

榆林市脆弱生态空间分异特征及脆弱度分析^{*}

王宏伟, 张鑫, 邱俊楠

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 生态环境的脆弱性是自然因素和人为因素共同作用的结果。采用干旱指数、人口集中指数、系统熵等指标与方法, 对榆林市的气候、人口、经济以及人均水资源等脆弱因子的空间分异特征进行定量分析研究。结果表明, 榆林市的干旱指数由东向西逐渐增大, 为半湿润半干旱型气候; 人口分布趋于均匀并继续分散; 经济发展不平衡, 主要集聚在神木县、榆阳区和府谷县; 人均水资源西多东少并且整体上逐年减少。基于统计资料, 建立评价指标体系, 结合主成分分析法和聚类分析法, 构建数学模型计算脆弱度并进行等级划分。分析表明, 将榆林市生态脆弱性划分为五个等级, 脆弱度以榆阳区为中心向四周减弱。

关键词: 空间分异; 主成分分析; 聚类分析法; 脆弱度

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0184-05

Spatial Differentiation Character of Fragile Ecology and Fragility Analysis in Yulin City

WANG Hong-wei, ZHANG Xin, QIU Jun-nan

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A&F University, Yangling,
Shaanxi 712100, China)

Abstract: The fragility of ecological environment results from natural factor and human factor. The spatial differentiation character of climate, population, per capita water resources and economy are analyzed quantitatively by indicators and methods including drought index, population concentration index, system entropy, etc in Yulin city. The results are as follows: Yulin city whose drought index increases gradually from east to west belongs to semi-humid and semi-arid climate; the distribution of population tends to be uniform and decentralizes continually; the economy develops unevenly and mostly concentrates in the Shenmu county, Yuyang region and Fugu county; per capita water resources is more in the west than in the east and decreases every year as a whole. Based on statistical data, this paper calculates and assorts the fragility through combination between principal component analysis and cluster analysis and mathematical model after the evaluation index system is structured. Analysis indicates that the ecological fragility in Yulin city is divided into five levels and Yuyang region is the center weakened to all around.

Key words: spatial differentiation; principal component analysis; cluster analysis; fragility

近年来, 人类生存所面临的问题日益增多, 同时也越来越严峻, 如全球变暖、人口急增、资源不合理利用、环境污染等问题, 使生态系统自身的协调能力不断下降, 人类生存的环境呈现出越来越脆弱的趋势^[1]。因此研究生态环境的脆弱性, 对相关部门因

地制宜地制定可持续发展战略与决策以及保护生态环境等方面具有重要的现实意义。目前, 国内外对脆弱生态环境展开了深入而广泛的研究, 其中, 评价指标体系和生态环境脆弱度的评价方法也日益提升到定量水平^[2], 但是迄今为止尚未形成一套公认的、

* 收稿日期: 2009-12-12

基金项目: 国家“863”计划项目(14110209); 国家重大科技支撑项目(10712); 西北农林科技大学博士科研启动基金资助项目(01140504); 科研专项(08080230)

作者简介: 王宏伟(1985-), 男, 山西忻州人, 在读硕士研究生, 研究方向: 水资源与水环境保护。E-mail: welfare2000@163.com

通信作者: 张鑫(1968-), 男, 河南淅川人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水资源开发利用、合理配置方面的研究。E-mail: zhxxm@163.com

具有普适性的评价方法, 评价指标体系也各不相同, 造成研究结果可比性差、推广价值低等问题^[3]。

以地处毛乌素沙区向陕北黄土高原过渡的国家级能源化工基地榆林市为例, 依据统计资料, 以县(区)为评价单元, 在对干旱指数、人口、经济和人均水资源等四个脆弱因子的空间分异特征进行定量分析后, 建立评价指标体系, 采用主成分分析法和聚类分析法, 构建数学模型计算脆弱度并进行等级划分, 来探讨脆弱度的空间分异, 为决策者提供一定的指导意见。

