

2. 环境服务与农业

人类从农业中获益巨大。当今，农业养活着60多亿人，而且近几十年，通过引进新品种和新型生产方式，农业生产率有了巨大提高（Tilman等人，2002）。然而，这些利益的取得是有代价的。在《千年生态系统评估》所评价的生态系统服务中，农业被认为是过去半个世纪中增加了食物和纤维生产的“供给”型服务，但代价是很多其他生态系统服务的退化。《千年生态系统评估》，以及来自其他最新的研究报告诸如“食物之水：生命之水”（《农业用水管理综合评估》，2007）和“牲畜的巨大阴影：环境问题与选择”（粮农组织，2006a），认为农业除了提供食物和其他物品外，能够并且应该通过管理手段来强化生态服务功能。

牺牲其它生态服务来提高农产品生产导致了全球和当地环境的变化，严重影响了人类健康和福祉（Foley等人，2005）。农业生产活动产生温室气体排放，导致水源枯竭和污染、土地退化和生物多样性丧失。农业本身就是生态系统退化的一个主要受害者，农业生产率遇到气候变化、土壤肥力耗竭、水资源短缺和水质以及病虫害等问题的阻碍。改变农业提供的生态系统服务平衡，是迈向解决某些形式农业生产导致的消极后果的重要一步。这种变革还有另一个动机：抵消和补偿其他经济部门导致的环境退化的潜力。生物能源是另一个新兴市场，可能会引起农业提供的生态服务发生重大变革（另见联合国能源，2007）。

对生态系统管理所做的必要变革取决于地点、现有经济发展水平、人口密

度、农业生态条件和采用的主要农业技术。所有这些因素都影响着对农业生产中土地和劳动力的回报，以及为了产生其他环境服务而对生产方式所做调整的潜在成本和收益。

本章及本报告其余各章主要讨论农业发挥显著作用的三类环境问题：气候变化、水资源退化（污染和耗竭）和生物多样性丧失。在这三个领域中，针对农业生产者加强环境服务的支付计划都有所扩大。农民得到支付来进行碳固存以便缓解气候变化、改进流域管理（进而改善水质、水流），并保护生物多样性。在这些领域中，此类支付计划在未来的增长也似乎最具潜力。当然，还有其他一些生态系统服务，农业在其管理中也发挥着关键作用，比如土壤形成或养分循环，这对保持土壤肥力及扭转土地退化至关重要。

本章就农业与环境变化之间的技术性关联、这种关系如何塑造了政策方案、以及农民和其他农业生产者采取什么具体行动增加这三类环境服务的供应进行了概述。

农业生产者如何产出环境服务？

在探讨与这三类服务相联系的具体事宜之前，需要提醒一些一般性事项。一般而言，如果农民要增加某些环境服务的供应，就需要对农业生产系统做一些变革。

为了提高环境服务提供水平，农民可以采取多种方式来改变其生产方式，包括：

- 改变生产系统，这种情况下土地仍然用于农业生产，但是生产活动进行了调整以便实现环境目标（如减耕或秸秆还田）；
- 土地变更计划，这种情况下土地停止种植业和畜牧生产改作他用；
- 避免改变土地用途（如防止将森林改成农业用地）。

这种区分有助于评估环境服务提供与农业生产之间的取舍程度，反过来，这又对理解生产者是否进行变革的动机具有关键意义。如果大规模实施，这些需要进行的变革可能会通过其对食物、土地和劳动力供给以及价格的影响而产生宏观层面的影响（Zilberman、Lipper和McCarthy，即将发表）。

决定农业生产系统有无潜力改变生态系统服务组合的条件包含几个方面。第一，增加某种生态系统服务产出的变革很可能对其他许多服务产生影响。这些影响可能是积极的，也可能是消极的。在很多情况下，这些变革会减少其他供给型服务——即使只是暂时的——以便加强支持型、调节型或文化型服务的供给。取舍也可能发生在各类调节型和支持型生态系统服务之中。例如，开发速生人工林来实现碳固存可能会降低生物多样性。同样，增加一种物种的栖息地可能会对另外一种物种产生消极影响。

第二，气候、土质、地形和水资源等农业生态条件是某种管理系统产生生态系统服务组合的关键决定因素。特定的农业生态条件就某一种服务来说形成高产，但就另外一种来说则不会；如陡峭的地形可能形成高效的流域保护，但对农业来说则产出甚微。

第三，改变农业生态系统服务组合的潜力高度依赖现有的管理系统，以及其背后驱动的政策和经济因素。例如，

小麦生产可以使用大规模、资本高度密集的机械化系统，如在澳大利亚或加拿大，也可以通过微量或没有化学品投入的小规模、劳动力密集型的系统实现，如在埃塞俄比亚。两者都是小麦生产的例子，但就小麦产量和生态系统服务组合而言，各自的生产率却大相径庭。对一个系统进行变革以增加环境服务可能会对另一个系统毫不相关。

第四，即最后一点，是生态系统服务形式各异，从受益者的角度看并非都是平等的。过去强调供给型服务忽视其他生态系统服务的一个主要原因是，大多数供给型服务呈现的形式，用经济学家的术语来讲，被认为是“私有利益”。相比之下，调节、支持和文化生态系统服务则属于“公共利益”（见插文2）。

以下各节详细考察了农业生产者可以采用的各类调整，以增强在缓解气候变化、改进水资源管理和生物多样性保护方面的具体服务供给。

农业与缓解气候变化

政府间气候变化小组（IPCC）《第四次评估报告》在针对决策者的结论中毫不含糊地指出，全球变暖正在发生，极可能是由于人类活动产生的温室气体排放导致的。报告警告说：

“按照或以超过当前水平的速度持续排放温室气体，可能在21世纪进一步引发变暖并诱发全球气候系统的很多变化，其程度极可能会超过20世纪观察到的情况。”

（政府间气候变化小组，
2007a，第13页）

气候变化将使无论是发展中国家还是发达国家均付出巨大的代价。这种代价

插文 2 公共利益

公共利益是外部性的一种特殊情况（见插文1），其指那些不限于特定消费者或消费群体使用、且一个消费者使用不会影响另一个消费者使用的那些物品或服务。例如，缓解气候变化的影响有利于全球社会的每个人；即使有些人没有支付这种服务，也不可能不让他们享受这种好处。同样，某个人享有缓解气候变化的收益时，不会妨碍另一个人享有同样的收益。

公共利益可能是全球性的（如气候变化缓解、生物多样性保护等），也可能是地方性的（如防洪）。

必须注意的是，尽管气候变化缓解等服务是公共利益，但是提供这些服务的资源（如林地）很可能是私人所有的。实际上，正是这种特点有助于推动环境服务支付。

资料来源：粮农组织，2002b。

将包括诸如洪水、龙卷风和飓风等极端天气事件的发生频率及强度增加，某些区域干旱加剧、沿海地区和水资源流失，以及疾病发生率发生变化等。发展中国家很可能会承受更重的负担，因为它们更加脆弱，可能经历的变化更加剧烈。气候变化可能引起大规模人口迁移和冲突，这也将造成可观的损失（Stern, 2007）。

政府间气候变化小组《第四次评估报告》也提到，立即大幅减少温室气体排放非常重要。报告指出，未来二三十年缓解气候恶化的努力将在很大程度上决定着长期全球平均气温的上升，可以避免相关气候变化造成的影响（政府间气候变化小组，2007b）。本质上讲，有两种缓解气候变化的途径：减少源头排放，或者增加陆地系统中温室气体储存量（如通过固存碳实现）。这样，农业在缓解气候变化方面可发挥双重作用：减少自身排放，以及加强对温室气体的吸收。

