

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **2013**

中国生态学会
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 4 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例 林川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林生,顾继光,等 (1186)
- 菹草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王芸,欧阳志云,郑华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 赞,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

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/stxb201207150996

施开放,刁承泰,孙秀锋,左太安,蔡朕,禹阳春. 基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价. 生态学报, 2013, 33(4): 1317-1325.

Shi K F, Diao C T, Sun X F, Zuo T A, Cai Z, Yu Y C. Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1317-1325.

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价

施开放¹, 刁承泰^{1,*}, 孙秀锋^{1,2}, 左太安^{1,3}, 蔡 朕¹, 禹阳春¹

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400715;

3. 毕节学院环境与生命科学系, 毕节 551700)

摘要:针对目前耕地占补平衡生态安全评价系统的不确定性,在理解集对分析(SPA)原理的基础上,利用原创联系度的可展性对其进行改进,将三级评判扩展到四级评判,并结合信息熵法,建立了基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全综合评价模型,并利用该模型对永川区影响耕地占补平衡生态安全的 18 项指标进行评价,得到永川区 2005、2009、2015 以及 2020 年的耕地占补平衡生态安全等级。此外,为了验证改进 SPA 法的可行性与合理性,将其评价结果与改进模糊综合评价结果以及多指标综合评价结果进行比较,研究结果表明:利用改进 SPA 法得到 2005 年永川区耕地占补平衡生态安全级别为Ⅱ级,2009 年为Ⅲ级,2015 年为Ⅳ级,2020 年同样为Ⅳ级,整体上呈现出由Ⅱ级向Ⅳ级上升的趋势;改进 SPA 法综合评价结果与改进模糊综合评价结果以及多指标综合评价结果基本一致。研究认为利用集对势进行耕地占补平衡生态安全评价具有一定的可行性和可行性,评价结果比较贴近实际情况,为耕地占补平衡生态安全评价提供了一种科学合理且简单实用的评价方法。

关键词:耕地;占补平衡;生态安全;熵权;改进 SPA;永川区

Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis

SHI Kaifang¹, DIAO Chengtai^{1,*}, SUN Xiufeng^{1,2}, ZUO Taian^{1,3}, CAI Zhen¹, YU Yangchun¹

1 College of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Horticulture and Landscape College, Southwest University, Chongqing 400715, China

3 Department of Environment and Life Science, Bijie College, Bijie 551700, China

Abstract: In view of the evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance system's uncertainty, an improved set pair analysis (SPA) model is quoted that utilizing SPA theory and the malleability of the original relation degree to extend the comprehensive evaluation ranking of the evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance from 3 levels to 4 levels. It can be used for obtaining the evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance level in different years of Yongchuan district based on 18 influential factors with the theory of entropy weight and improved SPA. The comprehensive evaluation results of proposed model of the evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance is compared with the results of improved fuzzy comprehensive evaluation and comprehensive assessment to prove the rationality of improved SPA. The results showed that the eco-security of cultivated land requisition-compensation balance of 2005 were Ⅱ, the grade of 2009 were Ⅲ, and the grade of 2015 and 2020 were Ⅳ. The whole level of cultivated land requisition-compensation balance in Yongchuan district had been in improving trends that jumping to Ⅳ from Ⅱ from 2005, 2009, 2015 and 2020. Compared with improved fuzzy comprehensive evaluation and comprehensive assessment, the results of three methods are basically consistent. Then it

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2011C025);贵州省科学技术基金(20112033)

收稿日期:2012-07-15; 修订日期:2012-12-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: diaoct@swu.edu.cn

shows the evaluation results of improved SPA are reliable, reasonable and visualized, and the improved SPA is a scientific and practical evaluation method that can more meticulously describe the cultivated land requisition-compensation balance level level.

Key Words: cultivated land; requisition-compensation balance; eco-security; entropy weight; improved set pair analysis; Yongchuan district

耕地作为土地的精华对我国农业和国民经济发展起着不可替代的基础性作用^[1-2]。随着我国城市化和工业化的快速提升,耕地数量减少趋势不可避免,耕地保护问题越发严峻。为解决我国的粮食安全和日益短缺的耕地资源问题,国家实行了严厉的耕地保护制度,其中耕地占补平衡就是其中之一^[3]。所谓耕地占补平衡是指一定时间、区域范围内,耕地在局部、微观不断被占用、补充及其变化的情况下,在对其数量、质量和开发利用的可持续调控基础上,为满足区域对粮食等基本农产品的需求,而做到的耕地生产力供求平衡^[1]。当然,耕地占补平衡不仅仅强调耕地数量和质量的平衡,耕地占补平衡的生态安全维持也属其中的重要内容^[4]。所谓耕地占补平衡生态安全是指在一定时间、区域范围内,耕地在微观、局部不断被占用、补充及其变化情况下,土地生态系统能够保持其功能与结构不受或少受威胁的状态,同时,土地生态系统为人类提供服务的质量和数量能够持续满足人类生存和发展的需求^[5],从而达到土地环境、社会和经济复合体的长期协调发展。就目前的文献来看,我国对生态安全的研究主要包括区域生态安全评价^[6],生态风险性评价^[7],土地生态安全评价^[8],但是对耕地占补平衡生态安全评价研究较少。因此,对耕地占补平衡进行生态安全评价,准确把握耕地占补平衡生态安全状态成为区域可持续发展测度的一个重要内容,也是进行土地利用规划与建设和土地生态安全预测和预警的重要依据^[9]。

