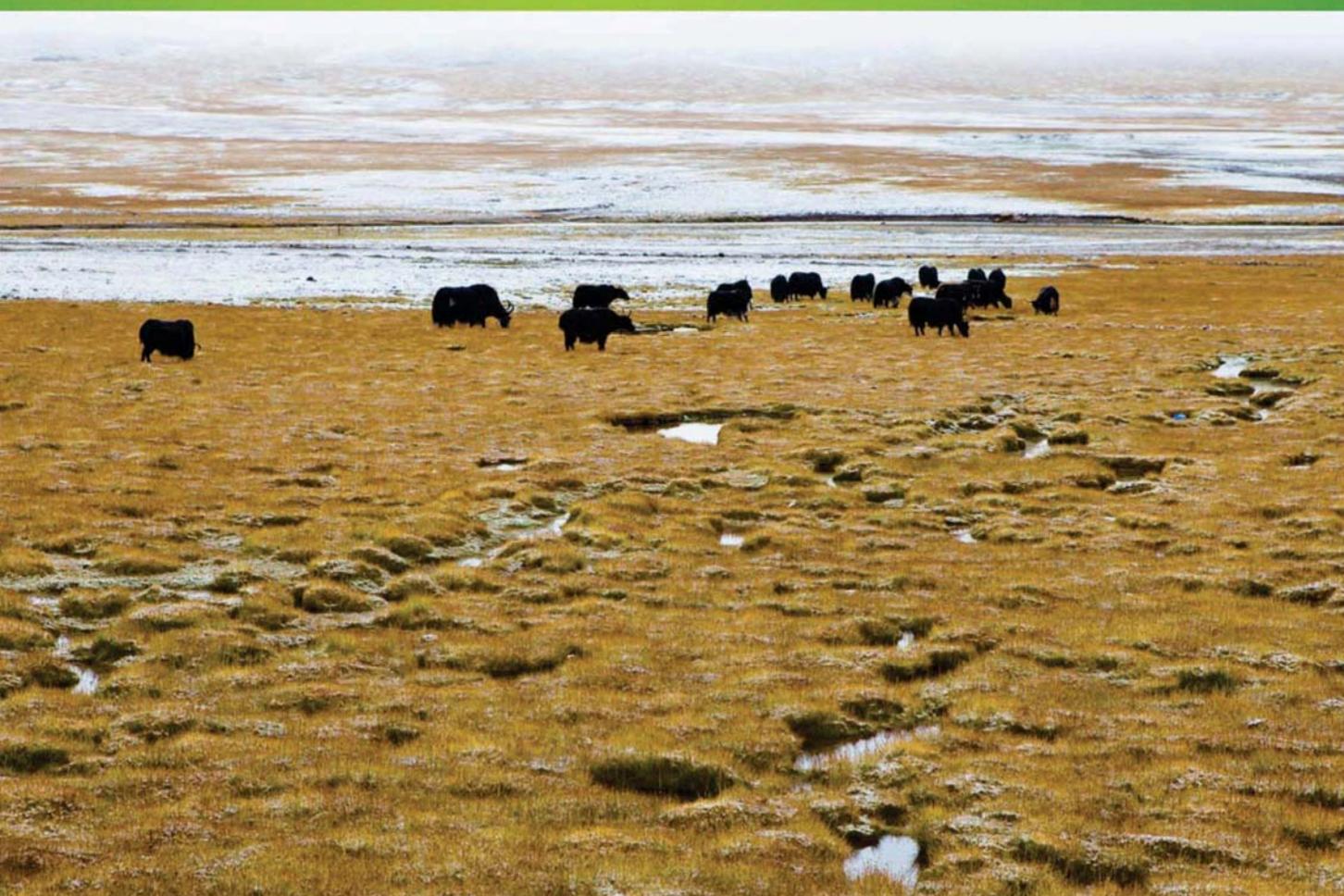


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第16期 Vol.33 No.16 **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 16 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 物种分布模型理论研究进展..... 李国庆,刘长成,刘玉国,等 (4827)
- 稀土元素对农田生态系统的影响研究进展..... 金姝兰,黄益宗 (4836)
- 藤壶金星幼虫附着变态机制..... 饶小珍,林 岗,许友勤 (4846)
- 群居动物中的共同决策..... 王程亮,王晓卫,齐晓光,等 (4857)

个体与基础生态

- 季风进退和转换对中国褐飞虱迁飞的影响..... 包云轩,黄金颖,谢晓金,等 (4864)
- 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率..... 齐占会,王 珺,毛玉泽,等 (4878)
- 新疆巴音布鲁克繁殖期大天鹅的生境选择..... 董 超,张国钢,陆 军,等 (4885)
- 我国特有植物青檀遗传结构的 ISSR 分析..... 李晓红,张 慧,王德元,等 (4892)
- 栽培菊花与菊属-近缘属属间杂种杂交后代耐盐性的遗传分析..... 许莉莉,陈发棣,陈素梅,等 (4902)
- 荒漠区植物光合器官解剖结构对水分利用效率的指示作用..... 张海娜,苏培玺,李善家,等 (4909)
- 水分对番茄不同叶龄叶片光合作用的影响..... 陈凯利,李建明,贺会强,等 (4919)
- 广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种光合速率与氮的关系..... 白坤栋,蒋得斌,万贤崇 (4930)
- 施肥对板栗林地土壤 N₂O 通量动态变化的影响..... 张蛟蛟,李永夫,姜培坤,等 (4939)
- 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响..... 刘希玉,王忠强,张心昱,等 (4949)

种群、群落和生态系统

- 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量..... 牟长城,王 彪,卢慧翠,等 (4956)
- 基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区河岸带植被覆盖动态监测——以岷江河谷映秀-汶川段
为例..... 许积层,唐 斌,卢 涛 (4966)
- 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构..... 倪宝龙,刘兆刚 (4975)
- 长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素..... 蔡永久,姜加虎,张 路,等 (4985)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群年龄结构和性比..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (5000)
- 性信息素诱捕下害虫 Logistic 增长及经济阈值数学模型..... 赵志国,荣二花,赵志红,等 (5008)
- 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性..... 郑颖姘,钮羽群,崔桂玲,等 (5017)
- 北方常见农业土地利用方式对土壤螨群落结构的影响..... 韩雪梅,李丹丹,梁子安,等 (5026)

景观、区域和全球生态

- 基于鸟类边缘种行为的景观连接度研究——空间句法的反规划应用..... 杨天翔,张韦倩,樊正球,等 (5035)
- 西南高山地区土壤异养呼吸时空动态..... 张远东,庞 瑞,顾峰雪,等 (5047)

江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素..... 赵明松,张甘霖,李德成,等 (5058)

基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征..... 张明阳,罗为检,刘会玉,等 (5067)

资源与产业生态

基于能值分析方法的都市代谢过程——案例研究 刘耕源,杨志峰,陈彬 (5078)

基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价 张锐,郑华伟,刘友兆 (5090)

保水剂对煤矸石基质上高羊茅生长及营养吸收的影响 赵陟峰,王冬梅,赵廷宁 (5101)

城乡与社会生态

生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例..... 敖长林,陈瑾婷,焦扬,等 (5109)

研究简报

广东山区土壤有机碳空间变异的尺度效应..... 姜春,吴志峰,钱乐祥,等 (5118)

室内养殖雌性松鼠秋季换毛期被毛长度和保温性能变化..... 荆璞,张伟,华彦,等 (5126)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 高寒草甸牦牛群——三江源区位于青藏高原腹地,平均海拔 4200m,是长江、黄河、澜沧江三条大河的发源地,也是全球气候变化最敏感的地区。三江源区高寒草甸植被状况对该区的生态环境、草地资源合理利用和应对全球气候变化具有十分重要的意义。2005 年以来,国家投资 70 多亿元启动三江源生态保护工程。监测显示,近年来,三江源湖泊湿地面积逐步扩大,植被覆盖度得到提高,三江源区高寒草甸的生态恶化趋势得到遏制。图为冒着风雪在三江源高寒草甸上吃草的牦牛群。

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/stxb201209191319

张锐,郑华伟,刘友兆. 基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价. 生态学报, 2013, 33(16): 5090-5100.

