

# 基于 TOPSIS 的聊城市土地生态经济系统稳定性分析

周迎雪, 李贻学, 孙仪阳

(山东农业大学 资源与环境学院, 山东 泰安 271018)

**摘 要:**为探索 TOPSIS 法在土地生态经济系统稳定性分析中的适用性,从经济、土地、环境、社会四个方面构建了土地生态经济系统稳定性评价指标体系,运用改进的 TOPSIS 法对 2003—2014 年聊城市的土地生态经济系统稳定性状况进行评价,并采用综合指数法进行验证。结果表明:(1)聊城市土地生态经济系统稳定性发展过程分为两个阶段:系统衰退阶段(2003—2006 年),系统贴近度 0.324~0.271;系统恢复和平缓发展阶段(2006—2014 年),系统贴近度 0.271~0.661;整体上,聊城市 2003—2014 年土地生态经济系统稳定性是向良好的方向发展的,与综合指数评价结果基本一致;(2)农业总产值占 GDP 比重、道路用地指数、人均耕地面积、单位耕地化肥施用量和人口自然增长率成为制约聊城市土地生态经济系统稳定性发展的主要因素。从而得出结论:改进的 TOPSIS 方法能够客观反映出聊城市土地生态经济系统稳定性变化状况,适用于土地生态经济系统稳定性评价。

**关键词:**土地生态经济系统;稳定性;改进的 TOPSIS;聊城市

中图分类号:F205

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)06-0026-06

## Stability Analysis of Land Eco-economic System in Liaocheng City Based on TOPSIS Method

ZHOU Yingxue, LI Yixue, SUN Yiyang

(College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

**Abstract:** In order to explore applicability of the improved TOPSIS in the stability analysis of land eco-economic system, 20 indicators from the four aspects (economy, land, environment and society) were selected to build the stability evaluation index system of land eco-economic system. The improved TOPSIS was used to evaluate the stability of the land eco-economic system of Liaocheng City from 2003 to 2014, and the comprehensive index method was employed in the verification. The results showed that: (1) the developing process of the stability of land eco-economic system in Liaocheng City was divided into two stages: slow decline stage (2003—2006), system closeness degree is 0.324 to 0.271; restoration and development stage (2006—2014), system closeness degree is 0.271 to 0.661; it could be seen that the stability of land eco-economic system in Liaocheng City was developing in a good direction from 2003 to 2014 as a whole, which was consistent with the result of the comprehensive assessment; (2) the main factors restricting the development of the stability of land eco-economic system in Liaocheng City were the proportion of total agricultural output value to the GDP, the road land index, the cultivated land area per capita, the amount of applied fertilizer per unit of cultivated land and the natural growth rate of population. Thus, it could be concluded that the improved TOPSIS could objectively reflect the status of the variation of the stability of land eco-economic system in Liaocheng City, which was suitable for the evaluation on the stability of the land eco-economic system.

**Keywords:** land eco-economic system; stability; improved TOPSIS; Liaocheng City

随着人口不断增长,经济发展与生态环境的矛盾日益突出,如何协调生态环境稳定与经济发展的关系已成为研究的前沿和热点问题<sup>[1-2]</sup>。然而无论是讨论

生态环境还是经济发展,其基础都是土地,分别对应着土地生态系统和土地经济系统,这两个系统相互作用、相互渗透、相互交织耦合在特定的土地空间内或

地段上,形成具有一定结构和功能的复合系统,即土地生态经济系统<sup>[3-4]</sup>。而人类发展的一切活动,都是在这个生态经济系统中存在和进行的,所以,对土地生态经济系统稳定性进行科学分析是十分必要的。