耕地占补平衡的生态安全评价实际上是对其占补平衡生态安全复合系统的全面诊断,包括耕地资源的占补、社会经济的支持以及生态环境的维持等多方面的内容。目前,综合评价的方法很多,如模糊数学法、层次分析法、投影寻踪法、神经网络法^[10-11]等,每种方法都有自身的优点和不足,众多学者针对各种方法的不足作了相应的改进,取得了一定成果。但是由于耕地占补平衡的生态安全评价影响因素的不确定性,评价指标与生态安全等级之间存在复杂的非线性关系,所以至今没有一个统一的评价模型来进行耕地占补平衡的生态安全评价。因此,为了克服现有评价方法的不足,本文以永川区为例,运用改进 SPA 法对其进行耕地占补平衡生态安全评价。

1 改进集对分析

1.1 改进 SPA 法评价原理及模型

集对分析是赵克勤在 1989 年提出的一种新的系统分析理论方法^[12-13],但该评价方法存在一点不足,是 b 、 c 的细化问题,即同异反评语细化问题^[14]。原创联系度 ($u_{(A-B)} = a+bi+cj$) 虽然可以对研究对象所处状态空间进行“一分为三”的刻画,但是将研究对象所处的空间状态简单的“一分为三”略显粗糙^[15],因此,必须根据原创联系度的可展性原理进行深层次的细化,将原来的表达式改写成式(1):

$$u_{(A-B)} = a+b_1i^+ + b_2i^- + c_1j^+ + c_2j^- \quad (1)$$

(1) 细化后的 b 、 c 的意义

假设有 n 个评价对象,用 m 个指标描述评价对象属性, x_{ij} 为对象 i 的第 j 项指标 ($j=1,2,\dots,m; i=1,2,\dots,n$),将耕地占补平衡的生态安全等级划分为 K 级 ($K=1,2,\dots,s$),文本中令 $s=4$ 。每个年份的耕地占补平衡的生态安全评价指标值系列 $A_i = [x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{im}]$ 组成一个集合,将耕地占补平衡的生态安全评价指标的各个等级标准值组成另一个集合 $B_k = [s_{k1}, \dots, s_{kj}, \dots, s_{km}]$,这两个集合于是构成一个集对 (A_i, B_k) ^[16]。若指标 x_{ij} 处于某一等级 k 的范围内时,则认为是同一,其值为 a ;若指标 x_{ij} 处于 k 级别相邻级别优越一边,则认为是

优异,记为 b_1 ;若指标 x_{ij} 处于 k 级别相邻级别劣差一边,则认为是劣异,记为 b_2 ;若处于 k 级别相隔级别优越一边,则认为是优反,记为 c_1 ;若处于 k 级别相隔级别劣差一边,则认为是劣反,记为 c_2 [17]。

(2) 考虑优劣识别

在耕地占补平衡的生态安全评价中,为了方便生态安全等级的优劣识别,可以将式(1)简记为:

$$u_{(A-B)} = a + bi^+ + ci^- + dj^+ + ej^- \quad (2)$$

式中, $a, b, c, d, e \in [0, 1]$, $a + b + c + d + e = 1$, $i^+ \in [0, 1]$, $i^- \in [0, 1]$, $i^+ + i^- \in [0, 1]$, $j^+ = \{0, 1\}$, $j^- = -1$, 其中, a 为同一度, b 为正差异度, c 为负差异度, d 为正对立度, e 为负对立度。

进一步分析耕地占补平衡的生态安全评价指标分级标准和评价指标值之间的数量关系,可以看出,即使不同年份的生态安全评价指标值处于同一级别中,也会因为指标数值的差异而有所不同,所以,需要构造联系度表达式更细致的描述同一、差异和对立的定量关系。若指标值处于评价级别中,则 $a = 1$,其他系数为 0;若指标值处于相邻级别优越的一边,越靠近相邻的评价标准 a 越大 b 越小,反之 a 越小 b 越大;若在评价等级劣差的一边,越靠近评价标准 a 越大 c 越小,反之 a 越小 c 越大;若指标值处于相隔级别优越的一边,越靠近评价标准 a, b 越大, d 越小;若在评价等级劣差的一边,越靠近评价标准 a, c 越大, e 越小 [17]。依据以上原理建立指标评价模型。对于正向性指标,相对于一级的联系度:

$$u_1(s_{1j}, x_{ij}) = a + bi^+ + ci^- + dj^+ + ej^- = \begin{cases} 1 & x_{ij} \in [0, s_{1j}) \\ \frac{s_{1j}}{x_{ij}} + \frac{x_{ij} - s_{1j}}{x_{ij}} i^+ & x_{ij} \in [s_{1j}, s_{2j}) \\ \frac{s_{1j}}{x_{ij}} + \frac{s_{2j} - s_{1j}}{x_{ij}} i^+ + \frac{x_{ij} - s_{2j}}{x_{ij}} j^+ & x_{ij} \in [s_{2j}, +\infty) \end{cases}$$

