新品种；改变种养内容；改善土壤和水资源管理，包括发展保护性农业；将气候预测与种植计划有机结合；推广灌溉；提高区域农业多样性；向非农生计来源转移（Asfaw等，2014；Branca等，2011；粮农组织，2010；粮农组织，2013）。

自气候智能型农业提出以来，在国际和国家层面日益支持采用这一办法。有30多个国家，主要是撒哈拉以南非洲国家，在其“国家自主贡献”中专门提及气候智能型农业（见第五章）。■

插文 4

可持续粮食和农业共同愿景

粮农组织可持续粮食和农业共同愿景与气候变化适应与减缓措施的制定高度相关。在这一愿景中，对农业实践和技术的评估将依据其是否遵循应指导全球可持续转型的五项主要原则。

- ▶ 提高资源使用效率；
- ▶ 养护、保护和加强自然资源；
- ▶ 保护和改善农村生计和社会福利；
- ▶ 提高人民、社区和生态系统的抵御力；
- ▶ 推动改善有效的治理机制。

以上五项原则旨在确保以连贯一致的方式实现农业部门及附属各领域的可持续发展。这一方式可以在社会、经济、环境可持续发展的不同层面、并横穿各个领域部门、纵贯时间空间、在不断进化的过程中创造协同效应、实现权衡取舍。

资料来源：粮农组织，2014

本报告结构

今年的《粮食及农业状况》深入探究了气候变化、农业和粮食安全之间的关系，讲述了农业部门可以如何通过适应与减缓措施有效应对气候变化。整个粮食供应链，从生产者到消费者，都受到气候变化影响，同时也推动着气候变化，其程度有时超越了初级农业产业本身。但是，本报告的重点将放在初级农业部门：种植业、畜牧业、渔业和林业。本报告余下部分结构如下：

第二章从实证角度介绍了在不同全球变暖情景下世界各地的气候变化对农业部门、粮食安全与营养的影响现状和未来预期。该章进而评估当今农业生产和粮食系统以何种方式和程度推动气候变化。

第三章研究了小型农户和小规模生产系统适应气候变化过程中面临的特殊挑战。本章为农户和其他依赖于此类系统的主体提供了可行的建议，即采取适应措施和多样化策略，在增强抵御力的同时改善生计，从而推动消除饥饿与农村贫困。

第四章讨论了农业部门应如何应对气候变化以促进粮食安全和气候稳定。主要应对措施

包括加强对碳循环和氮循环的管理、增强资源利用效率、保护富碳地貌、提升抵御能力，以及在需求方面减少粮食浪费、优化膳食习惯，旨在减少农业与粮食系统的排放强度，并将适应与减缓措施的共同惠益最大化。

第五章讨论了政策应如何制定以确保政府和农业领域的利益相关者能够有效应对气候变化。

第六章介绍了如何利用气候融资 — 以及更广泛的发展融资 — 来帮助实现农业的适应与减缓目标。



第二章

气候、农业、 和粮食安全： 深入研究 三者之间关系

柬埔寨暹粒
洞里萨湖地区的农民参与自然
资源管理。

©粮农组织/J. Thompson



孟加拉国库尔纳

向稻田人工泄洪可提高生产力并降低农民应对干旱、洪水和海啸的脆弱性。

©粮农组织/Munir Uz Zaman



主要内容

1 到2030年之前，预计全球变暖对作物、畜牧、渔业和林业生产率的影响有好有坏，取决于地点和条件。

2 2030年之后，气候变化对农业产量的不利影响在各个区域都将日益严峻。

3 在热带发展中区域，脆弱家庭和社区的生计和粮食安全已遭受不利影响。

4 由于农业、土地利用和林业在温室气体排放量中占比较大，因此减缓潜力也非常大。

气候、农业和粮食安全： 深入研究三者之间关系

本章具体着眼于气候变化、农业与粮食安全的联系，讨论了气候变化对农业部门的生物物理影响，以及这些影响如何转化成社会经济影响，进而影响粮食安全和营养。本章还分析了农业部门温室气体排放和吸收对气候变化的影响，反映出农业既要通过建设抵御能力适应气候变化，也要努力推动气候变化减缓。■

从气候到人的连锁影响

政府间气候变化专门委员会《第五次评估报告》肯定了之前几份报告关于全球气候发展状况、预期变化（如气温升高、降雨多变以及极端天气事件）和全球变暖重要生物物理影响（如海平面升高、海洋酸化、冰川规模缩小、生态系统退化、火灾风险增加、害虫增加）的主要发现。报告更加清晰地描述了降雨量的潜在变化情况，同时，得益于建模和数据收集工作的改进，也开展了更为准确的中期预测。因此，气候变化的连锁影响现在可沿着证据链从物理气候追溯到中间系统再到人类（Kirtman 等，2014）。

气候变化对开展农业活动的条件具有深远影响。在世界各区域，植物、动物和生态系统都已经适应了当前的气候条件。若当前条件

发生改变，对植物、动物和生态系统产生的影响很难准确预测。一些研究专门分析了预期变化将对农业生态系统造成的生物物理影响（插文5）。具体影响体现为产量降低、产量波动性增加、适种作物改变，以及农业生物多样性和生态服务的损失。气候变化对农业的大部分影响预期为不利影响，但也并非全部如此。所有的农业部门——作物、畜牧、渔业和林业——都会受到不同方式的影响。

气候变化对农业部门的影响在全球很多地区已经显现，未来数年至数十年还将继续扩大。大量证据表明此种影响主要为不利影响，很多农业系统生产率下降，部分动植物品种消失。这些变化直接影响农业生产，也会带来社会经济后果，进而影响到粮食安全（图3）。此种影响将通过不同渠道传导，会影响到粮食安全的所有四个维度：获取、可供量、利用和稳定性。在传导链条的各个阶段，影响的严重程度将取决于冲击本身以及面临胁迫的系统或人群的脆弱性（粮农组织，2016a）。■

对农业的影响

气候变化对农业部门的影响多种多样，每个区域的情况都不一样（表2）。例如，气候变化会造成温度升高、降雨变异性增加，降低季节性天气模式的可预测性，增加洪涝、飓风»

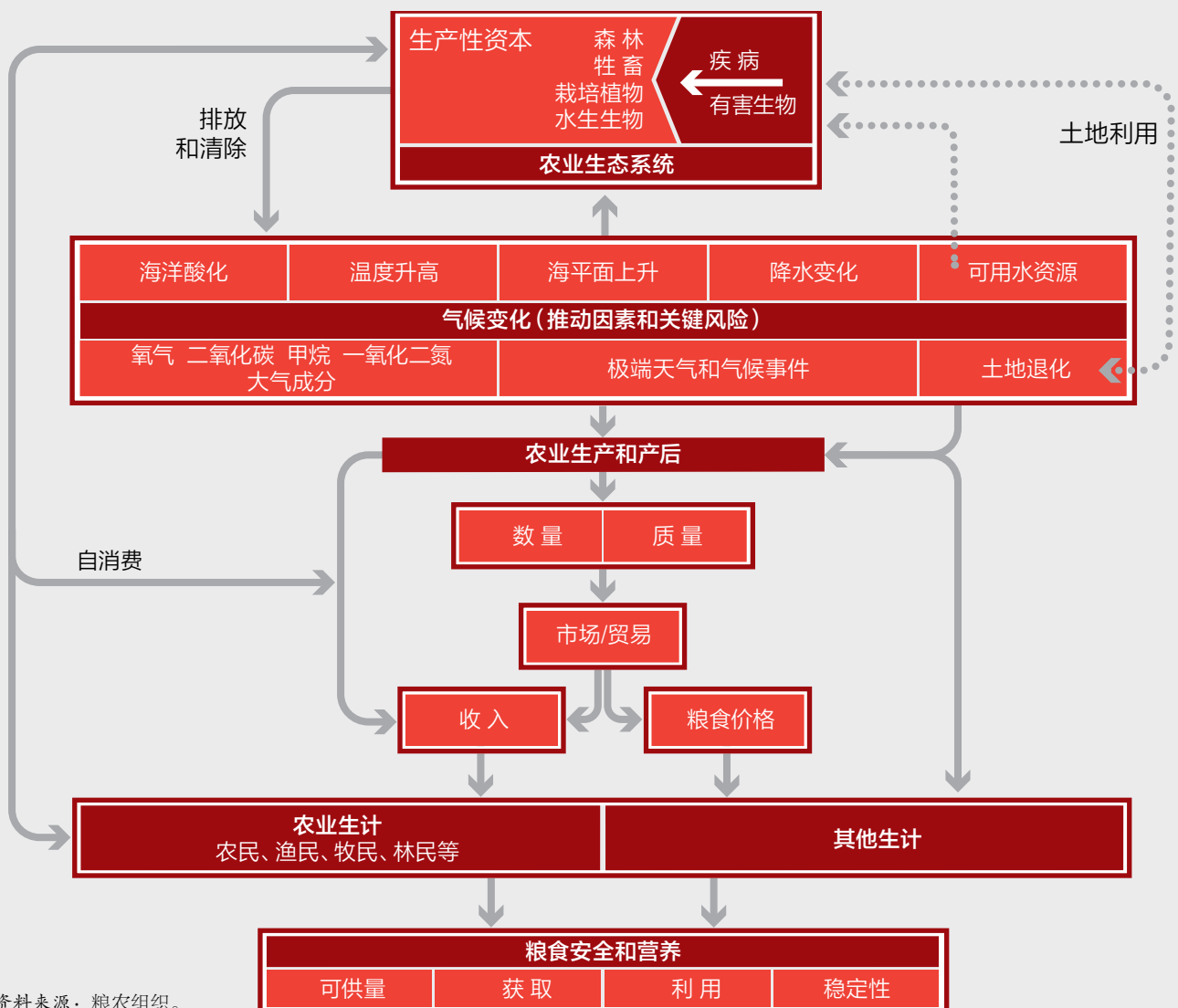
气候变化对农业的影响概述

- ▶ 热浪、干旱和洪涝等极端天气事件发生的频率和强度增加, 导致农业基础设施和生计受损。
- ▶ 淡水资源减少造成耕地缺水。
- ▶ 海平面升高和沿海洪灾导致水土碱化, 并给渔业和水产养殖业带来风险。
- ▶ 水和食品卫生问题。
- ▶ 水流变化会影响内陆渔业和水产养殖业。
- ▶ 温度升高和水资源短缺会影响动植物生理机能与生产率。
- ▶ 二氧化碳“施肥”可为作物生产带来有益影响。
- ▶ 对流层臭氧增多会抑制作物产量。
- ▶ 植物、牲畜和鱼类疫病及有害生物种类的变化。
- ▶ 对林业、畜牧、渔业和水产养殖业的破坏。
- ▶ 海洋酸化, 鱼类灭绝。

资料来源: 据Tirado等(2010)整理并用Porter等(2014)、HLPE(2012)和IPCC(2014)更新。

图 3

影响路径: 从气候变化到粮食安全



资料来源: 粮农组织。

» 和龙卷风等严重天气事件发生的频率和强度。预计部分区域将长期面临干旱和缺水的挑战。冰川和一些主要山脉的积雪大规模融化，特别是在亚洲。这将影响水流的流量和时间，最终会减少下游的灌溉水可用量。温度升高会导致病虫害暴发的地点和发病率产生变化。即便是很小幅度的变暖都会导致低纬度区域的产量下降。厄尔尼诺-南方涛动等极端天气事件发生的频率和强度增加，这会越来越多地影响到气候格局和粮食生产（[插图6](#)）。

作物

气候变化对主要作物产量的影响可能是研究最多的粮食安全问题。自Rosenzweig和Parry（1994）围绕气候变化对全球粮食供应潜在影响开展了全球性评估之后，对于产量影响的观察和预测研究持续了20多年；其他一些重要研究包括Parry、Rosenzweig和Livermore（2005）、Cline（2007）、世界银行（2010），以及Rosenzweig等（2014）。多数研究局限于主要作物，而气候变化对很多其他重要作物的影响目前所知较少。

过去数年气候发展趋势对作物单产的影响在全球很多区域已经体现得非常直观（Porter等，2014），不利影响总体多于有利影响。有证据表明，气候变化已经给小麦和玉米单产造成不利影响。广泛引用的测算结果为，相对于气候稳定条件下的单产，1980到2008年间全球小麦单产下降5.5%，玉米单产下降3.8%（Lobell等、Schlenker和Costa-Roberts，2011）。

未来气候变化对作物单产的准确影响很难预测，这要取决于很多因素。这些因素包括：温度、降雨模式、大气中二氧化碳浓度升高等物理因素；农业生态系统发生变化（例如因传粉者丧失和病虫害发生率增加）；人类体系的适应性反应。“二氧化碳施肥”、农民的响应措施、市场条件和政策等。在作物生长最佳温度范围内，温度变化的影响通常容易理解，但超出最佳温度范围后的影响则较难预知。近期研究表明对流层臭氧浓度升高已对单产带来破坏性影响；据测算，2000年大豆、小麦和玉米单产分别损失8.5%到14%，3.9%到15%，以及2.2%到5.5%（Porter等，2014）。气候变化对生态系统功能的一些其他可能影响——如作物与有害生物的平衡，以及对授粉者的影响——很难评估，在作物单产预测模型中通常也不予考虑。

一定范围内的气候变化可对作物同时产生有利和不利影响。实际上，温度和大气中二氧化碳浓度升高可能对于某些地区的某些作物是有利因素。如在最佳温度条件下，二氧化碳浓度的升高会提高小麦和大豆单产。尽管由于采用的情景、模型和时间跨度都不一样，对于未来单产的预测结果也有所差别，但主要预期变化方向却是一致的：热带地区作物单产受到的不利影响大于高纬度地区，且随着温度升高，不利影响会更为严重（Porter等，2014）。

更为重要的是，IPPC《第五次评估报告》提供新证据表明，在已经面临粮食安全挑战的地区，作物单产预计将进一步下滑。该报告对21世纪气候变化导致作物单产的变化进行了预测（[图4](#)）。所使用的数据包括了Challinor等2014开展的91项研究及1722项作物单产变

化测算结果。这些研究采用的时间跨度、作物种类、作物和气候模型以及排放水平各不相同。有些研究考虑了适应措施的影响，有些则没有。研究规模和地区范围也不尽相同，有些测算着眼于地区，其他则为国家、区域或全球层面。

尽管这些研究差异显著，但其长期预测结果都清晰表明不利影响将为主流。这些预测表明，从中期来看，2030年之前，对作物产生的有利和不利影响在全球层面上可以相互抵消；其后随着气候变化加剧，不利影响将会逐步增加。相关数据还表明，21世纪后半段气候变化对玉米、小麦和稻米单产的预期影响对于热带地区比温带地区更为不利。但在很多温带地区，作物单产也有可能下滑（Porter等，2014和Challinor等，2014）。

粮农组织为本报告而对这些数据开展的深入分析表明，发展中国家和发达国家的受影响模式迥然不同。在发展中国家，对于作物单产影响的多数测算结果为不利影响，预测时间越远，不利影响就越大（图5）。与发展中国家相比，针对发达国家的测算结果显示潜在的有利变化的比例要高得多（图6）。²

² 在分析采用的数据集中，针对发展中国家开展的测算数量多于发达国家。发展中区域中测算研究数量最多的是撒哈拉以南非洲，其次为东亚和太平洋，以及南亚。面向拉丁美洲及加勒比、北非及西亚等地开展的测算比例要小很多。从作物来看，开展测算最多的是玉米或小麦单产，随后为稻米和大豆。在多数国家组别中，面向2090–2109年的预测数量都非常有限；此类预测针对发达国家的只有5个，发展中国家16个；所有针对这16个发展中国家的预测均涉及撒哈拉以南非洲，且都表明作物单产将下降10%以上。但这些结果仅来自于两个研究。

近期一项运用农业模型比较与改进项目（AgMIP）以及部门间模型比较项目框架而开展的综合研究就气候变化对作物单产影响给出了其他的测算结果。这些结果都表明，与不发生气候变化的世界相比，如不采取气候变化减缓措施，则将产生剧烈的长期影响。³在高排放气候情景中，2100年对单产的影响为：玉米单产降低20到45%，小麦降低5%到50%，稻米降低20%到30%，大豆降低30%到60%（Rosenzweig等，2013）。假设二氧化碳施肥的效果完全实现，气候变化对作物单产的影响就会有所减少，具体为玉米降低10%到35%，小麦变为提高5%到降低15%，稻米降低5%到20%，大豆降低0%到30%。如果明确考虑氮获取面临的局限，则二氧化碳施肥对作物产生的有利影响就将有所削弱，气候变化带来的不利影响将会扩大（Müller和Elliott，2015）。

畜牧

气候变化会以多种方式影响畜牧生产，包括直接影响和间接影响（表2）。最重要的影响体现在动物生产率、动物健康和生物多样性、饲料供应质量与数量以及草场载畜能力等方面。降雨量波动加剧会导致饮用水短缺，畜牧病虫害多发，及其分布和传播的变化。另外还会影响草场的品种构成、草场单产以及牧草质量。

下接第28页 »

³ 农业模型比较和改善项目框架将气候、作物、畜牧与经济联系在一起，提供了农场到区域范围的分析，并包含了多项附加气候敏感性测试和气候变化情景的模拟实验。得益于农业模型比较和改善项目的规范，不确定性范围已经缩窄，对于建模结果差异和气候变化对粮食安全影响预测差异的原因也有了更好的认识。

表 2

气候变化对各区域的若干潜在影响



北美洲



拉丁美洲及加勒比



欧洲

种植业和畜牧业

- ▶ 主要作物单产到本世纪中叶前小幅下降，此后到2100年下降幅度加剧
- ▶ 气候有利于五大湖区的水果生产，但季末的高温胁迫将影响美国的大豆单产
- ▶ 灌溉需求扩大的同时降雨量的缩减限制了水资源可用量
- ▶ 高温胁迫和牧草质量下降降低牛奶产量，影响畜群增重
- ▶ 温带地区的大豆、小麦和草场生产率提高
- ▶ 土壤变干和高温胁迫造成热带和亚热带地区生产率下降
- ▶ 智利和巴西的干旱地区盐碱化和荒漠化趋势加剧
- ▶ 半干旱地区的雨养农业面临更大的作物损失
- ▶ 温带和极地地区受益于气候变化
- ▶ 随着温度升高，中纬度国家受到的影响从最初的积极转为消极
- ▶ 在南欧和中欧，气候引起的小麦产量波动增大
- ▶ 高温和潮湿增加牲畜死亡风险

渔业和水产养殖业

- ▶ 很多暖水和冷水物种迁移至高纬度地区
- ▶ 北极淡水将经历最大幅度的变暖，受到最为严重的不利影响
- ▶ 海水变暖、水质下降将增加北大西洋鲸类和热带珊瑚礁的疾病风险
- ▶ 热带太平洋的初级产量下滑，部分物种南移
- ▶ 风暴、飓风和龙卷风更加频繁，对加勒比的水产养殖和渔业造成破坏
- ▶ 淡水鱼类的生理机能发生改变，珊瑚礁系统崩溃
- ▶ 气候变暖使一些鱼类向北或更深的水域迁移
- ▶ 入侵热带物种将改变南欧半封闭海域的沿海生态系统
- ▶ 水产养殖受到海平面上升、酸化、升温的影响

林业

- ▶ 春季温度上升导致松树林虫害加重
- ▶ 夏季变暖导致森林火灾风险上升30%
- ▶ 暖冬利于小蠹虫生长，导致森林枯死
- ▶ 相比温度变化，水资源可用量变化和二氧化碳施肥对热带森林的影响更大
- ▶ 亚马逊流域火灾频发、森林损毁和“稀树草原化”的风险加大
- ▶ 中美洲40%的红树林物种面临灭绝风险
- ▶ 在欧洲北部大西洋沿岸，温度升高和大气中二氧化碳水平的上升加快森林生长和木材生产
- ▶ 南欧地区树木越来越多地被灌木取代
- ▶ 野火增加，导致温室气体排放显著增加

资料来源：据IPCC（2007、2014）和粮农组织（2011、2016c）整理。



撒哈拉以南非洲



近东及北非



亚洲



大洋洲

- ▶ 整个区域的谷物，尤其是玉米，将受到不利影响
- ▶ 极干和极湿年份的出现频率增加
- ▶ 南部非洲很多地区更加干旱，但东非和西非降雨量增多
- ▶ 萨赫勒地区草场退化和干旱降低牧草生产率

- ▶ 升温将威胁北非的小麦产量和整个北非近东地区的玉米单产
- ▶ 水资源可用量总体减少，但苏丹和南部埃及有小幅增加
- ▶ 在中纬度地区，温度升高使得草场更加茂盛，畜牧产量因此提高
- ▶ 暖冬有利于畜牧生产，但夏季的高温胁迫将带来不利影响

- ▶ 由于南亚、东亚和东南亚淡水资源可用量减少，农业区域向北推移
- ▶ 在亚洲很多地区，水稻在关键生长阶段遭遇高温，导致单产下降
- ▶ 干旱和半干旱地区灌溉用水需求大幅增加
- ▶ 高温胁迫制约牲畜数量的扩大

- ▶ 到21世纪30年代，新西兰的小麦单产略有增长，但畜牧产量下降
- ▶ 在澳大利亚，土壤退化、水资源短缺和杂草将降低草场生产率
- ▶ 在太平洋岛屿，干旱期延长，但降雨量也加大
- ▶ 温度升高增加甘蔗的用水需求

- ▶ 海平面上升威胁沿海地区，尤其在西非
- ▶ 到2050年，西非的渔业产量持续下降，使该行业就业人口下降50%
- ▶ 东非渔业和水产养殖受到气候变暖、缺氧、酸化、病原体的冲击
- ▶ 沿海和三角洲的变化（如珊瑚礁死亡）影响生产率

- ▶ 地中海和近东很多流域的可利用水资源进一步减少
- ▶ 气候变暖将提高阿拉伯海的生产力
- ▶ 地中海和红海部分地区的潜在渔获量降幅达50%

- ▶ 沿海洪水严重影响大江大河三角洲地区的捕捞渔业和水产养殖业
- ▶ 沿海渔业产量普遍下降，水生系统的极端事件风险增大
- ▶ 海洋捕捞渔业重新分配，热带的数量下降
- ▶ 淡水养殖面临严峻的淡水资源短缺风险
- ▶ 到2050年，海鱼体重降幅高达24%

- ▶ 水温和洋流的变化扩大部分深海品种的范围，缩小另一些品种的范围
- ▶ 水温和化学成分的变化严重影响渔业和水产养殖业
- ▶ 营养物下降将减少澳大利亚东海岸的磷虾数量
- ▶ 小岛国与渔业关系密切，且高度依赖渔业，受影响最大

- ▶ 森林普遍受到毁林、退化和火灾的影响
- ▶ 森林损毁将减少野生动物、丛林肉类和其他非木材森林物产
- ▶ 水资源短缺比温度升高对森林生长的影响更大

- ▶ 土壤湿度下降削弱主要森林物种的生产率，增加火灾风险，并改变病虫害暴发模式
- ▶ 在近东地区，夏季降雨量减少导致水资源严重短缺，影响森林生长

- ▶ 北方森林和青藏高原的高山植被北移
- ▶ 由于气候变化和生境破碎化的综合影响，许多森林物种面临灭绝
- ▶ 森林火灾发生的频率和严重程度普遍增加，入侵物种、病虫害风险加剧

- ▶ 二氧化碳施肥对生产率的提高作用被温度升高和降雨减少带来的影响抵消
- ▶ 太平洋地区的极端天气事件对红树林造成破坏

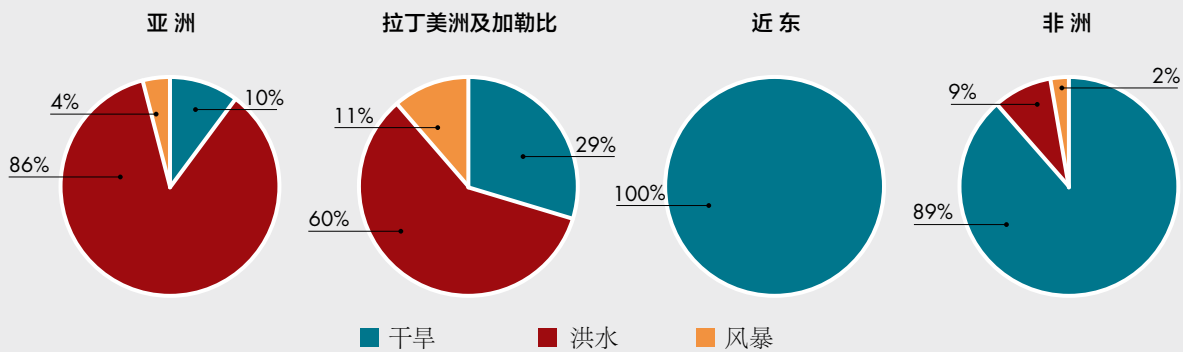
极端天气事件的影响

厄尔尼诺-南方涛动是热带太平洋区域表面温度升高所致，大体上每两到七年出现一次，每次持续6到24个月。其影响包括世界范围内降雨量、热带气旋、干旱、森林大火、洪涝以及其他极端天气事件骤增。当前的厄尔尼诺现象是近100年来强度最大、范围最广的一次，对全球范围内的作物和畜牧生产以及农业生计都造成了破坏，

威胁着6000万人的粮食安全和营养（粮农组织，2016b）。

极端天气事件对农业影响显著。一项粮农组织研究测算结果表明，2003年到2013年发展中国家气候相关灾害经济影响有25%左右体现在农业上；若仅考虑干旱，比例则高达84%（粮农组织，2015）。不同区域受害类型差异很大（见图）。

2003-2013年中到大规模各类气候灾害导致的作物和畜牧产量损失

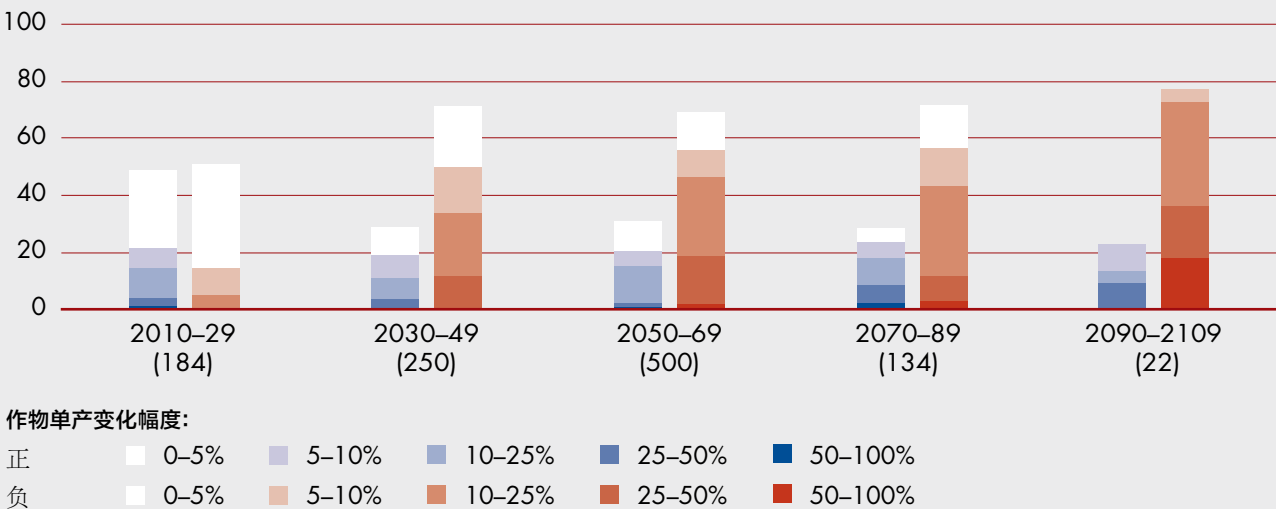


资料来源：粮农组织，2015。

图 4

气候变化导致的世界范围内作物单产变化预测

单产预测百分比 (n = 1090)



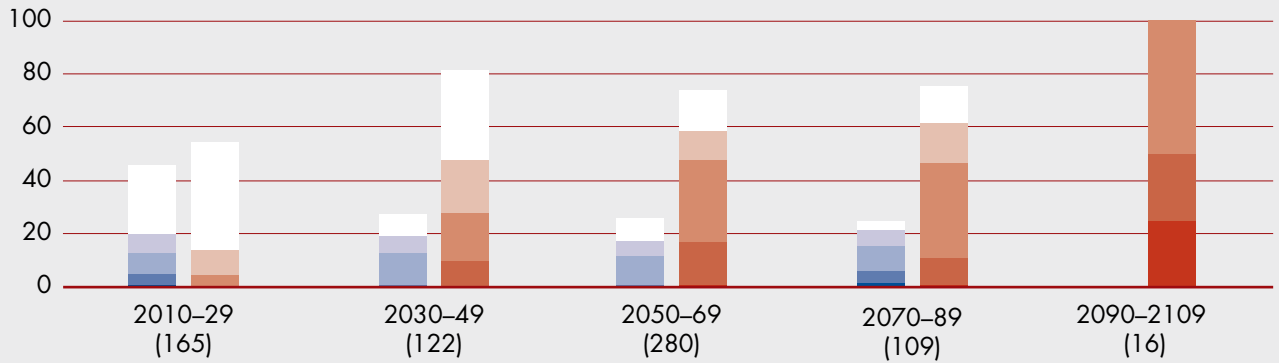
注：括号中的数字系指作物单产变化的估计数。

资料来源：数据与Porter等（2014）和Challinor等（2014）所用相同。详见附件表A.1。最新数据可查询CGIAR、CCAFS和利兹大学（2016）。

图 5

气候变化导致的发展中区域作物单产变化预测

单产预测百分比 (n = 692)



作物单产变化幅度:

正 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%
 负 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%

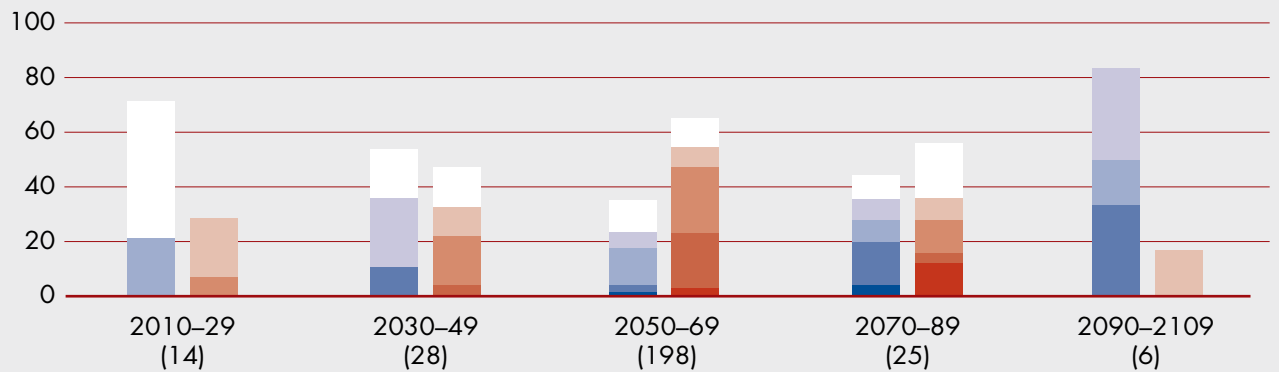
注: 括号中的数字系指作物单产变化的估计数。发展中区域包括所有来自非洲、拉丁美洲、大洋洲的发展中区域以及除中亚以外整个亚洲各个观测地点的观测结果。详见附件表A.1。

资料来源: 见图4。

图 6

气候变化导致的发达区域作物单产变化预测

单产预测百分比 (n = 271)



作物单产变化幅度:

正 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%
 负 0-5% 5-10% 10-25% 25-50% 50-100%

注: 括号中的数字系指作物单产变化的估计数。发达区域包括所有来自欧洲、北美洲、澳大拉西亚等发达区域各个观测地点的观测结果。详见附件表A.1。

资料来源: 见图4。

» 上接第23页

温度升高会给动物带来高温胁迫，产生一系列不利影响：饲料摄入量 and 生产率下降，繁殖率下降，死亡率提高。高温胁迫还会削弱动物对病原体、寄生虫和虫媒的抗性（Thornton等，2009；Niang等，2014）。多个胁迫因子严重影响动物生产、繁殖和免疫状况。印度研究发现，气候相关胁迫的组合，例如过热且营养物摄入量减少，均会严重影响绵羊的生理应对机制（Sejian等，2012）。

在牛、猪和鸡等密集养殖场所，可通过温度调节，使气温升高产生的影响减少（Thornton等，2009），但需有适当牛棚、猪舍、鸡舍及能源。然而，南部非洲广袤的草原预计将变得更为干燥，这会加剧水资源短缺的问题；到2050年，博茨瓦纳钻井泵水的成本将增加23%。在近东，半干旱草原地区的牧草质量下滑、土壤侵蚀和水资源短缺问题极有可能加剧（Turrall、Burke和Faurès，2011）。

气候变化对动物健康的影响也有据可查，特别是虫媒病问题，因为温度升高有利于虫媒和病原体在冬季存活。在欧洲，全球变暖可能会增加羊蜱在秋冬季节的活动，加剧蜱媒病的风险（Gray等，2009）。东非暴发的裂谷热就与因厄尔尼诺-南方涛动引起的降雨增多和洪涝灾害不无关联（Lancelot、de La Rocque和Chevalier，2008；Rosenthal，2009；Porter等，2014）。

渔业及水产养殖

气候变化、气候变异和极端天气事件给海洋和淡水环境中捕捞渔业和水产养殖业的可持

续发展带来威胁（表2）。热带、不发达和贫困地区的小规模渔业面对气候变化影响尤为脆弱（Porter等，2014）。渔业和水产养殖系统可能会受到诸多因素的影响，包括水温升高、缺氧、海平面上升和PH值下降、当前海洋生产率格局的变化、洪涝、干旱，以及暴雨和其他极端天气事件频率和强度的增加。

很多鱼类已经在向两极方向迁移。基于环境条件、生境类型和浮游植物初级生产变化预期建立的模型表明，全球潜在海洋渔获量将会出现大规模的重新分配，高纬度海域平均增加30%至70%，热带海域降幅可达40%（Cheung等，2010）。内陆渔业和水产养殖产量也受到多种因素威胁，包括降雨和水资源管理模式改变，淡水资源压力加剧，以及极端天气事件发生的频率和强度增加（Brander，2007；Porter等，2014）。

珊瑚礁系统生活着四分之一的海洋物种，也将因为温度升高和海洋酸化的双重压力而面临更大的风险。2002到2003年，海面温度波动已造成基里巴斯凤凰岛周边大量珊瑚白化和死亡，导致珊瑚覆盖率减少约60%（Alling等，2007；Obura和Mangubhai，2011）。2015年10月，美国国家海洋和大气管理局宣布了第三次全球性珊瑚礁白化事件；前两次分别发生在1998年和2010年。这些气候变化造成的全球性冲击加之厄尔尼诺现象等事件给全球范围内珊瑚礁带来了规模最大、最为普遍的威胁（美国国家海洋和大气管理局，2015）。

林业

气候变化和气候变异给森林提供的诸多重要产品和服务带来威胁（表2），包括清洁可靠的供水，防止土地滑坡、土壤侵蚀和土地退化，提供或加强水生和陆生动物的生境，提供各类家庭自用或出售用的木材和非木材产品，以及创造就业。

近期研究表明，温度升高和降雨变化带来的高温胁迫、干旱胁迫和病虫害暴发正在推高各类森林系统的树木死亡率（Allen等，2010）。很多针叶林地区都经历过变暖导致干旱所造成的生物质生产率下降（Williams等，2013）。变暖和干旱，加之生产率下滑，昆虫破坏及与之相关的树木死亡，火灾出现的风险就会更大（Settele等，2014）。

在过去一段时间，温带森林的总体趋势是生长速度加快，主要得益于生长季节延长、空气中二氧化碳和氮素浓度升高，以及森林管理（Ciais等，2008）。模型预测结果表明，大部分树种的潜在气候空间将会转移到更高纬度和海拔地区，且移动速度快于自然迁移。

对热带林而言，一个主要不确定性是二氧化碳对光合作用及蒸腾作用直接影响的后果。潮湿热带林中很多树种都非常脆弱，易因干旱和火灾死亡。另外有证据表明，在包括亚马逊森林在内的很多森林中，受到土地用途变化和干旱的共同影响，森林火灾发生频率和强度都在不断加剧。气候变化、森林砍伐、碎片化、火灾和人为压力几乎将所有干燥热带林置于替代或退化的风险之中（Miles等，2006）。在东南亚，厄尔尼诺现象导致的干旱频发造成不

同年份间森林火灾变异性加剧，从而增加健康风险，加剧生物多样性和生态系统服务的损失（Marlier等，2013）。■

对收入和生计的影响

气候变化对农业部门产量和生产率的影响大部分将转化为不利的社会经济影响，进而波及粮食安全的四个维度。气候变化可能造成家庭和国家收入减少。由于数以亿计的农村贫困和粮食不安全人群高度依赖农业，气候变化对农业收入的潜在影响成为重要关切——在高度依赖农业的低收入国家，农业收入影响着整个经济。气候变化会加剧贫困，对粮食安全产生严重的不利影响。

围绕气候变化的未来发展趋势、确切影响和可能的应对措施尚有很多不确定性。气候变化的环境和社会影响不但取决于地球系统对大气构成变化产生的响应，还取决于造成这些变化的推动因素以及人类的应对措施，如技术、经济和生活方式的改变。

评估气候变化对农业的影响需要综合运用各种气候、作物和经济模型，考虑农业部门面对不断变化的外部条件时作出的反应，包括管理决策、土地用途选择、国际贸易和价格，以及消费者。因此，过去二十年间，气候研究界开发了多套情景，用于描述未来的可能发展轨迹，也体现了很多对于气候变化政策制定非常重要的主要影响因素。

很多此类情景已被用于分析气候变化对农业生态系统、农业部门、社会经济趋势以及最

终对粮食安全的影响。为确保对于未来的气候及其影响开展更为一致的分析，IPCC《第五次评估报告》采用了一套典型浓度路径（RCP），即基于全球每年温室气体排放规模做出的气候变化情景假设。IPCC还支持开发了共享社会经济路径（SSP），用于描述各种未来发展趋势，并与典型浓度路径一道用于分析气候变化与社会经济因素的相互作用（插图7）。

Nelson等（2014a）设计了一套通用规范，用来比较RCP 8.5情景下（全球温室气体年排放量在整个21世纪将持续增加）气候、作物和经济等9种模型的结果，未考虑二氧化碳对作物的施肥作用。作者比较了外源气候变化冲击对粗粮、油籽、小麦和稻米四大类作物单产的影响，这些作物约占全球作物收获面积的70%。气候变化冲击对作物单产造成的平均生物物理影响为单产下降17%。作者运用经济模型将冲击影响转化为应对变量。生产者面对冲击引发价格上涨的反应是一方面加强管理，并因此实现最终平均单产变化为负11%；另一方面扩大种植面积，平均扩大11%。

综合单产减少与面积扩大的双重影响，总体产量平均只下滑了2%。消费小幅下跌，平均下跌幅度为3%。各区域贸易份额的变化正负相抵，但全球贸易量占全球总产量的比例平均提高1%。平均生产者价格提高20%。所有模型中应对措施的方向都非常一致，但应对措施的强度会因模型、作物和区域的不同而差异显著。尽管平均消费降幅较小，但全球需求的刚性特征将推动价格上涨，可能会极大增加贫困人群的食物成本。

世界银行的一项研究比较了最坏情况与比较乐观、即不发生气候变化的情景（Hallegatte等，2015），确认了农业在支持大多数贫困人群生计方面的重要作用，也凸显了贫困人群面对气候变化的特殊脆弱性。气候变化影响大、人口增速快且经济停滞的情景表明，到2030年，陷入极端贫困的人口将新增1.22亿人（表3）。若气候变化影响程度相同，但所有人都能获得基本服务且不平等性降低，极端贫困人口只占全球人口不到3%，则新增贫困人口数量预计只有1600万（Rozenberg和Hallegatte，2015）。在最坏的情况下，预计新增的贫困人口将有很多出现在非洲（4300万）和南亚（6200万）。农业部门收入减少是气候变化导致贫困增加的最大影响因素。这是因为最为严重的粮食产量减少和粮价上涨会发生在非洲和印度，而这两个地区的贫困人口数量在全球总量中占比很大。造成贫困加剧的第二个重要因素是健康影响，其次为温度升高对劳动生产率的影响。

粮农组织近期对于撒哈拉以南非洲地区小农系统适应气候变化的研究显示了干旱期、雨季延后以及高温对农场层面收入的影响。⁴在各种情况下，气候冲击都会大幅削弱生产率或收获物价值，进而减少对粮食的获得。这些冲击会影响实物资本，如因牲畜死亡带来资产破坏，或农民被迫变卖牛羊等生产资料来补充收入的减少。这些冲击还会削弱农民的投资能力，对未来的粮食安全产生不利影响。»

4 埃塞俄比亚情况见：Asfaw、Coromaldi和Lipper（2015a、b）；尼日尔：Asfaw、DiBattista和Lipper（2015）；马拉维：Asfaw、Maggio和Lipper（2015）；坦桑尼亚联合共和国：Arslan、Belotti和Lipper（2016）；赞比亚：Arslan等（2015）。

预测气候变化：典型浓度路径与共享社会经济路径

典型浓度路径是IPCC在《第五次评估报告》中采用的四种21世纪温室气体浓度假设路径（Moss等，2008），代表了未来人为温室气体排放的各种可能变化情况*：

RCP 2.6 — 排放量在2010到2020年间达到峰值后显著减少。

RCP 4.5 — 排放量在2040年左右达到峰值后减少。

RCP 6.0 — 排放量在2080年左右达到峰值后减少。

RCP 8.5 — 排放量在整个21世纪持续增加。

RCP 2.6路径符合将全球变暖控制在比前工业化时代水平提高2°C以内的目标。而不采取任何额外措施减缓排放量的情景则通向RCP 6.0到RCP 8.5之间的路径。

共享社会经济路径描述了21世纪社会和生态系统演变的各种可能趋势。共享社会经济路径和典型浓度路径共同用于分析气候变化与全球人口增长、经济发展与技术进步等因素的相互作用。共享社会经济路径基于各种可能的未来情景，不同的情景对适应和减缓提出了不同的挑战（O'Neill等，2014；Van der Mensbrugghe，2015）：

SSP1：可持续性。可持续发展快速推进，不平等性降低，技术革新飞速发展且环境友好，包括能源更低碳，土地生产率更高。

SSP2：维持现状（或中间路线）。人口到2070年达到峰值，GDP增长平缓，不平等性稳步下降，撒哈拉以南非洲和南亚的GDP占比显著提高。

SSP3：区域角力。人口快速增长，经济增速平缓，能源部门技术进步迟缓。高度的不平等导致贸易量缩减，使得世界很多地区陷入脆弱，适应能力较差。

SSP4：不平等。重点温室气体排放区域的低碳能源技术快速发展，推动减缓能力提高；但其他区域发展缓慢，不平等问题依然突出，适应能力有限。

SSP5：化石燃料驱动的发展。运用传统能源技术实现的GDP快速增长伴随着居高不下的排放量；但由于增长相对公平，全球在适应气候影响方面的能力更强。

五个共享社会经济路径



注：SSP = 共享社会经济路径。

资料来源：O'Neill等，2015。

* 典型浓度路径是根据相对于前工业时代水平值（+2.6、+4.5、+6.0及+8.5 W/m²）的2100年辐射强迫值的可能变化范围而命名的。辐射强迫值是地球吸收日照能量与辐射回太空能量的差值。

» Bárcena等（2014）梳理了关于南美洲气候变化对农业收入预期影响的系列研究的结论。尽管各种模式和情景差异较大，但各地的预期影响大都是不利的。表4列出了针对南美国家以及整个区域的部分研究结论。

在国家层面上，气候变化导致的产量下降会造成粮食和饲料价格上涨，给全部国民的社会经济状况和粮食安全带来不利影响。在食物支出占家庭预算比例较大的国家中，此类影响尤为显著。若农业对国家GDP和/或就业贡献较大，则此类影响还会伴随着重大的宏观经济影响。

Lam等（2012）以建模的方式研究了西非14个国家气候变化造成海洋鱼类可捕量变动而产生的社会经济影响，时间跨度到2050年。他们运用IPCC《排放情景特别报告》中的高限A1B情景，预测捕捞鱼类产值与2000年相比将减少21%，年损失额高达3.11亿美元，渔业相关就业损失约50%；其中，科特迪瓦、加纳、利比里亚、尼日利亚、塞拉利昂和多哥受到冲击最大。

多数预测结果表明，气候变化将推高粮价，但不同模式和气候情景下的变化规模和地点差异显著。一项研究综合考虑了人口增长、收入增长和气候变化的各种情景，分析了15种组合模式下的潜在影响。运用人口低增长、收入高增长的乐观情景以及四种气候变化情景的平均值，该研究得出了2050年粮价对比2010年价格水平的预期平均涨幅，玉米为87%，稻米为31%，小麦为44%（Nelson等，2010）。气候变化的另一个潜在影响体现为粮价波动

（Porter等，2014），但波动幅度很大程度上受到国内政策的影响，如出口禁令以及其他造成国际市场震荡加剧的贸易限制措施。

预计不断增长的贸易量将对适应气候变化导致的农业和粮食生产模式发挥重要的作用（Nelson等，2010；Chomo和De Young，2015）。Valenzuela和Anderson（2011）的研究分析了贸易的适应作用，发现气候变化会造成发展中国家粮食自给率显著下滑，到2050年将下降12%左右。贸易有助于适应气候变化以及国际生产格局的转变，但最终能够进入全球市场的只能是拥有充足购买力的国家和人群。这就意味着，包容性经济增长是稳定粮食安全的必要前提条件。

气候变化还会改变投资格局，造成家庭和国家层面农业系统长期生产率和抵御能力下降。不确定性会抑制农业生产投资，从而可能抵消价格上涨给粮食生产者带来的利好，对于难以甚至根本无法获得信用和保险服务的贫困小农户来说尤为如此。若无运转正常的保险市场，风险的加大会导致更多注意力转向低风险/低回报的生计型作物，使用化肥等外购投入品的可能性降低，投资力度下降（Antle和Crissman，1990；Dercon和Christiaensen，2011；Fafchamps，1992；Feder、Just和Zilberman，1985；Heltberg和Tarp，2002；Kassie等，2008；Roe和Graham-Tomasi，1986；Sadoulet和de Janvry，1995；Skees、Hazell和Miranda，1999）。所有这些应对措施往往都会造成当前及未来的农业利润降低（Hurley，2010；Rosenzweig和Binswanger 1993）。■

表 3

2030年不同气候与社会经济情景中无气候变化影响条件下的极端贫困人口数量

		气候变化情景				
		无气候变化 极端贫困人口数量	低影响 因气候变化而增加的极端贫困人口数量		高影响	
社会经济 情景	繁荣	1.42亿	+300万		+1600万	
			最低值	最高值	最低值	最高值
			+300万	+600万	+1600万	+2500万
	贫困	9亿	+3500万		+1.22亿	
			最低值	最高值	最低值	最高值
			-2500万	+9700万	+3300万	+1.65亿

注：主要结果的计算使用两种典型情景代表繁荣和贫穷两种情景。每个类别下的范围使用60个不同情景计算得出。见插图7对典型浓度路径和共享社会经济路径情景的解释。

资料来源：据Rozenberg和Hallegatte（2015）整理。

表 4

拉丁美洲部分地区因气温升高导致的农业收入变化

地理范围	参考文献	升温幅度（摄氏度）		收入变化
		（°C）		（百分比）
阿根廷	Lozanoff和Cap（2006）	2.0至3.0		-20至-50
巴西	Sanghi和Mendelsohn（2008）	1.0至3.5		-1.3至-38.5
墨西哥	Mendelsohn、Arellano和Christensen（2010）	2.3至5.1		-42.6至-54.1
南美洲	Seo和Mendelsohn（2007）	1.9、3.3和5		-20、-38和-64（小农场）
				-8、-28和-42（大农场）
	Seo和Mendelsohn（2008）	1.9、3.3和5，到2020年		2.3至-14.8
		1.9、3.3和5，到2060年		-8.6至-23.5
		1.9、3.3和5，到2100年		-8.4至-53
Seo（2011）	1.2、2.0和2.6		17至-36（私人灌溉） -12至-25（公共灌溉） -17至-29（旱作农业）	

资料来源：据Schleusner等（2014）整理。

还有千百万人面临饥饿风险

尽管气候变化对未来粮食安全产生了切实的威胁，但它对各区域、国家及地方的影响不尽相同，不同的人群因脆弱性不同也将受到不同的影响。未来粮食安全趋势也将受到总体社会经济条件的影响，而社会经济条件本身也会影响各国脆弱群体和世界各地人群。

IPCC《第四次评估报告》预测，2080年之前可能新增3.4亿至6亿饥饿人口，具体数字取决于气候变化情景和社会经济发展模式（Yohe等，2007；Parry、Rosenzweig和Livermore，2005）。Arnell等（2001）预计，如果不出现气候变化，21世纪50年代全球将有3.12亿人面临饥饿问题，80年代将有3.00亿人面临此问题。气候变化未得到减缓的情况下，该数字将升至50年代3.21亿人及80年代3.91亿人。在发展中区域，南亚及非洲会成为因气候变化饥饿风险上升最快的地区。由于气候变化而面临饥饿风险的人口估计数差异很大，这表明有些生物物理和社会经济进程的不确定性；然而，这些数字表明对影响不应估计不足。

在分析气候变化对粮食安全的未来可能影响时，必须牢记粮食和农业将会受到诸多其他变量的影响，包括人口增长和收入增长。这一点在一个气候变化影响分析中得到了体现。该分析基于3个经济发展情景和5个气候变化情景的组合，共15个情景。分析发现，截至2050

年，经济增长对全球粮食安全的影响大于气候变化，虽然气候变化也确实会加重负面影响（Nelson等，2009）。

国际粮食政策研究所和其他全球经济建模组织在农业模型比较与改进项目下进行合作。它们基于Nelson（2014b）等人的早期工作，使用典型浓度路径和共享社会经济路径的不同组合探索气候变化的可能影响，同时考虑了其他社会经济变量，包括产量、单产、面积、价格及主要作物的贸易（Wiebe等，2015）。

结果显示，到2050年，根据社会经济和气候变化速度假设的不同，全球平均作物单产同无气候变化的情况相比将下降5%至7%，收获面积将扩大约4%（图7）。气候变化对总产量的影响相对较小。然而，收获面积和主粮价格上涨速度预计是无气候变化时的两倍，这可能对环境和粮食安全产生重大影响。

影响随作物种类、区域及气候变化速度的变化而变化。高纬度地区作物单产下降幅度较小，一些作物甚至因生长季延长而上升。低纬度地区作物产量下降幅度更大。玉米产量在大多数地区大多数情景下出现下降。全球范围内小麦受到的影响较小，因为南亚和撒哈拉以南非洲的产量损失被其他地区的产量上升抵消（见图1）。

在相关分析中，国际粮食政策研究所发现，在2010至2050年间，若不出现气候变化，大多数区域面临饥饿威胁的人数都会降低。然而，气候变化将部分抵消这些成果。国际粮食

