

第一章

面临的挑战

为了满足日益增长的世界人口对粮食的需求，我们别无选择，只有加强作物生产。但是农民面临着前所未有的限制。为了提高产量，农业必须学会节约。

农业发展史可视为一个漫长的集约化发展过程。因为在此过程中¹，社会是通过寻求提高作物生产力来满足自身对食物、饲料、纤维不断增长需求的。几千年来，农民选择栽培产量更高、抗旱防病能力更强的作物，修建梯田保持土壤，建造灌溉水渠分流入田，用牛拉犁替代锄头，施用动物粪便作为肥料，并运用硫磺对抗虫害。

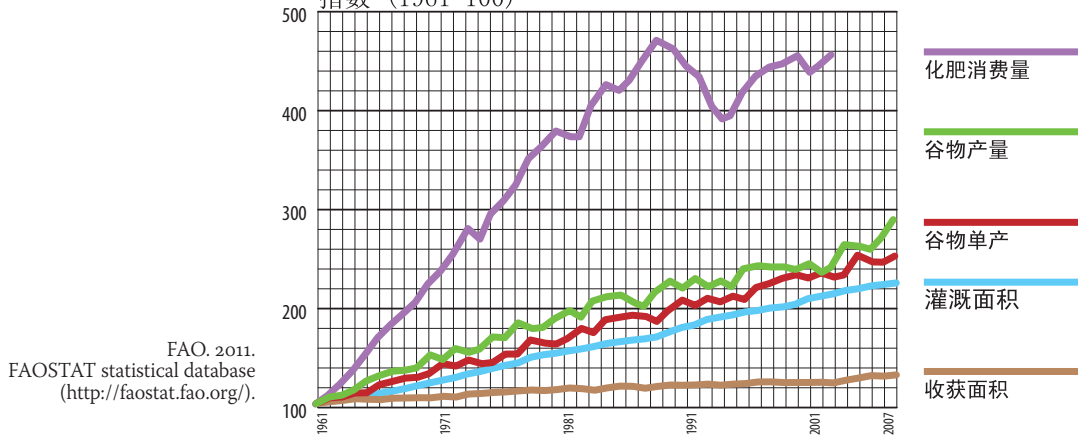
20世纪的农业集约化体现了从主要依靠对自然资源与生态系统服务进行管理的传统农作制度向将现代生物化学技术与工程技术应用于作物生产的模式转变。依照工业革命的模式，工业化国家的农业也采用了机械化、标准化、节约劳动力的技术，并利用化学品对作物进行施肥和保护。通过使用化石燃料驱动的重型农业设备与机械，采用集约型的耕作方式、高产的作物品种，配合以农业灌溉、制品投入，以及不断提高资金投入强度，生产力获得了极大的提升²。

发展中国家作物生产的集约化事实上开始于绿色革命。自20世纪50年代起，世界范围内作物品种与农业实践开始发生变革，并在60年代进一步发展³。最初，生产模式重点关注的是在有潜力的地区引进经过改良的高产小麦、水稻、玉米品种，该模式依赖的是基因同质性并使之进一步得到增强，即一般种植遗传基因相同的品种，通常大量投入使用灌溉、化肥、农药等辅助性生产资料，来替代自然资本^{4, 5}。化肥的使用取代了土壤质量管理，同时除草剂的出现也为作物轮作提供了另一种控制杂草的选择⁶。

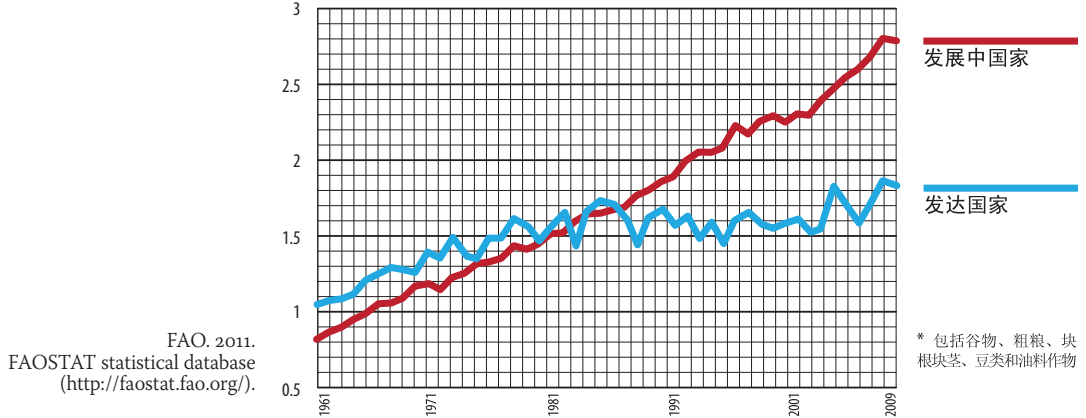
绿色革命，尤其是在亚洲，广受赞誉。人们认为它启动了各国的经济发展，减缓了农村贫困，拯救了大片生态脆弱的土地，以免毁于粗放式农业，还阻止了世界人口增长出现马尔萨斯预言的后果。1975至2000年间，南亚谷物产量增长了50%以上，同时贫困人口减少30%⁷。过去50年来，绿色革命的到来促使世界谷物、粗粮、块根块茎、豆类和油料作物的年产量从18亿

4 节约与增长

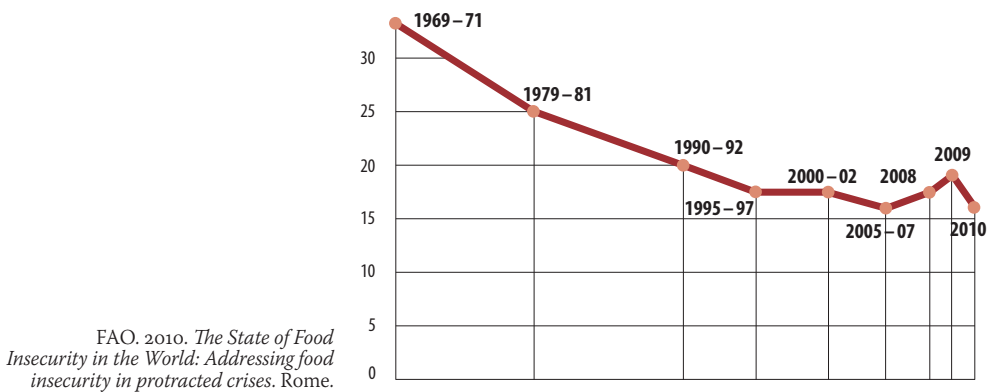
1961-2007年全球作物生产集约化指标
指数 (1961=100)



