



世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

创建一个可持续的 粮食未来

到2050年可持续地为90多亿人提供粮食的解决方案

2013-2014年《世界资源报告》：初步研究结果



THE WORLD BANK



Empowered lives.
Resilient nations.

相关技术支持来自：





前言

世界粮食生产和粮食消费模式亟须改善。目前有20亿人口从事农业生产，而在今后数十年内，农业必须为不断增加的人口提供足够的粮食，并为经济和社会的全面发展提供动力。可是，农业对环境产生的巨大影响不断加剧，给未来粮食生产带来风险。

目前，地球上约一半的可种植区已被人类用于粮食生产。自上世纪60年代以来，每年增加的农业用地超过1000万公顷，不断扩张的农田和牧场对热带雨林造成的压力日益加大。目前农业贡献了全球温室气体排放总量的近四分之一，农业用水量占全球淡水消耗量的70%。随着人口继续增长，未来数十年全球将有另外数十亿人口成为中产阶级，这将导致上述趋势愈演愈烈。在坚守到2050年全球气温上升不超过2°C目标的前提下，到2050年仅仅农业就将占用全球温室气体排放总配额的70%。

这是一项巨大的挑战：为了到2050年能够养活超过90亿的全球人口，必须填补当前粮食产量和本世纪中叶粮食需求之间70%的粮食缺口。同时，为了推进可持续发展，我们必须在填补粮食缺口的同时，提升贫困农民的生活水平，减少农业对环境的影响。如果环境影响问题得不到解决，土壤退化、水资源短缺、气候变化等不利影响将抑制未来数十年的粮食生产。

本报告由世界资源研究所、联合国开发计划署、联合国环境规划署和世界银行共同撰写，介绍了《世界资源报

告2013-2014：创建一个可持续的粮食未来》的初步研究结果。该研究报告分析了当前面临的各种挑战，以及在各种具有可操作性和推广性的方法中选出最具前景的技术方案。这些方案既能缩小粮食缺口，又能减少环境压力，并带来有益的经济和社会效益。《创建一个可持续的粮食未来》的最终报告将量化分析每种方案在填补粮食缺口、降低温室气体排放和其他环境影响方面的作用，同时也将介绍特定范围内实施这些方案的做法、政策和激励措施。

本报告的重要分析表明，农业生产领域的重大变革可能发生。报告中列举的解决方案可实现在世界范围内持续增加粮食产量和减少过度消费。政府、私营部门、农业机构和民间团体必须尽快组成坚固联盟，共同努力创建一个可持续的粮食未来。立刻行动，时不我待！



安德鲁·斯蒂尔
世界资源研究所主席

作者简介

第一作者：Tim Searching（世界资源研究所、普林斯顿大学）。

共同作者：Craig Hanson（世界资源研究所），Janet Ranganathan（世界资源研究所），Brian Lipinski（世界资源研究所），Richard Waite（世界资源研究所），Robert Winterbottom（世界资源研究所），Ayesha Dinshaw（世界资源研究所），Ralph Heimlich（世界资源研究所顾问）。

贡献者

以下分析研究贡献者来自法国农业科学研究院（INRA）和法国国际农业研究发展中心（CIRAD）：Maryline Boval, Philippe Chemineau, Patrice Dumas, Herve Guyomard, Sadasivam Kaushik, David Markovsky, Stephane Manceron, BenAri Tamara（过度消费）。

特别贡献者：Sarah Harper（牛津大学人口老龄化研究所）（生育率分析），George Leeson（牛津大学人口老龄化研究所）（生育率分析），Stefan Wirsenius（查尔姆斯理工大学）（畜牧业研究）。

注：

除非特别说明，文中的货币单位“元”均指美元。
“吨”指公吨。

合作伙伴简介

世界资源研究所

世界资源研究所与全球领袖合作，将卓越理念转化为实际行动，维持环境健康发展，从而为创造经济机遇和提高人类福祉打下基础。欢迎访问世界资源研究所网站<<http://www.wri.org>>