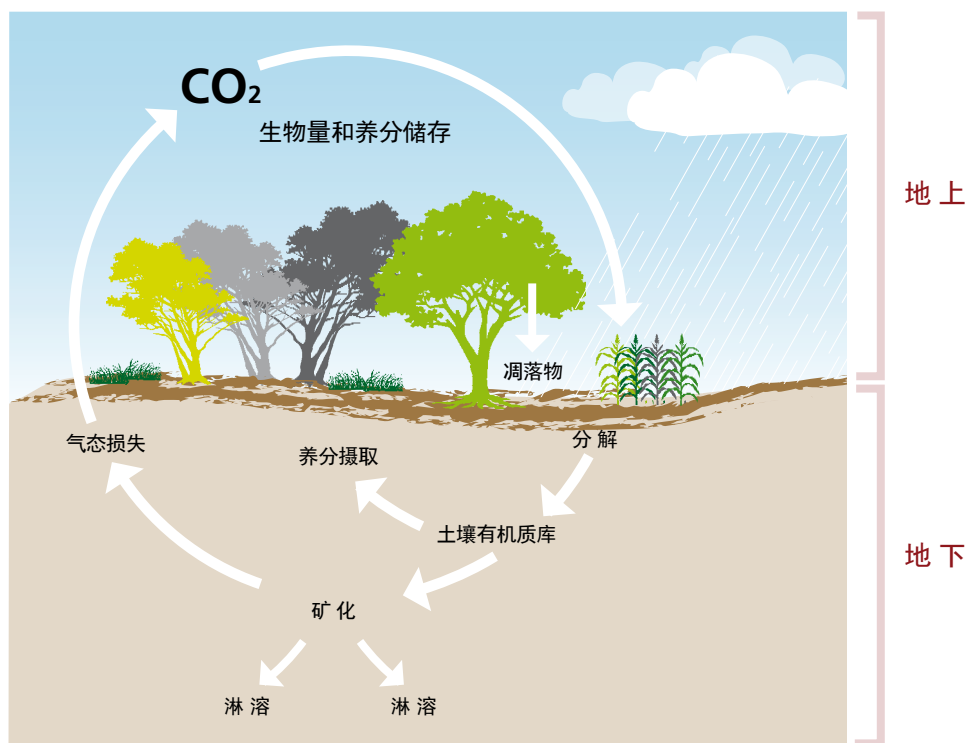
农业是产生三种主要温室气体的重要源头：二氧化碳、甲烷和氧化氮。二氧化碳对全球变暖关系最为重大，当然甲烷和氧化氮也有很大影响。农业活动

和土地利用变化产生了约三分之一的二氧化碳排放量，而且是甲烷（来自畜牧业和水稻生产）和氧化氮（主要来自无机氮肥的使用）最大的源头。

农业也能够以碳“吸存”形式发挥重要作用，能够固化和储存温室气体，尤其是以碳的形式储存在土壤、植物和树木中（见图3）。碳固存涉及增加土地系统中碳的储存量，无论表现为地上还是地下。改变土地和土壤使用方式，可以触发土壤中碳的漫长积累过程。最终，这个系统会达到新的碳储量平衡或饱和点，无法再吸收更多的碳。作为缓解气候变化的手段，碳固存既有优点也有缺点。主要优点是成本较低而且可以迅速实施。此外，碳固存还能带来诸多相关收益，因为根部生物质和土壤有机质的相应增加可以增强水和养分的保持、可获得性及植物的吸收，从而提高土地生产力。主要的缺点是，与其他缓解气候变化的形式不同，碳固存是可逆的；实际上，改变农业经营方式，可以在较短的时间内加速或逆转碳固存水平。

图 3

地上和地下碳固存



资料来源：粮农组织。

根据土地使用类型和地域的不同，碳固存的实际潜力变化很大。表1显示了48个发展中国家在10年期间通过改变土地用途实现碳固存潜力的估计值。数字显示，减缓农业碳排放存在巨大技术潜力：约达23亿吨。实现这一潜力要求对另外的5000多万公顷土地改变经营管理（Niles等人，2002）。相比之下，目前有9500万公顷土地利用保护农业系统耕作，其提供了大量的土壤碳固存服务（Derpsch，2005）。此外，所要求的土地用途变革的经济可行性尚不清楚，尽管越来越多的证据显示因碳固存而改变生产系统也能带来其他经济利益。

地上生物质的碳固存潜力

地上碳固存是通过树木和灌木等形式增加地上生物质来实现的。不同的树

种、土壤类型、地区气候、地形和经营管理方式，碳固存率也各不相同。在众多土地用途的变革中，发展农林兼作、恢复退化森林以及建立人工林和林牧兼作系统能够进行地上碳固存。

一种土地利用系统的碳固存潜力取决于该生长类型轮伐期间储存于该系统中的平均碳量。当碳从较低级的时均量系统向较高级时均量系统移动时就会被固化。Palm等人（2005）估计了热带湿润地区三个地点各种土地使用系统在20年间的碳储量年均值。他们发现，在印度尼西亚，将经营采伐的一片森林变为不加干预的森林，在其生命周期中，每公顷碳量净增213吨。同样，在巴西，从短期休耕到改进型休耕，八年内每公顷土地碳固存量增加4.6吨。

表 1
改变土地利用方式的碳固存潜力，2003-12年

区域	避免森林采伐 ¹	可持续农业 ²	森林恢复 ³	总计
	(百万吨碳)			
非洲	167.8	69.7	41.7	279.2
亚洲	300.5	227.3	96.2	624.0
拉丁美洲	1 097.3	93.1	177.9	1 368.3
总计	1 565.6	390.1	315.8	2 271.5

¹按照最新的每年森林消失估计数乘以加权的碳储量计算而来；假设森林采伐率保持不变。

²包括减耕及增加土壤覆被、将只种植一年生农作物改为农林兼作和改进草场管理而产生的土壤碳固存。

³包括退化土地上的再营林和农林兼作而不是种植园。不包括处于再营林过程中的土壤碳固存。

资料来源：引自Niles等人，2002。

每年每公顷最高平均碳固存量一般通过造林和再造林扩大森林面积来实现。农作物和草场储存的碳量只是森林碳固存量的一小部分。采伐林、农林兼作、用材林、木材人工林和次生林休耕期实现的碳固存量处于中间。例如，次生林在20-30年休耕期间碳固存量约为75吨/公顷，在头十年生长期间每年实现碳固存5吨/公顷（Fearnside和Guimarães，1996）。

防治储碳量较高的土地利用方式向碳储量较低方式转变的任何措施，或者鼓励碳储量较低的土地利用方式向较高方式转变的任何措施，均会增加碳的净储量。这样，许多其他林业和农林兼作系统能够做出有意义的贡献。例如，Poffenberger等人（2001）估计，在保护和协助再造的情况下，印度中部干旱森林中，次生林每公顷碳固存率可以在10年内翻番，从27.3吨增加到55.2吨；在树龄较老的森林中，在50年内可以从18.8吨增加到88.7吨，而成本还非常低。

地下碳固存潜力

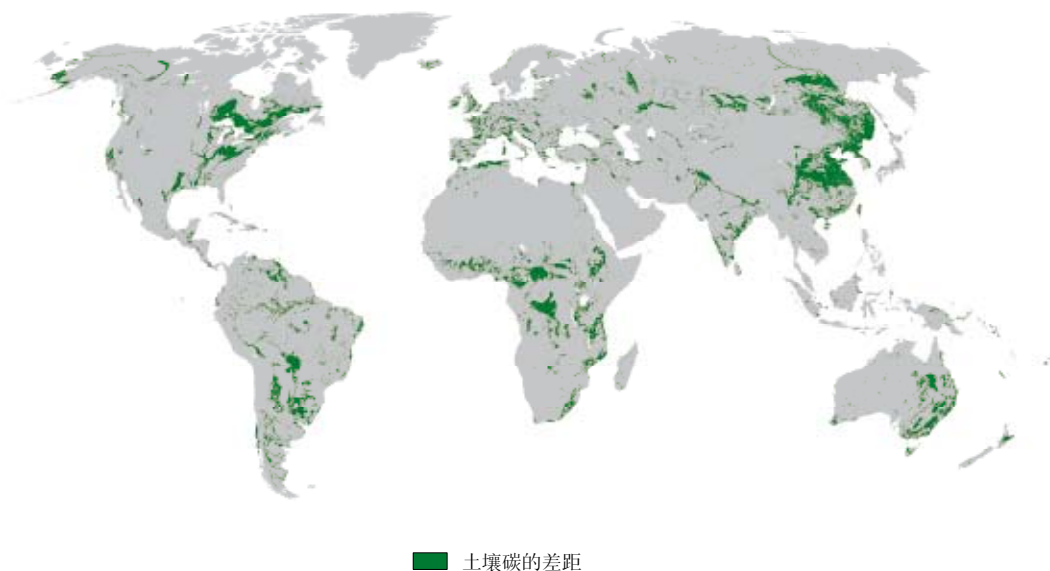
所有土壤都含有一定的碳，积存在死去的植物物质中，或者一些无机物中诸如碳酸钙或溶解在地下水中的二氧化碳。额外碳固存量的程度则既取决于当地的地球物理条件，又取决于耕作系统。