1 干旱指数的空间分异

利用 1980–2005 年的降雨和蒸发资料计算多年平均干旱指数, 结果表明: 榆林市各县(区)的多年平均干旱指数均大于 2, 为 2.3~4.3, 其均值为 3.0。干旱指数最大的是定边县, 最小的是清涧县。根据我国的气候带划分标准, 将榆林市分为半湿润带和半干旱带两个气候带, 其中榆阳区、神木县、米脂县、吴堡县、清涧县和子州县属于半湿润带, 府谷县、横山县、靖边县、定边县、绥德县和佳县属于半干旱带。

结合计算结果, 绘制榆林市多年平均干旱指数等值线图(图 1)。由图 1 可知, 榆林市干旱指数大体上呈现出了自东向西增大的趋势。

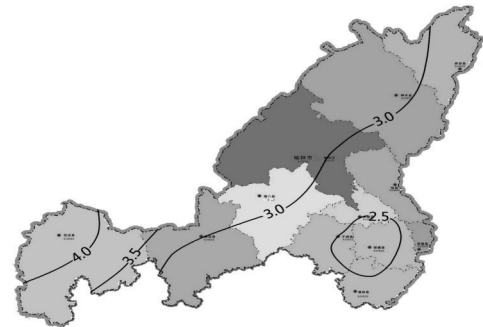


图 1 榆林市多年平均干旱指数等值线图

2 人口的空间分异

人口集中指数是反映人口在某一地域分布的集中程度的指标。其计算公式为

$$C = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_i}{P} - \frac{S_i}{S} \right| \quad (1)$$

式中: i ——组成该地域的行政区或统计区的数目; P_i, S_i ——分别为 i 地的人口和面积; P, S ——分别为该地区的总人口和总面积; N ——该地区下属单元个数。 C 值介于 0 与 1 之间, C 值越小, 说明人口向某一地域集中的偏向很小, 趋向于 0 时, 说明人口均匀分布于各地域。 C 值越大, 说明人口越集中, 趋向于 1 时, 说明所有人口几乎集中分布于—“点”^[4]。

利用榆林市各县(区)的土地资料和 1980–2005 年的人口资料, 分别求出 1980–2005 年的人口集中指数, 其中 1980 年的人口集中指数最大, 为 0.225, 2005 年的最小, 为 0.196。结合计算结果绘制榆林市人口集中指数变化趋势图(图 2)。

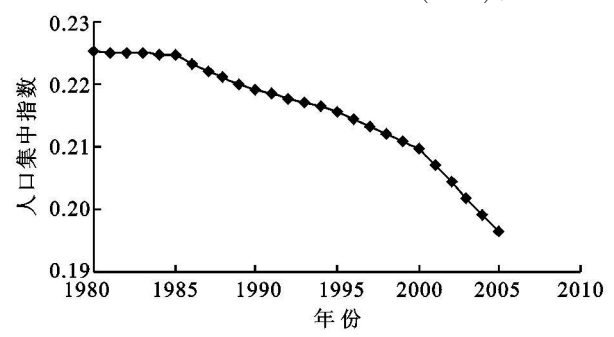


图 2 榆林市人口集中指数变化趋势图

图 2 表明, 在 1980–2005 年期间, 人口集中指数逐年减少, 说明榆林市人口没有集中分布于某一“点”, 而是其空间分布趋于均匀, 有越来越分散的趋势, 但是这一指数的变化是比较小的。

3 基于系统熵的 GDP 空间分异

系统熵是用来衡量系统随机分布状态的一个很有用的物理统计量。区域经济系统熵 H 可表示为

$$H_t = - \sum_i^k (n_{it} / N_t) [\ln(n_{it} / N_t)] \quad (2)$$

式中: n_{it} ——区域 i 在第 t 年的 GDP; N_t ——同期所有区域的 GDP 之和; n_{it} 和 N_t 定义域为 $(0, \infty)$, 熵的取值范围为 $[0, \ln(k)]$ ^[5]。熵的值越小, 则区域经济的集聚程度越高, 空间分布越呈现出向某一个区域集聚的趋势; 反之, 则区域经济的集聚程度越低, 其空间分布也越均匀。

