

1986 ~ 2008 年中国区域环境质量变化差异研究

管卫华, 孙明坤, 陆玉麒

(南京师范大学地理科学学院, 南京 210046)

摘要:从污染物排放量、污染物处理能力和单位土地面积的污染物排放量等方面选取中国 28 个省市区的 18 项环境指标数据, 运用主成分分析、标准差、Mann-Kendall 和聚类分析法, 研究 1986 ~ 2008 年间中国区域环境质量差异及格局变化。研究表明, 这期间中国区域环境质量差异呈现波动缓慢上升, 分为 1986 ~ 2000、2000 ~ 2001、2001 ~ 2005 和 2005 ~ 2008 年 4 个阶段。中国区域环境质量格局总体表现为西部优于东部, 而中东部地区有变化。其中, 1986 年中国区域环境质量表现为东、西格局。2000 和 2001 年中国区域环境质量表现为东、中、西格局。2005 年中国区域环境质量格局表现为西部优于东部, 而东部则又呈现出南、中、北的格局, 北部优于南部, 南部又优于中部。2008 年中国区域环境质量格局变化不大, 而环境质量较差的地区范围扩大。单位土地面积的污染物排放量因子是形成中国区域环境质量东西格局的主要因素, 而污染物排放因子和污染物回收利用因子则是影响中国区域环境质量格局变化的具体因素。此外, 国家宏观政策和区域政策, 以及各区域经济发展和产业结构的不同也是引起中国区域环境质量格局变化的原因。

关键词: Mann-Kendall 方法; 主成分分析; 聚类分析; 环境质量; 区域差异; 区域格局

中图分类号: X821 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)03-0609-10

Changes of Regional Environment Quality Pattern in China Since 1986-2008

GUAN Wei-hua, SUN Ming-kun, LU Yu-qi

(School of Geographical Science College, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: For further study of regional differences and the pattern of changes in environmental quality in China since 1986-2008, we perform the principal component analysis, standard deviation, Mann-Kendall and cluster analysis on 18 environmental quality indexes in 28 provinces of China in this paper. Those indexes refer to pollutant emission, pollutants treatment capacities and pollutant emission of per unit land area, etc. The paper indicates that regional environmental quality in China has been increased slightly during this period. It can be divided into four stages: 1986-2000, 2000-2001, 2001-2005 and 2005-2008. The overall patterns of regional environmental quality is the West is higher than the East in general, while the environmental quality of the eastern part have been changed somewhat. For more details, the regional environmental quality in China in 1986 is composed of two parts, the eastern part and the western part, while in 2000 and 2001 the eastern part, the middle part and the western part appears as the overall pattern. For the year of 2005, the regional environmental quality in the western is higher than that of the eastern; meanwhile, the eastern can be divided into the northern part, the middle part and the southern part, and the environmental quality in northern part is better than that of the southern part, southern part is better than that of the middle part. This pattern hardly changed in 2008, except that the area with poor environment quality region had expanded. Pollutant emission of per unit land area played as a main factor; yet both the pollutant emission and the reuse of pollutants impacted the pattern specifically. In addition, the national macro policies, the regional policies, the regional economic and the industrial structure can be primary reason for the change of regional environmental quality pattern in China as well.

Key words: Mann-Kendall method; principal component analysis; cluster analysis; environment quality; regional pattern; regional differences

随着人口的增长和社会经济的快速发展, 环境问题也有日益加剧的趋势, 环境质量成为普遍关注的热点问题^[1]。由于学科视角的差异, 对环境质量问题的研究, 一种是从经济学角度, 主要采用单一环境指标分析经济增长与环境质量关系的环境库兹涅茨曲线^[2~5]。另一种则是从环境学角度, 进行环境质量评价。根据国内外对环境质量评价的研究, 可以按时间、环境要素等不同对环境质量评价进行分类^[6]。按发展阶段可分为环境质量回顾评价^[7]、环境质量现状评价^[8]、环境质量影响评价^[9,10]。按环境要素可分为大气环境质量评价^[11]、水体环境质量评

价^[12]、土壤环境质量评价^[13]、生态环境质量评价^[14,15]、环境噪声评价^[16]。按区域类型可分为城市环境质量评价^[17]、流域环境质量评价^[18]、风景旅游区环境质量评价^[19]、海域环境质量评价^[20]等。此外, 从时间角度分析环境质量的变化, 以及形成环境质量变化的原因^[21,22], 从空间和格局角度研究不同

收稿日期: 2010-03-17; 修订日期: 2010-09-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071084); 江苏省软科学项目(BR2009034); 江苏省高校自然科学基金研究项目(08KJD170004); 南京师范大学高层次人才引进启动基金项目(2008105XGQ0050)

作者简介: 管卫华(1970~), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为区域经济与资源环境, E-mail: guanweihua@njnu.edu.cn

区域间环境质量的差异^[23,24]. 在环境质量评价中更多体现为多要素环境质量综合评价^[25,26].

目前较常用评价方法包括德尔菲法、指数评价法、质量评分分级法、层次分析法、主成分分析法、模糊评价法、灰色聚类分析法、人工神经网络评价法、物元分析评价法、集对分析法等^[27~29]. 当然,各种方法都有一定的优缺点,在具体的评判中,由于环境质量评价涉及的范围、评价的角度和评价的目的不同,因而应采用不同的评价方法^[30].

改革开放以来,中国国民经济得到较快发展,由于中国地域辽阔,各地区由于环境基础和发展状况等因素的差异,环境质量变化的趋势和特征也不尽相同,在区域发展的过程中也带来的多种多样的环境问题,因而需要对不同时段和不同区域环境质量进行对比^[31]. 对我国各省区环境质量的变化与差异进行研究,将有助于理解地区环境污染在不同地域与时间上的变化态势,为环境管理与规划、环境污染综合防治与决策,实现可持续发展提供可靠的依据^[32].

由于环境是一个复杂系统,对于省域单元的环境质量评价而言,如果仅从单一或几个环境要素进行环境质量评价则明显不足,因而需要构建适于省域单元的综合环境质量指标体系,通过综合环境质量反映区域环境质量高低,进而比较不同阶段和不同区域的环境质量变化. 以往对环境质量的研究,多以环境污染程度来反映环境质量高低,在选取指标时多侧重于污染指标,而忽略了环境本身的去污功能^[33]和环境对污染物容纳能力的地区差异,因为即使地区总污染物排放量很大,但如果土地面积广阔,则单位面积上所受到的污染物排放量却可能很少,环境质量并不会过低.