地图1显示了全球范围内土壤极具额外碳固存潜力的地区。这种潜力下文简称“土壤碳差距”，其指某一区域目前土壤储碳水平较低，但根据其土壤类型、气候、土壤湿度和土地覆被条件等具体情况，在碳固存方面具有中高度的技术潜力。必须强调的是，这张地图及本报告中出现的其他地图，是依据低分辨率和不同精确度的全球数据库绘制的。因此，显示的结果只能说明某地就考虑的各种指标而言具有潜力。更加精确的预测结果，则需要国家层面的研究和更为精密的模型。

地图2显示了在碳固存方面具有中高度技术潜力的农田位置。该地图初步反应出哪些地方可以改变农作方式实现土壤大量碳固存，并凸现了有中高度土壤碳固存潜力的地区（如地图1所示）和耕地之间的交叉部分，这是由2000年全球土地覆被项目（GLC 2000）数据库确定的。³

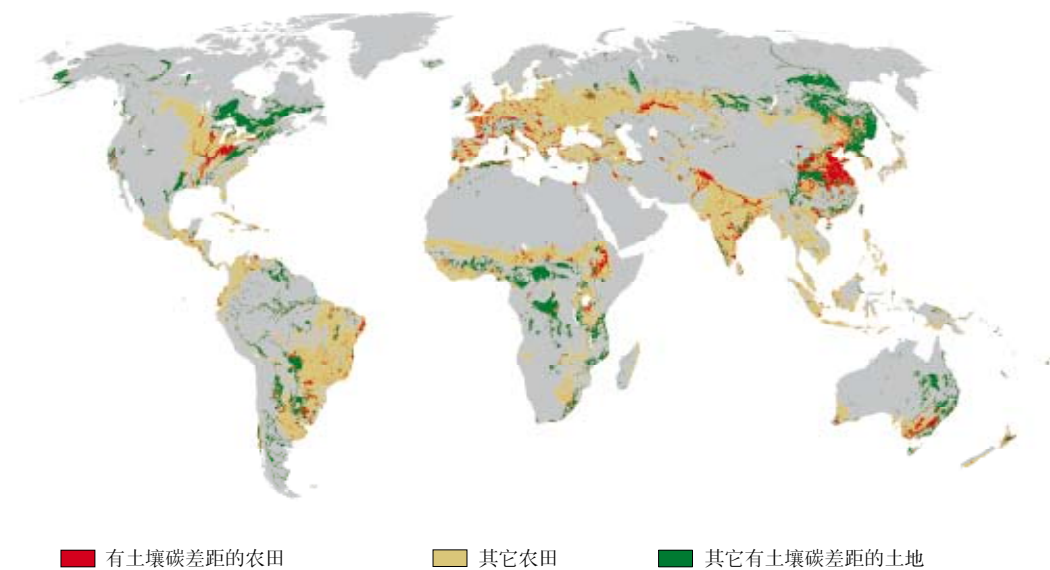
³ 2000年全球土地覆被项目是世界各地合作伙伴的一项合作成果，其总目标是向世界各国提供2000年当年的一个统一的土地覆被数据库。农田的概念出现在全球土地覆被项目的土地类型16（已耕种和受管理的区域）、17（小块连片土地：庄稼地/树木的覆盖/其它自然植被）和18（小块连片土地：庄稼地/灌木或草的覆盖）之中。详细内容参见：<http://www-gvm.jrc.it/glc2000/>

地图 1
土壤额外碳固存的潜力



注：参见 http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31151&layers=potential_sequester_carbon
资料来源：粮农组织。

地图 2
耕种作物的土壤额外碳固存的潜力



注：参见 http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31152&layers=potential_sequester_carbon_cropland
资料来源：粮农组织。

在具有中高度碳固存潜力的土地中，大约30%（470万平方公里）位于农业生产区，占2000年全球土地覆被项目确定的总耕地面积的15%，其中四分之一在亚洲，四分之一在非洲。

农业生产方式有什么样的变化便可以增强土壤碳固存呢？Lasse（2002）列出了一些有此潜力的生产技术，包括种植地面覆盖作物、地膜结合免耕及农林兼作等。其中的一些做法还会增加地上碳储量。发展中世界的各种经营方式和耕作模式可以带来多少土壤碳固存量，这方面的可靠估计数仍然很少。Lal等人（1998）提出，热带地区的估计数大约两倍于干旱地区的估计数。

改变种植方式对碳固存的影响因做法和地域不同而差别显著。在印度和尼日利亚，在若干地点进行了研究，模拟50年间土地利用方式发生变化所产生的影响；研究表明使用现有耕作方式，土壤碳储量将继续缓速下降，而从长远看，改变土地利用方式会使土壤碳储量显著增加（图4）（粮农组织，2004a）。在研究过的各种耕作方式中，碳固存潜力的变化幅度很大，如连续耕种方式导致碳固存潜力为负值，而因秸秆还田和重施农家肥使碳固存潜力约达每公顷40吨。就具有最大碳固存潜力的耕作方式而言，碳固存贯穿整个模拟过程始终，即便如此也没有达到平衡，这表明通过改变农作方式进行碳固存需要一定的时间来实现全部的效果。

水量和水质

流域保护服务实际上被局限在流域边界内。因此，与碳固存和许多生物多样性保护服务相比，它们主要对地方和

地区用户有利（Landell-Mills和Porras，2002）。

水量

水资源的使用在上个世纪增长迅速，1900至2000年间，用水量增加了七倍多，而人口增长了约四倍（联合国开发计划署，2006）。尽管上世纪八十年代以来人均用水量出现了下降，但全球用水量仍在持续增加（Shiklomanov和Rodda，2003）。

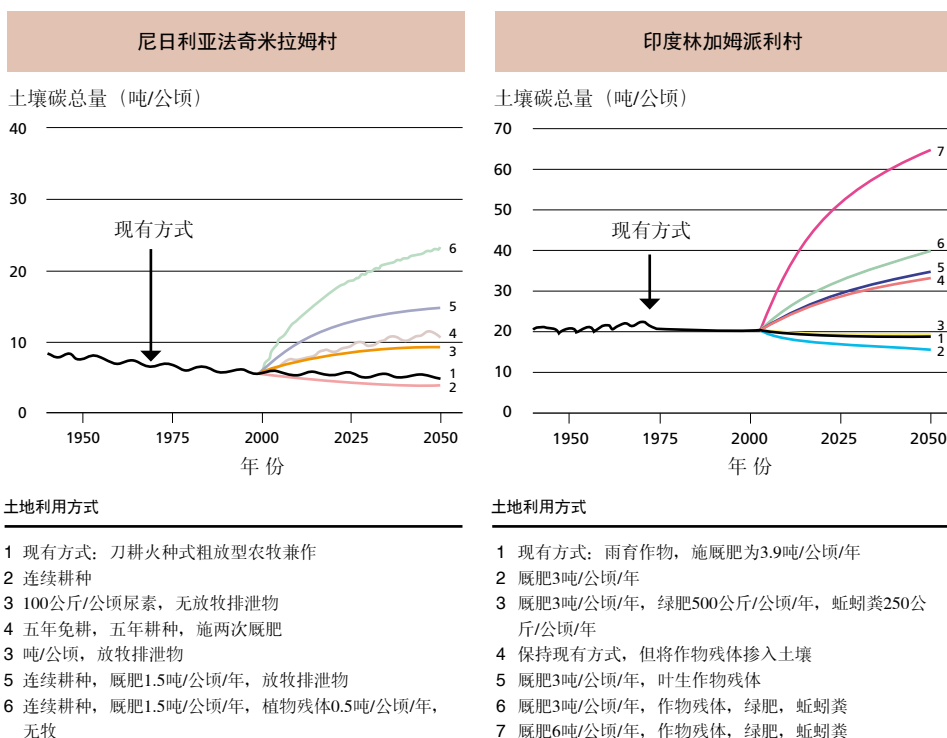
表2提供了两个有关淡水资源使用的指标。“水资源人口承载密度指数”测量的是每年每百万立方米可获取径流量所服务的人口数量。相对用水或“水资源人口承载压力指数”指取水量与供水量之比。在全球范围内，目前的用水量占年度供水量的13%（《千年生态系统评估》，2005b），并呈现总体上升趋势，表明淡水资源的压力不断加大。

