

东北黑土区沟蚀现状及其与景观格局的关系

王文娟¹, 张树文², 邓荣鑫³

(1. 河南财经政法大学资源与环境科学系, 郑州 450002; 2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012;
3. 华北水利水电学院资源与环境学院, 郑州 450011)

摘要: 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, 该文选择典型黑土区内的克东县为研究区, 以 SPOT5 影像为基础数据源, 获取了研究区的沟蚀现状及景观格局分布现状。运用 ArcGIS 的水文分析模块提取研究区 55 个子流域作为基本分析单元, 运用 GIS 空间分析能力和 FRAGSTAT 软件获取了不同子流域的侵蚀沟密度及其对应的景观格局指数值, 通过相关性分析探讨和研究侵蚀沟与景观格局之间的关系, 据此为当地或同类地区农业景观的土地利用规划和侵蚀治理提供科学参考。结果表明研究区结构性侵蚀沟条数为 2 246 条, 最短侵蚀沟为 19.7 m, 最长侵蚀沟为 12 499.43 m, 侵蚀沟密度为 479.15 m/km², 吞噬耕地面积为 1 734.05 hm², 破坏耕地面积为 8 067.5 hm²; 研究区为典型的基质-斑块-廊道农业景观, 旱地较高的人工化是侵蚀产生的重要原因; 侵蚀沟密度与旱地和林地的面积百分比、分维数、聚集度和多样性指数的相关性分析表明, 合理的调整旱地、林地和草地的比例, 优化景观斑块空间配置, 对于抑制侵蚀具有重要性; 侵蚀沟密度与景观指数的多因子相关性分析表明, 各子流域之间的景观格局差异不是引起沟蚀差异的主要原因, 探讨沟蚀形成因素需要将多种因子综合进行分析。

关键词: 沟蚀, 侵蚀沟密度, 东北黑土区, 景观指数

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.10.034

中图分类号: S157

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-10-0192-07

王文娟, 张树文, 邓荣鑫. 东北黑土区沟蚀现状及其与景观格局的关系[J]. 农业工程学报, 2011, 27(10): 192—198.
Wang Wenjuan, Zhang Shuwen, Deng Rongxin. Gully status and relationship with landscape pattern in black soil area of Northeast China[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 192—198. (in Chinese with English abstract)

0 引言

水土流失及其导致的土地退化是生态环境恶化的重要原因之一^[1], 水土流失是中国最大的环境问题之一^[2]。中国重要商品粮基地中国东北黑土区, 近年来正面临着水土流失的严峻考验, 东北黑土区正在逐渐丧失作为商品粮基地的“黑土”基础, 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^[3]。自 20 世纪 90 年代以来, 研究者对于东北黑土区的侵蚀问题相继开展了一系列的研究^[4-11], 但是他们的研究集中于坡面侵蚀方面, 目前对于沟蚀的研究相对较少, 当前黑土区沟蚀研究主要是通过利用 GPS 野外采集数据针对几条到几十条侵蚀沟进行 3~5 a 的监测, 获取侵蚀沟的相关形状参数进行相关研究^[12-17], 对于较大时空尺度上的侵蚀沟的研究相对较少。沟蚀是重要的土地退化过程和侵蚀产沙源, Poesen 通过对全球不同地区的沟蚀产沙量进行总结得出侵蚀沟的产沙量可占流域总产沙量的 10%~94%^[18], 其产生的场内和场外危害巨大, 合理有效的防治沟蚀, 对于东北黑土区的粮食生产具有重要意义。

近年来, 生态学和水土保持学的发展已经形成了互

动的关系, 特别是将景观生态学的观点或方法用于土壤侵蚀研究是近来水土保持学研究的一个新趋势^[19]。土地利用/覆被变化是导致景观格局变化的重要因素, 土地利用结构与水土流失关系密切, 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^[20-22]。因此研究土壤侵蚀与景观格局之间的关系, 对于合理调整土地利用结构改善景观要素的数量比重和优化景观斑块的空间配置进行土壤侵蚀控制是有重要意义的^[23]。

本研究尝试将东北黑土区的沟蚀与景观格局之间的关系加以探讨, 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。本文选取黑龙江省克东县为研究区, 该县拥有典型的农业景观。农业景观比自然景观具有更大的变异性, 它既受到自然环境的制约, 又受到人类活动和社会经济条件的影响和干预。农业景观空间格局的研究有利于了解景观格局与自然, 生态过程和社会经济活动之间的关系, 对于土地资源合理利用和控制水土流失有重要意义。

