

# 气候变化下的新疆生态环境脆弱性评价

罗传秀, 潘安定, 干怀遂

( 广州大学 地理科学学院, 广东 广州 510006 )

**摘 要 :**选取了脆弱性、适应能力作为影响新疆生态环境脆弱性的条件层 ,进一步筛选出海拔、地质环境、沙尘暴、人口密度、降水量、植被类型、生态保护政策 7 个因子作为成因指标层 ,并用专家打分法对每个指标赋予权重。将研究区剖分成 195 个评价单元格 ,借助 GIS 强大的数据管理功能 ,建立与空间数据和属性数据相互关联的生态环境脆弱性数据库 ,首次采用模糊数学层次分析法作为新疆生态环境脆弱性等级计算的数学模型 ,计算出新疆生态环境脆弱性等级 ,并借助 GIS 进行成果表达。

**关键词 :**生态环境脆弱性 ;评价指标体系 ;SuperMap Editor ;模糊数学 ;新疆

中图分类号 :X826      文献标识码 :B      文章编号 :1007 - 1504( 2006 )01 - 0038 - 06

## The Assessment of Ecosystem Vulnerability to Climate Change of Xinjiang

LUO Chuan - xiu , PAN An - ding , QIAN Huai - sui ( Geography Science Institute , Guangzhou University , Guangzhou Guangdong 510006 , China )

**Abstract :**The vulnerability and adaptability were selected as the conditional layer of ecosystem vulnerability factors of xinjiang . The altitude , geological environment sand - dust storms , population density , precipitation , vegetation , environment protecting policy were selected as the reason index layer . Each index power was given using the expert mark method . The study area was partitioned to 195 cell griddings for assessment . The ecosystem vulnerability database associated with space - data and attribute - data was established using the great data management function of GIS . The fuzzy mathematics layer analyse method was used as the math model to calculate xinjiang ecosystem vulnerability for the first time . The ecosystem vulnerability grade was calculated and expressed from GIS .

**Key word :**ecosystem vulnerability ; assessment index system ; Super Map Editor ; fuzzy mathematics ; xinjiang

未来 100 年气候变暖速度将比上一世纪提高 2 ~ 10 倍 ,势必威胁生态系统和社会经济的持续发展。因此评价全球气候变化背景下生态环境脆弱性是当前全球变化和生态系统研究的主要内容。生态环境的脆弱性是指系统在面临外界各种压力和干扰包括人类活动的扰动 ,可能导致系统出现这些损伤和退化特征的程度的一一个衡量。由于气候变化以及生态系统对其响应和适应的复杂性 ,生态环境脆弱性评价进展缓

慢<sup>[1]</sup>。新疆位于亚欧大陆腹地 ,总面积  $166 \times 10^4$  km<sup>2</sup> 约占全国面积的六分之一。南面有昆仑山—阿尔金山山系 ,天山山系横亘于新疆中部 ,北面有阿尔泰山山系。在上述三大山系中间 ,夹有中国最大的塔里木盆地和准噶尔盆地。新疆气候为典型的大陆性气候 ,不仅是我国最干旱的省区 ,也是土壤盐碱化面积最大的省区。夏季干燥炎热 ,冬季漫长寒冷 ,春秋转瞬即逝。天山山

区西部年降水量为 450 ~ 830 mm ,向东逐渐减少。盆地四周降水次之,年降水量在 100 ~ 200 mm 左右,北疆降水明显大于南疆。盆地腹部极端干旱少雨,年降水量仅几十毫米,而盆地蒸发量却高达 1 500 ~ 3 400 mm。新疆的河流除额尔齐斯河流入北冰洋外,其余河流均为内陆河。其中塔里木河是我国最长的内陆河,年径流量现仅有  $48.7 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ <sup>[2]</sup>。

新疆总体自然生态环境特征具有地域辽阔,但绿洲面积不大,气候干旱,而气温变化大,水资源总量丰富,但时空分布不均,土地面积大,但可利用面积小,土壤质量差且沙化,盐碱危害严重,生物资源种类虽然丰富,但生物总量不大等特点。这些自然生态环境特征决定了新疆自然生态环境的脆弱性,承载能力的有限性。可逆性很小,在开发建设过程中一旦遭受破坏或被污染,将产生难以恢复的严重后果<sup>[3]</sup>。2001 年发布的《新疆维吾尔自治区环境状况公报》<sup>[4]</sup>总体显示:新疆受自然因素的影响,生态环境总体恶化趋势仍未根本改变。目前,新疆 80% 以上的天然草地出现不同程度的退化、沙化、盐渍化,新疆土地污染问题日益严重,生物多样性保护形势严峻。因此有必要进一步研究新疆生态环境脆弱性评价,以获得一套适于新疆的评价方法,并为自治区和各县的可持续发展政策的制定提供理论依据。

