

城市土地生态水平物元分析评价 ——以山东省滨州市为例

罗文斌, 吴次芳*, 吴一洲

(浙江大学公共管理学院土地管理系, 杭州 310029)

摘要: 针对我国多数综合评价研究中存在信息屏蔽和主观性的问题, 尝试采用物元分析法对我国城市土地生态水平进行评价, 构建了评价指标体系, 建立了城市土地生态水平评价的物元模型, 并以滨州市为例进行了实证研究。研究结果显示: 2002 年和 2005 年, 滨州市城市土地生态水平都未达到第Ⅳ级(即“较差”水平), 但是都具备向第Ⅳ级(即“较差”水平)转化的条件。2005 年滨州市城市土地生态水平比 2002 年部分有好转, 向第Ⅱ级(即“良好”水平)转化的趋势更加强烈; 城市废气和废水过度排放是滨州市城市土地生态水平提升的关键制约因素。研究结论表明: 物元模型能够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, 适用于城市土地生态水平的评价。

关键词: 生态水平; 城市土地; 物元分析; 评价模型

文章编号: 1000-0933(2009)07-3818-10 中图分类号: Q143 文献标识码: A

Assessment on ecological level of urban land based on matter element analysis: a case study of Binzhou City in Shandong Province

LUO Wen-Bin, WU Ci-Fang*, WU Yi-Zhou

Department of Land Management, College of Public Administration Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3818 ~ 3827.

Abstract: To solve the problem of asymmetric information and the influence of subjectivity in major integrated assessment researches, this paper tries to employ the method of matter element to evaluate ecological level of urban land. The paper composes a system of indicators and builds a model based on the matter element method. Then the model is applied for the evaluation of the ecological level of land in Binzhou City. The results shows that the ecological level of urban land in Binzhou City in 2002 and 2005 did not reach the standard of a worse degree (IV level), but both of them already have the condition to turn to it. Comparing with 2002, the level started to turn better to some extent in 2005 and had the stronger tendency to change into a better degree (II level). The over emission of the city waste gas and waste water was verified to be the key obstacle for further improvement. The result also shows that the matter-element model is suitable to assess the ecological level of urban land, because it can reveal the different information of every single indicator and the middle state information of the whole evaluation.

Key Words: ecological level; urban land; matter-element analysis; assessment model

“生态城市(Eco-city)”的概念自 20 世纪 70 年代提出以来, 引起了国内外众多学者的关注^[1~3]。土地作为城市的自然载体, 是生态城市的核心组成部分。然而, 土地生态水平在诸多生态城市的研究中却没有受到足够重视。城市土地生态水平是指城市土地的经济、环境和社会生态状态的好坏程度, 是城市生态水平的重

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(03AJY003); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAJ11B03)

收稿日期: 2008-07-05; 修订日期: 2008-03-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wucifang@zju.edu.cn.

要反映。随着我国城市经济活动强度和密度的加大、城市空间非理性扩张,城市土地生态问题令人堪忧,并成为制约城市生态发展的重要因素。因此,对城市土地生态水平进行科学评价,以减少城市土地污染,促进城市土地的生态利用,提高城市土地生态水平成为生态城市建设的当务之急。

城市土地生态水平是个包含经济、环境和社会因素的综合概念,其水平高低不能进行判断,而需要通过对其进行物元变换,将土地生态水平转化为对经济、环境和社会生态各指标的综合水平,其评价可以看做一个不相容的矛盾问题。目前,国内直接针对城市土地生态评价的研究尚不多,涉及到城市土地生态的研究多分散在城市土地生态适应性^[4]、区域土地生态安全^[5,6]、城市土地可持续利用^[7~9]等评价研究中。这些研究多采用综合加权评价法^[5~7],这种方法可以将分散的信息通过模型集成,再进行综合值的求和、分级来评价研究对象的综合水平,但该方法存在以下缺陷:一是假设评价指标相容为前提,各指标之间的作用不会影响综合评价结果;二是无法识别单指标、总体与评价等级之间的隶属程度,会遗漏指标间以及评价结果中间状态等分异信息。而物元分析法通过物元变换解决指标之间的不相容问题。首先对每个评价指标进行分级区间界定,通过单指标的关联函数计算得到单指标状态,再通过模型集成得到多指标的综合结果,综合结果可能隶属于某个等级,也有可能是处于向某个等级转化的中间状态。因此,评价结果更加客观、详细。运用物元分析对城市土地生态水平进行评价在我国还不多见。本文尝试性建立城市土地生态水平的物元评价模型,并对滨州市进行实证研究。

1 城市土地生态水平评价的物元分析方法

物元分析是我国学者蔡文于 20 世纪 80 年代提出的用于研究解决矛盾问题的理论方法^[13],它以促进事物转化、解决不相容问题为核心,适合于多因子的评价问题。物元分析方法已经被我国学者广泛应用于生态环境、水资源承载力和农用地分级等的相关评价中^[10~12]。

