

# 主成分分析法在城镇土地生态安全评价中的应用

## ——以山东省临沂市为例

王惠勇, 曲衍波, 郑晓梅, 齐伟\*, 赵东娟, 商冉 (1. 山东省临沂市环境监测站, 山东临沂 276000; 2. 山东农业大学资源与环境学院, 山东泰安 271018; 3. 山东省五莲县国土资源局, 山东五莲 262300)

**摘要** 在对城镇土地生态安全进行概述的基础上, 本着科学性、系统性等原则, 从资源支持系统、社会支持系统、经济支持系统、环境支持系统4个方面选取25项具有代表性的评价因子, 构建城镇土地生态安全评价因子体系, 并采用主成分分析法对临沂市10个县区进行了城镇土地生态安全综合评价。结果表明, 临沂市各县区的土地生态状况差距较大。主成分分析法是一种切实可行的高信度的生态安全评价方法。

**关键词** 城镇土地生态安全; 生态安全评价; 主成分分析

中图分类号 F301.22 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)15-04614-04

### Application of Primary Component Analysis in the Assessment of Land Ecological Security at Township Level

WANG Hui-yong et al (Linyi Environmental Survey Station, Linyi, Shandong 276000)

**Abstract** Based on having good understanding of the concept of land ecological security at town level in the paper the indicator system of land ecological security evaluation, which included 25 indicators and was in view of economy and society safety system, resource and environment security system, was mainly established. Then the land ecological security of 10 counties of Linyi City was evaluated with primary component analysis method. The result showed that the land ecological status of 10 towns had much difference, and primary component analysis method was a feasible land ecological security evaluation method.

**Key words** Land ecological security at town level; Ecological security assessment; Primary component analysis

城镇化是经济社会发展的必然趋势, 也是工业化、现代化的重要标志。在快速城镇化的进程中, 诸如土地流失、资源紧缺、环境脆弱、人口增长等一系列问题油然而生, 生态的安全稳定和土地资源的可持续利用成为解决这一难题的关键, 也是当前研究的前沿课题。目前国内外研究的内容主要集中在对生态安全的内涵和评价因子等问题的阐述上<sup>[1-2]</sup>, 而土地生态安全评价的方法研究几乎还处于起步状态。所以, 笔者在对城镇土地生态安全的含义进行概述的基础上, 以临沂市10个县区为例, 采用主成分分析法对其土地生态安全进行综合评价, 试图探索一种简洁、科学可行的城镇土地生态安全评价方法, 为城镇土地生态安全保障体系的构建提供科学参考。

### 1 城镇土地生态安全的含义

安全一般认为是客观上不存在威胁, 主观上不存在恐惧的具体表现<sup>[3]</sup>。生态安全是一个涵盖多因素的复杂体系, 根据其狭义与广义两方面的解释<sup>[4-6]</sup>, 可以将生态安全理解为: 生态安全是一个国家(地区)生存和发展所需的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态, 自然生态环境能够满足人类持续生存与发展、社会经济持续发展的需求, 同时能够保持自然生态环境的内在潜力。土地生态安全即可理解为: 地球陆地表层岩土部分由各种有机物和无机物所构成的生态系统不被破坏, 同时该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要<sup>[7]</sup>。单纯的工业化和产业化思维支持下的城镇化引发了很多生态环境问题, 在客观和主观上都形成了“不安全”, 新时期的城镇化要向着可持续性和生态性的思维发展, 城镇角色要从产业或生产力中心转变为区域社会、经济、自然总调控中心, 城镇景观要从

纯粹的人工景观转变为小尺度多样性、中尺度均质性、大尺度异质性的自然人工复合景观。因此, 具体到城镇土地生态安全, 它应该是围绕城镇乃至周边的人们可持续发展的目的, 促使经济、社会和自然生态的协调统一, 是由土地自然生态安全、土地经济生态安全和土地社会生态安全三方面组成的安全复合体系。在城镇快速发展的进程中, 土地利用要在自然方面具有适宜性, 经济方面具有获利能力, 社会方面具有公平、公正性, 环境方面能够实现良性循环。