Zhang R, Zheng H W, Liu Y Z. Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 5090-5100.

基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价

张 锐, 郑华伟, 刘友兆*

(南京农业大学公共管理学院, 南京 210095)

摘要:耕地生态安全评价是改善农田生态系统安全状况、促进耕地可持续利用的重要基础。针对多数综合评价研究中存在信息屏蔽和主观性的问题,在界定耕地生态安全内涵的基础上,构建了基于压力-状态-响应(PSR)模型的评价指标体系,采用物元分析方法和改进的熵值法对我国耕地生态安全进行评价。研究表明:(1)1996—2010年我国耕地生态安全水平不断提高,安全等级经历了“临界安全-较安全”的演变历程,但2010年“较安全”等级关联度很弱;(2)单位耕地化肥负荷、人均耕地面积、单位耕地农药负荷、土地垦殖率、水土流失程度等是耕地生态安全等级提升的关键制约因素。为了促进耕地生态安全等级不断提升,需要进一步转变经济发展方式,加强土地利用监督管理,降低经济增长对土地资源的过度消耗;大力发展绿色农业,合理施用农药、化肥;积极开展农村土地整治,加强高标准基本农田建设;加大环境治理力度,有效控制水土流失程度。基于PSR模型的评价指标体系能更准确地反映农田生态系统各要素之间的关系,物元分析方法可以揭示单个评价指标的分异信息和综合评价结果的中间信息、挖掘耕地生态安全存在的具体问题,适合用于耕地生态安全的评价。

关键词:耕地生态安全;物元分析;PSR模型;障碍因素

Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis

ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao*

College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Evaluation on cultivated land ecological security is a significant foundation for improving the security of farmland ecosystems and the sustainable use of cultivated land. To solve the problem of asymmetric information and subjectivity in most integrated evaluations, the authors define the cultivated land ecological security, construct an evaluation index system based on the Pressure-State-Response (PSR) model, and then conduct an evaluation of the ecological security of cultivated land in China by the matter element analysis and the improved entropy method. The results show: (1) The ecological security of cultivated land in China was gradually improved from critically safe to safer from 1996 to 2010, but the correlation of “safer” was extremely weak in 2010; (2) Crucial constraints on the improvement of cultivated land ecological security include fertilizer load per unit of cultivated land, per capita cultivated land, pesticide load per unit of cultivated land, land reclamation rate, and soil erosion. For the cultivated land ecological security to be continuously improved, the economic development pattern should be transformed, land use supervision and management strengthened, and excessive consumption of land resources for economic growth reduced; green agriculture should be vigorously developed, pesticides and fertilizers applied only as needed; rural land consolidation and high-standard basic farmland construction should be strengthened, environmental protection intensified, and soil erosion effectively controlled. The evaluation index system

基金项目:国家自然科学基金项目(71173112);江苏省国土资源科技项目(201003);江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CXZZ11_0690)

收稿日期:2012-09-19; 修订日期:2013-04-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yzliu@njau.edu.cn

based on the PSR model can accurately reflect the relationship between various elements of the farmland ecosystems, while the matter element analysis can reveal differentiation information of every single indicator and intermediate information of comprehensive evaluation, discovering specific problems in cultivated land ecological security. Therefore, the evaluation index system and the matter element analysis are suitable to assess the cultivated land ecological security.

Key Words: cultivated land ecological security; matter element analysis; PSR model; obstacle factors

耕地资源作为最宝贵的自然资源之一,是非常重要的农业生产资料,具有食物生产、空间承载、生态服务等多种功能,经过人类长期的干预,农田生态系统逐渐演变成为具有高度耦合性的社会-经济-生态复合系统^[1-2]。随着人类对耕地资源利用的深度和广度增加,耕地资源的稀缺性增强,耕地利用生态问题逐渐凸显^[3]。因此,开展耕地利用生态安全研究,优化耕地生态安全的改善路径,对于缓解人地矛盾,保障我国粮食安全,维护国家安全,促进社会经济可持续发展具有非常重要的理论意义和现实意义^[4]。

国外学者主要将耕地生态安全与可持续利用相结合进行系统研究,Rasul 和 Thapa^[5]从农业生态环境、社会经济方面构建了评价指标体系,分析了孟加拉的耕地可持续利用与生态状况;Beesley 和 Ramsey^[6]指出,在农用地保护中,耕地生态价值与安全越来越受到农场主的认可与关注。国内学者关于耕地生态安全的研究主要集中在耕地生态安全内涵、耕地生态安全评价、耕地生态安全影响因素以及耕地生态安全调控对策等^[7-9];在耕地生态安全评价研究方面,王千等^[3]结合生态学中的能值理论构建了耕地生态安全评价指标体系,运用综合评价法估算了河北省 138 个县耕地生态安全状况,重点探讨其空间聚集格局差异特征,分析聚集格局产生的主要影响因素。张传华^[7]运用层次分析法、综合评价法测算了重庆市丰都县耕地生态安全水平。徐辉等^[9]从自然因素、经济因素和社会因素 3 个方面构建了耕地生态安全评价指标体系,运用组合赋权法确定评价指标权重,采用综合评价法对宁安市耕地生态安全进行定量评价。朱红波和张安录^[10]从直接影响因素、间接影响因素、社会经济影响因素 3 个方面构建耕地生态安全评价指标体系,选用层次分析法确定评价指标权重,采用综合评价法测算了中国耕地生态安全水平。总体来看,耕地生态安全评价研究尚属起步阶段,定性分析相对较多、定量研究较少;评价指标多集中于资源与环境状况,很少综合考虑人类活动、社会经济等对耕地生态安全评价的作用;评价方法较为单一,多采用综合评价法,存在一定的不足:1) 现有的评价方法通常先主观确定耕地生态安全等级取值范围并划分若干等级,然后测算评价对象的耕地生态安全水平综合分值,最后根据评价综合分值归等定级,这种方法的主观性较强^[11];2) 现有的评价方法是将分散的信息通过模型集成,再进行综合分值分级来评价研究对象的耕地生态安全综合水平,无法有效识别指标与评价等级之间的隶属程度,容易遗漏单个指标之间的一些评价信息^[12];3) 现有的评价方法可以测算出评价对象的耕地生态安全等级,但无法说明评价对象向某个等级转化的中间状态^[13]。物元分析方法通过计算单个指标与各标准等级的关联系数得到综合评价结果,能够揭示更加丰富的评价信息,有效诊断农田生态系统的安全状况,但尚未被应用到耕地生态安全评价研究中;压力-状态-响应(PSR)模型综合考虑社会、经济、资源与环境,突出了人地关系。鉴于此,本文在界定耕地生态安全内涵的基础上,构建了基于 PSR 模型的耕地生态安全评价指标体系,并引入物元分析法和改进的熵值法对我国耕地生态安全进行实证研究,诊断耕地生态安全的制约因子,为改善农田生态系统安全状况、协调人地关系、促进耕地资源可持续利用提供一定的依据。

