

基于 PCA 的土地生态安全评价研究——以浙江省义乌市为例

茅张圆¹, 李湛², 薛继斌¹ (1. 浙江财经大学财政与公共管理学院, 浙江杭州 310018; 2. 义乌市土地规划所, 浙江义乌 322001)

摘要 依据区域土地生态安全评价一般性指标体系和现有的评价实例, 结合义乌市实际情况, 建立了由 25 项指标组成的具有义乌特色的土地生态安全评价指标体系, 运用基于 SPSS 软件的主成分分析(PCA)方法, 对义乌市土地生态安全情况进行评价, 并运用聚类分析方法对其土地生态安全水平进行分极。结果表明, 2008~2012 年义乌市土地生态综合安全得分分别为 0.697、0.289、-0.869、0.151 和 -0.140; 义乌市土地生态综合安全水平, 共分为 3 级, 2008 年为安全级, 2009 和 2011 年是良好级, 2010 和 2012 年是预警级。义乌市土地生态安全水平总体呈下降趋势, 2010 和 2012 年有较高的风险等级。对义乌市土地生态安全状况进行评价, 可为义乌市土地资源的可持续利用提供管理经验。

关键词 土地评价; 生态安全; PCA; 义乌市

中图分类号 S27; F301.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)20-197-04

Evaluation of Land Ecological Security Based on PCA: A Case Study of Yiwu City, Zhejiang Province

MAO Zhang-yuan¹, LI Zhan², XUE Ji-bin¹ (1. Institute of Finance and Public Management, Zhejiang University of Finance and Economic, Hangzhou, Zhejiang 310018; 2. Yiwu Institute of Land Use Planning, Yiwu, Zhejiang 322001)

Abstract On the basis of regional land ecological security evaluation index system of general and existing instances of land ecological security evaluation, combining with the actual situation of Yiwu City, the index system was established by 25 indexes of land ecological security evaluation. Using principal component analysis based on SPSS software, land ecological safety situation of Yiwu City was evaluated, the cluster analysis method was used to grade land ecological safety level. The results showed that land ecological comprehensive safety score of Yiwu City during 2008-2012 are 0.697, 0.289, -0.869, 0.151 and -0.140. The classification of comprehensive land ecological security level of Yiwu can be divided into three levels, the level of security is the year of 2008, the level of good are the years of 2009 and 2011, and the level of warning are the years of 2010 and 2012. The land ecological security level of Yiwu City is generally on the decline. Through the research on evaluation of land ecological security in Yiwu City, it can provide management experience of sustainable using land resources.

Key words Land evaluation; Ecological security; PAC; Yiwu City

当前我国已进入工业化、城镇化的快速推进阶段, 土地资源需求大幅度提高, 充分体现和发挥了土地的经济价值和功能。但是在土地资源开发和利用过程中存在着诸多问题, 例如生态环境受到大规模的破坏、生物多样性锐减等, 人类对土地资源的开发利用程度在某些地区已经达到甚至超过区域土地所能承受的极限, 因此对土地生态安全的研究和评价具有极其重要的意义。

土地生态安全是指陆地表层由各种有机物和无机物构成的土地生态系统的结构不受破坏, 同时土地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^[1]。国内许多学者在省级层面上对土地生态安全评价做了研究, 通过构建由自然因素、经济因素和社会因素 3 个层面指标组成的土地生态安全评价指标体系, 并运用层次分析法和土地生态安全模型对评价区域进行空间尺度或者时间尺度的土地生态安全评价研究^[2-4]。同时, 一些方法和模型也被引入到土地生态安全评价研究中, 如优势度评价方法^[5]、聚类分析法^[6-8]和 PSR(状态-压力-响应)模型^[9]、物元模型^[10-11]等。此外, 基于地理信息系统(GIS)和全球变化的研究方法也被引入到土地生态安全评价中^[12-14]。总的来说, 学术界对土地生态安全模型及计算方法的研究呈现出强化和密集的趋势。

