

# 辽宁西部北票市生态修复区生态退化驱动力分析

王华伟<sup>1</sup>, 高鹏<sup>1</sup>, 吕圣桥<sup>1</sup>, 丁福俊<sup>2</sup>, 王亮<sup>2</sup>

(1. 山东农业大学 林学院/山东省土壤侵蚀与生态修复重点实验室, 山东 泰安 271018; 2. 辽宁朝阳市水土保持局, 辽宁 朝阳 122000)

**摘要:**探讨东北漫岗丘陵水土流失类型区生态退化的主导驱动力因子,为该地区生态修复工程的建设提供科学依据,以辽宁西部北票市生态修复区为典型研究区域,利用1998年、2003年和2008年三期土壤侵蚀遥感解译数据以及相关统计年鉴资料,采用主成分分析与多元回归分析方法,对研究区生态退化的主导驱动力因子进行了研究。主成分分析结果表明,影响生态退化的驱动力因子排序为土地垦殖率>人均养畜量>人均经济林面积>人口密度>人均粮食产量>地面坡度>年均降水量>人均耕地面积>人均农业产值,其中,体现农业结构状况的土地垦殖率、人均养畜量和人均经济林面积等社会经济因子,对该地区生态退化的影响较为明显。多元回归分析结果表明,超载放牧、土地资源的过渡开发等社会经济因子(人为因素)是导致该地区水土流失与生态退化的主导驱动因素,而作为自然环境因子的地面坡度是发生水土流失与生态退化的前提和基础。

**关键词:**生态退化;驱动力;主成分分析;多元回归分析

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0121-04

## Driving Factors Analysis of Ecological Degradation in Ecological Restoration Area of Western Liaoning Province — A Case Study of Beipiao City

WANG Hua-wei<sup>1</sup>, GAO Peng<sup>1</sup>, LÜ Sheng-qiao<sup>1</sup>, DING Fu-jun<sup>2</sup>, WANG Liang<sup>2</sup>

(1. Shandong Agricultural University, College of Forestry/Shandong Provincial

Key Laboratory of Soil Erosion and Ecological Restoration, Tai'an, Shandong 271018, China;

2. Water Conservation Bureau of Chaoyang of Liaoning Province, Chaoyang, Liaoning 122000, China)

**Abstract:** In order to provide the basis for the construction of ecological restoration project, using the method of the principal component analysis and the multiple linear regression analysis, the dominant driving force factors of ecological degradation of the ecological restoration area in Beipiao city of Liaoning Province were studied based on the soil remote sensing interpretation data of 1998, 2003 and 2008 and the relative data of statistical yearbook of history. The results showed that the rank of the ecological degradation effective factors is: land reclamation ratio>per capita raising the livestock>per capita economic forest area>population>per grain output>slope of the research area>average annual precipitation>per cultivated land area>per output value of agriculture. Multiple linear regression analysis models indicate that overgrazing and overexploitation of the land are the main actuating factors causing soil erosion and ecological degradation, and the slope of the research area is the second.

**Key words:** ecological degradation; driving force; principal component analysis; multiple linear regression analysis

关于生态系统退化的驱动力因素研究,受到人们的普遍关注<sup>[1]</sup>。那巴特尔和王海青等分别对西北地区的党河和黑河流域生态退化进行研究,得出气候的干旱性和生态环境的脆弱性是流域生态退化的前提,

而最大干扰因素是人类经济活动<sup>[2-3]</sup>;赵振勇和马爱霞对导致荒漠和草地生态系统退化的自然和人为干扰因素进行了分析<sup>[4-5]</sup>;贺金生等<sup>[6]</sup>研究了长江三峡地区不同退化类型、不同退化程度植物群落的物种多

样性特征;孟国才等<sup>[7]</sup>对岷江上游地区环境问题及其驱动力研究发现,生态环境退化是系统内在特性和外在干扰体综合作用的结果。总之,关于流域生态系统退化与发生演化的驱动力机制的研究主要集中于流域退化现状的评价、退化原因和演化趋势分析等方面<sup>[8]</sup>;从研究区域上,主要集中在黄河流域和长江流域,而在我国东北漫岗丘陵水土流失类型区刚刚起步。因此,本文以代表东北漫岗丘陵水土流失类型区典型区域的辽宁西部北票市生态修复区为研究区域,采用主成分分析和多元回归分析方法,对研究区生态退化的主导驱动力因子进行定量研究,可为探讨我国东北漫岗丘陵水土流失类型区生态退化成因及其修复工程的建设提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