1 耕地生态安全评价指标体系的构建

农田生态系统是人类为满足生存需要,干预自然生态系统,依靠土地资源,利用农作物的生长繁殖来获得物质产品而形成的半自然人工生态系统^[14]。耕地资源生态安全是指在一定的时间和空间尺度内,农田生态系统处于保持自身正常功能结构和满足社会经济可持续发展需要的状态;在这种状态下,农田生态系统有稳定、均衡、充裕的自然资源可供利用,生态环境处于健康状态^[10,15-16]。由此可见,耕地生态安全主要包括两个方面的含义,一是农田生态系统在人类利用耕地资源过程中,自身结构合理,功能得到正常发挥;二是人类可

以持续获得耕地资源来满足健康生存的需要^[15,17]。

PSR 概念模型是由联合国 OECD 和 UNEP 提出的^[18-19],该模型以因果关系为基础,即人类活动对环境施加一定的压力;环境改变了其原有的性质或自然资源的数量(状态);人类社会采取一定的措施对这些变化做出反应,以恢复环境质量或防止环境退化^[20-22];它突出了环境受到的压力和环境退化之间的因果关系,压力、状态、响应 3 个环节相互制约、相互影响,正是决策和制定对策措施的全过程^[20]。因此,本文借鉴 PSR 概念模型作为耕地生态安全评价指标体系的基本框架(图 1):人口增长、经济社会发展给农田生态系统带来巨大的压力(P);人类不断开发土地资源,通过社会经济活动向农田生态系统排放污染,改变了农田生态系统结构与功能状态(S);压力之下,农田生态系统在原有状态基础上做出反应,同时反馈于社会经济的发展过程;人类对农田生态系统的反馈进一步做出响应(R),进行政策调整、环境保护等,改善农田生态系统状态,使之保持良好的结构与功能,进而实现可持续发展^[22-23]。

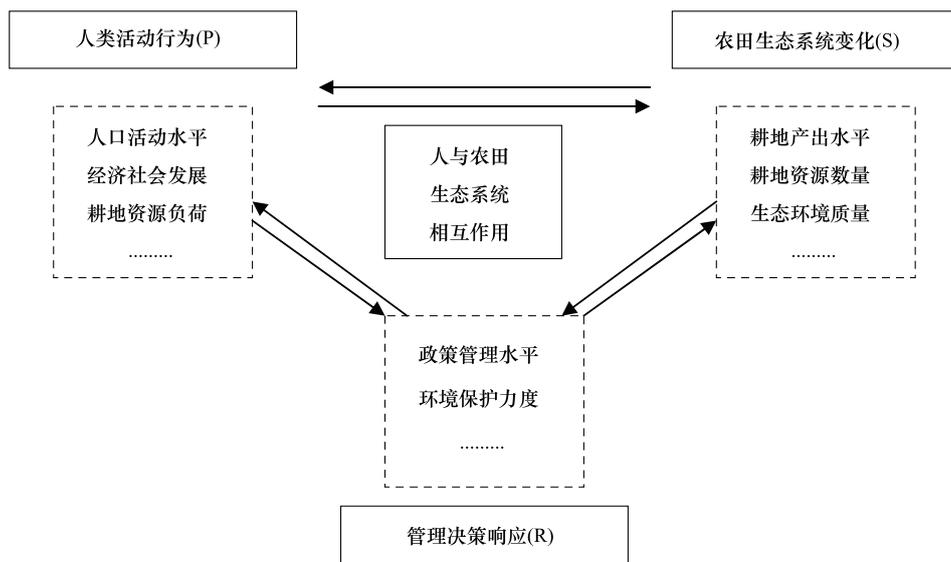


图 1 耕地生态安全评价的 PSR 模型框架

Fig. 1 PSR framework for evaluation on the cultivated land ecological security

从耕地生态安全评价指标体系的基本框架出发,遵循科学性原则(评价指标体系要建立在科学的基础上,各评价指标概念必须明确,并且有一定的科学内涵,能够衡量或反映耕地生态安全状况)、可比性原则(评价指标在一定时期内涵义、范围、方法等方面等保持相对稳定,以便于保证资料的可比性,从而有利于研究长期趋势和变化规律)、可获取性原则(评价指标尽可能建立在现有统计体系的基础上,即使现行统计体系不能满足,评价指标数据资料也能通过典型调查或抽样调查获得)、系统性原则(评价指标体系作为一个整体,要能够比较全面地反映被评价区域的特征)^[4,22],在参考相关文献的基础上^[3,5,9-10],构建了 3 个层次的耕地生态安全评价指标体系(表 1)。基于 PSR 模型的评价指标体系可以从总体上反映农田生态系统、社会经济发展目标与管理决策之间的相互依存、相互制约的关系,改变现有耕地生态安全评价研究中指标体系主要关注资源环境的状况,能更准确地反映农田生态系统的各要素之间的关系。

2 物元评价模型及经典域的确定

2.1 耕地生态安全评价的物元模型

物元分析方法是学者蔡文于 20 世纪 80 年代提出的用于解决矛盾问题的技术方法,可应用于生态环境、水资源承载力、农用地分级和土地生态水平等综合评价研究中^[13]。物元分析方法以可拓数学为基础,把现实问题概括为相容性、不相容性问题并进行转化处理;通过引入负数的概念建立关联度,可以无丢失地综合各种因素的全部信息,并能以定量的数值表示评价结果,从而较完整、客观地反映事物质量的综合水平^[12,24]。因此,本文运用物元分析的理念,建立耕地生态安全评价模型,同时采用改进的熵值法确定评价指标的权重,