笔者在前人研究的基础上, 从自然、经济和社会 3 个维

度构建土地生态安全指标体系, 运用主成分分析法, 进一步揭示土地生态安全在时间上的分异特征与规律。

1 指标体系、数据来源与研究方法

1.1 评价指标体系的构建 该研究指标体系是在重庆市和江苏省土地生态安全评价指标体系的基础上, 结合义乌市土地生态安全特点而构建起来的, 所构建的义乌市土地生态安全评价指标体系见表 1。评价指标作为影响土地生态安全的因素, 可分为正安全趋向性指标和负安全趋向性指标。正安全趋向指标值越大, 表明维护和改善土地生态安全的能力越强; 负安全趋向性指标值越大, 对土地的压力越大, 土地生态安全状况越差。

1.2 评价年份与数据来源 根据数据可获取性的原则, 选取的评价时段是 2008~2012 年。主要统计数据来源于 2009~2013 年《义乌统计年鉴》, 其中部分土地数据来源于 2009~2013 年义乌市地籍调查数据, 还有一些数据来源于《义乌市域总体规划(2013-2030 年)》。原始数据见表 2。

1.3 研究方法 主成分分析法主要是使变量数能够有效降低, 与此同时还能够确保原有的信息最少的丢失, 并且仍然还能被广泛应用的一种方法^[15]。其主要步骤是: 首先, 对原始数据进行有效的标准化; 其次, 在得到标准化数据之后计算相关系数矩阵, 得到特征值特征向量并得出方差和累计方差贡献率, 当累计方差贡献率大于或等于 85% 后确定需要的主成分的个数; 再次, 以之前计算得出的每一个主成分的方差贡献率为权重, 计算提取的 n 个主成分所对应的得分; 最后, 对所提取的每一个主成分分别进行加权并求和, 得到它们的总评分, 再对它们进行排序。

基金项目 国家自然科学基金项目(41401624)。

作者简介 茅张圆(1989-), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 研究方向: 土地利用规划与评价。

收稿日期 2015-05-20

表 1 义乌市土地生态安全评价指标体系

目标层 A	因素层 B	指标层 C	指标类型
土地安全评价指标体系 A	B ₁ 自然生态因素	C ₁ 人均耕地面积(hm ²)	+
		C ₂ 耕地面积(万 hm ²)	+
		C ₃ 林地面积(万 hm ²)	+
		C ₄ 水域面积(万 hm ²)	+
		C ₅ 耕地中旱地比重(%)	-
		C ₆ 土地后备资源面积(%)	+
		C ₇ 水土协调度(%)	+
	B ₂ 经济生态因素	C ₈ 人均水资源量(m ³)	+
		C ₉ 人均 GDP(万元)	+
		C ₁₀ 经济密度(亿元/km ²)	+
		C ₁₁ 单位耕地产值(万 kg/hm ²)	+
		C ₁₂ 单位面积耕地农业机械化水平(kW/hm ²)	+
		C ₁₃ 单位面积耕地用电量(万 kW·h/hm ²)	-
		C ₁₄ 单位面积耕地化肥施用量(万 kg/hm ²)	-
		C ₁₅ 单位面积耕地农药施用量(kg/hm ²)	-
		C ₁₆ 单位面积耕地农用塑料薄膜使用量(kg/hm ²)	-
		C ₁₇ 有效灌溉面积率(%)	+
		C ₁₈ 工业废水排放量(亿 t)	-
		C ₁₉ 工业固体废物综合利用率(%)	+
	C ₂₀ 第三产业比例(%)	+	
	C ₂₁ 人均固定资产投资(万元/km ²)	+	
	C ₂₂ 建设用地占用耕地面积(hm ²)	-	
	B ₃ 社会生态因素	C ₂₃ 人口自然增长率(%e)	-
		C ₂₄ 城市化率(%)	+
		C ₂₅ 人口密度(人/km ²)	-

