

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 16 期 Vol.32 No.16 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第32卷第16期 2012年8月 (半月刊)

目次

基于生物多样性保护的兴安落叶松与白桦最佳混交比例——以阿尔山林区为例.....	李菁, 骆有庆, 石娟 (4943)
中国能源消费碳排放的时空特征	舒娱琴 (4950)
黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因子	姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河 (4961)
新疆艾比湖流域土壤有机质的空间分布特征及其影响因素	王合玲, 张辉国, 秦璐, 等 (4969)
雅鲁藏布江山南宽谷风沙化土地土壤养分和粒度特征	李海东, 沈渭寿, 邹长新, 等 (4981)
一株溶藻细菌对海洋原甲藻的溶藻效应	史荣君, 黄洪辉, 齐占会, 等 (4993)
种形态对黑藻和竹叶眼子菜有机酸含量的影响	钟正燕, 王宏镔, 王海娟, 等 (5002)
七项河流附着硅藻指数在东江的适用性评估	邓培雁, 雷远达, 刘威, 等 (5014)
杭州湾滨海湿地不同植被类型沉积物磷形态变化特征	梁威, 邵学新, 吴明, 等 (5025)
剪形臂尾轮虫形态的时空变化及其与生态因子间的关系	葛雅丽, 席貽龙, 马杰, 等 (5034)
太湖流域河流水质状况对景观背景的响应	周文, 刘茂松, 徐驰, 等 (5043)
荒漠植物白刺属4个物种的生殖分配比较	李清河, 辛智鸣, 高婷婷, 等 (5054)
臭氧浓度升高对香樟叶片光合色素及抗过氧化的影响及其氮素响应	牛俊峰, 张巍巍, 李丽, 等 (5062)
不同密度下凤仙花重要形态性状与花朵数的关系	田旭平, 常洁, 李娟娟, 等 (5071)
五种高速公路边坡绿化植物的生理特性及抗旱性综合评价	谭雪红, 高艳鹏, 郭小平, 等 (5076)
散孔材与环孔材树种枝干、叶水力学特性的比较研究	左力翔, 李俊辉, 李秧秧, 等 (5087)
北京城区行道树国槐叶面尘分布及重金属污染特征	戴斯迪, 马克明, 宝乐 (5095)
南亚热带米老排人工林碳贮量及其分配特征	刘恩, 刘世荣 (5103)
植物生活史型定量划分及其权重配置方法——以四棱豆生活史型划分为例	赵则海 (5110)
半干旱区湿地-干草原交错带边界判定及其变化	王晓, 张克斌, 杨晓晖, 等 (5121)
氮肥运筹对晚播冬小麦氮素和干物质积累与转运的影响	吴光磊, 郭立月, 崔正勇, 等 (5128)
氮肥形态对冬小麦根际土壤氮素生理群活性及无机氮含量的影响	熊淑萍, 车芳芳, 马新明, 等 (5138)
基于数字相机的冬小麦物候和碳交换监测	周磊, 何洪林, 孙晓敏, 等 (5146)
黄土高原半湿润区气候变化对冬小麦生长发育及产量的影响	姚玉璧, 王润元, 杨金虎, 等 (5154)
基于土地破坏的矿区生态风险评价: 理论与方法	常青, 邱瑶, 谢苗苗, 等 (5164)
基于生态位的山地农村居民点适宜度评价	秦天天, 齐伟, 李云强, 等 (5175)
氯虫苯甲酰胺对黑肩绿盲蝽实验种群的影响	杨洪, 王召, 金道超 (5184)
6种植物次生物质对斜纹夜蛾解毒酶活性的影响	王瑞龙, 孙玉林, 梁笑婷, 等 (5191)
云南元江芒果园桔小实蝇成虫日活动规律及空间分布格局	叶文丰, 李林, 孙来亮, 等 (5199)
重庆市蝴蝶多样性环境健康指示作用和环境监测评价体系构建	邓合黎, 马琦, 李爱民 (5208)
专论与综述	
生态系统服务竞争与协同研究进展	李鹏, 姜鲁光, 封志明, 等 (5219)
中国沿海无柄蔓足类研究进展	严涛, 黎祖福, 胡煜峰, 等 (5230)
冰雪灾害对森林的影响	郭淑红, 薛立 (5242)
不同干扰因素对森林和湿地温室气体通量影响的研究进展	杨平, 仝川 (5254)
采石场废弃地的生态重建研究进展	杨振意, 薛立, 许建新 (5264)
研究简报	
基于地统计学和CFI样地的浙江省森林碳空间分布研究	张峰, 杜群, 葛宏立, 等 (5275)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-08



封面图说: 秋色藏野驴群——秋天已经降临在海拔4200多米的黄河源区, 红色的西伯利亚蓼(生于盐碱荒地或砂质含盐碱土壤)铺满大地, 间有的高原苔草也泛出了金黄, 行走在上面的藏野驴们顾不上欣赏这美丽的秋色, 只是抓紧时间, 在严冬到来之前取食, 添肥增膘以求渡过青藏高原即将到来的漫长冬天。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 16 August, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