本文在遥感和 GIS 支持下, 以 SPOT5 影像为基础数据源, 获取研究区的侵蚀沟分布状况数据和景观格局数据, 同时, 运用 ArcGIS 的水文分析模块提取研究区 55 个子流域作为基本分析单元, 在此基础上运用 GIS 获取了每个子流域的侵蚀沟密度, 同时运用 FRAGSTAT 软件计算出每个子流域相应的景观格局指数, 通过相关分析尝试探讨沟蚀与景观格局之间的关系, 以期为该区的侵

收稿日期: 2011-03-26 修订日期: 2011-09-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40771162)

作者简介: 王文娟 (1983—), 女, 山东省青岛人, 博士, 主要从事遥感与 GIS 在土壤侵蚀方面的应用研究。郑州 河南财经政法大学资源与环境科学系, 450002。Email: wangwenjuan@neigae.ac.cn

蚀防治提供合理的建议。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

克东县位于黑龙江省中部, $E126^{\circ}01' \sim 126^{\circ}41'$, $N47^{\circ}43' \sim 48^{\circ}18'$ 之间, 南与拜泉县毗邻, 北与五大连池市接壤, 东与北安市搭界, 西与克山县相连, 总面积 $2\,079.41\text{ km}^2$ (图 1)。克东县属于中温带大陆性气候区, 年平均气温为 1.2°C , 年平均降水量 525.1 mm , 无霜期在 $115 \sim 125\text{ d}$ 之间。克东县地处小兴安岭南前松嫩平原北部边缘地带, 地势北高南低, 其地貌类型属于小兴安岭南前倾斜冲积洪积台地 (高平原, 俗称漫岗地)。研究区地处东北黑土带, 主要土壤为黑土, 除此还分布有草甸土、沼泽土、暗棕壤、石质土等土类, 共有 11 个亚类, 31 个土种。克东县位于中国东北典型黑土区内, 是国家进行水土流失治理的克拜地区的重点县。

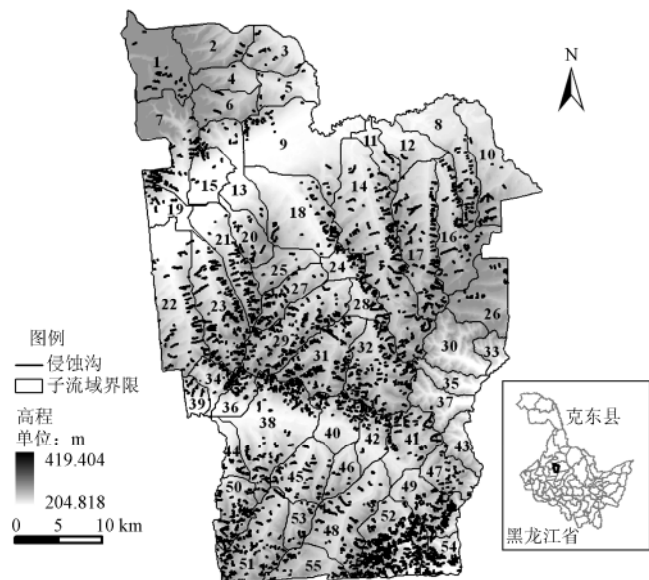


图 1 克东县位置和侵蚀沟分布

Fig.1 Location of Kedong county and gully distribution

1.2 数据来源

研究区以 3 景 SPOT5 的全色和多光谱影像融合而成的分辨率为 2.5 m 的模拟真彩色影像为获取侵蚀沟和景观类型的基础数据源。研究区侵蚀沟数据的获取主要是通过以下步骤: 首先根据方里网对研究区涉及的 12 幅 1990 年汇编而成的 $1:5$ 万地形图以 MGE 为数据处理平台, 采用二次多项式变换进行地形图纠正, 然后以纠正合格的 $1:5$ 万地形图为准, 对研究区的 SPOT5 影像采取相同方法进行精确配准; 之后, 研究组与 2008 年 8 月 19 日到 2008 年 8 月 24 日对克东县侵蚀沟进行野外调查, 调查内容主要包括土壤类型、岩性、土地利用状况, 以及侵蚀沟的沟深、沟宽、沟长、沟内主要沉积物和植被生长状况, 调查结束后, 结合侵蚀沟发育与分类理论^[24-25], 借助专家经验, 建立了侵蚀沟解译标志。解译标志建立后, 以 ArcView 软件为平台, 专家知识参与, 参照研究区 1990 年地形图和其他资料, 进行人机交互判读

