维普资讯 http://www.cqvip.com

第 26 卷第 8 期
2006 年 8 月

生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA

Vol.26,No.8
Aug.,2006

东北黑土区小流域农业景观结构与土壤侵蚀的关系

魏建兵[1,2],肖笃宁[1,*],李秀珍[1],布仁仓[1],张春山[3]

(1.中国科学院沈阳应用生态研究所,沈阳 110016;2.中国科学院研究生院,北京 100049;3.拜泉县水务局,拜泉 164700)

摘要:以黑土侵蚀区的拜泉县双阳河流域为案例,提取地形和土壤类型相对接近的30个上游子流域作为分析样本。以遥感、GIS和FRAGSTATS软件为平台获得景观格局指数,运用基于GIS的RUSLE模拟土壤侵蚀,通过相关性分析和多元回归研究景观指数与侵蚀模数的呼应关系。从而探讨土地利用调整和流域综合治理下的景观结构特征对土壤侵蚀的影响,为当地或同类地区土地利用规划和侵蚀治理提供科学参考。结果表明:顺坡垄农田面积百分比、景观聚集度与土壤侵蚀模数显著正相关,灌木林地、草地面积百分比、香农多样性指数与土壤侵蚀模数显著负相关。9个结构因子与土壤侵蚀模数的复相关系数($R=0.931$)大于单因子相关系数,多个景观结构因子综合地影响了土壤侵蚀,且达到高度相关。研究区侵蚀强度较轻,但大于东北黑土区土壤容许流失量标准。农田是土壤水蚀的主要景观要素,同时也是水土保持的主战场。增加灌草地斑块、实施农田保护性耕作等将是该流域继续控制土壤侵蚀的有效办法之一。

关键词:景观指数;侵蚀模数;RUSLE;遥感和地理信息系统;农业小流域;东北黑土区

文章编号:1000-0933(2006)08-2608-08 **中图分类号**:Q149 **文献标识码**:A

Relationship between landscape pattern and soil erosion of an agricultural watershed in the Mollisols region of northeastern China

WEI Jian-Bing[1,2], XIAO Du-Ning[1,*], LI Xiu-Zhen[1], BU Ren-Cang[1], ZHANG Chun-Shan[3] (1. *Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang* 110016, *China*; 2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*; 3. *Bureau of Water Management, Baiquan* 164700, *China*). ***Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2608 ~ 2615.**

Abstract: In recent years, there has been an increasing concern over soil erosion in the Mollisols region of northeastern China, which is one of the six water erosion regions in China. This region has become one of the most hazardous regions for potential erosion and desertification for unique physical geographical environment and drastic human activities. There is a close relationship between land use structure and soil loss. Land use changes can increase or reduce surface runoff and soil erosion. The relationship between landscape pattern and soil erosion has been rarely studied.

A total of 30 sub-watersheds were chosen from Shuangyang river basin that is located at the eroded Mollisols region of northeastern China for examining their landscape metrics and soil erosion modulus. Correlation between landscape metrics and erosion modulus was analyzed using SPSS11.5 software. The objective of this study was to provide scientific basis for further erosion controlling and landscape planning in this region. The remotely sensed image (ETM+, August 30, 2002) of the area was classified into landscape map. We calculated landscape metrics with FRAGSTATS3.3 and soil erosion modulus with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) for 30 sub-watersheds.

The results showed that the average soil erosion modulus was 6.58 in Shuangyang river basin. Erosion intensity is at low-grade according to the Standards for Gradation of Soil Erosion Intensity in China. But it is higher than that of soil loss tolerance in

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40571161)

收稿日期:2005-05-11;**修订日期**:2006-01-13

作者简介:魏建兵(1972~),男,山西汾阳人,博士生,工程师,主要从事景观生态学,遥感和地理信息系统应用研究. E-mail: jianbingwei1208@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wlp_xiao@yahoo.com.cn

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No.40571161)

Received date: 2005-05-11; **Accepted date**: 2006-01-13

Biography: WEI Jian-Bing, Ph.D. candidate, Engineer, mainly engaged in landscape ecology, application of RS and GIS. E-mail: jianbingwei1208@yahoo.com.cn

维普资讯 http://www.cqvip.com

the Mollisols region, northeastern China. Correlation analysis showed a significant positive correlation between Percentage of Landscape (PLAND) of sloping tillage farmlands and soil erosion modulus; Contagion Index (CONTAG) was also positively related with soil erosion modulus. Significant negative correlation was found between erosion modulus and PLAND of shrub and grassland, as well as Simpson's Diversity Index (SHDI). Multiple correlation coefficients between the 9 landscape metrics selected in this study and erosion modulus was 0.931, which was higher than single-factor coefficients between any landscape metrics and erosion modulus. There was a linear regression relationship between the 9 landscape metrics and erosion modulus.