世界银行集团

世界银行是全球发展中国家资金和技术支持的重要来源，在减少贫困和支持发展中发挥着独特作用。世界银行集团由五个机构组成，分别由成员国进行管理。欢迎访问世界银行网站<<http://www.worldbank.org>>

联合国发环境规划署

联合国环境规划署（UNEP）成立于1972年，是联合国专门负责环境规划的常设部门，致力于推动、提倡、教育和促进全球环境的合理使用和可持续发展。欢迎访问UNEP网站<<http://www.unep.org>>

联合国开发计划署

自1966年起，联合国开发计划署（UNDP）与社会各级人士广泛合作，帮助国家提高危机应对能力，致力于促进和维持发展，以提高每一个人的生活质量。UNDP通过全球视野和对各地的了解，帮助人们提高生活水平，帮助国家提高危机应对能力。欢迎访问UNDP网站<<http://www.undp.org>>

法国国际农业研究发展中心

法国国际农业研究发展中心（CIRAD）是一家法国研究中心，与发展中国家合作解决国际农业和发展问题。欢迎访问CIRAD网站<<http://www.cirad.fr>>

法国农业科学研究院

法国农业科学研究院（INRA）致力于科学知识研究，促进粮食、农业和环境领域的经济和社会创新。欢迎访问INRA网站<<http://institut.inra.fr>>

致谢

《创建一个可持续的粮食未来》技术顾问小组的下列成员提出了宝贵建议、评审或做出了其他贡献：Tapan Adhya（卡林噶工业技术学院），Ken Cassman（内布拉斯加州立大学），Julian Chara（哥伦比亚可持续农业系统研究中心CIPAV），Cyprian Ebong（卢旺达农业研究委员会），Charles Godfray（牛津大学），Peter Grace（昆士兰大学），Mario Herrero（澳大利亚联邦科学与工业研究组织CSIRO），Chris van Kessel（加州大学戴维斯分校），Xuejuan Liu（中国农业大学），Alexandre Meybeck（联合国粮农组织），Charles McNeill（联合国开发计划署），Michael Peters（国际热带农业中心CIAT），David Powlson（英国洛桑研究所），Pete Smith（阿伯丁大学），Bernardo Strassburg（国际可持续发展研究院），和Xiouyuan Yan（中国科学院南京土壤研究所）。

特别感谢Nikos Alexandratos（联合国粮农组织）和Jelle Bruinsma（联合国粮农组织）提供了大量联合国粮农组织对2050年农业发展的预测资料并给予指导；Michael Obersteiner（国际应用系统分析研究所（IIASA）），介绍了GLOBIOM模式的有关信息；TomKram（荷兰环境评估署），介绍了IMAGE模型分析结果。

以下同仁和朋友贡献了宝贵的评审和数据，在此一并感谢：Walid Ali（联合国开发计划署），Philip Angell（世界资源研究所荣誉成员），Mary Allen Ballo（萨赫勒生态组织Sahel Eco），Manish Bapna（世界资源研究所），Malcolm Beveridge（世界渔业中心），Randall Brummett（世界银行），Stamatios Christopoulous（联合国开发计划署），Joseph Corcoran（联合国开发计划署），Chris Delgado（世界银行），Peter Dewees（世界银行），Joao Fernando（联合国开发计划署），Francis Gassert（世界资源研究所），Daniel van Gilst（北美防空联合

司令部Norad），Debbie Hellums（国际化肥开发中心），Bente Herstad（北美防空联合司令部Norad），Alioune Badara Kaere（联合国开发计划署），Dearbhla Keegan（联合国开发计划署），Carola Kenngott（联合国开发计划署），Markus Klingner（杜邦公司营养和健康部），Andrew Leach（世界资源研究所），Kelly Levin（世界资源研究所），Mike McGahuey（美国国际开发署），Marc Metian（斯德哥尔摩应变中心），Jennifer Morgan（世界资源研究所），Eija Pehu（世界银行），Michael Phillips（世界渔业中心），Navin Ramankutty（麦吉尔大学），Chris Reij（世界资源研究所、维多利亚大学），Nick Remple（联合国开发计划署），Tony Rinaudo（世界宣明会），Marc Sadler（世界银行），Sara Scherr（生态农业伙伴），Mark Spalding（海洋基金会），Jane Swira（马拉维环境和气候变化部），Albert Tacon（水产养殖场公司），Robert Townsend（世界银行），Pia Treichel（联合国开发计划署），Stefania Vannuccini（联合国粮农组织），Juergen Voegelé（世界银行），Peter Weston（世界宣明会），联合国开发计划署匿名评审人员。

