

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

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 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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

DOI: 10.5846/stxb201205140708

梁友嘉, 徐中民, 钟方雷, 宋晓谕. 基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例. 生态学报, 2013, 33(15): 4758-4766.

Liang Y J, Xu Z M, Zhong F L, Song X Y. An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4758-4766.

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究 ——以张掖市甘州区为例

梁友嘉*, 徐中民, 钟方雷, 宋晓谕

(中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 内陆河流域生态水文重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 生态系统服务(ES)评价为减缓或阻止人类活动导致的各种复杂生态问题提供了一种可能的方法, 同时也有助于解决日益增加的各种土地利用冲突。以张掖市甘州区为例, 运用一种新的空间化方法开展生态系统服务研究, 并注重实现与土地利用研究的集成分析。首先根据研究区不同的群落生境和土地利用类型划分生态系统服务类型, 然后检验不同土地利用类型和方式对各类生态系统服务供给的影响, 最后分析该方法和数据的不确定性。结果表明: 1) 在灌区和甘州区两个尺度上, 4 类 ES 生产能力值均表现为: 文化服务>支持服务>调节服务>供给服务; 2) 2000—2009 年, 4 类 ES 供给都呈递减趋势, 同时, 城镇用地、路网建设等人类活动驱动的土地利用方式迅速增加, 整个绿洲农业区处于过度开发状态; 3) 该方法可操作性强, 多学科的数据和知识分析是 ES 研究的难点。

关键词: 生态系统服务; GIS; 土地利用/覆盖变化; 空间化

An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City

LIANG Youjia*, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, SONG Xiaoyu

Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: The assessment of Ecosystem Services(ES) is a relatively new scientific methodology, and it can offer a possible approach to the palliation and prevention of complex ecological problems caused by human activities and also helpful to the resolution of conflicts arising from land-use questions. Since Ecosystem Services were launched as a major conceptual tool in the Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), interest in them has been increasing rapidly. Despite the scientific as well as economic and political enthusiasm for the approach, only few case studies have as yet been published. We studied the interface between Ecosystem Services and landscape or land use planning in Ganzhou district of Zhangye city, in western Gansu province, integrating ES and land use is our core object. In the article, we present a visualization methodology and various data which can be used in applied research on Ecosystem Services. Firstly, we classify the Ecosystem Services offered by various biotopes and land use types of the study area, and then examine the effects of different land-use types and forms on the provision of ESs. On the basis of our results, we discuss the uncertainty of data and method, and suggest possible advantage and disadvantage of the approach in case studies. The results show that: 1) The four types of ES production capacity values were shown to: Cultural Services>Supporting Services>Regulating service>Provisioning services at two scales of the irrigated and Ganzhou District; 2) From 2000 to 2009, the four types of ES supply

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划的重点支持项目(91125019); 国家自然科学基金资助项目(40971291, 40901292)

收稿日期: 2012-05-14; **修订日期:** 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liangyj05@163.com

were decreasing, at the same time, urban land use and road network construction which driven by human activities were rapidly increasing, and the whole oasis of agricultural area had exploited overly; 3) The approach developed in this study is highly workable and reliable, and the difficult work is analysis of multi-disciplinary data and knowledge. This study may have some implications for the ES assessment of other zones.

Key Words: ecosystem service; GIS; LUCC; spatialization

生态系统服务(ES)是人类-自然环境耦合系统研究的重点^[1-4]。也是多学科交叉研究热点,涉及生态学、社会学、经济学和环境科学等诸多学科。同时,GIS 和遥感分析等技术在 ES 研究中发挥着重要作用^[5-7]。近来,生态系统服务开始更加关注系统本身的可持续生产,并注重与政策管理集成分析。随着生物多样性损失和栖息地破碎化程度的日益加重,使得开展 ES 供给评价研究迫在眉睫^[8-10]。以森林生态系统为主,在欧美地区已经出现了一批较为成熟的案例,这些案例在实践中既考虑时空尺度的资源保护,又强调利益相关者的压力响应^[11-12]。国内相关研究案例尚十分缺乏^[13]。

由于对 ES 研究的若干关键问题理解不够,使得通过测量和建模研究人类—环境耦合系统特征仍较困难。为此,Naidoo 等指出当前 ES 研究中存在几个亟待解决的问题^[14]:1)全球生态系统服务评价必须是空间显式的,需要表明特定生态系统服务产生的位置;2)必须定量研究土地利用变化和其驱动的生态系统供给服务变化之间的关系;3)必须理解价值流对人群的空间分散或集聚所产生的不同影响;4)应选择特定指标和尺度评价生态系统服务变化;5)应确定不同栖息地和文化类型下的各种 ES 类型;6)需开发通用的 ES 集成研究框架,并和决策制定集成,实现正向反馈作用。因此,ES 空间分布是研究的难点和重点。