利用榆林市各县(区) 1980–2005 年 GDP 资料, 计算出榆林市 GDP 空间分布的熵, 其值为 1.85~2.38, 并根据计算结果作榆林市 GDP 空间分布的熵的变化趋势图(图 3)。

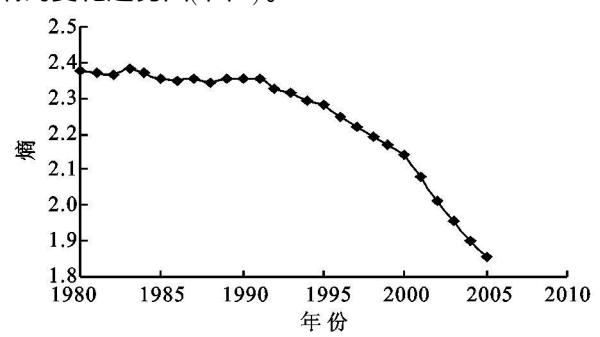


图 3 榆林市 GDP 空间分布的熵的变化趋势图

从图 3 可以看出, 在 1980–2005 年期间, 榆林市的 GDP 空间分布发生了很明显的变化。GDP 的熵从 1980 年的 2.38 减小到 2005 年的 1.85。说明

榆林市的区域经济没有均匀分布在所有的区域,而是集聚在某一个地域,集聚程度越来越高。结合计算过程可以得知,榆林市的经济越来越集聚在神木县、榆阳区、府谷县这块区域,并且有增加趋势。

综上所述,榆林市的区域 GDP 的熵在不断减小,GDP 的集聚程度在变强,集聚速度在变快,榆林市经济的发展越来越不平衡。

4 人均水资源的空间分异

利用 1980 年、1985 年、1990 年、1995 年、2000 年、2005 年的榆林市各县(区)的水资源总量与旧口径统计人口的资料,计算人均水资源量,并由 MAPINFO 软件制作榆林市人均水资源量空间分布图(图 4)。

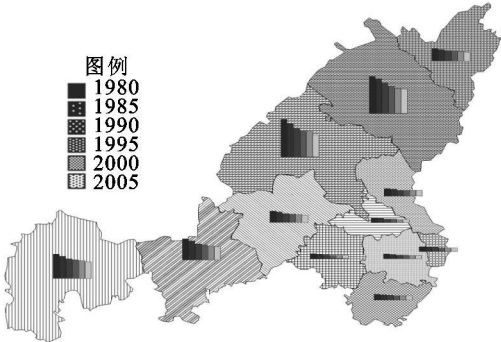


图 4 榆林市人均水资源量空间分布图

各县(区)的人均水资源量在时间上的变化不是很大,减少的速度各不相同,但是总体呈现出减少趋势。吴堡县的人均水资源量最少,一直居末位,神木县和榆阳区的最多,约是吴堡县的十几倍,差距较大。绥德县、米脂县、佳县、吴堡县、清涧县和子州县的人均水资源量为 205~ 636 m³/人,远低于全市平均水平。榆阳区和靖边县的人均水资源量减少速度

$$Z_1=0.138X'_1-0.167X'_2-0.004X'_3+0.205X'_4+0.290X'_5-0.010X'_6+0.209X'_7+0.210X'_8+0.243X'_9+0.213X'_{10}+0.270X'_{11}-0.249X'_{12}+0.285X'_{13}+0.250X'_{14}+0.085X'_{15}+0.133X'_{16}+0.108X'_{17}-0.075X'_{18}+0.111X'_{19}+0.243X'_{20}+0.209X'_{21}+0.062X'_{22}+0.282X'_{23}+0.263X'_{24}+0.213X'_{25} \quad (1)$$

$$Z_2=-0.299X'_1+0.171X'_2-0.210X'_3-0.210X'_4+0.072X'_5+0.056X'_6-0.177X'_7-0.175X'_8+0.102X'_9+0.177X'_{10}+0.003X'_{11}+0.160X'_{12}+0.010X'_{13}+0.007X'_{14}+0.240X'_{15}-0.287X'_{16}+0.297X'_{17}+0.216X'_{18}-0.403X'_{19}+0.187X'_{20}+0.290X'_{21}-0.203X'_{22}+0.123X'_{23}+0.050X'_{24}+0.202X'_{25} \quad (2)$$