政策研究所的国际农产品和贸易政策分析模型结果表明，在高排放情景下（RCP 8.5），到2050年，面临食物不足威胁的人数比无气候变化的情况高出4千多万人。虽然气候变化导致的食物不足人数升幅小于经济增长和发展预计将带来的全球降幅，但这仍然是个庞大的数字。这也可能是一种保守估计，因为预测基于SSP2经济增长的“维持现状”假设，并未涵盖极端情况的影响，包括海平面上升、冰川融化、病虫害种类变异以及其他可能随气候改变的因素，尤其是2050年之后。

在RCP 8.5高排放情景下，面临饥饿风险人口数量下降速度预计减慢主要是在撒哈拉以南非洲（图8）。降速减慢集中出现在该区域，一个原因是其他地区受益于一些高纬度地区的生产，另一个原因是其他地区的收入和粮食安全对农业依赖度较小。

然而，我们必须记住，气候变化不是未来贫困和粮食安全趋势的唯一驱动因素。图9显示的是随着时间推移，在一系列气候变化影响和SSP2“中间路线”社会经济情景下，气候变化是如何影响全球饥饿问题的。比较有气候变化和没有气候变化条件下食物不足人数的下降趋势，可以发现气候变化在2050年之前的总体影响要低于其他社会经济因素的影响，尤其是收入增长。无气候变化条件下，大多数地区的

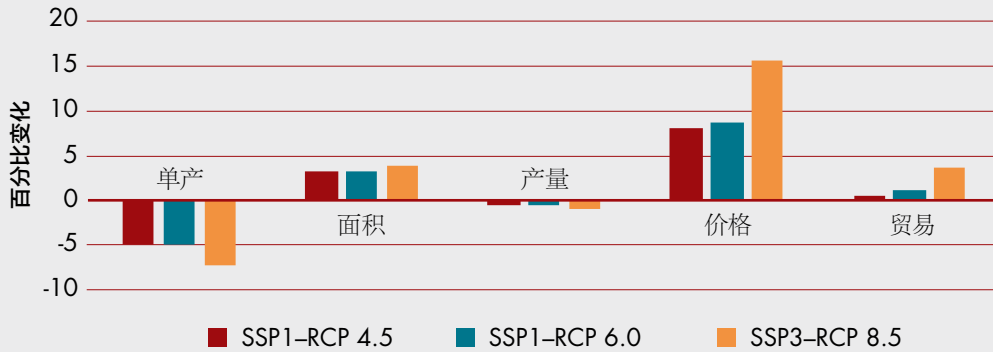
饥饿人口预计会下降。这些进展被气候变化抵消了一部分，尤其是在撒哈拉以南非洲。

撒哈拉以南非洲及部分南亚地区的人口对气候变化导致的粮食不安全存在的脆弱性也出现在世界粮食计划署及英国气象局哈德利中心的预测中。此二机构的共同工作基本上遵循Krishnamurthy、Lewis和Choularton（2014）使用的方法，用一种基于暴露程度、敏感度及适应能力的综合指数定义脆弱性。未来脆弱性等级预测分为两个时间段：2050和2080年，考虑三种气候变化情景：低排放（RCP 2.6）、中度排放（RCP 4.5）及高排放（RCP 8.5）。每种情景下的预测都使用12个不同的气候模型，结果的中值被作为相应的干旱和洪水指标的值。无适应措施情景以及低、高适应措施都被考虑在内。

图10解释了在两种不同的情景下当前和2050年的脆弱性，最坏的情景是高排放（RCP8.5）及无适应措施，最好的情景是低排放（RCP2.6）及高水平的适应措施。最严重的脆弱性出现在撒哈拉以南非洲、南亚及东南亚地区，在21世纪50年代之前，这些地区可能有千百万人面临气候变化所导致粮食不安全风险升高。在最坏的情景下，脆弱性将急剧上升。在最好的情景下，脆弱性大幅降低，一些国家的脆弱性实际上低于当前水平。■

图 7

2050年气候变化对全球层面作物单产、面积、产量、价格和贸易的影响



注：包括的作物有粗粮、稻米、小麦、油籽和糖。见插图7对典型浓度路径和共享社会经济路径的解释。
资料来源：Wiebe等，2015。

图 8

2050年气候变化对各区域面临饥饿风险人口的影响

- 2010年
- 2050年-无气候变化
- 2050年-气候变化

注：采用共享社会经济路径SSP 2和典型浓度路径RCP 8.5，使用国际农产品和贸易政策分析模型计算。见插图7对典型浓度路径和共享社会经济路径的解释。面临饥饿风险的人口数量使用食物能量供应与需求的函数计算。
资料来源：Wiebe等，2015。

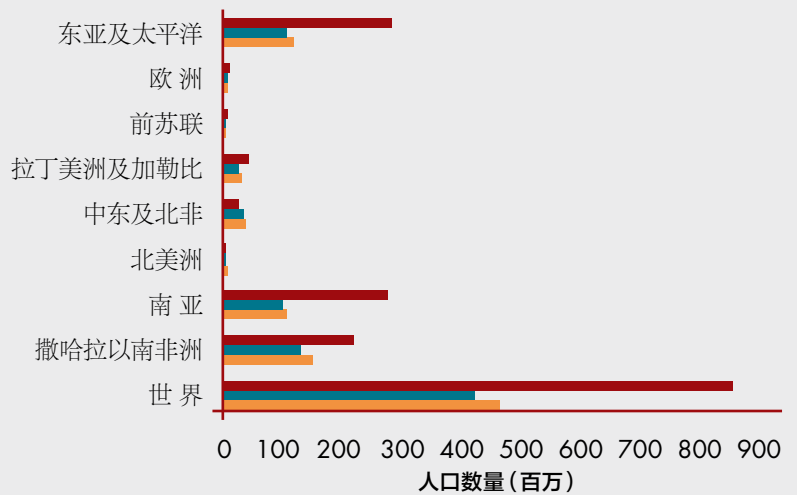


图 9

有无气候变化条件下面临饥饿威胁的人口

- 气候变化范围
- 气候变化中值
- 无气候变化

注：气候变化范围以典型浓度路径RCP 2.6、4.5、6.0和8.5为代表；模拟结果采用“中间路线”社会经济路径（SSP2）假设。见插图7对典型浓度路径和共享社会经济路径的解释。
资料来源：De Pinto、Thomas和Wiebe（2016）文中所用的模拟，采用国际粮食政策研究所的国际农产品和贸易政策分析模型。

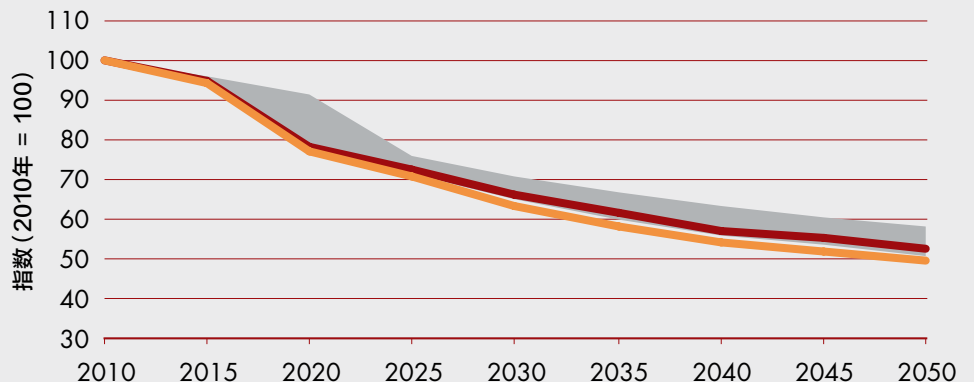
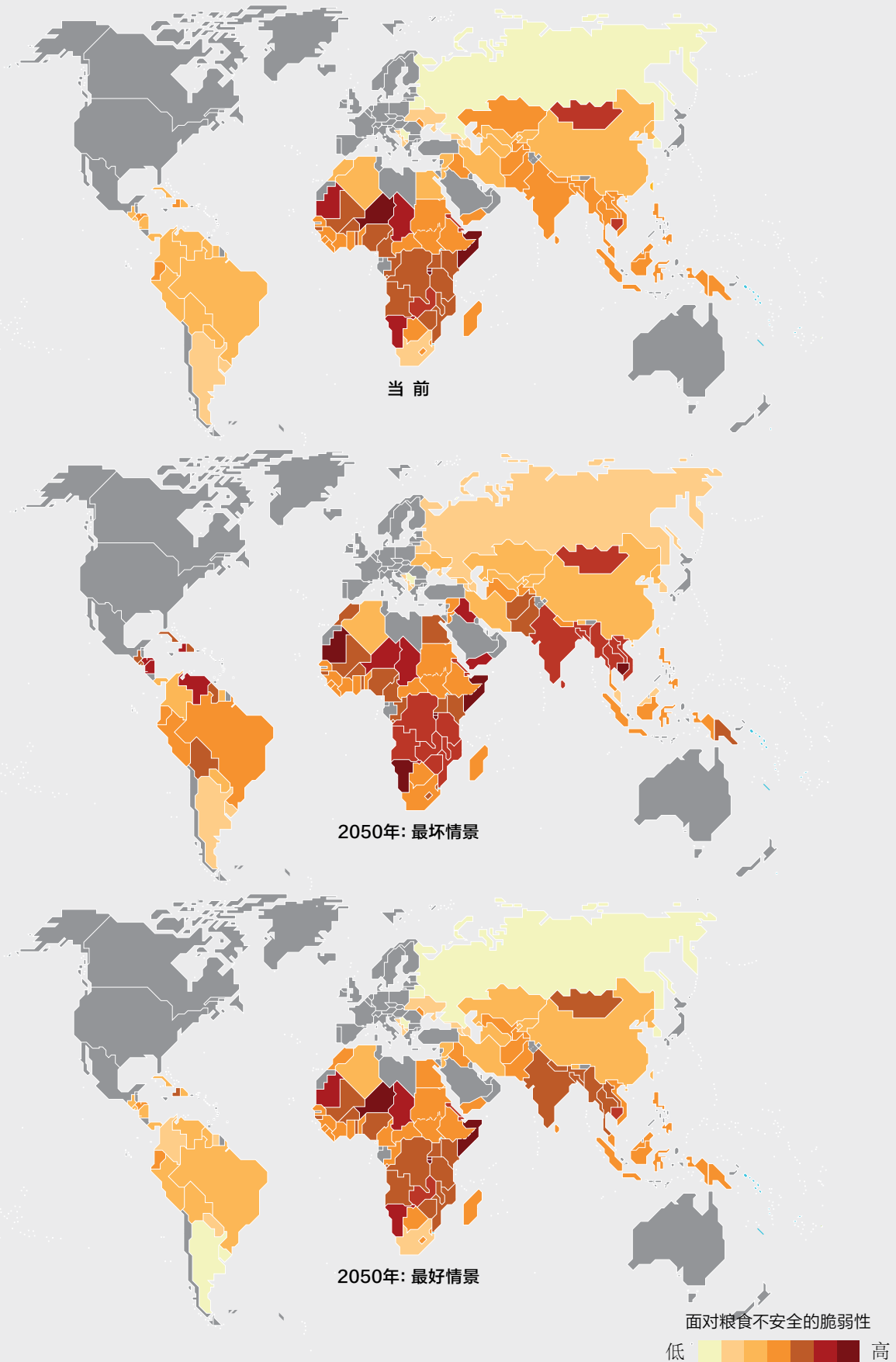


图 10

粮食不安全与气候变化脆弱性：当前、最坏情景和最好情景



资料来源：英国气象局哈德利中心和世界粮食计划署，2015。

农业对气候变化的作用

粮农组织估计（表5），2014年，“农业、林业和其他土地用途”的温室气体排放量高达106亿吨二氧化碳当量。该部门带来三种人为的温室气体排放：二氧化碳、甲烷和一氧化二氮。其主要来源包括森林砍伐、牲畜肠道发酵、田间粪便、化肥施用和稻米种植。森林砍伐和土地退化还削弱了该部门从大气中吸收（又叫封存）二氧化碳的能力。在农业、林业和其他土地用途造成的温室气体排放中，二氧化碳占49%，甲烷占30%。而从总体人为排放来看，二者分别占14%和42%。一氧化二氮的排放量在农业、林业和其他土地用途中占比较小，但在总体人为排放中，其占比高达75%。

在农业、林业和其他土地中，农业是最大的温室气体排放源，其次是林地用途的改变。20世纪90年代以来，前者产生的温室气体排放量有所增长，而后者产生的排放量逐渐下降（图11）。有机土壤（指有机质浓度较高的土壤，例如泥炭沼泽）和生物质燃烧（例如草原火灾）的温室气体排放则相对较少。如负值所示，森林也能减缓气候变化，因为林木在不断生长过程中能够吸收大气中的温室气体。然而，林木对于固碳的积极作用在下降，从20世纪90年代平均每年28亿吨下降到了本世纪前10年的23亿吨，及2014年估计下降到18亿吨。

在全球不同地区，农业、林业和其他土地用途所造成的二氧化碳排放水平差异显著，排放源也迥然不同（图12）。在拉丁美洲及加勒比和撒哈拉以南非洲，林地用途净改变是造成

温室气体排放的最主要原因，但在其他地区，其作用没有如此显著。在经济发达地区和拉丁美洲及加勒比，森林碳汇的作用十分重要，但在其他地方则没有这么明显。无论世界哪个区域，在农业、林业和其他土地用途的排放总量中，农业都占有重要份额，并且在大部分区域所占份额过半，只有在撒哈拉以南非洲和拉丁美洲及加勒比，首要来源是林地用途净改变。过去二十年来，世界不同区域的温室气体排放格局呈现出差异化特点。例如，在东南亚、东亚和南亚，森林碳汇的积极作用大幅下降，但在欧洲，趋势截然相反，其他地区的森林碳汇情况则较为稳定（粮农组织，2016d）。

从全球范围来看，反刍动物的肠道发酵是农业温室气体排放的最大来源，占二氧化碳当量的40%，这是甲烷排放的主要来源（图13）。按排放量大小排列，接下来是草场粪便（16%）、化肥施用（12%）和稻米种植（10%）。

除了大洋洲、东亚和东南亚，在全球不同区域，动物肠道发酵都是农业排放的最大来源。在拉丁美洲及加勒比占比最高，达58%，在发达区域这一数字最低，为37%（表6）。其他排放源因地区不同而异。在东亚和东南亚，稻米种植是最重要的农业排放源，占26%，而在大洋洲，有机土壤耕作占农业排放的59%。在撒哈拉以南非洲、北非和西亚以及拉丁美洲及加勒比，第二大农业温室气体排放源是动物留在草场上的粪便，南亚是稻米种植，发达区域各国则是化肥。

若要把全球温升控制在2℃以内，农业部门就必须有所作为，减缓气候变化，（Wollenberg等，2016）。但人们也需要意识

表 5

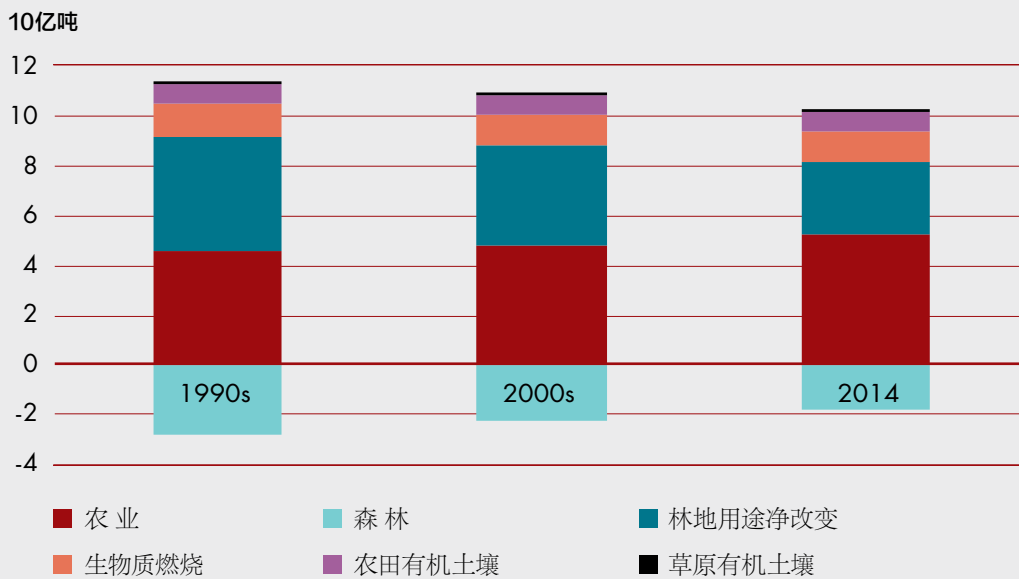
2010年所有领域与农业、林业和其他土地用途领域主要温室气体排放量和清除量

	所有领域	农业、林业和其他土地用途	农业、林业和其他土地用途		农业、林业和其他土地用途在总排放量中占比	农业、林业和其他土地用途排放量中各类温室气体占比
			农业	林业和其他土地用途		
			10亿吨二氧化碳当量		百分比	
排放量						
二氧化碳	38.0	5.2		5.2	13.6	48.7
甲烷	7.5	3.2	2.9	0.3	42.3	29.7
一氧化二氮	3.1	2.3	2.2	0.1	75.0	21.6
其他	0.8				0	0
总排放量	49.4	10.6	5.1	5.5	21.5	100
清除量(碳汇)						
二氧化碳		-2.6		-2.6		

资料来源：粮农组织，即将出版。

图 11

以二氧化碳当量计算的农业、林业和其他土地用途年均净排放量/清除量

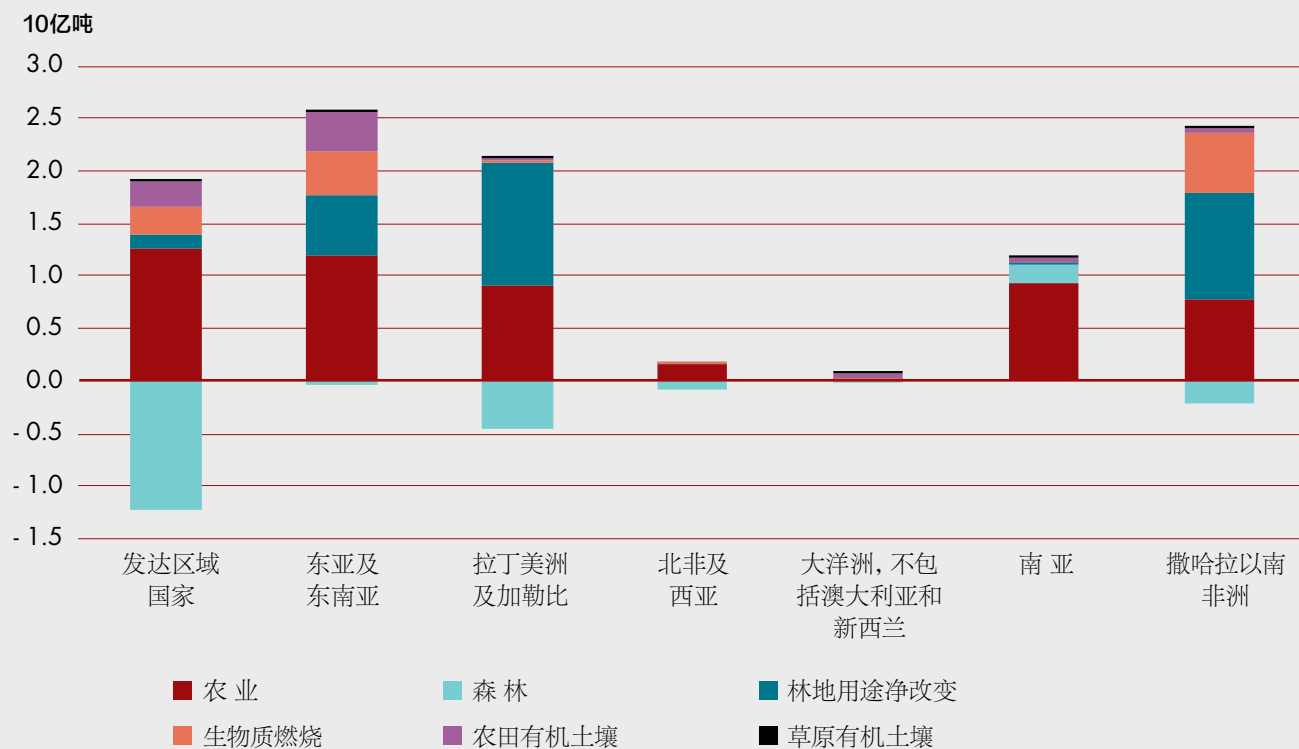


注：定义见附件表中的注。

资料来源：粮农组织，2016d。详见附件表A.2。

图 12

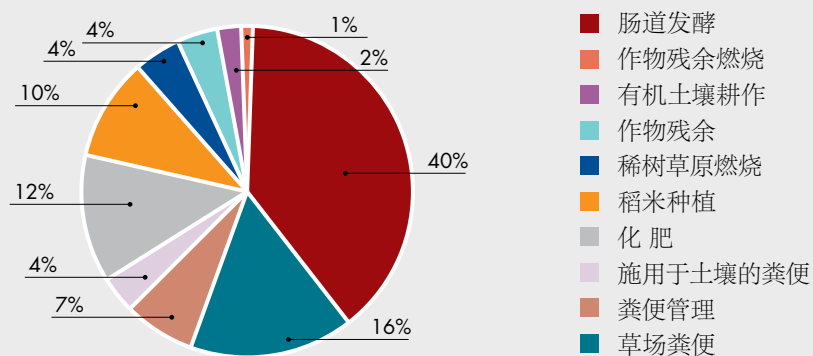
2014年以二氧化碳当量计算的各区域农业、林业和其他土地用途净排放量/清除量



资料来源：粮农组织，2016d。详见附件表A.2。

图 13

2014年全球以二氧化碳当量计算的各排放源在农业排放中占比



注：排放源定义见附件表中的注。

资料来源：粮农组织，2016d。详见附件表A.3。

表 6

2014年各区域农业温室气体排放三大主要来源

排序	发达区域 国家	东亚及 东南亚	拉丁美洲及 加勒比	北非及西亚	大洋洲, 不包括 澳大利亚和 新西兰	南亚	撒哈拉以南 非洲
1	肠道发酵 (37%)	稻米种植 (26%)	肠道发酵 (58%)	肠道发酵 (39%)	有机土壤耕作 (59%)	肠道发酵 (46%)	肠道发酵 (40%)
2	化肥 (17%)	肠道发酵 (24%)	草场粪便 (23%)	草场粪便 (32%)	肠道发酵 (14%)	稻米种植 (15%)	草场粪便 (28%)
3	粪便管理 (12%)	化肥 (17%)	化肥 (6%)	化肥 (18%)	粪便管理 (14%)	化肥 (15%)	稀树草原燃烧 (21%)

资料来源：粮农组织，2016d。

» 上接第38页

到，在全球温室气体排放量中，约有75%来自能源生产所需的化石燃料燃烧，只有21%与农业部门有关。通过提高能源利用效率，采用可再生能源，能源部门的排放可以大大减少，甚至实现零排放。一旦如此，农业在排放总量中的占比将逐渐上升，原因有三：首先，其他部门的温室气体排放量将会下降；其次，粮食生产正不断扩大，排放也自然趋向于上升；最后，农业部门有巨大的多样性，并涉及复杂的生物物理过程，农业减排远比其他部门来得困难。

农业部门能够以只增产不增排的形式为气候变化减缓做出贡献。但同时，农业也有其独

特的固碳能力。以目前的技术水平来讲，从大气中提取二氧化碳最主要的方法之一是通过林地和植被恢复。能否把这种理论上的潜力转化为现实的碳汇，取决于当下的生物物理条件、可用的技术手段及适当制度和政策。农业的温室气体排放和碳汇，都是全球碳氮循环的一部分。因此，要充分发挥农业部门的减缓潜力，需要人们更好地认识碳氮循环，了解农业活动与其之间的相互作用。其中有些方法，在减缓气候变化的同时，也会为适应这一变化带来协同效益（见第四章）。■

结论

本章讲述了气候变化给农业、社会经济发展以及最终的粮食安全带来的潜在影响。气候变化对农业造成的影响主要表现在干旱和极端天气增多、病虫害压力加重，以及生物多样性的损失。长期预测显示，气候变化将给粮食生产带来不利影响，并且在2030年后，其影响会日趋严重。与温带发达国家相比，热带的发展中区域更易出现作物减产，以及畜牧、渔业和林业生产力的下降。

随着气候变化给农业生产和生产力造成的负面影响加深，国际粮价及面临粮食安全风险

的人口数量预计都将增加。虽然在2050年之前社会经济和技术发展对于粮食安全趋势的推动力量大于气候变化，但气候变化对农业和粮食安全的影响不应低估，尤其在区域层面。那些低收入农村人口和对农业依存度较高的国家受其经济社会连锁反应的影响也将最大。

下一章将讲述农业部门如何趋利避害，适应当前和未来的种种变化。重点关注小农户和小规模生产体系。第四章将阐述减缓气候变化的种种可能，以及各种适应和减缓措施可能带来的协同效益。



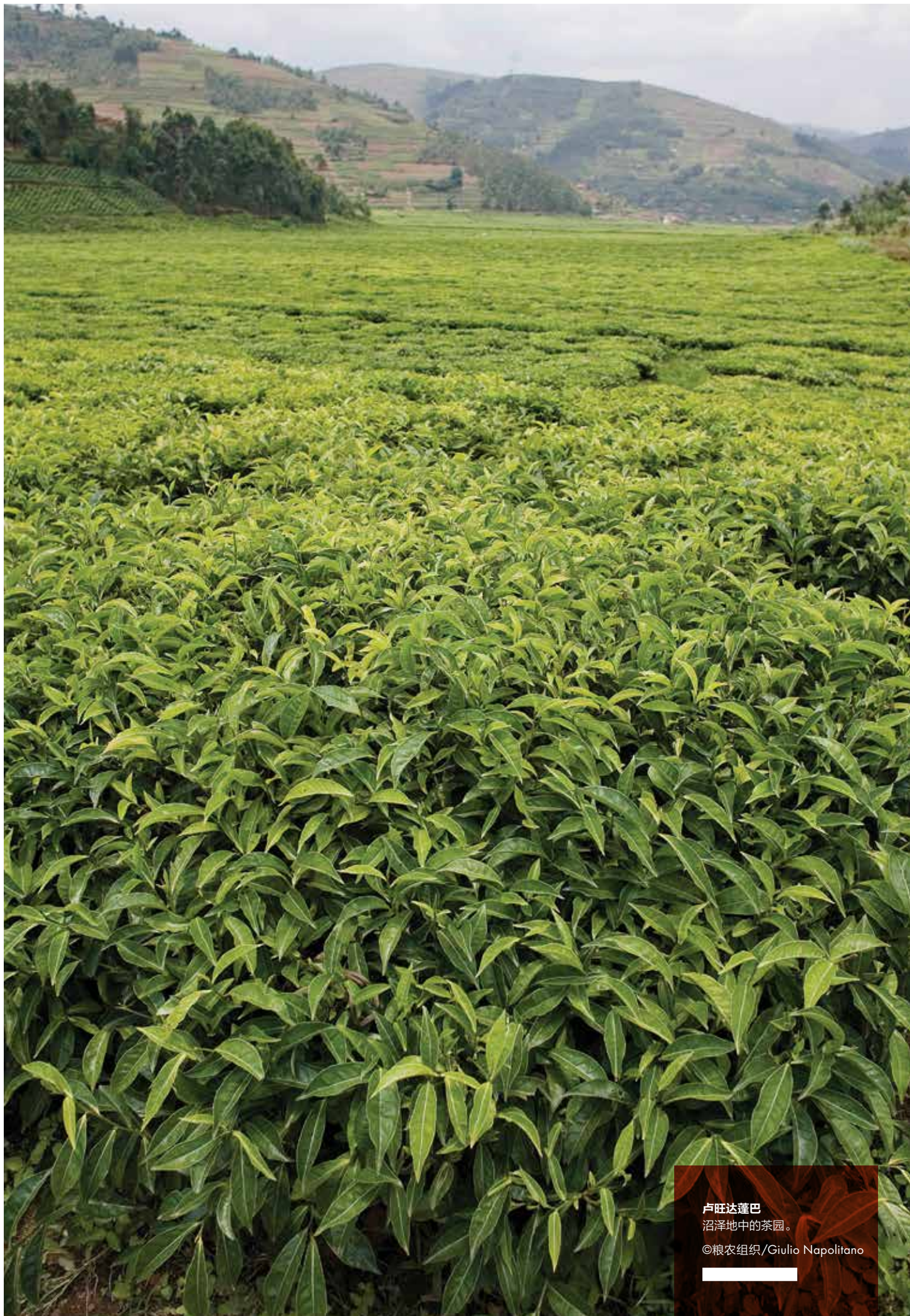
第三章

小农农业 适应气候变化

卢旺达鲁盖济
一名农民在播种。

©粮农组织/Giulio Napolitano





卢旺达蓬巴
沼泽地中的茶园。

©粮农组织/Giulio Napolitano

主要内容

1 若要消除全球贫困，必须加强小农农业对气候变化影响的抵御力。

2 小农农业系统可以通过实施气候智能型措施、农业生产多样化和增加非农收入及就业等措施**适应气候变化**。

3 **自然资源的可持续管理**是适应气候变化和保障粮食安全的关键。

4 **基础设施、技术推广、气候信息、市场渠道、信贷和社会保险**等方面都需要改善，促进小农生计进行适应和多样化发展。

5 为帮助农民、渔民、牧民和林民有效应对气候变化所采取的干预措施固然需要付出成本，但**不作为的代价远远高于干预措施的成本**。

小农农业适应气候变化

全世界大部分贫困饥饿人群是以务农为生的农村人口。据估计，2010年有12亿极端贫困人口，其中约9亿生活在农村地区。这其中约有7.5亿从事农业活动，通常为小农家庭的农民（Olinto等，2013）。虽然在今后15年可能有2亿农村贫困人口迁移至城镇，但大部分仍将留在农村。在此期间，欠发达区域的农村人口预计会略有增长（联合国经社部，2012），据估计有7亿农村人口将生活在贫困当中。如不采取一致行动改善农村生计，2030年前消除贫困的目标将无法实现。

全世界范围内小农家庭数量众多，因此需要特别关注气候变化对其生计带来的威胁，并且通过可持续途径转变其生计。本章探讨了小农农作系统面对气候变化风险的主要脆弱性所在，评估了通过可持续集约化、多样化和风险管理策略尽量减轻脆弱性的各种方案。根据现有证据对适应措施的成本进行评估，得出的结论是，为使小农农作系统具有抵御力、可持续性和更好的发展前景而采取的干预措施固然需要付出成本，但不作为的代价远远高于干预措施的成本。■

对脱贫路径的再思考

消除农村贫困是消除全球饥饿和贫困的关键。最近数十年来，在各类国家、各种条件

下，减贫都与以下这些因素联系在一起：农业产值的增长、由农村向城市迁移人口的增多、高度依赖农业的经济向收入和就业来源多样化的转变。所有实现快速减贫的国家都呈现出农业劳动生产率提高以及随之而来的农村薪酬增长的特征（Timmer，2014）。例如在卢旺达和埃塞俄比亚，生产率显著提高，农村贫困相应大幅度减少。

然而，如今提高农业生产率所面临的机遇和挑战与过去截然不同。粮食和农产品市场的增长为小农创造了机遇，但有时也带来障碍，使他们被排除在市场之外。私营部门在农业技术开发和传播方面份额的增加也创造了新的机遇，但也改变了获取技术的条件。

面对不同制约和机遇，世界各国的农村人口摆脱贫困的可能路径各不相同（Wiggins，2016）。相对于偏远地区的农村人口，与快速扩张的市场具有良好联系的农村人口拥有完全不同的机遇。人口结构也很重要。在撒哈拉以南非洲，未来的农业人口年纪较轻，拥有的农田面积变小；在亚洲部分地区，农业人口则可能年纪较大，拥有的农田面积扩大。有些情况下，需要进行农田整合，以便进入高价值市场链（Masters等，2013）。其他可能路径包括通过一些家庭成员的迁移实现非农收入的增加，或者完全退出农业，从此迁移至城市（Wiggins，2016）。对于小农而言，这些策

表 7

气候冲击对农业产量和生产率的影响

	埃塞俄比亚	马拉维	尼日尔	乌干达	坦桑尼亚	赞比亚
平均降雨量	++	+++	+++	+	+	+++
降雨量波动	-	NA	---	NS	-	NS
平均最高气温	---	---	--	--	+	-
最高气温波动	---	NA	--	--	NS	NA
干旱期总数	NA	---	NA	NA	NA	NA

注：NS = 不显著；NA = 无数据；+ = 对单产有显著积极影响；- = 对单产有显著负面影响。一个、两个或三个“+”或“-”分别指对置信水平的影响程度为10%、5%或1%。马拉维、坦桑尼亚和赞比亚的结果仅指对玉米生产率的影响。

资料来源：Asfaw等，2016a；Asfaw、Maggio和Lipper，2016；Asfaw、Di Battista和Lipper，2016；Asfaw、Coromaldi和Lipper，2016；Arslan等，2015。粮农组织，2016b、2016c。

略的可行性取决于他们的地理位置以及非农部门与农业部门的经济发展水平。

根据预测，气候变化对大量发展中国家的粮食和农业生产所造成的影响主要为负面。因此，发展农村经济和消除农村贫困的行动取得成功也主要依赖于加强农业系统对气候变化的抵御力，尤其是小农所经营的农业系统，还有赖于广泛采用在环境、社会和经济等方面具有可持续性的土地、水资源、渔业和林业管理措施。■

面对气候变化风险的主要脆弱性

发展中国家的小农农业生产者被认为非常容易受到气候变化的影响，若其抵御力提高，受益也最大。IPCC对脆弱性的定义为自然或社会系统容易遭受气候变化影响造成的持续破坏的程度，是暴露、敏感性和适应能力共同作用的结果（IPCC，2001）。

第二章总结了全球农业系统面临的气候变化风险的性质。总体而言，风险暴露程度是不同的，且随时间推移而变化。对于大多数发展中国家，气候变化对作物和畜牧生产率的影响趋于负面并不断加剧。局部的天气冲击和新发病虫害正在破坏作物生产的稳定性，凸显出亟需即时、适宜的管理对策（粮农组织，2016a）。

粮农组织最近就气候冲击对撒哈拉以南非洲小农农业的影响开展了多项研究（总结于表7），发现大多数情况下产量随着降雨量的增加而显著提高，而降雨量低于平均水平和更加多变时则产量下降；同样，高于平均水平的气温造成生产率大幅下滑。然而，特定的天气异常会影响某些国家的产量，但对其他国家却没有影响。了解限制产量的天气变量是解决此类制约因素的首要步骤，不存在适用于所有国家的解决方案。在马拉维和尼日尔，降雨量的变化意义重大，但在乌干达和赞比亚则并非如此。虽然平均降雨量和气温似乎在很多国家意义重大，但在一些区域，即使不出现极端天气，变动本身也可能是一项主要制约因素。

暴露于气候危害的后果取决于**敏感性**，即农业生态系统或社会经济系统对特定变化作出积极和消极反应的程度。日益加剧的自然资源短缺和退化加剧了小农农业对气候危害的敏感性，因为退化的资源在气候胁迫下维持生产率的能力较弱（粮农组织，2012）。例如，虽然在全球层面有充足的水资源可用于满足粮食需求，但越来越多的区域面临着日益严重的缺水问题，这将影响农村和城市的生计、粮食安全和经济活动（粮农组织，2011a；粮农组织与世界水理事会，2015）。气候变化下水质和水量的进一步恶化减少了对粮食生产的供水，对粮食的可供量、稳定性、获得和利用造成影响，在干旱及半干旱热带地区和亚洲及非洲的巨型三角洲尤其如此（Bates等，2008）。合理化的农业用水将有力提升小农生产系统对气候变化的适应能力。

由于农村女性承担着以性别决定的家庭责任（如采集薪柴和水），并且男性人口外流造成她们的农活负担不断加重，因此她们对气候危害尤为敏感（见Jost等，2015；Agwu和Okhimamwe，2009；Goh，2012；Wright和Chandani，2014）。干旱和缺水发生率的上升加重了她们的的工作负担，从而对农业生产率和家庭福利造成影响（联合国开发署，2010）。另见**插文8**。

小农的风险管理能力有限是造成气候危害敏感性的另一个原因。在极端天气事件发生时，他们采用售牛等预防性策略，这么做可以防止他们遭受巨大的损失，但破坏了长期生计机遇，可能使他们陷入长期贫困（Carter和Barrett，2006；Dercon，1996；Dercon和Christiaensen，2007；Fafchamps，2003；

Morduch，1994；Kebede，1992；Simtowe，2006）。气候不确定性和风险规避也影响着农村金融市场和供应链，从而进一步减少机遇，加深农场层面的贫困困境（Barrett和Swallow，2006；Kelly、Adesina和Gordon，2003；Poulton、Kydd和Dorward，2006）。

小农农业在采用改良的气候智能型技术和措施方面存在障碍，这就限制了小农农业的**适应能力**，即面对情况变化时制定和实施有效行动的能力。例如，想要投资时缺乏获取信贷的途径，这对最贫困家庭和女性生产者的影响尤为显著，前者通常无法提供贷款抵押，而后者通常没有正式的资产所有权。其他障碍包括缺乏土地权属保障，获取信息、技术推广建议和进入市场的渠道非常有限，缺乏保护生计免受冲击的安全网，以及所有这些制度当中的性别偏见。

提高小农的气候变化适应能力所需的大部分干预措施与一般性农村发展所需干预措施是相同的，只是更加侧重于气候风险。例如，推广服务需要考虑具体地点的气候变化预测；对动植物优良品种选育进行投资时不但要考虑高产特性，还要考虑对当地所面临冲击的抵御力（**插文9**）。迫切需要在灌溉和其他水资源管理基础设施领域进行投资。这些问题的详情见下文。■

建设具有抵御力的生产系统和生计

小农面对气候变化的脆弱性使得小农在提高生产率和改善生计的过程中除了一般性困难 »

插文 8

农村女性属于最脆弱人群

农村女性占全世界人口的四分之一。在发展中国家，她们占农业劳动力的43%左右。在南亚，三分之二以上的女性就业人口从事农业活动（粮农组织，2011a）。全球范围内，除少数例外情况，有数据可查的各项性别和发展指标均显示农村女性的境况差于农村男性和城市女性，她们经受贫困、排斥和气候变化的影响比其他人群更大（联合国，2010）。

在小农当中，女性比男性更多地暴露于气候风险中，究其原因，正如女性农民的生产率低于男性农民一样，是因为她们拥有的资源和权利较少，对信息和服务的获取更加

有限，流动性也较弱（粮农组织，2007；Nelson，2011）。资源使用权的性别化本质意味着女性趋向于更加依赖对气候危害敏感的资源和技术（Dankelman，2008；Huynh和Resurrección，2014；Nelson和Stathers，2009；Nelson，2011）。贫困和风险脆弱性的性质和强度同样具有性别差异（Holmes和Jones，2009）。

为了保证提高生产率和降低气候变化相关风险的干预措施有效并可持续，必须解决获取生产性资源、服务和就业机会方面的性别不平等和歧视，从而使男性和女性能够平等受益。

插文 9

遗传多样性有助于提高抵御力

粮农组织发布了《支持将遗传多样性纳入国家气候变化适应规划自愿准则》。如果在育种计划中对遗传多样性进行适当保护和利用，能够获得更耐干旱、霜冻、洪水和土壤盐碱化的作物品种，以及既高产又耐受艰苦生产环境的牲畜品种。如果制定政策时能对未来需求进行预测，并把遗传资源作为重要的宝库和工具进行管理规划，则能够推动建立具有抵御力的农业生产系统。

需要加大力度保护动植物品种并支持其可持续利用，收集和保护重要粮食作物的野生近缘种。通过维护农场原生境多样性，作

物能够随环境变化不断进化；同时，区域和全球基因库能提供用于气候变化适应措施的遗传物质备份收集库。鉴于所有国家均依赖于其他国家和地区的遗传多样性，因此国际合作与交流至关重要。《粮食和农业植物遗传资源国际条约》使得研究人员和育种者能够获取其他国家的遗传资源。

资料来源：粮农组织，2015a。

» 以外又增加了一层困难。因此，旨在降低脆弱性的应对措施需要结合农业和农村的整体发展政策。这种做法能够创造条件，降低对天气冲击的暴露和敏感性，同时为改善农村生计和粮食安全创造新的机遇，以此增强适应能力。

具有抵御力的生计指的是人们具备充足的收入和粮食安全等条件，使得他们能够经受住所面临的气候风险并从中恢复，继而逐渐适应。由于各个地区小农的境况和机遇差异很大，因此适应和增强抵御力的途径必须因地制宜，考虑到对气候冲击的暴露程度和适应能力。本节阐明了小农系统和依赖于该系统的人口降低气候变化脆弱性的可能途径有哪些主要特征。其中涉及两个方面：增强农业生产系统抵御力的途径和增强脆弱群体生计抵御力的途径。

创新：增强农作系统适应能力的关键

要解决气候变化带来的全新挑战，必须对农作系统进行创新。所谓创新，就是个人和团体采用新的想法、技术或流程，取得成功后将其推广到整个社区或全社会。创新的过程很复杂，涉及许多参与者，而且不能在真空中进行。如果具备有效的创新体系，则能对创新起到推动作用。农业创新体系包括良好的经济和体制大环境，这是所有农民都需要的。其他关键要素有科研和咨询服务，以及有效的农业生产者组织。创新常常以地方知识和传统体系为基础，结合正式科研体系的新知识对其进行调整（粮农组织，2014a）。

要加强小农农作系统对气候变化的抵御力，可以实施的创新包括通过生产的可持续集约化和实施农业生态生产体系的等措施提高资源利用效率。改善水资源管理是通过创新解决气候变化影响的另一有效领域。所有这些途径都能改善碳氮管理（见下文和第四章）。

生物技术，无论技术含量高低，都有助于提高抵御力，帮助更好地适应气候变化，对小规模生产者尤其如此。以下各小节主要讨论管理措施的创新，但有些措施可能依赖于生物技术的成果，例如优良品种。

可持续集约化

可持续集约化可提高生产率、降低生产成本、提高生产收益水平和收益稳定性，同时保护自然资源、降低对环境的负面影响、增加生态系统服务（粮农组织，2011b）。对于不同类型的农作系统和地区，可持续集约化战略的性质各不相同。然而，其核心原则之一是提高资源利用效率。

粮农组织实现可持续集约化的途径是“节约与增长”模式。“节约与增长”推动的是一种高生产力农业，能保护和强化自然资源。这种模式从生态系统的角度出发，利用大自然促进作物生长，如土壤有机质、水流调节、授粉和害虫天敌等。这种模式采用耐受气候变化的改良作物品种，适时、适量、适当地施用外来投入品，并提高养分、水和外来投入品的利用效率。提高资源利用效率、减少化石燃料的使用和减少直接环境退化是这种途径的关键内容，这样做既能为农民省钱，又能防止滥用某些投入品带来的负面效果。这种方式已被推广到其他农业部门。

通过更好地管理碳氮循环（见下文），可持续的农业集约化还能增强对气候变化影响的抵御力，减少温室气体排放（Burney等，2010；Wollenberg等，2016）。

农业生态学

IPCC（2016）认为，农业生态学是指将生态学概念和原则应用到农作系统中。农业生态学关注的是植物、动物、人类和环境之间的互动，因而有助于促进可持续农业发展，进而保障粮食和营养安全。农业生态学不是简单地提高投入品利用效率和寻找投入品的替代，而是包括：充分利用关键的生态过程，如害虫天敌、生物质和养分循环；加强农业生物多样性各组成部分之间有益的生物互动和协同效应；优化资源利用；等等。按照Nicholls、Altieri和Vazquez（2016）的界定，农业生态学原则非常适用于气候变化适应措施，因为农业生态学的目标是：

- ▶ 促进生物质循环，从而优化有机质分解和养分循环；
- ▶ 加强生物多样性的功能性，从而强化农业的“免疫系统”，例如为害虫天敌创造栖息地；
- ▶ 通过管理有机质和增强土壤生物活动等措施为植物生长创造最有利的土壤条件；
- ▶ 加强对土壤、水资源和农业生物多样性的保护，促进其再生，以尽可能减少能源、水、养分和遗传资源的损失；
- ▶ 促进农田乃至整个地貌农业生态系统中的物种和遗传资源跨时间、空间的多样性；
- ▶ 加强农业生物多样性各组成部分之间有益的生物互动和协同效应，从而推动关键的生态过程和服务。

农业生态学根据农民的需要，利用地方知识和农民的传统知识创造解决问题的办法。例如，Swiderska（2011）发现，对于中国、玻利维亚和肯尼亚的贫困农民来说，能否获得丰富的传统作物品种关系到他们对气候变化的适应情况，也关系到他们的生存。在中国，同时种植四种稻米品种的农民比种植单一品种的稻瘟病发生率低44%，单产高89%，而且不需要使用杀真菌剂（Zhu等，2000）。农业生态多样化也有助于在气候变异的情况下保持单产稳定。混作比单作的单产稳定性要好，干旱发生时减产较少。

高效的水资源管理

随着气候变化对降水规律和水资源可用情况的改变，应对水资源短缺或水资源过剩的能力将对持续提高生产率发挥重要作用。水资源生产力提升潜力最大的地区为贫困发生率较高的地区，包括撒哈拉以南非洲、南亚和拉丁美洲的很多地区，还有那些水资源竞争激烈的地区，如印度河流域和黄河流域（HLPE，2015）。

提高气候变化条件下的农业系统用水效率可能需要在政策、投资和水资源管理等多个领域采取行动，并且在不同层面进行制度和技术变革，包括田间和农场、灌溉计划、集水区或蓄水区、江河流域乃至国家层面（粮农组织，2013a）。作为适应长期气候变化影响的第一步，需要将当前气候变异相关信息纳入水资源管理（Sadoff和Muller，2009；Pinca，2016引用自Bates等，2008）。

雨养系统占撒哈拉以南非洲农田的95%，在这种系统中，改善雨水和土壤墒情管理是在旱期和降雨量多变时期提高生产率和降低单产

损失的关键。利用集水或浅层地下水资源进行补充灌溉对于提高雨养农业的水资源生产力而言是一项重要策略，但尚未被充分利用（HLPE，2015；Oweis，2014）。

在灌溉系统内，提高用水效率可通过制度变革来实现，如建立用水者协会；也可通过基础设施的改善来进行，如对水渠进行防渗处理、提高排水管网和污水回用的效率。利用滴灌等节水灌溉技术并加强灌溉基础设施的维护，同时开展适当培训以增强农民的技术知识，能够有效地应对气候变化对水资源供应和粮食安全的影响（插图10）。然而，提高用水效率的一些技术需要能源，如滴灌。总体来讲，水资源、能源和粮食生产用地之间时常相互矛盾，有时又能形成协同效应。“水-能源-粮食三位一体”是规划这些资源在农业食品链中的利用时非常有用的一种概念（粮农组织，2014b）。

碳氮管理方式

地球的碳氮循环受到多种因素的影响，包括农民采用的土壤、养分和水资源管理方式、混农林业的实施程度以及农业向非农用地的扩张等（另见第四章）。在有些地方，不可持续的土地管理方式造成了土壤有机碳、土壤天然肥力和土质的破坏，导致生产率降低，面对干旱、洪水以及有利于病虫害滋生的条件等气候危害时更加脆弱，在这些地方采取恢复土壤生产力的措施大有益处，尤其有益于小农（Stocking，2003；Lal，2004；Cassman，1999；FAO，2007。）

在农田方面，可通过多种措施提高土壤有机碳和植物可用土壤氮素的水平，如发展混农

林业、改进休耕、施用绿肥、种植固氮覆盖作物、养分综合管理、尽量减少土壤破坏和保留作物残余物。在牧场方面，改进草场管理、减少或消除火灾、引入改良饲草或豆类植物是改进碳管理的重要手段。混合农作系统有助于控制侵蚀、提供富氮残留物和增加土壤有机质，从而增强抵御力，扭转土壤退化。例如，埃塞俄比亚和坦桑尼亚的耐旱混合农作系统包括多功能豆类，如木豆（*Cajanus cajan*）和本地的固氮豆科树种白相思树（*Faidherbia albida*），后者为牲畜提供适口性好的豆荚，其叶子可用作有机肥料。多生产豆类有助于膳食多样化，在季节性粮食不安全时期可提供额外的蛋白质。

不同背景下的气候条件将影响小农对最有效地改善生计的碳氮管理措施的选择。例如，使用矿物肥料在普通气候条件下可能会提高单产，但在降雨变率较高或降雨延迟的条件下可能造成单产降低。相反地，作物轮作在普通气候条件下可能降低单产，但在降雨变率较高的条件下可能会提高单产并降低单产损失概率（表8）。

改进氮肥使用对于许多小农农作系统的可持续性而言至关重要。氮肥使用指标（表9）显示东亚的氮肥施用量和谷物单产明显较高，但是在撒哈拉以南非洲，肥料投入带来的产量提升效果明显较大。同样明显的还有撒哈拉以南非洲的养分不平衡状况：随收获的作物流失的养分高于化肥和粪肥所施的养分，显示出不可持续的土壤养分枯竭。而东亚的情况则恰好相反。

在东亚，矿物肥料的过度使用显然是个问题。过度投入并未给这个地区带来任何益处，反而正在造成严重的环境破坏，其表现在地下 »

中国节水措施的效益

中国的黄淮海平原对于中国农业经济和国家粮食安全而言十分重要。该地区的生产力受到气候变化的威胁，包括过去半个世纪以来整体气温显著上升、湿度降低、降水减少（Yang等，2015；Hijioka等，2014）。

世界银行在该地区的五个省份开展了一个项目，推广节水技术和其他改良措施，如使用耐旱作物品种，其目标是改进约50万公顷农田的水资源管理。该项目建设的灌溉设施被移交给1000个用水者协会，这些协会在政府的支持下组建，并

参与所有水资源管理决策。这些协会还为水资源管理先进技术的培训提供平台。

该项目推动成立了220个农民协会和合作社，开展了多项研究、试验和示范活动。其重点是适应措施和节水技术，这些最终都由农民付诸实践。约130万农户从中受益，具体表现为灌溉成本降低、地下水消耗减少和水资源生产力提高。

资料来源：据粮农组织与世界银行（2011）整理。

表 8

不同气候条件下各类措施对赞比亚作物单产的影响

	提高单产	降低单产	降低单产损失概率
平均气候条件	豆类间作 无机肥 良种	轮作	无机肥 良种 及时施肥
降雨波动性增加	轮作 及时施肥	无机肥	轮作
雨季到来时间推迟	良种 及时施肥	无机肥	无机肥
季节性气温升高	及时施肥	良种	良种

资料来源：基于Arslan等（2015），表6、7和8。

表 9

东亚和撒哈拉以南非洲小农农业氮肥使用差异

	东亚	撒哈拉以南非洲
谷物生产平均氮肥施用量(公斤/公顷)	155.0	9.0
谷物平均单产(吨/公顷)	4.8	1.1
氮肥部分要素生产率(公斤籽粒/公斤氮)	31.0	122.0
部分养分平衡(籽粒中氮公斤数/施用氮公斤数)	0.5	1.8

资料来源：基于Fixen等（2015），表3。

» 水和地表水污染、温室气体排放方面。因此在东亚，减少矿物肥料的使用和确保适当的施用量、施用时间和施用方式是可持续集约化的重要内容。

而在撒哈拉以南非洲，将矿物肥料的用量提升至适当水平可为提高小农的作物单产带来巨大潜力。然而，鉴于该区域大部分地区的土壤条件较差，作为合理施肥的补充，小农在改善土壤质量和土壤生态系统服务方面也需要支持。