另外,在用不同类型 ES 描述人类-自然环境耦合关系时,应注重生态系统过程和功能分析,如一些支持服务(土壤形成、植被光合作用或者能量变化和水循环)是其他类型 ES 得以表现的先决条件,为供给、调节和文化生态系统产品和服务提供了必要物质保障,也是获取人类福祉的必要先决条件,是 ES 空间化研究的基础之一。此外,还需要辨析不同服务类型中结构性组分之间的相互作用。通常,ES 组分包括:能量、物质循环、水循环、关键种的多样性和可持续生境条件等^[15]。这些组分也是生态系统完整性和生态系统健康的表征要素,有助于空间化研究,也有利于反映不同类型 ES 供给的可持续性^[16]。

针对上述问题,本文的主要内容包括:1)介绍 ES 空间化涉及的方法和数据;2)分析研究区不同土地利用/覆盖变化(LUCC)方式对生态系统服务供给的影响;3)讨论数据的不确定性和方法的使用前景,分析其优势和局限性。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

研究区地处黑河流域中游,东临山丹县,西到临泽县、南靠民乐县、肃南裕固族自治县、北依合黎山与内蒙古自治区阿拉善右旗接壤。介于东经 100°6′—100°52′,北纬 38°39′—39°24′之间,平均海拔 1474m,黑河、酥油口河、大磁窑河、山丹河等贯穿全境,是典型的内陆河流域绿洲农业区,属温带大陆性气候,年均降水量 113—312mm,蒸发量 2047mm,年日照时数 3085h,昼夜温差大,年均无霜期 150d,年均气温 7.1℃,自然景观类型丰富^[17]。近年来,在人类活动影响下,生态系统服务退化严重,亟待开展系统的可持续评价和管理研究。

1.2 数据来源

LUCC 数据包括:2000 年 LUCC,源于中国西部环境与生态科学数据中心,空间分辨率为 1km;2009 年 LUCC,源于 ESA DUE 网站(<http://dup.esrin.esa.it>),该数据融合了多种数据源,提供空间分辨率为 300m 的全球数据,精度较好。利用 ArcGIS 提取研究区范围的 LUCC,地图投影坐标选为通用横轴墨卡托(Universal Transverse Mercator,UTM),椭球体为 WGS(World Geodetic System,WGS)1984,统一重采样为 300m×300m,并将其转为矢量数据备用。辅助数据包括:研究区灌区边界图,由张掖市水务局提供;土地利用总体规划

(2006—2020 年)文本,由张掖市国土资源局提供;还包括多种会议和访谈资料。

1.3 生态系统服务

在 MEA(MEA)分类基础上,结合调查、专家知识和利益相关者等的信息汇总^[18-19],可给出内陆河流域几种主要 ES 类型及对应的潜在测量指标(表 1),对文化服务和供给服务暂不做讨论。ES 指标化研究有利于加深认识生态系统提供的产品和服务,而甄别可空间化的指标是当前 ES 空间化研究的基本问题之一。

表 1 生态系统服务类型和潜在指标

Table 1 Different ecosystem services types and potential indicators

支持服务 Supporting Services	潜在指标 Potential indicators
光合作用 Photosynthesis	净初级生产力 NPP
氮循环 Nitrogen cycle	N, P 或其他元素的更新率 Update rate of N, P or other elements
土壤形成 Soil formation	土壤中有机质积累量 Accumulation of organic matter in soil
调节服务 Regulating Services	潜在指标 Potential indicators
局部和区域气候调节 Climate regulation of local and regional	气温变化幅度 Magnitude of temperature changes
碳吸收 Carbon sequestration	生物量增加 Increased biomass
授粉 Pollination	授粉成功率 Pollination rate
防洪 Soil conservation	造成破坏的洪水次数 Number of flood damage
养分吸收 Nutrient absorption	N、P、K 或其他营养元素 N, P, K or other elements
土壤保持 Soil conservation	风蚀/水蚀造成的土壤斑块损失或植被覆盖度变化 Wind / soil erosion caused by soil patches loss, changes of vegetation coverage

不同 LUCC 类型具有特定的生态系统服务能力,可以借助生态系统服务能力指数(I_{AESC} ,式 1)表征^[20],该指数最初是用于高覆盖度的林区,空间尺度较小。本文尝试将其应用到更大的空间尺度上,并分别在灌区和整个研究区两种尺度上计算该值。通过该值既能实现区域间的对比,也为尺度推绎分析提供了一种可能性。计算公式如下:

$$I_{\text{AESC}} = \sum \frac{X_i A_i}{A_{\text{total}}} \quad (1)$$

式中, X_i 是栖息地值(每个栖息地 ES 生产能力的平均值); A_i 是区域内对应 LUCC 类型的面积; A_{total} 是关注的研究区总面积,该指数是一种集总式结果。空间化方法是:通过 GIS 空间分析模块得到各灌区 LUCC 类型对应的 I_{AESC} , $1 \leq I_{\text{AESC}} \leq 2$;然后,分别取 3 个值,假设可反映不同服务能力的大小:0 表示低,1 表示中等,2 表示高;最后对 I_{AESC} 按上述量化值分类,采用等间隔分类法,获得 ES 供给能力的矢量分布图。本文分别得到集总式和空间分布图两种结果。

