

## 基于三角模型的关中 5 市土地生态安全区域差异分析

黄美菱<sup>1</sup>, 黄露滴<sup>1</sup>, 龙飞利<sup>2</sup> (1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西西安 710054; 2. 苍溪县城郊中学, 四川苍溪 628400)

**摘要** 选取关中平原 5 市为研究区, 根据其土地资源利用现状和经济发展特点, 以 2009、2012 和 2015 年《陕西统计年鉴》《中国城市统计年鉴》为基础数据, 从经济可行性、社会可接受性和资源环境合理性三方面选取 16 项评价指标, 进行标准化处理, 运用熵权法确定权重, 构建土地生态安全评价指标体系, 计算综合指数。运用 Grapher 软件从 3 个时间断面构建三角模型, 对关中平原 5 市土地生态安全进行现状和趋势分析。结果表明: 三角模型能够客观清晰地反映其现状和变化趋势; 关中平原五市总体呈现出经济可行性指数和资源环境合理性指数不断增加, 社会可接受性指数降低; 土地生态安全状态向较好的方向发展, 西安市由弱安全转向一般安全, 其余 4 市由不安全转向弱安全; 区域内部发展不均衡, 西安市与其余 4 市差距不断加大。

**关键词** 三角模型; 土地生态安全; 状态及趋势; 关中平原

**中图分类号** X 826; F301 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)05-0062-04

## Regional Difference Analysis of the Five Cities of Guanzhong about the Land Ecological Security Based on the Triangle Model

HUANG Mei-ling<sup>1</sup>, HUANG Lu-di<sup>1</sup>, LONG Fei-li<sup>2</sup> (1. College of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054; 2. Chengjiao Middle School in Cangxi, Cangxi, Sichuan 628400)

**Abstract** Taking five cities of Guanzhong Plain as the research area according to the present situation of the land resources and the characteristics of economic development, based on *Shanxi Statistical Yearbook* and *China City Statistical Yearbook* in 2009, 2012 and 2015, selected 16 indexes to build land ecological security evaluation index system from the economic feasibility, social acceptability and resource environment rationality through standardizing, determine the weight, and calculating comprehensive index by some mathematical formulas. Building a triangle mode by the software of Grapher from three years to analyze land ecological security status and trend on the Guanzhong Plain. The results showed that: The triangle model could objectively reflect its present situation and the trend clearly; It presented the economic feasibility and rationality resources environment index increased, and social acceptability decreased; The land ecological security status development to the great direction, Xi'an form weak security to general safety, and the rest of the 4 cities from unsafe to weak security; The regional internal development uneven, there was a great gap in Xi'an and other 4 cities.

**Key words** Triangle mode; Eco-security of land; Status and trend; Guanzhong Plain

随着人类社会经济迅速发展, 人类对自然资源的索取大于其承载力, 不注重对资源环境的保护, 由此就引发了一系列的土地生态安全问题, 例如环境污染、水土流失等问题<sup>[1]</sup>。土地生态安全指某一区域在一定的时间内, 土地生态系统能够保持本身结构稳定和不受干扰的状态<sup>[2]</sup>。土地生态系统的安全与整个生态系统的安全密切相关, 是社会经济健康发展的关键。土地生态安全问题日益明显, 受到社会各界的关注<sup>[3]</sup>。对某一区域土地生态安全进行评价, 能够了解该区域土地利用是否合理, 为进一步研究土地生态安全和土地利用规划提供依据<sup>[4]</sup>。

综合目前土地生态安全评价的方法, 主要有综合指数法、生态足迹法、BP 神经网络法、物元分析法等<sup>[5-6]</sup>。张锐等<sup>[7]</sup>从土地利用方面建立 PSR 模型对耕地生态安全进行物元分析; 张松男等<sup>[8]</sup>采用物元法构建评价指标体系对资源型城市进行土地生态评价; 裴婷婷等<sup>[9]</sup>运用 PSR 模型和层次分析法、综合指数法对白银市土地生态安全进行评价; 杜忠潮等<sup>[10]</sup>从自然、社会和人文三方面选取指标构建评价体系, 利用主成分分析法对陕西省土地生态安全进行分析。上述研究为土地生态安全研究现状提供了一些理论参考, 但是土地生态安全状况在不断变化, 不能揭示出其演变趋势。该研究通过建立三角模型, 构建关中平原五市土地生态安全评价体系, 以此分析研究关中平原土地生态安全的状态和趋势。