改进碳氮管理对于渔业和林业系统而言同样重要。插文11介绍了越南的例子，其做法是将碳素管理措施纳入综合性气候智能型水产养殖系统。

改良农作措施对粮食安全的益处

采用改良的农作措施可显著改善粮食安全状况。利用国际粮食政策研究所国际农产品和贸易政策分析模型进行的模拟显示，采用耐热作物品种将在2050年产生最高的全球玉米单产预期增长。氮利用效率更高的品种将产生最高的全球稻米单产增长，而免耕则是对小麦的最佳选择（Rosegrant等，2014；De Pinto、Thomas和Wiebe，2016）。

采用这些技术能够增加食物能量供应、提高小农收入、降低粮食价格，从而对粮食安全产生重大的积极影响。如果氮高效作物品种得到广泛利用，则发展中国家处于食物不足风险的人数至2050年将减少12%（近1.24亿人口），⁵

⁵ 这些估算是基于国际粮食政策研究所国际农产品和贸易政策分析模型的基准情景进行的。在基准情景下，至2050年预计将有约10亿食物不足人口，因此引入氮高效作物品种所带来的12%的影响意味着处于饥饿风险的人数减少1.24亿。

如果免耕得到更广泛的实施，则减少9%（9100万人口），如果耐热作物品种得到利用或精准农业得到实施，则减少8%（8000万人口）（图14）。

这些结果假定单独采用所述措施，并且假定这些措施适合预计将会对其加以利用的特定社会经济和农业生态背景情况。在气候智能型农业模式下，先是寻找事实依据，然后据此找出适合当地情况的措施。措施的选择不是由理论决定的，而是基于收集证据和开展对话的过程。不存在普遍适用的气候智能型农业措施标准清单：在一些情况下免耕农业确实提供巨大的适应效益，但在其他情况下则并非如此（Arslan等，2015）。还必须认识到，农民可综合采用各种措施，以满足他们的具体需求。

在很多背景情况下，合理的做法是按照作物生产活动的顺序依次“堆叠”，对改良措施进行组合（即首先改进整地、种植和作物管理，随后改进灌溉，等等）。模型预测显示，与单一措施的益处相比，综合采用各种改良措施对粮食安全的益处更大，比单独采用改良的氮利用措施所产生的益处大三倍（Rosegrant等，2014）。

提高生计抵御力的四种策略

多样化

由于多样化有助于分散气候变异破坏生计的风险，因此是适应气候变化的一种重要手段。首先，应区分农业多样化与生计多样化（Thornton和Lipper，2014）。农业多样化指增加农场或农业社区的植物品种和种类或动

越南的气候智能型水产养殖

越南的北中部海岸地区同时需要气候变化适应和减缓措施来保护沿海的水产养殖业。一种可行的方式是发展气候智能型水产养殖，将单一性别的罗非鱼引入传统海水养殖系统。

清化省的试验结果表明引入罗非鱼是一项良好的适应策略，涵盖了气候智能型农业的所有三项目标：可持续地提高生产力、增强适应能力和减少温室气体排放。这种方式使得生产效率得到提升，家庭收入增长了14%到43%。多样化的产品结构还增强了该系统的抵御力。通过利用天然饲料来源和罗非鱼塘的过剩养分，农民能够减少

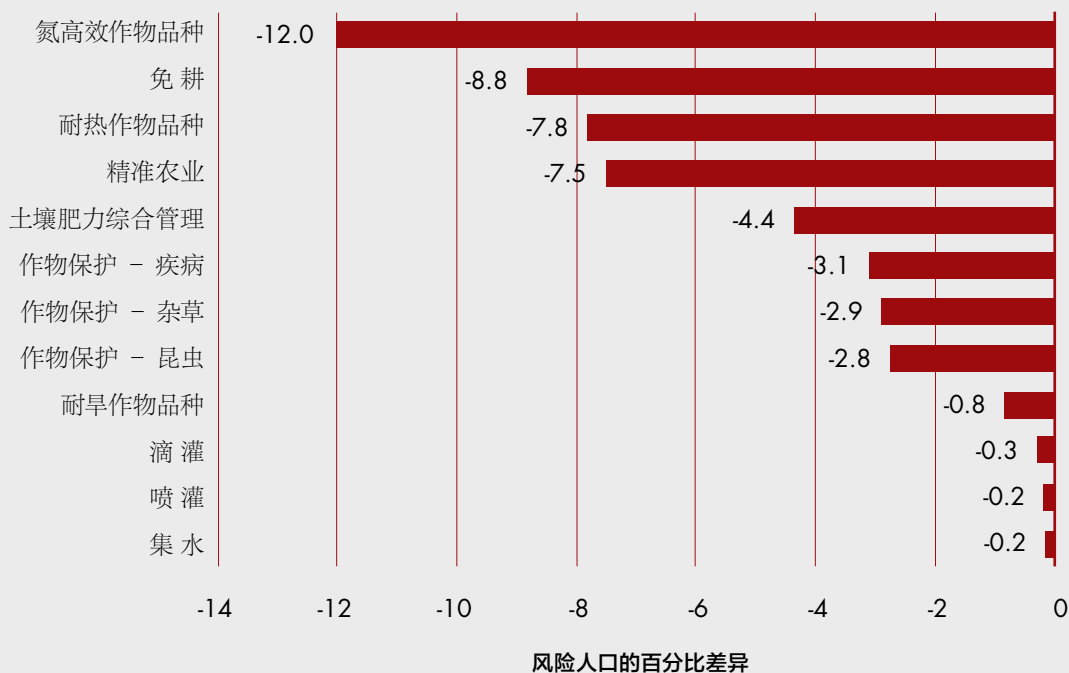
对颗粒饲料的需求，这有助于降低温室气体排放。

推广气候智能型水产养殖需要政策激励机制、法规和有力的制度框架。由于引入罗非鱼提高了整体产量，因此需要努力拓展罗非鱼的市场，尤其是出口市场。通过将农民团体与饲料和鱼种供应商对接，可克服采用这种系统的障碍，如饲料质量较低、成本较高。

资料来源：Trinh、Tran和Cao，2016。

图 14

采用改良农业技术后2050年面临饥饿风险人口数量相对于基准情景的变化



资料来源：Rosegrant等（2014），基于国际粮食政策研究所国际农产品和贸易政策分析模型的模拟。

» 物品种。可能涉及地貌多样化，不同作物和耕作系统散布于不同空间和时间。生计多样化指农户从事多种农业和非农活动，如自家农场活动与其他地方的季节性农业劳动相结合、在城市工作、加工农产品或开设商店。农业多样化和生计多样化均为气候风险管理手段。

由于气候冲击对不同农业和非农活动造成的影响不同，所以多样化能够降低气候冲击对收入的影响，并提供多种管理未来风险的方式。与诸如作物保险或社会保护等风险减缓措施相结合时，多样化能够增加收入，有助于加快减贫。然而，如果农民朝着生产率较低的活动进行多样化，实际上可能降低平均收入，迫使农户在遭受冲击时出售资产，引发脆弱性加剧和暴露于风险的恶性循环（Dercon，1996）。在气候风险对不同作物品种造成同样影响时，作物多样化作为气候风险减缓手段的效果可能比较有限（Barrett，Reardon和Webb，2001）。但是，在农场状况既不是差到难以进行多样化也没有好到适合单一高收益作物的情况下，作物多样化仍可能是一种选择（Kandulu等，2012）。

面对气候变异，农户根据暴露的性质和各类体系的效果采用不同的多样化策略。例如，在降雨量多变时，马拉维的农民寻求替代性收入和就业来源，而赞比亚的农民则向着畜牧养殖进行多样化（插图12）。在天气风险较高的情况下，撒哈拉以南非洲的许多农户倾向于种养结合，利用家畜这种资产缓和收入波动（Herrero等，2010和2013；Baudron等，2013）。经过粪肥改良，种养结合系统能提供作物生产氮素投入的15%左右，从而使得投入品成本降低，排放强度也远远低于很多放牧系

统（Liu等，2010；Herrero等，2013）。此外，多样化的农场可在维持和增加生态系统服务方面发挥重要作用，这有助于增强总体抵御力（Ricketts，2001；Kremen和Miles，2012）。

风险管理支持措施

作为减贫的重要工具，社会保护计划也可以在帮助小农管理气候变化风险方面发挥重要作用。社会保护呈多种形式，包括现金补助、学校供餐和公共工程等等。农业投入品补贴也可通过降低小农对价格波动的脆弱性发挥社会保护功能。拉丁美洲和撒哈拉以南非洲的证据显示，社会保护在粮食安全、人力资本开发、经济和生产能力等方面效益显著，甚至在最贫困和最边缘化的人群当中也是如此。

社会保护措施通过确保可预测性和规律性，能够帮助家庭更好地管理风险，并从事盈利性更高的生计和农业活动。当女性成为社会保护的目標群体时，不仅能获得赋权，还能改善家庭福利，因为女性以粮食和营养安全以及子女福祉作为自己的优先重点。社会保护计划还对农村家庭的农业投资决定产生重大影响，因此对粮食的获取产生长期积极影响（粮农组织，2015c）。

在赞比亚，有一些地区出现了降雨量低于平均水平的情况，这些地区的家庭每日热量摄入以及食物和非食物支出出现下降。这种影响在最贫困家庭最为突出。这一项针对2万特困家庭的现金补助计划的帮助下，这些家庭受天气冲击的影响大大减少。然而，虽然参与现金赠款计划有助于减缓气候冲击对粮食安全的负面影响，但还不足以完全克服此类负面影响。»

马拉维和赞比亚的气候风险、多样化和小农福利

马拉维和赞比亚位列最容易受到气候变化负面影响影响的15个国家中（Wheeler, 2011），在农业领域尤其如此。农业就业人数在人口中的比例很高，而且主要依赖于雨养自给型生产，因此容易受到各种冲击。

对于这两个国家，多样化作为一项气候变化适应策略究竟能在多大程度上起作用？最近的粮农组织研究记录了农业部门和非农部门各种类型的多样化，前者包括增加不同作物、畜牧养殖和自然资源相关活动或在其他农场工作，后者通过有薪酬就业、个体经营、转让和租赁等活动。

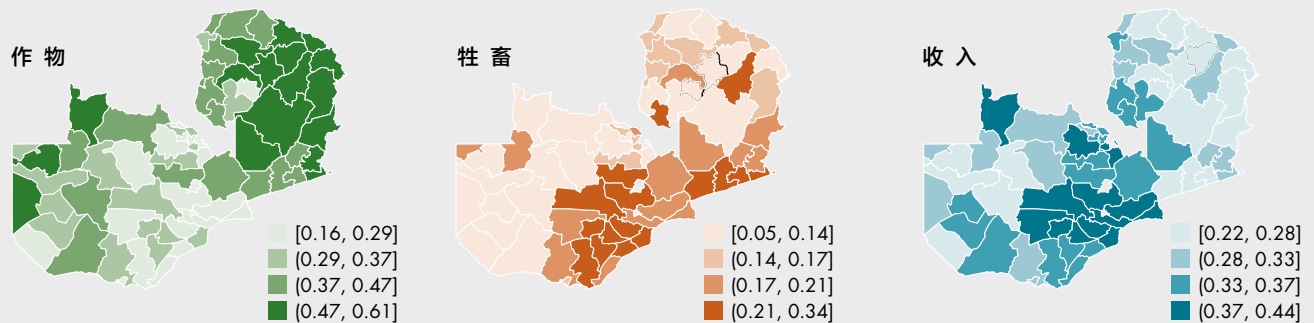
研究发现马拉维的作物、劳动和收入多样化比率以及赞比亚的畜牧养殖多样化比率在气候变异加剧的时候更高，这表明暴露于气候风险会引起不同类型的多样化。在赞比亚（见图），多样化模式多种多样：在长期平均季节性降雨量较高的地区，农户更多地对作物进行多样化；在长期降雨波动性较大的地区，畜牧养殖多样化更加常见；收入多样化与天气变量之间则未表现出明显的关联模式。

总体而言，无论是在马拉维还是赞比亚，推广服务的获取均能带来更强的作物、劳动和收入多样化。在马拉维，获得肥料补贴的家庭更有可能拥有多样化的作物和收入，而在赞比亚，此类家庭的收入多样化水平反而较低。这凸显出在制定多样化政策时了解当地制度如何与多样化激励措施相互作用的重要性。

除赞比亚的作物多样化以外，在这两个国家各个类型的多样化均与较高的人均消费或收入相关。在马拉维，收入多样化降低了农户消费水平的波动性，这是一项重要的粮食安全指标。在赞比亚，从事上述三种类型中任一类型多样化的家庭滑落至贫困线以下的可能性都较小。综合有关多样化和收入的研究结论，可以看出在制定制度改良政策，为加强气候冲击抵御力而推动多样化时应该以何为切入点。

赞比亚各地区农村的多样化指数

基尼-辛普森系数, 2015



资料来源：据粮农组织（2015b）和Arslan等（2016b）整理。

- » 因此，社会保护计划必须与其他形式的气候风险管理措施相结合，包括减少灾害风险的措施（Asfaw等，2016b）。

现有社会保护计划很少考虑到气候风险。为填补这项空白，包括粮农组织在内的一些与人道主义和发展相关的各方，正在协助各国政府建立一个有风险信息作支撑并能对冲击做出响应的社会保护系统，该系统依据经济和气候风险相关标准在危机发生之前就提供支持（联合国环境署，2016；Winder Rossi等，2016）。如果能与预警系统有效连接并参考农业、粮食安全和营养参数，社会保护系统还能用于规划及时的应急行动（粮农组织，2016）。

要落实上述社会保护系统，需要大规模提供现金和短周期生产性资产，同时辅以技术培训。在市场运行和货币都比较稳定的情况下，现金补助具有成本效益高、影响大和灵活度好的优势，并能给予受益家庭更大的选择权。然而，2015年现金补助和代金券仅占人道主义援助的6%（海外发展研究所，2015）。增强现金性干预措施的潜力需要将现金纳入防备和应急规划，加强与私营部门的伙伴关系，使用电子支付和数字转账，在可能的情况下利用现金补助建立中长期社会援助机制，用于反复发生的紧急情况。

社会保护和气候变化政策的切入点和它们之间的运作联系是多重的。可制定公共工程计划，包括生产性安全网，以便同时推动家庭收入增长，促使社区参与气候智能型农业，并在废弃物管理、植树造林和土壤保护等领域创造“绿色就业”（Asfaw和Lipper，2016）。指数保险在降雨量、地区平均产量和卫星测量

的植被状况等指数的基础上给付保险金，目前作为风险减缓工具正在一些国家进行测试。当指数超过预定阈值时，农民收到快速支付，有时通过手机实现。然而，仅凭指数保险本身还不能完全解决气候相关风险。例如，由于有保险费补贴，印度的农作物天气指数保险可能已经推动参保者转向利润更高但风险也更大的农业生产系统（Cole等，2013）。由于指数保险的交易成本往往很高，因此参保率通常比较有限。另一个问题是对保险机构缺乏信任。

提高天气状况相关信息的质量能帮助小规模生产者调整播种日期、及时遮蔽家畜或采取其他措施，适应可预见的气候变化。调查发现，东非和南部非洲的农民中，能够获取季节性预报的农民改变了至少部分管理决定，从而减少了收获损失（O'Brien等，2000；Ngugi、Mureithi和Kamande，2011；Phillips、Makaudze和Unganai，2001，2002；Klopper和Bartman，2003；Mudombi和Nhamo，2014）。获取气候预报信息帮助肯尼亚的农民避免了相当于其平均纯收入四分之一的损失（Erickson等，2011）。具有信息通信技术渠道的农民倾向于经常使用气候信息（Ramussen等，2014）。季节性预报是气候信息的重要领域，投资于发布季节性预报的机构能够提高农民的能力，减少农民的风险暴露（Hansen等，2011）。同样，事实表明，对于救灾机构，克服利用季节性预报的制度障碍对于气候危机发生时拯救生命而言至关重要（Tall等，2012）。

减少性别不平等

由于男性和女性在应对气候变化方面具有不同的重点和能力，因此政策制定者和相关机构在制定加强农村生计抵御力的措施时需要明

确认识到性别差异（Acosta等，2015；Gumucio和Tafur-Rueda，2015）。社会规范常常强加农业方面的责任并限制女性的选择，这决定了她们需要的信息类型和能够利用的信息渠道（Archer和Yamashita，2003；McOmber等，2013；Jost等，2015）。例如，关于降雨开始时间的信息对于塞内加尔的男性农民而言十分重要，因为他们能够优先获取用于整地的牲畜；而女性即使获取此类信息也无法就此采取行动，因此更重视关于降雨停止和干旱期的预报（Tall等，2014）。

由瑞典发展合作组织Vi Agroforestry和世界银行实施的肯尼亚农业碳项目提出了一些策略，解决土地和树木权属、劳动、知识、利益分享、参与和领导力等方面的性别差距。例如：由群体签订合同，包括并不拥有土地的女性；投资于涵盖女性的培训（如聘用女性社区协调员）；提供女性希望获得的树木幼苗（例如能提供薪柴、饲料、树荫和水果的树木品种）；轮值领导制度和规则；增加女性获取贷款和保险的机会（世界银行，2010a；Vi Agroforestry，2015；Shames等，2012）。印度马哈拉施特拉邦的Kumbharwadi社区面临水资源短缺问题，在该社区开展的参与式项目将饮用水和薪柴采集点设置在更靠近住所的位置，从而减少了女性用于采集饮用水和薪柴的时间，并推动女性参与村庄决策。该项目带来贫困家庭收入的增长（Gray和Srinidhi，2013；世界银行、粮农组织和农发基金，2015）。

迁移

干旱、洪水和不可预测的天气模式等对生计的环境胁迫和气候胁迫促使农村人口迁移。由于土地耕种的强度提高，因此土壤退化加

剧、产量下降、收入减少。同样，长期干旱造成的缺水 and 用水冲突也可引发贫困农民放弃土地。临时的、季节性的和永久性的迁移可以是生计多样化的一种形式，可为许多农村家庭带来很大好处。迁移是收入多样化的主要来源，而收入多样化可增强家庭的抵御力，并为提高生产力的投资提供手段。就不利方面而言，迁移者经常面临多重困难、风险和危险。

一项研究预测，从现在到2050年，可能会有数以亿计的人因为气候和环境压力需要逃离家园（国际环境与发展研究所，2010）。此类预测促使迁移成为气候变化适应方面需要处理的问题。在适应策略方面，各国政府通常持以下两种观点之一（移徙与发展全球知识合作伙伴关系，2014）。第一种，也是最为常见一种，是将适应视为一种改进农业生产方式和基础设施，从而减轻迁移压力，帮助人们留在原地的方式。第二种观点认为迁移本身即是一种适应策略，能够减轻脆弱地区的人口压力。发展政策制定者特别关注已经在脆弱地区之外生活的迁移者帮助家乡社区适应和应对气候变化的潜力。

社会保护和积极的劳动力市场政策可在减缓许多迁移相关风险方面发挥重要作用。优质的教育和培训将提升决定迁移的农村人口的就业前景，尤其是青年以及在可持续农业领域寻求技能密集型就业的人群。直接由公共部门或通过促进私营部门投资提供适当的交通和通信基础设施能够降低旅行和汇款相关费用、促进就业和商机等信息流动。■

适应措施的成本是多少？

增强小农生产者适应气候变化的能力实际上将花费多少成本？这个问题经常被提及，尤其是在开发新的气候融资来源的情况下。一份文献综述找到了500多篇关于适应气候变化（对整个经济）的成本和收益的论文（Watkiss, 2015）。这些估算各不相同，原因很多，包括区域覆盖范围、气候变化情景、方法和模型以及所考虑的时间段、适应措施和部门等方面的差异。各种全球研究显示，不作为的代价远远高于适应气候变化花费的成本（Stern, 2007；经合组织, 2012；Stern, 2014；经合组织, 2015）。一些国家层面的分析同时估算了不作为的代价和适应的成本。在此我们考察两项在发展中国家开展的此类研究，这些国家的大部分农民为小农，还有一项粮农组织发起的研究，这项研究专门关注了四个国家的小农（插文13）。

一项研究来自乌干达。该研究预计，2010至2050年间，气候变化对农业、水资源、能源和基础设施造成的经济影响累计在2730亿到4370亿美元之间，具体水平取决于社会经济发展和气候变化严重程度的假设（Markandya、Cabot-Venton和Beucher, 2015）。同一时期，仅考虑农业部门，以种植业和畜牧业的减产以及出口量的减少计，不作为的代价达到220亿至380亿美元。反观适应措施，虽然到2025年用于提高灌溉系统效率、改良作物品种、提高牲畜品种适应力和生产率以及建设信贷设施

等措施的年度预算可能高达近6.44亿美元，但不作为的代价仍是其46倍之多。

同样，针对越南开展的案例研究显示气候变化造成的经济损失可能远远高于适应成本（世界银行, 2010c）。虽然适应措施无法防止气候变化造成的经济损失，但会大幅度降低损失程度。如不采取适应措施，气候变化造成的农业损失预计每年约为20亿美元。即使采取了适应措施，仍有可能遭受损失，但将会限制在5亿美元左右，意即每年总共减少约15亿美元的损失。适应措施包括农民自己的适应策略，如改变播种日期、选用耐旱或耐盐品种，还包括政府的干预措施，如投资于灌溉系统、增加农业研发支出。2010至2050年间，适应成本预计每年约为1.6亿美元，与适应措施挽回的损失相比微乎其微。

总而言之，虽然目前针对小农农业适应气候变化成本的系统性研究还屈指可数，但已有的证据表明此类措施的成本效益相当之高。当我们把这里的成本效益理解为不作为的代价与积极作为的效益之差时，这一结论尤为明显；即使将气候智能型农业的投资成本与这些措施在增加产量、改善生计、提高粮食安全方面的收益相比较，结论也是如此。因此，我们面临的主要问题是：如何实现小农系统向可持续农业转型，并同时将小农系统承担的交易成本降到最低。■

投资于小农适应措施的收益与成本

改变农业生产方式是增强小农生产体系的抵御力和改进其碳氮管理的重要手段。然而，这些生产方式在农民中的普及率相当之低。

因此，问题在于将普及率提高到足以减弱气候变化带来的负面影响需要多少成本？要回答这个问题，我们可以看一项模型研究。该研究对四个国家的农户进行调查，在此基础上进行实证测算，考查了气候变化条件下农民的种植决策（Cacho等，2016）。这项研究在孟加拉国、印度、马拉维和坦桑尼亚四个国家各选取了一个地区进行建模。这四个地区的农业都极易受气候变化的影响。

研究在现实普及率的基础上测算了到2050年气候智能型农业的预期普及率。结果显示普及率最高的是在马拉维，为96%，之后依次是坦桑尼亚（64%）、印度（62%）和孟加拉国（54%）*。然而，虽然预测出来的普及率较高，但大部分情况下都不太可能完全抵消气候变化对小农的影响。这说明如果不增加投资，创造有利的环境，推动具备气候适应潜力的技术的发展，仅靠气候智能型农业措施不足以使农业实现必要转型。

研究也分析了为适应当地未来预期气候变化而对品种改良进行投资的成本和收益。如不采取任何适应措施，在未来气候变化严重的情况下，小农将遭受严重损失（表A）。如果使用抗旱品种，按保守的单产假设来计算，可将气候变化造成的损失减少34%到51%。具体数值随各国情况不同而变化。据估算，品种改良投入的净现值介于马拉维的每公顷203美元至印度雨养农田的每公顷766美元之间。

研究结果显示，设计合理、定位明确的适应措施可以在目前预计的气候变化影响条件下为小农带来高回报。就改良品种而言，实施这一措施需要对整个供应链进行改造：从确保种子的充足生产到支持地方企业的发展，以保证农业投入品的供应与农产品的收购。此外，建立合理的体系，以降低小农获取种子的交易成本也是确保政策有效性的重要环节。

表 A

若干国家2020–2050年采用良种的净收益（按5%贴现率计算的净现值）

	气候变化损害的估计成本 (百万美元现值)		差值 %	涵盖面积 (百万公顷)	采用良种的净现值 (美元/公顷)
	基线(无适应措施)	良种			
孟加拉国	221	125	43	0.2	454
印度	13 595	6 626	51	9.1	766
马拉维	981	516	47	2.3	203
坦桑尼亚	8 567	5 622	34	9.7	303

注：本研究将现有条件作为基线，与开发了良种且通过采用良种将最严重气候情景（RCP 8.5）造成的损失降低30%的情况进行比较。假设实施了良种支持政策，以化肥和种子的采购和配送成本加上行政成本再除以政策所覆盖的总面积，得到每公顷成本。30年间净效益的计算扣除了政策实施成本。

资料来源：Cacho等，2016。

插文 13

(续)

这项研究还测算了另外两项重要气候变化适应措施的效益成本比：灌溉和节水技术。气候变化条件下，灌溉措施在孟加拉的平均效益为每公顷226美元，在印度为每公顷494美元（表B）。

效益的计算是以小农的作物总收入为基础，算出相关措施可为每公顷作物避免的损失。在小规模的生产体系中，每公顷土地升级灌溉设施的

成本相对较低，因而效益成本比也就相对较高，进一步印证了现阶段投资于有效的气候变化适应措施将给小农农业带来高回报的观点。

表 B

2050年每公顷灌溉收益和成本

	灌溉收益 (美元/公顷)	灌溉设施成本(美元/公顷)		益本比	
		小规模	大规模	小规模	大规模
孟加拉国	226	29	79	7.8	2.9
印度	494	29	79	17.0	6.3

资料来源：Cacho等，2016。

* 研究运用了LPJml-MAgPIE模型（Popp等，2016；Lotze-Campen等，2008；Bondeau等，2007）对不同气候情景下的作物单产和价格进行计算。对作物单产的预测结果与国际粮食政策研究所的国际农产品和贸易政策分析模型的结果一致。孟加拉和印度的调查结果并不能代表这两个国家的整体情况，因为调查只覆盖了这两国的部分村庄。

实现小农系统向气候智能型农业转型

识别普及障碍，评估利益取舍

一般认为，气候智能型农业的三个目标之间既可能存在此消彼长的关系，也可能具有协同效应。这三个目标分别为：可持续地提高生产力；增强适应能力和对冲冲击的抵御力；减少温室气体排放。当我们在气候变化条件下考虑

推动小农农业转型以促进减贫的时候尤其要牢记这一点。有关减缓气候变化与确保粮食安全之间矛盾的争论一直很激烈。人们担心，虽然发展中国家的小农并不是气候变化问题的始作俑者，但却将被迫承担气候变化减缓措施的成本。同时，他们也是因气候变化影响遭受损失最严重的群体（Lipper等，2015）。

气候智能型农业解决这一问题的做法很直接，即搜集具体地区的相关情况，然后以此为依据测算出气候变化减缓措施的成本。首先，对这一地区小农向气候智能型和可持续农业系统转型面临的障碍进行充分评估（插文14）。

之后，由所有利益相关方对初步评估结果进行讨论，决定需要在政策和激励机制上做出哪些调整，以便为小农的转型创造有利条件。

必须弄清采取改变措施的成本，这样才能做出适当的权衡取舍。例如，通过土地管理和恢复措施提高土壤碳储量需要付出以下投资成本：土地围栏、种子和机械、产量损失带来的机会成本、以及运营成本，即每年用于维持和提高土壤碳储量的劳动投入。增加土壤碳的措施对小农而言成本颇高，尤其是在初期和过渡期。这些措施的成本也有可能超过它们给农民自身带来的收益，但可以改善地貌和流域功能，惠及他人。

表10提供了这类成本的一个例子，分析了如果中国青海的牦牛牧民们对他们高度退化的草场进行投资，恢复其生态，需要多少年才能获得正收益。结果显示，规模越小，生产者每公顷投资回报的净现值⁶就越低，获得正收益所需的时间也就越长。对于规模最小的牧民而言，为恢复退化草场进行投资后，需要10年时间才能使他们的收入回到目前在退化草场上取得的收入水平。与恢复高度退化的草场相比，在优质土壤上采取先进的土地管理措施虽然成本要低得多，但也给农民提出了一个重大的取舍难题（粮农组织，2009）。

农业生产者面临的成本以及由此而来的权衡取舍都受到政策和制度环境的影响。因此，在向气候智能型农业转型的过程中，一个重要

的步骤是评估政策措施调整的需要，如投入品补贴，还有社会保护计划在应对气候变化风险方面的潜在作用。例如，对矿物肥料的补贴通常起不到鼓励高效施肥的作用。事实上，这种措施还可能产生相反效果。而将气候风险暴露程度这一因素纳入社会保护计划的目标对象选择方法中有助于推动气候智能型农业的实施，并且是较为容易实现的一项制度调整。调整农业研究的方向，将气候变化的适应和减缓纳入研究重点也是创造有利环境的一项重要工作（**插图15**）。

融资挑战

小农粮食生产体系的可持续性取决于小农应用气候智能型措施和技术的能力。为了实现这一目标，需要进行额外的资金投入。然而，在很多发展中国家，几十年来，整个农业部门想要获取资金都十分困难，更不用说气候智能型农业了。传统上，金融机构的资产组合中涉农部分的比重一直较低，特别是与农业对GDP的贡献率相比较而言更是如此。由于农业被认为是高风险、低回报行业，很多国家的金融机构都限制对农业的参与程度，提高贷款标准，并附加苛刻的贷款条件。它们通常完全回避整个农业行业，而更愿意从其他经济部门寻求更稳定的收益。由此而导致的资金短缺严重影响了农业，尤其是农民和中小型农业企业。

小农在获取资金方面面临的障碍最大。通常，他们的金融知识有限，几乎没有抵押物或信贷记录，也很少有其他收入来源。他们分散在远离城市中心的各地，信贷机构甚至连辐射到他们都困难。这一状态导致有些时候信贷的

⁶ 投资的净现值（NPV）是指未来现金流入的现值与现金流出的现值之差。

阻碍适应能力提高的因素

近期，一项元分析研究了影响非洲先进技术应用的决定性因素，着重探讨了小农在逐步提升改变以适应气候变化的过程中面临哪些障碍（Arslan等，2016a）。此项分析的数据来源于大约150篇公开发表的论文，包含了87项混农林业、农艺和畜牧生产领域的先进做法。

混农林业领域应用先进做法的最显著障碍是信息获取，主要是指来自推广服务的信息。这项元分析涵盖的研究中约40%都将这一点作为重要因素。混农林业领域的其他重要决定因素包括距离市场远近，是否加入了农民组织，以及其他社会资本与权属保障。在应用先进农艺做法方面，最主要的障碍在于信息获取方面，其次为权属保障、资源禀赋以及风险和冲击暴露程度。此项分析还指出需要特别关注拥有资源较少的群体，尤其是女性农民和女性户主家庭，因为她们获取信息和技术的渠道往往远少于其他人。相比之下，男性户主家庭应用先进混农林业与农艺做法的机率要高得多。

混农林业和农艺：采用先进技术和做法的决定因素及其在文献中的显著性

决定因素	混农林业				农艺			
	1. 合计	2. 消极(-)	3. 积极(+)	4. 无统计学意义	1. 合计	2. 消极(-)	3. 积极(+)	4. 无统计学意义
	(数量)	(百分比)	(百分比)	(百分比)	(数量)	(百分比)	(百分比)	(百分比)
信息	60	1.7	41.7	56.7	459	7.6	37	55.4
资源禀赋	75	14.7	28	57.3	991	12.9	29.2	57.9
风险与冲击	16	0	18.8	81.3	106	8.5	29.2	62.3
生物物理因素	20	15	20	65	544	13.4	20	66.6
市场距离/道路	17	11.8	47.1	41.2	249	20.9	14.1	65
社会人口结构	129	5.4	29.5	65.1	1 154	12.2	21.9	65.9
团体/社会资本	29	10.3	44.8	44.8	288	9.7	26.7	63.6
权属保障	19	10.5	42.1	47.4	116	8.6	36.2	55.2
可用劳动力	18	5.6	38.9	55.6	96	14.6	24	61.4
信贷渠道	15	6.7	13.3	80	167	12.6	24.6	62.8
结果合计	398	7.8	32.4	59.8	4 170	12.3	25.7	62

注：混农林业和农艺下2至4栏显示了针对技术和做法采用所具有的消极影响、积极影响或无统计学意义而讨论某一特定决定因素的论文所占的百分比。

资料来源：Arslan等，2016a。

表 10

中国青海省实施先进放牧管理方式的机会成本

畜群规模	基线净收入 (美元/公顷/年)	20年间 每公顷净现值 (美元/公顷)	实现正向现金流 所需年数 (年数)	超越基线净收入 所需年数 (年数)
小	14	118	5	10
中	25	191	1	4
大	25	215	1	1

资料来源：McCarthy、Lipper和Branca，2011。

插文 15

调整研究方向，应对气候挑战

直至今日，大部分作物研究都侧重于一年生作物，而非多年生作物。随着气候变化对农业生产力和生产潜能的影响逐渐显现，研究必须采取更广泛和综合的方式，将多年生作物、畜牧、水产养殖等领域纳入其中，并深入了解气候变化对病虫害的影响。

由于一个新品种从开始研究到向生产者推出通常需要十年以上的时间，因此，新品种和配套技术的开发显得尤为紧迫（Challinor等，2016）。需要特别关注开发耐热和抗旱品种，不仅是针对热带国家，也包括那些种植季节气温已经很高的

温带国家。例如，在气候变化影响下，预计一些发达国家将会出现玉米单产大幅下降的现象。

总体而言，发达国家的公共和私营部门都有较强的新品种研发能力，而较贫困国在高产、气候智能型品种开发领域则主要依赖于国际农业研究磋商组织和国家农业研究机构。这意味着需要对这些机构增加投资，并确保投资的持续性。

- » 交易成本甚至要高于农民需要的贷款金额。由于种种社会经济、政治和法律障碍，资金的获取对女性而言尤其困难。

此外，即使是在可以获取正规金融服务的地方，这些金融服务往往不能满足小农的需求，也没有考虑到小农的具体情况。金融机构倾向于提供短期运营资本，而非用于提高附加值、提升生产力的投资性资本。而且，金融机

构通常会设定严格的还款计划和较短的还款期限。由于农业生产周期的季节性，这类还款计划和期限与小农的季节性现金流不相符。

因此，发展中国家的大多数农民事实上被排除在金融系统之外，并因而被剥夺了经济发展的机会。据估计，拉丁美洲、撒哈拉以南非洲、南亚和东亚地区小农每年的融资需求总额在2100亿美元左右（农村和农业金融研究实验

室，2016）。而且，鉴于气候变化适应和减缓措施对长期贷款的需求，这一融资缺口在未来还将显著扩大。

中小型企业获取资金时同样面临各种挑战，特别是在申请长期贷款时。中小型农业企业在提高小农收入和生产力以及提升价值链效率、创造农村就业方面发挥着主要作用，因而对农业发展至关重要。当这些企业因缺少资金而无法充分实现其增长潜力时，它们创造的就业和雇佣的工人就少了。因此，中小型农业企

业的资金缺口加剧了全球各地农村地区的失业和贫困问题。很多中小企业所需的资金规模超出了小额信贷机构的水平，但又不够商业贷款的规模，且被认为风险太高。投资于能够增加附加值的基础设施建设可以显著提高生产者和企业的生产力和收入。当生产者和企业希望进行这类投资的时候，上述融资困难问题就显得尤为突出。■

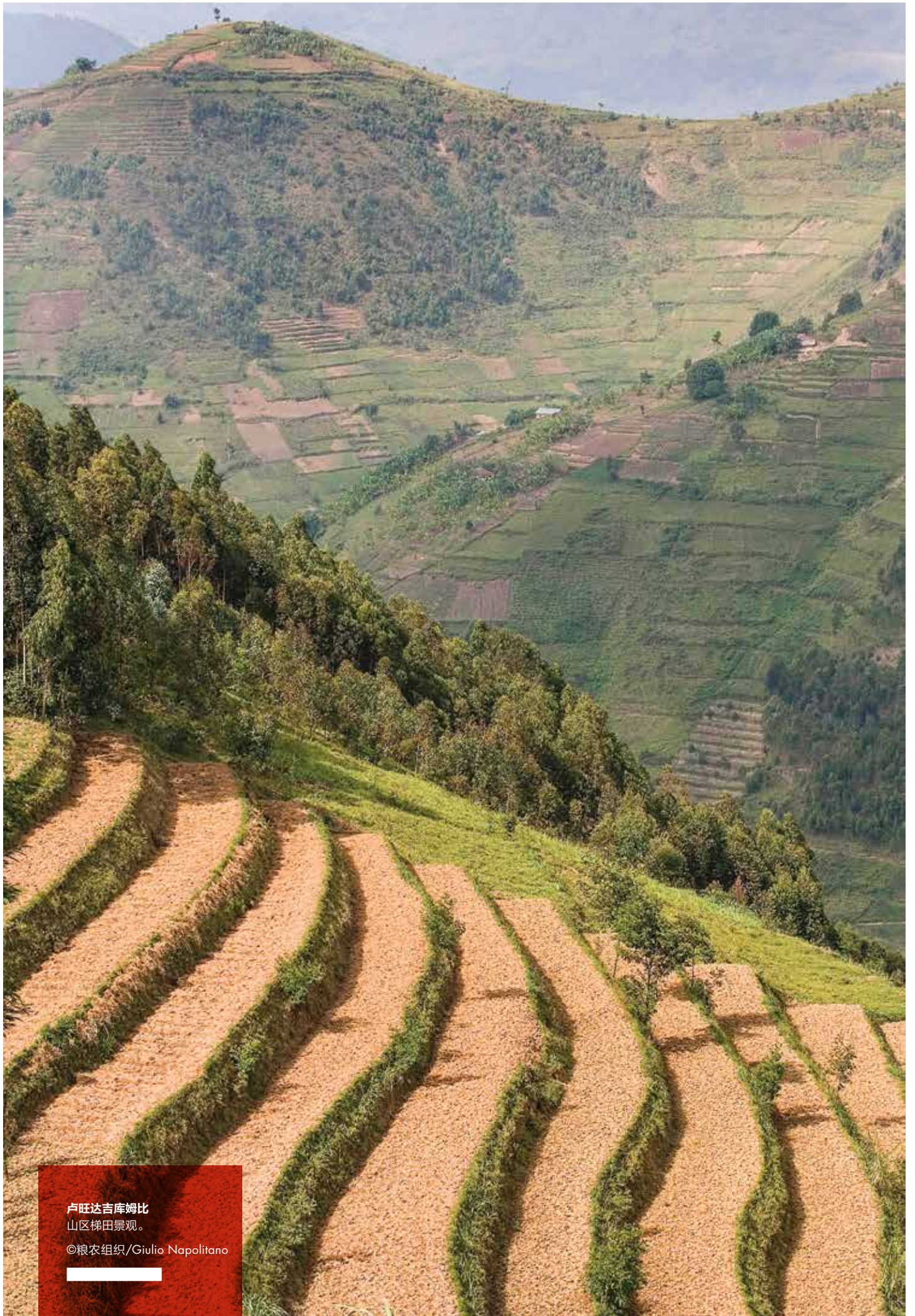
结论

本章分析了小农农业体系面临气候变化风险时的脆弱性，探讨了应对这类脆弱性的切入点。从粮农组织开展的分析和对文献的研究中我们提炼出了一些要点。首先，气候变化是一个包罗万象的“统称”，它的表现形式将是复杂和多样的。各个农业系统和地区的生产力面临的主要制约因素千差万别。而且，给作物单产造成最大影响的究竟会是降雨或气温的平均值、波动性还是极端情况，目前还没有定论。随着全球气候变化的不断发展，其中有些影响是直接的，也有一些是间接的，例如通过影响病虫害的传播而影响作物产量。了解主要的气候制约因素以及气候变化如何影响这些因素是确定小农需要何种类型支持的第一步，也是关键的一步。在深化这一领域的认识，并就此与利益相关者妥善沟通方面还有很多工作要做。

本章得出第二点重要结论是可持续集约化、农业技术进步和多样化可以减轻气候变化

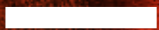
的影响，甚至显著减少面临饥饿风险的人口。然而，先进技术的普及可能会遇到政策或制度上的制约，这些都需要加以克服。气候波动严重的地方往往会采取多样化的措施，且事实证明是有效的，马拉维和赞比亚的案例正反映了这一情况。这表明，具体问题需要具体处理，而不是对所有不同的农业生态区域和生产体系都实施同样的政策。

第三点结论是适应措施从经济上讲是合算的：一般情况下，收益要远高于成本。但是这个事实本身还不能让适应措施得以推广。由于小农在获取资金方面面临诸多挑战，想要克服应用新技术新做法的障碍对他们而言尤为困难。中小企业可以创造农村就业，并给小农提供非农收入，但它们在融资方面也和小农面临相同的困境。



卢旺达吉库姆比
山区梯田景观。

©粮农组织/Giulio Napolitano





第四章

粮食和农业系统与 气候变化减缓

秘鲁

农场工人正在修复传统式梯田。

©粮农组织/A. Odoul



秘鲁印加圣谷
三层式农业生态系统（玉米、
马铃薯及牧场）。

©粮农组织/Antonello Proto

主要内容

- 1 农业部门面临着一项特殊挑战：**一边要提高粮食产量，一边还要降低因粮食生产而造成的温室气体排放。
- 2 农业可以降低排放强度，**但不足以抵消其排放总量的预期增长。
- 3 要解决排放问题，就要解决由农业扩张造成的土地用途变化，**但最终成功与否将取决于农业能否实现可持续发展。
- 4 通过改善碳氮管理能够减少排放，**但此类措施一般出于适应气候变化和保障粮食安全的目的，而非为了实现减缓目标。
- 5 降低农业排放**还取决于将粮食损失和浪费最小化，以及推广可持续膳食。

粮食和农业系统与 气候变化减缓

第三章的措施旨在帮助小农和脆弱的农村人口建立抵御气候变化的能力，而在本章，我们要从更广阔的视角看待农业和粮食系统，以评估该系统对减缓气候变化的潜在作用。人们将呼吁农业在减排方面积极发挥作用，一方面是因为在有望降低的全球碳排放水平中，农业所占份额将不断上升，另一方面也是因为农业在特定条件下能够封存二氧化碳。

粮食需求的增长会推高农业碳排放，而人口、收入的增长以及对动物源性食品的偏好又在推高粮食需求。农业可以通过降低排放强度，即每单位产量产生的温室气体量，实现产量增长与排放增长的脱钩，从而为减排做出贡献。另外，减少粮食损失和浪费、促进粮食消费模式的改变也有助于实现这一目标。

农业各部门，尤其是林业，能够通过有机物和土壤吸收二氧化碳并进行碳封存，因而具有成为碳汇的独特潜力。但目前，毁林是主要的排放源，不可持续的耕作方式仍在继续消耗地球上的土壤有机碳储量。要想发挥森林和农业用地的固碳潜力，还有赖于生物物理条件、技术方案和政策。

由于农业排放以及农业碳汇是全球碳氮循环的一部分，因此，要优化农业的减排潜力，先要了解这些循环及其同农业活动的相互作用。

这种了解能让我们充分理解农业减排固有的困难。因为农业涉及复杂的生物物理过程，所以比大部分其他人为源的排放更难监测和控制。提高农业对自然资源的利用效率将是减缓策略的核心内容。

需要谨记的是，在农业部门，粮食安全目标、气候适应目标和气候减缓目标之间不能相互割裂，因为它们之间存在协同效应和平衡取舍的问题。越来越多的经验表明，要想提高减缓和适应措施的成本效益，必须根据生产者的具体农业生态条件综合采用各项适合的技术措施。■

减缓和适应并举的 技术潜力

“农业、林业和其他土地用途”（AFOLU）占温室气体排放总量的21%。“农业、林业和其他土地用途”产生的所有二氧化碳排放都可归因于林业和土地用途的变化，如森林转变为草场或用于种植业。大部分甲烷和一氧化二氮排放都来自于农业生产（见表5）。因此，改善农业中的碳氮管理非常关键，关系到农业对减缓气候变化的作用（插文16）。»

插文 16

农业部门的碳氮元素

碳氮循环是指碳和氮这两种化学元素以不同形式在地球的大气层、海洋、陆地生物圈和岩石圈的流动。

据估计，陆地生物圈的有机碳总量（不包括化石燃料）中高达80%储存在土壤中，约20%储存于植被中。据估计，植物生长每年能生产540亿吨碳。人类对于净初级生产的利用——即因人类引发的土地用途变化而收割、啃食、焚烧或遗失掉的生物质中的碳——估计每年在150亿到200亿吨之间（Running, 2012; Krausmann等, 2013）。

海洋及沿海地区在碳循环中发挥着显著作用。据估计，全球超过90%的碳储存在水生系统中。此外，每年温室气体排放量的25%左右被封存于水生环境，主要是在红树林、海草、洪泛平原森林和海岸沉

积物中（Nellemann、Hain和Alder, 2008; Khatiwala等, 2013）。因此，水生系统可极大促进气候变化的减缓。

氮是氨基酸的主要成分，而氨基酸是植物生长的关键。随着粮食需求的增长，氮以可被植物利用的形式在农业中大量使用。2005年，农民通过矿物肥料和有机肥的使用，对作物施放了约2.3亿吨氮。泄漏到全球环境中的一氧化二氮可能已经超过了生物物理临界值，即地球承载能力极限（Rockström等, 2009; Steffen等, 2015）。

» 土壤固碳，抵消排放

人类从古到今的活动所造成的大量碳损失引起了极大关切。在过去150到300年中，由于土地用途及其变化，主要是森林转变为农业用地，碳损失估计在1000到2000亿吨之间（Houghton, 2012）。土壤作为碳氮循环的陆地调节器，其重要性日益得到认可，特别是2015年12月《巴黎协定》确定的新气候体系呼吁采取行动来保护和加强温室气体汇和温室气体库。

土壤是地球上仅次于海洋的第二大碳库，土壤有机碳储量的微小变化就可能引起大气二氧化碳水平的巨大变化（Chappell、Baldock和Sanderman, 2016）。深度为1米的土壤（不包括永冻土）包含的有机碳储量总计在5000±2300亿吨，约两倍于大气二氧化碳中的碳的总量（Scharleman等, 2014）。土壤有很大的固碳潜力，特别是对退化土壤进行恢复等措施效果尤其明显（Lal, 2010）。

改进耕作方式可以维持并提高土壤的固碳能力，耕作方式的改良也能够恢复土壤健康和肥力，提高农业产量。因此，推广可持续的土壤管理可以带来多重效益：提高生产率、培养气候变化适应力、增加碳封存、减少温室气体排放（粮农组织和政府间土壤技术小组, 2015）。虽然人们已经认识到土壤潜在的碳汇和碳库功能，但由于缺乏足够的信息和监测系统，目前对土壤的碳储量和真实固碳潜力的认识依然有限。

为了发挥土壤的固碳潜力，应将可持续土壤管理作为一个系统进行推广。该系统应具备

多种功能，可提供多重生态系统服务（粮农组织和政府间土壤技术小组, 2015）。封存土壤有机碳的技术潜力大约在每年3.7亿到11.5亿吨碳之间（Sommer和Bossio, 2014；Smith等, 2008；Paustian等, 2004）。这是技术上的潜力，其隐含假定为所有农业用地都以固碳的方式进行管理。然而，实际上农业用地的土壤固碳率在每年每公顷1亿到10亿吨不等（Paustian等, 2016）。因此，数十亿公顷土地需要加强管理，以达到每年10亿吨的最佳固碳率。此外，固碳水平刚开始会比较低，20年后达到顶峰，随后又将缓慢下降（Sommer和Bossio, 2014）。

畜牧供应链减排

减少畜牧业的温室气体排放强度也有很大的潜力。由于农业生态条件、耕作方式、供应链管理不同，这种潜力难以精确估算。即便类似的生产系统之间，排放强度的差异也很大。Gerber等（2013a）估计，如果每一个系统中温室气体排放强度最低的那25%的生产者采用的做法能得到广泛应用，畜牧业产生的排放量则可以减少18%到30%。

通过对流六个区域案例进行研究并使用生命周期评估模型，Mottet等（2016）估计，可持续方式会让畜牧业温室气体排放量减少14%到41%。在其中五个案例中，减缓措施既增加了产量，也降低了排放，取得了粮食安全和减缓气候变化的双赢效果。研究发现，非洲、亚洲和拉丁美洲的反刍动物和生猪养殖体系的气变减缓潜力相对较大，而经济合作与发展组织成员国的奶业体系在其高水平生

产率的基础上也有显著的减排空间（Gerber等，2013b）。

若采用最高效的减排技术来减少肠道甲烷排放并在牧场进行土壤固碳，所减少的温室气体量相当于每年全球所有反刍动物排放量的11%。Henderson等（2015）的模型研究表明，改进放牧管理以及种植豆类是最实惠的做法，因而具有最大的经济潜力。放牧管理在拉丁美洲和撒哈拉以南非洲特别有效，而对西欧来讲种植豆类似乎效果最好。秸秆尿素处理在碳价格较低的地区缺少经济上的吸引力，但在每公吨二氧化碳当量100美元的地区则非常划算。

减少一氧化二氮排放

氮和水一道，同为作物产量最重要的决定因素（Mueller等，2012）。全球粮食产量的近50%依赖于氮肥，余下50%依赖存在于土壤、畜禽粪便、固氮植物组织、作物残余、废弃物、堆肥中的氮（Erisman等，2008）。氮很容易通过挥发和淋溶而从农业转移到环境中，据估计，这对环境的损害同粮食生产中使用氮肥所带来的货币收益基本相当（Sutton等，2011）。肥料施用带来的一氧化二氮排放会造成直接负面影响：一氧化二氮是第三大温室气体，也是造成平流层臭氧损耗的最重要原因。同时，由于氮在光合作用和生物质生产中的关键作用，它对生物圈的二氧化碳汇和碳封存有着积极影响。

农业可持续氮管理旨在同时实现提高种养业生产率等农业目标和尽可能降低氮损失这一

环境目标。因为氮循环很容易出现“泄漏”，所以管理起来非常不易，在气候变化和适应措施的条件则更为复杂，因为氮循环同碳循环和水循环紧密联系在一起——农业中对氮的利用和损失很大程度上取决于水和碳的可得性。

通过改进生产方式，全球粮食系统在2030年和2050年的一氧化二氮减排潜力可参见表11。这是根据增加氮利用效率和/或降低氮排放强度的潜力做出的预测（Oenema等，2014）。在文献综述和专家意见的基础上做了一系列假设，包括改进作物种植和畜牧养殖、加强粪便管理和粮食利用、降低膳食中动物蛋白水平等。五种情景的分析结果包括了直接和间接的一氧化二氮排放（为便于比较，100万公吨一氧化二氮的全球增温潜力相当于2.65亿公吨二氧化碳）。

在不采取任何措施的情景下，从2010年到2030年，农业的一氧化二氮年排放量会从410万吨上升至640万吨，到2050年达到750万吨。通过实施减排策略，到2030年，排放量有望保持在410万吨，到2050年降至330万吨。改进作物生产方式，特别是改进肥料的使用，似乎最具有潜力。然而，要抵消不采取措施情景下预计将出现的排放量增长，就需要采取表11中所列的全部五项减排策略，包括减少膳食中动物蛋白等行为变化，这使得减排预测具有很大不确定性。这些策略在技术上似乎是可行的，但实际实施过程中还面临诸多障碍。需要在教育、培训、示范、特定技术的发展等方面投入大量资金，才能实现预期的一氧化二氮减排。