1.4 LUCC

根据《全国土地分类(试行)》(2002 标准),对 LUCC 编码并分为 13 类(图 1):农田(F)、沙地(D)、河渠(C)、戈壁(G)、盐碱地(S)、裸地(B)、有林地(W)、灌木林地(SH)、城镇建设用地(A)、水库坑塘(R)、裸岩石砾地(ST)、中覆盖度草地(MG)和高覆盖度草地(HG)。水田、河渠、水库坑塘和城镇建设用地受人类活动影响的强度明显高于其他类型,对 ES 影响较大。LUCC 影响可用下述方法表征:首先,利用五因子打分法(-2, -1, 0, 1, 2)评价各类 LUCC 对 ES 的影响,-2 代表强烈的负向作用,对特定 ES 过程起减缓或阻止作用;2 代表强烈的正向作用,对 ES 过程起促进和增强作用。

2 结果

2.1 基于 LUCC 类型的生态系统服务供给

首先,确定研究区 LUCC 类型可提供的若干生态系统服务(表 2),然后利用五因子打分法计算各 LUCC 类型提供特定类型 ES 的栖息地值,本文仅考虑 ES 显著或人类关注度高的类型,包括:供给服务(P),提供鱼类(P1)、瓜果(P2)、饲料(P3)、药材(P4)、木材(P5)、应用水(P6)、农作物(P7)和能源(P8);调节服务(R),

