



联合国
粮农组织
及世界
农业组织

节约与增长

付诸实践

玉米
稻谷
小麦

可持续谷物生产指南



本指南阐述如何对世界粮食安全的几种主要作物，即玉米、稻米和小麦，实际应用粮农组织的作物生产可持续集约化“节约与增长”模式。书中列举非洲、亚洲和拉丁美洲的事例，阐明以生态系统为基础的耕作系统如何帮助小农提高谷物单产，改善生计，减少对环境的压力，增强对气候变化的抵御能力。本指南将成为决策者和发展工作者在实现全球向可持续粮食和农业转型过程中的宝贵参考手册。

The background is a detailed botanical illustration featuring various green plants, including ferns, grasses, and leafy stems, set against a light blue and green textured backdrop. Several butterflies are depicted in flight, adding a sense of natural movement to the scene.

节约与增长 付诸实践

玉米、稻谷、小麦

可持续谷物生产指南

联合国粮食及农业组织
罗马，2016年

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

本信息产品中陈述的观点是作者的观点,不一定反映粮农组织的观点或政策。

ISBN 978-92-5-508519-2

© 粮农组织, 2016年

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。

目 录

致 谢	iv
前 言	v
综 述	vii
第一章 谷物与人类: 古老纽带复兴时机来临	1
第二章 实现可持续谷物生产	17
第三章 促进节约与增长的农作系统	37
第四章 前进之路	83
参考文献	99
缩略语	110
术语表(见封底)	

致谢

本书由粮农组织植物生产及保护司William Murray副司长主持编写。粮农组织可持续农业战略计划主任Clayton Campanhola, 以及粮农组织罗马总部于2014年12月15-17日就“节约与增长：玉米、稻谷和小麦”召开的技术磋商会, 为本书的编写工作提供了指导。

主要作者

Timothy G. Reeves、Graeme Thomas、Gordon Ramsay

技术主编

Shivaji Pandey

本书论文作者:

玉米 Gregory Edmeades (国际玉米小麦改良中心前任专家)
Kaushal K. Garg (国际半干旱热带作物研究所)
Bharat Sharma (国际水管理研究所)
Suhas P. Wani (国际半干旱热带作物研究所)

稻谷 Roland J. Buresh (国际水稻研究所)
Jonne Rodenburg (非洲稻米中心)
Marco Wopereis (非洲稻米中心)

小麦 Mahmoud Solh (国际干旱地区农业研究中心)
Hans Braun (国际玉米小麦改良中心)
Wuletaw Tadesse (国际干旱地区农业研究中心)

同行审议

Jesse Binamira (菲律宾农业部)、Prem Bindraban (美国虚拟肥料研究中心)、Simone Borelli (粮农组织)、Hans Braun (国际玉米小麦改良中心)、Erik Busch-Petersen (粮农组织/国际原子能机构)、Sandra Corsi (粮农组织)、Tony Fischer (澳大利亚联邦科学与工业研究组织研究员)、Theodor Friedrich (粮农组织)、Raj Gupta (印度博洛格南亚研究所)、M. L. Jat (国际玉米小麦改良中心)、Zeyaur Khan (肯尼亚国际昆虫生理生态学中心)、Gurdev Khush (世界粮食奖, 1996)、Leslie Lipper (粮农组织) Andrew MacMillan (前粮农组织官员) Harinder Makkar (粮农组织)、Chikelu Mba (粮农组织)、Alexandre Meybeck (粮农组织)、Joyce Mulila-Mitti (粮农组织)、Patrick Mulvany (英国食物道德委员会)、Rebecca Nelson (美国康奈尔大学)、Godfrey Nzamujo

(贝宁淤浆中心)、Rodomiro Ortiz (瑞典农业科学大学)、Ivan Ortiz-Monasterio (国际玉米小麦改良中心)、Mark Peoples (澳大利亚联邦科学与工业研究组织)、B.M.Prasanna (国际玉米小麦改良中心)、Jules Pretty (英国埃塞克斯大学)、Sanjay Rajaram (世界粮食奖, 2014)、Idupulapati Rao (国际热带农业中心)、Bharat Sharma (国际水资源管理研究所)、Norman Uphoff (美国康奈尔大学)、Stephen Waddington (国际玉米小麦改良中心前任专家)、Dennis Wichelns (美国加州州立大学)

参与人员

Almalinda Abubakar (粮农组织)、Moujahed Achouri (粮农组织)、Caterina Batello (粮农组织)、Aracely Castro Zuniga (粮农组织)、Ivan Cruz (巴西农业研究所)、Swapan Kumar Datta (印度农业研究理事会)、Muhammad Dost (粮农组织)、Aziz El-Behri (粮农组织)、Kevin Gallagher (粮农组织)、Gualbert Gbehounou (粮农组织)、Matthias Halwart (粮农组织)、Barbara Herren (粮农组织)、Toby Hodgkin (前生物多样性专家)、Allan Hruska (粮农组织)、Ljupcho Jankuloski (国际原子能机构)、Xianping Jia (中国西北农林大学)、Amir Kassam (英国雷丁大学)、Muratbek Karabayev (国际玉米小麦改良中心)、Rachel Bezner Kerr (美国康奈尔大学)、Josef Kienzle (粮农组织)、Samuel Kugbei (粮农组织)、Hafiz Muminjanov (粮农组织)、Alberto Pantoja (粮农组织)、Yongfan Piao (粮农组织)、Adam Prakash (粮农组织)、Yashpal Saharawat (印度农业研究理事会)、Derli Prudente Santana (巴西农业研究所)、William Settle (粮农组织)、Brian Sims (粮农组织)、Luana Swensson (粮农组织)、Christian Thierfelder (国际玉米小麦改良中心)、Michael Turner (粮农组织)

地图

John Latham和Renato Cumani (粮农组织) 使用全球农业生态区数据集为本书制作了玉米、稻米、小麦和豆类世界产区地图, 可通过粮农组织/国际应用系统分析研究所数据门户获取: <http://www.fao.org/nr/gaez>

设计: Thomas & Sansonetti

封面封底: Giancarlo de Pol

插图(第三章): Cecilia Sanchez

前言

设想 想一下，2030年我们生活在一个不同的世界，一个对子孙后代更美好的世界。饥饿和贫困已彻底消除。粮食系统丰产而可持续。社会包容，城市安全，人人都能体面就业，性别平等最终得以实现。

2030年的这一愿景，在联合国最近通过的世界发展蓝图“可持续发展目标”中得到了体现。这些目标的实现关键将取决于农业的发展。全世界大多数饥饿和极端贫困者生活在农村地区，其中包括千千万万小农。当今世界，经济不平等现象加剧，粮食生产所依赖的生态系统严重退化，气候变化不断加快，危及全世界作物单产，面对这些重大变化，小农首当其冲，受到影响。

实现可持续发展目标需要完成农业转型，建设一个更加高产、包容和可持续的农业，一个能加强农村生计、确保人人粮食安全、减少自然资源需求、增强气候变化抵御能力的农业。

对于创造我们所憧憬的世界，本书将做出重要贡献。玉米、稻谷和小麦为世界粮食安全之本。2014年，全球谷物产量再创历史新高，然而，谷物主要种植于几个主要产区，当地农业为之付出沉重代价：多年集约化单一耕种，土壤退化，地下水资源枯竭，单产增速明显放缓。在发展中世界广大地区，农民受到资源制约，缺少获取提高其生产力的知识和技术的手段，单产潜力仅仅一小部分得到实现。气候变化，包括气温上升、病虫害和旱灾水灾日益频发，又增加了对谷物生产的压力。

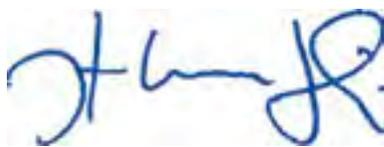
我们必须保护世界产粮地带和稻谷产区的生产，提高因人口增长而需要大幅增产国家的单产。为此，我们需要一种新的谷物生产模式，一种不仅高产而且环境上可持续的生产模式。粮农组织提倡的以生态系统为基础的农业模式，即“节约与增长”模式，利用保护性农业、健康土壤、改良作物和品种、高效用水、病虫害综合防治等方式有机结合的耕作系统，恰好满足了这一需要。

可持续谷物生产这本实用指南回顾了发展中世界小农在“节约与增长”实践方面取得的进展，举例说明节约与增长耕作系统如何提高每公顷粮食单产，创造重大社会、经济和环境利益。本指南还阐明节约与增长实践如何帮助绿色革命技术成效下降的印度和哈萨克斯坦小麦产区恢复生产，以及如何提高中美洲和东非农民低投入玉米生产系统的生产率。

这些事例突显了谷物生产与动物生产和林业相结合所带来的回报。在亚洲，农业家庭在稻田养鱼，既提高了稻谷产量又获得了营养更富含的膳食。在巴西，玉米与畜牧混作系统正在取代不可持续的大豆单一耕作制。在赞比亚，玉米地栽种氮素丰富的树木，其成本效益超过了施用无机肥料。

农民的实践业已证明“节约与增长”行之有效。现在面临的挑战是在国家计划中推广这一模式。这将需要重振全球发展伙伴关系，大量增加农业投资。若能作出如此承诺，节约与增长将有助于我们实现可持续发展目标。这一模式将增加谷物产量，维持生态系统健康，加强气候变化抵御能力，逐步提高土地和土壤质量。通过提高小农生产力和收入，节约与增长将推动包容性增长，使千千万万农村人口摆脱赤贫。小农生产与设计良好的社会保护计划挂钩，将确保最弱势者能够实现粮食安全和营养，促进彻底消除饥饿和营养不良。

实现无饥饿世界的愿景，人类拥有所需知识、技术和共同使命感。采取行动，刻不容缓。



联合国粮食及农业组织总干事
若泽·格拉济阿诺·达席尔瓦

综述

一、谷物与人类：古老纽带复兴时机来临

气候变化、环境退化和单产止步不前威胁着谷物生产和世界粮食安全。作物生产可持续集约化可有助于满足世界粮食需要，同时对自然资源进行保护。

到2050年，全世界玉米、稻米和小麦的年需求量预计将达33亿吨左右，比2014年这三种作物收成的创纪录之和还多8亿吨。产量提高主要需要在现有农田上实现。然而，三分之一的农田已经退化，且其他各部门对农民用水的压力不断加大。

气候变化可对小麦单产造成灾难性影响，可令非洲的玉米单产降低20%。在亚洲，海平面上升对主要河流三角洲的稻米种植造成威胁。单产止步不前以及高投入生产系统的回报不断降低将进一步限制谷物产量的提升潜力。

“一切照常”的做法将给发展中地区5亿小规模家庭农户以及城市低收入人口带来最为沉重的打击。气候变化迫使亚洲在产量更低的雨养地区种植小麦，消费者将因此面对粮价大幅上涨的局面。人口增长可能会加大非洲对进口稻米的依赖。玉米的需求量增加和生产率下降，可能会使发展中世界的玉米进口量到2050年时增加两倍。

可持续提高现有农田的生产率是避免粮价大幅上涨、改善农村经济和农民生计、减少面临饥饿与营养不良风险人口数量的最优方案。粮农组织提出的实现作物生产集约化的“节约与增长”模式旨在提高单产和营养质量，同时降低农民和环境成本。

本指南阐述了“节约与增长”的理念和做法，介绍了在玉米、稻米和小麦种植中的应用实例，概述了在国家 and 区域计划中推广相关经验所需的政策、机构、技术和能力建设工作的。

二、实现可持续谷物生产

全世界的农作系统需要重新调整以实现可持续集约化。谷物种植者通过采用关键的“节约与增长”要素及做法，已经开始了这一转变进程。

- ▶ **保护性农业。**通过把对土壤的干扰降到最低限度、使用表面覆盖物、开展作物轮作，玉米和小麦种植者降低了成本、提高了单产并保护了自然资源。灌溉稻系统的农民开始转向采用免耕的早播做法。为了增加收入和加强气候变化抵御能力，谷物种植者开始种植多样化作物，并在生产系统中实现了林木、家畜和水产养殖的一体化。
- ▶ **土壤健康。**保护性农业做法改善土壤的有机质含量及物理属性，减轻土壤侵蚀、提高用水效率。豆科植物通过固氮改善土壤肥力，减少对矿物肥料的需要。实现作物营养需求和供应的匹配将帮助农民减少施肥量，降低环境的有害损耗。
- ▶ **改良作物和品种。**“节约与增长”系统采用多样、互补的作物组合及其改良品种，以提高生产率、加强粮食和营养安全。目前，农民种植的谷物品种对生物和非生物胁迫有了更高的抗性。生产率更高和更具营养的谷物开发工作需要配以优质种子的快速繁育体系。
- ▶ **水资源高效管理。**为了实现“滴水增收”，许多稻农都减少了农田淹灌，这也降低了甲烷排放。水稻种植不采用淹灌的做法能使用水量降低多达70%。利用收集的雨水对小麦进行补充灌溉已将水生产率提高了三倍。沟灌垄作既节约用水又提高小麦和玉米的单产。
- ▶ **有害生物综合防治。**抗击病虫害的第一道防线在于健康的农业生态系统。稻农接受有害生物综合防治培训后大幅减少了杀虫剂的使用，但并不影响单产。与玉米一同种植时，豆科植物有助于抑制杂草。小麦种植者采用抗性品种克服了锈病地方流行，并通过作物轮作抗击害虫。

这些要素各自都促进可持续性，但只有在所有要素全面纳入“节约与增长”农作系统后才能实现最大惠益。

三、促进节约与增长的农作系统

作物生产可持续集约化有何“特征”？这些来自世界各地发展中国家的实例说明了实践中的“节约与增长”农作系统

1. **在东非**，玉米地里种植两种当地植物，制服了区域内两种最严重的玉米有害生物。这一“驱赶-诱捕”系统还产生其他惠益，包括提供优质的牛饲料。
2. **以马达加斯加为起始点**，稻米集约化系统方法已经传至亚洲，帮助农民提高稻米产量和收入，同时减少了水、肥和种子的用量。
3. **在中美洲**，农民开发了一种“砍伐加覆盖”生产系统，保护树木和灌木、养护土壤和水源，使玉米和豆类单产翻了一番，甚至能抵御飓风的冲击。
4. **在世界各地**，麦农通过种植豆科植物作为氮素的天然来源，提高了小麦单产。保护性农业能有助于实现小麦与豆科植物轮作的全部惠益。
5. **在拉丁美洲**，源自非洲热带地区的一种牧草大幅提高了畜牧生产率。巴西农民将臂形草（Brachiaria）纳入玉米直播系统，逐步替代了大豆单作。
6. **在南亚印度河恒河平原**，资源养护技术实现了高水平的小麦单产，同时将农民的成本降低了20%。稻米种植转而采用保护性农业做法将使得两种作物的种植形成积极的协同效应。
7. **在发展中世界**，木豆、豇豆、落花生、大豆和刀豆在玉米地中都很常见。玉米与豆科混作系统的高水平生产率使其尤为适合小农户。
8. **在亚洲**，稻田和稻田周围养鱼有助于控制稻米有害生物并能为作物提供肥料。单产提高、鱼品销售创收和农用化学品节约使农民收入提高了50%。
9. **在南部非洲**，与玉米一同种植的豆科乔木和灌木提供了富含氮素的优质残茬，提高了土壤肥力、提升了单产并带来了新的收入来源。
10. **在中亚**，免耕、土壤覆被和作物轮作将帮助许多国家扭转土壤侵蚀趋势和提高粮食产量。哈萨克斯坦的小麦种植者已经在全面转向保护性农业的过程中取得了重要进展。
11. **在南亚和东南亚**，数百万稻农如今在旱季种植玉米，使用高产和耗水量较低的杂交品种创造了更高的收入。特写：孟加拉国。

四、前进之路

小农户采用“节约与增长”需要所有层面采取一致行动，政府、国际组织、私营部门和民间社会都需参与

时常面临不利农业条件的谷物种植者通过采用“节约与增长”模式提高了产量、改善了生计、增加了收入，同时保护了自然资源和加强了气候变化抵御能力。但是可持续方法的采用程度依然较低，农业要实现“节约与增长”的全部惠益，还有许多工作要做。

向作物生产可持续集约化的转型需要实现对粮食和农业治理的根本性变革。实现这些变革取决于对必要转型的全部成本进行切实评估。同时，也需要精心调整可持续农作方法和技术，以适应各地的具体条件。

为了营造有利的政策、法律和制度环境，应在私人、公共和民间社会举措之间实现适当平衡，确保问责、公平、透明和法治。粮农组织的可持续粮食和农业愿景，可指导国家政策、战略和计划的制定，推动向既高产、经济可行、环保，又基于公平和社会公正的谷物生产集约化的转型。

因此，决策者面临的关键挑战包括在更广泛的结构改造范围内推动向“节约与增长”的转型；制定政策支持农民采用可持续生产系统；农业投资专注于提供公共商品，鼓励农民投资可持续作物生产；确立和保护生产者对资源的权利；促进形成更为公平和更加高效的市场与价值链；增加对长期农业研发的支持；推动技术创新适应小农需要；振兴农业教育和培训；增强正规和非正规种子体系，以及加强与国际组织、文书和机制的合作。



第一章

谷物与人类： 古老纽带复兴时机来临

气候变化、环境退化和单产止步不前
威胁着谷物生产和世界粮食安全。作物生产
可持续集约化可有助于满足世界粮食需要，
同时对自然资源进行保护。

玉

米、稻米和小麦是世界上种植最为广泛的作物，也是世界粮食安全的根基，年收获总量约为25亿吨。每天，人类消费数百万吨谷物，常见消费方式几乎难以数清——从一碗碗热气腾腾的米饭和玉米粥，到面包、玉米饼、玉米粽、烤饼、面饼、意大利面、披萨饼、馅饼和糕点。还有数百万吨谷物是我们间接消费的，这部分谷物先被用作牛、猪和家禽的饲料，生产了世界上大部分肉蛋奶产品^{1,2}。

玉米、稻米和小麦构成了人类膳食中最为重要的组成部分，估计占世界食物卡路里供应的42.5%。在全球范围内，它们对蛋白质供应的贡献率约为37%，仅次于鱼类和家畜产品。仅小麦一种作物所供应的蛋白质就超过了家禽、猪和牛肉的总和。玉米、稻米和小麦甚至供应了我们膳食中6%的脂肪。

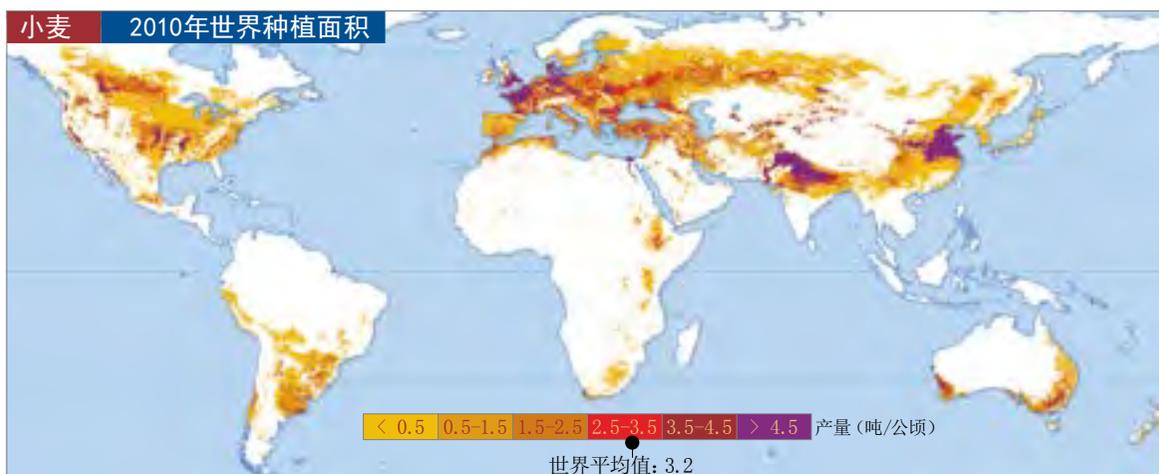
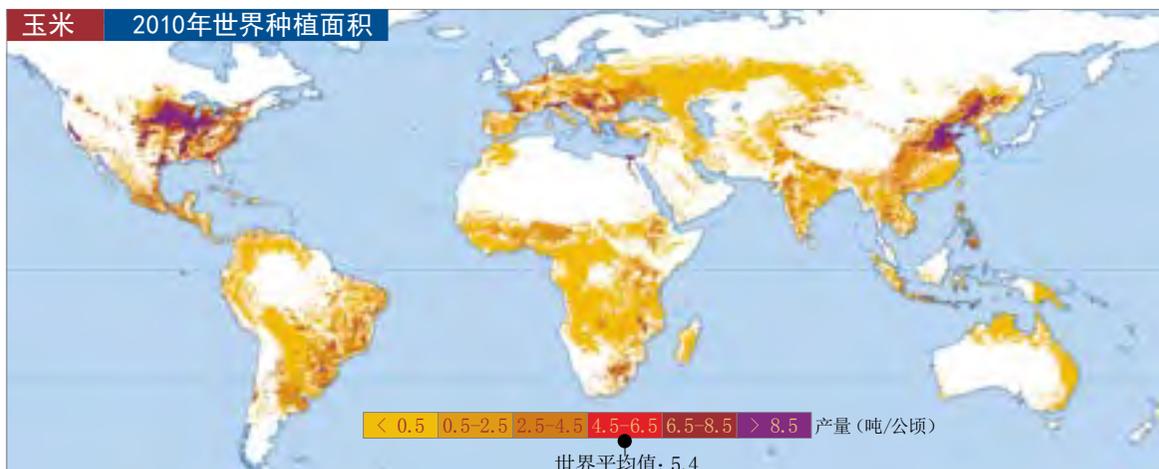
这三种谷物对于发展中区域的粮食安全十分关键。在南非，它们占据了卡路里供应的一半以上。在西亚，小麦供应了约40%的蛋白质。在南亚，小麦和稻米占有卡路里和蛋白质供应的一半，并供应了9%的脂肪。除拉丁美洲外，谷物在其他发展中地区提供的蛋白质都超过了肉类、鱼类、奶类和蛋类之和。

即便在动物产品几乎占蛋白质供应三分之二的北美和西欧，小麦仍供应了超过20%的蛋白质。间接来看，谷物占比更高：在美国，2014年约40%的国内玉米供应，即约1.3亿吨的玉米被用作家畜饲料^{2,3}。

自从史前第一批农民开始播种谷物起，谷物就主导了人类的营养。事实上，农业革命以及随后的一切，简而言之，就是我们所生活的世界，都起源于大约1万年前狩猎采集者群体与丰富的禾本科野草之间形成的奇妙而又持久的纽带。中东地区最先播种和收获的草类就包括小麦属 (*Triticum*) 品种，并经过2500年孕育出了普通小麦⁴。

收获后的谷物为狩猎采集者集中提供了易于储存的能量、蛋白质和其他营养成分的来源。东亚和西非也有相同发现，稻米品种亚洲稻 (*Oryza sativa*) 与非洲稻 (*Oryza glaberrima*) 的野生祖先在3000-9000年前得以驯化^{5,6}。当今2500种商用玉米品种都能在7000年前中美洲一种称为类蜀黍⁴的玉蜀黍属 (*Zea*) 中找到共同起源。

4 节约与增长：付诸实践 — 玉米、稻谷、小麦



8000年前，随着美索不达米亚地区不断扩张的城市人口努力通过提高生产率满足自身粮食需求，灌溉的发明令谷物生产集约化跨出了重要的第一步。3000年前，中国就已开始集约化耕种稻米⁴。墨西哥的人类定居点则发明了玉米灌溉系统⁷。

如果说在前8000年的农业产生中，谷物带来的粮食安全令人类总数从1000万增至3亿⁸，那么生产或供应短缺则意味着灾难。印度河及底格里斯河谷中依托灌溉农业发展起来的文明由于灌渠淤积和土壤盐碱化而消亡⁹。当敌人切断了来自北非的谷物运输后，饥荒摧毁了古罗马¹⁰。古玛雅文明的崩塌很可能是因为玉米花叶病病毒的流行¹¹。在欧洲，当中世纪暖期在700年前结束后，潮湿的夏季导致小麦真菌病暴发，令数百万人死于饥荒¹²。

英国的农业革命始于十七世纪后期，是谷物生产集约化和粮食安全的另一座里程碑。1700年至1850年间，改良的犁具、更高产的品种以及利用豆科植物进行轮作的方式帮助农民对农场资源进行最大化利用，并使得小麦单产翻番，从每公顷1吨增加至2吨。同时期内，英格兰人口数量从500万增至1500万^{13、14}。

人口增长和农业集约化均在二十世纪加速发展。二战后，工业化国家的农业模式发生转变，实现了遗传学、生物化学和工程学在作物生产中的大规模应用。通过化石燃料驱动的重型农业机械以及高产作物品种、灌溉和农用化学品，实现了生产率的大幅提升¹⁵。

二十世纪六十年代，发展中国家在人口指数级增长、谷物产量严重短缺和饥饿肆虐的情况下真正开始了作物生产集约化¹⁵。截至1970年，估计发展中世界37%的人口，即约10亿人面临营养不足^{16、17}。面对世界粮食危机的威胁，国际社会推动开展了被称为“绿色革命”的农业研究、开发和技术转让举措。重点围绕玉米、稻米和小麦这三种对世界粮食安全有根本性影响的作物进行集约化生产。

绿色革命及其之后

绿色革命最初由美国生物学家Norman Borlaug以及墨西哥国际玉米小麦改良中心（CIMMYT）和菲律宾国际水稻研究所（IRRI）的科学家们推动展开。二十世纪六十年代，绿色革命势头如火如荼，在南亚引入了半矮化水稻和玉米高产品种。在政府扩大灌溉基础设施和农用化学品供应计划的支持下，这些品种在短短几年内就实现了英国农业革命用一个多世纪才做到的单产提升幅度¹。

主要由于绿色革命，粮食生产取得了重大突破。全球谷物年产量从1961年的6.4亿吨增至2000年的18亿吨。发展中世界的成就最为显著：玉米产量提升了275%、稻米为194%、小麦为400%。亚洲稻米产量提升的主要原因在于提高了耕作密度，农民从单季稻种植转变为能种植多达三季稻的水平¹⁸。

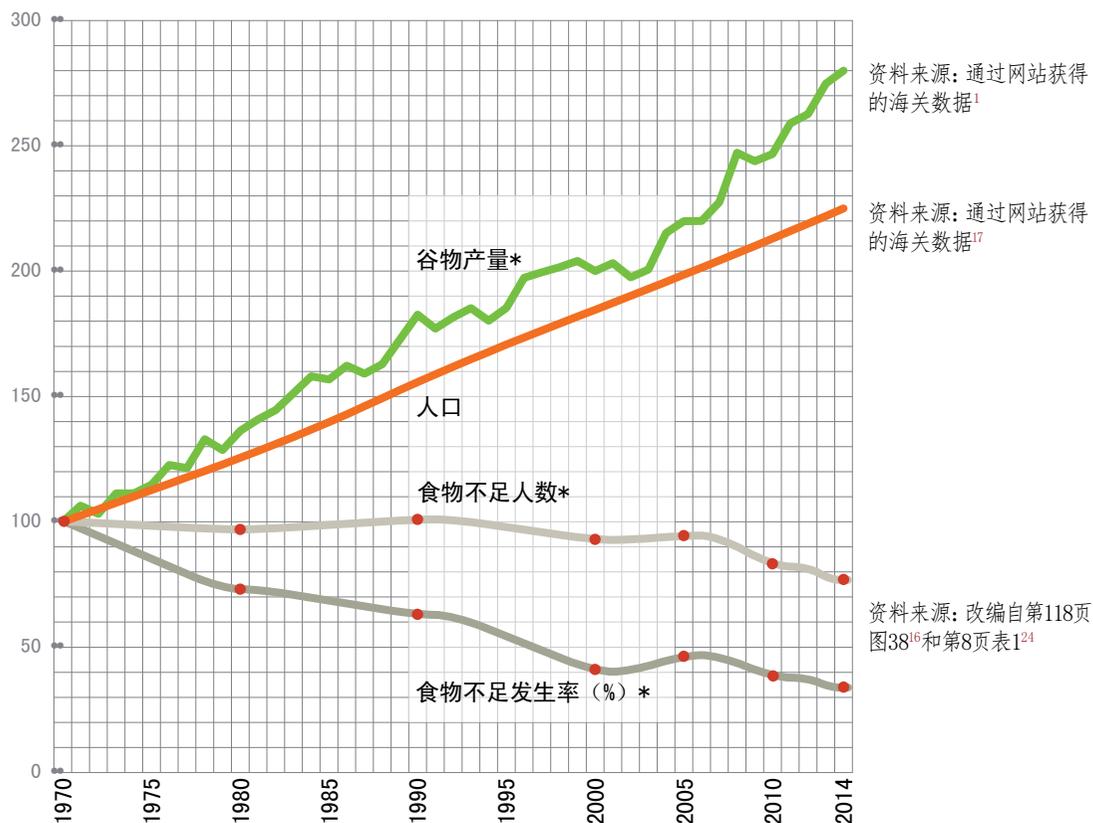
发展中地区人口数量在1960年至2000年间增长了一倍以上，但同期的国内生产使人均谷物供应量提高了50%^{1、17}。食物不足人口所占比例从1970年的三分之一以上降至二十世纪末期的18%¹⁹。

谷物单位生产成本降低意味着农民收入提高，促进亚洲大幅降低了农村贫困发生率²⁰。城市消费者也得益于谷物价格在几十年间所保持的稳定和相对较低水平²¹。集约化意味着虽然发展中地区在1960至2000年间的谷物产量提高了250%，但是收获面积仅仅扩大了44%，降低了将自然生境转化为农田的需要¹。

如今，发展中国家占世界谷物产量的三分之二¹。改良品种的种植范围扩大到亚洲和北非的多数小麦种植区²²，以及亚洲热带地区的稻田²³。在西非，早熟品种使得稻米和玉米产量在2000年后翻番¹。

绿色革命对于粮食安全的贡献功不可没|图 1.1|。发展中世界人口中的食物不足发生率已降至12.9%²⁴。2014年，世界谷物产量估计达25亿吨，促使国际粮价从2011年的峰值水平大幅回落²⁵。此外，产量还有进一步提升的潜力 — 在多数发展中区域，包括谷物在内的主要粮食作物单产只达到了投入品和管理优化后在技术上可能实现水平的一半²⁶。

图 1.1 发展中国家谷物产量、人口增长、食物不足人数和食物不足发生率，1970–2014年
指数（1970年=100）



* 2014年数据为暂定数据

问题在于过去的农业效益无法体现出未来的回报。在单作和高水平外部投入基础上实现的作物生产集约化，对生物多样性和生态系统服务——包括作物遗传多样性、土壤构成和生物固氮——造成干扰，已经威胁到了粮食生产本身的可持续性^{27、28}。绿色革命在谷物产量上取得的重大突破，往往因温室气体排放量增加和水体硝酸盐污染而造成土地退化、灌溉区盐碱化、地下水超采、有害生物抗性加强以及大范围环境破坏的后果¹⁵。

在亚洲，集约化的两季和第三季稻单作导致土壤微量养分贫化、土壤毒性增强以及病虫害多发¹⁸。占世界人口60%的东亚和东南亚地区，稻米单产增速趋缓²⁹。对印度稻米主产地和东亚稻米粮仓的研究都已确认稻米单产增幅下降。监测证据显示，尽管投入品使用水平较高，现代品种的回报却不断下降²⁰。

小麦主要种植地区单产停滞的原因包括一系列复杂因素，诸如遗传改良速度降低、土壤肥力损失、投入品利用效率降低，以及生物和非生物胁迫等²²。随着耕作密度和单作水平提高，小麦锈病的威胁加剧，有害生物导致小麦作物损失不断增加³⁰。

集约化作物生产常常会形成对有害生物十分有利的环境。随着昆虫、杂草和病原体的耐药性加强，对农药的需求量增加。如今，农业部门每年的农药使用量约为250万吨³¹。在二十世纪九十年代前期，亚洲稻田农药过量使用造成的健康成本高于有害生物控制带来的经济效益³²。全球范围内，约220种杂草品种形成了对一种或多种除草剂的耐药性，尤其是对谷物构成威胁³³。

世界范围内采用高产谷物品种导致植物遗传多样性大规模损失，生物多样性受到广泛侵蚀。比如，印度尼西亚的绿色革命使得约1000种本地稻栽培种被现代品种取代，后者因遗传基础较为薄弱，更易受病虫害的侵害。单作也通过取代谷物、豆类和油料作物的混合种植而从整体上降低了农业生物多样性和膳食多样性^{18、20}。

集约化作物生产也大大增加了引起气候变化的温室气体排放。农业以及主要因农业改变土地覆盖情况而导致的排放量在过去50年内几乎翻番³⁴，如今占人为排放总量的比例高达25%³⁵。在2001至2010年间，作物和家畜生产导致的直接排放量从47亿吨增至超过53亿吨的二氧化碳当量，绝大多数增量出现在发展中国家³⁴。

作为矿物肥料的使用主力，谷物生产是占排放总量58%的一氧化二氮农业排放主因；淹灌型稻谷种植以及家畜养殖几乎在甲烷排放总量中占据了半壁江山^{36、37}。

一些批评人士指出，绿色革命主要惠及土地条件较好、获取投入品和市场准入较为便利的农民，未能照顾到大多数小规模、资源匮乏的农民³⁸。他们指出了显著的矛盾之处：世界上四分之三的贫穷和饥饿人口生活在农村地区，主要从事农业和粮食生产^{39、40、41}。

对绿色革命集约化农业的另一项批评意见认为，这种模式对环境造成的破坏需要由后代来承担。没有机构负责对环境恢复征收补偿并进行投资。如果农场价格完整反映出生产成本——即农业为其引起的环境破坏进行有效偿付后——粮价可能不会在这么长的时间内保持在如此低的水平¹⁵。

有一点是明确的：尽管全世界食物不足人口占比持续下降，现有粮食和农业系统却未能为所有人提供积极和健康生活所需的粮食。而从绝对数字来看，目前世界上面临长期食物不足的人数仅比半个世纪前降低了20%²⁴。

与此同时，估计有20亿人因膳食中缺乏维生素和矿物质而面临微量营养素营养不良的问题。大规模使用以氮、磷、钾肥为主的矿物肥料提高了单产，而谷物的营养含量却在同时期内不断下降⁴²，甚至连蔬菜作物也是如此^{43、44}。

尤其是在低收入农村家庭中，以淀粉主粮为主的单调膳食很常见，一般无法获得足量富含微量营养素的食物，诸如肉类、奶制品、豆类、水果和蔬菜等。在以集约化方式种植玉米、稻米和小麦的五十年间，或许膳食能量的供应得以改善，但是人类整体营养水平并未取得相应程度的改观⁴⁵。

绿色革命的作物生产集约化模式是二十世纪六十年代人类所面临粮食危机的正确解决办法。但是当今世界已步入“后绿色革命时代”。

2050年超过30亿吨

世界农业——以及人类与玉米、稻米和小麦的古老纽带——面临着“前所未有的压力叠加”⁴⁶。其中之一是对粮食和其他农产品的需求量高过历史上任何一个时期。到2050年，全球人口预计将从目前的73亿增至96亿以上，增加的人口集中在发展中区域；48个最不发达

达国家的人口数可能会翻番至18亿¹⁷。同时，城市化和富裕水平提高正推动发展中国家经历“营养过渡”，对动物蛋白的消费量增加将需要大幅提升家畜产量及其对资源的集约化利用。

在一项新的研究中，粮农组织和经济合作与发展组织（经合组织）估计，全球谷物消费量将在2014年至2024年间增加3.9亿吨。其核心驱动因素在于对动物饲料的需求量增加，占其半数以上的将是粗粮 — 其中玉米占70%。到2024年，发展中国家将增加消费1.7亿吨玉米、稻米和小麦用作粮食⁴⁷。

长期来看，粮农组织估计对这三种谷物的年需求量将在2050年达到近33亿吨。多数增量将用于实现约4.55亿吨的肉类年产量⁴⁸，相比2012年的产量水平提高50%¹。到2020年，用作生物燃料原料的谷物预计将从现有的每年1.3亿吨增至1.82亿吨⁴⁸；一种假设认为这一数字将在2050年达到近4.5亿吨^{49、50}。

对玉米、稻米和小麦的需求未必完全要通过提高产量来满足。每年，三分之一供人类消费的各种粮食，包括30%的谷物被损失或浪费，对粮食可供性造成了巨大的不利影响，令环境成本高企⁵¹。大幅减少粮食损失与浪费，转而接受更健康、可持续、对动物蛋白依赖度更低的膳食将减少谷物增产需要。

然而，未来的需求规模需要谷物种植系统更高产且具有环境可持续性。今后，发展中国家约80%的谷物产量增幅需要依靠集约化实现；在南亚、西亚和北非，集约化将贡献90–100%的增产幅度⁴⁸。农业增长将比过去更多地依赖于通过提高作物单产来提升生产率⁵⁰。

但是，提高作物单产的难度比过去更大。世界上多数农业生态系统的土壤有机碳流失严重，而这是土壤肥力的基础所在⁵²。由于侵蚀、盐碱化、板结和土壤化学污染，三分之一的农田发生中度或高度退化⁵³。如果中国东北地区的土壤侵蚀按现有速度继续发展，9300万公顷土地上的谷物产量将在50年内下降40%⁵⁴。世界灌溉小麦产区遭遇了越发严重的盐碱化和水涝²²。在亚洲和拉丁美洲，玉米产区的扩大由于环境成本高昂和今后土地退化的风险而被视为不具可持续性⁵⁵。

与此同时，农业占世界淡水抽取量的比例——目前约为70%——面临来自其他竞争性部门不断加剧的压力。许多雨养和灌溉作物系统正接近其生产潜能的极限，世界上关键谷物产区的地下水抽取量超过了自然回补速度⁵³。在北美和西亚，水资源短缺程度甚至可能比土地资源短缺更能决定作物生产率⁵⁶。家庭和工业部门对用水的竞争减少了某些亚洲国家的稻米种植面积²³。水资源短缺预计将导致灌溉对象从小麦转至价值更高的作物，促使小麦种植进入生产率更低的雨养地区⁵⁷。

提升产量面临的另一项限制在于玉米、稻米和小麦单产增长速度显著下降，在绿色革命期间则能达到年均2-3%的水平。主要在美国的推动下，目前全球玉米单产的年均增长率为1.5%，而稻米和小麦的单产增速已经降至1%，低于最近一次估计为确保2050年世界粮食安全所需的最低增长率⁵⁰。

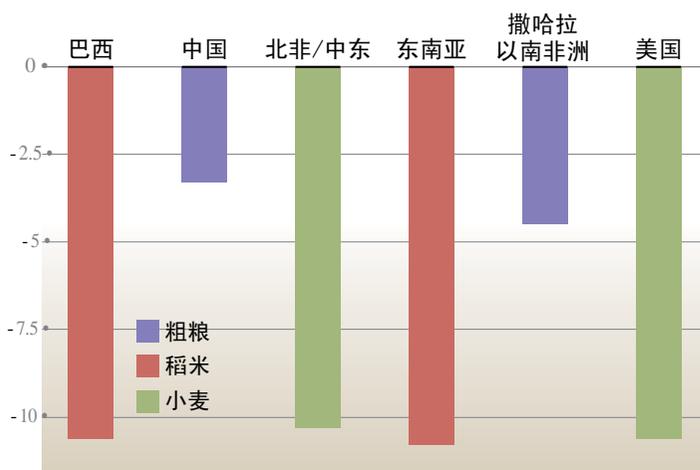
谷物生产率增幅降低的原因在于二十世纪六十年代初期至二十一世纪初期，农产品实际价格大幅下跌，导致对单产提升技术的激励和需求减少⁵⁸。另一项因素是对农业的支持不足。绿色革命主要依靠研究和开发（研发）、投入支持体系以及政府供资的推广服务才得以成功¹⁵。但是发达国家对农业研发的公共支出已经放缓——美国的公共支出在2004年出现负增长——降低了对发展中国家的技术溢出效应^{59、60}。