二级联系度:

$$u_2(s_{2j}, x_{ij}) = \begin{cases} \frac{s_{2j} - s_{1j}}{s_{2j} - x_{ij}} + \frac{s_{1j} - x_{ij}}{s_{2j} - x_{ij}} i^- & x_{ij} \in [0, s_{1j}) \\ 1 & x_{ij} \in [s_{1j}, s_{2j}) \\ \frac{s_{2j} - s_{1j}}{x_{ij} - s_{1j}} + \frac{x_{ij} - s_{2j}}{x_{ij} - s_{1j}} i^+ & x_{ij} \in [s_{2j}, s_{3j}) \\ \frac{s_{2j} - s_{1j}}{x_{ij} - s_{1j}} + \frac{s_{3j} - s_{2j}}{x_{ij} - s_{1j}} i^+ + \frac{x_{ij} - s_{3j}}{x_{ij} - s_{1j}} j^- & x_{ij} \in [s_{3j}, +\infty) \end{cases}$$

三级联系度:

$$u_3(s_{3j}, x_{ij}) = \begin{cases} \frac{s_{3j} - s_{2j}}{s_{3j} - x_{ij}} + \frac{s_{2j} - s_{1j}}{s_{3j} - x_{ij}} i^- + \frac{s_{1j} - x_{ij}}{s_{3j} - x_{ij}} j^- & x_{ij} \in [0, s_{1j}) \\ \frac{s_{3j} - s_{2j}}{s_{3j} - x_{ij}} + \frac{s_{2j} - x_{ij}}{s_{3j} - x_{ij}} i^- & x_{ij} \in [s_{1j}, s_{2j}) \\ 1 & x_{ij} \in [s_{2j}, s_{3j}) \\ \frac{s_{3j} - s_{2j}}{x_{ij} - s_{2j}} + \frac{x_{ij} - s_{3j}}{x_{ij} - s_{2j}} i^+ & x_{ij} \in [s_{3j}, s_{4j}) \\ \frac{s_{3j} - s_{2j}}{x_{ij} - s_{2j}} + \frac{s_{4j} - s_{3j}}{x_{ij} - s_{2j}} i^+ + \frac{x_{ij} - s_{4j}}{x_{ij} - s_{2j}} j^+ & x_{ij} \in [s_{4j}, +\infty) \end{cases}$$

四级联系度:

$$u_4(s_{4j}, x_{ij}) = \begin{cases} \frac{s_{4j} - s_{3j}}{s_{4j} - x_{ij}} + \frac{s_{3j} - s_{2j}}{s_{4j} - x_{ij}} + \frac{s_{2j} - x_{ij}}{s_{4j} - x_{ij}} & x_{ij} \in [0, s_{2j}) \\ \frac{s_{4j} - s_{3j}}{s_{4j} - x_{ij}} + \frac{s_{3j} - x_{ij}}{s_{4j} - x_{ij}} & x_{ij} \in [s_{2j}, s_{3j}) \\ 1 & x_{ij} \in [s_{3j}, s_{4j}) \\ \frac{s_{4j} - s_{3j}}{x_{ij} - s_{3j}} + \frac{x_{ij} - s_{4j}}{x_{ij} - s_{3j}} & x_{ij} \in [s_{4j}, +\infty) \end{cases}$$

模型中 s_{kj} 为第 j 项指标评价标准的 k 级和 $k+1$ 级的界限值, 根据上述模型对每个年份的各个指标计算联系度系数 a 、 b 、 c 、 d 、 e 的值, 同理, 可拟构建负向型指标相对于不同等级的联系度公式^[17]。

设权重向量为 $W = (w_{ij})_{n \times m}$, 联系度矩阵 $R = (a_{jk} + b_{jk}i^+ + c_{jk}i^- + d_{jk}j^+ + e_{jk}j^-)_{n \times m}$, 运用模糊算子对 W 和 R 进行合成运算, 得到评价年份 i 相对于 K 级的综合关联度 C_{ik} :

$$C_{ik} = W \times R = \sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot a_{jk} + \sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot b_{jk}i^+ + \sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot c_{jk}i^- + \sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot d_{jk}j^+ + \sum_{j=1}^m w_{ij} \cdot e_{jk}j^- \quad (3)$$

1.2 基于改进 SPA 法的评价结果判定

根据式(3)得出各个年份对于不同等级的联系度表达式后, 本文拟用集对势进行评价结果判定。

1.2.1 集对势计算

集对势的定义为同一度和对立度的比值, 集对势所反映两个集合具有的某种趋同程度或联系趋势。在耕地占补平衡生态安全评价中计算年份 i 对于不同等级的集对势, 可得到年份 i 对于不同等级的趋同程度。当集对势越大时, 表示其同一度越强, 所以取集对势中的最大值所对应的等级为研究对象的判定结果。改进的 SPA 法集对势计算公式如下:

$$shi(C_{ik}) = a_{ik} \div (d_{ik} + e_{ik}) \quad (4)$$

1.2.2 乐观势与悲观势计算

乐观势就是从乐观的角度出发^[18], 将所有的差异度全部转化成同一度, 在系统中, 用同一度和对立度的比值来量化系统的态势, 乐观势的表达式为:

$$shi_p(C_{ik}) = (a_{ik} + b_{ik} + c_{ik}) \div (d_{ik} + e_{ik}) \quad (5)$$

悲观势就是从悲观的角度出发, 将所有的差异度均转化成对立度, 在系统中, 用同一度和对立度的比值来量化系统的态势, 悲观势的表达式为:

$$shi_o(C_{ik}) = a_{ik} \div (b_{ik} + c_{ik} + d_{ik} + e_{ik}) \quad (6)$$

1.2.3 集对势定位

由乐观势和悲观势所确定的区间范围就是集对势的取值范围, 依据式(7)作集对势定位计算, 计算集对势在集对势的取值范围相对于乐观势的贴近度。

$$o_{ik} = \frac{shi(C_{ik}) - shi_p(C_{ik})}{shi_o(C_{ik}) - shi_p(C_{ik})} \times 100\% \quad (7)$$