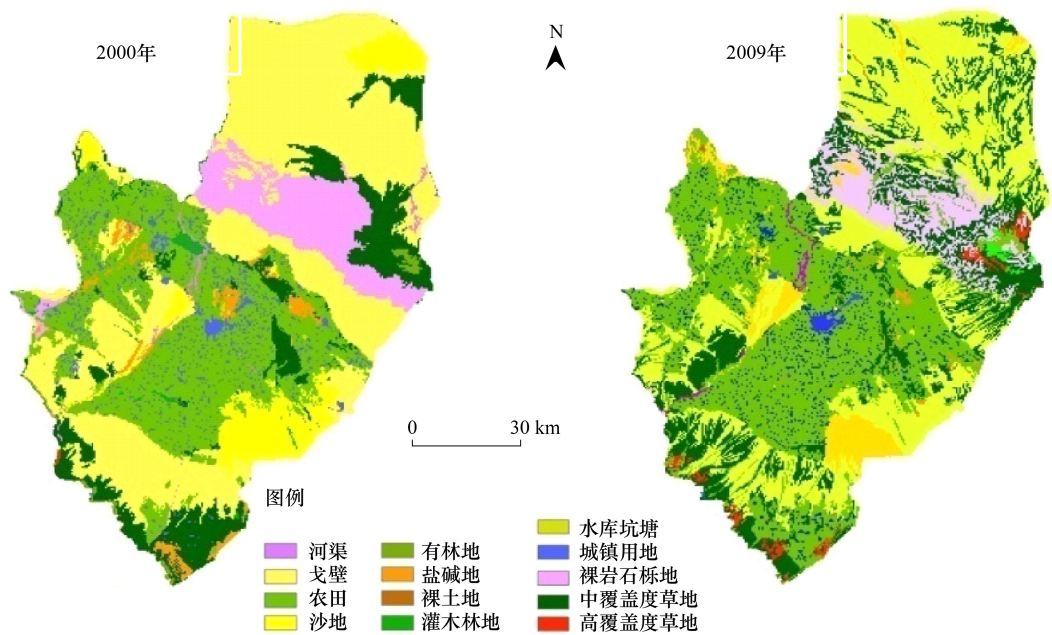


图 1 研究区 2000—2009 年土地利用/覆盖类型分布

Fig.1 Distribution of LUCC at study area from 2000 to 2009

表 2 基于不同生态系统服务类型的栖息地值

ES 类型 Types of ES	A	F	SH	W	MG	HG	G	D	ST	B	S	C	R
供给服务 P Provision services P													
鱼类 P1 Fish P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
瓜果 P2 Fruit P2	0	1	2	2	1	1	0	1	0	0	0	1	0
饲料 P3 Forge P3	0	2	1	1	1	2	0	0	0	0	1	0	0
药材 P4 Herbs P4	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
木材 P5 Timber P5	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
饮用水 P6 Water P6	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	2
农作物 P7 Crop P7	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
能源 P8 Energy P8	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	2	1
栖息地值 Habitat value	0	0.6	1.1	1	0.6	0.5	0.1	0.2	0	0	0.1	1	0.6
调节服务 R Regulating services R													
气候调节 R1 Climate regulation R1	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
碳吸收 R2 Carbon sequestration R2	0	1	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	1
授粉 R3 Pollination R3	1	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
防洪 R4 Flood protection R4	2	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	2	2
土壤侵蚀 R5 Soil conservation R5	1	0	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1
养分吸收 R6 Nutrient absorption R6	2	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1
栖息地值 Habitat value	1	0.8	1.5	1.5	1.7	1.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.7	1.2
文化服务 C Cultural services C													
当地文化类型 C1 Type of local cultureC1	1	2	2	2	2	1	0	1	0	0	1	2	2
美学景观 C2 Landscape Aesthetics C2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	0	0	2	2
自然内在价值 C3 The intrinsic value of nature C3	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
娱乐休闲 C4 Entertainment C4	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
栖息地值 Habitat value	0.8	1.3	2	2	2	1.5	1.3	1.5	1.3	1	1	2	2
支持服务 S Supporting services S													
光合作用 S1 Photosynthesis S1	0	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	1
氮循环 S2 Soil formation S3	0	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1	1	1
土壤形成 S3 Soil formation S3	0	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	0
栖息地值 Habitat value	0	2	2	2	2	2	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.7

提供气候调节(R1)、碳吸收(R2)、授粉(R3)、防洪(R4)、土壤侵蚀(R5)和养分吸收(R6);文化服务(C),提供当地文化类型(C1)、美学景观(C2)、自然内在价值(C3)和娱乐休闲(C4);支持服务(S),提供光合作用(S1)、氮循环(S2)和土壤形成(S3)。同时,以灌区为统计单元,利用 ArcGIS 计算 2000、2009 年 LUC 面积,并进一步得到 A_i/A_{total} 。

由表 2 知,供给服务中灌木林地栖息地值最高,为 1.1,林地为 1,其他都低于 1;调节服务中,中覆盖度草地栖息地值最高,为 1.7,同时,除河渠外,各 LUC 类型的调节服务栖息地值均高于相应的供给服务值;文化服务中,除城镇用地栖息地值为 0.8 外,其他值均高于 1,栖息地值整体明显高于相应的前两种服务;支持服务中,城镇用地栖息地为 0,各类草地和林地值最大,均为 2,其余类型的栖息地值较为集中,未表现出明显的差异。

另外,通过面积计算发现:在灌区尺度上,农田面积普遍增加,大满灌区增幅最大,由 2000 年的 14.24% 增加到 2009 年的 32.89%,但戈壁和裸岩砾石地增加也较明显;除大满灌区外,灌木林地和高覆盖度草地普遍明显减少;河渠面积普遍增加,其中,人口相对密集的盈科灌区由 2000 年的 67.52% 增加到 2009 年的 71.60%;在甘州区尺度上,城镇建设用地和农业用地扩张最为明显,分别增加了 5.93% 和 10.11%,中覆盖度草地减少了 23.72%,减幅最大。基础数据变化直观地反映了区内人类活动剧烈、生态环境不断退化的事实,开展 ES 变化评估已刻不容缓。利用式 1,以表 2 和 LUC 面积为输入,得到灌区和甘州区两种尺度 ES 能力指数(表 3)。同时,利用 ArcGIS 得到 2000—2009 年 ES 供给能力空间分布(图 2)。

表 3 基于灌区和研究区尺度的生态系统服务能力指数比较

Table 3 Comparison of Ecosystem Services Capacity at the scale of irrigation district and study area									
	供给服务 Provision services	调节服务 Regulating services	文化服务 Cultural services	支持服务 Supporting services		供给服务 Provision services	调节服务 Regulating services	文化服务 Cultural services	支持服务 Supporting services
2000 年					2009 年				
上三灌区	0.40	0.60	1.33	1.32	上三灌区	0.42	0.71	1.29	1.37
大满灌区	0.49	1.35	1.80	1.70	大满灌区	0.43	0.98	1.54	1.45
安阳灌区	0.37	0.99	1.63	1.26	安阳灌区	0.34	0.91	1.57	1.13
西浚灌区	0.43	0.82	1.39	1.45	西浚灌区	0.36	0.72	1.30	1.16
盈科灌区	0.39	0.83	1.45	1.33	盈科灌区	0.34	0.71	1.28	1.18
花寨灌区	0.28	0.66	1.49	0.89	花寨灌区	0.26	0.50	1.37	0.83
甘州区	0.43	1.03	1.59	1.47	甘州区	0.38	0.82	1.41	1.27