The optimum mixture ratio of larch and birch in terms of biodiversity conservation; a case study in Aershan forest area	LI Jing, LUO Youqing, SHI Juan (4943)
Spatiotemporal characteristics of carbon emissions from energy consumption in China	SHU Yuqin (4950)
Spatial patterns of soil moisture at transect scale in the Loess Plateau of China	YAO Xueling, FU Bojie, LÜ Yihe (4961)
The characteristics of the spatial distribution of soil organic matter and factors influencing it in Ebinur Lake Basin of Xinjiang Autonomous Region, China	WANG Heling, ZHANG Huiguo, QIN Lu, et al (4969)
Soil nutrients content and grain size fraction of aeolian sandy land in the Shannan Wide Valley of the Yarlung Zangbo River, China	LI Haidong, SHEN Weishou, ZOU Changxin, et al (4981)
Algicidal activity against <i>Proocentrum micans</i> by a marine bacterium isolated from a HABs area, South China	SHI Rongjun, HUANG Honghui, QI Zhanhui, et al (4993)
Effects of arsenic speciations on contents of main organic acids in <i>Hydrilla verticillata</i> and <i>Potamogeton malaianus</i>	ZHONG Zhengyan, WANG Hongbin, WANG Haijuan, et al (5002)
Exploration of benthic diatom indices to evaluate water quality in rivers in the Dongjiang basin	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (5014)
Phosphorus fraction in the sediments from different vegetation type in Hangzhou bay coastal wetlands	LIANG Wei, SHAO Xuexin, WU Ming, et al (5025)
Spatio-temporal variation of morphometric characteristics of <i>Brachionus forficula</i> in relation to ecological factors	GE Yali, XI Yilong, MA Jie, et al (5034)
Response of river water quality to background characteristics of landscapes in Taihu Lake basin	ZHOU Wen, LIU Maosong, XU Chi, et al (5043)
Reproductive allocation in four desert species of the genus <i>Nitraria</i> L.	LI Qinghe, XIN Zhiming, GAO Tingting, et al (5054)
Effects of elevated ozone on foliar chlorophyll content and antioxidant capacity in leaves of <i>Cinnamomum camphora</i> under enhanced nitrogen loads	NIU Junfeng, ZHANG Weiwei, LI Li, et al (5062)
Correlation analysis between floret numbers and important traits of <i>Impatiens balsamina</i> under different planting density	TIAN Xuping, CHANG Jie, LI Juanjuan, et al (5071)
Physiological characteristics and comprehensive evaluation of drought resistance in five plants used for roadside ecological restoration	TAN Xuehong, GAO Yanpeng, GUO Xiaoping, et al (5076)
Comparison of hydraulic traits in branches and leaves of diffuse- and ring-porous species	ZUO Lixiang, LI Junhui, LI Yangyang, et al (5087)
Distribution and heavy metal character of foliar dust on roadside tree <i>Sophora japonica</i> of urban area in Beijing	DAI Sidi, MA Keming, BAO Le (5095)
The research of carbon storage and distribution feature of the <i>Mytilaria laosensis</i> plantation in south sub-tropical area	LIU En, LIU Shirong (5103)
The novel methods of quantitative classification of plant life cycle forms and weight collocation; taking classification of life cycle forms of <i>Psophocarpus tetragonolobus</i> as an example	ZHAO Zehai (5110)
Research on boundary definition and changes of wetland-dry grassland ...	WANG Xiao, ZHANG Kebin, YANG Xiaohui, et al (5121)
Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat	WU Guanglei, GUO Liyue, CUI Zhengyong, et al (5128)
Effects of nitrogen form on the activity of nitrogen bacteria group and inorganic nitrogen in rhizosphere soil of winter wheat	XIONG Shuping, CHE Fangfang, MA Xinming, et al (5138)
Using digital repeat photography to model winter wheat phenology and photosynthetic CO ₂ uptake	ZHOU Lei, HE Honglin, SUN Xiaomin, et al (5146)
Impacts of climate change on growth and yield of winter wheat in the semi-humid region of the Loess Plateau	YAO Yubi, WANG Runyuan, YANG Jinhu, et al (5154)
Theory and method of ecological risk assessment for mining areas based on the land destruction	CHANG Qing, QIU Yao, XIE Miaomiao, et al (5164)
Suitability evaluation of rural residential land based on niche theory in mountainous area	QIN Tiantian, QI Wei, LI Yunqiang, et al (5175)
Effects of chlorantraniliprole on experimental populations of <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> (Reuter) (Hemiptera: Miridae)	YANG Hong, WANG Zhao, JIN Daochao (5184)
Effects of six plant secondary metabolites on activities of detoxification enzymes in <i>Spodoptera litura</i>	WANG Ruilong, SUN Yulin, LIANG Xiaoting, et al (5191)
Daily activity and spatial distribution pattern of the oriental fruit fly, <i>Bactrocera dorsalis</i> (Diptera: Tephritidae) in mango orchard, Yuanjiang, Yunnan	YE Wenfeng, LI Lin, SUN Lailiang, et al (5199)
The establishment of the indication on environmental health of butterfly and of the environmental monitoring evaluation system in Chongqing	DENG Heli, MA Qi, LI Aimin (5208)
Review and Monograph	
Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services; an overview	LI Peng, JIANG Luguang, FENG Zhiming, et al (5219)
A review on the balanomorph barnacles in the coastal waters of China	YAN Tao, LI Zufu, HU Yufeng, et al (5230)
Effects of ice-snow damage on forests	GUO Shuhong, XUE Li (5242)
Greenhouse gas flux from forests and wetlands; a review of the effects of disturbance	YANG Ping, TONG Chuan (5254)
Advances in ecology restoration of abandoned quarries	YANG Zhenyi, XUE Li, XU Jianxin (5264)
Scientific Note	
Spatial distribution of forest carbon in Zhejiang Province with geostatistics based on CFI sample plots	ZHANG Feng, DU Qun, GE Hongli, et al (5275)

DOI: 10.5846/stxb201109161360

李鹏,姜鲁光,封志明,于秀波. 生态系统服务竞争与协同研究进展. 生态学报, 2012, 32(16): 5219-5229.

Li P, Jiang L G, Feng Z M, Yu X B. Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services: an overview. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(16): 5219-5229.

生态系统服务竞争与协同研究进展

李 鹏^{1, 2}, 姜鲁光^{1, *}, 封志明¹, 于秀波¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 生态系统服务作为生态系统评估的核心领域, 是生态学的研究热点。生态系统提供服务的形式与能力受人类活动强烈影响, 反之, 生态系统服务的变化又影响着人类相关决策的制定。不同生态系统服务之间很难甚至不可能同时达到利益最大化, 即存在着不同程度此消彼长的竞争关系。此外, 不同生态系统服务之间也可能形成相互促进或抑制的协同作用。探讨不同生态系统服务的相互关系(竞争与协同作用), 有利于揭示不同尺度利益相关方与生态系统服务之间的作用与反馈机制, 避免生态系统服务的重复估算; 同时可为制定与实施生态补偿、提高人类福祉提供科学依据, 优化生态系统服务管理。综合研究了近期国外生态系统服务竞争关系与协同作用的相关文献, 在简述当前生态系统服务研究若干问题的基础上, 以生态系统服务竞争与协同为视角, 厘清了生态系统服务竞争与协同的基本内涵, 总结了生态系统服务竞争与协同的主要类型, 探讨了生态系统服务竞争与协同的空间与时间尺度效应; 介绍并总结了生态系统服务竞争与协同两种主要研究方法(生态-经济综合模型方法、基于土地利用的情景分析法)的特点与适应范围。

关键词: 生态系统服务; 竞争; 协同; 利益相关方; 空间尺度; 时间尺度

Research progress on trade-offs and synergies of ecosystem services: an overview

LI Peng^{1, 2}, JIANG Luguang^{1, *}, FENG Zhiming¹, YU Xiubo¹

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Being the core of ecosystem assessment, studies on ecosystem services have been becoming a focus in the field of ecology. The formation and provisioning capacity of ecosystem services are tremendously affected by human activities. Conversely, the magnitudes of ecosystem service changes also influence the preferences of human being's daily decision-making. Investigation into the dynamics of the trade-offs and synergistic relationships of regional ecosystem services will shed light on interactions and feedbacks between ecosystem services and the stakeholders at different spatial and temporal scales, and avoid double-counting issue in ecosystem services assessment. In addition, information and progress on trade-offs and synergies in the delivery of ecosystem services will provide scientific basis for designing and implementing eco-compensation schemes and optimize the management behavior of ecosystem services, and finally improve human well-being associated with trade-offs and synergies among different ecosystem services.

It is revealed from this review that in the last decades, the valuation of ecosystem services has been received lots of attentions in the decision-making and scientific research communities. However, the double-counting issue during the valuation process usually leads to insufficient or biased guidance in the management of ecosystem services. Since ecosystem service is benefit that human receives from the natural ecosystems, the stakeholders' demand for ecosystem services from different spatial and temporal scales often causes competitions and conflicts among ecosystem's various goods and services.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2009CB421106); 国家自然科学基金资助项目(40901285)

收稿日期: 2011-09-16; **修订日期:** 2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jianglg@igsnrr.ac.cn

The interactions between human being and ecosystem services often give rise to trade-offs and synergies which in turn directly affect human welfare.