《千年生态系统评估》（2005b）预测，到2010年，全球水资源人口承载密度指数将提高13%。《2006年人类发展报告》（联合国开发计划署，2006）报告预测表明，到2025年，有30多亿人可能面临缺水问题，有14个国家可能会列为缺水国（即每人每年水占有量不足1000立方米）。

人类大部分用水直接取自河流或地下水。地下水可能来自可再生水源或来自“化石”蓄水层。两种水源均出现了自身的管理问题。可再生地下水是通过大气和土壤与淡水循环直接联系在一起，并通过降雨和某些农业方式得到补充。化石地下水存在于地下深层蓄水层中，几乎不会有长期的净补给。使用化石地下水类似于开采矿物：一旦开采便不能得到替代，因为补给时间可能长达数千年（Margat，1990）。

图 4

不同农作体系中土壤碳的变化



资料来源: 粮农组织, 2004a。

除了直接从河流和蓄水层取水之外, 另有三项技术用于增加淡水获取量: 水坝和其他人工水库、海水脱盐以及地方集雨。目前脱盐水的供应量在全

球用水量中所比例不足1%。集水指应用多种传统或现代的技术收集地表径流, 或者增加渗水。这些技术包括储水输水的水渠和水坝, 增加土壤湿度的技术,

表 2

淡水的供给型服务指标, 2010年

地理区域 / 国家组	水资源密度指数	水资源压力指数
	(人/百万立方米/年)	(百分比)
亚洲	391	19
拉丁美洲	67	4
北非/中东	2 020	133
撒哈拉以南非洲	213	3
前苏联加盟共和国	161	20
经合发组织国家	178	20
世界总计	231	13

注: 这些数字以年度平均状况为基础。如果把分区域中可再生水供应和利用的时空分布考虑在内, 那么所显示的相对统计值会上升。
资料来源: 引自《千年生态系统评估》中的“生态系统与人类福利: 目前状况与趋势”。作者版权©所有, 2005年。经华盛顿特区爱兰得出版公司的许可而复制。

以及用于灌溉、提供家用饮水和缓解洪峰的水库。

农业用水大约占全世界用水总量的70%，在很多发展中国家这一比例甚至高达95%；因此，农业对人类其他用水的水量和水质均产生影响（粮农组织，2007b）。改变农作方式可以增加地下蓄水层的补给，从而增加水量，但是，对改善现有水资源的水质和水量而言，农业可以做出的最大贡献，莫过于更加有效地利用所需用水。另一个可能性就是将废水用于农业活动；目前，大约200万公顷的农田利用这种方法进行灌溉（《农业用水管理综合评估》，2007），而且存在面积大幅度扩大的潜力。

Pretty等人（2006）分析了发展中国家的144个项目，这些国家应用了一些资源节约型管理方式，诸如病虫害和养分综合管理、保护性耕作和农林兼作。结果表明，这些做法也明显改善了水资源利用率，尤其是雨育农业系统中的水资源利用率。灌溉稻田和棉田的水资源利用率分别平均增长16%和29%，而旱作谷物、豆类以及根茎块茎作物农田平均分别增长70%、102%和108%。

众多研究表明，免耕对于渗水能力、土壤湿度含量、土壤侵蚀和持水能力均有积极影响。例如，研究表明，在美国，免耕系统使得径流减少了31%；渗水率因土壤类型不同提高幅度在9%到100%之间；土壤侵蚀减少量高达90%，从而减少了河流中的泥沙和水体中的污染物（Hebblethwaite，1993）。同样，Guo、Choudhary和Rahman（1999）也提出，由于免耕使得土壤结构得到改善，土壤的渗透力也得到了增强，从而减少了土壤侵蚀。在巴西许多地区，保护性耕作使土壤流失减少量高达87%，同时，小麦和大豆轮作田中的径流减

少量也高达66%（Saturnio和Landers，1997）。

关于水渗透改善增加蓄水层补给的确切数量仍需进一步研究。迄今为止，主要是一些观察证据说明采用保护性耕作和其他水土保持措施会改善流域服务。据报道，在巴西的巴拉那州，由于采用了免耕方式，全年中大部分时间都会干涸的一个池塘又重新充满了水，而且池塘附近的一条河流在旱季也出现了水流（粮农组织，2003b）。在印度，Agarwal和Narain（2000）报道，在阿瓦里河（Avari）和鲁帕莱尔河（Ruparel）流域实施了一系列集水措施和土壤保持措施之后，这两条河流开始全年流水。在畜牧管理方面，研究表明，轮牧、改善牲畜密度及增加牧场树木覆盖可以改善水的补给（粮农组织，2006a）。尽管如此，为保护水资源而采用先进农业管理方式与水量提高之间的确切关系，以及效果显现的时间方面，还需要进行更多研究。

表3定性归纳了土地利用的重大变化可能会对可用水量产生的影响。令人遗憾的是，土地利用与生成更多更洁净的水之间的水文关系既复杂，又因地而异，且经常缺少科学依据（Robertson和Wunder，2005；粮农组织，2004b）。该领域大多数研究主要集中于水源附近的森林保护和再造林产生的影响，但即使在这类研究中，其结果也常常模糊不定。增加树木覆盖既可能减少也可能增加可用水量。因为一个典型的流域通常受到许多农民活动的影响，因此需要广泛采用先进的农经方式，才能产生可观的影响；而评估大流域变化所需的长期监测可能会耗费巨大。然而，尽管缺少科学依据说明改进管理对水位和地下水补给所产生的影响，但研究已明确证明

表 3
主要土地覆被类型和土地利用变化给水资源带来的影响概览

土地利用变化类型	对淡水供给型服务的影响	置信水平
天然林变为人工管理林	可利用的淡水流量轻度减少，时间性信度降低（地下水长周期补给减少）	可能出现在大多数温带和湿热气候之中，但主要取决于优势树种 充分采用各种管理方式可以将影响降至最低
森林变为草场/农田	地表径流量大幅增长，导致淤积和养分流失增加 时间性信度降低（洪水、地下水长周期补给减少）	很可能出现在全球范围；产生的影响取决于该地区在整个汇水区中所占比例 如果改为草场而不是农田，产生的影响会轻一些 对一定时间内集中降水量很大（如季风降雨）的地区来说极其关键
森林变为城市	径流量严重增加，引起污染负荷增加 时间性信度剧降（洪水、地下水长周期补给减少）	极其可能出现在全球范围，产生的影响取决于该地区在整个汇水区中所占比例 如果占用的是汇水区下游地区，那么影响会更大 对强降水不断发生的地区极为关键
蒸散量较高的物种入侵	径流量大幅减少 时间性信度剧降（地下水长周期补给量少）	极为可能，虽然取决于优势树种的生长特点 除了南非、澳大利亚和美国的科罗拉多河之外没有太多文字记载

资料来源：引自《千年生态系统评估》中的“生态系统与人类福利：目前状况与趋势”。作者版权©所有，2005年。经华盛顿特区爱兰得出版公司的许可而复制。

了相反的一面——即土壤退化和滥砍滥伐会导致地下水位下降。

地图3（第22页）显示了南亚和东南亚地区片状侵蚀程度较高的耕地，说明了一种略显粗略指标衡量潜在的异地影响如水道淤积和沉积等。该地图依据的是国际土壤参考和信息中心（ISRIC）与粮农组织在1994和1997年间进行的“南亚及东南亚人为土壤退化现状评估”成果（van Lynden和Oldeman, 1997）。并不是所有标示的地区都具有潜力，可以通过改变土地使用在提供流域服务方面发挥重大作用，这要取决于所在位置特别是水文功能，但是那些确实具有潜力