1961-2009年世界主要作物产量* (10亿吨)



1969-1971年至2010年发展中世界食物不足人口
(百分比)



吨增至46亿吨⁸。谷物产量的增加及其价格的下降很大程度上缓解了20世纪70至80年代的粮食危机。当时尽管人口数量增加相对较快，但营养不良的人口数量确实在下降。总体上而言，营养不良人数占世界总人口的比例已从1969-1971年的26%下降为2000-2002年的14%⁹。

危机四伏

现已认识到，农业产量和生产力的迅猛增长往往给农业的自然资源基础造成严重负面影响，以至危及未来的生产潜力。集约化带来的“负外部性”包括土地退化、灌溉区盐碱化、地下水抽取过度、虫害抗药性增强，以及生物多样性受到破坏。同时由于毁林、温室气体排放及水体硝酸盐污染，农业破坏环境的范围变得更大^{10, 11}。

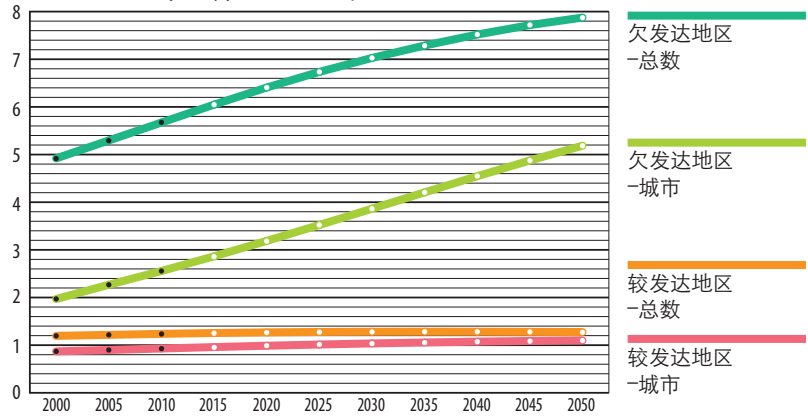
并且，以现有的粮食生产与分配系统无法满足世界人口的粮食需求，这一点显而易见。2010年，患营养不良的总人口数估计为9.25亿，高于40年前的水平。在发展中国家，营养不良的人口比例达到了16%¹²。受影响最严重的人群中约有75%生活在发展中国家的农村地区，基本生计直接或间接地依赖农业¹³。他们当中有许多人是世界5亿低收入小农中的一员，但其家庭为发展中国家提供了80%的粮食。在亚洲与非洲地区，小农生产者总计使用并管理着超过80%的农田，以及相应比例的其他自然资源¹⁴。

未来的40年里，许多发展将威胁到世界粮食安全。地球人口预计将从2010年的约69亿增加到2050年的约92亿，而这一增长几乎完全出现在欠发达区域；预计最不发达国家的增幅最大¹⁵。到那时，全球约70%的人口将集中在城市地区，而目前这一比例为50%。相比现在50%的比例，到那时，大约会有70%的人口居住在城市。照此趋势，发展中国家城市化与收入增加将导致肉食消费增多，由此对饲养牲畜的谷物需求也会越来越大。同时

6 节约与增长

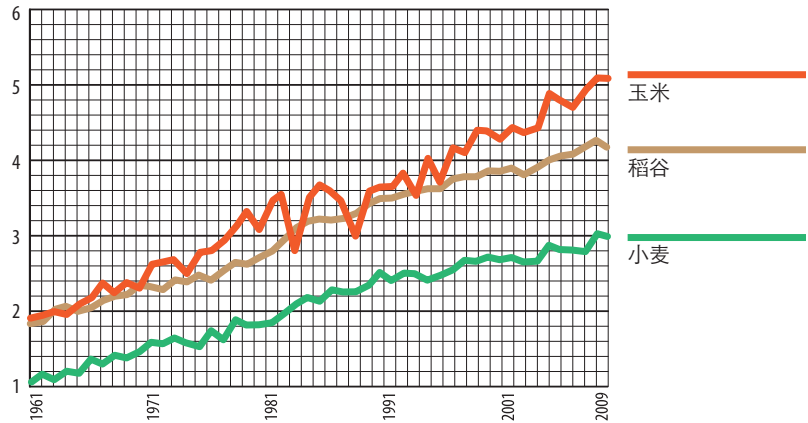
2000-2050年世界人口 (10亿)

United Nations.
World urbanization prospects,
the 2009 revision population database
(<http://esa.un.org/wup2009/unup/>).



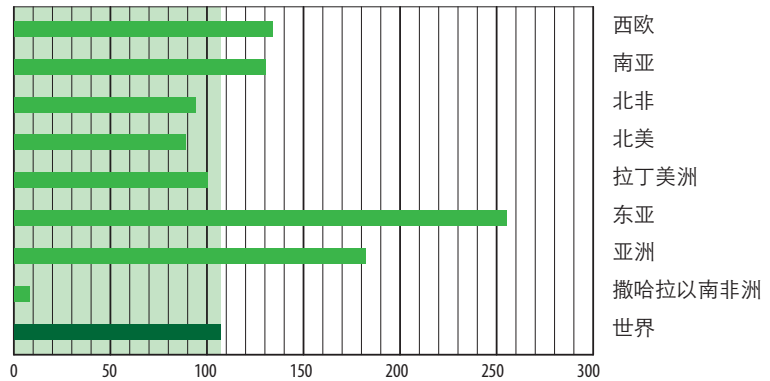
1961-2009年全球主要谷物平均单产 (吨/公顷)

FAO. 2011.
FAOSTAT statistical database
(<http://faostat.fao.org/>).