1 研究方法

首先,构建区域环境质量评价指标体系,采用主成分方法计算 1986~2008 年中国各省区市环境质量综合指数;其次,采用标准差方法对中国区域环境质量差异变化进行分析;然后运用 Mann-Kendall 方法将中国区域环境质量差异变化进行阶段划分,最后采用聚类分析方法研究主要突变点年份中国区域环境质量格局变化,并从各年份因子变化分析区域环境质量格局变化原因.

(1)主成分分析法 是把原来多个指标化为少数几个综合指标的一种统计方法,因子分析法则主成分分析法的推广^[34].

(2)标准差法 是指各数据偏离平均数的距离的平均数,它是离差平方和平均后的方根. 标准差较大代表大部分的数值和其平均值之间差异较大;反之,代表这些数值较接近平均值. 计算公式为:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n} \quad (1)$$

(3) Mann-Kendall 法 是一种非参数统计检验方法,该方法不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,具有检测范围宽、人为影响小、定量化程度高的优点. 该方法是根据时间序列 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 构造 2 个标准正态分布的统计量 UF_i 和 UB_i ,绘制 2 条曲线的统计图表来判断突变点和突变区域. 若 UF 或 UB 的值 >0 ,则表明时间序列呈上升趋势; <0 则表明呈下降趋势. 当它们超过临界直线(给定的显著性水平)时呈明显上升或下降趋势. 超过临界线的范围确定为出现突变的时间区域. 如果 UF 和 UB 2 条曲线出现交点,且交点在临界直线之间,那么交点对应的时刻便是突变开始的时间^[35].

(4)聚类分析法 聚类是将数据分类到不同的类或者簇的一个过程,所以同一个簇中的对象有很大的相似性,而不同簇间的对象有很大的相异性.

2 指标体系和数据来源

2.1 区域环境质量综合评价指标体系确立的原则

在指标的选取上,既要遵循科学性、系统性、综合性、代表性的原则,又要尽可能地体现区域环境质量变化的各个方面,注重简便、易于操作,以确保数据资料收集的可行性和处理的可比性.

2.2 区域环境质量综合评价指标体系构建

区域环境质量评价指标体系的构建既涉及水环境质量、大气环境质量及固体废弃物等方面的因素,又充分考虑各地区主要污染物排放量、污染物的处理能力和单位土地面积的污染物排放量,共选取三大类 18 项指标.

(1)污染排放量指标 工业废水排放量、工业废气排放量、工业固体废弃物排放量、二氧化硫排放量、工业烟尘排放量、工业粉尘排放量.

(2)污染物处理量指标 工业粉尘去除量、工业废水达标量、工业废水排放达标率、工业固体废弃物利用量、工业固体废弃物利用率.

(3)单位土地面积的污染物排放量指标 单位面积工业废水排放量、单位面积工业废气排放量、单位面积工业固体废弃物排放量、单位面积二氧化硫排放量、单位面积工业烟尘排放量、单位面积工业粉

尘排放量、单位面积工业粉尘去除量。

2.3 数据来源

指标数据主要取自《中国统计年鉴(1987 ~ 2009 年)》中各省区市的环境指标数据,单位面积污染物排放量指标根据各省区市的土地面积和污染物排放量数据计算得到,其中将海南并入广东,重庆并入四川,西藏及香港、澳门特别行政区和台湾数据因不全不计入其中,共 28 个省市区。为了体现区域环境质量越高,其综合得分也越高的原则,本文将工业废水排放量、单位面积工业废水排放量、工业废气排放量、单位面积工业废气排放量、工业固体废弃物排放量、单位面积工业固体废弃物排放量、二氧化硫排放量、单位面积二氧化硫排放量、工业烟尘排放量、单位面积工业烟尘排放量、工业粉尘排放量、单位面积工业粉尘排放量等 12 项与环境污染相关指标采用倒数进行综合环境质量计算。

3 中国区域环境质量差异变化分析

利用 1986 ~ 2008 年的数据和 SPSS 16.0 统计软件进行主成分/因子分析,首先对数据进行标准化处理,再利用 SPSS 软件求出相关系数矩阵 R 以及矩阵 R 特征值,按照特征值 > 1 的原则,选取各年份主因子,再采用方差最大旋转法,以旋转后各因子方差所占比重为各因子综合权重计算得出 1986 ~ 2008 年历年中国各省市区环境质量综合得分。

运用标准差方法计算各省市区区域之间环境质量综合得分的差异变化(图 1)。从图 1 可见,1986 ~ 2008 年中国区域环境质量差异总体趋势略有增大,但其中有一定的波动。

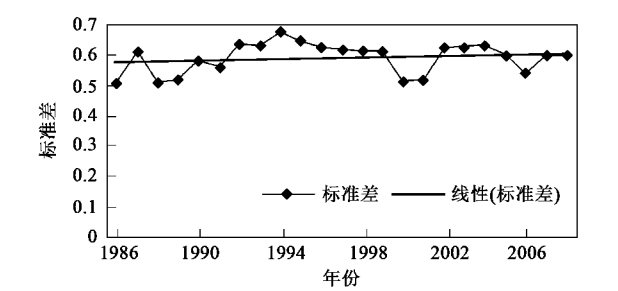
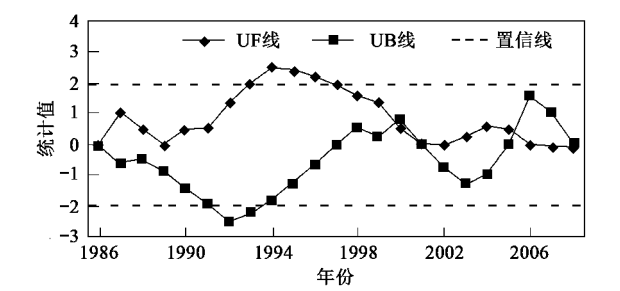


图 1 1986 ~ 2008 年中国区域环境质量综合指数标准差变化曲线
Fig. 1 Standard deviation curves of regional environmental quality complex index in China from 1986 to 2008

采用 Mann-Kendall 法检测 1986 ~ 2008 年中国区域环境质量差异的突变,并给定显著性水平 $\alpha = 0.05$,即 $U_{0.05} = \pm 1.96$ 的检验,绘制出中国区域环境质量差异的 Mann-Kendall 统计量曲线(图 2)。由