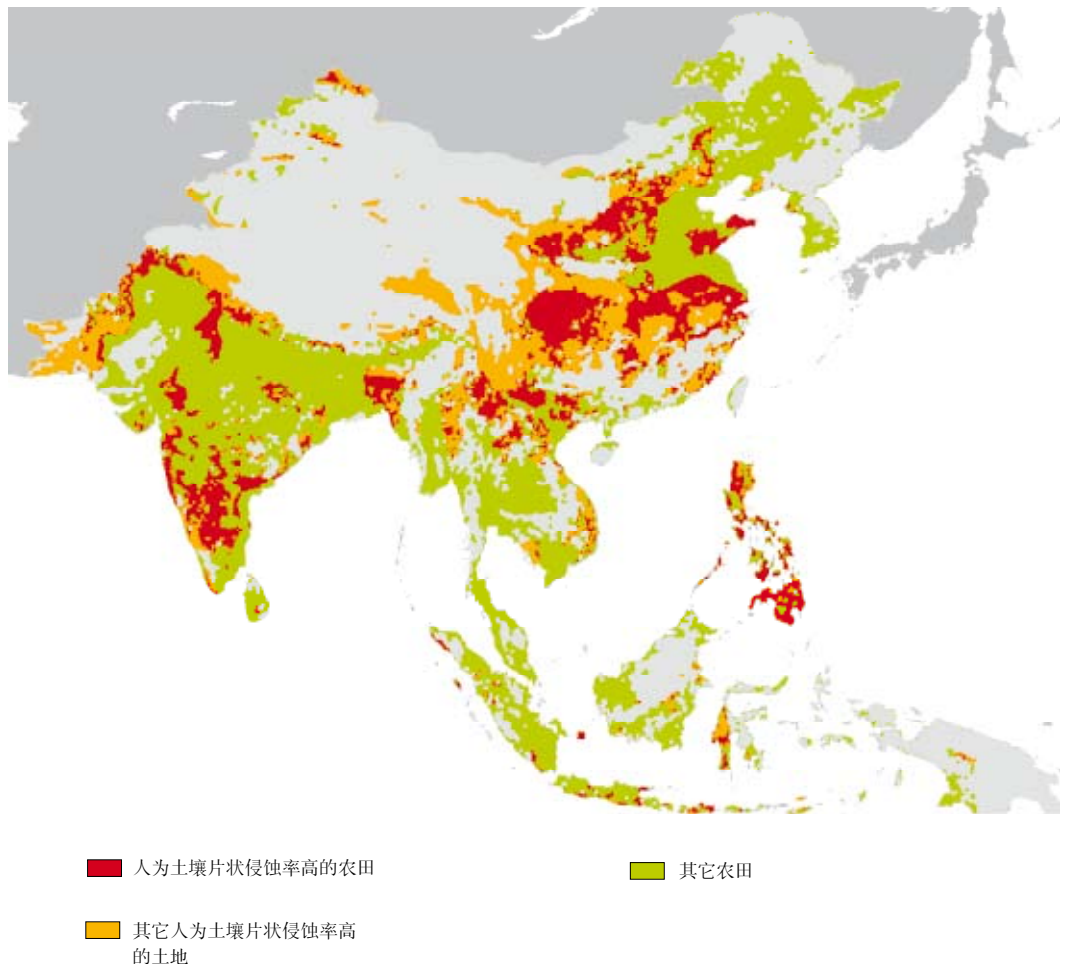
的地区仍可能涵盖巨大的面积及数量可观的农业生产者。

水质

联合国欧洲经济委员会将水质定义为“满足预期用水所需之水的物理、化学和生物学特征”（联合国欧洲经济委员会，1995，第5页）。大多数水生物种能够适应水质的自然变化，但是人类活动添加了威胁许多物种的污染物，必须经过处理才能供应饮用水。

在全球范围内人类对水质造成的影响大多数发生在上个世纪（《千年生态系统评估》，2005b）。过去，污染

地图 3
人为土壤侵蚀率高的农田



注：参见http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31153&layers=croplands_humaninduced_erosion
资料来源：粮农组织。

物主要源自未经处理的废水中的有机污染和粪便污染（在很多发展中国家情况仍然如此），而如今，最为普遍的污染物可能源于农业和工业生产。在农业方面，主要是土壤侵蚀、养分流失和农药造成的污染。在很多国家，畜牧生产是一种主要的污染源，废物产生的养分污染成为日益严重的问题（粮农组织，2006a）。应该区分点源污染（指向水体固定、集中排放污染物）和面源污染（指更加分散的污染物排放）。在大多

数情况下，农业造成的是面源污染，确切的污染源是分散的，很难确定。其中一个例外是大规模高度集中的畜牧养殖，其影响源头可以追溯识别。

通过改变农业生产体系改善水质，一般可以减少盐化和农田有害径流如土壤侵蚀、杀虫剂和其他农用化学品或牲畜粪便。一种方式是将施肥和植物摄取养分的能力进行很好的对接，从而提高养分利用率。测土和改善施肥时间，以及利用覆盖作物和减耕，均是达到改

善水质目的的有效方式（Tilman等人，2002）。改进养殖废弃物管理的措施也可能促进水质的提高。这种措施包括改变生产过程（饲料管理）和粪肥的收集、储存、处理及利用等（粮农组织，2006a）。

在减少畜牧业生产面源水污染的措施中，法国有一个成功范例。维特尔（Vittel）瓶装水公司与农场主签订协议，鼓励他们改变土地管理方式，减少水源中的硝酸盐含量（Perrot-Maître，2006）。农作方式的变革包括停止种植饲料玉米、停止施用农用化学品、采用粗放型牛群放养方式并减少养殖量、以及将农场建筑进行现代化更新从而将养分流失降至最小程度。

上述例子说明，减少畜牧生产污染的措施既包括改变饲料生产中的种植方式，也包括改变养殖技术。有关的污染物包括氮、磷和重金属含量过高的排泄物养分。畜牧业废弃物还可能包括对人类健康具有潜在危害的多种微生物。

生物多样性保护

《生物多样性公约》（CBD）将生物多样性定义为“所有来源的活的生物体中的变异性，这些来源...包括陆地、海洋和其他水生生态系统及其所构成的生态综合体；这包括物种内、物种之间和生态系统的多样性。”（《生物多样性公约》，1993，第2条）。

“生物多样性”是指生物多样性通常在遗传、物种和生态层面进行衡量，尽管很难为了交易目的确定“生物多样性单位”。在这三个层面当中的任何一个，生物多样性保护都包含以下内容（《千年生态系统评估》，2005b）：

- 品种，反映不同类型的数量；

- 数量和质量，反映任一类型的量；
- 分布，反映生物多样性特征的具体位置。

《千年生态系统评估》得出的结论是，过去50年间，人类活动导致地球上生物多样性的丧失速度超越了人类历史上任何时期。评估指出了造成生物多样性丧失的五大驱动因素：生境变化、气候变化、外来物种入侵、过度开发和污染，并认为物种丧失和许多生态系统不断同质化仍是自然和经社体系存在的主要威胁之一（《千年生态系统评估》，2005b）。

与农业生态系统相关的生物多样性称为农业生物多样性，一般指遗传、物种和生态系统层面上的众多植物、动物和微生物，其对维持粮食生产和粮食安全的关键功能来说必不可少（《生物多样性公约》，2000）。农业生物多样性提供了粮食安全和个人生计的基础（粮农组织，1997）。

农业生物多样性是环境、遗传资源和农民的经营方式及做法之间相互作用的结果，是几千年来审慎选择和创造性发展的成果。它包括作物和家畜的遗传多样性以及与作物相关的生物多样性（如抑制有害生物的生物多样性授粉媒介、土壤生物多样性等）。

近年来，人们开始担心农业生产系统的同质化会带来农业生物多样性丧失（粮农组织，1997）。在作物和家畜的遗传多样性方面，主要担忧有两个：遗传脆弱性加剧和遗传退化（粮农组织，1997）。当一种广泛种植的作物品种或养殖品种容易感染可能造成大范围损失的某种病虫害或病原体时，便是出现了遗传脆弱性。遗传退化指某一家畜品种或作物的灭绝造成的遗传资源丧失。遗传资源丧失的主要原因是改良品种取代当地品种。一种更深层的担忧是有助于粮食安全的生态系统服务的丧失。如果