目前,在土地生态经济系统研究上学者们应用了不同的方法进行了大量的探索,有耦合度评价法<sup>[5]</sup>、生态足迹法<sup>[6]</sup>、生态系统服务价值估算法<sup>[7]</sup>、能值评价法等<sup>[8-9]</sup>,李玉平等运用层次分析原理和土地生态安全模型对河北省的土地生态综合安全值进行了计算研究<sup>[10]</sup>;马明德等以宁夏为研究区域,在计算了宁夏 2001—2010 年人均生态足迹的基础上,应用偏最小二乘回归分析法,对影响宁夏生态足迹的各因子的重要程度进行了分析<sup>[11]</sup>;谢花林等采用能值形态从投入指标测度耕地的利用集约度,对鄱阳湖生态经济区耕地利用集约度的整体特征及其时空差异进行了研究<sup>[12]</sup>;刘引鸽等采用线性回归方法分析土地利用与相关经济发展因素之间关系<sup>[13]</sup>。而本研究尝试将改进的 TOPSIS 法应用到对土地生态经济系统稳定性的分析中,它是系统工程中有限方案多目标决策分析的一种常用的决策技术<sup>[14]</sup>,能够系统分析土地生态经济系统稳定性与理想状态的差距。因此,本文以聊城市为例,探讨改进的 TOPSIS 法在土地生态经济系统稳定性分析中的应用,并采用综合指数法对结果加以验证并对比分析,以期寻求一种更适用的分析方法。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

聊城市地处山东省西部,临河南、河北,位于华东、华中、华北三大区域交界处。全市总面积 8 715 km<sup>2</sup>,辖 8 个县(市、区),1 个国家级经济技术开发区、1 个高新技术产业开发区和 1 个旅游度假区。136 个乡镇(街道),5 782 个村(社区)。年均气温 14.3℃,属温带季风气候区,春季干旱多风,夏季高温多雨,适合多种农作物种植。2014 年,全市常住人口 591.13 万人,全年实现生产总值 2 365.87 亿元,比上年增长 10%。其中,第一产业增加值 287.15 亿元,第二产业增加值 1 258.15 亿元,第三产业增加值 820.57 亿元。

### 1.2 评价指标体系的建立

指标体系层级结构的设计和代表性指标的筛选是研究的一个关键步骤,必须依据充足的理论依据和现实意义进行,所以,本研究在秉承科学性、综合性、地域性、动态性、可度量性和可操作性的原则下<sup>[15]</sup>,以实现土地、经济、生态和社会的全面发展作为出发点,选取适当的指标。其中经济指标包括了人均

GDP、城市人均可支配收入、农业总产值占 GDP 比重等反映出系统发展动力基础的指标,发现经济发展趋势,从而展现出当前系统前进的潜力;生态环境对土地的可持续发展起到约束作用,因此从土壤污染、气候及污染物排放中选取合适的环境指标;土地指标选取了道路用地指数、人均耕地面积和城市居民用地指数等,表现出当前土地利用强度和土地利用现状,侧面反映出土地系统的发展状态;社会环境也影响着土地的稳定发展,对社会环境的考察主要从人口、资源配置、城市化水平和就业等方面进行,最终确定 20 个评价指标,构建出聊城市土地生态经济系统稳定性评价指标体系(表 1)。

### 1.3 数据的获取与处理

本研究中各指标数据来源于山东省统计年鉴、聊城市统计年鉴以及聊城市国民经济和社会发展统计公报。

由于各评价指标之间存在着量纲、数量级和数量变化幅度的差异,因此在进行土地生态经济系统的稳定性分析时必须对现状数据进行标准化处理以消除所存在差异。本研究采取 Z-score 标准化法对数据进行处理,处理公式为:

$$y_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{s_i} \quad (1)$$

式中: $x_{ij}$  为标准化前数据; $y_{ij}$  为标准化后数据; $\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^m x_{ij}}{m}$  为指标平均值; $s_i = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}$  为数据标准差;经过数据标准化处理,得到聊城市土地生态经济系统稳定性数据指标标准化值。

### 1.4 评价方法

1.4.1 确定指标权重 指标权重的处理方法主要有层次分析法<sup>[16]</sup>(AHP)、特尔斐法等主观赋权法和变异系数法<sup>[17]</sup>、主成分分析法、熵权法等客观赋权法。为了使评价结果更加准确,本文选取层次分析法和变异系数法相结合的组合赋权法计算指标权重。

层次分析法确定权重一般是根据指标的相互重要性构造比较矩阵,通过矩阵计算其最大特征根及对应的特征向量,得出标准成对矩阵,再计算出矩阵中每一行的算术平均值,从而得到各层次因素、因子的权重,判断同层因素权重分配是否合理,对判断矩阵进行一致性检验,最终确定各个指标的权重<sup>[18]</sup>,其具体步骤为:建立层次结构模型、构造判断矩阵、层次单排序与一致性检验、层次总排序与总检验<sup>[19]</sup>,最终确定各指标权重值  $w_k$ (表 1)。