David Tomberlin博士和Emily Schabacker对本文的框架和论述进行了润色；世界资源研究所经验丰富的出版团队，特别是Hyacinth Billings和Ashleigh Rich，帮助本文顺利出版；我们也感谢Bob Livernash进行了编辑和校对，感谢Nick Price和Jen Lockard进行了排版和设计。

世界资源研究所感谢挪威外交部、联合国开发计划署和联合国环境规划署对本报告的慷慨资助。

本报告仅代表作者的观点，并不代表《世界资源报告》赞助者的观点。报告的研究结果、解释和结论仅为作者本人观点，而非世界银行、执行董事会及其代表的政府之观点。



内容摘要

世界农业体系正在面临如何平衡供需、兼顾各方的重大挑战。为了满足人类的各种需求，到2050年世界农业必须大幅增加产量，为预计约96亿人口提供粮食，同时还要为以农业为生的数亿农村贫困人口提供经济机会，并减少对环境的不良影响，包括生态系统退化和大量温室气体排放。为应对上述挑战，即将发布的《世界资源报告2013-2014——创建一个可持续的粮食未来》汇集了各种平衡兼顾的方案。本报告初步分析了面临挑战的范围和各种方案的技术前景。

粮食缺口及其对粮食安全、生态系统和温室气体排放的影响

饥饿和粮食缺口范围 | 当今有8亿多人口处于粮食不安全状态，即处于经常性饥饿中。我们预计2050年人类所需粮食卡路里当量将比2006年全球产量高出69%。如仅仅通过粮食增产来缩小缺口，2006年至2050年的粮食增产量须比1962至2006年增产高出11%。与此同时，牧场的肉奶产量须比1962至2006年高出40%。如果富人减少肉类和其他资源密集型食物的消耗，粮食缺口将会缩小。但由于粮食供给出现短缺时，富人有条件比穷人得到更多粮食，因此在粮食供需不平衡的情况下穷人受到的冲击最大。

发展和贫困挑战 | 全球大约有20亿人口从事农业生产，这其中很多是穷人。为了彻底解决贫困问题，发展农业的同时必须为穷人创造经济机会。许多发展中国家的农业从业人口大多为妇女，提高妇女收入能够大幅减少饥饿，因此为农村妇女提供帮助是减少贫困和提高粮食安全的有效途径。

土地利用和生物多样性挑战 | 农田和牧场约占全球可耕地面积的一半，不包括冰原、水域和沙漠。农田和牧场的不断扩张是造成生态系统退化和生物多样性减少的主要原因。1962年至2006年，农田和牧场大约增加了5亿公顷，约等于美国国土面积的60%。森林、草原、泥炭地向农业用地的转换约11%的全球温室气体排放。

作物和牧场的产量挑战 | 如果仅仅通过增加产量而不增加年收割面积来满足粮食需求，意味着2006至2050年粮食平均产量要比1962至2006年增加32%。虽然增产潜力巨大，但是要想增产加速却难度很大。1962年至2006年间，世界上大多数农民采用了科学育种和化肥，灌溉面积翻了一番；而现在，可用于增加灌溉面积的水资源几乎消耗殆尽，也没有出现新的主导技术。气候变化可能还会大幅降低产量，使增产更加困难。

牧场占全球农业用地的三分之二以上，如今也面临着用地挑战。在森林和林地转换方面，牧场扩张的影响至少和农田扩张相当。要在不扩张牧场的情况下满足人类对牛羊肉奶的需求，到2050年，牧场每公顷年产量必须增加80%以上。

