

# 生态系统研究与管理简报

立足科学 服务决策 促进人与自然和谐发展

---

2007 年第 7 期 (总第 12 期)

11 月 16 日印发

## 美国长期生态学研究的新方向

G. Philip Robertson 博士

(美国长期生态学研究网络主席 密歇根州立大学教授)

**【编者按】**2007 年 8 月 20 日 ~ 21 日, 国际长期生态学研讨会在中国科学院地理科学与资源研究所召开。大会的主题为: 长期生态学研究——迎接 21 世纪不同尺度生态系统可持续管理的挑战。美国长期生态学研究网络 (US-LTER) 主席 G. Philip Robertson 博士在大会上作了名为《美国长期生态学研究的新方向》的主题报告。报告内容主要包括美国长期生态学研究网络发展历程, 长期生态学研究网络发展新动向、社会与环境综合科学 (ISSE) 研究计划、新的科学规划在台站层面目前所取得的成果。CERN 综合研究中心根据讲演内容与相关资料整理完成本报告, 供 CERN 及有关机构和人员参阅。

在过去的几十年中科学飞速发展，生态学的研究方法、研究范围和特点也发生了显著变化，从单个研究者、单一生态站的研究转向合作、综合与集成研究。长期生态学研究网络的生态站需要保证其所研究的科学问题具有创新性，并定期评估所做的研究是否是最新的、让人激动的以及是否为生态学研究指明了方向。为了保证美国 LTER 不断前进，自 2005 年起美国 LTER 开始了为期 3 年的科学规划过程。本篇报告主要描述该规划的过程、产出与成果。

## 一、美国 LTER 发展历程

在二十世纪八十年代美国开始建立长期生态学研究网络，最初的目的是为生态学家提供在不同时间尺度上研究生物与过程的机会，从而回答重要的生态学问题。该网络起初只有 6 个生态站。基于单一时间尺度来研究基本生态学规律很重要，但还不够。例如，对威斯康辛州 Mendota 湖冰层覆盖日期做 1 年、10 年、50 年、142 年的研究发现，长期生态学研究能揭示短期研究所不能明显反映的现象。

长期研究主要反映：（1）缓慢过程或梯度现象；（2）插入间歇或偶发事件（Episodic or infrequent events）；（3）变化趋势；（4）多因子响应；（5）有长时间滞后的过程。

根据对 623 篇已发表文献所记载的观测和实验研究周期的分析发现，80% 的生态学文献中所记载的研究持续时间不到 3 年。仅有 10% 的研究捕获了非正常（unusual）事件。非正常事件会导致系统“重启”。在偶然事件前后进行的短期研究会得出不同的系统状态预测/估计（viewing）。

长期生态学研究网络研究的时间尺度包括月、年、十年、百年，尺度大于其它生态学研究通常所采用的小时、日的范围。由于长期研究的优势，越来越多的生态站加入了美国 LTER，现已有 26 个生态站。美国长期生态学研究网络的生态站为以下长期研究的核心领域做出了贡献：（1）初级生产模式与调控；（2）被选择来代表营养级结构的种群空间与时间分布；（3）表层和沉积物中有机物富集的模式与调控；

(4) 输入通过土壤地下和表层水输入的无机物运动过程与模式; (5) 干扰的模式与频率。

美国 LTER 所取得的进展来源于网络所代表的多种生态系统类型和多个生态站的综合。每个生态站都有记载其长期生态学模式和过程的科学丛书。现在拥有三个网络层面的联网试验: (1) 长期分解联网实验 (Long-term Intersite Decomposition Experiment-LIDET); (2) 内激流氮联网实验 (Lotic Intersite Nitrogen Experiment -LINX); (3) 生产力多样性特征网络 (Productivity Diversity Traits Network - PDNet)。

长期生态学研究项目的联网研究方法的优势在于能够在不同的生态条件下比较相同的过程 (如初级生产力或有机物分解过程)。因此, 美国 LTER 的科学家能够了解基本的生态学过程如何以不同速率、不同方式在不同的环境条件下运行 (详见《美国长期生态学研究网络 10 年评估报告》)。