1.1 城市土地生态水平物元分析的基本概念^[13,14]

根据物元理论,城市土地生态水平 N ,城市土地生态水平特征 c 和特征量值 v 构成城市土地生态水平物元的三要素。假设城市土地生态水平 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:

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

R 为 n 维城市土地生态水平物元,简记 $R = (N, c, v)$ 。

1.2 城市土地生态水平的经典域与节域物元矩阵

当 N_0 为城市土地生态水平的标准等级,关于特征 c_i 的第 j 个指标的量值范围 $v_{0i} = \langle a_{0ji}, b_{0ji} \rangle$ 时,城市土地生态水平经典域的物元矩阵可表示为:

$$R_{0j} = (N_{0j}, C, V_0) = \begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & \langle a_{0j1}, b_{0j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{0j2}, b_{0j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{0jn}, b_{0jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, N_{0j} 表示所划分的城市土地生态水平的第 j 个评价等级 ($j = 1, 2, \dots, m$); c_i 表示第 i 个评价指标;区间 $\langle a_{0ji}, b_{0ji} \rangle$ 为 c_i 对应评价等级 j 的取值范围,即经典域。

城市土地生态水平的标准等级 N_0 和其他标准等级 N_n ($n = 1, 2, 3, 4$) 共同构成城市土地生态水平物元 R_p 称为节域物元,而 $v_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$ 为节域物元关于特征 c_i 的比相应标准扩大了量值范围。城市土地生态水平的节域物元矩阵表示为:

$$R_p = (N_p, C, V_p) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, P 表示城市土地生态水平评价等级的全体, 显然, 这里有 $\langle a_{0i}, b_{0i} \rangle \subset \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

1.3 确定待评城市土地生态水平物元

把城市土地生态水平评价的对象(不同年份或者不同城市的土地生态水平)物元表示为

$$R_x = \begin{bmatrix} N_x & c_1 & c_1 \\ & c_2 & c_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & c_n \end{bmatrix}$$

N_x 为待评城市土地生态水平对象, v_i 为待评城市土地生态水平对象各指标 c_i 的具体量值。

1.4 城市土地生态水平的关联函数及关联度的计算^[13]

关联函数表示城市土地生态水平物元的量值取值为实轴上一点时, 待评物元符合要求的范围程度。由于可拓集合的关联函数可用代数式来表达, 就使得解决不相容问题能够定量化。

令有界区间 $X_0 = [a, b]$ 的模式定义为:

$$|X_0| = |b - a| \quad (3)$$

某一点 X 到区间 $X_0 = [a, b]$ 的距离为:

$$\rho = (X, X_0) = \left| X - \frac{1}{2}(a + b) \right| - \frac{1}{2}(b - a) \quad (4)$$

则城市土地生态水平指标关联函数 $K(x)$ 的定义为:

$$K(x_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(X, X_0)}{|X_0|} & X \in X_0 \\ \frac{\rho(X, X_0)}{\rho(X, X_p) - \rho(X, X_0)} & X \notin X_0 \end{cases} \quad (5)$$

式中, $\rho(X, X_0)$ 表示点 X 与有限区间 $X_0 = [a, b]$ 的距离; $\rho(X, X_p)$ 表示点 X 与有限区间 $X_0 = [a_p, b_p]$ 的距离; X, X_0, X_p 分别表示待评城市生态水平物元的量值、经典域物元的量值范围和节域物元的量值范围。

1.5 城市土地生态水平评价标准^[14]

关联度数值 $K(x)$ 在实数轴上的大小表征了待评对象隶属于城市土地生态水平某一标准级别的程度, 物元模型的关联度将逻辑值从模糊数学的 $[0, 1]$ 闭区间拓展到 $(-\infty, +\infty)$ 实数轴后, 比模糊数学的隶属度所代表的内涵更为丰富, 能揭示更多的分异信息: 当 $K(x) \geq 1.0$ 时, 表示待评价对象超过标准对象上限, 数值愈大, 开发潜力愈大; 当 $0 \leq K(x) \leq 1.0$ 时, 表示待评价对象符合标准对象要求的程度, 数值愈大, 愈接近标准上限; 当 $-1.0 \leq K(x) < 0$ 时, 表示待评价对象不符合标准对象要求, 但具备转化为标准对象的条件, 且值愈大, 愈易转化; 当 $K(x) \leq -1.0$ 时, 表示待评价对象不符合标准对象要求, 且又不具备转化为标准对象的条件。