2008/2009年矿物肥料平均利用率
(公斤养分/每公顷)

IFDC,
derived from FAOSTAT
statistical database
(<http://faostat.fao.org/>).



使用农产品制造生物燃料的趋势也将持续增长。到2020年, 工业国可能以乙醇形式年人均消费玉米150千克, 接近发展中国家谷类食物的消费速率¹⁶。

这些需求上的变化将推动大量增加所有主要粮食与饲料作物生产的需要。粮农组织的预测表明, 到2050年, 全球农业生产必须增加70%, 而发展中国家则差不多要增加100%, 才能仅满足额外增加的食物需求, 还不包括对作为用于生产生物燃料原料的农产品的额外需求。也就是说到2050年, 相比2005至2007年间的产量, 每年要额外生产10亿吨谷物及2亿吨肉食¹⁰。

大多数发展中国家几乎没有进一步扩大耕地面积的空间。事实上, 南亚和近东/北非地区已经没有空余土地。在撒哈拉以南非洲及拉美地区, 有土地供给, 但超过70%的土地利用受到土壤与地形的制约。因此2015至2030年间, 要求增加的粮食产量中, 估计会有80%必须来自于集约化带来的单产和种植密度的增加¹⁷。但是, 主要粮食作物 - 水稻、小麦和玉米 - 的单产增长速度都在下降。小麦单产的年增长速度已由1980年的5%左右滑落到2005年的2%¹⁸; 而同期, 水稻及玉米单产增长则从原来的3%以上下降到1%左右。在亚洲, 土壤退化及集约型水稻系统中毒素增加已受到越来越多的关注, 人们担心单产增加的减缓反映了作物生长环境的恶化⁴。

土壤质量的不断下降, 可供给作物生产的水资源持续减少, 都对未来产生了重大影响。据联合国环境规划署估计, 不可持续的土地利用方式已导致全球农田生产率年均净减少0.2%¹⁹。资源退化降低了化肥、灌溉等投入的生产能力。未来数年中, 土壤质量低、水资源缺乏、气候条件不佳等生产条件不理想的边缘生产地区, 将越来越多地需要应用集约化的作物生产方式。

在努力增加作物产量的同时, 环境及社会经济状况也在迅速变化, 通常还难以预测。最严峻的挑战之一就是需要适应气

候变化，气温、降水的改变，以及突发虫灾不仅会影响可种植的作物品种以及种植时间，还会影响它们的生产潜力¹³。近期内，气候变化与极端天气带来的冲击预计会增加并影响到所有的区域²⁰⁻²³，给产量增加和粮食安全带来负面影响，尤其是在2030年以前的时间里影响撒哈拉以南非洲地区及南亚地区²⁴。农业（包括森林砍伐）造成了大约三分之一的温室气体排放，因此它必须在缓解气候变化中发挥重要作用²¹。即使作物能够适应持续变化的环境，传统的资源密集型农业系统也将日益受到减排要求的挑战³。

需要为农业活动和关键生产资料，主要是化肥生产提供动力的能源价格与供应能力是未来充满不确定性的另一个重要原因。随着化石燃料供给量下降，其价格便开始上升，带动了生产资料价格上涨，结果导致农业生产成本的增加。化石燃料不能再是提高生产力的唯一能源来源。为了减少燃料成本，促进农业集约化进一步发展，能源来源必须实现多样化。

因此，在环境变化、能源短缺及资源退化的共同影响下，以可持续方式满足未来的粮食需求也愈发面临着更为严峻的挑战。2008年粮食价格大涨，2011年初粮食价格创历史新高，都预示着世界粮食安全将面临日益频繁的威胁²⁵。从经济、人口、气候方面广泛审视看似美好的未来图景后，国际粮食政策研究所（IFPRI）推测，2010-2050年，小麦实际价格将上涨59%，稻米上涨78%，玉米上涨106%。研究给出的结论是，不断上涨的价格反映了由人口增加、收入增长及生产率降低带给“世界粮食系统无尽的潜在压力”²⁶。

长期持续的粮食安全危机在低收入发展中国家表现得最为严重。在那些食物消费水平低、人口增长率高、通常农业资源禀赋差的国家，农业扩张与集约化给资源和更广泛的环境带来的压力体现得越来越明显²⁷。在这些国家里，小农生产者高度依赖生态系统的产品与服务以获取家庭和市场所需的食物、燃

料与纤维织物，容易因自然资源质量与数量的下降而蒙受损失，对气候变化的适应力也较¹⁴。因此如果不采取措施提高这些国家小农农业的生产力，第一个“千年发展目标”，即到2015年，饥饿与贫困人口比例下降一半的目标将难以实现。

另一种模式的转变

由于环境和粮食供给面临着来自当前和未来越来越多的各种挑战，可持续的农业集约化生产正成为政策制定者和国际发展合作伙伴优先考虑的一个重要事项²⁸。可持续集约化被定义为：提高相同面积土地的产出^{7, 14}，同时减少给环境带来的消极影响，促进自然资本增加，大量提供环境服务²⁹。

作物生产可持续集约化是粮农组织的首要战略目标。为了实现这一目标，粮农组织支持在农业管理中使用“生态系统方法”³⁰。这种生态系统方法本质上是通过对土地、用水、种子还有化肥的投入，给支持植物生长的自然过程提供补充，也包括授粉，引入天敌控制害虫数量，利用土壤生物群帮助植物获取养分等³¹。

目前普遍存在的认识是，生态系统方法需要为作物生产集约化提供支持。一项关于到2050年粮食和农业未来的重要研究呼吁，全世界粮食系统需要做出重大改变，包括采用可持续集约化方式，同时增加产量，提高投入的使用效率，并减轻粮食生产带来的负面环境影响³²。近来，国际农业知识与科技促进发展评估（IAASTD）也呼吁，现有的农业实践活动需要向既能极大促进生产力提高，又能同时加强生态系统服务的可持续农业生产方式转变³³。