2 实例研究

2.1 研究区概况

永川区位于重庆市西南部, 东与璧山县、江津区为邻, 西以荣昌县、大足县为界, 南与四川省合江县、泸县相连, 北与铜梁县接壤。地跨 $28^{\circ}56' - 29^{\circ}34'N$, $105^{\circ}38' - 106^{\circ}05'E$ 。2009 年全区总人口 1103438 人, 其中农业人口 799507 人, 非农业人口 303931 人, 城镇化率为 27.54%, 实现社会生产总值 300.04 亿元, 完成社会固定资产投资 300.7 亿元。2009 年, 农用地面积为 130425hm^2 , 占土地总面积的 82.62%, 其中, 耕地 67459hm^2 , 占农用地面积的 51.72%; 园地 17954hm^2 , 占农用地面积的 13.77%; 林地 28397hm^2 , 占农用地面积的 2.77%。

永川区属于亚热带季风性湿润气候,平均气温 18.20℃,年平均降雨量 1042.20mm,平均日照 1298.50h,年平均无霜期 317d。境内地形复杂,丘陵起伏,其中相对高差小于 50m 的缓丘平坝面积为 714.04hm²,占土地总面积的 45.23%;丘陵面积 577.33hm²,占其土地总面积的 36.57%;相对高差大于 200m 的低山面积为 287.24hm²,占其土地总面积 18.20%。

2.2 数据来源

人口、DGP、化肥施用量、农药使用量、粮食生产总量以及其他的自然地理状况数据等来源于历年《永川统计年鉴》;2005、2009 年耕地资源相关数据均来源于永川区国土资源与房屋管理局;2015 年和 2020 年永川区相关耕地资源数据则参考《2006—2020 年重庆市永川区土地利用总体规划》相关成果。

2.3 耕地占补平衡的生态安全评价指标体系及分级标准

在本研究界定的耕地占补平衡生态安全概念的基础上,基于永川区自身的自然条件、社会经济发展特点,依据指标数据的可得性和方法的可操作性^[19],充分考虑耕地占补平衡生态安全各评价因子的复杂关系,借鉴国内最新的相关研究成果^[1,5,8],结合国家环保总局制定的《生态县、生态市、生态省建设指标(试行)》关于生态安全的目标,重点选取与耕地占补平衡生态安全密切相关的人均耕地面积、耕地减少面积与耕地面积比例、耕地增加面积与耕地面积比例、单位面积耕地化肥负荷以及单位面积耕地农药负荷等 18 个属性特征构建评价指标体系,并结合永川区历年各指标量值,利用信息熵法计算出各指标权重,结果见表 1。

表 1 耕地占补平衡生态安全指标体系及安全等级划分标准

Table 1 Evaluation index system and different safe degrees of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance

目标 Target	因素 Factor	指标 Index	分级标准 Grading standards			
			I 不安全	II 临界安全	III 较安全	IV 安全
耕地占补平衡生态安全 Eco-security of cultivated land requisition compensation balance	耕地占补平衡指标 b_1	c_1 人均耕地面积/hm ²	0—0.03	0.03—0.05	0.05—0.07	0.07—0.10
		c_2 耕地减少面积与耕地面积比例/%	0.45—0.60	0.30—0.45	0.15—0.30	0—0.15
		c_3 耕地增加面积与耕地面积比例/%	0—0.20	0.20—0.40	0.40—0.60	0.60—0.75
		c_4 耕地与农用地比例/%	50—52	52—54	54—56	56—58
		c_5 耕地与建设用地比例/%	260—270	270—280	280—290	290—305
		c_6 耕地与其他土地比例/%	1800—1900	1900—2050	2050—2150	2150—2250
	人地关系指标 b_1	c_7 基本农田与耕地比例/%	80—82	82—84	84—86	86—88
		c_8 单位面积耕地粮食产量/(t/hm ²)	6.80—6.90	6.90—7.05	7.05—7.30	7.30—7.70
		c_9 农民人均纯收入年增长率/%	0—6	6—10	10—16	16—20
		c_{10} 耕地有效灌溉率/%	60—70	70—80	80—90	90—100
		c_{11} 粮食总产/万 t	47.0—48.0	48.0—49.0	49.0—50.5	50.5—60.0
		c_{12} 区域人口密度/(人/km ²)	710—750	680—710	650—680	600—650
	生态环境指标 b_3	c_{13} 森林覆盖率/%	0—17	17—19	19—23	23—25
		c_{14} 单位面积耕地化肥负荷/(kg/hm ²)	800—1200	580—800	355—580	50—355
		c_{15} 单位面积耕地农药负荷/(kg/hm ²)	40—80	30—40	15—30	0—15
		c_{16} 工业废水排放达标率/%	92—94	94—96	96—98	98—100
		c_{17} 工业固体废物综合利用率/%	89—91	91—94	94—97	97—100
		c_{18} 水土流失治理率/%	0—5	5—10	10—15	15—20