Farmlands are main landscape types under erosion in the study area, where more soil and water conservation measures should be taken. It is necessary for soil loss control to increase forest and grassland patches and extend conservation tillage in farmlands.

Key words: landscape metrics; erosion modulus; RUSLE; RS&GIS; agricultural watershed; the mollisols region of northeastern China

水土流失是一个世界性的环境问题[1,2],近几十年来受到了广泛关注。中国是世界上水土流失严重的国家,东北松嫩平原黑土丘陵漫岗区是我国的六大水力侵蚀区之一[3]。事实上,由于黑土区独特的土壤地理环境和人类活动的强烈干扰,它已经变成了中国潜在侵蚀最危险的地区[4]。近年来,黑土的侵蚀退化问题得到了政府、科学家甚至农民的普遍重视。通过调整土地利用结构改善景观要素的数量比重,以及优化景观斑块的空间配置是控制土壤侵蚀的有效措施之一。

景观格局与生态过程的相互关系是景观生态学研究的主要内容,也是景观生态学的主要特色和理论核心之一,同时又是一个极富挑战性的研究领域[5~9]。过程产生格局,格局作用于过程。用景观指数描述景观格局及其变化,建立格局与过程之间的联系是景观生态学中最常用的定量化研究方法[10]。但大多数指标来自于景观要素空间关系几何特征的数理统计或信息论,其生态学意义往往并不明确。以往的研究常常局限于对景观空间分布格局的描述和分析,缺乏格局与过程之间联系的建立,影响了深入探讨格局变化的生态学意义[11,12]。

土地利用/覆被变化是导致景观结构变化的重要因素。而土地利用结构与水土流失关系密切,土地利用的改变能够减少或增加径流和土壤侵蚀[13~15]。景观内的不同土地利用及其格局均深刻影响径流的产生和侵蚀过程,从景观生态学的角度出发,探索景观内不同土地利用及其格局对径流和侵蚀过程的影响,而不是局限在某一景观单元范围内,这种探索代表了一个富有发展潜力的方向[9,13]。

黑龙江省拜泉县是黑土丘陵漫岗区典型的农业大县,水土流失较严重,同时也是近年来水土保持规模和经验具有示范价值的典型,其在治理模式方面继承与发展了众多值得肯定和借鉴的成果[16,17]。但在大规模治理下,不同景观结构与土壤侵蚀的关系还缺乏理论探讨和实践检验,影响了在流域或区域尺度上对水土保持效益评价的完整性和准确性。本文选择该县最大的流域——双阳河流域为案例,根据一定的标准提取30个子流域作为研究样本,计算各个子流域2002年土地利用现状的景观格局指数,运用基于GIS的通用土壤流失模型求算土壤侵蚀量,通过相关分析、多元回归等数理统计方法探讨不同景观格局指数与土壤侵蚀模数的呼应关系,以期反映景观格局对土壤侵蚀的影响,也为当地或同类地区土地利用调整和景观规划提供科学参考。

1 研究地区和研究方法

1.1 研究地区

双阳河流域(125°38′24″~126°17′38″E, 47°21′53~47°44′4″N)起源于黑土区北部黑龙江省拜泉县东南新生乡,覆盖或部分覆盖21个乡镇,总面积1176.55 km^2;上游坐落在丘陵、半丘陵地区,下游穿过漫川漫岗,高程差120m(图1)。土壤类型主要为黑土、黑钙土和草甸土,富含有机质,适合于农业生产。农田是主要的景观类型。由于土地的过度开垦和其它不合理利用,该流域对水土流失十分敏感。20世纪80年代以来,拜泉县包括双阳河流域是黑龙江省乃至全国的黑土侵蚀重点治理区。双阳河多年平均径流深42mm,多年平均径流量$3.97\times10^7 m^3$,流域多年平均降水量488.2mm,68.5%集中于6~8月份,多表现为几次强降雨过程,容易产生地表径流和土壤侵蚀。