对发展中国家的评估已经表明，资源保护型的农业实践活动能增加环境服务供给，并提高生产力。在一次对57个低收入

国家农业发展项目的评估中发现，提高水资源的利用效率，减少使用杀虫剂，改善土壤健康，能使平均作物单产增加79%³⁴。另一项研究给出的结论是，如果农业生产系统能够利用各种措施，如保护性耕作、作物多样化、豆科作物集约化，以及虫害的生物防治，来保护生态系统服务，那么它会得到和高投入的集约型模式一样的实施效果^{35, 36}。

当作物生产可持续集约化得以有效实施，并能获得切实支持时，它就能实现“双赢”的结果，就能够应对养活世界人口及保护地球的双重挑战。作物生产可持续集约化能使各国按照既满足社会需求与目标，同时又不危及子孙后代享受全部环境产品与服务权利的方式，来规划、发展和管理农业生产。帮助农民获得经济与环境双重效益从而实现双赢结果的例子之一，就是减少对生产资料如无机肥的过度使用，同时提高了生产力。

可持续的集约化除了能给粮食安全与环境带来多重益处外，还能够为占世界人口三分之一以上的小农及其家庭带来许多好处 - 通过提高其生产力，降低成本，增强适应力以应对压力，以及提高其风险防范的能力¹⁴。农业投入的花费减少后，节约出来的资源可用于投资农场及支付农户家庭的食物、健康、教育等方面的费用²⁹。农民能够以较低的环境成本，实现净收入的增加，从而带来公共、私人双重效益³¹。

主要原则

过去的二十年里，随着农民们开始采用通常建立在传统技术基础上的可持续的生产措施，例如病虫害综合治理与保护性农业，生态系统方法开始用于实现农业集约化。作物生产可持续集约化的特点是以更系统化的方法来管理自然资源，以一套基于科学的环境、体制和社会原则为基础。

环境原则

为提高效率，稳固全球粮食系统，生态系统方法的运用需要贯穿整条食物链。在当前的耕作制度下，农业经营要以生物过程为基础，综合多种植物品种，还要合理使用化肥、杀虫剂等外部投入。作物生产可持续集约化是建立在以下各章所描述的农业生产系统与管理措施基础之上的，包括：

- ▶ 保持健康土壤以增加作物养分；
- ▶ 在植物间作、轮作、连种中栽植多样的物种与品种；
- ▶ 使用经过改良的高产品种与优质种子；
- ▶ 综合治理病虫害、杂草；
- ▶ 高效的水管理

为了获得最优的生产力和可持续性效果，作物生产可持续集约化需要适用于多种不同的农业系统，以及适宜于特定的农业生态和社会经济环境。一般认为，适宜的管理措施对于实现生态系统服务效益、同时减轻农业活动带来的负面影响起到至关重要的作用³⁶。

制度原则

希望农民们仅仅因为可持续的生产措施更环境友好就采用它们是不现实的。将环境原则转化为大规模、协调性好的行动项目还需要国家和地方的制度支持。对政府来说，它需要面对的挑战是要完善所有农业分部门之间，从生产到加工再到营销的协调和沟通。必须设计出一些机制来加强机构间的联系，提

升作物生产可持续集约化政策和战略的制定水平，支持开展试点研究、加强农民经验和本土传统知识的应用。

在地方层面，农民组织对获取资源，尤其是土地、水、信贷和知识，以及在确保农民的呼声能被听到方面发挥着重要作用。小农也需要进入高效、公平的市场，需要激励因素来促进其经营除粮食生产之外的其他生态系统服务³⁷。农民是否接受作物生产可持续集约化方式将取决于所获得的切实利益，如收入增加与劳动需求减少。如果这一经济系统能恰如其分地反映出成本，其中包括不可持续生产措施带来的高额环境成本，那么这个平衡就会发生变化，向着有利于采取作物生产可持续集约化方向发展。

社会原则

可持续的集约化已被视为一个“社会性学习”过程，因为它对知识的需求往往比大多数传统农业生产方式要更高¹⁴。因此，作物生产可持续集约化要求大力加强推广服务，同时利用传统和非传统渠道促使农民采取该生产方式。通过培训让农民将可持续的自然资源管理措施融入到自身的农业生产系统中去，最成功的方法之一便是称之为农民田间学校^{38*}。

* 19世纪80年代末，作为粮农组织有关水稻病虫害综合治理区域项目的一部分，农民田间学校这一方法率先在东南亚地区施行，并至少已被75个国家采用，目前广泛适用于解决越来越多的作物及作物生产问题。

为实施作物生产可持续集约化而调动社会资本需要人民参与地方决策，确保农业领域体面和公平的工作条件，而且最重要的是承认妇女在农业中的关键作用。在非洲撒哈拉以南地区开展的研究充分证明，导致男女之间农业单产差异的主要原因是获取资源和推广服务的机会不同。缩小农业领域中存在的性别差异可以提高生产力及其他重要的附加利益，如提高女性农民的收入和增加粮食供应³⁹。

前进之路

拥有政策支持与充足资金的情况下，作物生产可持续集约化能在较短的时间内在大型生产区实施。政策制定者所面临的挑战是要找出促进可持续集约化发展的有效途径，这样成百上千万的人们就能最终受益³²。实践期间，关键性的实施阶段包括：

- ▶ 评估当前的农业实践活动对农业生态系统的潜在负面影响。这或许包括对特殊指标的定量评价，还包括在地区或省级层面上与利益相关方一起评估规划。
- ▶ 在国家层面上确定哪些生产系统是潜在不可持续的，因此需要给予特别关注；还需要确定生态系统可持续性的哪些方面（如土壤健康、水质、生物多样性保护）在介入时需要优先考虑。
- ▶ 与农民一起验证、改进技术，用综合的方法来解决这些需要优先考虑的问题，并利用经验制定投资计划，制定合理的制度与政策。
- ▶ 实施计划，即以本书介绍的方法与技术为基础的计划（利用技术支持与有利政策）。
- ▶ 监控、评价、审核，需要时按照规定的方向进行调整。