图 2 可见,UF 和 UB 曲线的交点位置在 2000 年、2001 年、2005 年,即中国区域环境质量差异在 2000 年、2001 年、2005 年发生突变。由此,可以把 1986 ~ 2008 年的区域环境质量差异变化分为 1986 ~ 2000 年、2000 ~ 2001 年、2001 ~ 2005 年和 2005 ~ 2008 年 4 个阶段。不同阶段中国区域环境质量差异会呈现出不同的空间格局,根据以上时间段的划分,对 1986 年、2000 年、2001 年、2005 年以及 2008 年的区域环境质量差异格局进行比较。



置信线为 $\alpha = 0.05$ 显著性水平临界值
图 2 中国区域环境质量差异的 Mean-Kendall 统计曲线
Fig. 2 Mean-Kendall curves of regional environmental quality differences in China

4 中国区域环境质量差异格局变化

4.1 1986 年中国区域环境质量差异格局

利用 SPSS 16.0 软件对 1986 年数据进行的主成分/因子分析,其中前 4 个因子特征值 > 1 ,累计方差贡献率 87.3%,说明这 4 个主因子能代表 18 个环境质量指标。根据其旋转因子载荷矩阵(表 1),将这 4 个主因子分别命名为单位土地面积的污染物排放量因子、污染物排放量因子、污染物回收利用量因子、污染物回收利用水平因子。旋转后各因子方差所占比重依次为 (0.33、0.32、0.18、0.17)。根据 1986 年中国区域环境质量综合得分(表 2),采用 SPSS 16.0 软件中分层聚类法中 Ward 最小方差法,将中国 28 个省市区分为 5 类,并绘制成 1986 年中国区域环境质量差异格局图(图 3),从图 3 可见,1986 年中国区域环境质量以西部的青海、新疆、宁夏、甘肃,以及沿海的上海、天津、福建较好,而东部环渤海的辽宁、河北、山东,以及中部的河南、安徽、湖南和西部的四川则综合环境质量较差。中国的环境质量格局表现为以西北为代表的西部环境质量较好,而东部则表现为沿辽宁、河北、河南、四川的东北西南走向的低谷区,这一线以北和以南地区环境质量得分则稍好。

表 1 旋转因子载荷矩阵(1986 年,2000 年)
Table 1 Rotated factor loading matrix in 1986,2000

指标	1986 年				2000 年			
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
单位面积工业废水排放量	0.922	0.291	0.147	-0.105	0.884	0.410	-0.174	0.033
单位面积工业废气排放量	0.866	0.461	0.069	-0.133	0.888	0.422	-0.161	0.024
单位面积工业烟尘排放量	0.861	0.458	0.084	-0.124	0.953	0.047	-0.208	0.043
单位面积二氧化硫排放量	0.857	0.484	0.030	-0.097	0.675	0.703	-0.042	0.065
单位面积工业固体废弃物排放量	0.856	0.490	0.057	-0.099	0.939	0.271	-0.164	0.048
单位面积工业粉尘排放量	0.854	-0.251	0.303	0.007	0.908	0.327	-0.185	0.039
工业废气排放量	0.251	0.883	0.289	-0.152	0.442	0.776	-0.392	0.079
工业固体废弃物排放量	0.269	0.876	0.330	0.084	0.331	0.705	-0.379	0.303
工业烟尘排放量	0.218	0.866	0.255	-0.045	0.312	0.348	-0.374	0.626
二氧化硫排放量	0.416	0.857	0.104	-0.100	0.494	0.818	-0.095	0.135
工业废水排放量	0.388	0.763	0.349	-0.114	0.500	0.736	-0.388	0.075
工业粉尘去除量	-0.187	-0.302	-0.793	0.066	-0.152	-0.278	0.845	-0.044
工业废水达标量	-0.170	-0.260	-0.723	0.408	-0.198	-0.137	0.843	-0.010
工业固体废弃物利用量	-0.149	-0.303	-0.712	0.120	-0.144	-0.159	0.887	-0.069
工业粉尘排放量	-0.089	0.079	0.681	0.601	0.137	0.318	-0.230	0.859
工业固体废弃物利用率	-0.151	-0.050	0.016	0.884	0.110	0.586	0.370	0.642
单位面积工业粉尘去除量	-0.097	0.039	-0.147	0.876	-0.094	-0.223	0.104	0.887
工业废水排放达标率	0.048	-0.434	-0.317	0.673	-0.197	0.237	0.595	0.533

表 2 1986 年中国区域环境质量综合得分排序及各因子得分
Table 2 Scores of comprehensive and principal factors of regional environmental quality in China in 1986

排序	省区市	综合分	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	排序	省区市	综合分	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
1	青海	1.634	0.612	1.311	-0.175	-0.114	15	贵州	-0.156	-0.151	-0.045	0.168	-0.128
2	新疆	1.420	1.437	-0.314	0.208	0.089	16	黑龙江	-0.210	0.033	-0.194	-0.065	0.015
3	上海	0.697	-0.051	0.143	-0.101	0.706	17	江西	-0.251	-0.109	-0.070	0.024	-0.096
4	宁夏	0.606	-0.412	0.796	0.254	-0.032	18	江苏	-0.253	-0.096	-0.089	-0.118	0.050
5	天津	0.463	-0.243	0.062	0.384	0.259	19	广东	-0.254	-0.040	-0.062	-0.138	-0.015
6	北京	0.166	-0.140	-0.053	0.161	0.198	20	山西	-0.255	-0.047	-0.153	-0.031	-0.024
7	福建	0.072	-0.225	0.292	0.081	-0.076	21	湖北	-0.260	-0.087	-0.052	-0.113	-0.007
8	甘肃	0.059	0.067	-0.057	0.121	-0.073	22	安徽	-0.332	-0.137	-0.098	0.022	-0.119
9	内蒙古	-0.042	0.226	-0.216	0.130	-0.181	23	四川	-0.362	0.036	-0.159	-0.239	0.000
10	浙江	-0.096	-0.063	-0.069	-0.052	0.088	24	湖南	-0.376	-0.094	-0.090	-0.096	-0.095
11	吉林	-0.124	-0.091	-0.118	0.098	-0.014	25	河南	-0.393	-0.109	-0.100	-0.071	-0.113
12	陕西	-0.136	-0.043	-0.186	0.145	-0.052	26	山东	-0.423	-0.120	-0.135	-0.079	-0.089
13	云南	-0.142	-0.039	-0.098	0.122	-0.127	27	河北	-0.427	-0.037	-0.108	-0.265	-0.017
14	广西	-0.145	-0.070	-0.070	0.066	-0.071	28	辽宁	-0.479	-0.006	-0.070	-0.442	0.039