$$Z_3=-0.249X'_1+0.365X'_2-0.246X'_3-0.288X'_4-0.012X'_5+0.295X'_6+0.316X'_7+0.301X'_8-0.177X'_9+0.202X'_{10}-0.177X'_{11}-0.033X'_{12}+0.042X'_{13}+0.133X'_{14}-0.338X'_{15}+0.192X'_{16}+0.053X'_{17}+0.025X'_{18}+0.024X'_{19}+0.153X'_{20}-0.014X'_{21}+0.150X'_{22}+0.103X'_{23}-0.186X'_{24}-0.211X'_{25} \quad (3)$$

$$Z_4=0.188X'_1-0.118X'_2-0.277X'_3+0.023X'_4+0.084X'_5+0.436X'_6-0.035X'_7-0.062X'_8-0.046X'_9-0.119X'_{10}+0.164X'_{11}+0.095X'_{12}-0.099X'_{13}-0.217X'_{14}+0.272X'_{15}+0.271X'_{16}-0.142X'_{17}+0.367X'_{18}-0.080X'_{19}-0.156X'_{20}-0.107X'_{21}+0.456X'_{22}+0.023X'_{23}-0.002X'_{24}+0.100X'_{25} \quad (4)$$

将每个主成分所对应的特征值占所提取 4 个主成分总的特征值之和的比例作为权重计算主成分综

$$Z=-0.006X'_1-0.012X'_2-0.116X'_3+0.023X'_4+0.175X'_5+0.101X'_6+0.111X'_7+0.106X'_8+0.118X'_9+0.163X'_{10}+0.158X'_{11}-0.087X'_{12}+0.144X'_{13}+0.124X'_{14}+0.082X'_{15}+0.066X'_{16}+0.111X'_{17}+$$

最快,多年平均增长率达到- 1. 9%。减少速度最慢的也是人均水资源量很少的两个县:吴堡县和清涧县,多年平均增长率为- 1. 3%。

由此分析得知,榆林市人均水资源量的总体空间分布趋势为:自西向东逐渐减小。

5 生态脆弱度的空间分异

5.1 主成分分析

本文采用 2006 年榆林市统计年鉴和榆林市水资源综合规划的数据,以县(区)为评价单元,结合榆林市各县(区)的实际情况,较为客观地反映出榆林市的生态脆弱性现状,按照指标选取原则,从自然条件、社会经济、水资源利用和环境污染等方面选取了 25 个指标构建评价指标体系。

通过主成分分析提取主成分,同时求出主成分荷载矩阵,结果见表 1- 2。前四个主成分的累积贡献率已达到 85. 25%。根据主成分个数的提取原则,取前四个特征值所对应的主成分即 Z₁、Z₂、Z₃和 Z₄ 就可以了。

表 1 特征值和主成分贡献率

主成分	特征值(λ)	贡献率/%	累积贡献率/%
Z ₁	11. 066	44. 263	44. 263
Z ₂	4. 643	18. 571	62. 834
Z ₃	3. 014	12. 054	74. 888
Z ₄	2. 589	10. 358	85. 246

在此基础上构建主成分数学模型。用表 2 中的数据除以主成分所对应特征值的平方根,便可得到 4 个主成分中每个指标所对应的系数。则 4 个主成分的数学模型分别如下:

$$Z_1=0.138X'_1-0.167X'_2-0.004X'_3+0.205X'_4+0.290X'_5-0.010X'_6+0.209X'_7+0.210X'_8+0.243X'_9+0.213X'_{10}+0.270X'_{11}-0.249X'_{12}+0.285X'_{13}+0.250X'_{14}+0.085X'_{15}+0.133X'_{16}+0.108X'_{17}-0.075X'_{18}+0.111X'_{19}+0.243X'_{20}+0.209X'_{21}+0.062X'_{22}+0.282X'_{23}+0.263X'_{24}+0.213X'_{25} \quad (1)$$