维普资讯 http://www.cqvip.com

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源和预处理 本研究中所用的数据包括:景观类型、数字高程模型(DEM)、日降雨量、土壤类型等。它们分别来源于:中国科学院遥感卫星地面站 ETM$^+$ 遥感影像,国家基础地理信息中心地形图,拜泉县气象局,拜泉县土地局。收集的其它辅助数据还有拜泉县水利志、土壤志等。ER Mapper(5.5)支持下进行地形图(1:100000)、土壤图(1:50000)、遥感影像 ETM$^+$ (2002 年 8 月 30 日,分辨率 15m)的几何校正。GIS 下数字化以上纸质图件和影像目视解译,分别获得 DEM、景观类型和土壤类型数据(分别见图 1、图 2 和图 3),在 PC Arc \ Info3.4D 下进行空间数据的投影定义和格式转换,统一转换为 15m × 15m Grid 格式。卫星影像解译前后,分别于 2003 年 10 月和 2004 年 6、9 月进行了 3 次野外考察,了解研究区土地利用的基本特征和水土流失及控制情况,利用 GIS 空间分析模块的 Zonal Statistics 功能将野外 GPS 实测点与景观图空间连接评价影像解译精度,解译结果的分类总精度为 82.07%。根据野外考察结果和本文研究目的,将研究区景观类型划分为水平梯田(坡度 5° ~ 7°)、等高垄农田(坡度 3° ~ 5°)、顺坡垄农田(坡度 < 3°)、乔木林地、灌木林地、草地、水域和居民地共 8 个类型。GIS 水文模块下提取子流域,拜泉县将全县土地划分为 122 个小流域作为治理单元,其中最小的流域面积 5.54 km^2。本文以 6 km^2 为子流域提取最小面积标准,共提取 65 个子流域,其中地形和土壤类型相对接近的上游子流域 30 个作为分析样本。

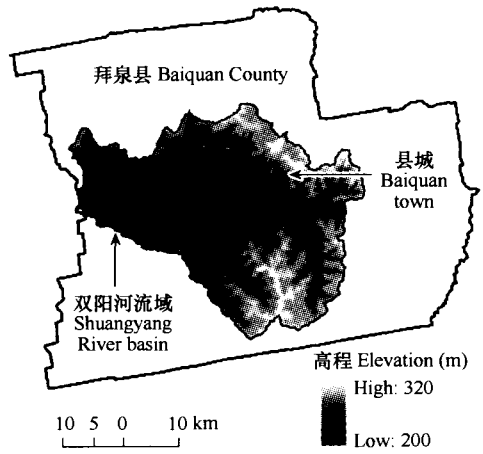

图 1 双阳河流域地理位置与数字高程模型

Fig.1 Location map and DEM of Shuangyang River Basin

1.2.2 景观格局的定量识别——景观指数 在农业景观中,农田是对水土流失敏感的类型,林地和草地对水土流失有明显控制作用,因而选择以上几种地类的面积百分比(PLAND)作为类型水平上的景观指数。在景观水平上分别选取分维数(PAFRAC)、聚集度(CONTAG)和香农多样性(SHDI)作为形状指数、蔓延度指数和多样性指数的代表。格局指数由软件 FRAGSTATS3.3[18] 的 Arcgrid 数据格式(15m × 15m)计算获得,各指数的意义与适用范围见软件说明。

1.2.3 土壤侵蚀程度的表征——侵蚀模数 通用土壤流失方程(RUSLE)是目前最常用的估算土壤侵蚀的模型方法之一[19,20],在世界很多地区得到了广泛的应用。其表达式为:$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ 式中,A 为年平均土壤侵蚀量($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$);$R$ 为降水侵蚀力因子($MJ \cdot mm \cdot hm^{-2} \cdot h^{-1} \cdot a^{-1}$);$K$ 为土壤可蚀性因子($t \cdot hm^2 \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1} \cdot hm^{-2}$);$L$ 为坡长因子;S 为坡度因子;C 为地表植被覆盖因子(0 ~ 1);P 为水土保持因子(0 ~ 1)。本研究采用基于 GIS 的 RUSLE 求算各子流域的侵蚀模数,其中,R 因子的确定是利用基于日降雨量的 Richardson 等[21] 和章文波等[22] 的算法,并根据黑龙江省侵蚀性降雨基本雨量标准 9.8mm[23] 进行参数修正,求得研究区的多年平均降雨侵蚀力因子 $R = 1722.24$ $MJ \cdot mm \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$。$K$ 因子的确定是采用基于土壤机械组成及有机质含量的 Sharply 等[24] 发展的 K 因子估算法。LS 的确定依据文献[23] 中黑土丘陵漫岗区地形因子算法和 Moore[25] L 算法求得。利用张宪奎等[23] 在黑土区作的研究并结合遥感影像解译结果确定各类型的 C 值。农业景观中对水土流失敏感的土地类型主要为农田,根据实地调查和访问,该流域坡地农田水土保持措施主要是:3° ~ 5°坡耕地改顺坡耕作为等高耕作,5° ~ 7°坡耕地修梯田。本研究根据 DEM 和以上标准作水保措施空间定位,并结合文献[23] 确定各景观类型的 P 值。

利用 GIS 空间分析功能模块,以 15m × 15m 像元为计算单位,将影响土壤侵蚀的各个因子进行空间叠置与逻辑运算,分别求得研究区各子流域的土壤侵蚀模数 A。

1.2.4 景观格局指数和土壤侵蚀模数的相关分析 采用单因子、多因子相关性分析和多元线性回归研究景观格局特征对土壤侵蚀的影响,分析过程用统计软件 SPSS11.5 来完成。