关中平原是陕西经济发展的重要区域, 经历新中国成立

以来 60 多年的建设, 如今是西北地区比较优势区域<sup>[11]</sup>。在丝绸之路经济带等国家战略下, 关中地区的经济迅猛发展。目前城市化和工业化进程不断加快, 土地结构和布局也发生了相应的变化, 势必对土地生态安全造成一定影响。关中地区土地生态安全关系到整个西北地区社会经济的发展, 研究结果对该区域经济、城市持续健康发展有重要的指导和借鉴意义。

## 1 数据来源与研究方法

**1.1 研究区概况** 关中平原位于渭北山系和秦岭之间, 面积 3.6 万 km<sup>2</sup>, 海拔 323~800 m。属于温带季风气候, 年平均气温 6~13℃, 年降水量 500~800 mm, 冬春季降水少, 春旱和伏旱天气频繁。关于平原是我国人口密集区之一, 人口密度超过 500 人/km<sup>2</sup>。2014 年末道路面积 114.26 km<sup>2</sup>, 绿地面积 266.32 km<sup>2</sup>, 工业废水排放量 20 344 万 t, 工业二氧化硫排放量 305 013 万 t。人类经济活动的加快给土地生态环境带来巨大压力, 而土地生态环境持续健康发展对关中平原社会可持续发展有着重要意义, 因此很有必要研究关中平原的土地生态安全问题。

**1.2 数据来源** 数据主要来源于 2009、2012 和 2015 年《陕西统计年鉴》<sup>[12]</sup>, 以及 2009、2012 和 2015 年《中国城市统计年鉴》<sup>[13]</sup>。

## 1.3 研究方法

**1.3.1 三角模型** 三角模型最初是由美国农业部在确定土壤类型时提出的, 在环境科学和区域经济等领域得到广泛应用<sup>[14]</sup>。三角模型对 3 个相互联系的体系进行可视化的描述, 不仅能够反映现状, 还能够揭示其演变趋势。土地生态系统

是自然、经济和社会相互作用的结果<sup>[15]</sup>,保证土地生态安全的目标是建立和维护完善的土地生态系统,因此研究土地生态安全必须考虑土地利用的自然、经济、社会效益<sup>[16]</sup>。该研究利用三角模型的优势,结合关中平原土地利用的特点,选取经济可行性指数(EI)、非社会可接受性指数(NSI)和非资源环境合理性指数(NREI)3组相互关联的指数构建评价体系,对关中平原西安、铜川、宝鸡、咸阳和渭南等5市的土地生态安全状态和趋势进行评价。

图1是通过Grapher软件构建的三角图,此三角形为等边三角形。经济可行性指数(EI)位于三角形顶点,非社会可接受性指数(NSI)以及非资源环境合理性指数(NREI)分别位于两个底点。X轴表示非资源合理性指数(NREI),Y轴表示经济可行性指数(EI),Z轴表示非社会可接受性指数(NSI)。3个轴沿逆时针方向从0~1.0分别被平分为5个指数范围,0~0.2表示非常低,0.2~0.4表示较低,0.4~0.6表示中等,0.6~0.8表示较高,0.8~1.0表示非常高(图1、表1),三角形从上到下又被分成5个区域,分别表示5种不

同的土地生态安全状态水平。在三角图中根据3个指数的变化情况可以确定7种土地生态安全变化趋势(图1、表2)。

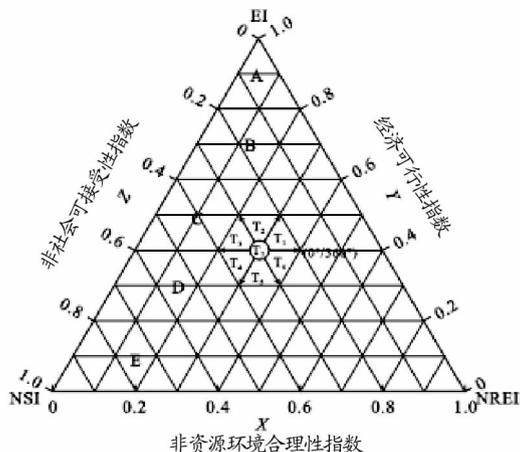


图1 三角模型示意

Fig.1 Triangle mode

表1 土地生态安全状态评价

Table 1 Land ecological security assessment

区域 Area	指标数值范围 Indicator value range			相对指数值 Relative index value			安全状态 Safe condition
	EI	NSI	NREI	EI	NSI	NREI	
A	0.8~1.0	0~0.2	0~0.2	非常高	非常低	非常低	非常安全
B	0.6~0.8	0.2~0.4	0.2~0.4	较高	非常低-较低	非常低-较低	很安全
C	0.4~0.6	0.4~0.6	0.4~0.6	中等	非常低-中等	非常低-中等	一般安全
D	0.2~0.4	0.6~0.8	0.6~0.8	较低	非常低-较高	非常低-较高	弱安全
E	0~0.2	0.8~1.0	0.8~1.0	非常低	非常低-非常高	非常低-非常高	不安全