变异系数法是直接利用各项指标所包含的信息,通过计算得到各项指标的权重<sup>[20]</sup>(表 1)。具体计算

步骤如下：

(1) 计算指标均值和标准差

$$\overline{x_i} = \sum_{j=1}^m x_j, s_i = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (x_j - \overline{x_i})^2}$$
 (2)

(2) 计算指标变异系数

$$v_i = \frac{s_i}{\overline{x_i}}$$
 (3)

(3) 计算指标权重

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$$
 (4)

根据主观赋权法和客观赋权法综合确定土地生态经济系统的指标权重  $W_i$  (表 1)。

$$W_i = \frac{(w_k + w_i)}{2}$$
 (5)

表 1 聊城市土地生态经济系统稳定性分析评价指标体系及权重

目标层(A)	准则层(B)	指标层(C)	主观权重	客观权重	平均权重
土地生态 经济系统 稳定性	经济因子 (0.331)	C <sub>1</sub> 人均 GDP(元)	0.105	0.111	0.108
		C <sub>2</sub> 城市人均可支配收入(元)	0.033	0.108	0.070
		C <sub>3</sub> 农民人均纯收入(元)	0.033	0.092	0.062
		C <sub>4</sub> 农业总产值 GDP 比重(%)	0.092	0.051	0.072
		C <sub>5</sub> 居民消费价格指数(%)	0.068	0.004	0.036
	土地因子 (0.138)	C <sub>6</sub> 道路用地指数(%)	0.013	0.057	0.035
		C <sub>7</sub> 人均耕地面积(hm <sup>2</sup> )	0.048	0.003	0.026
		C <sub>8</sub> 城市居民用地指数(m <sup>2</sup> )	0.025	0.034	0.030
		C <sub>9</sub> 建成区面积(km <sup>2</sup> )	0.019	0.040	0.029
		C <sub>10</sub> 绿地指数(%)	0.033	0.027	0.030
	环境因子 (0.331)	C <sub>11</sub> 单位耕地化肥施用量(t/hm <sup>2</sup> )	0.107	0.019	0.063
		C <sub>12</sub> 平均气温(℃)	0.035	0.007	0.021
		C <sub>13</sub> 降水量(mm)	0.054	0.063	0.059
		C <sub>14</sub> 工业固废综合利用率(%)	0.081	0.011	0.046
		C <sub>15</sub> 森林覆盖率(%)	0.054	0.041	0.048
	社会因子 (0.2)	C <sub>16</sub> 人口自然增长率(‰)	0.026	0.057	0.042
		C <sub>17</sub> 城市化水平(%)	0.052	0.045	0.048
		C <sub>18</sub> 城镇登记失业率(%)	0.035	0.011	0.023
		C <sub>19</sub> 社会保障占财务支出比重(%)	0.071	0.123	0.097
		C <sub>20</sub> 城市集体供热面积(10000 m <sup>2</sup> )	0.016	0.097	0.057

注：(1) 道路用地指数表示城市道路用地面积占建设用地面积的比例；(2) 城市居民用地指数表示城市居住用地占城市人口的比例；(3) 绿地指数表示建成区绿化覆盖面积占建成区面积的比例。

1.4.2 确定各评价对象与理想解的贴近度 采用改进的 TOPSIS 法对聊城市土地生态经济系统稳定性状态进行评价，其计算步骤如下：

(1) 确定加权规范化决策矩阵  $Z$ ：

$$Z = [Z_{ij} \mid m \times n = W_i \times Y_{ij} \mid m \times n]$$
 (6)

式中： $Y_{ij}$  为指标标准化后的矩阵。

(2) 确定正理想解和负理想解。正理想解为各属性值达到的最优解，负理想解为达到的最劣解；现分别以加权规范化决策矩阵  $Z$  中的最大值和最小值来代表正理想解和负理想解，即：

正理想解：

$$Z^+ = [\max z_{ij}], (j=1, 2, 3, \dots, m)$$
 (7)

负理想解：

$$Z^- = [\min z_{ij}], (j=1, 2, 3, \dots, m)$$
 (8)

(3) 计算各评价对象到正理想解及负理想解的距离。

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{ij} - Z^+)^2}, D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{ij} - Z^-)^2}$$
 (9)