### 2 城镇土地生态安全评价

**2.1 研究区概况** 临沂市位于山东省东南部, 与江苏省接壤, 东临黄海, 西依泰山, 境内有海拔1 156 m的蒙山。历史悠久, 风光秀丽。全市辖3区9县, 总面积172万 $\text{hm}^2$ , 人口994万。地理位置优越, 交通便利, 基础设施和社会事业发展迅速, 城市功能完善, 工农业、商业蓬勃发展, 人们安居乐业。随着经济社会的不断发展, 大量土地资源被开发利用, 各县区之间的综合实力差距逐渐扩大, 生态环境、人口、经济发展与土地资源的矛盾逐渐显露, 临沂市土地生态安全面临着严峻的挑战。因此, 笔者选择经济比较发达的临沂市10个县区作为土地生态安全评价的研究对象。

**2.2 评价因子体系的构建** 构建土地生态安全评价因子体系是一项探索性很强的工作, 也是进行土地生态安全评价研究的核心内容。它涉及到自然、经济和社会等多方面, 根据评价因子选择的科学性、系统性、相对独立性、可操作性和可比性等原则, 为了保证评价因子体系选择的科学性和完备性, 笔者利用Delphi法对评价因子进行筛选, 剔去了对评价结果无关紧要的评价因子, 同时考虑到研究区域的土地资源生态安全状况水平以及国内外相关成果<sup>[8-15]</sup>, 从资源支持系统、社会支持系统、经济支持系统、环境支持系统4个方面选择了25个因素作为评价因子, 构建了临沂市城镇土地生态安全评价因子框架(图1)。

**2.3 主成分分析评价方法** 主成分分析是把多个评价因子

基金项目 国土资源部土地利用重点实验室2005年开放基金。

作者简介 王惠勇(1963-), 男, 山东临沂人, 高级工程师, 从事土地生态安全评价研究。\* 通讯作者, 博士, 副教授, E-mail: qiwei@sdau.edu.cn。

收稿日期 2007-01-26

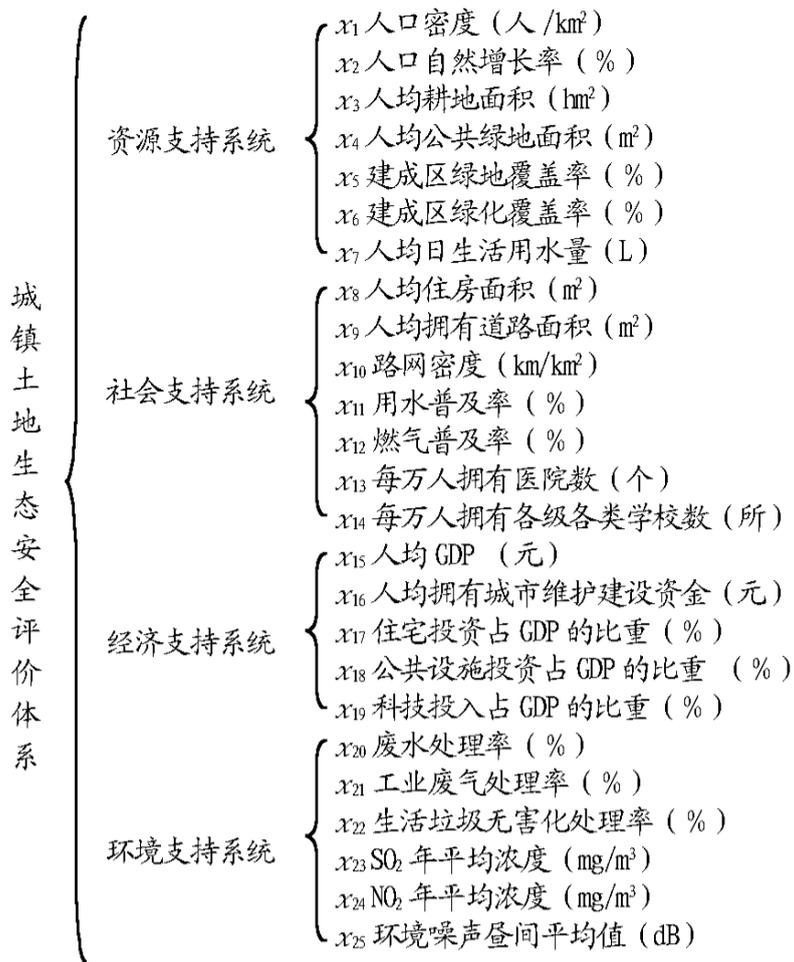


图1 城镇土地生态安全评价因子体系

化为少数几个综合评价因子的一种统计分析方法<sup>[7]</sup>。城镇土地生态安全评价的主成分分析法主要步骤如下:

设反映土地生态安全综合评价值的  $m$  项评价因子分别为:  $x_1, x_2, \dots, x_m$ ,  $n$  个评价县市的  $m$  项评价因子构成了原始数据矩阵  $X = |x_{ij}|_{m \times n}$ , 其中  $x_{ij}$  为第  $i$  个县市的第  $j$  项的评价因子数据。

表1 临沂市10县区土地生态安全单项评价因子值

县区	资源支持系统							社会支持系统						
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$
市辖区	1 085	12.66	1.09	9.33	28.03	31.50	137.86	16.48	15.25	5.73	100.00	92.39	0.34	0.6
沂南县	1 248	4.15	1.11	5.98	11.40	25.64	155.48	30.03	22.15	7.90	100.00	71.79	0.34	0.4
郯城县	934	4.85	0.99	4.70	13.90	23.06	148.51	35.90	16.85	4.33	97.91	68.85	0.45	0.3
沂水县	1 274	2.33	1.04	9.53	14.96	21.09	149.70	39.18	17.19	5.19	98.58	65.08	0.27	0.4
苍山县	1 124	3.73	1.24	4.64	12.07	26.94	122.20	23.81	22.74	5.70	98.62	85.66	0.26	0.3
费县	800	3.97	1.08	5.69	12.00	26.98	129.78	27.69	24.59	6.80	95.29	73.46	0.24	0.3
平邑县	1 006	3.42	0.88	8.25	18.24	28.27	130.08	25.62	22.75	8.24	97.87	94.16	0.44	0.3
莒南县	1 047	4.04	1.01	8.06	15.32	36.50	129.03	25.27	17.87	4.28	90.22	88.59	0.21	0.5
蒙阴县	558	3.74	0.92	10.95	15.05	29.90	155.73	20.83	16.33	6.02	92.02	97.78	0.21	0.2
临沭县	1 047	6.10	1.27	7.68	19.44	24.00	135.18	18.75	19.20	6.91	100.00	80.00	0.29	0.4

县区	经济支持系统					环境支持系统					
	$x_{15}$	$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$	$x_{20}$	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$	$x_{25}$
市辖区	9 256	356	13.22	3.63	0.19	50	87	85.00	0.059	0.037	54.2
沂南县	6 337	116	0.65	0.28	0.06	45	79	51.00	0.020	0.020	54.0
郯城县	7 374	124	2.90	0.31	0.02	32	50	48.00	0.022	0.025	52.3
沂水县	7 487	452	1.84	1.11	0.01	43	57	69.00	0.038	0.012	52.1
苍山县	5 746	154	1.36	0.46	0.07	31	53	55.00	0.039	0.045	48.9
费县	7 130	234	1.42	0.57	1.51	39	68	73.00	0.039	0.036	56.2
平邑县	6 909	164	2.59	0.48	0.04	37	65	48.00	0.027	0.029	54.6
莒南县	6 369	106	1.79	0.50	0.03	33	62	50.00	0.039	0.027	56.9
蒙阴县	7 578	82	1.29	0.34	0.04	35	64	80.00	0.027	0.025	56.7
临沭县	7 013	260	2.89	0.66	0.05	34	60	27.85	0.003	0.013	52.6

方差贡献率是衡量各因子相对重要程度的评价因子, 方差贡献率的大小, 表示各个主成分的相对重要程度。在统计学中一般认为主成分的累积贡献率达到85%即可保留有效

(1) 将原数据进行标准化处理。标准化公式如下:  $x_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / \sigma_j$  式中,  $x_{ij}$  为  $x_{ij}$  的标准化数据,  $\bar{x}_j$  和  $\sigma_j$  分别是第  $j$  项评价因子的样本均值和样本标准差。

(2) 建立标准化数据的相关系数矩阵  $R = [r_{ij}]_{m \times m}$ ,  $r_{ij}$  是  $x_i$  和  $x_j$  的相关系数。

