

退耕还林对牡丹江区域生态环境脆弱性的影响研究

高凤杰^{1,2,3}, 张 柏^{1*}, 王宗明¹, 雷国平³, 宋开山¹, 任春颖¹, 宋 戈³, 宁 静³

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 从脆弱生态系统的特征入手, 选取景观分离度、分维数倒数、破碎度 3 个反映景观稳定性及抗干扰能力的景观格局指数, 并结合土壤侵蚀强度构成区域生态环境脆弱性的敏感因子, 针对研究区地形, 以景观生态适宜度作为生态系统自我恢复能力的表征, 构建了牡丹江区域生态环境脆弱度评价模型。评价结果表明: (1) 退耕还林前后景观类型脆弱度均表现为旱田 > 建设用地 > 水田 > 林地 > 未利用土地 > 水域 > 沼泽 > 草地; (2) 研究区生态脆弱度表现为以脆弱度高值区为中心呈环状向四周递减的趋势, 脆弱度高值区面积比重由退耕前的 21.57% 减小到退耕后的 17.11%, 脆弱度低值区面积比重由退耕前的 63.14% 增加到退耕后的 67.66%; (3) 生态脆弱度高值区域主要分布在 200~400m 的海拔高度, 0~8 的坡度范围内, 且退耕后面积比例呈下降趋势, 而低值区域则分布在 >300m 海拔高度的各个坡度范围内, 且退耕后面积比例呈上升趋势。研究结果符合研究区实际状况。概言之, 退耕还林缓和了研究区生态脆弱度状况, 促进了生态环境质量向良好方向发展。

关键词: 脆弱性; 评价模型; 3S 技术; 退耕还林; 牡丹江

1 引言

自 20 世纪 80 年代, 生态过渡带的概念提出以来, 生态环境脆弱性研究便成为国际生态环境研究的热点问题^[1-2]。生态环境脆弱性是生态系统在特定时空尺度相对于外界干扰所具有的敏感反应和自恢复能力, 是自然属性和人类干扰行为共同作用的结果^[3-4]。牡丹江市位于黑龙江省东南部, 是黑龙江著名的三大林区之一, 也是全国森林覆盖率最高的地区之一。近几十年来, 随着人口增长对粮食需求的增加, 以及工业经济的发展需要, 人们无视生态环境保护而对森林资源进行掠夺式开发, 导致在海拔较低的丘陵地带林缘不断后退, 森林覆盖率降低, 进而导致严重的水土流失, 生态环境脆弱性突显^[5-6]。1998 年, 牡丹江市率先在黑龙江省实施退耕还林工程, 截止到 2009 年, 退耕还林工程已实施 12 年, 探讨退耕还林对区域生态环境脆弱性的影响具有重要研究意义。目前学术界还没有针

对退耕还林区域生态环境脆弱性的研究, 而已有的研究则多侧重于选取评价因子建立评价指标体系^[7-8], 静态评价生态环境质量, 不能反映脆弱性的自然空间格局特征, 具有很大局限性。近年来, 一些学者从景观视角挖掘出景观格局与生态环境脆弱性之间的内在关联性, 建立起景观空间特征与生态环境响应间的联系, 进而分析环境的状况^[9-10], 为区域生态环境建设提供了新的研究方法思路。鉴于此, 本文尝试建立一个新的且适合研究区自身生态环境特点的生态环境脆弱性评价模型, 评价退耕还林对区域生态环境的影响, 以期巩固退耕还林成果、促进区域可持续发展提供科学依据。

2 研究区地理背景与数据源分析

2.1 研究区地理背景

牡丹江市位于黑龙江省东南部 (128°02' ~ 131°18' E, 43°24' ~ 45°59' N), 南邻吉林省的敦化市和汪

收稿日期: 2010-1-20; 修回日期: 2010-04-18

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-341); 国家自然科学基金项目 (40901267, 40930527); 黑龙江省教育厅 2009 年度青年学术骨干项目 (1154G45)。