式中： $D^+$  越小，说明评价对象越接近正理想解，土地生态经济系统越稳定； $D^-$  越小，说明评价对象越接近负理想解，土地生态经济系统越不稳定。

(4) 计算贴近度  $C$ 。贴近度  $C$  表示各评价对象与理想解的接近程度。

$$C_j = \frac{D_j^-}{(D_j^+ + D_j^-)}$$
 (10)

式中： $C_j$  介于 0 到 1 之间，能够综合反映出  $D^+$  和  $D^-$  两个距离指标所反映的评价对象稳定状态， $C_j$  值越大，表明评价对象越接近理想解，土地生态经济系统稳定性越好。

1.5 综合指数法

采取常用的综合指数法对评价对象进行评价，以对 TOPSIS 法得出的评价结果进行验证。土地生态系统( $E$ )是由土地系统和生态系统耦合而成的复合系统，包含了土地和生态环境各指标，反映了土地生态系统中土地和生态环境的变化状况和两者相互作用的发展结果。土地经济系统( $S$ )是由土地系统、经济系统和社会系统三个系统耦合而成的，三者相互作

用共同对土地经济系统的发展产生影响。而土地生态经济系统( $Z$ )则是由土地生态系统和土地经济系统共同耦合而成,两者综合加权获取综合系统评价价值,即  $Z=E+S$ ;其中综合评价价值计算公式如下:

$$T_j=\sum_{i=1}^nW_iy_{ij}$$

(11)

2 结果与分析

2.1 聊城市土地生态系统及土地经济系统稳定性分析

由改进的 TOPSIS 法计算得出聊城市土地生态经济系统评价结果(表 2),从表中可以看出,土地生态系统方面,其贴近度  $C$  先降后升,2006 年前  $D^+$  波动上升, $D^-$  波动下降,贴近度至 2006 年下降到最低为 0.320,这主要是因为 2006 年年降水量远远低于其他年份(仅 326.3 mm),且由于建设用地大量占用耕地导致人均耕地面积逐年减少,其中 2006 年减少

到 0.092 hm<sup>2</sup>/人,给土地生态系统造成严重威胁,其稳定性衰退;之后贴近度逐年上升,由 2006 年的 0.320 上升到 2014 年的 0.607,这主要是因为随着生态退化的危害日益显露,人们的环保意识明显增强,全市对环境保护的力度加大。土地经济系统方面,由于土地生态系统产生的危害效应直接影响经济系统的效益,因此 2006 年之前受土地生态的严重影响贴近度逐渐下降,土地经济系统衰退;2006 年以来,土地经济系统快速发展, $D^+$  逐渐变小,接近于正理想解, $D^-$  逐年变大,偏离于负理想解,贴近度逐年上升,至 2014 年贴近度达到了 0.664,这主要是由于土地生态环境的好转促使了社会经济发展水平的快速提升,其中人均 GDP、城市化水平及农民人均纯收入等增加迅速,推动全市土地经济系统向良好的方向发展。

表 2 2003—2014 年聊城市土地生态经济系统评价结果

年份	土地生态系统			土地经济系统			土地生态经济系统		
	$D^+$	$D^-$	$C$	$D^+$	$D^-$	$C$	$D^+$	$D^-$	$C$
2003	0.308	0.213	0.409	0.590	0.242	0.291	0.643	0.308	0.324
2004	0.249	0.254	0.505	0.541	0.261	0.325	0.580	0.323	0.358
2005	0.242	0.216	0.472	0.529	0.209	0.283	0.564	0.278	0.330
2006	0.333	0.157	0.320	0.522	0.163	0.238	0.589	0.219	0.271
2007	0.290	0.174	0.376	0.439	0.284	0.393	0.490	0.328	0.401
2008	0.257	0.195	0.432	0.409	0.319	0.439	0.458	0.357	0.438
2009	0.222	0.230	0.509	0.403	0.326	0.447	0.441	0.379	0.462
2010	0.200	0.280	0.584	0.356	0.354	0.499	0.386	0.439	0.532
2011	0.220	0.262	0.544	0.320	0.424	0.570	0.359	0.492	0.578
2012	0.230	0.251	0.521	0.328	0.446	0.577	0.378	0.499	0.569
2013	0.153	0.343	0.692	0.290	0.519	0.642	0.293	0.611	0.675
2014	0.205	0.316	0.607	0.286	0.564	0.664	0.322	0.628	0.661