气候变化挑战 | 当今，农作物和畜产品生产大约贡献了全球温室气体排放总量的13%，即每年排放约6.5Gt二氧化碳当量（不包括土地用途转换）。在假设农业碳排放效率提高的前提下，到2050年，农业温室气体排放量仍有可能升至9.5Gt二氧化碳当量。加上土地用途转换造成的温室气体持续排放，到2050年全球农业二氧化碳当量排放将达

到15Gt。比较而言，为实现全球变暖不超过2°C的目标，根据较有代表性的估计到2050年世界所有温室气体排放源的年排放总量必须降低至21至22Gt，这就意味着到本世纪中叶，农业将占温室气体排放配额总量的70%左右。为了达到2050年气温上升不超过2°C的目标，农业在实现粮食增产的同时，还必须将温室气体排放减少三分之二。

渔业挑战 | 2009年，野生和人工养殖鱼类占全球人类动物性蛋白摄入的16%，是13亿人口主要的动物性蛋白来源。但是，57%的野生海洋鱼类储量潜力已被完全发掘，另有30%的鱼类被过度捕捞，未来可能会出现下降，这将影响渔业管理的改善。20世纪90年代，全球野生鱼类捕捞达到顶峰，之后略有回落，未来至少应继续下降一段时间，才能使鱼类数量恢复，可持续地维持目前的捕捞水平。

综合挑战 | 各种挑战交织。过度捕捞造成可捕捞的鱼群数量减少。砍伐森林会对粮食生产造成地区性和全球性的气候影响。如果气候变化得不到遏制，可能会严重干扰全球粮食供应。即使轻微的全球变暖也会在许多粮食极不安全国家造成冲击。

解决方案

在《创建一个可持续的粮食未来》报告中，我们探讨了到2050年可持续地填补粮食缺口的各种方案。每个方案都有利于实现（或至少不会阻碍实现）以下五个可持续发展标准：推进农业发展、造福妇女、保护生态系统、减少温室气体排放，避免过度使用和污染淡水。这些方案分为三类：

1. 以提高或维护人类福祉的方式减少粮食消耗增长，从而填补粮食缺口的方案；
2. 提高现有农田的粮食产量，从而填补粮食缺口的方案；
3. 未必能增加粮食产量，但能减少农业对环境的影响，特别是减少温室气体排放的方案。

降低粮食过度消费的方案

减少粮食过度消耗有利于缩小粮食缺口。我们分析了五种方案，均可产生经济、环境和健康效益。其中一种方案能产生健康效益，但对解决粮食缺口作用不大；另两种方案具有难度但值得一试；还有两种方案蕴藏着较大机遇。

减少肥胖 | 全世界面临着肥胖病，2008年超重人口达到14亿，包括5亿肥胖人口。出于对健康的考虑，人们将致力于解决肥胖问题，但是消除肥胖并使超重人口减少一半仅能将2050年粮食卡路里缺口减少6%。

减少粮食损耗和浪费 | 从农场到餐桌的过程中，损耗或浪费的粮食卡路里约占四分之一，这一比例虽然很高，但要低于普遍认为的、由计重法得出的粮食损耗三分之一的结论。工业化国家中，消费者的浪费行为占粮食损耗和浪费的一半。发展中国家三分之二的粮食损耗发生在收获、处理和贮藏阶段。减少损耗是提高粮食供给（特别是在撒哈拉以南非洲地区）的直接而经济有效的办法。到2050年将全球粮食损耗和浪费减少一半，将使粮食缺口缩小20%左右。实现这一目标挑战性很大，但可通过许多切实有效的方法减少价值链中的粮食损耗和浪费。

减少动物产品的过度消耗 | 人们有充分理由摄入一些肉、奶、鱼、蛋等动物性产品。这些食物的营养价值较高，适当提高动物性产品摄入量将使穷人大大受益。畜牧业生产约占全球农业收入的一半，为众多小农户提供了重要的收入来源。

但是世界上大多数人摄入的奶和肉超出了实际需要，而且许多人摄入的数量已经超出了对健康有益的范围。从资源利用的角度而言，通过动物性产品摄取卡路里和蛋白质的效率极低。效率测算方法多种多样，但最全面的测算