## 二、美国 LTER 战略规划的成果及未来的发展方向

2005 年为了制定一个可以直接、全面的进行网络层面上科学研究的科学计划, 美国 LTER 进行了变革, 目的在于促进网络层面上的科学研究。换句话说, 也就是用强有力的科学研究项目将基于单个生态站的长期生态研究转变成目的明确的、跨站的网络化研究, 提升美国长期生态研究的水平。

规划确立了美国 LTER 核心领域: 净初级生产力、有机质循环、氮循环、种群动态、扰动。

迈向综合研究规划的行动有三个目标: 一是组织需要开展综合多样的研究生和本科生教育活动, 为他们提供更好的创新训练的机会, 鼓励多个生态站开展高度综合的研究; 二是评估美国 LTER 网络工作管理体制和进一步激励美国 LTER 网络内部相互协作的文化; 三是设计和建立能将美国 LTER 科学灌输到 K-12 科学课程 (美国国家科学基金会资助的面向中小学生的科学课程) 中的教育和训练活动。新的美国 LTER 科学议程将会使长期生态学研究进入更高水平的研究合

作、综合和集成。

经过3年时间制定的战略规划将指导美国 LTER 今后的工作。战略规划的科学产出包括：教育及宣传战略规划；新的 LTER 组织与管理体制；长期生态学研究趋势计划（TRENDS 项目）；计算机基础设施战略规划（CI）；社会与环境综合科学（ISSE）动议；跨学科、多站点、长期研究计划。有关内容可参考《生态系统管理简报》2006 年第 5 期。为解答跨学科的科学问题，美国 LTER 网络构建了以下科学概念框架（图 1）。