(3) 求出相关矩阵  $R$  的特征值  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m, 0$ , 及对应的特征向量  $u_1, u_2, \dots, u_m$ , 其中  $u_i = (u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im}) (i = 1, 2, \dots, m)$ , 于是得到  $m$  个主成分  $Y_i = u_{i1}x_1 + u_{i2}x_2 + \dots + u_{im}x_m$ 。其中  $Y_i$  是第  $i$  个主成分 ( $i = 1, 2, \dots, m$ )。第  $i$  主成分  $Y_i$  的特征值  $\lambda_i$  即为该主成分的方差, 方差越大, 对总变差的贡献也越大, 其贡献率为:  $\lambda_i / (\sum_{k=1}^m \lambda_k)$ 。式中,  $\lambda_i$  反映了第  $i$  主成分综合原始变量信息的百分比<sup>[5]</sup>。

(4) 最终确定主成分, 并以每个主成分的方差贡献率为权重, 构造综合评价函数。选取使主成分的累积贡献率达到或超过85%的最小整数  $b$ <sup>[16]</sup>, 此时就最终确定了前  $b$  个主成分, 并以这  $b$  个主成分构造综合评价函数。即:

$$f = \lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_b Y_b$$

式中,  $f$  是县市土地生态安全综合评价分值。综合得分越高, 说明城镇的土地生态安全状况越好, 反之越低。

2.4 临沂市城镇土地生态安全评价 通过对城镇土地生态安全单项评价因子(表1)在SPSS11.0数据分析软件进行主成分分析, 得出其主成分的特征值、方差贡献率和方差累计贡献率(表2)。

信息<sup>[17]</sup>。从表2可见, 前6个主成分的累积贡献率是87.74%, 主成分  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6$  可以解释原始信息的能力分别是31.45%、18.45%、13.07%、9.57%、8.92%和6.28%。

确定主成分之后,按照上述公式,以主成分的方差贡献率比值作为其各自的权重,与各主成分因子加权求和,计算出各县区的综合评价分值,并对其排序便得到全市各县区的土地生态安全相对状况(表3)。

## 2.5 结果与分析

**2.5.1 主成分分析。**在主成分分析中,一般认为绝对值大于0.3的载荷就是显著的<sup>[18]</sup>,由于采用的变量较多,笔者选取绝对值大于0.5的载荷,这样对变量方差的解释可以从9%上升到25%(表4)。

表3 主成分因子得分及各县区综合评分

县区	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	综合评分	排名
市区	8.100 79	0.770 40	- 0.784 20	- 0.117 60	- 0.140 30	- 0.538 70	2.529 7	1
沂水县	- 0.095 50	2.835 90	2.892 10	1.064 60	- 1.870 10	0.917 10	0.863 7	2
沂南县	- 1.359 51	1.858 90	0.194 90	1.194 90	2.038 20	1.077 60	0.304 8	3
临沭县	- 0.763 75	1.892 40	- 0.461 48	- 2.115 13	1.529 36	1.345 73	0.067 4	4
平邑县	- 0.574 27	- 0.652 30	- 0.511 90	- 0.164 00	2.341 30	- 1.225 20	- 0.251 5	5
蒙阴县	0.011 96	- 4.181 61	2.505 61	- 0.123 38	0.727 14	- 0.337 58	- 0.408 3	6
费县	- 0.844 74	- 1.350 60	- 1.688 90	3.581 10	- 0.428 90	0.083 90	- 0.426 3	7
郯城县	- 2.098 53	1.333 80	1.444 80	- 0.891 20	- 0.998 80	- 2.587 70	- 0.562 1	8
莒南县	- 0.117 84	- 2.954 90	- 0.134 50	- 1.570 30	- 1.611 00	1.748 10	- 0.783 9	9
苍山县	- 2.258 59	0.448 00	- 3.456 50	- 0.859 10	- 1.587 00	- 0.483 20	- 1.333 7	10