作者简介: 高凤杰 (1981-), 女, 河北迁西人, 博士生, 讲师, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: gaojiecumt@126.com

*通讯作者: 张 柏 (1962-), 男, 研究员, 主要从事地理遥感应用研究。E-mail: zhangbai@neigae.ac.cn

清县,东部与俄罗斯接壤,土地总面积 38 914.7 km²。地形以山地和丘陵为主,山地占 86.3% (其中,中山占 13.4%,低山占 72.9%),丘陵占 8.6%,平原 (包括内陆水域)占 5.5%^[11]。气候属半湿润中温带大陆性季风气候,年平均气温 4.9~6.1℃,年降水量 500~600mm,无霜期 115~152天。土壤类型主要有暗棕壤、白浆土、草甸土、沼泽土和泥炭土,以及水稻土等 6个土类,其中以暗棕壤分布最广。主要自然植物属于长白山植物区系,地带性植被为针阔混交林,主要分布在海拔 500~900m的山地和局部丘陵的顶部;落叶阔叶林分布较广,主要分布在 200~700m的低山丘陵地带。境内的牡丹江流域是我国重要的商品粮生产基地之一,近几十年来,随着人口增长、大面积毁林开荒及过度采伐,区域植被覆盖度降低,水土流失导致土地生产力持续下降,生态环境脆弱性突显。

2.2 数据源分析

选取退耕还林前后 2000年及 2008年两期覆盖研究区作物生长季 6~9月份 Landsat TM影像共 12景,以 1:10万地形图为准进行几何纠正和配准,建立解译标志;在 ArcGIS环境下,进行人机交互式判读解译,外业精度验证。结果表明,土地利用类型判别的准确率达到 95%以上。将所得数据在 Arc/Info环境下进行编辑和修改,得到研究区 2期土地利用数据。参照国家通用的土地利用分类系统^[12],根据土地的利用方式属性及研究区实际情况,将其分为:旱田、水田、林地、草地、水域、建设用地 (包括城镇用地、农村居民点用地及其他建设用地)、未利用地 (沼泽、裸岩、裸土)等 7种类型,用于景观格局指数计算。选取退耕还林前后两期 MODIS NDVI植被指数产品,成像时间分别为 2000年 6月 25日及 2008年 6月 25日,数据格式为 EOS-HDF,空间分辨率及时间分辨率分别为 250m和 16d。使用 NASA提供的 MRT (MODIS Reprojection Tools)软件进行数据格式及地图投影转换,把 HDF格式转化为 Tiff格式,把 Sinusoidal地图投影转换为 Albers Equal Area。在 ERDAS 8.5中完成图像裁剪,用于区域水土流失估算。

3 退耕还林对区域生态的影响与评价

3.1 生态环境脆弱性评价模型及影响因素分析

自 1989年第七届 SCOPE (Scientific Committee

on Problems of the Environment)大会确认了“生态脆弱度”的概念后,有关生态环境脆弱性的探讨得到了国内外学者的广泛关注^[13~15],然而到目前为止,仍没有确切的概念。自然生态系统一般具有潜在的脆弱性和自然恢复力的双重功能,当外界干扰力量不超过系统的弹性限度时,生态系统具有自我恢复的能力,生态系统越稳定,其自我恢复能力越强。生态敏感性是生态环境对各种干扰的敏感程度,反映的是其抵抗干扰的能力^[16],外界干扰的幅度和强度越大,速度越快,环境的敏感性就越强。因此,一个区域的生态环境脆弱性应该是区域生态系统对外界干扰的敏感性及自身抵抗能力的比值,用数学模型表示为:

$$\text{生态脆弱性 } EVI = \frac{\text{对干扰的敏感性反应}}{\text{自我恢复能力}} \quad (1)$$

式中, EVI (Environmental Vulnerability Index) 代表一个区域生态环境的脆弱度指数,其值越大,说明生态系统抵抗外界干扰的能力越弱,表现为较强的生态敏感性。由前文分析得到,牡丹江地区主要的生态环境问题是森林大量被采伐导致区域水土流失问题严峻。退耕还林工程的实施,一方面提高植被覆盖度,加强林草保持水土功能,改善区域生态环境;另一方面,人为扰动使区域景观格局发生变化。景观斑块的形状、大小、数量和空间组合影响着生物物种的分布、动物的运动、径流和侵蚀等生态过程,以及边缘效应^[17],进而改变区域的生态环境。因此,本文从景观角度选取反映景观稳定性及抗干扰能力的分离度 (FD)、分维数倒数 (HD)及破碎度 (FN)三个景观指数 (其生态学意义参见文献^[18]),从生态环境问题角度选取土壤侵蚀敏感性,结合区域地形特点,以土地利用生态适宜度作为自我恢复能力的表征,退耕还林对区域生态环境脆弱性的影响。

3.1.1 景观类型脆弱度指数

由公式 (1)首先得到景观类型的脆弱度指数:

$$VI_i = \frac{FI_i + FD_i + FN_i + SW_i}{P_i} \quad (2)$$

式中, VI_i 为景观类型 i 的脆弱度指标, FI_i 、 FD_i 、 FN_i 、 SW_i 分别代表景观类型 i 的分离度、分维数倒数、破碎度、及土壤侵蚀敏感性, P_i 为 i 类土地利用类型生态适宜度。其中, w_1 、 w_2 、 w_3 、 w_4 为权重,并且有 $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$ 。

(1) 土壤侵蚀敏感性

依据中华人民共和国行业标准:“土壤侵蚀分

类分级标准”(SL190-96)(表1),利用不同景观类型对不同土壤侵蚀等级的适宜度面积加权来表示土壤侵蚀敏感性指数,其公式为:

$$SW_i = \sum_{j=1}^n \frac{B_{ij}}{B_i} \times S_{ij} \quad (3)$$

式中,SW_i为景观类型*i*的土壤侵蚀敏感性指数;B_{ij}表示*i*类景观分布在*j*土壤侵蚀等级上的面积;B_i为*i*类景观总面积;S_{ij}为*i*类景观相对于*j*土壤侵蚀等级的权重;*j*为土壤侵蚀等级;*n*为土壤侵蚀等级数。

表 1 面蚀分级标准
Tab. 1 Classification criteria of surface erosion

类型	坡度(°)	5~8	8~15	15~25	25~35	>35
非耕地林草 覆盖度(%)	60~75	轻 度				强 度
	45~60					
	30~45		中	度	强度	极强度
坡耕地	<30			强度	极强度	剧烈
		轻度	中度			

(2)土地利用生态适宜度

不同的土地利用类型具有不同的生态功能,相同的地类,若空间分布不同,其生态功能也不同。因此,土地利用生态适宜度^[19],不仅表征区域生态环境的好坏,从一定程度上还体现了区域生态环境的自我恢复能力。其计算公式为:

$$P_i = \sum_j \frac{A_{ij}}{A_j} \times P_{ij} \quad (4)$$

式中,P_i为某一土地利用类型生态适宜度,*n*为坡度等级数,*j*为坡度级别,A_{ij}为*j*坡度级别内*i*类土地的面积,A_j为*j*坡度级别土地利用总面积,P_{ij}为适宜度权重。