With regard to the terminologies, trade-offs between ecosystem services refers to the enhancement of one ecosystem service locally in a short term is at the cost of other ecosystem services locally or at a large spatial scale (e. g. , globally) in the future. It can be simplified as the “win-lose” mode. The term synergies means the synchronous changes between two or among many different ecosystem services, including the “win-win” mode and the “lose-lose” mode. The trade-offs and synergistic relationships exist not only within different categories of provisioning services, but also among different ecosystem services and like provision services, regulation services, cultural services, and supporting services. Findings from about 12 literatures has shown specific examples of such kind of trade-offs and synergistic relations, for instance, among provisioning services, between regulating services and cultural services, between provisioning services and supporting services, among regulating services, and between provisioning services and regulating services. The spatial scale of trade-offs and synergies contain various scales, for instance, from ecological scale to institutional scale. The temporal scale could be short-term to long-term based.

This paper indicates that so far, trade-offs and synergies analysis of ecosystem services is still at its early stage. However, we identified and summarized two research approaches which have already been commonly used for the analysis of ecosystem services' trade-offs: (1) the Integrated Ecological-Economic Model; it is a traditional approach which is often used to quantify trade-offs. The Model consists of several ecological and economic models. The ecological models are mostly used to analyze the magnitudes of the changes of ecosystem services, while the economic models to evaluate the impacts of the change on human welfare. Since land use and land cover change serves as a direct driving factor of the ecosystem services' trade-offs and synergies, it will become even more extensive due to intensification of interactions between the two in the future. (2) Scenarios Analysis based on Landuse is attracting more and more attention in scientific literature. Remote sensing data and management policies of ecosystem services provide strong data basis for the scenarios formulation and analysis. It could provide more objective and spatially-explicit information on the trade-offs and synergies for optimizing ecosystem services management.

Key Words: ecosystem services; trade-offs; synergies; stakeholders; spatial scale; temporal scale

生态系统服务是指自然与半自然生态系统为满足人类生存与发展,直接或间接提供的所有商品与服务的总称^[1-5]。由联合国实施的千年生态系统评估为在全球范围内提高生态系统管理水平和改善生态系统服务状况提供了科学依据^[3,6-7]。

生态系统提供的各项服务种类与数量极其庞大^[1-3]。随着全球人口总量持续增加、世界城市化与工业化进程日益推进,人类对生态系统服务的需求量也是十分惊人,且需求量仍在逐渐攀升^[7-10]。在现有生态系统服务评估研究文献中,通常会列举并强调生态系统提供的所有服务,然后以货币的形式评估其相应的价值。这种静态评估一方面容易引起重复计算^[1,11];另一方面,相关评估结果在实际生态系统管理中指导作用不甚明显^[6]。此外,生态系统服务的供给与人类的需求在不同时空尺度上具有高度的变异性^[12-14]。试图从自然对人类提供庞大利益的笼统描述,转向生态系统服务价值定量且可信评估还存在很大困难^[15-19]。究其原因,主要在于自然或半自然生态系统自身的复杂性^[20-21]、人类对生态系统服务各方面的认识还不够充分^[12,22],特别是对生态系统服务研究的关键问题,即生态系统服务之间的相互关系与反馈机制研究薄弱^[13,23-26],其中尤以生态系统服务互竞与协同作用为甚。

由于生态系统服务概念的提出是以人类利用为中心^[25,27-28],其供给与需求往往受到人类行为与管理决策的支配与干扰。在特定时空尺度下,不同生态系统服务之间很难甚至不可能同时达到利益最大化,即存在着不同程度此消彼长的竞争关系^[3,14,29]。此外,也可能形成相互促进或抑制的协同作用^[26,29]。相对于协同作用

而言,竞争作用对人类福祉的影响最为直接与明显^[8]。正确认识生态系统服务之间的竞争与协同作用,有利于合理准确评估区域生态系统服务^[17]和科学制定与实施生态补偿方案^[30-31],优化生态系统服务管理政策^[18],实现满足不同利益相关方效益最大化。目前,生态系统服务竞争与协同作用已引起学界与决策部门的高度关注^[24,26]。生态系统服务竞争关系与协同作用将成为生态系统服务评估的一个新的研究方向^[32]。

1 生态系统服务竞争与协同作用的内涵与类型

1.1 竞争关系与协同作用的内涵

地球生态系统受人类的影响广泛而深刻^[10,33]。生态系统服务概念的提出是以人类利用为中心,不同生态系统所提供服务的类型、数量与相互关系普遍受到人类社会相应政策的影响^[34]。当前人类对生态系统服务的需求已超出生态系统的供给水平,随着人口不断增加以及工业化和城市化的日益推进,在未来这种需求还会持续攀升^[3,10]。从经济学角度看,资源稀缺性是引发利益冲突的主要原因。在生态学中也存在类似的相互竞争关系^[35]。竞争与协同作用构成了生态系统服务相互关系中最重要的一部分(图1)。具体说来,生态系统服务的竞争是指,在一定时空尺度内,当一种生态系统服务供给水平的增强,是以降低其自身生态系统的恢复力与其他生态系统服务的供给功能为代价^[7-8,26,29,33,35],即此消彼长,可以用 win-lose 表示。

协同作用是指生态系统受外部因素干扰下,两种或多种生态系统服务同时增强(win-win)或减弱(lose-lose)的情形^[26,29]。从生态系统服务与人类福祉角度看,协同作用(win-win)即实现生态系统服务利益最大化是人类活动的最终目标。

生态系统服务的竞争与协同作用与不同尺度(时间与空间)的利益相关方的需求有关。在分析生态系统相互关系时必须明确相应的利益相关方。几乎所有生态系统服务的决策都涉及到利益权衡^[29],因而生态系统服务之间的相互竞争作用在全球具有普遍性,在不同区域内又表现出明显的差异性。以粮食供给服务与洪水调蓄服务为例,世界上农业生产主要集中在地势较低的平原地区,同时也是受洪水频繁侵扰的区域。但是种植制度、防洪工程措施等因素又造成了二者相互作用的地域差异性。

生态系统服务竞争与协同关系有时可能是某一明确决策的产物,但有时不经意间甚至尚未觉察到就已经产生了^[29]。理解生态、经济与社会目标之间的得失权衡对于制定生态系统政策,管理或恢复生态系统很重要^[24,36]。对生态系统服务之间的关系与相互作用全然不知^[15,26,37]、错误或片面的认识^[38]以及生态系统服务的市场价值不明确^[29]等都可能导致竞争与协同的发生,结果给生态系统管理造成负面的影响。生态系统服务竞争关系与协同作用常常处于动态变化之中,如集体林地的大小、地方自治程度及归属权三因素共同决定了亚非拉部分国家碳汇与生计效益之间竞争与协同关系^[39]。生态系统服务与生物多样性之间的权衡与协同作用构成了生态保护的主要难题^[40]。

1.2 竞争关系与协同作用的类型

由于生态系统服务分类体系多样,本文以千年生态系统服务分类体系为例比较生态系统服务的竞争与协同作用的主要类型。该分类体系将生态系统服务划分为供给服务、调节服务、支持服务与文化服务^[3],是目前学界广泛接受的一种分类体系。这4种服务彼此相关^[41-42],又表现出复杂、动态、非线性的变化关系^[26,29,43]。

根据马斯洛需求层次理论,人类社会对生态系统服务的偏好程度表现为优先关注供给服务,然后分别是调节服务、文化服务与支持服务^[8,34,44-46]。相应的,人类在制定新的政策时又遵循这种偏好,进一步加剧了生