2.4 永川区耕地占补平衡的生态安全评价指标数据

永川区 2015、2020 年的自然、社会经济数据依据现有的数据利用线性回归模型进行预测;2015 年和 2020 年耕地相关数据则主要参考《2006—2020 年重庆市永川区土地利用总体规划》相关成果。2005、2009、2015 和 2020 年耕地占补平衡生态安全评价指标值见表 2。

2.5 权重确定

耕地占补平衡生态安全评价离不开指标权重的确定,权重确定方法的客观与否直接关系到评价结果的好

表 2 永川区 2005、2009、2015 和 2020 年耕地占补平衡生态安全评价指标值

Table 2 Evaluation index value of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance in Yongchuan District from 2005, 2009, 2015 and 2020

评价指标 Index	年份 Year				评价指标 Index	年份 Year			
	2005	2009	2015	2020		2005	2009	2015	2020
c_1	0.061	0.061	0.064	0.069	c_2	0.21	0.21	0.51	0.22
c_3	0.39	0.19	0.66	0.28	c_4	51.07	51.72	51.78	52.08
c_5	272.01	279.30	278.45	273.74	c_6	1147.90	2059.16	2065.98	2105.38
c_7	82.6	83.9	84.6	85.7	c_8	7.66	7.26	6.90	7.07
c_9	10.84	10.14	12.51	15.58	c_{10}	69.07	67.71	72.32	73.33
c_{11}	50.34	49.00	50.58	51.01	c_{12}	683	689	684	694
c_{13}	13.43	17.99	18.03	18.23	c_{14}	739.01	922.79	1001.20	1150.05
c_{15}	36.18	37.47	38.78	39.62	c_{16}	94.39	95.97	97.21	98.55
c_{17}	99.89	99.91	99.93	99.99	c_{18}	6.20	12.40	15.31	18.33

坏。目前确定指标权重的方法主要有层次分析法、特尔菲法、信息熵法。因此,为了提高指标权重确定的客观性,本文采用信息熵法确定各项指标权重。按照熵的思想,人们能够根据决策中获取信息的数量和质量,提高决策的精度和可靠性,熵在应用于不同决策过程中的评价或案例的效果评价时是一个很理想的尺度^[8]。其基本原理就是某项指标的值变异程度越大,信息熵越小,该指标提供的信息量就越大^[20],相应指标权重就越大,反之则越小。具体计算过程如下:

(1) 评价指标值矩阵标准化^[21]

根据表 1 实测值得到原始指标值矩阵 $X = (x_{ij})_{8 \times 7}$, 通过对 x_{ij} 标准化处理可得 $R = (p_{ij})_{mn}$, 其中, p_{ij} 为第 i 个评价单元第 j 评价指标值标准化后所得值, $p_{ij} \in [0, 1]$ 。

(2) 计算参评指标熵值

$$H(x_j) = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, j = 1, 2, \dots, m$$

式中, $H(x_j)$ 为第 j 项参评指标的熵值, 为计算方便, 通常令调剂系数 $k = 1/\ln > 0$ 。

(3) 计算指标差异系数(h_j)

第 j 项参评指标差异系数定义为: $h_j = 1 - H(x_j)$, $j = 1, 2, \dots, m$

(4) 确定参评指标权重系数(W_j)

$$W_j = h_j / \sum_{i=1}^n h_j, j = 1, 2, \dots, m$$

根据以上信息熵法的计算, 得出永川区耕地占补平衡生态安全评价各指标权重分别为: $W_1 = 0.0038$ 、 $W_2 = 0.1500$ 、 $W_3 = 0.1980$ 、 $W_4 = 0.0061$ 、 $W_5 = 0.0093$ 、 $W_6 = 0.0798$ 、 $W_7 = 0.0052$ 、 $W_8 = 0.0023$ 、 $W_9 = 0.0429$ 、 $W_{10} = 0.0022$ 、 $W_{11} = 0.0305$ 、 $W_{12} = 0.0021$ 、 $W_{13} = 0.0726$ 、 $W_{14} = 0.0371$ 、 $W_{15} = 0.0618$ 、 $W_{16} = 0.0574$ 、 $W_{17} = 0.0429$ 、 $W_{18} = 0.1960$ 。