解译初步获取了研究区线状以及面状侵蚀沟数据。同时, 研究组与 2008 年 11 月 12 日到 2008 年 11 月 15 日进行了侵蚀沟野外验证与补判工作, 最终回到室内重新修正数据, 获得了整个研究区的侵蚀沟分布数据 (图 1), 结果表明侵蚀沟解译精度不低于 95%。

研究区景观类型数据的获取主要是运用 SPOT5 影像, 根据影像特征 (主要是色调、纹理等), 结合专家知识、野外实测资料、第 2 次全国土地调查解译标准以及有关地理图件, 建立解译标志, 在 ArcView 平台对影像进行人机交互判读解译, 最终形成研究区景观类型图。根据野外调查情况, 数据总体精度不低于 95%。根据研究目的、数据源的特点和研究区状况, 参考分类体系及指标的相关文献^[26], 制定了水田、旱地、林地、草地、水域、建设用地、沼泽和裸地 8 种景观类型的分类体系。

数字高程 (DEM) 数据主要是对 $1:5$ 万地形图进行数字化, 获取等高线和高程点。然后采用 TOPGRID 算法建立了 5 m 分辨率的 DEM。在野外调查时, 经克东县水务局工作人员介绍获知, 从水土流失治理和规划的角度, 该县共划分了约 52 个小流域作为治理单元, 流域面积基本在 $10 \sim 50\text{ km}^2$ 。基于此, 本文在 ArcGIS 的水文分析模块支持下, 根据生成的 DEM 数据, 提取了克东县 55 个小流域作为景观格局分析的基本单元。

1.3 景观格局分析方法

景观格局分析的主要目的是从看似无序的景观中发现潜在的有意义的规律, 而景观指数已经成为定量研究景观格局和动态变化的主要方法^[27], 因此本研究利用景观指数进行景观格局分析。在指数选取上, 考虑到旱地、林地以及草地对水土流失的作用, 选择以上几种地类的面积百分比 (PLAND), 景观形状指数 (LSI), 分维数 (PAFRAC) 和聚集度指数 (AI) 作为类型水平上的景观指数, 而考虑到景观指数的独立性以及描述景观信息的全面性方面^[28], 在景观水平上分别选取形状指数中的分维数 (PAFRAC)、蔓延度指数中的聚集度 (CONTAG) 和多样性指数中的香农多样性指数 (SHDI) 作为代表。格局指数由软件 FRAGSTATS3.3 的 Arcgrid 数据格式 ($2.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$) 计算获得, 各指数的意义与适用范围见软件帮助。

1.4 侵蚀沟密度和景观格局指数相关分析

采用单因子、多因子相关性分析研究沟蚀与景观格局的关系, 分析过程用统计软件 SPSS13 来完成。

2 研究结果

2.1 研究区沟蚀现状

根据研究区的侵蚀沟数据, 获取了研究区当前的沟蚀现状 (表 1), 研究区当前共有 2 246 条侵蚀沟, 需要说明的是本文所指的侵蚀沟条数与传统意义的侵蚀沟条数的概念不同, 研究组在野外调查时, 当地的水保人员受技术、人力、物力的限制, 对于侵蚀沟还沿用传统的逐条沟拓查的方法, 此种方法由于受观察尺度的限制, 使得当地的水保人员将某些长达数千米的一条大的主沟上肉眼无法观测到的相距很远的 2 条支沟称为 2 条沟,

而本研究中充分利用了遥感影像大面积同步观测的优势,突破肉眼观测的局限,充分识别侵蚀沟的结构、形状和布局,将这种主沟以及相连的支沟判为 1 条沟,本文称这种方法获取的侵蚀沟条数为结构性条数,此种方法下该区最短侵蚀沟长度为 19.7 m,最长侵蚀沟长度为 12 499.43 m。

研究区侵蚀沟密度为 479.15 m/km²,根据水利部“土壤侵蚀分类分级标准”^[29],属于轻度侵蚀,也就是说研究区不存在沟蚀现象,但是将部颁标准简单地套用在东北黑土区有一定的局限性,从侵蚀沟切割耕地、冲蚀沃土、严重影响商品粮基地的大型机械化作业等方面考虑,即使黑土区的沟谷密度小于 1 000 m/km²,也给当地的农业可持续发展带来了严峻挑战,当前克拜黑土区严重的侵蚀状况可以进一步证明。