可以比较全面、客观地对农田生态系统的安全状况进行诊断。根据物元分析方法和改进的熵值法构建耕地生态安全评价模型^[11,13,24]。

表 1 耕地生态安全评价指标体系

Table 1 The evaluation index system of cultivated land ecological safety

目标层 Target layer	要素层 Feature layer	指标层 Index layer	评价函数 Evaluation function
耕地生态安全 cultivated land ecological safety	压力 Pressure	x_1 人口密度/(人/km ²)	总人口除以土地总面积
		x_2 人口自然增长率/%	—
		x_3 城市化水平/%	非农业人口除以总人口
		x_4 单位耕地化肥负荷/(kg/hm ²)	化肥施用量除以耕地面积
		x_5 人均耕地面积/(hm ² /人)	耕地面积除以总人口
		x_6 单位耕地农药负荷/(kg/hm ²)	农药施用量除以耕地面积
	状态 State	x_7 人均水资源量/(m ³ /人)	—
		x_8 土地垦殖率/%	耕地面积除以土地总面积
		x_9 耕地粮食单产/(kg/hm ²)	粮食总产除以耕地面积
		x_{10} 灾害指数/%	成灾面积除以农作物播种面积
		x_{11} 水土流失程度/%	水土流失面积除以土地总面积
		x_{12} 森林覆盖率/%	—
	响应 Response	x_{13} 农民人均纯收入/(元/人)	—
		x_{14} 有效灌溉面积比/%	有效灌溉面积除以耕地面积
		x_{15} 农业机械总动力/(亿 W)	—
		x_{16} 环境污染治理投资占 GDP 比例/%	环境污染治理投资除以 GDP
		x_{17} 水土流失治理率/%	水土流失治理面积除以水土流失面积

2.1.1 确定耕地生态安全物元

耕地生态安全 N , 耕地生态安全特征 c 和特征量值 v 共同构成耕地生态安全物元。假设耕地生态安全 N 有多个特征, 它以 n 个特征 c_1, c_2, \dots, c_n 和相应的量值 v_1, v_2, \dots, v_n 描述, 则表示为:

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中, R 为 n 维耕地生态安全物元, 简记 $R = (N, c, v)$ 。

2.1.2 确定耕地生态安全的经典域

耕地生态安全的经典域物元矩阵可表示为:

$$R_{oj} = (N_{oj}, c_i, v_{oji}) = \begin{bmatrix} N_{oj} & c_1 & v_{oj1} \\ & c_2 & v_{oj2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{ojn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{oj} & c_1 & \langle a_{oji}, b_{oji} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{oj2}, b_{oj2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{ojn}, b_{ojn} \rangle \end{bmatrix} \tag{2}$$

式中, R_{oj} 称为经典域物元; N_{oj} 表示所划分耕地生态安全的第 j 个评价等级 ($j = 1, 2, \dots, m$); c_i 表示第 i 个评价指标; 区间 $\langle a_{oji}, b_{oji} \rangle$ 为 c_i 对应评价等级 j 的量值范围, 即经典域。

2.1.3 确定耕地生态安全的节域

耕地生态安全的节域物元矩阵表示为:

$$R_p = (N_p, c_i, v_{pi}) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, R_p 称为节域物元; $v_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 为节域物元关于特征 c_i 的量值范围, p 表示耕地生态安全评价等级的全体, 显然有 $\langle a_{oi}, b_{oi} \rangle \subset \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle (i=1, 2, \dots, n)$ 。

2.1.4 确定待评物元

把待评对象 N_x 的物元表示为 R_x :

$$R_x = \begin{bmatrix} N_x & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.1.5 确定关联函数及关联度

令有界区间 $X_o = [a, b]$ 的模式定义为:

$$|X_o| = |b - a| \quad (5)$$

某一点 x 到区间 $X_o = [a, b]$ 的距离为:

$$\rho(x, X_o) = \left| x - \frac{1}{2}(a + b) \right| - \frac{1}{2}(b - a) \quad (6)$$

则耕地生态安全评价指标关联函数 $K(x)$ 的定义为:

$$K(x_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(x, X_o)}{|X_o|} & , x \in X_o \\ \frac{\rho(x, X_o)}{\rho(x, X_p) - \rho(x, X_o)} & , x \notin X_o \end{cases} \quad (7)$$

式中, $\rho(x, X_o)$ 表示点 x 与有限区间 $X_o = [a, b]$ 的距离; $\rho(x, X_p)$ 表示点 x 与有限区间 $X_p = [a_p, b_p]$ 的距离; x 、 X_o 、 X_p 分别表示待评耕地生态安全物元的量值、经典域物元的量值范围和节域物元的量值范围。

2.1.6 评价指标权重确定

不同评价指标对于耕地生态安全的影响程度存在一定的差异, 为了反映这种差异性, 需要对评价指标赋以一定的权重, 确定评价指标权重的方法主要有客观赋权法和主观赋权法。为了避免人为因素的影响, 使耕地生态安全评价指标权重确定更加具有科学性, 本文采用客观赋权法中的熵值法来确定指标权重; 熵值法根据评价指标变异程度的大小来确定指标权重, 指标变异程度越大, 信息熵越少, 该指标权重值就越大, 反之越小^[25-26]。在熵值法的计算过程中, 运用了对数和熵的概念, 根据相应的约束规则, 负值和极值不能直接参与运算, 应对其进行一定的变换, 即应该对熵值法进行一些必要的改进; 改进的办法主要有两种: 功效系数法和标准化变换法, 本文采用标准化变换法对熵值法进行改进^[25]。用改进的熵值法确立评价指标权重的主要步骤如下^[26]。

(1) 评价指标标准化处理

由于不同的指标具有不同的量纲和单位, 为了消除量纲和量纲单位的不同所带来的不可公度性, 需要对指标数据用标准化法进行变换:

$$X''_{ij} = (X_{ij} - \bar{X}_j) / s_j \quad i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \quad (8)$$

式中, X''_{ij} 为标准化后的指标值, \bar{X}_j 为第 j 项指标的均值, s_j 是第 j 项指标的标准差。

(2) 为了清除负数, 进行坐标平移:

$$X'''_{ij} = H + X''_{ij} \quad (9)$$

式中, X'''_{ij} 为平移后的指标值, H 为指标平移的幅度。

(3) 计算第 j 项指标下的 i 个样本值的比重

$$P_{ij} = X'''_{ij} / \sum_{i=1}^m X'''_{ij}。$$

(4) 计算第 j 项指标的熵值

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})$$

式中, 其中 $k > 0$, \ln 为自然对数, $e_j > 0$ 。如果 X'''_{ij} 对于给定的 j 全部相等, 那么 $P_{ij} = X'''_{ij} / \sum_{i=1}^m X'''_{ij} = 1/m$, 此时 e_j 取

极大值, 即 $e_j = -k \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \ln \frac{1}{m} = k \ln m$ 。若设 $k = 1/\ln m$, $e_j = 1$, 所以 $0 \leq e_j \leq 1$ 。

(5) 计算第 j 项指标的差异性系数 g_j 。熵值越小, 指标间的差异性越大, 指标就越重要:

$$g_j = 1 - e_j$$

(6) 定义第 j 项指标的权重

$$w_{ij}: w_{ij} = g_j / \sum_{i=1}^m g_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

2.1.7 计算综合关联度并确定评价等级

待评对象 N_x 关于等级 j 的综合关联度 $K_j(N_x)$ 为:

$$K_j(N_x) = \sum_{i=1}^n w_{ij} K_j(x_i) \quad (10)$$

式中, $K_j(N_x)$ 为待评对象 N_x 关于等级 j 的综合关联度; $K_j(x_i)$ 为待评对象 N_x 的第 i 个指标关于等级 j 的单指标关联度 ($j=1, 2, \dots, n$); w_{ij} 为各评价指标的权重。