1.6 待评对象的等级综合关联度和质量等级评定

待评对象 N_x 关于城市土地生态水平标准等级 j 的综合关联度 $K_j(N_x)$ 为:

$$K_j(N_x) = \sum_{i=1}^N a_i K_j(x_i) \quad (6)$$

式中, $K_j(N_x)$ 为待评对象 N_x 关于标准等级 j 的综合关联度; $K_j(x_i)$ 为待评对象 N_x 的第 i 个指标关于标准

等级 j 的单指标关联度 ($j = 1, 2, \dots, n$); a_i 为各评价指标的权系数。若

$$K_{ji} = \max[k_j(x_i)] \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

则待评对象第 i 指标属于城市土地生态水平标准等级 j 。

$$K_{jx} = \max[k_j(N_x)] \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

则待评对象 N_x 属于城市土地生态水平标准等级 j 。

2 城市土地生态水平评价指标体系的构建及权重确定

城市土地利用具有明显的经济特性、生态特性和社会特性,它是一种包括了人类经济行为、社会活动的参与、影响、干预甚至干扰作用、综合的生态环境的交互影响和作用的统一体^[15]。可见,城市土地生态主要包括经济生态性、环境生态性和社会生态性,土地经济生态性是指土地经济产出的高效性,财政收入、经济结构、收入分配的生态化,主要涉及土地的经济产出、城镇居民收入水平、农民人均收入、第三产业比重等经济内容;土地环境生态性是指城市土地的生态开发、治理和保护、土地的环境污染控制、环保支出等,主要涉及城市绿化、自然资源保护、土地退化治理、污染物排放控制、环保支出比重等生态环境内容;土地社会生态性是指城市社会群体的土地配置以及政府对社会群体的生态环境教育和社会群体的满意度反馈等社会行为,主要涉及城市化水平、城市人口密度、环保教育普及率、公众环境满意等社会内容。

根据以上的逻辑分析,本文采用“经济(economy)-环境(environment)-社会(society)”模式(EES模式)来构建城市土地生态水平评价指标体系,指标的选择主要以我国生态市建设指标,已有城市生态评价、土地生态评价的研究指标和研究城市的统计年鉴中的相关指标为主,遵循完全性原则、简捷易得性原则、相对独立原则和客观代表性原则,选取了18个指标构建城市土地生态水平评价指标体系(如表1)。

由于各个指标对城市土地生态水平的贡献程度各不相同,要精确评价城市土地生态水平就要对单个指标的贡献程度加以区分,需要确定各个指标的权系数。本评价采用层次分析法(AHP法),请多名专家对各层指标的相对重要性进行两两比较、判断,在汇总了专家评价结果的基础上,按层次分析法原理,采用方根法可以得到评价指标的相对重要性判断矩阵,但由于AHP法在实际运用中会出现高阶判断矩阵的求解时计算复杂且易出错,本文采用简化方法确定各项指标的权系数,均有满意的一致性。对各指标权系数的计算,具体方法可见相关文献研究^[16],计算的权系数结果如表1所示。

3 滨州市土地生态水平评价实证研究

3.1 研究区域概况

滨州市位于山东省北部平原,地处黄河三角洲腹地,是山东省七个沿海城市之一,也是山东半岛开放区和京、津、唐经济区的交汇处。全市土地总面积9445 km²,其中陆地面积9045 km²,海域面积400多 km²。

2002年以来,滨州市社会经济处于发展的快速阶段,工业规模不断扩大,城市人口密度持续增大,城市建设用地不断吞并周边的耕地、林地、园地等农地,加之处于黄河三角洲腹地、濒临渤海,特殊的地形地貌、土壤和气候条件导致的土地流失、盐渍化和沙化现象比较严重,这也就加剧了滨州市人口与土地资源、土地供给与需求、土地经济与土地生态的矛盾,也严重威胁城市生态环境。如何在继续保持经济发展的基础上,处理好城市建设与土地生态的矛盾,进一步提高城市土地生态功能,实现城市的可持续发展目标,成为滨州市所面临的十分紧迫的战略问题。2004年,滨州市政府启动了“滨州生态城市建设规划”,开始实施专门的生态城市发展战略,提出了“国家环保模范城市”建设目标,并实施了城市环境动态监测、城市绿化、水土保持工程、绿色廊道建设、土地恢复治理等一系列的生态环保措施,这些政策和措施将对滨州市城市土地生态系统产生重要影响。通过构建能够反映该区域特点的城市土地生态水平评价指标体系,建立科学合理的城市土地生态水平评价模型,对于了解该城市土地生态水平状态及其演变趋势十分重要,而且对于调整城市发展战略和土地生态环境建设重点也具有重要意义。

3.2 评价指标与数据来源

采用上文构建的城市土地生态水平评价指标体系对滨州市进行实证评价。根据数据的易获得性和完整

性,本文选取滨州市 2002 和 2005 两个年度的相关数据加以研究,数据来源于《2003 年中国城市统计年鉴》、《2006 年中国城市统计年鉴》、《2003 年滨州市统计年鉴》、《2006 年滨州市统计年鉴》和《滨州生态市建设规划》。