全球对农业研发的年度公共供资在2000至2008年间增长了22%，达317亿美元⁶¹。中国与印度占增幅的近一半；低收入国家对农业研发的支出在2009年仅占世界总支出的2.1%，低于1960年的水平²⁶。

气候变化的影响

气候变化是人类面临的最严重环境挑战，预计将对玉米、稻米和小麦产生深远影响。在全球层面，预计自1980年以来，气温和降水量上升已导致小麦和玉米单产相比气候稳定时期的应有水平分别降低了5.5%和3.8%⁶²。未来几十年内，预计气温将继续上升、海平面持续上涨、病虫害压力加大、水资源短缺加剧、极端天气事件增加，生物多样性损失也会更加严重⁶³。关于气候变化对农业的影响的一项最新研究显示，如果农民不采取适应行动，那么2050年的全球作物单

图 1.2 2050年因气候变化导致的预计谷物减产, 不考虑气候变化适应(%) *



* 相对于2050年未考虑气候变化的基线水平; 三个大气环流模型的平均结果

资料来源: 改编自第4页图2⁶⁴

产将比排除气候变化因素的估计单产水平低6.9%。发达和发展中地区的谷物单产均可能比应有水平低10% | 图 1.2 | ⁶⁴。

由于玉米主要依靠雨养, 降雨量变化幅度加剧将导致撒哈拉以南非洲和亚洲因干旱和洪涝遭受更多损失^{65、66}。在负面影响最严重的地区, 退化后的土壤不再有能力为作物缓冲干旱和高温胁迫⁵⁵。气候变化预计会提高真菌病的发病率和严重程度并扩大其分布范围, 结果降低玉米单产, 同样也会对食品安全造成威胁⁶⁷。

热带地区稻米生产率预计将下降。目前的高产稻米品种难以耐受可能因气候变化而不断加剧的主要非生物胁迫, 诸如气温升高、干旱和盐碱化等。海平面上升和暴风雨发生频率增加尤其将对沿海地区的稻作系统构成威胁⁶⁸。在过去25年内, 孟加拉、缅甸和越南的河流三角洲贡献了一半的稻米产量增幅, 这些地区的生产能力严重丧失将引发“一场严重的世界粮食安全危机”⁶⁹。

短期高温发生频率增加可能会对小麦单产造成灾难性影响。预计南亚、西亚和北非的小麦种植土地受高温胁迫、水资源短缺, 以及害虫虫灾与土传病原体的影响最为严重。在南亚, 印度河 — 恒河平原目前有着适宜小麦的大环境; 到2050年, 该平原总面积一半以上都将遭受高温胁迫和更为严峻的真菌病。气候变化也会降低小麦的营养含量^{22、70}。

农业本身引起气候发生重大变化, 降低这一影响的压力越发增大, 这也将影响到谷物生产。适应和减缓气候变化将需要谷物种植者限制扩大农田面积、减少使用矿物肥料、通过减少用水量来减少稻田的甲烷排放量³⁷。

为了到2050年实现33亿吨谷物年供应量的目标，玉米、稻米和小麦单产并不需要达到绿色革命期间如此惊人的增幅。问题在于谷物单产停滞和“前所未有的压力叠加”——自然资源退化、耕地面积扩大有限、水资源短缺和气候变化的潜在灾难性影响等压力的叠加——实际将对谷物生产和世界粮食安全造成何种程度的影响。

对最脆弱人群的影响最严重

对未来的情境假设显示，谷物生产的下行压力对最脆弱人群造成的影响最为严重。其中包括发展中世界5亿小规模和家庭农民中的许多农民，其生产的粮食估计占世界总量的80%²⁶，还有每日依赖谷物生存的数十亿低收入者。

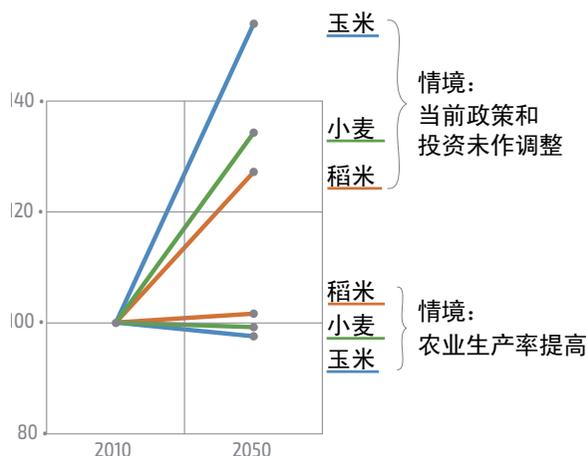
玉米在发达国家主要用作家畜饲料和生产生物燃料，但是在许多发展中国家依然主要用作粮食消费。撒哈拉以南非洲和中美洲地区的小规模农户普遍种植玉米作为粮食供家庭消费并在城市市场上出售。玉米在撒哈拉以南非洲和拉丁美洲的农村和城市穷人膳食中占据重要地位⁵⁵。对玉米需求量增加以及玉米生产率下降可能导致发展中国家的玉米进口量到2050年增长两倍，年进口成本为300亿美元⁷¹。

世界上超过35亿人以稻米为主粮，在许多亚洲国家和一些非洲国家，人均年消费量超过100公斤。在这两个区域，稻米主要由小规模农户种植，几乎所有的稻田面积都在0.5至3公顷之间²³。在非洲，城市消费者对稻米的需求量剧增，却依赖进口而非国内生产予以满足；糙米的进口量在2000年至2012年间几乎增加两倍，至1380万吨。西非地区在稻米国际贸易中占比约为20%⁷²。人口增长将加剧该区域的依赖程度，令非洲消费者面对价格上涨时更为脆弱²³。

受小麦生产率下降和价格上涨影响最严重的是贫困率高企且高度依赖小麦满足粮食安全需要的国家³⁰。在南亚，超过90%的稻米供应用作粮食，而当地约60%的人口每日生活费低于2美元；在中亚，人均小麦消费量为每年160公斤，贫困率则高达40%^{2、73}。非洲国家越发依赖小麦进口，在2013/14年达到创纪录的4100吨⁷⁴。随着气候变化推动

图 1.3 两种情境下2010-2050年世界谷物价格变化预测*

指数 (2010=100)



* 剔除通胀因素后的价格

资料来源：改编自第92页图2和第94页图4²¹

生产进入更受青睐的高海拔地区，小规模小麦种植者面临的生计风险随之加剧²²。

2008年谷物价格上涨对世界最贫困人群造成的冲击令人更清楚地认识到全球粮食系统的脆弱性²³。比如，小麦价格高企导致中东和北非地区出现城市骚乱³⁰。目前谷物价格的下行趋势预期只是短期的，将稳定在高于2008年前出现的相对低位⁴⁷。

国际粮食政策研究所（IFPRI）的一项研究发现，在“一切照常”的情况下，如果现有农业政策与投资不发生改变，那么谷物实际价格可能在2010至2050年期间大幅上涨，令许多区域减少面临饥饿风险人数的进度放缓。

但是该研究提出了另一种更为乐观的情况：如果有充足的投资用于可持续提高现有农田的单产水平，带来的生产率提升效果将使得2050年的谷物价格经通胀调整后十分接近2010年的价格水平|图 1.3|。玉米价格降低将减少奶类和肉类的生产成本，而稻米的成本降低则将缓解粮食净进口方面面临的负担。总体而言，生产率提升将改善所有区域的粮食安全水平，令全球面临饥饿风险的人口数量降低约40%²¹。

节约与增长：高产低耗

可持续地提高现有农田单产水平构成了粮农组织“节约与增长”作物生产集约化的要素。“节约与增长”旨在克服当今相互交织的各项挑战：提高作物生产率和确保人人享有粮食及营养安全，同时降低农业对自然资源的需求、对环境的负面影响以及对气候变化的重要促进作用¹⁵。大量实证显示，养护自然资源的农作方法也能提高作物生产率，增加生态系统服务流量⁷⁵⁻⁷⁷。

“节约与增长”方法认识到粮食安全既取决于对可持续性的保障也依赖于作物生产率的提升⁷⁸。这种方法努力推动农业做法和技术保护环境、提高自然资源利用效率、减缓气候变化趋势、促进农村生计并惠及人类健康，从而实现上述两项目标^{31、79}。

基于生态系统的作物生产本质上具有气候智慧型特征。这帮助小农提高生产系统对干旱、气温升高以及病虫害高发等环境胁迫的抵御力，从而适应气候变化³⁷。通过在农业生态系统中维持和利用各生物界、物种和基因库的多样性，这一方法既提高生产率又增强抵御力²⁷。

“节约与增长”在减缓气候变化方面也具有较大的潜力：通过利用自然生物过程，减少对矿物肥料的使用，降低一氧化二氮的“源头”排放。通过提高用水效率，可有助于降低灌溉稻田的甲烷排放³⁷。恢复土壤健康的管理方式能够实现每年每公顷土壤中1.8吨的碳捕获量⁸⁰。碳捕获有可能每年抵消高达13亿吨的化石燃料排放量，相当于全球15%的化石燃料排放量⁸¹。

需要得到更多关注的不仅在于生产和消费的食物数量，也在于食物的质量。“节约与增长”推动小农生产多样化，以肉类、奶制品、家禽和鱼类等具有较高营养含量和生物利用度的食物——应对多种营养素不足的问题，同时也种植豆类、水果和叶菜。多样化增加了更多富含营养食物的供应，直接促进了家庭的粮食和营养安全³¹。

最后，小农农业生产率提高对于农村地区实现公平、广泛的社会经济发展十分关键。这会增加生产者收入和劳动力需求，实现家庭收入来源多样化，改善对食物的获取，增强农村产业。经验性实证显

示，在许多资源匮乏和低收入国家，农业增长对减少饥饿和贫困的效果将五倍于其他部门增长所产生的影响⁸²。

人类与谷物的纽带复兴时机已经来临。粮农组织相信“节约与增长”就是下一步行动方向，即可持续增加玉米、稻米和小麦产量的前进之路，事实上也是唯一可行的方案。本书第二章阐述了“节约与增长”农作系统的构成、方法和技术，回顾了发展中国家小农谷物种植者在采用这类系统方面取得的进展。第三章介绍了发展中国家“节约与增长”综合农作系统的实践范例。第四章作为结尾概述了在国家和区域计划中推广相关经验教训所需的政策和体制框架，以及技术、教育和能力建设方面的创新。



第二章

实现可持续谷物生产

全世界的农作系统需要重新调整
以实现可持续集约化。谷物种植者
通过采用关键的“节约与增长”
要素及做法，已经开始了这一转变进程。

“**节**约与增长”农作系统提高作物生产率，实现粮食生产多样化，同时恢复并提升自然资本和生态系统服务。在此过程中，这些农作系统提高包括水、养分、能源和劳动力在内的农场投入利用效率，加强对非生物、生物和经济胁迫以及气候变化的抵御力。

“节约与增长”型可持续集约化在生产率、社会经济和环境等各方面惠及小农及整个社会，包括：稳定的高水平产量与利润率；农民收入增加、农村生计改善；健康膳食所需多样化食物的供应和消费增加；适应气候变化与其他冲击，降低脆弱性；促进生态系统功能与服务；减少农业温室气体排放与碳足迹¹。

此外，“节约与增长”将促进全球向可持续粮食和农业的转型，以确保世界粮食安全，提供经济和社会机遇，保护和促进农业所依赖的生态系统服务²。

“节约与增长”农作系统的基础在于五项具有互补性的构成要素及其相关做法¹：

- **保护性农业（CA）** 将对土壤的干扰降至最低，利用地面物覆盖和作物轮作，实现作物、林木和动物的一体化生产；
- **健康的土壤**，进行土壤营养综合管理，促进作物生长、增强抗逆性、推动提高投入品利用效率；
- **改良作物和品种**适应小农种植系统，具有高产潜力、抗生物和非生物胁迫，且营养质量更高；
- **高效的水资源管理**实现“滴水增收”，改善劳动力和能源利用效率，帮助减少农业水污染；
- **有害生物综合防治（IPM）**，以良好农业规范为基础，利用抗性更强的品种和天敌，必要时谨慎使用相对更为安全的杀虫剂。

为编写本出版物，粮农组织对发展中世界玉米、稻米和小麦的小农种植者采用可持续、资源节约型做法的进展情况开展了广泛评估。评估确认了最近得出的一些结论，即在过去二十年内，发展中国家小农采取了一些最为重要的措施以实现向可持续集约化的转型³。

本章记述了“节约与增长”农作系统的各项要素及其相关做法，并提供了谷物小农种植者成功予以运用的实例。但是，单独的要素和做法只应被视作实现这三种作物可持续生产的基本成分。尽管各项要素均对可持续性起到了促进作用，但是如下文所述，只有在五项要素全部纳入“节约与增长”农作系统时才能实现最大惠益（见第三章）。

保护性农业

“**节**约与增长”整合了保护性农业（CA）的三项核心做法，目前，保护性农业已在全世界约1.55亿公顷的土地上得以采用⁴。

第一，农民避免或限制对土壤造成机械干扰。使用犁、耙和锄对土地过度整理后，会掩埋土壤保护层，杀死土壤生物群，引发有机质快速分解，导致土壤肥力下降和土壤结构退化。第二，保护作物或覆盖物长期保留于土壤表面以减少侵蚀、增加水分渗透、实现土壤保墒、抑制杂草并促进土壤生物群增殖，促进土壤健康和作物收成。第三，农民通过轮作或同时种植更为广泛的植物种类和品种，并酌情将林业、畜牧和水产养殖纳入其生产系统，以保持作物养分供应，减少病虫害，促进系统整体稳定性¹。

通过改善土壤健康，降低有害生物和病原压力，减少侵蚀，增加水和养分供应，增加土壤碳封存，保护性农业提高了作物应对气温上升、干旱和洪涝的抵御力，促进了生态系统服务，并有助于减缓气候变化。同时，还通过节约机械、劳动力、化石燃料、灌溉、矿物肥料和杀虫剂的使用而降低了生产成本。但是，保护性农业并不采取“一刀切”式的做法，其关键做法的实施取决于不同的作物和当地条件⁵⁻⁹。

过去二十年内，在种植小麦和玉米的大片地区，土壤耕作程度已大幅降低，在某些情况下已完全不再进行耕作。在印度河—恒河平原，采用免耕或少耕方法的麦农已实现了更高的谷物单产，并促进了土壤和水资源养护。免耕被视作这一平原上成功的资源养护技术^{10、11}（见第三章，第58页）。除了令单产平均提高7%之外，它也让农民节

省了多达30天的劳动量，以及每公顷52美元的土地整理成本，并将农民的平均净收入增加了每公顷97美元|图 2.1|¹²。

在摩洛哥，采用深耕和土壤翻耕的集约农业导致土壤快速退化和肥力损失。如今，条件各异的农田都采用了保护性农业系统开展小麦种植，从而改善了单产和要素投入的生产率。免耕法也用于其他冬季作物，豆类和油料作物轮作，以及灌溉种植的大田作物¹³。

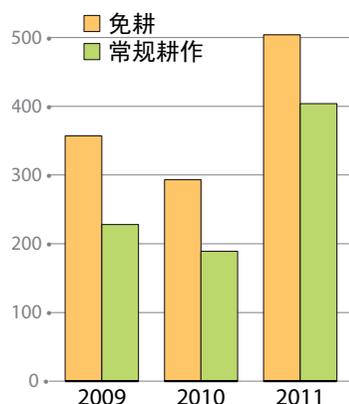
玉米种植采用免耕或少耕法所取得的成功体现在拉丁美洲广泛采用了直接播种和基于覆盖的耕作系统。几十年来，采用这一系统的种植面积持续增加，占巴西、巴拉圭和阿根廷种植总面积的50%以上^{4, 14}。在撒哈拉以南非洲地区，采用保护性农业做法的玉米种植系统在季节性早期保留了更多土壤水分，且生产率高于使用犁、耙、锄的常规耕作系统¹⁵。

多数亚洲热带地区的水稻种植将继续在雨季进行，这一阶段的土壤水分过于饱和，难以种植其他主粮作物。然而，亚洲地区水田插秧的传统做法会耗费大量人力、水和能源。在稻麦两熟系统中，这种做法还会延缓小麦种植、破坏土壤结构。随着劳动力和水资源供应减少，许多灌溉稻系统的农民转而采用稻米早播和免耕做法，不再进行淹水整地。大量研究显示，相比淹水土地的生产方式，早播所用的灌溉水将减少33%，每公顷生产成本最多能降低125美元¹⁶。

亚洲地区对稻米早播法的采用情况依然差异明显，但是在印度东北部某一地区，超过50%的农民都采用了这一做法¹⁷。印度推广保护性稻作农业的工作正在采用区域内开发的新型技术，用于平整土地、控制杂草和开展条播，条播实现了肥料和稻种深度的优化¹⁶。

在“节约与增长”农作系统内谷物不再被视为单作作物，而是作物轮作以及混合农业的组成部分。传统上，处于高度胁迫环境下的小农会进行作物和牧草树种轮作，整合作物和家畜生产，以降低作物歉收风险。扩大多样性规模能限制具有遗传均一性的单作作物因特定生物或非生物胁迫所遭受的损失，提高了农作系统的抵御力¹⁸。

图 2.1 免耕和常规耕作系统下小麦种植净回报，印度哈里亚纳邦(美元/公顷)



资料来源：改编自第13页表5¹²

多样化生产还有其他好处：增加植物残茬供应用作地表覆盖物，通过动物粪便实现农场养分和有机质循环。如果产生的其他产品也能在市场上出售，则还能让谷物种植者实现收入来源多样化。

小麦在所有产区都与其他作物进行轮作。估计在印度和巴基斯坦分别有140万公顷和260万公顷的土地采用灌溉小麦—棉花轮作系统¹⁹。类似的系统在埃及、塔吉克斯坦、土耳其和乌兹别克斯坦都很重要。传统上，南亚的棉花收获时间较迟将其小麦种植时间推迟至12月，这导致小麦作物受到高温胁迫，因为麦粒成熟期为4月下旬和5月。为克服这一瓶颈问题，在玉米植株间隙采用免耕方法套种小麦，将小麦播种时间提前了多达44天，并将单产提高了40%^{20、21}。

中国华北平原的小麦—玉米轮作系统生产了该国超过50%的小麦

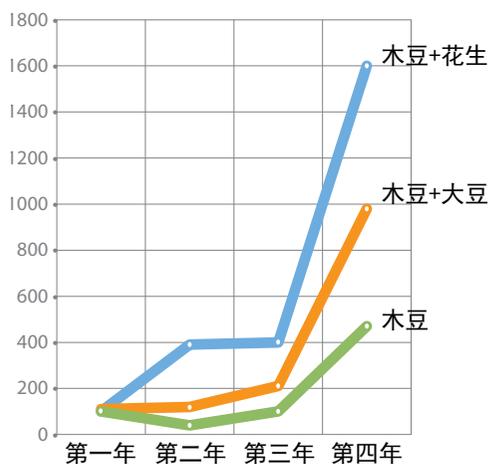
以及约33%的玉米²²。在印度，生产率最高且利润水平最高的玉米—小麦系统采用免耕固定垄，在作物残茬下方进行条播²³。小麦与包括鹰嘴豆、小扁豆和蚕豆等食用豆类轮作是西亚和北非的典型做法，在土壤含氮量较低的地区尤其如此。豆科植物实现了种植多样化，通过生物固氮改善土壤肥力，提高用水效率，且能干扰杂草、有害生物及病原的生命周期。

近年来，南部非洲的许多小农都恢复了同时种植玉米和落花生、大豆和木豆等豆科植物的传统 | 图 2.2 |²⁴⁻²⁶。豆科植物作为粮食和收入来源的价值往往高于对它们土壤肥力的贡献—很少有人会种植只能用作绿肥的一年生豆科植物。

玉米与其他作物的轮作，以及在农林和家畜生产系统中对此类轮作的使用都已十分成熟，对于提高资源利用效率尤其有利²⁷。在非洲稀树草原地区，

农民通常在合欢树 (*Faidherbia albida*) 树冠下种植玉米，合欢树富含氮素的树叶可用作地表覆盖物，是天然的肥料和家畜饲料 (见第三章，第71页)。发展“保护性农业与林木相结合”的模式有助于在撒哈拉以南非洲的作物—畜牧系统中推广保护性农业²⁸。

图 2.2 试验后在玉米种植中引入豆科作物的农民数量，马拉维埃昆代尼



资料来源：改编自第446页图2²⁴

在巴西，引入玉米和大豆免耕种植推动了保护性农业得到广泛采用。在该国热带稀树草原地区，植树后的两三年内会在林木间种植玉米。随后，在该地区开展牧草和玉米间作。一旦草原长成，即用作放牧，直至林木长至可供采伐^{29、30}（见第三章，第55页）。这一多样化方法能减缓气候与市场变化对农场收入造成的冲击。这也减少了为农业而伐木清林的做法，保护了生物多样性，抑制土壤侵蚀并改善了土壤结构和肥力³¹⁻³²。

以稻米为基础的系统正越发多样化。在过去二十年间，稻米—玉米轮作在孟加拉得到了快速推广³³。马铃薯免耕生产在越南水稻种植区不断拓展。该地区采用垄沟为水稻排水，而马铃薯种薯则种于垄上。种薯周围土壤施肥后，垄床用稻米收获后留下的秸秆进行覆盖³⁴。西非内陆谷地的农民也通过蔬菜种植实现了稻作系统的多样化³⁵。

在亚洲，稻米种植与鱼类和畜牧养殖相结合。在稻田四周的沟渠中进行水产养殖增加了对植株的养分供应，提高了稻米生产率，并为农户家庭提供了另一种富含营养的食物来源³⁶。孟加拉的农民在稻米的两个主要种植季的间隔种植玉米和象草，作为生产粮食、创造现金收入、种植家畜饲草的高效方式，在土地稀缺的地区尤其如此。在一个地区，稻米—牧草系统为农民创造了平均每公顷土地2630美元的纯收入，相比之下，他们仅种植稻米时的收入只有1815美元³⁷。

土壤健康

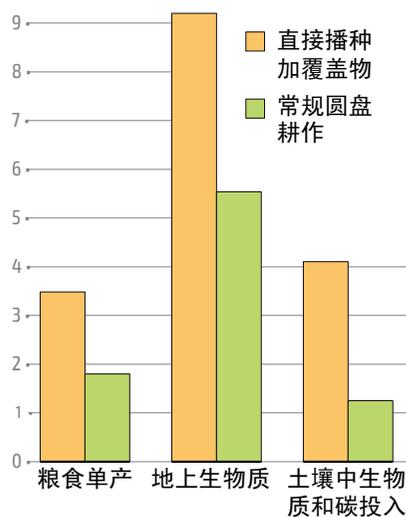
“土壤健康”的定义为土壤作为活性系统维持植物和动物生产率、维持或提高水和空气质量、促进植物和动物卫生的能力³⁸。在“节约与增长”模式中，土壤健康对于植物高效利用自然和外部生产投入品发挥着关键作用，促进作物对因气候变化而加剧的生物和非生物胁迫的抵御力。

就健康的农业土壤而言，土壤生物群的管理方式必须使得土壤能支持良好的根系发育和植物生长，并提供土壤在自然状态下所能提供的大部分生态系统服务。过度精耕细作的耕种方式打破了土壤团聚

体、减少了有机质含量和多孔性、干扰了土壤在水分和养分渗透、保留和释放方面的功能，从而破坏了土壤结构⁶。

多种良好农业规范均能促进土壤健康、改善土壤肥力、提高作物生产率和长期可持续性。这些规范包括审慎使用矿物和有机肥，应用保护性农业做法，包括采用免耕法并利用作物残茬覆盖物以及各类保护作物等。

图 2.3 耕作和残茬管理对玉米单产、生物质和土壤碳储存的影响，墨西哥拉蒂纳哈（吨/公顷）



资料来源：改编自第429页表4-6⁴⁴

所有这些方法都亟需在关键的稻米、小麦和玉米产区运用，以弥补常量和微量养分不足、提高土壤有机碳水平（SOC）^{39、40}。碳库的建立从所需时间和有机改良剂等投入品的角度而言成本高昂。因此，关键在于保护合理的土壤有机碳水平阈值，并通过采纳“节约与增长”在土壤健康方面的各项建议予以实现。

对摩洛哥小麦种植区的研究发现，相比经过耕作土地，免耕法以及在土壤表面保留作物残茬的做法提高了土壤有机碳含量，增加了水稳性土壤团聚体^{13、41、42}。研究发现，在印度河—恒河平原的稻米—小麦和玉米—小麦集约化系统中，土壤的物理和化学性质大幅改善正是得益于保护性农业⁴³。

在墨西哥西部基于玉米的生产系统中，直接播种的玉米种植方式利用作物残茬作为表面覆盖物，主要通过减少水分流失和土壤侵蚀，为土壤健康带来了大量益处。五年内，土壤含碳水平提高了近30%，玉米单产几乎翻倍|图 2.3|⁴⁴。

过去，人们曾长期种植豆科植物或与谷物作物配套种植豆类以改善土壤健康和生产率。豆科植物通过生物固氮每年向每公顷土壤增加高达300公斤的氮素，因此在种过豆类的土地上种植小麦能取得更高的单产（见第三章，第52页）。在墨西哥，豆科植物与玉米轮作提高了有机质和氮素含量，推动玉米单产提升25%（见第三章，第64页）。

在印度尼西亚龙目岛，稻田埂上种植大花田菁树（*Sesbania grandiflora*），因其在所有木本豆科植物中最具营养价值。树木落叶富含氮素，促进改善土壤含氮水平以及作物生产率。这一做法在亚洲其他地区正得到广泛采用⁴⁵。在乌干达，土壤缺乏氮素是农作系统最

重要的限制因素，种植黎豆后再种稻，使得稻谷单产从每公顷1.5吨提升至2.3吨，与矿物肥料实现的增产水平相当⁴⁶。

有机与合成肥料均对维持健康高产的土壤发挥了重要作用。对印度稻—麦系统一项为期八年的研究显示，每公顷土地混合使用5—6吨农家肥（动物粪便和作物残茬的混合物）和绿肥，配以90公斤矿物氮肥，能在维持小麦生产率的前提下将矿物肥料使用量减半⁴⁷。

在撒哈拉以南非洲地区，矿物肥料对于小农来说往往过于昂贵，因此许多小农都采用了“土壤肥力综合管理”，通过改善残余物回收利用和作物残茬堆肥获取的有机投入物对合成养分形成补充；利用动物粪便；通过间作、轮作和复合农林业纳入食用豆科植物、树木和灌木^{48、49}。

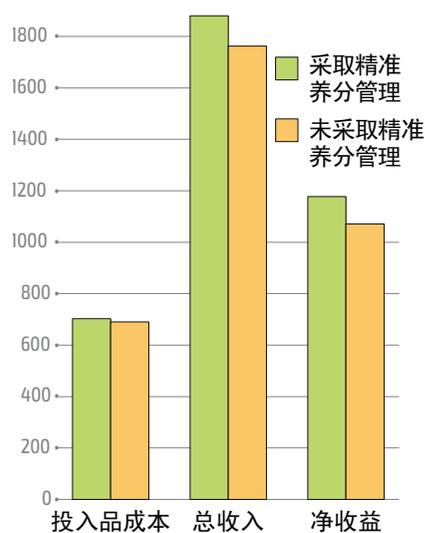
在结合作物和家畜生产的农作系统下，通常利用本地资源饲喂家畜，如草料、作物残茬、饲料树木和灌木等。家畜的粪尿能实现养分和有机质循环利用，有助于维持土壤肥力和结构。混合农业提高农场生产率，通过加强养分和能源循环为农民节约费用。

然而，有机肥可用量可能无法总是满足要求，且肥料中养分含量的显著差异令农民难以计算施肥量。在津巴布韦，大片地区的土壤都面临氮、磷不足的问题。一项对450个玉米农场的研究认为，只有在施用矿物肥料的情况下，保护性农业对单产的促进作用才会充分发挥⁵⁰。改善对矿物肥料的管理包括在正确的时间施用合适的肥量，迫切需要改良农艺做法提高肥料利用效率，或是单位施肥量带来的谷物产出。

在马拉维，玉米农户在获取关于杂草治理、作物轮作、间作和施肥时间的推广咨询后，通常能在相同的施肥量基础上获得全国平均水平两倍以上谷物单产⁵¹。

稻米种植中的肥料利用效率也因精准养分管理（SSNM）而大幅提升，这一战略优化了对土壤已有养分的利用，并通过矿物肥料弥补了养分短板⁵²。在田间试验中，越南每公顷稻米单产提高0.2吨，菲律宾为0.3吨，印度为0.8吨。在菲律宾，稻农采用精准养分管理后，每公顷净收益比未使用这一做法的农民高10% | 图 2.4 | ⁵³。

图 2.4 综合稻米生产中精准养分管理经济要素，菲律宾中吕宋（美元/公顷/年）



资料来源：改编自第19页表9和第21页表10⁵³

在印度南部，精准养分管理令麦农减少了施肥量，而谷物单产水平则比采用推荐施肥量的农民提高23%⁵⁴。精准养分管理也能惠及玉米种植。在印度尼西亚、菲律宾和越南，农民实现的每公顷增产水平在0.9–1.3吨之间⁵³。

钙、镁、硫、铁和锌等微量养分对于改善土壤健康、提高作物生产率和谷物营养含量发挥了重要作用。有证据显示，使用含微量养分的肥料能大幅提高作物营养质量以及单产、生物质产量以及对病虫害和干旱的抗性⁵⁵。

最近的技术创新支持改善玉米、稻米和小麦种植系统的养分管理。作为精准养分管理方法的一部分，国际水稻研究所及其伙伴协助在孟加拉引入了低成本的塑料“叶色图表”，令稻农确定何时施用尿素以实现最佳效益。农民在种植季不再大量多次撒施尿素，而是将稻米植株叶子的颜色与色板进行对比，以对应确认具体的氮素缺乏水平。这一图表有助于减少约20%的氮素使用量，同时单产的提升水平高达31%。产生的效益总额估计为2280万美元^{52、56}。

在孟加拉，通过采用块状尿素肥在7至10厘米的深度进行更精确的“深施”，实现了进一步增效。到2012年，超过40万稻农都采用了这种做法，令每公顷平均单产增加了250公斤，减少了7000吨的肥料用量，并为政府节约了160万美元的肥料补贴⁵⁷。

通过采用手持光学传感器和作物算法来实时测量小麦作物的活力，并配合氮素施用以满足需求，从而大幅提高了肥料使用效率。在墨西哥，基于传感器的氮素管理有助于在种植和生长初期实现合理用肥，并在之后的成长阶段指导施肥⁵⁸。在印度河—恒河平原，相同的系统与保护性农业结合，在节省施肥量的同时带来了更高的小麦单产，并降低了农场之外的环境影响⁵⁹。

改良作物和品种

采用改良品种是提高玉米、稻米和小麦生产率的另一项重要手段。“节约与增长”农作系统需要生产率更高、能够更高效地利用养分和水分、对病虫害抗性更强、更耐旱、涝和高温的品种。所需品种应适应条件较差的地区和生产系统，能够产出营养价值更高的粮食，并协助改善生态系统服务供应。

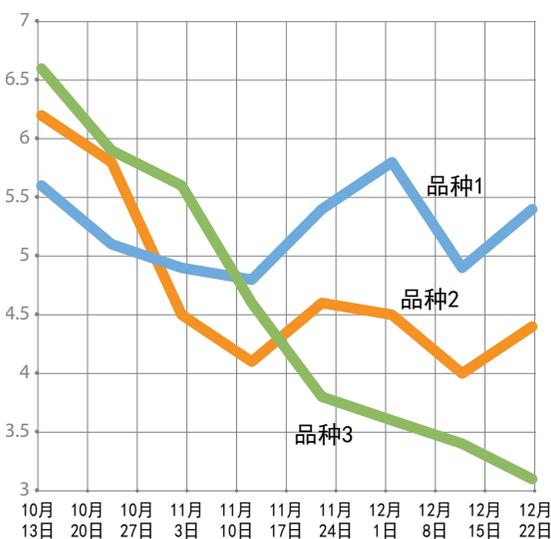
这些新的作物和品种将用于多种农业生态中，其中诸如家畜、授粉昆虫、有害生物捕食者、土壤生物和固氮树木等相关生物多样性均有重要作用。适合“节约与增长”的品种需要适应不断变化的生产办法以及有害生物综合防治¹。

由于气候变化，耐高温和耐旱将成为一项重要的谷物性状，在热带地区尤其如此⁶⁰。由国际玉米小麦改良中心牵头开展的非洲耐旱玉米项目已开发了若干品种，包括杂交种，在特定干旱条件下的单产水平比商用品种高25%。其中有一些还是耐高温品种，单产水平比商用品种高27%⁶¹。基于国际玉米小麦改良中心以及国际干旱地区农业研究中心（ICARDA）的种质所开发的耐高温品种已在多个国家投放。国际玉米小麦改良中心赞助下的小麦改良网络正在探索开发高产小麦品种，以适应哈萨克斯坦越发炎热的夏季（见第三章，第75页）。

生长季较短的高产栽培种对生长季后期的高温胁迫暴露程度更低，对于本文所述三种谷物的轮作十分有利。在南亚，季风季节种植早熟稻使得后续的小麦、玉米及其他旱季作物的种植时间提前。育种人员还确认了适合提前种植的小麦栽培种|图 2.5|⁶²。

在孟加拉，作为旱季作物种植高产杂交玉米被证明是适应气温上升和水资源短缺加剧的有效战略（见第三章，第79页）。

图 2.5 不同日期的种植良种小麦单产，印度比哈尔邦和中央邦（吨/公顷）



资料来源：改编自第23页图16⁶²

气候变化的另一项预期影响在于洪涝发生次数增加，这尤其会威胁亚洲的稻米种植⁶³。最近由国际水稻研究所开发的“Sub-1”品种，耐淹时间可长达18天，农民在政府的大力支持下以前所未有的速度加以采用⁵²。印度河—恒河平原上已开发出耐多种胁迫的玉米，在干旱和水涝条件下表现良好⁶¹。

对生物胁迫具有抗性或耐受性的品种能以最具经济性和环境友好的方式控制病虫害问题暴发。为了抗击高度烈性小麦茎锈病Ug99的威胁，国际玉米小麦改良中心、国际干旱地区农业研究中心以及各国家农业研究系统确定了抗性材料，已用于高产品种并在多国投放⁶⁴。国际原子能机构（IAEA）和粮农组织与多国合作开发了对同类锈病具有抗性的小麦变异品种⁶⁵。

非洲稻米中心开发并协助推广了“非洲新稻”（NERICA）品种，结合了亚洲稻的高产等形状以及非洲品种对寄生杂草独脚金的抗性，独脚金是严重威胁该区域稻米和玉米的有害生物^{66、67}。为了获取对稻瘟菌的抗性，国际水稻研究所使得同一种稻米结合了不同的特定品种基因。不同稻米品种间作也能实现稻瘟的有效防治。在中国，糯米与抗稻瘟杂交种混种，可阻止真菌种菌扩散，从而大幅减少了农药的用量⁶⁸。

另一项具有较大潜力的育种领域在于生物强化，即通过遗传改良提高粮食作物营养含量。国际农业研究磋商组织（CGIAR）的作物营养强化项目促进了对玉米、稻米和小麦等七种作物的生物强化。孟加拉已投放了世界上第一种锌强化稻米，非洲超过50万农户都采用了富含维生素A的玉米品种⁶⁹。“优质蛋白玉米”的营养价值大幅改善，可用蛋白含量接近常规玉米的两倍^{70、71}。

为了开发品种以适应“节约与增长”农作系统，作物育种人员需要在尽可能大的范围内获取所需性状，来源包括基因库收集的谷物品种、农民田间的地方品种以及野生作物近缘种。需要加强谷物遗传资源特征鉴定工作，以确定适合基于生态系统农业的性状，并将其用于作物育种⁷²。比如，小麦地方品种可提供耐旱和耐高温的重要性状，

比如更高的生物质水平，可大幅改善谷物对世界气候变化的适应能力⁷³。

育种工作另一个新的主攻方向是改善以谷物为基础的间作系统构成。最近开展的研究加深了对作物基因型与物种间相互关系的认识，包括对病虫害预防机制的认识。通过育种结合不同植物性状以改善整体表现，而间作则可加强世界多个地区在低投入水平下的粮食生产长期可持续性^{74、75}。

对于谷物残茬营养质量遗传改良的关注也在提升。在玉米收获后，中美洲和撒哈拉以南非洲的小农通常将大部分植株的茎和叶用作家畜饲料。在墨西哥开展的研究显示，种质库中含有大量尚未利用的潜力，可改善玉米秸秆的饲用价值，并让农民在田间保留更多的残茬以用作土壤覆盖物⁷⁶。

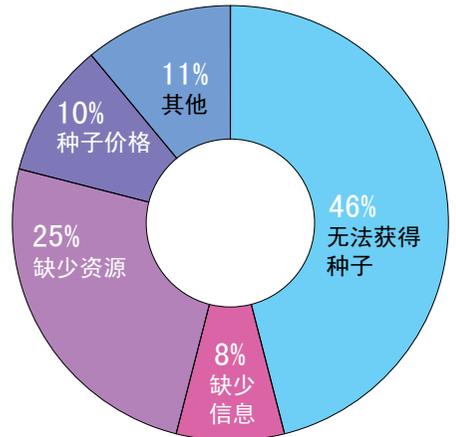
结合保护性农业与改良栽培种等各类提高用水和养分利用效率的做法，将能促进多数种植系统的整体生产率和利润率。肥料利用效率更高的品种可有助于减少田间肥料养分损失。目前的氮肥和磷肥损失率估计分别高达50%和45%^{77、78}。

培育更高产、高效和富营养的谷物需要有正规的种子体系予以配套，确保快速繁育并向小农供应改良种子，支持农民保护和促进当地农业生物多样性的自发举措。正规和基于社区的种子体系对于推广适合“节约与增长”生产方式的谷物品种都很关键¹。

在许多国家，缺乏高效的种子体系导致农民无法采用新品种[图 2.6]。种子生产对于玉米等交叉授粉作物的杂交种尤其关键。目前，通过公共私营伙伴关系改善种子供应的趋势越发明显。中国的私营部门生产和销售公共部门开发的杂交稻种子⁷⁹，而印度和其他国家的私营部门也已开始生产和销售小麦种子。

巴西农业研究公司（EMBRAPA）带头与私营部门建立伙伴关系以销售杂交玉米种，并在此过程中产生促进进一步研发的资源⁸⁰。2014年，

图 2.6 小农采用抗旱小麦的主要障碍，埃塞俄比亚*



* 农场家庭调查结果

资料来源：改编自Fisher, M., Abate, T., Lunduka, R., Asnake, W., Alemayehu, Y. & Madulu, R. 2015. Drought tolerant maize for farmer adaptation to drought in sub-Saharan Africa: Determinants of adoption in eastern and southern Africa. *Climate change*. DOI 10.1007/s10584-015-1459-2. Figure 2.