一氧化二氮减排是否能实现取决于能否针对排放的根源进行管理。根据气候条件、农业

生态条件和农作系统的不同，与排放相关的生物物理过程也各不相同。核技术和同位素技术能帮助我们更好地了解这些过程，从而改善对一氧化二氮排放的监测（[插图17](#)）。■

创造减缓和适应共同惠益，促进粮食安全

更好地管理碳氮循环对减少农业、林业和其他土地用途部门的净温室气体排放以及提高全球粮食系统效率都至关重要。由于减缓措施和适应措施都有益于粮食安全和环境可持续性，因此，在二者能够建立有力协同效应的领域，可以同时合并实施减缓和适应措施。提高碳氮循环的效率可以加强对气候波动的抵御力，减少温室气体排放，并提高粮食产量，促进粮食安全。实现这些目标的关键在于可持续集约化农业（见第三章），即采用先进方式来提高每单位粮食的投入产出比，既减少对环境的压力、降低温室气体排放，又不损害子孙后代满足其自身需求的能力（Garnett等，2013；Smith等，2013）。

很多国家都把农业视为最大的机遇，能在适应与减缓气候变化二者之间创造协同效应，并为社会经济和环境带来显著的共同惠益。例如，提高粮食系统的碳氮效率会减少温室气体排放、增加碳封存，同时还能增强粮食安全、提高抵御气候变化和气候冲击的能力。如果有高效的生产系统，就会减少对自然资源的需求，就不容易被资源短缺及各种加剧土地、水、养分稀缺性的气候事件所影响。

通过缩小单产差距，提高生物学效率，农业的可持续集约化能防止毁林，防止农业进一步扩张到富碳生态系统，从而同时促进粮食安全和气候变化减缓。这一效果在发展中国家尤其明显。在畜牧业中，提高草场的生产率可以防止草场扩张到热带雨林，还可以加强富碳地貌的保护和可持续发展（De Oliveira-Silva等，2016）。

下文将简要介绍相辅相成的两个目标，它们是所有希望实现适应和减缓共同惠益的政策都需要考虑的：在粮食系统内提高生产效率和尽可能减少温室气体排放，以及在农业和林业中保护和建设富碳地貌。

提高生产效率，降低排放强度

为提高单产投资

自20世纪60年代起，作物和畜牧系统集约化限制了农田的扩张，提高了食品供应链的效率（Tilman等，2011；Gerber等，2013a；Herrero等，2013）。从1961年到2005年，通过提高单产，农业集约化避免的温室气体排放相当于1610亿吨碳。因此，为提高生产率进行投资，优于通常建议的其他减缓策略。因为前者能够限制农业土地扩张和因毁林造成的大量碳损失（Burney、Davis和Lobell，2010）。

过去数十年来，随着农业和林业生产效率的提高，许多产品的温室气体排放强度出现了下降。1960至2000年，奶类的全球平均温室 »

表 11

2030年和2050五种改良做法情景下一氧化二氮年减排潜力(累积效应)

减排策略	氮源	2030			2050		
		氮投入 (Tg)	排放系数 (%)	一氧化二氮排放量 (Tg N ₂ O-N)	氮投入 (Tg)	排放系数 (%)	一氧化二氮排放量 (Tg N ₂ O-N)
维持常态	肥料	132	2.37	3.1	150	2.37	3.6
	粪便	193	1.71	3.3	230	1.71	3.9
合计				6.4			7.5
改进种植方式	肥料	118	2.02	2.4	128	1.9	2.4
	粪便	193	1.71	3.3	230	1.71	3.9
合计				5.7			6.3
改进畜牧生产方式	肥料	118	2.02	2.4	128	1.9	2.4
	粪便	174	1.71	3.0	184	1.71	3.2
合计				5.4			5.6
改进粪便管理	肥料	108	2.02	2.2	103	1.9	2.0
	粪便	174	1.62	2.8	184	1.54	2.8
合计				5.0			4.8
改进食物利用	肥料	103	2.02	2.1	93	1.9	1.8
	粪便	156	1.62	2.5	147	1.54	2.3
合计				4.6			4.1
减少膳食中动物蛋白	肥料	98	2.02	2.0	84	1.9	1.6
	粪便	133	1.62	2.2	110	1.54	1.7
合计				4.1			3.3

注：排放量的减少为五种情景依次累积。投入系指肥料氮素使用量和粪便氮素排泄量，以兆克（Tg）计量。一氧化二氮排放系数和一氧化二氮总排放量是对2030年和2050年整个粮食系统的预测水平。

资料来源：Oenema等，2014。

插文 17

利用核技术和同位素技术促进气候变化减缓

利用核技术有助于找到有哪些土壤和水资源管理措施能够减少土壤释放的温室气体，从而促进气候变化减缓。例如，通过利用多种同位素，科学家能够确定新增的有机粪便、作物残余和废水带来的碳氮元素累积水平，以及这两种元素在土壤有机质中的相互作用。15N稳定同位素技术可以帮助识别农场产生的一氧化二氮的源头，从而找到合适的一氧化二氮减排方式，例如通过撒石灰来降低土壤酸性，或在氮肥中添加硝化抑制

剂来减少过剩氮向硝酸盐转化，因为硝酸盐不稳定，在厌氧条件下很容易转化成一氧化二氮。粮农组织携手国际原子能机构采用的同位素技术和核技术是解决未来粮食需求和减少气候变化影响的前沿创新手段。

» 气体排放强度下降了约38%，稻米下降50%，猪肉下降45%，鸡肉下降76%，禽蛋下降57%（Smith等，2014）。反刍动物排放强度的下降主要是由于单位数量奶类和肉类的甲烷排放量降低（Opio等，2013；插图18）。无论是对反刍动物还是单胃动物而言，饲料转化效率的提高、养殖方式的改善以及高效动物品种的选育都发挥了关键性作用。减少单位产出所需的动物数量，可极大提高效率。例如：1990到1999年，英国年甲烷排放量整体下降了28%，这主要归功于牛存栏量的减少和奶牛生产率的提高（英国环境、食品与农村事务部，2001）。不同养殖系统、不同区域的资源利用效率和温室气体排放强度存在显著差异（Herrero等，2013），这说明提升效率的潜力巨大。

除了缩小单产差距、提高畜群生产率以外，良好的农场整体长期效率管理策略能够保护和恢复土壤、水、生物多样性和诸如授粉等关键生态系统服务（Garibaldi等，2016）。例如，在温带和热带地区，农业系统多元化和“种-养-林”一体化，可提高农场整体效率，降低温室气体排放强度（Soussana等，2015年）。有多种技术能提高生产效率，带来共同惠益。这些技术包括利用遗传资源和先进的育种技术进行品种改良，调整播种日期和种植期，精准农业，结合有机养分来源和豆类种植合理施用无机肥，构建多元化、可持续的种植体系，包括考虑混农林业。

降低水产养殖业和渔业的资源利用强度

渔业和水产养殖可通过增加碳封存和减少价值链排放为减缓气候变化做出贡献。首先应停止生境破坏以及不当的渔业和水产养殖管理做法，否则水生系统固碳功能将受到干扰。通

过恢复红树林和洪泛平原森林增加碳汇的空间可能非常大，尽管这将带来前期恢复成本。

在温室气体减排方面，通过减少燃料和能源使用量降低排放的潜力相当大。这方面可通过直接和间接手段来实现。直接的比如采取更高效的捕捞方法或节约加工环节的能源；间接的比如采取一系列行动，包括节约整个供应链和价值链的能源以及战略性减少浪费。尽管碳市场相关激励机制已显现出一定潜力，但整个水产养殖和渔业部门向节能技术转型的步伐仍很慢（粮农组织，2013a）。

加工、储存和运输环节的能源使用是渔业和水产养殖业温室气体排放的主要来源。加工包括从手工系统中的鱼品简单干制和熏制到在严格控制条件下使用高规格包装和标签制备海鲜的一系列工艺。排放量因当地做法、投入品（品种、来源、数量和质量）和运营效率不同而存在较大差异。水产品作为贸易最广泛的全球食物产品，可能以多种形式和不同程度的易腐性，进行长距离运输。温室气体产生量往往与运输中使用的燃料以及装卸和储存环节使用的能源直接相关。最易腐的新鲜产品需要进行快速运输和高耗能储存。制冷剂的选择也很重要。老旧或维护不善的设备泄漏的制冷剂气体会损耗大气中的臭氧层，大大增加全球变暖的可能性。在手工供应链上加工的干制、熏制和腌制产品状态更稳定，需要的运输方式对时效性要求不高，产生的温室气体较少（粮农组织，2013b）。

粮农组织发起的“蓝色增长”倡议寻求以更可持续的方式实现经济目标与水生资源管理目标的统一。实践证明，采取“蓝色增长”方

畜牧和水稻生产中的甲烷减排

有大量研究考察了减少畜牧和漫灌水稲系统甲烷排放的潜力。

肠道发酵。大部分现有研究都涉及动物膳食的改变以及在动物饲料中添加补充剂（Veneman、Saetnan和Newbold，2014；Gerber等，2013a）。让饲料更加容易消化以及平衡饲料的营养属于一级措施，气变减缓效果最好（Garg等，2013；Gerber等，2011）。在天然植被上啃食牧草和枝叶的反刍动物膳食中，也可轻易发现丹宁等植物次级代谢产物，特别是在地中海和热带区域（法国国家农业研究所、法国农业研究与发展国际合作中心和粮农组织，2016），这些物质很可能可以减少动物甲烷排放量。此外，一系列其他减缓战略也得到了测试，包括使用化学抑制剂、离子载体、抗生素、氢阡、精油、酶、益生菌、驱虫和免疫等（Hristov等，2013）。然而，上述一些方案在某些国家是不合法的，还有一些方案则被限制使用或未能商业化。此外，由于甲烷减排不会使动物增产或增产效果有限，因此将需要激励手段，推动人们采用能够削减甲烷排放量的昂贵添加剂（Newbold，2015）。

粪便储存。要减少粪便储存的甲烷排放，需要加强管理，避免将粪便储存在厌氧和/或温暖条件下。非洲和拉丁美洲部分

地区的干舍和固体粪便储存系统的粪便甲烷排放量较低。而西欧和北美常见的液体粪便系统甲烷排放量则较高，尤以舍饲动物为甚。有人提出，经常清理畜舍内的粪浆可减少甲烷排放（Sommer等，2009）。粪便厌氧发酵在减少甲烷排放方面潜力巨大，且可用可再生甲烷替代化石燃料，用于加热、发电和用作交通工具燃料。然而，发酵池和气体储存系统的甲烷泄露水平尚未可知，令人对这项技术的实际减排效果产生怀疑。所有甲烷减排措施都要考虑整个生产系统，避免气体从一个单元泄露到另一个单元，以及避免一氧化二氮排放的增加。

稻田漫灌。一系列传统和改良做法，包括水、秸秆和肥料管理，可减缓水稻田的甲烷排放。在不考虑土壤碳储量增加的情况下，连续几周停止漫灌可节约用水，还可将甲烷和温室气体排放量减少45%到90%。然而，这种做法可能对单产造成负面影响，部分原因是增加了杂草竞争。在种植季之初让水稻田保持干燥，然后进行漫灌，可减排45%；且单产与完全漫灌稻田相当（Linguist等，2015）。

- » 法的渔业和水产养殖价值链可大幅提高生产率和收入，且所采取的水生资源管理方法有助于恢复长期生产潜力。健康的海洋和湿地也更能抵御气候相关冲击，提升以渔业和水产养殖为生的人们的适应能力。

例如，粮农组织与利比里亚大塞斯的渔业社区开展了一个合作项目，提高渔产品加工和熏制效率。项目组织了240多个鱼品加工者，共同修建鱼品熏制炉和鲜鱼隔热储存容器，便于加工者熏制鱼品并在邻国科特迪瓦的市场上销售，获得丰厚利润。以女性为主的鱼品加工者从项目中获益，收入大幅增加，熏鱼所需的薪柴数量大幅减少。薪柴使用的减少进一步增加了加工者的利润，同时产生减缓气候变化的重要协同效益（粮农组织，2011a）。

减少农场内粮食损失

在发展中国家，整个生产链都会出现粮食损失，其中小农遭受的损失最为惨重。粮农组织估计，由于投入品使用不当、产后储存、加工和运输设施落后等原因，粮食总产量的30%到40%可能在到达市场前就已经损失掉了。减少农场内粮食损失可提高生产系统的效率。减少农场内损失的方式有：改进土壤健康状况、减少作物和动物对病虫害的敏感性、提高牲畜的饲料利用效率、恢复授粉生物种群和减少杂草竞争。通过多样化地貌恢复生态系统服务，还有助于作物和牲畜保持健康、将产量损失降至最低，而对道路、物流、仓储和初级加工基础设施进行投资则可减少产后损失。

农场多元化与综合农业系统

除了缩小单产差距、提高畜群生产率以外，良好的农场整体长期效率管理策略能够保

护土壤、水、生物多样性和诸如授粉等关键生态系统服务（Garibaldi等，2016）。例如，在温带和热带地区，农业系统多元化和“种-养-林”一体化，可提高资源利用效率，降低温室气体排放强度（Soussana、Dumont和Lecomte，2015）。一系列技术可有助于提高生产效率，产生协同效益，包括精准农业、先进育种、合理施用有机肥和无机肥以及更好地利用豆类、遗传资源和地貌的生物多样性。

农业和林业的富碳地貌

由于地球地表面积的大部分由农业和森林所覆盖，因此，农业和森林对于保护和恢复土壤碳以及加强碳汇至关重要。混农林业、森林更新、种植园、保护性农业、有机农业和放牧管理都有助于实现上述目标，尽管各项方案对不同农业系统和区域的适用程度不同。

森林地貌

森林每年可吸收约26亿吨二氧化碳（国际林业研究中心，2010），相当于化石燃料燃烧所释放二氧化碳的三分之一左右。然而，这一庞大的储存系统一旦被毁林所破坏，将成为主要排放源。根据IPCC《第五次评估报告》，毁林和森林退化几乎占有所有温室气体排放量的11%，超过了世界整个交通运输部门的温室气体排放量。伴随着森林的消失，森林的固碳能力也相应降低。

20世纪90年代，热带地区毁林是二氧化碳排放的罪魁祸首，而温带和部分寒温带地区的森林再生是去除二氧化碳的福音。但是，寒温带和温带地区森林面积的扩大和木质生物质的

累积对热带毁林所导致的碳损失究竟有多大弥补作用，目前尚有争议。据粮农组织估计，在本世纪头十年，毁林所导致的总排放量为每年38亿吨二氧化碳当量；综合森林退化和森林管理的影响，净固碳量为18亿吨二氧化碳当量（粮农组织，2016a）。此外，生物质火灾（包括泥炭沼泽火灾）和泥炭沼泽排干，每年分别产生的排放相当于3亿吨和9亿吨的二氧化碳当量。

具体活动、区域、系统边界以及对减缓方案进行对比的时间跨度不同，则减少毁林、改进森林管理、造林和混农林业在碳减缓方面的潜力也大不相同。减少毁林在拉丁美洲林业减缓气候变化方面最具潜力；而森林管理，以及仅次于它的造林，在经合组织成员国、转型经济体和亚洲最具气候变化减缓潜力。造林对减缓气候变化的潜在贡献占林业相关总潜力的20%到35%（Smith，2014：图11.18）。

林业气候变化减缓行动分为两大类：减少温室气体排放；增加从大气中去除的温室气体量。具体办法可分为四大类：

- ▶ **减少或避免毁林。**保持森林面积可带来巨大的社会经济和环境效益（粮农组织，2012）。森林可维持生物多样性和生态系统功能，在大规模土地上，甚至能够影响当地天气模式，从而影响粮食生产（Siikamäki和Newbold，2012）。减少林火可改善当地空气质量，有利于居住在森林中和森林周边人群的健康（Mery等，2010年）。
- ▶ **扩大森林面积。**可通过植树、播种、辅助自然更新和自然演替增加森林面积。造林可增加地上、地下生物质和死亡有机质中的碳库。

造林一般在农村地区进行，通过创造收入和就业，可以促进农村经济发展。也有担心认为如果造林和再造林集中在生产性农业土地上，可能降低粮食安全水平；单作型种植园会减少生物多样性并增加疫病风险（粮农组织，2011b）。实施该方案时，需要面向所有农业部门进行合理规划。

- ▶ **保持或增加碳密度。**保持或增加林分中碳储量的活动包括：在木材生产中采取影响较小的采伐方式，进行持续单产管理；保持部分森林覆盖；通过减少刀耕火种等高排放活动，最大程度地减少死亡有机质和土壤碳库的损失（国际林业研究中心，2015；Putz和Romero，2015）。森林采伐或自然扰动后进行补种可加速生长，与自然更新相比，这样做固碳速度更快。
- ▶ **增加采伐后木材产品的异地碳储量。**木材一旦转化为寿命较长的产品，如建筑和家具，则可在长达数十年甚至数百年的时间里充当碳库。

通过教育、培训以及农村社区参与林业规划和决策，可以增强林业减缓气候变化的效果。参与式森林管理方式与传统的层级式计划相比，可取得更大成功，还有助于加强民间社会力量和推动民主化进程（粮农组织，2016b）。这种方法还能创造社会资本、网络和社会关系，使社区更好地应对气候变化。

多数森林相关减缓活动带来的挑战是，惠益的产生往往需要数年甚至数十年时间，而在此之前需要进行大量投资。如果没有适当的融资和扶持框架提供有效激励，林业巨大的减缓潜力将无法实现。

另一个问题是能源生产和产品替代，这个问题具有社会、经济和文化等多重意义（欧洲环境署，2016）。例如，欧盟鼓励使用薪柴等生物燃料发电的政策，影响着区域内森林居民管理森林的方式和发展中区域的土地使用方式（欧委会，2013）。曾出现多个为开展生物质生产而占用土地的事件，这会对粮食安全造成影响。

农业地貌

当前许多农业做法导致土壤有机碳损失并减少了回到土壤中的有机碳（表12）。为减少土壤有机碳的损失或增加回到土壤中的有机碳，可以减少焚烧、过度放牧和土壤侵蚀，以及回收作物残余和粪便。另一种方案是通过使用覆盖作物、开展间作和混农林业，增加作物光合作用，改变光合作用与生态系统呼吸作用之间的平衡；以及通过保护性农业最大程度地减少对土壤的破坏。使用良种作物、种植固氮豆类、施用有机肥和无机肥，以提高可用于还田的作物残余量，也能极大改善作物碳平衡。改善水资源管理也可大力提升初级生产力，并对上述所有做法形成补充。

能够封存土壤有机碳的良好做法还能够提高粮食安全水平，促进对气候变化的适应。随着土壤有机碳含量的提高，发展中国家也可连年实现重要的单产协同惠益（Lal，2006）。⁷土壤有机碳的增加能够改善土壤的结构、入渗性能和持水性能，有助于加强对干旱和洪水的抵御力；这两种气候变化事件对热带地

区的影响尤为严重（Pan、Smith和Pan，2009；Herrick、Sala和Jason，2013）。但对单产的影响取决于当地条件，以及农民所采用的做法和单产损失的情况（Pittelkow等，2015）。

农业土壤的固碳作用可能不会持久。通过先进农业做法额外储存的土壤碳部分以未加保护的形式存在，先进农业做法一旦中断，这部分土壤碳就会分解。此外，短期内土壤碳汇可能会增加一氧化二氮排放，而土壤中氮磷元素的缺乏可能会阻碍土壤有机碳的储存（Penuelas等，2013）。

希望通过土壤有机碳实现气候变化减缓的行动应着眼长远，且在大片地貌而不是单块农田的层面实施。需要认识到，采取土壤固碳措施需要时间，且土壤有机碳将仅在有限时间段内增加，达到新的平衡后就会停止。需要采取适当的土地管理方式对新增碳储量进行监测和保护。在粮农组织的支持下，中国青海地区开展了退化草地恢复措施，这个项目考虑了所有上述因素（插图19）。

最后，混农林业，即树木、灌木与作物和畜牧系统相结合，可防止水土流失、促进水分渗入、降低极端天气事件带来的影响，同时有助于实现收入来源多样化，并为牲畜提供饲草。种植固氮豆科乔木，例如金合欢树（*Faidherbia albida*），能够改善土壤肥力、提高单产。尽管有明显充足证据表明混农林业对生产率、适应能力和碳储存具有正面影响，但在不同情况下需要考虑各种不同系统和树木品种。■

⁷ Lal等（2004）估计这些协同效益为每单位土壤有机碳0.07个单位的干物质（≈ 0.07吨干物质/吨土壤有机碳）。

表 12

导致土壤碳储量减少的农业做法举例

温带区域	半干旱和干旱区域	热带区域
有机土壤排干与耕作	降雨不稳定条件下的放牧压力造成荒漠化	刀耕火种农业缺乏作物有机肥
收获指数型育种	缺少树木，缺乏节水措施	深耕
缺乏覆盖作物		缺乏覆盖作物
缺乏农牧综合系统和混农林业		热带泥炭地排干与燃烧
永久草原面积下降		
城市和工业有机废弃物再利用有限		

注：收获指数系指植物收获部分的重量占植物地上总生物量的比重。

资料来源：粮农组织和政府间土壤技术小组，2015。

插文 19

中国的退化草原恢复

牲畜过多可导致过度放牧和土地退化——这是中国青海地区牧民学到的惨痛教训，当地38%的草原已经退化。粮农组织最近与中国农业科学院、世界混农林业中心和中国科学院西北高原生物研究所共同开发了一种方式，农民可以利用这种方式对他们的动物和草原进行长远的可持续管理。

通过恢复退化牧场、增加土壤碳储量，可以改善土壤墒情和养分保持，从而同时实现生产率和抵御力的提高，进而改善小规模牧民社区的生计。然而，一直以来，草原固碳项目因测量成本

高而备受掣肘。这个问题在青海得到了解决。这个项目开发了一个着眼于监测层面的方法，目前该方法已经通过了“核证碳标准”的认证。该方法使农民能够通过碳信用获得新的资金来源渠道，在恢复草原进而提高生产力产生盈利前用以支付改变管理方式产生的费用。

资料来源：粮农组织，2013a。

减缓措施的成本、激励措施和障碍

农业、林业和其他土地用途部门拥有许多可行的、前景看好的减缓气候变化的途径，技术潜力相当可观。但减缓气候变化的成本及其经济潜力究竟有多大？换言之，碳的假定价格达到什么水平才会促使农民、渔民和森林居民采取适当措施进行固碳和减排？

根据IPCC《第四次评估报告》对林业和农业总体减缓潜力的估算，IPCC认为，到2030年，当碳价分别为每吨20美元和100美元时，经济减缓潜力分别为年减排约30亿吨和约72亿吨二氧化碳当量（Smith等，2014）。⁸无论碳价水平如何，农业、林业和其他土地用途部门减缓潜力最大的区域均为亚洲（图15，据Smith等，2014）。

无论碳价水平如何，林业都能为减缓气候变化做出重大贡献。碳价较低时，林业在农业、林业和其他土地用途部门总贡献率中所占比重接近50%；碳价较高时，林业所占的比重较低。无论碳价水平如何，林业都是拉丁美洲减缓潜力的中流砥柱。然而不同的林业措施在不同区域有不同的经济减缓潜力。减少毁林是拉丁美洲、中东和非洲的主要林业减缓潜力之所在。森林管理，以及仅次于它的造林，是经合组织成员国、东欧和亚洲的主要减缓方法。

碳价处于低水平的每吨20美元时，农田管理是潜力最大的减缓措施之一。碳价为每吨100美元时，恢复有机土壤的潜力最大。同时，碳价越高，牧场管理和恢复退化土地的固碳潜力就越大（Smith等，2014）。

这些对减缓措施经济潜力的计算大致表明了如何以最具成本效益的方式进行有针对性的干预。但仍然需要进行更加细致的评估以充分评估农业、林业和其他土地用途部门的减缓潜力、对脆弱生产系统和群体的影响以及实施成本。前提是，旨在减少温室气体排放或进行固碳的最佳做法应同时保护小规模生产者的土地权属权利，并有助于实现粮食安全和适应气候变化，特别是最脆弱群体的粮食安全和气候变化适应能力。

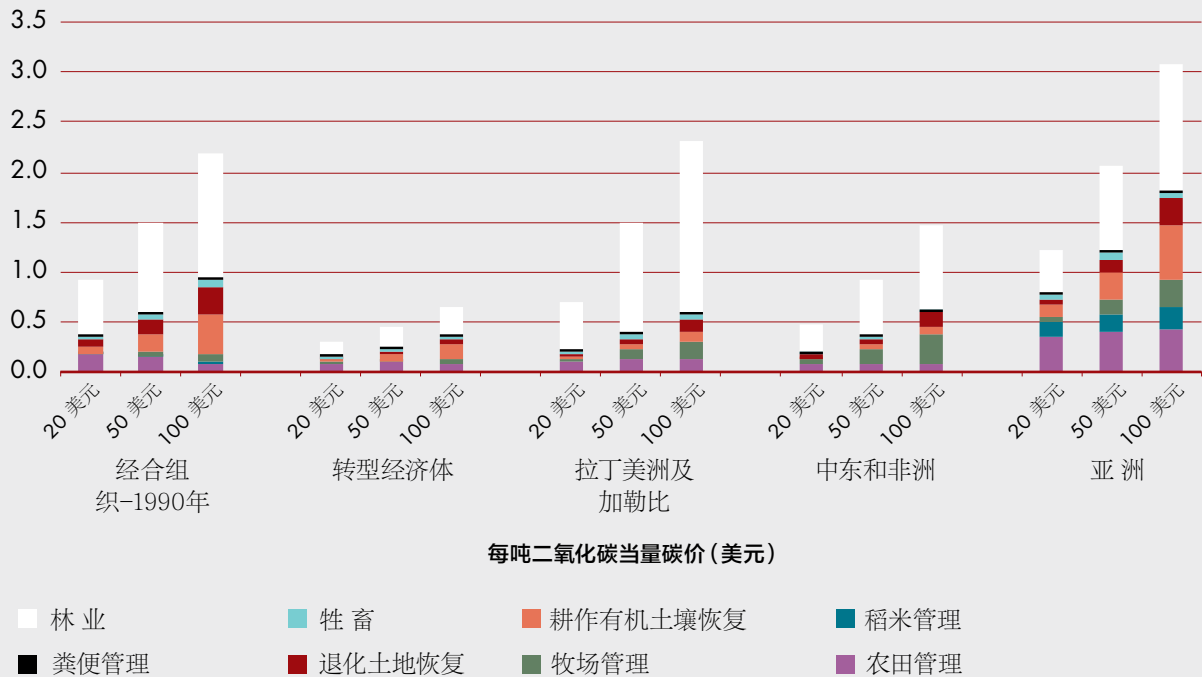
有多种体制手段和经济手段可推动实施农业减排。其中，体制手段包括向农民提供信息，使其了解可创造适应/减缓协同效应的农业生产方式，并在必要时为这些方式的实施提供信贷。经济手段包括向农民提供正面激励，促使其提供并维持碳汇；在氮肥使用过量的国家征收氮肥税，一些经合组织成员国已经采取这一措施以减少硝酸盐污染；并发起供应链倡议，推动低碳足迹食品的销售（Paustian等，2016）。■

⁸ 在IPCC2007年《第四次评估报告》之后，一系列全球性预估相继发布，讨论不同成本水平对应的固碳潜力。各预估之间差异较大。碳价达每吨20美元时，年固碳潜力范围为1.2至30.3亿吨二氧化碳当量。碳价达每吨100美元时，年固碳潜力范围为4.9至106亿吨二氧化碳当量（Smith等，2014）。

图 15

2030年各区域农业、林业和其他土地用途领域的经济减缓潜力

经济减缓潜力 (10亿吨二氧化碳当量/年)



资料来源: Smith等, 2014, 图11.17。

插文 20

粮食系统排放: 供应链各环节的能源使用情况

食品供应链的现代化已经与链前投入(化肥、机械、农药、兽药、运输)和农场后活动(运输、加工和零售)中的温室气体高排放联系在一起。以前Bellarby等(2008)和Lal(2004)的计算和数据为基础进行估计,化肥、除草剂和农药生产,及其生产中使用化石能源造成的排放占2005年全球温室气体排放的大约2%(HLPE, 2012)。

需要使用生命周期分析方法来计算粮食产品消费所产生的排放。这些方法一般会考察从链前投入一直到农场后加工过程中甲烷、一氧化二氮和二氧化碳等温室气体的排放情况以及粮食系统中的化石能源使用情况(例如Steinfeld等, 2006; 粮农组织, 2013b)。算上收获后阶段,约34亿吨二氧化碳当量的排放是由农业食品

链中直接和间接的能源使用造成的(粮农组织, 2011d)。这足以与农业造成的约52亿吨二氧化碳当量排放,以及林业和土地用途变化造成的约49亿吨排放相提并论。粮食系统消耗的能源现约占全球可用能源的30%,而其中70%以上为农场外消耗。

尽管现代粮食系统严重依赖化石能源,但这类系统仍为提高粮食安全做出了重大贡献。然而,如果现代粮食系统要帮助减缓气候变化,则需要在未来发展中摆脱对化石能源的依赖。粮农组织推出的为人类和气候提供能源智能型粮食计划(ESF)采用水、能源和粮食三位一体的方法帮助发展中国家确保在农业食品链各阶段都能够获取充足的现代能源服务、提高能效,并提高可再生资源比重(粮农组织, 2014)。

粮食系统角度：将损失和浪费最小化，促进可持续膳食

减少粮食损失和浪费，以及推动向更加可持续的膳食转型也可以实现减排，并为全球粮食安全做出贡献（Bajželj等，2014）。据粮农组织估计，在每年为人类消费而生产的粮食中，约三分之一会损失掉（粮农组织，2011c），这极大浪费了用来生产粮食的土地、水、能源和投入品，造成了千百万吨不必要的温室气体排放。通过提高食品链的整体效率来减少粮食损失和浪费有助于减少温室气体排放，同时提高粮食可获得性，并增强粮食系统对气候变化的抵御能力。

在低收入国家，由于在收获、储存、运输、加工、包装和销售方面的管理和技术局限，食品价值链各个环节都会发生粮食损失（HLPE，2014）。损失最为惨重的是中小规模农渔生产和加工部门。社会和文化条件，例如男性和女性在价值链不同阶段扮演不同角色，常常成为粮食损失的深层原因。由于女性难以获取资源、服务、就业和参与创造收入的活动，进而难以从中受益，她们在粮食生产中的生产力和生产效率会受到影响，而这会加剧粮食损失的状况。

中高收入国家的粮食浪费主要由消费行为和旨在解决其他行业优先重点的政策法规造成。例如，农业补贴会鼓励生产过多的粮食作物，造成粮价下跌，并导致消费者以及整个价值链对粮食损失或浪费的关注度降低。此外，

食品质量安全标准可能会从供应链中剔除仍然可供人类安全食用的粮食。从消费者层面看，采购计划性不足，以及未能在保质期前将食品用掉也会导致粮食浪费。

膳食结构能够强有力地影响某些推动气候变化的因素。粮食消费增加国的膳食通常包括更多畜产品、植物油和糖。随着收入的增长，预计这一趋势将会继续。多份研究审视了动物源性食品消费带来的环境影响，通常关注的是温室气体排放和土地利用（法国国家农业研究所、法国农业研究与发展国际合作中心，2009；Erb等，2009；Tilman和Clark，2014；Erb等，2011；Van Dooren等，2014）。通过生命周期评估，研究通常得出结论认为膳食中减少动物源性食品有助于减少全球温室气体排放，并且有利于人体健康。

越来越多的证据表明，环境影响较小的膳食结构更为健康。这类膳食的共同特征是，摄取食物多样化、能量摄入和能量消耗平衡；包含豆类、果蔬和适量肉类，以及轻加工薯类和全谷类。健康膳食还包括适量奶制品、无盐种子和坚果，少量鱼和水产品，以及极为有限的高脂肪、高糖分或盐分、低微量元素的加工食品（粮农组织和粮食气候研究网络，2016）。

另一需要考虑的关键因素是现代粮食系统中用于加工食品并将其送到消费者手中所消耗的能源（插图20）。在高收入国家，易腐产品在储存、配送和消费阶段需要耗费大量能源，同时产生相应的温室气体排放。Fischbeck、Tom和Hendrickson（2016）发现，遵守美国的健康体重膳食指南会导致能源用量增加38%，水用量增加10%，温室气体排放量增加6%。原因

在于，这种膳食中水果和蔬菜比重较高，而在美国，水果和蔬菜的能源、温室气体和水足迹较高。这解释了确定环境足迹时考虑生产系统具体特征的重要性，同时说明了降低环境影响和提升膳食健康可能存在不可兼得的情况。

全球固然存在巨大差异，但通过重新平衡膳食，实现营养目标，可减缓温室气体排放，提高粮食系统整体效率，从而带来巨大的共同惠益（Tilman和Clark，2014）。需要对人口和社会差异，包括发展中国家快速增长的粮食消费做进一步研究，以据此制定更好的策略来推广最佳膳食，从而改善健康、减少硝酸盐污染和温室气体排放。需要从多个维度进行区域

和全球级别的生命周期评估，以估算不同膳食转型的适应和减缓效果，包括可能出现的矛盾局面。■

结论

农业、林业和其他土地用途是陆地上碳氮循环的主要驱动力。加强农业、林业和水产养殖业中的碳氮循环管理可实现一举多得，有利于粮食安全和气候变化适应与减缓。各项政策应追求三项相辅相成的目标：

- ▶ 提高农业生产效率，并最大程度降低农场一级的温室气体排放强度；
- ▶ 通过农林管理措施来保护和修复富碳土壤和地貌；
- ▶ 引导粮食系统减少粮食损失和浪费，推广健康膳食。

同时追求这三项目标将有助于发掘适应和减缓的共同惠益。应重新确定粮食和农业政策

优先重点，不再仅仅关注缩小单产差距，而要广泛地关注其他同等重要的目标：保护和恢复土壤以提高其二氧化碳封存能力；改进氮素管理方式以减少排放并提高生产力；提高农场生产效率且同时最大程度减少温室气体排放强度；使粮食系统内损失和浪费最小化并推广可持续膳食；通过多样化策略提高生产系统对气候变化和气候波动的抵御能力。

本章关注农业和粮食系统中适应-减缓一体两面中的减缓方面，第五章将从政策和体制的角度审视农业如何应对气候变化。



第五章

前进方向：调整 政策，建设制度能力

坦桑尼亚联合共和国奇洛卡
一名采用水稻强化栽培系统方法
的农民在查看稻穗。

©粮农组织/Daniel Hayduk



坦桑尼亚共和国卢素姆
地膜覆盖 — 一所小学香蕉园
中用干树叶覆盖地表。

©粮农组织/Marco Longari



主要内容

1 各国在为巴黎联合国气候变化大会（第21届缔约方会议）所准备的国家自主贡献文件中几乎均将**农业作为重要内容**。

2 在这些文件中，各国就农业领域的适应和减缓努力作出了有力承诺。

3 后续行动计划要产生效果，则必须成为农业、农村发展、粮食安全和营养领域全面改革政策的一部分。

4 国际社会必须支持发展中国家提高能力，更好地设计和实施综合性的农业和气候变化政策。

前进方向：调整政策，建设制度能力

第三章和第四章介绍了增强气候变化抵御力和推动气候变化减缓的经济和技术措施。要落实这些措施，必须有适当的政策、制度框架和投融资机制给予推动和支持。这些措施中的许多内容对于一般意义上的农业发展本来就十分重要，再考虑到气候变化，就变得更加必不可少。我们需要对现有政策框架进行调整，以便将气候变化关切纳入其中。除了应对农业和粮食安全本身，政策框架还必须涵盖土地和水资源管理、灾害风险管理、社会保护和研发等诸多领域。

很多国家已制定了全面的气候变化政策和战略，根据各部门在国民经济中的重要性和国家优先重点确立了总体目标和具体目标。但是，目前还鲜有国家为实现气候目标制定了具体行动计划。本章介绍了各国在《联合国气候变化框架公约》下制定的预期国家自主贡献文件中有关农业和土地利用、土地用途变化及林业（LULUCF）的相关政策；探讨了应如何将国家承诺与政策制度对接，以确保有效应对农业发展过程中所面临的气候变化问题。■

农业成为“预期贡献”的关键问题

在2015年12月巴黎气候大会（第21届缔约方会议）上，各国的预期国家自主贡献文件奠定了谈判的基础，推动了气候变化《巴黎协定》的出台。尽管各国承诺将努力实现文件中确定的减缓目标，但是，即使这些目标真的实现了，2030年温室气体排放总水平也要比将全球温升限制在2℃以下这一目标要求的排放水平高出28%。

尽管雄心未达到现实需要的水平，而且要求各国做出具有约束力的国际承诺阻力重重，但很多国家已经开始构思其气候变化行动。根据《巴黎协定》，《联合国气候变化框架公约》各缔约方都要制定并维护国家自主贡献文件，每五年更新一次，并记录在公共注册表中。若某国之前已提交过预期国家自主贡献文件，那么一旦该国批准《巴黎协定》，那么之前的预期国家自主贡献文件将成为国家自主贡献文件。国家自主贡献文件尽管不具有约束性，但将为此后国别层面的气候行动提供指导。该文件不仅包含行动目标，还包括解决气候变化起因、应对气候变化影响的具体战略。

尽管为巴黎气候大会所准备的预期国家自主贡献文件针对的是减缓，但也鼓励缔约方考虑包含适应方面的内容，或介绍本国在制定适

应规划方面所做的工作。截至2016年3月31日，已有188个国家向《联合国气候变化框架公约》提交了预期国家自主贡献文件。⁹所有文件均包括减缓承诺，约70%的文件还包含了适应内容。

粮农组织对第21届缔约方会议前各缔约方提交的预期国家自主贡献文件进行了分析，分析表明农业确实是一项重要内容（粮农组织，2016）。超过90%的国家将农业纳入其减缓和（或）适应贡献计划。此外，发展中国家，特别是最不发达国家在其减缓和适应内容中均对农业进行了特别强调。

► **减缓。**农业¹⁰以及土地利用、土地用途变化及林业是各国减缓贡献计划（包括减缓目标和/或减缓行动）中提及最多的部门。这在发展中国家提交的预期国家自主贡献文件中尤为突出。但是，大部分国家还没有专门针对农业或针对土地利用、土地用途变化及林业制定具体目标，而是将其放到整个经济体的温室气体减排总目标当中。

9 《联合国气候变化框架公约》已收到来自188个国家的161份预期国家自主贡献文件（欧盟代表其28个成员国共同提交了一份预期国家自主贡献文件）。利比亚、朝鲜、尼加拉瓜、巴勒斯坦、叙利亚、东帝汶和乌兹别克斯坦尚未提交预期国家自主贡献文件。2016年4月19日，巴拿马提交了国家自主贡献文件，但该文件不包含在此次分析中。

10 根据IPCC的定义，在温室气体减缓领域，“农业部门”的排放包括肠道发酵、粪便管理、稻米种植、对草原和热带稀树草原的有计划焚烧、土壤等产生的排放（即农业排放）。与森林和其他土地用途有关的排放则被归类为土地利用、土地用途变化及林业领域。

► **适应。**90%以上的发展中国家在其预期国家自主贡献文件中专门有农业适应气候变化的内容，并将其视为一项重大关切。所有撒哈拉以南非洲以及东亚和东南亚地区的国家在其提交的预期国家自主贡献文件中都有适应内容。大部分最不发达国家还强调极端事件是本国适应气候变化的主要挑战，其中80%以上认为干旱和洪水威胁已经迫在眉睫。

许多国家在其预期国家自主贡献文件中强调农业领域适应和减缓气候变化的行动可形成合力，并预计未来还会实现改善经济社会发展 and 环境保护的共同惠益。约三分之一的国家提及了这种共同惠益。31个国家专门提到气候智能型农业。共同惠益涉及的具体领域一方面包括农村发展、改善健康、减贫和就业，另一方面还包括保护生态系统和生物多样性。同时，许多预期国家自主贡献文件还强调，要推动农业生产发展，在降低对气候变化影响的脆弱性同时，还应减少性别不平等现象并为女性赋权。

各国在制定预期国家自主贡献文件时未使用标准模板，因此这些文件的长度、内容和详细程度参差不齐。由于这种差异性，在对比不同国家的优先重点和行动计划时需要谨慎。但无论如何，已提交的预期国家自主贡献文件清晰地表明，绝大部分国家都很重视农业在适应和减缓气候变化过程中的重要作用。但与此同时，从文件中也能清晰地发现，我们需要更好 »

农业与《联合国气候变化框架公约》

对于《联合国气候变化框架公约》下有关农业的讨论人们多有误会，常有人称相关谈判没有包括农业，甚或把农业排除在外。事实上，《联合国气候变化框架公约》涵盖了温室气体排放的所有人为源以及气候变化带来的所有影响。因此，问题并不在于农业是否纳入了《公约》的范围，而是农业的特性是否得到了充分考虑。

以下几项内容有助于促进对农业和粮食安全相关问题予以特别考虑。第一，《联合国气候变化框架公约》认识到了粮食生产的重要性。《公约》第二条阐述了《公约》的目标，其中提到，实现目标的过程中应确保“粮食生产免受威胁”。在第21届缔约方会议上通过的《巴黎协定》进一步认识到“保障粮食安全和消除饥饿的根本性优先事项，以及粮食生产系统对气候变化不利影响的具体脆弱性”。

第二，《巴黎协定》重申了土地利用、土地用途变化及林业在应对气候变化过程中的重要性。出于这一认识，公约框架下形成了多项工作任务，解决如何在核算规则和金融机制中考虑不同碳源和碳汇特性的问题。考虑的主要问题包括区分碳源和碳汇的自然因素和人为因素，以及如何解决碳汇减排中存在的非永久性问题。这一认识也促成2008年一项倡议的出台，该倡议旨在通过向发展中国家支付费用来减少毁林和森林退化（REDD+）。森林在《巴黎协定》中占的分量相当重。第五条提到，通过REDD+方案下的减缓措施，森林在实现2°C以内温升目标中发挥着关键作用。《协定》还认可了森林在实施减缓和适应一体

化措施上的潜力以及在创造非碳惠益方面的重要作用。

第三，2007年巴厘岛会议（第13届缔约方会议）之后，形成了一项专门针对农业的工作任务，主要面向种植业和畜牧业。为推进这项工作，《联合国气候变化框架公约》科学和技术咨询附属机构分别就早期预警机制、脆弱性、适应性和生产力召开了四次主题研讨会。工作成果将在马拉喀什举办的第22届缔约方会议上讨论。

最后，包括上述工作任务在内的所有《公约》框架下的活动都开始普遍认识到需要建立能够体现并适应农业特性的机制和工具。在农业领域对排放和减排（碳源和碳汇）进行评估和监测比大多数其他领域都难。而且目前的各项机制大多针对能源和工业领域制定，而农业领域的从业者数量多，规模小，导致这些机制实施和监测起来困难重重，且交易成本高昂。

此外，《联合国气候变化框架公约》将减缓和适应区分对待，不利于充分评估适应与减缓行动之间的合力和矛盾，而这种合力和矛盾在农业领域尤为明显。正如各国的预期国家自主贡献文件所体现的那样，农业领域的行动与环境、经济和社会问题之间存在着显著的潜在共同惠益或矛盾。这些问题对农业领域来说非常重要，但《联合国气候变化框架公约》下的大多数讨论和机制都没有将其考虑在内。

» 的工具来根据农业的具体特点和情况谋划相应的气候行动（[插图21](#)）。

预期国家自主贡献文件还表明了为何农业领域的适应和减缓行动蕴含的共同惠益特别大。在将意愿转化为行动的过程中，许多国家也对可获取的金融资源的充足性和自身的制度能力表示了担忧。撒哈拉以南非洲国家对这种担忧表达得最多，其预期国家自主贡献文件中关于农业领域的讨论也最细致详尽。■

从意愿到行动：气候变化战略中的农业

国家自主贡献文件是一般性承诺，不具有约束力，也不是行动计划，因此，这些承诺需要转化成国别层面的行动。这就直接涉及到农业和粮食安全的政策制定。但是，这也要求土地和水资源管理等与农业和粮食安全密切相关的一系列领域，乃至灾害风险管理和社会保护领域，在制定政策和采取行动时都要将气候变化考量主流化。挑战在于如何将农业纳入与《联合国气候变化框架公约》直接相关的国家气候变化战略（[图16](#)）。

《联合国气候变化框架公约》框架下已制定了一系列文书，旨在将国际气候变化承诺与国别层面具体的减缓和适应行动对接。

► **国家适应行动方案 (NAPA)** 最初是《联合国气候变化框架公约》制定的由国家牵头专门针对最不发达国家的标准化文书。该计划确定了适应气候变化的优先重点活动，以应对

“迫切需求和近期需求”，即一旦拖延就会加剧脆弱性或导致后期成本增加的需求。到目前为止，已有50个国家向《联合国气候变化框架公约》秘书处提交了国家适应行动方案（《联合国气候变化框架公约》，2016a）。农业和自然资源管理问题在这些计划中占有很重的分量。优先重点项目中数量最多的是农业和粮食安全相关项目（Meybeck等，2012），其中大多数属于以下五种主要类型之一：跨行业机制（包括早期预警机制、灾害管理、教育和能力建设等）、生态系统管理、水资源管理、种植业和畜牧业、多样化和收入。所有的国家适应行动方案均可向最不发达国家基金申请资金，该基金的支配由全球环境基金负责管理。

► **国家适应计划 (NAP)** 重点关注解决中长期适应需求，便于将农业领域和各参与方的各种关切和需求纳入全面的国家战略和政策。巴西、布基纳法索、喀麦隆三个国家已完成了各自国家适应计划的编制，均重点关注了农业领域的适应措施。

► 根据《联合国气候变化框架公约》的定义，**国家适当减缓行动 (NAMA)** 文件由各国政府在可持续发展背景下制定，规定了促进发展中国家减排的适当的国家行动（《联合国气候变化框架公约》，2016b）。与预期国家自主贡献文件相比，国家适当减缓行动文件一般包括更多具体行动，这些行动可以是项目性的，也可以是方案性的、行业性的或政策性的（Wikes、Tennigkeit和Solymosi等，2013）。各国需要对行业政策进行制定或修订并与气候政策和优先重点保持一致。必须构建基准情景，计算不同措施的减缓潜力，并找到阻碍这些措施落实的因素。必须为协调、融资、测量、报告和核证建立制度安排。《联合国气候

变化框架公约》国家适当减缓行动注册表中，约13%的国家适当减缓行动文件与农业、林业和其他土地用途有关（《联合国气候变化框架公约》，2015）。■

气候目标与发展目标相结合的综合方法

国家适应行动方案、国家适应计划、国家适当减缓行动都重视通过适应或减缓来应对气候变化。但是，正如三、四章所述，要取得效果，并实现共同惠益，以上行动需成为更广泛的农业、粮食和营养政策的有机组成部分。

恢复森林、恢复退化土壤、发展气候智能型农业、应用农业生态学、改善水资源管理，都有助于提高生产率以应对粮食需求的日益增长，提高农作系统的抵御力，降低种植业、畜牧业、渔业和林业的排放强度，同时增强土壤与森林的碳封存。然而，正如第三、四章所述，仅在农业领域采取可持续的措施可能不足以确保整个粮食系统的可持续发展并消除饥饿。我们需要做出进一步的努力，提高粮食不安全人口的抵御力，改善他们的生计，并在所有经济领域采取行动，促进温室气体减排，以将全球升温幅度控制在2℃以内。在为贫困人口和粮食不安全人口的收入和就业机会多元化制定农业和农村发展政策时，应结合整个粮食系统的碳足迹政策，例如使饮食偏好与环境目标相协调。

从农业的角度看，采取此类综合性方法首先要了解各种农业生产和自然资源管理做法背

后的原因，了解这些做法对农民生计的影响和对环境带来的后果。这种方法很复杂，而且并非总能找到双赢的解决办法。农业投入品和其他资源的使用、生产力的水平以及自然资源保护或损耗的程度受到政策、市场力量和环境制约因素的影响。这些因素在不同国家差异显著。相对于跨国农业企业，非洲的生计型农民和亚洲的小农面临的制约不同，应对政策与市场信号的能力也不同。正如本报告通篇所示，气候变化所带来的影响在区域间差异巨大，需要根据当地具体情况予以应对。然而，尽管有这些不同，仍然存在一些共通的领域，在这些领域中，气候目标与粮食安全目标之间的矛盾可以得到解决，不同政策领域应团结行动。

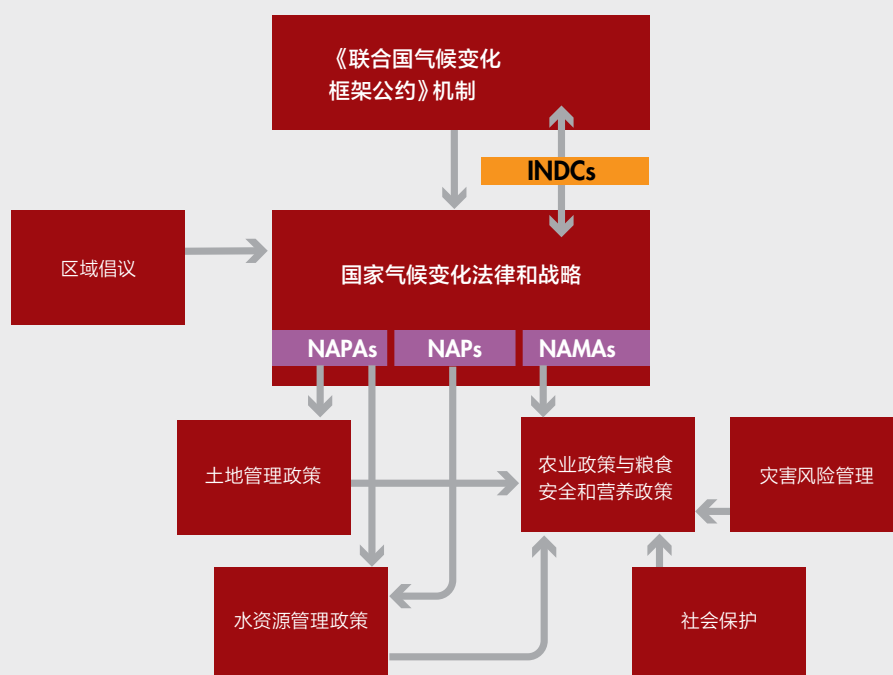
取消对环境有害的补贴及支持措施

2015年，经合组织国家支出2110亿美元用于支持农业生产。同年，在有数据可查的非经合组织国家，用于该领域的支出总共达3520亿美元。¹¹政府给农民和农业企业提供支持，以直接推动农业生产、降低投入成本、补充农民收入，并实现其他的社会、经济和环境目标，例如实现地貌保护、水资源保护、减贫以及气候变化减缓与适应。发达国家与发展中国家的现有生产支持措施大多涉及对投入品的补贴，比如对于肥料和能源的补贴，尤其是对化石燃料的补贴，或者对农民进行直接支付。在经合 »

¹¹ 农业生产支持估计值(PSE)摘自经合组织的生产者与消费者支持估计值数据库(2016)。该数据库包括九个非经合组织国家的估计值：巴西、中国、哥伦比亚、印度尼西亚、哈萨克斯坦、俄罗斯、南非、乌克兰和越南。