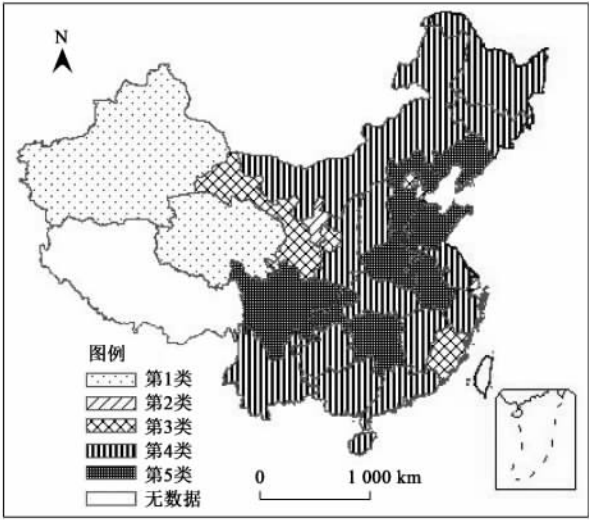


图3 1986 年中国区域环境质量差异格局
Fig. 3 Pattern of regional environmental quality differences in China in 1986

4.2 2000 年中国区域环境质量差异格局

利用 SPSS 16.0 软件对 2000 年数据进行的主成分/因子分析,其中前 4 个因子特征值 > 1,累计方差贡献率 89.5%,说明这 4 个因子能代表 18 个环境质量指标.根据其旋转因子载荷矩阵(表 1),将 4 个因子分别命名为单位土地面积的污染物排放量因子、污染物排放量因子、污染物回收利用率因子、污染物回收利用水平因子,旋转后各因子方差

所占比重依次为 (0.35、0.26、0.22、0.17). 根据 2000 年中国区域环境质量综合得分(表 3),运用 SPSS 16.0 软件,采用分层聚类法中 Ward 最小方差法,将中国 28 个省区市分为 5 类,并绘制 2000 年中国区域环境质量差异格局图(图 4). 从图 4 可见,西部的青海、新疆,以及沿海的上海市环境质量仍较好,西北、华北、东北的宁夏、陕西、甘肃、内蒙古、吉林等省份下降幅度较大,处于 4 类和 5 类地区,而南方的福建、云南、贵州、广西等省区下降幅度也较大,处于 4 类和 5 类地区,同时京津地区环境质量也有所下降,由 1986 年的 2 类和 3 类前列地区降为 3 类最差的地区. 总体上 2000 年中国区域环境质量的格局表现为东、中、西的格局,西部以青海、新疆为最优,东部沿海则又优于中部和西部其他地区. 由表 3 与表 2 比较可见,导致 2000 年这些省区市环境质量综合得分较 1986 年下降的主要原因是这些省区市的污染物回收利用率因子得分下降. 沿海的辽宁、河北、山东、江苏、浙江,以及中西部的河南、安徽、湖北、四川等省的环境质量指数排序均有所提高,基本上由 1986 年的 4 类、5 类地区变成 3 类地区,导致 2000 年这些省份的环境质量综合得分较 1986 年有所提高的主要原因是这些省份的污染物排放量因子和污染物回收利用率因子得分有所提高,尤其是污染物回收利用率因子得分提高较大.

表 3 2000 年中国区域环境质量综合得分排序及各因子得分

Table 3 Scores of comprehensive and principal factors of regional environmental quality in China in 2000

排序	省区市	综合分	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	排序	省区市	综合分	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
1	青海	2.038	0.885	1.064	0.027	0.062	15	天津	-0.058	-0.459	0.357	-0.194	0.238
2	新疆	0.784	1.393	-0.472	-0.187	0.049	16	北京	-0.071	-0.255	0.084	-0.144	0.243
3	山东	0.578	0.040	-0.003	0.559	-0.018	17	内蒙古	-0.157	0.290	-0.198	-0.177	-0.072
4	上海	0.412	-0.053	-0.306	0.035	0.737	18	福建	-0.195	-0.138	-0.003	-0.076	0.022
5	江苏	0.391	-0.082	0.064	0.401	0.008	19	广西	-0.204	-0.072	-0.066	0.020	-0.086
6	浙江	0.072	-0.146	0.052	0.157	0.009	20	湖南	-0.215	-0.098	-0.039	0.007	-0.084
7	河南	0.058	-0.064	-0.033	0.215	-0.059	21	甘肃	-0.274	0.051	-0.097	-0.213	-0.015
8	辽宁	0.049	-0.018	-0.096	0.231	-0.069	22	吉林	-0.293	-0.138	0.013	-0.131	-0.037
9	黑龙江	0.030	-0.042	0.036	0.036	0.001	23	云南	-0.355	0.019	-0.113	-0.182	-0.079
10	四川	0.021	0.022	-0.093	0.213	-0.121	24	山西	-0.376	-0.079	-0.121	-0.055	-0.121
11	广东	0.014	-0.077	-0.024	0.141	-0.026	25	江西	-0.429	-0.128	-0.051	-0.155	-0.095
12	河北	-0.005	-0.014	-0.099	0.202	-0.094	26	陕西	-0.564	-0.156	-0.047	-0.244	-0.118
13	安徽	-0.010	-0.146	0.056	0.093	-0.013	27	宁夏	-0.594	-0.318	0.240	-0.430	-0.086
14	湖北	-0.055	-0.078	-0.038	0.109	-0.048	28	贵州	-0.595	-0.140	-0.067	-0.261	-0.127

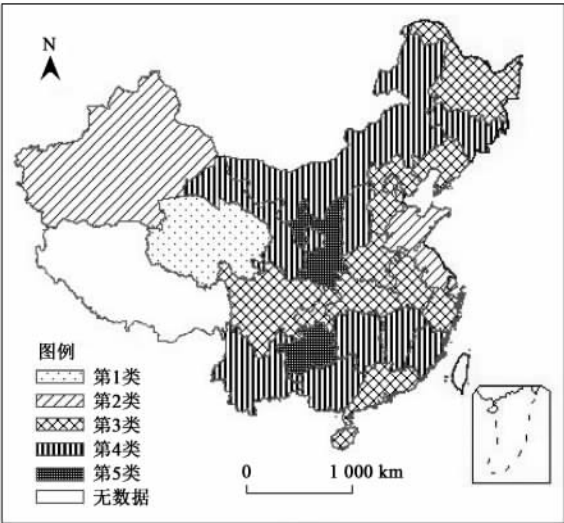


图 4 2000 年中国区域环境质量差异格局
Fig. 4 Pattern of regional environmental quality differences in China in 2000

