

# 基于主成分聚类分析法的塔里木河 流域生态脆弱性评价 ——以巴音郭楞蒙古自治州为例

曾庆敏, 刘新平

(新疆农业大学管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 以南疆塔里木河流域的巴音郭楞蒙古自治州为研究区域, 通过对影响当地生态环境脆弱性的因素进行分析, 构建适合巴州的生态脆弱性评价指标体系, 指标主要包括人口自然增长率、地膜使用量、环境保护支出、机械总动力、有效灌溉面积、化肥施用量、人均纯收入、人均生产总值、固定资产投资总额、森林覆盖率、牧草地年均面积减少面积、农业引水量、未利用地年均面积减少面积、年均沙尘暴出现次数、沙漠化危害严重的耕地面积 15 个指标。利用 SPSS20.0 软件, 采用主成分分析法得到生态脆弱性指标权重值, 通过生态环境脆弱度公式计算得到生态脆弱性得分, 在主成分分析法所提取的主要指标基础上进行聚类分析综合确定生态脆弱性等级。结果表明, 尉犁县为极强度脆弱区, 库尔勒为强度脆弱区, 且末县、轮台县和若羌县为中度脆弱区, 和静县、和硕县、博湖县和焉耆县为轻度脆弱区。根据生态脆弱性评价的结果提出相应的对策建议, 可以为当地政府在制定生态环境保护政策方面提供理论借鉴。

**关键词:** 主成分-聚类; 生态脆弱性; SPSS; 巴音郭楞州

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1004-874X(2015)10-0133-06

## Evaluation on ecological vulnerability of Tarim River Basin based on principal component-clustering analysis —Taking Mongolia Autonomous Prefecture of Bayingolin as example

ZENG Qing-min, LIU Xin-ping

(School of Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** This paper took Mongolia Autonomous Prefecture of Bayingolin in southern Xinjiang Tarim River Basin as study area, built up the ecological vulnerability evaluation index system for Bayinguolin Mongolia State, according to the factors affecting the local ecological environment vulnerability. The system mainly chose 15 important factors, including natural population growth rate, used amount of film, cost of environmental protection, total power of agricultural machine, effective irrigation area, fertilizer input, per capita net income, per capita GDP, investment in fixed assets, forest coverage reduction rate, area of grassland reduction annually, agricultural water consumption, area of unutilized land reduction, frequency of sandstorm, area of cultivated land under the threat of desert. The weights of index were calculated base on principal component analysis by SPSS20. The ecological vulnerability scores were calculated by the ecological environment vulnerability degree formula, and then based on principal component-cluster analysis, the level of ecological vulnerability was comprehensively determined. The results showed that the Yuli County could be regarded as extreme strong vulnerable area, Luntai County, Qiemo County and Ruqiang County as moderate ones, Kuerle City as the strong one, Hejing County, Heshuo County, Bohu County and Yanqi County as the mild vulnerable

ones. According to the result of ecological vulnerability assessment, corresponding countermeasures were put forward to provide theory reference for the local government to make ecological environment protection policy.

**Key words:** principal component-clustering analysis; ecological vulnerability; SPSS; Mongolia Autonomous Prefecture of Bayingolin

收稿日期: 2014-11-09

基金项目: 国家自然科学基金(71363054); 新疆农业大学产学研基金(xjaucxy-yjs-20131012)

作者简介: 曾庆敏(1990-), 男, 在读硕士生, E-mail: 1161312911@qq.com

通讯作者: 刘新平(1959-), 男, 博士, 教授, E-mail: lxping16@163.com

塔里木河流域是我国西北重要的生态功能区之一,也是新疆绿洲保护生物多样性的关键区<sup>[1]</sup>。其流域中上游生态环境状况不仅深刻影响本地区经济社会的可持续发展,而且也会对下游地区的生态安全产生影响。在新疆塔里木河流域分布广阔的未利用地,而这些未开发的区域大多处于绿洲边缘,在干旱区绿洲发展过程中有着自然生态屏障的作用。由于当地生态环境系统的复杂性以及受干旱、盐碱化、荒漠化等恶劣的自然条件的影响,这些地方的生态环境在应对人为的干扰活动方面比较敏感<sup>[2]</sup>,为此对其生态脆弱性程度做出科学评价对于该地区今后经济社会的发展至关重要。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