注：“+”为正向指标，“-”为负向指标。

表 2 原始监测数据

指标	2012 年	2011 年	2010 年	2009 年	2008 年
C ₁ //hm ²	0.018 6	0.018 8	0.018 2	0.019 6	0.021 2
C ₂ //万 hm ²	2.311	2.321	2.345	2.355	2.515
C ₃ //万 hm ²	4.880	4.885	4.892	4.894	4.955
C ₄ //万 hm ²	0.751	0.754	0.759	0.717	0.667
C ₅ //%	28.16	27.79	27.77	27.81	24.42
C ₆ //%	688.90	699.43	715.63	686.35	472.90
C ₇ //%	73.06	72.76	72.00	71.70	67.14
C ₈ //m ³	658.370	664.506	636.943	683.333	691.983
C ₉ //万元	6.447	5.884	4.769	4.329	4.163
C ₁₀ //亿元/km ²	0.727	0.657	0.556	0.470	0.447
C ₁₁ //万 kg/hm ²	9.128	8.531	7.321	6.199	6.075
C ₁₂ //kW/hm ²	12.633	12.427	11.980	11.647	10.557
C ₁₃ //万 kW·h/hm ²	4.47	4.33	4.06	3.89	3.37
C ₁₄ //万 kg/hm ²	0.149	0.278	0.147	0.146	0.133
C ₁₅ //kg/hm ²	21.372	21.414	21.277	21.527	19.761
C ₁₆ //kg/hm ²	14.839	14.607	14.071	13.969	14.751
C ₁₇ //%	85.66	90.61	89.97	89.85	83.97
C ₁₈ //亿 t	0.209 0	0.183 0	0.183 4	0.199 0	0.252 0
C ₁₉ //%	100	98.4	98.4	98	99
C ₂₀ //%	55.76	54.46	45.21	53.43	51.61
C ₂₁ //万元/km ²	262.58	202.31	182.77	162.13	152.40
C ₂₂ //hm ²	111.16	265.530	89.85	56.450	297.11
C ₂₃ //‰	4.500	4.500	7.400	4.100	5.100
C ₂₄ //%	72.00	71.20	68.50	64.90	61.20
C ₂₅ //人/km ²	11.28	11.17	11.66	10.86	10.73

2 结果与分析

2.1 主成分分析 根据主成分分析法的具体步骤,将表 1 中原始监测数据进行标准化后求出相关系数矩阵,用 SPSS 软件分别对 25 个评价指标的相关系数矩阵和特征值进行计算,根据特征值方差累计贡献率确定选取主成分的个数。但必须对原始的数据进行标准化来保证已经消除量纲的影响,因为主成分分析过程中各个成分的大小、量纲和评价指标有很大差别,可比性非常差,所以必须先进行标准化,使各个

数据之间具有较好的可比性。使用 Z-Score 变换方法来对原始数据变量矩阵 X 进行标准化处理,求得变换后的新矩阵为 $Z_{n \times p}$,即:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{X}_j}{s_j} (i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,p)$$

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}, s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2$$