4.3 2001 年中国区域环境质量差异格局

利用 SPSS 16.0 软件对 2001 年数据进行的主成分/因子分析,其中前 4 个因子特征值 >1,累计方

差贡献率 86.1%,说明这 4 个因子能代表 18 个环境质量指标. 根据其旋转因子载荷矩阵 (表 4),将 4 个主因子命名为单位土地面积的污染物排放量因子、污染物排放量因子、污染物回收利用规模和水平因子、工业粉尘和固废利用因子. 旋转后各因子方差所占比重依次为 (0.38、0.26、0.20、0.15). 根据 2001 年中国区域环境质量综合得分 (表 5),采用 SPSS 16.0 软件中分层聚类法中最远相隔法,将中国 28 个省区市分为 5 类,并绘制成 2001 年中国区域环境质量差异格局图 (图 5). 从图 5 可见,2001 年中国区域环境质量格局表现为西部青海、新疆环境质量仍然较高,沿海的主要省区也处于环境质量较好的第 2、3 类地区,而广大中西部地区则处于环境质量较差的第 4、5 类地区,总体上中国区域环境质量格局仍表现为东、中、西的格局. 从表 5 与表 3 比较来看,2001 年较 2000 年福建、北京、天津的环境质量排名上升幅度较大,主要是由于这些省市的污染物排放量因子得分都有所提高,而辽宁、四川、湖北则有一定下降,主要是污染物回收利用规模和水平因子得分有所下降.

表 4 旋转因子载荷矩阵(2001、2005 和 2008 年)
Table 4 Rotated factor loading matrix in 2001,2005,2008

指标	2001 年				2005 年			2008 年		
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 1	因子 2	因子 3	因子 1	因子 2	因子 3
单位面积工业固体废弃物排放量	0.938	0.228	-0.202	-0.009	0.965	0.165	-0.042	0.952	0.144	-0.086
单位面积工业烟尘排放量	0.938	0.258	-0.189	-0.020	0.959	0.245	-0.048	0.925	0.245	-0.171
单位面积工业粉尘排放量	0.933	0.170	-0.255	-0.013	0.920	0.224	-0.084	0.897	0.264	-0.196
单位面积工业废气排放量	0.923	0.309	-0.212	-0.062	0.951	0.264	-0.093	0.948	0.159	-0.165
单位面积工业废水排放量	0.889	0.396	-0.176	-0.055	0.928	0.254	-0.130	0.944	0.218	-0.168
单位面积二氧化硫排放量	0.765	0.600	-0.028	-0.062	0.963	0.233	-0.049	0.935	0.233	-0.118
二氧化硫排放量	0.549	0.801	-0.034	0.011	0.374	0.651	0.488	0.063	0.804	0.271
工业废气排放量	0.397	0.783	-0.408	-0.080	0.553	0.723	0.060	0.395	0.854	-0.107
工业废水排放量	0.528	0.750	-0.327	-0.049	0.564	0.720	0.085	0.422	0.803	-0.078
工业固体废弃物排放量	0.350	0.716	-0.364	0.191	0.504	0.593	0.359	0.234	0.826	0.305
工业烟尘排放量	0.275	0.708	-0.142	0.513	0.045	0.515	0.690	-0.038	0.806	0.423
工业固体废弃物利用量	-0.163	-0.328	0.811	-0.124	-0.180	-0.821	-0.054	-0.224	-0.769	0.089
工业废水达标量	-0.134	-0.255	0.794	-0.029	-0.158	-0.807	0.076	-0.192	-0.720	0.298
工业废水排放达标率	-0.182	0.192	0.721	0.254	-0.704	-0.444	0.347	-0.743	-0.242	0.449
工业粉尘去除量	-0.185	-0.311	0.662	-0.032	-0.215	-0.802	-0.036	-0.280	-0.721	0.058
工业粉尘排放量	0.052	0.307	-0.185	0.893	-0.091	0.253	0.839	-0.139	0.552	0.703
单位面积工业粉尘去除量	-0.070	-0.095	0.069	0.876	-0.176	-0.097	0.827	-0.285	0.184	0.829
工业固体废弃物利用率	-0.230	-0.073	0.486	0.632	-0.231	-0.486	0.656	-0.345	-0.254	0.786

表 5 2001 年中国区域环境质量综合得分排序及各因子得分

Table 5 Scores of comprehensive and principal factors of regional environmental quality in China in 2001

排序	省区市	综合分	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	排序	省区市	综合分	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
1	青海	2.102	1.137	0.951	0.071	-0.057	15	内蒙古	-0.134	0.357	-0.245	-0.209	-0.037
2	新疆	0.798	1.357	-0.425	-0.220	0.086	16	四川	-0.149	0.005	-0.163	0.096	-0.087
3	上海	0.485	-0.014	-0.157	-0.007	0.664	17	辽宁	-0.157	-0.054	-0.130	0.114	-0.086
4	福建	0.445	-0.199	0.309	0.357	-0.022	18	广西	-0.167	-0.065	-0.109	0.060	-0.053
5	山东	0.345	0.071	-0.127	0.429	-0.029	19	湖北	-0.182	-0.095	-0.084	0.031	-0.034
6	江苏	0.311	0.025	-0.085	0.375	-0.003	20	湖南	-0.270	-0.109	-0.087	-0.021	-0.053
7	浙江	0.127	-0.083	-0.017	0.200	0.027	21	甘肃	-0.324	-0.014	-0.001	-0.264	-0.045
8	北京	0.100	-0.367	0.351	-0.037	0.152	22	云南	-0.360	-0.008	-0.112	-0.196	-0.045
9	天津	0.092	-0.389	0.319	-0.102	0.264	23	吉林	-0.368	-0.145	-0.024	-0.166	-0.032
10	黑龙江	-0.024	0.019	-0.060	0.015	0.002	24	山西	-0.401	-0.136	-0.107	-0.056	-0.101
11	安徽	-0.041	-0.127	0.001	0.098	-0.013	25	江西	-0.418	-0.205	0.040	-0.153	-0.099
12	广东	-0.044	-0.051	-0.093	0.107	-0.006	26	宁夏	-0.498	-0.431	0.377	-0.379	-0.065
13	河北	-0.061	-0.023	-0.134	0.187	-0.092	27	陕西	-0.508	-0.208	0.002	-0.195	-0.107
14	河南	-0.075	-0.052	-0.120	0.144	-0.047	28	贵州	-0.626	-0.195	-0.069	-0.279	-0.083