这一过程可以重复进行。任何情况下，它一方面有赖于国家管理政策与制度间的相互作用，另一方面也有赖于农民的本土经验以及消费者。对重要生态系统变量的监控有助于调整和优化作物生产可持续集约化的新措施。

在准备项目时，政策制定者或许需要考虑，哪些因素会对作物生产可持续集约化及农业部门的总体发展产生影响。风险是存在的。例如，有些政策试图通过扩展价值链及整合土地占有来实现规模经济，但这些政策也许会将小农排除在该过程之外，或者会减少他们所能获得的生产资源。加强交通基础设施建设可以帮助农民获得化肥与种子，两者对作物生产可持续集约化和市场来说都十分重要。考虑到食物链中的损失比例较

高 - 全球大约有30%至40%的农产品因浪费和损坏而损失，因此对加工、贮藏及冷链设备的投资将能使农民从他们的产品中获得更多的价值。政策制定者还可以利用现代信息通讯技术，让小农更好地获得生产信息与市场信息，促使他们参与作物生产可持续集约化。


各种与作物生产可持续集约化相关的国际文书、公约及条约可能需要得到更加有效的协调、完善和落实。这将需要与农村发展及自然资源相关的国际组织之间进行合作*，也需要政府、民间社会组织和农民协会之间的合作。在区域、国家及地方层面，急需提升能力，来落实已达成国际共识的治理协议**。

* 如：粮农组织、国际农业发展基金会（IFAD）、联合国开发计划署（UNDP）、联合国环境规划署、世界贸易组织（WTO）及国际农业研究磋商组织（CGIAR）。

** 如：《粮食及农业植物遗传资源国际条约》（ITPGRFA）、《国际植物保护公约》、《生物多样性公约》（CBD）、《食品法典》、《联合国气候变化框架公约》（UNFCCC）、《联合国防治荒漠化公约》，以及与生物多样性相关的协议。

此外，还有一些不具法律约束力的国际文件也体现了增加及可持续利用自然资源方面的合作。它们包括了一些指南及守则，如《国际农药供销与使用行为守则》，其旨在加强防范对产品、环境及人类健康造成的越境威胁。最后，联合国食品权利特别报告起草人已经提出了有关土地租赁及粮食商品市场买卖的指导原则，并呼吁促进生态系统方法在农业中的应用。

事实上，将生态系统方法应用于作物生产集约化并没有单一蓝图。不过，一系列通常适用于本地的农业措施和技术已经得到了开发利用。第二、三、四、五和六章介绍了这些内容丰富、关系重大、易采用、适应性强的生态系统方法。它们有利于提高作物产量，足以成为国家及区域项目的重要基石。第七章详细介绍了很大程度上能推动采纳和实施作物生产可持续集约化的政策环境及制度安排。

The background features a circular historical map with a grid, surrounded by a decorative border of golden-brown leaves and flowers. The map includes labels for 'SOUTH OCEAN' and 'ANTARCTIC'.

第二章

农业系统

作物生产的集约化将以能够为生产者和整个社会提供一系列生产力、社会经济和环境效益的耕作系统为基础。

作物的种植与生长可在范围广泛的生产系统中进行。一方面是采用干预主义的方式，通过技术干预手段来控制大部分生产过程，如采用土壤耕作，利用农药防治病虫害、控制杂草，使用无机肥增加植物养分。而另一方面则是利用主要使用生态系统方法，既高产又更可持续的生产系统。这些农业生态系统的普遍特征是，对生态系统的干扰极少，植物养分来自有机和无机两个来源，利用自然和人为管理的生物多样性来生产粮食、原料及提供生态系统服务。基于生态系统方法的作物生产可以使利用中的农田保持健康，也可以使因过去滥用而处于贫瘠状态的废弃土地重新获得利用¹。

对生产者和社会来说，采用作物生产可持续集约化的农业系统能带来一系列生产率、社会经济和环境方面的效益，包括获得高而稳定的产量和盈利水平；增强对气候变化的适应性，减少脆弱性；增加生态系统功能与服务；减少农业产生的温室气体排放与“碳足迹”。

这些耕作系统将基于三项技术原理：

- ▶ 在提高农业生产力的同时，促进自然资本及生态系统服务；
- ▶ 提高关键投入的利用效率，包括水、养分、杀虫剂、能源、土地和劳动力；
- ▶ 利用自然和人为管理的生物多样性来增强系统应对来自生物、非生物胁迫及经济方面压力的适应力。

依据当地条件和需求的不同，为落实这些原则而需要采用的农业措施会存在区别。不过在所有情况下，它们都需要：

- ▶ 最小化机械耕作，将对土壤的干扰降至最低，由此保留土壤有机质，维持土壤结构，整体保持土壤健康；
- ▶ 增加、保持土壤表层保护性的有机覆盖物，利用作物、覆盖作物或作物残留物来保护土壤表层，留住水分与养分，提高土壤生物活性，利于综合控制杂草与害虫；
- ▶ 种植范围广泛的植物种类，无论其是一年生还是多年生。在间作、轮作、连种中，种植包括树木、灌木、牧草还有作物在内的这些植物，目的在于丰富植物营养，增强系统的适应力。