此外,因为指标有正向指标与逆向指标的分别,因此还

要将负向指标正向化,这里采用的方法是用负向指标标准化 数值乘以 -1 来正向化,得到标准化数据(表 3)。

表 3 标准化数据

指标	2012 年	2011 年	2010 年	2009 年	2008 年
C_1	-0.606 4	-0.398 7	-0.890 1	0.282 5	-0.606 4
C_2	-0.698 3	-0.584 8	-0.291 4	-0.173 4	-0.698 3
C_3	-0.691 2	-0.545 8	-0.294 1	-0.225 8	-0.691 2
C_4	0.543 6	0.643 8	0.753 3	-0.322 5	0.543 6
C_5	-0.624 0	-0.387 3	-0.370 3	-0.397 7	-0.624 0
C_6	0.358 5	0.462 6	0.622 8	0.333 3	0.358 5
C_7	0.716 8	0.593 2	0.278 3	0.153 4	0.716 8
C_8	-0.399 8	-0.116 5	-1.389 5	0.7531	-0.399 8
C_9	1.327 0	0.764 7	-0.348 8	-0.788 4	1.327 0
C_{10}	1.295 9	0.716 0	-0.129 5	-0.842 4	1.295 9
C_{11}	1.228 5	0.791 1	-0.095 2	-0.916 8	1.228 5
C_{12}	0.958 3	0.707 0	0.160 5	-0.246 1	0.958 3
C_{13}	-1.027 8	-0.722 7	-0.086 5	0.315 6	-1.027 8
C_{14}	0.357 8	1.779 0	-0.387 7	-0.410 4	0.357 8
C_{15}	-0.409 2	-0.466 6	-0.279 8	-0.619 9	-0.409 2
C_{16}	-0.978 7	-0.397 5	0.940 8	1.193 5	-0.978 7
C_{17}	-0.785 9	0.869 4	0.653 6	0.613 2	-0.785 9
C_{18}	-0.131 5	0.773 2	0.773 2	0.237 5	-0.131 5
C_{19}	1.590 3	-0.461 7	-0.461 7	-0.974 7	1.590 3
C_{20}	0.886 0	0.571 8	-1.664 1	0.323 9	0.886 0
C_{21}	1.602 6	0.195 6	-0.150 2	-0.742 7	1.602 6
C_{22}	0.483 1	-0.927 8	0.677 9	0.983 2	0.483 1
C_{23}	0.468 4	0.468 4	-1.722 5	0.770 6	0.468 4
C_{24}	0.984 4	0.807 0	0.208 4	-0.589 8	0.984 4
C_{25}	-0.375 8	-0.090 0	-1.417 2	0.755 1	-0.375 8

再利用 SPSS 求得其特征值和主成分贡献率及累计贡献 率(表 4)。

表 4 特征值和主成分贡献率及累计贡献率

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差百分 比//%	累积百分 比//%	合计	方差百分 比//%	累积百分 比//%	合计	方差百分 比//%	累积百分 比//%
1	15.476	61.903	61.903	15.476	61.903	61.903	13.958	55.831	55.831
2	5.398	21.591	83.495	5.398	21.591	83.495	5.618	22.470	78.302
3	2.673	10.692	94.186	2.673	10.692	94.186	3.481	13.922	92.224
4	1.453	5.814	100.000	1.453	5.814	100.000	1.944	7.776	100.000

根据表 4,提取累积方差贡献率大于 85% 的公因子,所以取 3 个主成分。

用 SPSS 软件可得到初始因子载荷矩阵(表 5),各个载荷量表示主成分与对应变量之间的相关系数。但是主成分载荷矩阵是需要用初始因子载荷矩阵中的数据除以主成分所对应的特征值来求平方根,得到 2 个主成分中每个指标所对应的系数,才能得到相应的主成分载荷值(表 6)。

根据原始变量的标准化值(表 3)与表 6 中的主成分载荷值,运用 SPSS 软件可以计算出 2008~2012 年义乌市土地安全评价各项主因子(F_1 、 F_2 、 F_3)的得分,从而计算得到土地生态综合安全得分(表 7)。

2.2 聚类分析 为更清晰地了解各年份土地安全水平及其影响因素,运用聚类分析法对 2008~2012 年义乌市土地生态安全水平进行分级。采用 SPSS19.0 统计软件对义乌市土

地安全评价水平进行聚类分析,得到聚类结果:

(1)安全级是 2008 年,该年的土地安全评价综合因子(F)得分最高,主要是第一个因子(F_1)和第三个因子(F_3)的得分较高。说明 2008 年义乌市土地生态系统的综合服务功能比较完善,土地生态环境基本没有受到大规模的干扰和破坏,土地生态系统的结构较为完整,功能性比较强,土壤较肥沃,基本无农业污染,有比较高的植被覆盖率,基本没有严重的生态问题和生态灾害现象的发生。

(2)良好级是 2009 和 2011 年,这 2 年的土地安全评价综合因子(F)得分仅次于 2008 年,主要是第二个因子(F_2)和第三个因子(F_3)的得分较高。说明 2009 和 2011 年义乌市土地生态系统服务功能比较完善,土地生态环境基本没有受到破坏,生态系统的结构较为完整,功能比较良好,在受干扰后经过治理基本可以得到恢复,没有显著的生态问题,