3.1.2 生态环境脆弱度计算方法

区域生态脆弱度是景观类型脆弱度指数的空间化,反映了生态脆弱度的空间格局特征。将各景观类型脆弱度指数,经面积加权得到生态环境脆弱性指数:

$$EVI = \sum_{i=1}^m \frac{A_i}{TA} \times VI_i \quad (5)$$

式中,EVI为生态环境脆弱性指数,A_i为景观类型*i*的面积,*m*为景观类型个数,TA为研究区总面积,VI_i为景观类型*i*的脆弱度指数。

3.2 退耕还林对牡丹江区域生态脆弱性的评价分析

3.2.1 景观类型脆弱度

综合利用 ArcGIS 9.2 及 FRAGSTATS 3.3 计算

景观指数及土壤侵蚀敏感性指数。其中,土壤侵蚀敏感性计算过程中,侵蚀级别先按 1、3、5、7、9 确定相对权重级别,按照权重之和为 1 的原则,确定轻度、中度、强度、极强度、剧烈侵蚀等级权重分别为 0.04、0.12、0.20、0.28、0.36,按公式(3)计算各地类侵蚀敏感性。采用因子分析法确定各敏感因子的权重,得到 w₁ = 0.2774, w₂ = 0.1756, w₃ = 0.2729, w₄ = 0.2741。

土地利用生态适宜度计算过程中,首先按表 1 面蚀分级标准中的坡度分级将坡度分为 0~5°、5~8°、8~15°、15~25°、25~35° 六个级别,1~6 的级别上分别赋予相对权重 6、5、4、3、2、1,根据权重和为 1 的原则,6 个级别的权重分别为 0.285 7、0.238 1、0.190 5、0.142 9、0.095 2、0.047 6。其中,林地、草地在各坡度等级上的适宜权重均为 1。利用 ArcGIS 空间叠加分析功能,计算各用地类型的坡度分布,根据公式(4)计算各土地利用类型的生态适宜度指数。

对各指数进行归一化无量纲处理,根据公式(2)计算的各用地类型脆弱度指数(表 2)。

表 2 景观类型脆弱度指数(VI)

Tab. 2 The vulnerability index of different Landscapes							
年份	类型	FI	FD	FN	SW	PI	VI
2000	水田	0.0747	0.1173	0.0366	0.1300	0.2751	0.3161
	旱田	0.1790	0.1095	0.2961	0.1756	0.2493	0.7935
	林地	0.6133	0.1139	0.2739	0.1170	1.000	0.2970
	草地	0.0354	0.1099	0.1237	0.1117	1.000	0.0935
	水域	0.0357	0.1235	0.0140	0.1260	0.2740	0.2553
	建设	0.0121	0.1156	0.2538	0.1175	0.2738	0.4569
	沼泽	0.0492	0.1416	0.0015	0.1115	0.2820	0.2464
	未利用	0.0005	0.1686	0.0003	0.1107	0.2168	0.2774
2008	水田	0.0743	0.1191	0.0358	0.1307	0.2753	0.3165
	旱田	0.1517	0.1105	0.3048	0.1695	0.2522	0.7578
	林地	0.6424	0.1153	0.2592	0.1134	1.000	0.3003
	草地	0.0369	0.1111	0.1287	0.1122	1.000	0.0956
	水域	0.0352	0.1253	0.0143	0.1298	0.2740	0.2601
	建设	0.0120	0.1171	0.2548	0.1204	0.2739	0.4615
	沼泽	0.0447	0.1430	0.0020	0.1124	0.2816	0.2444
	未利用	0.0029	0.1585	0.0005	0.1117	0.2709	0.2191