2.2 聊城市土地生态经济系统稳定性分析

将表 2 中土地生态经济系统的结果数据进一步图形化(图 1,图 2),可以看出, $D^+$  呈现下降趋势,趋向于正理想解, $D^-$  则逐渐变大,偏离负理想解,相应的贴近度  $C$  由 2003 年的 0.324 提高到 2014 年的 0.661,增长了 0.337,说明,2003—2014 年聊城市土地生态经济系统稳定性状况整体上呈上升趋势。其稳定性状况主要分为两个阶段:第一阶段(2003—2006 年),土地生态经济系统衰退阶段,其稳定性较差且贴近度下降,表现为土地生态系统与土地经济系统贴近度均变小,但土地生态系统减少值比土地经济系统减少值变化幅度大,这主要是因为长期的生态环境污染阻碍了经济的发展,而且聊城市将重心投入到城市建设及经济发展中,忽略了生态建设,导致土地生态环境持续恶化,其建设用地的急剧扩张,使耕地面积大量减少;再加上当年降水量较少,土壤干旱导

致农作物减产,农业总产值下降,农业总产值占 GDP 比重由 2003 年的 41.01% 下降到 2006 年的 29.43%,最终造成了土地生态经济系统稳定性的衰退;第二阶段(2006—2014 年),系统稳定性恢复并平缓发展阶段,贴近度一直处于逐步上升趋势,主要是由于经济呈现快速增长势头,其中人均 GDP 由 2006 年的 15 347 元增长到 2014 年的 41 108.91 元,近十年间翻了两翻,城市人均可支配收入与农民人均纯收入也均有大幅度的提升;城市化进程加快,其城市化水平由 2006 年的 28.24% 发展到 2014 年的 43.95%,给土地生态经济系统稳定性提供了强劲支撑;在保证经济快速发展的同时,人们也开始逐渐意识到生态环境保护的重要性,展开了一系列生态环境保护工作,包括城市绿化建设,其绿地指数从 2006 年的 36.95% 增加到 2014 年的 46.86%,同时,加大了退耕还林力度,2014 年森林覆盖率达到 37.5%,比 2006 年增长了 11.8 个百

分点,有效地促进了聊城市土地生态经济系统稳定性的提升。

然而,即使聊城土地生态经济系统稳定性状况整体上在向良好的方向发展,但其形势仍不容乐观,主要是因为人口的急剧增长及耕地面积的减少导致人地矛盾日益凸显;化肥农药的大量施用造成土地肥力的下降,其单位耕地化肥施用量由2003年的 $0.58 \text{ t/hm}^2$ 增加到2014年的 $0.75 \text{ t/hm}^2$ ;可以发现限制其系统稳定性发展的主要因子是农业总产值占GDP比重( $C_4$ )、道路用地指数( $C_6$ )、人均耕地面积( $C_7$ )、单位耕地化肥施用量( $C_{11}$ )和人口自然增长率( $C_{16}$ )。总的来看土地生态环境恶化的影响虽有减少,但是仍然存在,因此,在今后还需要进一步加大对土地生态资源与环境的保护力度,严格控制经济增长给环境带来的威胁。