## 1 指标体系

因为气候变化的影响涉及生态环境的方方面面,因此反映生态环境变化的指标也是多种多样的。在众多的评价气候变化对生态环境脆弱性的影响研究中,常见的指标按不同的分类标准可分为成因指标、结果表现指标等<sup>[5]</sup>,也可分为自然因素指标、经济因素指标、社会因素指标等<sup>[6]</sup>,或水资源系统、土地资源系统、植被资源系统等<sup>[7]</sup>。在此,我们兼顾指标的可操作性(即指

标的易获性)和评价方法的易操作性,着重研究脆弱性形成的成因指标,如气候、地形地质等环境因子和人为因素。

### 1.1 脆弱生态环境成因

#### 1.1.1 自然因素

地质脆弱因子 地质脆弱因子通常包括地质断裂构造带,构造断裂作用的发生往往导致地貌格局和地表形态变化,从而导致生态环境的急剧变化,进一步促进脆弱生态环境的形成。总体上,新疆区域地质环境脆弱,植被带发育和植物生长受到限制,低山丘陵和倾斜平原原生地质环境破坏严重,趋于恶化<sup>[8]</sup>。区域内沙漠面积大,分布广,占新疆总面积的四分之一左右。土地沙漠化问题在新疆南部的塔里木盆地十分突出,而土壤盐渍化则以新疆北部准噶尔盆地最为严重<sup>[9]</sup>。本文选取了新疆的地质环境作为因子之一评价生态环境的脆弱性。

地貌脆弱因子 在新疆,海拔 2 500 m 以下的中低山及低山丘陵区,以滑坡、塌方、泥石流为主,新疆危害性较大的暴雨泥石流也大多形成于此带。此外,干燥剥蚀作用及山地侵蚀产沙和水土流失主要发生在此带,统计天山地区河流来沙量表明,约 80% 泥沙源于海拔 2 000 m 以下山地,地震灾害主要分布在山、盆接触带,危及城镇及人民生命安全,草场退化及土地沙漠化则分布在山前冲、洪积扇前及沙漠边缘地带,以新疆南部塔里木盆地为例,土壤盐渍化主要发生在盆地细土平原,以新疆北部准噶尔盆地腹部最为严重<sup>[9]</sup>。因此本文选取了新疆的海拔这一地貌因子,从地形对自然灾害的影响评价生态环境的脆弱性。

气候脆弱因子 气候脆弱因子主要指气候干旱、寒冷和大风吹蚀等导致生态脆弱的因子。一般而言,干旱半干旱容易抑制植物生长,甚至造成枯萎而导致生态环境的脆弱,寒冻(日均温 0℃ 以下)则常导致寒漠脆弱环境的出现。在新

疆 冬季盛刮西北风 ,干冷而强劲 ,常吹蚀表土、加剧干旱、推移沙丘 ,形成沙尘暴 ,加剧脆弱生态环境的形成。因此本文选取了降水量、沙尘暴日数评价生态环境的脆弱性。

1.1.2 人为因素

人类生存发展离不开资源和环境 ,如果人类活动与资源环境承载能力及再生能力协调 ,则生态环境处于良性演替 ;如果人类不合理开发利用 ,生态环境将会逆向演替 ,并将导致脆弱生态环境的产生。人类不合理利用资源环境的方式主要表现在过度垦殖土地、过度放牧、过度樵采、过度采药、不合理的灌溉(造成盐碱化)等几个方

面<sup>[5]</sup>。本文综合人口密度、植被类型、生态政策 3 个指标评价人为因素的影响。其中生态政策是大致按新疆自然保护区的面积评价的<sup>[3]</sup>。

1.2 指标的选取、分级和量化

IPCC 在 1996 年的第二次评估报告指出脆弱性不仅取决于系统对气候变化的敏感性 ,还与系统对新的气候条件的适应能力有关<sup>[1]</sup>。根据前面的分析 ,可以将影响新疆生态环境脆弱性的因子概括为 :海拔、地质环境、沙尘暴、人口密度、降水量 ,影响新疆生态环境适应能力的因子有 :植被类型、生态政策。指标分级和取值见表 1。