图 16

从国际承诺和机制到国家政策和制度



资料来源：粮农组织。

注：INDC = 国家自主预期贡献；NAMA = 国家适当减缓行动；NAP = 国家适应计划；NAPA = 国家适应行动方案。

插文 22

农业与能源政策协调一致的必要性

农业、能源与气候变化政策需要更好的协调一致。在这方面，对用于农业生产的燃料实行低税收和对生物燃料发展进行支持这两个例子最能说明情况。

对农业所用的燃料实行低税收的理由是，在农业中，交通运输燃料是一种重要的生产投入品，并且主要用于非道路用途。然而，对温室气体排放而言，柴油无论在哪儿燃烧，造成的二氧化碳排放都是一样的。因此，对燃料全面减免税收的农业政策与减缓气候变化的努力是不一致的。

另一个能源相关领域生物燃料领域也存在政策一致性问题。生物燃料的发展受多个政策领域的影响，包括农业、能源、交通运输、环境和贸易等，但是这些领域之间往往缺乏明确的协调和政策一致性（粮农组织，2008）。只有当生物燃料的作用与这些政策领域结合起来考虑时，才能确保各目标之间不会相互冲突。

生物燃料的原料生产会与常规农业争夺土地和其他生产性资源，导致粮食价格上涨和波动，进而影响粮食安全与营养。由于生物燃料生产的

经济可行性取决于石油价格，因此能源市场上的波动会传导到农产品市场，影响粮食价格（Enciso等，2016）。

生物燃料政策措施通常通过税收减免、量化目标（包括参混或使用方面的硬性要求）以及贸易限制来实施（Sorda、Banse和Kermfert，2010）。不同措施对于农产品市场的波动有着不同的影响。与量化目标相比，税收减免通过相对价格使农产品市场与能源市场更紧密地联系在一起；因此，采用量化目标时，生物燃料的需求更具可预测性。

生物燃料政策将农产品市场与能源市场联系起来，必须在气候变化政策的大背景之下加以考虑。如果要实施生物燃料支持政策，那么从粮食安全角度来看，硬性要求会比税收减免更为合适，因为此类政策不易受到市场波动的影响。然而，这在很大程度上也取决于硬性要求的高低和税收减免的多少。要特别注意管理税收减免与硬性要求之间的相互作用，这进一步加大了政策协调工作的复杂性（De Gorter和Just，2009）。

- » 组织国家，无论以实际值还是相对值计算，支持措施自20世纪80年代以来均呈下滑态势。以产地收购价计算农产品产值，1986年，支持措施相当于产值的46%，2014年降到只有20%。相反，在有数据可查的非经合组织国家中，大部分国家对农业生产的支持力度正在不断加大。

支持措施如不能与应对气候变化和环境问题的工作协调一致的话，可能会对环境造成意外影响。例如，投入品补贴会造成对合成肥料和杀虫剂的低效使用，加剧生产的排放强度。经合组织国家政府2010年至2012年提供的所有农业补贴中几乎有一半“对环境有极大潜在危害”，因为这些补贴会诱发对化肥和化石燃料的更大需求，从而导致更多的温室气体排放（经合组织，2015）。在经合组织国家，对环境有害的补贴所占比重较1995年的75%已经有所下降，同时符合环境法规的补贴和支付手段比重有所上升。尽管趋势向好，但是除了利用激励措施鼓励采取环境可持续的生产方式以外，经合组织国家还需对总体的农业价格政策进行调整，使之与激励措施相配套。

在发展中国家，当前的趋势是对生产者的价格支持和投入品补贴不断增加。进行投入品补贴通常是出于这样一个想法，即通过降低投入品的成本可以提高单产，改善粮食安全现状。正如第三章所述，在某些情况下，尤其是在撒哈拉以南非洲的部分地区，通过激励政策增加氮肥使用的确可以提高生产率，增强小农生产者的抵御力，实现共同惠益。但是，此类措施并非在所有情况下都会产生良性影响。比如在东亚，那里对于肥料的过度使用非但没有带来生产上的效益，反而对环境造成了严重的影响（Fixen等，2015）。因此，需要进行认

真的评估和政策设计，以避免制定出来的激励政策违背环境目标。

统一农业发展目标与气候目标的一种方法是把采用减少排放、保护自然资源的农业生产方式作为提供农业支持的条件。由于补贴水平很高，作为一种激励手段，重新调整和转变方向的空间很大。然而，如果不共同努力推动气候变化和农业政策与其他领域尤其是能源领域的政策相协调，光靠以上措施是远远不够的（[插文22](#)）。

管理自然资源

另外一个需要政策协同的重要领域是可持续的自然资源管理。优化水土资源的可持续利用需要适当的治理和机制来管理不同目标、惠益和时间跨度之间的协同作用和矛盾之处。为实现农业、能源和林业领域的多重目标，需要有一个大型的土地利用规划，来确定REDD+工作、农业生产和其他用途林业（如生物质能源的生产）的优先重点。

种植业和养殖业是造成毁林和森林退化的最重要产业。在大部分发展中国家，能源产业也与森林有密切联系，有些国家广泛依赖薪柴燃料，尤其是非洲和亚洲的发展中国家；有些则会开发林地生产生物燃料的原料，主要是亚洲和拉丁美洲的发展中国家。因此，气候变化的减缓和适应行动能否成功将主要取决于农业领域与能源领域之间目标的协调统一。为确保国家的积极性和政治可持续性，REDD+也必须有助于实现其他重要经济领域的目标。

支持并促进集体行动

气候变化日益要求各方采取集体行动，需要利益相关方之间进行协调。这就需要制定相应的政策和制度，推动和支持同一个地区内（如同一个流域或同一片森林）或同一个产业内（如整条粮食链内）协调各项行动的设计与实施。在管理自然资源的过程中，尤为重要是推动决策的包容性和透明度，以及采取激励措施，促使各项行动瞄准公共和集体适应惠益（Place和Meybeck，2013）。

例如，为支持地貌恢复，跨产业的协调非常关键。各个机构的工作通常相对独立，甚至有着截然相反的目标。之所以出现此类情况，至少有一部分原因在于机构设置不当，以及在土地使用规划和管理上缺乏机构间密切合作的能力。因此，对于那些处理生态系统和土地使用问题的机构来说，很有必要通过良好的多产业土地使用的方式整合对自然资源的管理，尤其是对森林、树木、土壤和水资源的管理（Braatz，2012）。

为了在气候变化的背景下完善土地和水资源的权属治理，一个很好的做法是开展多利益相关方对话，将女性、贫困人口和边缘化群体的利益考虑进来。例如，过去几十年的经验告诉我们，森林是可以治理好的，森林退化也是可以逆转的，方式就是让当地社区参与其中，并获得通过协商程序产生的合法基层体制安排的支持（粮农组织，2013）。关于森林农民团体（粮农组织和AgriCord，2012）和林业社区组织（例如尼泊尔森林社区用户组织）的例子有很多。社区渔业团体和组织也是如此。

社交网络也是地方治理的重要组成部分，有助于提供应对气候变化的有效措施。由于社会经济的变化，在很多地区，以往存在于土壤和水利工作以及轮垦等系统中的互惠劳动和共同劳动这种传统形式已被部分或完全抛弃了（粮农组织，2013）。若条件合适，在地貌恢复工作中支持或重启此类合作形式可能颇有好处。鼓励非正式的社交网络以分享适应措施方面的信息和经验也有助于构建应对气候变化的社会复原力。此类网络能够在监测、跟踪与早期预警系统的建设中发挥重要作用。

管理风险

气候变化正在带来新的风险并改变已有风险（粮农组织和经合组织，2012）。IPCC也强调，要把加强对实际风险的管理作为适应行动的一个重点。这需要针对具体行业和（或）具体风险制定合适的制度和政策。气象站、天气与气候预测工具、单产响应模型、环境监测工具和脆弱性评估都有助于弄清未来当地的气候条件将如何变化，并预测其对生产的影响。这些工具对于建立可靠的早期预警体系、评估适应措施都十分的必要。

要制定全面的风险管理策略，需要对气候不确定的条件下不同风险管理工具的稳健性有一个清楚的了解（Antón等，2013）。同时也需要从全球层面到地方层面的公共部门、私营部门和民间社会协调行动（世界银行，2013）。各国政府可建立机制，推动积极综合的风险管理，例如成立国家层面的委员会，在地方和全球层面的风险监测、预防、控制和应对机构之

间进行风险管理战略的协调，还可通过激励政策引导民营部门参与风险应对。正如第三章中所强调，那些保证最低收入或食物来源的社会保障项目非常重要，但是需要与其他形式的气候和灾害风险管理充分对接（插文23）。

同时也需要出台相应政策，通过安全的储蓄存款、低价信贷和保险等手段减少金融风险，降低交易成本，便利金融交易，确保金融服务的可获得性，以及促进长期投资。还应该解决并支持小农和家庭农民对于购买肥料和种子等所需的周转资金以及中长期投资这两类资金的需求。

最后，各项政策和制度必须积极支持生计策略的多样化。对于小农和家庭农户来说，面对气候变化，生计多样化是最有效的风险管理策略之一。根据具体情况，生计多样化既可以包括土地使用的多样化，也可以包括收入和劳动的多样化。因此，农业和农村发展政策要将生计多样化有机整合为政策的重要部分，地方制度则应通过更好地提供信贷、保险、信息和培训来推动政策的落实。

建立制度、制定政策，建设更低排、更具抵御力的系统

由于各国在预期国家自主贡献文件中同时强调减缓与适应，所以要在控制温室气体排放的同时支持粮食生产者适应气候变化，这必须成为一项优先重点。为引进新的、更具抵御力的生计，农民、牧民、渔民和林民需要一个可以支持此项改变的制度环境。然而，当前此类

有利政策和制度环境非常缺乏，对于小农生产者来说尤其如此。

用来支持农业生产收益增长与稳定的制度安排也非常必要。农业投入品与产出品市场在此起到了核心的作用，但是其他制度，如农村信贷与保险项目、农业推广、土地与水资源权属安排以及投入补贴项目等，都扮演了重要角色，或支持或者阻碍小农向更具抵御力的体系过渡（见第三章以及：McCarthy、Best和Betts，2010；Asfaw、Coromaldi和Lipper，2015；Asfaw等，2015；Asfaw、DiBattista和Lipper，2014；Arslanet等，2014；2015；Arslan、Belotti和Lipper，2015）。

为使粮食生产者获得适应气候变化所必需的投入品和技能，并能够销售出多样化活动的产品，在气候变化的背景之下，建立起小农与当地、本国、本区域市场之间稳固的联系尤为重要。发展此类市场联系也要求投资于中小型粮食加工者，投资于小规模零售商和批发商。也可能需要政府干预，以降低进入市场的交易成本，制定监管工具，缩小小农及小农组织与其他合同方在经济和政治力量上的差距。■

加强区域与国际合作

跨境问题

应对气候变化通常需要对自然资源进行联合管理，这就可能涉及跨境行动。而且，气候变化会增加病虫害的传播，也会增加产品由一 »

减少灾害风险，促进粮食安全与营养

要增强抵御力就需要改变传统的减灾做法，不再仅仅在极端事件发生后再作出反应，而是充分重视减灾工作，对风险进行积极管理。平均每年，所有的人道主义资金中只有不到5%用于备灾、防灾；只有不到1%流入那些最需要帮助的国家。2010年和2011年所有部门的官方发展援助中投资于减灾的款项只有0.4%左右（联合国国际减灾战略/经合组织，2013）。

粮农组织在很多时常出现极端气候和发生其他相关事件的国家制定并实施了减灾行动（相关案例可参见：粮农组织，2016）。粮农组织所采

取的方式有四个相辅相成的支柱，这些支柱与《仙台减灾框架》相一致。这些行动旨在：

- ▶ 强化应对灾害风险与危机治理的能力，加强这方面的法律和规划框架建设，从而创造有利的环境；
- ▶ 进行具有针对性的风险监测和早期预警，了解风险，为决策提供参考；
- ▶ 因地制宜地制定措施，预防、减缓自然灾害和自然灾害的影响；
- ▶ 增强制定预案、紧急响应、灾后重建的能力，加强在这些方面的协调与规划。

知识空白与数据挑战

气候变化也改变了风险环境，在粮食生产者业已面临的风险之上又增加了一层不确定性。我们需要填补重要信息和知识方面的空白，比如季节内天气预报。需要投资基础设施，以测量、记录、储存、传播天气变量方面的数据，并按照符合需要的空间和时间范围提供天气预报和季节性气候预测。要使气候预测更加有用、使用起来更加方便，就要在气象与水文服务机构、农业研究机构和推广机构之间建立伙伴关系。

为了更好地协调各方行动，农业模型比较与改进项目作为一个很重要的倡议将全球各地的建模工作联系了起来。该模型主要关注气候、种植业、畜牧业和经济，凸显了现存的知识空白，提供了填补知识空白的方法。例如，最近出现了一些关于气候变化对植物虫害和病原体（Bebber、Ramotowski和Gurr，2013；Gregory等，2009）及其天敌（Thomson、Macfadyen和Hoffmann，2010）产生影响的文献，但这些文献并未纳入到气候变化对农业影响的预测之中；而该项目已认定这些文献将对今后的模型开发具有重要作用（Rosenzweig等，2014）。

为支撑对气候变化实际影响的预测和监测，以及支持抵消此类影响的行动，所提供的数据应该有助于更好地了解各类过程，包括：排放的社会经济推动因素；排放；地球观测；对生态系统和经济活动的影响；适应行动；减缓行动。所有这些领域中仍然存在较大的数据空白，尤其是在那些没有能力分析时间序列数据、预估主要部门排放量、充分利用地球观测结果的发展中国家。因此，各国需要获得支持，优化本国国家统计局系统，尤其是要加强发展中国家的能力，以更好地运用社会经济、地理参照数据和综合经济模型来评估气候变化风险。

要填补这些知识空白并向利益相关者传递信息，国际和区域合作是关键。粮农组织统计数据仓库FAOSTAT每年都会更新各国在农业、土地利用、土地用途变化和林业领域的排放量测算结果。粮农组织也通过一些门户网站和专业产品发布地理空间信息，例如GeoNetwork（“地理网络”）、Harmonized World Soil Database（世界土壤数据库）以及Collect Earth——一种可以通过谷歌地球来收集林业数据的新工具。

- » 国向另一国的流动。这就要求我们加强区域与国际合作，促进知识交流，管理共同资源，重视并交换动植物遗传资源。

农业依赖的很多资源，如水、鱼类和生态系统，从本质上讲都是跨境的。环境的变化会改变此类资源的可获得性，也会导致物种、人类和人类活动的迁徙，因为他们需要主动去适应这些变化。此外，诸如森林火灾、物种入侵、病虫害等极端事件也跨越了国界。那些致力于预防和管理气候变化影响下特定风险和脆弱性的政策、制度多属于地方和国家层面，但是国际合作与国际层面的工具可为这些政策和制度提供有效支持。

因此，对自然资源变化以及农业和粮食安全风险进行监测与管理的多国与区域行动对于解决气候变化至关重要。农业领域重要的跨境合作有：

- ▶ **区域渔业团体、机构和网络**，通过合作共同对跨境渔业资源进行适应性区域管理，对鱼类疫病进行区域控制。例如，在西太平洋的赤道水域对鲑鱼和黄鳍金枪鱼的工业化渔业管理，将捕获量控制在可持续的界限内，并优化经济利益的分配。
- ▶ **区域林业委员会**，负责协调具有跨国影响力且通过区域内各国联手能够更加有效的行动。此类联合行动包括有关森林火灾与物种入侵的区域倡议，以及进行林业资源评估的区域合作。
- ▶ **跨境水资源管理机构**，比如尼罗河流域倡议、湄公河委员会，可以帮助在区域性流域内形成水资源需求的共同愿景。

- ▶ **区域性项目**，例如抗击非洲荒漠化的“绿色长城”倡议。
- ▶ **区域性和全球性的早期预警系统**，比如粮农组织的全球信息及预警系统和动物卫生紧急预防系统。
- ▶ **粮农组织沙漠蝗虫防治委员会**，包括64个国家，加强了近30个国家对沙漠蝗虫的监测控制能力，以及应急规划、人员培训和环境安全方面的能力。

贸易在减缓与适应工作中的作用

高效的国际贸易体系对气候变化的减缓与适应都非常重要。气候变化对全球的生产模式和粮食与农产品的国际贸易模式都会产生深远的影响。对于那些遭受着气候变化不利影响的地区来说，贸易可能是减缓策略的一个组成部分。贸易限制，比如关税和非关税壁垒，限制了全球农业生产对气候变化下供需变化的应对，应该降到最低水平。然而，根据预测，低纬度地区受到的此类影响会更加严重（见第二章），所以气候变化很有可能加剧发达国家与发展中国家既有的不平衡。气候变化使我们更需要帮助发展中国家应对粮食和能源价格上涨以及粮食供应波动。

现有的贸易政策框架远远无法适应当前的气候变化。例如，国际谈判中的贸易措施在促进气候变化稳定方面的作用还不清楚。对于世界贸易组织现行贸易规则究竟是能推动实现气候目标、还是会威胁业已达成一致的气候措施，目前仍未形成共识（Early, 2009）。事

实上，根据现行世贸组织规则，各类气候变化减缓政策若被认为扭曲贸易，是可以被投诉的。举例来说，可能被投诉的政策有：为森林和土壤固碳等环境服务支付费用；单边措施，例如碳税或者限额交易制度；相关的边境调整措施，如根据产品的碳含量或生产方式对未实施同等减排措施国家的进口产品征收关税。

要就贸易规则与环境目标的统一达成国际协议，关键是要解决人们的担忧，即气候措施可能会扭曲贸易，或者贸易规则可能会阻碍气候变化工作取得更大进展（Wu和Salzman，2014）。■

结论

在《联合国气候变化框架公约》第21届缔约方会议筹备过程中提交的预期国家自主贡献文件中，很多发达国家和发展中国家都明确表达了决心，表示要确保农业从减缓与适应两个角度有效应对气候变化。这一决心必须转化为实际行动。这个过程需要多方面的支持，包括有利的政策、制度环境以及区域和国际合作。制定行动计划时，必须有这样一个认识，那就是在减缓、适应、粮食安全、自然资源保护之间存在着重要的协同效应与权衡取舍。创造共同惠益需要所有相关领域间的相互协调。

遗憾的是，农业发展计划与针对气候变化和其他环境问题的行动之间普遍缺乏协调和统一。这导致了资源利用效率的低下，影响了综合管理的实施，而综合管理对于解决气候变化威胁、提高粮食生产率、增强脆弱家庭的抵御

力则至关重要。同时，还需要认识到，对气候变化影响的评价面临诸多不确定性，受制于巨大的知识空白。为了给政策制定工作提供更好的参考，需要做出更多的努力来优化评价工具、填补知识空白，例如改善统计体系、加强气候预测和监测能力（插文24）。

同样，在向可持续的气候智能型粮食系统转型的过程中，为确定这项工作需要多少资金，也必须打破减缓、适应、粮食安全、营养与自然资源政策之间相互割裂的状态。下一章将讨论气候变化行动如何与农业融资衔接。



第六章

为未来的工作融资

布基纳法索得勒比西

由粮农组织分发中心向某一遭受干旱地区提供的动物饲料袋。

©粮农组织/Issouf Sanogo



布基纳法索吉博

暴雨之后位于吉博与多里之间的沙漠。

©粮农组织/Giulio Napolitano



主要内容

1 针对气候变化适应和减缓行动的国际公共融资在农业领域整体融资当中所占份额不断增长，但仍旧较小。

2 有必要增加气候融资，为发展中国家落实农业领域的气候变化行动计划提供资金。

3 如果推动转型变革的政策和制度框架已经到位，则国际公共气候融资可发挥催化剂的作用，为可持续农业的发展带来更多的公共和私营资金流量。

4 能力限制目前制约着发展中国家获取和有效利用农业领域气候融资。

5 创新型金融机制能够加强金融服务机构管控气候变化相关风险的能力，有助于为气候智能型农业筹措投资资金。

为未来的工作融资

本报告前面几个章节强调了农业领域气候变化减缓和适应措施的效益。大部分适应措施与促进农村整体发展的措施类似，但设计过程中应侧重不断变化的气候条件及相关风险、制约因素和机遇。在建议的农业措施当中，大部分成本较低，并且同时具有减缓和适应效益，使其成本效益得到提升。

第三章显示，小农农业的适应行动成本与其效益相比微不足道，从而为充足的气候融资分配提供了有力依据。第四章说明了气候智能型发展产生的减缓协同惠益，第五章阐述了各国在其预期国家自主贡献文件对农业领域适应和减缓行动所给予的高度重视，这两章内容为增加资金支持提供了更加充分的理由。本章讨论融资在农业领域气候变化适应和减缓行动方面的作用，以及如何更加有效地利用国际和国内公共融资支持适应和减缓行动。■

农业气候融资

仍然相对较小，但有催化作用

“气候融资”没有统一的定义。它可以被宽泛地定义为所有推动实现气候变化适应和（或）减缓目标的资金，不论来源是什么。但是，由于公共部门和私营部门的融资在为气候

变化适应和减缓行动筹措资源方面的作用可能是相互补充的，因此对二者加以区分较好。

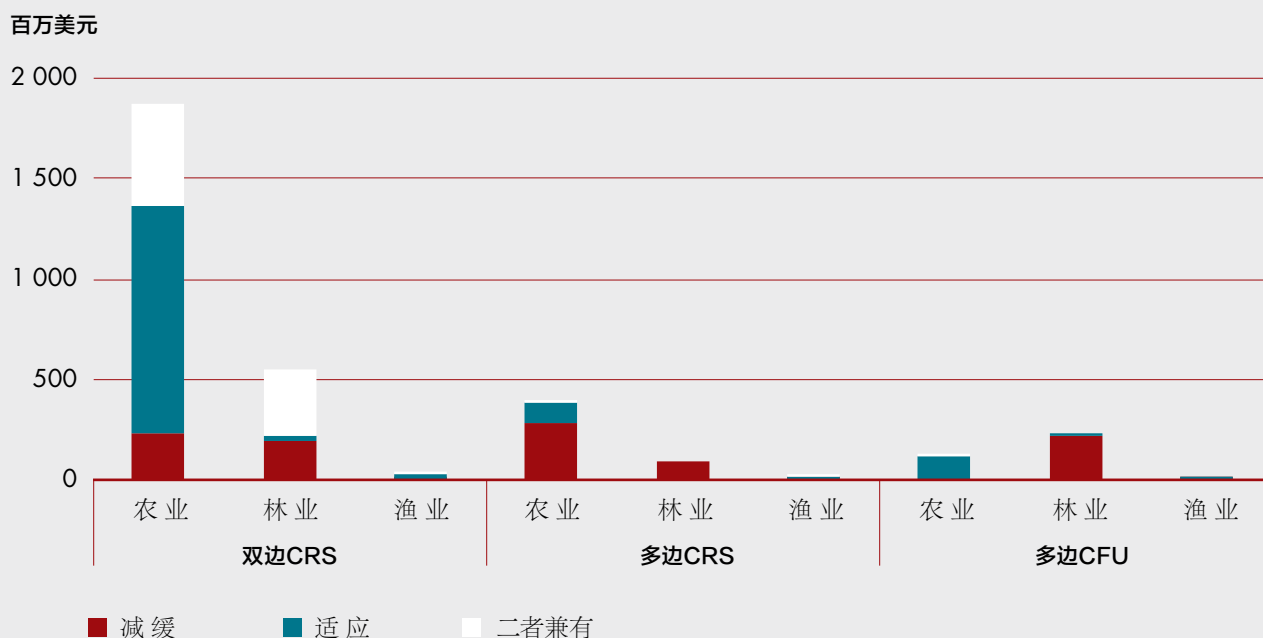
虽然难以追踪，但现有估算结果显示私营部门是迄今为止气候变化适应和减缓行动资金的最大来源，在2014年用于应对气候变化的3910亿美元当中，约62%来自私营部门（Buchner等，2015）。无论经营规模大小，农民都是最大的农业投资者，他们对农村基础设施和农业研发的投资是政府投资的数倍之多。大部分农业投资来自于国内的公共或私营部门资源，仅有一小部分来自于国际渠道（粮农组织，2012）。然而，虽然国际公共融资的规模较小，却可发挥催化作用，带动农业领域的私营部门投融资，包括气候相关投资。

针对农林渔业气候变化减缓和适应行动的国际公共融资最初水平较低，但自2002年以来大幅增长。至2014年底，已经达到近40亿美元（Norman和Hedger，2016），并且总体官方发展援助当中约12%用于气候相关投资（经合组织，2015a）。与发展中国家政府的国内农业总支出相比，这个数字仍然很小。2012年发展中国家农业支出总额约为2520亿美元。¹²然而，如果使用恰当，气候相关融资有助于引导其他农业发展融资渠道的投资向有利于农业领

¹² 对约100个发展中国家进行估算的结果，数据来自国际粮食政策研究所（2015），利用联合国（2013）文件、根据2005-2012年定值美元进行调整。

图 17

2010–2014年国际公共融资各渠道对各领域减缓和/或适应行动的投入



注：CRS = 经合组织的贷方报告系统；CFU = 海外发展研究所的气候金融更新网。已做出调整以避免重复计算。详见第六章附件。
资料来源：双边和多边CRS估算来自经合组织（2015a），多边CFU来自海外发展研究所（2015）。

域气候变化适应和减缓行动的制度和、技术和措施倾斜。

农业领域国际公共气候融资趋势¹³

如第五章所述，国际公共气候融资随着《联合国气候变化框架公约》进程中所作的递增性承诺逐步增长。其“构架”可以这么理解：一方面是双边和多边发展融资机构专门为气候变化减缓和适应行动提供的资金；另一方面是多边气候专项基金，如专门为支持气候行

动创立的绿色气候基金。此处关注的是这些来源渠道为农业（种植业和养殖业）、林业和渔业领域的气候变化适应和减缓行动提供的资金。

2010至2014年间的资金承诺数据显示，双边发展援助是农林渔业气候变化适应和减缓行动国际公共融资的主要来源。农业的双边资金承诺为年均19亿美元，森林保护为5.527亿美元，渔业为3750万美元。双边气候资金承诺远远超过多边（图17）。

在全球范围内，减缓行动的国际支持水平大大高于为适应行动提供的资金（Norman和Nakhoda，2014）。然而近年来出现了重心向适应行动转移的趋势，尤其是双边捐助方。虽然多边资金的重心也在向适应行动转移，但

¹³ 本节依据的是Norman和Hedger（2016）为《2016年粮食及农业状况》编写的背景文件。

2010至2014年间在多边资金中占据主导地位的仍是减缓行动，约占农林渔业领域资金的70%。虽然双边捐助方正在转向同时有助于减缓和适应目标的森林干预措施，但森林保护工作与减少发展中国家毁林和森林退化所致排放量（REDD+）机制主要是作为减缓机会而得到资金的。为渔业提供的资金主要用于适应行动和增强抵御力。

适应和减缓资金的区域分配存在差异。由于双边气候变化资金中约有五分之一资金的区域分配没有指定或情况不明，因此很难进行准确计算。在剩余的五分之四资金当中，来自气候专项基金的资金中约62%用于拉丁美洲及加勒比，反映出该区域在森林减排方面拥有的重要机遇。适应资金最集中的是预计受气候变化影响最大的撒哈拉以南非洲，该区域在2010至2014年间获得了已批准气候专项资金中的54%。双边捐助方也将近一半适应资金分配给撒哈拉以南非洲。虽然双边捐助方的资助重点是对粮食安全比较脆弱的国家，但最脆弱的国家目前却没有获得这些资金，这主要是因为捐助方对这些国家消纳发展援助并从中受益的能力存在担忧。

双边捐助方和多边气候专项基金表示高度重视能力建设，包括在各个农业领域完善政策和行政管理以及加强制度建设。该重点在林业领域最为突出。林业中57%的双边资金和75%的多边专项资金被用于支持政策和行政管理，尤其是用于REDD+的筹备阶段，这方面的资金主要用来协助政府制定国家REDD+计划和战略。渔业的情况类似，43%的双边气候资金和90%多的多边气候资金用于完善政策和加强制度建设。

虽然针对农业部门的双边气候资金和多边气候专项资金分散于各个子分部门当中，但其中大部分则被用于支持实现农业发展及农业政策和行政管理目标。约40%的双边农业气候资金被指定用于农业发展这个大领域，但这其中捐助方最关注的是农村发展。具体而言，双边捐助方致力于通过改善灌溉和价值链以及推动包容模式的订单农业发展，支持小农摆脱自给型农业，生产出可供销售的剩余产品（Donor Tracker, 2014）。支持低碳和具有抵御力的种植业和畜牧业的气候专项很少，仅占种植业双边资金总额的4%和畜牧业双边资金总额的0.1%（现有资金利用情况举例见插文25）。

在多边基金方面，全球环境基金是最大的资助气候变化减缓行动的基金之一。该基金向《联合国气候变化框架公约》第21届缔约方会议报告，自1991年成立以来已资助了839个气候变化减缓项目，为167个国家提供资金总计52亿美元，筹措的共同供资总计325亿美元。全球环境基金致力于开发长期的、可持续的森林保护方式。截至2016年6月，全球环境基金支持了430多个森林相关项目，赠款总额为27亿美元，筹措的共同供资总额为120亿美元。对森林的供资正在稳步增长。在第五次充资（GEF-5）的四年间，作出了7亿美元的赠款承诺。在第六次充资（2014-2018年）的前两年内，已通过52个项目和计划提供了5.66亿美元赠款，以提高各种类型森林的经济、社会和环境价值。此外，全球环境基金还启动了一项4500万美元的综合计划，其目的是在商品供应链中消除毁林。 »

气候专项基金与农业

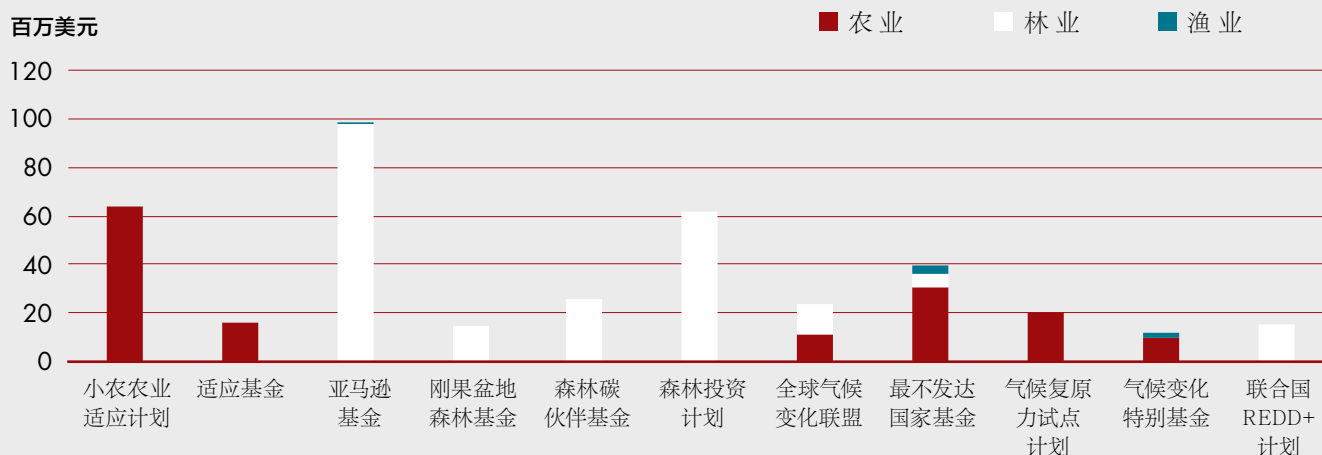
多边专项基金虽然在资金数量上少于双边基金，但却以气候变化适应或减缓成果为首要目标，而双边资金却并非全部如此。多边基金支持的很多气候变化减缓和适应行动，是现有官方发展援助所支持的发展计划没有涵盖的。2010年以来，至少有13个多边气候专项基金投资于农林渔业项目或计划。这些基金的规模差异显著（见图）。虽然双边和多边气候融资使用了多种金融工具，但赠款仍占主导地位，尤其是在多边气候专项基金和双边捐助方当中。

对于农业而言，最为重要的基金是国际农业发展基金（农发基金）的小农农业适应计划（ASAP）和全球环境基金（GEF）管理的《联合国气候变化框架公约》最不发达国家基金。小农农业适应计划于2012年启动，旨在将气候变化适应在农发基金投资计划内主流化。该计划所有经批准的资金都用于支持低收入小农农业适应气候变化。通过与农发基金的投资业务相结合，影响十分突出。该计划的经验表明，必须早早地对投资进行共同规划，而不是对业已筹备到一定程度的项目进行“改造”。同时要确保气候干预措施成为规划的有机组成部分，而不是一项独立的工作或步骤。

最不发达国家基金专门支持最不发达国家适应气候变化，其措施包括明确主要脆弱性和适应需求，以及提高认识和共享知识。该基金约33%的经批准资金安排用于实现农业、粮食安全和可持续土地管理方面的成果。

支持森林保护的架构在设计上主要是为了支持REDD+机制的三个阶段，从REDD+筹备阶段直至核证减排阶段，根据结果进行支付。主要的国际多边林业基金包括森林投资计划、森林碳伙伴基金（FCPF）、全球环境基金和联合国REDD方案。2010至2014年间，联合国REDD方案平均每年批准1560万美元，森林碳伙伴基金的筹备基金平均每年批准2600万美元。这两项气候专项基金均向伙伴国提供规模较小的赠款（约500万美元），用于能力建设和筹备活动。森林投资计划在2010至2014年间平均每年批准6160万美元，因此成为最重要的森林融资来源。该基金为早期政策和能力建设阶段之后、展示已落地的成功项目并取得核证减排量之前的过渡阶段提供资金。在国家和区域专项基金当中，亚马逊基金是亚马逊生物群系各项森林保护计划的重大公共资金来源。

2010–2014年多边气候专项基金（各领域年均资金承诺）



资料来源：海外发展研究所，2015。

» 融资需要和融资前景

图17显示在2010至2014年间，针对农业领域适应和减缓行动的国际公共融资为平均每年33亿美元。当前对农业领域适应成本的估算结果各不相同，但普遍远远高于目前农业领域可由公共渠道获得的国际气候融资。世界银行预计仅农业领域的适应成本就将达到每年70多亿美元。这些资金将用于推动农业研究、提高灌溉效率和扩大灌溉面积、建设道路等方面的投资，以抵消气候变化对卡路里摄取量和儿童营养不良造成的影响（Nelson等，2010）。如果将改善农业推广服务的成本计作应对气候变化的成本，则预计成本会更高。如果将适应措施协同惠益以外的温室气体减排成本计算在内，则每年的融资需求将增加数十亿美元。¹⁴显然，农业需要提高融资水平，使之与各国的适应需求和减缓目标相匹配。如果能够带动其他现有资金来源，并非所有融资都必须是国际公共融资（见6.2节）。然而，如果农业没有获得充足的国际公共气候融资，则这种带动效应将很难实现。在此对未来此类资金可能具备的规模进行评估。

绿色气候基金（GCF）是最大的国际气候基金，旨在均衡分配用于减缓和适应行动的资源，在一些预期国家自主贡献中被称为主要资

¹⁴ 根据第四章介绍的IPCC提出的减缓行动经济潜力，实现10亿吨二氧化碳当量的年减排量（这只是在每吨二氧化碳当量20美元的较低预计成本条件下经济减缓潜力的一小部分）每年将花费数10亿美元。减少毁林造成的排放被视为最具成本效益的方案，但在不计交易成本的情况下通过这种方式实现的每吨二氧化碳当量减排量预计每年仍将花费4到10美元（Cattaneo等，2010）。如果各国根据气候目标提高政策一致性，则资金成本可能降低，但仍将存在一些各目标相互冲突的地方，这也需要通过融资来解决。

金来源。截至2016年5月，各国已向绿色气候基金认捐103亿美元，其中99亿已转至该基金。预计到2020年这笔资金将增长至每年为发展中国家提供至少1000亿美元的气候资金。对农业领域的投资与该基金的优先重点完全一致，其八项战略性基金层面影响当中有四项与农业直接相关。这种一致性的进一步体现是，2015年11月该基金批准的首批八个项目当中有四个与农业相关，2016年6月批准的九个项目中有五个与农业相关。

除绿色气候基金之外，2015年12月在巴黎召开的《联合国气候变化框架公约》第21届缔约方会议上宣布了新的认捐数额，其中至少56亿美元的认捐资金针对的新老倡议或基金能或多或少地用于支持农林渔业计划。另外127亿美元认捐资金将用于其他领域，主要是能源和保险，还有1260亿美元捐款未指定目标领域。然而关于这些认捐所涉时间段的信息有限。

近来，对综合性森林和农业领域计划的支持出现增长。全球环境基金宣布了30亿美元新的气候融资承诺，用于其下各个重点领域，其中至少3亿美元被指定在今后四年内用于沿海和海洋问题。另外2.5亿美元将交由该基金的可持续森林管理/REDD+激励机制使用，这笔资金将调动来自其他重点领域的7.5亿美元赠款，应对毁林和森林退化背后的推动因素，同时支持森林在国家 and 地方可持续发展计划当中发挥作用。约有4500万美元将用于应对毁林的全球性关键推动因素，主要是增加以可持续方式管理的商品的供应，另外1.16亿美元将用于促进改善撒哈拉以南非洲的粮食安全状况、增强其抵御力和加强固碳（[插图26](#)）。

增强撒哈拉以南非洲的可持续性和抵御力

作为第六次充资的内容之一，全球环境基金启动了“综合方法试点（IAP）”，其旨在增强撒哈拉以南非洲的粮食安全可持续性和抵御力。该计划总计资金1.16亿美元，通过在12个国家开展的项目促进自然资源的综合管理，保障生态系统服务。这些项目将改善土壤健康状况、提高耐旱作物品种的可获得性、调整播种期和种植内容、增强农场的农业生物多样性，以此帮助小农增强对气候变化的抵御力。

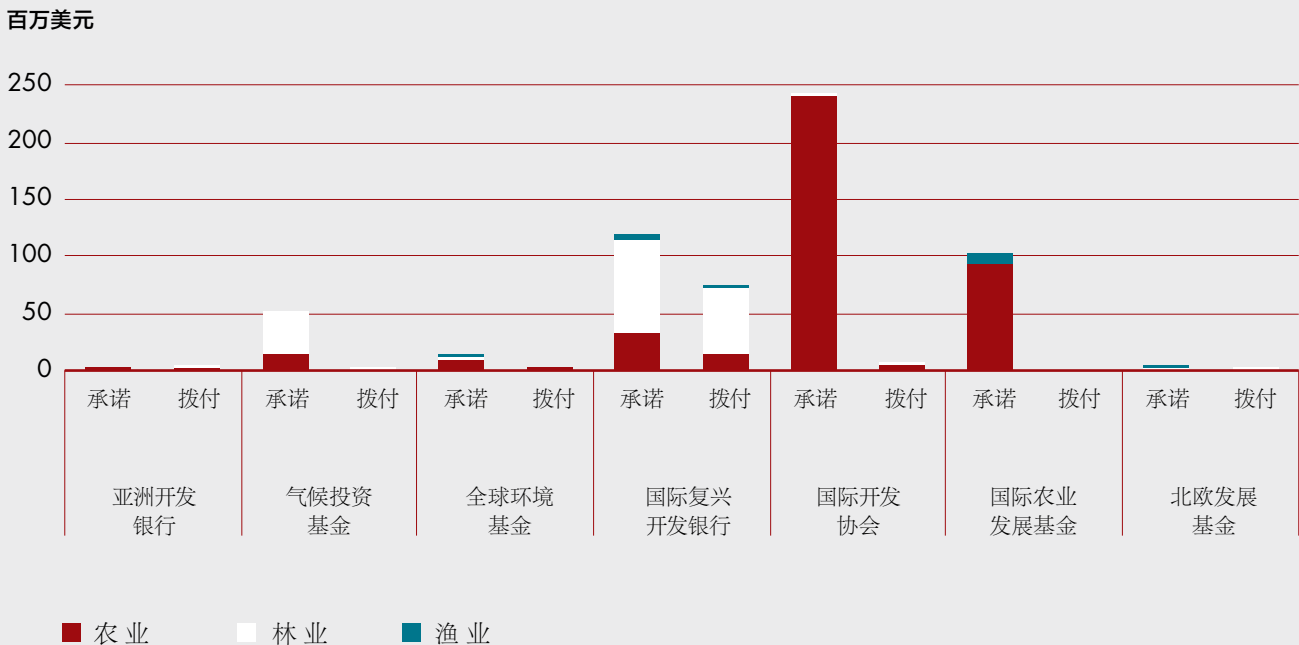
这些项目将由一个区域中心支持，该区域中心将建立或加强多方利益相关者框架，使国家和区域层面的小农团体、私营部门实体、政府和科

研机构参与其中。该中心项目将寻找、记录和传播最佳管理措施，以便为区域和国家政策提供参考，并在国家层面提升和推广可行的方法。

综合方法试点由农发基金牵头，参与机构包括粮农组织、联合国环境规划署和联合国开发计划署。伙伴国包括布基纳法索、布隆迪、埃塞俄比亚、加纳、肯尼亚、马拉维、尼日尔、尼日利亚、塞内加尔、斯威士兰、坦桑尼亚和乌干达。

图 18

2010–2014年各领域年均多边承诺和拨付



资料来源：经合组织，2015a。

» 能力挑战：从承诺到行动

尽管对未来的预测存在不确定性，但显而易见的是，解决农业面临的气候风险所需的资金与可用的资源之间存在着巨大的缺口。然而，可用资源量并不是诸多发展中国家所面临的唯一制约因素。很多国家还在获取资金和有效安排已得资源方面遇到困难。

经合组织（2015b）提出，国家在为气候变化适应工作筹集资金的过程中面临六大挑战：（a）对适应工作的必要性认识薄弱，对相关资金渠道认识不足；（b）难以履行各基金要求的程序，达到基金的标准；（c）设计和开发项目或计划以及跟踪和评估进展的能力水平较低；（d）可用的气候信息有限，获取困难；（e）政策、法律框架、监管框架和预算之间缺乏一致性；（f）缺乏由多利益相关方以透明程序确定的清晰的优先事项。

获得资金后，实施阶段也可能出现问题。例如，分配和审批资金需要时间，而且很多国家在有效管理资金上存在能力限制。这些限制因素包括，低收入国家的公共财政体系消纳能力弱，导致拨付速度低下。

来自各捐赠者的报告显示，农业领域的捐款承诺大大高于拨付金额。发放给接受方或实施单位的拨付款项或融资一般在整个项目周期中分批发放，通常落后于承诺水平。多边捐助者的付款期更长，因为方案审批和实施过程以及资金划拨过程都十分漫长。一些国家虽然已经成功筹集到了资金，但他们当中大多数还是面临着拨付方面的制约因素，而且这个挑战会

阻碍目标的达成和效果的实现（见图18，以及Norman和Nakhooda，2014）。

关于审批过程所带来的挑战，可以拿绿色气候基金举例。绿色气候基金的获批项目低于预期数量。对2015年11月批准的首批8个项目的供资仅为1.68亿美元，项目总成本为6.24亿美元。绿色气候基金理事会定下目标，要在2016年承诺25亿美元供资；2015年6月，9个项目获得批准，总计成本5.85亿美元，其中绿色气候基金的资金为2.57亿美元。批准率如此之低，是因为绿色气候基金作为一个新机构面临着挑战，直接获得资金的机构及其国家存在能力制约，绿色气候基金秘书处存在人员制约，以及无论项目类别和规模一律执行严格的项目筹备要求。

绿色气候基金目前已采取若干新措施，有望加速项目筹备和审批流程。基金制定了综合筹备方案和准备工作支持计划，为国家指定的部门和实体提供能力建设；同时已行动起来，计划在2016年底前将绿色气候基金的员工人数从45人扩充至100人。在2016年6月的会议上，绿色气候基金理事会通过了项目筹备基金的运行指导方针以及针对低风险或无风险微小项目供资提案的简化流程。这些新举措将加快项目审批进程。

能力方面的制约因素对资金提供方和接受方都会产生影响。若要保障农业气候融资在加强农业、林业和土地使用的抵御力以及促进其可持续性方面发挥催化作用，就必须解决能力方面的制约。■

以小博大：气候融资的策略性使用

指定用于气候变化的国际公共融资或许将一直只占农业领域总投资的一小部分。若要切实增强农业系统的抵御力或减少温室气体排放，气候融资就必须用好战略性切入点，引导更广阔的资金量推动气候成果的实现。公共资金尤其应向以下领域倾斜：

- ▶ 进一步打造适宜的环境，以便克服发展气候智能型农业的过程中遇到的阻碍；
- ▶ 支持气候变化适应和减缓工作在国内财政预算中的主流化；
- ▶ 释放私营资本，使其投资于气候智能型农业。

为营造有利环境融资，促进气候智能型农业发展

国际上对农业的供资重点关注能力建设，包括加强农业各个领域的政策、行政管理和制度建设。与此同时，能力限制是影响所有气候融资机制取得成效的主要阻碍。诸如全球环境基金和绿色气候基金等各类基金便是如此，项目开发成本过高已成为其发挥影响力的主要制约因素。然而，即使项目已完成筹备工作且获得审批，资金的拨付和项目效果的实现也会是一个挑战。筹备基金和方案可帮助国家和区域的机构提高能力，从而更好地接受和管理气候融资。

本报告第五章已强调，要促进和保障用于农村发展的公私投资，就需要持续支持相关政

策和制度的建设。气候变化凸显了对于强有力的制度的需求，以保证对自然资源和集体行动的统一管理。对于具体气候风险和脆弱性（例如，降雨变率增大、极端天气事件、植物病虫害和动物疫病激增等）的防控政策和方案而言，也是如此。整个粮食价值链的预警系统和信息共享机制是气候智能型农业发展获得成功的关键因素。

有些政策和制度能够为粮食生产者提供适当的信息和激励，但在应对极端气候事件方面，以及克服气候智能型农作方法推广过程中面临的阻碍方面，这些政策和制度往往十分无力。在应对极端气候事件方面，若社会保障计划设计完善，能够保证最低收入或食物供给，则可在农业整体风险管理战略中发挥重要作用。在本书第三章中我们已讨论过，增强针对小农的融资服务对于支持他们应对气候变化而言至关重要。

有了更有利的环境，即使公共财政资金依然有限，也能像催化剂一样触发其他公共和私营部门融资渠道的资金承诺。一个由非政府组织和私营企业组成的广泛联盟于2014年签署了《纽约森林宣言》，就是一个公共融资发挥催化作用的例子。该联盟寻求将全球温室气体排放量每年减少45至88亿吨（Conway等，2015）。公共部门为减少因毁林造成的排放进行供资，很有可能会产生催化作用，促进私营部门的参与，因为国家的参与降低了风险，而且供资的过程中国家建立了必要的制度框架，为后续工作做好了准备。

私营部门在宣言中表明，其核心目标是到2020年禁止任何以生产棕榈油、大豆、纸和牛

肉产品等大宗农产品为目的的毁林。大型机构投资者也正在调整投资导向，使投资与气候目标相一致，如减少因毁林而产生的排放。例如，挪威政府养老基金已经开始从生产方式不可持续的棕榈油企业撤股，此举可谓是私营部门融资与全球气候变化减缓目标的统一。

实现气候变化的国内预算主流化

国内政府预算是气候相关公共融资的关键来源。与国际公共气候融资的资金提供方相比，国内政府预算是一个更为重要的农业公共投资来源。目前还没有人对国内预算中气候融资进行全面评估，也没有一个全球通用的国家气候预算分类系统，无法在全球范围内对各国气候预算进行比较和统计。然而，来自11个国家的证据表明，国内资源是气候变化支出的重要组成部分，有时甚至是最主要的组成部分（联合国开发计划署，2015）。此外，有些农村发展基金虽然严格说来并不属于气候融资，但也可以说是“气候相关”的。之所以这么说，是因为这些基金在追求其他政策目标的过程中，可能会从抵御力或温室气体排放水平等方面推动气候变化工作。

如第五章所述，若要实现气候相关的政策目标，那么政策和规划中对气候变化的系统性考量就应当在国内农业投资预算中体现出来。因此，我们需要把农业支持政策放在气候政策的大背景下思考。例如，投入品补贴可能会导致合成肥料和杀虫剂等使用效率低下的情况，加大生产的排放强度。

一项元分析研究了非洲和亚太地区20个国家的气候相关公共支出和制度评估，研究结果清楚地表明，农业领域的支出非常重要，仅次于公共工程和交通，而水利和灌溉则是另一个重要的支出领域。气候相关支出的很大一部分是通过地方政府来落实的。要高效使用这些资金需要地方层面与国家政策充分协调，并提高实施能力。这份研究指出，尽管国家在制定全国气候政策方面已经取得重大进步，但全国气候政策与行业政策和省州政策的一致性十分有限，导致应对气候变化的行动缺乏统一性。而且还缺乏有效机制来保障政策的优先重点体现在公共支出方案中，也缺乏有效的框架来评估气候支出的成效（虽然这方面略有进展）。至于国际层面的供资机制，在很多情况下，技术和操作能力仍是一个巨大的挑战（联合国开发计划署，2015）。

为了保证气候变化在公共支出中实现充分的主流化，联合国开发计划署的这项研究建议采用一种综合性的气候融资或财政框架。此框架包括为气候变化战略与行动制定中长期规划和预算；采用全政府动员的方式，让所有相关部门都参与进来；将气候融资的公共来源（国内和国际）纳入国家规划和预算体系，通过国家体系来运作；使私营气候融资来源与总体政策框架相协调。一些国家已经在加强投资评估机制方面取得进展，将气候变化纳入评估内容（**插文27**）。

国别研究的证据表明，为了使政府将气候变化行动系统地整合进国家预算，需要加强能力建设（联合国开发计划署，2015）。气候专项融资应为各国建设气候变化预算主流化系统和能力提供支持。这方面的工作包括：»

将气候变化纳入经济评估

泰国农业和合作社部一马当先，引领了泰国的预算主流化行动，将政策和方案的气候相关性评估从过去的定性评估转变为如今的成本效益分析这种定量评估方式。这种方式结合气候变化的影响和成本，重新计算某一既定政策的效益成本比率（益本比）。从气候变化背景下的益本比和“维持现状”情景下的益本比之差可以计算出气候变化相关性得分。由气候变化相关性得分，政策制定者和管理人员可以看出，一旦考虑气候变化因素，某一特定项目的重要性会如何变化。试点分析表明，考虑气候变化后，农业和合作社部所负责项目的效益提高了10-20%。分析结果还表明，项目设计也有望得到改进（泰国政

府，2014）。在一个新的大型水资源调配建设项目中，评估工作不仅使项目预算有了更充分的依据，还为调水沟渠和防涝系统的重新设计提供了参考（联合国开发计划署，2015）。

柬埔寨农林渔业部一个类似的试点项目表明，考虑气候变化因素可大幅提高该部所辖方案的成效。此类分析可在向经济和财政部申请经费的过程中提供支持。2016年经济和财政部在国家预算指导方针中引入新规定，要求和气候有关的方案必须专门注明（见柬埔寨气候变化联盟，2015；柬埔寨政府，2016）。

国际金融机构中的气候变化主流化

随着国际发展界逐渐意识到气候变化的重要性和跨部门性，国际金融机构已开始制定具体措施、工具和规程，将气候变化因素纳入规划和实施工作。近期公共部门的联合承诺体现出了这些机构对关键原则的共识和更大雄心。2015年12月，26家主要金融机构通过了五条自愿性“金融机构气候行动主流化原则”（世界银行，2015）：