北票市水土保持生态修复区位于辽宁西部朝阳市的东北部,大凌河中游。地处东经 120°15′—121°18′,北纬 41°23′—42°17′。区域总面积 4 469 km<sup>2</sup>,属辽西山地丘陵区,是我国东北漫岗丘陵水土流失类型区的典型区域。气候类型为半干旱、半湿润大陆性季风气候,多年平均气温 8℃;多年平均降水量 410~550 mm,其中 6—8 月降水量占全年的 80% 以上。植被区划属华北植物区系的北界,由于与内蒙古和长白植物区系相毗邻,是华北、长白、内蒙古三个植物区系的交汇地带。土壤类型分为两类,棕色土分布于海拔 600 m 以上的山坡和植被茂密的阴坡山脚;淋溶褐土分布于海拔 600 m 以下的山坡及河谷耕地<sup>[9]</sup>。

1.2 研究方法

1.2.1 生态退化及其驱动力指标的确定 生态退化及其驱动力指标的确定遵循自然环境因子与社会经济(人为)因子兼顾,以人为因子选择为主的原则,结合社会访问、专家技术咨询和外业实地调查结果<sup>[10]</sup>,共选取 10 项指标(表 1),其中,驱动力评价指标 9 个(2 项自然环境指标和 7 项社会经济指标);生态退化指标以北票市生态修复区 29 个乡镇的土壤侵蚀面积比(即各乡镇土壤侵蚀面积占乡镇总面积的百分比)为空间序列。土壤侵蚀数据是基于北票市生态修复区 1998 年、2003 年和 2008 年三期土壤遥感解译数据。

1.2.2 生态退化驱动力统计分析方法

(1)生态退化驱动因子的主成分分析。主成分分析是综合处理多个变量之间相关关系的一种强有力的方法<sup>[11]</sup>。本文应用该方法对影响北票市生态修复区的 9 个驱动力指标进行降维和排序,以此分析该地区生态退化的主导驱动因子。

表 1 生态退化及其驱动力评价指标体系

评价指标及单位		
驱动力评价指标	自然因子	(1)年均降水量 $X_1/\text{mm}$ (2)地面坡度 $X_2/(\text{°})$
	社会经济指标	(1)人口密度 $X_3/(\text{人}\cdot\text{km}^{-2})$ (2)土地垦殖率 $X_4/\%$ (3)人均耕地面积 $X_5(\text{hm}^2/\text{人})$ (4)人均经济林面积 $X_6(\text{hm}^2/\text{人})$ (5)人均养畜量 $X_7(\text{kg}/\text{人})$ (6)人均农业产值 $X_8(\text{元}/\text{人})$ (7)人均粮食产量 $X_9(\text{元}/\text{人})$
		(1)土壤侵蚀面积比 $Y/\%$

(2)生态退化驱动因子的多元回归分析。多元线性回归分析的基本原理是:设随机变量  $Y$  与  $m$  个自变量之间存在线性关系,其数学模型为<sup>[12]</sup>:

$$Y=B_0+B_1X_1+B_2X_2+\cdots+B_mX_m$$

利用  $n(i=1,2,3,\cdots,n)$  组观测值  $(X_{1i},X_{2i},\cdots,X_{mi},Y_i)$ ,根据最小二乘法原理求出式中的待定系数  $B_0,B_1,B_2,\cdots,B_m$ 。

以主成分分析中得出的主导驱动因子为自变量,以土壤侵蚀面积比为因变量,运用 Stepwise 方法进行逐步回归分析,建立北票市生态修复区土壤侵蚀面积比与驱动因子的多元回归模型。在 Stepwise 方法中,进入概率 $\leq 0.05$ ,移出概率 $\geq 0.1$ <sup>[13]</sup>。