表 1 城市土地生态水平评价指标体系及其权系数

Table 1 The evaluation index system and weight of ecological level of urban land

目标 Object	因素 Factor	指标 Index	来源说明* Explanation	权系数 Weight coefficient
城市土地生态水平 Ecological level of urban land	经济 Econmic(0.25)	c_1 单位土地面积 GDP(万元/km ²) GDP per land areax	推导指标 Deduction Index	0.068
		c_2 单位土地面积财政收入(万元/km ²) Fiscal per land area	推导指标 Deduction Index	0.053
		c_3 农民人均纯收入(元/人) Per capita net income of rural residents	统计指标 Statistical index	0.033
		c_4 城镇居民人均可支配收入(元/人) Per capita annual disposable income of urban household	统计指标 Statistical index	0.033
		c_5 第三产业占 GDP 的比例(%) Ratio of the total value of tertiary industry in GDP	推导指标 Deduction Index	0.063
		c_6 受保护地区占国土面积比例(%) protected area ratio	引用指标 Quotative index	0.077
	环境 Environmental(0.45)	c_7 退化土地恢复率(%) Ratio of recovery land from deterioration	引用指标 Quotative index	0.076
		c_8 人均耕地面积(hm ² /人) Arable land area per capita	统计指标 Statistical index	0.073
		c_9 建成区绿化覆盖率(%) Green coverage ratio in built up area	统计指标 Statistical index	0.073
		c_{10} 人均公共绿地面积(m ² /人) Public green land area per capita	统计指标 Statistical index	0.072
		c_{11} 单位土地面积废气排放量(t/km ²) Amount of tailpipe emission per land area	推导指标 Deduction Index	0.053
		c_{12} 单位土地面积废水排放量(wt/km ²) Amount of Waste water generation per land area	推导指标 Deduction Index	0.061
	社会 Social(0.3)	c_{13} 单位土地面积工业固废排放量(t/km ²) Amount of solid waste generation per land area	推导指标 Deduction Index	0.065
		c_{14} 环保投入占 GDP 比例(%) Ratio of environment protection expense in GDP	引用指标 Quotative index	0.050
		c_{15} 城市化水平(%) urbanization level	统计指标 Statistical index	0.043
		c_{16} 人口密度(人/km ²) population density	统计指标 Statistical index	0.048
		c_{17} 环境保护宣传教育普及率(%) popularizing ratio of environment protection propaganda	引用指标 Quotative index	0.032
		c_{18} 公众对环境的满意率(%) Ratio of Public satisfaction about environment	引用指标 Quotative index	0.027

* 指标来源说明中,统计指标是来自于各种统计年鉴中官方化指标;引用指标是来自相关研究中的非官方化指标;推导指标是出于研究需要,笔者对官方化统计指标的计算推导得到的新指标 Index explanation;the “statistical index” is an official index which is from statistical yearbook; the “quotative index” is a non-official index which is from relative research literatures; the “Deduction index” is a new index which is deducted by some official indice.

3.3 滨州城市土地生态水平评价经典域、节域和待评物元

依据城市土地生态水平的可拓性,将其划分为 4 个等级,即 I→IV,将城市土地生态水平评价问题概述为:设 P 为城市土地生态水平等级集合, p 为待评对象, $P = \{ \text{优秀} \rightarrow \text{良好} \rightarrow \text{一般} \rightarrow \text{较差} \}$, $N_{01} = \{ \text{优秀} \}$ 、 $N_{02} = \{ \text{良好} \}$ 、 $N_{03} = \{ \text{一般} \}$ 、 $N_{04} = \{ \text{较差} \}$,则 N_{01} 、 N_{02} 、 N_{03} 、 $N_{04} \in P$,任何 $p \in P$,判断 p 属于 N_{01} 或 N_{02} 、 N_{03} 、 N_{04} ,并计算隶属程度。

城市土地生态水平评价经典域的确定主要参照国家环保总局《生态县、生态市、生态省建设指标(试行)》标准值、国家同类相关指标标准值、全国平均水平值等,具体如表 2。

表 2 城市土地生态水平指标经典域的取值范围标准

Table 2 The standard scale on the classic domain of the index of urban land ecological level