由表 3 知:供给服务中,2000 年大满灌区 I_{AESC} 最高,为 0.49,花寨为 0.28,最低,至 2009 年,除上三灌区增加到 0.42 外,其余灌区供给服务值均呈减小趋势,花寨仍最小,为 0.26;调节服务中,2000 年大满灌区 I_{AESC} 为 1.35,最高,上三灌区为 0.6,最低,至 2009 年,除上三灌区增加到 0.71 外,其余灌区调节服务值均减小,花寨变为最低值,为 0.5;文化服务中,2000 年各灌区差异不大,至 2009 年,文化服务值不同程度的减小;支持服务变化与供给服务类似,但相应的服务值要高于同期供给服务值;横向比较发现,不同灌区各服务的 I_{AESC} 有如下规律:文化服务>支持服务>调节服务>供给服务。甘州区尺度上,2000—2009 年各种服务也呈减小趋势;各类服务值接近灌区平均值;横向比较发现,各服务 I_{AESC} 值变化规律与灌区尺度相同;图 2 中各生态系统服务类型的空间分布也支持上述分析结果。

2.2 不同土地利用方式对生态系统服务供给的影响

进一步分析典型土地利用方式变化对 ES 供给的影响,同样采用五因子打分法,并考虑负向作用。根据《张掖市土地利用总体规划(2006—2020 年)》,确定 7 类关键的土地利用方式:1) 自然保护,保证生态用地;2) 路网建设;3) 农田建设,在原有农田基础上对区内蔬菜基地、特色农产品基地、农业产业化基地、农业人口集中区周边农田优先保护;4) 工矿地整合,将零散能源、化工、冶金和农副产品加工等产业迁往张掖市工业园