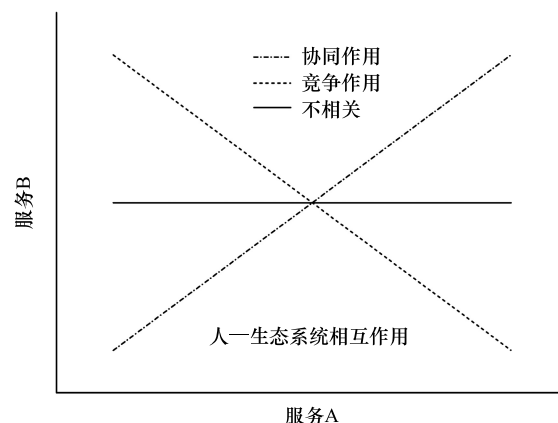


图1 不同生态系统服务相互作用示意图

Fig. 1 The trade-offs and synergies of ecosystem services are shown schematically

态系统服务之间的冲突关系,部分支持与文化功能常常被忽略^[29,47]。生态系统服务的相互竞争类型主要有以下两种^[45]:第一种是不同供给服务之间的相互竞争,主要表现在农业初级生产、淡水、渔业、林业、生物质能源与药物等方面。如农业灌溉与水产养殖^[48-50]、林产品生产与水产养殖^[51]、流域上下游用水^[52];第二种是供给服务与调节服务、支持服务和生物多样性等之间的竞争作用^[7,40,53]。这是生态系统不同服务之间主要也是最为普遍的竞争现象,其中最为明显的是农业、渔业生产与其他服务之间的竞争与权衡^[15,33,54-55]。农业是全球环境变化的主要驱动因子^[8],农业生态系统为人类生存提供必备的供给服务(食物、生物能源与药材等)^[55]。如粮食生产与防洪^[7,28]、粮食安全与环境污染(富营养化)^[10,56]、农业用地扩张与栖息地、生物多样性^[57]、渔业生产与热带海洋生态系统生态保护^[36]、木材生产与碳汇及作物授粉^[58]等等。对比而言,协同作用在四种生态系统服务中均有表现,但以调节服务、支持服务与文化服务之间的相互增强较为常见。表1举例说明了几种常见的生态系统服务竞争与协同作用。

表 1 几种生态系统服务之间竞争或协同作用的案例
Table 1 Examples of the trade-offs and synergies of ecosystem services

	服务 A Ecosystem services A	服务 B Ecosystem services B	竞争或协同 Trade-off or synergy	参考文献 References
供给服务之间	农业灌溉	渔业养殖	竞争	[50]
Among provisioning services	林木生产	渔业养殖	竞争	[51]
供给服务与调节服务	粮食生产	洪水调蓄	竞争	[28]
Between provisioning services	粮食、纤维生产	水质调节	竞争	[15,59-60]
and regulating services	粮食生产	固碳释氧、水源涵养、土壤保持	竞争	[61]
	淡水供给	固碳	竞争	[62]
	薪材生产	固碳	竞争、协同	[39]
供给服务与支持服务	农业生产	泥沙淤积	竞争、协同	[34]
Between provisioning services and supporting services				
调节服务之间	土壤保持	水源涵养	协同	[61]
Among regulating services				
调节服务与文化服务	(海岸带)水质调节	景观娱乐	协同	[59]
Between regulating services and cultural services				

2 生态系统服务互竞与协同的尺度效应

尺度是指对某一研究对象或现象在空间上或时间上的物理量度,分别称为空间尺度与时间尺度^[63-64]。生态系统服务的形成与供给发生在不同的时空尺度上^[29,46],对不同行政尺度的利益相关方而言,其利用与价值程度相差迥异^[3,14,65-66]。生态系统服务竞争与协同不仅发生在同种或不同种服务之间,而且也具有明显的时空尺度特征^[29,47]。生态系统服务权衡关系可以从3个方向来分析:空间尺度(局地与大尺度)、时间尺度(短期与长期)与可逆性(可逆与不可逆)^[29,67]。然而,将时间与空间尺度分别划成两种类型是无法满足研究与应用需求。生态系统服务之间权衡关系发生在不同等级的时空尺度上,从微观到宏观、从个体到全球、从瞬时到上百年。明晰不同时空尺度上各种生态系统服务之间的权衡与协同作用^[7],有助于合理制定生态系统管理政策^[68],促进生态系统更好的为人类社会提供服务^[18]。

2.1 空间尺度

生态系统服务的空间尺度包括生态尺度与行政尺度^[12,14]。生态尺度属于生物学概念,是指不同生态系统服务形成与供给的空间尺度,一般包括植物个体、样地、生态系统、景观、生物群系到全球等不同等级空间尺度^[14];行政尺度属于社会学概念,是指不同生态系统服务相关受益群体涉及的空间尺度,通常包括个体、家庭、市县、省(州)、国家与国际等等不同等级空间尺度^[14]。生态系统结构与过程的地域差异性决定了生态系统服务的空间异质性,不同生态尺度具有不同等级的生态系统^[69]。同样,不同行政尺度的利益相关方对生态

系统服务需求的种类与数量不同,进而选择相应的生态系统服务管理策略,必然加剧生态系统服务之间竞争作用^[29,68]。在评估生态系统服务时,界定生态系统服务供应方与受益方的空间尺度至关重要^[14]。

自然界不同生态系统提供的商品与服务往往与不同空间尺度内的人群需求不对称。人工生态系统如农田生态系统,通过多种生态管理措施(改进品种、加大化肥及农药的使用量、围垦复种)追求高产优质粮食,造成了系统内生物多样性下降(如青蛙与泥鳅少了)与温室气体(甲烷等)排放量增加。粮食生产及供应主要服务于区域尺度,而生物多样性与温室气体排放问题则涉及到全球尺度。从生态系统服务竞争与协同角度分析,粮食生产与生物多样性和温室气体之间形成竞争关系,而后两者之间则为协同作用。对比人工生态系统(如农田、草场)而言,自然生态系统(如湿地、森林)提供的各项服务作为公共物品表现出的空间差异性更为突出。不同生态系统服务的竞争关系与协同作用更为复杂。以荷兰 De Wieden 自然保护区为例,在市县尺度上,仅对芦苇与渔业资源的供给特别重视;在省市尺度上,湿地的娱乐消遣功能是其最为关心的;在国家与国际尺度上,前两种服务可以忽略,而特别注重湿地生物多样性与自然保护的功能^[14]。又以鄱阳湖为例,滨湖区围垦为当地(县市)提供了丰富的食物(粮食、水产品);而作为长江中游最大的洪水调蓄湖泊,其防洪功能的受益方则是长江中下游平原地区(区域省际尺度);作为国际重要湿地,为全球数十万只珍稀候鸟提供了优质的活动场所,其文化服务(观鸟、科教)更是涉及到不同空间尺度的群体。以森林生态系统为例,全球与局地的利益相关方对其所需服务各有侧重,前者强调碳汇,即支持与调节服务,而后者往往看重一些初级产品,即供给服务^[39,62]。因此,在制定生态系统管理政策时,应该综合考虑不同利益诉求方的实际需求,实现生态系统服务效益最大化。

由于不同生态系统服务的供给与需求在空间不一致,生态系统服务的空间转移必然引起了不同行政尺度利益相关方之间对服务的竞争与权衡^[40]。如流域上下游之间对水源灌溉、水产养殖、水源净化等之间的竞争权衡^[50,70],不同区域相继拦截河道,结果降低了汛期洪水调蓄能力和破坏了生物多样性,即引起了不同生态系统服务同时减弱的协同作用。总之,空间上生态系统服务的竞争与协同广为存在^[44]。生态系统服务的空间格局分析有助于了解景观尺度上的生态系统服务是如何分布,不同服务空间分布如何对比分析,生态系统服务的权衡与协同作用可能在哪里发生^[71]。