对农业生物多样性管理不善，那么农业生态系统的某些重要功能就可能丧失，诸如养分和水循环的保持、病虫害管理、授粉和土地侵蚀控制等。

作物和家畜遗传多样性的保护可以通过非原生境或原生境保护来实现。非原生境保护方式包括种子和基因库，而原生境保护则是在农田、池塘或森林中开展。这两种方式是相辅相成的；非原生境样本保存的是静态的遗传资源，而原生境保护保存的是动态的进化过程，因为遗传资源要适应自然及人类选择带来的不断变化的压力。

农业生物多样性保护方式将保护行为与人类的可持续利用联系在一起。由于农业生物多样性的特点各不相同，确保其可持续经营的机制和手段（如保护）也通常各不相同，有别于野生生物多样性的传统保护方式（如保护区）。

农业生产者如何能够保护生物多样性呢？必要的措施不仅取决于要保护的生物多样性的类型，而且取决于生产体系和所处位置。以下章节探讨了农业生产者可以促进生物多样性保护的三种主要途径：减少农业向生物多样性丰富的土地的扩展；采用支持生物多样性保护与农产品复合生产的农业生产体系；以及保护农业生物多样性。

将农业向野生生物多样性丰富地区的扩张最小化

农业可以通过避免使用物种多样性丰富地区的土地和水资源来促进野生生物多样性保护。这种方式既包括维护相对而言从未开发过的生态系统，也包括从物种丰富地区附近的土地或水域退耕，特别是那些不太适合农业生产的区域。可以将这些区域纳入受保护的区域，诸如国家公园和保护区等；这样的区域是野生生物多样性保护的基石。这

种方式也可能涉及在指定为野生生物迁徙和生态系统连接的重要“走廊”地区，停止、减少或改进农业生产方式和土地综合管理。

地图4是一项新热带地区土地利用变化研究产出的几幅地图之一（Wassenaar等人，2007），其显示了存在农业占地风险的南美洲部分地区。该项研究采用维度清晰交织的模型融入位置、适宜性以及影响土地使用经济价值的各种因素，确定了具有高度牧区和农田转化风险的地区。该图将森林采伐的热点区域用红色（有转为牧区的风险）和橘色（有转为农田的风险）标示。受计划采伐影响的很多生态区都是世界自然基金（WWF）“全球200佳”重点生态区（地球上最具生物丰富度和代表性的动物栖息地），其余则是保护国际的生物多样性热点地区（Wassenaar等人，2007；世界自然基金，2007）。就是在这些地区，种植业和畜牧业生产着可以通过避免将土地转为农用，或者在农区加强保护（例如提供连接栖息地区的野生动物保护走廊）来提供重要的生物多样性保护服务。

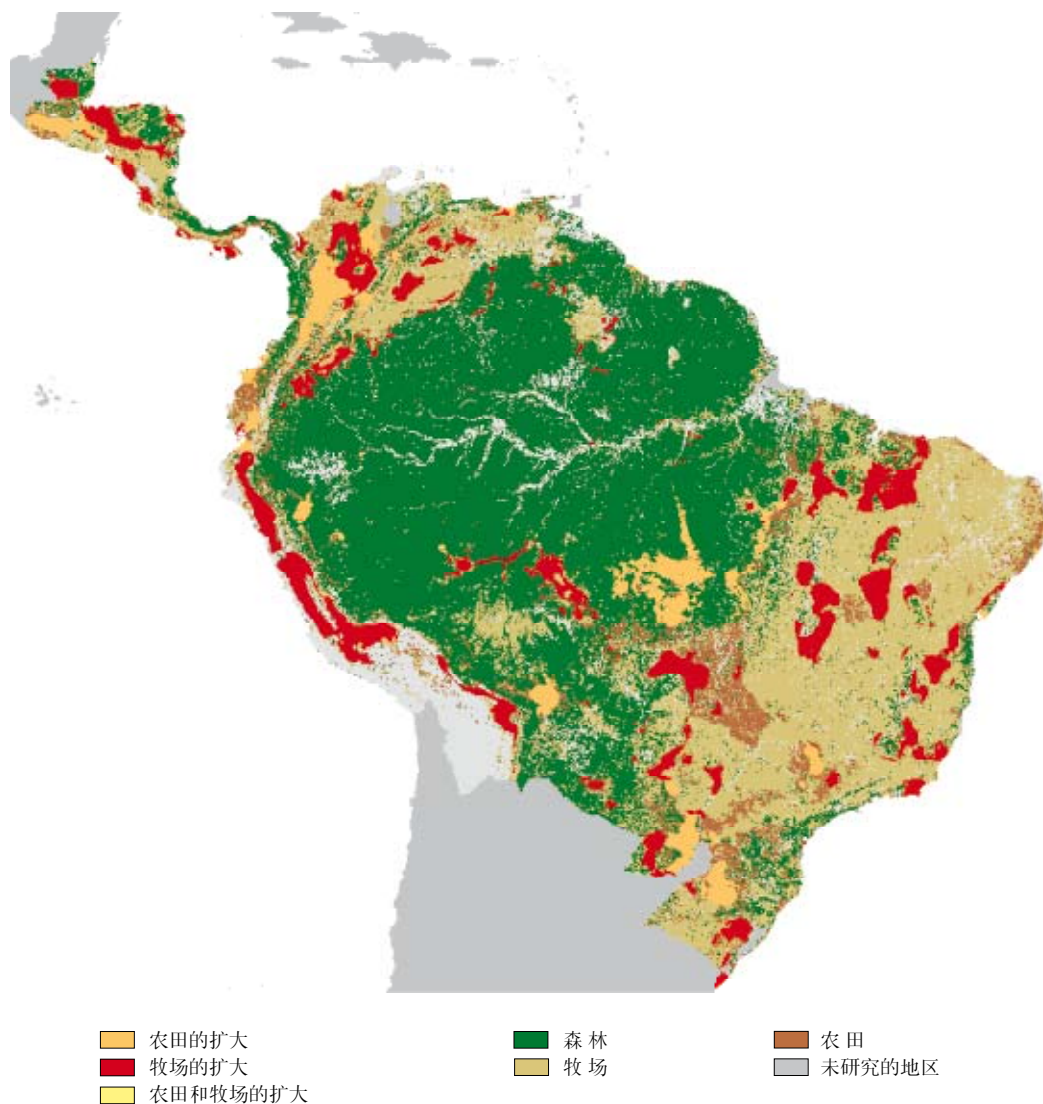
农业生态系统中的野生生物多样性保护

农业生产者也能在农业生态体系中保护生物多样性。McNeely和Scherr（2002）列出了一系列可行的保护性措施：

1. 保护农场上的野生动物的生境，建立连接农场与未开垦地域的走廊；
2. 植入多产的多年生植物，模拟自然生境；
3. 采用减少污染的农业生产方式；
4. 改进资源管理方式，提高农场内部及周边的生境质量。

第一类措施的例子可以在哥斯达黎加找到。在那里，种植了150公顷的

地图 4
预测的2000-2010年农田和牧场的扩大



注：参见http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31154&layers=cropland_pasture_expansion
资料来源：Wassenaar等人，2007。