2.6 改进 SPA 法综合评价计算

(1) SPA 法联系数矩阵 R 计算

这里以永川区 2005 年为例, 计算其 SPA 法联系数矩阵, 结果如下:

$$R_{2005} = \begin{bmatrix} 0.49 + 0.33i^+ + 0.18j^+ & 0.65 + 0.35i^+ & 1 & 0.77 + 0.25i^- \\ 0.24 + 0.71i^+ + 0.43j^+ & 0.67 + 0.67i^+ & 1 & 0.71 + 0.29i^- \\ 0.51 + 0.49i^+ & 1 & 0.95 + 0.06i^- & 0.42 + 0.56i^- + 0.03j^- \\ 1 & 0.66 + 0.31i^- & 0.41 + 0.41i^- + 0.19j^- & 0.29 + 0.29i^- + 0.42j^- \\ 0.99 + 0.01i^+ & 1 & 0.56 + 0.44i^- & 0.45 + 0.30i^- + 0.24j^- \\ 1 & 0.17 + 0.83i^- & 0.10 + 0.15i^- + 0.75j^- & 0.09 + 0.09i^- + 0.82j^- \\ 0.99 + 0.01i^- & 1 & 0.59 + 0.41i^- & 0.37 + 0.37i^- + 0.26j^- \\ 0.90 + 0.02i^+ + 0.08j^+ & 0.20 + 0.33i^+ + 0.47j^- & 0.41 + 0.59j^+ & 1 \\ 0.55 + 0.37i^+ + 0.08j^+ & 0.83 + 0.17i^+ & 1 & 0.44 + 0.66i^- \\ 1 & 0.92 + 0.09i^- & 0.48 + 0.48i^- + 0.01j^- & 0.32 + 0.32i^- + 0.32j^- \\ 0.58 + 0.29i^+ + 0.13j^+ & 0.69 + 0.31i^+ & 1 & 0.64 + 0.36i^- \\ 0.14 + 0.04i^+ & 1 & 0.91 + 0.09i^- & 0.60 + 0.36i^- + 0.04j^- \\ 1 & 0.36 + 0.64i^- & 0.42 + 0.21i^- + 0.37j^- & 0.19 + 0.35i^- + 0.48j^- \\ 0.18 + 0.08i^+ & 1 & 0.66 + 0.41i^- & 0.44 + 0.33i^- + 0.23j^- \\ 0.81 - 0.11i^+ & 1 & 0.71 + 0.29i^- & 0.40 + 0.41i^- + 0.17j^- \\ 0.99 + 0.01i^+ & 1 & 0.55 + 0.45j^- & 0.36 + 0.36i^- + 0.27j^- \\ 0.91 + 0.30i^+ + 0.59j^+ & 0.34 + 0.34i^+ + 0.33j^- & 0.51 + 0.49j^+ & 1 \\ 0.81 + 0.19i^+ & 1 & 0.57 + 0.43i^- & 0.36 + 0.36i^- + 0.28j^- \end{bmatrix}$$

同理可以计算出永川区 2009、2015 以及 2020 年的 SPA 法联系度。

(2) 进行合成运算

运用 Excel 中的 sumproduct 函数对权重向量 W 和永川区 2005 年联系度矩阵 R_{2005} 进行合成运算,得出永川区 2005 年对于不同等级的综合联系度。

$$C_{2005} = W \times R_{2005} = [0.669 + 0.277i^+ + 0.098j^+ \quad 0.787 + 0.134i^+ + 0.115i^- + 0.015j^- \quad 0.702 + 0.166i^- + 0.022j^+ + 0.114j^- \quad 0.439 + 0.364i^- + 0.203j^-]$$

根据式(4)~(7)计算 2005 年永川区相对于不同等级的集对势、乐观势和悲观势等,利用集对势进行耕地占补平衡生态安全等级判定,取集对势三参数间特元^[17]最大值者对应的等级为最终评价结果,如下表 3 所示。

表 3 永川区耕地占补平衡生态安全改进 SPA 法综合评价结果(2005 年)

Table 3 Improved SPA comprehensive evaluation results of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance in Yongchuan district (2005)

等级标准 Grade standards	集对势 Set pair analysis	乐观势 Optimism	悲观势 Pessimistic	集对势定位/% Locating of set pair analysis	等级 Level
I	6.82	1.79	9.64	64.10	II
II	51.67	2.98	67.99	74.89	
III	5.16	2.32	6.38	69.88	
IV	2.17	0.78	3.97	43.67	

同理可以计算出永川区 2009、2015 和 2020 年耕地占补平衡生态安全改进 SPA 法综合评价结果。为了验证改进 SPA 法评价结果的合理性,本文与改进模糊综合评价、多指标综合评价结果进行比较(表 4)。

从表 4 可以看出,利用改进 SPA 法得到永川区耕地占补平衡生态安全评价结果为:2005 年耕地占补平衡生态安全级别为 II 级,即“临界安全”;2009 年生态安全级别为 III 级,即“较安全”;2015 年生态安全级别为,即

“安全”;2020 年生态安全级别同样为Ⅳ级,即“安全”,整体上呈现出由Ⅱ级向Ⅳ级上升的趋势。

表 4 永川区耕地占补平衡生态安全综合评价结果

Table 4 Comprehensive evaluation results of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance in Yongchuan district

年份 Years	改进 SPA 法综合评价 Improved set pair analysis			改进模糊综合评价 Improved fuzzy comprehensive evaluation 等级 Level	多指标综合评价 Comprehensive evaluation of multiple indicator 多指标综合评价总分值 Total scores of comprehensive evaluation of multiple indicator
	集对势 Set pair analysis	集对势定位/% Locating of set pair analysis	等级 Level		
2005	51.67	74.89	Ⅱ	Ⅱ	0.199
2009	52.40	72.61	Ⅲ	Ⅲ	0.213
2015	17.58	69.60	Ⅳ	Ⅲ	0.260
2020	22.85	73.19	Ⅳ	Ⅳ	0.329