报告中的方案旨在
以可持续的方式
缩小粮食缺口。
每种方案均对环境
保护及经济社会发展事业有所贡献，
或至少不会破坏现状。

方法表明，即使转换效率最高的肉类——禽肉，也只能将饲料总能量的11%转化为人类食物。我们预计，2006年至2050年肉类消耗将增加82%。减少上层社会或不断壮大的中产阶级的肉类消耗量将有利于减少对土地的需求和温室气体排放。（节约量的测算非常复杂，目前几乎所有的分析方法都未将以肉食为主的饮食和其他实际饮食进行对比）。不同富裕国家之间动物性产品消耗存在巨大差异，也说明了该方法的可行性。

但这种方案也许只能阻止粮食缺口进一步扩大，而不能缩小粮食缺口。联合国粮农组织已经预测，撒哈拉以南非洲地区20亿人口（由于贫困）和印度15亿人口（出于贫困和文化原因）的肉类消耗几乎不会出现相对增长。基于联合国粮农组织预测结果，肉类高消耗地区也许应该少吃点肉，使肉类低消耗地区的数十亿人口能多吃上点肉。

转向更高效的动物性产品结构 | 牛肉产生可食用卡路里和蛋白质的效率非常低。全球最乐观的平均测算表明，牛肉只能将1%的动物饲料能量转换为人类食物。2006年至2050年间牛肉产量预计将增加92%以上，也就意味着需要更多的土地用于饲料生产。许多分析仅关注玉米等人可食用的动物饲料，而忽视了草料需求的不断增加，因而对牛肉生产的低效特点认识不足。当森林或热带草原转换为大豆田、玉米田或牧场时，都对环境产生巨大影响，因此仅关注人可食用的动物饲料会忽视其它重大的环境影响。完全取消牛肉生产是不明智的。天然牧场能为可持续粮食生产提供保障，并支持牧民社区的发展。改善小农户综合农作物/畜牧系统将有利于减少贫困和饥饿。但是控制全球牛肉消费增长将有利于保持食物供给，同时减少森林砍伐。

在全球大幅减少牛肉消费似乎是可行的，因为美国和欧洲人均牛肉消费量已比高峰时期降低了约三分之一。将未来全球20%的牛肉消费转向其他肉类、鱼类和奶制品，能够节约大量土地，使之用于碳储存和其他生态系统服务，或用于满足世界的农作物种植需求。

帮助非洲降低生育率 | 如果到2050年，全世界各地区都能实现生育更替水平，预计的全球粮食需求增长量将小幅下降，而最饥饿地区的粮食需求将大幅下降。在没有国际迁入与迁出的情况下，一代人生育的子女刚好能够替代这一代人本身，这种情况下的总和生育率（每个妇女平均生育的子女数量）为生育更替水平。世界大部分地区的生育更替水平为每名妇女生育大约2.1个孩子（可能会随着死亡率的变化而发生小幅变化）。世界大部分地区都已实现或接近生育更替水平，撒哈拉以南非洲地区却是例外，该地区的总和生育率为每名妇女平均生育5.4个孩子。即便该地区城镇化快速发展，预计到2050年撒哈拉以南非洲地区的生育率仅能降至3.2。因此，到2050年该地区人口将超过20亿，是2006年人口的近三倍。到本世纪中叶要为更多人口提供足够粮食，在持续严重依赖进口粮食的同时，该地区的粮食卡路里产量必须达到2006年的3.6倍。

通常情况下，即使是在穷国，当女童接受初中教育的比例增加时，生育率将下降，儿童死亡率减少，妇女接受

到更多生殖健康服务。改善上述教育和卫生措施（这些措施在撒哈拉以南非洲尤为落后），可对粮食安全、社会经济发展和环境管理同时产生重大影响。撒哈拉以南非洲的大部分国家已经制定了降低生育率的目标。到2050年在撒哈拉以南非洲实现生育更替水平，将使全球粮食缺口减少10%，使这个世界上最饥饿地区的粮食缺口减少25%。