巴音郭楞自治州(以下简称巴州)位于新疆东南部,地理位置 $82^{\circ}38'~93^{\circ}45'E$ 、 $35^{\circ}38'~43^{\circ}36'N$ ,北连天山山脉,南靠阿尔金山和昆仑山,东邻塔里木盆地,东西宽800 km。巴州是我国面积最大的地级行政区,约占新疆国土面积的1/4,总面积约47.15万km<sup>2</sup>,下辖库尔勒市、轮台县、尉犁县、若羌县、且末县、焉耆县、和静县、和硕县、博湖县9个县市,全州共有58个乡、27个镇、5个街道。2012年,巴州的总人口为137.47万人,实现生产总值90.75亿元,第一、二、三产业分别占16.9%、64.6%、18.5%。

塔里木河是我国最大的内流河,其补给水源是天山和喀喇昆仑山脉的冰雪融水,是典型的季节性河流。塔河干流途经塔里木盆地北部的大片地区,河流流经的地区分布着大片的乔木和灌木林。巴州地处塔里木河流域中下游地区,境内分布着多条塔里木河的支流,近年来不合理的人类活动日益频繁,导致塔里木河流域的生态环境日益恶化。

### 1.2 研究方法

生态脆弱性评价指标主要从影响当地生态环境演变的自然环境和人类的经济社会活动以及生态环境变化的具体表现方面进行选取<sup>[3]</sup>。首先,要考虑因子与生态环境变化之间的相关性;其次要遵循主导性原则,确保所选指标是影响区域生态环境的主要因素;最后,针对地区所具有的差异性合理地增加和减少相应的评价指标的数量。评价指标的选取方法如下:

(1)由于研究区地处西北内陆干旱区域农牧交错带,年均降水量在25 mm左右波动,灌溉水源是当地发展干旱区绿洲农业以及进行生态保护的主要

制约因素,在农业生产过程需要更多地使用地表和地下水的资源,而不合理的利用含盐量相对较大的地表径流会导致地下水位的变化,进而产生土壤盐碱化现象。因此选择农业引水量作为评价指标。

(2)在生态环境比较脆弱的西部地区,人口过快增长以及人民生活水平的不断提高必然会导致地区土地、水资源以及矿产等自然资源的人口承载力下降,在土地承载力达到一定的阈值时会导致生态系统向无序化演变,因此人口自然增长率也是生态脆弱性评价必须考虑的指标之一。

(3)在西北的广大农村地区由于地广人稀,大多数的农民虽然都采用机械化方式耕作,但由于经济利益的驱使他们并不注重农业生产过程中的生态环境的保护,大量农药、化肥的施用导致土地板结、土地面源污染以及土地退化等一系列的生态问题,因此把化肥施用量作为生态脆弱性的指标。

(4)巴州位于塔克拉玛干沙漠北缘地区,在沙漠与绿洲之间分布着大片耐旱的灌木和草地,近年来过度放牧以及非法开荒造成了这些未利用地面积的锐减,这直接导致未利用地抵御沙漠演化的生态屏障作用大大削弱。同时,分布在塔里木河干支流两岸的大片胡杨林,由于当地不合理的樵采以及塔河径流量变小,导致当地野生胡杨林面积锐减,其防风固沙效果受到影响。森林覆盖率、牧草地年均减少面积以及未利用地年均减少面积、沙漠化严重危害的耕地面积可以作为反映生态环境的变化的指标。

(5)经济社会发展程度与周边生态环境脆弱性有很大的关系<sup>[4]</sup>。经济发展程度较高的地区往往对土地开发利用程度较大,但由于经济发展可以为环境保护提供较充足的资金,采取的开发利用方式也较集约,对于生态环境的恢复重建能力也较强,因此选择人均生产总值以及人均纯收入作为经济发展的评价指标。