表2 土地生态安全趋势评价

Table 2 Land ecological security trend evaluation

趋势 Trend	变化范围 Variation range	指数变化的相对方向 Relative direction of the index change			相对安全趋势 Relative safety trends
		EI	NSI	NREI	
T <sub>1</sub>	0°~60°	↑	↓	↑	一般安全
T <sub>2</sub>	60°~120°	↑	↓	↓	很安全
T <sub>3</sub>	120°~180°	↑	↑	↓	一般安全
T <sub>4</sub>	180°~240°	↓	↑	↓	弱安全
T <sub>5</sub>	240°~300°	↓	↑	↑	不安全
T <sub>6</sub>	300°~360°	↓	↓	↑	弱安全
T <sub>7</sub>	无变化	-	-	-	原始状态

注:“↑”表示值增加,“↓”表示值减小,“-”表示值不变

Note:“↑”stands for the value increase,“↓”stands for the value decrease,“-”stands for the value unchanged

**2.2 评价指标体系** 根据可操作性原则和数据可获得性原则选取评价指标<sup>[17-19]</sup>,根据参考文献[20]和关中平原土地利用的特点,从经济可行性、社会可接受性、资源环境合理性选取16个评价指标。经济可行性选取人均GDP、经济密度、第三产业占GDP比重等指标,社会可接受性选取人口密度、城市化水平等指标,资源环境合理性选取建设用地比重、固废综合利用等指标(表3)。

### 2.3 数据处理

**2.3.1 标准化处理。**在不同的领域中,指标的评价体系具有不同的量纲和数量级,通过标准化处理减小误差。

正向指标:

$$X_{ij} = x_{ij} / \max(x_{ij}) \quad (1)$$

负向指标:

$$X_{ij} = \min(x_{ij}) / x_{ij} \quad (2)$$

式中, $X_{ij}$ 表示第*i*个准则层第*j*个指标标准值, $i=1,2,3,j=1,2,\dots,16;x_{ij}$ 表示某指标原始值; $\max(x_{ij})$ 表示标准化前某项指标最大值; $\min(x_{ij})$ 表示标准化前某项指标最小值。

表3 土地生态安全评价指标体系及权重

Table 3 Index system and weight of land ecological security assessment

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	指标层 Indicator layer	权重 Weight
土地生态安全评价 Land ecological security assessment	经济可行性	人均GDP(元/人)	0.202 5
		经济密度(万元/km <sup>2</sup> )	0.110 2
		地均固定资产投资(万元/km <sup>2</sup> )	0.090 6
	社会可接受性	第三产业占GDP比重(%)	0.186 7
		人均可支配收入(元)	0.187 5
		人口密度(人/km <sup>2</sup> )	0.361 4
		路网密度(km/km <sup>2</sup> )	0.090 6
	资源环境合理性	恩格尔系数(%)	0.174 9
		城市化水平(%)	0.267 3
		就业率(%)	0.176 2
		建成区绿化率(%)	0.168 9
		建设用地比重(%)	0.183 1
		工业废水处理率(%)	0.161 2
		固废综合利用率(%)	0.154 5
		生活垃圾处理率(%)	0.167 4
		二氧化硫排放强度(t/km <sup>2</sup> )	0.170 5

**2.3.2 确定指标权重。**指标标准化后确定指标权重,方法有层次分析法、主成分分析法等。基于指标的层次性和数据的完整性,选取熵权法计算权重,克服了专家经验、视角等主观因素的影响。

计算第  $i$  个准则层第  $j$  个指标值的比重:

$$Y_{ij} = X_{ij} / \sum X_{ij} \quad (3)$$

计算信息熵:

$$E_{ij} = -k \times \sum (Y_{ij} \times \ln Y_{ij}) \quad (4)$$

计算信息熵冗余度:

$$D_j = 1 - E_j \quad (5)$$

计算指标权重:

$$W_i = D_j / \sum D_j \quad (6)$$

式中,  $k = 1/\ln m$ ,  $m$  为年数,  $n$  为指标数,  $i = 1, 2, 3, j = 1, 2, \dots, 16$ 。确定的指标权重值见表 3。