在不进行有害土地扩张的情况下提高粮食产量

农场智能化 | 大部分地区水资源供应的严重限制和化肥的大量使用限制了仅依靠增加投入提升粮食产量的能力。这些措施已经很难达到可持续发展标准，因此必须依靠智能农业实现粮食增产。过去二十年，改进农业技术的广泛应用使粮食产量在农业投入增长减缓的情况下依然保持高位增长。上世纪70年代和80年代，全球农业年增产的70%依靠增加土地、水，化学品和其他投入而实现，但上世纪90年代和本世纪第一个十年，这一比例不足30%。即使情况有所改善，但农业用地还在不断扩张，未来智能农业面临更大需求。改善农场管理的关键机会包括：更仔细地选择适应当地条件的种子、更谨慎地使用化肥，更重视微量营养物质，提高天气预报技术以告知选择合适的栽种时间等。

育种改良 | 育种改良是农业发展的关键，未来还将发挥根本性作用。基因工程可发挥一定作用，特别是通



过技术改进，可将基因植入特定位置，减少试验次数和错误，从而改良农作物的特性（如抗虫性和抗旱性）。短期而言，基因工程能够针对新虫害快速育种。基因工程对其他基本农作物改良（如增加营养物吸收，减少水分流失等）的作用还不确定，还需要数十年才能真正实现。最大的育种机遇仍将来自传统育种，这其中部分原因是现代生物技术的利用。这些技术能够更加简单而迅速地识别和选择基因组合，从而提高产量，因此有必要对传统育种增加投入。

不让一个农民掉队 | 粮食产量的增加同样依赖于“不让一个农民落后”，这可以通过缩小许多农民的实际产量和潜力产量的差距来实现。全球各地粮食产量无疑存在巨大差异，但是全球的研究方法学存在较大限制。解决研究差异的重点是利用当地验证的农作物模型研究各地产量差异，找出差异出现的地点和原因，以便找到解决办法。

提高同一块土地的耕种频率 | 联合国粮农组织数据显示，每年未收割的农田超过4亿公顷，意味着这些是休耕土地。而另一方面，农民每年在1.5亿公顷土地上耕作两次或以上。通过减少休耕或增加双作，提高现有农田的耕作频率，理论上可在不需要新增土地的情况下实现粮食增产。联合国粮农组织预测耕作频率（耕作强度）将得到提高，到2050年能避免因耕作而砍伐林地6200万公顷。不幸的

是，我们的研究表明，人们对双作了解较少，同时有一些土地休耕时间较长或处于弃耕状态。这些土地一般恢复成森林和草原，能够发挥碳储存和其他生态系统服务功能，提高耕作频率会牺牲上述效益。提高耕作强度的方案具有前景，但是必须对双作潜能和各国认定的闲置农田进一步加以分析。

改善土地和水资源管理，提高非洲粮食产量的方法 | 当前撒哈拉以南非洲的粮食卡路里消费量仅占世界的9%，但到2050年，该地区的需求增长将占世界额外所需粮食卡路里的三分之一以上（37%）。该地区的饥饿率最高，25%的粮食需求依赖进口，主食产量居世界之末。因此，增加粮食产量对于减少饥饿和防止大规模森林砍伐至关重要。

撒哈拉以南非洲地区的农业生产面临土壤退化，特别是土壤碳流失的挑战。目前2.85亿人生活在干旱地区，而这些地区土壤退化产生的影响更为严重。尼日尔当地农民通过种植固氮树木和其他原生植被等自然更新方法重新恢复了500万公顷土地的土壤肥力，并提高了粮食产量。在撒哈拉以南非洲地区3亿公顷干旱农田上，通过农林复合经营与雨水集蓄、微量施肥等方法相结合，能够大幅提高产量。保守估计，推广这些措施可为旱地人口每人每天增加615千卡热量。