(6)环境保护支出可以体现出一个地方对于生态环境保护的重视程度,一个地区维持现有生态环境状况所需要的资金,而在生态环境系统保护中投入越多人力物力说明该地区生态环境越亟待改善,反之则说明地区生态环境状况相对较好。环境保护支出这个指标可以从侧面反映地区生态环境的好坏。

(7)研究区生态环境扰动除了不合理的开发利用,还有发展农业过程中产生的影响。恶劣的自然条件是制约研究区农业发展的重要因素,因此发展农业必须坚持适度原则,按照现有的水资源以及投

入资金的多少来确定农业发展规模,走农牧业集约化发展道路。因此将机械总动力以及灌溉面积作为衡量农业集约程度的指标。

根据巴州地区生态环境现状的成因以及结果的表现,从社会活动、经济发展以及生态环境变化3个方面选择15个指标并进行标准化处理(表1),对巴州地区生态脆弱性进行综合评价。本研究选

择的评价指标既有正向影响指标也有负向影响指标<sup>[5]</sup>。其中,正向指标的变动与生态脆弱性演化机制呈正相关的关系,指标变化越大对生态环境的扰动就越剧烈;而负向指标恰好相反,负向指标与生态环境存在良好耦合关系<sup>[6]</sup>或对生态环境可持续发展有积极作用,指标变化越大对生态环境扰动越小。

表1 生态脆弱性评价指标标准化结果

评价指标	库尔勒市	轮台县	尉犁县	若羌县	且末县	焉耆县	和静县	和硕县	博湖县	相关性
人口自然增长率 $X_1$	0.0000	0.9632	0.0859	0.6544	1.0000	0.4100	0.2658	0.0613	0.1237	正向指标
地膜使用量 $X_2$	1.0000	0.9181	0.7717	0.0000	0.2105	0.2667	0.2790	0.4389	0.1670	正向指标
环境保护支出 $X_3$	0.9538	0.2851	0.6904	1.0000	0.1878	0.0000	0.4107	0.2120	0.1065	正向指标
机械总动力 $X_4$	0.0000	0.7660	0.4976	1.0000	0.8948	0.5589	0.6342	0.7914	0.7503	负向指标
有效灌溉面积 $X_5$	0.0000	0.5124	0.3840	1.0000	0.8138	0.6234	0.6006	0.4733	0.8301	负向指标
化肥施用量 $X_6$	1.0000	0.4209	0.5270	0.0000	0.0174	0.3478	0.1791	0.2017	0.0939	正向指标
人均纯收入 $X_7$	0.6706	0.9132	0.7989	0.0000	0.9369	0.8308	0.9312	0.9316	1.0000	负向指标
人均生产总值 $X_8$	0.0000	0.8076	0.8629	0.2158	1.0000	0.8929	0.8876	0.9482	0.9336	负向指标
固定资产投资总额 $X_9$	0.0000	0.9232	1.0000	0.8944	0.9793	0.9591	0.8114	0.9899	0.9978	负向指标
森林覆盖率 $X_{10}$	0.5791	0.0000	0.7872	1.0000	0.9728	0.8118	0.8511	0.9908	0.9712	负向指标
牧草地面积减少量 $X_{11}$	1.0000	0.0216	0.3020	0.1353	0.1266	0.0000	0.0022	0.0889	0.0211	正向指标
农业引水量 $X_{12}$	1.0000	0.5247	0.7945	0.0000	0.2675	0.6281	0.9605	0.1752	0.2276	正向指标
未利用地面积减少量 $X_{13}$	0.9547	0.0837	0.0460	0.0000	0.0262	0.0672	1.0000	0.0558	0.2358	正向指标
年均沙尘暴出现次数 $X_{14}$	0.4531	0.7500	0.5938	0.6563	1.0000	0.0156	0.0156	0.1406	0.0000	正向指标
沙漠化危害严重的耕地面积 $X_{15}$	1.0000	0.2829	0.7728	0.1165	0.6418	0.2723	0.0000	0.0110	0.1595	正向指标