指标 Index	取值范围 Scale				指标 Index	取值范围 Scale			
	I	II	III	IV		I	II	III	IV
c_1	6400 ~ 11200	4500 ~ 6400	2500 ~ 4500	0 ~ 2500	c_{10}	35 ~ 60	11 ~ 35	7 ~ 11	0 ~ 7
c_2	580 ~ 1150	350 ~ 580	180 ~ 350	0 ~ 180	c_{11}	0 ~ 20	20 ~ 45	45 ~ 75	75 ~ 200
c_3	11000 ~ 20000	8000 ~ 11000	5000 ~ 8000	0 ~ 5000	c_{12}	0 ~ 10	10 ~ 17	17 ~ 22	22 ~ 40
c_4	24000 ~ 35000	18000 ~ 24000	10000 ~ 18000	0 ~ 10000	c_{13}	0 ~ 1.5	1.5 ~ 2.8	2.8 ~ 3.8	3.8 ~ 4.5
c_5	60 ~ 75	45 ~ 60	35 ~ 45	0 ~ 35	c_{14}	3.5 ~ 5	2.5 ~ 3.5	1.5 ~ 2.5	0 ~ 1.5
c_6	30 ~ 60	17 ~ 30	12 ~ 17	0 ~ 12	c_{15}	65 ~ 90	45 ~ 65	25 ~ 45	0 ~ 25
c_7	75 ~ 100	50 ~ 75	20 ~ 50	0 ~ 20	c_{16}	80 ~ 150	150 ~ 350	350 ~ 500	500 ~ 800
c_8	0.15 ~ 0.3	0.08 ~ 0.15	0.025 ~ 0.08	0 ~ 0.025	c_{17}	95 ~ 100	85 ~ 95	60 ~ 85	0 ~ 60
c_9	55 ~ 65	45 ~ 55	35 ~ 45	0 ~ 35	c_{18}	95 ~ 100	85 ~ 95	60 ~ 85	0 ~ 60

滨州城市土地生态水平评价的经典域物元矩阵 R_{01} 、 R_{02} 、 R_{03} 、 R_{04} 分别为:

$$R_{01} = \begin{bmatrix} N_{01} & c_1 & <6400, 11200> \\ & c_2 & <580, 1150> \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{18} & <3.5, 5> \end{bmatrix} \quad R_{02} = \begin{bmatrix} N_{02} & c_1 & <4500, 6400> \\ & c_2 & <350, 580> \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{18} & <2.5, 3.5> \end{bmatrix}$$
$$R_{03} = \begin{bmatrix} N_{03} & c_1 & <2500, 4500> \\ & c_2 & <180, 350> \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{18} & <1.5, 2.5> \end{bmatrix} \quad R_{04} = \begin{bmatrix} N_{04} & c_1 & <0, 2500> \\ & c_2 & <0, 180> \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{18} & <1, 1.5> \end{bmatrix}$$

根据经典域可以确定滨州市城市土地生态水平评价的节域物元矩阵 R_p 为:

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & <0, 11200> \\ & c_2 & <0, 1150> \\ & \vdots & \vdots \\ & c_{18} & <1, 5> \end{bmatrix}$$

根据 2002 年和 2005 年各指标的具体量值,滨州市 2002 年和 2005 年的城市土地生态水平待评物元矩阵 R_{2002} 、 R_{2005} 分别为:

$$R_{2002} = \begin{bmatrix} p_{2002} & c_1 & 725 \\ & c_2 & 38.67 \\ & c_3 & 2670 \\ & c_4 & 7373 \\ & c_5 & 40.05 \\ & c_6 & 8.78 \\ & c_7 & 51.1 \\ & c_8 & 0.107 \\ & c_9 & 17 \\ & c_{10} & 9.87 \\ & c_{11} & 57.79 \\ & c_{12} & 2.383 \\ & c_{13} & 0.099 \\ & c_{14} & 0.8 \\ & c_{15} & 15.1 \\ & c_{16} & 585 \\ & c_{17} & 38 \\ & c_{18} & 81 \end{bmatrix} \quad R_{2005} = \begin{bmatrix} p_{2005} & c_1 & 1430 \\ & c_2 & 106.38 \\ & c_3 & 3817 \\ & c_4 & 10286 \\ & c_5 & 37.3 \\ & c_6 & 19.2 \\ & c_7 & 65 \\ & c_8 & 0.130 \\ & c_9 & 19 \\ & c_{10} & 12.3 \\ & c_{11} & 160.8 \\ & c_{12} & 14.06 \\ & c_{13} & 0.335 \\ & c_{14} & 1.77 \\ & c_{15} & 23.7 \\ & c_{16} & 602.7 \\ & c_{17} & 62 \\ & c_{18} & 89 \end{bmatrix}$$