2.2 时间尺度

生态系统服务在时间尺度上具有动态变化性^[72],某种生态系统服务的当前与未来利用之间可能存在竞争与权衡^[47]。从生态系统服务的供应方看,各种商品与服务涉及流量与存量差异,时间尺度包括瞬时、天、月、季度与年际等;从利益相关方角度看,生态系统服务的时间尺度主要涉及代际差异,即近期与长远的相互影响。当前生态系统服务定量评估主要以静态分析为主,忽视了生态系统动态特征^[73],对生态系统服务之间的反馈作用分析不够^[74]。

时间尺度上每一种生态系统服务竞争权衡的主要特征:不同空间尺度社会群体的短期需求催生了相应的生态系统服务管理决策,有意或无意间忽视了这些行动酿成的未来后果^[29]。这是因为生态系统服务竞争与协同不仅影响到当前生态系统服务的供给水平,还影响到未来生态系统服务供给的能力^[53]。这种影响可能由于诸多外部不明确性因素而表现更为强烈^[29]。生态系统服务竞争与或协同作用使得供给服务往往是即时形成的,而对调节服务、支持服务、文化服务及生物多样性的反馈作用往往具有滞后效应^[75]。从某种程度上说,不同生态系统服务在相关决策干扰下的反馈能力差异进一步降低了对竞争和协同的重视程度。如农业生产、渔业养殖等因素造成湿地面积逐年减少,造成防洪、净化水与空气、保护生物多样性与野生动物栖息地等湿地生态系统重要的服务功能下降甚至消失;与此同时,一系列法规与恢复工程的实施,确实增加了相应的湿地面积,但是这些湿地的生态系统服务功能单一^[28,76]。半个世纪以来,长江上游植被破坏、森林面积减少导致水土流失与泥沙淤积严重,中游围湖开垦导致湖体蓄洪与泄洪能力下降,是酿成 1998 年长江大洪灾的主要原因之一^[77-79]。类似的,美国密西西比三角洲平原堤坝修筑与河网化在降低自然洪灾与保护耕地同时,扰动了自然水文过程,导致天然湿地减少,结果在极端天气影响下造成更大破坏^[80]。因此,时间尺度上的生态系

统服务权衡具有不对称性与代际不公平性,当前采取的行动将会导致未来大量生态系统服务的损失^[23]。从生态系统服务竞争与协同角度分析,当代与子孙后代之间对生态系统服务代际需求竞争特别明显,工业化与城市化在带来经济繁荣的同时,也对地球上不同生态系统生物多样性巨大丧失^[7]。

总之,不同尺度内的利益相关方与生态系统的相互作用是引起生态系统服务竞争关系与协同作用的决定性因素。因而,应该尽可能考虑不同行政尺度上的利益相关方对生态系统服务之间的需求^[81]。试图维持或增加一种生态系统服务(如食物)的供给水平,必然造成空间上不同区域其他生态系统服务的大量减少^[15]。生态系统服务的竞争具有放大效应,即这种此消彼长的影响还会在大尺度空间上表现出来,而且可能持续很长时间,部分生态系统服务变化可能是不可逆的^[29]。随着时空尺度发生变化,生态系统服务之间相应的竞争与协同的不确定性也将增大,从而加剧生态系统管理的难度^[29,55]。

3 生态系统服务互竞关系的研究方法

生态系统服务竞争与协同作用主要是由人类-生态系统相互作用下制定的管理决策引起的^[29]。当前关于生态系统服务竞争关系探讨以定性分析较多,侧重生态系统服务竞争与协同关系的辨识^[7,29,68,82],如在景观尺度上,生态系统的供给服务与几乎所有的调节服务与文化服务存在此消彼长的竞争关系^[68]。Chan 等运用空间直观显示的保护规划框架探讨了美国加州中部海岸生态区生物多样性保护目标与 6 种生态系统服务(碳汇、防洪、牧草生产、户外游憩、作物授粉与淡水供应)之间的竞争关系^[73]。对比而言,定量研究尚处起步阶段,亟待加强^[25,72,83]。Lautenbach 等比较分析了生态系统服务竞争作用的 3 种研究方法:地图对比法、情景分析法及基于优化景观权衡分析法,并指出空间对比与情景分析是目前研究生态系统服务之间竞争权衡的有效方法^[25]。

土地利用变化是生态系统服务变化的主要驱动因素之一^[8,84],地图对比法的提出是基于土地利用变化;而情景分析法普遍是基于相关生态系统管理政策下的土地利用情景展开分析的。鉴于此,本文将地图对比法与情景分析法合称为基于土地利用的情景模拟法。根据已有文献,从基于土地利用的情景模拟法与生态-经济模型法对生态系统服务互竞关系的研究方法进行综述。

3.1 生态-经济综合模型方法

生态-经济综合模型是由若干生态模型与社会经济评价模型组合的模型总称,已广泛应用于自然资源与生态系统管理服务互竞定量研究^[85-86]。生态模型旨在揭示受人类活动干扰下生态系统服务波动幅度、空间差异;而社会经济评价模型则是评估不同生态系统服务变化对人类福祉的影响^[86]。Higgins 等基于生态-经济模型分析了外来植物入侵对南非高山硬叶灌木群落(Fynbos)生态系统服务的影响^[87]。Grasso 利用生态-经济模型(动态优化与模拟模型)分析了红树林生态系统中的渔业养殖与林木生产之间的相互竞争关系^[51]。Nalle 等利用生产可能性边界模型模拟分析了木材生产与物种保护之间的互竞关系^[88]。Schlüter 等运用最优控制与基于主体模型方法,分析了中亚半干旱地区灌溉与渔业养殖之间的互竞关系^[50]。Swallow 等利用线性回归分析和基本的描述性统计方法定量分析了生态系统服务之间的互竞权衡关系^[34]。Raudsepp-Hearne 等运用生态系统服务束方法定量分析了不同景观尺度上的多种生态系统服务之间的竞争与协同^[68]。Chisholm 通过建立生态-经济动态模型,探讨南非高山硬叶灌木群落种植辐射松(*Pinus radiata*)引起的森林固碳、木材生产与水资源供给之间的互竞作用^[62]。结果表明,在现有水资源税率与碳会计立法条件下,植树造林对林业是可行的;如果林业部门需要支付造林所需水资源成本将变成不可行。

3.2 基于土地利用的情景模拟法

情景是对未来不同发展模式一系列不确定性的描述^[40]。情景规划是合理制定与应用情景进行分析的过程,包括评估未来事件与趋势的假设,并弄清楚这些不确定性^[40]。当对未来不同事件发生概率缺乏足够信息时,情景规划是处理不确定性有效的方法^[40]。由于情景分析能够反映时空动态变化,因此可用来揭示不同时空尺度上生态系统服务的竞争作用^[67]。