2 结果与分析

2.1 生态退化驱动因子的主成分分析

(1)提取主成分。主成分分析方法中的特征值与特征向量及主成分贡献率与累计贡献率的计算是借助 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences)软件来完成。计算得特征值及各个主成分的贡献率与累计贡献率(见表 2)。由表 2 可知,第一、第二两个主成分因子的累积贡献率已经超过了 85.064%,完全达到分析的要求(因子碎石图见图 1),并得到主成分载荷矩阵(表 3)。第一、第二两个主成分因子表达式为

$$Y_1=0.318X_1+0.328X_2+0.332X_3+0.367X_4+0.296X_5+0.353X_6+0.362X_7-0.305X_8+0.331X_9$$
$$Y_2=-0.149X_1-0.027X_2-0.476X_3-0.122X_4+0.751X_5-0.190X_6-0.064X_7-0.020X_8+0.363X_9$$

由表 3 看出, $Y_1$  为第一个主成分,在  $X_4$ (土地垦殖率)、 $X_7$ (人均养畜量)、 $X_6$ (人均经济林面积)上有很大的载荷(表 3),且相关系数都在 0.940 以上,这三个变量分别代表了北票市生态修复区土地开发和种植业发展程度( $X_4$ )、畜牧业的发展程度( $X_7$ )、经济林的发展程度( $X_6$ )。表明北票市生态修复区生态退化与农业结构状况(种植业、林果业、畜牧业)密切相

关,主要体现在坡耕地的耕种、饲养牲畜对林草地较强的依赖性以及坡地经济林地的开发利用上。第一主成分与社会经济因子中的  $X_3$  (人口密度)、 $X_9$  (人均粮食产量),也有较高的相关性,相关性在 0.884 以上(表 3),说明人口压力大、人为活动强度高、粮食自给量高的地区有较大可能发生生态退化和水土流失的潜力。第一主成分与自然因子中的  $X_2$  (地面坡度)、 $X_1$  (年均降水量)的相关性在 0.849 以上,说明自然因子也是生态退化和水土流失增加的重要影响因素。由此可见,社会经济因子在北票市生态修复区的生态退化中占据支配地位,而自然环境因素是生态退化发生的前提和基础。第一主成分对生态退化的贡献率为 79.017%,是生态退化的主导驱动因子。

表 2 特征值与主成分贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	7.112	79.017	79.017
2	0.544	6.047	85.064
3	0.462	5.137	90.201
4	0.423	4.697	94.899
5	0.201	2.229	97.128
6	0.120	1.331	98.459
7	0.082	0.911	99.370
8	0.030	0.339	99.709
9	0.026	0.291	100.000

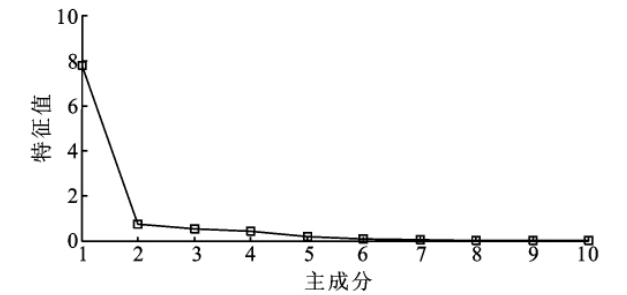


图 1 主成分碎石图

$Y_2$  为第二个主成分,在  $X_5$  (人均耕地面积)上有较大荷载(表 3),人均耕地资源的减少,在一定条件下将促进农业集约经营水平的提高,从而提高单位面积产量及精耕细作,减轻水土流失。因此,人均耕地面积多的区域,可能对生态退化产生一定的影响。第二个主成分对生态退化的贡献率为 6.047%,对生态退化也产生了一定的影响。

(2)生态退化驱动因子排序。按驱动因子对北票市生态修复区生态退化的贡献可以计算得出 9 个原

始变量的得分值,并对其排序即: $X_4$  (土地垦殖率) $>X_7$  (人均养畜量) $>X_6$  (人均经济林面积) $>X_3$  (人口密度) $>X_9$  (人均粮食产量) $>X_2$  (地面坡度) $>X_1$  (年均降水量) $>X_5$  (人均耕地面积) $>X_8$  (人均农业产值)。可见,北票市生态修复区生态退化的主要驱动因子为以自然环境因子为前提和基础下的社会经济因子;在社会经济因子中,体现农业结构状况的土地垦殖率、人均养畜量和人均经济林面积等社会经济因子,对该地区生态退化的影响较为明显。