根据解译得到的面状侵蚀沟数据,得到当前侵蚀沟吞噬耕地面积为 1 734.05 hm²,从野外调查和对当地农民的采访中发现,离沟 30 m 以内的地方是不适宜进行耕种的,否则将加速沟蚀,甚至导致该范围内耕地永久消失。因此,本研究对当前的侵蚀沟沟边做 30 m 的缓冲区分析,获取该情况下的吞噬耕地面积为 8 067.5 hm²,在此称为破坏耕地面积,进一步说明沟蚀对耕地的影响。

总的来说,克东县作为国家水保治理重点县其沟蚀状况非常严重,沟蚀的长度、数量、面积给当地农业生产带来严重影响,影响当地粮食产量,必须加大投入力度进行沟蚀预防和治理。

表 1 克东县沟蚀现状

Table 1 Status of gully erosion in Kedong county

结构性侵蚀 沟条数	最短侵蚀 沟/m	最长侵蚀 沟/m	侵蚀沟密度/ (m·km ⁻²)	吞噬耕地 面积/hm ²	破坏耕地 面积/hm ²
2 246	19.7	12 499.43	479.15	1 734.05	8 067.5

2.2 研究区景观类型及景观格局指数

从景观类型水平上所得的各景观类型所占景观总面积的百分比(PLAND)这一指数发现,研究区各值分别为:旱地 75.72%,水田 0.21%,林地 10.7%,草地 3.32%,水域 4.17%,建设用地 3.46%,沼泽 2.1%,裸地 0.33%;另外,选择了景观类型水平上的景观形状指数(LSI),分维数(PAFRAC)和聚集度指数(AI)来分析研究区主要景观类型旱地、林地和草地与侵蚀沟密度之间的关系(图 2),从图 2 中可以看出,耕地的侵蚀沟密度是最大的,林地最小,同时从分维数(PAFRAC)可发现,由于研究区拥有大片的耕地,形状规则,因此其分维数低于林地和草地,这也是其易于产生侵蚀的原因,而从景观形状指数(LSI),也表明旱地形状较规则,集中分布,而聚集度指数(AI)反映出旱地具有最高的聚集度,可以得出,旱地格局分布规则,集中,完整,人工化程度较高,是其易于产生侵蚀的原因。

而研究区景观水平的 3 个指数值分别是分维数(PAFRAC) 1.427,聚集度(CONTAG) 75.481,香农多样性(SHDI) 0.96。反映出该区景观类型单一,各景观

类型的分布简单,缺乏多样性。从上述景观类型水平和景观格局的格局指数分析中可以得出,研究区是以旱地、林地为背景基质,水田、草地和建设用地为镶嵌斑块,水体和沼泽为廊道的典型基质-斑块-廊道农业景观,同时旱地较高的人工化是侵蚀产生的重要原因。

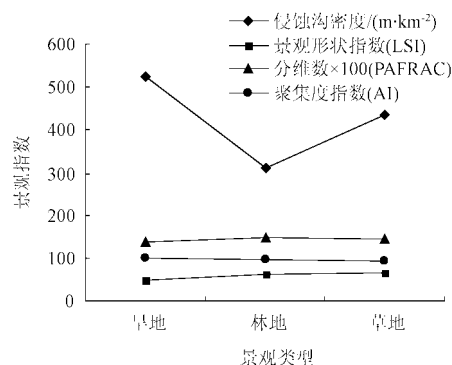


图 2 侵蚀沟密度与景观指数的关系

Fig.2 Relation of gully density and landscape metrics

2.3 子流域沟蚀状况与景观指数

小流域是一个完整的径流形成、汇集和侵蚀产沙、输沙单元,也是进行水土流失综合治理的基本单元^[30]。本文以提取的 55 个小流域作为沟蚀和景观格局关系研究的基本单元,获取小流域各自的侵蚀沟密度和景观指数,由于篇幅有限,仅举 8 个小流域作为例子(表 2)。同时求取了侵蚀沟密度以及 6 种不同指数的最大值、最小值、平均值和变异系数(表 3)。

表 2 子流域侵蚀沟密度与格局指数(示例)

Table 2 Gully density and pattern metrics in subbasin(partly)

子流域 代码	侵蚀沟密 度/(m·km ⁻²)	旱地所 占比例/ %	草地所 占比例/ %	林地所 占比例/ %	分维数	聚集度	香农多样 性指数
29	0.00	14.00	7.88	69.97	1.34	75.04	0.98
34	49.74	11.81	1.78	78.55	1.25	80.64	0.76
12	141.13	74.73	0.71	6.69	1.36	76.38	0.99
14	258.34	65.12	1.19	1.28	1.31	74.97	0.94
44	398.64	84.98	3.66	5.05	1.40	83.85	0.64
26	557.03	93.09	0.91	1.26	1.38	90.77	0.34
27	809.74	80.80	3.84	1.10	1.29	79.57	0.76
33	1 072.14	83.53	2.52	9.88	1.29	79.36	0.62