生态灾害不严重。

(3) 预警级是 2010 和 2012 年, 这 2 年的土地安全评价综合因子 (F) 得分最低, 主要是 3 个因子的得分均较低。说明 2010 和 2012 年义乌市的土地生态的系统服务功能已经开

始有明显的退化, 土地生态环境已经受到较为严重的破坏, 生态系统的结构已经发生很大变化, 已经到达不可恢复的临界点, 只能勉强维持基本功能, 在受到外界干扰后容易发生恶化, 已经有生态问题出现, 不间断有生态灾害发生。

表 5 初始因子载荷矩阵

指标	F_1	F_2	F_3
C_1	0.986	0.160	0.049
C_2	0.981	-0.061	0.169
C_3	-0.979	0.077	-0.172
C_4	0.977	-0.140	-0.125
C_5	-0.973	-0.227	-0.038
C_6	-0.973	0.095	-0.185
C_7	-0.960	0.196	0.198
C_8	0.958	0.255	-0.085
C_9	-0.943	0.193	-0.203
C_{10}	0.932	-0.328	0.140
C_{11}	-0.892	0.266	-0.337
C_{12}	0.854	-0.453	0.145
C_{13}	0.827	0.540	-0.147
C_{14}	0.820	0.536	-0.168
C_{15}	0.780	0.621	-0.066
C_{16}	-0.759	0.285	0.580
C_{17}	-0.743	0.315	0.594
C_{18}	0.742	0.582	-0.232
C_{19}	0.101	-0.959	0.220
C_{20}	0.109	0.806	-0.440
C_{21}	0.122	0.750	0.636
C_{22}	0.585	-0.641	0.354
C_{23}	-0.059	0.558	0.813
C_{24}	0.476	-0.511	0.055
C_{25}	0.599	0.414	0.295

表 6 主成分载荷值

指标	F_1	F_2	F_3
X_1	0.251	0.069	0.030
X_2	0.249	-0.026	0.103
X_3	-0.249	0.033	-0.105
X_4	0.248	-0.060	-0.076
X_5	-0.247	-0.098	-0.024
X_6	-0.247	0.041	-0.113
X_7	-0.244	0.084	0.121
X_8	0.244	0.110	-0.052
X_9	-0.240	0.083	-0.124
X_{10}	0.237	-0.141	0.086
X_{11}	-0.227	0.114	-0.206
X_{12}	0.217	-0.195	0.089
X_{13}	0.210	0.232	-0.090
X_{14}	0.208	0.231	-0.103
X_{15}	0.198	0.267	-0.041
X_{16}	-0.193	0.123	0.355
X_{17}	-0.189	0.129	0.363
X_{18}	0.189	0.250	-0.142
X_{19}	0.026	-0.413	0.134
X_{20}	0.028	0.347	-0.269
X_{21}	0.031	0.323	0.389
X_{22}	0.149	-0.276	0.216
X_{23}	-0.015	0.240	0.497
X_{24}	0.121	-0.220	0.033
X_{25}	0.152	0.178	0.180

表 7 义乌市土地安全评价水平排名

年份	F_1		F_2		F_3		$F_{\text{综合}}$	
	得分	排名	得分	排名	得分	排名	得分	排名
2012	0.024	2	-0.761	5	0.161	2	-0.140	4
2011	-0.048	4	0.942	1	-0.294	4	0.151	3
2010	-0.835	5	-1.355	2	-0.084	3	-0.869	5
2009	0.005	3	0.731	4	1.040	1	0.289	2
2008	1.003	1	0.608	3	-0.896	5	0.697	1

3 结论

运用主成分分析法, 借助 SPSS 软件计算得出 2008 ~ 2012 年义乌市土地生态安全综合得分由 0.697 降至 -0.140, 其中最严重的 2010 年的得分是 -0.869, 是 5 年中的最低水平。2010 ~ 2012 年, 由于义乌市开始建设生态城市, 出台了許多环境保护相关的政策法规, 再加上义乌市人民的环保意识有所增强, 所以土地生态安全水平有所上升。但对这一过程进行指数曲线拟合, 不难发现义乌市土地生态安全状况总体上是呈下降趋势的。结合主成分分析结果和义乌各年份土地安全评价水平排名可得出结论: 经济快速发展对土地生态安全水平产生负向影响, 而政府出台环保相关政策法规和人民环保意识的增强对土地生态水平产生正向