维普资讯 http://www.cqvip.com

2　结果与分析

2.1　流域景观类型及景观格局指数

各景观类型所占景观总面积的百分比分别为:水平梯田0.3%、等高垄作农田0.13%、平地农田71.4%、乔木林地7.42%、灌木林地6.20%、草地7.67%、水域1.1%和居民地5.78%;研究区水平景观分维数1.347,聚集度68.949,香农多样性1.043。从景观要素的空间分布和类型斑块面积来看(图2),双阳河流域是以耕地为背景基质,城镇和农村居民点、林草地和水体等为镶嵌斑块,道路和林带为廊道的典型基质-斑块-廊道农业景观。

2.2　流域土壤类型及土壤可蚀性因子

拜泉土壤(1984年土壤详查)共分32个土种。其中,双阳河流域分布有16个土种,按照中国土壤系统分类CST(修订方案1995年)归并为4个亚类(图3)。各个亚类(所含土种各自计算后取平均值)土壤可蚀性因子K值见表1。K值的平均值为0.245,这与高德武[26]对黑土K值的实测结果(0.26)很接近。高德武的试验区设在与本文研究区邻接的克山县,二者地形、气候和土壤类型基本一致。

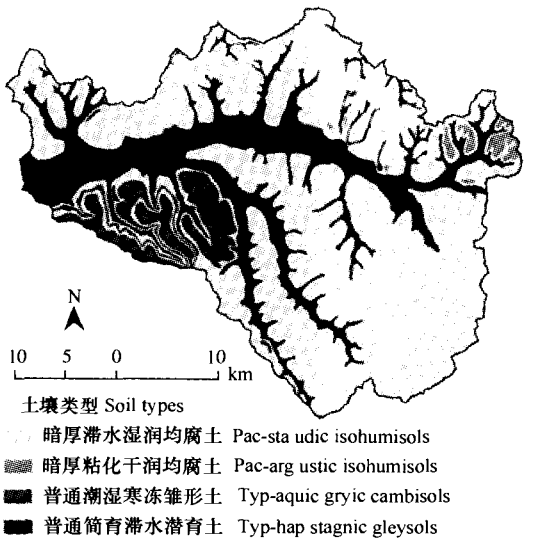

图3　双阳河流域土壤类型分布

Fig.3　Distribution of soil types in Shuangyang River Basin

表1　双阳河流域各土种机械组成与K值

Table 1　Texture and K values of soils in Shuangyang River Basin

	有机质(%) Organic matter	砂粒(%) Sand (2~0.1mm)	粉粒(%) Slit (0.1~0.002mm)	粘粒(%) Clay (<0.002mm)	K值 K vaule
暗厚滞水湿润均腐土 Pac-Sta Udic Isohumisols	3.94	13.55	31.82	54.57	0.242
暗厚粘化干润均腐土 Pac-Arg Ustic Isohumisols	4.13	16.46	31.30	53.68	0.236
普通潮湿寒冻雏形土 Typ-Aquic Gryic Cambisols	8.60	14.53	35.33	50.13	0.251
普通简育滞水潜育土 Typ-Hap Stagnic Gleysols	9.54	23.30	39.00	37.70	0.250

2.3　流域各土地类型的地表植被覆盖因子和水土保持因子

研究区的主要作物为大豆和玉米,它们在梯田、等高垄农田和顺坡垄农田中的分布没有侧重,因而认为具有相同的C值。侵蚀防治措施因子P是指采用专门措施后的土壤流失量与采用顺坡种植时的土壤流失量的比值,其变化于0~1之间,0代表防治措施很好,基本不发生侵蚀的地区,而1代表未采取土地类型本身之外的侵蚀控制措施。流域各土地类型的地表植被覆盖因子和水土保持因子见表2。

表2　双阳河流域各景观类型C和P值

Table 2　C and P values of landscape types in Shuangyang River Basin

	水平梯田 Terraces	等高垄农田 Contour tillsge	顺坡垄农田 Sloping tillage	乔木林地 Forest	灌木林地 Shrub	草地 Grassland	水域 Open water	居民地 Residential land
C	0.2626	0.2626	0.2626	0.004	0.040	0.043	0	0.1
P	0.029	0.352	1	1	1	1	0	1

2.4　流域土壤侵蚀强度

依据水利部颁发的土壤水力侵蚀强度分级标准(SL190-96),研究区大部分处于中度侵蚀以下,其面积占总面积的94.5%(图4),图中侵蚀模数对应于黑土区侵蚀强度分级:轻度、中度、强度和剧烈。研究区平均土壤侵蚀模数为6.58,侵蚀强度较轻,但大于东北黑土区土壤容许流失量标准(2)。