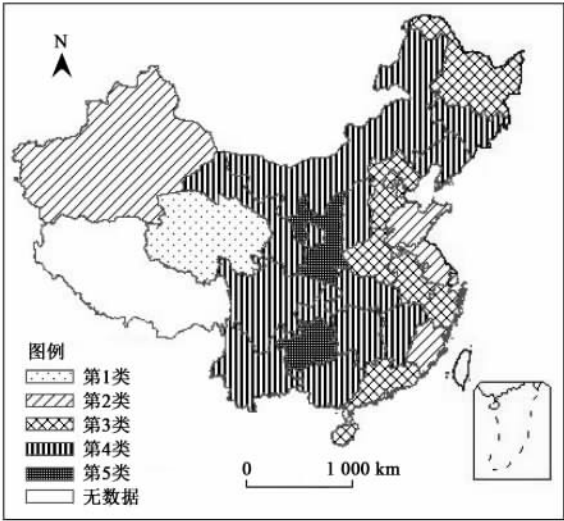


图 5 2001 年中国区域环境质量差异格局

Fig. 5 Pattern of regional environmental quality differences in China in 2001

4.4 2005 年中国区域环境质量差异格局

利用 SPSS 16.0 软件对 2005 年数据进行的主成分/因子分析,其中前 3 个因子特征值 >1,累计方差贡献率 82.4%,说明 3 个主因子能代表 18 个环境质量指标. 根据其旋转因子载荷矩阵(表 4),将 3 个主因子命名为单位土地面积的污染物排放量因子,污染物排放和回收利用量因子,工业粉尘、烟尘

和固废利用因子. 旋转后各因子方差所占比重依次为(0.48、0.33、0.19). 根据 2005 年中国区域环境质量综合得分(表 6),运用 SPSS 16.0 软件,采用分层聚类法中 Ward 最小方差法,将中国 28 个省市区分为 5 类,并绘制成 2005 年中国区域环境质量差异格局图(图 6). 从图 6 可见,2005 年中国区域环境质量格局表现为西部优于东部,而东部则又呈现出南、中、北的格局,北方的华北北部的内蒙古和东北的黑龙江、吉林优于南方的华南沿海和长江中游省份,南部则又优于中部的黄淮地区. 通过表 6 与表 5 比较,西部的宁夏、陕西、贵州、云南,以及北方的内蒙古、吉林和南方的江西上升幅度较大,是由于这些省区 2005 年的污染物排放和回收利用量因子得分较 2001 年的污染物排放量因子、污染物回收利用规模和水平因子得分都有所提高. 此外,京津地区的排名也有一定上升. 东部沿海的山东、江苏、河北、浙江、福建、广东、辽宁等省在下降幅度较大,另外,中部的河南和西部的四川也有一定下降,是由于这些省区 2005 年的污染物排放和回收利用量因子得分较 2001 年的污染物排放量因子、污染物回收利用规模和水平因子得分都有所下降. 从国家宏观政策上来看,主要由于上世纪末和本世纪初开始的西部大开发战略,国家开始注重西部地区生态环境的保护,也使西部地区环境质量综合指数有所提高.

表 6 2005 年中国区域环境质量综合得分排序及各因子得分

Table 6 Scores of comprehensive and principal factors of regional environmental quality in China in 2005

排序	省区市	综合分	因子 1	因子 2	因子 3	排序	省区市	综合分	因子 1	因子 2	因子 3
1	青海	2.249	1.727	0.454	0.067	15	安徽	-0.255	-0.203	-0.035	-0.017
2	新疆	1.386	1.540	-0.132	-0.022	16	江西	-0.269	-0.283	0.164	-0.150
3	北京	0.752	-0.300	0.590	0.462	17	湖北	-0.271	-0.123	-0.124	-0.024
4	上海	0.472	-0.174	-0.009	0.655	18	湖南	-0.280	-0.150	-0.078	-0.052
5	宁夏	0.291	-0.234	0.559	-0.033	19	浙江	-0.281	-0.064	-0.307	0.091
6	天津	0.269	-0.290	0.289	0.271	20	广东	-0.304	-0.047	-0.257	0.001
7	甘肃	0.248	0.051	0.352	-0.156	21	广西	-0.310	-0.165	-0.054	-0.091
8	黑龙江	0.039	0.018	0.058	-0.037	22	四川	-0.396	-0.024	-0.300	-0.071
9	内蒙古	0.003	0.131	0.076	-0.204	23	山西	-0.404	-0.257	0.000	-0.147
10	云南	-0.005	-0.067	0.201	-0.139	24	江苏	-0.431	0.081	-0.637	0.125
11	贵州	-0.044	-0.235	0.388	-0.197	25	河南	-0.445	-0.095	-0.324	-0.026
12	吉林	-0.050	-0.181	0.215	-0.084	26	辽宁	-0.467	-0.188	-0.193	-0.087
13	福建	-0.210	-0.169	-0.054	0.013	27	山东	-0.485	0.066	-0.630	0.080
14	陕西	-0.250	-0.349	0.294	-0.194	28	河北	-0.553	-0.015	-0.506	-0.032

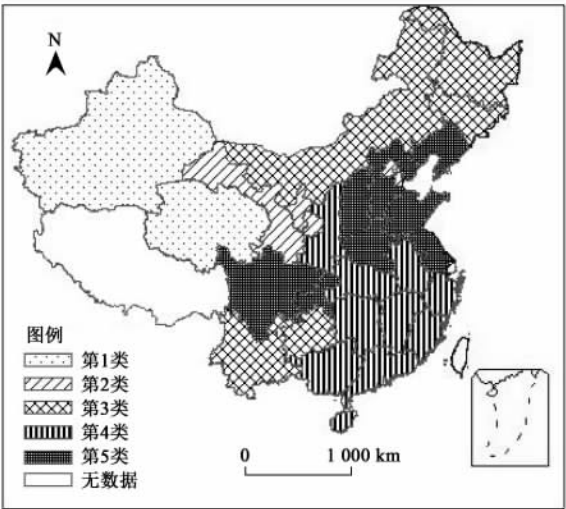


图 6 2005 年中国区域环境质量差异格局

Fig. 6 Pattern of regional environmental quality differences in China in 2005

4.5 2008 年中国区域环境质量差异格局

利用 SPSS 16.0 软件对 2008 年数据进行的主成分/因子分析,其中前 3 个因子特征值 > 1,累计方差贡献率 82.7%,说明 3 个主因子能代表 18 个环境质量指标.根据其旋转因子载荷矩阵(表 4),将 3 个主因子分别命名为单位土地面积的污染物

