

中国生态环境胁迫过程区划研究

苗 鸿, 王效科, 欧阳志云

(中国科学院生态环境研究中心 系统生态开放研究室, 北京 100085)

摘要:生态环境胁迫过程是指人类活动对自然资源和生态环境构成的压力。这种胁迫过程包括资源胁迫和环境胁迫。研究选择了 4 大类 12 项指标, 运用数量分区的方法, 制定了我国生态环境胁迫过程区划方案。在三级分区基础上, 共划分一级区 2 个, 二级区 10 个, 三级区 29 个。分别探讨了各区的特点。

关键词:区划; 生态环境胁迫过程; 资源胁迫; 环境胁迫

Study on regionalization of eco-environmental stress process in China

MIAO Hong, WANG Xiao-Ke, OUYANG Zhi-Yun (Department of systems Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

Abstract: Eco-environmental stress process is denoted the pressure of human activity on both the resources and ecological environment. It involved in two parts, the resource stress and the environmental stress. Exactly 12 factors from 4 series were adopted, by applying the method of quantitative analysis. There are 2 ecoregions, 10 sub-regions and 29 sections in the divisional plan of the eco-environmental stress process in China. The characteristics of each sub-region were described.

Key words: regionalization; eco-environmental stress process; resources stress; environmental stress

文章编号: 1000-0933(2001)01-0007-07 中图分类号: Q149, X171 文献标识码: A

生态环境胁迫过程是指人类活动对自然资源和生态环境构成的压力。人类的生存和发展依赖于自然环境, 同时又极大地影响和改变着自然环境^[1]。作为复合生态系统的组成之一, 自然生态环境不仅为人类提供粮食、药品和工农业生产的原料、工具, 而且维持着生命物质的化学循环和生物物种的遗传、进化, 更重要的是, 还保证了人类生存所必需的空气、水以及活动空间^[2,3]。然而, 随着生产力水平的进步和社会经济的发展, 人类干预自然生态环境的能力和规模不断提高。人口剧增、资源过度消耗、环境污染、生态破坏不仅引起一系列重大生态环境问题, 而且严重威胁着人类的长期生存与发展^[4~6]。

人类活动对生态环境的胁迫反映了人类社会子系统对自然环境子系统的作用过程, 包括两个方面的含义: 一是资源胁迫, 即人类对自然资源的过度开发导致资源耗竭; 二是环境胁迫, 由于人类生活和生产而输出的污染物破坏了环境的自然净化过程, 造成生态环境恶化。我国地域辽阔, 自然环境复杂, 人类活动形式各有异同^[5], 本研究在搜集大量资料基础上, 从复合生态系统的主体人类活动出发, 运用区划的手段, 进行生态环境胁迫过程区划, 并分析和评价了各区的特点。以期阐明区域生态环境问题的形成机制, 制定区域可持续发展战略提供理论依据。

1 中国生态环境胁迫过程区划的对象、指标

1.1 生态环境胁迫过程区划的对象

基金项目: 中国科学院“九五”资源与生态环境重大研究(KZ951-B1-208)、国家自然科学基金重点基金(79930800)资助项目

收稿日期: 1999-12-22; 修订日期: 2000-04-19

作者简介: 苗 鸿(1965—), 女, 沈阳市人, 博士, 副研究员。主要从事污染生态学, 环境评价和生态环境规划等研究。

区划的对象是区划的核心问题之一。准确地选择区划对象,才能使区划结果符合实际^[7]。本研究以 1:400 万的中国行政区划图为底图,区划的对象为全国 2346 个行政县、市(不包括台湾、香港和澳门),以行政边界为准,同一城市的不同行政分区合并成一个单元。

1.2 生态环境胁迫过程区划的指标

任何一种区划都是利用各种定性和定量的指标,以规定其区划界线。然而指标的选取既要客观地反映事物的本质,又要以尽可能少的数量涵盖尽可能多的信息^[7]。选择不同的区划指标,往往会形成不同的区划结果^[8]。在中国生态环境胁迫过程研究中,区划从人类活动对生态环境的胁迫机制入手,按以下几个方面选取指标,并对区划指标进行综合分析,归纳,合并,最后确定了 4 个方面 12 个数量指标。各项指标的统计数据截止到 1995 年底。

1.2.1 社会经济指标 代表人类活动和工、农业生产的经济开发强度对环境和资源的干预程度:

- X_1 人口密度(人/ km^2),单位面积的人口数量;
- X_2 工业经济密度(万元/ km^2),单位面积的工业总产值;
- X_3 农业经济密度(万元/ km^2),单位面积的农业总产值。

1.2.2 污染胁迫过程指标 代表各种点源或非点源污染物对自然生态环境总体影响和潜在的威胁程度:

- X_4 废水排放强度(t/km^2),单位面积废水排放总量;
- X_5 废气排放强度(万标准 m^3/km^2),单位面积废气排放总量;
- X_6 化肥施用强度(t/km^2),单位面积化肥施用总量;
- X_7 农药使用强度(t/km^2),单位面积农药使用总量。

1.2.3 资源胁迫过程指标 代表人类活动对自然资源的开发利用程度:

- X_8 粮食生产负荷(t/km^2),单位面积粮食产量;
- X_9 用水负荷(t/km^2),单位面积用水量。

1.2.4 胁迫效应指标:代表人类活动对自然生态环境破坏的结果,以生态环境现状为依据:

- X_{10} 酸雨指数 指示该地区酸性降雨的强度,受酸雨频率、降水酸度和降雨量影响;
- X_{11} 空气环境质量指数 指示该地区空气环境质量状况,受空气中 SO_2 浓度、 NO_x 浓度、TSP 浓度影响;

X_{12} 水环境质量指数 指示该地区水体环境质量状况,受水体中有机物含量、重金属含量和无机非金属污染物含量的影响。

需要说明的是,所有数据必须首先经过标准化处理,消除各个指标因单位不一致对数量分析过程的影响。在指标选取过程中,代表上述 4 个方面的类似的指标还有很多,如社会经济方面的 GNP、GDP 值,环境污染方面的 SO_2 排放量,资源方面的各种矿产开采量,以及生态环境胁迫效应方面的水土流失、土地沙漠化等等。为了满足数量分区的要求,即每一个区划对象都有确定的赋值,舍弃了部分数据不全的指标,同时对意义近似的指标加以合并。从区划结果来看,所选取的 12 个指标基本能代表人类活动对生态环境的胁迫过程。

2 生态环境胁迫过程区划的依据和方法

2.1 生态环境胁迫过程区划的依据

中国生态环境胁迫过程区划进行 3 级分区。

2.1.1 1 级区为大区,反映人类活动的强度,使用人口密度、工业经济密度和农业经济密度 3 个影响因子,综合考察地貌、气象、水文等相关区划图件,结合自然生态区划,将全国分为 2 个 1 级区。

2.1.2 2 级区为区,反映人类对自然环境的污染胁迫和资源胁迫过程,使用废水排放强度、废气排放强度、化肥施用强度、农药使用强度、粮食生产负荷、用水负荷 6 个影响因子,将全国分为 10 个 2 级区。

2.1.3 3 级区为亚区,反映人类对自然生态环境的胁迫效应,利用酸雨指数、空气环境质量指数、水环境质量指数 3 个指标,考虑各区域环境质量现状及主要环境问题,根据各 2 级区的特点,对上述 3 个指标分别有所侧重,考虑区内相似性和区间差异性,将全国分为 29 个 3 级区。

2.2 生态环境胁迫过程区划的方法

区划的方法主要是指区划指标的选取和界线划定的方法。一般可分为定性分区和数量分区两大类。定性分区以专家集成为主,包括叠置法、主导因素法、景观制图法;数量分区包括多变量聚类法、多元线性判别法、模糊判别法和数字成像法^[7]。定性分区方法能抓住主要矛盾,但主观因素影响大;数量分区方法适用于数据量大,指标多,指标之间主次关系不明朗的区划过程,但对各类指标一视同仁,会造成分区结果与实际有较大距离^[9~11]。本研究采用定性分区与数量分区结合的分区方法。首先采用叠置法,将单指标分区图叠置在一起,通过各项指标的重复程度确定分区数量;其次指定各区的聚类中心,完成多变量聚类过程,给每个区划单元赋值;最后用多元线性判别函数,确定各区间界线。数量分区过程使用了统计分析软件 SPSS。