表 1 新疆生态环境脆弱性成因指标分级和取值

条件层	指标层	代号	分级和取值			
脆弱性	海拔/m	C1	≥4 000	≤3 000~4 000	≤1 000~3 000	<1 000
			1	2	3	4
	地质环境	C2	高山	低山—盆地山前倾斜平原	盐碱分布区	盆地沙漠区
			1	2	3	4
	沙尘暴日数/d	C3	<1	1~15	15~30	>30
			1	2	3	4
适应能力	降水量/mm	C4	46.4~66.7	27.3~46.3	12.5~27.2	0~12.4
			1	2	3	4
	人口密度	C5	极稀疏	稀疏	较稀疏	稠密
			1	2	3	4
适应能力	植被类型	C6	森林	草原	高寒荒漠	荒漠
			1	2	3	4
	生态政策 (自然保护区面积/hm <sup>2</sup> )	C7	>100 000	100 000~10 000	<10 000	0
			1	2	3	4

1.3 指标的权重

由于生态环境脆弱性评价因子的复杂性和不确定性 ,根据评价指标体系所确定的 7 个评价目标 ,采用专家打分方法确定每个评价因子的权重值 ,见表 2。

2 数据的获得与处理

2.1 原始数据的获得

地图和前人的研究成果是进行新疆生态环境脆弱性评价的重要原始资料。经过资料的收集和整理 ,最终使用 SuperMap Editor 2003 版的 1:

400 万中国地图作为底图 ,截取出新疆的等高线作为海拔的量化指标 ,从 Microsoft encarta interactive world atlas 2000(电子地图)中截取出新疆人口密度分布图、降水量图 ,并从前人的研究中收集到新疆地质环境分布图<sup>[8]</sup>、新疆沙尘暴日数分布图<sup>[10]</sup>、新疆植被分布图<sup>[11]</sup>、新疆森林分布图<sup>[11]</sup>、新疆维吾尔自治区现有自然保护区一览表<sup>[3]</sup>。

2.2 影响因子评价

生态环境的脆弱性是各影响因子综合作用

的结果,本文把新疆自动剖分成 100 km × 100 km 的单元网格 195 个,编号规则:行占前 2 个数字,列占后 2 个数字,如第 11 行第 7 列的单元格编号为 1 107。每个单元格都包含评价指标体系中的 7 个评价指标,且参考各指标的属性信息,根据其对生态环境的脆弱性的贡献率赋予不同的分值(打分标准参见表 1),再用 SuperMap Editor 2003 实现数据采集、数据管理及操作、分析功能。

表 2 新疆生态环境脆弱性评价因子权重

指 标	权重值
海拔	0.1
人口密度	0.05
地质环境	0.2
沙尘暴	0.2
植被类型	0.05
降水量	0.25
生态政策(自然保护区面积)	0.15

1) 人口密度评价:本文从 Microsoft encarta interactive world atlas 2000 中截取出新疆人口密度分布图,把新疆自动剖分成 100 km × 100 km 的单元网格 195 个,将人口密度分为极稀疏、稀疏、较稀疏、稠密 4 个等级,并按表 1 为每个单元格赋予不同的分值,利用 SuperMap Editor 2003 实现数据管理及操作、分析功能。

2) 地质环境评价:从前人的研究中收集到新疆地质环境分布图<sup>[8]</sup>,为了评估的可操作性,大致认为生态环境脆弱性的程度按高山、低山—盆地山前倾斜平原、盐碱分布区、盆地沙漠区依次加剧,并按表 1 为每个单元格赋予不同的分值。

3) 沙尘暴评价:从前人的研究中收集到新疆沙尘暴日数分布图<sup>[10]</sup>,并将沙尘暴日数分为 4 个等级:<1 日、1~15 日、15~30 日、>30 日,按表 1 为每个单元格赋予不同的分值。

4) 降水量评价:从 Microsoft encarta interactive world atlas 2000 中截取出新疆降水量分布图,并分为 46.4~66.7 mm,27.3~46.3 mm,12.5~27.2 mm,0~12.4 mm 4 个等级,按表 1 为每个单

元格赋予不同的分值。

5) 海拔高度评价:从 SuperMap Editor 2003 版的 1:400 万中国地图中截取出新疆的等高线作为海拔的量化指标,为了评估的可操作性,大致认为海拔越高生态脆弱性越轻微,反之越严重,并按表 1 为每个单元格赋予不同的分值。