土地利用变化直接影响生态系统服务变化的主要驱动因素之一,基于土地利用变化制定情景分析方法常

被用于生态系统服务相关研究。借助于 3S 技术可在空间直观反映不同生态系统服务的分布及价值变化^[34,89]。决策部门的生态管理规划、政策因素往往直接主导着土地利用变化,常用于情景模式的设定。基于土地利用变化的情景模拟法就是综合考虑土地利用与生态系统管理政策,通过制定不同变化情景反映生态系统服务之间互竞权衡的动态变化。但其在生态学研究与保护工作中常常受到忽视^[40,90]。千年生态系统评估中有大部分内容是围绕情景分析而展开的,该评估为在区域与局部尺度制定生态系统服务与人类福祉关系未来变化的情景提供了参考^[3]。通过设定 4 种不同情景进行模拟分析,表明 21 世纪不同生态系统服务之间此消彼长的关系日益加剧。在 2000—2050 年间,农业用地扩张将是现有草地、林地及其相应的基因资源、林木生产、栖息地等相关生态系统服务减少 10%—20% 的主要原因^[57]。

国内学者以中国 2000 年土地利用数据为基准,利用 CLUE 模型分别评估了“一切照常情景”、“规划情景”和“优化情景”3 种情景下森林、草地和湿地生态系统服务变化^[91]。Bulter 等以澳大利亚大堡礁为例,利用四种土地利用情景评估了未来水质调蓄服务与其他 10 种服务之间的互竞关系。结果表明,最直接的竞争关系发生在食物、纤维生产与水质调节之间;水质调节与渔业生产表现协同促进作用^[59]。2008 年来,由斯坦福大学等机构合作开展了自然资本项目,并提出了生态系统服务价值化和得失权衡综合评价方法(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs, InVEST)^[92]。该方法是一个基于 GIS 软件的功能扩展模块,它是依托目的是通过揭示局部与区域尺度不同土地利用情景下生态系统服务的空间分布、价值及其相互关系(如竞争与协同),更好服务于自然资源管理与生态系统保护^[43,92]。目前 InVEST 方法已在全球推广使用,用于多种生态系统服务的竞争模拟分析。Nelson 等以美国俄勒冈 Willamette 流域研究区,将 InVEST 方法应用到基于利益相关方的 3 种土地利用与覆被变化的情景分析中,预测了生态系统服务、生物多样性与商品产量层面的未来变化及其之间的权衡关系^[17,93]。但是目前该方法处于摸索阶段,对社会经济系统的影响分析不够,结果缺乏验证,因而对合理制定政策机制还不够^[43]。

4 结语与展望

生态系统服务作为生态系统评估的核心领域,是生态学的研究热点。过去 20a 间,围绕生态系统服务评估发展迅速,成果颇丰。但大部分研究普遍侧重于列举并概算某区域生态系统提供的所有生态系统商品与服务,而对生态系统服务之间的竞争关系与协同作用重视与分析不够,甚至完全没有考虑到这种相互关系。受人类政策影响,全球范围内生态系统服务之间的竞争关系与协同作用普遍存在,但又表现出明显的地域差异性与动态变化性^[86]。在不同时空尺度内,探讨生态系统服务之间的相互关系是生态系统评估新的重要的研究领域,其中生态系统服务互竞作用的影响对人类福祉尤为关键。

当前,关于生态系统服务互竞关系研究仍处于初步阶段。相关研究多从定性角度,强调生态系统服务互竞关系对生态系统管理与人类福祉的重要性,囿于数据获取、指标构建等因素,定量分析显得不够成熟。在研究范围上,限于少数几种生态系统服务之间的相互作用,以单向作用与双向作用为主,对于多向竞争分析较少。在研究方法上,生态-经济综合模型法是传统的研究方法,通常研究尺度较小^[86]。对比而言,基于土地利用的情景分析法日益受到重视。该方法主要是通过遥感获取土地利用变化资料,结合相关生态管理政策制定生态系统的多种情景模式,从空间上揭示不同生态系统服务的空间格局特征,并以其为基准根据预设情景定量分析未来生态系统服务之间的相互竞争关系及其影响。

在生态系统管理过程中,减弱生态系统服务之间的竞争作用,同时加强不同服务之间的协同增强作用^[26]将是人类追求的永恒目标。不同生态尺度内生态系统提供的服务对于不同行政尺度上的利益相关方来说,由于不同尺度上利益群体自身文化背景、对其经济活动的影响不同,其利用方式与程度差异明显^[14],常常存在竞争与权衡^[14,66]。充分全面分析不同尺度及其利益相关方之间的相互关系,将有助于解决不同利益群体之间的利益冲突^[65]。随着人类与生态系统交互作用的日益剧烈,未来关于生态系统服务竞争关系与协同作用的理论、方法将日臻完善。

References:

- [1] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington DC: Island Press, 1997.
- [3] MA. *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*// Report of the Conceptual Framework Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington DC: Island Press, 2003.
- [4] Ehrlich P R, Ehrlich A H. The value of biodiversity. *AMBIO Stockholm*, 1992, 21(3): 219-226.
- [5] Daily G C, Matson P A. Ecosystem services: from theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9455-9456.
- [6] Zhang Y M, Zhao S D. The millennium ecosystem assessment follow-up: a global strategy for turning knowledge into action. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(3): 522-528.
- [7] MA. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [8] Foley J A, Defries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter S R, Chapin F S, Coe M T, Daily G C, Gibbs H K, Helkowski J H, Holloway T, Howard E A, Kucharik C J, Monfreda C, Patz J A, Prentice I C, Ramankutty N, Snyder P K. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [9] Worm B, Barbier E B, Beaumont N, Duffy J E, Folke C, Halpern B S, Jackson J B, Lotze H K, Micheli F, Palumbi S R, Sala E, Selkoe K A, Stachowicz J J, Watson R. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 2006, 314(5800): 787-790.
- [10] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 1997, 277(5325): 494-499.
- [11] Fisher B, Turner R K. Ecosystem services: classification for valuation. *Biological Conservation*, 2008, 141(5): 1167-1169.
- [12] Kremen C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 2005, 8(5): 468-479.
- [13] Kremen C, Ostfeld R S. A call to ecologists: measuring, analyzing, and managing ecosystem services. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, 3(10): 540-548.
- [14] Hein L, van Koppen K, De Groot R S, van Ierland E C. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological economics*, 2006, 57(2): 209-228.
- [15] Tilman D, Cassman K G, Matson P A, Naylor R, Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 2002, 418(6898): 671-677.
- [16] Kremen C, Williams N M, Aizen M A, Gemmill Herren B, Lebuhr G, Minckley R, Packer L, Potts S G, Roulston T, Steffan-Dewenter I, Vázquez D P, Winfree R, Adams L, Crone E E, Greenleaf S S, Keitt T H, Klein A M, Regetz J, Ricketts T H. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 2007, 10(4): 299-314.
- [17] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D R, Chan K M A, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M R. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [18] Daily G C, Polasky S, Goldstein J, Kareiva P M, Mooney H A, Pejchar L, Ricketts T H, Salzman J, Shallenberger R. Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 21-28.
- [19] Wallace K J. Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation*, 2007, 139(3/4): 235-246.
- [20] Daily G C, Alexander S, Ehrlich P R, Goulder L, Lubchenco J, Matson P A, Mooney H A, Postel S, Schneider S H, Tilman D, Woodwell G M. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology*, 1997, 1(2): 1-18.
- [21] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 2009, 68(3): 643-653.
- [22] Toman M. Why not to calculate the value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 57-60.
- [23] Carpenter S R, Mooney H A, Agard J, Capistrano D, Defries R S, Diaz S, Dietz T, Duraipah A K, Oteng-Yeboah A, Pereira H M, Perrings C, Reid W V, Sarukhan J, Scholes R J, Whyte A. Science for managing ecosystem services: beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(5): 1305-1312.
- [24] Tallis H, Kareiva P, Marvier M, Chang A. An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9457-9464.
- [25] Lautenbach S, Volk M, Gruber B, Dormann C F, Strauch M, Seppelt R. Quantifying ecosystem service trade-offs//Swayne D A, W Y, Voinov A A, Rizzoli A, Filatova T. eds. *International Congress on Environmental Modelling and Software*. Ottawa: International Environmental Modelling