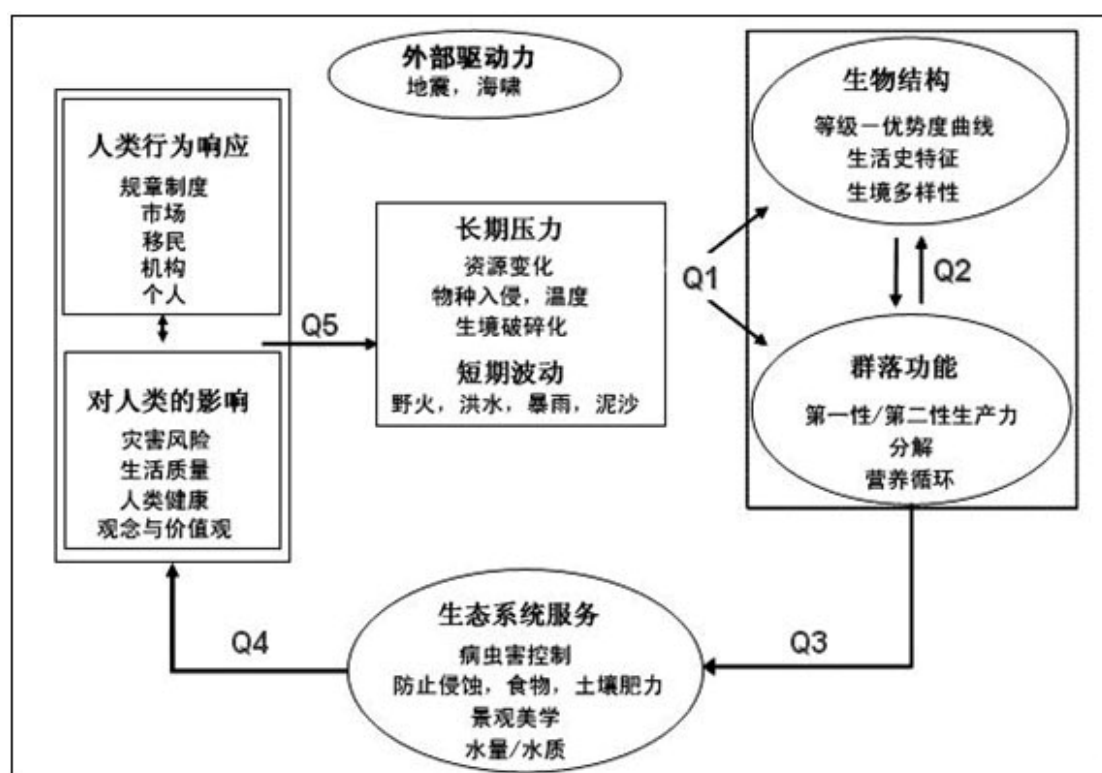


图1. 美国LTER科学概念框架

说明：美国LTER网络科学需要回答的5个基本问题：（Q1）长期压力与短期波动互相作用，如何改变生态系统的结构与功能？（Q2）生物群落结构变化如何导致能量与物质通量变化？能量与物质通量变化又如何影响生物群落结构变化？（Q3）生态系统动态变化如何影响生态系统服务？（Q4）生态系统服务的关键变化如何反馈并影响人类？（Q5）人类活动如何影响生态系统的长期压力与短期波动？（于秀波，付超 2007）

### 三、社会与环境综合科学（ISSE）

社会系统、生态系统不断被气候变化与气候波动、人口增长、生

物地球化学循环变化、水循环变化、城市化、物种入侵、土地利用与土地覆被变化所影响，然而大多数生态学研究并没有认真对待人类所引起的变化，未能将人类动态融入社会、生物系统的反馈研究中。传统的生态学研究只关注驱动力、生态系统响应和输出三个部分，缺少人类对生态系统服务的使用与响应。需要对人类行为引起的环境暴露结果加以重视。

社会所面临的环境挑战需要不同时间空间尺度上既能满足人类需求与保护必要的生态系统功能的解决方案。要发现这些变化、理解变化的基本原理及其对社会生态系统的影响、获悉可持续的解决方案，需要一个新的跨学科的努力。地质学、生态学和社会科学的协作是必需的。指导社会与环境综合科学（ISSE）的概念模型就是图 1 所确定的美国 LTER 科学概念框架。

这一框架通过 5 个主要问题（Q1-Q5）明确融入了社会、生态和地质规律。这些问题能在地方、地区、全球范围内实施，来解决与生物物理系统、生态系统服务和人类响应和产出相关的具体的基础性问题。

应用这一框架能帮助在社会、生态和地质规律下发展和测试理论与假说，也会帮助建立社会—生态系统的跨学科的科学。在网络层面的长期综合并充分共享以上规律的研究项目对于环境科学是独具特色和革命性的。这一项目对于更好地理解人类—环境系统，开展数据共享和揭示综合研究中的共性问题非常重要。

跨学科研究有助于理解和管理面临人口分布和自然资源消耗空前变化的生物圈的基本知识。这一观点对于认知的（cognitive）、行为的和制度的理解有空间和时间尺度的社会—生态系统至关重要。面对环境挑战而开展跨学科的综合研究对于加强理解和提出基于科学的解决方案非常有用。这些方案使得社会能更好地管理我们所依赖的生态系统产品与服务。社会与环境综合科学（ISSE）的发展历程如图 2。