- ▶ 重视气候战略；
- ▶ 管控气候风险；
- ▶ 推动气候智能目标的实现；
- ▶ 改善气候工作绩效；
- ▶ 落实气候行动。

以世界银行为例说明具体实施方式。世界银行下设国际开发协会（IDA），为世界上最贫困的国家提供帮助。该协会已承诺在分析国家发展挑战和优先重点以及据此制定方案的过程中纳入气候和灾害风险考量。所有的新工作都要经过筛

查，检查其中的中长期气候变化和灾害风险，并就风险点采取适当的抵御措施。他们不仅开发了国家政策层面的筛查工具，也开发了项目层面和专门针对农业产业层面的工具。这些工具的设计宗旨是提高投资的成效和寿命。

为了配合筛查工作，也为了推动制定适当的解决方案，世界银行同来自多个领域的组织合作，以更好地获取数据、工具和知识，支持气候智能型发展的规划工作。气候风险筛查现已运用于国际开发协会的所有项目，并将于2017年初推广到世界银行的其他工作中。在世界银行2016年的《气候变化行动计划》中，世行指出气候变化会威胁该组织的核心任务——减贫，并承诺将早期筛查进一步提升，在事前规划时就融入气候视角，以支持预期国家自主贡献或国家自主贡献的实施（世界银行，2016）。

- » ▶ 对规划和预算流程以及相关的制度性作用进行全面梳理,找出并解决各项政策、激励措施和制度中妨碍实施综合性气候变化措施的瓶颈;
- ▶ 促进国家和省州层面有关机构和利益相关方的能力建设,特别是技术和管理能力的建设,因为只有具备了这些能力才能将政策转化为方案和预算,并对绩效进行跟踪评估;
- ▶ 完善政务公开制度,以更好地展示工作成果,落实责任主体。

还需要努力完善气候相关公共支出的审查和成效评估方法,制定符合各国具体国情的实用的指导方针和工具,包括将气候变化纳入成本效益分析和投资评估。在确定符合国情的投资设计和评估机制的过程中,政府也可借鉴一些国际金融机构的经验。部分国际金融机构已经制定了相应的措施和规程来实现气候变化在其业务范围内的主流化(插图28)。

将气候变化纳入国内预算的工作应当成为当前公共财政和支出管理完善工作的一部分。气候变化不应被视作一个独立的问题,同样,气候变化预算的主流化问题应当作为国家整个财政管理体系的工作内容来解决。

释放私营资本,投资气候智能型农业¹⁵

私营投资是农业投资的最重要来源(粮农组织,2012)。然而,如第三章所述,缺乏融

资渠道仍是小农和中小农业企业面临的重要限制。若能为他们提供充足的融资,可以充分释放私营部门投资的潜力。这方面的主要挑战包括:贷款给金融知识匮乏的小规模及分散客户的交易成本问题,对于何为可行的农业融资项目存在信息差距和信息不对称问题,以及实际风险和感知风险的管控问题。一项关键挑战是,农民和金融机构都无法完全控制农业的季节性对现金流的影响。随着预期中气候变异的日益严重,这项挑战还会逐渐加大。

为应对气候变化,必须调整粮食生产体系,而这项工作需要充足的前期投资,用于提高农民的生产率及其适应能力,同时降低生产的排放强度。这不仅要求大幅增加可用资本量,也要求设置较长的还款期限(五到七年),以及符合现金流状况的灵活还款计划。这样能使农民有条件进行必要的投资,以维持当前单产,用更少的土地生产更多的粮食,并采取适当的措施和技术在减排的同时提高抵御力。

金融服务机构面临着一些制约因素,导致其无法为小农和中小企业提供气候智能型投资所需的金融服务类型,而气候融资有助于解决这一问题。气候融资可以作为一支催化剂,释放其他私营资本,支持农业成为应对气候变化的一个办法。通过填补融资缺口、提供必要的有利条件刺激投资,气候融资可以强化风险管理机制,促进适当金融产品的开发,并解决借方和贷方的能力限制。一些私营投资者和银行目前还不愿意进行农业贷款,气候融资可以通过战略支持,向私营投资者和银行表明气候智能型农业投资的可行性。

15 据世界银行(2016)整理。

气候融资尤其有助于创新型机制的设计，以推动公共和私营渠道的其他资本进行气候智能型投资。这些机制包括：

- ▶ 建立公私伙伴关系，充分利用不同利益相关方的资源、专长和能力。此类伙伴关系可以在潜在投资者和中小企业、农民之间搭建桥梁。凭单打独斗，这些企业和农民既接触不到投资者也无法为其投资项目提供有说服力的理由。
- ▶ 设计创新投资工具并进行试点，通过分散并控制不同投资者的风险回报状况，吸引其他资本（例如采取分层的资本结构，由公共融资承担气候变化的相关风险，或延迟还款期限以更好地匹配项目现金流）；
- ▶ 支持多种金融工具的开发和打包，以提高成效，提供更加综合全面的解决方案。这些工具包括保险产品、仓库收条和价值链融资等。

气候融资也可为金融系统急需的技术援助提供资金，帮助金融机构提高能力，更好地管控农业风险、满足小农和中小企业的特殊要求，同时也帮助小农和中小企业提高经营和金融管理能力，以便充分利用逐渐涌现的融资渠道。能力建设应侧重于加强借方和贷方的能力，帮助他们如何寻找和实施有助于提高气候抵御力甚或推动减排的投资项目。对贷方的能力支持应重点提高其对农业领域风险的理解，以及开发定制化农业金融产品和服务来支持投资。

在可预见的未来，交易成本仍是农业融资面临的挑战。然而，随着移动金融服务的兴起，气候融资可以支持并进一步加强新型金融服务的开发和推广，满足边远地区小农和中小企业对气候智能型投资的需求。■

结论

为了给气候智能型农业的投资营造有利环境、在国内预算的分配和实施中将气候变化主流化、在气候智能型农业的发展中释放私营资本，需要做的还有很多。国际气候融资可被策略性地用于推动国内公共资金和私营部门的融资，以及撬动其他国际公共资源。

目前还不清楚新的气候融资认捐中有多大比例会用于支持农业领域的适应和减缓行动，但数目可能十分庞大。向可持续、具有抵御力

的气候智能型粮食和农业体系转型要求整个农业领域适应气候变化并积极减缓气候变化。这种转型将依赖于政策制定者、民间团体、农民、牧民、林民、渔民及全球粮食和农业价值链上利益相关方的行动。必须保证农业领域的气候融资能够匹配农业在保障粮食安全、应对当前和未来气候变化挑战方面需要发挥的作用。

附件

农林渔业国际公共气候融资数据

为了帮助理解农业领域减缓和适应气候变化方面的国际公共融资，第六章使用了两个数据集的数据，它们分别是经合组织的贷方报告系统（CRS）和英国海外发展研究所（ODI）的气候基金更新网（CFU）。

CRS数据涵盖了一些气候专项基金，也涵盖了用于适应和减缓气候变化的多双边承诺。CFU数据关注的是专门为应对气候变化而建立的多边气候专项基金。在用于农业领域的气候融资方面，CRS包括许多、但非全部CFU考虑的气候专项基金。CRS数据还包括多边机构一般性发展基金中与气候相关的部分，而CFU数据不包括任何来自一般性发展基金的资金（见表格）。CRS包括双边捐赠者的资金；这些资金也在CFU范围之外。

正如使用任何数据集一样，使用CRS和CFU数据来理解农业领域中气候变化相关项目的国际公共融资也存在一些明显局限。首先，两个数据集包含了一些相同的气候基金。本章的图表中包括了CRS和CFU两种数据，因此我

们相应调整了每个数据集（从对应数据集中扣除表格中灰色高亮部分的资金），从而尽量减少图中的重复计算。但是我们无法识别CRS和CFU数据中来自小农农业适应计划的资金，因此这部分资金无法扣除。

两个数据集也都缺乏全面性。例如，经合组织的CRS数据集不包括所有捐赠国，而是仅限于经合组织成员国承诺的援助，因此排除了来自中国等国的援助。此外，也无法得知报告的项目和融资有多大程度是支持气候成果的。关于项目是如何被指定为（“标记”为）支持适应和（或）减缓气候变化项目的也存在诸多问题（Caravani、Nakhoda和Terpstra，2014；Michaelowa和Michaelowa，2011）。

第六章的国际公共气候融资数据集覆盖范围

	经合组织贷方报告系统 (CRS)	海外发展研究所气候基金更新网 (CFU)	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 小农农业适应计划 (ASAP) 		
气候专项基金		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 适应基金 (AF) ▶ 亚马逊基金 ▶ 刚果盆地森林基金 (CBFF) ▶ 森林碳伙伴基金 (FCPF) ▶ 全球气候变化联盟 (GCCA) ▶ 联合国减少毁林和森林退化所致排放量计划 	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 森林投资计划 (FIP) ▶ 最不发达国家基金 (LDCF) ▶ 气候复原试点计划 (PPCR) ▶ 气候变化特别基金 (SCCF) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 森林投资计划 (FIP) ▶ 最不发达国家基金 (LDCF) ▶ 气候复原试点计划 (PPCR) ▶ 气候变化特别基金 (SCCF) 	
		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 全球环境基金所有重点领域 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 全球环境基金气候变化领域
		<ul style="list-style-type: none"> ▶ 国际农业发展基金 (IFAD) ▶ 国际复兴开发银行 (IBRD) 	
	其他多边发展援助	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 国际开发协会 (IDA) ▶ 亚洲开发银行 ▶ 北欧发展基金 	不适用
双边发展援助	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 经合组织发展援助委员会成员和非发展援助委员会成员做出的承诺 	不适用	

资料来源：经合组织（2015a）和海外发展研究所（2015）。



统计附件

厄瓜多尔安布奎
乔塔山谷中的植被及
灌溉区植物。

©粮农组织/E. Yeves



统计附件

附表说明

符号

表中使用了下列符号：

.. = 无数据

0或0.0 = 零或可忽略不计

空格 = 不适用

表中数字因四舍五入或数据处理等原因可能与原始数据资料中的数字有出入。整数与小数之间用圆点(.)分开。

技术说明

表 A.1

全球各地因气候变化导致的作物单产变化预测
资料来源：数据与Porter等（2014）和Challinor等（2014）当中使用的数据相同。最新数据可由下列网址获取<http://www.ag-impacts.org>

注：各项研究来自于对文献的广泛调查，其中包括基于过程的模型和统计模型。各项研究采用的方法各异，使用的气候模型、排放水平和作物模型也各不相同。有些研究包括适应内容，有些则未包括。

参考文献一栏提供作物单产变化预测出处的作者姓名和研究年份。完整的引用出处见报告主体的参考文献部分。

地理位置指作物单产变化预测所涉及的省份、州、国家或区域，采用原始数据中的措辞和地理分类。有些预测针对全球层面。括号内数字的含义如下：（1）表示预测针对发达区域的某个地方；（2）表示预测针对发展中区域的某个地方；（3）表示地理范围为全球或不详。

时间段系指中位预测年 — 根据模拟的起始年份和最终年份计算，作为中位年份所属的时间段。例如，一份写于2010年的研究报告可能是对2050–2080年的预测；在这种情况下，中间点视为2065年，因此这些预测归入2050–2069年这一组。

作物（单产变化预测）一栏显示作物或作物分组，括号中为气候变化引起的各自单产变化的预测。一些研究对某个地理位置、时间段和作物提出多个预测，原因在于采用了多种组合的气候模型、排放水平、作物模型以及包括适应内容和（或）不包括适应内容等。

表 A.2

2014年农业、林业和其他土地用途净排放量和净清除量，以二氧化碳当量计

资料来源：粮农组织，2016。

农业排放量以二氧化碳（CO₂）当量表示，包含作物和畜牧生产及管理活动中的有氧和厌氧分解过程产生的甲烷（CH₄）和一氧化

二氮 (N_2O)。排放量根据《政府间气候变化专门委员会国家温室气体清单指南》在第一层下计算。排放量的估算方法是活动水平（如畜禽数量、收获面积、肥料施用量等）乘以IPCC给出的排放系数。农业排放量包括以下子领域：作物残余燃烧 (CH_4 , N_2O)；稀树草原燃烧 (CH_4 , N_2O)；作物残余 (N_2O)；有机土壤耕作 (N_2O)；肠道发酵 (CH_4)；粪便管理 (CH_4 , N_2O)；草场粪便 (N_2O)；土壤粪肥 (N_2O)；水稻种植 (CH_4)；合成肥料 (N_2O)。

森林排放量/清除量为从 $t - 1$ 年到 t 年林地退化带来的二氧化碳排放量，以及保持林地用途不变所带来的碳清除量（碳汇）。在国家层面，森林数据或正（净排放）或负（净碳汇）。

林地用途净改变排放量指毁林或林地用途改变带来的二氧化碳排放量。

生物质燃烧排放量为下列各项中的生物质燃烧所产生的气体：湿润热带森林、其他森林和有机土壤。它们产生的气体包括甲烷和一氧化二氮，仅在有机土壤一项中还包含二氧化碳。

农田有机土壤排放量指农田有机土壤流失造成的碳损失所对应的排放。

草地有机土壤排放量指草地有机土壤流失造成的碳损失所对应的排放。

表 A.3
2014年农业各排放源排放量，以二氧化碳当量计

资料来源：粮农组织，2016。

作物残余燃烧排放量指一定比例作物残余就地焚烧产生的甲烷和一氧化二氮气体。计算燃料物质质量时，应考虑到由于动物食用、田间腐坏和其他产业的利用（如用作生物燃料、家畜饲料、建筑材料等）而在焚烧之前去除掉的部分。排放量的计算方法是IPCC排放系数乘以活动数据（焚烧的生物质数量，以小麦、玉米、水稻和甘蔗的收获面积计算）。

稀树草原燃烧排放量指以下五种土地覆盖类型的植被生物质燃烧产生的甲烷和一氧化二氮气体：稀树草原、林木覆盖的稀树草原、开放式灌木地、封闭式灌木地和草地。排放量的计算方法是IPCC排放系数乘以活动数据（利用“全球燃烧排放数据库”获得的燃料总质量）。

作物残余排放量指农民留在田间的作物残余和牧草/草地更新残留物中的氮产生的直接和间接一氧化二氮排放量。直接排放量的计算方法是活动水平（作物单产和收获面积）乘以

IPCC排放系数。涵盖的作物有大麦、干豆、玉米、小米、燕麦、马铃薯、水稻、黑麦、高粱、大豆和小麦。间接排放量也进行了计算，即作物残余和饲草/牧草更新残留物通过径流和淋溶流失的氮。

有机土壤耕作排放量指经过耕作的有机土壤（包括农田和草地有机土壤）释放的一氧化二氮气体对应的排放量。排放量的计算方法是活动水平（经过耕作的有机土壤面积）乘以IPCC排放系数。

肠道发酵排放量指畜禽（包括反刍动物和非反刍动物）消化系统产生的甲烷气体。排放量的计算方法是活动水平（畜禽数量）乘以IPCC排放系数。涵盖的畜禽有水牛、绵羊、山羊、骆驼、美洲驼、马、骡、驴、猪、奶牛和其他牛类以及家禽。

粪便管理排放量指有氧和厌氧分解过程产生的甲烷和一氧化二氮气体。排放量的计算方法是活动水平（畜禽数量）乘以IPCC排放系数。涵盖的畜禽有水牛、绵羊、山羊、骆驼、美洲驼、马、骡、驴、鸭、火鸡、奶牛和其他牛类、鸡（蛋鸡和肉鸡）、商品猪和种猪。

草场粪便排放量指放牧畜禽在草场留下的粪便中的氮产生的直接和间接一氧化二氮排放量。畜禽数据涵盖下列动物类别：水牛、绵羊、山羊、骆驼、美洲驼、马、骡、驴、鸭、火鸡、奶牛和其他牛类、鸡（蛋鸡和肉鸡）、商品猪和种猪。

土壤粪肥排放量指农民向农业土壤施用的粪肥中的氮产生的直接和间接一氧化二氮排放

量。畜禽数据涵盖下列动物类别：水牛、绵羊、山羊、骆驼、美洲驼、马、骡、驴、鸭、火鸡、奶牛和其他牛类、鸡（蛋鸡和肉鸡）、商品猪和种猪。

稻米种植排放量指稻田中有机物厌氧分解过程释放的甲烷气体。排放量的计算方法是活动水平（水稻收获面积）乘以IPCC排放系数。

合成肥料排放量指农民向农业土壤施用的氮产生的直接和间接一氧化二氮排放量。排放量的计算方法是活动水平（氮肥使用量）乘以IPCC排放系数。

国家分组与区域合计数

表A.2和A.3对所有指标给出了国家分组与区域合计数。这些数字是对其下列国家分组和区域进行合计所得。世界和区域合计数可能与粮农组织统计数据库现有数据略有不同。

对于表A.2和A.3以及正文中的一些数字和表格，区域分组以及对发展中区域和发达区域的指定与联合国统计司的UNSD M49分类类似。获取UNSD M49分类可登录unstats.un.org/unsd/methods/m49/m49.htm主要区别在于此处使用的“发达国家和地区”包括UNSD M49当中指定位于发达区域的国家外加中亚国家（哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、土库曼斯坦和乌兹别克斯坦）。中国大陆的数据不包含中国香港特别行政区和中国澳门特别行政区的数据。■

表 A.1

全球各地因气候变化导致的作物单产变化预测

参考文献	地理位置	时间段	作物(单产变化预测)
Abraha和 Savage, 2006	南非夸祖鲁·纳塔尔(2)	2030/49	玉米 (-10.7, -10.7, -8.7, -8.7, -6.6, -6.6, 5.9, 6.0, 8.1, 8.1, 10.2, 10.3)
Alexandrov和 Hoogenboom, 2000	保加利亚(1)	2010/29	玉米(-12.0); 小麦(11.0, 13.0)
		2050/69	玉米(-19.0, -1.0); 小麦(25.0, 30.0)
		2070/89	玉米(-18.0); 小麦(26.0)
Arndt等, 2011	莫桑比克中部(2)	2030/49	木薯(-6.2, -3.1); 玉米(-5.6, -3.0)
	莫桑比克北部(2)	2030/49	木薯(-6.5, -0.1); 玉米(-2.9, -1.9)
	莫桑比克南部(2)	2030/49	木薯(-3.2, 0.4); 玉米(-4.4, -3.9)
Berg等, 2013	非洲和印度(2)	2030/49	小米 (-26.7, -24.1, -22.6, -14.6, -14.1, -13.2, -13.1, -12.4, -11.4, -10.5, -8.7, -7.3, -7.2, -6.8, -6.8, -6.7, -6.2, -6.2, -5.8, -5.6, -5.5, -4.9, -4.8, -4.7, -4.5, -4.4, -4.0, -3.7, -3.6, -3.6, -2.9, -2.8, -2.4, -2.3, -2.1, -1.8, -1.1, 0.0, 0.6, 0.8, 1.3, 2.1, 2.9, 4.1, 11.7, 17.1, 20.3, 30.5)
	非洲和印度(2)	2070/89	小米 (-90.5, -44.3, -41.0, -25.8, -25.1, -24.6, -23.1, -23.0, -22.5, -22.5, -22.0, -21.5, -20.5, -20.0, -18.4, -18.0, -17.8, -17.4, -17.2, -16.9, -15.3, -14.6, -14.1, -13.6, -12.6, -12.5, -12.4, -11.2, -11.1, -11.0, -10.8, -10.2, -9.2, -8.2, -8.0, -5.7, -5.6, -4.8, -3.8, -3.6, -3.2, 7.9, 18.9, 23.0, 45.8, 48.6, 56.4, 62.2)
Brassard和 Singh, 2007	加拿大魁北克南部(1)	2050/69	小麦(4.3, 10.7, 24.0); 玉米(9.4, 30.2, 31.3)
Brassard和 Singh, 2008	加拿大魁北克(1)	2050/69	玉米(-6.8, -6.5, -0.6, 1.1, 4.0, 4.1); 马铃薯(-18.6, -16.2, -14.4, -12.0, -11.3, -10.8); 大豆(-5.1, 15.1, 18.7, 39.3, 67.3, 84.8); 小麦(-18.9, -3.2, 4.1, 4.2, 11.4, 14.8)
Butt等, 2005	马里85个农业生态区(2)	2030/49	玉米(-13.5, -11.2, -10.3, -8.6)
Calzadilla等, 2009	撒哈拉以南非洲(2)	2050/69	小麦(-24.1); 谷物籽粒(1.1); 大米(3.0)
Calzadilla等, 2009	美国东南部(1)	2010/29	玉米(1.2, 2.0, 2.7, 3.6)
		2030/49	玉米(4.2, 4.4, 5.7, 6.1)
		2050/69	玉米(5.3, 5.3, 5.8, 6.0)
Ciscar等, 2011	不列颠群岛(1)	2070/89	小麦、玉米和大豆(-11.0, -9.0, 15.0, 19.0)
	中欧北部(1)	2070/89	小麦、玉米和大豆(-8.0, -3.0, -1.0, 2.0)
	中南欧(1)	2070/89	小麦、玉米和大豆(-3.0, 3.0, 5.0, 5.0)
	北欧(1)	2070/89	小麦、玉米和大豆(36.0, 37.0, 39.0, 52.0)
	南欧(1)	2070/89	小麦、玉米和大豆(-27.0, -12.0, -4.0, 0.0)
Deryng等, 2011	阿根廷(2)	2050/69	玉米 (-30.3, -26.3, -17.7, -10.0, -9.8, -4.8, -4.6, -2.2); 大豆 (-39.3, -36.1, -24.6, -20.5, -20.5, -19.5, -19.3, -13.2)
	巴西(2)	2050/69	玉米 (-38.1, -34.6, -28.6, -26.3, -25.2, -23.2, -23.2, -19.2); 大豆 (-32.6, -31.4, -24.2, -24.2, -23.5, -19.7, -19.0, -15.7)

表 A.1

(续)

参考文献	地理位置	时间段	作物(单产变化预测)	
Deryng等, 2011	加拿大(1)	2050/69	玉米 (-54.6, -45.2, -36.2, -27.1, 4.9, 5.3, 6.0, 21.6); 大豆 (-66.5, -60.9, -56.2, -46.8, -27.7, -16.9, -11.4, -4.9); 小麦(-35.4, -34.5, -22.2, -21.2, -5.1, -3.3, -1.1, -0.7)	
	中国(2)	2050/69	大豆 (-45.9, -43.9, -33.6, -32.5, -13.9, -8.7, -6.7, -6.1); 小麦(-29.3, -29.1, -19.2, -18.8, -5.6, -5.5, -4.3, -1.8)	
	法国(1)	2050/69	玉米(-59.7, -46.2, -43.9, -41.7, -30.3, -27.0, -21.6, -11.6); 小麦(-49.1, -42.5, -32.8, -31.3, -25.5, -21.4, -13.7, -0.5)	
	德国(1)	2050/69	小麦 (-29.0, -26.7, -15.5, -12.6, -8.5, -3.8, 4.0, 8.9)	
	印度(1)	2050/69	玉米(-31.0, -28.2, -26.3, -22.9, -19.8, -18.6, -16.9, -14.6); 大豆(-32.9, -27.8, -24.6, -24.5, -21.8, -20.0, -17.4, -15.5)	
	印度尼西亚(2)	2050/69	玉米 (-11.9, -10.4, -10.3, -8.6, -3.2, -2.8, 0.8, 1.0)	
	哈萨克斯坦(1)	2050/69	小麦 (-38.0, -28.0, -22.4, -20.0, -12.3, -8.3, 0.9, 2.4)	
	墨西哥(2)	2050/69	玉米 (-39.7, -37.0, -29.1, -27.0, -24.6, -23.9, -18.9, -16.0)	
	巴拉圭(2)	2050/69	大豆 (-43.3, -28.8, -28.0, -25.2, -18.0, -17.3, -16.5, -13.6)	
	波兰(1)	2050/69	小麦 (-23.1, -19.6, -11.0, -11.0, 6.5, 8.2, 11.1, 17.6)	
	罗马尼亚(1)	2050/69	玉米 (-48.1, -45.7, -30.5, -25.9, -16.9, -13.9, 1.2, 2.5)	
	俄罗斯(1)	2050/69	小麦 (-29.6, -25.2, -24.7, -21.3, -8.5, -6.3, -6.0, 0.3)	
	南非(2)	2050/69	玉米(-38.8, -31.4, -29.4, -27.9, -26.0, -22.6, -17.1, -14.6)	
	英国(1)	2050/69	小麦 (-32.9, -31.9, -26.3, -20.1, -8.2, -0.3, 3.4, 4.2)	
	乌克兰(1)	2050/69	小麦 (-28.8, -23.1, -21.4, -17.2, -3.5, -2.1, 7.1, 10.3)	
	美国(1)	2050/69	玉米 (-44.7, -30.6, -25.7, -22.8, -18.9, -14.2, -1.3, -0.5); 大豆 (-52.7, -39.3, -36.5, -33.2, -26.6, -24.9, -14.8, -13.1); 小麦 (-32.6, -23.2, -21.6, -21.0, -17.2, -11.9, -4.3, -2.8)	
	Giannakopoulos等, 2009	地中海东北部(塞尔维亚、希腊和土耳其)(3)	2030/49	谷物(4.4, 12.5); 豆类(-7.2, -0.9); 玉米(-0.6, -0.2); 马铃薯(-9.3, 4.4); 葵花籽(-5.4, -0.9)
		地中海西北部(葡萄牙、西班牙、法国和意大利)(1)	2030/49	谷物(-0.3, 4.7); 豆类(-14.4, -4.9); 玉米(4.2, 8.8); 马铃薯(4.9, 7.5); 葵花籽(-12.4, -2.8)

表 A.1

(续)

参考文献	地理位置	时间段	作物(单产变化预测)
Giannakopoulos等, 2009	地中海东南部(约旦、埃及和利比亚)(2)	2030/49	谷物(-10.1, -4.9); 豆类(-30.1, -23.3); 玉米(-7.9, -6.7); 马铃薯(-5.7, -4.3); 葵花籽(-0.4, 3.7)
	地中海西南部(突尼斯、阿尔及利亚和摩洛哥)(2)	2030/49	谷物(-3.8, -3.4); 豆类(-23.9, -18.5); 玉米(-9.4, -6.4); 马铃薯(-13.3, -1.5); 葵花籽(-10.3, -4.3)
Hermans等, 2010	欧洲(1)	2050/69	小麦(34.0, 97.0)
Iqbal等, 2011	巴基斯坦费萨尔巴德(2)	2010/29	玉米(-1.5, -1.3, -0.4, -0.3, -0.3, 0.7, 0.8, 1.7, 3.9)
		2010/29	玉米(-2.1, -1.1, -0.5, 0.0, 0.3, 0.7, 1.7, 2.7, 3.2)
		2050/69	玉米(-8.1, -5.4, -4.1, -3.6, -3.0, -1.4, -0.6, -0.5, 0.5)
Izaurrealde等, 2001	美国各区域(1)	2010/29	玉米(4.3, 15.4)
		2030/49	大豆(-9.4, 7.9); 小麦(25.2, 37.1)
		2050/69	小麦(0.1, 5.0, 15.3, 15.8)
		2090/2109	玉米(7.9, 17.1)
		2090/2109	大豆(-8.7, 6.6); 小麦(29.5, 40.5)
Kim等, 2010	韩国(2)	2010/29	大米(-4.2, -1.1, 0.7)
		2050/69	大米(-9.9, -2.6, 0.3)
		2070/89	大米(-14.1, -3.0, 1.9)
Lal, 2011	印度中部、印度南部、斯里兰卡(2)	2010/29	大米(6.0, 18.0); 小麦(22.0, 24.0)
		2050/69	大米(-30.0, -21.0, -4.0, -1.0, 3.0); 小麦(-23.0, -19.0, -8.0, 7.0, 9.0)
		2070/89	大米(-8.0); 小麦(-1.0)
	印度中部平原、印度南部、斯里兰卡(2)	2010/29	大米(3.0, 18.0); 小麦(23.0, 25.0)
		2050/69	大米(-6.0, 1.0)
		2050/69	小麦(-3.0, 9.0)
		2070/89	大米(-5.0); 小麦(-2.0)
	巴基斯坦, 印度北部、东北部和西北部, 尼泊尔, 孟加拉国(2)	2010/29	大米(4.0, 5.0, 15.0); 小麦(21.0, 23.0, 26.0, 26.0)
		2010/29	大米(17.0)
		2050/69	大米(-31.0, -24.0, -7.0, -5.0, -1.0, 1.0, 2.0); 小麦(-18.0, -11.0, -3.0, -1.0, 11.0, 12.0, 16.0)
		2070/89	大米(-12.0, -8.0); 小麦(1.0, 2.0)
	Li等, 2011	中国中部中纬度地区(2)	2030/49	玉米(10.7, 22.8)
美国中西部地区(1)		2030/49	玉米(-7.4, 41.6)
Lobell等, 2008	安第斯山脉地区(2)	2010/29	大麦(-2.1); 木薯(1.5); 玉米(0.0); 棕榈(2.9); 马铃薯(-2.6); 大米(-0.5); 大豆(-0.2); 甘蔗(0.5); 小麦(-2.5)
	巴西(2)	2010/29	木薯(-4.9); 玉米(-2.3); 大米(-4.5); 大豆(-4.1); 甘蔗(0.6); 小麦(-6.8)
	非洲中部(2)	2010/29	木薯(-1.5); 花生(-2.2); 小米(-4.9); 玉米(-0.5); 棕榈(-2.4); 大米(-2.9); 高粱(-3.9); 小麦(-1.2)
	中美洲(2)	2010/29	木薯(2.3); 玉米(-1.0); 大米(-0.5); 甘蔗(7.4); 小麦(-4.7)

表 A.1

(续)

参考文献	地理位置	时间段	作物(单产变化预测)
Lobell等, 2008	中国(2)	2010/29	大米(-0.2); 大豆(2.3); 马铃薯(2.1); 花生(2.0); 玉米(-2.3); 小麦(2.0); 甘蔗(1.5)
	东非(2)	2010/29	大麦(31.8); 豆子(4.0); 木薯(1.7); 豇豆(-18.5); 花生(3.5); 玉米(-0.2); 大米(7.6); 高粱(-1.1); 甘蔗(-4.0); 小麦(5.4)
	萨赫勒地区(2)	2010/29	豇豆(8.8); 花生(-0.5); 玉米(-3.6); 小米(-2.3); 大米(2.9); 高粱(-5.6); 大麦(-8.0)
	南亚(2)	2010/29	花生(1.2); 小米(-2.1); 玉米(-4.8); 油菜籽(-6.5); 大米(-3.3); 大豆(3.9); 甘蔗(0.0); 高粱(0.1); 小麦(-2.9)
	东南亚(2)	2010/29	大豆(-2.4); 木薯(-0.7); 小麦(-1.1); 甘蔗(5.3); 大米(-1.2); 玉米(-3.0); 花生(-1.2)
	非洲南部(2)	2010/29	木薯(0.8); 花生(1.2); 大米(4.4); 大豆(-8.3); 甘蔗(-3.1); 小麦(-9.0); 高粱(-8.2); 玉米(-22.5)
	西非(2)	2010/29	木薯(0.7); 花生(-7.1); 玉米(-3.8); 小米(-0.1); 高粱(-4.1); 大米(0.5); 小麦(-2.1); 山药(-6.0)
	西亚(2)	2010/29	大麦(1.2); 玉米(-1.1); 马铃薯(3.4); 大米(-4.4); 高粱(0.7); 甘蔗(-5.4); 葵花籽(-5.8); 甜菜(0.1); 大豆(-2.3); 小麦(-0.5)
Moriondo等, 2010	北欧(1)	2030/49	软质小麦/葵花籽(-5.0); 春小麦(7.0); 大豆(-13.0, -4.0); 葵花籽(8.0)
Müller等, 2010	中国及中央计划的亚洲(2)	2050/69	主要作物 (-3.7, -3.6, -3.4, -2.9, 11.8, 14.3, 15.4, 15.8)
	欧洲(1)	2050/69	主要作物 (-0.3, 0.8, 1.2, 3.7, 16.7, 16.7, 16.8, 17.5)
	前苏联(1)	2050/69	主要作物 (-0.5, -0.2, 0.9, 4.3, 21.4, 21.4, 21.4, 22.3)
	拉丁美洲及加勒比(2)	2050/69	主要作物 (-11.3, -9.4, -8.2, -3.7, 9.5, 11.8, 12.2, 13.3)
	中东及北非(2)	2050/69	主要作物 (-16.6, -14.8, -14.5, -13.2, -3, -2.5, -2.1, -0.7)
	北美洲(1)	2050/69	主要作物 (-10.3, -9.3, -7.1, -1.8, 10.6, 11.6, 12.2, 14.7)
	亚洲太平洋地区(2)	2050/69	主要作物 (-18.5, -18, -16, -11.7, 19.9, 21.9, 22.8, 23)
	经合组织太平洋地区(3)	2050/69	主要作物 (-15, -14.7, -13.5, -9.8, 3.3, 3.5, 3.6, 4.6)
	南亚(2)	2050/69	主要作物 (-18.9, -16.4, -15.3, -14.4, 14.6, 19.8, 21.3, 24.6)
	撒哈拉以南非洲(2)	2050/69	主要作物 (-8.5, -8.2, -7.6, -5.9, 6.7, 7.5, 7.8, 8.4)
世界(3)	2050/69	主要作物 (-8.2, -7.6, -6.5, -3.5, 12.4, 12.5, 12.6, 13.1)	

表 A.1

(续)

参考文献	地理位置	时间段	作物(单产变化预测)
Osborne、Rose和 Wheeler, 2013	全球及前十五大生产国(3)	2030/49	大豆 (-48.4, -45.5, -43.0, -41.4, -39.5, -39.2, -36.5, -35.0, -35.0, -34.0, -33.9, -33.7, -33.6, -31.1, -29.6, -29.4, -28.8, -27.5, -26.3, -25.8, -22.6, -20.8, -20.6, -20.4, -20.4, -20.3, -19.9, -19.9, -19.3, -19.3, -18.2, -13.8, -12.0, -11.3, -5.1, -2.9, -2.4, 0.5, 1.0, 2.1, 2.2, 5.4, 8.8, 13.7, 48.3); 春小麦 (-41.0, -36.5, -32.1, -29.4, -26.0, -25.0, -22.4, -21.6, -20.5, -18.5, -18.2, -17.3, -15.5, -14.5, -14.4, -13.5, -12.7, -12.5, -11.0, -10.1, -10.1, -8.9, -8.6, -7.1, -6.8, -6.8, -6.8, -6.8, -5.1, -5.1, -4.3, -3.3, 0.5, 0.6, 0.7, 4.2, 6.6, 6.6, 8.5, 15.2, 24.5, 25.3, 27.9, 39.5, 40.7)
Peltonen- Sainio、Jauhiainen和 Hakala, 2011	芬兰(1)	2010/29	春小麦(-5.9); 春燕麦(-5.1); 春大麦(-5.7); 冬黑麦(3.0); 冬小麦(2.4)
Piao等, 2010	不详(3)	2010/29	玉米(-2.0, 10.0); 大米(5.0); 小麦(15.0, 17.0)
	不详(3)	2050/69	玉米(-4.0, 20.0); 大米(4.0, 8.0); 小麦(21.0, 25.0)
	全中国(2)	2010/29	大米(2.0)
Ringler等, 2010	撒哈拉以南非洲中部(2)	2050/69	木薯(-0.1); 大米(-0.6); 玉米(-0.8); 甘蔗(0.9); 甘薯和山药(-0.1)
	撒哈拉以南非洲东部(2)	2050/69	木薯(0.4); 玉米(-1.9); 大米(0.2); 甘蔗(0.4); 甘薯和山药(1.1)
	几内亚湾(2)	2050/69	木薯(-11.9); 玉米(0.2); 大米(1.4); 甘蔗(-0.5); 甘薯和山药(-15.1)
	撒哈拉以南非洲南部(2)	2050/69	木薯(-0.8); 玉米(-0.9); 大米(-2.3); 甘蔗(1.1); 甘薯和山药(1.1)
	撒哈拉以南非洲苏丹-萨 赫勒地区(2)	2050/69	木薯(1.2); 玉米(3.3); 大米(-0.8); 甘蔗(0.3); 甘薯和山药(2.0)
Rowhanji等, 2011	坦桑尼亚(2)	2050/69	玉米(-13.0); 大米(-7.6); 高粱(-8.8)
Schlenker和 Roberts, 2009	美国(1)	2030/49	棉花(-22.0); 玉米(-29.0); 大豆(-21.0)
		2070/89	棉花(-65.0); 玉米(-72.0); 大豆(-65.0)
Shuang-He等, 2011	中国长江中下游(2)	2030/49	大米(-15.2, -14.8, -4.1, -3.3)
Southworth等, 2000	美国伊利诺伊州(1)	2050/69	玉米(-25.9, -17.1)
	美国印第安纳州(1)	2050/69	玉米(-18.5, -11.2)
	美国密歇根州(1)	2050/69	玉米(15.4, 18.3)
	美国俄亥俄州(1)	2050/69	玉米(-9.5, -5.4)
	美国威斯康辛州(1)	2050/69	玉米(-0.2, 14.1)
Tan等, 2010	加纳(2)	2090/2109	玉米(-19.0, -18.0, -18.0)
Tao等, 2009	华北平原(河南)(2)	2010/29	玉米(-9.7)
		2050/69	玉米(-15.7)
		2070/89	玉米(-24.7)
	华北平原(山东)(2)	2010/29	玉米(-9.1)
		2050/69	玉米(-19.0)
		2070/89	玉米(-25.5)

表 A.1

(续)

参考文献	地理位置	时间段	作物(单产变化预测)
Tao和Zhang, 2010	华北平原(2)	2050/69	玉米 (-21.5, -19.1, -16.8, -15.4, -14.7, -13.7, -13.2, -13.0, -9.7, -9.1, -9.1, -7.2, -3.3, 0.5, 15.6, 30.2)
Tao和Zhang, 2011	中国(2)	2070/89	玉米 (-19.6, -19.1, -14.0, -13.5, -6.5, -5.3, -5.0, -4.6, -3.4, -3.3, -2.0, -1.9)
Thornton等, 2009	东非(2)	2010/29	玉米(-15.0; -11.0; -3.0; -1.0)
Thornton等, 2010	布隆迪(2)	2030/49	玉米(6.0, 8.6, 9.4, 11.7)
		2050/69	玉米(8.2, 8.6, 9.6, 9.9)
	东非(2)	2050/69	玉米 (-58.0, -53.0, -51.0, -47.0, -44.0, -43.0, -42.0, -35.0)
	肯尼亚(2)	2030/49	玉米(11.7, 12.9, 15.4, 16.7)
		2050/69	玉米(15.8, 16.2, 17.6, 17.7)
	卢旺达(2)	2030/49	玉米(9.3, 10.9, 11.9, 12.8)
		2050/69	玉米(13.2, 14.9, 16.9, 17.0)
	坦桑尼亚(2)	2030/49	玉米(-4.7, -3.1, -2.8, -1.5)
		2050/69	玉米(-13.0, -10.1, -5.7, -4.1)
	乌干达(2)	2030/49	玉米(-3.6, -2.5, -2.3, -1.3)
		2050/69	玉米(-15.6, -12.3, -5.1, -3.3)
Thornton等, 2011	撒哈拉以南非洲中部(2)	2090/2109	豆子(-69.0); 玉米(-13.0)
	撒哈拉以南非洲东部(2)	2090/2109	豆子(-47.0); 玉米(-19.0)
	撒哈拉以南非洲南部(2)	2090/2109	豆子(-68.0); 玉米(-16.0)
	撒哈拉以南非洲(2)	2090/2109	豆子(-71.0); 玉米(-24.0)
	撒哈拉以南非洲西部(2)	2090/2109	豆子(-87.0); 玉米(-23.0)
Tingem和 Rivington, 2009	喀麦隆(2)	2010/29	玉米(7.4, 8.2, 61.0, 62.3)
		2070/89	玉米(-14.6, -5.6, 32.1, 45.0)
	喀麦隆四地(2)	2010/29	玉米(-10.9, 9.9, 29.6, 31.8)
		2070/89	玉米(-7.5, -1.6, 8.5, 12.0)
Walker和 Schulze, 2008	南非(2)	2070/89	玉米 (-18.3, -8.0, -6.3, 3.0, 8.7, 9.7, 9.7, 16.7, 22.3)
Wang等, 2011	中国白城(2)	2010/29	玉米(-14.6)
		2050/69	玉米(-27.9)
		2070/89	玉米(-35.9)
	中国白山(2)	2010/29	玉米(12.2)
		2050/69	玉米(32.3)
		2070/89	玉米(34.8)
	中国长春(2)	2010/29	玉米(-10)
		2050/69	玉米(-26.2)
		2070/89	玉米(-34.6)

表 A.1

(续)

参考文献	地理位置	时间段	作物(单产变化预测)
Wang等, 2011	中国吉林省(2)	2010/29	玉米 (-3.2)
		2050/69	玉米 (-14.6)
		2070/89	玉米 (-23.6)
	中国辽源(2)	2010/29	玉米 (-9.5)
		2050/69	玉米 (-23.9)
		2070/89	玉米 (-31.6)
	中国四平(2)	2010/29	玉米 (-11)
		2050/69	玉米 (-26.4)
		2070/89	玉米 (-35)
	中国松原(2)	2010/29	玉米 (-8.7)
		2050/69	玉米 (-23.9)
		2070/89	玉米 (-32.8)
	中国通化(2)	2010/29	玉米 (-0.3)
		2050/69	玉米 (-9.6)
		2070/89	玉米 (-18.9)
	中国延吉(2)	2010/29	玉米 (11.1)
		2050/69	玉米 (24.6)
		2070/89	玉米 (23.9)
Xiong等, 2007	中国灌溉水稻, 无适应措施(2)	2010/29	大米 (-0.4, 3.8)
		2050/69	大米 (-1.2, 6.2)
		2070/89	大米 (-4.9, 7.8)
	中国雨养玉米, 无适应措施(2)	2010/29	玉米 (1.1, 9.8)
		2050/69	玉米 (8.5, 18.4)
		2070/89	玉米 (10.4, 20.3)
	中国雨养小麦, 无适应措施(2)	2010/29	小麦 (4.5, 15.4)
		2050/69	小麦 (6.6, 20)
		2070/89	小麦 (12.7, 23.6)
Xiong等, 2009	中国(2)	2010/29	大米 (-4.9, 3.4, 6.3, 15.8)
		2050/69	大米 (-12.6, -8.6, 0.0, 8.0)
		2070/89	大米 (-26.2, -18.4, -5.6, -0.9)

表 A.2

2014年农业、林业和其他土地用途净排放量和净清除量，以二氧化碳当量计

	农业排放量	森林		其他土地用途		
		森林排放量/ 清除量	林地用途 净改变排放量	生物质燃烧 排放量	农田排放量	草地排放量
(千吨)						
世界	5 241 761	-1 845 936	2 913 158	1 302 674	756 075	25 705
发展中国家和区域	3 971 916	-617 225	2 786 785	1 047 486	504 550	17 946
东亚及东南亚	1 200 079	-30 495	566 447	426 306	359 610	10 492
文莱达鲁萨兰国	147	0	0	169	380	0
柬埔寨	19 354	1 310	21 424	1 045	0	0
中国香港特别行政区	81	..	..	0	0	0
中国澳门特别行政区	3	..	..	0	0	0
中国大陆	707 640	-313 720	0	1 422	1 052	164
朝鲜民主主义人民共和国	4 542	-129	14 063	166	201	1
印度尼西亚	165 614	629 248	368 819	389 752	285 367	8 982
老挝人民民主共和国	8 097	16 199	0	1 867	0	0
马来西亚	14 276	-206 783	24 183	16 115	36 509	961
蒙古	21 476	-14	15 962	529	7 796	331
缅甸	66 510	-30 534	105 869	11 462	18 258	51
菲律宾	53 173	-60 353	0	57	0	0
韩国	12 710	-43 408	3 808	11	0	0
新加坡	102	44	0	0	0	0
泰国	63 040	12 467	0	2 357	1 142	1
东帝汶	784	1 938	4 161	14	0	0
越南	62 530	-36 760	8 160	1 340	8 906	1
拉丁美洲及加勒比	909 180	-456 940	1 158 474	33 366	15 309	1 748
安圭拉	0	4	0	0	0	0
安提瓜和巴布达	22	7	0	0	0	0
阿根廷	112 377	-32 733	121 466	4 125	994	756
阿鲁巴	0	0	0	0	0	0
巴哈马	26	346	0	41	0	0
巴巴多斯	53	3	1	0	0	0
伯利兹	318	-803	2 270	228	542	42
玻利维亚多民族国	23 183	-348	84 090	1 971	0	0
巴西	441 905	-205 413	499 443	12 112	35	2
英属维尔京群岛	8	2	1	0	0	0
开曼群岛	4	9	0	0	0	0
智利	9 839	-105 380	0	306	115	19
哥伦比亚	53 628	-3 154	17 542	1 564	3 058	504
哥斯达黎加	3 466	-24 861	13 421	7	70	0
古巴	10 498	-14 007	0	44	0	0

表 A.2

(续)

	农业排放量	森林		其他土地用途		
		森林排放量/ 清除量	林地用途 净改变排放量	生物质燃烧 排放量	农田排放量	草地排放量
多米尼克	33	30	87	0	0	0
多米尼加共和国	7 783	-8 727	0	26	0	0
厄瓜多尔	12 999	-552	34 285	17	150	0
萨尔瓦多	2 625	-39	771	1	0	0
福克兰群岛 (马尔维纳斯)	142	0	0	0	0	0
法属圭亚那	59	-465	1 198	4	165	0
格林纳达	14	0	0	0	0	0
瓜德罗普	132	-24	25	0	0	0
危地马拉	8 393	-5 642	13 122	65	0	0
圭亚那	2 282	330	10 670	6 001	3 199	297
海地	3 904	-181	319	0	0	0
洪都拉斯	5 916	-107	27 974	259	0	0
牙买加	621	-50	197	2	631	0
马提尼克	39	0	0	0	0	0
墨西哥	84 719	-3 414	10 748	113	0	0
蒙特塞拉特	19	2	0	0	0	0
荷属安的列斯群岛	9	1	0	0	0	0
尼加拉瓜	7 681	-3 589	3 598	162	56	0
巴拿马	3 389	-240	7 573	6	1 208	0
巴拉圭	27 645	-8 031	149 672	1 673	0	0
秘鲁	23 264	-13 761	84 077	173	1 358	0
波多黎各	790	-2 200	0	7	280	0
圣基茨和尼维斯	66	7	0	0	0	0
圣卢西亚	28	14	20	0	0	0
圣文森特和格林纳丁斯	14	18	0	0	0	0
苏里南	759	33	1 755	803	1 961	71
特立尼达和多巴哥	249	-921	420	2	0	0
特克斯和凯科斯群岛	0	23	0	0	0	0
美属维尔京群岛	16	-93	12	0	0	0
乌拉圭	24 209	-10 663	0	2	103	40
委内瑞拉玻利瓦尔共和国	36 053	-12 372	73 720	3 651	1 385	16
北非及西亚	156 430	-85 564	5 757	72	1	0
阿尔及利亚	12 794	-804	364	37	0	0
亚美尼亚	1 366	-147	0	0	0	0
阿塞拜疆	6 447	-8 474	0	7	0	0
巴林	35	-5	0	0	0	0
塞浦路斯	369	-312	7	0	0	0
埃及	31 055	-219	0	1	0	0

表 A.2

(续)

	农业排放量	森林			其他土地用途	
		森林排放量/ 清除量	林地用途 净改变排放量	生物质燃烧 排放量	农田排放量	草地排放量
格鲁吉亚	2 612	0	0	6	0	0
伊拉克	8 577	-2 040	0	1	0	0
以色列	1 375	-73	0	0	0	0
约旦	1 185	0	0	0	0	0
科威特	417	-15	0	0	0	0
黎巴嫩	752	-4	0	0	0	0
利比亚	2 554	0	0	0	0	0
摩洛哥	13 644	-5 178	3 711	1	0	0
巴勒斯坦	273	-23	0	0	0	0
阿曼	1 578	-5	0	0	0	0
卡塔尔	822	0	0	0	0	0
沙特阿拉伯	7 221	0	0	0	0	0
阿拉伯叙利亚共和国	6 253	-1 214	0	2	0	0
突尼斯	4 436	-293	0	8	0	0
土耳其	43 192	-66 545	1 674	9	1	0
阿拉伯联合酋长国	1 676	-213	0	0	0	0
西撒哈拉	184	0	0	0	0	0
也门	7 612	0	0	0	0	0
大洋洲, 不包括澳大利亚和新西兰	7 570	-2 551	3 682	15 015	42 156	2
美属萨摩亚	5	-5	14	0	0	0
库克群岛	14	0	0	0	0	0
斐济	882	-3 124	0	7	127	0
法属波利尼西亚	35	0	0	0	0	0
关岛	4	0	0	0	0	0
基里巴斯	8	-6	0	0	0	0
马绍尔群岛	0	0	0	0	0	0
密克罗尼西亚联邦	17	-29	0	0	0	0
瑙鲁	1	0	0	0	0	0
新喀里多尼亚	221	0	0	3	0	0
纽埃	0	0	48	0	0	0
北马里亚纳群岛	0	0	61	0	0	0
帕劳	0	0	0	0	0	0
巴布亚新几内亚	5 658	331	1 869	15 005	42 029	2
皮特凯恩群岛	0	0	0	0	0	0
萨摩亚	149	0	0	0	0	0
所罗门群岛	62	294	1 686	0	0	0
托克劳	0	0	0	0	0	0
汤加	89	0	0	0	0	0
图瓦卢	0	0	0	0	0	0
瓦努阿图	426	-14	0	0	0	0
瓦利斯和富图纳	0	2	5	0	0	0

表 A.2

(续)

	农业排放量	森林			其他土地用途	
		森林排放量/ 清除量	林地用途 净改变排放量	生物质燃烧 排放量	农田排放量	草地排放量
南亚	929 770	178 218	24 761	3 455	47 940	269
阿富汗	14 794	0	0	0	0	0
孟加拉国	74 594	-5 037	2 507	501	31 226	24
不丹	453	-3 813	0	24	0	0
印度	626 864	112 200	0	1 785	8 484	26
伊朗 (伊斯兰共和国)	34 842	67 076	0	3	0	0
马尔代夫	2	2	0	0	0	0
尼泊尔	22 058	0	0	1 090	5 234	219
巴基斯坦	150 341	7 450	21 151	1	0	0
斯里兰卡	5 823	342	1 103	51	2 996	0
撒哈拉以南非洲	768 886	-219 893	1 027 664	569 273	39 534	5 435
安哥拉	29 584	155	34 311	59 602	111	97
贝宁	4 776	-185	10 723	289	0	0
博茨瓦纳	5 569	-14 382	21 715	14 942	0	103
布基纳法索	19 868	-3 845	12 646	296	0	0
布隆迪	2 222	-1 606	0	789	3 068	6
佛得角	112	-195	27	0	0	0
喀麦隆	11 595	-1 273	109 806	3 810	1 078	0
中非共和国	17 678	5 857	7 343	125	0	0
乍得	19 264	-700	25 633	275	0	0
科摩罗	237	-42	108	1	0	0
刚果	1 810	-597	8 664	3 064	1 135	29
科特迪瓦	4 790	555	3 112	37	1 697	68
刚果民主共和国	18 528	-431	145 631	20 318	28	5
吉布提	650	0	0	0	0	0
赤道几内亚	21	52	5 301	0	7	0
厄立特里亚	4 114	-749	1 409	0	0	0
埃塞俄比亚	96 256	-6 021	3 370	8 729	12 101	336
加蓬	438	-94 600	0	44	392	4
冈比亚	1 210	-359	0	114	0	0
加纳	9 185	8 103	0	60	146	0
几内亚	11 301	-783	13 249	967	656	55
几内亚比绍	1 651	-284	1 751	6	0	0
肯尼亚	37 133	-31 533	0	34	262	1
莱索托	1 447	-264	66	5	0	0
利比里亚	420	-13 973	15 154	47	116	14
马达加斯加	21 957	4 918	9 749	4 340	1 321	1 360
马拉维	5 239	-1 764	4 698	857	550	1
马里	29 722	6	6 536	625	0	0