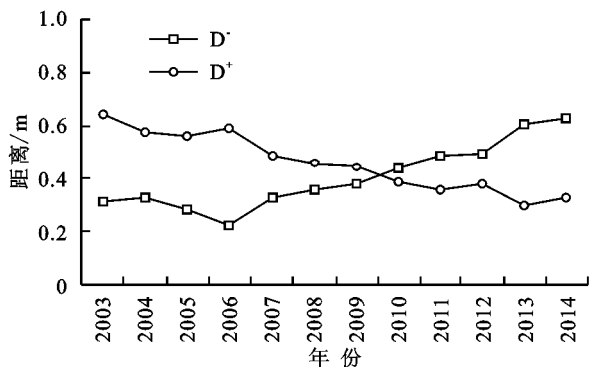


图1 2003—2014年聊城市土地生态经济系统 $D^+$ , $D^-$ 发展态势

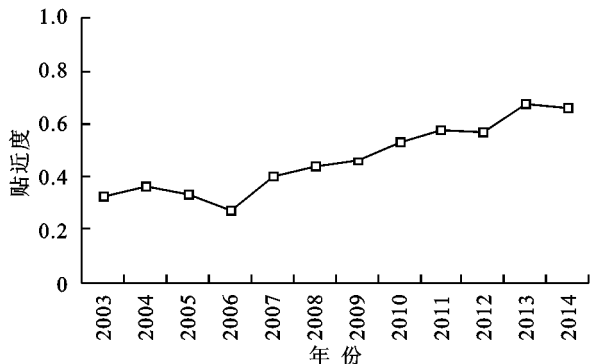


图2 2003—2014年聊城市土地生态经济系统C发展态势

### 2.3 综合指数评价

将获取的各指标标准值与权重,根据式(11)计算出聊城市各年土地生态系统( $E$ )综合评价值和土地经济系统( $S$ )综合评价值,最后通过二者综合加权求和获得聊城市土地生态经济系统( $Z$ )评价值(图3)。

从图中可以看出,聊城市土地生态经济系统总体上是向良好的方向发展的,其具体发展状况存在一定差异,系统评价值呈现先升后降再升的波动趋势,2003—2004年系统评价值快速增加,主要表现为土地生态系统与土地经济系统值均变大;2004—2006年土地生态经济系统评价值降低,此时土地生态系统

值降低幅度大于土地经济系统降低幅度;2006—2014年土地生态经济系统评价值逐年增加,其中土地经济系统增加值大幅度增加,到2013年整个系统的评价值趋于平缓。总体来看,其结果与TOPSIS分析评价结果基本一致。

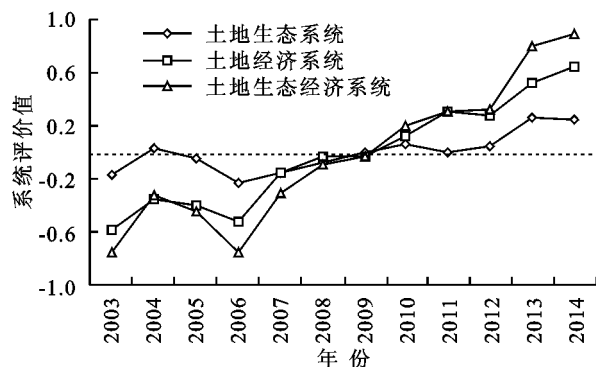


图3 聊城市土地生态经济系统评价价值变化趋势

## 3 结论

(1) 运用改进的TOPSIS法对聊城市2003—2014年的土地生态经济系统稳定性状况进行评价分析,结果表明,聊城市土地生态经济系统及其二级系统稳定性主要分为两个阶段:第一阶段(2003—2006年),系统衰退阶段,生态环境严重恶化,同时影响了经济系统效益,到2006年,系统贴近度降低到0.271最低值;第二阶段(2006—2014年),系统恢复和平缓发展阶段,生态系统得到改善,经济得以快速发展,至2014年贴近度达到了0.661。综合来看,聊城市2003—2014年土地生态经济系统稳定性是向良好的方向发展的。该结果与综合指数评价结果基本一致。

(2) 整体上,聊城市2003—2014年土地生态经济系统稳定性状况呈上升趋势,但其形势仍不容乐观,主要限制因子为农业总产值占GDP比重、道路用地指数、人均耕地面积、单位耕地化肥施用量和人口自然增长率,符合聊城市实际情况。

(3) 本研究尝试将TOPSIS评价方法应用到土地生态经济系统稳定性分析中,并利用综合指数法进行了验证和对比分析,基本达到了预期目的。但受到数据年度连续性、数据可获取性等因素的制约,导致指标选择有限,指标体系不够健全,在数据处理方法及模型设计等方面也需要进一步研究和探讨。

### 参考文献:

- [1] 黄宝强,刘青,胡振鹏,等.生态安全评价研究述评[J].长江流域资源与环境,2012,21(S2):150-156.
- [2] 王振波,方创琳,王婧.1991年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式[J].地理学报,2012,66(12):1657-1668.

[3] 王万茂,高波,夏太寿. 土地生态经济学[M]. 北京:科学技术文献出版社,1992.

[4] 张殿发,黄弈龙. 土地资源可持续利用的生态经济系统分析[J]. 生态与农村环境学报,2000,16(2):45-48.

[5] 吕晓,刘新平. 农用地生态经济系统耦合发展评价研究:以新疆塔里木河流域为例[J]. 资源科学,2010,32(8):1538-1543.