$$Z_2=-0.299X'_1+0.171X'_2-0.210X'_3-0.210X'_4+0.072X'_5+0.056X'_6-0.177X'_7-0.175X'_8+0.102X'_9+0.177X'_{10}+0.003X'_{11}+0.160X'_{12}+0.010X'_{13}+0.007X'_{14}+0.240X'_{15}-0.287X'_{16}+0.297X'_{17}+0.216X'_{18}-0.403X'_{19}+0.187X'_{20}+0.290X'_{21}-0.203X'_{22}+0.123X'_{23}+0.050X'_{24}+0.202X'_{25} \quad (2)$$

$$Z_3=-0.249X'_1+0.365X'_2-0.246X'_3-0.288X'_4-0.012X'_5+0.295X'_6+0.316X'_7+0.301X'_8-0.177X'_9+0.202X'_{10}-0.177X'_{11}-0.033X'_{12}+0.042X'_{13}+0.133X'_{14}-0.338X'_{15}+0.192X'_{16}+0.053X'_{17}+0.025X'_{18}+0.024X'_{19}+0.153X'_{20}-0.014X'_{21}+0.150X'_{22}+0.103X'_{23}-0.186X'_{24}-0.211X'_{25} \quad (3)$$

$$Z_4=0.188X'_1-0.118X'_2-0.277X'_3+0.023X'_4+0.084X'_5+0.436X'_6-0.035X'_7-0.062X'_8-0.046X'_9-0.119X'_{10}+0.164X'_{11}+0.095X'_{12}-0.099X'_{13}-0.217X'_{14}+0.272X'_{15}+0.271X'_{16}-0.142X'_{17}+0.367X'_{18}-0.080X'_{19}-0.156X'_{20}-0.107X'_{21}+0.456X'_{22}+0.023X'_{23}-0.002X'_{24}+0.100X'_{25} \quad (4)$$

合模型,X' 为原始变量经过标准化处理的值。即可得到主成分综合模型:

$0.056X'_{18}-0.036X'_{19}+0.170X'_{20}+0.183X'_{21}+0.065X'_{22}+0.190X'_{23}+0.121X'_{24}+0.137X'_{25}$ (5)

表 2 主成分载荷矩阵

变量	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
平均海拔 X_1	0.459	-0.645	-0.432	0.303
多年平均降水量 X_2	-0.556	0.369	0.633	-0.190
多年平均蒸发量 X_3	-0.013	-0.452	-0.428	-0.446
耕地面积 X_4	0.683	-0.453	-0.500	0.038
有效灌溉面积 X_5	0.966	0.155	-0.020	0.135
森林覆盖率 X_6	-0.034	0.120	0.512	0.702
人均 GDP X_7	0.696	-0.381	0.549	-0.057
GDP 增长率 X_8	0.699	-0.376	0.523	-0.099
总人口 X_9	0.808	0.219	-0.308	-0.075
城市化率 X_{10}	0.709	0.381	0.350	-0.191
人口增长率 X_{11}	0.898	0.007	-0.030	0.264
人口密度 X_{12}	-0.828	0.345	-0.057	0.153
地下水资源量 X_{13}	0.948	0.022	0.073	-0.159
地表水资源量 X_{14}	0.832	0.015	0.230	-0.349
单位 GDP 用水量 X_{15}	0.282	0.517	-0.586	0.437
城镇生活用水指标 X_{16}	0.441	-0.618	0.333	0.437
农村居民用水指标 X_{17}	0.361	0.641	0.092	-0.228
灌溉用水指标 X_{18}	-0.250	0.465	0.043	0.590
耗水率 X_{19}	0.371	0.868	0.042	-0.128
生态环境用水量 X_{20}	0.807	0.403	0.266	-0.251
人均现状供水能力 X_{21}	0.696	0.624	-0.024	0.172
管网漏失率 X_{22}	0.207	-0.438	0.260	0.733
污水排放量 X_{23}	0.937	0.264	0.179	0.038
化肥施用量 X_{24}	0.874	0.108	-0.323	-0.003
农药施用量 X_{25}	0.710	0.435	-0.366	0.160