2.5　子流域景观指数与土壤侵蚀模数

维普资讯 http://www.cqvip.com

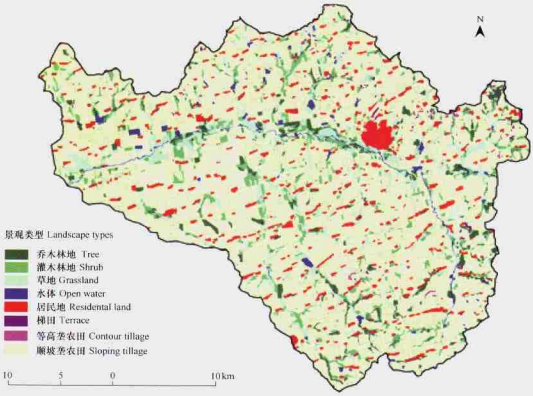

图 2 双阳河流域景观类型分布
Fig.2 Map of landscape in Shuangyang River Basin

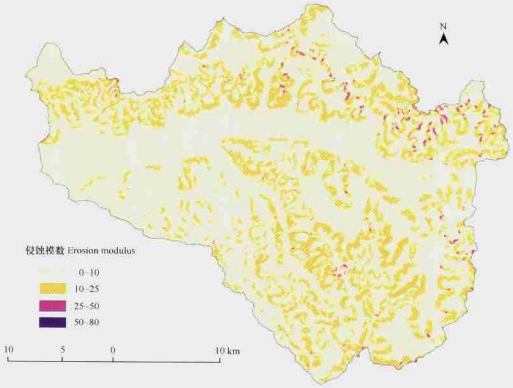

图 4 双阳河流域土壤侵蚀强度
Fig.4 Map of erosion intensity in Shuangyang River Basin

维普资讯 http://www.cqvip.com

30个子流域的景观指数和土壤侵蚀模数列于表3,因篇幅有限,仅举6个小流域为示例。可见,在30个子流域中最小侵蚀量为2.58,最大侵蚀量为12.68,空间变异系数超过50%。

表3　子流域格局指数与土壤侵蚀模数(示例)

Table 3　Pattern matrices and soil erosion in sub-watersheds (partly)

子流域代码 Code	侵蚀模数 A	梯田 Terrace(%)	等高垄农田% Contour tillage	顺坡垄农田 Sloping tillage(%)	乔木林地 Forest(%)	灌木林地 Shrub(%)	草地 Grassland(%)	分维数 PAFRAC	聚集度 CONTAG	香农多样性 SHDI
23	2.58	0.00	0.00	68.00	4.18	5.39	14.61	1.30	63.82	1.09
3	3.19	0.46	0.00	75.55	5.54	6.40	5.74	1.35	67.94	0.91
5	5.53	0.61	0.38	69.42	7.51	5.38	8.75	1.36	66.56	1.12
12	7.67	0.28	0.07	74.07	8.39	7.19	3.03	1.35	70.58	0.99
50	10.80	0.00	0.40	82.02	4.01	5.11	4.06	1.44	73.64	0.73
61	12.68	0.00	0.00	87.70	5.51	1.05	0.00	1.42	78.02	0.52

2.6　景观指数与土壤侵蚀模数的单因子相关性分析

选用的9个景观结构指数可理解为对研究区侵蚀模数影响的不同处理,河流上游不同空间域的30个小流域则理解为组间重复。用侵蚀模数与所对应的景观结构指数进行单因子相关分析(二元定距变量相关分析),结果表明(表4),顺坡垄农田面积百分比、景观聚集度与侵蚀模数显著正相关,灌木林地、草地面积百分比、景观多样性与侵蚀模数显著负相关,而梯田、等高垄农田、乔木林地面积百分比、景观分维数与侵蚀模数的相关程度不显著。

梯田、等高垄农田和乔木林地是控制土壤侵蚀的有效土地类型,但由于前两者占研究区的面积百分比很小(分别为0.3%和0.13%),并且在30个子流域中分别有14个和20个不存在此种土地类型,它们与侵蚀模数的相关性可能受到其它因子的强烈影响,而使这种相关性不显著;该流域乔木林地主要为林带,它在各个子流域的分布面积很接近,因此与侵蚀模数的相关性也没有表现出差异;研究区为典型的农业流域,人工干预程度高,斑块形状规则,景观空间构型简单,因而子流域间分维数变异不大,与侵蚀模数相关性不强;香农多样性指数对景观类型数较敏感,能够反映景观的异质性,子流域景观类型数的不同,产生空间异质性差异,使其对土壤侵蚀的影响显著不同;景观聚集度的大小反映了景观斑块的空间延展性和连接度,较高的景观多样性和较低的侵蚀斑块聚集度,分散了土壤侵蚀危险,避免了高强度土壤侵蚀大面积集中分布所引起的更高强度更大面积侵蚀的链动后果[27]。因此,灌木林地、草地是该流域水蚀控制的主要景观类型,而香农多样性增大能够在景观水平上提高水蚀控制能力。