[6] 王国刚,杨德刚,乔旭宁,等. 基于生态足迹模型的新疆区域生态经济可持续发展能力变化分析[J]. 冰川冻土,2009,31(5):969-975.

[7] 刘海龙,石培基,李生梅,等. 河西走廊生态经济系统协调度评价及其空间演化[J]. 应用生态学报,2014,25(12):3645-3654.

[8] 王千,金晓斌,周寅康,等. 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[J]. 生态学报,2011,31(1):247-256.

[9] 戴靓,姚新春,周生路,等. 长三角经济发达区金坛市土地生态状况评价[J]. 农业工程学报,2013,29(8):249-257.

[10] 李玉平,蔡运龙. 河北省土地生态安全评价[J]. 北京大学学报:自然科学版,2007,43(6):784-789.

[11] 马明德,马学娟,谢应忠,等. 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析[J]. 生态学报,2014,34(3):682-689.

[12] 谢花林,邹金浪,彭小琳. 基于能值的鄱阳湖生态经济区耕地利用集约度时空差异分析[J]. 地理学报,2012,67(7):889-902.

[13] 刘引鸽,傅志军. 区域经济发展的土地利用及生态安全管理:以宝鸡地区为例[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(11):39-43.

[14] 徐美,朱翔,李静芝. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的湖南省土地生态安全评价[J]. 冰川冻土,2012(5):1265-1272.

[14] 徐美,朱翔,李静芝. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的湖南省土地生态安全评价[J]. 冰川冻土,2012,34(5):1265-1272.

[15] 林珍铭,夏斌. 熵视角下的广州城市生态系统可持续发展能力分析[J]. 地理学报,2013,68(1):45-57.

[16] 王浣尘. 可行性研究和多目标决策[M]. 北京:机械工业出版社,1990.

[17] 韦俊敏,胡宝清,张中秋. 新型城镇化背景下小城镇土地精明利用评价与应用:以广西上林县为例[J]. 资源科学,2014,36(8):1563-1571.

[18] 刘姝驿,杨庆媛,何春燕,等. 基于层次分析法(AHP)和模糊综合评价法的土地整治效益评价:重庆市 3 个区县 26 个村农村土地整治的实证[J]. 中国农学通报,2013,29(26):54-60.

[19] 廖晶晶,罗海波,韦举顺. 基于层次分析法的工矿废弃土地复垦潜力分区研究[J]. 中国农学通报,2011,27(9):216-220.

[20] 韦俊敏,胡宝清,张中秋. 新型城镇化背景下小城镇土地精明利用评价与应用:以广西上林县为例[J]. 资源科学,2014(8):1563-1571.

[20] 韦俊敏,胡宝清,张中秋. 新型城镇化背景下小城镇土地精明利用评价与应用:以广西上林县为例[J]. 资源科学,2014,36(8):1563-1571.



(上接第 25 页)

[12] 刘定辉,李勇. 植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究[J]. 水土保持学报,2003,17(3):34-37.

[13] 李婕,杨学云,孙本华,等. 不同土壤管理措施下土团聚体的大小分布及其稳定性[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(2):346-354.

[14] 李勇,武淑霞,夏侯国. 紫色土区刺槐林根系对土壤结构的稳定作用[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):2-8.

[15] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1986,50(3):627-633.

[16] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1899.

[17] 曾全超,李娅芸,刘雷,等. 黄土高原草地植被土壤团聚体特征与可蚀性分析[J]. 草地学报,2014,22(4):743-749.

[18] Schlossberg M J, Karnok K J, Landry G. Estimation of viable root-length density of Heat-tolerant Crenshaw ‘ and L93’ Creeping Bentgrass by an Accumulative Degree-day Model[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2002,127(2):224-229.

[19] 李鹏,李占斌,澹台湛. 黄土高原退耕草地植被根系动态分布特征[J]. 应用生态学报,2005,16(5):849-853.

[20] Craine J M. Competition for Nutrients and Optimal Root Allocation[J]. Plant and Soil, 2006,285(1/2):171-185.

[21] 吴彦,刘庆,乔永康,等. 亚高山针叶林不同恢复阶段群落物种多样性变化及其对土壤理化性质的影响[J]. 植物生态学报,2001,25(6):648-655.

[22] 董慧霞,李贤伟,张健,等. 退耕地三倍体毛白杨林地细根生物量及其与土壤水稳性团聚体的关系[J]. 林业科学,2007,43(5):24-29.