排放量因子、污染物排放和回收利用量因子、工业粉尘和固废利用因子.旋转后各因子方差所占比重依次为(0.44、0.38、0.18).根据 2008 年中国各省区环境质量综合得分(表 7),运用 SPSS 16.0 软件,采用分层聚类法中 Ward 最小方差法,将中国 28 个省区市分为 5 类,并绘制成 2008 年中国区域环境质量差异格局图(图 7).从图 7 可见,2008 年中国区域环境质量格局表现为西北的青海、新疆、甘肃、宁夏,以及东部的 3 个直辖市优于全国其他地区.东北的黑龙江、吉林和北方的内蒙古,以及南方的云南、贵州、浙江和福建优于其他地区,总体上表现为黄河和长江中下游地区环境质量指数较低.通过表 7 与表 6 比较,东部沿海的浙江、江苏、山东、广东等省的排名略有上升,是由于这些省份 2008 年的污染物排放和回收利用量因子、工业粉尘和固废利用因子得分较 2005 年的污染物排放和回收利用量因子,以及工业粉尘、烟尘和固废利用因子得分有所上升,但从聚类分析来看,这些省份大多仍属于 5 类地区.而中西部的陕西、江西、安徽等省份则有所下降,是由于这些省份 2008 年的污染物排放和回收利用量因子得分较 2005 年的污染物排放和回收利用量因子得分有所下降.

表7 2008年中国区域环境质量综合得分排序及各因子得分

Table 7 Scores of comprehensive and principal factors of regional environmental quality in China in 2008

排序	省区市	综合分	因子1	因子2	因子3	排序	省区市	综合分	因子1	因子2	因子3
1	青海	2.047	1.561	0.484	0.003	15	湖北	-0.266	-0.148	-0.101	-0.016
2	新疆	1.311	1.378	-0.093	0.026	16	湖南	-0.270	-0.158	-0.075	-0.036
3	北京	0.920	-0.434	1.169	0.185	17	广东	-0.286	-0.002	-0.394	0.110
4	天津	0.685	-0.178	0.481	0.383	18	江苏	-0.299	-0.012	-0.466	0.179
5	上海	0.653	-0.131	0.295	0.489	19	安徽	-0.329	-0.179	-0.152	0.002
6	甘肃	0.334	0.236	0.338	-0.239	20	广西	-0.337	-0.122	-0.150	-0.065
7	宁夏	0.160	-0.290	0.570	-0.119	21	四川	-0.351	-0.007	-0.328	-0.016
8	黑龙江	0.016	0.050	0.048	-0.083	22	陕西	-0.381	-0.298	0.119	-0.202
9	内蒙古	-0.013	0.246	-0.125	-0.134	23	江西	-0.387	-0.261	0.026	-0.152
10	吉林	-0.095	-0.148	0.171	-0.119	24	山东	-0.394	0.006	-0.582	0.182
11	云南	-0.135	-0.034	0.036	-0.136	25	河南	-0.428	-0.115	-0.352	0.039
12	浙江	-0.182	-0.049	-0.279	0.146	26	山西	-0.512	-0.228	-0.153	-0.132
13	贵州	-0.193	-0.240	0.338	-0.292	27	辽宁	-0.533	-0.186	-0.285	-0.062
14	福建	-0.195	-0.170	-0.036	0.012	28	河北	-0.539	-0.085	-0.503	0.049

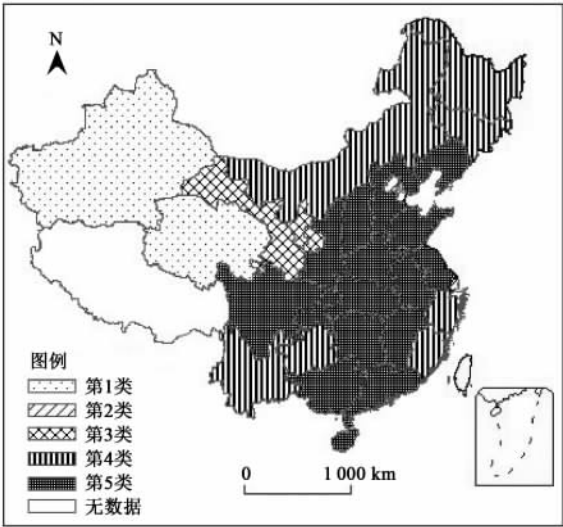


图7 2008年中国区域环境质量差异格局

Fig. 7 Pattern of regional environmental quality differences in China in 2008

5 结论

(1)1986~2008年中国各省市之间环境质量综合得分的差异有所变化,可为1986~2000年、2000~2001年、2001~2005年和2005~2008年4个阶段。

(2)从各年各省市环境质量综合得分可以看出,中国区域环境质量格局总体上表现为西部优于东部,尤其是西部的青海、新疆环境质量综合得分一

直处于前列,而以东的地区各省市环境质量综合得分则有一定的变化,从而使全国区域环境质量格局发生变化.造成这种区域环境质量格局的主要原因是影响区域环境质量的主要因子依次为单位土地面积的污染物排放量因子、污染物排放量因子和污染物回收利用因子,其中污染物单位面积排放强度因子是形成中国区域环境质量东西格局的主要因素,而污染物排放量因子和污染物回收利用因子则是影响中国区域环境质量格局发生变化是具体因素.1986年中国区域环境质量格局表现东西的格局,以西北为代表的西部环境质量较好,而东部则以辽宁、河北、河南、四川一线分南、中、北的格局.2000年中国区域环境质量的格局则表现为东、中、西的格局,西部以青海、新疆为最优,东部沿海则又优于中部和西部其他地区.2001年中国区域环境质量格局总体仍表现为东、中、西的格局,个别省份的排名有所变化.2005年中国区域环境质量格局表现为西部优于东部,而东部则又呈现出南、中、北的格局,北方优于南方,南方则又优于中部地区.2008年中国区域环境质量格局仍表现为西北优于全国其他地区.东部仍呈现南、中、北的格局,只是处于第5类地区的范围扩大。

(3)宏观政策、区域政策和地区产业结构变动也是中国区域环境质量格局变化的主要原因.改革开放以来实施的对外开放政策和西部大开发政策对区域环境质量格局变化也产生重大影响.另一方面,

在沿海经济较发达省份,经济快速发展过程中,伴随产业结构的调整,对环境问题的认识也在不断变化,影响到这些地区的总体环境质量;中西部以资源环境开发为主的地区,在资源开发的不同阶段带来了多种环境问题,导致区域环境质量变化.因而,要改善区域环境质量不仅需要注重经济发展中的环境问题,也要关注产业结构的调整.