表4　不同子流域景观结构与土壤侵蚀模数的相关分析

Table 4　Correlation analysis between landscape patterns and soil erosion

	梯田(%) Terrace	等高垄农田(% Contour tillage	顺坡垄农田(%) Sloping tillage	乔木林地(%) Forest	灌木林地(%) Shrub	草地(%) Grassland	分维数 PAFRAC	聚集度 CONTAG	香农多样性 SHDI
R	-0.022	0.064	0.857**	0.200	-0.361*	-0.489**	0.184	0.474**	-0.700**

** 双尾检查相关程度显著(在0.01水平上) Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed); * 较显著(在0.05水平上) Correlation is significant at the 0.05 level

2.7　景观指数与土壤侵蚀模数的多因子回归分析

土壤侵蚀是一个复杂的地理过程,它的发生发展必然受到多个环境因子的综合影响。为了进一步揭示所研究的多个景观结构对土壤侵蚀的综合影响规律,将侵蚀模数视为因变量 y,景观指数作为自变量(梯田%为 x_1,等高垄农田%为 x_2,顺坡垄农田%为 x_3,乔木林地%为 x_4,灌木林地%为 x_5,草地为 x_6,PAFRAC为 x_7,CONTAG为 x_8,SHDI为 x_9)进行多元线性回归分析。结果显示,复相关系数 $R=0.931$,$R>0.8$ 为高度相关,判定系数 $R^2=0.867$,复相关系数大于任一自变量和因变量之间的单相关系数。方差分析统计量 $F=17.450$,相伴概率值 $p<0.001$,多个自变量与因变量之间存在线形回归关系,回归方程为:

$$Y=-0.29x_1+0.98x_2-0.22x_3-0.004x_4-0.29x_5-0.09x_6-10.75x_7-0.09x_8-4.439x_9+17.52$$

维普资讯 http://www.cqvip.com

$R^2 = 0.867$。

自变量 x_3 与因变量之间的正相关性最大(图 5),x_9 与因变量之间的负相关性最大(图 6),进一步说明顺坡垄农田面积百分比与香农多样性指数对土壤侵蚀模数的影响较大。

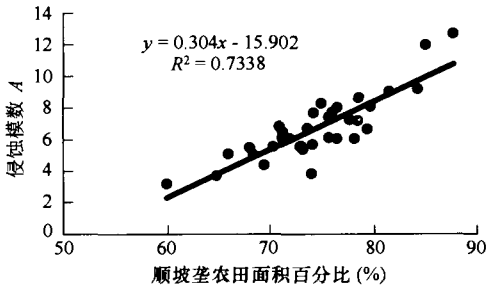

图 5 顺坡垄农田面积百分比与侵蚀模数的关系

Fig.5 Correlation between *A* and PLAND of farmland

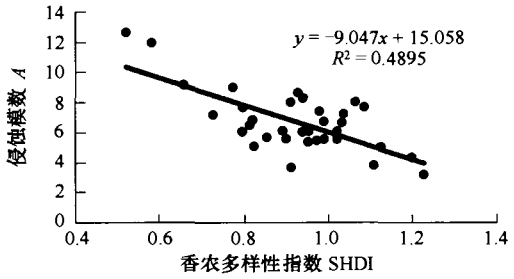

图 6 香农多样性与侵蚀模数的关系

Fig.6 Correlation between *A* and SHDI

3 讨论

水土流失和景观格局具有空间异质性,不同的格局特征与水土流失强度有一定的相关性。类型水平结构因子中,顺坡垄农田面积百分比与土壤侵蚀模数显著正相关,而灌木林地和草地与土壤侵蚀模数显著负相关。景观水平结构指数中,聚集度与侵蚀模数显著正相关,而香农多样性指数与侵蚀模数显著负相关。9 个因子复相关系数大于单因子相关系数,达到高度相关($R > 0.8$),多个结构因子与侵蚀模数之间存在线性回归关系($F = 17.450$, $p < 0.001$)。

研究区平均土壤侵蚀模数为 6.58,侵蚀强度较轻,但大于东北黑土区土壤容许流失量标准(2)。该流域是典型的农业景观,农田面积占景观总面积的 71.8%,而且分布比较集中,它是未来土壤水蚀的主要景观要素,同时也是水土保持的主战场。增加灌草地斑块、实施农田保护性耕作等将是该流域继续控制土壤侵蚀的有效办法之一。