2.2.1 1 级区的划分 1 级区即大区,其划分选用了 3 个指标:人口密度、工业经济密度、农业经济密度。单要素图经叠置后划分为 3 个区,以上海为中心的 I 区;以拉萨为中心的 II 区;以郑州、武汉、长春为代表的 III 区。利用多变量聚类方法对全国 2346 个区划对象赋值,建立 3 个区的原始数据矩阵,通过组内离差平方和计算最大似然系数,求出各区的 Fisher's 判别函数,最后确定各区的界线。3 个区的判别函数为:

$$F_1 = 1.641 \times 10^{-3} X_1 + 2.01 \times 10^{-4} X_2 + 2.746 \times 10^{-3} X_3 - 1.741$$

$$F_2 = 3.6 \times 10^{-4} X_1 + 9.55 \times 10^{-5} X_2 + 2.645 \times 10^{-4} X_3 + 1.117$$

$$F_3 = 8.423 \times 10^{-6} X_1 + 2.51 \times 10^{-6} X_2 + 1.002 \times 10^{-5} X_3 - 1.009$$

式中, X_1 代表人口密度; X_2 代表工业经济密度; X_3 代表农业经济密度。

经过多元线性判别后, I 区主要包括 5 个小区,即黄淮海平原、长江三角洲、四川盆地、江汉平原和洞庭湖流域、东南和南部沿海; II 区为中国东部大部分地区; III 区包括青藏高原、新疆和内蒙古北部。从空间图形来看, II 区和 III 区之间界线分明, I 区为 II 区中镶嵌的 5 个斑块,地理上不连续,因此把 I 区和 II 区合并,划为东南部人类活动密集大区(以下简称 I 区), III 区划为西北部人类活动稀疏大区(以下简称 II 区)。I 区和 II 区之间的界线分布在大兴安岭以东、黄土高原北部、青藏高原以东和横断山脉以南。在 I、II 区的判别过程中,有 129 个区划对象被误判,误判率 5.50%。

2.2.2 2 级区的划分 2 级区即区,其划分选用 6 个指标,废水排放强度、废气排放强度、化肥施用强度、农药使用强度、粮食生产负荷、用水负荷。首先用多变量聚类法将 I 区聚为 3 类, II 区聚为 2 类;再利用多元线性判别函数划定每个二级区的具体边界。

I 区的 3 类判别函数为:

$$F_{11} = -6.35 \times 10^{-2} X_4 + 1.125 \times 10^{-3} X_5 + 0.131 X_6 + 1.95 X_7 + 3.3 \times 10^{-2} X_8 + 4.89 X_9 - 3.618$$

$$F_{12} = -9.39 \times 10^{-2} X_4 + 2.602 \times 10^{-4} X_5 + 9.568 \times 10^{-2} X_6 + 1.174 X_7 + 7.24 \times 10^{-3} X_8 + 0.33 X_9 - 1.814$$

$$F_{13} = -1.21 \times 10^{-2} X_4 + 1.844 \times 10^{-5} X_5 + 4.144 \times 10^{-2} X_6 + 0.187 X_7 + 1.08 \times 10^{-3} X_8 + 0.15 X_9 - 1.157$$

II 区的 2 类判别函数为:

$$F_{21} = -9.21 \times 10^{-2} X_4 + 1.069 \times 10^{-3} X_5 + 0.246 X_6 + 5.579 X_7 + 9.65 \times 10^{-3} X_8 + 3.88 X_9 - 0.942$$

$$F_{22} = -1.81 \times 10^{-2} X_4 + 7.31 \times 10^{-6} X_5 - 7.43 \times 10^{-4} X_6 + 1.113 X_7 + 6.43 \times 10^{-3} X_8 + 1.52 X_9 - 0.694$$

式中, X_4 代表废水排放强度; X_5 代表废气排放强度; X_6 代表化肥施用强度; X_7 代表农药使用强度; X_8 代表粮食生产负荷; X_9 代表用水负荷。

2 级分区根据判别结果,考虑各区间地域的连续性和各区的特点,将 I 区划为 8 个 2 级区, II 区划为 2 个 2 级区。

2.2.3 3 级区的划分 3 级区即亚区,其划分采用主导因子法,在 2 级区的基础上,考察 3 个指标(酸雨指数、水环境质量指数、空气环境质量指数)之间的差异,部分参考了其它 9 个指标,并结合自然生态环境特点和敏感性^[12,13],确定每个 2 级区内的 3 级区数量,划分具体界线,总共划分 29 个 3 级区(图 1)。