“非洲耐旱玉米”项目与近110个私营和公共种业公司、非政府组织和农民组织建立伙伴关系，推动生产和交付了约4万吨改良玉米种子⁸¹。

小麦作为自花传粉作物，收获留种的做法依然普遍存在，品种替代率较低，在雨养和偏远地区尤其如此。为了改善对改良品种的获取，国际干旱地区农业研究中心帮助各国伙伴加快了抗锈病品种的测试与投放进度。与国家计划和农民团体合作加快种子繁育和大规模生产，协助向谷物种植者交付了8万吨保质种子⁸²。

社区种子库和网络对正规种子体系形成补充，保存并改良多种来源的种子，包括经农民互换和本地市场得到的种子。以社区为基础的培育繁殖在单产上具有竞争力，且能良好适应当地条件的谷物品种令小农能比常规途径获取更广泛的种植材料，促进粮食安全和农业生物多样性保护。农民自有品种还能正规作物改良计划提供基础材料，一些社区种子库与育种机构开展了合作⁸³。

在品种开发较为缓慢的西非地区，有一家女性农民组织专门生产在塞内加尔河谷中种植的香米品种原种和保质种子⁸²。基于社区的种子生产者加快了在尼泊尔⁸⁴和东帝汶的玉米种子生产和交付进度⁸⁵。

水资源高效管理

对水资源的竞争在许多国家的谷物产区都已变得十分激烈。作物生产中的低效用水导致含水层枯竭、降低了河流流量，许多流域不再有足够的水量来满足农业、工业和城市中心的需求。此外，过度使用矿物肥料和杀虫剂污染了河流、湖泊和沿海地区，损害了陆生和水生生态系统及人类健康⁸⁶。

随着对淡水需求的竞争不断加剧，谷物种植者将需要大幅提高自身农作系统的水生产率，降低谷物生产对地表和地下水质量的不良影响。

没有一种单一办法能克服粮食、饲料、饲草和纤维产量增加与水资源可用量和质量下降带来的挑战。所需要的是综合利用灌溉节水技

术，平衡利用地表和地下水资源，运用良好农艺和土壤管理办法等，如免耕法、作物残茬留田、垄作以及作物多样化⁸⁷。

国际半干旱热带作物研究所（ICRISAT）在雨养地区推广一系列用水管理办法，包括集水和储存、恢复植被和其他土壤覆盖战略，以及土地和土壤养分管理。在印度，雨水采集设施在季风季进行集水，可以减少40%的径流量和50%的土壤流失，并将耕作密度提高180%^{88、89}。在洪都拉斯，覆盖及其他土壤养护技术在轮耕系统中使得玉米单产翻番，提高了下游水资源用户的可用水量和质量。（第三章，第48页）。

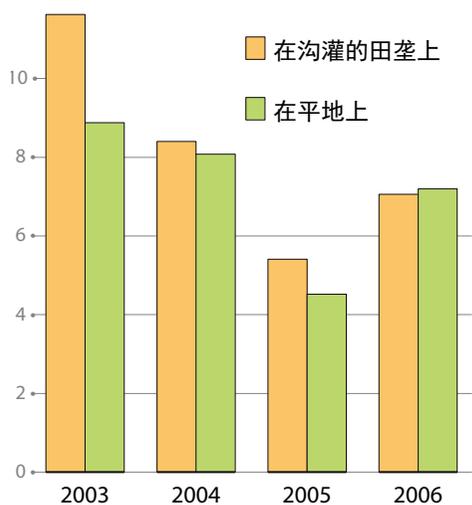
垄作系统提高了雨养地区玉米的水生产率。“宽垄沟”系统是得到国际半干旱热带作物研究所推广的原生境土壤和水分涵养及排水系统，适用于在雨季频繁遭受水涝的黏土。利用精确播种机可在斜垄上播种多达四排作物，实现土壤剖面水分涵养并将多余径流导入小水池备用⁹⁰。

有多项战略能改善雨养地区的用水效率。包括运用保护性农业做法，降低土壤蒸发损失、提高土壤保水能力。尽管这种能力的提升并不容易，但是可通过良好土壤和作物管理实现小幅度却具有长期性的改良。早期生长力强的小麦品种能够吸收更深层的土壤水分，耐受一定程度的土壤水分胁迫，收获期成谷率更高，通常也具有更高的用水效率^{64、91}。更高效的稻米和玉米品种以及杂交种已能广泛获取。充足的作物养分水平，尤其是充足的钾含量，也将提高用水效率⁹²。

在降水不足地区，一项可行的方法在于收集和储存径流，并在作物关键生长期限量使用。在阿拉伯叙利亚共和国，这种“补充灌溉”方式在春季会使用1到3次，灌溉量在100至300毫米之间，将每公顷小麦单产水平提高了2至6吨，并将水生产率提高了4倍：用少量的水实现了很高的回报水平⁶⁴。

这一战略推动小麦种植期提前，避免在生长季后期遭遇干旱和霜冻。在土耳其和伊朗伊斯兰共和国的研究显示，利用50至70毫米的补充灌溉量提前播种小麦，可让每公顷土地单产提高2吨以上⁹³。

图 2.7 与玉米间作的灌溉鹰嘴豆用水效率，印度中央邦（千克/公顷/毫米）



资料来源：改编自第469页表7⁹⁸

灌溉用水效率通常为50%或更低。在提高用水效率方面最具潜力的办法在于根据具体作物或品种的需要优化用水量，并结合良好管理做法⁹⁴。

最近，一项研究估计印度河—恒河平原上每立方米灌溉用水平均产出0.7公斤稻谷。然而，在印度旁遮普省，利用合适的灌溉和排水基础设施，令每立方米的水生产率平均达到了1.5公斤稻谷⁹⁵。

垄作和沟灌，向两行相邻作物的土壤同时供水，能大幅提升土壤孔隙度、含碳量和渗透率，从而提高小麦和其他作物的用水效率⁶⁴。如采用免耕法，则将进一步提升垄作的效益。在埃及，国际干旱地区农业研究中心与国家机构一同推广垄作，作为尼罗河三角洲综合生产系统的组成部分。在引入条播机和改良作物管理后，小麦单产整体水平提升了25%，用水效率提高了50%以上⁹⁶。

巴基斯坦的农民报告称，相比灌溉平地，采用免耕法的垄作和沟灌能将玉米单产水平提升30–50%⁹⁷。在印度，这一系统通过玉米和鹰嘴豆、木豆和大豆间作，提高了单位土地生产率 | 图 2.7 |⁹⁸。

为了提高灌溉稻米种植的用水效率，农民采用了多种“节约与增长”技术。在南亚估计400万公顷的灌溉土地上，农民采用了激光辅助的精确土地平整技术，相比传统的木板平整法更节水，且能将生产率提升16%^{12、43}。

其他用于灌溉稻的节水技术包括改善雨水利用、降低对渠水供应依赖度的外围筑埂法、早播与免耕法、干湿交替法、间歇灌溉法以及秧苗提前移栽法^{16、99}。

在西非地区，多数稻米种植在斜坡与谷底，缺乏充足灌溉和排水，非洲稻米中心正在推广低成本的“智慧谷地”发展举措，利用田埂等简单的土筑结构，配以基础灌溉和排水基础设施。除了提高

对干旱的抵御力，筑埂和土地平整还降低了所施肥料被大雨冲走的风险^{100、101}。

每公顷土地平均单产在3.5-4吨之间，提高了农民收入。

“智慧谷地”方法，在贝宁和多哥两国农民的全面参与下得以开发和验证，现已纳入贝宁内陆谷地开发国家战略⁵²。

在亚洲，干湿交替法可让稻米在长达10天的时间内不需灌溉，将用水需求在不影响单产的情况下降低了15-30%¹⁰²。这一方法适用于有可靠供水的水稻种植区，降低了用于抽水机的燃料费用。这也会使稻田的甲烷排放降低70%¹⁰³。这一做法已纳入孟加拉、缅甸、菲律宾和越南的国家计划中。经优化实施后，干湿交替法能够让一些地区从稻米单作转为双作⁵²。

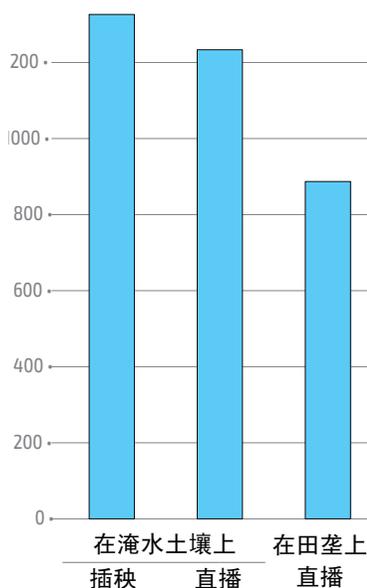
稻米集约化系统做法在灌溉间隔引入干水期，大幅降低了淹灌水平，将每公顷土地耗水量降至淹灌稻田的一半左右（见第三章，第44页）。

在许多地区，直接播种替代了在淹水土壤中插秧的方法，在潮湿或淹水土地上进行种子撒播，或是在未经事先耕作的田间进行条播。与秧苗移栽相比，直接播种的单产水平相似，且使灌溉用水减少了多达三分之一 | 图 2.8¹⁶。

另一项适用于旱季稻米种植的是“旱耕稻”，在干燥土壤中种植，仅在必要时灌溉。这一技术在菲律宾和中国华北地区经农民试验和采用，使用的品种能适应排水良好、非粘闭和非饱和的雨养地区土壤以及缺水地区¹⁰⁴。

经良好管理，旱耕稻单产可达到淹灌稻的75-80%，但是用水量减少50-70%。所需劳动力也更低⁵²。在印度黑土地区，在季风前期在表面覆盖物下方进行稻米旱播能让农民不必按常规做法休耕土地，成为能让农民获利的替代办法⁶²。

图 2.8 插秧和直播稻米生产系统中使用的灌溉水(毫米)*



* 来自44个国家研究

资料来源: 改编自第339页表8¹⁶

有害生物综合防治

有害生物、病害和杂草导致小农的玉米、稻米和小麦田遭受严重损失，损失率在20-50%¹⁰⁵，还会降低谷物质量，导致因虫害和变质而引发的收获后损失。就杂草而言，人工防治是小农所面临最耗时的的工作之一，且往往由女性来完成。

抗击病虫害的第一道防线在于健康的农业生态系统。“节约与增长”采用了有害生物综合防治（IPM）。这一“预防为主”的作物保护战略利用并加强了作物生产所依赖的生物过程以及与作物相关的生物多样性。这一做法旨在应对杀虫剂的大范围过量使用，因为这会减少有害生物的天敌数量，导致次生有害生物暴发，形成对杀虫剂的耐药性，增加人类和环境的风险。最近，一项研究显示，至少50%的杀虫剂用量在多数农业生态系统下都是毫无必要的¹⁰⁶。

在有害生物综合防治计划中，培训农民根据经济阈值水平决定有害生物防治办法，从而确立了可接受的破坏水平，低于该水平的防治措施成本无法由生产率的提高予以弥补。基本战略在于预测和预防问题，如果难以预防，即予以尽早发现以使用天然手段进行防治，仅作为最后手段少量使用相对安全的杀虫剂¹。

有害生物综合防治首先应用于亚洲，在稻田中抗击褐飞虱这一引发作物损失的主要因素。稻飞虱暴发的原因在于不加区分地喷施广谱杀虫剂，令稻飞虱数量在天敌被杀灭后出现快速增长^{107、108}。

为了应对在越南的某次稻飞虱虫情，粮农组织在支持开展基于社区的有害生物及相关病害防治时，即采用了有害生物综合防治办法。采取的措施包括，农民监测稻田间稻飞虱和天然捕食者的数量、去除受虫害的植株、优化播种和施肥时间、种植更多抗性品种⁵²。越南的农民以减少了70%的杀虫剂用量，并在政府大力支持下，大幅扩大了一个省份内采用有害生物综合防治的稻米种植面积|图 2.9|¹⁰⁹。

在稻米种植和水产养殖结合的地区，鱼类食用害虫以及引发病害的菌类和杂草，降低了采用化学防治手段的需要。稻田养鱼农民比

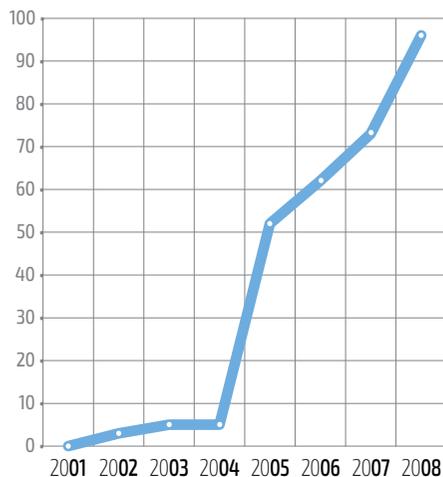
单种稻农民每公顷土地杀虫剂用量减少达68%（见第三章，第68页）。

在亚洲开展的研究突显出通过农民田间学校对有害生物综合治理开展培训的优势，这种形式的成人教育鼓励稻米种植者针对多种不断变化的生态条件，确定适用的有害生物综合治理办法。参加田间学校的农民通常会将每一季的杀虫剂施药次数从三次减为一次，并普遍报告单产得到提高。在印度尼西亚的某一地区，农民实际上已不再使用杀虫剂，单产水平也提高了21%。他们还获取了社会技能，改善了与服务供应商的关系^{110、111}。

加强农民培训能大幅降低玉米种植中的农药用量。在尼加拉瓜，农民在培训后对作物的喷药频率通常远低于未受训农民，且杀虫剂用量不到常规用量的10%|图 2.10¹¹²。玉米有害生物防治还有十分有效的非化学方法。在秘鲁安第斯地区、厄瓜多尔和玻利维亚，小农对玉米心叶和玉米须施用矿物或食用油，将害虫导致的感染侵袭情况最多降低了76%¹¹³⁻¹¹⁵。为了抗击秋夜蛾，巴西科学家开发了两种十分有效的生物杀虫剂，毒性更低且针对性优于广谱合成杀虫剂。生物杀虫剂的有效成分是来自己一种细菌和一种病毒的分离子，能够将粘虫数量减少95%以上¹¹⁶⁻¹¹⁸。

在非洲的玉米地，通过作物轮作和改善土壤管理来防治寄生杂草独脚金，这种杂草令小型农场遭受了严重的作物损失¹¹⁹。在马达加斯加，玉米与一种豆科覆盖作物一同种植，这种作物会刺激独脚金种子发芽，并对新生杂草具有抑制作用⁵²。之后会在作物残茬下方播种稻谷。直接播种有助于避免杂草种子混入根区，提高系统的整体抵御力和稳定性，与旱作非洲新稻品种结合后尤其有效^{66、67、120}。在东非地区，一种新的有害生物综合治理系统利用两种本地作物的化学反应抑制独脚金杂草的生长，并能杀死玉米禾螟（见第三章，第40页）。

图 2.9 稻作区采取有害生物综合防治，越南安江省（占总面积的百分比）



资料来源：改编自第218页图6¹⁰⁹

图 2.10 培训对玉米种植者平均杀虫剂施用量的影响，尼加拉瓜（升/公顷）



资料来源：改编自第196页表1¹¹²

在小麦种植中，有害生物综合防治主要基于作物管理方法和采用抗性栽培种。小麦受到多种病害的影响。小麦白粉病导致作物损失高达45%¹²¹，而小麦壳针孢菌已导致谷物减产一半¹²²。在中非、西非和北非地区，80%的损失由条锈病造成⁶⁴。

抗性小麦品种的开发和快速投放帮助埃塞俄比亚克服了茎锈病暴发。这一病害实际上在贝尔地区摧毁了当地的小麦作物。该国估计80%的小麦产区种植了抗性品种，推动在2014年实现了创纪录的小麦收获量⁶⁴。

而抗性品种与早栽则有效防治了小麦瘿蚊，需要更复杂的有害生物综合防治战略来防治其他害虫。对麦扁盾蝽的建议包括地表定向喷药，种植药用植物吸引自然捕食者，利用真菌制剂在冬季避难所中杀死害虫。通过利用抗性品种、迟栽、作物轮作和寄生天敌改善了对麦茎蜂的防治⁶⁴。

农民田间学校等参与式做法也广泛用于宣传针对小麦的有害生物综合防治办法。在成功用于防治麦扁盾蝽侵袭后，有害生物综合防治通过农民田间学校成为了伊朗伊斯兰共和国的主流植保战略¹²³。

防治杂草也是谷物“节约与增长”的重要组成部分，如果杂草对除草剂抗性加强，这一重要性将更为突出。避免对土壤的干扰、维持土壤覆盖、进行作物轮作和预防杂草落种都是降低杂草对作物生长压力的有效措施。

如上文所述，全世界谷物种植者通过运用诸如保护性农业、采用改良品种、改善土壤健康管理、提高用水效率和有害生物综合防治等一种或多种“节约与增长”农作系统要素提高了自身生产率。许多种植者通过作物多样化以及作物、林业和畜牧一体化生产提高了生产体系的抵御力。下文第三章内，我们将介绍11个“节约与增长”实例，即谷物耕作系统中整合了所有或大多数“节约与增长”组成部分与建议。



第三章

促进节约与增长的农作系统

作物生产可持续集约化

有何“特征”？这些来自世界各地
发展中国家的实例说明了实践中的
“节约与增长”农作系统

要点

1 玉米/牲畜, 东非: “驱诱结合”防治玉米有害生物, 提高牛奶产量。有害生物综合防治创新系统利用两种



当地植物间的化学互动, 消灭玉米螟并抑制独脚金。该系统在确保全年土壤覆盖的同时,

生产优质饲料, 使“驱诱结合”成为可持续、低投入作物/畜牧生产的基础。[第40页](#)

2 稻米, 亚洲: 健康土壤种植健康植物, 创造更高单产。稻米集约化系统在通气良好的土壤中稀疏种植稻米, 使稻米单产比淹灌翻了一番。该系统着眼于利用健康土壤增加稻米对养分的获取, 减少灌溉需求, 进而减少甲烷排放。该系统对劳动力需求量较大, 可通过技术创新予以减少。[第44页](#)



3 玉米/林业, 中美洲: 提高玉米产量, 减少热带山坡水土流失。修剪枝叶还田覆盖系统在树木修剪物滋养的未耕锄土壤上种植玉米和菜豆。该系统可增加土壤养分储备, 减少整地除草作业时间, 且单产是传统轮垦种植的两倍。许多采取残茬还田覆盖系统的农



民开展了多样化生产, 发展家庭菜园和畜牧业。[第48页](#)

4 小麦/豆科植物, 全世界: 小麦之前种植豆科植物带来额外好处。豆科植物残茬可为每公顷土地增加300公斤氮素。

因此, 在豆科植物后种植小麦可提高小麦单产和蛋白质含量。此外, 某些豆科植物可分泌促进小麦根部迅速吸收磷素的酸类, 并释放促进植物整体生长的气体。[第52页](#)



5 玉米/牲畜, 拉丁美洲: “养分泵”为牛提供饲料, 为玉米提供养分。可持续玉米-牲畜系统的主要组成部分是臂形草。臂形草可防止土壤板结, 比原生稀树草原牧草更具营养。免耕系统利用臂形草每年最多可种植三季谷物作物。臂形草与玉米套种可实现土地资源利用最优化并缓解土地退化。[第55页](#)





6 稻米/小麦, 印度河恒河平原: 保护性农业是保障粮食安全的关键。农民在南亚粮仓地带实行免耕可降低成本并增加小麦产量。稻田干湿交替可节水50%。激光辅助整地可提高稻米和小麦单产。农民通过氮素“按需”管理节约肥料并利用豆科植物抑制杂草滋生。第58页

7 玉米/豆科植物, 全世界: 传统系统提高土地利用效率。豆科植物与玉米轮作、间作和套种可提高土地生产率; 因此, 玉米-豆科植物系统尤其适用于小农。豆科植物轮作可使玉米单产提高25%。在保护性农业



系统中, 玉米与豆科植物间作的粮食产量比单作高33%。第64页

8 稻米/水产养殖, 亚洲: 水稻田收获更丰。一公顷水稻田每年可产出9吨稻米和750公斤鱼类。稻田养鱼可改善家庭膳食, 保障天然植物养分来源, 防治有害生物。由于稻米单产增加、鱼类为农民创收且农用化学品投入量减少, 稻田养鱼收入比稻米单作高四倍。第68页



9 玉米/林业, 南部非洲: 树木和灌木比肥料成本低。豆科灌木和树木是赞比亚和马拉维玉米生产系统不可或缺的组成部分。两年来, 豆科灌木和树木为每公顷土壤增加了250公斤氮素, 使玉米产量提高了三倍。玉米/林业系统能够抵御干旱, 且玉米种植利润比施肥更高。第71页



10 小麦, 中亚: 农民不再在哈萨克草原上翻耕土地。哈萨克斯坦是世界首先采取保护性农业的国家之一。直播和免耕与耕锄相比可提高小麦单产并降低生产成本。小麦与其他作物轮作可增加收入, 作物残茬可保持土壤墒情并抑制杂草发芽。第75页



11 稻米/玉米, 亚洲: 高产杂交品种帮助适应气候变化。农民在旱季种植玉米(而不是稻米)可减少地下水压力并使利润增加一倍。许多农民通过玉米蔬菜间作进一步增收。接受过资源节约型作物管理培训的玉米种植者可使用更少矿物肥料创造出两倍于国家平均值的单产。第79页



农业生态区：

热带雨育

主要谷物：

玉米

其它作物/产品：

肉类、奶类、饲料、豆科植物及蔬菜

1 · 玉米/牲畜 东非

“驱诱结合”防治有害生物，提高牛奶产量

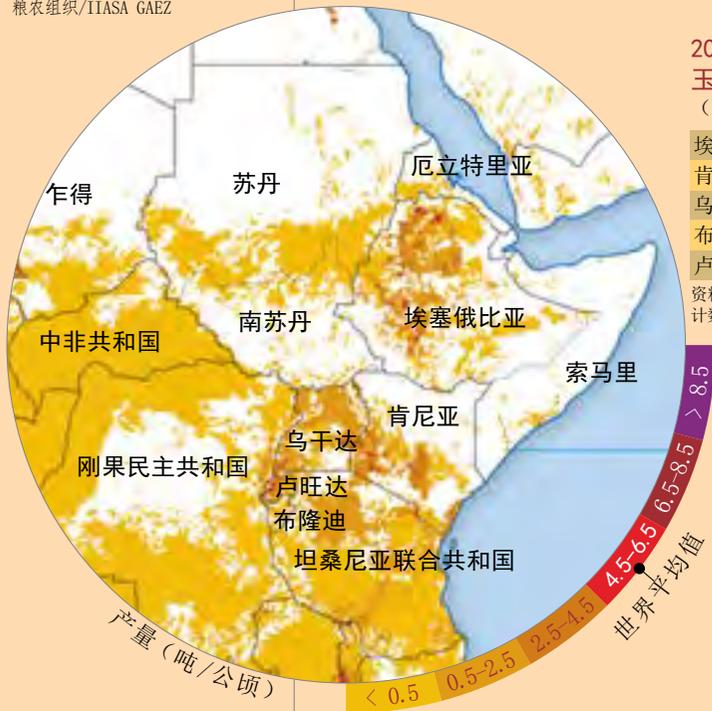
在玉米地中种植两种当地植物，战胜了非洲最严重的两大玉米有害生物。驱诱系统还有其他好处，如可提供优质牛饲料

螟虫和寄生杂草独脚金是非洲玉米地的祸害。螟虫是土著飞蛾幼虫，可从内部吞噬玉米多汁秸秆，造成作物减产20%至80%。各国农业部通常建议农民使用合成农药防治螟虫，但多数小农买不起合成农药¹。

寄生植物独脚金可吸附于谷类作物根部摄取水分和营养。非洲撒哈拉以南地区约40%的可耕地都长有独脚金。在肯尼亚西部，独脚金侵袭了76%的玉米地和高粱地，年损失达4000万美元以上。独脚金滋生有时可使作物绝收。独脚金极难防治，因为每个植株可产生数千颗微小种子，大量种子可在土壤中维持生命

东非玉米种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ



2013年前五大玉米生产国 (百万吨)

埃塞俄比亚	6.67
肯尼亚	3.39
乌干达	2.75
布隆迪	0.16
卢旺达	0.67

资料来源：粮农组织统计数据库

力长达数年。即使农民放弃污染严重的土地而另辟新地，独脚金也会紧随其后¹。

1993年，内罗毕国际昆虫生理学与生态学中心开始与肯尼亚农业研

究所、英国洛桑实验室及其他伙伴合作，探索负担得起且环境友好的螟虫防治方法。有害生物综合防治驱诱系统正是其合作成果；该系统利用富含生物多样性的农业生态系统中植物和昆虫的复杂化学互动，防治螟虫¹。



在驱诱系统中，玉米与豆科植物糙毛假地豆间作，田块四周边缘地带种植象草（常见饲料作物）。糙毛假地豆可释放挥发性化学物质吸引玉米有害生物的天敌。更重要的是，这些化学物质向飞蛾传递该区域已受侵扰的虚假信号，“驱避”产卵飞蛾，促使其另寻栖息地，以便幼虫面临更少的食物竞争¹。

这些栖息地正是象草的用武之地。象草还能释放挥发性化学物质“诱引”飞蛾，并分泌粘性物质粘住吞噬茎秆的螟虫幼虫。极少有幼虫能够活到成年。象草还能吸引螟虫天敌，如蚂蚁、蜈蚣和蜘蛛²。在试验中，

单作玉米地螟虫虫卵和因螟虫受损的植株数量比驱诱系统田块高得多²。

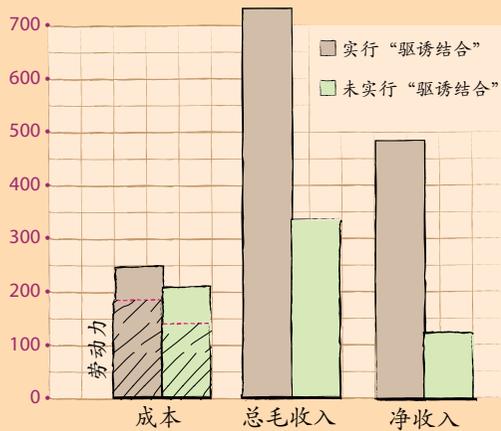
国际昆虫生理学与生态学中心研究人员在工作中获得了惊人发现：糙毛假地豆还扮演着独脚金“假宿主”角色。糙毛假地豆首先分泌化学物质促使独脚金种子发芽，然后释放其他化学物质抑制独脚金根系生长¹。试验表明，驱诱系统不仅能大幅减少玉米地螟虫虫害，还能在两季作物后几乎完全消灭独脚金³。

利用驱诱系统防治有害生物还能带来额外好处。糙毛假地豆和象草均为多年生作物，可提供全年土

象草（左图）和糙毛假地豆（右图）保护玉米免受螟虫和杂草侵扰

该系统对植物和昆虫的复杂化学互动加以利用

图 3.1 玉米生产经济要素，
肯尼亚基西郡 (美元/公顷)



资料来源：改编自第6页表1¹

壤覆盖，保持土壤墒情，改善土壤结构，防止水土流失，帮助农业生态系统更好地抵御干旱和其他极端天气事件。作为豆科植物的糙毛假地豆还能为土壤固氮，为玉米作物提供氮素。

自1997年起，国际昆虫生理学与生态学中心及其伙伴开始向肯尼亚和乌干达东部地区玉米和高粱种植者推广驱诱系统，并通过农民教师传授技术。截至2010年，维多利亚湖区25000多名农民掌握了这项技术。在24个村庄开展的影响评估发现，19%的农民采取了驱诱系统，主要用于防治有害生物（特别是独脚金），提高

作物生产率。75%的农民表示单产增加了3-4倍。有些农民玉米单产可达到每公顷5吨，而此前单产不足1吨³。在肯尼亚基西郡，采取驱诱系统的农民每公顷玉米收成是周边农民的3倍¹。

采取驱诱系统的农民几乎一半都将玉米与菜豆、其他食用豆科植物（如花生、大豆和豇豆）以及蔬菜（羽衣甘蓝）间作。将菜豆纳入系统并不会影响糙毛假地豆对独脚金和螟虫的防治效果³。



系统中使用的象草不仅能帮助农民提高粮食产量，还能增加饲料供给。国际昆虫生理学与生态学中心评估发

贪婪的玉米螟导致作物减产高达80%

现, 饲料生产事实上是刺激农民采取驱诱系统的重要因素³。例如: 因缺少优质饲料, 维多利亚湖某郡农民仅能满足当地一半牛奶需求。采取驱诱系统后, 700名农民牛奶年产量从700万升增加至800万升¹。

牲畜饲料增加意味着可供农民施肥的动物粪便增加, 矿物肥料需求量相应减少。采取驱诱系统的农民还实现了多样化生产, 如出售有机农产品和养殖家禽。国际昆虫生理学与生态学中心评估中访谈的农民表示, 产量增加所获得的额外收入可用于支付子女学费, 改善居住条件等³。

但评估发现某些农民由于没有获得足够相关信息而未采用驱诱系统。尽管驱诱系统因减少除草作业而节约了劳动力, 但某些农民因没有足够家庭劳动力(或没有足够的钱请他人帮忙)而无法建立该系统。此外, 签订一年土地租约的农民不愿投资于不会立竿见影的技术。糙毛假地豆种子供应不足且成本较高也制约了驱诱系统的推广³。

到2014年, 埃塞俄比亚、肯尼亚、坦桑尼亚联合共和国和乌干达

多达7万小农(一半以上为女性)利用糙毛假地豆间作防治独脚金⁴。

国际昆虫生理学与生态学中心和伙伴在系统中纳入两种耐旱植物并在更干旱地区和气候变化条件下推广驱诱系统。这两种植物分别是间作植物绿叶糙毛假地豆和边界植物臂形草⁵。

目前, 驱诱系统已成为作物-畜牧综合生产系统的基础。作物-畜牧综合生产系统无需大量外部投入且能显著提升东非粮食安全水平。近期针对埃塞俄比亚、肯尼亚和坦桑尼亚联合共和国900名农民开展的调查发现, 该系统具有较大推广潜力, 对妇女和认识到独脚金所造成损失且能很好地获取投入品的农民而言尤其如此⁶。

为使该地区农业永久性采用驱诱系统, 需要政府推广服务部门一如既往地提供支持; 需要制定以社区为基础的推广战略, 如农民田间学校、农民教师活动和当地公共会议³。

还需要稳定的糙毛假地豆和臂形草种子供应以及玉米良种和优质杂交种。

采取“驱诱结合”方法使奶类产量每年增加100万升

农业生态区：
热带季风、灌溉和高地系统
主要谷物：
稻米

2. 稻米 亚洲

健康土壤种植健康植物， 创造更高单产

稻米种植者采取作物和水土管理做法，不仅增加稻米产量和收入，还节约水、肥料和种子

亚洲多数地区传统稻作方式是：首先淹灌稻田；然后翻耕使土壤松软泥泞，通常土壤下面有致密板结土层，防止水分下渗；最后将20-60日龄秧苗每2-4株一把移栽至稻田，秧苗随意或呈窄行分布。为抑制杂草滋生

应持续淹灌稻田，使水深保持在5-15厘米直至作物成熟^{2,3}。

数千年来，该稻作系统单产虽然较低，但相对稳定⁴。随着绿色革命引入高产品种、矿物肥料和化学有害生物防治方法，许多亚洲稻田每公顷生产率在20年间翻了一番⁵。

一套称之为稻米集约化系统的

2013年前五大
稻米生产国
(百万吨)

印度尼西亚	71.3
越南	44.0
泰国	38.8
缅甸	28.0
菲律宾	18.4

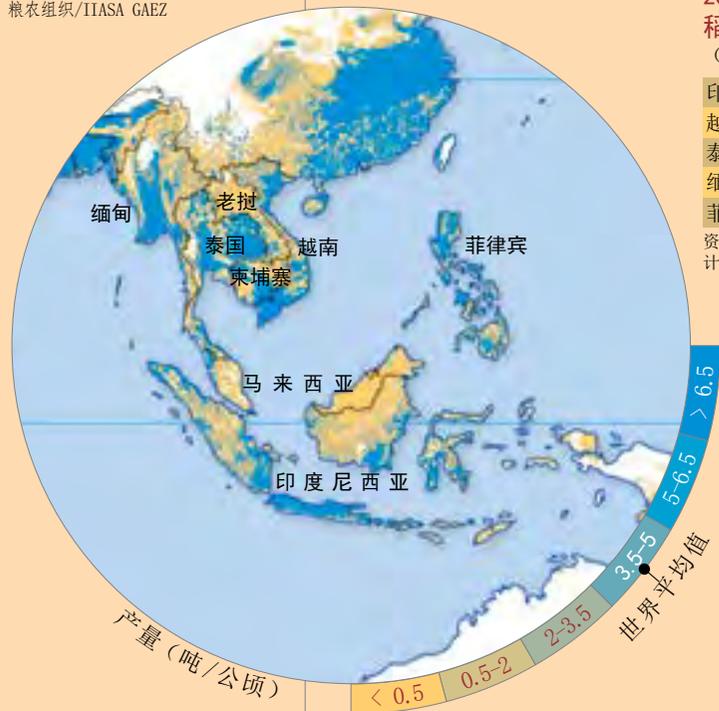
资料来源：粮农组织统计数据库

作物和水土管理做法采取的方法截然不同。该方法将8-15日龄秧苗一株一株地插秧，植株通常呈25x25厘米间距网格状。为使土壤保持湿润透气，稻田干燥3-6天后进行间歇式灌溉。定期除草，优先施用堆肥、农家肥和绿肥，而不是矿物肥料。从植株开花到收获前的20天，确保稻田被薄薄水层覆盖^{3,6}。

自20世纪80年代稻米集约化系统首先在马达加斯加开发后，大量试验显示，该系统稻米产量高于传统淹灌系统，且能节约水、种子、肥料

东南亚稻米种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ



和农药²。与淹灌系统相比，新系统使印度⁷和伊拉克⁸稻米单产提高了40%，使冈比亚⁹稻米单产提高了近200%|图 3.2|。在中国采用当前改良做法的对照试验中，稻米集约化系统方法使稻米单产提高了10%¹⁰。与淹灌系统相比，稻米集约化系统使印度¹¹和中国^{12、13}节约25-47%用水，使尼泊尔¹⁴节约10-20%种子。

柬埔寨、中国、印度尼西亚和越南（世界稻米主产区）政府在国家粮食安全计划中认可了稻米集约化系统，数百万稻米种植者采用了稻米集约化系统做法²。报告显示，越南100多万稻米种植者采用了稻米集约化系统；由于生产成本下降了40%，农民每公顷稻田平均增收110美元¹⁵。越南接受过精准养分管理培训的农民每公顷稻田每年可额外平均增收78美元¹⁶。

尼泊尔莫朗县一些农民表示，稻米集约化系统通常可使单产翻番。此外，稻米可提前四周成熟，既节约了用水，降低了作物损失风险，又为种植其他作物腾出了土地¹⁴。在马里通布图市，采取稻米集约化系统的农民稻米单产是周边农民的两倍。由于采取稻米集约化系统的稻田可提前10-15天收获，农民从单产

图 3.2 持续淹灌和稻米集约化系统下的稻米单产 (吨/公顷)



资料来源：改编自第84页表3⁷；第127页表8⁸；第9页表1⁹

较低、周期较短的品种转换为单产较高的中等周期品种²。

稻米集约化系统可帮助应对稻米产业面临的诸多挑战。稻米集约化系统强调植物有机养分来源和肥料高效利用，因此可减少因稻田硝酸盐流失而导致的环境污染¹⁷。该系统可使农民继续在雨育地区种植稻米。例如：泰国东北部受干旱影响日益严重；到2025年，中国、巴基斯坦和印度主要灌溉稻作区供水预计将无法需求¹⁸。

该系统还可大幅减少灌溉系统甲烷排放¹⁹。目前，世界90%以上

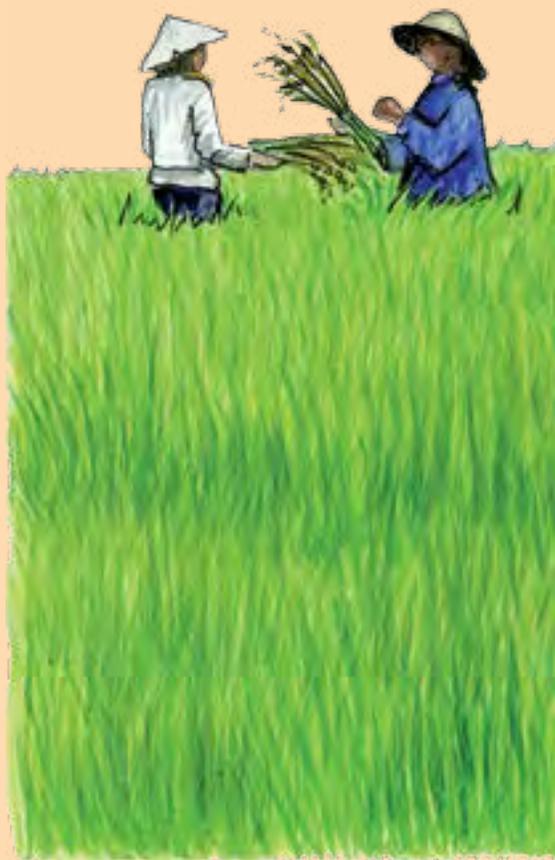
技术创新可减少稻米可持续种植系统的劳动力需求

的稻米产自淹灌稻田，淹灌稻田每年排放的甲烷总量约为6.25亿吨二氧化碳当量²⁰。如持续淹灌稻田能够在种植季至少将稻田排干一次，则可减少近六分之一甲烷排放量²¹。稻米集约化系统在种植季将稻田排干若干次⁶。

科学家们正在为稻米集约化系统减少资源投入和提高生产率的特点寻找严谨解释，并对农民采取稻米集约化系统准则的方式进行研究³。

稻米集约化系统主要着眼于改善土壤健康状况。间歇性灌溉、施用有机堆肥和覆盖可显著增加植物根部土壤有益菌数量^{22、23}。在稻米集约化系统中，稻米一株株插秧且土壤健康透气，为植株吸收太阳能留出更多空间；因此植物根系生长更充分，植株茎秆数量更多²⁴。此外，稻穗可能更长，每个稻穗的籽粒更多，籽粒成熟率更高⁷。

由于养分更多且生长条件更优越，植物生理发育得到促进，单产得到提高⁹。更普遍解释认为，稻米集约化系统使稻米植株遗传潜力得到更充分发挥^{2、6}。而近期针对稻米集约化系统高产情况开展的审查认为，稻米集约化系统做法“千差万



别”，很难将其作为“单一一揽子技术”并对其产生的影响得出一般性结论³。

关于稻米集约化系统的辩论主要集中在劳动力需求量增加上。在冈比亚，插秧劳动力成本比常规淹灌稻作系统高2-3倍⁹。印度近期研究发现，由于稻米集约化系统需要



很多劳动力，导致生产成本过高，“经济上实在划不来”²⁵。

但稻米集约化系统支持者回应称，该系统能够创造就业。在印度泰米尔纳德邦，人们发现稻米集约化系统是在旱季利用赋闲家庭劳动力的最佳方式¹¹。

可通过技术创新，减少稻米集约化系统的劳动力需求，如使用秧

苗托盘简化秧苗准备和插秧作业⁹；另外还可利用直播替代插秧。在尼泊尔，直播单产较插秧高50%¹⁴。在中国四川省，农民在免耕沟灌固定垄上栽插秧苗，并采取有机地膜或塑料薄膜覆盖²⁶。

100多万越南稻米种植者采用稻米集约化系统做法

农业生态区：
雨育热带山坡

主要谷物：
玉米

其它作物/产品：
肉类、奶类、木材、薪柴、
水果、豆科植物和蔬菜

3 · 玉米/林业 中美洲

提高玉米产量， 减少热带山坡水土流失

农民开发了修剪枝叶还田覆盖生产系统。该系统能够保护树木和灌木，养护水土，使玉米和菜豆单产翻番，甚至能抵御飓风

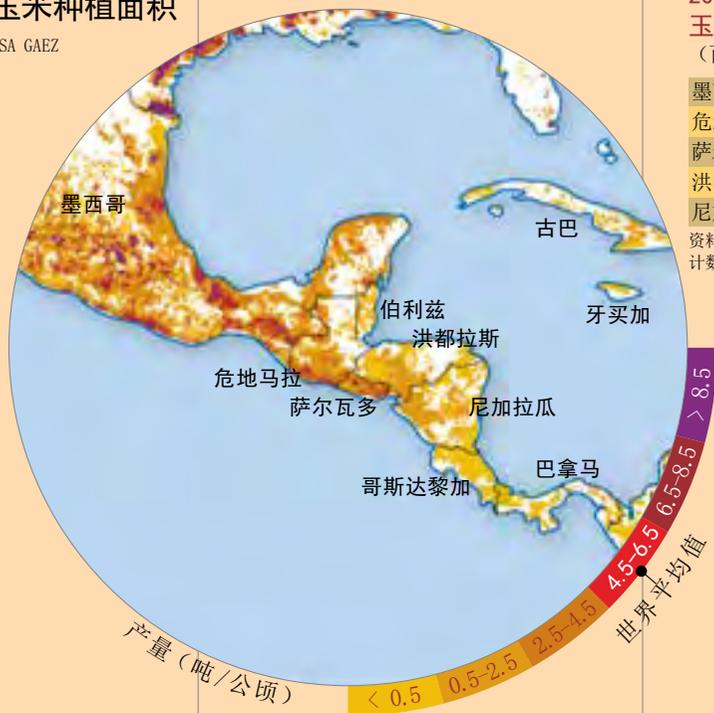
在 洪都拉斯西南部陡峭山坡上，传统玉米、菜豆及其他粮食作物刀耕火种的种植方式导致大面积毁林和环境退化。许多农民放弃了让开垦农田休耕足够长时间，使树木覆盖重新生长、土壤得到恢复的古老做法。