表 3 主成分载荷矩阵

驱动因子	主成分 $Y_1$	主成分 $Y_2$	主成分 $Y_3$	主成分 $Y_4$
$X_1$	0.849	-0.110	-0.137	0.435
$X_2$	0.874	-0.020	0.391	-0.169
$X_3$	0.885	-0.351	-0.026	-0.188
$X_4$	0.980	-0.090	0.041	-0.070
$X_5$	0.790	0.554	-0.007	-0.182
$X_6$	0.941	-0.140	0.090	0.025
$X_7$	0.966	-0.047	0.059	0.028
$X_8$	-0.813	-0.014	0.523	0.197
$X_9$	0.884	0.268	0.052	0.301

2.2 生态退化驱动因子的多元回归分析

(1)多元逐步回归模型的建立。北票市生态修复区 29 个乡镇的土壤侵蚀面积比与生态退化主导驱动因子的多元逐步回归模型为

$$Y=0.380X_4+0.393X_7+0.239X_2 \quad (1)$$

式中:  $X_4$ ——土地垦殖率;  $X_7$ ——人均养畜量;  $X_2$ ——地面坡度;  $Y$ ——土壤侵蚀面积比。

由回归模型(1)可知,土壤侵蚀面积比与土地垦殖率、人均养畜量、地面坡度成正比,复相关系数  $R$  为 0.980(表 4),说明土壤侵蚀面积比( $Y$ )与  $X_7$  (人均养畜量)、 $X_4$  (土地垦殖率)、 $X_2$  (地面坡度)之间具有比较显著的相关关系。由偏相关系数(表 5)可知,对土壤侵蚀面积比( $Y$ )的影响由大到小依次为  $X_7>X_4>X_2$ 。 $X_7$  和  $X_4$  均是人为驱动因子,可见,人为驱动因子是第一位的;而作为自然环境因子的  $X_2$  (地面坡度)是第二位的。说明超载放牧、土地资源的过度开发是导致北票市生态修复区水土流失与生态退化的主导驱动因素,这与上述主成分分析结果基本吻合。

表 4 北票市生态修复区生态退化驱动因子多元回归模型

模型	$R$	$R^2$	经调整的 $R^2$	估计标准误
回归模型	0.980	0.961	0.956	0.05002

表 5 北票生态修复区生态退化驱动因子多元回归回归系数表

模型	非标准化系数		标准化系数		$t$ 统计量值	$t$ 分布的双尾 显著性概率 sig.	偏相关系数
	非标准化系数	标准误	标准化回归系数				
(常数项)	0.536	0.033			16.402	0.000	
$X_4$	0.166	0.068	0.380		2.440	0.022	0.439
$X_7$	0.139	0.041	0.393		3.380	0.002	0.560
$X_2$	0.159	0.065	0.239		2.433	0.022	0.438

(2)回归模型的显著性检验。通过对回归模型(1)进行  $F$  检验(表 6),得到方差分析的显著性概率  $\text{sig.}=0.000$  远小于  $0.05$ ,因此,回归模型(1)有意义,线性回归效果显著。从回归模型(1)的标准化残差的直方图(图 2a)和残差累积概率图(图 2b)看出,样本的残差近似于正态分布,图中的散点密切地散布在斜线(对应着一个均值为 0 的正态分布)附近,说明