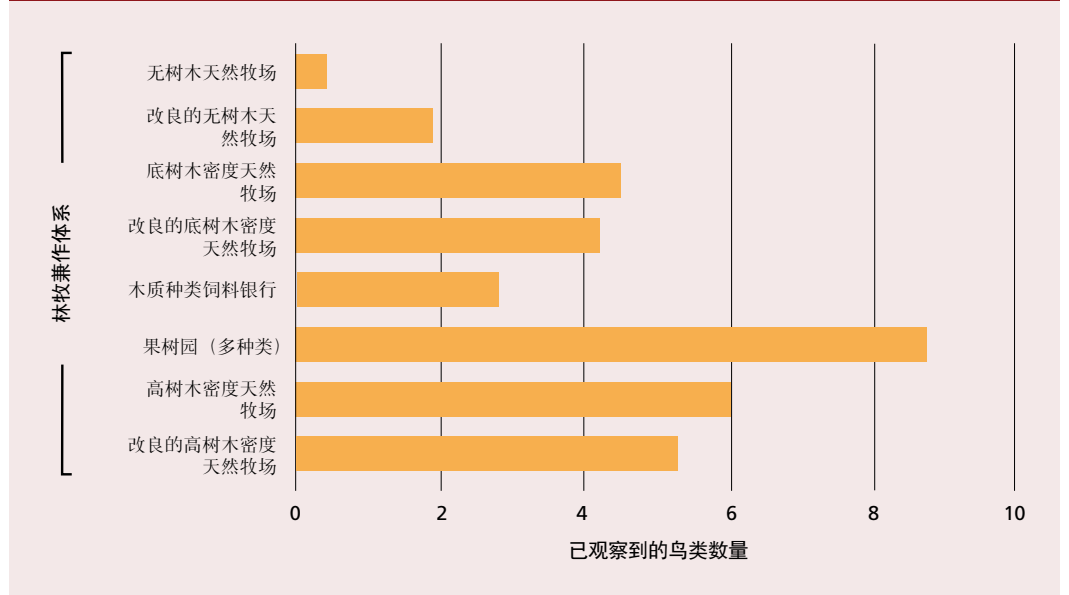
外来树种和地方树种的混交防风林，横跨19个农村社区。防风林充当着生态走廊联接了当地残留的小片森林，也通过降低风害损失给农民带来了收益（McNeely和Scherr，2002）。其它这一类的例子包括种植树篱和农林兼作。Schroth等人（2004）全面评述了农林兼作在保护生物多样性方面发挥的作

用，如为野生物种提供走廊和新生境等作用。

树荫下种植咖啡是第二类措施中的突出例子。树荫下种植咖啡即在高度不同的树冠的遮蔽下栽种咖啡，其为候鸟提供了可喜的栖息环境。相反，传统方式种植咖啡的生物多样性水平则较低（Pagiola和Ruthenberg，2002）。

图 5

哥斯达黎加Esparza采用林牧兼作体系的生物多样性影响



资料来源: Pagiola, 2006。

有很多例子可以说明第三类措施,即改变耕作方式来减少污染。在越南,稻农过量使用农药造成农田外污染,危及了当地生境。经过宣传教育,农药使用量减少了,这对稻田中生存的多数蛙类和鱼类十分有益。在中国,曾经大量使用农药控制稻瘟病,后来通过种植另外一种水稻品种大大减少了施用量。在菲律宾,土壤侵蚀及其造成的江河污染通过引入自然植被等高线防护带技术而得以解决(McNeely和Scherr, 2002)。

为肯尼亚和赞比亚的小农户再次引进短期(1至2年)的改良休耕体系是第四类措施的例子。这种方法不仅帮助恢复土壤肥力,而且为野生物种提供了生境(McNeely和Scherr, 2002)。

在某些地区,林牧兼作方式为仅依赖牧场的养牛业提供了另一种选择。这些方式包括:在草场上密植乔木和灌木;在以前其他用途的农用地上种植专用乔木和灌木,为牲畜提供枝叶饲料的刈割和运载系统;采用速生乔木和灌木用作篱笆和防

风屏等(Pagiola等人, 2007)。这种林牧兼作给土地使用者带来的益处包括:因种植树木而增加额外的收获,诸如果实、薪柴、饲草和木材等;通过增加养分循环保持或提高牧场生产力;以及开展多种经营(Dagang和Nair, 2003)。

如图5所示,林牧兼作也会给生物多样性方面带来很大益处。实践显示,林牧兼作可以发挥重要作用,如为野生动物的生存提供了稀缺的资源 and 避难所,提高地方树种繁殖率,为野生鸟类提供巢窝,以及协助连接保护区(Dennis、Shellard和Agnew, 1996年; Harvey和Haber, 1999)。此外,林木兼作方式可以在土壤和立木生物质中固存大量的碳(Fisher等人, 1994; Pfaff等人, 2000),并在供水服务方面产生积极影响(Bruijnzeel, 2004)。

农业生物多样性保护

有很多种方式可以用来进行农业生物多样性保护,其取决于具体的重点保护

内容。这些方式的差异体现在人类对自然体系的干预程度上，从非原生境基因和种子库的高度管理，到维系栽培种在野外的野生亲缘关系。这些措施还包括在农场上保护和利用所谓的“地方品种”，即传统的作物和畜牧品种，它们往往对当地环境极为适应。提升多样性，可以通过实施激励机制在生产中保持多样的作物品种、特别是稀有的地方品种种类来进行，或者通过农田边缘管理吸引授粉昆虫和抑制害虫的天敌。Jarvis、Padoch和Cooper（2007）对农民保护和进一步提升田间生物多样性的做法进行了综述。

因为农业生物多样性直接关系到农业生产，通过农产品市场渠道做出努力向农民提供保护农业多样性的激励机制，是一项重要策略。近年来，国际社会为农民保护原生境农业生物多样性提供了支持。这些计划旨在增加生产系统中多样性的存在及活力，或增进多样化体系保护带来的收益。其中一项策略是，通过建立标识、认证或原产地机制以及开发利基市场，增加对多样化产品的需求（生物多样性国际，2006）。另一项策略是丰富农产品种子供应体系（粮农组织，2006b）。涉及直接支付农民以保持作物品种多样化的一个例子是全球环境基金资助的项目，即“基于农民的保护非洲植物遗传资源的动态方法”，该项目于1992至2000年在埃塞俄比亚实施（全球环境基金，2007a）。

农业生产者可以提供的其它环境服务

以上内容强调了三种不同但非常重要的环境服务。然而，应当注意的是，除此之外，农业生产者能够并且确实也在提供很多其它的环境服务。景观美感便是其中的服务之一，一些农民已经通过生态旅游和农业旅游等形式获得了相当的经济利

益（插文3）。农民获得支付的其它服务包括授粉服务和减缓动物疫病、作物病害和入侵物种的传播。例如，一些疫区农民因防止禽流感蔓延而采取措施灭杀禽只，为此他们得到了补偿。

提供环境服务的规模、位置及协调的重要性

上述讨论表明，农业生产者可以采取多种变化方式促进农业生态系统各种服务之间的平衡。探讨重点放在了个体农民为增加三种服务中任一种的供应而进行的变革上。然而，在有些情况下，特别是在流域管理和生物多样性保护服务方面，规模和位置均密切关系到变革是否有效；反过来，有效与否又影响着实现协调的条件。实际上，某个流域中单个生产者为了改善生境或减少侵蚀而进行的变革，可能远不足以提供这些环境服务，除非该生产者控制了数量巨大且对服务供应来说相当重要的土地和水资源。这意味着考虑地貌层面的变化与个体生产单位规模一样重要，还意味着任何特定变革的有效性关键取决于多个生产者之间活动的协调性。

表4（第30-31页）总结了一组经营管理的变化方式，农业生产者可以用来增加所讨论的这三种环境服务的提供。该表还在相关的景观层面管理和需要提供有效供应的生产者之间的协调程度的背景下显示了这些变化。

提供环境服务的技术潜力与经济潜力比较

上述章节讨论了农业提供环境服务所具有的技术潜力。这基本上是告诉

我们，某种环境服务中农民能够提供的量有多少，但必须认识到，这并不是等同于在没有额外动力的情况下农民可能会提供的量。这种区别相当于提供环境服务的技术潜力与经济潜力之间的区别。

例如，单纯从技术角度看，在今后50至100年中，改善土地管理在理论上可以对全球碳固存做出重要贡献。因此，Lal（2000）估计，大气中二氧化碳浓度的年增加量可被平衡掉，假如恢复20亿公顷的退化土地，通过改善土壤管理方式如减耕和减少施肥，土壤和植被的平均碳量每公顷会增加1.5吨（也见

Rasmussen、Albrecht和Smiley，1998；Sa等人，2001）。然而，农民可能会提供的实际碳汇量取决于他们因土壤碳量会得到多少支付，以及提供碳量而负担的成本。美国的经济研究表明，如果每吨碳价在50至100美元之间，其经济潜力将远远低于技术潜力（Lewandrowski等人，2004；Paustian等人，2006）。