注:数据来源于巴州气象灾害防御规划(2012—2020年)、新疆维吾尔自治区土地资源调查、新疆国土资源综合统计资料册以及新疆巴音郭楞自治州统计年鉴(2009—2012)

### 1.3 数据处理

在生态脆弱性评价指标体系中,各项评价指标之间的计量单位各不相同,这就造成了各个指标的数值在计算中不能直接使用,需要通过对各个指标进行归一化处理,以便消除它们彼此之间的量纲差异。一般而言,在数据消除量纲之后,各个正向指标数值越大说明该因素对环境影响越大,可通过式(1)进行归一化处理;而负向指标越大说明该因素对环境影响越小,可通过式(2)进行归一化处理<sup>[7]</sup>。

$$\sigma_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \quad (1)$$

$$\sigma_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - \min\{X_{ij}\}}{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}} \quad (2)$$

式中,  $\sigma_{ij}$  为生态脆弱性指标标准化值,  $X_{ij}$  为各项评价指标初始值,  $\min\{x_{ij}\}$  为各项评价指标的最小值,  $\max\{x_{ij}\}$  为各项评价指标的最大值。

### 2 结果与分析

#### 2.1 主成分分析

使用SPSS 20.0统计分析软件对15个评价指标采取主成分分析方法进行降维处理,由于前7个主成分的累计方差累计贡献率达99.47%(表2),它们可代表原始变量的主要信息,因此选择这7个主成分进行分析。

根据15个变量因子在7个主成分中的成分矩阵、解释变量的特征值以及方差累计贡献率,由式(3)可计算得出各个评价指标的权重  $w_i$ (表3)<sup>[8]</sup>。

$$g_i = \frac{r_i}{\sqrt{p_i}} \quad i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, \dots, 15$$

$$w_i = \sum_{j=1}^n \frac{X_{ij}}{g_i} \quad j=1, 2, 3, \dots, 15 \quad (3)$$

式中,  $g_i$  为各个主成分函数的表达式的系数,  $r_i$  为主

表 2 生态脆弱指标体系解释变量的特征值、方差贡献率

主成分	特征值	方差(%)	累计贡献率(%)
1	7.479	49.859	49.859
2	2.902	19.349	69.208
3	2.235	14.898	84.106
4	0.951	6.343	90.449
5	0.696	4.638	95.087
6	0.396	2.637	97.725
7	0.262	1.747	99.471
8	0.079	0.529	100.000
9	3.744E-16	2.496E-15	100.000
10	2.522E-16	1.681E-15	100.000
11	8.396E-17	5.597E-16	100.000
12	-9.817E-18	-6.545E-17	100.000
13	-1.118E-16	-7.452E-16	100.000
14	-1.399E-16	-9.326E-16	100.000
15	-2.561E-16	-1.707E-15	100.000

成分中各个因素的载荷数,  $p_i$  为主成分对应的特征根值;  $w_i$  为各个评价指标的权重值。

表 3 生态脆弱性指标权重值

评价指标	权重
人口自然增长率 $X_1$	0.014
地膜使用量 $X_2$	0.087
环境保护支出 $X_3$	0.079
机械总动力 $X_4$	0.065
有效灌溉面积 $X_5$	0.071
化肥施用量 $X_6$	0.087
人均纯收入 $X_7$	0.036
人均生产总值 $X_8$	0.081
固定资产投资总额 $X_9$	0.082
森林覆盖率 $X_{10}$	0.067
牧草地面积减少量 $X_{11}$	0.093
农业引水量 $X_{12}$	0.046
未利用地面积减少量 $X_{13}$	0.025
年均沙尘暴出现次数 $X_{14}$	0.074
沙漠化危害严重的耕地面积 $X_{15}$	0.093