- and Software Society (iEMSs), 2010.
- [26] Bennett E M, Peterson G D, Gordon L J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. *Ecology Letters*, 2009, 12(12): 1394-1404.
- [27] de Groot R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 393-408.
- [28] Posthumus H, Rouquette J R, Morris J, Cowing D J G, Hess T M. A framework for the assessment of ecosystem goods and services: a case study on lowland floodplains in England. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1510-1523.
- [29] Rodríguez J P, Beard T D Jr, Bennett E M, Cumming G S, Cork S J, Agard J, Dobson A P, Peterson G D. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 28.
- [30] Zhang B, Li W H, Xie G D. Ecosystem services research in China: progress and perspective. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1389-1395.
- [31] Li W H. Progresses and perspectives of ecological research in China. *Journal of Resources and Ecology*, 2010, 1(1): 3-14.
- [32] Perrings C, Naem S, Ahrestani F, Bunker D E, Burkill P, Canziani G, Elmqvist T, Ferrati R, Fuhrman J A, Jaksic F, Kawabata Z, Kinzig A, Mace G M, Milano F, Mooney H, Prieur-Richard A H, Tschirhart J, Weisser W. Ecosystem services for 2020. *Science*, 2010, 330(6002): 323-324.
- [33] Kareiva P, Watts S, McDonald R, Boucher T. Domesticated nature: shaping landscapes and ecosystems for human welfare. *Science*, 2007, 316(5833): 1866-1869.
- [34] Swallow B M, Sang J K, Nyabenge M, Bundotich D K, Duraiappah A K, Yatich T B. Tradeoffs, synergies and traps among ecosystem services in the Lake Victoria basin of East Africa. *Environmental Science and Policy*, 2009, 12(4): 504-519.
- [35] Holling C S, Meffe G K. Command and control and the pathology of natural resource management. *Conservation Biology*, 1996, 10(2): 328-337.
- [36] Cheung W W L, Sumaila U R. Trade-offs between conservation and socio-economic objectives in managing a tropical marine ecosystem. *Ecological Economics*, 2008, 66(1): 193-210.
- [37] Ricketts T H, Daily G C, Ehrlich P R, Michener C D. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(34): 12579-12582.
- [38] Walker B, Carpenter S, Anderies J, Abel N, Cumming G S, Janssen M, Lebel L, Norberg J, Peterson G D, Pritchard R. Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology*, 2002, 6(1): 14.
- [39] Chhatre A, Agrawal A. Trade-offs and synergies between carbon storage and livelihood benefits from forest commons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(42): 17667-17670.
- [40] Bohensky E L, Reyers B, van Jaarsveld A S. Future ecosystem services in a Southern African river basin: a scenario planning approach to uncertainty. *Conservation Biology*, 2006, 20(4): 1051-1061.
- [41] Heal G, Daily G C, Ehrlich P R, Salzman J, Boggs C, Hellmann J, Hughes J, Kremen C, Ricketts T. Protecting natural capital through ecosystem service districts. *Stanford Environmental Law Journal*, 2001, 20(2): 333-364.
- [42] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 616-626.
- [43] Tallis H, Polasky S. Mapping and valuing ecosystem services as an approach for conservation and natural - resource management. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2009, 1162(1): 265-283.
- [44] Rodríguez J P, Beard T D Jr, Agard J R B, Bennett E, Cork S, Cumming G, Deane D, Dobson A P, Lodge D M, Mutale M, Nelson G C, Peterson G D, Ribeiro T. Interactions among ecosystem services//Carpenter S R, Pingali P L and Bennett E M, et al. eds. *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios*, Volume 2. Findings of the Scenarios Working Group, Millennium Ecosystem Assessment. Washington DC: Island Press, 2005: 431-448.
- [45] Pereira H M, Reyers B, Watanabe M, Bohensky E, Foale S, Palm C, Espaldon M V, Armenteras D, Tapia M, Rincon A, Lee M J, Patwardhan A, Gomes I. Condition and Trends of Ecosystem Services and Biodiversity//Carpenter S R, Pingali P L and Bennett E M, et al. eds. *Ecosystems and Human Well-being: Multi-scale Assessments*, Volume 4. Washington DC: Island Press, 2005: 171-203.
- [46] van Jaarsveld A S, Biggs R, Scholes R J, Bohensky E, Reyers B, Lynam T, Musvoto C, Fabricius C. Measuring conditions and trends in ecosystem services at multiple scales: the Southern African Millennium Ecosystem Assessment (SAfMA) experience. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 2005, 360(1454): 425-441.
- [47] Carpenter S R, Bennett E M, Peterson G D. Scenarios for ecosystem services: an overview. *Ecology and Society*, 2006, 11(1): 29.
- [48] Renwick M E. Valuing water in a multiple-use system-irrigated agriculture and reservoir fisheries. *Irrigation and Drainage Systems*, 2001, 15(2): 149-171.
- [49] Shankar B, Halls A, Barr J. Rice versus fish revisited: on the integrated management of floodplain resources in Bangladesh. *Natural Resources*