可持续集约化耕作系统方法对重要生态系统服务的贡献

目标	系统组成			
	覆盖层	少耕或 免耕	豆科植物 提供 植物养分	轮作
模仿最优的“森林地被物”环境	*	*		
减少土壤表层水分蒸发损失	*			
减少土壤上层水分蒸发损失	*	*		
最小化土壤有机物氧化作用 及二氧化碳损失		*		
土壤压实度最小化	*	*		
土壤表层温度波动最小化	*			
提供常规有机物，作为 土壤生物活动的基础	*			
增加、保持根区的氮水平	*	*	*	*
增加根区阳离子交换能力	*	*	*	*
雨水渗透最大化， 径流流失最小化	*	*		
土壤径流流失及风蚀最小化	*	*		
通过土壤生物行为允许保持 土层自然分层	*	*		
杂草最少化	*	*		*
增加生物量生产率	*	*	*	*
利用土壤生物加速恢复土壤透气度	*	*	*	*
减少劳动力投入		*		
减少燃料/能源投入		*	*	*
养分循环	*	*	*	*
减少病原体带来的虫害压力				*
恢复受损土壤状况及活力	*	*	*	*
授粉服务	*	*	*	*

Friedrich, T., Kassam, A.H. & Shaxson, F. 2009. Conservation agriculture. In: *Agriculture for developing countries. Science and technology options assessment (STOA) project*. European Parliament. Karlsruhe, Germany, European Technology Assessment Group.

通常, 这三种重要措施是与保护性农业联系在一起的。后者已为发达国家和发展中国家广泛采用*。然而为了实现必要的可持续集约化以提高粮食产量, 还需要获得以下四条管理措施的支持:

- ▶ 使用经过改良的高产品种, 这些品种要具有应对生物与非生物胁迫的适应力, 且具有更高的营养品质;
- ▶ 由健康的土壤来增加作物养分, 通过作物轮作还有合理使用有机肥与无机肥来实现;
- ▶ 综合治理病虫害和杂草, 采取合适的措施, 利用生物多样性, 在必要的时候有选择地使用低风险的杀虫剂;
- ▶ 实施高效的水管理, 通过“低灌高产”来实现, 同时保持土壤健康, 并最小化来自农场之外的外部性影响。

理想状态下, 作物生产可持续集约化应当在同一时间里, 适时、高效地综合运用以上的全部七种措施。但是, 可持续生产系统的本质恰恰在于变动性: 它们需要为农民提供多种可能措施的组合, 使他们根据当地的生产条件和限制, 从中选择, 并加以改进²⁻⁵。

当推荐的措施同时使用、或者通过不同的组合得以运用时, 它们有助于提高重要的生态系统服务, 通过协同作用无论在要素生产率还是总生产率方面, 都能获得积极的成果。例如, 在降水量一定的情况下, 植物的土壤水分可获性就取决于对土壤表层、土壤有机质还有植物根系的管理。在土壤湿度条件良好的情况下, 如果土壤健康, 植物营养充足, 那么水分生产率就能得到提高。良好的渗水性及土壤覆盖物同样可以减少表层蒸发, 最大化水分利用效率与生产率, 其中, 植物本身的水分吸收与使用能力也扮演着重要的角色。

实现生态可持续生产的重要条件之一就是要有健康的土壤, 可在植物根区内创造一个优化土壤生物活性, 让根的作用得到最大可能程度发挥的环境。根能获得植物的营养、水分, 能和一系列有利于土壤健康和作物生长的土壤微生物相互作用^{2, 6, 7}。

* 保护性农业如今已在全世界大约1.17亿公顷的土地上实施, 或者说大约占总作物用地面积的8%。澳大利亚、加拿大还有南美洲南锥地区的采纳率最高(超过作物用地的50%)。在非洲、中亚和中国, 也得到了越来越多的采用。

对于实现可持续生产和其他生态系统服务来说，能否保持或提高土壤有机物含量，能否维持土壤结构和相应的孔隙度是关键性的指标。

要实现长期可持续，在任何农业系统中，有机物的损失速度都不能高于土壤形成的速度。但是在大多数农业生态系统中，如果土壤受到机械干扰，就不可能实现这一点⁸。因此，对可持续的集约化生产来说，一个关键的出发点，也是作物生产可持续集约化的重要组成部分，就是在作物种植和随后的作物管理过程中，通过限制使用机械耕作，限制对土壤的干扰，来保持土壤结构和有机物含量。

在保护性农业实践中，少耕或免耕的生产方法已经极大地改善了世界许多地方的土壤条件，减缓了土壤退化，提高了生产率。在每次播种前及作物生长期间，大多数农田不断进行耕犁，耙地或锄地。目的是为了消除杂草，增加土壤渗水性，并促进作物生长。但是，这种对表土不断的干扰会深埋土壤覆盖物，还可能会打破土壤结构的稳定性。此外，还会造成土壤硬化，导致生产率降低⁹。

保护性农业对可持续集约化生产的一个贡献就是，使土壤干扰最小化，保持土壤表层作物残留物的完整。保护性农业方法包括最小化（或带状）耕作，这种耕作只影响到播种田垄的土壤部分；还有免耕耕作法（也称零耕或直播），这种耕作法消除了对土壤的机械干扰，将作物直接种入上一轮耕种后就没有耕整过的苗床上³。

作物生产可持续集约化要考虑的另一个相关管理因素是农业动力和机械化的作用。在许多国家，集约化生产的一个重要限制就是缺少农业动力¹⁰。如果仅仅依靠体力劳动，平均一位农民所种植的食物可以满足另外三个人的需求。利用畜力牵引的话，可供养的人数能翻一番；而如果使用一辆拖拉机，这个数值能达到50人或更多¹¹。适当的机械化可以提高作物生产中

的能源利用效率，增加可持续性，提高生产能力，减少给环境带来的有害影响^{12, 13}。

与此同时，未来能源价格与供给的不确定性就意味着，需要采取措施减少对农业动力及能源的总体需求。与传统农业相比，保护性农业可将这些需求削减60%，这是因为它取消或大幅减少了大多数动力密集型的田间作业（如耕作），尤其是缓解了整地过程中劳动力与动力瓶颈的制约，极大降低了对设备、特别是对拖拉机数量与型号要求方面的投资（虽然保护性农业也要求对新型、适用的农业用具进行投资）。同样，如果进行小规模耕种的农民使用人工或者利用畜力牵引，也能实现能源节约。坦桑尼亚联合共和国的研究表明，在采用免耕的第四年，有覆盖作物的玉米地对劳动力的需求下降了一半多¹⁴。