若 $K_{j_i} = \max [K_j(x_i)]$, ($j=1, 2, \dots, n$), 则待评对象第 i 指标属于耕地生态安全等级 j ; 若 $K_{j_x} = \max [K_j(N_x)]$, ($j=1, 2, \dots, n$), 则待评对象 N_x 属于耕地生态安全等级 j 。

2.2 耕地生态安全评价经典域、节域的确定

评价标准的制定是耕地生态安全评价的关键环节, 现阶段耕地生态安全评价在我国尚处于探索阶段, 还没有统一的评价标准; 耕地生态安全的评价标准不仅复杂, 而且需要因地制宜^[13]。经典域(评价标准)的确定是物元评价模型的基础, 本文依据耕地生态安全的可拓性, 将其划分为 5 个等级, 即 $N_{01} \rightarrow N_{05}$, 定性描述为: 安全 \rightarrow 较安全 \rightarrow 临界安全 \rightarrow 较不安全 \rightarrow 不安全。评价经典域的确定主要参考国家、行业及国际相关标准, 科学研究的判定标准, 研究区域背景值或本底值等^[4, 11, 13, 27], 具体取值区间见表 2。以 x_1 人口密度(人/km²)为例, 安全、较安全、临界安全、较不安全和不安全的取值区间分别为 $[0, 80)$ 、 $[80, 120)$ 、 $[120, 250)$ 、 $[250, 500)$ 、 $[500, 800)$ 。由于数据的可获得性限制, 本文主要分析全国尺度的耕地生态安全状况, 耕地生态安全评价标准的确定主要着眼于全国整体; 水土流失程度、水土流失治理率、灾害指数、耕地粮食单产等指标的评价标准在不同地理区域存在一定的差异, 在分析不同地理区域耕地生态安全水平时, 需要结合区域的实际情况进一步讨论确定评价标准。

3 结果与分析

3.1 数据来源

本研究数据主要来源于《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》、《中国农业年鉴》、《中国国土资源年鉴》和中国国土资源公报等。由于数据的可获得性限制, 本研究只选择对 1996、2003 和 2010 三年我国耕地生态安全水平进行分析。

3.2 结果分析

收集我国有关耕地生态安全评价指标数据, 经分析整理后, 按照改进的熵值法确定各评价指标的权重

(表3)。根据1996年、2003年、2010年各评价指标的具体量值,建立我国耕地生态安全水平待评物元矩阵 R_{1996} 、 R_{2003} 、 R_{2010} ,将待评物元的数据输入物元模型,得到耕地生态安全评价指标关联度与综合关联度的测算结果(表4,表5)。表4中 $K_j(x_i)$ ($i=1,2,\dots,17$)即第 i 个指标对应各评价等级的关联度,以评价指标人口密度(人/ km^2) (x_1)为例,2010年其对应5个评价等级的关联度分别为 $K_1(x_1) = -0.2994$ 、 $K_2(x_1) = -0.1235$ 、 $K_3(x_1) = 0.1514$ 、 $K_4(x_1) = -0.4413$ 、 $K_5(x_1) = -0.7206$,因此可以判定该指标属于级别 N_{03} ,即“临界安全”。同理,可以得到其他指标评价结果(表4)。

表2 耕地生态安全评价指标经典域、节域的取值范围

Table 2 The valuing range on the classic field and section domain of evaluation index

评价指标 Evaluation index	经典域取值区间 Classic domain Scale					节域取值区间 Section domain Scale
	N_{01}	N_{02}	N_{03}	N_{04}	N_{05}	
x_1	[0,80)	[80,120)	[120,250)	[250,500)	[500,800)	[0,800)
x_2	[0,5)	[5,10)	[10,15)	[15,20)	[20,50)	[0,50)
x_3	[70,100)	[40,70)	[20,40)	[10,20)	[0,10)	[0,100)
x_4	[0,275)	[275,350)	[350,420)	[420,600)	[600,900)	[0,900)
x_5	[0.15,0.2)	[0.115,0.15)	[0.095,0.115)	[0.053,0.095)	[0,0.053)	[0,0.2)
x_6	[0,4)	[4,9)	[9,11)	[11,15)	[15,20)	[0,20)
x_7	[2500,3500)	[2200,2500)	[1800,2200)	[1000,1800)	[300,1000)	[300,3500)
x_8	[33,50)	[21,33)	[13,21)	[9,13)	[0,9)	[0,50)
x_9	[4500,5500)	[3500,4500)	[2000,3500)	[1000,2000)	[0,1000)	[0,5500)
x_{10}	[0,10)	[10,20)	[20,30)	[30,45)	[45,60)	[0,60)
x_{11}	[5,15)	[15,25)	[25,35)	[35,50)	[50,70)	[5,70)
x_{12}	[30,50)	[20,30)	[15,20)	[5,15)	[0,5)	[0,50)
x_{13}	[6000,8000)	[4000,6000)	[2000,4000)	[1000,2000)	[0,1000)	[0,8000)
x_{14}	[50,100)	[40,50)	[30,40)	[20,30)	[10,20)	[10,100)
x_{15}	[8000,12000)	[6000,8000)	[4000,6000)	[2500,4000)	[0,2500)	[0,12000)
x_{16}	[3.00,5.00)	[1.50,3.00)	[1.00,1.50)	[0.10,1.00)	[0,0.1)	[0,5)
x_{17}	[60,100)	[30,60)	[20,30)	[10,20)	[0,10)	[0,100)

N_{01} — N_{05} 表示所划分耕地生态安全的评价等级

表3 耕地生态安全评价指标权重

Table 3 The weight for evaluation index of cultivated land ecological security

目标层 Target layer	要素层 Feature layer	指标层 Index layer	权重 Weight
耕地生态安全 Cultivated land ecological safety	压力 Pressure	x_1 人口密度/(人/ km^2)	0.0654
		x_2 人口自然增长率/%	0.0540
		x_3 城市化水平/%	0.0629
		x_4 单位耕地化肥负荷/(kg/hm^2)	0.0586
		x_5 人均耕地面积/(hm^2 /人)	0.0557
		x_6 单位耕地农药负荷/(kg/hm^2)	0.0572
	状态 State	x_7 人均水资源量/(m^3 /人)	0.0553
		x_8 土地垦殖率/%	0.0535
		x_9 耕地粮食单产/(kg/hm^2)	0.0579
		x_{10} 灾害指数/%	0.0661
		x_{11} 水土流失程度/%	0.0647
		x_{12} 森林覆盖率/%	0.0528
	响应 Response	x_{13} 农民人均纯收入/(元/人)	0.0533
		x_{14} 有效灌溉面积比/%	0.0614
		x_{15} 农业机械总动力/(亿 W)	0.0589
		x_{16} 环境污染治理投资占 GDP 比例/%	0.0583
		x_{17} 水土流失治理率/%	0.0640