由表 2 可以看出:(1)用地类型中,林地分离度最大,旱田次之,其他地类均较小,其原因是研究区

主要以林地及旱田为主,其他地类面积比重很小。林地分离度由退耕前的 0.6133 增大到退耕后的 0.6424,旱田的分离度却由退耕前的 0.1790 减小到退耕后的 0.1517,其他地类变化不明显,其原因是退耕还林使不适宜耕作的旱田转变成林地,进而使林地的空间分布破碎,分离度增加,相反却使旱田趋于规整集中。(2)各主要地类的分维数倒数差别不大,但退耕前后整体表现为增加趋势,说明退耕还林使人类干扰程度增强。(3)破碎度以旱田、林地、建设用地较大,表明这三种地类受人类干扰强烈;退耕还林后旱田的 FN 由 0.2961 增加到 0.3048,林地的由 0.2739 减小到 0.2592,其他地类变化不明显,表明人类对旱田的扰动更为剧烈。(4)退耕还林前后,两个主要地类——旱田及林地的 SW 均减小,表明退耕还林工程起到了重要的水土保持作用。(5)林地、草地的生态适宜度在退耕还林前后始终为 1,其他地类中,旱田生态适宜度增加最为明显,由退耕前的 0.2493 增加到退耕后的 0.2522,表明退耕还林使区域的生态环境得到一定程度的改善。(6)景观脆弱性指数表现为旱田及未利用土地的脆弱性指数下降,其他地类变化不明显。

3.2.2 退耕还林前牡丹江的生态环境脆弱性对比分析

(1)脆弱度水平方向分布对比分析

根据研究区面积、景观格局及生态环境的特点,采用 10km ×10km 格网全覆盖系统采样法,全区共划分 463 个格网,根据公式 (5) 计算每个格网的生态脆弱度指数。提取网格中心点坐标,并将网格的生态脆弱度指数赋给中心点。在此基础上利用 ArcGIS 进行普通克里格法插值,获得全区生态环境脆弱度空间分布图 (图 1)。将研究区生态脆弱度指数值由大到小化分为 5 级:极脆弱区 (>0.637)、脆弱区 (0.459~0.637)、一般脆弱区 (0.386~0.459)、微脆弱区 (0.299~0.386)、生态良好区 (<0.299)。在 ArcGIS 下,通过重分类得到不同脆弱度级别的面积 (表 3)。

由图 1 可以看出:研究区生态环境脆弱性由脆弱高值区为中心呈环状向外递减。极脆弱区 V 主要分布在研究区西南部的宁安地区,而这一区域是牡丹江旱田及建设用地分布最为广泛集中的区域,在东北部穆棱一带也有少量分布。脆弱区 IV 2000 年由西南向东北方向延伸,并连接成片,而到 2008 年脆弱区连接成片的格局在东北角被一般脆弱区

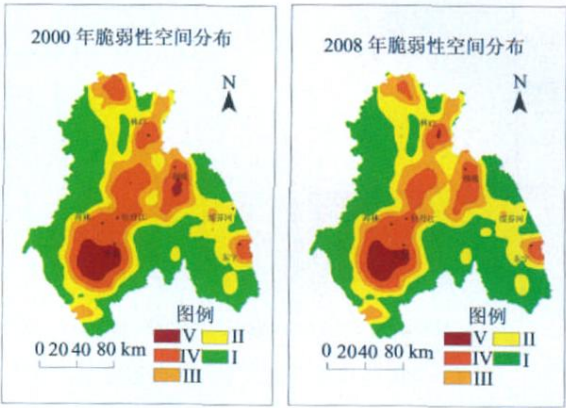


图 1 2000 年及 2008 年生态脆弱度空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of vulnerability from 2000 to 2008

表 3 各脆弱度分区面积

Tab.3 Area and proportion of different vulnerability zones

	2000 年		2008 年	
	面积 (hm ²)	比例 (%)	面积 (hm ²)	比例 (%)
极脆弱区 V	169 848	4.36	130 618.8	3.36
脆弱区 IV	669 862	17.21	534 906.3	13.75
一般脆弱区 III	594 784.8	15.28	592 837.3	15.23
微脆弱区 II	828 215.8	21.28	886 561.7	22.78
生态良好区 I	1 629 018	41.86	1 746 605	44.88