由于没有树木固定退化土壤，水土流失加剧，水质下降，下游用户供水量减少。随着农业生产率下降，农村贫困率和营养不良率上升^{1,2}。

认识到刀耕火种方式不可持续，洪都拉斯伦皮拉省农民开发了低成本、资源节约型作物种植系统¹。与

中美洲玉米种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ



2013年前五大 玉米生产国 (百万吨)

墨西哥	22.66
危地马拉	1.73
萨尔瓦多	0.87
洪都拉斯	0.60
尼加拉瓜	0.55

资料来源：粮农组织统计数据库

砍伐森林和焚烧植被不同，农民采取了修剪枝叶还田覆盖方法。农民开始在长势良好的自然再生次生林中播种高粱或菜豆。然后农民有选择地剪切和修剪树木和灌木，将剪下的树叶和树枝铺在土壤表面形成覆盖。高价值林木、果树和薪柴树木留下继续生长^{1, 2}。

农民在高粱和菜豆收获后种植玉米（玉米不作为“先锋作物”，因为覆盖物会延迟玉米出苗）。农民继续修剪树木，以确保作物获得充足日照，树叶、树枝和作物残茬用于维持半永久性土壤覆盖。土壤免耕且仅在需要时施肥²。

20世纪90年代初，联合国粮食及农业组织（粮农组织）开始与当地农民和农民团体紧密合作，开发和传播这些做法。这些做法随后发展成Quezungal修剪枝叶还田覆盖混农林业系统¹。此后，洪都拉斯西南部6000多名低收入农民采纳了该系统²。

通过修剪枝叶还田覆盖系统，农民轮垦种植生产率翻了一番，玉米单产从每公顷1.2吨增加至2.5吨，菜豆单产从325公斤增加至800公斤¹。生产率提升改善了粮食安全状况，农民能够在农田里留出空间，探索其他粮食生产方式。采用修剪枝叶



6000多名小农采取了修剪枝叶还田覆盖系统

还田覆盖系统的几乎半数农民都利用一部分土地和额外收入开展多样化生产，主要从事家庭菜园经营和畜牧养殖²。

洪都拉斯农民接受了该系统，因为该系统以农民熟悉的本土农业做法为基础，比刀耕火种产量更高，

农民利用Quezungal修剪枝叶还田覆盖混农林业系统，将每公顷菜豆单产从325千克增加至800千克



效益更好，还能带来许多其他好处。修剪枝叶还田覆盖系统能够保持土壤墒情，防止水土流失，提高农民对极端天气事件的抵御能力。例如提高农民对1997年干旱和1998年飓风米奇的抗灾能力。该系统还节省了平整土地和防治杂草的时间；这对因劳动力短缺而无法提升农场生产率的地区尤为重要。

农村地区也从水质改善以及11月至次年4月旱季供水量增加中获益。修剪枝叶还田覆盖农场上保留的树木可满足约40%家庭的薪柴需求²。

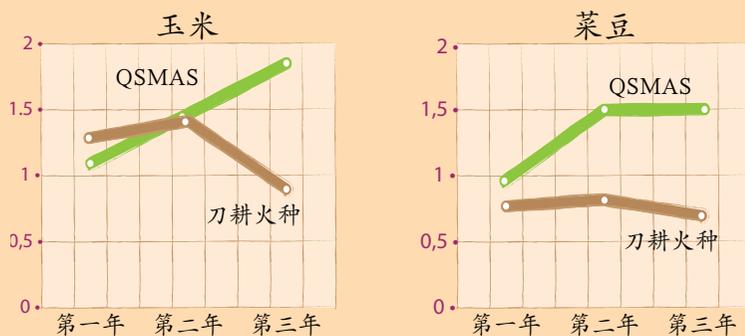
修剪枝叶还田覆盖系统所取得的成功还得益于政府的支持，政府鼓励当地社区和推广人员相互交流、取长补短。通过参与式进程，修剪枝叶还田覆盖系统还对其他领域

产生了影响。社区机构进一步意识到毁林带来的问题并禁止农民实行刀耕火种²。

2005年，国际热带农业中心开展了为期四年的项目，继续发展修剪枝叶还田覆盖系统并改善农村贫困人口生计。中心试图确定修剪枝叶还田覆盖系统的主要管理原则、增加系统抵御能力的生物物理效益、推动该系统为农民所接受的社会因素及可采用该系统的其他玉米种植区。

在15个田块开展的试验显示，刀耕火种和修剪枝叶还田覆盖系统在可持续性和抵御能力方面的差别尤为明显。修剪枝叶还田覆盖生产周期包括一年生作物10-12年种植期和此后7年休耕期。相比之下，刀

图 3.3 刀耕火种和QSMAS*的平均粮食单产，
尼加拉瓜索莫蒂约(吨/公顷)



* Quezungal修剪枝叶还田覆盖混农林业系统

资料来源: 改编自第48页表3.4²

耕火种系统中作物单产从种植第二年开始下降[图 3.3]。刀耕火种系统土壤氮素含量逐渐下降, 而修剪枝叶还田覆盖系统土壤氮素含量显著增加。国际热带农业中心通过测量甲烷和一氧化二氮排放量以及土壤和树木中封存的碳含量, 发现修剪枝叶还田覆盖系统的全球变暖影响仅为刀耕火种农业的四分之一²。

玉米生产系统已推广到洪都拉斯其他地区、萨尔瓦多、危地马拉和尼加拉瓜。当地农民通常因地制宜地调整基本做法, 包括渐进式修剪、永久土壤覆盖、尽可能减少对土壤的干扰以及节约矿物肥料³。

在危地马拉试验中, 覆盖毒鼠豆树修剪物土壤的玉米单产增加了11%-25%。在推广该系统的地区, 采纳率达到88%²。

在尼加拉瓜, 农民从来访的洪都拉斯农民了解到修剪枝叶还田覆盖系统。试验田玉米单产比刀耕火种增加了一倍多, 利润率增加了83%。因此, 到2010年, 尼加拉瓜某社区一半以上农民采取了修剪枝叶还田覆盖系统。尼加拉瓜农业技术研究所正在推广该系统⁴。

Quezungal修剪枝叶还田覆盖混农林业系统被视为热带半湿润山坡地区刀耕火种农业的替代系统³。估计在非洲、亚洲和拉丁美洲18个国家找到与修剪枝叶还田覆盖试验田条件相似区域的可能性为50%; 巴西、萨尔瓦多和刚果民主共和国具备相似条件的区域面积最大⁴。

该系统适合在整个热带地区半湿润山坡推广

农业生态区：
温带、亚热带雨育和灌溉

主要谷物：
小麦

其它作物：
粮食和豆科牧草

4 · 小麦/豆科植物 全世界

小麦之前种植豆科植物带来额外好处

小麦种植者种植豆科植物，改善土壤健康状况，提供天然氮素来源并提高小麦单产。需要实行保护性农业，以便充分实现小麦与豆科植物轮作的好处

种 植豆科植物本身可成为很好的投资。由于豆科植物可通过根瘤生物固氮从大气获取70%–80%的氮素需求量，食用和饲用豆科植物一般无需施用氮肥即可实现最优单产¹。食用豆科植物（如小扁豆）富含蛋白质、膳食纤维、维他命、矿物质、抗氧化

剂和植物雌激素²，出售后可创造收入。饲用豆科植物（如苜蓿）可用来喂养农场牲畜。

在小麦之前种植豆科植物还有另一个好处，豆科植物残茬中的氮素可减少小麦氮肥需求量³。据估计，全球约1.9亿公顷食用豆科植物为土壤增加了约500–700万吨氮素⁴。得益于“自然施肥”，在豆科植物之后种植小麦与小麦连作相比可增加小麦单产和蛋白质含量⁵。

西亚和北非小麦种植者早在2000年前就认识到小麦与豆科植物轮作创造的高生产率。在典型雨育

西欧小麦和豆科植物* 种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ



* 包括菜豆、鹰嘴豆、豇豆、干豌豆和木豆

2013年前五大小麦生产国 (百万吨)

法国	38.61
法国	25.01
联合国	11.92
比利时	1.80
奥地利	1.59

资料来源：粮农组织统计数据库

系统中，与小麦轮作的作物包括：食用豆科植物，如鹰嘴豆、小扁豆、蚕豆；饲用豆科植物，如野豌豆、埃及三叶草和紫花苜蓿^{6–8}。

为特定小麦种植系统选择合适的豆科植物尤为重要，因为在同一地点种植的不同种和不同品种豆科植物在干物质产

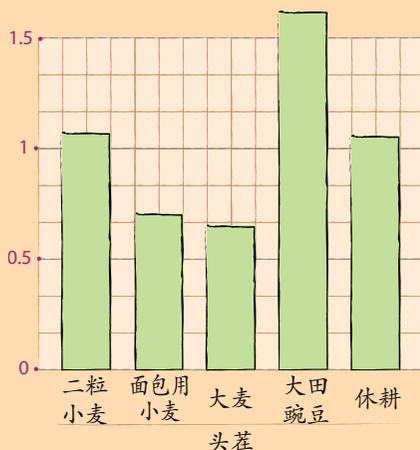
量、固氮、氮素累积以及残茬质量方面可能存在显著差异。食用豆科植物氮素残留量差异较大,但可满足小麦氮素需求量的20%至40%³。食用豆科植物可为每公顷土地增加30-40公斤氮素,作为覆盖作物或动物饲料种植的豆科植物可更迅速地累积氮素,为每公顷土地固定多达300公斤氮素⁹。

豆科植物提高小麦对其他养分的吸收。在豆科植物之后种植小麦(与小麦连作相比)往往根系更健康且能更好地吸收其他养分。鹰嘴豆和木豆根部能分泌有机酸调动固定形式的土壤磷素,使磷素更易于被植物利用⁵。

豆科植物还可在土壤中释放氢气,每天为每公顷土地释放5000升氢气。作为固氮副产品,氢气被植物根系周围的土壤微生物氧化,改变土壤生物性,促进小麦植株生长^{1、5}。深根性豆科植物(如木豆、扁豆属藤类植物和绒毛藜豆)有助于构建土壤结构和生物孔隙,改善排水性和透气性¹⁰。

干旱地区的主要生产系统是秋播小麦和夏季休耕。中东和北非由于水分不足,无法维持夏季作物雨育生产,农场通常处于休耕状态。但随

图 3.4 在部分头茬作物后种植的二茬面包用小麦单产,埃塞俄比亚贝尔山地区(吨/公顷)



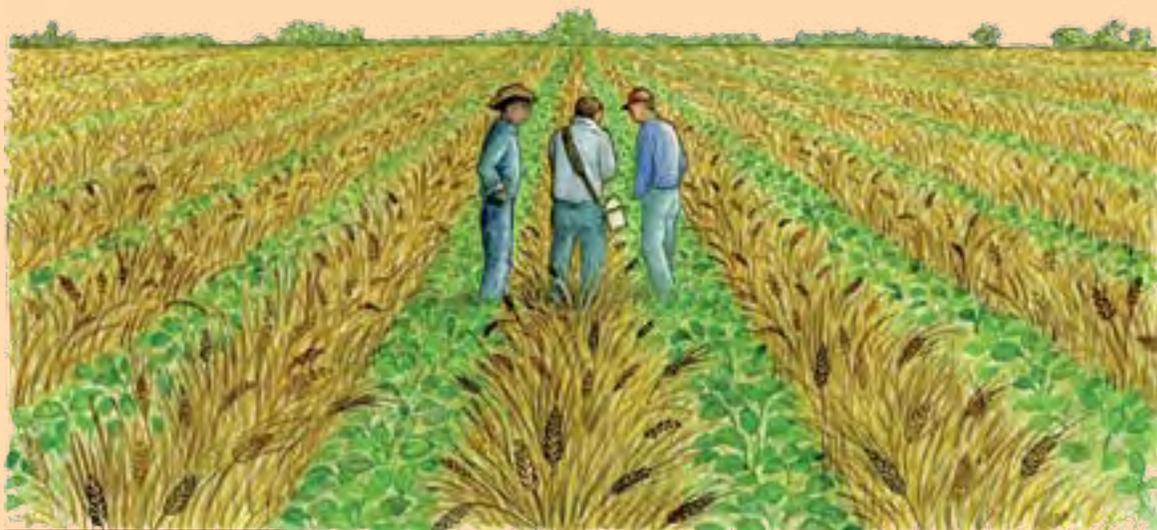
资料来源:改编自第140页表4¹⁷

着早熟豆科植物品种的开发,农民现在可以用豆科植物替代长期休耕,更高效地利用土地^{11、12}。在夏季种植食用豆科植物,不仅有助于提升土壤肥力和用水效率,还能提高后茬小麦作物单产¹³。

埃塞尔比亚高原地区利用豆类与谷物轮作或间作,分散干旱风险,提升土壤肥力¹⁴⁻¹⁶。在贝尔山地区,在大田豌豆之后种植小麦,单产明显高于小麦与小麦和小麦与大麦轮作|图 3.4¹⁷。蚕豆与小麦轮作可使小麦单产提高77%,减少氮肥需求量¹⁸。在伊朗伊斯兰共和国,谷物与豆科植物间作比小麦单作生产率和利润率更高¹⁹。



在一季大田豌豆后种植小麦可大幅提高小麦单产



在直立小麦中种植大豆可提高生产率

穿过豆科植物残茬播种小麦可保持土壤结构、水分和养分

管理豆科植物，实现双赢。种植豆科植物获得利润并使后茬小麦作物获得最大益处，对许多农民而言较为复杂。通常种植豆科植物比种植小麦或其他谷物风险更大。部分原因是豆科植物更易受生物和非生物胁迫影响，导致单产和植物生物物质下降。如豆科植物未能产生足够生物物质和较好收成，就不会在秸秆和根部残茬中留下氮残留，小农将在一个种植季遭受损失，且在下一个种植季无法获得补偿。此外，食用豆科植物价格通常比谷物更为波动。

由于生长期较短，某些豆科植物并不能像小麦一样去除土壤中同

样的水分，因此给小麦作物留下更多残留水分。但如果豆科植物残茬被大量用于放牧或被清除用于其他目的，则水分极易流失。因此建议将残茬作为地表覆盖直播小麦并尽可能减少对土壤的干扰⁵。

为合理管控风险，建议农民仅在储存充足水分的土壤中或在灌溉条件下种植豆科植物。提前种植一方面提高生物物质产量并固氮，另一方面也可能增加对病原体的易感性。为充分实现小麦与豆科植物轮作的好处，应将残茬保留在土壤表面，并对豆科植物和小麦作物实行免耕，保护土壤结构，涵养水分和养分。

5 · 玉米/牲畜 拉丁美洲

“养分泵”为牛提供饲料， 为玉米提供养分

热带非洲本土草本植物大幅提高了拉丁美洲牲畜生产率。巴西农民将臂形草纳入玉米直播系统替代大豆单作

在拉丁美洲稀树草原，畜牧生产对小农农作系统至关重要。但热带地区单位动物产出远低于温带地区。作为反刍动物系统主要饲料来源的牧草的数量和质量是主要制约因素。过度放牧、消耗土壤养分的农作做法以及缺少能够较好适应生物和非生物胁迫的牧草物种都是导致生产率低下的因素。提升牧场牧草质量和生产力，将有助于提振肉类和奶类生产¹。

拉丁美洲许多畜牧养殖者采取了可持续畜牧生产系统，将牧草与谷物相结合。该系统的主要组成部分是臂形草。臂形草是非洲撒哈拉以南地区本土草种，在贫瘠土壤中生长良好，经得起大量放牧且相对不存在病虫害问题。

臂形草根部长而粗壮，可迅速恢复土壤结构，防止出现减少雨水渗透和扼杀根系生长的土壤板结现

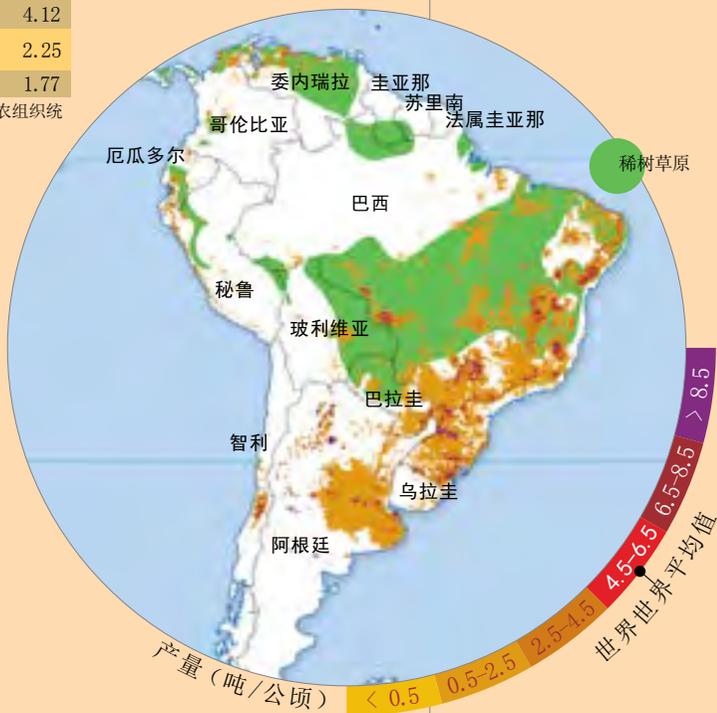
象。臂形草还能将土壤残留磷素转化为后茬玉米作物可立即吸收的有机磷²。

国际热带农业中心的近期研究发现了臂形草的另一个特点：一种臂形草物种可通过根部化学机理抑制土壤释放一氧化二氮。一氧化二氮主要来自矿

2013年前五大
玉米生产国
(百万吨)

巴西	80.54
阿根廷	32.12
巴拉圭	4.12
委内瑞拉	2.25
哥伦比亚	1.77

资料来源：粮农组织统计数据库

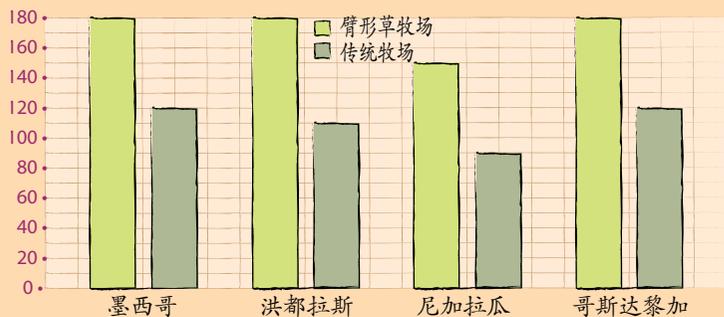


农业生态区：
热带稀树草原

主要谷物：
玉米

其它作物/产品：
肉类、奶类、牧草、稻米、
小米和高粱

图 3.5 传统牧场和臂形草牧场的牛肉生产率
(千克/公顷/年)



资料来源：改编自表1⁵

物肥料且是导致气候变化最主要的温室气体之一³。

目前拉丁美洲多功能臂形草种植面积约为8000万公顷⁴。臂形草能够适应贫瘠的土壤，因此可在粗放型、低投入牧场以及实行集约化管理的牧场种植¹。

在墨西哥和中美洲，臂形草牧场畜牧生产率比本土植被高60% [图 3.5]。产量增加预计每年可创造10亿美元新增产值⁵。在巴西，年经济收益达到40亿美元⁶。

巴西塞拉多生态区越来越多地将一年生作物与牧草轮作。肉牛是该地区许多农民的主要收入来源。畜群长期管理不善、过度放牧以及土壤养分替代不充分，导致传统畜牧生产系统生产力和利润率双双下降^{1, 7, 8}。

在自然生态系统被集约化大豆单作所取代的地区，土壤大面积板结且极易因强降雨而受到侵蚀。在这种情况下，传统土壤侵蚀防控技术（如等高线种植）不起作用。

为此，许多农民采取了免耕系统。免耕系统可增加土壤覆盖并在环境方面带来其他好处。20世纪90年代初，塞拉多生态区免耕面积不足10%，但1996年增加至33%。如将扩大种植面积计算在内，塞拉多地区免耕总面积增加了17倍以上¹⁰。

巴西全部种植面积中约50%实行了直接播种加覆盖物种植系统，一年一般可种植三季，每季作物都是连续直接播种¹¹。塞拉多地区的400多万公顷土使用多样化直接播种加覆盖物系统，替代了效率低下的大豆单作耕种系统。典型种植顺序是先种玉米（或稻米），再种另一种谷物（如小米或高粱），或使用牛筋草与一种牧草（如臂形草）间作^{11, 12}。

牧草作为“养分泵”可在旱季生产大量生物质用于放牧或用作绿肥。在雨季季末将玉米与臂形草间作，可对2厘米以下土层的水加以利用，并促进旱季后期有效光合作用。这种做法可在下一季头几场雨后或旱季雨后，促进植被旺盛再生长并保证永久土壤覆盖¹³。

集约化大豆单作后，土壤板结、易受侵蚀



由于臂形草提供了优质牧草，农民可选择将该区域转变为牧场，或在第二年继续用该区域开展粮食生产。具备灌溉条件和频繁强降水来补给深层水储备的更湿润地区，通常采取该系统。在最佳直接播种加覆盖物系统中，土层之上和土层之下年均干物质总产量约为每公顷30吨，而单作系统年均干物质总产量为4-8吨¹⁴。

为减少作物竞争，新的间作系统得以开发。巴西为玉米和臂形草

开发的“圣菲”系统通过延迟臂形草种植或增加种植深度，使臂形草晚于玉米发芽。年幼的臂形草植株被玉米遮蔽，对谷物形成较少竞争。玉米收获后，遮蔽减少，定植后的牧草在玉米残茬中迅速生长¹⁵。

牧草与粮食作物紧密统一，可更好地利用农场总面积，更集约地利用牧场，从而减少牧场退化。世界其他地区（包括非洲撒哈拉以南地区）正在开展相似的直接播种加覆盖物系统试验¹。

臂形草可恢复土壤结构并防止土壤板结

农业生态区：
亚热带季风和灌溉

主要谷物：
稻米和小麦

其他作物：
玉米、马铃薯、甘蔗、棉花和豆
科植物

6 · 稻米/小麦 印度河恒河平原

保护性农业 是保障粮食安全的关键

资源节约型技术可增加小麦单产并为农民节约20%的成本。选择保护性农业可使稻米和小麦生产协同增效

横 跨南亚的印度河恒河平原，经孟加拉国、印度、尼泊尔和巴基斯坦，绵延225万平方公里，是18亿人的饭碗和粮仓^{1、2}。过去30年，绿色革命改进了品种和技术包；得益于此，当地农民开发了

作物轮作系统，在夏季季风时节种植稻米，在短暂冬季种植小麦。目前，稻米与小麦轮作系统约占地1350万公顷，年产约8000万吨稻米和7000万吨小麦^{3、4}。

2013年前五大稻米和小麦生产国
(百万吨)

印度	252.71
孟加拉国	52.76
巴基斯坦	34.03
伊朗伊斯兰共和国	16.54
尼泊尔	6.23

资料来源：粮农组织统计数据库

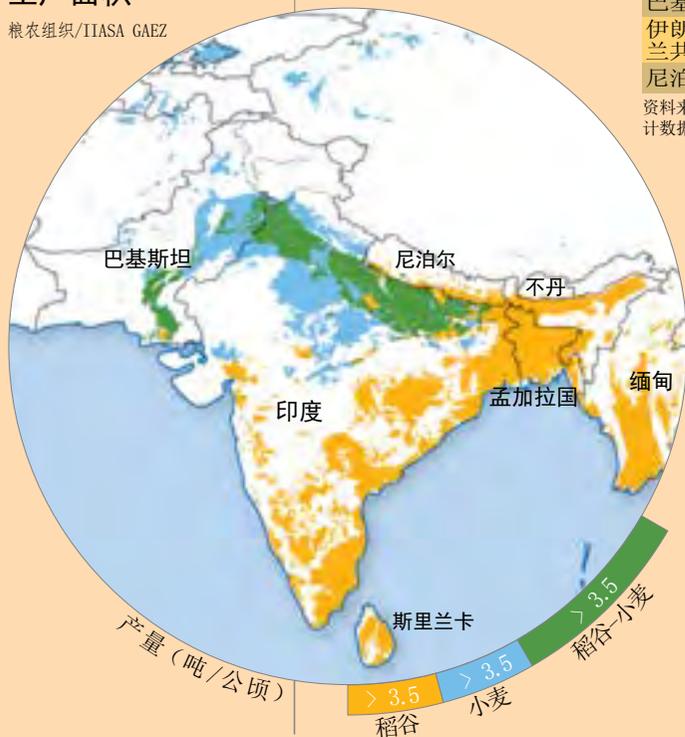
在大平原最具生产力的地区（旁遮普、哈里亚纳邦和西部北方邦等印度西北各邦），稻米小麦种植区面积扩大且单产年增3%，印度小麦产量从1970年的2000万吨

增加至1995年的6500万吨。但大致从那时起，稻米和小麦生产率出现停滞，单产仅能达到潜在单产的30%至70%。导致单产下降的原因是数十年集约化种植、投入品利用效率持续下降、地下水枯竭以及气温上升造成“土壤疲劳”^{5、6}。

为此，国家农业研究系统生态区域倡议稻米小麦联合会和国际农业研究磋商组织于1995年发起联合行动，倡导采取资源节约型谷物生

南亚稻米和小麦生产面积

粮农组织/IIASA GAEZ





产技术。技术包括免耕、激光辅助整地、作物残茬还田、固定垄种植、稻米早播及小麦表面播种³。

在印度和巴基斯坦，上述许多技术的采纳率呈井喷式增长^{1、5}。例如，在哈里亚纳邦，免耕小麦种植面积从1997年为零，增加至2002年的30万公顷。在整个印度，2005年免耕和少耕小麦种植面积约为160万公顷⁷。

东部平原小麦生产率的主要制约因素是晚播。由于降雨具有不确定性、抽取地下水成本较高且劳动力短缺，稻谷秧苗移栽从7月开始一

直持续到8月底。移栽晚导致晚收，从而使后茬小麦播种远远晚于最佳播种日。由于反复淹灌和联合收割机重压，稻田通常被严重压实；收割后农民在稻田上翻耕土壤，错过了宝贵时机^{1、6}。

许多地区利用直播将小麦播期提前；在稻米收获后，免耕播种小麦^{6、8}。使用本地制造的拖拉机悬挂式播种机，在适当间距和深度的土层投放种子和肥料，并尽可能减少对土壤的干扰¹。

由于免耕可保证及时播种，增加种植密度，节约拖拉机作业、时间及燃料，因此可将单产提高6%-10%

印度河-恒河平原稻米小麦复合系统每年可生产1.5亿吨谷物

与喜马拉雅山脉平行的印度河恒河平原是18亿人口的粮仓和饭碗



图 3.6⁹。农民每公顷土地还可节水约50至70美元^{6、10}。某些地区的灌溉水生产率比常规做法提高了65%²。

在免耕田垄上种植小麦可进一步提高水的生产率⁶。灌溉田垄之间的田沟可节约用水，还可以利用盐分更高的咸水；因为盐分在干燥田沟两侧累积，植株根部区域盐分相对较低¹¹。在田垄上种植小麦还可

稻米早播可减少用水量、能源成本和劳动力需求



减少水涝和播种量，并为精准施肥、机械化除草、绿豆间作和套作留出更多空间¹²。

印度河恒河平原西部地区在小麦生产中实行免耕，使农民每公顷成本降低20%，净收入增加28%，并能减少温室气体排放¹³。

印度河恒河平原东部地区排水条件较差，一些农民在免耕条件下撒播或使用滚筒播种机播种预先浸泡的小麦种子。“表面播种”技术成本较低，特别适用于在整地方面缺少资源的小农；通过该技术，小农可在休耕田上种植小麦^{6、11}。尽管单产与常规耕作土地上撒播种子相比没有增加，但农民节约了耕作成本，增加了收入¹⁴。

在稻米方面，联合会推动利用短季品种替代长季品种并实行直接稻米早播。稻米早播可免去插秧作业并减少用水量、能源成本和劳动力需求。稻米早播系统在6月整地，灌溉后播种短季稻，并7月季风时节开始前定植稻米。

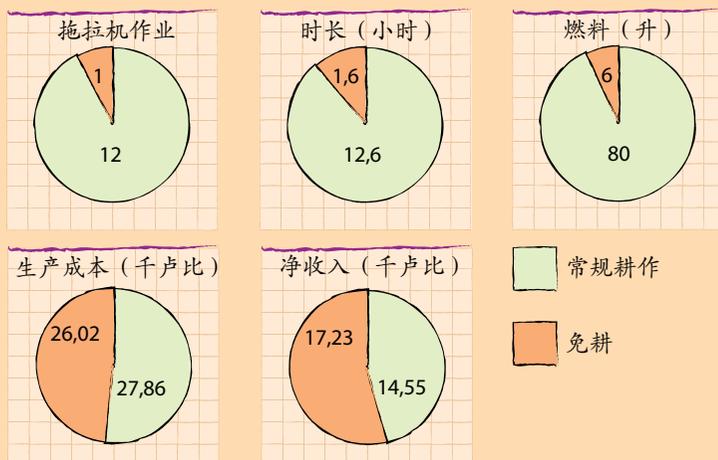
在作物生长过程中，该系统采取多种方法，帮助农民利用相同水量增加稻米产量，或在不减产的前提下减少用水量。一种方法是干湿交替，即淹灌稻田，水干透后再次淹

灌。另一种方法是种植旱耕稻，即先将种子直接播入干燥土壤，再灌溉。两种方法均能节水30%至50%⁶。田垄种植也能显著提高稻米单产¹²。

印度河恒河平原采取的另一种资源节约型技术是激光辅助整地。许多农田表面不平整，导致水资源浪费、次优发芽和单产降低。农民传统上使用刮板和木板平整土地。目前，私营合同商运营的激光引导拖拉机，可更精准且以小农可负担的价格平整土地。近期印度西北部地区的研究发现，该技术与传统整地相比，可大幅提高效率，节水40%，提高肥料利用效率，使稻米和小麦单产提高5%–10%。农场无论大小均可获益^{1、14–16}。

农民还采取了新的作物轮作，扰乱害虫和杂草生命周期，提高土壤健康状况。在巴基斯坦旁遮普省，小农将稻米与埃及三叶草轮作。埃及三叶草可提高土壤肥力，抑制杂草生长并防止杂草影响后茬谷物作物¹⁷。在东部平原，小麦收获后农田一般要休耕80天；免耕种植夏季绿豆作物，可实现每公顷1.45吨产量，创造745美元经济效益。绿豆还通过生物固氮为土壤增加氮素¹⁴。

图 3.6 免耕和常规耕作小麦生产经济要素，印度哈里亚纳邦（每公顷）



资料来源：改编自第93页表1和表2⁹

为减少肥料浪费，稻米小麦联合会推动氮素按需管理，采用叶色卡确定最佳施肥时间。叶色卡最初为稻米设计，农民自发将其适用于小麦¹⁸。农民使用比色卡在不减产的情况下将肥料施用量减少了25%¹。

2009年在整个平原地区开展的村庄调查发现，三分之一农户至少采用了一种资源节约型技术；西北部地区技术采纳率最高，约为50%。农民从多种渠道（包括其他农民和设备制造商）获悉相关技术，且多数农民已将相关技术纳入传统作物管理做法。在印度西北部地区，免耕播种机是仅次于拖拉机的最常用农具¹⁸。较高的采纳率得益于农民能够

私营合同商以小农支付得起的价格提供激光引导整地服务

方便获取播种机。在国家和地方政府的大力支持下，私营部门开发了播种机免耕⁷。

近期印度小麦产量增加体现了“节约与增长”做法和技术的影响。例如：2003-2007年印度旁遮普邦小麦单产下降，此后小麦生产率稳步提高，2012年每公顷平均产量超过了5吨¹⁹。2014年，印度小麦总产量达到创纪录的9600万吨⁴。

印度河恒河平原为全面实现谷物生产可持续集约化转型，仍有很长的路要走，但潜在回报巨大。迄今为止，在稻米与小麦系统中，主要实行免耕的是小麦。如稻米也实行免

耕，则可进一步节约灌溉水以解燃眉之急⁷。稻米免耕早播大量试验显示，淹水整地并不是实现高产的必要条件¹²。

人们为提高稻米早播技术采纳率提出了多项战略，包括实行稻米与田菁属植物间作。该做法可减少未淹灌稻田杂草丛生现象并提高单产⁹。但由于农民无法获取适当设备，早播技术大规模推广受到限制。近期印度东北部地区的研究发现，2012年57%的农民采取了早播做法。但由于仅10%的农民拥有条播机，多数农民依赖服务供应商提供农机具。由于服务供不应求，许多农民无法实行早播作业²⁰。



免耕行动：“快乐播种机”可穿过大量稻米作物残茬播种小麦种子

坚决地转向稻米保护性农业（特别是作物残茬还田），可使两大谷物生产协同增效。尽管许多农民在前茬稻米作物残茬上直接播种小麦，但多数农民仍继续在收获后焚烧稻米秸秆，造成严重空气污染¹⁹。为禁止焚烧秸秆并鼓励覆盖和免耕种植，旁遮普邦和哈里亚纳邦政府正在大范围推广“快乐播种机”新技术，该技术可穿过大量稻米残茬播种小麦^{21、22}。

农民能否加速采纳资源节约型技术还取决于是否能够完善政策支持、技术支持、基础设施以及投入品和产品市场准入。应采取系统方法，放弃以商品为中心、密集且不可持续地利用劳动力、水和能源的技

术。若能将行之有效的技术和做法相结合，将可充分发挥保护性农业的潜力²³。

最后，印度河恒河平原农民在稻米和小麦基础上进一步探索多样化生产，恰逢其时。从谷物单作转型为其他高价值作物多样化种植，将减少系统的生物和非生物压力并保持水土^{6、24}。作物多样化种植还可为小农创造增收机会⁷。西北部地区正在种植甘蔗、绿豆、薄荷、玉米和马铃薯，并将其纳入稻米与小麦轮作系统。东部平原地区冬季较短，农民越来越多地用马铃薯和玉米完全替代小麦。这样做可带来更高的经济回报¹。

作物多样化
为小农
提供创收机会



农业生态区：

温带、亚热带雨育和灌溉

主要谷物：

玉米

其他作物：

粮食和豆科牧草

7 · 玉米/豆科植物 全世界

传统系统提高土地利用效率

木豆、豇豆、花生和刀豆是农民玉米田里的常见作物。玉米—豆科植物系统生产率较高，特别适合小农采用

玉米豆科复合系统有三种基本形式。第一种是间作，即在同一行或间隔行同时种植玉米和豆科植物。第二种是套作，即在不同日期种植玉米和豆科植物，两种作物在至少一部分生命周期同时生长。第三种是玉米和豆科植物轮流单作，即在同一

块土地上先种植豆科植物，豆科植物收获后再种植玉米。

该系统在发展中国家较为普遍。普遍种植的豆科植物包括：主要供食用的菜豆、鹰嘴豆、豇豆、花生和大豆，以及供饲用的绒毛藜豆和刀豆等。上述豆科植物均可固氮，还可作为残茬还田。

在拉丁美洲，特别是在土地资源匮乏的高原地区，玉米-菜豆间作是小农传统做法。秘鲁100%的菜豆和厄瓜多尔约80%的菜豆与玉米

间作。在地少雨缺的中美洲地区，玉米通常与大田菜豆

2013年前五大玉米生产国

国家	产量 (百万吨)
尼日利亚	10.40
加纳	1.76
布基纳法索	1.71
马里	1.50
贝宁	1.35

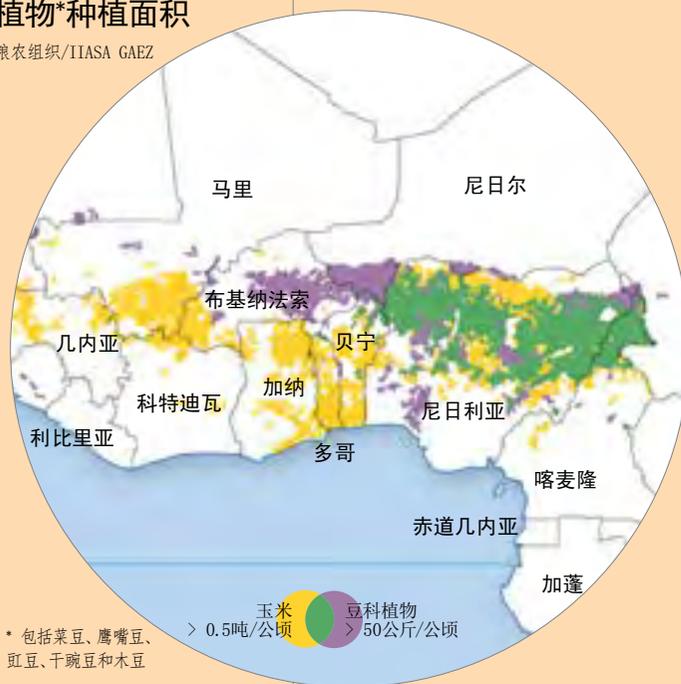
资料来源：粮农组织统计数据库

间作^{1、2}。

玉米与菜豆间作时，两种作物单产通常低于分别单作单产。研究发现，玉米单作时单产为每公顷5.3吨，与矮菜豆间作时单产为每公顷5.2吨，与蔓菜豆间作时单产为每公顷3.7吨³。但间作单位产量的生产成

西非玉米和豆科植物*种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ



本通常更低，因为菜豆售价是玉米的四倍，农民收入更高且更稳定⁴。

在亚洲、非洲和加勒比地区小农作系统中，耐旱鹰嘴豆通常与谷物间作。鹰嘴豆也是深根性植物，因此不与玉米争水；且鹰嘴豆早期生长缓慢，便于玉米良好定植。

与玉米和菜豆间作相同，玉米和鹰嘴豆间作时，两种作物单产均略低于分别单作。但间作作物总产量高于各作物单作产量。南非针对玉米鹰嘴豆间作的综合研究发现，该系统单位面积生产率几乎是各作物单作的两倍⁵。在印度和斯里兰卡玉米鹰嘴豆复合系统中，四行玉米与两行鹰嘴豆间作净回报最高⁶。

马拉维中部地区为期三年的研究发现，在保护性农业系统下玉米与鹰嘴豆间作可产生近两倍的植物生物质；在较干旱年份，玉米产量比常规单作玉米高33%⁷。在莫桑比克，优质生物质提供了覆盖，玉米-豆科植物长期间作和免耕使雨水渗透量增加了5倍以上⁸。巴拿马在刀豆覆盖物上种植玉米，每公顷可为农民节约84公斤氮肥⁹。



巴西、哥伦比亚和中美洲实行套种，在5-6月种植玉米，在8-9月套种菜豆。套种使玉米尽量生长为蔓菜豆提供支撑³。加纳北部地区在玉米播种前3-6周种植豇豆，从而在其他作物尚未成熟时收获营养丰富的食物，且茬还田可为土壤提供氮素¹⁰。

玉米 — 豆科植物轮作还有助于保持土壤肥力。墨西哥小农在玉米“淡季”种植绒毛藜豆；该系统可显著

增加土壤pH值、有机质含量和氮素水平。后茬玉米作物单产增加了25%。研究认为轮作比间作效果更好¹¹。

国际玉米小麦改良中心在东部和南部非洲牵头实施的玉米豆科植物复合农作系统可持续集约化计划发现，在保护性农业中，玉米与豆科植物（如菜豆、豇豆和大豆）轮作时，玉米单产最高。在马拉维，常规做法的玉米单产可达到每公顷3.7吨；在保护性农业下，单产增加至3.9吨；实行保护性农业的同时在大豆后种植玉米，玉米单产可达到4.5吨|图 3.7|¹²。