6) 新疆植被类型评价:将纸质的地图(如新疆植被分布图、新疆森林分布图<sup>[11]</sup>)扫描成 bmp 文件,若图纸太大,分 2 次扫描后在 SuperMap Editor 2003 中进行无缝拼接。并将新疆的植被分为森林、草原、高寒荒漠、荒漠 4 种类型,按表 1 为每个单元格赋予不同的分值。

7) 新疆生态政策评价:按自然保护区面积(hm<sup>2</sup>)分为 4 个等级,并按表 1 为每个单元格赋予不同的分值。

2.3 脆弱性综合评价

2.3.1 模型介绍

考虑到生态环境脆弱性的影响因素错综复杂,且没有截然的界限值,具有明显的模糊性,故采用模糊数学层次分析模型进行评价<sup>[12]</sup>。

将评价层次结构模型中的评价目标集  $A$  定为 4 级:

$$A = \{\text{极端脆弱}(a_1), \text{脆弱}(a_2), \text{较脆弱}(a_3), \text{轻微}(a_4)\},$$

相应条件层  $B$  中各指标对评价目标集  $A$  的评价模糊子集为:

$$B_i = \{b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, b_{i4}, b_{i5}, b_{i6}, b_{i7}\}, \quad (1)$$

相应因子层  $C$  中各指标对评价目标集  $A$  的评价模糊子集为:

$$C_i = \{c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, c_{i4}, c_{i5}, c_{i6}, c_{i7}\}, \quad (2)$$

如果基本条件层有  $n$  个评价指标,因子层有  $m$  个评价指标,则某评价单元  $j$  所构成的相应模糊子集为:

$$B_j = \{B_1, B_2, \dots, B_r\}^T, \quad (3)$$
$$C_j = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}^T, \quad (4)$$

利用层次分析法确定各层指标权重的模糊子集  $W$  :

对基本条件层 : $W_B = \{W_{B1}, W_{B2}, \dots, W_{Bn}\}$

且  $\sum_{i=1}^n W_{Bi} = 1$  ,

对评价因子层 : $W_C = \{W_{C1}, W_{C2}, \dots, W_{Cm}\}$

且  $\sum_{i=1}^m W_{Ci} = 1$  ,于是得到某评价单元  $j$  的评价集计算模型 :

$A_j = W_B B_j = W_C C_j = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  (5)

根据各单元评判的结果 ,按最大隶属度原则 ,确定其所处单元的级别 ,然后再根据各单元的级别进行研究区生态环境脆弱性评价。

2.3.2 计算

先建立每个指标的权重矩阵  $A$  (每个单元格都相同 ,见表 2) ,这是一个 1 行 7 列矩阵。即  $A = (0.1 \ 0.05 \ 0.2 \ 0.2 \ 0.05 \ 0.25 \ 0.15)$  ,

再建立每个单元格的 5 个指标的级别矩阵  $B$  ,这是一个 7 行 4 列矩阵。以 1004 单元格计算为例 :

$$B_{112} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} ,$$

每个单元格的脆弱性计算 :用矩阵  $C$  表示 ,  $C = A \times B$  ,得到一个 1 行 4 列矩阵。计算借助软件 mathcad 进行。

$C_{112} = A \times B_{112}$  ,

$C_{112} = [0 \ 0.05 \ 0.3 \ 0.65]$  ,

然后根据最大隶属度原则 ,选取矩阵  $C$  中

万方数据

的最大值所对应的等级作为该单元格的等级。1004 单元格的脆弱性等级为 4 ,即属于极端脆弱级。如果脆弱性等级为 3 ,则为脆弱级 ,2 为比较脆弱级 ,1 为轻微级。最后将它们输入新疆生态环境脆弱性等级属性表中 ,并以脆弱性等级作为分类标准作专题图。

3 结论与讨论

3.1 结论

新疆生态环境脆弱性等级分为 4 级 ,极端脆弱级主要分布在塔克拉玛干沙漠和准噶尔盆地中部、吐鲁番盆地东部、昆仑山西段 ,脆弱级分布在塔克拉玛干沙漠和吐鲁番盆地周围 ,比较脆弱级分布在天山、阿尔泰山、阿尔金山周围 ,轻微级分布在天山、阿尔泰山山区及昆仑山东段。见表 3。从表 3 还可大致了解新疆各县的生态环境脆弱性等级 ,为各县的可持续发展政策的制定提供理论依据。