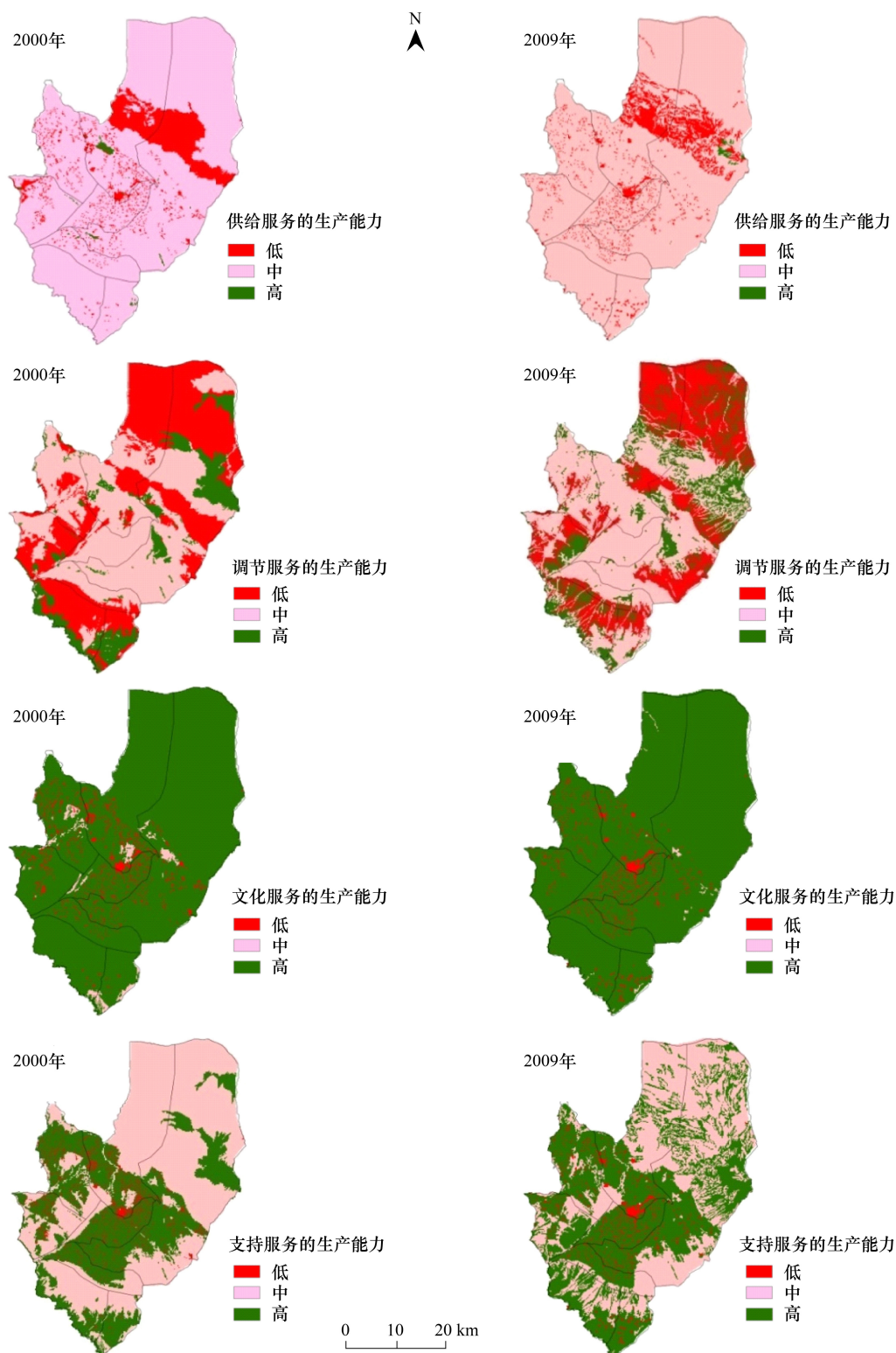


图2 研究区 2000—2009 年的生态系统服务空间分布

Fig.2 Distribution of ecosystem services at study area from 2000 to 2009

区;5)城镇发展;6)湿地开发:围绕张掖市国家湿地公园规划展开;7)特色果产业(表4)。

由表4知,自然保护和湿地开发对各类ES供给都有促进作用,前者对各类服务的平均影响均大于0.7,后者均大于0.9,且湿地开发对调节服务、文化服务和支持服务有明显的促进作用,平均影响均大于+1.7;相

较其他土地利用方式而言,短期不可逆的土地利用方式(如路网建设、工矿地整合和城镇建设)对 ES 供给的影响具有更强的负向作用,在对供给、调节和支持这三类服务的影响中,城镇建设的负向作用最明显,分别为-1.5、-1.5 和-1.7,说明在绿洲农业区要追求适度规模的城镇建设,以防城镇快速扩展所导致的供给、调节和支持服务的锐减;路网建设有双面作用,一方面,路网使人类活动延伸到较远区域,利于获取已知的生态系统服务,如木材开发等,同时,路网会导致自然栖息地破碎化程度加剧,也会使一些违规建设活动有大幅增加的潜在风险,路网建设还会产生噪音,降低一些天然保护区的文化价值;另外,各土地利用方式之间还存在相互作用,如工矿地整合和农田建设会不同程度的排斥自然保护和休闲观光等,相反,自然保护一般对其他土地利用方式有支持作用。这种复杂的作用关系可通过网络流量图进行解耦分析,将有助于 ES 与 LUCC 的集成研究。

表 4 不同土地利用方式对生态系统服务的影响

Table 4 Impact of different land use forms on ecosystem services

	自然保护 Nature protection	路网建设 Road construction	农田建设 Farmland construction	工矿地整合 Mining integration	城镇发展 Urbanization	湿地开发 Wetland development	特色果产业 Fruit industry
供给服务 Provision services							
鱼类 Fish	2	0	0	-2	-2	2	0
瓜果 Fruit	2	-1	1	-2	-2	1	2
饲料 Forge	1	0	2	-1	-2	0	1
药材 Herbs	1	-1	-1	-2	-2	2	0
木材 Timber	2	2	0	-1	-1	1	0
饮用水 Water	1	-1	1	-2	0	1	-1
农作物 Crop	1	-1	0	-1	-1	0	-1
能源 Energy	0	0	1	2	-2	0	0
平均影响 Average impact	+1.3	-0.3	+0.5	-1.1	-1.5	+0.9	+0.1
调节服务 Regulating services							
气候调节 Climate regulation	1	-1	-1	-1	-2	2	1
碳吸收 Carbon sequestration	1	-1	-1	-2	-2	2	0
授粉 Pollination	1	-2	2	-1	-2	1	1
防洪 Flood protection	2	-1	0	-1	-1	2	0
土壤侵蚀 Soil conservation	2	-2	1	-1	-1	2	0
养分吸收 Nutrient absorption	2	0	1	-1	-1	1	1
平均影响 Average impact	+1.5	-1.2	+0.3	-1.2	-1.5	+1.7	+0.5
文化服务 Cultural services							
文化类型 Type of local culture	2	0	-2	-1	-2	1	-1
美学景观 Landscape Aesthetics	2	-1	1	-2	-1	2	1
自然内在价值 The intrinsic value of nature	1	-2	0	-2	-2	2	-1
娱乐休闲 Entertainment	1	-2	1	-2	1	2	-1
平均影响 Average impact	+1.5	-1.3	0	-1.8	-1	+1.8	-0.5
支持服务 Supporting services							
光合作用 Photosynthesis	0	-1	1	0	-2	2	0
氮循环 Nitrogen cycle	0	-1	-2	-1	-2	2	-1
土壤形成 Soil formation	2	-1	-1	-1	-1	1	-1
平均影响 Average impact	+0.7	-1	-0.7	-0.7	-1.7	+1.7	-0.7

3 讨论

3.1 生态系统服务分布

综合分析图 1 和图 2 的结果,可发现研究区 2000—2009 年主要生态系统服务类型的空间分布有如下特点:首先,研究区 2000 年的供给服务生产能力普遍处于中等水平,至 2009 年,低值区增多,多出现在一些零散的居名点处,在城市区域一直较低;第二,调节服务低值区较多,该特征在 2009 年进一步显现,尤其在高覆盖