3.4 结果与分析

将待评物元 R_{2002} , R_{2005} 的具体数据输入物元模型,即可输出相应的计算结果。

表 3 显示了 2002 年各指标对应各等级的关联度、多指标综合关联度计算结果及土地生态水平等级判定。

表 3 滨州市 2002 年城市土地生态水平的有关计算结果

Table 3 Results of urban land ecological level of Binzhou city in 2002

关联度 Degree of association	N_{01}	N_{02}	N_{03}	N_{04}	水平级别 Grade
$K_j(c_1)$	-0.0603	-0.0570	-0.0483	0.0197	较差 Worse
$K_j(c_2)$	-0.0495	-0.0471	-0.0416	0.0114	较差 Worse
$K_j(c_3)$	-0.0250	-0.0220	-0.0154	0.0154	较差 Worse
$K_j(c_4)$	-0.0229	-0.0195	-0.0087	0.0087	较差 Worse
$K_j(c_5)$	-0.0229	-0.0078	0.0312	-0.0080	一般 General
$K_j(c_6)$	-0.0545	-0.0372	-0.0207	0.0207	较差 Worse
$K_j(c_7)$	-0.0250	0.0033	-0.0017	-0.0295	良好 Better
$K_j(c_8)$	-0.0209	0.0282	-0.0147	-0.0317	良好 Better
$K_j(c_9)$	-0.0504	-0.0454	-0.0375	0.0355	较差 Worse
$K_j(c_{10})$	-0.0517	-0.0074	0.0203	-0.0162	一般 General
$K_j(c_{11})$	-0.0250	-0.0123	0.0226	-0.0154	一般 General
$K_j(c_{12})$	-0.0210	-0.0096	0.0226	-0.0122	一般 General
$K_j(c_{13})$	0.0043	-0.0607	-0.0627	-0.0633	优秀 Excellent
$K_j(c_{14})$	-0.0386	-0.0340	-0.0233	0.0233	较差 Worse
$K_j(c_{15})$	-0.0330	-0.0286	-0.0170	0.0170	较差 Worse
$K_j(c_{16})$	-0.0321	-0.0292	-0.0136	0.0136	较差 Worse
$K_j(c_{17})$	-0.0192	-0.0177	-0.0282	0.0117	较差 Worse
$K_j(c_{18})$	-0.0115	-0.0047	0.0043	-0.0142	一般 General
$K_j(p_{2002})$	-0.5192	-0.4388	-0.3074	-0.0525	待定 Undetermined

$K_j(c_i) (i=1,2,\dots,18)$ 表示第 i 个指标对应 4 个评价等级的关联度。可以知道,单位土地面积 GDP(c_1) 对应 4 个评价等级的关联度分别为 $K_1(c_1) = -0.0603$ 、 $K_2(c_1) = -0.0570$ 、 $K_3(c_1) = -0.0483$ 、 $K_4(c_1) = 0.0197$, 依据本文 1.6 中(式 7)的判断标准 $K_4(c_1) = \max K_j(c_i), j \in (1,2,3,4)$, 从而可以判定该指标属于级别 N_{04} , 即该指标的土地生态水平较差。其他指标的生态水平级别的判定同上。

结果显示,2002 年滨州市城市土地生态水平评价指标中,10 个指标生态水平“较差”。但是,单位土地面积工业固废排放量(c_{13})指标生态水平“优秀”;退化土地恢复率(c_7)、人均耕地面积(c_8)等 2 个指标生态水平“良好”;第三产业占 GDP 的比例(c_5),城镇人均公共绿地面积(c_{10})、单位土地面积废水排放量(c_{12})、单位土地面积废气排放量(c_{11})等 3 个指标生态水平“一般”。

表 3 中 $K_j(p_{2002}) (j=1,2,3,4)$ 表示滨州市 2002 年所有指标加权求和综合对应 j 个评价等级的关联度,可知 2002 年滨州市城市土地生态水平所有指标对应各评价等级的综合关联度 $K_1(p_{2002}) = -0.5192$ 、 $K_2(p_{2002}) = -0.4388$ 、 $K_3(p_{2002}) = -0.3074$ 、 $K_4(p_{2002}) = -0.0525$, 依据本文 1.5 和 1.6 中,可以判定滨州市 2002 年的城市土地生态水平未达到第Ⅳ级(即“较差”水平),但具备向第Ⅳ级(即“较差”水平)。

同样的方法,可以得出滨州市 2005 年或其他年份的有关数据,由于数据收集的限制,本文只选择对 2002 和 2005 两年进行研究。两年的计算结果如表 4。

表 4 滨州市 2002、2005 年城市土地生态水平的相关计算结果
Table 4 Results of urban land ecological level of Binzhou city in 2002 and 2005

关联度 Degree of association	N_{01}	N_{02}	N_{03}	N_{04}	等级判断 Grade determination
$K_j(p_{2002})$	-0.5192	-0.4388	-0.3074	-0.0525	向 N_{04} 转化中
$K_j(p_{2005})$	-0.4596	-0.2271	-0.2481	-0.1039	向 N_{04} 转化中
变化幅度 Range of variation	0.0596	0.2117	0.0593	-0.0514	-