3 中国生态环境胁迫过程区划方案

方案采用 3 级分区,等级命名为 1 级为大区,2 级为区,3 级为亚区。



图 1 中国生态环境胁迫过程分区图

Fig. 1 Regionalization of stress process on eco-environment in China

3.1 I 东南部人类活动密集大区

I₁ 东北平原林农业轻度胁迫区

I₁₋₁ 小兴安岭林业微胁迫亚区

I₁₋₂ 松花江流域农业有机物轻胁迫亚区

I₁₋₃ 长白山林农业微胁迫亚区

I₁₋₄ 辽河中下游和辽东半岛工业重胁迫亚区

I₂ 东部沿海工农业重度胁迫区

I₂₋₁ 渤海湾工业废气重胁迫亚区

I₂₋₂ 黄淮海平原废水废气重胁迫亚区

I₂₋₃ 长江三角洲工业废水重胁迫亚区

I₃ 长江中下游工农业中度胁迫区

I₃₋₁ 江汉平原农业有机物胁迫亚区

I₃₋₂ 鄱阳湖流域酸雨重胁迫亚区

I₃₋₃ 洞庭湖流域酸雨中胁迫亚区

I₄ 东南丘陵林农业轻度胁迫区

I₄₋₁ 天目山酸雨轻胁迫亚区

I₄₋₂ 武夷山水环境微胁迫亚区

I₄₋₃ 南岭酸雨中度胁迫亚区

I₅ 东南和南部沿海工业中度胁迫区

I₅₋₁ 东南沿海酸雨轻胁迫亚区

I₅₋₂ 珠江三角洲工业废水重胁迫亚区

I₆ 海南岛微胁迫亚区

I₆ 黄土高原农业轻度胁迫区

I₆₋₁ 晋察冀农业微胁迫亚区

I₆₋₂ 太行山工业废气重胁迫亚区

I₆₋₃ 黄土高原废水轻胁迫亚区

I₇ 四川盆地工农业重度胁迫区

I₇₋₁ 四川盆地工业酸雨重度胁迫区

I₈ 云贵高原农业轻度胁迫区

I₈₋₁ 云贵高原东部工业废气中度胁迫区

I₈₋₂ 云贵高原西部农业微胁迫区

3.2 II 西北部人类活动稀疏大区

II₁ 蒙新北部农牧业微胁迫区

II₁₋₁ 大兴安岭林业无胁迫亚区

II₁₋₂ 内蒙古高原缺水微胁迫亚区

II₁₋₃ 新疆北部工农业轻胁迫亚区

II₂ 青藏高原牧业无胁迫区

II₂₋₁ 塔里木盆地严重缺水无胁迫亚区

II₂₋₂ 青藏高原无胁迫亚区

II₂₋₃ 雅鲁藏布江流域微胁迫亚区

II₂₋₄ 藏东南农牧业微胁迫亚区

4 中国生态胁迫过程区划的分区特点

4.1 I 级区(大区)的特点

I 级区分为东南部人类活动密集大区(I 大区)和西北部人类活动稀疏大区(II 大区),2 个区的分界线由东北向西南大约呈 45 度角走向,北起大兴安岭东麓,黑龙江黑河附近,沿内蒙古高原南侧向西,在黄土高原中部向南,沿河西走廊复折向西,直达青海湖,继而又沿青藏高原东麓向南延伸,最南端在横断山脉南侧,云南腾冲一带。

I 区的总面积为 426 万 km²,占全国总面积的 44.4%。总人口 11.407 亿(1995 年),占全国总人口的 94.3%,平均人口密度为 268 人/km²,是人类活动十分密集的地区。该区经济相对发达,全区工业总产值 81369.6 亿元,占全国工业总产值的 97.9%,人均工业总产值为 7133 元/人;农业总产值 21515.8 亿元,占全国农业总产值的 94.1%,人均农业总产值为 1886 元/人。该区资源过度开采,环境污染十分严重,全区废水排放量达 370.26 亿 t/a,占全国的 96.7%;废气排放 120171 亿 m³/a,占全国的 96.5%;化肥施用量 3148.7 万 t/a,占全国总施肥量的 91.4%;农药使用量 105.88 万 t/a,占全国农药总使用量的 97.1%。

II 区的面积比 I 区略大,为 534 万 km²,经济相对落后,人口密度低,资源开发程度差,环境污染较轻。I 区和 II 区部分指标对比见图 2,图中各项指标中,分别以 II 区为基数,I 区为 II 区的倍数。

4.2 2 级区(区)的特征

2 级区是在一级区的基础上划分的,其中 I 大区划分为 8 个区,II 大区划分为 2 个区。在 10 个 2 级区中,人口密度最大的区是东部沿海工农业重度胁迫区(I₂ 区),人均工业总产值最高的区是东南和南部沿海工业重度胁迫区(I₅ 区),人均农业总产值最高的区是东北平原农业中度胁迫区(I₁ 区),环境污染最严重的区是东部沿海工农业重度胁迫区(I₂ 区)。各区的部分指标见表 1。