$K_j(N_x)$ 是指多指标加权求和的综合关联度,将耕地生态安全各评价指标对应的关联度与其权重输入式 (10) 可以得到综合关联度。2010 年耕地生态安全水平对应 5 个评价等级的综合关联度分别为 $K_1(N_{2010}) = -0.2623$ 、 $K_2(N_{2010}) = -0.0735$ 、 $K_3(N_{2010}) = -0.1494$ 、 $K_4(N_{2010}) = -0.2595$ 、 $K_5(N_{2010}) = -0.4704$, 可以判定该年耕地生态安全水平属于级别 N_{02} , 即“较安全”。同理可知,1996 年、2003 年耕地生态安全等级分别为“临界安全”、“临界安全”(表 5)。从表 5 可知, $K_3(N_{2003}) > K_3(N_{1996})$, 由此可见虽然 1996 年与 2003 年耕地生态安全等级均为“临界安全”,但 2003 年对应的 N_{03} 在 $[0, 1]$ 区间内更接近于标准上限,即耕地生态安全水平较 1996 年稍高。从耕地生态安全的变化来看,1996—2010 年我国农田生态系统的安全状况有所改善,耕地生态安全等级在提升,耕地生态安全水平有变好的趋势。

表 4 耕地生态安全评价指标关联度

Table 4 The degree of association for evaluation index of cultivated land ecological safety

关联度 Degree of association	2010 年					等级 Grade	2003 年	1996 年
	N_{01}	N_{02}	N_{03}	N_{04}	N_{05}		等级 Grade	等级 Grade
$K_j(x_1)$	-0.2994	-0.1235	0.1514	-0.4413	-0.7206	临界安全	临界安全	临界安全
$K_j(x_2)$	0.0420	-0.0420	-0.5210	-0.6807	-0.7605	安全	较安全	临界安全
$K_j(x_3)$	-0.2864	0.3317	-0.1661	-0.3748	-0.4444	较安全	较安全	临界安全
$K_j(x_4)$	-0.2910	-0.1943	-0.0768	0.2049	-0.2441	较不安全	临界安全	较安全
$K_j(x_5)$	-0.3948	-0.2106	-0.0444	0.1004	-0.2939	较不安全	临界安全	临界安全
$K_j(x_6)$	-0.6526	-0.4947	-0.3824	0.1396	-0.0913	较不安全	临界安全	较安全
$K_j(x_7)$	-0.1375	0.3680	-0.0849	-0.3002	-0.5242	较安全	临界安全	临界安全
$K_j(x_8)$	-0.6157	-0.3962	-0.0246	0.0799	-0.2250	较不安全	较不安全	临界安全
$K_j(x_9)$	-0.0106	0.0108	-0.4946	-0.7112	-0.7754	较安全	临界安全	较安全
$K_j(x_{10})$	-0.3633	-0.1239	0.3293	-0.2236	-0.4824	临界安全	较不安全	较不安全
$K_j(x_{11})$	-0.4084	-0.2757	-0.0662	0.1526	-0.2825	较不安全	较不安全	较不安全
$K_j(x_{12})$	-0.3213	0.0360	-0.0174	-0.2084	-0.4300	较安全	临界安全	临界安全
$K_j(x_{13})$	-0.0375	0.0405	-0.4798	-0.6532	-0.7027	较安全	临界安全	较不安全
$K_j(x_{14})$	-0.0107	0.0426	-0.1948	-0.3309	-0.4277	较安全	较安全	临界安全
$K_j(x_{15})$	0.3195	-0.3195	-0.5463	-0.6598	-0.7135	安全	较安全	较不安全
$K_j(x_{16})$	-0.4471	0.1057	-0.0873	-0.2842	-0.4845	较安全	临界安全	较不安全
$K_j(x_{17})$	-0.5028	-0.0055	0.0165	-0.2479	-0.3993	临界安全	临界安全	较不安全

从单个评价指标来看,我国耕地生态安全评价指标相对应各个水平等级的关联度计算结果显示,1996—2010 年大部分指标发生等级跳跃。根据单个评价指标提供的分异信息,农业机械总动力、灾害指数、森林覆盖率、农民人均纯收入、有效灌溉面积比、环境污染治理投资占 GDP 比例、水土流失治理率等指标出现不同等级的上升趋势,说明以上指标对我国耕地生态安全水平的提升有重要的贡献。研究发现:1996 年以来我国经济持续发展,农民收入水平不断提高,耕地生态保护意识不断强化;不断加强农田基础设施建设,积极开展农村土地整治,加大中低产田改造力度,有效改善农业生产条件;持续加大农业科技投入,加强农业技术推广普及,积极开展农民科技培训,着力提高耕地粮食单产;加大生态环境保护建设的力度,有效加强水土流失治理,环境污染治理投资比例不断提高,水土流失治理率持续增加,促进了农田生态系统安全状况改善。

表 5 耕地生态安全评价结果

Table 5 The evaluation results of cultivated land ecological safety

综合关联度 Degree of association	N_{01}	N_{02}	N_{03}	N_{04}	N_{05}	级别 Grade
$K_j(N_{1996})$	-0.4202	-0.1627	0.0653	-0.1280	-0.4149	临界安全
$K_j(N_{2003})$	-0.3827	-0.1069	0.0733	-0.1596	-0.4188	临界安全
$K_j(N_{2010})$	-0.2623	-0.0735	-0.1494	-0.2595	-0.4704	较安全

$0 > K_2(N_{2010}) > K_3(N_{2010})$, 说明虽然 2010 年我国耕地生态安全等级为“较安全”, 但不完全符合 N_{02} 的标准, 具备转化为 N_{02} 的条件, “较安全”水平不太稳定; 为了促使 2010 年的耕地生态安全等级稳定在“较安全”状态, 仍需进一步改善农田生态系统的安全状况。根据单个指标提供的分异信息, 1996—2010 年单位耕地化肥负荷、人均耕地面积、单位耕地农药负荷、土地垦殖率等指标呈现等级下降趋势, 水土流失程度改善幅度较小, 这些指标成为制约我国农田生态系统安全状况改善的因素。从单个指标评价结果来看, 2010 年我国耕地生态安全有 14 个指标未达到“较安全”, 而单位耕地化肥负荷、人均耕地面积、单位耕地农药负荷、土地垦殖率、水土流失程度等指标只达到“较不安全”等级。虽然我国一直致力于水土流失的综合治理, 但由于易水土流失区域较大, 且存在反复的现象, 目前水土流失程度仍较大, 还需加大治理力度, 有效保护土地资源。随着经济社会的发展, 我国固定资产投资增长速度明显提升、国内生产总值持续增长, 但这种高速增长是以资源高消耗为代价的, 建设用地规模不断扩大, 耕地面积持续减少, 土地集约利用水平较低。与此同时, 单位面积耕地农药施用量、单位面积耕地化肥施用量不断增加。

4 结论与讨论

(1) 通过对 1996—2010 年我国耕地生态安全评价的实证分析表明, PSR 模型从社会经济与资源环境有机统一的观点出发, 将资源环境、人类活动、社会经济等联系起来并考虑它们之间的相互作用, 改变现有研究主要关注资源环境的状况, 能更准确地反映农田生态系统的各要素之间的关系; 基于 PSR 模型的评价指标体系能够实现对耕地生态安全的综合评价。