3.2 讨论

气候变化的脆弱性评价研究在目前仍是一个比较新的研究领域。本文首次采用模糊数学层次分析法作为新疆生态环境脆弱性等级计算的数学模型 ,并借助 GIS 进行成果表达。这套方法具有如下优点 :无需确定指标阈值基准(生态基准) ;无需统一量纲 ;某些指标无需具体数值 ,只需定性分布图 ;将研究区剖分成若干评价单元格 ,避免了以行政区划或以自然区划为界限进行评价 ,充分考虑到了各行政区划或自然区划不同部位脆弱性不同的情况 ;由于研究的精度取决于将研究区剖分成的单元格的数目 ,因此可以自由确定研究的精度。当然 ,相对于其它生态环境脆弱性的评价方法 ,这套方法也存在不足 ,如不适于选取太多指标。但是 ,这套方法对于气候变化下的生态环境脆弱性评价的研究 ,无疑是一个很好的尝试。

表 3  新疆生态环境脆弱性分级

生态环境脆弱性等级	分布县
极端脆弱级	和田县、策勒县、于田县、皮山县、叶城县东部、泽普县、莎车县、麦盖提县、巴楚县大部、岳普湖县、伽师县南部、英吉沙县、疏勒县、阿克陶县东北部、墨玉县、洛浦县、民丰县、沙雅县大部、阿克苏市南部、阿瓦提县大部、且末县北部、尉犁县南部、和硕县东北部、托克逊县西部和东南部、哈密市、伊吾县、巴里坤哈萨克自治县、木垒哈萨克自治县东南部、吐鲁番市北部和南部、乌鲁木齐县东部、和布克赛尔蒙古自治县南部、玛纳斯县北部、呼图壁县北部、昌吉市北部、若羌县西北部、鄯善县南部。
脆弱级	奇台县东北部、木垒哈萨克自治县北部、若羌县北部、且末县西部、阿图什县东部、伽师县北部、阿合奇县南部、乌什县南部、柯坪县、阿克苏市西北部 and 东北部、新和县、沙雅县北部、库车县南部、轮台县西部。
比较脆弱级	塔城市、裕民县、额敏县、托里县、精河县东部、和布克赛尔蒙古自治县北部、吉木乃县、克拉玛依市、奎屯市、乌苏县中部和北部、沙湾县北部、玛纳斯县西北部、呼图壁县中部、昌吉市中部、乌鲁木齐市、乌鲁木齐县北部、福海县大部、富蕴县南部、青河县南部、阜康县、米泉县、吉木萨尔县大部、奇台县大部、鄯善县北部、吐鲁番市中部、阿克苏市北部、温宿县南部、阿合奇县西北部、阿图什县西部、喀什市、乌恰县大部、疏附县北部、尼勒克县中部、博乐市东部、青河县南部。
轻微级	略。

致谢

感谢王艳丽老师在本文完成和作图过程中的热心帮助！

参考文献：

[1] 於 玢,曹明奎,李克让.全球气候变化背景下生态环境的脆弱性评价[J].地理科学进展,2005,24(1):61—69.

[2] 张鸿义.新疆的缓变地质灾害及防治对策[J].中国地质灾害与防治学报,1998,9(2):47—50.

[3] 李维东.新疆自然保护区建设中存在的问题及对策探讨[J].新疆环境保护,1998,20(4):23—27.

[4] 李维东.2001 年新疆环境状况[J].新疆地质,2002,20(3):279.

[5] 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,1998,18(1):73—79.

[6] 张殿发,林年丰.吉林西部农业生态地质环境脆弱性综合研究[J].干旱区资源与环境,1999,13(4):15—20.

[7] 王让会,樊自立.塔里木河流域生态脆弱性评价研究[J].干旱环境监测,1998,12(4):218—253.

[8] 苟新华,郑玉洁,张玲.新疆地质环境主要问题[J].新疆地质,2003,21(3):344—348.

[9] 陈亚宁,李卫红.新疆干旱区地质灾害研究[J].海洋地质与第四纪地质,1995,15(3):121—128.

[10] 王旭,马禹,陈洪武.新疆沙尘暴天气的气候特征[J].中国沙漠,2003,23(5):539—544.

[11] 中国科学院新疆综合考察队,中国科学院植物研究所.新疆植被及其利用[M].北京:科学出版社,1978.新疆维吾尔自治区植被类型图(附录).

[12] 杨丽萍,董艳秋,翟瑞彩,等.应用模糊数学分析水质及预测污染负荷[J].天津大学学报,2002,35(5):619—622.