(1) 东北平原林农业轻度胁迫区(I₁ 区)

位于大兴安岭以南的东北大部分地区,包括东北平原、小兴安岭、长白山脉和辽东半岛。该区人口密度在东部各区中最低。以农业生产为主,人均农业总产值为各区之首。南部辽河中下游地区工业较发达,工业污染相对较重,以废气为主。全区人口密度小,土地肥沃,污染在东部地区最轻。

表 1 2 级区的部分指标对比
Table 1 Comparison among sub-regions

	人口 ^① ($\times 10^8$ people)	面积 ^② ($\times 10^4$ km ²)	工业总产值 ^③ ($\times 10^4$ yuan)	农业总产值 ^④ ($\times 10^4$ yuan)	人口密度 ^⑤ (people/ km ²)	人均工业 总产值 ^⑥ (yuan/person)	人均农业 总产值 ^⑦ (yuan/person)
I ₁	1.013	83.81	8941	2653	121	8826	2619*
I ₂	3.335	57.31	31606	7960	582*	9477	2387
I ₃	1.533	47.31	7368	2883	324	4806	1880
I ₄	0.537	24.76	3306	876	217	6157	1631
I ₅	1.302	33.86	15081	2510	385	11583*	1928
I ₆	1.635	77.18	9223	1995	212	5641	1220
I ₇	0.83	18.15	2874	1136	457	3463	1369
I ₈	1.222	83.69	2971	1503	146	2431	1230
II ₁	0.473	238.8	1450	1054	20	6.07	2228
II ₂	0.214	294.9	286	297	7	0.97	1389

* 为该指标各区中最大 * the maximum of the column. ① Population; ② Area; ③ Gross of industrial output; ④ Gross of agricultural output; ⑤ Density of population; ⑥ Gross value of industrial output per capita; ⑦ Gross value of agricultural output per capita

(2) 东部沿海工农业重度胁迫区 (I₂ 区)

包括渤海湾地区、黄淮海平原和长江三角洲,是我国人类活动对生态环境胁迫最强烈的区域。该区人口密度最大,工农业经济相对发达,环境污染最为严重。全区总人口占全国 27.58%,工业总产值占 38.03%,农业总产值占 34.81%。渤海湾和长江三角洲是工业密集区,以工业废水、废气污染对生态环境的胁迫最为典型,主要污染物包括重金属、二氧化硫等;黄淮海平原是我国重要产粮区,农业有机污染占据首位。

(3) 长江中下游工农业中度胁迫区 (I₃ 区)

包括洞庭湖流域、鄱阳湖流域和江汉平原的大部分地区。人口密集,工农业生产较发达,是我国重要产粮区。全区工业污染较为严重,长江以南为酸雨严重地区,农业生产中化肥和农药的使用都很普遍,农业有机物面源污染问题十分突出。

(4) 东南丘陵林农业轻度胁迫区 (I₄ 区)

包括南岭、武夷山区和天目山区。多为丘陵山地,人口密度较低,以农业为主,工业较不发达,环境污染较轻。由于该区在我国东南部地势较高,受周边工业发达地区影响,有一定程度的酸雨分布。

(5) 东南和南部沿海工业中度胁迫区 (I₅ 区)

包括珠江三角洲、海南岛和从杭州湾以南一直到北部湾的东南和南部沿海地区。人口稠密,经济发达,人均工业总产值居全国之首,农业生产中以渔业为主,种植业为辅。环境污染日趋严重,工业废水、废气污染兼有,农业化肥和农药污染位居前列,杭州湾以南地区和珠江三角洲的酸雨问题也十分突出。

(6) 黄土高原农业轻度胁迫区 (I₆ 区)

包括太行山脉、黄土高原以及蒙古高原南部晋察冀地区。工业生产较不发达,农业生产也处于落后水平,资源短缺,水资源最为匮乏。环境污染程度居中,工业污染以废气为主,农业污染以化肥为主。

(7) 四川盆地工农业重度胁迫区 (I₇ 区)