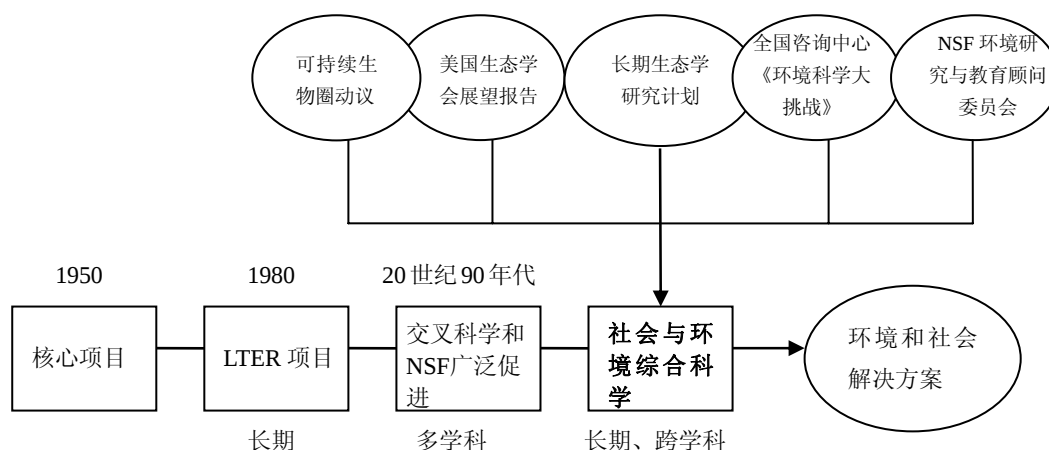


图2. 美国科学基金会所支持的社会-生态学研究项目的发展轨迹及其被提议的新的多元研究动议：社会与环境综合科学（ISSE）

说明：核心项目为独立研究者进行短期规律性研究提供资助；1980年开始包含社会学研究的美国LTER项目；20世纪90年代开始了基于生态系统复杂性需要的多学科专家交叉研究（Crosscutting），主要目的在于支持多学科研究和综合；提出社会与环境综合科学（ISSE）动议目的在于通过综合、长期、多站点、跨学科的基础研究来满足科学界需要创新研究方法来处理最紧迫的环境与社会问题。

注释：NSF 为美国国家基金会；ISSE为社会与环境综合科学。

社会与环境综合科学（ISSE）的核心是把人类理解为包含在地球生态系统之中（把人类作为有生命、有文化的生物体），不考虑社会系统而独立研究生态系统无法提高解决复杂环境问题的能力。对在国际、国内和地区尺度上资源消耗与人口增长、分布和再分布的相互作用的基础观测推动了社会与环境综合科学的提出。事实上，全球环境变化来源于包括与人口增长和资源消耗相关的社会和生态变量的相互作用。例如：大气  $\text{CO}_2$  浓度和气温的升高与人口增长、氮可用性增加和不断增长的能源消耗紧密相连，对社会和生态系统都具有巨大影响。

社会与环境综合科学（ISSE）将明显增加研究人员发现、理解和对社会生态系统已知和预期的改变做出反应的能力，并将这些知识传递给关键的生态系统使用者。社会与环境综合科学（ISSE）将把环境科学提升到新的合作、综合与集成水平来应对现在和未来环境研究的

挑战，如专栏 1。

#### 专栏 1

##### 对社会与环境综合科学（ISSE）增强社会环境意识的建议

（1）扩大空间和时间尺度的理解：提高和扩大合作研究的机会；扩展跨学科合作机会；扩展长期研究的机会；扩展综合研究的机会；建立基于网络、长期、多站点、跨学科的研究项目。

（2）发展计算机基础设施（CI）来进行综合和合作：支持在环境网络中计算机结构、标准和人员的调配、综合与协作；支持数据和模型储存来扩展综合研究的知识基础；投资技术转让和培训信息专家和领域研究专家；支持社会-生态信息学的关键技术发展；增强与社会-生态研究相关的数据收集和信息管理系统。具体内容可参考《生态系统管理简报》总第 6 期。

（3）建立综合研究能力和公众参与：支持关注知识进步、课程编制和科普教育的环境教育；支持网络层面的努力使代表社会各层次的人员更广泛的参与；使 16 岁的学生参与包括社会-生态规律的基于调查的科学教育活动，关注数据工作；为研究生提供在大的时空尺度下进行跨学科研究的机会。

#### 四、美国 LTER 台站层面的规划——以凯洛格生物实验站为例

凯洛格生物实验站（KBS）是农田生态系统，在该站开展的研究发现，农业系统可作为温室气体的缓减者。凯洛格生物站科学概念模型见图 3。

农业在主要的温室气体  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、氮氧化物排放中扮演着重要角色。全球人类活动产生的甲烷和氮氧化物中，农业是最大的源，氮氧化合物的全球变暖潜能值（GWP）是  $\text{CH}_4$  的 12 倍、是  $\text{CO}_2$  的 296 倍，它们在大气中存留时间长，对温室效应的影响最大（Robertson 2004）。