非洲农民每年可收获约1150万吨花生

单位土地面积，玉米木豆间作生产率几乎是单作的两倍

玉米大豆轮作可减少土壤侵蚀，缓解玉米和大豆的有害生物压力

尼日利亚玉米大豆轮作系统生产率较高。在玉米之前种植大豆可促使种子提前发芽并减少独脚金滋生。每公顷大豆可产出约2.5吨粮食和2.5吨牧草，残茬可为每公顷土地提供10-22公斤氮素。后茬玉米作物可利用氮素使单产较单作高2.3倍。

尼日利亚农民的大豆产量从1984年不足6万吨增加至2013年的60万吨¹³，总收入比玉米连作增加50%-70%。尼日利亚干旱稀树草原大豆单产增加且种植面积扩大，额外固氮产值达到每年4400万美元¹⁴。

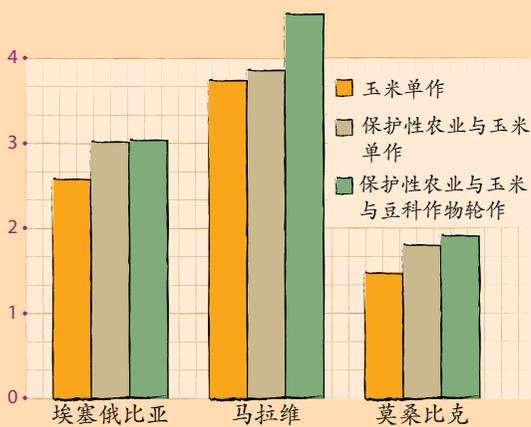
巴西通常将大豆与玉米轮作。在马托格罗索和巴拉那等南部各州，玉米是在早熟大豆覆盖物上种植的二茬作物；前茬作物可为玉米提供更多水分并减少土壤侵蚀。

轮作可在同一块田里收获两季作物，减轻有害生物压力，提高生产可持续性，增加农民收入，改善农民生计¹⁵。

玉米豆科植物复合系统的好处虽已广为人知，但依赖粮食作物实现家庭粮食安全的小农（特别是非洲小农）通常不愿意用半年或全年时间，在地里种植不可食用的豆科植物，尽管这会产长期效益¹⁶。由于轮作作物市场失灵、无法获得种子以及农民对风险心存担忧，这些系统在非洲的应用受到制约¹⁷。

政府可投资于小农玉米豆科植物复合系统开发，确保粮食安全，增加农民收入并改善土壤健康状况。由于绒毛藜豆等不可食用豆科植物

图 3.7 保护性农业和豆科作物轮作对玉米单产的影响 (吨/公顷)



资料来源：改编自第380页表1-3¹²



具有较高碳封存潜力，可利用气候变化缓解基金，鼓励小农采纳该系统。有较高碳封存潜力，可利用气候变化缓解基金，鼓励小农采纳该系统。

在单作条件下高产的玉米和豆科植物品种，通常在间作时也能实现

高产。但某些品种对玉米豆科植物复合系统的适应性较差。育种工作应发掘生产性互动，如茎秆强壮的玉米可承受更重的菜豆。通常，不同地点玉米豆科植物复合系统的表现也不尽相同。因此，应在农民农田中对该系统和变量进行广泛验证。

粗茎玉米品种可支撑更大重量的蔓菜豆

农业生态区：
季风水稻系统

主要谷物：
稻米

其它产品：
有鳍鱼类、甲壳类和蜗牛

8 · 稻米/水产养殖 亚洲

水稻田收益更丰

许多稻米种植者在稻田周围养鱼，生产食物、防治有害生物并为稻米作物施肥。成效：成本下降，单产提高，家庭营养得到改善

池水稻田不仅意味着一种作物，而是包含鸭、鱼、蛙、虾、蜗牛和数十种其他水生生物的充满生机的生态系统。数千年来，稻米种植者充分利用丰富的水生多样性，为家庭提供了一系列富含能量和营养的食物。

传统稻田养鱼农业生态系统提供了微量营养元素、蛋白质和必要脂肪酸，这些物质对妊娠妇女和儿童尤为重要¹。

20世纪60年代和70年代，政策鼓励种植现代高产稻米品种，农用化学品使用量相应增加，稻田养鱼

2010年稻田 水产养殖 (吨)

中国	1 200 000
印度尼西亚	92 000
泰国	21 000*
泰国	150
尼泊尔	45

* 2008年数据
资料来源：粮农组织，2012年。
《2012年世界渔业和水产养殖状况》。罗马。

传统农作系统逐渐消失，亚洲农业发生转变。但由于上述农业转变产生的社会和环境后果日益显现，人们开始重新重视稻田养鱼^{2, 3}。

主要稻田养鱼生产系统包括两类。最常见的是种养同步，即同时在同一块地上养鱼和种植稻米；较不常见的是种养轮流，即在不同时间生产稻米和养鱼。在该系统中，现代矮秆稻米和传统长秆稻米均可种植，且几乎所有重要淡水水产养殖鱼类和若干甲壳类均可养殖^{2, 4}。

亚洲稻米种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ





在中国，稻米种植者在宽100厘米深80厘米的沟渠中种稻；沟渠围绕和横穿稻田，约占稻田面积的20%。农民利用竹筛或竹网防止鱼类漏逃。传统稻田养鱼系统中，鱼类以杂草和作物加工副产品为食，更集约型生产通常需要投入商业饲料。妥善管理的一公顷稻田每年可产出225-750公斤有鳍鱼类或甲壳类，并能将稻米单产维持在7.5-9吨⁵。

不同植物和动物品种相结合可使稻田养鱼系统高产且富含营养。此外，植物与动物互动，能够提升生产可持续性。中国研究发现，稻田养鱼系统约可减少50%的稻米螟虫。一条鲤鱼每天可吃掉上千条金苹果螺幼虫；草鱼以导致稻瘟枯病的真菌为食²。

由于稻田养鱼系统水位比普通稻田高，更容易控制杂草。与使用除草剂或手动除草相比，鱼类可更有效地控制杂草²。稻田养鱼系统利用鱼类综合防治有害生物，可使单产等于或高于稻米单作，节约68%的农药，保护水质和生物多样性⁶。

稻田养鱼系统中，植物和动物互动也能提升土壤肥力。鱼饲料中的养分通过鱼类排泄物循环还田，立即为稻米所利用。中国、印度尼西亚和菲律宾报告指出，稻田养鱼农民的肥料支出更低²。

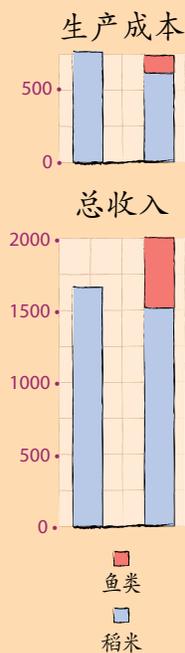
养鱼会占用稻米种植面积。但由于稻米产量增加，鱼类销售增收，肥料和农药减量，农民净回报高于稻米单作|图 3.8|²。养殖高价值水生生物种的稻米种植者，利润率或可比稻米单作高四倍⁶。

一公顷水稻田每年可产出高达750公斤鱼类和9吨稻米



从印度尼西亚稻田收获的蜗牛是当地佳肴

**图 3.8 稻田养鱼和
稻米单作经济要素，
印度尼西亚
(美元/公顷)**



资料来源：改编自第50页表15²

稻田养鱼还会给社区健康带来好处。鱼类以严重疾病媒介（特别是携带疟疾的蚊子）为食。中国田间调查发现，在稻田养鱼系统中，蚊子幼虫密度仅为稻米单作的三分之一。印度尼西亚某地区将鱼类纳入稻田后，疟疾流行性从16.5%下降到几乎为零²。

稻米种植与水产养殖相结合还可提高用水效率。然而，稻田养鱼需水量比稻米单作高26%左右²。因此，不建议供水有限的地区采用稻田养鱼系统。但据粮农组织估计，世界几乎90%的稻米种植区适宜养鱼和其他水生生物⁶。

过去20年，中国稻田水产养殖稳步发展；2010年，鱼类及其他水产动物产量达到120万吨⁶。印度尼西亚正迎来多样化生产新契机，农村地区传统食材淡水螺正成为城市消费者喜爱的健康食品⁴。印度尼西亚政府积极推动稻田养鱼系统复苏，并于近期启动了“百万公顷稻田养鱼计划”⁷。

尽管，稻田养鱼系统的社会、经济和环境效益显而易见，但该系统在中国以外其他地区的采纳率仍然偏低。在亚洲其他地区，稻田养鱼面积仅为总灌溉稻作面积的1%以上。有意思的是，在亚洲以外的马达加斯加，稻田养鱼面积占总稻作面积的比例最大，约为12%²。

稻田养鱼系统未能成为主流有很多原因，包括对稻田养鱼的好处缺乏了解，农民能够获得廉价农药以及小农获取信贷用于鱼类生产投资的途径有限²。由于制定相关政策需要多部门参与，这些问题难以解决。稻田养鱼系统需要由农业政策制定者和农艺师加以倡导，因为他们

认识到将水产养殖和稻作相结合带来的好处，可向稻作社区传递这一讯息。正如农业发展战略曾经推动了大规模稻米单作发展，现在同样可以利用农业发展战略推动集约但可持续发展的稻田养鱼生产系统。



9 · 玉米/林业 南部非洲

树木和灌木比肥料成本低

豆科树木和灌木与玉米同时种植,可提供优质富氮残茬,提升土壤肥力,增加单产,开辟新的收入来源

农业生态区:

热带雨育

主要谷物:

玉米

其它作物/产品:

肉类、奶类、饲料和薪柴

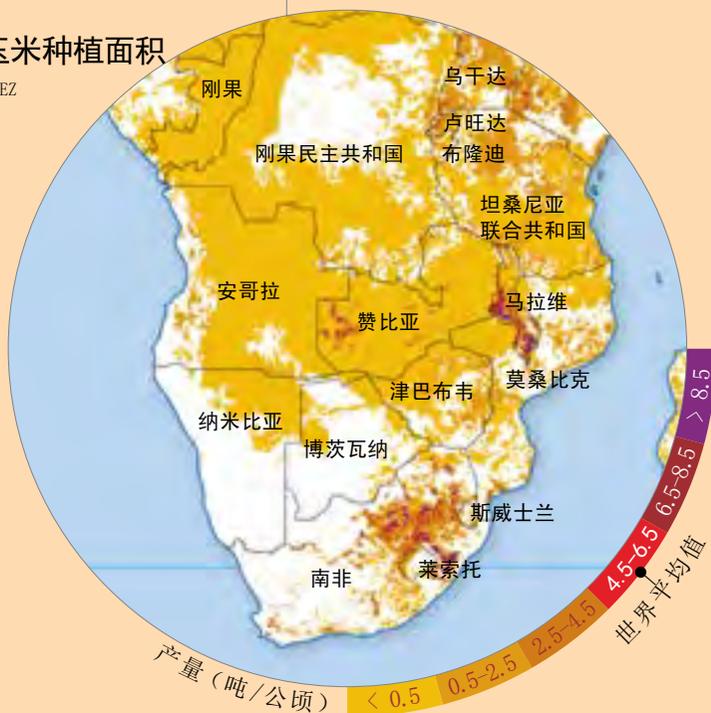
马拉维和赞比亚依赖玉米生产实现粮食安全。但两国玉米单产较低,平均仅为每公顷1.2吨。仅有四分之一赞比亚小农和五分之一马拉维小农能够种植足够的玉米,供在市场上销售。玉米几乎完全靠雨育种植,因此极易受降雨和温度波动影响,气候

变化可能使情况进一步恶化。2004-2005年马拉维大旱,使玉米平均单产下降到每公顷0.76吨,500万马拉维人(约占人口40%)需要粮食援助。

土壤肥力低是农民增加玉米产量面临的主要障碍。许多玉米种植者既买不起矿物肥料,也无法获得足够的有机肥料(如动物粪便)。

南部非洲玉米种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ



2013年前五大玉米生产国

(百万吨)

南非	12.37
坦桑尼亚 联合共和国	5.36
马拉维	3.64
赞比亚	2.53
莫桑比克	1.63

资料来源:粮农组织统计数据库

数十年精耕细作而未进行施肥几乎耗尽了土壤养分（特别是氮素）¹。

为解决该问题，赞比亚全国农民联盟探索将固氮树木纳入玉米生产系统²。最具前景的“候选树种”是白相思树，它是具有特别生长习性的非洲金合欢属树种。该树在早期雨

白相思树落叶可利用氮素和有机质滋养土壤

季处于休眠期，在大田作物定植时开始落叶，雨季结束时树叶才再次生长。可在无叶白相思树树冠下直接种植玉米；在玉米生长期间，白相思树不会与其争光、争养分或争水³。

树下腐烂的树叶使树下土壤有机物和氮素含量达到树冠以外土壤的两倍。土壤微生物活性和持水力也显著增加⁴。

多项研究发现，在白相思树下种植玉米可提高玉米单产；在土壤肥力较低地区，增产更加明显。在赞比亚，树冠以外玉米的平均单产为每公顷1.9吨，树冠以下玉米的平均单产为每公顷4.7吨|图 3.9|⁵；在马拉维，玉米与白相思树同时种植，可使玉米单产增加100%至400%¹。

两国都将白相思树作为保护性农业系统的一部分加以推广；该做法帮助小农提高玉米生产率并通过玉米销售增收。马拉维政府建议以长宽10米为网格，在每公顷土地上种植100颗树¹。

目前，赞比亚玉米与白相思树相结合的保护性农业面积达到30万公顷。约50万马拉维农民种植了白相思树。多数白相思树树丛仅需要农民简单地帮助树苗在土地上自然再生即可形成⁶。

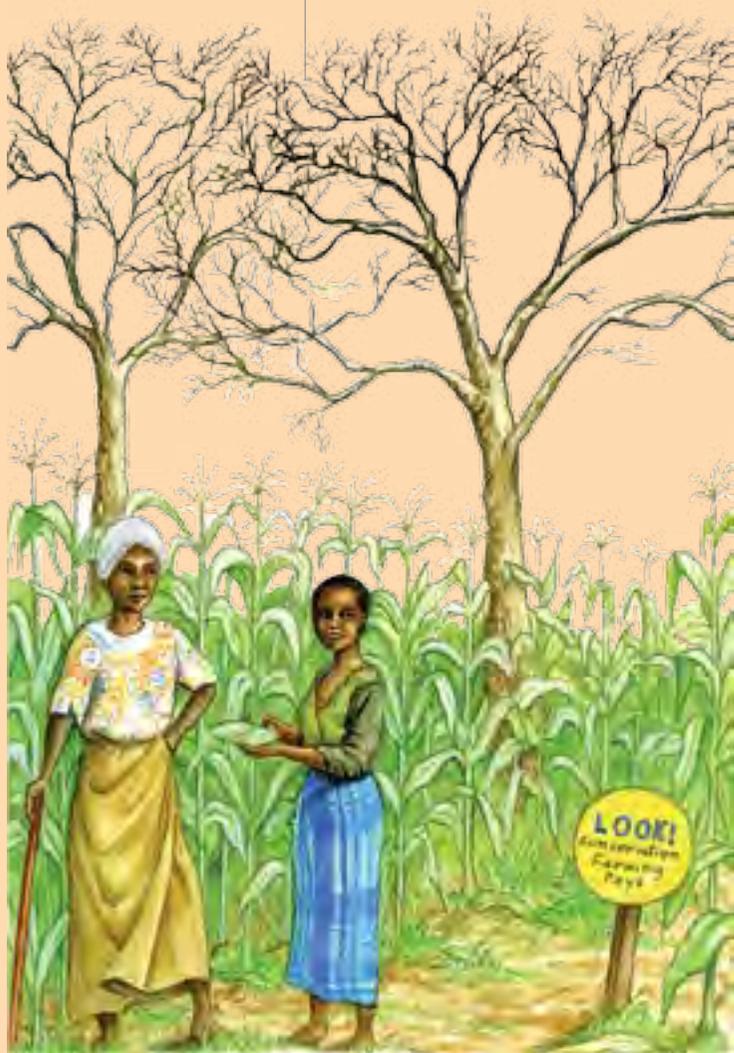
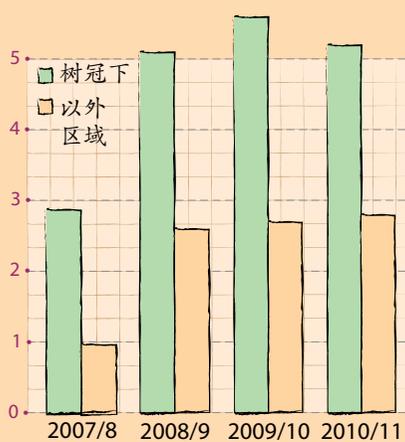


图 3.9 白相思树树冠下及以外区域玉米平均单产(吨/公顷)



资料来源: 改编自第11页图3⁵

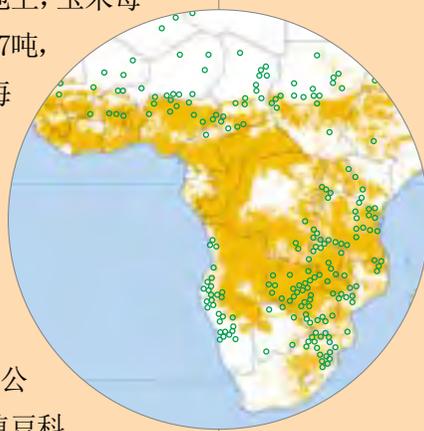
尽管白相思树是生长最快的金合欢属植物之一, 但并不能迅速解决土壤肥力低下问题。在针对300名赞比亚农民的调查中, 三分之一受访者表示, 单产在1-3年内增加; 43%受访者表示, 6年后才能看到生产效益⁶。

种植豆科矮林树种(如定植时间更短的南洋樱*Gliricidia sepium*)也能可持续地增加玉米产量。世界混农林业中心正在马拉维南部某些小农场推广一项系统, 让农民在玉米地中成行种植南洋樱, 每年修剪2-3次并将树叶混入土壤。为期十年的研究发现, 在未施肥的南洋樱

与玉米间作的土地上, 玉米每公顷平均单产为3.7吨, 收成好时可达每公顷5吨。在未种植南洋樱的未施肥土地上, 每公顷玉米单产仅为0.5-1.0吨¹。

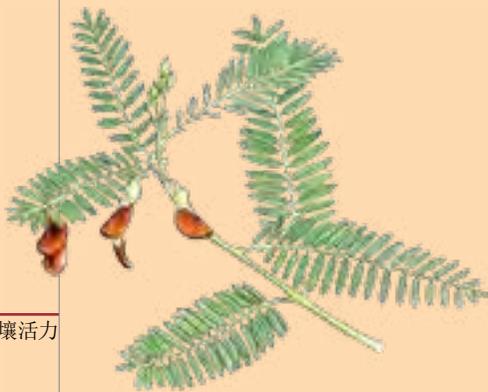
在面积超过1公顷的休耕田上种植豆科灌木(如印度田菁)也可恢复地力并增加玉米单产。豆科树木和灌木可为每公顷休耕2-3年的土地增加100-250公斤氮素。尽管每五年中有两年时间农田没有收获, 但玉米与固氮灌木和树木轮作, 总产量和投资回报更高¹。

在赞比亚东部地区, 研究发现, 农民在不施肥情况下种植玉米, 每公顷土地的平均净利润为130美元; 玉米与田菁属植物轮作时, 净利润为309美元; 玉米与南洋樱间作时, 净利润为327美元。就单位投资而言, 将树木纳入玉米种植系统, 比施用矿物肥料(有补贴或无补贴)的玉米连作回报更高⁷。该研究进一步证实, 在混农林业系统中生产玉米比仅利用矿物肥料更具社会效益和经济竞争力⁸。



FAO

○ 非洲玉米种植区白相思树分布情况



田菁属豆科灌木可恢复土壤活力并增加玉米单产

与富裕农民相比，
低收入农民接受
混农林业做法的
速度通常更快

采取混农林业做法帮助东部和南部非洲小农克服采取保护性农业的制约（缺少维持持续土壤覆盖的作物残茬）。由于多数非洲小农同时饲养牲畜，小农通常将作物残茬生物质用作动物饲料。在农场上种植树木后，小农有足够的生物质满足牲畜需求并提升玉米单产。

树木还为赞比亚农村家庭提供了燃料，农民引入田菁属植物，休耕后第二年，每公顷土地可收集15吨薪柴；休耕后第三年，每公顷土地可收集21吨薪柴¹。

混农林业可改进土壤结构和渗透水性，增加农场（特别是雨育农场）对于干旱和气候变化的抵御能力。此外，混农林业可在减缓气候变化方

面发挥重要作用。在种植树木的保护性农业系统中，每年每公顷土地可封存2-4吨碳；而在未种植树木的保护性农业系统中，每年每公顷土地仅可封存0.2-0.4吨碳。此外，通过增加玉米产量和薪柴供给，树木与玉米相结合的农作系统可减少毁林造田，而毁林造田是温室气体排放的主要来源。

在萨赫勒国家（如布基纳法索和尼日尔），混农林业增加了其他谷物（如小米和高粱）单产。通过进一步研究和农民参与，可向整个非洲更广泛的粮食种植系统推广种植树木的保护性农业做法¹。

混农林业无需大量资金投入。事实上，低收入农民通常可比更富裕农民更迅速地接受混农林业做法。尽管在玉米与林业系统最初转型阶段，需要更多劳动力投入，但农民一旦掌握了新做法即可节约农场劳动力。但将树木纳入作物生产，需要农民掌握很多知识。政策支持、持续研究和农民参与式农村咨询服务，对于长期大范围推广玉米、灌木和树木相结合的农作系统至关重要¹。

10 · 小麦 中亚

农民在哈萨克草原上不再翻耕土地

免耕、土壤覆盖及作物轮作可帮助许多国家扭转土地退化趋势并增加粮食产量。哈萨克斯坦小麦种植者在向全面保护性农业转型方面遥遥领先

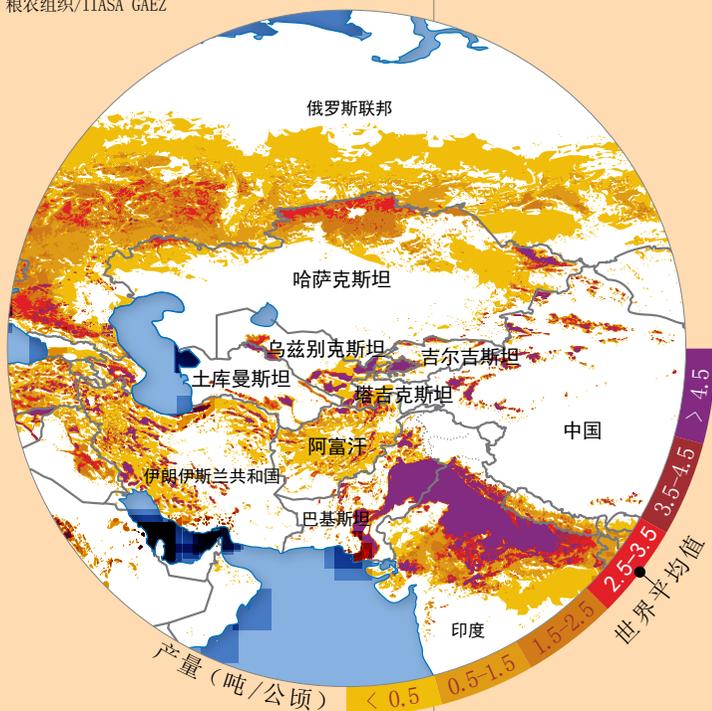
2012年春季，正值农民在哈萨克斯坦北部半干旱草原播种一年生小麦作物之际，该地区进入史上最严重干旱期。许多地区4-9月间滴雨未降。夏季日均温度甚至超出正常值几度¹。许多农民当年绝收；哈萨克斯坦小麦产量从2011年2300万吨，骤降至1000万吨以下²。

但有些农民并未遭受损失。他们就是数量日益增加的完全实行保护性农业的哈萨克小麦种植者。保护性农业做法包括免耕、作物残茬还田及作物轮作¹。这些做法增加了土壤有机碳含量，改善了土壤结构，促使冬季融雪进一步渗透并保持了水分³。因此，库斯塔奈省某些农民2012年单产达到每公顷2吨，几乎是近年来全国平均值的两倍¹。

哈萨克斯坦1900万公顷农田中，约有200万公顷实行了全面保护性农业。930万公顷农田实行少耕，使用窄

中亚小麦种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ



凿犁进行土壤浅层耕作|图 3.10|^{4,5}。

哈萨克斯坦北部小麦种植带广泛实行保护性农业是出于必要。作为世界主要优质小麦和面粉⁶生产国和出口国的哈萨克斯坦，可种植小麦

农业生态区：
温带大陆雨育和雪育

主要谷物：
小麦

其他作物：
燕麦、荞麦、高粱、油籽和
豆科植物

2013年前五大 小麦生产国 (百万吨)

哈萨克斯坦	13.94
乌兹别克斯坦	6.84
阿富汗	5.16
土库曼斯坦	1.25
塔吉克斯坦	0.92

资料来源：粮农组织统计数据库

图 3.10 实行不同耕作技术的作物面积变化, 哈萨克斯坦 (百万公顷)



资料来源：改编自第4页表2¹

的土地资源丰富；但小麦完全依赖降水，因此极易受土壤水分流失影响¹。

20世纪60年代，小麦种植者开始减少耕地作业以应对风蚀造成的严重水土流失。20世纪末，农民普遍实行少耕。2000年，国际玉米小麦改良中心、粮农组织与哈萨克斯坦科学家和农民共同发起计划，在哈萨克斯坦南部雨育农业区和田垄小麦灌溉种植区，推广保护性农业做法⁷。

北部地区试验显示，与土地翻耕相比，免耕法可使小麦单产增加25%，节约40%劳动力成本和70%燃料成本。试验还显示，在夏季种植燕麦（而不是让土地休耕）可带来好处。种植燕麦后，相同土地面积粮食总产量增加了37%，土壤侵蚀显著降低⁷。

目前，哈萨克斯坦是世界实行免耕的主要国家之一。完全免耕土地面积从2000年为零，增加至2008年的140万公顷⁸，由于规模在5万公顷以上的大型农业企业管理者努力增加产量并降低成本，这些企业实行免耕的比例很高，因此免耕土地面积增长迅速⁹。中小型农场也开始实行免耕；哈萨克斯坦人口稀疏，

中小型农场规模是500–2500公顷¹⁰。拥有肥沃黑土的农场实行免耕的比例更高，高回报为投资保护性农业机械提供了资本⁷。

免耕地区通常使用除草剂控制杂草¹¹。但许多农民发现，将免耕与永久土壤覆盖结合，有助于抑制杂草丛生。实施免耕可逐渐减少土壤中自然储存的杂草种子，残茬腐烂释放的腐殖酸可阻止种子发芽。实行免耕后头几年，通常需要增加除草剂使用；4–5年后，杂草丛生现象（以及除草剂用量）大幅减少⁵。

在哈萨克斯坦北部，保留作物残茬还可增加小麦作物供水量。该地区年降水量为250–350毫米，冬季降雪约占40%；风将雪吹走后，土壤表面裸露干燥。保留前茬小麦残茬可留住积雪，天气转暖后，融化的积雪可滋润土壤。这一方面使土壤含水量增加，另一方面还能缓解甚至彻底解决土壤侵蚀问题。农场研究发现，利用残茬留住积雪并结合免耕可增产58%⁹。

在采纳保护性农业第三支柱（多样化作物轮作）方面进展缓慢。多样化作物轮作可提高土地生产率并能更好地防治小麦病虫害。夏季北部草原植被覆盖时间较短，干旱年份较多¹²。



由于农民利用降水（有时较为丰富）种植燕麦、向日葵和双低油菜，夏季传统休耕土地面积逐渐缩小⁷。研究还显示，其他轮作作物具有较大潜力，包括大田豌豆、小扁豆、荞麦和亚麻¹³。

为期三年的研究发现，在5月底播种并在8月收获饲用高粱，不仅能提供饲料供销售或制作青贮，持久茬还能有效留住冬季积雪⁹。

保护性农业使哈萨克斯坦小麦年增产近200万吨，足够养活约500万人¹⁰。开发更适宜免耕且更适用于北部寒冷冬季及日益炎热夏季的高产小麦品种，可进一步增加产量。国际玉米小麦改良中心正在实施计划，探索这一可能性；在墨西哥，该计划

将哈萨克斯坦当地小麦品种与墨西哥、加拿大和美国品种杂交⁴。

保护性农业非常适宜中亚地区所有种植系统，包括哈萨克斯坦北部小麦种植带、乌兹别克斯坦和塔吉克斯坦小麦、稻米和棉花灌溉种植带。保护性农业通过减少侵蚀，打造健康土壤，帮助抗击荒漠化和土地退化；荒漠化和土地退化使所有中亚国家每年损失约25亿美元。保护性农业通过优化用水效率，对灌溉地区大有裨益；过度灌溉使吉尔吉斯共和国11%的灌溉土地、乌兹别克斯坦50%的灌溉土地和土库曼斯坦96%的灌溉土地受到盐碱化影响¹⁴。

哈萨克斯坦是世界领先优质小麦和面粉生产国和出口国之一

免耕以及残茬还田留住冬季积雪，可将小麦单产提高58%



哈萨克斯坦小麦种植者在免耕设备上投入2亿美元

多数中亚国家仍未制定保护性农业促进政策

近年来，整个地区的农民获得了对保护性农业信息，某些农民开始实施保护性农业做法。例如：乌兹别克斯坦农民在约60万公顷的直立棉花田里种植冬小麦。哈萨克斯坦农民在棉花刚刚收获的约5万公顷土地里直接播种冬小麦，尽可能减少对土壤的干扰⁵。近期粮农组织在阿塞拜疆开展试验，说服当地小农在1800公顷灌溉农田实行保护性农业¹⁵。

但在哈萨克斯坦北部地区以外，全面保护性农业的应用仍十分有限。甚至在哈萨克斯坦南部地区，由于缺少适宜的播种设备以及农民对保护性农业技术普遍缺乏认识，

免耕和灌溉田垄小麦种植的推广受到制约。多数中亚国家没有制定保护性农业促进政策。此外，由于农民不缴纳灌溉水费，因此采纳节水做法动力不足³。某些国家甚至对耕作加以规定，禁止农民将作物残茬留在农田上⁵。条播机虽已在乌兹别克斯坦成功完成测试，但并没有实现商业化生产¹¹。

中亚实现保护性农业转型，首先应提高所有利益相关方（包括农民、研究人员、推广人员和政策制定者）对保护性农业好处的认识¹⁴。政府可通过鼓励加强当地保护性农业设备制造能力，推动转型，特别是制造适应当地土壤和气候条件的播种机¹⁵。

许多国家政府可学习哈萨克斯坦的经验，制定推动保护性农业的国家政策，并将节水技术开发和传播作为农业研究第一要务。2011年，哈萨克斯坦为保护性农业设备提供高于常规技术3-4倍的补贴³。政府支持使哈萨克斯坦北部农民投入约2亿美元购置免耕机具¹⁶。

高产杂交品种帮助适应气候变化

许多稻米种植者转而在旱季种植玉米并使用节水增收的杂交品种。

聚焦：孟加拉国

农业生态区：
季风雨育和冬季灌溉

主要谷物：
稻米和玉米

其它作物/产品
蔬菜、马铃薯、豆科植物、
肉类和蛋类

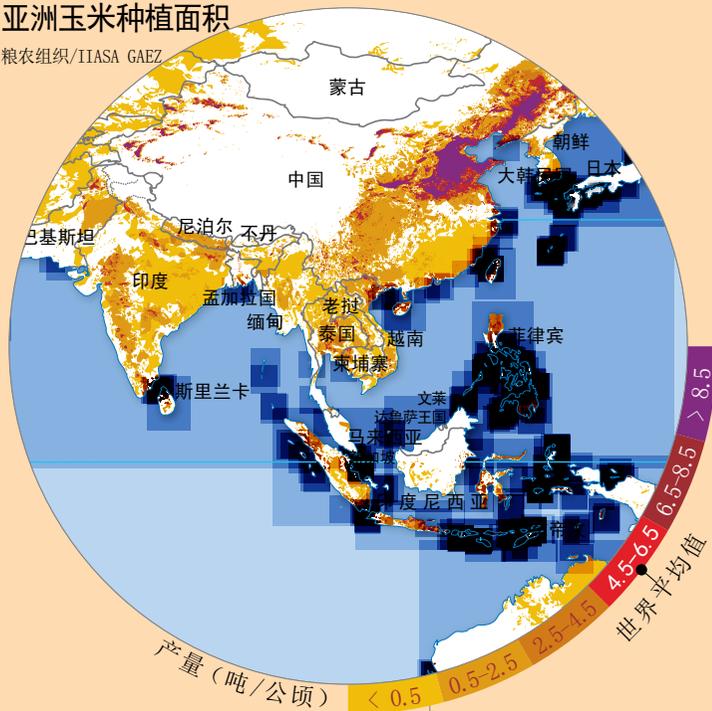
传统上，许多亚洲稻米种植者在季风时节种植稻米作物，在干旱冬季种植小麦或稻米，从而实现周年生产。而过去20年，由于玉米需求强劲，以及研究人员开发了适宜因水资源不足而无法开展稻米连作区域的杂交玉米品种，稻米与玉米轮作系统在整个亚洲迅速推广¹。

亚洲330多万公顷土地实行了稻米与玉米轮作系统；印度尼西亚（150万公顷）、印度（50万公顷）和尼泊尔（40万公顷）种植面积最大。最近，孟加拉国稻米与玉米轮作系统面积扩大势头最为强劲，农民开始种植饲用玉米支持蓬勃发展的国家家禽养殖业。2000年至2013年，玉米产量从仅1万吨增加至220万吨，种植面积从5000公顷扩大到32万公顷^{1,2}。

玉米在孟加拉国肥沃冲积土壤上生长良好，单产在该区域名列前

亚洲玉米种植面积

粮农组织/IIASA GAEZ



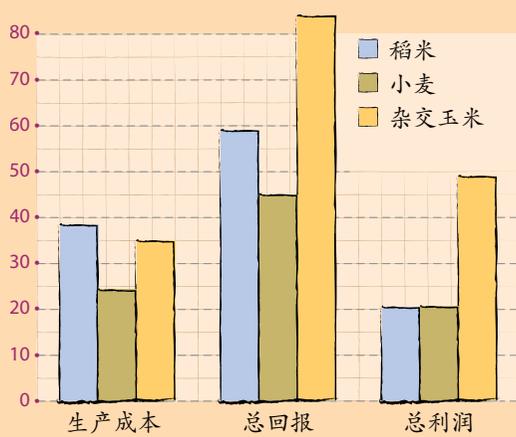
茅。农民在7-12月阿曼季风季节种植稻米，稻米作物收获后，在11-4月凉爽冬季伊始播种玉米。尽管冬玉米通常实行单作，但许多农民开始将冬玉米与马铃薯和早熟蔬菜（红苋菜、菠菜、萝卜、芜荬和菜豆等）间作。豌豆

2013年前五大玉米生产国 (百万吨)

中国	217.7
印度	23.3
印度尼西亚	18.5
菲律宾	7.4
越南	5.2

资料来源：粮农组织统计数据库

图 3.11 旱季稻米、小麦和杂交玉米生产经济要素，孟加拉国（千塔卡/公顷）



资料来源：改编自第41页表2³

也可与玉米间作，因为豌豆不与玉米争夺光照、养分或空间³。

农民通常使用养分需求量较大的高产杂交玉米。由于玉米实际生产成本高于其他传统冬季谷物，较贫困农民通常仅在一小块土地上种植玉米。但每公顷玉米总利润比小麦或稻米高2.4倍[图 3.11]，且玉米有害生物问题较少³。

纳入玉米的多样化种植还可成为适应气候变化的好战略，因为玉米更耐高温（高温日益成为小麦的难题）且需水量较少。在孟加拉国，生产1公斤玉米需要850升水，生产1公斤小麦需要1000升水，生产1公斤稻米需要3000多升水。玉米生产可减少用于灌溉的地下水开采，从而有

助于减少土壤砷污染；孟加拉国许多地区土壤砷污染严重³。

孟加拉国农民和农艺师注意到，在玉米作为旱季作物种植四年以上的土地上，粮食单产往往会下降。为确保稻米与玉米轮作系统可持续性，农民需要仔细把握每种作物种植和收获时间，完善水土管理并使用良种³。

稻米和玉米的土壤需求差异较大，很难把握玉米种植时间。阿



免耕田垄系统的稻米和玉米单产比常规耕作更高

曼稻米秧苗移栽通常在充分淹水的潮湿粘土中生长，而玉米在透气性好的壤土中生长最好³。因此，在稻米收获后为种植玉米而进行常规整地，通常需要悬挂在两轮拖拉机后的旋耕机进行3-5次作业。土地翻耕耗费大量时间、燃料和劳动力，且农民需要等待长达三周才能在足够干燥的稻田进行耕地作业⁴。而晚种玉米可使作物减产达22%。



■ 孟加拉国适宜玉米种植区

保护性农业做法使土地翻耕作业减少，而翻耕会延迟玉米种植。与非免耕作物相比，在免耕秸秆覆盖固定垄上定植稻米和玉米，可增加粮食单产并节约投入品。生产率提高，得益于土壤氮素含量增加和土壤条件普遍改善。在印度，研究发现固定垄与耕作土地相比，不仅增加了单产，还节约了38%的灌溉水⁴。在孟加拉国，在干旱的2-5月，浅管井往往干涸，节约用水至关重要³。

孟加拉国农业研究所和国际玉米小麦改良中心对最初为小麦研制的直播机加以调整，并在免耕玉米和稻米上加以推广。在孟加拉国西北部地区，农民利用这些播种机，

农民培训是可持续玉米生产得到迅速广泛采纳的关键

实现了与移栽稻类似的单产，但节约了水和人力，且能够提前两周收获作物³。

孟加拉国开展的研究对比了耕地和免耕系统的单产和利润率。在固定垄玉米种植中，稻米和玉米总产量为每公顷13.8吨，而翻耕土地总产量为12.5吨。固定垄稻米与玉米组合种植的年成本为每公顷1532美元，而常规耕作的年成本为每公顷1684美元⁴。

杂交玉米需要大量氮素才能获得高产。而孟加拉国用于生产尿素肥料的天然气储备有限且不可再生。解决土壤养分枯竭问题的可行方案是施用家禽粪便。孟加拉国家禽养殖业每年可生产约160万吨粪便，粪便资源日益丰富³。

使用家禽粪便，对通常施用的矿物肥料的25%进行替代，可获得较好的玉米收成。在玉米收获后种植绿豆等豆科植物，也可部分补充土壤氮素³。在热带季风气候下，夏季绿豆作物也可吸收残留氮素并防止硝酸盐污染地下水⁵。

种植短生长期稻米品种可使农民更早种植玉米。但短生长期稻米品种单产较低，农民通常不愿意为此牺牲主要粮食作物产量。因此，孟加拉国稻米研究所正在研制更高产且生长期更短的阿曼稻米品种。南亚可持续稻米与玉米组合种植的未来，也取决于成熟快且耐涝耐旱的高产玉米杂交品种的开发³。

孟加拉国玉米种植对许多农民而言仍是新领域；要使农民将玉米完全纳入种植系统，优化产量并改进土壤健康状况，仍需要时间。可持续玉米生产快速大规模应用的关键是培训农民精准把握播种时间并更有效地管理灌溉和矿物肥料^{6,7}。

国内玉米生产降低了孟加拉国的进口依赖。种植玉米也为农民提供了实现收入和膳食多样化的手段。许多农民并不把所有玉米收成卖掉，而是留下一部分用于饲养自养家禽，并在当地市场出售禽蛋和禽肉。玉米越来越多地用作食物，而不仅用作家禽饲料。随着小麦粉价格上涨，许多农民在薄煎饼中加入玉米粉⁸。