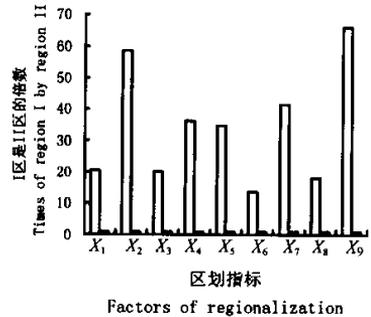


图 2 I 区和 II 区各项指标对比

Fig. 2 Comparison between region I and region II X₁ Density of population; X₂ Density of gross value of industrial output; X₃ Density of gross value of agricultural output; X₄ intensity of wastewater discharge; X₅ intensity of waste gas emission; X₆ intensity of fertilizer use; X₇ intensity of pesticide use; X₈ load of grain production; X₉ load of water use

□ I 区 ■ II 区

仅包括四川盆地。全区面积最小,人口稠密,面积仅占全国的 1.89%,而人口相对占全国的 7%。以农业生产为主,农业经济密度位居前列。工业经济亦较发达。环境污染严重,工业污染以废气为主,二氧化硫的排放居全国首位,是酸雨重污染地区,也是人类活动对生态环境胁迫强烈地区之一。

(8) 云贵高原农业轻度胁迫区(I₈区)

包括云贵高原和长江以南、洞庭湖以西的丘陵地区。人口密度较小,工业十分落后,农业也很不发达。环境污染较轻,个别地区如昆明、贵阳、桂林等城市污染呈加重趋势,东部较大面积地区有酸雨分布。

(9) 蒙新北部农牧业微胁迫区(II₁区)

包括东起大兴安岭、西至天山以北和内蒙古高原的广大地区,地域辽阔,人烟稀少,经济落后。在新疆北部和内蒙古中部有零星地区工业较集中,从东到西分别为林业、牧业和种植业。工业集中地区微有环境污染,农药和化肥使用量极低。

(10) 青藏高原牧业无胁迫区(II₂区)

包括青藏高原全部和塔里木盆地,面积最大,占全国总面积的 30.7%,人口仅占全国总人口的 1.7%,很多地方荒无人烟。经济极其落后,以牧业为主,大部分地区没有工业,河谷地区有少量种植业。环境质量很好,基本无污染,是人类活动对自然生态环境胁迫最少的地区。

5 结论

(1) 人类活动对生态环境的胁迫过程包括资源胁迫和环境胁迫。资源胁迫是人类为了满足生活生产的需要,从生态环境中攫取自然资源而对生态环境造成的不可逆转的压力;环境胁迫是人类生产生活中不可避免产生的废弃物对生态环境的破坏。

(2) 从人类活动对生态环境的胁迫过程出发,综合筛选了 4 大类 12 项指标,利用定性定量相结合的方法,将我国划分为 2 个 1 级区,10 个 2 级区和 29 个 3 级区。

(3) 人类活动对生态环境的胁迫强度在我国从东到西逐渐减弱,东部沿海最高,青藏高原最低。

参考文献

- [1] SCEP Man's Impact on the Global Environment, MIT Press, Cambridge Mass. 1970.
- [2] Holdren J P and Ehrlich P R. Human population and the global Environment. *American scientist*. 1974, **62**:282~292.
- [3] Ehrlich P R, Ehrlich A H and Holdren J P. Ecoscience: population, resources, environment, *Freeman and Col.* San Francisco, 1977.
- [4] 王 菱,王勤学,张如一. 人类活动对黄土高原生态环境及现代气候变化的影响. *自然资源学报*,1992, **7**(3):273~281.
- [5] 苏志珠. 人类活动对西北地区生态环境影响的初步研究. *干旱区资源与环境*,1998, **12**(4):127~131.
- [6] 傅伯杰,陈利顶,刘国华. 中国生态区划的目的、任务及特点. *生态学报*. 1999, **19**(5):591~595.
- [7] Robert G Bailey. *Ecosystem Geography*, Springer, USA, 1995.
- [8] Bailey R G. Ecological regionalization in Canada and the United States, *Geoforum*, 1989, **16**(3): 265~275.
- [9] Host G E, Polzer P L, Mladenoff D J, et al. A quantitative approach to developing regional ecosystem classifications, *Ecological Applications*, 1996, **6**(2): 608~618.
- [10] 吴忠勇,王文杰,李 雪. 国家级环境区划理论与方法初探. *农村生态环境*. 1995, **11**(3):1~3.
- [11] 张启德,王玉秀. 中国辽宁省环境区划. 北京:科学出版社,1991.
- [12] 杨勤业,李双成. 中国生态地域划分的若干问题. *生态学报*. 1999, **19**(5):596~601.
- [13] 欧阳志云,王效科,苗 鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究. *生态学报*. 2000, **20**(1):9~12.