影响, 但正向影响远不及负向影响对土地生态安全水平的作用大, 所以义乌市土地生态安全水平虽然在 2010 年后有好转的趋势, 但远远还未达到 2008 年的水平。

参考文献

- [1] 刘勇, 刘友兆, 许萍. 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, 26(3): 69-75.
- [2] 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, 2(3): 784-789.
- [3] 李波, 张俊飏. 区域土地资源生态安全评价与影响因素研究: 基于湖北省 1999-2005 年数据的实证[J]. 湖北社会科学, 2009(1): 64-67.
- [4] 张建新, 邢旭东. 湖南土地资源可持续利用的生态安全评价[J]. 湖南地质, 2006, 21(2): 119-121.
- [5] 王庆日, 谭永忠, 薛继斌, 等. 基于优度评价法的西藏土地利用生态安全评价研究[J]. 中国土地科学, 2010, 24(3): 48-54.

应 10 min 后,磷去除率为 43.50%,此时炉渣对磷的吸附不明显或在炉渣外表面吸附;反应时间小于 40 min 时,磷的残留浓度大于 0.5 mg/L,超出了排放标准规定的范围;反应时间为 60 min 时,磷去除率为 93.45%,比 10 min 时增加了 49.95%,此时炉渣的外表面和内部孔隙均对磷进行吸附。然而,当反应时间超过 60 min 后,磷的去除率反而缓慢下降趋势,这表面吸附饱和后的炉渣随着反应时间的延长,被物理吸附的磷又脱附到水溶液中,导致磷的去除率缓慢降低。因此,过长的反应时间不利于水体中磷的去除,反应时间取 60 min 为宜。

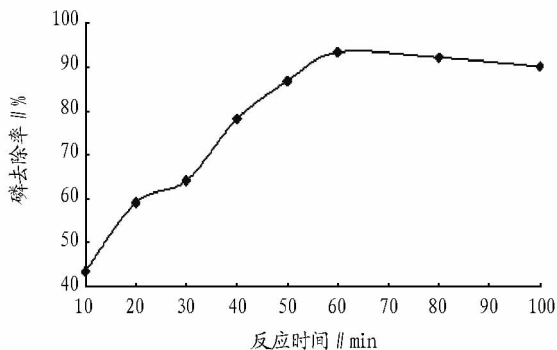


图4 反应时间对磷去除率的影响

2.4 温度对磷去除率的影响 由图 5 可知,温度对炉渣吸附磷有着较显著的影响,且随着温度升高磷去除率先快速上升,然后有小幅下降。当温度从 15 °C 升至 35 °C 时,磷去除率从 82.24% 升至 96.59%。这是因为温度的升高加速物质

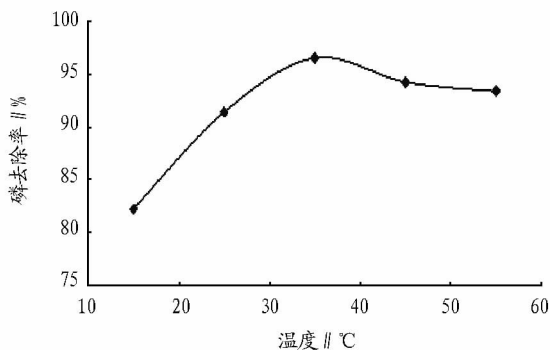


图5 温度对磷去除率的影响

热运动,促进离子扩散,加速吸附反应发生。当温度升至 55 °C 时,磷去除率反而有小幅下降,降至 93.39%。这是因为表面吸附反应饱和后,在较高温度下也加速了脱附反应的发生,导致磷去除率缓慢下降。此外,温度越高,能耗也越高。因此,温度取 35 °C 为宜。