(4) 由于受数据资料来源的有限性,选取的年份主要从 1986 年至今,而且本研究选取的体现区域环境质量的 18 指标也有一定的局限性,有待完善.此外,对区域环境质量格局变化的深层原因还需要进一步分析.

参考文献:

- [1] 孙成宝,李云丽. 环境质量评价中的主成分分析与全局主成分分析方法[J]. 甘肃联合大学学报(自然科学版), 2006, **20**(2): 21-25.
- [2] 宋涛,郑挺国,佟连军. 基于面板协整的环境库茨涅兹曲线的检验与分析[J]. 中国环境科学, 2007, **27**(4): 572-576.
- [3] Brajer V, Mead R W, Xiao F. Health benefits of tunneling through the Chinese environmental Kuznets curve [J]. Ecological Economics, 2008, **66**(4): 674-686.
- [4] 李飞,董锁成,李泽红. 中国经济增长与环境污染关系的再检验——基于全国省级数据的面板协整分析[J]. 自然资源学报, 2009, **24**(11): 1912-1920.
- [5] Diao X D, Zeng S X, Tam C M, *et al.* EKC analysis for studying economic growth and environmental quality: a case study in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2009, **17**(5): 541-548.
- [6] 蔡建安,张文艺. 环境质量评价与系统分析[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2003.
- [7] 陶宝先,阎伍玖. 山东省淄博市大气环境质量回顾评价与分析[J]. 环境科学与管理, 2006, **31**(2): 149-152.
- [8] 阿柔瀚巴图,白妙馨,张树礼,等. 乌海-鄂托克-乌斯太地区环境质量现状评价[J]. 内蒙古环境科学, 2009, **21**(1): 73-76.
- [9] Wang S J, Liu J, Ren L J, *et al.* The development and practices of strategic environmental assessment in Shandong Province, China[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2009, **29**(6): 408-420.
- [10] Pradhan K, Mishra P C, Avishek K. Environmental quality assessment studies of coal handling on peripheral land near Kanika siding, Basundhara-Garjanbahal area of MCL, Sundergarh, Orissa, India [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, **163**(1-4): 115-123.
- [11] 陈德强,涂安国. “十五”期间南昌市城区大气环境质量评价及污染特征分析[J]. 环境保护科学, 2009, **35**(4): 5-8.
- [12] Richardson H Y, Nichols G, Lane C, *et al.* Microbiological surveillance of private water supplies in England-The impact of environmental and climate factors on water quality [J]. Water Research, 2009, **43**(8): 2159-2168.
- [13] 谢正苗,李静,王碧玲,等. 基于地统计学和 GIS 的土壤和蔬

菜重金属的环境质量评价[J]. 环境科学, 2006, **27**(10): 2110-2116.

- [14] Kang S M, Kim M S, Lee M. The trends of composite environmental indices in Korea [J]. Journal of Environmental Management, 2002, **64**(2): 199-206.
- [15] 于维洋,许良. 京津冀区域生态环境质量综合评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, **22**(9): 20-24.
- [16] 王笑梅,刘晓升. 改良型污染指数在城市环境噪声评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2008, **31**(4): 132-134.
- [17] 刘志国,杨永春. 中国西部河谷型城市环境质量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2005, **19**(3): 10-16.
- [18] 董亚萍,任建东. 2007 年黄河干流宁夏段水环境质量综合分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, **24**(5): 42-44.
- [19] 林媚珍,谢双喜,杨木壮,等. 南昆山生态旅游区环境质量的综合评价[J]. 生态学报, 2010, **30**(12): 3270-3279.
- [20] 李云海,陈坚,黄财宾,等. 泉州湾沉积物重金属分布特征及环境质量评价[J]. 环境科学, 2010, **31**(4): 931-938.
- [21] 朱晓华,杨秀春,刘天科. 江苏省生态环境质量动态变化驱动机制研究[J]. 经济地理, 2004, **24**(4): 473-476.
- [22] 王红梅,黄晓. 20 年来昆明市环境空气质量变化趋势及影响因素分析[J]. 环境科学导刊, 2010, **29**(2): 71-74.
- [23] 屠玉麟,贺秋华,何谋军. 贵州省生态环境质量评价及生态环境质量区划[J]. 贵州科学, 2003, **21**(1-2): 128-134.
- [24] 徐红玳,卫新,黄伟,等. 基于土壤环境质量的农业区划研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2008, **34**(4): 447-452.
- [25] Silvia F, Daniel A W. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquia River [J]. Water Resource, 2000, **34**(11): 2915-2926.
- [26] 胡旭彬,王玲杰. 高原区域生态环境质量综合评价研究 [J]. 生态经济, 2009, (12): 156-160.
- [27] Jonathan G T, Stephen D R. Use of the Delphi method I resolving complex water resources issues [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2003, **39**(1): 183-789.
- [28] 李崧,邱微,赵庆良,等. 层次分析法应用于黑龙江省生态环境质量评价研究[J]. 环境科学, 2006, **27**(5): 1031-1034.
- [29] 陈晶,王文圣,陈媛. 基于集对分析的全国生态环境质量评价研究[J]. 水电能源科学, 2009, **27**(2): 40-43.
- [30] 郭天配. 2008 年中国 31 个省(市)环境质量的测度与评价[J]. 统计与咨询, 2010, (1): 18-20.
- [31] 张燕,邓西海,高翔,等. 用参评因子动态排序法评价环境综合质量[J]. 长江流域资源与环境, 2006, **15**(1): 120-124.
- [32] 于美霞,周民良. 我国各省区环境污染状况的变化趋势与特征分析[J]. 江海学刊, 2009, (1): 100-105.
- [33] 张立民,赵媛. 江苏省环境质量与经济增长关系研究[J]. 安徽农业科学, 2008, **36**(33): 14787-14788.
- [34] 张超,杨秉康. 计量地理学基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [35] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.