表4 评价因子载荷矩阵

评价因子	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>
X <sub>18</sub>	0.961	0.004	0.097	0.149	0.068	0.129
X <sub>17</sub>	0.957	0.098	0.061	- 0.103	0.003	0.055
X <sub>5</sub>	0.933	0.005	- 0.146	0.041	0.046	0.094
X <sub>2</sub>	0.921	0.049	0.028	0.288	0.070	0.242
X <sub>15</sub>	0.816	0.027	0.358	0.363	0.092	- 0.147
X <sub>8</sub>	- 0.602	- 0.403	0.318	0.258	- 0.298	0.264
X <sub>21</sub>	0.574	0.291	0.092	0.312	0.560	0.327
X <sub>20</sub>	0.541	0.091	0.326	0.474	0.360	0.458
X <sub>1</sub>	0.041	0.863	- 0.046	- 0.200	0.014	0.086
X <sub>11</sub>	0.348	- 0.788	0.039	- 0.172	0.350	0.206
X <sub>25</sub>	- 0.002	0.778	0.324	0.310	0.213	- 0.086
X <sub>12</sub>	0.422	- 0.710	- 0.235	- 0.207	- 0.078	- 0.325
X <sub>3</sub>	0.108	- 0.542	- 0.372	- 0.261	0.120	0.199
X <sub>6</sub>	0.233	- 0.310	0.898	0.030	0.085	0.132
X <sub>7</sub>	- 0.035	- 0.076	0.838	0.079	- 0.008	- 0.066
X <sub>4</sub>	0.431	0.435	0.629	0.055	- 0.068	- 0.099
X <sub>24</sub>	0.175	0.188	0.339	- 0.856	- 0.028	- 0.159
X <sub>22</sub>	0.358	0.206	0.112	0.818	- 0.129	- 0.145
X <sub>19</sub>	- 0.157	- 0.066	- 0.287	0.714	0.343	- 0.191
X <sub>23</sub>	0.416	0.217	- 0.321	0.671	- 0.307	0.273
X <sub>10</sub>	- 0.031	- 0.035	0.028	- 0.091	0.959	- 0.068
X <sub>9</sub>	- 0.535	- 0.132	- 0.507	0.110	0.630	0.024
X <sub>14</sub>	0.605	0.080	- 0.028	- 0.010	- 0.090	0.739
X <sub>13</sub>	0.178	- 0.313	- 0.013	- 0.238	0.163	0.568
X <sub>16</sub>	0.455	0.294	0.251	0.328	- 0.088	- 0.532

由主成分矩阵(表4)可以看出,第1主成分对公共服务设施投资占GDP的比重X<sub>18</sub>、住宅投资占GDP的比重X<sub>17</sub>、建成区绿地覆盖率X<sub>5</sub>、人口自然增长率X<sub>2</sub>、人均GDP X<sub>15</sub>、人均住房面积X<sub>8</sub>、工业废气处理率X<sub>21</sub>和废水处理率X<sub>20</sub>评价因子有绝对值较大的载荷,反映了各县区的经济社会发展、资源利用和环境保护的综合状况,其中X<sub>18</sub>的负载系数最大为0.961,反映了公共服务设施投资占GDP的比重。

第2主成分载荷较大的是人口密度X<sub>1</sub>、用水普及率X<sub>11</sub>、燃气普及率X<sub>12</sub>及人均耕地面积X<sub>3</sub>,反映了各县区的人口承载力 and 资源压力状况,表明各县区城镇化进程的加快,使得

表2 主成分的特征值、方差贡献率及方差累积贡献率

主成份	特征值	方差贡献率 %	累积贡献率 %
F <sub>1</sub>	7.862 60	31.45	31.45
F <sub>2</sub>	4.611 90	18.45	49.90
F <sub>3</sub>	3.267 53	13.07	62.97
F <sub>4</sub>	2.391 33	9.57	72.54
F <sub>5</sub>	2.231 62	8.92	81.46
F <sub>6</sub>	1.570 90	6.28	87.74
F <sub>7</sub>	1.296 65	5.19	92.93
F <sub>8</sub>	0.942 29	3.77	96.70
F <sub>9</sub>	0.824 99	3.30	100

耕地面积减少,人口密度增大,能源压力增加。

第3主成分在建成区绿化覆盖率X<sub>6</sub>、人均日常用水量X<sub>7</sub>、人均公共绿地面积X<sub>4</sub>评价因子上的载荷较大,突出反映了水资源利用和生态建设状况。

第4主成分载荷较大的是NO<sub>2</sub>年平均浓度X<sub>24</sub>、生活垃圾无害化处理率X<sub>22</sub>,反映了社会对环境保护的响应情况,其中NO<sub>2</sub>年平均浓度X<sub>24</sub>负载较大,且为-0.856,进一步表明了社会工业发展对环境质量的影响。

第5主成分在人均拥有道路面积X<sub>9</sub>和路网密度X<sub>10</sub>两项评价因子上的载荷较高,反映出各县区的道路建设和交通发展状况。

第6主成分载荷较大的是每万人拥有各级各类学校数X<sub>14</sub>、每万人拥有医院数X<sub>13</sub>,着重反映了各县区的城镇基础设施建设状况。