潜在限制

有些农产区引入特定的作物生产可持续集约化措施后，产生了一些特殊问题。例如，在保护性农业措施下，缺乏降水可能会制约半湿润半干旱气候区内生物量的生产。这不仅会限制可收获作物的产量，还会限制可用作土壤覆盖物、饲料或者燃料的地表残留物的数量。不过，在最初几年的适应期里，虽然缺少残留物，但一般可通过放弃对土壤的耕作而实现节水，从而提高产量。在比较湿润的地区，植物养分缺乏通常被认为是一个限制因素，但通过提高土壤生物活性，可以增强磷和其他营养成分的长期供应^{7, 15}。

通常认为，少耕或免耕方式并不适合土壤排水性能差或土壤紧实的农区，同样也不适合寒冷潮湿气候的重粘土区。在第一种情况里，如果排水性差是因为土层不能透水，超出了耕种设备的能力范围，那么就只有通过生物手段，如利用直根、蚯蚓、白蚁，来打破深层阻碍，帮助水渗透土壤。一直以来，这些生物措施都是在土壤干扰最小情况下实施的。在第二种情况

里，与耕犁过的土地相比，有地表覆盖物的土壤确实要更长时间回暖干燥。然而在加拿大和芬兰，农民们在非常寒冷的条件下成功地实践了免耕的生产方法。研究发现，在那些地区有覆盖物的土壤温度在冬季也不会下降太多^{13, 16}。

对少耕或免耕方式的另一误解是，认为它们会增加对杀虫剂和除草剂的使用。在一些集约型生产系统中，同以耕犁为基础的农业相比较，综合使用免耕、地表覆盖与作物多样化的方法已经减少了对杀虫剂和除草剂的使用，不管是绝对用量还是每吨产出所用的有效用量^{12, 13}。

利用小农的手工方式，综合的杂草管理方法可以取代除草剂。例如，自2005年坦桑尼亚联合共和国的卡拉图地区引入保护性农业后，农民们已经结束了耕犁和锄地的耕种方式，正在混种直播玉米、扁豆及木豆作物。该生产系统可以产出优质的地表覆盖物，便可直接通过手工完成杂草管理而不需借助除草剂。在一些年份，农田会轮种小麦。总体呈现良好结果，玉米产量从平均每公顷1吨增长为6吨。这种产量的大幅提高依靠的并不是农业化学制品的使用，而是通过使用牲畜粪肥作为土壤改良剂和肥料来实现的¹⁷。

广泛采用保护性农业的另一个潜在瓶颈是，缺乏合适的机器设备，如免耕播种机。对于发展中国家的小农来说通常很难获得这些设备。即使某些地方有售，它们的价格也往往要比普通设备昂贵得多，需要农民支付一笔相当可观的初期投资。通过推动建立生产投入供应链，发展本地设备制造业，以及在农民间推行承包服务或设备共享机制，来降低成本，这类瓶颈是可以被克服的。在印度河-恒河平原可以找到实践这些方法的优秀范例。在大多数小型农业的经营中，使用畜力牵引的免耕播种机能够满足甚至超越个别农民的需要。

促进节约与增长的耕作系统

当各种恰当、互有裨益的措施一起运用时，采用生态系统方法实现作物生产集约化的效果最好。即使不可能在同一时间内实施所有推荐的措施，但任何朝着这个目标的改进都值得鼓励。作物生产可持续集约化的原则能够很容易地与一些农作系统相融合，只要这些系统的特征与基于生态系统的方法有共同之处，或者这些系统通过运用类似的原则可以得到改良提高。

作物-家畜综合生产系统

发展中国家的小农大多采用作物-家畜综合生产系统。牧场具有重要的生态功能：其拥有相当比例的多年生牧草，而这些牧草能够以远远超过一年生作物的速度隔离并安全储存土壤里大量的碳。采用适当的管理，例如，替换养分输出；保持物种多样性；在土地用作放牧或收割期间，使土地得到充分的恢复，其储存能力还可以得到进一步提升。

传统农业系统中，适于作物耕种的土地与牧场之间存在明显的区分。而通

过运用作物生产可持续集约化方式，这种区分将不复存在。因为一年生作物可以与牧草轮种，却不会对耕地的土壤造成破坏性干预。这种“牧草与作物混播”模式在许多国家都取得了可喜的新进展。在澳大利亚，牧草与作物混播包括将燕麦这样的冬季作物直接种植在本地物种占主导地位的夏播牧草中。田间实验已经表明了这样做的益处：可以降低水涝、硝酸盐淋失及土壤侵蚀的风险¹⁸。

实践的创新在提供了一系列有价值的生态系统服务的同时，也通过利用作物、家畜及农林间作生产系统之间的协同作用，增强了经济和生态的可持续性。借助生物多样性的增加、有效的养分循环系统、土壤健康的改善，以及森林保护，

这些系统提高了环境的复原能力，也起到了适应和减缓气候变化的作用。通过优化生产投入，包括劳动力因素，这些系统不仅可以增加生计的多样性和有效性，还能提高应对经济压力的复原能力¹⁹。



苜蓿

▮ 可持续的稻麦生产系统

可持续的稻麦农业生产系统是由水稻小麦联盟率先在孟加拉国、印度、尼泊尔、巴基斯坦境内的印度河-恒河平原实践的，是国际农业研究磋商组织和各国家农业研究中心提出的一项新计划，20世纪90年代开始实施，主要是为了应对作物生产能力进入停滞时期，土壤有机物不断流失以及地下水位下降问题²⁰。

该系统包括利用拖拉机牵引的条播机，在水稻收割后播种小麦。这种条播机可以单程将种子直接播种在未经耕犁的农田里。最初，因为南亚地区并没有这种专门的农业机械，所以普及这种技术的关键便在于提升当地的生产制造能力，以供应当地人们买得起的免耕条播机。免耕小麦直接带来了显而易见的经济效益。它使提前种植成为可能，有助于控制杂草，并拥有巨大的资源保护效益，包括减少柴油和灌溉水的使用。每公顷成本估计可以节约52美元，主要是因为拖拉机使