## 2.2 生态环境脆弱度计算

根据生态脆弱性指标权重与各个指标的初始化值, 由式(4)<sup>[9]</sup>可计算出巴州地区各县市生态脆弱度得分(表 4), 然后根据得分将巴州地区的生态脆弱性划分为极强脆弱、强度脆弱、中度脆弱、轻度脆弱四个等级。生态脆弱度得分计算公式为:

$$G = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot w_i}{\max \sum_{i=1}^n k_i w_i + \min \sum_{i=1}^n k_i w_i} \quad (4)$$

式中,  $k_i$  为第  $i$  个指标初值化值,  $w_i$  为第  $i$  个指标权重,  $G$  为生态脆弱度得分。

表 4 巴州生态脆弱度得分及聚类分析结果

县市	脆弱度得分	聚类结果	脆弱度等级
尉犁	0.598	III	极强
库尔勒	0.559	I	强度
且末	0.542	III	中度
轮台	0.486	III	中度
若羌	0.427	II	中度
和静	0.422	IV	轻度
和硕	0.414	IV	轻度
博湖	0.402	IV	轻度
焉耆	0.401	IV	轻度

## 2.3 聚类分析

根据主成分分析法提取出包含主要信息量的主成分的 7 个主成分和综合主成分得分构成的矩阵来进行系统聚类分析, 通过聚类分析树状图(图 1)可客观地对影响巴州各个县市生态脆弱性的主成分的差异进行归类<sup>[10]</sup>。从图 1、表 4 可以看出, 当各类之间的间距取  $d=5$  时, 可将评价区域的影响因子聚合成 4 类来进行分析, 其中库尔勒市属于 I 类, 若羌县属于 II 类, 尉犁县、且末县、轮台县为 III 类, 和硕县、和静县、焉耆县、博湖县为 IV 类。

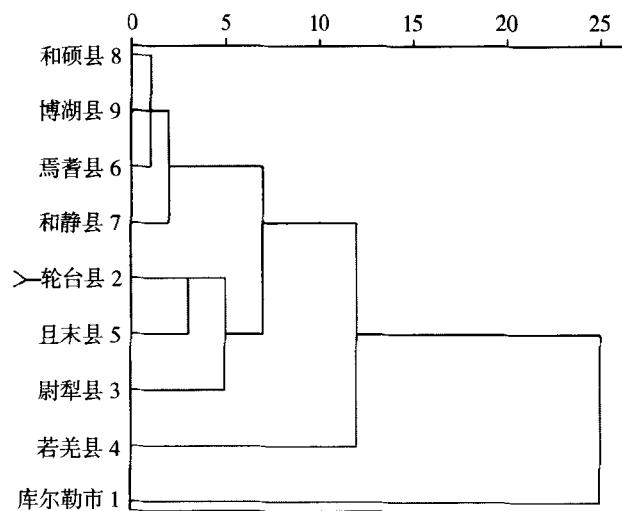


图 1 生态脆弱性评价聚类结果

结合主成分分析和聚类分析方法, 对生态脆弱

性指标得分以及聚类结果综合分析可以更加科学地划分生态脆弱性等级:  $0.402 < G < 0.422$  为轻度脆弱,  $G = 0.427$  为中度脆弱,  $0.486 < G < 0.559$  为强度脆弱,  $G = 0.598$  为极强度脆弱(图 2)。