在低碳退化土地上扩大耕作 | 如果必须扩张农田，可选择生物多样性价值较低、碳储存较少、未来碳储存数量也不会太大的非农用土地进行扩张，这种方法的环境成本较小。马来西亚和印度尼西亚拥有数百万公顷此类土地，森林砍伐后的土地被荒草覆盖，影响了森林恢复。我们的分析表明，印度尼西亚加里曼丹地区的婆罗洲有1400万公顷以上的低碳退化土地适用于棕榈油生产，完全能够满足2020年印尼新增油棕种植需求。近期必须引导油棕园向这些地区扩张，因为目前油棕园占据了大量的原始森林和泥炭地。由于泥炭会在数十年中逐步分解，泥炭地转换为油棕园后每年将持续产生大量的碳排放，今后十或二十年产生的排放相当于目前全球温室气体排放总量的5%至7.5%。

很多研究认定的大部分“具有潜力但闲置”的农田的环境成本并不低。草场能够生产重要的饲料；热带草原和疏林地具有高度的碳储存和生物多样性价值；某些地区的弃耕地能够提供树木生长的养分，帮助森林恢复，从而进行碳封存，在控制气候变化方面发挥重要作用。

提高牧场生产力 | 从天然林和大草原转换而来的相对潮湿的牧场，蕴藏着巨大的肉奶增产机会。标准方法包括施肥、种植豆类、限制牛群放牧区域并加快轮牧速度等。可建立更先进系统，同时栽种草类、固氮灌木和多层次树种，这些牧场强化措施需要更多技术投入和更多激励措施，否则将引起大规模森林砍伐。

避免或管理农田向其他土地类型的转移 | 农田在地区之间或地区内部向其他土地利用类型的转移会造成净农业扩张之外的数百万公顷森林砍伐。新的森林砍伐引起的碳储存和其他生态系统服务丧失大于其他地区森林恢复的收益。必须避免农田向其他土地类型的转移，并在出现农田转移时加快恢复弃耕地。

提高水产养殖业生产力 | 野生鱼类捕捞增长进入停滞期，水产养殖业快速增长，产量已达人类食用鱼类的一半。平均而言，在可持续生产模式下，人工养殖的鱼类和鸡肉将饲料转换为食物的效率一样，属于环保型动物性蛋白来源。水产养殖业的迅速发展最初对环境造成了有害影响，但这些影响已逐渐减少。例如，减缓红树林转换为养虾场的速度，减少将野生鱼类作为饲料的依赖等。为了维持鱼类在饮食中的地位，到2050年水产养殖业的产量必须比现在翻一番。即使喂养效率大幅提高，但该行业还面临着鱼粉和鱼油供应增长停滞的情况。除非增加藻类生产或培育出鱼油植物，否则未来鱼类产量将受到限制。水产养殖场需求面积较大，而适于扩建水产养殖场的土地数量有限。要在未来实现产量增加，必须提高每公顷的鱼类产量，而这又会在水循环和加泵方面消耗更多的能源。这些强化措施可能会对环境和社会产生其他有害影响，如何尽最大可能缩小这些影响是一项重大挑战。

农业生产温室气体减排方案

采取兼顾平衡的方法意味着不仅要实现粮食增产、减少粮食消耗，还要在现有产量和增加产量的情况下减少温室气体排放。

碳封存方法 | 目前针对减缓农业气候变化的学术和政治关注较为有限，而且相关研究大部分集中于碳封存（特别是利用农用地进行碳封存）方面。但该目标实现难度比预期更大。改变耕作方式是否能够增加碳储存和减少温室气体排放，目前还没有科学定论。草场管理方式的变化对土壤碳储量的影响各不相同。某些增加土壤碳储量的方法并未真正提高土壤总体碳储量，而仅是将碳从一个地方转移到另一个地方，或将碳从其他有价值的用途转移到生物质中，如使用秸秆作为动物饲料等。对于某些地区而言，提高土壤碳储量是实现长期粮食增产的重要方法，而提高生产力反过来也会提高土壤碳储量。最具前景的方法是能够迅速产生其他经济效益的，如农林复合经营等，还有一些方法能将高度退化的土壤恢复成森林，同时增加附近的农田产量，两者都能提高土壤碳储量，并更好地利用生产资源。将印尼500万公顷业已干涸的废弃泥炭地进行恢复，将产生很大的碳封存效果。