提供环境服务的经济潜力，是评估环境服务支付在增加农业生态系统的经济和环境收益方面是否有效的一个关键标准。正如本章开始几段所述，这种潜力是现有农业经济条件的产物。人口密度、农业生态条件、市场一体化水平和

插文 3 景观美感

景观美感经营是另外一项环境服务，其市场正在发育，但这不是本报告详细探讨的内容。景观美感，或“乡村休闲”，激起人们从观赏、游览、甚至知晓某种景观特色中获得的愉悦感。这种愉悦感可能源于新奇性（观赏间歇泉喷涌）、多样性（利用多种方式耕种的坡地）、自然美景（喜马拉雅山脉的景观）、文化（游览圣地）或者某种濒危物种在偏远地区继续生存等。

因此各种景观本身有不同的价值，因而又分为不同类型。人们可能仅仅出于兴趣去确保某些景观、生境或生态系统继续存在，即便不能以任何方式直接受益。然而，景观也可以有更多的直接使用价值，可以通过自然旅游、生态旅游或农业旅游等活动加以利用。自然旅游指到某地进行游

览，欣赏自然风光为首要目的。“生态旅游”一词在这里是用来描述对具有独特动植物特色的地方进行游览，如亚马逊流域或塞伦盖蒂平原等。农业旅游指对那些人类的农业耕作方式产生了诱人美景和独特产品及饮食的景区进行的游览。

景观美感服务经常与其他环境服务尤其是生物多样性保护产生重要的协同效应。有些旅游目的地是让游客欣赏独特的物种种群，其中很多旅游目的地受到了保护，从而使它们更有可能保存在其周边地区已经消失的物种或者调节水质水量。自然旅游可以加强对生物多样性的保护，当地社区直接参与浏览经营时尤为如此，如果它们直接从旅游企业手中获得收入，它们会可能更好地保护并保存地方资源。

农业基础技术都是农业土地和劳动力当前收入的重要决定因素，也是进行改变带来额外环境服务的潜在成本效益的重要决定因素。同样是这些因素影响着经济发展水平，从而影响当地环境服务支付的需求与意愿。

结论

农业拥有显著增加环境服务供应的潜力，诸如减缓气候变化、生物多样性保护、流域保护等；但这需要在农业生态系统经营管理方式上做出变革。环境

服务产生的方式因服务、生产体系的类型以及农业生态情况的不同而不同。为提升生态系统服务提供而需要进行的变革类别，包括从土地和水资源利用的转变（如退耕或退渔，改为非集约化利用如还草或还林），到某种生产体系内部的变化（如采用能提供高水平环境服务的农作方式）。

不同生态系统服务中涉及的生物物理过程对政策应对有重要影响。例如，降低或减缓碳释放并无地理界线，离公路数百公里远的一位贫穷农民固存的一吨碳，与首都附近商业种植园固存的一吨碳有着恰恰相同的价值。相比之下，

农业在确保提供景观美感服务方面可以发挥独特而不同的作用。这些作用的范围从在农业生产中纳入或保留特定区域或景观到在农业生产中管理土地等。农民在管理土地或决定如何开发土地时，未必考虑到其土地会提供乡村休闲。事实上，在一些发达国家，提供乡间休闲可能是实施各种公共资助的农田保护计划的一个主要动机（Nickerson和Hellerstein，2003）。

景观美感服务的私有市场正在日益增长。在世界各地，人们收入增长，休闲时间增加，出行成本降低，信息量增多，在这些因素的推动下，生态旅游快速增长。世界旅游消费预计每年以6%的速度增长（联合国世界旅游组织，1998，引用于Hawkins和Lamoureux，2001），而且越来越集中于自然环境领域。

农业景观提供的景观美感和休闲服务的总体市场规模似乎仍会较小。对农业社区的支付可能仅限于那些生活在吸引游客的地区或毗邻地区的人们。在很多发达国家，一个围绕着牧场和田园景观及其提供的美感和活动的旅游产业部门已经形成，但在发展中国家还未形成类似的产业。

景观美感和休闲服务最重要的客户可能是私有旅游社和相关企业，它们单独或联合在景观审美价值高的某个地区开展业务。个人性质的休闲猎手和渔人以及私家公园游客也可能会购买景观美感和休闲服务。现在有很多模式可以利用公园游览费使保护景观和休闲价值的社区团体获益。这些模式中的一些在将来可能会变得很可观。

表 4
三类环境服务的管理方案和协调要求

	环境服务	农田层面管理方案	景观层面管理方案	所需的协调度 ¹
碳固存及温室气体抵消	土壤碳固存	土壤有机质管理, 增加有机质含量, 减少耕种次数, 采用保护性耕作, 实施土壤保护性措施, 改善草场管理		低
	多年生植物的碳固存	扩大多年生植物的种植面积/使用, 农田中的林木管理, 农林兼作, 天然更新, 延长休伐期, 林牧兼作体系	造林, 林木天然更新	低
	碳减排	农机排放管理, 避免森林采伐	减少焚烧林木和免耕地	低
	甲烷减排	改善牲畜饲料及泥炭地管理	保护泥炭地不受破坏	低
流域保护	水流调节	灌溉效率提高, 湿地保护, 农田排灌, 牧场管理	精心设计铺设公路和田间小路, 裸露土地上重新植被	低
	水质保持	减少使用农用化学品, 过滤农田径流, 提高养分利用率	保护多年生植物过滤网保护水道	高
	侵蚀及淤积管理	水土保持和径流管理, 多年生土壤覆被植物, 采用保护性耕作, 牧场管理	公路、田间小路和村庄建设; 溪流两岸重新植被	中
	盐化和水位调节	植树	景观中战略性植树	中
	蓄水层补给	地块和农田层面集水	社区/次流域集水	中
	洪水控制	导流池和蓄水池	排水渠和蓄水池塘; 维护天然洪水	高
野生生物多样性保护	野生陆生物种生境的保护	繁殖区保护, 纯净水源保护, 农田之中及周围的野生食物源保护, 选择耕种时机, 提高农作物物种/品系多样性	农田之中及周围的自然区域网, 公共和私营的保护区	中
	移动性物种的联系通道	农田植物篱, 防风林, 拆除无法穿越的障碍物	农田之中和周围的自然区域网	中至高度
	受威胁生态群落保护	恢复或保护农田地块中的自然生境	保护连接农田和天然栖息地等地方的走廊	中至高度

表 4 (续)

三类环境服务的管理方案和协调要求

	环境服务	农田层面管理方案	景观层面管理方案	所需的协调度 ¹
野生生物多样性保护	野生物种保护	消除来自有毒化学品的威胁，保护繁殖区，采用无毒方式控制有害生物	避免野生生物进入农田的障碍物，因野生生物危害牲畜和农作物而对农民进行补偿	低至中度
	水生物种生境的保护	避免种养业废弃物对水道造成污染；农田湿地保护或恢复	溪流两岸自然植被再生，保护或恢复湿地	低至中度

¹ 采取协调一致行动的原因可包括：联合投资的必要性（如建设社区范围的防风林）、投资的不可分割性（如恢复一条大溪谷）、为获得预计成果进行空间调整的必要性（如果水道沿岸的所有土地所有者都行动起来，两岸植被重建可能会提升水质）。

资料来源：引自粮农组织，2007c。

生物多样性保护和流域保护服务一般具有地域特定性，前者使全球受益，而后者则主要对地方和地区用户有利。

不同生态系统服务的供应之间常会形成合力。为增强某种生态系统服务而采用的生产技术，同时也可以增强其他服务。例如，采用保护性耕作增加土壤碳汇，不仅会对减缓气候变化和提高水质产生有利影响，而且对粮食生产这种供给型服务也有有利影响。然而，在不

同生态系统服务供应方面经常存在着取舍，了解这一点很重要。

本章着重讨论了农业在提升环境服务供应水平方面具有的技术潜力。这些必要的变革是否具有经济可行性，是决定能否实现变化以及实现变化所需支付水平的核心问题。下一章将讨论环境服务需求问题：谁来支付环境服务的费用？他们支付的原因是什么？以及他们愿意支付多少费用？