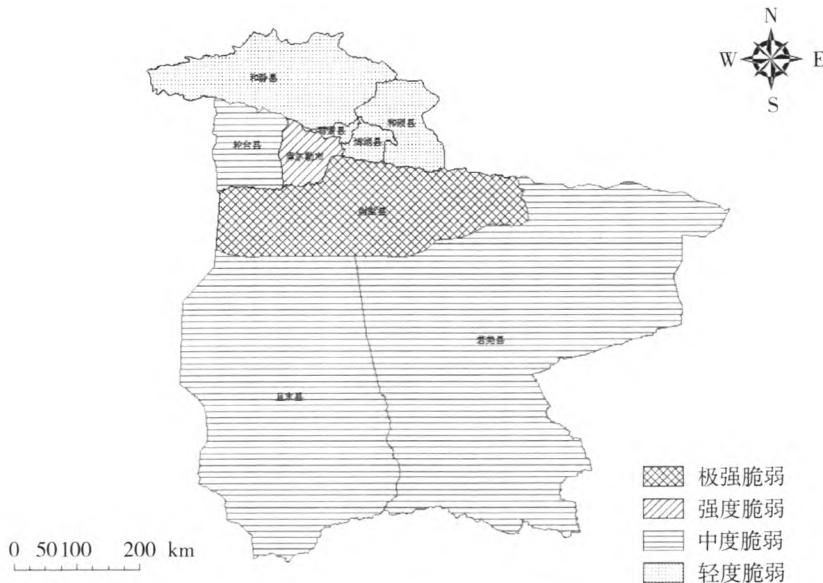


图 2 巴州地区各县市生态脆弱性评价等级

### 3 结论与建议

研究结果表明,巴州地区生态极强脆弱地区分布在尉犁县,占巴州地区总面积的 12.60%。尉犁县位于塔克拉玛干沙漠与北部绿洲地区的过渡地带,是巴州地区典型的农牧交错区。由于常年干旱少雨的气候,大片地区都分布着植被稀少的未利用地,只有在塔里木河两岸狭长地带带状分布着沙漠绿洲。在发展农牧业过程中由于缺乏完善的排灌系统,过度引用含盐量相对较高的地下水造成耕地土壤盐碱化。尉犁县的墩阔坦、塔里木等乡镇畜牧业相对比较发达,但是过度放牧造成塔里木河沿岸荒草地的退化。该地区南靠塔克拉玛干沙漠,农田缺乏配套的防风林体系,春秋季节频繁受风沙灾害影响。在经济发展过程中由于违法樵采等行为,造成灌木草地破坏严重。

生态强度脆弱区分布在库尔勒市,占巴州地区总面积的 1.53%。库尔勒市作为巴州地区的经济文化政治中心,经济社会发展水平较高。库尔勒位于孔雀河下游地区,地势相对比较平坦,土壤比较肥沃,区内有孔雀河、白鹭河和杜鹃河三条主要河流为该地区的工业、农业发展提供了充足的水源。该地区农业发展中非法开荒造成未利用地面积锐减,而大量的耕地被开发出来却没有配套的水利基础设施与之配套,进而出现耕地质量逐渐下降。同时农业中过度使

用农药化肥以及工业发展排出的废弃物,使当地土地受到污染程度相对比较严重。

生态中度脆弱区分布若羌县、轮台县和且末县,位于巴州的西部和南部广大地区,经济社会发展相对滞后,占巴州地区总面积的 74.47%。该区域内都分布着大片的未利用地,自然植被稀少,受大风、沙尘灾害的影响比较显著。同时该区域内水资源分布不均匀,在发展林业的过程中缺乏相对配套的水利工程设施,干旱缺水造成当地生态环境脆弱的重要因素。但是由于该地区地广人稀,广大的未利用沙漠地带受到人类扰动的影响有限。

生态轻度脆弱区分布在焉耆县、和硕县、和硕县和博湖县,占全区总面积的 11.40%。该地区位于巴州地区北部,远离南部的塔克拉玛干沙漠,受风沙灾害影响相对较小。境内有开都河以及博斯腾湖等河流湖泊,水资源比较充足,同时具有较好的防风固沙林网和水土保持措施,自然生态环境相对较好。但是该区域也存在过度利用水资源造成河流湖泊面积减小以及不合理开发利用草地导致草场严重退化等问题。

基于本研究结果,提出以下对策建议:

(1) 加强水资源管理,合理利用水资源。首先,完善生态脆弱农牧交错区的排水灌溉系统,在农牧业发展过程中合理分配水资源,通过根据水资源的多少来确定农牧业发展规模;其次,在农业生产中

要大力推广节水灌溉技术,严禁采用大水漫灌的灌溉方式;再次,要完善区域内水利基础设施,加强水资源的管理的力度,提高水资源利用率;最后,根据水资源多少的不同,采取分区域阶梯水费制度,提高当地群众节水意识。