第四章

前进之路

小农户采用“节约与增长”
需要所有层面采取一致行动，
政府、国际组织、私营部门和
民间社会都需参与

第

三章所述“节约与增长”实践情况表明，适应特定农业生态和社会经济背景的资源节约型综合农作系统，可产生可观的社会、经济和环境效益。小农在保护自然资源、提升生态系统服务、适应和减缓气候变化影响的同时，提高了谷物产量和生产率、改善了生计和收入。“节约与增长”农作系统通常在缺水、土壤贫瘠和极端气候条件下最为有效。

作为当务之急，需通过“节约与增长”加强可持续作物生产集约化，才能应对威胁世界环境、社会经济发展和长期粮食安全的“前所未有的叠加压力”。

如今，近8亿人长期忍受饥饿¹，20亿人微量营养素缺乏²。农业活动正在消耗粮食安全所依赖的自然资源。从全球来看，由于有机物损失、森林砍伐、养分枯竭和侵蚀，所有农田的三分之一中度和高度退化³。农业在世界淡水提取量中所占份额面临激烈竞争：到2025年，世界三分之二人口可能处于缺水状态⁴。约75%的作物生物多样性丧失，其余正面临风险；主要作物品种基因基础日趋薄弱，易受气候变化的影响⁵。

“叠加压力”带来的影响并不一致。某些国家和社区受到的影响更大，特别是世界至少70%贫困人口所居住的发展中国家农村地区⁶。贫困本身是导致自然资源退化的主要原因。适耕土地的分布情况也对最迫切需要提高产量的国家不利³。

我们所面临的挑战是，满足当今对粮食和其他农产品高于以往任何时候的需求量，同时保护自然资源，不损害子孙后代满足其自身需要的能力。这不仅关系到全球粮食安全，还关系到全球和平和稳定的前景。

实现可持续性转型（确保世界粮食安全，提供经济和社会机会，减缓气候变化并保护自然资源和生态系统服务）需要从根本上改变粮食和农业治理⁷。为此，要平衡人与自然系统的需要，平衡多项农业目标，平衡农业与其他部门的关系。

因此，需要切实评估实现转型的全部成本，包括评估是否需要制定有利政策和机制；还应认真树立因地制宜的综合农作系统的目标。实现可持续性，需要营造有利政策、法律和体制环境，合理平衡私营和公共部门举措并确保问责、公平、透明及法治⁸。

汲取的部分经验教训

首先回顾一下从第三章所述“节约与增长”农作系统中汲取的部分经验教训，目的是明确行为体、推动持续采取以生态系统为基础的谷物生产方式的政策和体制措施以及阻碍进展的制约因素。

国家和国际组织在发展可持续农作系统方面发挥了重要作用。例如：粮农组织在哈萨克斯坦推动引进保护性农业做法，在越南支持为农民提供稻米集约化培训。印度河恒河平原保护性农业得到国际农业研究磋商组织生态区域计划和四个国家的国家研究所的支持。相似的长期伙伴关系为中美洲和南部非洲玉米混农林业系统的发展提供了资金、研究和技术咨询。

农民和农民组织通常牵头以生态系统为基础的生产创新。在洪都拉斯，小农率先采用了修剪枝叶还田覆盖玉米生产系统，周边国家也纷纷效仿。农民在稻米集约化系统中引入了保护性农业做法（如免耕）。在印度，农民对小麦适用了最初为稻米开发的氮素管理工具；在肯尼亚，农民采取“驱诱结合”有害生物综合防治系统，种植菜豆并为牲畜提供饲料。

各级政府支持是扩大可持续作物生产的关键。由于哈萨克斯坦制定了国家保护性农业促进政策，因此成为世界上实行免耕的主要国家之一。在粮农组织的支持下，印度尼西亚政府启动了“百万公顷稻田养鱼计划”，该计划将对营养和农村发展做出重要贡献。巴西各州政府为推广免耕玉米种植系统提供了资金；印度各邦政府支持提供小麦免耕设备。

在某些国家，私营部门也是更可持续和更具生产力的农作系统的主要推动力。在印度，当地工厂制造免耕播种机，私营合同商提供激光辅助整地服务。在哈萨克斯坦，农民可从农机具经销商方便获取保护性农业设备，如拖拉机牵引播种机。巴西、中国和印度正通过公私伙伴关系完善种子供应。

与此同时，采取可持续作物生产集约化还面临诸多制约。在中亚，尽管保护性农业可提高谷物产量，但该地区多数政府没有出台促进政策，普遍不具备适当设备，而且对农民提高水资源生产率的激励不足。

尽管“驱诱结合”有害生物综合防治给东部非洲产量、收入和可持续性带来积极影响，但由于土地权属无保障，挫伤了农民投资积极性，使该做法的推广受到制约。引入豆科作物将帮助非洲撒哈拉以南地区提高玉米单产，改进土壤健康状况；但农民缺少种子，产品也无法进入赢利市场。

许多政府继续为农药和矿物肥料提供价格补贴，使经济比较优势对更具可持续性的系统不利。这些系统包括利用鱼类控制杂草和害虫的稻米和水产养殖综合生产系统以及利用天然氮素的谷物与豆科植物系统。私营部门通常对可持续技术开发投资不足，且往往大力反对推动有害生物综合防治措施。

采取“节约与增长”做法的重要前提是这些做法适用于特定农业生态和社会经济条件，包括劳动力供给情况。劳动力成本等已成为阻碍某些地区广泛推广稻米集约化系统的制约因素。

另一项主要制约因素是向可持续生产做法转型和恢复生态系统服务见效慢。在哈萨克斯坦，采取免耕和作物残茬还田后4-5年内，小麦田杂草问题才能逐渐缓解。在赞比亚，农民种植玉米和白相思树6年后才能见效。这说明需要长期、强有力的体制承诺（不仅是提供资金），支持向“节约与增长”转型^{9、10}。

向“节约与增长”转型：十项建议

根 据从第三章所述“节约与增长”农作系统以及发展中世界正在采取的其他以生态系统为基础的方法中汲取的经验教训，提出以下十项行动建议，供向可持续玉米、稻米和小麦集约化生产转型的国家考虑。

1 在结构转型中推动“节约与增长”

政策制定者在管理可持续农业转型（以及更大范围经济和社会结构转型）过程中面临的关键挑战是建立和加强机构及伙伴关系并采取一致行动。各国应建立多部门政策框架，在自然资源管理、城镇化政策、公共投资模式、减少粮食浪费、转而选择更可持续的膳食以及在农村地区创造非农就业的框架下，谋划农业和农业发展。

在这一可持续性愿景中，“节约与增长”成为全球“绿色经济”转型的组成部分。“绿色经济”旨在改善人类福祉和社会公平，同时显著降低环境风险，缓解生态匮乏并减缓气候变化。绿色农业预计将实现农业增产和农民增收，为社会、经济和环境领域带来其他积极效益并实现协同增效，如改善营养，减少对粮食进口的依赖并减轻环境污染¹¹。该方法将需要各政府部门加强合作与融合，确保部门政策和计划相互协调^{12、13}。

许多发展中国家不具备实现“节约与增长”转型所必需的机构（包括农业教育、研究、推广、政策制定以及种子生产和认证机构），即使具备也较为薄弱。因此必须建立或加强相关机构。在多数国家，部委和国家机构往往未对影响农业生产率和可持续性的行动加以协调。事实上，部委和国家机构的政策和行动经常相互矛盾。

在推动可持续作物生产方面发挥重要作用的部委（如农业、畜牧业、环境、自然资源、林业、渔业、食品加工和营销以及劳动力相关部委）应统一战略和行动，使效益和影响最大化。政策制定者还必须

建立和加强相关能力，分析和平衡农业各部门之间以及常常是作物分部门内部的权衡选择。

许多非政府机构也参与谷物生产、加工和营销。民间社会组织是包括农民、农业工人、无地者、妇女、青年和土著居民在内的广泛成员的代表。民间社会组织能够接触到社会最脆弱群体，并在政策对话以及计划和项目设计中纳入该群体的关切。民间社会组织（包括小农社会运动）与区域和全球层面政府和其他行为体成功进行了对话，为新治理模式的建立做出了贡献。这些组织应成为多方利益相关者国家对话的组成部分，并全面参与公共政策规划和实施。

私营部门（包括农民组织、中小企业、跨国公司和私募基金会）也是重要伙伴。由于农业是私营企业的核心活动，农业部门可通过负责任、有成效的投资和就业创造，支持小农农业举措。

应当加强民间社会组织与私营部门的伙伴关系，以及民间社会组织与国家机构的伙伴关系，一致推动高效落实“节约与增长”。为实现效益最大化，应与主要利益相关方协商制定国家发展计划，采取参与式方法，确保各方支持和承诺，推动统一行动。

2 制定政策，推动农民采取“节约与增长”模式

政策制定者可发挥关键作用，为可持续作物生产集约化创造有利环境。政策制定者应为开展适当研究和推广，获取信贷，进入投入品/产品市场，加强整个玉米、稻米和小麦价值链利益相关方的能力建设提供支持。政策制定者应加强轮作作物、畜产品和林产品市场，激励农民实现生产系统多样化⁵。及时获得肥料，可始终对作物单产产生重大积极影响，而供应和便利获取适合当地条件的良种可推动多样化生产^{14、15}。

适当政策和投资可减少农民在“节约与增长”转型中面临的风险¹⁶，包括为服务于农村地区以支持可持续农业的金融机构提供税收减免；

制定农业保险政策；提供缓解风险并增强抵御能力的社会保护；提供环境服务补偿；为农业研发和推广提供公共资金¹⁷。

“节约与增长”模式的应用将对环境产生积极影响，应予以认可和奖励。尽管农业环境服务补偿相对而言仍是新鲜事物，但近年来针对该专题已开展了大量工作。例如：中国正在将资源节约型农作系统与气候变化减缓供资挂钩。在粮农组织的支持下，越南正在制定环境服务补偿供资战略¹³。

各国政府可通过机构采购计划，改进弱势群体粮食和营养安全状况，并将作为供应商的小农纳入市场。得益于管理培训、投入品大宗采购和集体营销，肯尼亚某些小农组织能够在为世界粮食计划署供应玉米的招标中与更大型企业竞争¹⁸。设计合理的社会保护计划，可刺激小农开展粮食生产，使消费者和生产者实现双赢^{19、20}。例如：2013年，巴西向95000名家庭农民采购了约27万吨粮食，免费提供给粮食无保障人口和巴西社会援助网络²¹。

政策可能还需要解决农村地区劳动力短缺问题。通过农业使人们脱贫，除提高单产外，还应增加劳动力回报。如果农民获得的回报与其他部门相比无竞争力，则农民不会采取“节约与增长”做法。“节约与增长”转型的成功，取决于能够加强环境、经济和社会可持续性，减少风险并节约劳动力的种种技术和政策¹³。

各国可能还需要审视当前农业支持计划，取消助长有害做法（如过度使用肥料、农药和水以及导致生物多样性进一步损失的毁林）的“不当补贴”，为采取可持续做法提供激励。

3 增加农业投资

粮农组织呼吁制定新的农业投资战略，将各级公共资源重点用于提供公共产品，并鼓励农民对可持续集约化进行投资。农民已成为最大农业投资者。但由于缺少良好治理、合理激励和必要公共产品，农民投资力度不够，且通常不会投资于可持续生产系统^{17、22}。

政府和发展伙伴投资，如能合理着眼于可持续地提升农业生产率并增加农民回报，则可成为促进经济增长和减贫、粮食和营养安全以及环境可持续性的重要手段。在农村基础设施、信贷服务、教育、推广和培训以及小农研发方面进行投资，有助于增加粮食供给，提升农业市场效率¹⁷。

道路、冷链、加工、包装、存储和营销领域亟需投资，以便减少约占全球产量三分之一的粮食损失和浪费。从长期来看，与投入品补贴等其他支出相比，上述投资将在生产率和经济增长方面产生更高回报¹⁷。

实现“节约与增长”转型，可能需要政府为打造扶持性环境大力投资，需要农民采取需要若干年才能获得积极回报的做法。由于气候变化加速，农民日益面临风险；因此亟需制定更加重视风险管理的投资战略^{9、10、14}。

4 确立和保护农民的自然资源权利

实现向“节约与增长”的转型，还应采取行动，保护和加强小农对自然资源（特别是土地、水和农业生物多样性）的获取。世界大部分地区土地权属安排薄弱且不平等，可能导致土地被征用，人们流离失所或遭到驱逐²³。权属权利明确，是促进公平获取和可持续管理生产性资源的必要条件。只有当农民能够在足够长的时间内从自然资本增值中获益时，才会采取“节约与增长”做法⁷。

而农民权利通常界定不清、相互重叠或未正式确定。完善农民土地权和用水权，是推动采取可持续作物生产的主要激励机制，对越来越多地制定生产决策的女性而言尤其如此。在许多发展中国家，土地权属计划重点关注土地权利的正式确立和私有化，但较少关注约定俗成的集体权属系统。政府应更多认可这些约定俗成的集体权属系统，因为越来越多的证据表明，这些系统在提供一定保障的同时，能够有效激励投资⁵。

政府及发展伙伴应在促进可持续作物生产相关政策和战略中，酌情采纳世界粮食安全委员会制定的《国家粮食安全范围内土地、渔业及森林权属负责任治理自愿准则》²⁴。该《准则》是与获取和权属权利相关立法和政策制定的权威参考，为投资者和开发者提供了明确的最佳做法指南，为民间社会组织提供了其代表农村社区开展工作的基准。

其他重要准则包括：由世界粮食安全委员会制定的《农业和粮食系统负责任投资原则》²²，以及2009年粮农组织、国际农业发展基金会、联合国贸发会议和世界银行共同制定的《尊重权利、生计和资源的负责任农业投资原则》²⁵。

生物多样性获取和可持续利用也是“节约与增长”不可或缺的内容。农民不仅需要获取农作系统多样化所需的一系列物种，还需要获取物种的改良遗传资源，以便减少投入，增加产出，应对气候变化挑战。各国应加强生物多样性保护和可持续利用计划，与生物多样性公约、粮食和农业植物遗传资源国际条约以及粮食和农业遗传资源委员会等国际文书合作，与国际农业研究磋商组织各中心密切配合。

5 提高价值链和市场效率

高效价值链是实现粮食安全、减贫以及粮食和农业系统可持续性的关键。为实现经济、社会和环境可持续性，价值链应创造附加值，增加收入，推动更公平的利益分配，减轻全价值链生态足迹²⁶。

可持续食品价值链以各利益相关方（包括小农、农业企业、政府和民间社会）开展合作为基础。最初，食品价值链发展应重点关注提高效率（包括减少产后损失），降低粮价，扩大粮食供给，使家庭能够买到更多食品。不断变化的消费者需求，成为创新和价值创造的核心驱动力，且能不断完善粮食供给，使消费者获得更多好处²⁶。

各国政府可支持“包容性业务模式”，建立法律框架，确定订单农业最佳做法等。在坦桑尼亚联合共和国，稻米需求量猛增，小农和大规模私营稻米种植者正通过承包种植开展合作²⁷。然而，减少非洲撒

哈拉以南地区对进口稻米的依赖，需要在质量和数量上同时提升。近期研究发现，非洲城镇消费者“愿意”为经过品种改良和精深加工的国内优质稻米“付钱”²⁸。

促进和支持小农合作的法律和机构环境，将使小农在购买投入品、加工、运输和销售产品方面发挥规模经济优势⁷。此外，还可实施认证计划，奖励采取可持续生产系统的生产者，促进小农产品营销。

6 增加农业研发支持

农业研发载体已从公共部门转移至国家和跨国私营部门。随着私营投资增加，世界近半数低收入国家削减了公共研发投入²⁹。私营部门往往关注商品和短期利润³⁰，且在多数情况下推广依赖外部投入品而忽视可持续性的技术（如化学有害生物防治）³¹。

应在自然资源管理相关领域实施长期公共部门倡议，包括开展土壤、水、遗传资源和可持续性相关研究³⁰。许多政府将需要维持或加强研究能力。这不仅包括投资研究设施和设备，还应确保科学能力与时俱进，足以解决农业领域特别是小农部门的政策和技术需要。

多数发展中国家在生物技术、建模和预测方面研究能力尤其薄弱。卫星遥感和现代电信技术是迅速有效地适应不断变化的农业需求和日益严峻的气候变化影响的必要手段。

为制定农民感兴趣的技术方案，并以科学为基础开展创新，应以农民传统知识为基础。研究应解决偏远农业区的需求，通过提高农业生产率，改进自然资源养护，帮助实现谷物种植系统多样化，生产更高价值产品，为小农造福。

研究必须与推广及其他知识来源更密切挂钩。加强部署和实施能力，将支持“节约与增长”农作系统的进一步发展，支持小农采纳该系统。国际农业研究组织和供资机构可发挥重要作用，支持各国开展工作。

7 推动技术创新

小规模谷物种植者是确保从家庭至全球各层面粮食和营养安全的先锋。这些种植者将需要获取开展可持续作物生产集约化所需的全套技术。例如：

机械化。保护性农业需要与各水平技术相适应的农机具。巴西蓬勃发展的国内产业，制造出了适应不同土壤、气候和农作系统的保护性农业设备³²。某些技术已推广至非洲和亚洲，当地制造商能够制造出手动和畜力免耕播种机以及拖拉机牵引直播机^{33、34}。政府应采取推广保护性农业和其他可持续做法的战略，明确私营部门在制造、流通、服务和维修方面的职责以及公共部门在研究、能力建设和支持企业发展方面的职责^{35、36}。

新作物和新品种。加速开发改良作物品种是应对未来挑战的关键，对小农而言尤其如此。作物多样性是农业系统多样性的基础，且可增强对气候变化和其他胁迫的抵御能力。分子标记等植物育种新方法，可改进作物单产、养分含量和病虫害抗性，并减少新品种开发上市所需时间³⁷。高产杂交玉米对小农农作系统日益重要，杂交稻米和小麦将越来越普遍。作物育种应实现间作作物遗传改良，解决作为动物饲料的谷物植物残茬营养性问题。支持农民品种农场保存和品质提升至关重要。

节约用水。灌溉玉米、稻米和小麦主要种植者现在或很快将无法获取维持人均粮食产量所需的足够农业用水。使用更节水的作物品种、采取节水做法（如免耕和覆盖作物）、加大节水技术（如整地、滴灌和集雨）投资，将对在气候变化背景下开展生产至关重要。埃及、印度和墨西哥在灌溉田垄上种植稻米和小麦，显著提升了用水效率和单产。田垄系统还可提高水生产率，大幅提高雨育玉米单产。合理确定水的价值和价格，可使改良灌溉技术更好地发挥作用³⁸。应保护小农的用水权和土地权。

创新肥料。过去50年，肥料研发投入几乎为零。以植物生理和土壤过程（而不是化学性）为起点，改进养分“包装”和“输送”的战略，可促进植物快速吸收养分。创新肥料（关注滋养作物而不是土壤）将带来多重好处，包括增加谷物中多种养分含量，恢复土壤肥力，增加系统抵御能力和可持续性。优质氮肥可减少环境中一氧化二氮排放量，进而保护生态系统健康³⁹。

有害生物综合防治。由于害虫、杂草和疾病不断演变且易于携带至新地点，因此要应对谷物生产新挑战，需要不断开发有害生物综合防治技术。近期创新包括：通过育种恢复玉米根系天然驱虫能力；从楝树种子提取的生物杀虫剂可消灭稻米作物上的褐飞虱；真菌和线虫可有效防治麦茎蜂^{31、40}。有害生物综合防治创新，需要强有力的政策支持，需要农民通过田间学校积极参与。

完善产后管理。在小农生产系统中，有害生物和啮齿类动物导致的产后粮食损失巨大。在湿润气候下，干燥设备对控制真菌疾病风险尤为重要⁴¹。对传统产后系统开展分析，可找到差距并提供适当解决方案。在阿富汗，利用金属谷仓替代泥质谷仓，帮助约76000名农民将产后损失从20%降低至不足2%⁴²。粮农组织在非洲推广了能够满足遭受旱灾和涝灾小农需求的粮食仓储管理做法，包括简单湿度测量和有害生物非化学防治⁴³。

新一代技术。国际水稻研究所开发的智能电话“稻米作物管家”，可根据当地条件提供作物和养分管理建议，并将建议通过短信息发送给农民。这些建议使每公顷土地增产0.4吨，使农民每公顷增收100美元⁴⁴。非洲撒哈拉以南地区移动电话广泛普及，可以此为契机，将研究人员与农民、农民与市场联系起来。目前可为小农所利用的创新成本较低，通过合作社或雇佣服务机构提供的创新成本更低。相关创新包括：激光辅助整地、帮助确定矿物肥料施用时间的叶色卡、检测植物氮素缺乏和确定谷物残茬中养分含量的电子感应器。但提出建议前，应对相关创新可能产生的社会、经济和环境影晌进行评估。

8 改善与农民的沟通, 帮助加强农民能力建设

农民对在集约化作物生产中使用外部投入品十分了解, 而对农业生态和资源节约技术知之甚少⁴⁵。农民对以生态系统为基础的方法以及使这些方法适用于特定农业生态和社会经济条件的相关信息缺乏了解, 是“节约与增长”成功推广的主要障碍。

可持续作物生产集约化往往需要更多知识和管理。因此, 支持农民提升能力, 认识生态系统功能, 加强传统知识, 找到并适用适当做法和技术至关重要。

农业推广、培训和教育应更加重视综合生产系统。各层面学习都应更加重视综合生产系统, 确保所有利益相关方更好地获悉可持续作物生产, 了解通过“节约与增长”切实开展可持续作物生产的原则。

支持“节约与增长”的咨询服务部门, 将需要与农民组织和网络密切配合, 并在公私伙伴关系中开展合作。参与式方法可帮助生产者及其顾问, 分享农作系统管理经验、知识和技能。例如: 农民田间学校为试验和农民之间沟通交流提供了平台。由于妇女是许多国家发展农业的主力军, 因此应将妇女作为培训和推广服务的重点, 并满足妇女在性别平等、可持续生计和资源获取方面的更广泛需求。

应将支持能力建设、教育和培训视为更大范围社会资本发展工作的一部分。社会资本是指社会契约、规则、规范和制裁所产生的价值, 社会资本使农业社区有信心投资于集体行动, 并减少其擅自采取的导致自然资源退化等负面影响的行动⁴⁶。例如: 有害生物综合防治是知识密集型工作, 农民田间学校和其他参与式知识分享, 可帮助建立社会资本以及人力和自然资本³¹。

9 加强种子系统

“节约与增长”农作系统需要更高产、更具抵御能力、更能适应以生态系统为基础生产做法，以及更能有效利用投入品的品种。为确保小农获取良种，需要加强国家种子系统。

由于法规框架薄弱、缺少资金以及技术和管理能力有限，许多发展中国家不具备有效的种子系统。尽管人们有时认为，种子供应是私营部门的工作，但私营部门通常仅生产和销售能够使其获得最大利润的作物种子和品种，忽视了许多对粮食安全、小农生产力和可持续性至关重要的作物和品种。

应通过能力建设、快速品种审批、加速种子繁育以及支持农场种子保存和社区种子库等措施，加强国家种子系统。还应加强公共能力，鼓励私营部门投资，让民间社会组织和农民参与制定和实施国家种子政策^{5、47}。

在小麦种子部门，提高种子生产速度的机制，应酌情包括早期品种预发售和淡季繁育。如不提升效率，脆弱“超级品种”占据主导地位的情况将愈演愈烈⁴⁸。这同样也应适用于稻米。

杂交玉米种子通常由私营部门生产和销售，而开放授粉品种种子通常由非政府组织和社区组织生产和销售。巴西、中国和国际玉米小麦改良中心率先建立了某些创新公私伙伴关系。具体包括为私营部门提供杂交种子生产和销售所需的改良玉米品系，换取资金或其他研究支持。而针对主要由小农种植的开放授粉玉米品种种子的生产和销售，目前未开展有效合作。

承认非正规种子部门潜力和妇女所发挥重要作用的参与式方法，可加强三大作物种子系统。在非洲撒哈拉以南地区，社区种子生产者（许多为妇女）开展优质玉米品种种子繁育；在西非，生产者每年可生产多达20吨种子。在服务供给不到位的农村地区，推广该方法将是逐步实现种子自给的重要步骤。

10 与国际组织、文书及机制合作

各国应利用全球、区域和分区域组织、文书及机制，高效实施“节约与增长”做法。粮农组织在支持各国制定可持续谷物生产集约化相关政策和战略以及技术开发方面，具备独特专长和丰富经验。设在粮农组织的粮食和农业植物遗传资源国际条约、国际植物保护公约、鹿特丹公约等国际文书以及世界粮食安全委员会为各国搭建了一个分享经验和加强合作的平台。

* 例如：美洲农业合作研究所 (IICA) 和拉丁美洲区域农业技术基金 (FONTAGRO)；亚太农业研究机构联合会 (APAARI)；非洲发展新伙伴关系 (NEPAD)、东中部非洲加强农业研究协会 (ASARECA)、南部非洲农业研究合作中心 (SACCAR) 和中西部非洲农业研究与发展理事会 (CORAF)

其他在玉米、稻米和小麦方面具有影响力的全球组织包括国际农业研究磋商组织若干中心、国际原子能机构、经合组织、联合国贸发会议、联合国经济及社会事务部、联合国环境规划署和世界银行。许多区域和分区域组织*也通过提供技术、能力建设、加强信息交流和贸易促进，为可持续农业生产提供宝贵支持。许多发展中国家在实施可持续粮食和农业方面拥有大量经验，为加强南南合作提供了机会。

推广“节约与增长”及其以生态系统为基础的作物生产集约化方法没有单一蓝图。不存在能够改进各景观和各区域谷物生产的社会、经济和环境表现的神奇种子或技术。“节约与增长”代表着从单一作物生产模式向知识密集型且通常因地制宜的农作系统的大转型。因此，“节约与增长”模式的应用需要时间，需要增加对农民的支持，需要对加强国家计划做出强有力承诺^{9、10}。

“节约与增长”模式的广泛采纳，需要各层面齐心协力，需要政府、国际组织、民间社会和私营部门积极参与。挑战巨大，回报巨大。“节约与增长”将有助于推动全球向可持续粮食和农业转型，建设一个人人向往的没有饥饿的世界。

参考文献

第一章 谷物与人类：古老纽带复兴时机来临

1. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Production (available at <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>).
2. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Food balance (available at http://faostat3.fao.org/download/FB/*E).
3. United States Department of Agriculture. 2015. *World agricultural supply and demand estimates, January 2015*. Washington, DC.
4. Murphy, D. 2007. *People, plants and genes: the story of crops and humanity*. Oxford, UK, Oxford University Press.
5. Molina, J., Sikora, M., Garud, N., Flowers, J., Rubinstein, S., Reynolds, A., Huang, P., Jackson, S., Schaal, B., Bustamante, C., Boyko, A. & Purugganan, M. 2011. Molecular evidence for a single evolutionary origin of domesticated rice. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 108: 8351–8356.
6. Wang, M., Yu, Y., Haberer, G., Marri, P.R., Fan, C., Goicoechea, J.L., Zuccolo, A., Song, X., Kudrna, D., Ammiraju, J.S.S., Cossu, R.M., Maldonado, C., Chen, J., Lee, S., Sisneros, N., de Baynast, K., Golsner, W., Wissotski, M., Kim, W., Sanchez, P., Ndjiondjop, M.-N., Sanni, K., Long, M., Carney, J., Panaud, O., Wicker, T., Machado, C.A., Chen, M., Mayer, K.F.X., Rounsley, S. & Wing, R.A. 2014. The genome sequence of African rice (*Oryza glaberrima*) and evidence for independent domestication. *Nature Genetics* 46, 982–988.
7. Landon, A.J. 2008. The 'How' of the Three Sisters: The Origins of Agriculture in Mesoamerica and the Human Niche. *Nebraska Anthropologist* 23. Paper 40. Lincoln (USA), University of Nebraska-Lincoln.
8. Leakey, R. & Lewin, R. 1977. *Origins: the emergence and evolution of our species and its possible future*. London, Macdonald James Publishers.
9. Wolman, M.G. 1993. Population, land use and environment: A long history. In C. Jolly & B. Boyle Torrey, eds. *Population and land use in developing countries: Report of a workshop*. Washington, DC, The National Academies Press.
10. Burns, T.S. 1994. *Barbarians within the gates of Rome*. Indianapolis (USA), Indiana University Press.
11. Brewbaker, J. 1979. Diseases of maize in the wet lowland tropics and the collapse of the Classic Maya civilization. *Economic Botany*, 33 (2): 101–118.
12. Jordan, W. 1996. *The great famine: Northern Europe in the early fourteenth century*. Princeton (USA), Princeton University Press.
13. Pretty J. N. 1991. Farmers' extension practice and technology adaptation: Agricultural revolution in 17–19th century Britain. *Agriculture and Human Values* VIII, 132–148.
14. Apostolides, A., Broadberry, S., Campbell, B., Overton, N. & van Leeuwen, B. 2008. *English agricultural output and labour productivity, 1250–1850: some preliminary estimates*. Coventry (UK), University of Warwick.
15. FAO. 2011. *Save and Grow. A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production*. Rome.
16. FAO. 2005. *The State of Food and Agriculture 2005: Agricultural trade and poverty – can trade work for the poor?* Rome.
17. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. *World Population Prospects: The 2015 Revision* (available at <http://esa.un.org/unpd/wup/DataQuery/>).
18. FAO. 2010. *The Green Revolution in Asia: Lessons for Africa*, by H. Jhamtani. Rome.
19. FAO. 2009. *The State of Food Insecurity in the World: Economic crises – impacts and lessons learned*. Rome.
20. Hazell, P.B.R. 2010. Asia's Green Revolution: past achievements and future challenges. In S. Pandey, D. Byerlee, D. Dawe, A. Dobermann, S. Mohanty, S. Rozelle & B. Hardy, eds. *Rice in the global economy: strategic research and policy issues for food security*, pp 61–92. Los Baños, Philippines, International Rice Research Institute.
21. Rosegrant, M., Tokgoz, S., Bhandary, P. & Msangi, S. 2013. Scenarios for the future of food. In 2012 *Global food policy report*. Washington, DC, IFPRI.
22. Shiferaw B., Smale, M., Braun H.-J., Duveiller, E., Reynolds M. & Muricho, G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5: 291–317.
23. Seck, P.A., Diagne, A., Mohanty, S. & Wopereis, M.C.S. 2012. Crops that feed the world 7: Rice. *Food Security*, 4: 7–24.
24. FAO, IFAD & WFP. 2015. *The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress*. Rome.
25. FAO. 2015. World food situation: Food price index (retrieved: 7 September 2015) (available at http://www.fao.org/fileadmin/templates/worldfood/Reports_and_docs/Food_price_indices_data.xls).
26. FAO. 2014. *The State of Food and Agriculture 2014. Innovation in family farming*. Rome.
27. Frison, E.A., Cherfas, J. & Hodgkin, T. 2011. Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security. *Sustainability*, 3: 238–253.
28. Tschardtke, T., Yann Clough, T.C., Wanger, L.J., Motzke, L., Perfecto, I., Vendermeer, J. & Whitbread, A. 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151: 53–59.
29. FAO. 2010. *Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Rome.
30. Solh, M., Braun, H.-J. & Tadesse, W. 2014. *Save and Grow: Wheat*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. Rabat, ICARDA. (mimeo).
31. Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. Invited Review. *Annals of Botany*, 114 (8): 1571–1596.
32. Pingali, P., Hossain, M. & Gerpacio, R. 1997. *Asian Rice Bowls – The returning crisis?* In association with IRRI. Wallingford, UK, CAB International.
33. Heap, I. 2014. Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science*. Special issue: Global herbicide resistance challenge. Vol. 70, Issue 9, pp.1306–1315. September 2014.
34. FAO. 2014. *Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks. 1990–2011 Analysis*. FAO Statistics Division Working Paper Series, No. 14–02. Rome.
35. Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. & Ingram, J.S. 2012. Climate Change and Food Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 2012.37:195–222. DOI: 10.1146/annurev-environ-020411-130608.
36. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Final draft Report of Working Group III. Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC.
37. FAO. 2013. *Climate-smart agriculture sourcebook*. Rome.
38. Altieri, M. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93: 1–24.
39. ILO (International Labour Organization). 2012. *Global Employment Trends 2012. Preventing a deeper job crisis*. Geneva, Switzerland.
40. FAO. 2012. *Decent rural employment for food security: a case for action*. Rome.
41. FAO. 2014. *The State of Food Insecurity*

- in the World 2014. *Strengthening the enabling environment to improve food security and nutrition*. Rome.
42. Fan, M.S., Zhao, F.J. & Fairweather-Tait, S.J. 2008. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 22:315–324.
43. Mayer, A.M. 1997. Historical changes in the mineral content of fruits and vegetables. *British Food Journal*, 99:207–211.
44. Davis, D.R., Epp, M.D. & Riordan, H.D. 2004. Changes in USDA food composition data for 43 garden crops. *Journal of the American College of Nutrition*, 23:669–682.
45. FAO. 2012. *Sustainable nutrition security: Restoring the bridge between agriculture and health*. Traore, M., Thompson, B. & Thomas, G. Rome.
46. Foresight. 2011. *The future of food and farming: Challenges and choices for global sustainability*. Final Project Report. London, Government Office for Science.
47. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) & FAO. 2015. *Agricultural Outlook 2015–2024*. Paris and Rome.
48. FAO. 2012. *World agriculture towards 2030/2050 - The 2012 revision*. ESA Working Paper No. 12-03, June 2012. Rome.
49. Fischer, G. 2011. How can climate change and the development of bioenergy alter the long-term outlook for food and agriculture? In P. Conforti, ed. *Looking ahead in world food and agriculture: perspectives to 2050*. Rome, FAO.
50. Fischer, R.A., Byerlee, D. & Edmeades, G.O. 2014. *Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world?* ACIAR Monograph No. 158. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
51. FAO. 2013. *Food wastage footprint. Full cost accounting: Final report*. Rome.
52. Lal, R. 2014. Abating climate change and feeding the world through soil carbon sequestration. In D. Dent, ed. *Soil as world heritage*, pp 443–457. Berlin: Springer.
53. FAO. 2011. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture. Managing systems at risk*. Rome.
54. FAO. 2013. *Guidelines to control water pollution from agriculture in China - Decoupling water pollution from agricultural production*. Rome.
55. Shiferaw, B., Prasanna B.M., Hellin, J. & Bänziger, M. 2011. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3: 307–327.
56. Funk, C.C. & Brown, M.E. 2009. Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. *Food Security*, 1:271–289.
57. CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center). 2009. *Wheat facts and futures 2009*. Dixon, J., H.-J. Braun, P. Kosina & J. Crouch, eds. Mexico, D.F., CIMMYT.
58. FAO. 2011. *The State of Food Insecurity in the World 2011. How does international price volatility affect domestic economies and food security?* Rome.
59. Pardey, P., Alston, J. & Piggott, R. 2006. *Agricultural R&D in the developing world*. Washington, DC, IFPRI.
60. Pardey, P., Alston, J. & Chan-Kang, C. 2013. Public agricultural R&D over the past half century: an emerging new world order. *Agricultural Economics*, 44(1): 103–113.
61. Beintema, N., Stads, G.J., Fuglie K. & Heisey, P. 2012. *ASTI global assessment of agricultural R&D spending: Developing countries accelerate investment*. IFPRI, ASTI & GFAR, Rome. 24pp.
62. Lobell D.B., Schlenker, W.S. & Costa-Roberts, J. 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333:616–620.
63. Padgham, J. 2009. *Agricultural development under a changing climate: opportunities and challenges for adaptation*. Washington D.C., The World Bank.
64. Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., van der Mensbrugge, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavalari, 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 (2015) 085010.
65. Prasanna, B.M. 2014. Maize research-for-development scenario: challenges and opportunities for Asia. In B.M. Prasanna et al., eds. *Book of extended summaries*, 12th Asian Maize Conference and Expert Consultation on Maize for Food, Feed, Nutrition and Environmental Security. Bangkok, Thailand, 30 October – 1 November 2014. CIMMYT, Mexico D.F. and APAARI, Bangkok, pp.2–11.
66. Tesfaye, K., Gbegbelegbe, S., Cairns, J.E., Shiferaw, B., Prasanna, B.M., Sonder, K., Boote, K.J., Makumbi, D., Robertson, R. 2015. Maize systems under climate change in sub-Saharan Africa: potential impacts on production and food security. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, Vol. 7 Issue 3, pp.247–271.
67. Paterson, R. R. M., & Lima, N. 2010. How will climate change affect mycotoxins in food? *Food Research International*, 43(7): 1902–1914.
68. Mackill, D. J., Ismail, A. M., Pamplona, A.M., Sanchez, D.L., Carandang, J.J. & Septiningsih, E.M. 2010. Stress-tolerant rice varieties for adaptation to a changing climate. *Crop Environment and Bioinformatics*. 7: 250–259.
69. Zeigler, R. 2014. *IRRI 2035: Investing in the future*. Based on a presentation by the Director General to the IRRI community, 30 May 2013. Los Baños, Philippines.
70. Ortiz, R., Sayre, K.D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G.V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Ortiz-Monasterio, J.I. & Reynolds, M. 2008. Climate change: can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126:45–58.
71. Rosegrant, M. R., Ringler, C., Sulser, T. B., Ewing, M., Palazzo, A. & Zhu, T. 2009. *Agriculture and food security under global change: Prospects for 2025/2050*. Washington, D.C., International Food Policy Research Institute.
72. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Trade. (available at http://faostat3.fao.org/download/T/*E).
73. World Bank. 2015. Poverty and Equity Database (available at <http://povertydata.worldbank.org/poverty/home/>).
74. FAO. 2014. *Food Outlook. Biannual report on global food markets*. Rome.
75. Pretty, J.N., Noble, A.D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R.E., de Vries, F. & Morrison, J.I.L. 2006. Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environmental science & technology*, 40: 1114–1119.
76. Power, A.G. 2010. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554): 2959–2971.
77. Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M., Aviles-Vazquez, K., Samulon, A. & Perfecto, I. 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22: 86–108.
78. 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., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J. & Godfray, H.C.J. 2013. Sustainable Intensification in agriculture: premises and policies. *Science* 341: 33–34.
79. FAO. 2010. *Sustainable crop production intensification through an ecosystem approach and an enabling environment: Capturing efficiency through ecosystem services and management*. Rome.
80. FAO. 2012. *Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from Conservation Agriculture: a literature review*. Integrated Crop Management, Vol.16–2012. Rome.
81. Lal, R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*. 304, 1623 (2004). DOI: 10.1126/science.1097396.
82. Christiaensen, L., Demery, L. & Kuhl, J. 2011. The (evolving) role of agriculture in poverty reduction: an empirical perspective. *Journal of Development Economics*, 96: 239–254.