(2) 传统综合评价法中, 较少揭示单个指标的评价信息, 评价结果不会显示超出等级外的中间状态, 而物元分析法能够获得单个指标的评价结果, 揭示各评价指标的水平状态, 在此基础上得到的综合评价结果信息更丰富, 能够显示综合水平的中间转化状态(如 2010 年耕地生态安全评价的综合结果), 有效挖掘耕地生态安全存在的具体问题; 熵值法根据评价指标间的离散程度, 用信息熵来确定评价指标的权重, 可以克服一些主观赋值法所带来的结果不稳定的现象, 在一定程度上改善和提高了评价的质量; 物元分析法和熵值法适用于耕地生态安全评价, 有利于提高耕地生态安全水平。

(3) 研究表明, 1996—2010 年我国耕地生态安全水平不断提高, 农田生态系统安全状况有所改善, 安全等级经历了“临界安全—较安全”的演变历程, 但 2010 年“较安全”等级关联度很弱; 单位耕地化肥负荷、人均耕地面积、单位耕地农药负荷、土地垦殖率、水土流失程度等是制约农田生态系统安全状况改善的关键因素。因此, 应进一步转变经济发展方式, 推动经济结构战略性调整, 优化产业升级布局, 加强土地利用监督管理, 提高土地资源市场化配置程度, 形成节约集约用地的“倒逼机制”, 有效增加土地利用集约度, 降低经济增长对土地资源的过度消耗; 大力发展绿色农业, 加快推进农业科技创新, 合理施用农药、化肥, 减少对耕地资源的污染; 积极开展农村土地整治, 加强高标准基本农田建设, 增加有效耕地数量、提高耕地资源质量; 持续增加环境保护投入, 加大环境治理力度, 有效控制水土流失程度, 持续提升耕地生态安全等级。

(4) 本文作为一种研究方法的探讨, 在构建耕地生态安全评价指标体系的基础上, 尝试性将物元分析方法和熵值法运用到耕地生态安全评价中, 基本达到预期的研究目的。由于此类研究尚不多, 耕地生态安全评价的指标选择、经典域的确定, 物元分析方法中的关联函数的普适性等问题有待深入研究。

References:

- [1] Wang Q, Jin X B, Zhou Y K, Ayituexun S. Spatial differences and its driving factors of emery indices on cultivated land eco-economic system in Hebei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 247-256.
- [2] Jiang G H, Zhang F R, Kong X B, Zhao H F, Zhou D Y. The different levels and the protection of multi-functions of cultivated land. *China Land Science*, 2011, 25(8): 42-47.
- [3] Wang Q, Jin X B, Zhou Y K. Cultivated land ecological security and spatial aggregation pattern in Hebei Province. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(8): 338-344.
- [4] He B B. Study on Regional Cultivated Land Resources Security [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.

- [5] Rasul G, Thapa G. Sustainability analysis of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh. *World Development*, 2003, 31(10): 1721-1741.
- [6] Beesley K B, Ramsey D. Agricultural land preservation // *International Encyclopedia of Human Geography*. Oxford: Elsevier Press, 2009, 25(6): 65-69.
- [7] Zhang C H. A Study of Cultivated Land Ecological Security Appraisal [D]. Chongqing: Southwest University, 2006.
- [8] Zhu H B. Characters and influencing factors of cultivated land resource ecological security in China. *Research of Agricultural Modernization*, 2008, 29(2): 194-197.
- [9] Xu H, Lei G P, Cui D P, Zhao H B. Study on evaluation for ecological security of cultivated land — A case study of Nin'an city in Heilongjiang Province. *Research of Soil and Water Conservation*, 2011, 18(6): 180-184.
- [10] Zhu H B, Zhang A L. Analysis on spatial-temporal difference in ecological security of cultivated resources in China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(6): 754-758.
- [11] 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.
- [12] Cai W. Matter Element Model and Its Application. Beijing: Science Press, 1994.
- [13] Zhang X B, Lei G P, Yuan L, Li L, Tian Q C. Evaluation on ecological security of land based on entropy weight and matter-element model: a case study of Heilongjiang Province. *China Population, Resources and Environment*, 2009, 19(1): 88-93.
- [14] Bai L H, Wang W, Zhang Y. Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(7): 2033-2039.
- [15] Xie G L. Research on the farmland ecological safety in Guangzhou. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(22): 152-154.
- [16] Feng Y F. Analysis on cultivated land ecological security in the past 20 years in Guangdong Province. *Environmental Protection*, 2006, (17): 53-55.
- [17] Cai W M, Tang H J, Chen Y Q, Zhang F R. Framework of conception and option of health assessment index in land sue system. *China Population, Resources and Environment*, 2004, 14(1): 31-35.
- [18] Fao Proceedings. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development // *Proceedings of the Workshop Organized by the Land and Water Development Division FAO Agriculture Department*, 1997, (2): 5-5.
- [19] Walz R. Development of environmental indicator systems: experiences from Germany. *Environmental Management*, 2000, 25(6): 613-623.
- [20] Yan L, Wang J K, Huang H. An assessment of ecosystem health in Dongxi River Basin based on PSR framework. *Resources Science*, 2008, 30(1): 107-113.
- [21] Mai S Z, Xu S J, Pan Y J. Application of the PSR model to the evaluation of wetland ecosystem health. *Tropical Geography*, 2005, 25(4): 317-321.
- [22] Qiu L. Study on River Basin Ecosystem Health Diagnosing and Early-Warning Based on Immune Mechanism [D]. Nanjing: Hehai University, 2006.
- [23] Gao S, Huang X J. Performance evaluation of eco-construction based on PSR model in China from 1953 to 2008. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(2): 341-350.
- [24] Luo W B, Wu C F, Wu Y J. Assessment on ecological level of urban land based on matter element analysis — a case study of Binzhou city in Shandong Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(7): 3818-3827.
- [25] Zheng H W, Liu Y Z, Wang X R. Dynamic econometric analysis of the relationship between urbanization and land intensive utilization in China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(9): 1029-1034.
- [26] Tao X Y, Zhang R J, Xu H, Zhu J L. Assessment of city's sustainable development based on improved entropy method. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(5): 38-41.
- [27] Zheng H W, Zhang R, Liu Y Z. Health diagnosis on land use system based on matter element analysis. *China Land Science*, 2012, 26(11): 33-39.

参考文献:

- [1] 王千, 金晓斌, 周寅康, 阿依吐尔逊·沙木西. 河北省耕地生态经济系统能值指标空间分布差异及其动因. *生态学报*, 2011, 31(1): 247-256.
- [2] 姜广辉, 张凤荣, 孔祥斌, 赵华甫, 周丁扬. 耕地多功能的层次性及其多功能保护. *中国土地科学*, 2011, 25(8): 42-47.
- [3] 王千, 金晓斌, 周寅康. 河北省耕地生态安全及空间聚集格局. *农业工程学报*, 2011, 27(8): 338-344.
- [4] 何蓓蓓. 区域耕地资源安全研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2009.