切断,而这一区域在行政版图上属于穆棱市,是黑龙江省退耕还林示范县,退耕年限长且退耕面积大。整体而言,极脆弱区 V 及脆弱区 IV 面积呈减小态势,一般脆弱区 III 变化不明显,而微脆弱区 II 及生态良好区 I 面积呈增加趋势。由表 3 可以看出,退耕还林前后,极脆弱区 V、脆弱区 IV 和一般脆弱区 III 面积减少,微脆弱区 II 和生态良好区 I 面积增加,其中,以脆弱区 IV 及生态良好区 I 变化幅度较大,脆弱区 IV 面积比例由退耕前的 17.21% 减少到退耕后的 13.75%,生态良好区 I 面积比例由退耕前的 41.86% 增加到退耕后的 44.88%。退耕前 2000 年各脆弱度分区面积比例大小排序为 I>II>IV>III>V,而到 2008 年排序有所改变,为 I>II>III>IV>V。以上分析表明,退耕还林工程实施,使区域生态环境脆弱性呈现出由脆弱向一般脆弱方向转变,生态环境趋于好转。

(2)脆弱度垂向分布对比分析

在 ArcGIS 下将脆弱度分级图与研究区地形图及坡度图叠加分析得到各高程范围及坡度范围内脆弱度分布情况 (图 2、图 3)。

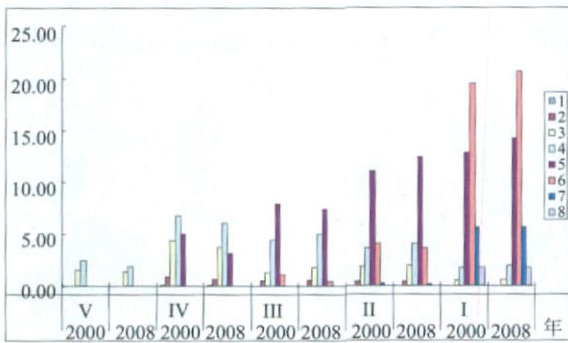


图2 退耕还林前后脆弱度分区高程分布

Fig. 2 Elevation distribution of vulnerability zones before/after the Grain for Green Project

注:图例中1、2、3、4、5、6、7、8的含义分别为 <100m、100~200m、200~300m、300~400m、400~600m、600~800m、800~1000m、>1000m

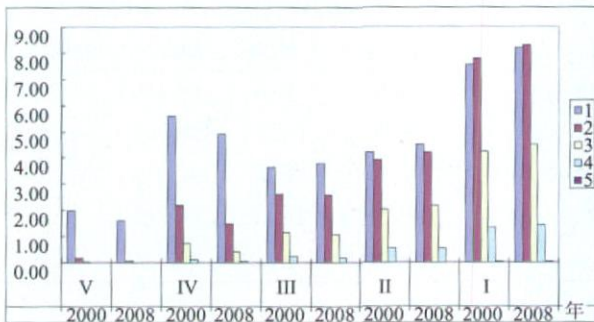


图3 退耕还林前后脆弱度分区坡度分布

Fig. 3 Slope distribution of vulnerability zones before/after the Grain for Green Project

注:图例中1、2、3、4、5的代表意义分别为 <8°、8~15°、15~25°、25~35°、>35°

由图2、图3可以看出:极脆弱区V主要分布在200~400m高程范围及0~8°坡度范围内,并且退耕还林后其面积呈减少态势。脆弱区IV主要分布在100~600m高程范围内,其中,以300~400m分布最多,100~200m分布最少,并且表现为退耕还林前后各高程范围内面积均减少的态势;坡度上则在0~35°坡度范围均有分布,其中,以<8°范围分布最广,而在25~35°范围内分布微乎其微;退耕还林前后表现为在各坡度范围内其面积均减少的态势。一般脆弱区III主要分布在100~800m高程范围内,其中,以300~400m及400~600m分布最多,100~200m分布最少,退耕前后,100~200m范围内面积没有显著变化,200~300m及300~400m高程内面积增加,400~600m及600~