随机变量残差服从正态分布,回归模型(1)通过显著性检验。

表 6 北票市生态修复区生态退化驱动因子多元回归模型显著性检验

模型	回归平方和	剩余平方和	$F$ 统计量	显著性水平
回归模型	1.531	0.063	203.986	0.000

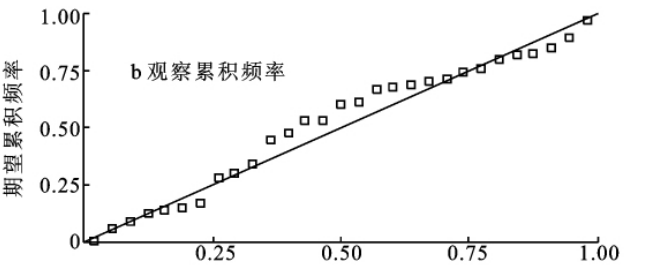
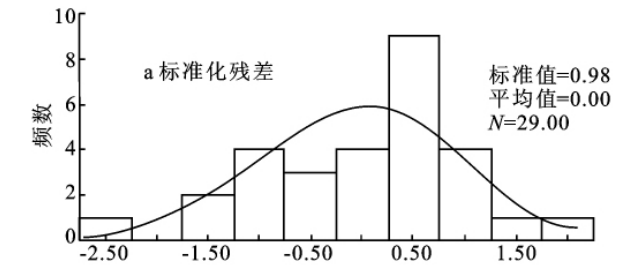


图 2 标准化残差的直方图(a)和标准化残差的累积概率图(b)

3 结论与建议

3.1 结论

(1)主成分分析结果表明,以自然环境因子为前提和基础下的社会经济因子是导致北票市生态修复区生态退化的主要驱动因子,其中,社会经济因子中体现农业结构状况的土地垦殖率、人均养畜量和人均经济林面积等社会经济因子,对该地区生态退化的影响较为明显。

(2)多元回归分析结果表明,在北票市生态修复区内,超载放牧、土地资源的过度开发是导致该地区水土流失与生态退化的主导驱动因子,而作为自然环境因子的地面坡度是第二位的,是发生水土流失与生态退化的前提和基础。这与主成分分析结果基本吻合。

3.2 建议

辽宁西部北票市生态修复区生态退化的主要原因是社会经济因素对生态系统的干扰,而且是叠加于脆弱的自然环境因素之上。在社会经济因素中,超载放牧、土地资源过度垦殖、人口压力不断增大等是北票市生态修复区生态退化和水土流失发生发展的重要驱动力。因此,该地区的生态修复工程建设,首先,应加大封山育林(草)、退耕还林(草)和禁牧圈养等生态修复工程的力度,适度实施具有水土保持工程整地措施的经济林建设,使区域林草植被盖度尽快得到恢复,提高区域的综合生态防护功能;其次,应加速坡耕地整治工程,实施农耕地保育措施,杜绝挖沙开矿等开发建设活动;再次,限制人口增长,缓解人口增长给生态环境带来的巨大压力。

参考文献:

[1] 章家恩,徐琪.生态退化的形成原因探讨[J].生态科学,1999,18(3):27-32.

[2] 那·巴特尔.党河中上游生态退化机制与保护对策[J].草原与草坪,2008(2):13-17.

[3] 王海青,张勃.黑河流域 40 多年来生态环境变化驱动力分析及对策[J].干旱区资源与环境,2007,21(10):43-47.

[4] 赵振勇,王让会,张慧芝,等.塔里木河下游荒漠生态系统退化机制分析[J].中国沙漠,2006,26(2):220-225.

[5] 马爱霞.甘肃黄河上游主要生态功能区草原退化成因及治理对策浅析[J].草地生态,2009(4):31-34.

[6] 贺金生,陈伟烈,江明喜,等.长江三峡地区退化生态系统植物群落物种多样性特征[J].生态学报,1998,18(4):399-407.

[7] 孟国才,马东涛,王士革,等.岷江上游地区环境问题及其驱动力[J].干旱区地理,2007,30(5):759-765.

[8] 李春艳,邓玉林.我国流域生态系统退化研究进展[J].生态学杂志,2009,28(3):535-541.

[9] 杨慧玲,高鹏,王华伟,等.大黑山水土保持生态修复区典型植被类型土壤颗粒的分形特征[J].中国水土保持科学,2009,7(5):52-57.

[10] 章家恩,徐琪.退化生态系统的诊断特征及其评价指标体系[J].长江流域资源与环境,1999,8(2):215-220.

[11] 徐雅静,汪远征.主成分分析应用方法的改进[J].数学的实践与认识,2006,36(6):68-75.

[12] 刘春龙.改进的主成分分析法及其在水质评价中的应用[J].安徽农业科学,2009,37(22):10642-10643.

[13] 臧淑英,那晓东,李雁,等.大庆地区草地退化驱动机制分析[J].北京林业大学学报,2007,29(增刊 2):216-221.