根据主成份综合模型计算各县(区)的综合得分(即脆弱度), 并进行排序, 结果见表 3。

表 3 榆林市各县(区)脆弱度及排序

区 域	脆弱度	排序
榆阳区	4.32	1
神木县	2.29	2
府谷县	-0.43	6
横山县	0.93	3
靖边县	0.88	4
定边县	-0.24	5
绥德县	-0.93	7
米脂县	-1.06	8
佳 县	-1.79	12
吴堡县	-1.57	11
清涧县	-1.27	10
子州县	-1.12	9

分析表 3 得知, 定边县、府谷县、绥德县、米脂县、子州县、清涧县、吴堡县和佳县的得分出现负数。这里的正负数表示与生态环境脆弱度水平位置的相对关系, 而且得分越大, 生态环境越脆弱^[6]。分析表明, 榆林市各县(区)的生态脆弱度差异很明显, 榆阳区的脆弱度最大, 其值为 4.32, 佳县的脆弱度最小, 其值为-1.79。

5.2 生态脆弱性等级划分

在上述分析结果的基础上, 利用聚类分析法, 将

榆林市的生态脆弱性状况分为五类(图 5)。将榆阳区划分为为第一类, 神木县划分为为第二类, 横山县和靖边县构成第三类, 第四类由府谷县、定边县组成, 第五类由绥德县、米脂县、子州县、清涧县、佳县和吴堡县 6 个县构成。

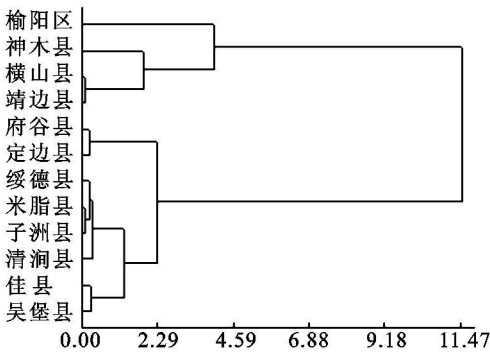


图 5 榆林市生态脆弱性聚类分析结果图

虽然通过聚类分析将榆林市各县(区)的生态脆弱性状况分为五类, 但是这样难以表达生态脆弱性的强弱程度。目前对生态脆弱度的分级仍然没有统一的标准, 也没有普遍适用的评价依据^[7]。因此, 为使研究的结果更便于理解, 在以上分析的基础上进一步分析研究榆林市生态脆弱性。结合榆林市各县(区)的生态环境现状与生态脆弱性表现特征, 在聚类分析的基础上划分生态脆弱度等级, 结果见表 4。

表 4 榆林市各县(区)生态脆弱度等级划分表		
生态脆弱等级	生态脆弱度	地区
极脆弱	3.09~ 4.32	榆阳区
强脆弱	1.87~ 3.09	神木县
中脆弱	0.65~ 1.87	横山县、靖边县
轻脆弱	- 0.57~ 0.65	定边县、府谷县
微脆弱	- 1.79~ - 0.57	绥德县、米脂县、子州县、清涧县、吴堡县、佳县

利用 MAPINFO 软件绘制榆林市生态脆弱性空间分布专题图(图 6)。分析结果表明,榆林市生态脆弱性空间分布趋势大体为:以榆阳区为中心向四周减弱。

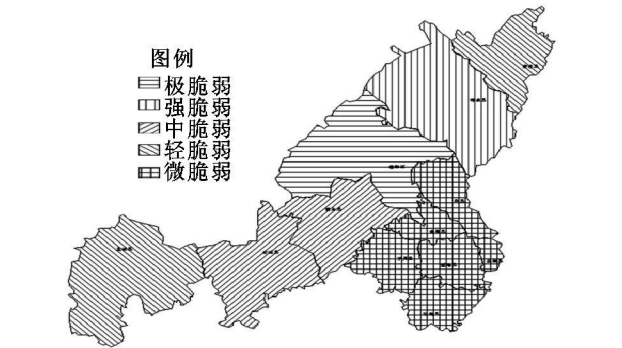


图 6 榆林市生态脆弱性空间分布专题图

6 结论

(1)对榆林市的气候、人口、经济以及人均水资源等脆弱因子分析表明,榆林市的气候为半湿润半干旱型;在人口空间分布趋于均匀的同时,各县(区)经济的发展却日益不平衡,水资源问题越来越突出,