**2.3.3 计算综合指数。**确定指标权重之后计算综合指数,用加权平均法计算经济可行性指数(EI),社会可接受性指数(SI)和资源环境合理性指数(REI),计算公式如下:

$$EI_y = \sum X_{ij} \times W_i (i = 1, 2, 3, j = 1, 2, \dots, 5) \quad (7)$$

$$SI_y = \sum X_{ij} \times W_i (i = 1, 2, 3, j = 6, 7, \dots, 10) \quad (8)$$

$$REI_y = \sum X_{ij} \times W_i (i = 1, 2, 3, j = 11, 12, \dots, 16) \quad (9)$$

式中,  $y$  表示第  $y$  个研究对象。根据三角模型的特点,选取经

济可行性指数(EI),非社会可接受性指数(NSI)和非资源环境合理性指数(NREI),  $NSI = 1 - SI$ ,  $NREI = 1 - REI$ 。经济可行性指数(EI)越大,非社会可接受性指数(NSI)和非资源环境合理性指数(NREI)越小,土地生态安全性越高,反之则越低。

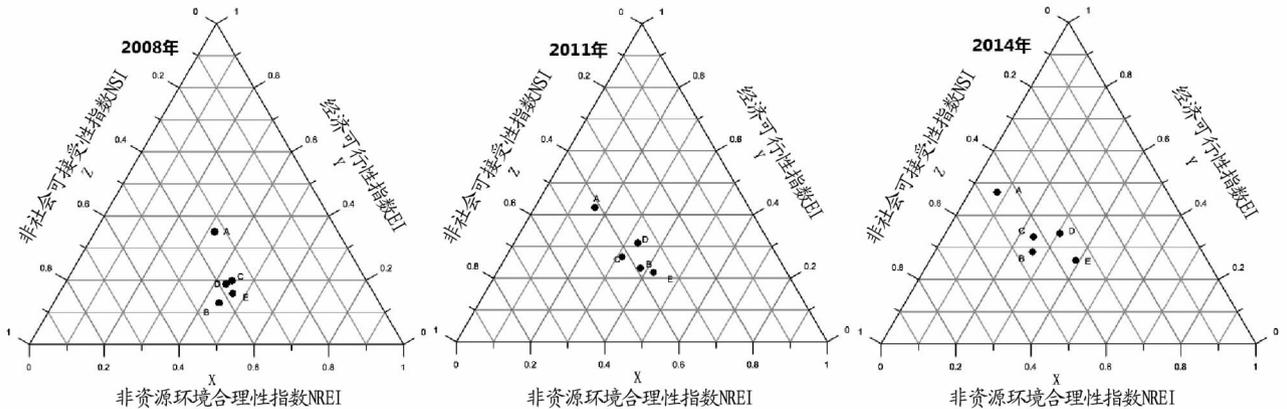
## 2 结果与分析

**2.1 土地生态安全评价结果** 由表 4 可知,关中平原 5 市在 2008、2011、2014 年 3 个时间断面经济可行性指数(EI)不断增加,尤其是西安和咸阳在经济上保持较高的增长速度,增幅分别为 50%、81%。自从国家实施西部大开发战略和《关中一天水经济区发展规划》后,关中平原各市人均 GDP、人均可支配收入和固定资产投资等快速增加,西安市经济密度达到 5 439 万元/ $\text{km}^2$ 。5 市非社会可接受性指数(NSI)总体上有所增加,增幅为 60%,表明随着经济的高速发展,大量劳动力进入城市,从而推动城市化进程加快,带给社会民生和土地生态安全等问题较大压力。社会可接受性在整体上呈现出缓慢减小。非资源环境合理性指数(NREI)5 市都在不断下降,下降幅度较大,说明生态环境不断提高。在发展的同时,增加城市绿化率,进行土地整治等措施治理水土流失。工业废水处理率、固废综合利用率、生活垃圾处理率达到 80%,各市注重节能减排,促进城市土地生态环境良性发展。