第二章 实现可持续谷物生产

1. FAO. 2011. *Save and Grow. A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production*. Rome.
2. FAO. 2014. *Building a common vision for sustainable food and agriculture: Principles and approaches*. Rome.
3. Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. Invited Review. *Annals of Botany*, 114 (8): 1571–1596.
4. Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. & Kienzle, J. 2014. *Worldwide adoption of Conservation Agriculture*. Paper presented at the 6th World Congress on Conservation Agriculture, 22–25 June 2014, Winnipeg, Canada.
5. Baker, C.J., Saxton, K.E., Ritchie, W.R., Chamen, W.C., Reicosky, D.C., Ribeiro, M.F.S., Justice, S.E. & Hobbs, P.R. 2007. No-tillage seeding in conservation agriculture (Second Edition). C.J. Baker & K.E. Saxton, eds. Rome, FAO & Cambridge, USA, CAB International.
6. Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F. & Pretty, J. 2009. The spread of Conservation Agriculture: Justification, sustainability and uptake. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7(4) 2009, pp.292–320.
7. Friedrich, T., Derpsch, R. & Kassam, A. 2012. Global overview of the spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports Special Issue (Reconciling Poverty Alleviation and Protection of the Environment)*, 6: 1–7.
8. FAO. 2014. *Managing soils for food security and climate change adaptation and mitigation*. Rome.
9. Sun, L., Chang, S.X., Feng, Y.S., Dyck, M.F. & Puurveen, D. 2015. Nitrogen fertilization and tillage reversal affected water-extractable organic carbon and nitrogen differentially in a Black Chernozem and a Gray Luvisol. *Soil and Tillage Research*, 146: 253–260.
10. Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H.-J., Duveiller, E., Reynolds, M. & Muricho, G. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5: 291–317.
11. Sayre, K.D., & Govaerts, B. 2009. Conservation agriculture for sustainable wheat production. In: J. Dixon, H. J. Braun, P. Kosina, & J. Crouch, eds. *Wheat facts and futures 2009*. Mexico International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).
12. Aryal, J.P., Sapkota, T.B., Jat, M.L. & Bishnoi, D. 2015. On-farm economic and environmental impact of zero-tillage wheat: a case of north-west India. *Experimental Agriculture*, 51: 1–16., Cambridge University Press 2014. doi:10.1017/S001447971400012X.
13. Moussadek, R. 2012. Impacts de l'agriculture de conservation sur les propriétés et la productivité des vertisols du Maroc Central. *Afrika focus*, 25(2): 147–151.
14. Scopel, E., Triomphe, B., dos Santos Ribeiro, MdeF., Séguy, L., Denardin, J.E. & Kochhann, R.A. 2004. Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) in Latin America. In R.A. Fischer, ed. *New directions for a diverse planet*. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.
15. Thierfelder, C. & Mupangwa, W. 2014. *Identifying new sustainable intensification pathways for smallholder farmers in Southern Africa*. Paper presented at the World Congress of Conservation Agriculture (WCCA6), June 22–25, 2014, Winnipeg, Canada.
16. Kumar V. & Ladha J.K. 2011. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. *Advances in Agronomy*, 111: 297–413.
17. Yamano, T., Baruah, S., Sharma, R., & Kumar, A. 2013. *Factors affecting the adoption of direct-seeded rice in the northeastern Indo-Gangetic Plain*. CSISA Socioeconomics Policy Brief. New Delhi: International Rice Research Institute.
18. Frison, E.A., Cherfas, J. & Hodgkin, T. 2011. Agricultural biodiversity is essential for a sustainable improvement in food and nutrition security. *Sustainability* 3: 238–253.
19. Mayee, C.D., Monga, D., Dhillon, S.S., Nehra, P.L. & Pundhir, P. 2008. *Cotton-wheat production system in South Asia: a success story*. Asia-Pacific Association of Agricultural Research Institutions, Bangkok, Thailand.
20. Buttar, G.S., Sidhu, H.S., Singh, V., Gupta, N., Gupta, R., Jat, M.L. & Singh, B. 2011. Innovations for relay planting of wheat in cotton: a breakthrough for enhancing productivity and profitability in cotton-wheat systems of South Asia. *Experimental Agriculture* (2013), Vol. 49 (1), pp.19–30 (doi:10.1017/S0014479712001032).
21. Kukal S.S., Singh, Y., Jat, M.L. & Sidhu, H.S. 2014. Improving Water Productivity of Wheat-Based Cropping Systems in South Asia for Sustained Productivity. In Donald L Sparks, ed. *Advances in Agronomy*, (127): 159–230. University of Delaware, USA.
22. He, Ping, Lia, S., Jina, J., Wang, H., Li, C., Wang, Y. & Cuie, R. 2009. Performance of an optimized nutrient management system for double-cropped wheat-maize rotations in North-Central China. *Agronomy Journal* 101(6): 1489–1496.
23. Sepat, S. & Rana, D.S. 2013. Effect of Double No-till and Permanent Raised Beds on Productivity and Profitability of Maize (*Zea mays* L.) –wheat (*Triticum aestivum* (L.) Emend. Flori & Paol) Cropping System under Indo-Gangetic Plains of India. *International Journal of Agriculture and Food Science Technology*, 4 (8): 787–790.
24. Bezner-Kerr, R., Snapp, S.S., Chirwa, M., Shumba, L. & Msachi, R. 2007. Participatory research on legume diversification with Malawian smallholder farmers for improved human nutrition and soil fertility. *Experimental Agriculture*, 43: 437–453.
25. Giller, K.E., Murwira, M.S., Dhlwiyayo, D.K.C., Mafongoya, P.L., & Mpeperek, S. 2011. Soyabeans and sustainable agriculture in southern Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9: 50–58.
26. Kamanga, B.C.G., Kanyama-Phiri, G.Y., Waddington, S.R., Almekinders, C.J.M. & Giller, K.E. 2014. The evaluation and adoption of annual legumes by smallholder maize farmers for soil fertility maintenance and food diversity in central Malawi. *Food Security*, 6(1): 45–59.
27. Wilkins, R.J. 2008. Eco-efficient approaches to land management: a case for increased integration of crop and animal production systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491): 517–525.
28. Garrity, D.P. 2011. *Making Conservation Agriculture ever green*. Keynote presentation 5th World Congress on Conservation Agriculture and 3rd Farming Systems Design Conference (WCCA5 and FSD3), 26–29 September 2011, Brisbane Australia.
29. Kluthcouski, J., Cobucci, T., Aidar, H., Yokoyama, L.P., Oliveira I.P. de, Costa, J.L. da S., Silva, J.G. da, Vilela, L., Barcellos, A. de O. & Magnobosco, C.de U. 2000. *Sistema Santa Fé - Tecnologia Emprapa: Integração lavoura-pecuária peolo consórcio de culturas anuais com forrageira, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional*. Santo Antônio de Goiás, Brazil: Embrapa Arroz e Feijão, 28pp. Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica 38.
30. Pacheco, A.R., de Queiroz Chaves, R. & Lana Nicoli, C.M. 2013. Integration of crops, livestock, and forestry: A system of production for the Brazilian Cerrados, pp.51–60. In C.H. Hershey & P. Neate, eds. *Eco-efficiency: From vision to reality (Issues in Tropical Agriculture series)* Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2013.
31. Vilrla, L., Macedo, M.C.M., Júnior, G.B.M. & Kluthcouski, J. 2003. Crop-livestock integration benefits. In: J. Kluthcouski, L.F. Stone & H. Aidar, eds. *Integração lavoura-pecuária. Embrapa Arroz e Feijão*, Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brazil.
32. FAO. 2007. *Tropical crop-livestock systems in conservation agriculture: the Brazilian experience* by Landers, J.N. 2007 Integrated Crop Management 5. Rome. 92pp.
33. Timsina, J., Jat, M.L. & Majumdar, K. 2010. Rice-maize systems of South Asia: current status, future prospects and research priorities for nutrient management. *Plant Soil*, 335:65–82.

34. FAO. 2012. *Farmer Field Schools as a vehicle to help vulnerable smallholder farmers develop climate resilient farming systems: experiences based on FAO's work in South and Southeast Asia*. Presentation to the Second World Bank-FAO Expert Meeting, 14–16 May 2012, Bangkok, Thailand.
35. Sounkoura, A., Ousmane, C., Eric, S., Urbain, D., Soule, A., Sonia, P. & Joel, H. 2011. Contribution of rice and vegetable value chains to food security and incomes in the inland valleys of southern Benin and Mali: Farmers' Perceptions. In: *Agricultural Innovations for Sustainable Development. Contributions from the Finalists of the 2009/2010 Africa-wide Women and Young Professionals in Science Competitions*. 3(2): 51–56. CTA & FARA.
36. FAO. 2004. *Culture of fish in rice fields*. M. Halwart & M. Gupta, eds. Rome.
37. Khaleduzzaman, A.B.M., Akbar, M.A. & Shamsuddin, M. 2011. Integration of forage production with high-yielding rice variety cultivation in Bangladesh. In: H.P.S. Makkarr, ed. *Successes and failures with animal nutrition practices and technologies in developing countries*. Proceedings of the FAO Electronic Conference, 1–30 September 2010, Rome. FAO Animal Production and Health Proceedings. No. 11. Rome.
38. Doran, J.W. & Zeiss, M.R. 2000. *Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality*. *Agronomy & Horticulture - Faculty Publications, Paper 15*. Lincoln (USA), University of Nebraska.
39. Lal, R. 2010. Eco-efficiency in agro-ecosystems through soil carbon sequestration. *Crop Science*, Vol. 50 no. Supplement 1. Crop Science Society of America, Madison, WI. DOI: 10.2135/cropsci2010.01.0012.
40. Lal, R. 2015. World water resources and achieving water security. *Agronomy Journal*, 107(4): pp.1526–1532.
41. Mrabet, R., Moussadek, R., Fadlaoui, A. & van Ranst, E. 2012. Conservation agriculture in dry areas of Morocco. *Field Crops Research*, 132: 84–94.
42. Moussadek, R., Mrabet, R., Dahan, A., Zouahri, M., Mourid, E. & Van Ranst, E. 2014. Tillage System Affects Soil Organic Carbon Storage and Quality in Central Morocco. *Applied and Environmental Soil Science*, 2014. Article ID 654796 doi:10.1155/2014/654796.
43. Jat, M.L., Gathala, M.K., Ladha, J.K., Saharawat, Y.S., Jat, A.S., Kumar, V., Sharma, S.K., Kumar, V. & Gupta, R. 2009. Evaluation of precision land leveling and double zero till systems in the rice-wheat rotation: water use productivity, profitability and soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 105, 112–121.
44. Scopel, E., Findeling, A., Chavez Guerra, E. & Corbeels, M. 2005. Impact of direct sowing mulch-based cropping systems on soil carbon, soil erosion and maize yield. *Sustainable Development*, 25: 425–432 doi: 10.1051/agro:2005041.
45. Hasniati, D. & Shelton, M. 2005. *Sesbania grandiflora*: a successful tree legume in Lombok, Indonesia. *Tropical Grasslands Journal*, Vol. 39. 2005. p. 217.
46. Kaizzi, C.K., Ssali, H., Nansamba, A. & Vlek, P. 2007. The potential benefits of Azolla, Velvet bean (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) and N fertilizers in rice production under contrasting systems in eastern Uganda. In A. Bationo, B. Waswa, J. Kihara & J. Kimetu, eds. *Advances in Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*, pp 423–433.
47. Singh, M., Singh, V.P. & Reddy, K.S. 2001. Effect of integrated use of fertilizer N and FYM or green manure on transformation of NK and S and productivity of rice-wheat system on Vertisols. *Journal of the Indian Society Soil Science*, 49: 430–435.
48. Snapp, S.S., Mafongoya, P.L. & Waddington, S. 1998. Organic matter technologies for integrated nutrient management in smallholder cropping systems of southern Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 71: 185–200.
49. Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K.E., Merckx, R., Mokwunye, U., Ohiokpehai, O., Pypers, P., Tabo, R., Shepherd, K.D., Smaling, E.M.A., Woomer, P.L. & Sanginga, N. 2010. Integrated soil fertility management: Operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Outlook on Agriculture*, 39(1): 17–24.
50. Nyamangara, J., Nyaradzo Masvaya, E., Tirivivi, R. & Nyengerai, K. 2013. Effect of hand-hoe based conservation agriculture on soil fertility and maize yield in selected smallholder areas in Zimbabwe. *Soil & Tillage Research* 126 (2013) 19–25.
51. Snapp, S., Jayne, T.S., Mhango, W., Benson, T. & Ricker-Gilbert, J. 2014. *Maize yield response to nitrogen in Malawi's smallholder production systems*. Malawi Strategy Support Program Working Paper No. 9. Washington, DC, IFPRI.
52. Buresh, R.J. & Wopereis, M. 2014. *Save and Grow: Rice*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. Rome, FAO. (mimeo).
53. Pampolino, M.F., Manguiat, J., Ramana-than, S., Gines, H.C., Tan, P.S., Chi, T.T.N., Rajendran, R. & Buresh, R.J. 2007. Environmental impact and economic benefits of site-specific nutrient management (SSNM) in irrigated rice systems. *Agricultural Systems*, 93(1): 1–24 doi:10.1016/j.agry.
54. Biradar D.P., Aladakatti, Y.R., Rao, T.N. & Tiwari, K.N. 2006. Site-Specific Nutrient Management for maximization of crop yields in Northern Karnataka. *Better Crops*, 90(3): 33–35.
55. Bindrabn, P.S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A. & Rabbinge, R. 2015. Revisiting fertilizers and fertilization strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*. DOI: 10.1007/s00374-015-1039-7.
56. Asaduzzaman, M. 2011. *Technology transfer and diffusion: Simple to talk about not so easy to implement*. A presentation made in WIPO Conference on Innovation and Climate Change, 11–12 July 2011. Geneva.
57. World Bank. 2012. *Agricultural innovation systems: An investment sourcebook*. Washington DC. DOI: 10.1596/978-0-8213-8684-2.
58. Ortiz-Monasterio J. & Raun, W. 2007. *Reduced nitrogen and improved farm income for irrigated spring wheat in the Yaqui Valley, Mexico, using sensor based nitrogen management*. Paper presented at the International Workshop on Increasing Wheat Yield Potential. CIMMYT, Obregon, Mexico, 20–24 March 2006. *Journal of Agricultural Science*, 145: 215–222.
59. Sapkota, T.B., Majumdar, K., Jat, M.L., Kumar, A., Bishnoi, D.K., McDonald, A.J. & Pampolino, M. 2014. Precision nutrient management in conservation agriculture based wheat production of Northwest India: Profitability, nutrient use efficiency and environmental footprint. *Field Crops Research*, 155:233–244.
60. Lobell, D.B., Hammer, G.L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M.J. & Schlenker, W. 2013. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*, 3: 397–501.
61. Edmeades, G.O. 2015. *Maize – Improved varieties*. Paper prepared for FAO for Save and Grow: Maize, Rice and Wheat. Rome. (mimeo).
62. Borlaug Institute for South Asia. 2015. *Major Accomplishments 2012–2014*. BISA Report Series 1. New Delhi, India. 38pp.
63. Mackill, D. J., Ismail, A. M., Pamplona, A.M., Sanchez, D.L., Carandang, J.J. & Septingisih, E.M. 2010. Stress-tolerant rice varieties for adaptation to a changing climate. *Crop, Environment & Bioinformatics*, 7: 250–259.
64. Solh, M., Braun, H-J. & Tadesse, W. 2014. *Save and Grow: Wheat*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. Rabat, ICARDA. (mimeo).
65. IAEA (International Atomic Energy Agency). 2010. *Mass screening techniques for selecting crops resistant to diseases*. IAEA-TDL-001, Vienna.
66. Cissoko, M., Boissnard, A., Rodenburg, J., Press, M.C. & Scholes, J.D. 2011. New Rice for Africa (NERICA) cultivars exhibit different levels of post-attachment resistance against the parasitic weeds *Striga hermonthica*. *New Phytologist*, 192: 952–963.
67. Jamil, M., Rodenburg, J., Charnikhova, T. & Bouwmeester, H.J. 2011. Pre-attachment *Striga hermonthica* resistance of New Rice for Africa (NERICA) cultivars based

- on low strigolactone production. *New Phytologist*, 192: 964–975.
68. IRRI (International Rice Research Institute). 2015. Disease and pest resistant rice (available at <http://irri.org/our-work/research/better-rice-varieties/disease-and-pest-resistant-rice>).
69. HarvestPlus. 2014. *Biofortification progress briefs*. August 2014 (available at http://www.harvestplus.org/sites/default/files/Biofortification_Progress_Briefs_August2014_WEB_0.pdf).
70. Atlin, G.N., Palacios, N., Babu, R., Das, B., Twumasi-Afriyie, S., Friesen, D., De Groote, H., Vivek, B. & Pixley, K. 2011. Quality Protein Maize: Progress and Prospects. In J. Janick, ed. *Plant Breeding Reviews*, 34: 83–31. Wiley-Blackwell.
71. Babu, R., Palacios, N. & Prasanna, B.M. 2013. Biofortified maize – a genetic avenue for nutritional security. In R.K. Varshney & R. Tuberosa, eds. *Translational genomics for crop breeding: Abiotic stress, yield, and quality*. John Wiley & Sons, pp.161–176.
72. Mahmood, T. & Trethowan, R. 2015. Crop breeding for conservation agriculture. In M. Farooq & K.H.M. Siddique, eds. *Conservation agriculture*, pp.159–179.
73. Lopes, M., El-Basyoni, I., Baenziger, P.S., Singh, S., Royo, C., Ozbek, K., Aktas, H., Ozer, E., Ozdemir, F., Manickavelu, A., Ban, T. & Vikram, P. 2015. Exploiting genetic diversity from landraces in wheat breeding for adaptation to climate change. *Journal of Experimental Botany*, 2015 Jun;66(12):3477–3486. Epub 2015 Mar 28.
74. George, T.S., Hawes, C., Newton, A.C., McKenzie, B.M., Hallett, P.D. & Valentine, T.A. 2014. Field phenotyping and long-term platforms to characterise how crop genotypes interact with soil processes and the environment. *Agronomy* 4, no. 2: 242–278.
75. Brooker, R.W., Bennett, A. E., Cong, W.-F., Daniell, T.J., George, T.S., Hallett, P.D., Hawes, C., Iannetta, P.P.M., Jones, H.G., Karley, A.J., Li, L., McKenzie, B.M., Pakeman, R.J., Paterson, E., Schöb, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C.A., Zhang, C., Zhang, F., Zhang, J. & White, P.J. 2015. Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206: 107–117. doi: 10.1111/nph.13132.
76. Hellin, J., Erenstein, O., Beuchelt, T., Camacho, C. & Flores, D. 2013. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico. *Field Crops Research*. Volume 153, September 2013, pp.12–21.
77. Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R. & Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677. doi:10.1038/nature01014.
78. Trethowan, R., Manes, Y. & Chattha, T. 2009. *Breeding for improved adaptation to conservation agriculture improves crop yields*. Paper presented at the 4th World Congress on Conservation Agriculture, February 4–7, 2009, New Delhi, India.
79. Global Rice Science Partnership (GRiSP). 2013. *Rice almanac*, 4th edition. IRRI, Los Baños, Philippines, 283pp.
80. Smith, J.S., Jones, E. S., Nelson, B.K., Phillips, D.S. & Wineland, R.A. 2014. Genomic approaches and intellectual property protection for variety release: A perspective from the private sector. *Genomics of Plant Genetic Resources*. Springer Netherlands, 2014. pp.27–47.
81. Prasanna, B.M. 2015. *Climate-resilient maize development and delivery in the tropics through public-private partnerships: CIMMYT's experiences and perspective*. 5th International Workshop on Next Generation Genomics and Integrated Breeding for Crop Improvement (February 18 – 20, 2014), ICRISAT, Patancheru, India.
82. Joshi, A. K., Azab, M., Mosaad, M., Moselhy, M., Osmanzai, M., Gelalcha, S., Bedada, G., Bhatta, M. R., Hakim, A., Malaker, P. K., Haque, M. E., Tiwari, T. P., Majid, A., Jalal Kamali, M. R., Bishaw, Z., Singh, R. P., Payne, T. & Braun, H. J. 2011. Delivering rust resistant wheat to farmers: a step towards increased food security. *Euphytica* 179:187–196.
83. Lewis, V. & Mulvany, P.M. 1997. *A typology of community seed banks*. Natural Resources Institute (NRI), University of Greenwich, Central Avenue and Intermediate Technology Development Group, Myson House, U.K.
84. Gadai, N., Bhandari, D.B., Pandey, A., Dilli Bahadur, K.C. & Dhama, N.B. 2014. Strengthening the local seed systems and disadvantaged communities: success and evolution of the first community-managed seed production company in the hills of Nepal. In B.M. Prasanna et al., eds. *Book of Extended Summaries, 12th Asian Maize Conference and Expert Consultation on Maize for Food, Feed, Nutrition and Environmental Security*. Bangkok, Thailand, October 30 – November 1, 2014. CIMMYT, Mexico D.F. and APAARI, Bangkok, pp.238–242.
85. Lopes, M., Nesbitt, H., Spycykerelle, L., Pauli, N., Clifton, J. & Erskine, W. 2015. Harnessing social capital for maize seed diffusion in Timor-Leste. *Agronomy for Sustainable Development*, 35:847–855.
86. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. 2007. *Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute.
87. Yadvinder-Singh, Kukal, S.S., Jat, M.L. & Sidhu, H.S. 2014. Improving Water Productivity of Wheat-Based Cropping Systems in South Asia for Sustained Productivity. *Advances in Agronomy*, 127: 157–258.
88. Garg, K.K., Karlberg, L., Barron, J., Wani, S.P. & Rockstrom, J. 2012. Assessing impact of agricultural water interventions at the Kothapally watershed, Southern India. *Hydrological Processes*, 26(3): 387–404.
89. Singh, R., Garg, K.K., Wani, S.P., Tewari, R.K. & Dhyani, S.K. 2014. Impact of water management interventions on hydrology and ecosystem services in Garhkundar-Dabar watershed of Bundelkhand region, Central India. *Journal of Hydrology*, 509:132–149.
90. El-Swaify, S.A., Pathak, P., Rego, T.J. & Singh, S. 1985. Soil management for optimized productivity under rainfed conditions in the semi-arid tropics. *Advances in Soil Science*, 1: 1–64.
91. Molden, D., Oweis T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M. & Kijne, J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agricultural Water Management*, 97(4): 528–535.
92. Amberger A. 2006. *Soil fertility and plant nutrition in the tropics and subtropics*. International Fertilizer Industry Association & International Potash Institute, France.
93. Ilbeyi, A., Ustun, H., Oweis T., Pala, M. & Benli, B. 2006. Wheat water productivity in a cool highland environment: Effect of early sowing with supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*, 82: 399–410.
94. IAEA. 2012. *Greater agronomic water use efficiency in wheat and rice using carbon isotope discrimination*. IAEA-TEC-DOC-1671, Vienna, Austria.
95. Sharma, P.C., Jat, H.S., Kumar, V., Gathala, M.K., Datta, A., Yaduvanshi, N.P.S., Choudhary, M., Sharma, S., Singh, L.K., Saharawat, Y., Yadav, A.K., Parwal, A., Sharma, D.K., Singh, G., Jat, M.L., Ladha, J.K. & McDonald, A. 2015. *Sustainable intensification opportunities under current and future cereal systems of North-West India*. Technical Bulletin: CSSRI/Karnal/2015/e. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India.
96. ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas). 2013. *ICARDA Annual Report*. Beirut, Lebanon.
97. Marino, M. 2013. Raised beds prove their worth. *Partners magazine*. Winter 2013. Australian Center for International Agricultural Research. Canberra.
98. Mandal, K.G., Hati, K.M., Misra, A.K., Bandyopadhyay, K.K. & Tripathi, A.K. 2013. Land surface modification and crop diversification for enhancing productivity of a Vertisol. *International Journal of Plant Production* 7 (3). July 2013.
99. Gupta, R., Jat, R.K., Sidhu, H.S., Singh, U.P., Singh, N.K., Singh, R.G. & Sayre, K.D. 2015. *Conservation Agriculture for sustainable intensification of small farms*. Compendium of Invited Papers presented at the XII Agricultural Science Congress 3–6 February 2015, ICAR-National Dairy

Research Institute, Karnal, India. pp.15.

100. Djagba, J.F., Rodenburg, J., Zwart, S.J., Houndagba, C.J. & Kiepe, P. 2014. Failure and success factors of irrigation system developments: a case study from the Ouémé and Zou valleys in Benin. *Irrigation and Drainage*, 63(3): 328–329.
101. Rodenburg, J., Zwart, S.J., Kiepe, P., Narteh, L.T., Dogbe, W. & Woperis, M.C.S. 2014. Sustainable rice production in African inland valleys: seizing regional potentials through local approaches. *Agricultural Systems*, 123: 1–11.
102. Richards, M. & Ole Sander, B. 2014. *Alternate wetting and drying in irrigated rice*. Practice brief – Climate-smart agriculture, April 2014 (available at <https://cgispace.cgiar.org/rest/bitstreams/34363/retrieve>).
103. Lampayan, R.M., Rejesus, R.M., Singleton, G.R. & Bouman, B.A.M. 2015. Adoption and economics of alternate wetting and drying water management for irrigated lowland rice. *Field Crops Research*, 170: 95–108.
104. Kreye, C., Bouman, B.A.M., Reversat, G., Fernandez, L., Vera Cruz, C., Elazegui, E., Faronilo, J.E. & Llorca, L. 2009. Biotic and abiotic causes of yield failure in tropical aerobic rice. *Field Crops Research*, 112: 97–106.
105. Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144: 31–43.
106. Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2015. Integrated Pest Management for Sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects* 2015, 6(1), 152–182; doi:10.3390/insects6010152.
107. Gould, F., Kennedy, G.G. & Johnson, M.T. 1991. Effects of natural enemies on the rate of herbivore adaptation to resistant host plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 58: 1–14.
108. Gallagher, K.D., Kenmore, P.E. & Sogawa, K. 1994. Judicial use of insecticides deter planthopper outbreaks and extend the life of resistant varieties in southeast Asian rice. pp 599–614. In R.F. Denno & T.J. Perfect, eds., *Planthoppers—their ecology and management*. New York, Chapman and Hall.
109. Heong, K.L., Escalada, M.M., Huan, N.H., Chien, H.V. & Quynh, P.V. 2010. Scaling out communication to rural farmers: lessons from the “Three Reductions, Three Gains” campaign in Vietnam. In F.G. Palis, G.R. Singleton, M.C. Casimero & B. Hardy, eds. *Research to impact: case studies for natural resource management for irrigated rice in Asia*, pp.207–220. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute. 370pp.
110. Gallagher, K.D. 1998. *Farmer Field Schools for Integrated Pest Management in Africa with Special Reference to East Africa*. Proceedings of the National Pre-Season Planning Workshop on the Implementation of Field School Groups for Integrated Pro-

duction and Pest Management. 31 August–1 September, 1998. ZIPAM, Darwendale. Government of Zimbabwe and FAO Global IPM Facility. Rome.

111. FAO. 2004b. *IPM Farmer Field Schools: A synthesis of 25 impact evaluations*. Rome, Global IPM Facility.
112. Hruska, A.J. & Corriols, M. 2002. The impact of training in integrated pest management among Nicaraguan maize farmers: increased net returns and reduced health risk. *International Journal of Occupational and Environmental Health*. Vol. 8, Issue 3 (01 July 2002), pp.191–200.
113. Tejada, T. 1990. Uso de aceite en el control de *Heliothis zea* y *Euxesta* sp. en el cultivo de maiz. *Memorias de la XIV Reunion de Maiceros de la Zona Andina y la I Reunion Suramericana de los Maiceros*. Maracay, Venezuela. 7pp.
114. Abanto, W., Narro, L. & Chavez, A. 1998. Control del gusano mazorquero (*Heliothis zea*, Boddie) en maiz amilaceo mediante la aplicacion de aceite de consume humano. p. 530–538. In C. De Leon, L. Narro & S. Reza, eds. *Memorias IV Reunión Latinoamericana y XVII Reunión de la Zona Andina de Investigadores en Maíz*. Agosto 10–17, 1997. CORPOICA, Ceres, Colombia.
115. Tapia, I., Bermeo, D.B., Silva, E. & Racines, M. 1999. Evaluación de cuatro métodos de aplicación de aceite comestible vegetal en el control de *Heliothis zea* y *Euxesta* sp. en la sierra del Ecuador. Proc. XVIII Reunión Latinoamericana del Maíz. Sete Lagoas, Brazil. pp.671–675.
116. Valicente, F.H. 2008. Controle biológico da lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda*, com *Bacillus thuringiensis*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 105; 9pp.
117. Valicente, F. H., Tuelher, E. De S. & Barros, E.C. 2010. Processo de formulação do *Baculovirus spodoptera* em pó molhável. Embrapa Milho e Sorgo, Circular técnica, 156; 5pp. Sete Lagoas, Brazil.
118. Cruz, I., Figueiredo, M.L.C., Silva, R.B. & Foster, J.E. 2010. Efficiency of chemical pesticides to control *Spodoptera frugiperda* and validation of pheromone trap as a pest management tool in maize crop. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Vol.9, n.2, p.107–122, 2010.
119. Oswald, A. & Ransom, J. 2001. *Striga* control and improved farm productivity using crop rotation. *Crop Protection*, Vol. 20, Issue 2, March 2001, pp.113–120.
120. Rodenburg, J., Cissoko, M., Kayeke, J., Dieng, I., Khan, Z.R., Midega, C.A.O., Onyuka, E.O. & Scholes, J.D. 2015. Do NERICA rice cultivars express resistance to *Striga hermonthica* (Del.) Benth. and *Striga asiatica* (L.) Kuntze under field conditions? *Field Crops Research*, 170 (2015): 83–94.
121. Conner, R. L., Kuzyk, A. D. & Su, H.

2003. Impact of powdery mildew on the yield of soft white spring wheat cultivars. *Canadian Journal of Plant Science*, 83(4): 725–728.

122. Duveiller, E., Singh, R. P. & Nicol, J. M. 2007. The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. *Euphytica*, 157(3): 417–430.
123. FAO. 2011. *History of IPM/FFS in Iran*. FAO project GTFS/REM/070/ITA Regional Integrated Pest Management (IPM) Programme in the Near East. Rome.

第三章 促进节约与增长的农作系统

“驱诱结合”防治有害生物，提高牛奶产量

1. Khan, Z. & Pickett, J. 2009. *Push-pull strategy for insect pest management*. Nairobi. ICIPE.
2. Midega, C.A.O., Khan, Z.R., Van den Berg, J., Ogol, C.K., Bruce, T.J. & Pickett, J.A. 2009. Non-target effects of the ‘push-pull’ habitat management strategy: Parasitoid activity and soil fauna abundance. *Crop Protection* 28 (2009) 1045–1051.
3. International Centre of Insect Physiology and Ecology (ICIPE). 2010. *Impact assessment of push-pull technology developed and promoted by ICIPE and partners in eastern Africa*. Nairobi.
4. Khan, Z., Midega, C., Pittchar, J., Murage, A., Birkett, M., Bruce, T. & Pickett, J. 2012. Achieving food security for one million sub-Saharan African poor through push-pull innovation by 2020. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B: Biological Sciences* 2014 Apr 5; 369(1639).
5. ICIPE. 2013. *Climate-smart push-pull: resilient, adaptable conservation agriculture for the future*. Nairobi.
6. Murage, A.W., Midega, C.A.O., Pittchar, J.O., Pickett, J.A. & Khan, Z.R. 2015. Determinants of adoption of climate-smart push-pull technology for enhanced food security through integrated pest management in eastern Africa. *Food Security* 7(3), 709–724.

健康土壤种植健康植物，创造更高单产

1. Sharma, P.K. & De Datta, S.K. 1986. Physical properties and processes of puddled rice soil. *Advances in Soil Science* 5: 139–178.
2. Africare, Oxfam America, WWF-ICR-ISAT Project. 2010. *More Rice for People, More Water for the Planet*. WWF-ICRISAT Project, Hyderabad, India.
3. Berkhout, E., Glover, D. & Kuyvenhoven, A. 2015. On-farm impact of the System of Rice Intensification (SRI): Evidence and knowledge gap. *Agricultural Systems* 132: 157–166.

4. Buresh, R.J. 2015. Nutrient and fertilizer management in rice systems with varying supply of water. In P. Drechsel, P. Heffer, H. Magen, R. Mikkelsen & D. Wichelns, eds. *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. International Fertilizer Industry Association (IFA), International Water Management Institute (IWMI), International Plant Nutrition Institute (IPNI), and International Potash Institute (IPI). Paris.
 5. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Production (available at <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>).
 6. Uphoff, N. 2008. *Farmer innovations improving the System of Rice Intensification (SRI)* (available at http://www.future-agricultures.org/farmerfirst/files/T1a_Uphoff.pdf).
 7. Thakur, A., Uphoff, N. & Antony, E. 2009. An assessment of physiological effects of System of Rice Intensification (SRI) practices compared with recommended rice cultivation practices in India. *Experimental Agriculture* (2010), Vol. 46 (1), pp.77–98.
 8. Hameed, K., Mosa, A. & Jaber, F. 2011. Irrigation water reduction using System of Rice Intensification compared with conventional cultivation methods in Iraq. *Paddy Water Environment* (2011) 9:121–127.
 9. Ceesay, M., Reid, W., Fernandes, E. & Uphoff, N. 2006. The effects of repeated soil wetting and drying on lowland rice yield with system of Rice Intensification (SRI) methods. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 4:1, 5–14.
 10. Wu, W., Ma, B.-L. & Uphoff, N. 2015. A review of the system of rice intensification in China. *Plant and Soil*, August 2015, Vol. 393, Issue 1, pp.361–381.
 11. Barah, B. 2009. Economic and ecological benefits of System of Rice Intensification (SRI) in Tamil Nadu. *Agricultural Economics Research Review*. Vol. 22, July-December 2009, pp.209–214.
 12. Zhao, L., Wu, L., Li, Y., Lu, X., Zhu, D. & Uphoff, N. 2009. Influence of the System of Rice Intensification on rice yield and nitrogen and water use efficiency with different n application rates. *Experimental Agriculture* (2009), Vol. 45, pp.275–286.
 13. Zhao, L., Wu, L., Wu, M. & Li, Y. 2011. Nutrient uptake and water use efficiency as affected by modified rice cultivation methods with reduced irrigation. *Paddy Water Environment* (2011) 9:25–32.
 14. Dhital, K. 2011. *Study on System of Rice Intensification in transplanted and direct-seeded versions compared with standard farmer practice in Chitwan, Nepal*. Tribhuvan University Institute of Agriculture and Animal Science, Rampur, Chitwan, Nepal.
 15. Dzung, N.T. 2011. *Simple and effective-SRI and agriculture innovation*. System of Rice Intensification website. (available at http://sri.ciifad.cornell.edu/countries/vietnam/VN_SRI_booklet_Eng2012.pdf).
 16. Nga, N., Rodriguez, D., Son, T. & Buresh, R.J. 2010. Development and impact of site-specific nutrient management in the Red River Delta of Vietnam. pp.317–334. In F.G. Palis, G.R. Singleton, M.C. Casimero & B. Hardy, eds. *Research to impact. case studies for natural resource management for irrigated rice in Asia*. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines.
 17. Choi, J.D., Kim, G.Y., Park, W.J., Shin, M., Choi, Y.H., Lee, S., Kim, S.J. & Yun, D.K. 2014. Effect of SRI water management on water quality and greenhouse gas emissions in Korea. *Irrigation & Drainage*, 63: 266–270.
 18. Tuong, T. & Bouman, B. 2003. Rice production in water-scarce environments. In J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden, eds. *Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement*. CAB International.
 19. Gathorne-Hardy, A., Narasimha Reddy, D., Venkatanarayana, M. & Harriss-White, B. 2013. A life-cycle assessment (LCA) of greenhouse gas emissions from SRI and flooded rice production in S.E. India. *Taiwan Water Conservancy*, 61:110–125.
 20. Wassmann, R., Hosen, Y. & Sumfleth, K. 2009. *Reducing methane emissions from irrigated rice*. Focus 16(3). Washington, DC, IFPRI.
 21. Yan, X., Akiyama, H., Kazuyuki, Y. & Akimoto, H. 2009. Global estimations of the inventory and mitigation potential of methane emissions from rice cultivation conducted using the 2006 Intergovernmental Panel on Climate Change Guidelines. *Global Biogeochemical Cycles*, Vol. 23, Issue 2, June 2009.
 22. Anas, I., Rupela, O.P., Thiyagarajan, T.M. & Uphoff, N. 2011. A review of studies on SRI effects on beneficial organisms in rice soil rhizospheres. *Paddy Water Environment*, 9:53–64.
 23. Lin, Xianqing, Zhu, D. & Lin, Xinjun. 2011. Effects of water management and organic fertilization with SRI crop practices on hybrid rice performance and rhizosphere dynamics. *Paddy Water Environment* (2011) 9:33–39.
 24. Uphoff, N., Kassam, A. & Thakur, A. 2013. Challenges of Increasing Water Saving and Water Productivity in the Rice Sector: Introduction to the System of Rice Intensification (SRI) and this issue. 2013. *Taiwan Water Conservancy* Vol. 61, No. 4.
 25. Borlaug Institute for South Asia. 2015. *Major accomplishments 2012–2014*. BISA Report Series 1, pp.13. New Delhi.
 26. Lu, S.H., Dong, Y.J., Yuan, J., Lee, H. & Padilla, H. 2013. A high-yielding, water-saving innovation combining SRI with plastic cover on no-till raised beds in Sichuan, China. *Taiwan Water Conservancy*, 61: 4, 94–109.
-
- 提高玉米产量, 减少热带山坡水土流失
1. Ayarza, M. & Welchez, L. 2004. Drivers Affecting the Development and Sustainability of the Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System (QSMAS) on Hillside of Honduras. In A. Noble, ed. *Comprehensive assessment "bright spots" project final report*. Cali, Colombia. CIAT.
 2. CIAT. 2009. *Quesungual slash and mulch agroforestry system (QSMAS): Improving crop water productivity, food security and resource quality in the subhumid tropics*. CPWF Project Report. Cali, Colombia.
 3. Gangloff, G., Marohn, C., Tellez, O. & Cadisch, G. 2015. *Land use change: Identifying biophysical and socio-economic factors determining adoption of the Quesungual agroforestry system*. Paper prepared for the Tropentag Conference 2015, Management of land use systems for enhanced food security: conflicts, controversies and resolution. Humboldt-Universität, Berlin.
 4. CIAT. 2009. *Quesungual slash and mulch agroforestry system: an eco-efficient option for the rural poor*. Cali, Colombia.
-
- 小麦之前种植豆科植物带来额外好处
1. Dong, Z., Wu, L., Kettlewell, B., Caldwell, C. & Layzell, D. 2003. Hydrogen fertilization of soils – is this a benefit of legumes in rotation? *Plant, Cell and Environment* (2003) 26, 1875–1879.
 2. Pulse Australia. 2008. *Australian Pulse Bulletin*. PA 2008 (4). 5pp. Melbourne, Australia.
 3. Evans J., McNeill A.M., Unkovich M. J., Fettel N.A. & Heenan D.P. 2001. Net nitrogen balances for cool-season grain legume crops and contributions to wheat nitrogen uptake: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 347–359.
 4. Peoples, M.B., Brockwell, J., Herridge, D.F., Rochester, I.J., Alves, B.J.R., Urquiaga, S., Boddey, R.M., Dakora, F.D., Bhattarai, S., Maskey, S.L., Sampet, C., Rerkasem, B., Khan, D.F., Hauggaard-Nielsen, H. & Jensen, E.S. 2009. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. *Symbiosis* 48: 1–17.
 5. Griffiths, J. 2009. Legumes – benefits beyond nitrogen. *Farming Ahead*, 211:57–58.
 6. Pala, M., Van Duivenbooden, N., Studer, C. & Bilders, C.L. 1999. Cropping systems and crop complementarity in dryland agriculture. In N. Van Duivenbooden, M. Pala, C. Studer & C.L. Bilders, eds. *Efficient soil water use: the key to sustainable development in the dry areas of West Asia, and North and Sub-Saharan Africa*. Proceedings of the 1998 (Niger) and 1999 (Jordan) workshops of the Optimizing Soil Water Use (OSWU) Consortium. ICARDA, Aleppo and ICRISAT, Patancheru, pp.299–330.
 7. Cooper, P.J.M., Gregory, P.J., Tully, D. &

- Harris, H.C. 1987. Improving Water use Efficiency of Annual Crops in the Rainfed Farming Systems of West Asia and North Africa. *Experimental Agriculture*, 23: 113–158. doi:10.1017/S001447970001694X.
8. Ryan, J., Masri, S., Ibricki, H., Singh, M., Pala, M. & Harris, H.C. 2008. Implications of cereal-based crop rotations, nitrogen fertilization, and stubble grazing on soil organic matter in a Mediterranean-type environment. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32: 289–297.
9. Fischer R.A., Byerlee D. & Edmeades G.O. 2014. *Crop yields and global food security: will yield increase continue to feed the world?* ACIAR Monograph No. 158. Canberra. Australian Centre for International Agricultural Research: Canberra.
10. Kassam, A. 2014. *Save and Grow: Soil health*. Paper presented at the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome 15–17 December 2014. Rome.
11. Tutwiler, R., Haddad, N. & Thomson, E.F. 1997. Crop-livestock integration in the drier areas of west Asia and north Africa. In: N. Haddad, R. Tutwiler & E.F. Thomson, eds. *Improvement of crop-livestock integration systems in west Asia and north Africa*. Proceedings of the Regional Symposium, 6–8 November, 1995, pp.5–22 Amman, Jordan. ICARDA, Aleppo.
12. Pala, M., Ryan, J., Zhang, H., Singh, M. & Harris, H.C. 2007. Water-use efficiency of wheat-based rotation systems in a Mediterranean environment. *Agricultural Water Management* 93(3): 136–144. doi:10.1016/j.agwat.2007.07.001.
13. Gan, Y.T., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R.L., Campbell, C.A. & Zentner, R.P. 2014. Improving farming practices reduce the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications* 5, Article number:5012.
14. Hailu, G., Tarekegn, A. & Asmare, E. 1989. Beneficial break crops for wheat production. *Ethiopian Journal of Agricultural Science*, 11(1): 15–24.
15. Higgs, R., Arthur, L., Peterson, E. & Paulson, W.H. 1990. Crop rotations: sustainable and profitable. *Journal of Soil and Water Conservation*, 45: 68–70.
16. Amanuel, G., Kühne, R.F., Tanner, D.G. & Vlek, P.L.G. 2000. Biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biology and Fertility of Soils*, 32: 353–359.
17. Tanner, D.G., Yilma, Z., Zweie, L. & Gebru, G. 1994. Potential for cereal-based double cropping in Bale Region of Ethiopia. *African Crop Science Journal*, 2:135–143.
18. Asefa T., Tanner, D.G., Kefyalew, G. & Gorbun, A. 1997. Grain yield of wheat as affected by cropping sequence and fertilizer application in southeastern Ethiopia. *African Crop Science* 1, 5:147–159.
19. Moradi, H., Noori, M., Sobhkhizi, A., Fahramand, M. & Rigi, K. 2014. Effect of intercropping in agronomy. *Journal of Novel Applied Sciences*, 3 (3): 315–320, 2014.