将改进 SPA 法综合评价结果与改进模糊综合评价结果进行比较可知:2005 年、2009 年、2020 年两种方法评价结果完全一致;只有 2015 年改进 SPA 法综合评价结果为Ⅳ级,即“安全”,而改进模糊综合评价结果为Ⅲ级,即“较安全”,但是它们判定的耕地占补平衡生态安全等级相差不过一个等级,未出现越级现象。改进 SPA 法综合评价结果与多指标综合评价结果比较得知,虽然多指标综合评价没有进行评价分级,但是其计算的多指标综合评价总分值从 2005 年至 2020 年是不断增长的,这与改进 SPA 法综合评价得到的耕地占补平衡生态安全等级在一定程度上正好呈对正应关系。通过综合分析可知:改进 SPA 法综合评价结果与改进模糊综合评价结果以及多指标综合评价结果基本一致,因为改进模糊综合评价法和多指标综合评价法的实用性和可行性已得到普遍认可^[17],所以利用集对势进行耕地占补平衡生态安全评价具有一定的可行性和可行性,评价结果比较贴近实际情况。

3 结论与讨论

集对分析法通过注重信息处理过程中的模糊性和相对性比较好的解决了问题的不确定性,它是一种辩证思维的综合评价模型。本文利用原创联想度的可展性原理建立了耕地占补平衡生态安全改进 SPA 法评价模型,更为细致的描述了评价对象的同一性、差异性、对立性特性。此外,利用信息熵法表征各指标在耕地占补平衡生态安全评价中的重要程度,避免了评价指标权重确定略显主观性和随意性,较为准确反应耕地占补平衡生态安全等级状态。研究结果表明:利用改进 SPA 法可以判定出,永川区 2005 年耕地占补平衡生态安全级别为Ⅱ级,2009 年为Ⅲ级,2015 年生态安全级别为Ⅳ级,2020 年生态安全级别同样为Ⅳ级,整体上呈现出由Ⅱ级向Ⅳ级上升的趋势;改进 SPA 法综合评价结果与改进模糊综合评价结果以及多指标综合评价评价结果基本一致,充分说明其在生态安全等级界定上具有一定的可行性和合理性。

在耕地占补平衡生态安全评价过程中,由于必须设定评价指标的等级状况,而目前很多相关准则和标准中只有标准等级值,而不是一个域,有的甚至还没有等级标准。此外,由于当前耕地占补平衡生态安全评价没有公认的评价指标,而且还受到丰富多样的物质环境、文化环境以及自然生态环境的影响,文章尚无法对这些相关因素进行定量分析。因此,如何合理的界定评价指标的等级状况以及建立一套更加全面的耕地占补平衡生态安全评价指标体系以及如何量化各指标的影响度等问题,仍需深入研究。

References:

- [1] He T B, Jin L, Deng D D. Early warning of cultivated land requisition-compensation balance in Karst mountainous county area. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(1): 238-243.
- [2] Li P, Shao J A, Zhang Z, Wei C F, Qiu D C. Establishment of Balance of Cultivated Land in Chongqing. Journal of Natural Resources, 2011, 26(6): 919-931.
- [3] Tan, Y Z, Wu C F, Wang Q R, Zhou L Q, Yan D. The Change of Cultivated Land and Ecological Environment Effects Driven by the Policy of Dynamic Equilibrium of the Total Cultivated Land. Journal of Natural Resources, 2005, 20(9): 727-734.

- [4] Solomon Barry. Farmland protection: A case of quality not quantity. *Land Use Policy*, 1984, 1(4): 357-366.
- [5] Huang H L, Luo W B, Wu C F, Li D M. Evaluation of land eco-security based on matter element analysis. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(3): 316-322.
- [6] Zhang J Y, Sun W C, Zhang F T. Regional land ecological security evaluation in the case of Chongqing Three Gorges Reservoir ecological economy area based on the PSR model. *China Environmental Science*, 2011, 31(6): 1039-1044.
- [7] Zeng Y. The regional ecological risk assessment of Hohhot City. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3): 668-673.
- [8] Yu J, Fang L, Cang D B, Zhu L, Bian Z F. Evaluation of land eco-security in Wanjiang district base on entropy weight and matter element model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(5): 260-266.
- [9] Li Z, Yang Z S. Research progress of land ecological security in China. *China Safety Science Journal*, 2007, 17(12): 5-13.
- [10] Sheng S K, She Y M. Approach to information systems security risk assessment based on fuzzy-BP neural network. *Computer Simulation*, 2011, 28(10): 91-94.
- [11] Wang S J, Yang Z F, Ding J. Projection pursuit method of comprehensive evaluation on groundwater carrying capacity in Guanzhong Plain. *Resources Science*, 2006, 26(6): 104-110.
- [12] Wan X, Ding J, Zhang X L. Set pair analysis for comprehensive evaluation on regional groundwater resources carrying capacity. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2006, 19(2): 8-10.
- [13] Meng X M, Hu H P. Application of set pair analysis model based on entropy weight to comprehensive evaluation of water quality. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(3): 258-262.
- [14] Zhao K Q, Xuan A L. Set pair theory: A new theory method of non-define and its applications. *System Engineering*, 1996, 14(1): 18-23, 72.
- [15] Jiang Y L, Xu C F. Advances in set pair analysis theory and its application. *Computer Science*, 2006, 33(1): 205-209.
- [16] Wei M H, Zheng Z H, Huang Q, Qiu L. Fuzzy comprehensive evaluation of groundwater environment based on improved set pair analysis. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(10): 1204-1209.
- [17] Nan C Y, Su X L. Comprehensive evaluation for soil-water resources carrying capacity in Guanzhong area Based on improved Set Pair Analysis. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(12): 104-114.
- [18] Li D S, Xu K L, Zhang X J, Dai, X S. Research and application of set pair situation in the set pair analysis. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2009, 35(9): 8-9.
- [19] Ye Y P, Liu L J. A preliminary study on assessment indicator system of provincial eco-environmental quality in China. *Research of Environmental Sciences*, 2002, 13(13): 33-36.
- [20] Shi K F, Diao C T, Sun Y A, Ma J, Zhang B. Estimation of realistic potential of land consolidation in rural residential areas by combined weight on principle of relative entropy. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2012, 34(7): 14-18.
- [21] Shi K F, Diao C T, Sun Y A, Sun X F, Zuo T A. Comparative on evaluation and classification of rural residential land consolidation potential based on entropy weight method and AHP: A case study of Yongchuan District, Chongqing City. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2012, 34(6): 236-241.
- [22] Shi K F, Diao C T. Calculation of realistic circulation potential of the rural collective construction land in Yongchuan district, Chongqing. *Tropical Geography*, 2012, 32(3): 269-273.