800m面积减少;坡度上也分布在0~35°坡度范围内,其中,以0~8°分布最多,25~35°分布最少,其面积除在0~8°范围内表现为少许增加外,在其他各坡度范围内均表现为减少的态势。微脆弱区II分布在100~1000m高程范围内,其中,以400~600m分布最广,100~200m及800~1000m分布最少,退耕还林前后,除600~800m及800~1000m高程范围内面积有少量减少外,其他各高程范围内均表现为增加的态势;坡度上则分布在0~35°坡度范围内,并且退耕还林前后,除25~35°范围内面积变化不明显外,其他各坡度范围内均表现为增加的态势。

生态良好区I在>200m高程范围内均有分布,其中,以400~600m及600~800m分布最广,200~300m范围内分布最少;退耕还林前后,400~800m高程范围内面积显著增加,其他高程范围内面积变化不明显;坡度上的分布及退耕还林前后的变化态势与微脆弱区II相似,不同则在于各坡度范围内其面积比重更大,并且在>35°坡度上也有些许分布。

综合以上分析可以得出,生态脆弱度的这种空间分布符合研究区实际情况。极脆弱区V及脆弱区IV主要分布在低海拔缓坡区域,并且退耕后其面积呈减少态势;而微脆弱区II及生态良好区I在中海拔高度的各个坡度范围内,并且表现为退耕后其面积增加的态势;一般脆弱区III的变化规律没有前两者那样明显,属于生态环境坏与好的过度区域。退耕还林在一定程度上缓和了区域生态环境脆弱性,促进生态环境向良好方向发展。

4 结论与讨论

在剖析脆弱生态系统特征的基础上,从生态环境脆弱敏感性及自我恢复能力两个角度出发,紧密结合研究区地形及退耕还林对区域景观格局及生态环境的影响选取参数,构建生态环境脆弱度评价模型,进行牡丹江退耕还林对区域生态环境脆弱性的影响评价。结果表明,各地类的脆弱度指数由高到低依次为:旱田>建设用地>水田>林地>未利用土地>水域>沼泽>草地。极脆弱区、脆弱区主要分布在低海拔缓坡区域,并且退耕还林后面积呈减少态势;微脆弱区、生态良好区在中海拔范围以上各个坡度范围内广泛分布,并且退耕还林后面积成增加趋势;一般脆弱区属于生态环境质量坏与好

的过渡区域,没有明显的变化规律。总体而言,退耕还林改善了区域生态环境质量,使区域生态环境脆弱性有所缓和。模型评价结果符合研究区生态环境实际情况,但评价模型只是在退耕还林前后生态环境脆弱性状态角度选取指标进行生态环境脆弱性的变化研究,有关影响脆弱性空间分布的驱动因子及退耕还林对区域脆弱性影响的综合作用机理还有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] JHolling C S. Resilience and Stability of Ecological Systems [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973 (4): 1 - 23.
- [2] Ran, H S, Jin J J, Xue J Y. Assessment of Vulnerable Ecological Regions: Theory and Method [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17 (1): 117 - 122.
- [3] 蔡海生,赵小敏,陈美球. 脆弱生态环境脆弱度评价研究进展 [J]. 江西农业大学学报, 2003, 25 (2): 270 - 275.
- [4] 冉圣宏,金建君,薛纪渝. 脆弱生态区评价的理论与方法 [J]. 自然资源学报, 2002, 17 (1), 117 - 122.
- [5] 陈建军,张树文. 黑龙江省 20 世纪末期土地利用变化特征与空间格局分析 [J]. 资源科学, 2005, 27 (2): 83 - 89.
- [6] 宁静,张树文,王蕾,等. 农林交错区景观敏感性分析 - 以黑龙江省牡丹江地区为例 [J]. 东北林业大学学报, 2009, 37 (1): 35 - 38.
- [7] 顾康康,刘景双,王洋,等. 辽中地区矿业城市生态系统脆弱性研究 [J]. 地理科学, 2008, 28 (6): 759 - 764.
- [8] 吕利军,王嘉学,肖波,等. 典型旅游城市环境脆弱度评价与分析——以昆明市主城区为例 [J]. 山西师范大学学报 (自然科学版), 2009, 23 (3): 123 - 129.
- [9] 邱彭华,徐颂军,谢跟踪,等. 基于景观格局和生态敏感性的海南西部地区生态脆弱性分析 [J]. 生态学报, 2007, 27 (4): 1257 - 1265.
- [10] 刘惠明,杨燕琼,罗富和. 基于 3S 技术的景观敏感度测定研究 [J]. 华南农业大学学报 (自然科学版), 2003, 24 (3): 78 - 82.
- [11] 戚伯华. 调整土地利用结构,构建“大牡丹江”生态框架 [J]. 国土与自然资源, 2009 (3): 40 - 41.
- [12] 刘纪远. 国家资源环境遥感宏观调查与动态监测研究 [J]. 遥感学报, 1997, 1 (3): 225 - 230.
- [13] Metzger M J, Rounsevel M D A, Acosta Michlik L, et al. The Vulnerability of Ecosystem Services to Land Use Change [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 114 (1): 69 - 85.
- [14] 件文元. 生态脆弱带 (ECOTONE) 的基础判定 [J]. 生态学报, 1990, 9 (2): 97 - 105.
- [15] 李克让,曹明奎,於琰,等. 中国自然生态系统对气候变化的脆弱性评估. 地理研究 [J]. 2005, 24 (5): 653 - 663.
- [16] 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 - 124.
- [17] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析 [J]. 生态学报, 1995, 15 (2): 113 - 120.
- [18] 郎建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级 [M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- [19] 漆良华,张旭东,周金星,等. 湘西北侵蚀小流域生态恢复适宜度与景观格局特征 [J]. 山地学报, 2009, 27 (5): 524 - 530.