凯洛格生物试验站主要有如下作物类型：

1. 一年生作物玉米-大豆-小麦，管理方式有常规耕作、免耕、有机种植有豆科作物覆盖；
2. 多年生作物：紫花苜蓿、白杨；

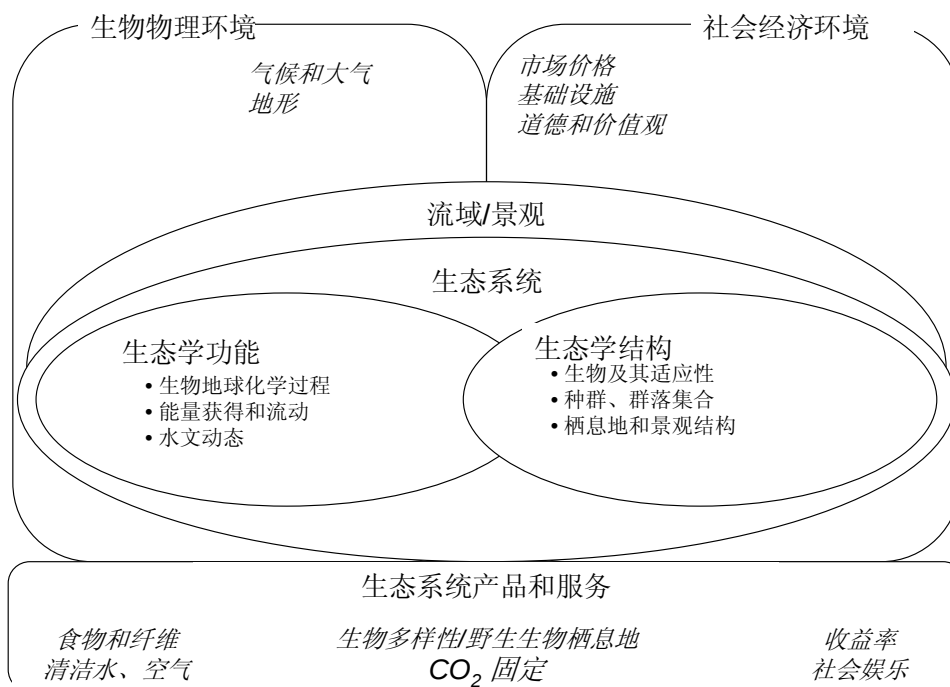


图3. 凯洛格生物站科学概念模型

3. 未管理的生态系统：撂荒地初生演替群落、撂荒地中生演替群落、森林晚生演替群落。

对各种种植类型进行全球变暖潜能值全部成本计算见表 1。

表 1 凯洛格生物站种植业活动的全球变暖潜能值

单位: g CO<sub>2</sub> -equiv / m<sup>2</sup> / y

| 生态系统类型(按管理强度从强到弱排列) | 土壤碳变化 | 燃料使用 | 氮肥 | 碳酸盐输入 | N <sub>2</sub> O 通量 | CH <sub>4</sub> 通量 | 净效应  |
|---------------------|-------|------|----|-------|---------------------|--------------------|------|
| 一年生作物(玉米-大豆-小麦)     |       |      |    |       |                     |                    |      |
| 常规耕作                | 0     | 27   | 23 | 16    | 52                  | -4                 | 114  |
| 免耕                  | -110  | 27   | 34 | 12    | 56                  | -5                 | 14   |
| 有机种植有豆科作物覆盖         | -29   | 0    | 0  | 19    | 56                  | -5                 | 41   |
| 多年生作物               |       |      |    |       |                     |                    |      |
| 紫花苜蓿                | -161  | 0    | 80 | 8     | 59                  | -6                 | -20  |
| 白杨                  | -117  | 5    | 0  | 2     | 10                  | -5                 | -105 |
| 演替群落(未管理的生态系        |       |      |    |       |                     |                    |      |

| 生态系统类型(按管理强度从强到弱排列) | 土壤碳变化 | 燃料使用 | 氮肥 | 碳酸盐输入 | N <sub>2</sub> O 通量 | CH <sub>4</sub> 通量 | 净效应  |
|---------------------|-------|------|----|-------|---------------------|--------------------|------|
| 统)                  |       |      |    |       |                     |                    |      |
| 撂荒地初生演替群落           | -220  | 0    | 0  | 0     | 15                  | -6                 | -211 |
| 撂荒地中生演替群落           | -32   | 0    | 0  | 0     | 16                  | -15                | -31  |
| 森林晚生演替群落            | 0     | 0    | 0  | 0     | 21                  | -25                | -4   |