参考文献:

- [1] 何腾兵, 金蕾, 邓冬冬. 喀斯特山区县域耕地占补平衡预警. *农业工程学报*, 2012, 28(1): 2438-243.
- [2] 李萍, 邵景安, 张贞, 魏朝富, 邱道持. 重庆市耕地占补平衡体系构建. *自然资源学报*, 2011, 26(6): 919-931.
- [3] 谭永忠, 吴次芳, 王庆日, 周炼清, 严栋. “耕地总量动态平衡”政策驱动下中国的耕地变化及其生态环境效应. *自然资源学报*, 2005, 20(9): 727-734.
- [5] 黄辉玲, 罗文斌, 吴次芳, 李冬梅. 基于物元分析的土地生态安全评价. *农业工程学报*, 2010, 26(3): 316-322.
- [6] 张军以, 苏维词, 张凤太. 基于 PSR 模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价. *中国环境科学*, 2011, 31(6): 1039-1044.
- [7] 曾勇. 区域生态风险评价: 以呼和浩特市为例. *生态学报*, 2010, 30(3): 668-673.
- [8] 余健, 房莉, 仓定帮, 朱琳, 卞正富. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用. *农业工程学报*, 2012, 28(5): 260-266.
- [9] 李智国, 杨子生. 中国土地生态安全研究进展. *中国安全科学学报*, 2007, 17(12): 5-13.
- [10] 申时凯, 余玉梅. 模糊神经网络在信息安全风险评估中的应用. *计算机仿真*, 2011, 28(10): 91-94.
- [11] 王顺久, 杨志峰, 丁晶. 关中平原地下水资源承载力综合评价的投影寻踪方法. *资源科学*, 2006, 26(6): 104-110.
- [12] 万星, 丁晶, 张晓丽. 区域地下水资源承载力综合评价的集对分析方法. *城市环境与城市生态*, 2006, 19(2): 8-10.
- [13] 孟宪萌, 胡和平. 基于熵权的集对分析模型在水质综合评价中的应用. *水利学报*, 2009, 40(3): 258-262.
- [14] 赵克勤, 宣爱理. 集对论: 一种新的不确定理论方法与应用. *系统工程*, 1996, 14(1): 18-23, 72.
- [15] 蒋云良, 徐从富. 集对分析理论及其应用研究进展. *计算机科学*, 2006, 33(1): 205-209.
- [16] 魏明华, 郑志宏, 黄强, 邱林. 基于改进 SPA 法的地下水环境模糊综合评判. *水利学报*, 2009, 40(10): 1204-1209.
- [17] 南彩燕, 栗晓玲. 基于改进 SPA 的关中地区水土资源承载力综合评价. *自然资源学报*, 2012, 27(12): 104-114.
- [18] 李德顺, 许开立, 张喜嘉, 戴雪松. 集对分析集对势的研究及其应用. *工业安全与环保*, 2009, 35(9): 8-9.
- [19] 叶亚平, 刘鲁君. 中国省域生态环境质量评价指标体系研究. *环境科学研究*, 2002, 13(13): 33-36.
- [20] 施开放, 刁承泰, 孙永爱, 马骥, 张彪. 基于熵组合权重的农村居民点复垦现实潜力估算. *农机化研究*, 2012, 34(7): 14-18.
- [21] 施开放, 刁承泰, 孙永爱, 孙秀锋, 左太安. 不同确权法在农村居民点复垦潜力评价中的应用: 以重庆市永川区为例. *农机化研究*, 2012, 34(6): 236-241.
- [22] 施开放, 刁承泰. 重庆市永川区农村集体建设用地流转现实潜力估算. *热带地理*, 2012, 32(3): 269-273.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《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,探索自然奥秘,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

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 4 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, 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 90.00 元