黑土是我国宝贵的土壤资源和重要的粮食生产基地。东北典型黑土区的主要景观要素为人工农田生态系统,该系统具有人工干预程度高、土地集中连片、种植作物种类单一、景观异质性低等特点[28],而这种土地利用和覆盖状况对黑土的水土流失产生了巨大影响[29]。通过在景观尺度上的土地利用结构调整,增加林草覆被率,优化景观斑块空间配置,能够有效地控制土壤侵蚀[30]。研究景观格局和土壤侵蚀程度的相互关系,有助于人们在宏观上把握土地结构调整的方向和微观上规划景观类型的空间配置,从而有效地发挥景观结构对土壤侵蚀控制的积极作用。

土壤侵蚀的空间变异是多重尺度上的植被、土地利用、气象(降雨)、地形和土壤等多因子综合作用的结果。本文中,由于研究区只有一个气象站,但它处于研究区中部,且研究区相对较小,因而没有考虑降雨侵蚀力的空间变异。不同子流域景观结构、地形和土壤因子的差异对土壤侵蚀的影响没有做主成分分析,只是基于 30 个分析样本具有地形和土壤相对一致的假设,从而认为在研究区尺度上土壤侵蚀的主控因子为景观结构。通用土壤流失方程在预测一定区域立地尺度上的土壤潜在侵蚀量卓有成效,但它在模拟土地单元之间的泥沙传递方面存在缺陷。因此,需要进一步研究和探讨的问题是:(1)在该研究区域尺度上,降雨的空间变异对研究结果有多大影响?(2)定量地在降雨、土地利用、地形和土壤类型之间探求对土壤侵蚀的主控因子。(3)通过在各个子流域出口获得径流泥沙实测数据,与本文的研究结果进行对比和验证分析。另外,鉴于部分景观结构指标与土壤侵蚀程度有较高的相关性,景观指数能否作为流域土壤侵蚀治理效果的评价指标之一,有待进一步讨论。

References:

[1] Jonathan D P. Predicting minimum achievable soil loss in developing countries. Applied Geography, 1989, 9(4): 219 ~ 236.

[2] Zhang K L, Cai Y M, Liu B Y. Evaluation of soil erodibility on the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(10): 1687 ~ 1695.

[3] Tang K L. Soil and Water Conservation in China. Beijing: Sciences Press, 2004. 210 ~ 211.

维普资讯 http://www.cqvip.com

[4] Fan H M, Cai Q G, Wang H S. Condition of soil erosion in phaeozem region of northeast China. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(2): 66 ~ 70.
[5] Turner M G. Landscape ecology: The effect of pattern on process. Annual Review of Ecological Syetem, 1989, 20: 171 ~ 197.
[6] Fu B J, Chen L D, Ma K M. The Principles and Application on Landscape Ecology. Beijing: Sciences Press, 2002. 1 ~ 13.
[7] Wu J G. The key research topics in landscape ecology. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24 (9): 2074 ~ 2076.
[8] Xiao D N, Li X Z. Forefronts and future strategies of landscape ecology. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1615 ~ 1621.
[9] Wang Y L. The progress of studies on agro-landscape pattern and processes. Advances in Environmental Science, 1998, 6(2): 29 ~ 34.
[10] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. Classification, application, and creation of landscape indices. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(1): 121 ~ 125.
[11] Li X Z, Bu R C, Chang Y. The response of landscape metrics against pattern scenarios. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(1): 123 ~ 134.
[12] Chen L D, Fu B J, Xu J Y. Location- weighed landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on "Source-Sink" ecological processes. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(11): 2406 ~ 2413.
[13] Fu B J, Chen L D, Wang J. Land use structure and ecological processes. Quaternary Sciences, 2003, 23(3): 247 ~ 255.
[14] Trimble S W. Decreased rates of alluvial sediment storage in the Coon creek basin, Wisconsin, 1975 ~ 1993. Science, 1999, 285: 1244 ~ 1246.
[15] Fu B J, Chen L D, Ma K M. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau China. Acta Geographica Sinica, 1999, 54(3); 241 ~ 246.
[16] Zhang C S. The methods and achievements of soil and water conservation in Baiquan County. China Soil and Water Conservation, 2004, 2: 37 ~ 38.
[17] Luo P, Zhang B Y. The modes and corresponding technologies of eco-agricultural construction in Baiquan County. Agricultural Environment & Development, 2003, 20(1): 21 ~ 22.
[18] FRAGSTATS3.3 http:// www.nefu.edu.cn/other/vip/eco-space/ecosoft.htm
[19] Renard K G. RUSLE revisited status and the future. Soil and Water Conservation, 1994, 49(3); 213 ~ 220.
[20] Revised universal soil loss equation (RUSLE). Frederick B. Gaffney, former Conservation Agronomist USDA-Natural Resources Conservation Service, Syracuse, New York and Donald W. Lake Jr., P.E., CPESC, CPSWQ Engineering Specialist New York State Soil & Water Conservation Committee. March 2003.
[21] Richardson C W, Foster G R, Wright D A. Estimation of erosion index from daily rainfall modulus. Transactions of the ASAE, 1983, 26(1): 153 ~ 156.
[22] Zhang W B, Xie Y, Liu B Y. Rainfall erosivity estimation using daily rainfall modulus. Scientia Geographica Sinica, 2002, 22(60): 705 ~ 711.
[23] Zhang X K, Xu J H, Lu X Q. Study on soil loss equation in Heilongjiang province. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1992, 12(4); 1 ~ 9.
[24] Sharply A N, Williams J R. EPIC-Erosion productivity impact calculator Ⅰ. Model documentation. USDA Technical Bulletin, No.1976.
[25] Moore, I D, Wilson, J P. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. J. Soil and Water. Cons, 1992, 47, 423 ~ 428.
[26] Gao D W. Study on soil erodibility (K) value of soil loss equation in Heilongjiang province. Territory & Natural Resources Study, 1993, 3, 40 ~ 43.
[27] Ludwig J A, Tongway D J, Marsden S G. Stripes, strands or stipples: modelling the influence of three landscape banding patterns on resource capture and productivity in semi—arid woodlands, Australia. Catena, 1999, 37; 257 ~ 273.
[28] Liu X T, He Y, Deng W. Research on Comprehensive Development of Regional Agriculture in Northeast China. Beijing: Sciences Press, 2002. 179 ~ 188.
[29] Han X Z, Wang S Y, Song C Y. Effects of Land Use and Cover Change on Ecological Environment in Mollisols Region. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25(2): 203 ~ 208.
[30] Wei J B, Xiao D N. Landscape pattern and its functioning after ecological reconstruction in Mollisols region of northeast China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(9): 1699 ~ 1705.