根据模型运算结果来看,滨州市 2005 年的城市土地生态水平也未达到第Ⅳ级(即“较差”水平),但是具备向第Ⅳ级(即“较差”水平)转化的条件。虽然从 2002 和 2005 年的评价结果似乎相同,然而这并不说明 2002~2005 年滨州市城市土地生态发展处于停滞阶段,因为 $K_4(p_{2005}) > K_4(p_{2002})$ 、 $K_3(p_{2005}) > K_3(p_{2002})$ 、 $K_2(p_{2005}) > K_2(p_{2002})$ 、 $K_1(p_{2005}) > K_1(p_{2002})$ 。和 2002 年比,2005 年滨州城市土地生态整体水平相对于第Ⅳ级的隶属度在减弱,而相对于第Ⅰ、第Ⅱ、Ⅲ级的隶属度在增强,暗示了 2005 年滨州城市土地生态水平部分已经有好转。而从隶属度整体变化幅度来看,2005 年,滨州城市土地生态水平关于第Ⅱ级的关联度增加幅度最大,为 0.2117,关于第Ⅰ、Ⅲ级的关联度增幅都不大,分别为 0.0596 和 0.0593,而关于第Ⅳ级的关联度却反而减少了 0.0514,这说明,相对第Ⅰ、Ⅲ级,2005 年滨州城市土地生态水平整体上向第Ⅱ级转化的趋势更加强烈,这与单个指标的改进程度大小有关。

从单个指标来看,2005 年滨州市城市土地生态水平评价单指标相对应各个等级的关联度计算结果显示,虽然大多数指标量值略有改善,但是都稳定在第Ⅳ级水平,没有发生等级跳跃。

值得肯定的是,有 5 个指标的生态水平等级发生了跳跃,其中城镇居民人均可支配收入(c_4)、环保投入占 GDP 比例(c_{14})、环境保护宣传教育普及率(c_{17})等 3 个指标由第Ⅳ级(较差)上升到第Ⅲ级(一般)水平,城镇人均公共绿地面积(c_{10})、公众对环境的满意率(c_{18})等 2 个指标由 2002 年的第Ⅲ级(一般)上升到第Ⅱ级(良好)水平,而受保护地区占国土面积比例(c_6)这个指标由第Ⅲ级(一般)跃升到第Ⅰ级(优秀)水平,这说明 2002~2005 年期间,滨州市在进一步推进全市经济发展的同时,也越来越关注到土地生态环境建设,加大了对环境保护的投入、对公众的环境教育和城市绿化建设,而公众对环境的满意率的增加也反映出生态环境建设的效果。2002~2005 年期间,滨州市城市土地生态建设的一个较大成绩就是自然保护区建设面积增加明显,截止 2005 年底,国家级和市级自然保护区和森林公园总面积达 1812.8km², 占国土面积的 19.2%。

然而,有 2 个指标的生态水平在恶化。单位土地面积废气排放量(c_{11})由 2002 年的第Ⅲ级(一般)向第Ⅳ

级(较差)倒退,单位土地面积废水排放量(c_{12})由第Ⅰ级(优秀)向第Ⅱ级(良好)下降,说明滨州市城市土地生态建设的主要问题是城市废水和废气的污染。如何在经济发展的同时有效控制并减少城市污染物的排放量,进一步提高环境生态指标的生态水平,促进评价指标的整体协调提升,是保障城市土地生态水平需要深入研究的问题。

4 结论与讨论

(1)实证研究结果显示:2002年和2005年,滨州市城市土地生态水平都未达到第Ⅳ级(即“较差”水平),但是都具备向第Ⅳ级(即“较差”水平)转化的条件。2005年滨州市城市土地生态水平比2002年已经部分有好转,向第Ⅱ级(即“良好”水平)转化的趋势更加强烈;滨州市土地生态发展的关键问题是着手控制并减少城市废水和废气的过度排放,因此,要坚决执行高污染工业的外迁或生态治理政策,引进先进工业废气和废水处理设备,建立城市废气和废水污染的监测和报警机制。

(2)传统综合评价法中^[17],如果能够得到单个指标水平的评价结果,通过加权综合,即可得到综合水平的评价等级,但评价结果不会显示出超出等级外的中间状态。而物元分析通过可拓变换,在单个指标水平评价结果的基础上,得到的综合评价信息更丰富,能够显示综合水平的中间转化状态(如2002和2005的综合结果)。

(3)本文作为一种研究方法的探讨,尝试性将物元分析方法运用到城市土地生态水平评价中,基本达到预期的研究目的。由于尚无太多的类似研究方法和理论可以借鉴,城市土地生态水平评价的指标选择、经典域的确定,物元分析中的关联函数的普适性等问题有待深入研究。

References:

- [1] Register R. Eco-city Berkeley: Building Cities for A Healthy Future. CA: North Atlantic Books, 1987. 13—43.
- [2] Huang Z Y, Yang D Y. The theoretical approach of the ecological city, City Planning Review, 2001, 25(1): 59—66.
- [3] Huang G Y, Chen Y. Study on urban ecologization and eco-city. Urban Environment and Urban Ecology, 1999, 12(6): 28—31.
- [4] Liang T, Cai C X, Liu M, *et al.* Study on methodology of ecological suitability assessment of urban land use: An example of Pingxiang. Geographical Research, 2007, 26(4): 782—789.
- [5] Liu Y, Liu Y Z, Xu P. Evaluation on ecological security of regional land resources: a case study of Jiaxing City. Zhejiang Province. Resources Science, 2004, 26(3): 69—75.
- [6] Gao G Q, Han M. Evaluation on ecological security of regional land resource: A case study of center district of Zaozhuang, Shandong Province. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(5): 271—273.
- [7] Fu B J, Chen L D, Ma C. The index system and method of land sustainable use evaluation. Journal of Natural Resources, 1997, 12(2): 114—120.
- [8] YU K Q, *et al.* Study of evaluation methods of sustainable urban land use. Journal of Shandong Agricultural University, 2003, 34(4): 527—531.
- [9] Tan Y Z. The index system and method of sustainable urban land use evaluation. Chinese Soft Science, 2003, 3: 139—143.
- [10] Cai W. Matter-element model and its application. Beijing: Science and Technology Publishing House, 1994.
- [11] Wu H J, *et al.* Comprehensive Assessment of Ecological Environmental by Matter Element Analysis. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Urban Science Edition), 2006, 23(1): 52—55.
- [12] Wang T, Zheng X H. Application of Material-Units Analyzing Method in Comprehensive Evaluation of Water Resources Carrying Capacity. Journal of China Hydrology, 2006, 26(6): 33—35.
- [13] Nie Y, *et al.* Gradation of agricultural land based on GIS and the fuzzy-material analysis method. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 20(5): 297—300.
- [14] Zhang H B, Liu L M, Zhang J L, *et al.* Matter-element model and its application to land resource eco-security assessment. Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences), 2007, 33(2): 222—229.
- [15] Liang L K. The theory and case study on land ecological use. Beijing: Science Publishing House, 2006.
- [16] Zhao H C. The AHP: A new simple method of decision making. Beijing: Science and Technology Publishing House, 1986.
- [17] Wu X Y, Li D, Wang C Y, *et al.* A discussion on the evaluation of the quality of comprehensive ecology: a case study of Lanzhou city. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(2): 22—26.

参考文献:

- [2] 黄肇义,杨东援. 国内外生态城市理论研究综述. 城市规划,2001,25(1):59~66.
- [3] 黄光宇,陈勇. 论城市生态化与生态城市. 城市环境与城市生态,1999,12(6):28~31.
- [4] 梁涛,蔡春霞,刘民,彭小雷. 城市土地的生态适宜性评价方法——以江西萍乡市为例. 地理研究,2007,26(4):782~789.
- [5] 刘勇,刘友兆,许萍. 区域土地资源生态安全评价. 资源科学,2004,26(3):69~75.
- [6] 高桂芹,韩美. 区域土地资源生态安全评价——以山东省枣庄市为例. 水土保持研究,2005,12(5):271~273.
- [7] 傅伯杰,陈利顶,马诚. 土地可持续利用评价的指标体系与方法. 自然资源学报,1997,12(2):114~120.
- [8] 于开芹,殷琪,李新举,常明. 城市土地可持续利用评价方法研究. 山东农业大学学报(自然科学版),2003,34(4):527~531.
- [9] 谭永忠,吴次芳,叶智宣,丁洪建,牟永铭. 城市土地可持续利用评价的指标体系与方法. 中国软科学,2003,3:139~143.
- [10] 蔡文. 物元模型及其应用. 北京:科学技术文献出版社,1994. 21~29.
- [11] 吴华军,刘年丰,何军,宋巍巍. 基于物元分析的生态环境综合评价研究. 华中科技大学学报(城市科学版),2006,23(1):52~55.
- [12] 王婷,郑小华. 物元分析法在水资源承载力综合评价中的应用. 水文,2006,26(6):33~35.
- [13] 聂艳,周勇,于婧,任意. 基于 GIS 和模糊物元分析法的农业地定级评价研究. 农业工程学报,2004,20(5):297~300.
- [14] 张洪波,刘黎明,张军连,朱战强. 区域土地资源生态安全评价的物元模型构建及应用. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2007,33(2):222~229.
- [15] 梁留科. 土地生态利用理论与案例分析. 北京:科学出版社,2006. 51~52.
- [16] 赵焕臣. 层次分析法——一种简易的新决策方法. 北京:科学技术出版社,1986. 28~29.
- [17] 吴晓英,李丁,王翠云,陈兴鹏. 城市综合生态质量评价探讨——以兰州市为例. 干旱区资源与环境,2007,21(2):22~26.