表 A.2

(续)

	农业排放量	森林		其他土地用途		
		森林排放量/ 清除量	林地用途 净改变排放量	生物质燃烧 排放量	农田排放量	草地排放量
毛里塔尼亚	7 693	-2 161	643	0	0	0
毛里求斯	148	-15	0	0	0	0
马约特	0	-2	49	0	0	0
莫桑比克	17 705	2 615	34 785	2 276	0	0
纳米比亚	6 060	45	7 846	1 059	0	0
尼日尔	23 128	27	1 440	80	0	0
尼日利亚	64 239	-4 492	187 825	5 022	0	0
留尼汪	163	0	0	0	0	0
卢旺达	2 996	-2 413	0	530	2 731	14
圣赫勒拿	2	1	0	0	0	0
圣多美和普林西比	16	0	0	0	0	0
塞内加尔	10 599	-4 371	8 771	734	0	0
塞舌尔	4	0	0	0	0	0
塞拉利昂	2 826	5 683	0	431	0	0
索马里	20 309	-3 359	16 559	2	0	0
南非	30 000	0	0	2 067	248	7
南苏丹	43 098	..	..	..	..	..
苏丹	72 517	..	..	..	..	..
苏丹(前)	..	-27 982	72 044	75 394	750	154
斯威士兰	925	8	138	98	0	0
多哥	2 605	-123	6 680	19	0	0
乌干达	23 999	-717	18 317	1 739	6 404	68
坦桑尼亚	49 696	-4 326	165 381	40 463	6 721	165
赞比亚	22 954	-24 381	30 152	319 957	12	2 951
津巴布韦	10 428	10	36 034	25	0	0
发达国家和地区	1 269 845	-1 228 711	126 373	255 187	251 525	7 758
阿尔巴尼亚	2 830	-737	224	0	156	0
安道尔	0	-22	0	0	0	0
澳大利亚	141 847	-72 969	0	3 269	3 150	29
奥地利	6 601	-5 428	295	0	234	7
白俄罗斯	19 989	-25 520	0	377	24 708	107
比利时	8 787	-3 156	274	0	245	8
百慕大	4	0	0	0	0	0
波斯尼亚和黑塞哥维那	2 573	0	0	13	135	0
保加利亚	5 493	-11 367	0	11	1 441	0
加拿大	61 783	-53 446	60 330	100 626	12 937	1 440
克罗地亚	2 572	-4 133	290	0	0	0
捷克共和国	6 295	-12 687	0	0	190	0
丹麦	9 445	-2 200	0	0	1 700	5
爱沙尼亚	2 636	-1 531	108	9	5 742	65

表 A.2

(续)

	农业排放量	森林		生物质燃烧 排放量	其他土地用途	
		森林排放量/ 清除量	林地用途 净改变排放量		农田排放量	草地排放量
法罗群岛	27	0	0	0	0	0
芬兰	5 612	0	0	0	5 619	95
法国	72 264	-92 657	6 857	8	6 700	257
德国	60 636	-49 867	0	0	11 979	521
直布罗陀	0	0	0	0	0	0
希腊	8 396	-2 200	0	30	1 492	0
格陵兰	5	0	0	0	0	0
罗马教廷	0	..	..	..	0	0
匈牙利	7 034	-3 593	0	12	7 819	11
冰岛	452	-183	0	0	0	0
爱尔兰	20 476	-1 393	0	0	477	476
马恩岛	2	-3	0	0	5	0
意大利	30 073	-35 200	0	1	905	7
日本	20 709	-678	1 065	22	7 027	25
哈萨克斯坦	20 712	0	0	216	0	0
吉尔吉斯斯坦	4 537	-816	0	0	0	0
拉脱维亚	3 150	-17 027	967	4	5 183	32
列支敦士登	18	0	0	..	0	0
立陶宛	4 724	-7 594	1 654	1	6 345	30
卢森堡	645	0	0	0	4	0
马耳他	99	0	0	0	0	0
摩纳哥	0	..	..	..	0	0
黑山	384	0	0	0	62	0
荷兰	18 325	-2 493	0	0	3 505	148
新西兰	38 654	-18 731	398	0	2 846	85
挪威	4 616	-25 770	1 570	2	2 135	114
波兰	34 158	-40 333	0	1	14 867	357
葡萄牙	6 324	-603	1 924	11	427	3
摩尔多瓦共和国	1 613	-1 254	0	5	165	1
罗马尼亚	13 963	-165 066	0	142	1 155	0
俄罗斯联邦	92 228	-232 738	12 738	80 894	29 855	1 563
圣皮埃尔和密克隆	0	-1	3	0	0	0
圣马力诺	0	0	0	..	0	0
塞尔维亚	6 453	-3 105	1 785	1	3	0
斯洛伐克	2 549	-5 296	163	0	43	0
斯洛文尼亚	1 433	-6 387	81	0	62	0
西班牙	36 426	-33 587	0	23	409	1
斯瓦尔巴德和扬马延	0	..	..	0	0	0
瑞典	6 640	-42 436	34 003	296	4 148	29
瑞士	5 192	-1 833	0	0	268	13

表 A.2

(续)

	农业排放量	森 林		生物质燃烧 排放量	其他土地用途	
		森林排放量/ 清除量	林地用途 净改变排放量		农田排放量	草地排放量
塔吉克斯坦	5 530	0	0	0	0	0
前南斯拉夫马其顿共和国	1 203	0	0	0	0	0
土库曼斯坦	8 076	0	0	1	0	0
乌克兰	30 967	-18 333	0	2 400	12 400	117
英国	45 014	-15 400	0	0	2 801	383
美国	351 475	-192 867	0	66 783	72 180	1 828
乌兹别克斯坦	28 195	-18 071	1 645	30	0	0

表 A.3

2014年农业各排放源排放量, 以二氧化碳当量计

	作物 残余 燃烧	稀树 草原 燃烧	作物 残余	有机 土壤 耕作	肠道 发酵	粪便 管理	草场 粪便	土壤 粪肥	稻米 种植	化肥
(千吨)										
世界	29 732	213 438	211 685	132 815	2 084 835	350 874	845 353	191 495	522 790	658 744
发展中国家和区域	21 721	165 043	133 883	65 465	1 617 857	198 919	712 007	116 462	500 039	440 522
东亚及东南亚	8 125	3 776	54 597	45 521	291 009	107 795	117 309	53 302	315 408	203 238
文莱达鲁萨兰国	0	0	0	40	5	20	42	30	8	2
柬埔寨	148	1 216	834	0	3 740	1 291	936	408	10 159	622
中国香港特别行政区	..	0	..	0	6	26	5	7	..	37
中国澳门特别行政区	..	0	..	0	..	1	1	1	..	0
中国大陆	5 011	112	35 899	883	203 958	73 639	82 777	38 049	112 860	154 453
朝鲜民主主义人民共和国	67	2	428	45	1 051	322	588	171	1 869	..
印度尼西亚	920	217	5 914	34 168	20 844	7 454	11 156	4 902	61 260	18 779
老挝人民民主共和国	62	66	365	0	3 219	1 154	871	382	1 976	..
马来西亚	31	8	205	4 289	1 065	927	1 122	756	2 592	3 282
蒙古	9	825	45	3 065	9 956	1 183	5 406	868	..	119
缅甸	336	859	2 393	1 962	21 549	7 554	5 787	2 725	22 315	1 029
菲律宾	431	15	1 833	0	6 489	3 323	2 257	1 073	33 300	4 452
韩国	37	0	386	0	3 486	1 594	1 173	801	3 596	1 637
新加坡	..	0	..	0	6	52	12	15	..	17
泰国	625	327	3 018	122	6 380	3 054	2 127	1 179	36 389	9 819
东帝汶	4	6	14	0	365	136	110	39	110	..
越南	445	123	3 263	947	8 891	6 067	2 936	1 895	28 972	8 991
拉丁美洲及加勒比	3 886	13 017	25 960	2 667	528 368	24 866	211 737	26 422	17 107	55 151
安圭拉	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
安提瓜和巴布达	0	0	0	0	13	1	6	2	..	0
阿根廷	578	2 040	7 393	638	65 016	2 036	26 805	1 405	1 430	5 036
阿鲁巴	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
巴哈马	0	6	0	0	4	3	8	5	..	..
巴巴多斯	0	0	0	0	18	7	15	9	..	3
伯利兹	3	3	6	76	118	7	51	6	2	46
玻利维亚多民族国	55	394	452	0	14 180	857	6 214	652	226	153
巴西	1 932	7 726	12 386	5	265 069	10 990	103 429	12 184	3 193	24 992
英属维尔京群岛	..	0	..	0	5	0	3	0	..	..
开曼群岛	..	0	..	0	3	0	1	0	..	..
智利	18	32	222	107	4 437	491	2 027	801	104	1 601
哥伦比亚	92	943	287	539	30 928	1 485	11 199	2 196	2 027	3 930
哥斯达黎加	6	10	20	7	1 856	123	558	274	33	579
古巴	43	21	81	0	5 625	354	2 397	325	1 009	643
多米尼克	0	0	0	0	21	1	7	3	..	0

表 A.3

(续)

	作物 残余 燃烧	稀树 草原 燃烧	作物 残余	有机 土壤 耕作	肠道 发酵	粪便 管理	草场 粪便	土壤 粪肥	稻米 种植	化肥
多米尼加共和国	14	4	58	0	3 935	310	1 826	416	940	280
厄瓜多尔	54	2	207	16	6 055	504	2 434	720	1 755	1 252
萨尔瓦多	29	2	68	0	1 389	95	499	149	4	390
福克兰群岛 (马尔 维纳斯)	..	0	..	0	80	2	60	0	..	..
法属圭亚那	0	0	0	18	22	1	9	1	7	..
格林纳达	0	0	0	0	8	1	5	1	..	..
瓜德罗普	1	0	..	0	89	4	36	3	..	..
危地马拉	82	41	138	0	4 489	436	1 685	508	7	1 008
圭亚那	13	12	72	466	170	30	111	46	1 285	78
海地	33	0	55	0	2 295	183	1 063	167	108	..
洪都拉斯	24	49	39	0	3 544	175	1 348	259	5	474
牙买加	2	0	0	67	270	44	162	46	0	31
马提尼克	0	0	..	0	23	3	11	2	..	..
墨西哥	616	243	2 215	0	45 492	3 491	20 542	3 233	98	8 789
蒙特塞拉特	0	0	0	0	13	0	5	1	..	..
荷属安的列斯群岛	..	0	..	0	4	1	3	1	..	..
尼加拉瓜	31	56	78	6	4 878	202	1 711	337	56	326
巴拿马	11	6	33	128	2 026	105	817	112	26	124
巴拉圭	91	305	1 059	0	17 307	490	6 928	256	353	856
秘鲁	63	15	370	144	12 349	866	5 103	756	1 880	1 716
波多黎各	0	0	0	30	486	31	192	52	..	..
圣基茨和尼维斯	..	0	0	0	4	15	25	22	..	0
圣卢西亚	..	0	..	0	15	2	7	2	..	2
圣文森特和格林纳 丁斯	0	0	0	0	7	1	4	1	..	..
苏里南	3	5	20	239	46	11	29	13	366	30
特立尼达和多巴哥	0	0	1	0	57	39	84	59	9	0
特克斯和凯科斯 群岛	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
美属维尔京群岛	..	0	..	0	11	1	5	1	..	..
乌拉圭	30	1	490	28	14 923	361	6 143	276	984	973
委内瑞拉玻利瓦尔 共和国	61	1 101	212	154	21 091	1 105	8 171	1 119	1 199	1 840
北非及西亚	793	266	6 259	0	61 043	3 559	50 067	2 101	4 929	27 414
阿尔及利亚	52	141	348	0	5 531	293	4 538	170	1	1 721
亚美尼亚	4	1	51	0	625	50	502	29	..	105
阿塞拜疆	22	5	190	0	3 239	164	2 483	101	6	237
巴林	..	0	0	0	16	1	14	1	..	4
塞浦路斯	0	1	3	0	116	68	100	35	..	46
埃及	138	0	1 423	0	10 072	471	6 556	230	3 702	8 463
格鲁吉亚	13	0	31	0	1 143	85	897	48	..	394

表 A.3

(续)

	作物 残余 燃烧	稀树 草原 燃烧	作物 残余	有机 土壤 耕作	肠道 发酵	粪便 管理	草场 粪便	土壤 粪肥	稻米 种植	化肥
伊拉克	72	54	477	0	3 505	200	2 669	113	541	946
以色列	2	0	28	0	423	86	510	69	..	258
约旦	1	0	9	0	467	35	467	22	..	184
科威特	0	0	3	0	112	35	232	35	..	0
黎巴嫩	1	0	18	0	192	40	346	47	..	107
利比亚	5	0	34	0	1 273	71	1 129	41	..	0
摩洛哥	105	2	615	0	5 690	357	5 105	240	26	1 504
巴勒斯坦	0	1	3	0	128	9	126	6	..	..
阿曼	0	0	2	0	803	47	561	10	..	156
卡塔尔	0	0	0	0	138	13	104	7	..	561
沙特阿拉伯	5	1	65	0	2 297	212	2 328	149	..	2 165
阿拉伯叙利亚共和国	42	11	260	0	3 105	128	2 519	36	..	152
突尼斯	22	10	195	0	1 761	133	1 684	108	..	523
土耳其	301	38	2 427	0	15 514	793	13 325	508	652	9 634
阿拉伯联合酋长国	0	0	3	0	883	59	605	19	..	107
西撒哈拉	..	0	..	0	129	5	49	1	..	..
也门	7	0	73	0	3 883	204	3 217	78	..	150
大洋洲，不包括澳大利亚和新西兰	3	103	2	4 482	1 090	1 043	536	175	14	121
美属萨摩亚	0	0	..	0	0	4	0	1	..	..
库克群岛	..	0	..	0	1	11	0	1	..	0
斐济	2	1	1	14	462	108	242	29	6	18
法属波利尼西亚	0	0	0	0	13	12	7	3	..	1
关岛	0	0	0	0	1	2	0	1	..	..
基里巴斯	..	0	..	0	0	5	0	2	..	..
马绍尔群岛	..	0	..	0	..	..	..	..	..	0
密克罗尼西亚联邦	0	0	0	0	1	12	1	2	1	..
瑙鲁	..	0	..	0	0	1	0	0	..	..
新喀里多尼亚	0	1	0	0	124	24	64	5	..	4
纽埃	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
北马里亚纳群岛	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
帕劳	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
巴布亚新几内亚	1	102	1	4 469	162	682	62	101	2	77
皮特凯恩群岛	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
萨摩亚	0	0	..	0	45	72	21	11	..	0
所罗门群岛	0	0	0	0	22	21	10	4	5	..
托克劳	..	0	..	0	0	0	0	0	..	..
汤加	..	0	..	0	22	30	11	5	..	21
图瓦卢	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..

表 A.3

(续)

	作物 残余 燃烧	稀树 草原 燃烧	作物 残余	有机 土壤 耕作	肠道 发酵	粪便 管理	草场 粪便	土壤 粪肥	稻米 种植	化肥
瓦努阿图	0	0	0	0	237	59	119	11	..	..
瓦利和富图纳	0	0	..	0	..	..	..	..	..	..
南亚	5 447	270	34 818	5 223	426 528	42 739	112 636	25 483	138 043	138 583
阿富汗	103	8	554	0	8 415	680	3 257	514	647	616
孟加拉国	546	4	4 067	3 329	23 793	2 268	9 530	1 695	24 673	4 690
不丹	3	2	12	0	275	25	67	13	49	6
印度	3 779	160	24 759	913	283 500	28 428	64 594	15 216	96 207	109 309
伊朗 (伊斯兰共和国)	247	53	1 391	0	15 070	2 053	9 149	2 467	2 723	1 690
马尔代夫	0	0	0	0	..	..	..	..	..	2
尼泊尔	164	8	749	663	11 930	1 112	2 928	664	3 270	570
巴基斯坦	562	25	3 013	0	82 329	8 024	22 830	4 827	8 500	20 232
斯里兰卡	44	10	272	318	1 216	150	282	88	1 974	1 468
撒哈拉以南非洲	3 467	147 611	12 247	7 571	309 819	18 917	219 721	8 980	24 538	16 017
安哥拉	129	21 097	207	53	3 922	618	2 918	341	177	122
贝宁	79	1 012	136	0	1 816	155	1 373	75	44	86
博茨瓦纳	8	2 287	10	44	1 742	71	1 247	26	..	137
布基纳法索	65	1 268	354	0	9 062	826	6 846	378	755	312
布隆迪	9	13	48	329	896	101	699	56	35	36
佛得角	2	0	1	0	44	16	39	10	..	..
喀麦隆	78	1 279	260	115	4 944	502	3 755	255	248	158
中非共和国	9	10 911	19	0	3 596	298	2 674	143	25	1
乍得	23	4 898	210	0	8 176	382	5 259	96	221	..
科摩罗	1	0	4	0	52	2	42	1	134	..
刚果	2	1 145	3	133	271	27	209	13	5	2
科特迪瓦	45	834	190	209	1 461	153	1 288	91	241	277
刚果民主共和国	166	15 497	208	5	1 045	220	921	130	256	81
吉布提	0	0	0	0	377	17	251	4	..	..
赤道几内亚	..	0	..	1	9	2	8	1	..	..
厄立特里亚	2	26	31	0	2 375	98	1 536	42	..	3
埃塞俄比亚	221	3 432	1 289	1 436	50 196	2 048	35 179	794	138	1 524
加蓬	2	186	3	43	67	39	60	24	1	12
冈比亚	6	131	20	0	389	19	283	7	351	5
加纳	90	3 580	207	15	2 290	249	2 050	141	316	246
几内亚	81	1 714	265	93	3 835	173	2 768	68	2 288	17
几内亚比绍	6	228	25	0	612	100	448	55	176	..
肯尼亚	175	218	371	45	20 718	869	13 942	420	42	334
莱索托	8	68	11	0	755	27	557	20	..	..
利比里亚	11	0	37	18	101	54	109	34	54	..
马达加斯加	92	1 669	393	719	7 388	532	5 238	279	5 574	73

表 A.3

(续)

	作物 残余 燃烧	稀树 草原 燃烧	作物 残余	有机 土壤 耕作	肠道 发酵	粪便 管理	草场 粪便	土壤 粪肥	稻米 种植	化肥
马拉维	138	237	340	59	1 554	507	1 273	307	103	721
马里	93	3 904	531	0	12 418	591	8 978	221	1 006	1 980
毛里塔尼亚	4	45	31	0	4 409	217	2 677	57	253	..
毛里求斯	3	0	0	0	10	12	60	9	2	52
莫桑比克	153	12 685	212	0	1 732	373	1 411	229	553	357
纳米比亚	2	2 032	10	0	2 215	102	1 644	38	..	16
尼日尔	2	215	547	0	12 766	598	8 689	179	23	110
尼日利亚	599	2 331	2 143	0	25 847	2 313	20 967	1 167	7 117	1 755
留尼汪	1	0	1	0	34	22	87	17	0	..
卢旺达	21	17	124	296	1 215	208	922	124	24	45
圣赫勒拿	..	0	..	0	1	0	1	0	..	..
圣多美和普林西比	0	0	0	0	3	6	3	4	..	..
塞内加尔	18	2 630	96	0	3 970	289	3 128	132	198	137
塞舌尔	..	0	..	0	1	1	1	1	..	0
塞拉利昂	30	157	135	0	837	67	679	28	894	..
索马里	8	25	33	0	13 010	648	6 439	143	4	..
南非	290	2 341	1 030	29	12 529	869	9 677	407	7	2 823
南苏丹	22	21 485	106	145	11 911	488	8 727	214	..	0
苏丹	15	4 142	926	0	37 898	1 563	24 742	893	46	2 293
斯威士兰	10	40	7	0	482	25	348	13	0	..
多哥	58	344	127	0	901	128	811	72	20	144
乌干达	94	1 164	294	720	11 737	830	8 484	464	140	72
坦桑尼亚	377	6 734	871	787	21 102	874	14 977	453	3 019	502
赞比亚	99	13 453	224	2 277	3 075	313	2 341	162	49	960
津巴布韦	120	2 135	157	0	4 020	275	2 957	141	0	621
发达国家和地区	8 011	48 395	77 803	67 350	466 978	151 955	133 347	75 033	22 752	218 222
阿尔巴尼亚	7	0	47	17	1 479	426	410	248	0	197
安道尔	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
澳大利亚	422	42 022	3 040	348	50 475	5 251	29 635	1 092	496	9 066
奥地利	27	0	339	47	3 199	1 282	468	684	..	555
白俄罗斯	32	2	578	5 708	6 778	1 991	600	1 357	..	2 944
比利时	12	0	243	43	3 786	1 959	526	995	..	1 224
百慕大	..	0	0	0	2	1	0	0	..	..
波斯尼亚和黑塞哥 维那	15	0	66	25	1 049	375	207	231	..	605
保加利亚	72	0	626	161	1 294	357	243	267	65	2 408
加拿大	393	1 516	4 058	8 873	15 820	6 121	5 050	1 655	..	18 296
克罗地亚	25	0	176	0	889	433	163	223	..	664
捷克共和国	34	0	602	40	2 103	705	205	486	..	2 121

表 A.3

(续)

	作物 残余 燃烧	稀树 草原 燃烧	作物 残余	有机 土壤 耕作	肠道 发酵	粪便 管理	草场 粪便	土壤 粪肥	稻米 种植	化肥
丹麦	22	0	677	383	3 015	2 704	359	1 134	..	1 151
爱沙尼亚	5	0	89	1 496	472	182	66	95	..	231
法罗群岛	..	0	0	0	16	2	7	2	..	..
芬兰	8	0	292	1 600	1 543	604	223	322	..	1 019
法国	312	2	4 674	934	29 666	9 881	4 836	5 969	177	15 815
德国	139	0	3 410	4 740	22 018	10 346	2 950	5 268	..	11 766
直布罗陀	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..
希腊	32	9	294	159	3 102	745	1 505	473	321	1 756
格陵兰	..	0	..	0	3	0	1	0	..	..
罗马教廷	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
匈牙利	128	0	961	899	1 509	752	226	539	14	2 006
冰岛	..	0	0	0	231	45	78	28	..	70
爱尔兰	2	0	181	1 402	10 705	2 683	1 881	1 709	..	1 912
马恩岛	..	0	..	2	..	..	..	..	..	..
意大利	136	3	1 242	99	11 970	5 323	2 170	2 933	2 323	3 873
日本	76	0	795	833	4 647	2 111	1 606	1 178	6 876	2 587
哈萨克斯坦	388	2 524	1 551	0	9 474	1 751	3 116	1 082	439	387
吉尔吉斯斯坦	18	0	119	0	2 559	443	859	299	37	202
拉脱维亚	12	0	164	1 237	733	267	100	152	..	485
列支敦士登	..	..	..	0	11	3	2	2	..	..
立陶宛	24	0	349	1 476	1 294	487	171	265	..	658
卢森堡	0	0	10	1	299	87	43	50	..	155
马耳他	0	0	2	0	30	27	5	10	..	25
摩纳哥	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
黑山	0	0	3	7	225	63	43	35	..	8
荷兰	5	0	180	1 373	7 749	4 208	1 084	2 132	..	1 594
新西兰	3	1	75	379	21 179	3 198	11 240	465	..	2 115
挪威	2	1	89	937	1 719	511	399	303	..	657
波兰	127	0	1 679	4 676	9 758	3 900	865	2 620	..	10 534
葡萄牙	12	6	79	47	2 673	1 345	567	683	301	612
摩尔多瓦共和国	47	0	199	33	509	195	113	181	..	336
罗马尼亚	263	0	1 401	123	5 520	1 917	1 316	1 389	75	1 959
俄罗斯联邦	962	1 415	8 379	12 791	35 487	11 157	4 980	8 197	1 150	7 710
圣皮埃尔和密克隆	..	0	..	0	0	0	0	0	..	..
圣马力诺	..	..	..	0	..	..	..	..	..	..
塞尔维亚	102	0	641	0	2 093	1 067	393	520	..	1 637
斯洛伐克	29	0	302	9	792	286	99	195	..	837
斯洛文尼亚	4	0	38	7	729	229	112	133	..	180
西班牙	106	22	1 401	44	12 289	7 847	3 036	3 404	1 164	7 112
斯瓦尔巴和扬马延岛	..	0	..	0	..	..	..	..	..	..

表 A.3

(续)

	作物 残余 燃烧	稀树 草原 燃烧	作物 残余	有机 土壤 耕作	肠道 发酵	粪便 管理	草场 粪便	土壤 粪肥	稻米 种植	化肥
瑞典	14	0	395	1 006	2 398	818	382	457	..	1 169
瑞士	4	0	67	105	2 766	966	396	521	..	367
塔吉克斯坦	11	4	101	0	3 151	593	886	366	51	366
前南斯拉夫马其顿 共和国	5	0	46	0	597	168	135	96	30	125
土库曼斯坦	15	24	121	0	4 560	785	1 745	549	277	..
乌克兰	552	5	4 627	3 104	8 273	4 393	885	2 487	60	6 582
英国	61	0	1 775	2 164	20 019	4 935	5 175	3 396	..	7 490
美国	3 297	808	31 024	10 021	119 973	42 990	37 995	16 463	8 682	80 221
乌兹别克斯坦	51	32	597	0	14 349	3 039	3 788	1 696	212	4 433

参考文献

第一章

- Alexandratos, N. & Bruinsma, J.** 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. & Cattaneo, A.** 2014. *Climate variability, adaptation strategies and food security in Malawi*. ESA Working Paper No. 14–08. Rome, FAO.
- Branca, G., McCarthy, N., Lipper, L. & Jolejole, M.** 2011. *Climate-smart agriculture: a synthesis of empirical evidence of food security and mitigation benefits from improved cropland management*. FAO Mitigation of Climate Change in Agriculture Series No. 3. Rome, FAO.
- Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B. & Woodward, A.** 2007. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, eds. *Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 391–431.
- De Pinto, A., Thomas, T. & Wiebe, K.** 2016. *Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security*. Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016*. Washington DC, IFPRI (International Food Policy Research Institute). (unpublished).
- FAO.** 2006. *Food security*. Policy brief, Issue 2, June 2006. Rome.
- FAO.** 2010. *“Climate-smart” agriculture: policies, practices and financing for food security, adaptation and mitigation*. Rome.
- FAO.** 2011. *“Energy-smart” food for people and climate*. An Issue Paper. Rome.
- FAO.** 2012. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012*. Rome.
- FAO.** 2013. *Climate change guidelines for forest managers*. FAO Forestry Paper 172. Rome.
- FAO.** 2014. *Building a common vision for sustainable food and agriculture. Principles and approaches*. Rome.
- FAO.** 2016. *The agriculture sectors in the Intended Nationally Determined Contributions: Summary*. Rome.
- FAO.** FAOSTAT. Online Statistical Database (available at <http://faostat.fao.org/>). Rome.
- Hallegatte, S., Bangalore, M., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch U., Rozenberg, J., Treguer, D. & Vogt-Schilb, A.** 2016. *Shock waves: managing the impacts of climate change on poverty*. Climate change and development series. Washington, DC, World Bank.
- IFPRI (International Food Policy Research Institute).** 2015. *Global nutrition report 2015: Actions and accountability to advance nutrition and sustainable development*. Washington, DC.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** 2014. Summary for policy-makers. In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx, eds. *Climate change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Myers, S.S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A.D.B., Bloom, A.J., Carlisle, E., Dieterich, H.L., Fitzgerald, G., Hasegawa, T., Holbrook, N.M., Nelson, R.L., Ottman, M.J., Raboy, V., Sakai, H., Sartor, K.A., Schwartz, J., Seneweera, S., Tausz, M. & Usui, Y.** 2014. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 510: 139–142.
- Paerl, H. & Huisman, J.** 2009. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms. *Environmental Microbiology Reports*, 1(1): 1–95.
- Paterson, R. & Lim, N.** 2010. How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43: 1902–1914.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. & Trnka, M.** 2014. Food security and food production systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy,

S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 485–533.

Schleussner, C.F., Lissner, T.K., Fischer, E.M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W. & Schaeffer, M. 2016. Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C. *Earth system dynamics*, 7:327–351.

Searchinger, D.T., Zhang, X., Davidson, E.A., Mauzerall, D.L., Dumas, P. & Shen, Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528: 51–59.

Smith P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsidig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C.W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F. & Tubiello, F. 2014. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx, eds. *Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Thornton P., Ericksen P.J., Herrero M. & Challinor A.J. 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global change biology*, 20:3313–3328.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. *United Nations framework convention on climate change.* New York, USA, United Nations.

UNFCCC. 2015. *Adoption of the Paris Agreement. United Nations framework convention on climate change.* Paris.

Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. & Ingram, J.S.I. 2012. Climate change and food systems, *annual review of Environment and Resources*, 37: 195–222.

WHO (World Health Organization). 2003. *Climate change and human health – risks and responses. Summary.* Geneva.

Wijesinha-Bettoni, R., Kennedy, G., Dirorimwe, C. & Muehlhoff, E. 2013. Considering seasonal variations in food availability and caring capacity when planning complementary feeding interventions in developing countries. *International Journal of Child Health and Nutrition*, 2 (4): 335–352.

Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. & Campbell, B.M. 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology.* In press.

World Bank. 2008. *World Development Report 2008. Agriculture for development.* Washington, DC.

Zeza, A., Davis, B., Azzarri, C., Covarrubias, K., Tasciotti, L. & Anriquez, G. 2008. *The impact of rising food prices on the poor.* ESA Working Paper 08-07. Rome, FAO.

第二章

Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J.H., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A. & Cobb, N. 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 660–684.

Alling, A., Doherty, O., Logan, H., Feldman, L. & Dustan, P. 2007. Catastrophic coral mortality in the remote Central Pacific Ocean: Kiribati, Phoenix Islands. *Atoll Research Bulletin*, 551: 1–19.

参考文献

- Antle, J.M. & Crissman, C.C.** 1990. Risk, efficiency, and the adoption of modern crop varieties: evidence from the Philippines. *Economic Development and Cultural Change*, 38(3): 517–537.
- Arnell, N.W., Cannell, M.G., Hulme, M., Kovats, R.S., Mitchell, J.F., Nicholls, R.J., Parry, M.L., Livermore, M.T.J. & White, A.** 2002. The consequences of CO₂ stabilisation for the impacts of climate change. *Climatic Change*, 53(4): 413–446.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A. & Kokwe, M.** 2015. Climate-smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.
- Arslan, A., Belotti, F. & Lipper, L.** 2016. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*. ESA Working Paper 16–03. Rome, FAO.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. & Lipper, L.** 2015a. *Welfare cost of weather fluctuations and climate shocks in Ethiopia*. Mimeo.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. & Lipper, L.** 2015b. *Adaptation to climate change and food security in Ethiopia*. <https://www.economic.com/esa/publications/details/en/c/279717/>. Rome, FAO.
- Asfaw, S., Di Battista, F. & Lipper, L.** 2015. *Effects of weather fluctuations and climate shocks on household welfare: evidence from Niger*. Mimeo.
- Asfaw, S., Maggio, G. & Lipper, L.** 2015. *Gender differentiated impact of climate shock in Malawi*. ESA Working Paper.
- Bárcena, A., Prado, A., Samaniego, J. & Pérez, R.** 2014. *The economics of climate change in Latin America and the Caribbean: paradoxes and challenges*. Santiago, United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean.
- Brander, K.M.** 2007. Global fish production and climate change. *PNAS*, 104(50): 19709–19714.
- CGIAR, CCAFS & University of Leeds.** 2016. *Agriculture Impacts*. (Available at <http://www.ag-impacts.org>).
- Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R. & Chhetri, N.** 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287–291.
- Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Zeller, D. & Pauly, D.** 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16: 24–35.
- Chomo, V. & De Young, C.** 2015. Towards sustainable fish food and trade in the face of climate change. *BIORES*, 9(2).
- Ciais, P., Schelhaas, M.J., Zaehle, S., Piao, L., Cescatti, A., Liski, J., Luyssaert, S., Le-Maire, G., Schulze, E.D., Bouriaud, O., Freibauer, A., Valentini, R. & Nabuurs, G.J.** 2008. Carbon accumulation in European forests. *Nature Geoscience*, 1(7): 425–429.
- Cline, W.R.** 2007. *Global warming and agriculture: impact estimates by country*. Washington, DC, Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics.
- Dercon, S. & Christiaensen, L.** 2011. Consumption risk, technology adoption and poverty traps: evidence from Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 96: 159–173.
- De Pinto, A., Thomas, T. & Wiebe, K.** 2016. Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security. Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016*. Washington DC, IFPRI (International Food Policy Research Institute). (unpublished).
- Fafchamps, M.** 1992. Solidarity networks in pre-industrial societies: rational peasants with a moral economy. *Economic Development and Cultural Change*, 41: 147–174.
- FAO.** 2011. *FAO-Adapt: Framework Programme on Climate Change Adaptation*. Rome.
- FAO.** 2015. *The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition*. Rome.

FAO. 2016a. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome.

FAO. 2016b. *2015–2016 El Niño – Early action and response for agriculture, food security and nutrition*. Rome.

FAO. 2016c. *Climate change implications for fisheries and aquaculture: Summary of the findings of the intergovernmental panel on climate change fifth assessment report*, by A.Seggel, & C.De Young. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1122. Rome.

FAO. 2016d. FAOSTAT. Online Statistical Database (retrieved 30 July 2016) (available at <http://faostat.fao.org/>).

FAO. FAOSTAT. Online Statistical Database (available at <http://faostat.fao.org/>).

Feder, G., Just, R. & Zilberman, D. 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: a survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33: 255–298.

Gray, J., Dautel, H., Estrada-Peña, A., Kahl, O. & Lindgren, E. 2009. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, 2009: ID 593232.

Hallegatte, S., Mook B., Bonzanigo, L., Fay, M., Kane, T., Narloch, U., Rozenberg, J., Treguer, D. & Vogt-Schilb, A. 2015. *Shock waves: managing the impacts of climate change on poverty*. Climate Change and Development Series. Washington, DC, World Bank.

Heltberg, R. & Tarp, F. 2002. Agricultural supply response and poverty in Mozambique. *Food Policy*, 27(2): 103–124.

HLPE (High Level Panel of Experts). 2012. *Food security and climate change. A report by the high level panel of experts on food security and nutrition of the committee on world food security*, Rome.

Hurley, T. 2010. *Review of agricultural production risk in the developing world*. Harvest Choice Working Paper 11. Washington, DC, IFPRI.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

2007. *Climate change 2007: synthesis report*.

Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and A. Reisinger, eds.]. Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC. 2014. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Kassie, M., Pender, J., Mahmud, Y., Kohlin, G.,

Bluffstone, R. & Mulugeta, E. 2008. Estimating returns to soil conservation adoption in the Northern Ethiopian Highlands. *Agricultural Economics*, 38: 213–232.

Kirtman, B., Power, S.B., Adedoyin, J.A., Boer, G.J., Bojariu, R., Camilloni, I., Doblaz-Reyes, F.J., Fiore, A.M., Kimoto, M., Meehl, G.A., Prather, M., Sarr, A., Schär, C., Sutton, R., van Oldenborgh, G.J., Vecchi, G. & Wang, H.J.

2014. Near-term climate change: projections and predictability. In: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley, eds. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Krishnamurthy, P.K., Lewis, K. & Choularton R.J.

2014. A methodological framework for rapidly assessing the impacts of climate risk on national-level food security through a vulnerability index. *Global Environmental Change*, 25: 121–132.

Lam, V.W.Y., Cheung, W.W.L., Swartz, W. & Sumaila,

U.R. 2012. Climate change impacts on fisheries in West Africa: implications for economic, food and nutritional security. *African Journal of Marine Science*, 34(1): 103–117.

参考文献

- Lancelot, R., de La Rocque, S. & Chevalier, V.** 2008. Bluetongue and Rift Valley fever in livestock: a climate change perspective with a special reference to Europe, the Middle East and Africa. *In: P. Rowlinson, M. Steele & A. Nefzaoui, eds. Livestock and global climate change. Proceedings of the british society of animal science (BSAS) international conference on livestock and global climate change, Hammamet, Tunisia, 17–20 May 2008, pp. 87–89.* Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Lobell, D.B., Schlenker, W. & Costa-Roberts, J.** 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042): 616–620.
- Lozanoff, J. & Cap, E.** 2006. *Impact of climate change over Argentine agriculture: an economy study.* Argentina, INIA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria).
- Marlier M.E., DeFries R.S., Voulgarakis A., Kinney P.L., Randerson J.T., Shindell D.T., Chen Y. & Faluvegi G.** 2013. El Niño and health risks from landscape fire emissions in Southeast Asia. *Nature Climate Change*, (3): 131–6.
- Mendelsohn, R.O., Arellano, J. & Christensen, P.** 2010. A Ricardian analysis of Mexican farms. *Environment and Development Economics*, 15(2): 153–171.
- Met Office Hadley Centre & WFP.** 2015. Food Insecurity and Climate Change. Web site. [Available at: <http://www.metoffice.gov.uk/food-insecurity-index/>]
- Miles, L., Newton, A.C., DeFries, R.S., Ravilious, C., May, I., Blyth, S., Kapos, V. & Gordon, J.E.** 2006. A global overview of the conservation status of tropical dry forests. *Journal of Biogeography*, 33(3): 491–505.
- Moss, R.H., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I., Emori, S., Erda, L., Hibbard, K., Jones, R., Kainuma, M., Kelleher, J., Lamarque, J.F., Manning, M., Matthews, B., Meehl, J., Meyer, L., Mitchell, J., Nakicenovic, N., O'Neill, B., Pichs, R., Riahi, K., Rose, S., Runci, P., Stouffer, R., van Vuuren, D., Weyant, J., Wilbanks, T., van Ypersele, J.P., & Zurek, M.** 2008. *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies.* Geneva, Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Müller, C. & Elliott, J.** 2015. The Global Gridded Crop Model intercomparison: approaches, insights and caveats for modelling climate change impacts on agriculture at the global scale. *In: A. Elbehri, ed. Climate change and food systems: global assessments and implications for food security and trade.* Rome, FAO.
- Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M. & Lee, D.** 2009. *Climate change – impact on agriculture and cost of adaptation.* Washington, DC, IFPRI.
- Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T.B., Ringler, C. & Msangi, S.** 2010. *Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options.* Washington, DC, IFPRI.
- Nelson, G., van der Mensbrugghe, D., Ahammad, H., Blanc, E., Calvin, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Heyhoe, E., Kyle, P., Lotze-Campen, H., von Lampe, M., Mason d’Croz, D., van Meijl, H., Müller, C., Reilly, J., Robertson, R., Sands, R., Schmitz, C., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H. & Willenbockel, D.** 2014a. Agriculture and climate change in global scenarios: why don’t the models agree? *Agricultural Economics*, 45(1): 85–101.
- Nelson, G.C., Valin, H., Sands, R.D., Havlik, P., Ahammad, H., Deryng, D., Elliott, J., Fujimori, S., Hasegawa, T., Heyhoe, E., Kyle, P., Von Lampe, M., Lotze-Campen, H., d’Croz, D.M., van Meijl, H., van der Mensbrugghe, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., Schmid, E., Schmitz, C., Tabeau, A. & Willenbockel, D.** 2014b. Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3274–3279.
- Niang, I., Ruppel, O.C., Abdrabo, M.A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J. & Urquhart, P.** 2014. Africa. *In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2015. NOAA declares third ever global bleaching event. (Available at: <http://www.noaa.gov/stories2015/100815-noaa-declares-third-ever-global-coral-bleaching-event.html>).

Obura, D. & Mangubhai, S. 2011. Coral mortality associated with thermal fluctuations in the Phoenix Islands, 2002–2005. *Coral Reefs*, 30(3): 607–619.

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R. & van Vuuren, D.P. 2014. A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socio-economic pathways. *Climatic Change*, 122(3): 387–400.

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D.S., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M. & Solecki, W. 2015. The roads ahead: narratives for shared socio-economic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*.

Parry, M., Rosenzweig, C. & Livermore, M. 2005. Climate change, global food supply and risk of hunger. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360 (1463): 2125–2138.

Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. & Travasso, M.I. 2014. Food security and food production systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 485–533.

Roe, T. & Graham-Tomasi, T. 1986. Yield risk in a dynamic model of the agricultural household. In: I. Singh, L. Squire & J. Strauss, eds. *Agricultural household models: extension, applications and policy.* A World Bank Research Publication. Baltimore, USA, Johns Hopkins University Press, pp. 255–276.

Rosenthal, J. 2009. Climate change and the geographic distribution of infectious diseases. *Ecohealth*, 6: 489–495.

Rosenzweig, C. & Parry, M.L. 1994. Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367: 133–138.

Rosenzweig, M.R. & Binswanger, H.P. 1993. Wealth, weather risk and the composition and profitability of agricultural investments. *The Economic Journal*, 103: 56–78.

Rosenzweig, C., Jones, J., Hatfield, J., Ruane, A., Boote, K., Thorburne, P., Antle, J., Nelson, G., Porter, C., Janssen, S., Asseng, S., Basso, B., Ewert, F., Wallach, D., Baigorría, G. & Winter, J. 2013. The Agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 166–182.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K.J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T.A.M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H. & Jones, J.W. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3268–3273.

Rozenberg, J. & Hallegatte, S. 2015. *The impacts of climate change on poverty in 2030 and the potential from rapid, inclusive, and climate-informed development.* Policy Research Paper No. 7483. Washington, DC, World Bank.

Sadoulet, E. & de Janvry, A. 1995. *Quantitative development policy analysis.* Chapter 5. Baltimore, USA, Johns Hopkins University Press.

Sanghi, A. & Mendelsohn, R. 2008. The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. *Global Environmental Change*, 18(4): 655–665.

Sejian, V., Maurya, V.P., Kumar, K. & Naqvi, S.M.K. 2012. Effect of multiple stresses (thermal, nutritional and walking stress) on growth, physiological response, blood biochemical and endocrine responses in Malpura ewes under semi-arid tropical environment. *Tropical Animal Health and Production*, 45: 107–116.

Seo, N. & Mendelsohn, R. 2007. *An analysis of crop choice: adapting to climate change in Latin American farms.* Washington, DC, World Bank.

- Seo, N. & Mendelsohn, R.** 2008. A Ricardian analysis of the impact of climate change on south american farms. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 68(1): 69–79.
- Seo, N.** 2011. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. *Ecological Economics*, 70(4): 825–834.
- Settele, J., Scholes, R., Betts, R., Bunn, S., Leadley, P., Nepstad, D., Overpeck, J.T. & Taboada, M.A.** 2014. Terrestrial and inland water systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, USA, Cambridge University Press.
- Skees, J., Hazell, P. & Miranda, M.** 1999. *New approaches to crop yield insurance in developing countries*. Environmental and Production Technology Division (EPTD) Discussion Paper No. 55. Washington, DC, IFPRI, 40 pp.
- Thornton, P., van de Steeg, J., Notenbaert, A. & Herrero, M.** 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101(3):113–127.
- Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gallop, A. & Frank, J.M.** 2010. Climate change and food safety: a review. *Food Research International*, 43(7): 1745–1765.
- Turrall, H., Burke, J. & Faurès, J.M.** 2011. *Climate change, water and food security*. Rome, FAO.
- Valenzuela, E. & Anderson, K.** 2011. *Climate change and food security to 2050: a global economy-wide perspective*, Paper presented at the 55th Annual Conference of the Australian Agricultural and Resource Economics Society, 9–11February 2011.
- Van der Mensbrugghe, D.** 2015. *Shared Socio-Economic Pathways and Global Income Distribution*. Paper presented at the 18th Annual Conference on Global Economic Analysis, 17–19 June 2015, Melbourne, Australia.
- Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., van der Mensbrugghe, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D’Croz, D., Müller, C., Popp, A., Robertson, R., Robinson, S., van Meijl, H. & Willenbockel, D.** 2015. Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios, *Environmental Research Letters*, 10(08): 1–15.
- Williams, A.P., Allen, C.D., Macalady, A.K., Griffin, D., Woodhouse, C.A., Meko, D.M., Swetnam, T.W., Rauscher, S.A., Seager, R., Grissino-Mayer, H.D., Dean, J.S., Cook, E.R., Gangodagamage, C., Cai, M. & McDowell, N.G.** 2013. Temperature as a potent driver of regional forest drought stress and tree mortality. *Nature Climate Change*, 3: 292–297.
- Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. & Campbell, B.M.** 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology*. In press.
- World Bank.** 2010. *World Development Report 2010. Development and climate change*. Washington, DC.
- Yohe, G.W., Lasco, R.D., Ahmad, Q.K., Arnell, N.W., Cohen, S.J., Hope, C., Janetos, A.C. & Perez, R.T.** 2007. Perspectives on climate change and sustainability. In: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, eds. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 811–841.

第三章

- Acosta, M., Ampaire, E., Okolo, W. & Twyman, J.** 2015. *Gender and climate change in Uganda: effects of policy and institutional frameworks*. CCAFS Info Note. Copenhagen, CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Agwu, J. & Okhimamwe, A.A.** 2009. *Gender and climate change in Nigeria*. Lagos, Nigeria, Heinrich Böll Stiftung (HBS).
- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., Lana, M.A.** 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems, *Agronomy for Sustainable Development*, 35: 869–890.
- Archer, L. & Yamashita, H.** 2003. Theorizing inner-city masculinities: race, class, gender and education. *Gender and Education*, 15(2): 115–132.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A. & Kokwe, M.** 2015. Climate smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.
- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S. & Cattaneo, A.** 2014. Adoption and Intensity of adoption of conservation agriculture in Zambia. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 187: 72–86.
- Arslan, A., Lamanna, C., Lipper, L., Rosenstock, T. & Rioux, J.** 2016a. *A meta-analysis on the barriers to adoption of practices with CSA potential in Africa*. Mimeo.
- Arslan, A., Cavatassi, R., Alfani, F., McCarthy, N., Lipper, L. & Kokwe, M.** 2016b. *Is diversification a climate-smart agriculture strategy in rural Zambia?* Contributed Paper accepted to the Seventh International Conference in Agricultural Statistics, organized by FAO and ISTAT (Italian National Institute of Statistics), Rome. (Forthcoming as FAO ESA working paper).
- Asfaw, S. & Lipper, L.** 2016. *Managing climate risk using climate-smart agriculture*. Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. & Cattaneo, A.** 2014. *Climate variability, adaptation strategies and food security in rural Malawi*. ESA Working Paper 14-08, Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Arslan, A., Lipper, L. & Cattaneo, A.** 2015. Livelihood diversification and vulnerability to poverty in rural Malawi. FAO-ESA Working Paper 15-02. Rome, FAO.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A. & Cattaneo, A.** 2016a. What determines farmers' adaptive capacity? Empirical evidence from Malawi. *Food Security*, Vol. 8(3): 643–664.
- Asfaw, S., Maggio, G. & Lipper, L.** 2016. *Gender, climate shock and welfare: evidence from Malawi*. Mimeo.
- Asfaw, S., Di Battista, F. & Lipper, L.** 2016. Agricultural technology adoption under climate change in the Sahel: micro-evidence from Niger. *Journal of African Economies*.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. & Lipper, L.** 2016. *Welfare cost of climate and weather fluctuation in Ethiopia*. Mimeo.
- Asfaw, S., Mortari, A., Arslan, A., Karfakis, P. & Lipper, L.** 2016b. *Welfare impacts of climate shocks: evidence from Uganda*. FAO technical report.
- Barrett, C.B., Reardon, T. & Webb, C.** 2001. Nonfarm income diversification and household livelihood strategies in rural Africa: concepts, dynamics, and policy implications. *Food Policy*, 26(4): 315–331.
- Barrett, C.B. & Swallow, B.M.** 2006. Fractal poverty traps. *World Development*, 34(1): 1–15.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. & Palutikof, J.P., eds.** 2008. *Climate change and water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, IPCC Secretariat, 210 pp.
- Baudron, F., Moti J., Oriama O. & Asheber T.** 2013. Conservation agriculture in African mixed crop-livestock systems: Expanding the niche. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187(4): 171–182.
- Bondeau, A., Smith, P., Zaehle, S., Schaphoff, S., Lucht, W., Cramer, W., Gerten, D., Lotze-Campen, H., Müller, C., Reichstein, M. & Smith, B.** 2007. Modelling the role of agriculture for the 20th century global terrestrial carbon balance. *Global Change Biology*, 13: 679–706.

参考文献

- Burney J.A., Davis S.J. & Lobell, D.B.** 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 12052–12057.
- Cacho, O.J., Moss, J., Thornton, P., Herrero, M., Henderson, B. & Bodirsky, B.L.** 2016. Adaptation paths for vulnerable areas Background paper prepared for The State of Food and Agriculture 2016. (unpublished).
- Carter, M.R. & Barrett, C.B.** 2006. The economics of poverty traps and persistent poverty: an asset-based approach. *Journal of Development Studies*, 42(2): 178–199.
- Cassman, K.** 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11): 5952–5959.
- Challinor, A.J., Koehler, A.-K., Ramirez-Villegas, J., Whitfield, S. & Das, B.** 2016. Current warming will reduce yields unless maize breeding and seed systems adapt immediately. *Nature Climate Change* (in press).
- Cole, S.A., Giné X. & Vickery, J.I.** 2013. *How does risk management influence production decisions? Evidence from a field experiment*. World Bank Policy Research Working Paper 6546. Washington DC, World Bank.
- Dankelman, I.** 2008. *Gender and climate change: an introduction*. London, UK, Earthscan.
- De Pinto, A., Thomas, T. & Wiebe, K.** 2016. *Synthesis of recent IFPRI research on climate change impacts on agriculture and food security*. Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016*. Washington DC, IFPRI (International Food Policy Research Institute). (unpublished).
- Dercon, S.** 1996. Risk, crop choice, and savings. *Economic Development and Cultural Change*, (44): 485–513.
- Dercon, S. & Christiaensen L.** 2007. *Consumption risk, technology adoption and poverty traps: evidence from Ethiopia*. The Centre for the Study of African Economies Working Paper Series, 2007-06. Oxford, UK, Centre for the Study of African Economies.
- Erickson, P., Thornton, P., Notenbaert, A., Cramer, L., Jones, P. & Herrero, M.** 2011. *Mapping hotspots of climate change and food insecurity in the global tropics*. Copenhagen, CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Fafchamps, M.** 2003. *Rural poverty, risk and development*. Cheltenham, UK, Edward Elgar Publishing.
- FAO.** 2007. *The State of Food and Agriculture 2007. Paying Farmers for Environmental Services*. Rome.
- FAO.** 2009. *Food security and agricultural mitigation in developing countries: options for capturing synergies*. Rome.
- FAO.** 2011a. *The State of Food and Agriculture 2010–11. Women in agriculture: closing the gender gap for development*. Rome.
- FAO.** 2011b. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Rome, FAO and London, Earthscan.
- FAO.** 2011c. *Save and Grow: a policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production*. Rome.
- FAO.** 2012. *Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security*. Rome.
- FAO.** 2013a. *Guidelines to control water pollution from agriculture in China: decoupling water pollution from agricultural production*. Rome.
- FAO.** 2013b. *Climate-smart agriculture source book*. Rome.
- FAO.** 2014a. *The State of Food and Agriculture 2014. Innovation in family farming*. Rome.
- FAO.** 2014b. *The Water-Energy-Food Nexus – a new approach in support of food security and sustainable agriculture*. Rome.
- FAO.** 2015a. *Voluntary Guidelines to Support the Integration of Genetic Diversity into National Climate Change Adaptation Planning*. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome.