3 结论

(1) 经过盐酸改性后的炉渣明显提高了废水中磷的去除率,对提高出水水质和改善水环境状况,特别是水体富营养化具有重要意义。

(2) pH 为 6~11 时,磷的去除率先升高后降低。pH 为 7~9 时,磷去除率均在 90% 以上,当 pH 为 8 时达最大值 93.87%。pH 过小或过大都不利于改性炉渣对磷的去除。

(3) 反应时间为 10~100 min 时,炉渣对磷的吸附呈现先升高后降低的趋势;在反应时间为 60 min 时,磷去除率达最大值 93.45%,随后随着反应时间的延长,脱附影响了磷的去除。

(4) 温度为 15~55 °C 时,炉渣对磷的吸附温度越高,磷去除率越高,但过高的温度对磷去除率增加效果不明显,反而有缓慢下降趋势,这是因为分子热运动的加剧对吸附反应产生影响。

(5) 采用经盐酸改性后的炉渣处理废水中磷(废水 100 ml,磷浓度 2.26 mg/L),最佳工艺参数为:pH=8、炉渣投加量 2.0 g、反应时间 60 min、温度 35 °C。

参考文献

- [1] 相会强,杨宏,巩有奎. 改性粉煤灰去除磷酸盐的试验研究及机理分析[J]. 环境科学与技术,2005,28(5):18-21.
- [2] 王应军,伍钧,张俊萍,等. 高炉炉渣对磷的吸附特性[J]. 四川农业大学学报,2005,28(3):351-355.
- [3] 夏畅斌,何湘柱,李德良,等. 粉煤灰及改性粉煤灰对邻甲酚吸附性能的研究[J]. 环境污染治理技术与设备,2000,1(2):82-86.
- [4] 程爱华,姚改焕,路瑞. 粉煤灰在水处理中的应用[J]. 中国资源综合利用,2005,23(7):20-22.
- [5] 徐晓军,张杰,郭建民,等. 利用粉煤灰制备水处理剂的应用研究[J]. 有色金属(选矿部分),2003,54(3):37-41.
- [6] 陈友治,丁庆军,徐瑛,等. 粉煤灰的改性及应用研究[J]. 武汉理工大学学报,2001,23(11):19-22.
- [7] 李方文,魏先勋,马淞江,等. 粉煤灰改性吸附材料的研究[J]. 重庆环境科学,2003,25(6):25-28.
- [8] 岳钦艳,曹先艳,高宝玉,等. 改性粉煤灰及其处理废水的机理[J]. 环境污染与防治,2005,27(1):67-69.
- [9] 余敦,陈文波. 鄱阳湖生态经济区土地生态安全研究[J]. 水土保持研究,2011,18(4):107-111.
- [10] 曲衍波,齐伟,商冉,等. 基于 GIS 的山区县域土地生态安全评价[J]. 中国土地科学,2008,22(4):38-44.
- [11] 谢花林. 基于 GIS 的典型农牧交错区土地利用生态安全评价[J]. 生态学杂志,2008,27(1):135-139.
- [12] 孙云鹏. 全球变化背景下辽宁省土地利用生态安全情景分析[J]. 安徽农业科学,2010,28(24):13150-13153.
- [13] 陆晓华. 会计学[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1997:39-42.
- [14] 袁志发,周静宇. 元统计分析[M]. 北京:科学出版社,2002:88-95.
- [15] 罗贞礼. 土地利用生态安全评价指标的系统聚类分析[J]. 湖南地质,2002,21(4):252-254.
- [16] 鲍艳,胡振琪,柏玉,等. 主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报,2006,22(8):87-90.
- [17] 刘飞跃,万喆凯. 基于主成分分析法的吉安市土地利用的生态安全评价研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(1):5788-5790.
- [18] 范瑞锭,陈松林,戴菲,等. 福建省土地利用生态安全评价[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2010,26(5):97-101.
- [19] 张小虎,雷国平,袁磊,等. 黑龙江省土地生态安全评价[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(1):88-93.

(上接第 200 页)