形势也越来越严峻,生态环境的前景不容乐观。
(2)对榆林市各县(区)的生态脆弱性进行分析,所得的结果与生态环境的实际状况基本一致。可见,对其评价方法是合理和可操作的。但是,由于指标的选取范围较小,没有覆盖生态环境的各个方面,所以文中所得结果仅仅可以在 12 个县(区)之间做一定的比较,对其他地区不具有可比性。为了更好地对生态环境脆弱性进行评价,今后不仅要进一步健全评价指标体系和完善评价方法,还应对未来的变化做出预测,为相关部门提供一定的决策依据。

参考文献:

[1] 王介勇,赵庚星,王祥峰,等.论我国生态环境脆弱性及其评估[J].山东农业科学,2004(2):9-11.
[2] 姚玉璧,张秀云,杨金虎.甘肃省脆弱生态环境定量评价及分区评述[J].水土保持通报,2007,27(5):120-126.
[3] 乔青,高吉喜,王维,等.生态脆弱性综合评价方法与应用[J].环境科学研究,2008,21(5):117-123.
[4] 王宇,高向东.基于GIS的大连城市人口空间分布变动及模拟研究[J].世界地理研究,2008,17(4):142-148.
[5] 郭腾云,徐勇,张同升.我国区域政策与区域经济空间分布变化的计量分析[J].地域研究与开发,2006,25(4):1-5.
[6] 李萍.西藏“一江两河”地区农牧复合结构和模式研究[D].陕西杨陵:西北农林科技大学,2007.
[7] 雷维运,张玉龙.云南省生态环境脆弱性评价探索[J].环境科学导刊,2008,27(2):76-79.

(上接第 183 页)

参考文献:

[1] 杨瑞霞,詹志明.太阳黑子周期长度与气候密切相关的太阳活动指标[J].地理译报,1996,15(2):1-4.
[2] 陈健,胡世巧,赵佩章.太阳活动对天气气候的影响[J].河南师范大学学报:自然科学版,2001,29(4):43-45.
[3] 洪业汤,朴河春,姜洪波.黄河沙量记录与黄土高原侵蚀[J].第四纪研究,1990(1):10-20.
[4] 王昌高,王云璋,王国庆.太阳活动峰期黄河径流洪水变化分析[J].河南气象,1998(1):40-41.
[5] 王云璋,薛玉杰,彭子芳.太阳黑子活动与黄河径流、洪水关系初探[J].西北水资源与水工程,1997,8(3):30-38.
[6] 李春晖,杨志峰.基于 Morlet 小波的太阳活动与黄河流域径流量关系分析[J].水资源与水工程学报,2004,15(3):1-4.
[7] Morlet J, Arens G, Fourgeau, et al. Wave propagation and sampling theory and complex waves[J]. Geophysics, 1982, 47(2): 222-236.
[8] Kulkarni J R. Wavelet analysis of the association between the southern oscillation and the Indian summer monsoon[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20: 89-104.
[9] 王文圣,丁晶,向红莲.小波分析在水文学中应用研究与展望[J].水科学进展,2002,13(4):515-520.
[10] 王文圣,丁晶,李跃清.水文小波分析[M].北京:化学工业出版社,2005.
[11] Bradshaw G A, Spies T A. Characterizing canopy gap structure in forests using wavelet analysis[J]. Journal of ecology, 1992, 80: 205-215.
[12] 韩敏,席剑辉,许士国.太阳黑子对黄河年径流量影响的初步研究[J].水科学进展,2003,14(增刊):9-14.