表 4 土地生态安全评价指数值

Table 4 Evaluation index value of land ecological security

城市 City	经济可行性指数 Economic feasibility index			非社会可接受性指数 Non-social acceptability index			非资源环境合理性指数 Non-resource environmental rationality index		
	2008 年	2011 年	2014 年	2008 年	2011 年	2014 年	2008 年	2011 年	2014 年
西安 Xi'an	0.526 1	0.598 0	0.787 7	0.495 6	0.588 0	0.758 3	0.480 2	0.229 4	0.118 0
铜川 Tongchuan	0.230 1	0.395 8	0.465 5	0.769 9	0.664 2	0.627 9	0.799 8	0.651 8	0.691 3
宝鸡 Baoji	0.354 7	0.428 2	0.552 6	0.645 3	0.671 8	0.564 8	0.795 0	0.506 3	0.485 0
咸阳 Xianyang	0.327 2	0.517 0	0.615 6	0.672 8	0.593 0	0.793 8	0.763 3	0.555 4	0.442 6
渭南 Weinan	0.233 5	0.338 0	0.460 4	0.566 5	0.562 0	0.727 7	0.697 7	0.666 2	0.415 3



注: A、B、C、D、E 分别代表西安、铜川、宝鸡、咸阳和渭南

Note: A, B, C, D, E represent Xi'an, Tongchuan, Baoji, Xianyang and Weinan

图 2 2008—2014 年关中 5 市土地生态安全状态及趋势

Fig. 2 Land ecological security status and trends of 5 cities in Guanzhong Plain from 2008 to 2014

## 2.2 评价结果状态与趋势分析

**2.2.1 土地生态安全状态分析。**由图 2 可以看出,关中 5 市土地生态安全状态在 3 个时间断面呈现出 3 个阶段,西安市

与其余 4 市之间差距较大。第一阶段,2008 年除了西安市处于弱安全状态,其余 4 市均处于不安全状态。西安市 EI 值接近 0.4,其余 4 市 EI 值均小于 0.2,NSI 值和 NREI 值相对

较高。西安市作为陕西省的省会城市,经济增长迅速而且资源利用比其余各市更加合理,所以西安市与其余 4 市差距较大。第二阶段,2011 年西安市进入一般安全状态,其余 4 市进入弱安全状态。经济可行性指数增长明显,EI 值均达到 0.2 以上。非社会可接受性指数增加,除了铜川和宝鸡略有波动,在出现一系列环境问题后,注重经济发展的质量,使得资源环境合理性指数加大。第三阶段,2014 年经济可行性指数和生态环境合理性指数均快速增加,EI 值整体增加到 0.4~0.6,NREI 值快速下降,NSI 值增加,各市之间的差距加大,西安市由于省会条件的优越性,铜川在最近几年赶超渭南。从关中平原 5 市整体土地生态安全状态来看,由不安全状态到弱安全状态,再到一般安全状态,安全水平不断提高。

**2.2.2 土地生态安全趋势分析。**从总体趋势看,西安市与铜川市、宝鸡市、咸阳市、渭南市之间存在较大差距。西安市 2008—2014 年由不安全转变到一般安全趋势,2014 年经济可行性指数和非社会可接受性指数达到较高值,非资源环境合理性指数减小到 0.118 0。随着经济快速发展,生态环境承载压力加大,居民生活适宜度下降。铜川、宝鸡和咸阳市由不安全转变到弱安全趋势,EI 值都有所增加,NSI 值波动减小,NREI 值减小。这 3 个城市相比较西安市,经济发展较慢,社会可接受性和生态环境合理性提高。渭南市一直处于不安全趋势,整体水平略低于其他 4 个城市,所以与其他 4 市差距不断加大。

### 3 结论与讨论

(1)对于土地生态安全评价,三角模型不仅能够客观地反映其状态,而且能够清晰地反映其总体变化趋势。

(2)2008—2014 年,关中 5 市经济可行性指数不断提高,非社会可接受性指数升高,除了宝鸡市和咸阳市的 NSI 值略有浮动,非资源环境合理性指数逐渐降低。总体表明关中 5 市经济可行性指数和资源环境合理性指数稳步提升,社会可接受性指数逆向发展。

(3)总体上关中平原 5 市土地生态安全趋势向较好的方向发展,西安市由弱安全状态转向一般安全状态。其余 4 市由不安全状态转向弱安全状态,呈现出 2 种类型的变化趋势。