研究发现:免耕的土壤碳积累(accumulated soil C)大大减少全球变暖潜能值,但 N<sub>2</sub>O 全球变暖潜能值变化不大;有机农业本身有一些碳获得能少量减少全球变暖潜能值,同时减少了燃料和氮肥的使用;多年生作物能大量减缓土壤碳变化产生的全球变暖潜能值,豆科作物效应明显;原生演替能获得大量土壤碳从而减少全球变暖潜能值,随着演替的进行效果趋于平衡。甲烷在未管理的生态系统中氧化明显,从而减少了全球变暖潜能值 (Robertson et al. Science 2000)。

在这一生态系统中以下两个问题有重要意义:(Q4)服务价值的改变如何影响如市场、政策行为、农村人口变化趋势、资源可用性、个人和社区健康和福祉、对环境的态度和经济增长、财富和安全等人类成果;(Q5)社会结构、制度和经济因子如何影响人类关于生态学管理的决策。

在全球变暖中,不同农业生态系统类型扮演着不同的角色,意味着农业在温室气体排放方面所扮演的角色取决于所选择的管理方式(见图4)。

通过研究氮肥使用与农田 N<sub>2</sub>O 排放量的关系,综合考虑生态系统服务功能可以选择在不影响作物产量的前提下,减少氮肥使用,从而降低农业生产产生的 N<sub>2</sub>O 排放量的管理方式(McSwiney & Robertson, 2005. Global Change Biology)。

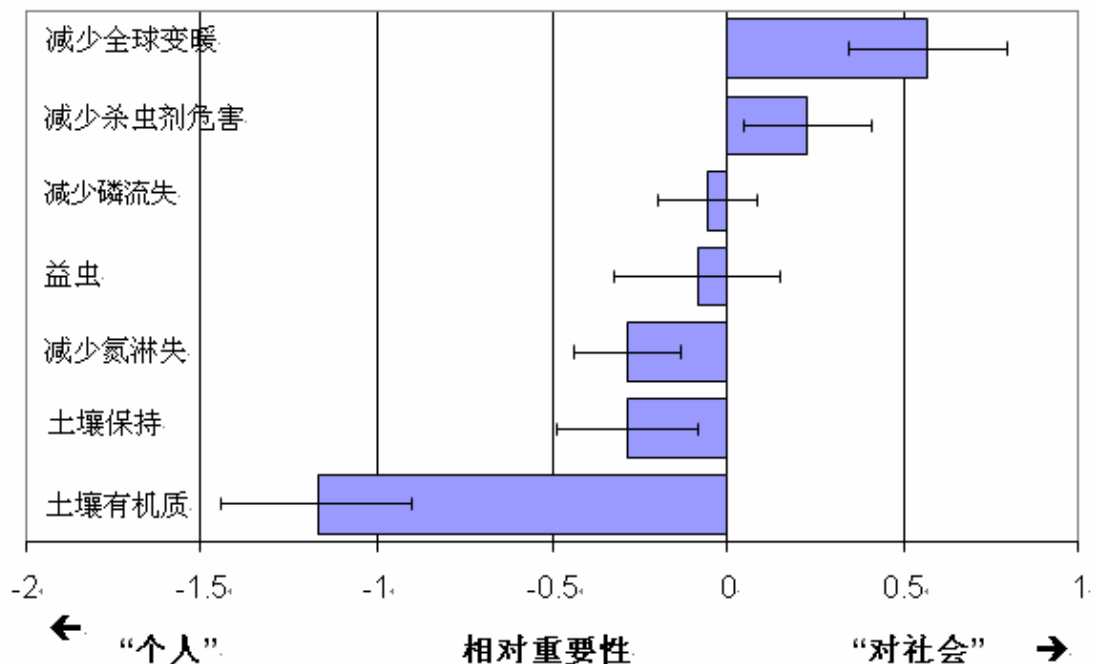


图4. 密歇根州农民对于农田生态系统服务的认识

说明：图中可以看出密歇根州农民对于特别是土壤有机质积累、土壤保持、减少氮流失和益虫之类直接、快速、可见的生态系统服务功能认识更重视。这一结论可以帮助在复杂的社会-生态系统中做出有效的管理决策。