- Forum, 2004, 28(2): 91-101.
- [50] Schlüter M, Leslie H, Levin S. Managing water-use trade-offs in a semi-arid river delta to sustain multiple ecosystem services: a modeling approach. *Ecological Research*, 2009, 24(3): 491-503.
- [51] Grasso M. Ecological-economic model for optimal mangrove trade off between forestry and fishery production: comparing a dynamic optimization and a simulation model. *Ecological Modelling*, 1998, 112(2/3): 131-150.
- [52] Ringler C, Cai X M. Valuing fisheries and wetlands using integrated economic-hydrologic modeling-Mekong River Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management-Asce*, 2006, 132(6): 480-487.
- [53] Ricketts T H. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*, 2004, 18(5): 1262-1271.
- [54] Björklund J, Limburg K E, Rydberg T. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: an example from Sweden. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 269-291.
- [55] Power A G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 2010, 365(1554): 2959-2971.
- [56] Ringler C. The millennium ecosystem assessment: tradeoffs between food security and the environment. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2008, 32(3): 147-157.
- [57] Alcamo J, van Vuuren D, Ringler C, Cramer W, Masui T, Alder J, Schulze K. Changes in nature's balance sheet: model-based estimates of future worldwide ecosystem services. *Ecology and Society*, 2005, 10(2): 19.
- [58] Olschewski R, Klein A M, Tschamtk T. Economic trade-offs between carbon sequestration, timber production, and crop pollination in tropical forested landscapes. *Ecological Complexity*, 2010, 7(3Sp. Iss. SI): 314-319.
- [59] Butler J R A, Wong G Y, Metcalfe D J, Honzák M, Pert P L, Rao N, van Grieken M E, Lawson T, Bruce C, Kroon F J, Brodie J E. An analysis of trade-offs between multiple ecosystem services and stakeholders linked to land use and water quality management in the Great Barrier Reef, Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, In Press, Corrected Proof.
- [60] Tilman D. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96(11): 5995-6000.
- [61] Su C H. Study on Spatiotemporal Change of Ecosystem Services and Its Anthropogenic Driving Mechanisms — A Case Study in Yanhe Watershed [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2011.
- [62] Chisholm R A. Trade-offs between ecosystem services: water and carbon in a biodiversity hotspot. *Ecological Economics*, 2010, 69(10): 1973-1987.
- [63] O'Neill R V, King A W. Homage to St. Michael; or, why are there so many books on scale//Peterson D L and Parker V T, eds. *Ecological Scale: Theory and Applications*. New York: Columbia University Press, 1998: 3-15.
- [64] Wu J G. Landscape Ecology-Concepts and Theories. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(1): 42-52.
- [65] Tacconi L. Biodiversity and Ecological Economics: Participation, Values, and Resource Management. London: Earthscan/James and James, 2000.
- [66] Turner R K, Paavola J, Cooper P, Farber S, Jessamy V, Georgiou S. Valuing nature: lessons learned and future research directions. *Ecological Economics*, 2003, 46(3): 493-510.
- [67] MA. *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios*. Washington DC: Island Press, 2005.
- [68] Raudsepp-Heare C, Peterson G D, Bennett E M. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(11): 5242-5247.
- [69] Tansley A G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 1935, 16(3): 284-307.
- [70] Gordon L J, Finlayson C M, Falkenmark M. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 512-519.
- [71] Gimona A, van der Horst D. Mapping hotspots of multiple landscape functions: a case study on farmland afforestation in Scotland. *Landscape Ecology*, 2007, 22(8): 1255-1264.
- [72] Tilman D. Causes, consequences and ethics of biodiversity. *Nature*, 2000, 405(6783): 208-211.
- [73] Chan K M A, Shaw M R, Cameron D R, Underwood E C, Daily G C. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology*, 2006, 4(11): 2138-2152.
- [74] Nicholson E, Mace G M, Armsworth P R, Atkinson G, Buckle S, Clements T, Ewers R M, Fa J E, Gardner T A, Gibbons J, Grenyer R, Metcalfe R, Mourato S, Muñiz M, Osborn D, Reuman D C, Watson C, Milner-Gulland E J. Priority research areas for ecosystem services in a changing world. *Journal of Applied Ecology*, 2009, 46(6): 1139-1144.
- [75] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, Alberti M, Folke C, Moran E, Pell A N, Deadman P, Kratz T, Lubchenko J, Ostrom E, Ouyang Z Y,

- Provencher W, Redman C L, Schneider S H, Taylor W W. Complexity of coupled human and natural systems. *Science*, 2007, 317(5844): 1513-1516.
- [76] Gong P, Niu Z G, Cheng X, Zhao K Y, Zhou D M, Guo J H, Liang L, Wang X F, Li D D, Huang H B, Wang Y, Wang K, Li W N, Wang X W, Ying Q, Yang Z Z, Ye Y F, Li Z, Zhuang D F, Chi Y B, Zhou H Z, Yan J. China's wetland change (1990—2000) determined by remote sensing. *Science China Earth Sciences*, 2010, 53(7): 1036-1042.
- [77] Zong Y Q, Chen X Q. The 1998 flood on the Yangtze, China. *Natural Hazards*, 2000, 22(2): 165-184.
- [78] Yin H F, Li C G. Human impact on floods and flood disasters on the Yangtze River. *Geomorphology*, 2001, 41(2/3): 105-109.
- [79] Xu K Q, Chen Z Y, Zhao Y W, Wang Z H, Zhang J Q, Hayashi S, Murakami S, Watanabe M. Simulated sediment flux during 1998 big-flood of the Yangtze (Changjiang) River, China. *Journal of Hydrology*, 2005, 313(3/4): 221-233.
- [80] Day J W Jr, Boesch D F, Clairain E J, Kemp G P, Laska S B, Mitsch W J, Orth R, Mashriqui H, Reed D J, Shabman L, Simenstad C A, Streever B J, Twilley R R, Watson C C, Wells J T, Whigham D F. Restoration of the Mississippi Delta: lessons from Hurricanes Katrina and Rita. *Science*, 2007, 315(5819): 1679-1684.
- [81] de Groot R S, Alkemade R, Braat L, Hein L, Willemen L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 2010, 7(3): 260-272.
- [82] Mcshane T O, Hirsch P D, Trung T C, Songorwa A N, Kinzig A, Monteferrri B, Mutekanga D, Thang H V, Dammert J L, Pulgar-Vidal M, Welch-Devine M, Brosius J P, Coppolillo P, O'Connor S. Hard choices: making trade-offs between biodiversity conservation and human well-being. *Biological Conservation*, 2010, 144(3): 966-972.
- [83] Foley J A, Asner G P, Costa M H, Coe M T, Defries R, Gibbs H K, Howard E A, Olson S, Patz J, Ramankutty N, Snyder P. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007, 5(1): 25-32.
- [84] Metzger M J, Rounsevell M D A, Acosta-Michlik L, Leemans R, Schröter D. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2006, 114(1): 69-85.
- [85] Turner R K, van den Bergh J C J M, Söderqvist T, Barendregt A, van der Straaten J, Maltby E, van Ierland E C. Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*, 2000, 35(1): 7-23.
- [86] Farber S, Costanza R, Childers D L, Erickson J, Gross K, Grove M, Hopkinson C S, Kahn J, Pincetl S, Troy A, Warren P, Wilson M. Linking ecology and economics for ecosystem management. *Bioscience*, 2006, 56(2): 121-133.
- [87] Higgins S I, Turpie J K, Costanza R, Cowling R M, Le Maitre D C, Marais C, Midgley G F. An ecological economic simulation model of mountain fynbos ecosystems: dynamics, valuation and management. *Ecological Economics*, 1997, 22(2): 155-169.
- [88] Nalle D J, Montgomery C A, Arthur J L, Polasky S, Schumaker N H. Modeling joint production of wildlife and timber. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2004, 48(3): 997-1017.
- [89] Troy A, Wilson M A. Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 435-449.
- [90] Peterson G D, Cumming G S, Carpenter S R. Scenario planning: a tool for conservation in an uncertain world. *Conservation Biology*, 2003, 17(2): 358-366.
- [91] Chen Y Y, Jessel B, Fu B J, Yu X B, Pittock J. *Ecosystem Service and Management Strategy in China*. Beijing: China Environmental Science Press, 2011: 33-37.
- [92] Tallis H T, Ricketts T, Ennaanay D, Nelson E, Vigerstol K, Mendoza G, Wolny S, Olwero N, Aukema J, Foster J, Cameron D. *InVEST 1.003 beta User's Guide*. Stanford: The Natural Capital Project, 2008.
- [93] Nelson E, Polasky S, Lewis D J, Plantingall A J, Lonsdorf E, White D, Bael D, Lawler J J. Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9471-9476.

参考文献:

- [6] 张永民, 赵士洞. 千年生态系统评估项目的后续计划——将知识转化为行动的全球战略. *自然资源学报*, 2010, 25(3): 522-528.
- [61] 苏常红. 生态系统服务时空变异及人文驱动机制研究——以延河流域为例 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011.
- [64] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 42-52.
- [91] 陈宜瑜, Jessel B, 傅伯杰, 于秀波, Pittock J. *中国生态系统服务与管理战略*. 北京: 中国环境科学出版社, 2011: 33-37.

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 16 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 16 (August, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 1000717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元