- [7] 张传华. 耕地生态安全评价研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [8] 朱红波. 我国耕地资源生态安全的特征与影响因素分析. 农业现代化研究, 2008, 29(2): 194-197.
- [9] 徐辉, 雷国平, 崔登攀, 赵宏波. 耕地生态安全评价研究: 以黑龙江省宁安市为例. 水土保持研究, 2011, 18(6): 180-184.
- [10] 朱红波, 张安录. 我国耕地资源生态安全的时空差异分析. 长江流域资源与环境, 2007, 16(6): 754-758.
- [11] 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.
- [12] 蔡文. 物元模型及其应用. 北京: 科学出版社, 1994.
- [13] 张小虎, 雷国平, 袁磊, 李辉, 田庆昌. 黑龙江省土地生态安全评价. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(1): 88-93.
- [14] 白琳红, 王卫, 张玉. 河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价. 生态学报, 2012, 32(7): 2033-2039.
- [15] 谢戈力. 广州市耕地资源生态安全研究. 广东农业科学, 2011, 38(22): 152-154.
- [16] 冯艳芬. 广东省近 20 年耕地生态安全探析. 环境保护, 2006, (17): 53-55.
- [17] 蔡为民, 唐华俊, 陈佑启, 张凤荣. 土地利用系统健康评价的框架与指标选择. 中国人口·资源与环境, 2004, 14(1): 31-35.
- [20] 颜利, 王金坑, 黄浩. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价. 资源科学, 2008, 30(1): 107-113.
- [21] 麦少芝, 徐颂军, 潘颖君. PSR 模型在湿地生态系统健康评价中的应用. 热带地理, 2005, 25(4): 317-321.
- [22] 仇蕾. 基于免疫机理的流域生态系统健康诊断预警研究 [D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [23] 高珊, 黄贤金. 基于 PSR 框架的 1953-2008 年中国生态建设成效评价. 自然资源学报, 2010, 25(2): 341-350.
- [24] 罗文斌, 吴次芳, 吴一洲. 城市土地生态水平物元分析评价——以山东省滨州市为例. 生态学报, 2009, 29(7): 3818-3827.
- [25] 郑华伟, 刘友兆, 王希睿. 中国城镇化与土地集约利用关系的动态计量分析. 长江流域资源与环境, 2011, 20(9): 1029-1034.
- [26] 陶晓燕, 章仁俊, 徐辉, 朱九龙. 基于改进熵值法的城市可持续发展能力的评价. 干旱区资源与环境, 2006, 20(5): 38-41.
- [27] 郑华伟, 张锐, 刘友兆. 基于物元分析的土地利用系统健康诊断. 中国土地科学, 2012, 26(11): 33-39.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 16 Aug. ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advances in theoretical issues of species distribution models LI Guoqing, LIU Changcheng, LIU Yuguang, et al (4827)
- A review on rare earth elements in farmland ecosystem JIN Shulan, HUANG Yizong (4836)
- A review on the mechanism of attachment and metamorphosis in barnacle cyprids ... RAO Xiaozhen, LIN Gang, XU Youqin (4846)
- Decision making in group living animals WANG Chengliang, WANG Xiaowei, QI Xiaoguang, et al (4857)

Autecology & Fundamentals

- Influence of monsoon's advancing, retreating and conversion on migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China
..... BAO Yunxuan, HUANG Jinying, XIE Xiaojin, et al (4864)
- Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves
..... QI Zhanhui, WANG Jun, MAO Yuze, et al (4878)
- Habitat selection of Whooper Swan at Bayanbulak in Xinjiang of China DONG Chao, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (4885)
- The genetic structure of endemic plant *Pteroceltis tatarinowii* by ISSR markers
..... LI Xiaohong, ZHANG Hui, WANG Deyuan, et al (4892)
- Genetic analysis of salt tolerance of F₁ progenies between chrysanthemum and the intergeneric hybrid of chrysanthemum and
crossostephium XU Lili, CHEN Fadi, CHEN Sumei, et al (4902)
- Indicative effect of the anatomical structure of plant photosynthetic organ on WUE in desert region
..... ZHANG Haina, SU Peixi, LI Shanxia, et al (4909)
- Effects of water on photosynthesis in different age of tomato leaves CHEN Kaili, LI Jianming, HE Huiqiang, et al (4919)
- Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi
..... BAI Kundong, JIANG Debing, WAN Xianchong (4930)
- Effect of fertilization on the dynamic of soil N₂O fluxes in Chinese chestnut stands
..... ZHANG Jiaojiao, LI Yongfu, JIANG Peikun, et al (4939)
- Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil
..... LIU Xiyu, WANG Zhongqiang, ZHANG Xinyu, et al (4949)

Population, Community and Ecosystem

- Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China MU Changcheng, WANG Biao, LU Huicui, et al (4956)
- Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal
Landsat TM images; a case study of the Yingxiu-Wenchuan section XU Jiceng, TANG Bin, LU Tao (4966)
- A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire
disturbance NI Baolong, LIU Zhaogang (4975)
- Structure of macrozoobenthos in lakes along the Yangtze River and relationships with environmental characteristics
..... CAI Yongjiu, JIANG Jiahu, ZHANG Lu, et al (4985)
- The research on the age structure and sex ratio of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (5000)
- Mathematical model of insect Logistic increasing and economic threshold based on sex pheromone trap
..... ZHAO Zhiguo, RONG Erhua, ZHAO Zhihong, et al (5008)
- Community composition and phototaxis of insects in tea plantations in Southern Jiangshu Province during late fall
..... ZHENG Yingcha, NIU Yuqun, CUI Guiling, et al (5017)
- Effect of agricultural land use types on soil mite communities in north China
..... HAN Xuemei, LI Dandan, LIANG Zian, et al (5026)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Exploring the space syntax under negative planning; a case study of landscape connectivity based on the behaviors of avian edge
species YANG Tianxiang, ZHANG Weiqian, FAN Zhengqiu, et al (5035)
- Temporal-spatial variation of heterotrophic respiration in alpine area of southwestern China
..... ZHANG Yuandong, PANG Rui, GU Fengxue, et al (5047)

- Variability of soil organic matter and its main factors in Jiangsu Province ZHAO Mingsong, ZHANG Ganlin, LI Decheng, et al (5058)
- Spatial distribution and change of vegetation carbon in Northwest Guangxi, China on the basis of vegetation inventory data ZHANG Mingyang, LUO Weijian, LIU Huiyu, et al (5067)
- Resource and Industrial Ecology**
- Urban metabolism process based on emergy synthesis; a case study of Beijing LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (5078)
- Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao (5090)
- The effect of super absorbent polymer on the growth and nutrition absorption of *Festuca arundinacea* L. on an improved gangue matrix ZHAO Zhifeng, WANG Dongmei, ZHAO Tingning (5101)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The effect of distance on the ecological conservation value; a case study of Sanjiang Plain Wetland AO Changlin, CHEN Jinting, JIAO Yang, et al (5109)
- Research Notes**
- Scaling effect on spatial variation of soil organic carbon in mountainous areas of Guangdong Province JIANG Chun, WU Zhifeng, QIAN Lexiang, et al (5118)
- The changes of hair length and pelage thermal insulation in captive female squirrel, *Sciurus vulgarize manchuricus*, during autumn molting period JING Pu, ZHANG Wei, HUA Yan, et al (5126)

《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 王克林 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16期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 16 (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

主编 王如松
主管 中国科学技术协会
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

出版 科学出版社
地址:北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

印刷 北京北林印刷厂
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@espg.net

订购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第8013号
许可证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@espg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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