(4)区域内部发展不均衡加剧,西安市与其余 4 市差距加大,5 市的社会可接受性指数日趋均衡,资源环境合理性指数和经济可行性指数在 5 个市之间差异显著。

(5)针对研究结果,结合关中平原五市实际情况,在以后

的发展中,注重经济发展与生态效益相结合。西安市作为省会城市,人口密度不断增加,因此在发展经济的同时注重社会基础设施的建设,提升社会可接受度。渭南市提高经济发展的速度,实现经济和环境协调发展,缩小与其余各市的差距。区域内部之间可以相互促进,平衡人口分布,经济上相互交流带动,实现区域内协调发展。土地生态安全随着社会经济的发展不断变化,该研究仅从 3 个时间断面进行评价,在后续研究中应该在时间尺度上深入研究,为区域经济可持续发展提供科学参考。

### 参考文献

- [1] 黄木易,何翔.基于云模型与熵权法的安徽省土地生态安全评价研究[J].土壤,2016,48(5):1049-1054.
- [2] 余健,房莉,仓定帮,等.熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J].农业工程学报,2012,28(5):260-266.
- [3] 李昊,李世平,银敏华.中国土地生态安全研究进展与展望[J].干旱区资源与环境,2016,30(9):50-56.
- [4] XU F L,ZHAO S S,RICHARD W D,et al. A triangle model for evaluating the sustainability status and trends of economic development[J]. Ecological modeling,2006,195(3/4):327-337.
- [5] 马泉,任晓娟.基于生态价值优先的土地适宜性评价:以银川市七子连湖湿地公园为例[J].安徽农业科学,2016,44(3):239-242,262.
- [6] 谢花林.土地利用生态安全格局研究进展[J].生态学报,2008,28(12):6305-6310.
- [7] 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[J].生态学报,2013,33(16):5090-5100.
- [8] 张松男,雷国平,李秀霞,等.基于 P-S-R 模型的城市生态安全模糊物元评价:以吉林省四平市为例[J].水土保持研究,2013,20(2):170-175.
- [9] 裴婷婷,陈英,赵亚南,等.基于 P-S-R 模型的白银市土地生态安全评价[J].中国农学通报,2014,30(2):215-221.
- [10] 杜忠潮,韩申山.基于主成分分析的土地生态安全评价实证研究:以陕西省 10 个省辖市为例[J].水土保持通报,2009,29(6):198-202.
- [11] 王月英,王雯.关中城市群县域层面经济紧凑度分析[J].城市发展研究,2016,23(8):22-28.
- [12] 陕西省统计局.陕西统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2009.
- [13] 国家统计局城市社会经济调查司.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2009.
- [14] 黄辉玲,罗文斌,吴次芳,等.基于物元分析的土地生态评价[J].农业工程学报,2010,26(3):316-322.
- [15] 李佳,雷国平,崔明哲,等.基于三角模型的矿业城市土地利用可持续性评价[J].水土保持研究,2012,19(5):196-201.
- [16] WANG R S,HU D,LI F,et al. Integrative ecological management for regional urbanization [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2010: 111-119.
- [17] 石建华,喻理飞,孙保平.陕北地区退耕还林生态健康评价分析研究:以吴起县为例[J].水土保持学报,2015,29(6):332-336.
- [18] 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[J].生态学报,2009,29(7):3818-3827.
- [19] 张小虎,牛海鹏,郭增长.基于三角模型的城市土地生态安全区域差异分析:以河南省为例[J].自然灾害学报,2014,23(2):21-30.
- [20] 李明月,赖笑娟.基于 BP 神经网络方法的城市土地生态安全评价:以广州市为例[J].经济地理,2011,31(2):289-293.
- [21] 杨北宁,张凤芝,苏国兴.一氧化氮对莒苣种子萌发过程中部分物质代谢的影响[J].江苏农业学报,2013,29(2):394-398.
- [22] GALLARDO K,JOB C,GROOT S P C,et al. Proteomics of *Arabidopsis* seed germination. A comparative study of wild-type and gibberellin-deficient seeds[J]. Plant physiology,2002,129(2):823-837.

(上接第 61 页)

- [19] YAMASAKI Y.  $\beta$ -amylase in germinating millet seeds[J]. Phytochemistry,2003,64(5):935-939.
- [20] 孙永刚,凌腾芳,王家杰,等.外源一氧化氮供体硝普钠对小麦种子萌发早期  $\beta$ -淀粉酶及其亚细胞分布的影响[J].作物学报,2008,34(9):1608-1614.