度草地和林区快速退化的区域尤为明显;戈壁和裸岩砾石地的调节服务一直较低,到 2009 年,城市区域的调节服务有所增加,但其对调节服务的负作用似乎小于其对供给服务的负作用;第三,文化服务最高值出现在远离城镇居民点的区域,主要是一些荒漠区域、湿地自然保护区和丹霞地貌保护区,同时也包括水域;至 2009 年,林区和城市区域的文化服务生产能力减少明显;第四,2000—2009 年,支持服务的中值区明显减少,高值区增加,但分布零散,值得注意的是,支持服务涉及较多的生物物理化学过程,评估中难免有所遗漏,故该结果存在较大的不确定性。

3.2 湿地与文化服务

张掖市正在打造国家级湿地公园,而湿地可以为人类提供纤维、木材、多种生物所需的食物,可为人类提供休闲观光场所,增加碳储存、保持局地微气候环境,防止水土侵蚀等。在政府决策过程中,应重视分析生态系统文化服务,这将有助于提高政府决策的科学性,在湿地公园建设中也是如此。由图 2 知,除湿地外,荒漠区域文化服务值也较高,因为其可以接受研究区内外各种支持和调节作用,并具有独特的景观开发价值,而 ES 空间变化路径对特定研究区 ES 具有重要作用,但识别这种空间变化路径仍是当前 ES 研究的薄弱之处。

ES 和人类福祉的关系是当前交叉学科研究的热点,通过研究可减缓和避免土地利用过程中的诸多冲突。同时,由人类活动驱动的、强制性的、短期不可逆的土地利用方式可能会导致 LUCC 的剧烈变化,尽管不会立即减少支持和调节服务能力;长期看,即使供给或其它类型的生态系统服务的生产能力有微小下降,也可能导致严重的不可持续性发展。本文虽主要关注方法的构建,但结果可为决策提供参考。

3.3 不确定性分析

上述方法可体现出不同 LUCC 类型提供 ES 的区域特征,但可能忽视小区域的作用,如面积值越小, I_{AESC} 就越小。事实上,很多小区域也对某些特殊 ES 类型有重要作用,如水库坑塘对审美、鱼类生产和蓄水调节有重要作用^[21-22];实质上这是空间尺度上推带来的不确定性,因为原研究区面积较小,地类相对简单且分布均匀,公式中面积比例的作用不明显,但在地类丰富,面积变异较大的区域就应当注意这种不确定性对分析结果的影响;同时,LUCC 数据精度和 ES 类型的细化也会提高特定 ES 类型的生产能力,今后可开展基于不同数据源的对比研究;最后,基于访谈和调查的一些专家知识带有一定的主观偏好,如何获取真实、客观的专家知识也是研究难点,需要引入社会调查的诸多复杂技术,也说明自然-人文学科的交叉研究有助于减少科学研究中的剩余性范畴,有利于减少不确定性。

对支持服务的分析可以适度简化并做均一化处理,因为其可满足所有人的一般需求,具有相似性和可比性;供给和文化服务的分析强烈依赖于研究区群体的文化类型,不同文化类型的人群对供给和文化服务的认识会有差别,需要引入文化理论的相关知识,以降低特定 ES 类型分析中的不确定性。

4 结论

本文基于 LUCC 开展生态系统服务空间化研究,结果表明:1)在灌区和甘州区两个尺度上,4 类 ES 生产能力值均表现为:文化服务>支持服务>调节服务>供给服务;2)2000—2009 年,4 类 ES 供给都呈递减趋势,同时,城镇用地、路网建设等人类活动驱动的土地利用方式迅速增强,整个绿洲农业区明显过度开发;3)缺乏精确的数据并不是限制 ES 评价的绝对因素,对涉及社会学、地学和生态学等学科的多源数据和知识的分析是研究难点。

该方法可用于类似研究区,也可在数据精度支持时开展更复杂的时空变化分析;构建统一的集成生态系统服务研究框架是当前亟待开展的工作,该工作将有助于加强学者、利益相关者和决策者间的互动,有助于认识生态系统特征和其对人类福祉的重要性。

致谢:感谢中国西部环境与生态科学数据中心提供 LUCC 数据。

References:

- [1] Loehe C. Challenges of ecological complexity. *Ecological Complexity*, 2004, 1(1): 3-6.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington DC, 2005.