总之，社会与环境综合科学（ISSE）动议是美国 LTER 发展的一个新方向，它开拓了解决现代重大环境问题的新思路，将包括多样的社会-生态科学，产生解决科学和计算机基础设施的工具帮助理解复杂环境问题，建立下一代所必须的教育项目。以增强科学家、教育工作者和社会公众对环境问题响应的能力，为长期生态研究提供新的发展机遇。

## 参考文献

- [1] 美国长期生态学研究网络的战略规划. 生态系统研究与管理简报. 2006 年第 5 期（总第 5 期）
- [2] 美国长期生态研究（US-LTER）计算机基础设施（CI）建设战略规划. 生态系统研究与管理简报. 2007 年第 1 期（总第 6 期）
- [3] 于秀波、付超. 美国长期生态学研究网络的战略规划—面向综合科学的未来. 地球科学进展. 2007. 22（10）:103-109

- [4] Robertson. Abatement of Nitrous Oxide, Methane, and Other Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: The Need for a Systems Approach. Global Carbon Cycle. 2005. Island Press
- [5] Robertson et al. Greenhouse Gases in Intensive Agriculture Contributions of Individual Gases to the Radiative Forcing of Atmosphere. 2000. Science. 289:1922
- [6] [McSwiney & Robertson. Nonlinear response of N<sub>2</sub>O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize cropping system. 2005. Global Change Biology. 2005. 11, 1712–1719
- [7] US-LTER, 2007. Integrative Science for Society and Environment: A Strategic Research Plan. Developed by the Research Initiatives Subcommittee of the LTER Planning Process Conference Committee and the Cyberinfrastructure Core Team

报告整理：王玉玉

报告审阅：于秀波

责任编辑：于秀波

# 生态系统研究与管理简报

立足科学 服务决策 促进人与自然和谐发展

(2007 年目录)

- 1 月 15 日 第 1 期 美国长期生态研究 (LTER) 计算机基础设施 (CI) 建设战略规划  
中国生态系统研究网络综合研究中心
- 2 月 1 日 第 2 期 CERN 在地球系统科学中的作用与发展思路  
傅伯杰 (中国科学院)
- 3 月 20 日 第 3 期 美国土地休耕计划  
中国生态系统研究网络综合研究中心
- 4 月 15 日 第 4 期 澳大利亚自然遗产信托基金  
中国生态系统研究网络综合研究中心
- 9 月 10 日 第 5 期 中国流域综合管理战略研究  
流域综合管理核心专家组
- 10 月 20 日 第 6 期 国际长期生态学研讨会的总结及其对 CERN 发展的启示  
赵士洞、于贵瑞、于秀波 (中国生态系统研究网络)
- 11 月 16 日 第 7 期 美国长期生态研究的新方向  
G. Philip Robertson (美国长期生态学研究网络主席、密歇根州立大学教授)

关注中国生态系统监测、研究、评估、管理与政策进展

主办单位:

国家生态系统观测研究网络综合研究中心

中国生态系统研究网络综合研究中心

中国生态系统研究网络科学委员会秘书处

中科院生态网络观测与模拟重点实验室

编辑部:

于贵瑞、欧阳竹、于秀波 (常务)

通信地址: 北京市朝阳区大屯路甲 11 号

中科院地理科学与资源研究所

CERN 综合研究中心

邮政编码: 100101

传 真: 010 - 6486 8962

电子邮件: cef@cern.ac.cn

网 页: <http://www.cern.ac.cn>