- FAO.** 2015b. *The economic lives of smallholder farmers: an analysis based on household data from nine countries.* Rome.
- FAO.** 2015c. *The State of Food and Agriculture 2015. Social protection and agriculture: breaking the cycle of rural poverty.* Rome.
- FAO.** 2016a. *Climate change and food security: risks and responses.* Rome.
- FAO.** 2016b. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania,* by A. Arslan, F. Belotti, & L. Lipper, ESA Working Paper No. 16–03. Rome.
- FAO.** 2016c. *Welfare impacts of climate shocks: evidence from Uganda,* by S. Asfaw, A. Mortari, A. Arslan, P. Karfakis & L. Lipper. Rome.
- FAO.** 2016d. *Social protection in protracted crises, humanitarian and fragile contexts. FAO's agenda for action for social protection and cash-based programmes.* Rome.
- FAO & World Bank.** 2011. *Climate change, water and food security.* FAO Water Reports. Rome.
- FAO & World Water Council.** 2015. *Towards a water and food secure future critical perspectives for policy-makers.* Rome and Marseille.
- Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T.W., Garcia, F., Norton, R. & Zingore, S.** 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: P. Dreschler, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen & D. Wichelns. 2015. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification.* Paris, International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI).
- Goh, A.H.X.** 2012. *A literature review of the gender-differentiated impacts of climate change on women's and men's assets and well-being in developing countries.* CAPRI Working Paper No. 106. Washington DC, IFPRI.
- Gray, E. & A. Srinidhi.** 2013. *Watershed development in India: economic valuation and adaptation considerations.* Working paper. Washington, DC, World Resources Institute.
- Gumucio T. & Tafur-Rueda M.** 2015. Influencing gender-inclusive climate change policies in Latin America. *Journal of Gender, Agriculture, Food Security*, 1(2): 42–61.
- Hansen J.W., Mason, S.J., Sun, L. & Tall, A.** 2011. Review of seasonal climate forecasting for agriculture in sub-Saharan Africa. *Experimental Agriculture*, 47(2): 205–240.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio, D., Dixon, J., Peters, M., van de Steeg, J., Lynam, J., Parthasarathy, R., Macmillan, S., Gerard, B., McDermott, J., Seré, C. & Rosegrant, M.** 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327(1): 822–825.
- Herrero, M., Havlik, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Blümmel M, Weiss F, Grace D. & Obersteiner, M.** 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52): 20888–20893.
- Hijioka, Y., Lin, E., Pereira, J.J., Corlett, R.T., Cui, X., Insarov, G.E., Lasco, R.D., Lindgren, E. & Surjan, A.** 2014. Asia. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. part B: regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, pp. 1327–1370.
- HLPE (High Level Panel of Experts).** 2015. *Water for food security and nutrition.* A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome, FAO.
- HLPE.** 2016. *Sustainable agricultural development for food security and nutrition, including the role of livestock.* A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome, FAO.

参考文献

- Holmes, R. & Jones, N.** 2009. *Gender inequality, risk and vulnerability in the rural economy: refocusing the public works agenda to take account of economic and social risk*. ESA Working Paper No. 11-13. Rome, FAO.
- Huynh, P.T. & Resurreccion, B.P.** 2014. Women's differentiated vulnerability and adaptations to climate-related agricultural water scarcity in rural Central Vietnam. *Climate and Development*, 6(3): 226–237.
- IIED (International Institute for Environment and Development)**. 2010. *Moving to adapt to climate change. Reflect & Act*. London, International Institute for Environment and Development.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)**. 2001. In: J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell & C.A. Johnson, eds. *Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 881pp.
- Jost, C., Kyazze, F., Naab, J., Neelormi, S., Kinyangi, J., Zougmore, R., Aggarwal, P., Bhatta G., Chaudhury, M., Tapio-Bistrom M.L., Kristjanson, P. & Nelson, S.** 2015. Understanding gender dimensions of agriculture and climate change in smallholder farming communities. *Climate and Development*, 8(2): 133–144.
- Kandulu, J.M., Bryan, B.A., King, D. & Connor, J.D.** 2012. Mitigating economic risk from climate variability in rain-fed agriculture through enterprise mix diversification. *Ecological Economics*, 79: 105–112.
- Kebede, Y.** 1992. Risk taking behaviour & new technologies: the case of producers in the Central Highlands of Ethiopia. *Quarterly Journal of International Agriculture*, 31: 269–289.
- Kelly, V., Adesina, A. A. & Gordon, A.** 2003. Expanding access to agricultural inputs in Africa: a review of recent market development experience. *Food Policy*, 28(4): 379–404.
- KNOMAD (Global Knowledge Partnership on Migration and Development)**. 2014. *Environmental change and migration: State of the Evidence*. KNOMAD Thematic Working Group on Environmental Change and Migration. Washington DC.
- Klopper, E. & Bartman, A.** 2003. Forecasts and commercial agriculture: a survey of user needs in South Africa. In: K. O'Brien & C. Vogel, eds. *Coping with climate variability: the use of seasonal climate forecasts in Southern Africa*, pp. 170–182. Abingdon, UK, Ashgate Publishing.
- Kremen, C. & Miles, A.** 2012. Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society*, 17(4): 40.
- Lal, R.** 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623–1626.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., Sen, P.T., Sessa, R., Shula, R., Tibu, A. & Torquebiau, E.F.** 2015. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4: 1068–1072.
- Liu, J., You, L., Amini, M., Obersteiner, M., Herrero, M., Zehnder, A.J. & Yang, H.** 2010. A high-resolution assessment on global nitrogen flows in cropland. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(17): 8035–8040.
- Lotze-Campen, H., Müller, C., Bondeau, A., Rost, S., Popp, A. & Lucht, W.** 2008. Global food demand, productivity growth, and the scarcity of land and water resources: a spatially explicit mathematical programming approach. *Agricultural Economics*, 39 (3): 325–338.
- Markanday, A., Cabot-Venton, C. & Beucher, O.** 2015. *Economic assessment of the impacts of climate change in Uganda. Final Study Report*. Uganda, Climate and Development Knowledge Network (CDKN).

Masters, W.A., Djurfeldt, A.A., De Haan, C., Hazell, P., Jayne, T., Jirström, M. & Reardon, T. 2013. Urbanization and farm size in Asia and Africa: implications for food security and agricultural research. *Global Food Security*, 2(3): 156–165.

McCarthy, N., Lipper, L. & Branca, G. 2011. *Climate-Smart Agriculture: Smallholder Adoption and Implications for Climate Change Adaptation and Mitigation*. Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 4. Rome, FAO.

McOmber, C., Bartels, W., McKune, S., Panikowski, A. & Russo, S. 2013. *Investigating climate information services through a gendered lens*. CCAFS Working Paper No. 42. Copenhagen, CCAFS.

Morduch, J. 1994. Poverty and vulnerability. *The American Economic Review*, 84(2): 221–225.

Mudombi, S. & Nhamo, G. 2014. Access to weather forecasting and early warning information by communal farmers in Seke and Murewa Districts, Zimbabwe. *Journal of Human Ecology*, 48(3): 357–366.

Nelson, V. 2011. *Gender, generations, social protection & climate change: a thematic review*. London, ODI.

Nelson, V., Stathers, T. 2009. Resilience, power, culture, and climate: a case study from semi-arid Tanzania, and new research directions. *Gender and Development*, Vol. 17 (1): 81–95

Ngugi, R.K., Mureithi, S.M. & Kamande P.N. 2011. Climate forecast information: the status, needs and expectations among smallholder agro-pastoralists in Machakos district, Kenya. *International Journal of Current Research*, 3(11): 006–012.

Nicholls, C.I., Altieri, M.A. & Vazquez, L. 2016. Agroecology: principles for the conversion and redesign of farming systems. *Journal of Ecosystem & Ecography*, S5: 010.

O'Brien, K., Sygna, L., Naess, L.O., Kingamkono, R. & Hochobeb, B. 2000. Is Information enough? User responses to seasonal climate forecasts in Southern Africa. Oslo, *Centre for International Climate and Environmental Research (CICERO)*, University of Oslo, Report 2003:3.

ODI (Overseas Development Institute). 2015. *Cash transfers. Doing cash differently: how cash transfers can transform humanitarian aid*. Report of the High Level Panel on Humanitarian Cash Transfers, London.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2012. *OECD environmental outlook to 2050: the consequences of inaction*. Paris.

OECD. 2015. *The Economic consequences of climate change*. Paris.

Olinto, P., Beegle, K., Sobrado, C., & Uematsu, H. 2013. *The state of the poor: where are the poor, where is extreme poverty harder to end, and what is the current profile of the world's poor?* Economic Premise No. 125. Washington, DC, World Bank.

Oweis, T. 2014. The need for a paradigm change: agriculture in water-scarce MENA region. In: G. Holst-Warhaft, T. Steenhuis & F. de Châtel, eds. *Water scarcity, security and democracy: a mediterranean mosaic*. Athens, Global Water Partnership Mediterranean, Cornell University and the Atkinson Center for a Sustainable Future.

Phillips, J.G., Makaudze, E. & Unganai, L. 2001. Current and potential use of climate forecasts for resource-poor farmers in Zimbabwe. In: C. Rosenzweig, ed. *Impacts of El Niño and climate variability in agriculture*, pp. 87–100. *American Society of Agronomy Special Publication (63)*, Madison, Wisconsin, USA.

Pinca, V. 2016. *Water management in smallholder agriculture under climate change*. Background Paper prepared for The *State of Food and Agriculture 2016*. Rome, FAO. (unpublished).

Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B.L. et al. 2016. In revision. Land use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*. (forthcoming).

Poulton, C., Kydd, J. & Dorward, A. 2006. Overcoming market constraints to pro-poor agricultural growth in sub-Saharan Africa. *Development Policy Review*, 24(3): 243–277.

参考文献

- Rasmussen, L. V., Mertz, O., Rasmussen, K., Nieto, H., Ali, A. & Maiga, I.** 2014. Weather, climate, and resource information should meet the needs of Sahelian pastoralists. *Weather, Climate, and Society*, 6: 482–494.
- Ricketts, T.H.** 2001. Conservation biology and biodiversity. *Encyclopedia of Life Sciences*. London, MacMillan Reference Ltd.
- Rosegrant, M.W., Jawoo K., Cenacchi, N., Ringler, C., Robertson, R., Fisher, M., Cox, C., Garrett, K., Perez, N.D. & Sabbagh, P.** 2014. *Food security in a world of natural resource scarcity: the role of agricultural technologies*. Washington, DC, IFPRI.
- Rural and Agricultural Finance Learning Lab.** 2016. *Inflection point: unlocking growth in the era of farmer finance*. (Available at <https://www.rafflearning.org/post/inflection-point-unlocking-growth-era-farmer-finance>).
- Sadoff, C.W. & Muller, M.** 2009. *Better water resources management: greater resilience today, more effective adaptation tomorrow*. GWP TEC Perspectives Paper. Stockholm, Global Water Partnership.
- Shames, S., Wollenberg, E., Buck, L.E., Kristjanson, P., Masiga, M. & Biryahaho, B.** 2012. *Institutional innovations in African smallholder carbon projects*. CCAFS Report No. 8. Copenhagen, CCAFS.
- Simtowe, F.** 2006. Can risk-aversion towards fertilizer explain part of the non-adoption puzzle for hybrid maize? Empirical evidence from Malawi. *Journal of Applied Sciences*, 6(7): 1490–1498.
- Stern, N.** 2007. *Stern Review: The economics of climate change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Stern, N.** 2014. *Growth, climate and collaboration: towards agreement in Paris 2015*. Policy Paper. London, Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.
- Stocking, M.A.** 2003. Tropical soils and food security: the next 50 years. *Science*, 302(5649): 1356–1359.
- Swiderska, K., Reid, H., Song, Y., Li, J., Mutta, D., Ongogu, P., Mohamed, P., Oros, R., Barriga, S.** 2011. *The role of traditional knowledge and crop varieties in adaptation to climate change and food security in SW China, Bolivian Andes and coastal Kenya*. Paper prepared for the UNU-IAS workshop on Indigenous Peoples, Marginalised Populations and Climate Change: Vulnerability, Adaptation and Traditional Knowledge, Mexico.
- Tall, A., Mason, S. J., Suarez, P., Ait-Chellouche, Y., Diallo, A.A., Braman, L. & van Aalst, M.** (In press). 2012. Using seasonal forecasts to guide disaster management: The experience of the Red Cross during the 2008 floods in West Africa. *International Journal of Geophysics*.
- Tall, A., Kristjanson, P., Chaudhury, M., McKune, S. & Zougmore, R.** 2014. *Who gets the information? Gender, power and equity considerations in the design of climate services for farmers*. CCAFS Working Paper No. 89. Copenhagen, CCAFS.
- Thornton, P. & Lipper, L.** 2014. *How does climate change alter agricultural strategies to support food security?* IFPRI Discussion Paper 01340, Washington DC, IFPRI
- Timmer, C.P.** 2014. *Managing Structural transformation: a political economy approach*. UNU-WIDER Annual Lecture 18. Helsinki, United Nations University World Institute for Development Economics Research.
- Trinh, T., Tran, N. & Cao, Q.** 2016. *Climate-smart aquaculture: evidences and potentials for northern coastal area of Vietnam*. CCAFS Working Paper No. 169. Copenhagen, Denmark: CCAFS.
- United Nations.** 2010. *The World's Women 2010: trends and statistics*. (Available at: unstats.un.org/unsd.org).
- UN-DESA (United Nations Department of Economic and Social Affairs).** 2012. *World urbanization prospects, the 2011 revision*. New York, USA, United Nations.
- UNDP. (United Nations Development Programme).** 2010. *Human Development Report 2010. The real wealth of nations: pathways to human development. 20th Anniversary Edition*. New York, USA, Palgrave Macmillan for UNDP.
- UNEP (United Nations Environment Programme).** 2016. *UNEP frontiers 2016 report: emerging issues of environmental concern*. Nairobi, UNEP
- Vi Agroforestry.** 2015. *Vi Agroforestry and climate offsetting*. (Available at: <http://www.viagroforestry.org/what-we-do/carbon-credit/>).

Yang, X., Chen, Y., Pacenka, S., Gao, W., Zhang, M., Sui, P. & Steenhuis, T.S. 2015. Recharge and groundwater use in the North China Plain for six irrigated crops for an eleven year period. *PLoS ONE*, 10(1): e0115269.

Watkiss, P. 2015. *A review of the economics of adaptation and climate-resilient development. Working Paper No. 205.* London, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.

Wheeler, D. 2011. *Quantifying vulnerability to climate change: implications for adaptation assistance.* CGD Working Paper 240. Washington, DC, Center for Global Development.

Wiggins, S. 2016. *Agricultural and rural development reconsidered. A guide to issues and debates.* IFAD Research Series No. 1. Rome, IFAD.

Winder Rossi N., Spano F., Sabates-Wheeler R. & Kohnstamm, S. 2016. Social protection and resilience building: Supporting livelihoods in protracted crises, fragile and humanitarian contexts. FAO position paper. Rome and Brighton, UK, FAO and Institute for Development Studies.

Wollenberg, E., Richards, M., Smith, P., Havlik, P., Obersteiner, M., Tubiello, F.N., Herold, M., Gerber, P., Carter, S., Reisinger, A., van Vuuren, D., Dickie, A., Neufeldt, H., Sander, B.O., Wassman, R., Sommer, R., Amonette, J.E, Falcucci, A., Herrero, M., Opio, C., Roman-Cuesta, R., Stehfest, E., Westhoek, H., Ortiz-Monasterio, I., Sapkota, T., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Verchot, L., West, P.C., Soussana, J.-F., Baedeker, T., Sadler, M., Vermeulen, S. & Campbell, B.M. 2016. Reducing emissions from agriculture to meet 2 °C target. *Global Change Biology*.

World Bank. 2010a. *World Development Report 2010. Development and climate change.* Washington, DC.

World Bank. 2010b. *Economics of adaptation to climate change. Synthesis Report.* Washington, DC.

World Bank. 2010c. *Vietnam: economics of adaptation to climate change.* Washington, DC.

World Bank, FAO & IFAD. 2015. *Gender in climate-smart agriculture: module 18 for gender in agriculture source-book.* Agriculture global practice. Washington, DC.

Wright, H. & Chandani, A. 2014. *Gender in scaling up community based adaptation to climate change.* In: L. Schipper, J. Ayers, H. Reid, S. Huq & A. Rahman, eds. *Community based adaptation to climate change: scaling it up.* New York, USA, Routledge.

Zhu, Y., Fen, H., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Hu, L. & Mundt, C.C. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406: 718–772.

第四章

Bajželj, B., Richards, K.S., Allwood, J.M., Smith, P., Dennis, J.S., Curmi, E. & Gilligan, C.A. 2014. Importance of food-demand management for climate mitigation. *Nature Climate Change*, 4: 924–929.

Bellarby, J. Foereid, B., Hastings, A. & Smith, P. 2008. *Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential.* Amsterdam, Greenpeace International.

Burney, J.A., Davis, S.J. & Lobell, D.B. 2010. Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107: 12052–12057.

Chappell, A., Baldock, J. & Sanderman, J. 2016. The global significance of omitting soil erosion from soil organic carbon cycling schemes. *Nature Climate Change*, 6: 187–191.

CIFOR (Center for International Forestry Research) 2010. *Forests and climate change toolbox.* (Available at <http://www.cifor.org/fctoolbox/>).

CIFOR. Annual Report. 2015. *A new landscape for forestry.* Montpellier, France.

DEFRA. (Department for Environment, Food and Rural Affairs). 2001. Third National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. London, DEFRA.

EEA (European Environment Agency). 2016. *Renewable energy in Europe 2016: recent growth and knock-on effects.* Luxembourg, Publications Office of the European Union.

参考文献

- EC (European Commission).** 2013. *Assessing the impact of biofuels production on developing countries from the point of view of Policy Coherence for Development - Final report.* Brussels, European Commission.
- Erb, K.-H., Haberl, H., Krausmann, F., Lauk, C., Plutzer, C., Steinberger, J.K., Muller, C., Boundeau, A., Waha, K. & Pollack, G.** 2009. *Eating the Planet: feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely – a scoping study.* Potsdam, Germany, PIK.
- Erismann, J.W., Sutton, M.A., Galloway, J., Klimont, Z. & Winiwarter, W.** 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 1: 636–639.
- FAO.** 2011a. *Food security through commercialization of agriculture (FSCA) project, Liberia – GTFS/LIR/010/ITA.* FAO Global Trust Fund for Food Security and Food Safety. Italian contribution, West Africa Platform.
- FAO.** 2011b. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk.* Rome, FAO and London, Earthscan.
- FAO.** 2011c. *Global food losses and food waste: extent, causes and prevention.* Rome.
- FAO.** 2011d. *“Energy-smart” food for people and climate – an issue paper.* Rome.
- FAO.** 2012. *State of the World's Forests 2012.* Rome.
- FAO.** 2013a. *Climate-smart agriculture source book.* Rome.
- FAO.** 2013b. *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains, a global life cycle assessment.* Rome.
- FAO.** 2014. *Walking the nexus talk – assessing the water-energy-food nexus.* Rome.
- FAO.** 2016a. FAOSTAT Online Data Base. (Available at <http://faostat.fao.org>). Rome.
- FAO.** 2016b. *Forty years of community-based forestry: a review of its extent and effectiveness.* FAO Forestry Paper 176. Rome.
- FAO & ITPS (Intergovernmental Technical Panel on Soils).** 2015. *Status of the World's Soil Resources (SWWSR) – Main Report.* Rome.
- FAO & FCRN (Food Climate Research Network).** 2016. *Plates, pyramids, planet. Developments in national healthy and sustainable dietary guidelines: a state of play assessment.* Rome and Oxford.
- Fischbeck, P.S., Tom, M.S. & Hendrickson C.T.** 2016. Energy use, blue water footprint, and greenhouse gas emissions for current food consumption patterns and dietary recommendations in the US. *Environmental System.* Dec 1–12. 36(1): 92–103.
- Garnett, T., Appleby, M.C., Balmford, A., Bateman, I.J., Benton, T.G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J., Godfray H.C.J.** 2013. Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science*, 341(6141): 33–34.
- Garibaldi, L.A., Carvalheiro, L.G., Vaissière, B. E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., Freitas, B.M. & An, J.** 2016. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271): 388–391.
- Garg, M.R., Sherasia, P.L., Bhandari, B.M., Phondba, B.T., Shelke S.K. & Makkar, H.P.S.** 2013. Effects of feeding nutritionally balanced rations on animal productivity, feed conversion efficiency, feed nitrogen use efficiency, rumen microbial protein supply, parasitic load, immunity and enteric methane emissions of milking animals under field conditions, *Animal Feed Science and Technology*, 179–4): 24–35.
- Gerber, P.J., Vellinga, T., Opio, C. & Steinfeld, H.** 2011. Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science*, 139: 100–108.
- Gerber, P.J., Hristov, A.N., Henderson, B., Makkar, H.P. S., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J. Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A.T., Yang, W.Z., Tricarico, J.M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S.** 2013a. Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock – a review. *Animal*, 7: 220–34.

Gerber, P.J., Henderson, B., Opio, C., Mottet, A. & Steinfeld, H. 2013b. *Tackling climate change through livestock – a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome, FAO.

Henderson, B., Falcucci, A., Mottet, A., Early, L., Werner, B., Steinfeld, H. & Gerber, P. 2015. Marginal costs of abating greenhouse gases in the global ruminant livestock sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1–26.

Herrero, M., Havlík, P., Valin, H., Notenbaert, A., Rufino, M.C., Thornton, P.K., Blümmel, M., Weiss, F., Grace, D. & Obersteiner, M. 2013. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52): 20888–93.

Herrick, J.E., Sala, O.E. & Jason, K. 2013. Land degradation and climate change: A sin of omission? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11: 283.

Houghton, R. A. 2012. Historic changes in terrestrial carbon storage. In: R. Lal, K. Lorenz, R.F. Hüttl, B.U. Schneider, J. von Braun, eds. *Recarbonization of the biosphere: ecosystems and the global carbon cycle*, pp. 59–82. Dordrecht, Netherlands, Springer.

HLPE (High Level Panel of Experts). 2014. *Food losses and waste in the context of sustainable food systems*. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome, FAO.

Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, A.T., Yang, W., Lee, W., Gerber, P.J., Henderson, B. & Tricarico, J.M. 2013. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11): 5045–5069.

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), CIRAD (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) & FAO. 2016. *Feedipedia. Animal feed resources online system*. (Available at <http://www.feedipedia.org/>).

INRA & CIRAD. 2009. *Agrimonde: Agricultures et alimentations du monde en 2050. Scénarios et défis pour un développement durable*. Paris, Quae.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Khaliwala, S., Tanhua, T., Mikaloff Fletcher, S., Gerber, M., Doney, S.C., Graven, H.D., Gruber, N., McKinley, G. A., Murata, A., Rios, A.F. & Sabine, C.L. 2013. Global ocean storage of anthropogenic carbon. *Biogeosciences*, 10: 2169–2191.

Krausmann, F., Erb, K.-H., Gingrich, S., Haberl, H., Bondeau, A., Gaube, V., Lauka, C., Plutzar, C. & Searchinger, T. D. 2013. Global human appropriation of net primary production doubled in the 20th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(25): 10324–10329.

Lal, R. 2004. Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30: 981–990.

Lal, R. 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17: 197–209.

Lal, R. 2010. Enhancing eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop science*, 50 (Supplement 1): S–120.

Lal, R., Griffin, M., Apt, J., Lave, L. & Morgan, M.G. 2004. Managing soil carbon. *Science*, 304(5669): 393.

Linquist, B.A., Anders, M.M., Adviento-Borbe, M.A.A., Chaney, R.L., Nalley, L.L., Da Rosa, E.F. & Kessel, C. 2015. Reducing greenhouse gas emissions, water use, and grain arsenic levels in rice systems. *Global Change Biology*, 21(1): 407–417.

Mery, G., Katila, P., Galloway, G., Alfaro, R.I., Kanninen, M., Lobovikov, M., & Varjo, J. 2010. Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change. *World Series Volume 25*. Vienna, IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations).

参考文献

- Mottet, A., Henderson, B., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Silvestri, S., Chesterman, S. & Gerber, P.J.** 2016. Climate change mitigation and productivity gains in livestock supply chains: insights from regional case studies. *Regional Environmental Change*, 1–13.
- Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N. & Foley, J.A.** 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490(7419): 254–257.
- Nellemann, C., Hain, S. & Alder, J., eds.** 2008. *In dead water: merging of climate change with pollution, over harvest and infestations in the world's fishing ground.* Arendal, Norway, UNEP, GRID-Arendal.
- Newbold J.** 2015. *Towards the zero methane cow.* Background paper for the conference "Animal Change Final Conference", Montpellier, France, March 19, 2015.
- Oenema, O., Ju, X., de Klein, C., Alfaro, M., del Prado, A., Lesschen, J.P., Zheng, X., Velthof, G., Ma, L., Gao, B., Kroeze, C. & Sutton, M.** 2014. Reducing nitrous oxide emissions from the global food system. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 9–10: 55–64.
- Oliveira Silva, R. de, Barioni, L.G., Hall, J.A.J., Folegatti, M.M., Zanett, A.T., Fernandes, F.A. & Moran, D.** 2016. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nature Climate Change*. (in press).
- Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B. & Steinfeld, H.** 2013. *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains: a global life cycle assessment.* Rome, FAO.
- Pan G., Smith, P. & Pan, W.** 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. *Agriculture, Ecosystems, Environment*, 129: 344–348.
- Paustian, K., Babcock, B.A., Hatfield, J., Kling, C.L., Lal, R., McCarl, B.A., McLaughlin, S., Mosier, A.R., Post, W.M., Rice, C.W. & Robertson, G.P.** 2004. *Climate change and greenhouse gas mitigation: challenges and opportunities for agriculture.* Council on Agricultural Science and Technology (CAST) Task Force Report No.141. Ames, USA, CAST.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P. & Smith, P.** 2016. Climate-smart soils. *Nature*, 532, 49–57.
- Penuelas, J., Poulter, B., Sardans, J., Ciais, P., van der Velde, M., Bopp, L., Boucher, O., Godderis, Y., Hinsinger, P., Llusia, J., Nardin, E., Vicca, S., Obersteiner, M. & Janssens, I.A.** 2013. Human-induced nitrogen-phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. *Nature Communications*, 4: 2934.
- Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E. & van Kessel, C.** 2015. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 517(7534): 365–368.
- Putz, F.E. & Romero, C.** 2015. *Futures of tropical production forests.* Occasional Paper 143. Bogor, Indonesia, CIFOR (Center for International Forestry Research).
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T. van der Leeuw, S., Rodhe, H. Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. & Foley, J.A.** 2009. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263): 472–475.
- Running, S.W.** 2012. Ecology. A measurable planetary boundary for the biosphere. *Science*, 337: 1458–9
- Scharlemann, J.P., Tanner, E.V., Hiederer, R. & Kapos, V.** 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5: 81–91.
- Siikamäki, J. & Newbold, S.C.** 2012. Potential biodiversity benefits from international programs to reduce carbon emissions from deforestation. *Ambio*, 2012 41(Suppl 1): 78–89.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M. & Smith, J.** 2008. Greenhouse gas

mitigation in agriculture, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 789–813.

Smith, D.M., Scaife, A.A., Boer, G.J., Caian, M., Doblaser, F.J., Guemas, V., Hawkins, E., Hazeleger, W., Hermanson, L., Ho, C.K., Ishii, M., Kharin, V., Kimoto, M., Kirtman, B., Lean, J., Matei, D., Merryfield, W.J., Müller, W.A., Pohlmann, H., Rosati, A., Wouters, B. & Wyser, K. 2013. Real-time multi-model decadal climate predictions. *Climate Dynamics*, 41(11–12): 2875–2888.

Smith P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., Elsiddig, E.A., Haberl, H., Harper, R., House, J., Jafari, M., Masera, O., Mbow, C., Ravindranath, N. H., Rice, C.W., Robledo Abad, C., Romanovskaya, A., Sperling, F. & Tubiello, F. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel & J.C. Minx, eds. *Climate Change 2014: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA, Cambridge University Press.

Sommer S.G., Olesen J.E., Petersen S.O., Weisbjerg M.R., Valli L., Rohde L. & Béline F. 2009. Region-specific assessment of greenhouse gas mitigation with different manure management strategies in four agroecological zones. *Global Change Biology*, 15: 2825–2837.

Sommer, R. & Bossio, D. 2014. Dynamics and climate change mitigation potential of soil organic carbon sequestration. *Journal of Environmental Management*, 144: 83–87.

Soussana, J.-F., Dumont, B. & Lecomte, P. 2015. Integration with livestock. Agroecology for food security and nutrition. Proceedings of the FAO International Symposium, 18–19 September 2014, Rome, Italy. pp. 225–249. Rome, FAO.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E., Biggs, R., Carpenter, S.R., Wim de Vries, S.R., de Wit, C.A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G.M., Persson, L.M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin S. 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223).

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., de Haan, C. 2006. *Livestock's long shadow : environmental issues and options*. Rome, FAO.

Sutton, M.A., Oenema, O., Erismann, J.W., Leip, A., van Grinsven, H. & Winiwarter W. 2011. Too much of a good thing. *Nature*, 472: 159–61.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. & Befort, B.L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50): 20260–20264.

Tilman, D. & Clark, M. 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515: 518–522.

Tukker, A., Goldbohm, R.A., de Koning, A., Verheijden, M., Kleijn, R., Wolf, O., Perez-Dominguez, I. & Rueda Cantuche, J. 2011. Environmental impacts of changes to healthier diets in Europe. *Ecological Economics*, 70 (10): 1776–1788.

Van Dooren, C., Marinussen, M., Blonkb, H., Aiking, H. & Vellinga, P. 2014. Exploring dietary guidelines based on ecological and nutritional values: A comparison of six dietary patterns. *Food Policy*, 44: 36–46.

Veneman, J.B., Saetnan, E.R., Newbold, C.J. 2014. MitiGate: an on-line meta-analysis database of mitigation strategies for enteric methane emissions. (Available at: <http://mitigate.ifers.aber.ac.uk>).

第五章

Antón, J., Cattaneo, A., Kimura, S. & Lankoski, J. 2013. Agricultural risk management policies under climate uncertainty. *Global Environmental Change*, 23: 1726–1736.

Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S. & Cattaneo, A. 2014. Adoption and intensity of adoption of conservation farming practices in Zambia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 187: 72–86.

Arslan, A., Belotti, F. & Lipper, L. 2015. *Smallholder productivity under climatic variability: adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*. Mimeo.

参考文献

- Arslan, A., McCarthy, N., Lipper, L., Asfaw, S., Cattaneo, A. & Kokwe, M.** 2015. Climate smart agriculture? Assessing the adaptation implications in Zambia. *Journal of Agricultural Economics*, 66(3): 753–780.
- Asfaw, S., Di Battista, F. & Lipper, L.** 2014. *Food security impact of agricultural technology adoption under climate change: micro-evidence from Niger*. ESA Working Paper 14-12. Rome, FAO.
- Asfaw, S., Coromaldi, M. & Lipper, L.** 2015. *Welfare cost of weather fluctuations and climate shocks in Ethiopia*. Mimeo.
- Asfaw, S., McCarthy, N., Cavatassi, R., Paolantonio, A. Amare, A. & Lipper, L.** 2015. *Diversification, climate risk and vulnerability to poverty: evidence from rural Malawi*. Forthcoming ESA Working Paper. Rome.
- Bebber, D.P., Ramotowski, M.A.T. & Gurr, S.J.** 2013. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature, Climate Change*, 3, 985–988.
- Braatz, S.** 2012. Building resilience for adaptation to climate change through sustainable forest management. In: A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu & V. Gitz, eds. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Rome, FAO.
- De Gorter, H. & Just, D.R.** 2009. The economics of a blend mandate for biofuels. *American Journal of Agricultural Economy* 91(3): 738–750
- Earley, J.** 2009. Climate change, agriculture and international trade: Potential conflicts and opportunities. *Biores*, 3(3).
- Enciso, S.R.A., Fellmann, T., Pérez Dominguez, I. & Santini, F.** 2016. Abolishing biofuel policies: possible impacts on agricultural price levels price variability and global food security. *Food Policy*, 61: 9–26.
- FAO.** 2008. *The State of Food and Agriculture 2008. Biofuels, prospects, risks and opportunities*. Rome.
- FAO.** 2013. *Climate change guidelines for forest managers*. Rome.
- FAO.** 2016. *Climate change and food security: risks and responses*. Rome.
- FAO & AgriCord.** 2012. *Strength in numbers – effective forest producer organizations*. Rome, FAO.
- FAO & OECD.** 2012. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Meybeck, A., Lankoski, J., Redfern, S. Azzu, N. & Gitz, V. Rome.
- Fixen, P., Brentrup, F., Bruulsema, T.W., Garcia, F., Norton, R. & Zingore, S.** 2015. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: P. Dreschler, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen & D. Wichelns. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI), pp. 8–38.
- Gregory, P.J., Johnson, S.N., Newton, A.C. & Ingram, J.S.I.** 2009. Integrating pests and pathogens into the climate change/food security debate. *Journal of Experimental Botany*, 60(10): 2827–2838.
- McCarthy, M., Best, M. & Betts, R.** 2010. Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical Research Letters*, 37(9).
- Meybeck, A., Azzu, N., Doyle, M. & Gitz V.** 2012. Agriculture in National Adaptation Programmes of Action (NAPA). In: A. Meybeck, J. Lankoski, S. Redfern, N. Azzu & V. Gitz. *Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a joint FAO/OECD Workshop. Rome, FAO.
- OECD.** 2015. *Aligning policies for a low-carbon economy*. Paris.
- OECD.** 2016. *Producer and consumer support estimates database of the OECD*. (Available at: <http://www.oecd.org/tad/agricultural-policies/producerandconsumersupportestimatesdatabase.htm>). Paris.

Place, F. & Meybeck, A. 2013. *Food security and sustainable resource use – what are the resource challenges to food security?* Background paper for the conference “Food Security Futures: Research Priorities for the 21st Century”, 11–12 April 2013, Dublin, Ireland.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., Boote, K.J., Folberth, C., Glotter, M., Khabarov, N., Neumann, K., Piontek, F., Pugh, T.A.M., Schmid, E., Stehfest, E., Yang, H. & Jones, J.W. 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9): 3268–3273.

Sorda, G., Banse, M. & Kemfert, C. 2010. An overview of biofuel policies across the world. *Energy Policy*, 38 (11): 6977–6988.

Thomson, L.J., Macfadyen, S. & Hoffmann, A.A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52 (3): 296–306.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2015. NAMA Registry. (Available at: <http://www4.unfccc.int/sites/nama/SitePages/Home.aspx>).

UNFCCC. 2016a. NAPAs received by the secretariat. (Available at: http://unfccc.int/adaptation/workstreams/national_adaptation_programmes_of_action/items/4585.php).

UNFCCC. 2016b. *Focus: Mitigation – NAMAs, Nationally Appropriate Mitigation Actions.*

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) and OECD. 2013. *Disaster risk reduction – donor effort. A survey of development co-operation providers.* (Available at http://www.preventionweb.net/files/34577_34577donoreffortondisasterriskreduc.pdf).

Wilkes, A., Tennigkeit, T. & Solymosi, K. 2013. *National planning for GHG mitigation in agriculture.* A guidance document. Rome, FAO.

World Bank. 2013. *World Development Report 2013. Risk and opportunity: managing risk for development.* Washington DC.

Wu, M. & Salzman, J. 2014. The next generation of trade and environment conflicts: the rise of green industrial policy. *Scholarship Law Article, Northwestern University Law Review*, 108(2): 401–474.

第六章

Buchner, B.K., Trabacchi, C., Mazza, F., Abramskiehn, D. & David Wang. 2015. *Global Landscape of climate finance 2015.* Venice, Italy, Climate Finance Initiative.

Cambodia Climate Change Alliance. 2015. *Planning and budgeting for climate change in Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries.* Cambodia Climate Change Alliance Phnom Penh.

Caravani A., Nakhouda S. & Terpstra P. 2014, *The Rio markers in practice.* London and Washington, ODI and World Resources Institute.

Cattaneo, A., Lubowski, R., Busch, J., Creed, A., Strassburg, B., Boltz, F. & Ashton, R. 2010. On international equity in reducing emissions from deforestation. *Environmental Science & Policy*, 13(8): 742–753.

Conway, D., Keenlyside, P., Roe, S., Streck, C., Vargas-Victoria, G. & Varns, T. 2015. *Progress on the New York Declaration on Forests – an assessment framework and initial report.* Prepared by Climate Focus, in collaboration with Environmental Defense Fund, Forest Trends, The Global Alliance for Clean Cookstoves, and The Global Canopy Program.

DONOR Tracker. 2014. Analyzing development strategies. (Available at <http://www.donortracker.org/>).

FAO. 2012. *The State of Food and Agriculture. Investing in agriculture for a better future.* Rome.

Government of Cambodia. 2016. *Report on Climate Public Expenditure Review 2012–14.* Ministry of Economy and Finance, Phnom Penh.

参考文献

Government of Thailand. 2014. *Strengthening the governance of climate change finance in Thailand*. Country Brief.

IFPRI (International Food Policy Research Institute). 2015. *Statistics on Public Expenditures for Economic Development (SPEED)*. (Available at <https://www.ifpri.org/>).

Mery, G., Katila, P., Galloway, G., Alfaro, R.I., Kanninen, M., Lobovikov, M., & Varjo, J. 2010. Forests and Society – Responding to Global Drivers of Change. *World Series* Volume 25. Vienna, IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations).

Michaelowa A. & Michaelowa, K. 2011. Coding error or statistical embellishment? The political economy of reporting climate aid. *World Development*, 39 (11): 2010–2020.

Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T.B., Ringler, C., Msangi, S. & You L. 2010. *Food security, farming, and climate change to 2050*. Washington, DC, IFPRI.

Norman, M. & Nakhooda, S. 2014. *The State of REDD+ Finance*. Washington, DC, Center for Global Development.

ODI (Overseas Development Institute). 2015. Climate Funds Update dataset. (Available at: <http://www.climatefundsupdate.org/>).

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). 2015a. Credit Reporting System (CRS). (Available at: <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=CRS1>).

OECD. 2015b. *Toolkit to enhance access to adaptation finance: for developing countries that are vulnerable to adverse effects of climate change, including LIDCs, SIDS and African states*. Report to the G20 Climate Finance Study Group prepared by OECD in collaboration with GEF. Paris.

United Nations. 2013. *National Accounts Main Aggregates Database*. (Available at: <http://unstats.un.org/unsd/snaama/dnList.asp>).

UNDP (United Nations Development Programme). 2015. *Budgeting for climate change: how governments have used national budgets to articulate a response to climate change*. Bangkok.

World Bank. 2015. *Mainstreaming climate action within financial institutions: five voluntary principles*. (Available at <http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/Climate/5Principles.pdf>).

World Bank. 2016. *Making Climate Finance Work in Agriculture*. Background paper prepared for *The State of Food and Agriculture 2016*, Washington, D.C. (unpublished).

统计附件

Abraha, M.G. & Savage, M.J. 2006. Potential impacts of climate change on grain yield of maize for the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 115(1–4): 150–160.

Alexandrov, V. & Hoogenboom, G. 2000. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104(4): 315–327.

Arndt, C., Strzepeck, K., Tarp, F., Thurlow, J., Fant IV, C. & Wright, L. 2011. Adapting to climate change: an integrated biophysical and economic assessment for Mozambique. *African Regional Perspectives*, 6(1): 7–20.

Berg, A., Noblet-Ducoudre, M. de. Sultan, B., Langaigne, M. & Guimberteau, M. 2013. Projections of climate change impacts on potential C4 crop productivity over tropical regions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 89–102.

Brassard, J.P. & Singh, B. 2007. Effects of climate change and CO₂ increase on potential agricultural production in Southern Québec, Canada. *Climate Research*, 34: 105–117.

- Brassard, J.P. & Singh, B.** 2008. Impacts of climate change and CO₂ increase on crop yields and adaptation options for Southern Quebec, Canada. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13: 241–265.
- Butt, T.A., McCarl, B.A., Angerer, J., Dyke, P.T. & Stuth, J.W.** 2005. The economic and food security implications of climate change in Mali. *Climatic Change*, 68(3): 355–378.
- Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R.S.J. & Ringer, C.** 2009. *Economywide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa*. Washington, DC, International Food Policy Research Institute (IFPRI) Discussion Paper No. 873. Washington, DC, IFPRI.
- Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R. & Chhetri, N.** 2014. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287–291.
- Chhetri, N., Easterling, W.E., Terando, A. & Mearns, L.** 2010. Modeling path dependence in agricultural adaptation to climate variability and change. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(4): 894–907.
- Ciscar, J., Iglesias, A., Feyen, L., Szabo, L., Regemorter, D., Amelung, B., Nicholls, R., Watkiss, P., Christensen, O., Dankers, R., Garrote, L., Goodess, C., Hunt, A., Moreno, A., Richards, J. & Soria, A.** 2011. Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 2678–2683.
- Deryng, D., Sacks, W.J., Barford, C.C. & Ramankutty, N.** 2011. Simulating the effects of climate and agricultural management practices on global crop yield. *Global Biogeochemical Cycles*, 25: GB2006.
- FAO.** 2016d. FAOSTAT. Online Statistical Database (retrieved 30 July 2016) (available at <http://faostat.fao.org/>).
- Giannakopoulos, C., Le Seger, P., Bindi, M., Moriondo, M., Kostopoulou, E. & Goodess, C.** 2009. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. *Global and Planetary Change*, 68: 209–224.
- Hermans, C., Geijzenborffer, I., Ewert, F., Metzger, M., Vereijken, P., Woltjer, G. & Verhagen, A.** 2010. Exploring the future of European crop production in a liberalized market, with specific consideration of climate and the regional competitiveness. *Ecological Modelling*, 221: 2177–2187.
- Iqbal, M.A., Eitzinger, J., Formayer, H., Hassan, A. & Heng, L.K.** 2011. A simulation study for assessing yield optimization and potential for water reduction for summer-sown maize under different climate change scenarios. *Journal of Agricultural Science*, 149: 129–143.
- Izaurrealde, R., Rosenberg, N.J., Brown, R.A. & Thomson, A.M.** 2001. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117: 97–122.
- Kim, C., Lee, S., Jeong, H., Jang, J., Kim, Y. & Lee, C.** 2010. *Impacts of climate change on Korean agriculture and its counterstrategies*. Seoul, Korea Rural Economic Institute.
- Lal, M.** 2011. Implications of climate change in sustained agricultural productivity in South Asia. *Regional Environmental Change*, 11(Suppl. 1): S79–S94.
- Li, X., Takahashi, T., Nobuhiro, S. & Kaiser, H.M.** 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Agricultural Systems*, 104(4): 348–353.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. & Naylor, R.L.** 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*: 319: 607–610.

参考文献

- Moriondo, M., Bindi, M., Kundzewicz, Z., Szwed, M., Chorynski, A., Matczak, P., Radziejewski, M., McEvoy, D. & Wreford, A.** 2010. Impact and adaptation opportunities for European agriculture in response to climatic change and variability. *Mitigation and Adaptation in Strategies for Global Change*, 15: 657–679.
- Müller, C., Bondeau, A., Popp, A., Waha, K. & Fadar, M.** 2010. *Climate change impacts on agricultural yields*. Background note for the *World Development Report 2010. Development and climate change*. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Washington, DC, World Bank.
- Osborne, T.M., Rose, G. & Wheeler, T.** 2013. Variation in the global-scale impacts of climate change on crop productivity due to climate model uncertainty and adaptation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 183–194.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhainen, L. & Hakala, K.** 2011. Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. *The Journal of Agricultural Science*, 149(1): 49–62.
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y., Ding, Y., Friedlingstein, P., Liu, C., Tan, K., Yu, Y., Zhang, T. & Fang, J.** 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467: 43–51.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B. & Travasso, M.I.** 2014. Food security and food production systems. In: C.B. Field, V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White, eds. *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, and New York, USA, Cambridge University Press.
- Ringler, C., Zhu, T., Cai, X., Koo, J. & Wang, D.** 2010. *Climate change impacts on food security in sub-Saharan Africa*. IFPRI Discussion Paper No. 01042. Washington, DC, IFPRI.
- Rowhani, P., Lobell, D., Lindermann, M. & Ramankutty, N.** 2011. Climate variability and crop production in Tanzania. *Agriculture and Forest Meteorology*, 151: 449–460.
- Schlenker, W. & Roberts, M.J.** 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(37): 15594–15598.
- Shuang-He, S., Shen-Bin, Y., Yan-Xia, Z., Yin-Long, X., Xiao-Yan, Z., Zhu-Yu, W., Juan, L. & Wei-Wei, Z.** 2011. Simulating the rice yield change in the middle and lower reaches of the Yangtze River under SRES B2 scenario. *Acta Ecologica Sinica*, 31(1): 40–48.
- Southworth, J., Randolph, J.C., Habeck, M., Doering, O.C., Pfeifer, R.A., Rao, D.G. & Johnston, J.J.** 2000. Consequences of future climate change and changing climate variability on maize yields in the midwestern United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82: 139–158.
- Tan, Z., Tieszen, L.L., Liu, S. & Tachie-Obeng, E.** 2010. Modeling to evaluate the response of savanna-derived cropland to warming-drying stress and nitrogen fertilizers. *Climatic Change*, 100: 703–715.
- Tao, F. & Zhang, Z.** 2010. Adaptation of maize production to climate change in North China Plain: quantify the relative contributions of adaptation options. *European Journal of Agronomy*, 33(3):103–116.
- Tao, F. & Zhang, Z.** 2011. Impacts of climate change as a function of global mean temperature: maize productivity and water use in China. *Climatic Change*, 105: 409–432.
- Tao, F., Zhang, Z., Liu, J. & Yokozawa, M.** 2009. Modelling the impacts of weather and climate variability on crop productivity over a large area: a new super ensemble-based probabilistic projection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1266–1278.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarwamy, G. & Andresen, J. 2009. Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. *Global Environmental Change*, 19: 54–65.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarwamy, G. & Andresen, J. & Herrero, M. 2010. Adapting to climate change: agricultural system and household impacts in East Africa. *Agricultural Systems*, 103: 73–82.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Ericksen, P.J. & Challinor, A.J. 2011. Agriculture and food systems in sub-Saharan Africa in a 4 °C+ world. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 369: 117–136.

Tingem, M. & Rivington, M. 2009. Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14: 153–168.

Walker, N.J. & Schulze, R.E. 2008. Climate change impacts on agro-ecosystem sustainability across three climate regions in the maize belt of South Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124: 114–124.

Wang, M., Li, Y., Ye, W., Bornman, J. & Yan, X. 2011. Effects of climate change on maize production, and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province, China. *Climate Research*, 46: 223–242.

Xiong, W., Lin, E., Ju, H. & Xu, Y. 2007. Climate change and critical thresholds in China's food security. *Climatic Change*, 81: 205–221.

Xiong, W., Conway, D., Lin, E. & Holman, I. 2009. Potential impacts of climate change and climate variability on China's rice yield and production. *Climate Research*, 40: 23–35.

《粮食及农业状况》特别章节

自1957年以来，本报告还在每期中涵盖了一项或一项以上令人长期关注的特别主题研究。以前各期中特别章节的主题如下：

1957	影响粮食消费趋势的各种因素 影响农业的某些体制因素的战后变化情况	1968	发展中国家通过技术改良提高农业生产率 改善储存及其对世界粮食供应的贡献
1958	非洲撒哈拉以南地区的粮食和农业发展情况 森林工业的发展及其对世界森林的影响	1969	农业销售改进计划：从最近的经验中取得的一些教训 为促进林业发展而使机构体制现代化
1959	各国在各种不同经济发展阶段的农业收入和生活水平 从战后的经验看欠发达国家在农业发展方面的某些遍问题	1970	第二个发展十年开始时的农业
1960	农业发展规划	1971	水污染及其对水生资源和渔业的影响
1961	土地改革和体制变化 非洲、亚洲和拉丁美洲的农业推广、教育和研究	1972	促进发展的教育和培训 加快发展中国家的农业研究
1962	森林工业在解决经济欠发达问题中的作用 欠发达国家的畜牧业	1973	发展中国家农业方面的就业情况
1963	影响提高农业生产率的各种基本因素 肥料使用：农业发展的先锋	1974	人口、粮食供应和农业发展
1964	蛋白质营养：需要和前景 化学合成物及其对农产品贸易的影响	1975	联合国第二个发展十年：中期回顾和评价
1966	农业和工业化 世界粮食经济中的大米	1976	能源和农业
1967	对发展中国家农民的鼓励因素和抑制因素 渔业资源的管理	1977	自然资源状况和人类粮食及农业环境
		1978	发展中地区的问题和战略
		1979	林业和乡村发展
		1980	实行管辖后新时代的海洋渔业
		1981	发展中国家的乡村贫困和减轻贫困的方法
		1982	畜牧生产：世界前景
		1983	妇女在农业发展中的作用
		1984	城市化、农业和粮食系统
		1985	能源在农业生产中的利用 粮食和农业中的环境趋势 农产品销售和农业发展

1986	为农业发展提供资金	2002	地球首脑会议十年之后的农业与全球公共利益
1987-88	年发展中国家农业科学技术重点的转移	2003-04	农业生物技术：是否满足贫困人口的需要？
1989	可持续发展与自然资源管理	2005	农业贸易与贫困：贸易能为穷人服务吗？
1990	结构调整与农业	2006	粮食援助促进粮食安全？
1991	农业政策和问题：80年代的教训和90年代的前景	2007	向农民支付环境服务费
1992	海洋渔业和海洋法：变革的十年	2008	生物能源：前景、风险和机遇
1993	水资源政策和农业	2009	畜牧业协调发展
1994	林业发展和政策难题	2010-11	农业中的女性：填性别鸿沟，促农业发展
1995	农产品贸易：进入一个新时代？	2012	投资农业创造更美好未来
1996	粮食安全：宏观经济方面的一些问题	2013	通过粮食体系改善营养状况
1997	农产品加工业与经济发展	2014	家庭农业中的创新
1998	发展中国家的农村非农业收入	2015	社会保护与农业：打破农村贫困恶性循环
2000	世界粮食和农业：过去50年的教训		
2001	跨界植物虫害和动物疾病的经济影响		

2016 粮食及 农业状况

气候变化、农业和 粮食安全

除非立即采取行动来提高农业的可持续性、生产率和抵御能力，气候变化影响将严重危害粮食安全问题本就十分严重的那些国家和地区的食品生产。2015年12月通过的《巴黎协定》已成为全球力求尽早稳定气候变化的新起点。《协定》认可粮食安全在全球气候变化应对行动中的重要性，正如许多国家在其规划的适应和减缓贡献中，把农业部门作为突出重点。为有助于把计划付诸实践，本报告确定了相关策略、融资机会以及数据和信息需求，同时还列出能够克服实施障碍的变革政策和制度。



ISBN 978-92-5-509374-6 ISSN 1020-7619



9 789255 093746

I6030Ch/1/10.16