- [3] Li W H, et al. Valuationon Ecosystem Services: Theory, Method and Application. Beijing: Chinese People's University Press, 2008.
- [4] Li S L, Liu J L, Zhang C Y, Zhao Z Q. The Research Trends of Ecosystem Services and the Paradigm in Geography. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(12): 1318 -1630.
- [5] Metzger J M, Schroter D, Leemans R, Cramer W. A spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of ecosystem service change in Europe. *Regional Environment Change*, 2008, 8: 91-107.
- [6] Yang Z H, Wang H, Chu J Y, Zhou Z H. Ecosystem service valuation and spatial characteristics of Haihe Basin. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2010, 41(9): 1121 -1127.
- [7] Xing K, Xiao D N. Wetland ecosystem service valuation — a case researches on Panjin area. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1345-1349.
- [8] Hanski I, Ovaskainen O. Metpopulation theory for fragmented landscapes. *Theoretical Population Biology*, 2003, 64(1): 119-127.
- [9] Xu Z M, Zhong F L, Zhao X Y, Li X W. Summary of progress of the study on ecological compensation. *Research of Financial & Accounting*, 2008, (23): 67-72.
- [10] Fu B J, Zhou G Y, Bai Y F, Song C C, Liu J Y, Zhang H Y, Lü Y H, Zheng H, Xie G D. The main terrestrial ecosystem services and ecological security in China. *Advances in Earth Science*, 2009, 4(6): 571-576.
- [11] Vihervaara P, Kamppinen M. The Ecosystem Approach in Corporate Environmental Management—Expert Mental Models and Environmental Drivers in the Finnish Forest Industry. *Corporate social responsibility and environmental management*, 2009, 16(2): 79-93.
- [12] Hickey G M, Innes J L. Monitoring sustainable forest management in different jurisdictions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 108: 241-260.
- [13] Li W H, Zhang B, Xie G D. Research on ecosystem services in China: Progress and Perspectives. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 1-10.
- [14] Naidoo R, Balmford A, Costanza R, et al. Global mapping of Ecosystem Services and conservation priorities. *PNAS*, 2008, 105(28): 9495-9500.
- [15] Muller F, Burkhard B. An ecosystem based framework to link landscape structures, functions and services. *Ecology*, 2007, 37-63.
- [16] Burkhard B, Kroll F, Muller F. Landscapes' capacities to provide ecosystem services—a concept for land-cover based assessments. *Land Science*, 2009, Online 15, 1-22.
- [17] Liang Y J, Xu Z M. Research on Estimation of Penman-Monteith Modified Model in the middle reaches of Heihe River Based on System Dynamics. *Pratacultural Science*, 2011, 28(1): 18-26.
- [18] Ma K M, Kong H M, Guan W L, Fu B J. Ecosystemhealth assessment: methods and directions. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [19] Zhang H Q, Wang L X, Jia B Q. Aconception of ecological land use and its function classification in arid area in Northwest China. *Chinese Journal of Ecolog & Agriculture*, 2004, 12(2): 5-8.
- [20] Petteri V, Timo K, Ari T. Ecosystem services-A tool for sustainable management of human-environment systems, Case study Finnish Forest Lapland. *Ecological Complexity*, 2010, 7(3): 410-420.
- [21] Xie G D, Zhen L, Lu C X, Cao S Y, Xiao Y. Supply, consumption and valuation of ecosystem services in China. *Resources Science*, 2008, 30(1): 93-99.
- [22] Piao S L, Fang J Y, Ciais P. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, 458:1009-1013.

参考文献:

- [3] 李文华,等. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [4] 李双成, 刘金龙, 张才玉, 赵志强. 生态系统服务研究动态及地理学研究范式. *地理学报*, 2011, 66(12): 1318 -1630.
- [6] 杨朝晖, 王浩, 褚俊英, 周祖昊. 海河流域生态系统价值评估与空间特征. *水利学报*, 2010, 41(9): 1121 -1127.
- [7] 辛琨, 肖笃宁. 盘锦地区湿地生态系统服务功能价值估算. *生态学报*, 2002, 22(8): 1345-1349.
- [9] 徐中民, 钟方雷, 赵雪雁, 李兴文. 生态补偿研究进展综述. *财会研究*, 2008, (23): 67-72.
- [10] 傅伯杰, 周国逸, 白永飞, 宋长春, 刘纪远, 张惠远, 吕一河, 郑华, 谢高地. 中国主要陆地生态系统服务功能与生态安全. *地球科学进展*, 2009, 4(6): 571-576.
- [13] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 1-10.
- [17] 梁友嘉, 徐中民. 基于系统动力学的黑河中游地区 Penman-Monteith 修正模型估算研究. *草业科学*, 2011, 28(1): 18-26.
- [18] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 傅伯杰. 生态系统健康评价: 方法与方向. *生态学报*, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [19] 张红旗, 王立新, 贾宝全. 西北干旱区生态用地概念及其功能分类研究. *中国生态农业学报*, 2004, 12(2): 5-8.
- [21] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 曹淑艳, 肖玉. 生态系统服务的供给、消费和价值化. *资源科学*, 2008, 30(1): 93-99.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 赵景柱

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 33 卷 第 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, 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:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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 90.00 元