“养分泵”为牛提供饲料，为玉米提供养分

1. Rao, I., Peters, M., van der Hoek, R., Castro, A., Subbarao, G., Cadisch, G. & Rincón, A. 2014. Tropical forage-based systems for climate-smart livestock production in Latin America. *Rural* 21 04/2014: 12–15.
2. Resende, Á.V., Furtini Neto, A.E., Alves, V.M.C., Curi, N., Muniz, J.A., Faquin, V., & Kinpara, D.I. 2007. Phosphate efficiency for corn following *Brachiaria* grass pasture in the Cerrado Region. *Better Crops*. 91(1): 17–19.
3. CGIAR (Consultative Group for International Agricultural Research). 2013. *Grassroots action' in livestock feeding to help curb global climate change*. Research Program on Livestock and Fish (available at <http://livestockfish.cgiar.org/2013/09/14/bni/>).
4. CIAT. 2010. *Livestock, climate change and Brachiaria*. CIAT Brief No. 12.
5. Holmann, F., Rivas L., Argel, P. & Pérez E. 2004. Impact of the adoption of *Brachiaria* grasses: Central America and Mexico. *Livestock Research for Rural Development* 16 (12) 2004.
6. CIAT. 2013. *The impacts of CIAT's collaborative research*. Cali, Colombia.
7. Klink, C.A. & Moreira, A.G. 2002. Past and current human occupation, and land use. pp.69–88. In P.S. Oliveira & R.J. Marquis, eds. *The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna*. New York, USA. Columbia University Press.
8. Diniz-Filho, J.A.F., de Oliveira, G., Lobo, F., Ferreira, L.G., Bini, L.M. & Rangel, T.F.L.V.B. 2009. Agriculture, habitat loss and spatial patterns of human occupation in a biodiversity hotspot. *Scientia Agricola*, 66(6):764–771.
9. Pacheco, A. R., de Queiroz Chaves, R. & Lana Nicoli, C.M. 2013. Integration of Crops, Livestock, and Forestry: A System of Production for the Brazilian Cerrados. pp.51–60. In C.H. Hershey & P. Neate, eds. *Eco-efficiency: From vision to reality (Issues in Tropical Agriculture series)* Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2013.
10. Marouelli, R.P. 2003. *O desenvolvimento sustentável da agricultura no cerrado brasileiro*. Ecobusiness School of the Instituto Superior de Administração e Economia – Fundação Getúlio Vargas (ISEA-FGV). Brasília, Brazil. (MBA Thesis).
11. Scopel, E., Triomphe, B., dos Santos Ribeiro, MdeF., Séguy, L., Denardin, J.E. & Kochhann, R.A. 2004. Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) in Latin America. In R.A. Fischer, ed. *New directions for a diverse planet*. Proceed-

ings of the 4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia.

12. Kluthcouski, J., Cobucci, T., Aidar, H., Yokoyama, L.P., Oliveira I.P. de, Costa, J.L. da S., Silva, J.G. da, Vilela, L., Barcellos, A. de O. & Magnobosco, C.de U. 2000. *Sistema Santa Fé – Tecnologia Embrapa: Integração lavoura-pecuária peolo consórcio de culturas anuais com forrageira, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 28pp. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica 38).
13. Séguy, L., Bouzinac, S., Scopel, E. & Ribeiro, M.F.S. 2003. *New concepts for sustainable management of cultivated soils through direct seeding mulch based cropping systems: the CIRAD experience, partnership and networks*. Proceedings of the II World congress on Sustainable Agriculture “Producing in harmony with nature”, Iguaçú, Brazil, 10–15 August 2003.
14. Séguy, L., Bouzinac, S., Maronezzi, A.C., Belot, J.L. & Martin, J. 2001. *A safrinha de algodão - opção de cultura arriscada ou alternativa lucrativa dos sistemas de plantio direto nos trópicos úmidos – Boletim técnico* 37 da COODETEC CP 301 85806-970 Cascavel – PR / Brazil.
15. Kluthcouski, J. & Pacheco-Yokoyama, L. 2006. Crop-livestock integration options. In J. Kluthcouski, L.F. Stone & H. Aidar, eds. *Integração Lavoura-Pecuária EM-BRAPA Arroz e Feijão*. Santo Antônio de Goiás, Brazil.

保护性农业是保障粮食安全的关键

1. Gupta, R. & Sayre, K. 2007. Conservation agriculture in South Asia. Paper presented at the International Workshop on Increasing Wheat Yield Potential. CIMMYT, Obregon, Mexico, 20–24 March 2006. *Journal of Agricultural Science*, 145, 207–214.
2. Sharma, B.R., Amarasinghe, U., Cai, X., de Condappa, D., Shah, T., Mukherji, A., Bharati, L., Ambili, G., Qureshi, A., Pant, D., Xenarios, X., Singh & R. & Smakhitin, V. 2010. The Indus and the Ganges: river basin under extreme pressure. *Water International*, 35, 493–521.
3. Ladha, J., Yadvinder-Singh, Erenstein O. & Hardy B., eds. 2009. *Integrated crop and resource management in the rice-wheat system of South Asia*. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute.
4. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Production (available at <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>).
5. Chauhan, B.S., Mahajan, G., Sardana, V., Timsina, J. & Jat, M.L. 2012. Productivity and Sustainability of the Rice-Wheat Cropping System in the Indo-Gangetic Plains of the Indian subcontinent: Problems, Opportunities, and Strategies. *Advances in Agronomy* 117: 316–355.
6. Gautam, P. 2008. Emerging issues and

- strategies in the rice-wheat cropping system in the Indo-Gangetic Plains. In Y. Singh, V. Singh, B. Chauhan, A. Orr, A. Mortimer, D. Johnson & B. Hardy, eds. *Direct Seeding of rice and weed management in the irrigated rice-wheat cropping system of the Indo-Gangetic Plains*. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute & Pantnagar, India, Directorate of Experiment Station, G.B. Pant University of Agriculture and Technology.
7. Erenstein, O. 2009. Reality on the ground: Integrating germplasm, crop management, and policy for wheat farming system development in the Indo-Gangetic Plains in 2009. In J. Dixon, H. Braun, P. Kosina & J. Crouch, eds. *Wheat facts and futures 2009*. Mexico, D.F., CIMMYT.
8. Malik, R. K., Singh, S. & Yadav, A. 2007. Effect of sowing time on grain yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in rice-wheat cropping system. *Haryana Agricultural University Journal of Research*, 37: 103–105.
9. Singh, S., Sharma, R.K., Gupta, R.K. & Singh, S.S. 2008. Changes in rice-wheat production technologies and how rice-wheat became a success story: lessons from zero-tillage wheat. In *Direct Seeding of rice and weed management in the irrigated rice-wheat cropping system of the Indo-Gangetic Plains*. Y. Singh, V. Singh, B. Chauhan, A. Orr, A. Mortimer, D. Johnson & B. Hardy, eds. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute, and Pantnagar, India, Directorate of Experiment Station, G.B. Pant University of Agriculture and Technology.
10. Erenstein, O. & Laxmi, V. 2008. Zero tillage impacts in India's rice-wheat systems. *Soil Tillage Research*, 100, 1–14.
11. Gupta, R., Jat, R.K., Sidhu, H.S., Singh, U.P., Singh, N.K., Singh, R.G. & Sayre, K.D. 2015. *Conservation Agriculture for sustainable intensification of small farms*. Compendium of Invited Papers presented at the XII Agricultural Science Congress 3–6 February 2015, ICAR-National Dairy Research Institute, Karnal, India. pp 15.
12. ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research). 2008. Permanent beds and rice-residue management for rice-wheat systems in the Indo-Gangetic Plain. In E. Humphreys & C.H. Roth eds. Proceedings of a workshop, Ludhiana, India, 7–9 September 2006. Canberra.
13. Aryal, J.P., Sapkota, T.B., Jat, M.L. & Bishnoi, D. 2015. On-farm economic and environmental impact of zero-tillage wheat: a case of north-west India. *Experimental Agriculture*, 51: 1–16., Cambridge University Press 2014. doi:10.1017/S001447971400012X.
14. IRRI. 2009. *Revitalizing the rice-wheat cropping systems of the Indo-Gangetic Plains: Adaptation and adoption of resource-conserving technologies in India, Bangladesh, and Nepal*. Final report submitted to the United States Agency for International Development. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute.
15. Jat, M.L. 2006. Land levelling: a precursor technology for resource conservation. *Rice-wheat consortium Technical Bulletin*, Series 7. New Delhi. Rice-wheat Consortium for the Indo-Gangetic plains.
16. Aryal, J., Bhatia, M., Jat, M.L. & Sidhu, H.S. 2014. Impacts of laser land leveling in rice-wheat rotations of the North-western Indo-Gangetic Plains of India. Paper presented at the World Congress of Environmental and Resource Economists, 28 June–2 July 2014, Istanbul, Turkey.
17. Hussain, I., Hassnain Shah, M., Khan, A., Akhtar, W., Majid, A. & Mujahid, M. 2012. Productivity in rice-wheat crop rotation of Punjab: an application of typical farm methodology. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, Vol. 25, No. 1, pp 1–11.
18. Singh, R., Erenstein, O., Gatdala, M., Alam, M., Regmi, A., Singh, U., Mujeer ur Rehman, H. & Tripathi, B. 2009. Socioeconomics of integrated crop and resource management technologies in the rice-wheat systems of South Asia: Site contrasts, adoption, and impact using village survey findings. In J. Ladha, Yadvinder-Singh, O. Erenstein & B. Hardy, eds. *Integrated crop and resource management in the rice-wheat system of South Asia*. Los Baños (Philippines), International Rice Research Institute.
19. Fischer, R.A., Byerlee, D. & Edmeades, G.O. 2014. *Crop yields and global food security: Will yield increase continue to feed the world?* ACIAR Monograph No. 158. Canberra, Australian Centre for International Agricultural Research.
20. Yamano, T., Baruah, S., Sharma, R. & Kumar, A. 2013. *Factors affecting the adoption of direct-seeded rice in the northeastern Indo-Gangetic Plain*. CSISA Socioeconomics Policy Brief. New Delhi: International Rice Research Institute.
21. Gathala, M.K., Kumar, V., Sharma, P.C., Saharawat, Y.S., Jat, H.S., Singh, M., Kumar, A., Jat, M.L., Humphreys, E., Sharma, D.K., Sharma, S. & Ladha, J.K. 2013. Optimizing intensive cereal-based cropping systems addressing current and future drivers of agricultural change in the north-western Indo-Gangetic Plains of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 177: 85–97.
22. Sidhu, H.S., Singh, Manpreet, Yadvinder-Singh, Blackwell, J., Lohan, S.K., Humphreys, E., Jat, M.L., Singh, V. & Sarabjeet-Singh, 2015. Development and evaluation of the Turbo Happy Seeder for sowing wheat into heavy rice residues in NW India. *Field Crops Research*. In Press.
23. Sharma, P.C., Jat, H.S., Kumar, V., Gathala, M.K., Datta, A., Yaduvanshi, N.P.S., Choudhary, M., Sharma, S., Singh, L.K., Saharawat, Y., Yadav, A.K., Parwal, A., Sharma, D.K., Singh, G., Jat, M.L., Ladha, J.K. & McDonald, A. 2015. *Sustainable intensification opportunities under current and future cereal systems of North-West India*. Technical Bulletin: CSSRI/Karnal/2015/e. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India. 46pp.
24. Jat, M.L., Gupta, R.K., Erenstein, O. & Ortiz, R. 2006. Diversifying the intensive cereal cropping systems of the Indo-Gangetic through horticulture. *Chronica Horticulturae* 46 (3), 27–31.

传统系统提高土地利用效率

1. Cerrate, A. & Camarena, F. 1979. Evaluación de ocho variedades de maíz en sistema asociado con frijol en el Callejón de Huaylas, Perú. pp.151–155. *Informe del Maíz*. Univ. Nac. Agraria. Numero Extraordinario, Vol. III, Lima, Perú.
2. Gordon, R., Franco, J., Gonzalez A. & de Garcia, N. 1997. Evaluación de variedades de Vigna (*Vigna unguiculata*) para asociación con el cultivo de maíz en Azuero, Panamá. pp.146–148. In J. Bolaños, ed. *Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe, Síntesis de resultados experimentales 1993–1995*, CIMMYT, PRM, Guatemala.
3. Francis, C.A. 1981. Development of plant genotypes for multiple cropping systems. In K.J. Frey, ed. *Plant Breeding II*. The Iowa State University Press, Ames. 497pp.
4. Laing, D.R. 1978. *Competencia en los sistemas de cultivos asociados de maíz-frijol*. pp.174–178. Proc. VIII Reunión de Maiceros de la Zona Andina. I Reunión Latinoamericana de Maíz, Lima, Perú.
5. Mathews, C., Jones, R.B. & Saxena, K.B. 2001. Maize and pigeonpea intercropping systems in Mpumalanga, South Africa. *International Chickpea and Pigeonpea Newsletter*, 8:53.
6. Marer, S.B., Lingaraju, B.S. & Shashidhara, G.B. 2007. Productivity and economics of maize and pigeonpea intercropping under rainfed condition in northern transitional zone of Karnataka. *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 20:1–3.
7. Ngwira, A., Aune, J. & Mkwinda, S. 2012. On-farm evaluation of yield and economic benefit of short term maize legume intercropping systems under conservation agriculture in Malawi. *Field Crops Research*, 132 (2012) 149–157
8. Rusinamhodzi, L., Corbeels, M., Nyamangarad, J. & Giller, K. 2012. Maize-grain legume intercropping is an attractive option for ecological intensification that reduces climatic risk for smallholder farmers in central Mozambique. *Field Crops Research*, 136 (2012) 12–22.
9. Herrera, A.P., Gordon, R., Franco, J., Garcia, N., Martinez, L., Gonzalez, A. & Sain, G. 1993. Análisis económica de la aplicación de nitrógeno en maíz en rotación con leguminosas bajo dos tipos

de labranza, Rio Hato, Panama, 1992–93. pp.167–169. In J. Bolaños, G. Sain, R. Urbina & H. Barreto, eds. *Programa Regional de Maíz para Centro América y el Caribe, Síntesis de resultados Experimentales 1992*. CIMMYT, PRM, Guatemala.

10. Marinus, W. 2014. *Cowpea-maize relay cropping. A method for sustainable agricultural intensification in northern Ghana?* Plant production systems. Wageningen University. Wageningen, The Netherlands.

11. Ortiz-Ceballos, A., Aguirre-Rivera, J., Salgado-García, S. & Ortiz-Ceballos, G. 2015. Maize-velvet bean rotation in summer and winter *milpas*: a greener technology. *Agronomy Journal*, 107: 1: 330–336.

12. Mekuria, M., Kassie, M., Nyagumbo, I., Marenja, P. & Wegary, D. 2014. Sustainable intensification of maize-legume based systems: Lessons from SIMLESA. In B.M. Prasanna *et al.*, eds. *Book of Extended Summaries, 12th Asian Maize Conference and Expert Consultation on Maize for Food, Feed, Nutrition and Environmental Security*. Bangkok, Thailand, October 30 – November 1, 2014. CIMMYT, Mexico D.F. and APAARI, Bangkok, pp.379–386.

13. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Production (available at <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>).

14. Sanginga, N., Dashiell K.E., Diels, J., Vanlauwe, B., Lyasse, O., Carsky, R.J., Tarawali, S., Asafo-Adjei, B., Menkir, A., Schulz, S., Singh, B.B., Keatinge, D. & Ortiz, R. 2003. Sustainable resource management coupled to resilient germplasm to provide new intensive cereal-grain-legume-livestock system in the dry savanna. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 100: 305–314.

15. Landau, E. C., Cruz, J.C., Hirsch, A. & Guimarães, D.P. 2012. Expansão potencial do plantio de 2a safra de milho no Brasil no sistema de rotação soja-milho considerando o zoneamento de risco climático. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 36pp.

16. Kerr, R. B., Snapp, S., Chirwa, M., Shumba, L. & Msachi, R. 2007. Participatory research on legume diversification with Malawian smallholder farmers for improved human nutrition and soil fertility. *Experimental Agriculture*, 43:437–453.

17. Thierfelder, C., Cheesman, S. & Rusinamhodzi, L. 2012. Benefits and challenges of crop rotation in maize-based conservation agriculture (CA) cropping system of Southern Africa. *International Journal of Agricultural Sustainability*. DOI:10.1080/14735903.2012.703894:1–17.

水稻田收益更丰

1. Halwart M. 2013. Valuing aquatic biodiversity in agricultural landscapes. In J. Fanzo, D. Hunter, T. Borelli & F. Mattei, eds. *Diversifying food and diets – using agricultural biodiversity to improve nutri-*

tion and health. Bioversity International, pp.88–108.

2. FAO. 2004. *Culture of fish in rice fields*. M. Halwart & M. Gupta, eds. Rome
3. FAO. 2014. *Aquatic biodiversity in rice-based ecosystems: Studies and reports from Indonesia, LAO PDR and the Philippines*. M. Halwart & D. Bartley, eds. The Asia Regional Rice Initiative: Aquaculture and fisheries in rice-based ecosystems. Rome.
4. FAO. 2014. *Aquaculture and fisheries in rice-based ecosystems*. The Asia Regional Rice Initiative factsheet. Rome.
5. FAO. 2007. Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in China. Miao, W.M. & Mengqing, L. 2007. In M. Hasan, T. Hecht & S. De Silva, eds. *Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development*. FAO Fisheries Technical Paper 497. Rome.
6. FAO. 2012. *The state of world fisheries and aquaculture 2012*. Rome.
7. Suryana, A. *Regional Rice Initiative Implementation in Indonesia: Progress and lessons learned*. Presentation at a Side Event of the 149th Session of the FAO Council, Rome, 18 June 2014.

树木和灌木木肥料成本低

1. Garrity, D., Akinnifesi, F., Ajayi, O., Weldesemayat, S., Mowo, J., Kalinganire, A. Larwanou, M. & Bayala, J. 2010. Evergreen Agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Security* (2010) 2:197–214.
2. Haggblade, S. & Tembo, G. 2003. *Early evidence on conservation farming in Zambia*. EPTD Discussion Paper 108. Washington DC: International Food Policy Research Institute.
3. Barnes R. & Fagg, C. 2003. *Faidherbia albida*. Monograph and Annotated Bibliography. Tropical Forestry Papers No 41, Oxford. Forestry Institute, Oxford, UK. 281pp.
4. Spevacek, A.M. 2011. *Acacia (Faidherbia) albida*. KSC Research Series. US Agency for International Development, New York. 15pp.
5. Shitumbanua, V. 2012. *Analyses of crop trials under Faidherbia albida*. Conservation Farming Unit, Zambia National Farmers Union. Lusaka.
6. Phombeya, H. 1999. Nutrient sourcing and recycling by *Faidherbia albida* trees in Malawi. PhD Dissertation, Wye College, University of London. 219pp.
7. Ajayi, C., Akinnifesi, F., Sileshi, G., Kanjipite, W. 2009. Labour inputs and financial profitability of conventional and agroforestry-based soil fertility management practices in Zambia. *Agrekon* 48:246–292.
8. Adesina, A., Coulibaly, O., Manyong, V., Sanginga, P.C., Mbila, D., Chianu, J. & Kamleu, D.G. 1999. *Policy shifts and adoption of alley farming in West and Central Africa*. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 21pp.

农民不再在哈萨克草原上翻耕土地

1. CIMMYT. 2013. Water-saving techniques salvage wheat in drought-stricken Kazakhstan. In: *Wheat research, Asia*. 21 March 2013 (available at <http://www.cimmyt.org/en/what-we-do/wheat-research/item/water-saving-techniques-salvage-wheat-in-drought-stricken-kazakhstan>).
2. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Production (available at <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>).
3. Nurbekov, A., Akramkhanov, A., Lamers, J., Kassam, A., Friedrich, T., Gupta, R., Muminjanov, H., Karabayev, M., Sydyk, D., Turok, J. & Malik Bekenov, M. 2014. Conservation agriculture in Central Asia. In R. Jat, K. Sahrawat & A. Kassam, eds. *Conservation agriculture: Global prospects and challenge*. CAB International.
4. Karabayev, M., Morgounov, A., Braun, H.-J., Wall, P., Sayre, K., Zelenskiy, Y., Zhapayev, R., Akhmetova, A., Dvurechenskii, V., Iskandarova, V., Friedrich, T., Fileccia, T. Guadagni, M. 2014. Effective Approaches to Wheat Improvement in Kazakhstan: Breeding and Conservation Agriculture. *Journal of Bahri Dagdas Crop Research* (1–2):50–53, 2014.
5. FAO. 2012. *Conservation agriculture in Central Asia: Status, policy, institutional support, and strategic framework for its promotion*. FAO Sub-Regional Office for Central Asia. December 2012. Ankara.
6. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Trade (available at <http://faostat3.fao.org/download/T/TP/E>).
7. Karabayev, M. & Suleimenov, M. 2010. *Adoption of conservation agriculture in Kazakhstan*. In: Lead papers 4th World Congress on conservation agriculture: Innovations for improving efficiency, equity and environment. 4–7 February 2009. New Delhi.
8. Derpsch, R. & Friedrich, T. 2009. *Development and current status of no-till adoption in the world*. Rome, FAO.
9. FAO. 2009. *Importance of zero-tillage with high stubble to trap snow and increase wheat yields in Northern Kazakhstan*. FAO Investment Centre, June 2012. Rome.
10. FAO. 2012. *Advancement and impact of conservation agriculture/no-till technology adoption in Kazakhstan*. FAO Investment Centre information note. Rome.
11. Kienzler, K., Lamers, J., McDonald, A., Mirzabaev, A., Ibragimov, N., Egamberdiev, O., Ruzibaev, E. & Akramkhanov, A. 2012. Conservation agriculture in Central Asia – What do we know and where do we go from here? *Field Crops Research* 132 (2012) 95–105

12. Zhapayev, R., Iskandarova, K., Toderich, K., Paramonova, I., Al-Dakheel, A., Ismail, S., Pinnamaneni, S.R., Omarova, A., Nekrasova, N., Balpanov, D., Ten, O., Ramanculov, E., Zelenskiy, Y., Akhmetova, A. & Karabayev, M. 2015. Sweet sorghum genotypes testing in the high latitude rain-fed steppes of the northern Kazakhstan (for feed and biofuel). *Journal of Environmental Science and Engineering B* 4 (2015) 25–30. doi: 10.17265/2162-5263/2015.01.004.
13. Karabayev, M. 2012. *Conservation agriculture adoption in Kazakhstan*. A presentation made in WIPO Conference on Innovation and Climate Change, 11–12 July 2011. Geneva.
14. Lamers, J., Akramhanov, A., Egamberdiev, A., Mossadegh-Manschadi, A., Tursunov, M., Martius, C., Gupta, R., Sayre, K., Eshchanov, R. & Kienzler, S. 2010. *Rationale for conservation agriculture under irrigated production in Central Asia: Lessons learned*. In: Lead papers 4th World Congress on conservation agriculture: Innovations for improving efficiency, equity and environment. 4–7 February 2009. New Delhi.
15. FAO. 2014. Conservation agriculture for irrigated areas in Azerbaijan, Kazakhstan, Turkmenistan and Uzbekistan. Project GCP/RER/030/TUR Terminal report, Annex 4. Rome.
16. World Bank. *No-till: A climate smart agriculture solution for Kazakhstan. Agricultural Competitiveness Project*. 8 August 2013 (available at <http://www.worldbank.org/en/results/2013/08/08/no-till-climate-smart-agriculture-solution-for-kazakhstan>).
- 高产杂交品种帮助适应气候变化**
1. Timsina, J., Buresh, R.J., Dobermann, A. & Dixon, J. 2011. *Rice-maize systems in Asia: current situation and potential*. pp.7–26 and 161–171. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute and International Maize and Wheat Improvement Center. 232pp.
2. FAO. 2015. FAOSTAT. Online statistical database: Production (available at <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>).
3. Ali, M.Y., Waddington, S.R., Hodson, D., Timsina, J. & Dixon, J. 2009. *Maize-rice cropping systems in Bangladesh: Status and research opportunities*. Working Paper, Mexico DF: CIMMYT.
4. Gathala, M.K., Timsina, J., Islam, Md. S., Rahman, Md. M., Hossain, Md. I., Harun-Ar-Rashid, Md., Ghosh, A.K., Krupnik, T. J., Tiwari, T.P. & McDonald, A. 2014. Conservation agriculture based tillage and crop establishment options can maintain farmers' yields and increase profits in South Asia's rice-maize systems: Evidence from Bangladesh. *Field Crops Research*, 172: 85–98.
5. Borlaug Institute for South Asia. 2015. *Major Accomplishments 2012–2014*. BISA Report Series 1. New Delhi, India. 38pp.
6. Hasan, M.M., Waddington, S.R., Haque, M.E., Khatun F. & Akteruzzaman, M. 2007. Contribution of whole family training to increased production of maize in Bangladesh. *Progressive Agriculture (Bangladesh)* 18(1): 267–281.
7. CIMMYT. 2009. *Maize motorizes the economy in Bangladesh*. CIMMYT E-News, Vol. 6 No. 5, August 2009 (available at <http://www.cimmyt.org/en/what-we-do/socioeconomics/item/maize-motorizes-the-economy-in-bangladesh>).
8. CIMMYT. 2009. *Don't put all your eggs in one basket: Bangladesh tries maize cropping for feed*. CIMMYT E-News, Vol. 6 No. 2, February 2009 (available at <http://www.cimmyt.org/en/what-we-do/socioeconomics/item/dont-put-all-your-eggs-in-one-basket-bangladesh-tries-maize-cropping-for-feed>).
- 第四章 前进之路**
1. FAO, IFAD & WFP. 2015. *The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress*. Rome.
2. FAO. 2010. *The State of Food Insecurity in the World 2010. Addressing food insecurity in protracted crises*. Rome.
3. FAO. 2011. *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. FAO, Rome and Earthscan, London.
4. Viala, E. 2008. Water for food, water for life a comprehensive assessment of water management in agriculture. *Irrigation and Drainage Systems*, 22(1), 127–129.
5. FAO. 2011. *Save and Grow: A policymaker's guide to the sustainable intensification of smallholder crop production*. Rome.
6. IFAD. 2010. *Rural Poverty Report 2011. New realities, new challenges: New opportunities for tomorrow's generation*. Rome.
7. FAO. 2012. *Towards the future we want. End hunger and make the transition to sustainable agricultural and food systems*. Rome.
8. FAO. 2014. *Building a common vision for sustainable food and agriculture: Principles and approaches*. Rome.
9. 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*, Vol. 187, (2014) pp.72–86.
10. FAO. 2014. *Climate variability, adaptation strategies and food security in Malawi*, by Asfaw, S., McCarthy, N., Lipper, L., Arslan, A., Cattaneo, A. & Kachulu, M. ESA Working Paper No. 14–08. Rome.
11. UNEP (United Nations Environmental Programme). 2014. *A guidance manual for green economy policy assessment*. UNEP.
12. FAO. 2012. *Improving food systems for sustainable diets in a green economy*. FAO GEA Rio+20 Working Paper 4. Rome.
13. FAO. 2014. *Meeting farmers' aspirations in the context of green development*. Regional Conference for Asia and the Pacific, Thirty-second session. Ulaanbaatar, Mongolia, 10–14 March 2014. Rome.
14. FAO. 2015. *Smallholder productivity under climatic variability: Adoption and impact of widely promoted agricultural practices in Tanzania*, by Arslan, A., Bellotti, F. & Lipper, L. Rome.
15. FAO. 2011. *Climate-smart agriculture: smallholder adoption and implications for climate change adaptation and mitigation*, by McCarthy, N., Lipper, L. & Branca, G. FAO Working Paper, Mitigation of Climate Change in Agriculture (MiCCA) Series 4, Rome.
16. HLPE (High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition). 2013. *Investing in smallholder agriculture for food security*. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. FAO. Rome.
17. FAO. 2012. *The State of Food and Agriculture 2012: Investing in agriculture for a better future*. Rome.
18. FAO. 2014. *Institutional procurement of staples from smallholders. The case of purchase for progress in Kenya*. Rome.
19. HLPE. 2012. *Social protection for food security*. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. FAO. Rome.
20. FAO. 2013. *State of food insecurity in the world 2013: The multiple dimensions of food security*. Rome.
21. FAO. 2015. *An in-depth review of the evolution of integrated public policies to strengthen family farms in Brazil*, by Del Grossi, M.E. & Vicente, P.M. de Azevedo Marques. ESA Working Paper No. 15–01. Rome.
22. Committee on World Food Security. 2015. *Principles for responsible investment in agriculture and food systems*. FAO. Rome.
23. HLPE. 2011. *Land tenure and international investments in agriculture*. HLPE Report No. 2. FAO. Rome.
24. FAO. 2012. *Voluntary Guidelines on the Responsible Governance of Tenure of Land, Fisheries and Forests in the Context of National Food Security*. Rome.
25. FAO, IFAD, UNCTAD & World Bank. 2010. *Principles for responsible agricultural investment that respects rights, livelihoods and resources. Extended version*. Discussion note. (available at http://siteresources.worldbank.org/INT/ARD/214574-1111138388661/22453321/Principles_Extended.pdf).

26. FAO. 2014. *Developing sustainable food value chains – Guiding principles*. Rome.
27. FAO. 2015. *The rice value chain in Tanzania. A report from the Southern Highlands Food Systems Programme*. Rome.
28. Demont, M. & Ndour, M. 2015. Upgrading rice value chains: Experimental evidence from 11 African markets. *Global Food Security*, Vol. 5, June 2015, pp.70–76.
29. Pardey, P., Alston, J. & Chan-Kang, C. 2013. Public agricultural R&D over the past half century: an emerging new world order. *Agricultural Economics* 44(1): 103–113.
30. Marslen, T. 2014. *Declining Research and Development Investment: A Risk for Australian Agricultural Productivity. Strategic Analysis Paper*. Dalkeith (Australia), Future Directions International.
31. Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2015. Integrated Pest Management for Sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects* 2015, 6(1), 152–182.
32. Casão Junior, R., de Araújo, A.G. & Fuentes-Llanillo, R. 2012. *No-till agriculture in southern Brazil: Factors that facilitated the evolution of the system and the development of the mechanization of conservation farming*. Londrina, Brazil. IAPAR and Rome, FAO.
33. Friedrich, T., Derpsch, R. & Kassam, A. 2012. Global overview of the spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports Special Issue (Reconciling Poverty Alleviation and Protection of the Environment)*, 6: 1–7.
34. Sims, B.G., Thierfelder, C., Kienzle, J., Friedrick, T. & Kassam, A. 2012. Development of the Conservation Agriculture Equipment Industry in Sub-Saharan Africa. *Applied Engineering in Agriculture* 28(6):1–11.
35. FAO. 2013. Mechanization for rural development: a review of patterns and progress from around the world. *Integrated crop management*, Vol. 20–2013. Rome.
36. Mrema G., Soni, P. & Rolle, R. 2014. A regional strategy for sustainable agricultural mechanization. FAO. Bangkok.
37. Ortiz, R. 2013. Marker-aided breeding revolutionizes 21st century crop improvement. In G.K. Agrawal & R. Rakwal, eds. *Seed development: OMICS technologies toward improvement of seed quality and crop yield*. Springer, New York. pp.435–452.
38. Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R. & Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677. doi:10.1038/nature01014.
39. Bindraban, P.S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A. & Rabbinge, R. 2015. Revisiting fertilizers and fertilization strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*. DOI: 10.1007/s00374-015-1039-7.
40. Tangtrakulwanich, K., Reddy, G., Wu, S., Miller, J.H., Ophus, V.L. & Prewett, J. 2014. Efficacy of entomopathogenic fungi and nematodes, and low risk insecticides against wheat stem sawfly. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 6, No. 5, May 2014.
41. FAO & World Bank. 2010. *FAO/World Bank workshop on reducing post-harvest losses in grain supply chains in Africa, FAO Headquarters, 18–19 March 2010 - Lessons learned and practical guidelines*. Rome.
42. FAO. 2012. *Greening the economy with climate-smart agriculture*. Rome.
43. FAO. 2014. *Appropriate seed and grain storage systems for small-scale farmers: key practices for DRR implementers*. Rome.
44. Buresh, R.J., & Wopereis, M. 2014. *Save and Grow: Rice*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. FAO. (mimeo).
45. FAO. 2003. *World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective*. J. Bruinsma, ed. London. Earthscan.
46. Pretty, J.N. 2003. Social capital and the collective management of resources. *Science* 302, 1912 (2003). DOI: 10.1126/science.1090847.
47. FAO. 2013. *Draft guide for national seed policy formulation*. Report to the Fourteenth Regular Session of the Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome, 15–19 April 2013.
48. Solh, M., Braun, H-J. & Tadesse, W. 2014. *Save and Grow: Wheat*. Paper prepared for the FAO Technical Consultation on Save and Grow: Maize, Rice and Wheat, Rome, 15–17 December 2014. Rabat, ICARDA. (mimeo).

缩略语

BISA	南非布劳格研究所	IAEA	国际原子能机构	OECD	经济合作与发展组织
CA	保护性农业	ICAR	印度农业研究委员会	QSMAS	Quezungual修剪枝叶还田覆盖混农林业系统
CGIAR	国际农业研究磋商组织	ICARDA	国际干旱地区农业研究中心	R&D	研究与开发
CIAT	国际热带农业中心	ICIPE	国际昆虫生理学与生态学中心	SOC	土壤有机碳
CIMMYT	国际玉米小麦改良中心	ICRISAT	国际热带半干旱地区作物研究所	SSNM	精准养分管理
CSIRO	联邦科学与工业研究组织	IFAD	国际农业发展基金	SRI	稻米集约化系统
CSO	民间社会组织	IIASA	国际应用系统分析研究所	t	吨
DMC	直接播种加覆盖物耕作	IPM	有害生物综合防治	UNCTAD	联合国贸易与发展会议
EMBRAPA	巴西农业研究公司	IRRI	国际水稻研究所	USA	美利坚合众国
FAO	联合国粮食及农业组织	IWMI	国际水管理研究所		
ha	公顷	NERICA	非洲新稻		
GAEZ	全球农业生态区	NGO	非政府组织		

术语表

- 保护性农业** - 通过尽可能降低对土壤的干扰、利用永久性表层覆盖物和轮作，对土壤结构、构成和生物多样性起到保护作用的土壤管理方式
- 单作（或单种）** - 每年在同一片土地种植同一种作物，使用农用化学品控制有害生物并对土壤施肥的方法
- 豆科牧草** - 茎和叶作饲用或青贮的草本或木本豆科植物
- 豆科植物** - 属于豆科的（Fabaceae或Leguminosae）植物
- 豆类** - 收获后使用其干粒种子的食用豆科植物（如小扁豆）
- 非生物胁迫** - 非活性因子（如极端气温）的不利影响
- 覆盖作物** - 休耕期内为保护土壤、实现养分循环和控制杂草而种植的作物
- 覆盖物** - 用于覆盖土壤进行保墒、抑制杂草生长和实现土壤养分循环的有机质层（如作物残茬）
- 固定垄** - 用于在作物残茬覆盖物下方进行条播的田垄
- 早播** - 在干旱土壤中播种
- 激光辅助土地平整** - 使用激光发射器，以及拖拉机上安装接收器引导平整刀片消除土壤表面的不平整部分
- 节约与增长** - 粮农组织可持续作物生产集约化模式
- 间作** - 同时在同一片田中种植两种或更多种作物的方法
- 可持续作物生产集约化** - 基于生态系统的农业生产方式，在提高相同面积土地产量的同时保护自然资源、促进生态系统服务
- 可持续集约化** - 保持系统生产能力的前提下，实现单位投入农业产量最大化
- 矿物肥料** - 通过化学和工业流程生产的肥料
- 绿肥** - 残茬用作覆盖物的作物（如草类）
- 轮作** - 在同一块田内轮流种植不同种或不同科作物的方法
- 免耕** - 条播前不进行土壤耕作的保护性农业方法
- 农民田间学校** - 对基于生态系统的方法开展小组学习，减少杀虫剂使用并改善作物单产可持续性的方式
- 生态系统服务** - 维持生命的生态系统惠益
- 生物固氮** - 将大气中的氮素（如通过豆类植物根瘤菌）转化为植物可利用的形式
- 生物质** - 取自活性生物体的生物材料，通常不用作食物或饲料
- 生物胁迫** - 活性因子的不利影响（如昆虫）
- 食用豆科植物** - 种子供食用的豆科植物（如菜豆）
- 水生产率** - 消耗或提取一定数量或价值的水所获得的产品数量或价值
- 套种** - 在初茬收获前种植第二茬作物的方法
- 田垄** - 约宽50厘米至2.5米、高15厘米起、长度不限的土垄
- 条播** - 使用条播机以最优间离和深度条状播种的方式
- 条播机** - 用于保护性农业以实现等距、适当深度播种，并在种子^{上方}覆盖土壤的机械
- 土壤有机质** - 土壤中存在的所有有机材料
- 土壤结构** - 土壤中颗粒、粉砂和黏土的排布方式
- 休耕（即休耕轮作）** - 轮作期内有意不在土地上种植作物的阶段
- 淹灌（或水）稻** - 淹水整地后种植、此后持续淹灌至成熟的稻谷
- 淹水整地（稻谷）** - 耙整淹水土壤，在插秧前形成泥浆层
- 用水效率** - 植物代谢用水量与大气蒸发量之比
- 一氧化二氮** - 主要因农用土壤广泛使用矿物肥料而排放产生的重要温室气体
- 有害生物综合防治（IPM）** - 使用最少量化学品促进有害生物防治的策略
- 直接播种** - 不对苗床进行事先耕锄的播种方式
- 作物残茬** - 作物收获后所留下的部分植株



“为发展中国家的可持续生产
提出了明确的指南。”

Sanjay Rajaram

2014年世界粮食奖得主

“及时而重要。事例典型，原
则清晰。”

Jules Pretty

艾塞克斯大学（英国）

ISBN 978-92-5-508519-2



9 789255 085192

14009Ch/1/03.16