参考文献:

[2] 张科利,蔡永明,刘宝元. 黄土高原地区土壤可蚀性及其应用研究. 生态学报,2001,21(10): 1687 ~ 1695.
[3] 唐克丽,等.中国水土保持 北京:科学出版社,2004.
[4] 范昊明,蔡强国,王红闪. 中国黑土区土壤侵蚀环境. 水土保持学报,2004,18(2):66 ~ 70.
[6] 傅伯杰,陈利顶, 马克明.景观生态学原理及应用.北京:科学出版社, 2002. 1 ~ 13.
[7] 邬建国.景观生态学中的十大研究论题.生态学报, 2004,24(9):2074 ~ 2076.
[8] 肖笃宁,李秀珍.景观生态学学科前沿和发展战略.生态学报, 2003,23(8):1615 ~ 1621.
[9] 王仰麟.农业景观格局与过程研究进展.环境科学进展,1998,6(2):29 ~ 34.
[10] 陈文波,肖笃宁,李秀珍. 景观指数分类、应用及构建研究. 应用生态学报,2002,13(1):121 ~ 125.
[11] 李秀珍,布仁仓,常禹. 景观格局指标对不同景观格局的反应.生态学报,2004,24(1):123 ~ 134.
[12] 陈利顶,傅伯杰,徐建英. 基于源汇生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数.生态学报, 2003, 23(11):2406 ~ 2413.
[13] 傅伯杰,陈利顶,王军. 土地利用结构与生态过程. 第四纪研究, 2003, 23(3):247 ~ 255.
[15] 傅伯杰,陈利顶,马克明.黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例.地理学报,1999,54(3):241 ~ 246.
[16] 张春山.拜泉县实施水保生态建设的做法与成效.中国水土保持,2004,2:37 ~ 38.
[17] 罗平,张百岩.拜泉县立体农林复合型水土保持生态农业模式及配套技术.农业环境与发展,2003,20(1):21 ~ 22.
[18] 景观格局分析软件包 FRAGSTATS3.3 http:// www.nefu.edu.cn/other/vip/eco-space/ecosoft.htm
[22] 章文波,谢云,刘宝元.利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究.地理科学,2002,22(60):705 ~ 711.
[23] 张宪奎,许靖华,卢秀琴. 黑龙江省土壤流失方程的研究. 水土保持通报,1992,12(4):1 ~ 9.
[26] 高德武.黑龙江省土壤流失方程中土壤可蚀性因子(K)的研究.国土与自然资源研究,1993,3,40 ~ 43.
[28] 刘兴土,何岩,邓伟.东北区域农业综合发展研究.北京:科学出版社,2002. 179 ~ 188.
[29] 韩晓增,王守宇,宋春雨.土地利用/覆盖变化对黑土生态环境的影响.地理科学,2005,25(2):203 ~ 208.
[30] 魏建兵,肖笃宁. 黑土侵蚀区生态重建的景观结构与功能分析. 应用生态学报, 2005,16(9):1699 ~ 1705.