**2.5.2 综合评价分析。**由表3可知,临沂各县、区城镇土地生态安全状况为:市辖区>沂水县>沂南县>临沭县>平邑县>蒙阴县>费县>郯城县>莒南县>苍山县。

就土地生态安全综合状况而言,市辖区占有绝对的优势,沂水县、沂南县和临沭县比较优越,郯城县、莒南县、苍山县相对较差。

就单项主成分得分而言,市辖区在第1主成分的分值高达8.1,表明市辖区在经济社会综合发展实力上有较大的优势,然而在快速发展的过程中应着重加强水资源的合理利用,提高资源的利用率,加快城区生态建设的发展;沂水县在第2、3主成分上得分最高,在资源利用与分配上具有较大的发展空间,环境保护和城镇基础设施建设相对较强,但第5主成分评分较低,道路交通建设相对薄弱;平邑县在第5主成分上得分最高,具有较优越的交通运输条件,今后应充分利用这一优势条件加快城镇基础设施的建设;费县在第4主

成分上分值最高,生态建设和环境保护状况比较优越,但在经济发展、社会综合实力上还需进一步加强;郯城县、莒南县、苍山县的土地生态安全状况较差,城镇的社会经济发展仍需提高,但发展经济的同时应该加大对环境的保护,进而提高城镇整体生态安全水平。

### 3 结论

理论联系实际来看,该次评价结果与临沂市各县区城镇的实际情况基本吻合,说明主成分分析法在土地生态安全评价应用方面具有较高的可信度,是一种切实可行的评价方法。笔者在尽可能多地考虑各种评价因子的前提下,采用主成分分析法对临沂市10个县区的土地生态安全进行了综合评价,基本反映出各县区的整体情况,同时也客观地确定了各评价因子的权重,避免了主观随意性。

### 参考文献

- [1] DOBSON, ANDY P. Hopes for the future: Restoration ecology and conservation ecology[J]. *Science*, 1997, 277: 515- 524.
- [2] NORTONS B, RODIER DJ, GEAILLE J H, et al. A framework for ecological risk assessment at the EPA[J]. *Environ Toxicol Chem*, 1992, 11: 1663- 1672.
- [3] 李辉, 魏德洲. 环境影响评价的新领域——生态安全评价[J]. *安全与环境学报*, 2003, 3(5): 68- 70.
- [4] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354- 358.
- [5] 杜巧玲, 许学工, 刘文政. 黑河中下游绿洲生态安全评价[J]. *生态学报*, 2004, 24(9): 1916- 1923.
- [6] 谢花林, 李波. 城市生态安全评价评价因子体系与评价方法研究[J]. *北京师范大学学报*, 2004, 40(5): 705- 710.
- [7] 杨京平, 卢剑波. 生态安全的系统分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [8] 刘勇, 刘友兆, 徐萍. 区域土地资源生态安全评价——以浙江嘉兴市为例[J]. *资源科学*, 2004(3): 69- 75.
- [9] 曹新向, 郭志永, 雒海潮. 区域土地资源持续利用的生态安全研究[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(2): 192- 195.
- [10] 罗贞礼. 土地利用生态安全评价评价因子的系统聚类分析[J]. *湖南地质*, 2002, 21(4): 252- 254.
- [11] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全评价评价因子与标准研究[J]. *地理学与国土研究*, 2002, 18(1): 67- 71.
- [12] 周勇, 田有国, 任意, 等. 定量化土地评价评价因子体系及评价方法探讨[J]. *生态环境*, 2003, 12(1): 37- 41.
- [13] 吴国庆. 区域农业可持续发展的生态安全及其评价研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2001, 22(4): 22- 25.
- [14] 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础[J]. *生态学报*, 2004, 24(4): 761- 768.
- [15] DUMANSKI J, HERI C. Land quality indicators: research plan[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2000, 81: 93- 102.
- [16] 王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1551- 1556.
- [17] 冯利华, 马未宇. 主成分分析法在地区综合实力评价中的应用[J]. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(16): 73- 75.
- [18] 应竹青. 城市环境质量多元统计分析——永安市城市环境质量综合评价[J]. *数理统计与管理*, 1995, 14(6): 1- 4.