Effects of Grain for Green Project on the Eco-Environmental Vulnerability of Mudanjiang Region, Heilongjiang Province

GAO Fengjie^{1,2,3}, WANG Zongning¹, SONG Kaishan¹, REN Chunying¹, SONG Ge³, NING Jing³

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130012, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Starting at analyzing the characteristics of vulnerable ecological system, this paper firstly selected 3 landscape indexes (FI, FD and FN) and 1 eco-environment index of erosion to make up the eco-environment sensitive factors; secondly, it chose ecological suitability as its automatic recovery ability. Thus it built up an Eco-Environment Vulnerability Assessment Model which was used to evaluate the effects of Grain for Green Project (GGP) on the Eco-Environment of Mudanjiang Region, Heilongjiang Province. In the processing, we divided the study area into 463 grids of 10km × 10km by the fishnet command in ArcGIS to make the assessment results more intuitively.

Calculating the eco-environmental vulnerability of every grid and assigning the value to the center point, we accomplished the value spatialization by Kriging interpolating method. The results show that: No matter before or after the GGP, the landscape vulnerability value from high to low is that: dry farmland > building > paddy field > forest > unused land > water > swamp > grass; Horizontally, the eco-environmental vulnerability in Mudanjiang Region declines from the high center to low edge circularly; after the GGP, the area proportion of higher vulnerability zone decreases from 21.57% to 17.11% while the lower increases from 63.14% to 67.66%; Vertically, the extremely vulnerable zone V and vulnerable zone IV separately exist in 200 - 400m and 100 - 600m elevation ranges, $0 - 8^{\circ}$ and $0 - 35^{\circ}$ slope range, and their area proportions decrease after the GGP; the weak vulnerable zone II and the good eco-environmental zone I exist in $>100\text{m}$ elevation ranges, separately in $0 - 35^{\circ}$ slope ranges and every slope range, and their area proportions increase; the general vulnerable zone III belongs to the transitional zone and its changes appears little regular compared to the two formers. In a word, the model suits to the study area and the results show that the GGP relieved the vulnerability in Mudanjiang Region and promoted the environmental quality there.

Key words: eco-environmental vulnerability; assessment model; Grain for Green Project; Mudanjiang Region