提高生产要素的使用效率 | 面对全世界粮食需求的增长，农业气候变化减缓政策的重点是减少单位粮食生产造成的温室气体排放——即使某一农场和奶牛排放量上升也无关紧要，因为全球排放总量将减少。至少短期而言，提高生产效率将为减少全球农业生产排放提供最大机遇。方法包括：

- **提高牛羊的饲养和健康水平** | 反刍动物产生的温室气体排放几乎占一半的全部农业直接排放，但是通过改善牛群饲养和健康水平能将许多发展中地区生产每千克肉奶的温室气体排放量降低三分之二。畜牧和农作物混合经营模式的小型农场发展前景广阔。
- **在全世界推广适度化肥使用** | 虽然非洲的氮肥用量不多，但是亚洲、美国、欧洲等大部分地区的化肥使用效率较低，造成大量温室气体排放和不必要的开支。
- **减少水稻田的温室气体排放** | 耕作季节引水灌溉和去除稻穗秸秆比不采取上述措施的农场减少一半以上的温室气体排放。

几乎所有提高效率的措施都能提高产量、减少投入成本或创造新的经济机遇。今天，针对上述措施的激励政策还比较少，针对各地措施利用情况的研究也相对较少。

避免与生物质能竞争

世界粮食缺口达69%，前提是假设生物燃料产量维持在2010年水平，占交通燃料的2.5%。扩大生物质能使用的目标将加剧对粮食安全的挑战。包括美国和欧洲在内的数国政府已制定目标，到2020年将生物燃料占交通燃料的比重提高到10%。如果到2050年实现这10%的目标，意味着用2010年全球生产农作物中所含32%的能量，仅能生产出占全球能源净产出不到2%的生物质能。该目标也将使粮食缺口从69%进一步扩大到约100%。此外，为满足国际能源署将生物质能占世界能源比重增加到20%的宏伟目标，所需要的生物质相当于2000年全球全年粮食产量（指所有农作物、草料、秸秆、树木的总收获量）。利用各种形式的废弃生物质进行生物质能生产具有潜力，可避免与粮食、碳和生态系统之间产生竞争。放弃以农作物为基础的交通生物燃料，更符合可持续粮食未来，而且可将2050年粮食卡路里缺口缩小14%。

* * *

世界能否实现这种平衡？我们感到问题的严峻但依然抱有希望。当前的挑战比人们想象的更为艰巨和复杂。有些普遍方案被过分强调，或者收效甚微。与此相反，有些方案应该得到更多的关注。

最有效的农业生产 温室气体减排方法是 提高土地、水资源 和化肥的使用效率， 以及养牛业的 生产效率。

本报告列出的潜在解决方案不仅能够缩小粮食缺口，而且能够产生协同效应。减少粮食损失和浪费可减少温室气体排放，减少对土地、能源和水资源需求，大多情况下还能节约资金。帮助小农户提高养牛效率有利于提高收入，减少排放和用地需求。为了达到上述双赢效果，政府、私营部门和公民社会必须迅速而坚定地开展行动。《创建一个可持续的粮食未来》今后将继续发布文章，详细探讨其他有效方法。



图片来源

Cover photo, pg. viii CIMMYT; pg. 4 (left) angela7dreams;
pg. 4, CIAT; pg. 5 (right) Films4Conservation;
pg. 7 Sekala.

Each World Resources Institute report represents a timely, scholarly treatment of a subject of public concern. WRI takes responsibility for choosing the study topics and guaranteeing its authors and researchers freedom of inquiry. It also solicits and responds to the guidance of advisory panels and expert reviewers. Unless otherwise stated, however, all the interpretation and findings set forth in WRI publications are those of the authors.



Copyright 2013 World Resources Institute. This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivative Works 3.0 License. To view a copy of the license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>



世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

中国办公室
北京市朝阳区朝外大街乙6号朝外
SOHO A座902室
邮编：100020
电话：+86 10 5900 2566
传真：+86 10 5900 2577
WWW.WRI.ORG.CN

ISBN 978-1-56973-817-7