(2)控制未利用地开发利用规模,积极开展生态恢复治理工作。在生态脆弱区的未利用地开发利用过程中需要保持十分慎重的态度,对于已被严重破坏的草地以及植被应该及时采取生物、工程措施进行恢复并加以保护;对于未利用地实行差别化的开发政策<sup>[11]</sup>,对于水源较充足的轻度脆弱地方可以加以适度开发,对于干旱缺水的生态强度脆弱地区要限制未利用地的开发规模;在畜牧业发展比较迅速的地区采取“以草定畜”的方针<sup>[12]</sup>,防止人工和天然草场被过度利用;在适宜发展农业生产的地区采取保护现有稳产高产的基本农田数量的基础上,严格控制未利用地的开发利用强度。

(3)加强防风林体系建设,抵御风沙侵袭。生态脆弱性等级比较高的地区都是在靠近塔克拉玛干沙漠的边缘地区,大风、沙尘暴等自然灾害的发生比较频繁,在靠近沙漠的绿洲边缘地区,大力开展植树造林工程,加强农田防风林体系建设;在能保证灌溉水源的绿洲地区,借助南疆地区良好的光热条件,大力发展特色林果产业以及相关产品加工产业,减少种植业以及畜牧业对生态环境的影响;加强当地治沙工程的投入力度,通过生物、工程措施抵御沙丘的扩张。

(4)减少耕地污染,加强耕地地力养护。在农业比较的脆弱区还普遍面临着耕地污染的问题。大量使用高毒农药、过量使用化肥以及使用不可回收地膜等使耕地的生态系统受到扰动比较强烈,因此必须加强耕地质量的保护。积极推广秸秆还田、农田休耕等制度,加强该地区的耕地地力的养护;积极鼓励农民使用绿色有机肥以及低毒农药。

(5)加强执法巡查,打击非法樵采、开荒行为。在生态脆弱区有一些人为了追求自身的经济利益盲目开垦荒地、过度砍伐灌木林以及滥挖药材等行为,

加剧了当地生态环境的破坏程度。因此政府应该制定相应的保护生态环境法规政策,加强生态较脆弱地区的执法巡查力度,严厉打击非法开垦耕地、滥采乱伐灌木林等行为。

#### 参考文献:

- [1] 郭朝霞, 刘孟利. 塔里木河重要生态功能区生态环境质量评价 [J]. 干旱环境监测, 2011, 25 (4): 56-58.
- [2] 王让会, 樊自立. 干旱区内陆河流域生态脆弱性评价——以新疆塔里木河流域为例 [J]. 生态学杂志, 2001, 20 (3): 63-68.
- [3] 李滨勇, 陈海滨, 唐海萍. 基于AHP和模糊综合评判法的北疆各地州生态脆弱性评价 [J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2010, 46 (2): 197-201.
- [4] 张争胜. 热带滨海干旱地区生态环境脆弱性定量评价——以雷州半岛为例 [J]. 中国沙漠, 2008, 28 (1): 125-130.
- [5] 王梅梅. 宁夏中部干旱带生态脆弱性评价 [D]. 银川: 宁夏大学, 2013.
- [6] 吕晓, 刘新平, 李振波. 塔里木河流域生态经济系统耦合态势分析 [J]. 中国沙漠, 2010, 30 (3): 621-624.
- [7] 魏琦. 北方农牧交错带生态脆弱性评价与生态治理研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [8] 钟晓娟, 孙保平, 赵岩, 等. 基于主成分分析的云南省生态脆弱性评价 [J]. 生态环境学报, 2011, 20 (1): 109-113.
- [9] 赵跃龙, 张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究 [J]. 地理科学进展, 1998, 17 (1): 68-72.
- [10] 鲍艳, 胡振琪. 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.
- [11] 郑娟尔. 西北地区未利用地差别化管理的实践与思考 [J]. 中国国土资源经济, 2012, 25 (6): 15-17.
- [12] 谢霞. 艾比湖区域生态脆弱性评价遥感研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.

(责任编辑 邹移光)