小麦

用时间大大缩短，以及土地整理和小麦播种所耗燃料的大幅减少所致。

在180万公顷的印度河-恒河平原上，约有62万农民已经采用了这一生产方式，带来了180美元到340美元的户均收入。要把这种方法推广到其他地区，不仅要实地开展适应性的、参与广泛的研究开发活动，还需要建立起农民与技术供应者之间的联系，而最重要的是，要采取具有经济吸引力的干预措施²¹。

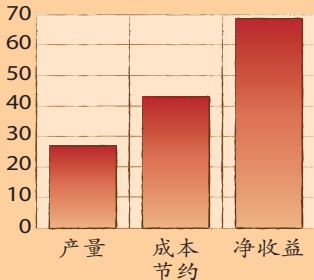


树苜蓿

▮ 农林复合经营系统

包括木本多年生植物及一年生作物栽培在内的农林复合经营系统，正越来越多地被应用到退化土地上，通常情况下是选择栽种多年生的豆科植物。保护性农业与农林复合经营系统还有其他一些林木作物系统结合在一起效果较好，而且无论是发达和发展中地区的农民们都以某种形式在实践着这种农业生产系统。通过加强作物的相关性（含豆科作物），以及与牲畜饲养间的联系

印度哈里亚纳邦免耕与传统耕作方式相比的资金优势
(美元/公顷)



Erenstein, O. 2009. Adoption and impact of conservation agriculture based resource conserving technologies in South Asia. In: Proceedings of the 4th world congress on conservation agriculture, February 4-7, 2009, New Delhi, India. New Delhi, World Congress on Conservation Agriculture.

与结合, 这些系统可以得到进一步的提升²²。间作是该领域的一个创新, 它为生产者提高了生产力, 带来了经济和环境效益。另一个例子是密度各异的“肥料树种”的利用, 它可增强生物固氮作用、保持土壤湿度、增加用于地表残留物的生物量产量(见第三章: 土壤健康)。

■ 纳米比亚的深松起垄机系统

纳米比亚北部的农民采用保护性农业做法种植耐旱作物, 包括小米、高粱和玉米。这种耕作系统使用拖拉机牵引的深松起垄机, 从硬土层向下深挖60厘米并起垄, 用于田间雨水收集。所收集的雨水集中在沿沟线种植的作物根部, 同时施用化肥和粪肥混合物。在第一年使用拖拉机建立这一系统, 而从第二年开始, 农民则利用畜力直播机将作物直接播种在沟线中。

作物残茬主要用作牲畜饲料, 但是这一系统产出的生物量日益增多, 可使部分残茬用于土壤覆盖。鼓励农民利用豆类作物实行轮作。这些技术使生长季节延长并改善土壤结构、肥力和墒情。玉米平均单产已从每公顷300公斤增至超过1.5吨。

■ 其他生产系统

有机耕作, 当与保护性农业实践相结合, 就可以改善土壤健康并提高其生产能力, 还可以提高有机物质的利用效率, 并节约能源。有机保护性农业生产系



玉米

统主要服务于利基市场, 巴西、德国、美国的部分地区正在实践这一做法, 非洲一些农民为维持生计也在尝试这一做法。轮垦, 需要清理林中空地作为作物生产用地, 而后被弃之不用, 由此进行自然更新造林, 恢复消耗掉的植物养分。尽管人们通常对轮垦持消极态度, 但经过改造, 可以使其遵循作物生产可持续集约化的原则。轮垦的选用者可以采用刀耕覆盖方式代替刀耕火种。利用这种方法, 作物的多样化的(包括豆科植物及多年生植物)就能减少对土地清理的需求。其他基于生态系统的方法, 如水稻集约化生产系统, 在某些特定环境下, 作为可持续集约化的一个重要内容也已证明是成功的²³。

前进之路

作物生产可持续集约化的农业生产系统将建立在本章概述的三个核心技术原则基础上，并在采纳推荐的七大经营措施的基础上实施：最小化的土壤物理干扰，永久保有的土壤有机覆盖物，作物种类的多样化，使用经改良的高产优质品种，病虫害的综合治理，由健康土壤提供的植物养分，高效的水资源管理。同时，实现牧场、林木、牲畜生产系统的一体化，并充分、恰当地使用农业动力设备也是实现作物生产可持续集约化的重要组成部分。

当存在一个适宜的有利环境时，原有生产系统可以向着作物生产可持续集约化方式迅速转变。而在农民们面临着特殊的农业生态、社会经济或政策限制的地方，也包括缺少必要的设备时，这种生产方式的转变就会进行得比较缓慢。尽管短期内可获得一些经济效益和环境效益，但为了充分获得该生产方式所带来的收益，所有相关利益者都有必要在更长一段时间里保持投入。

对这些生产系统的实践过程和成果进行监控不可或缺。相关的社会经济指标包括农场利润、要素生产率、单位产出消耗的外部投入、参与实践可持续集约化生产系统的农民数量、土地覆盖状况，以及产量的稳定性。相关的生态系统服务指标有：适合的土壤有机质水平、集约型农区洁净水的供应状况、土壤侵蚀的缓解、农业景观内生物多样性和野生动植物的增加，以及碳足迹和温室气体排放的减少。

作物生产可持续集约化的生产系统属于知识密集型，因此学习和推广实施就比较复杂。对大多数农民、推广人员、研究者及政策制定者来说，这类生产系统是一种新的生产经营方法。因此，为了提高所有相关利益者的技能，迫切需要进行能力建设、提供学习机会(例如，通过农民田间学校)和技术支持。这将需要来自国际和地区两个层面的协同支持，以此来提升国家和地区机构的能力。高、中等的正规教育和教育培训机构需要升级他们的课程，应包括作物生产可持续集约化的原则和方法等教学内容。