注:子流域代码见图 1。

表 3 子流域侵蚀沟密度及各指数的变化程度表

Table 3 Change extent of gully density and landscape metrics in subbasin

	侵蚀沟 密度/ (m·km ⁻²)	旱地所 占比例/ %	草地所 占比例/ %	林地所 占比例/ %	分维数	聚集度	香农多样 性指数
最小值	0.000	11.152	0.098	0.886	1.154	69.075	0.336
最大值	2 303.015	93.086	9.373	78.547	1.529	90.767	1.242
平均值	469.334	73.486	3.260	13.490	1.324	79.943	0.769
变异系数	438.739	5.417	1.227	29.943	0.004	0.255	0.042

表 3 中可以发现流域分维数, 聚集度, 香农多样性指数的变异系数都不大, 这说明每个子流域在景观格局配置上差异不是很大, 同时较低的分维数, 香农多样性指数值以及较高的聚集度, 旱地占景观总面积的百分比都反应了该区是以旱地为主要基质, 这些进一步也说明该区的景观配置较为简单。

2.4 侵蚀沟密度与景观指数的单因子相关性分析

利用 55 个子流域所得到的侵蚀模数以及各子流域相对应的景观指数值, 采用 SPASS 软件对侵蚀沟密度与所对应的景观指数进行单因子相关分析, 结果表明 (表 4), 旱地、草地、分维数以及聚集度指数与侵蚀沟密度表现出正相关关系, 而林地和香农多样性指数与侵蚀沟密度表现出负相关关系。

表 4 不同子流域侵蚀沟密度与景观指数的相关分析

Table 4 Correlation analysis between gully density and landscape metrics

	旱地所占 比例/%	草地所占 比例/%	林地所占 比例/%	分维数	聚集度	香农多样 性指数
R	0.394**	0.008	-0.307*	0.315*	0.311*	-0.369**

注:**双尾检查相关程度显著在 0.01 水平上; *双尾检查相关程度显著在 0.05 水平上。

总体上来说, 虽然侵蚀沟密度与各指数没有显示出非常高的相关性, 但是景观格局对该区侵蚀的影响的一些特征也可显示出来。旱地的正相关性说明其是该区产生侵蚀的一个因子; 林地负相关性说明林地在抑制侵蚀方面具有一定的作用, 但是由于该区的林地分布不是很均匀, 主要是集中分布在北部和东南部的丘陵状台地区 (包括爱华、发展、东兴三个国营林场), 面积也不是很大, 这都使得林地的水保功能的发挥受限制; 草地的相关性非常弱, 说明在该区草地对于侵蚀的影响不大, 这可能与草地在该区所占面积很小有关。

子流域间分维数、聚集度与侵蚀沟密度的正相关性说明研究区较低的分维数和较高的聚集度易于产生侵蚀, 这是因为研究区为典型的农业景观, 人工干预程度高, 斑块形状规则, 景观空间构型简单使得该区很容易产生水土流失现象。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, 其负相关性, 说明该指数在侵蚀预防上面具有重要指示意义。而该区由于旱地是景观的基质类型, 使得该区具有较高的景观斑块的空间延展性和连接度以及较低的景观多样性, 较高的聚集度以及较低的多样性, 加剧了土壤侵蚀危险。因此, 当前该区的景观格局的单一化和不均质性加剧了该区的水土流失, 合理的调整林地、旱地和草地的比例和格局, 增大香农多样性指数, 能够在景观水平上提高水蚀控制能力。

2.5 侵蚀沟密度与景观指数的多因子相关性分析

侵蚀沟的形成是受多种因子综合作用的结果, 基于此, 本研究为了进一步探讨侵蚀沟与景观格局之间的综合作用, 将侵蚀沟密度视为因变量 y , 景观指数作为自变量 (PAFRAC 为 x_1 , CONTAG 为 x_2 , SHDI 为 x_3 , 旱地 % 为 x_4 , 林地 % 为 x_5 , 草地 % 为 x_6) 进行多元线性逐步回归

分析。回归方程为

$$y=5\ 166.518+1\ 386.425x_1-72.026x_2-1\ 882.356x_3+9.143x_4 \quad (1)$$

结果显示, 复相关系数 $R=0.534$, 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 $F=4.994$, 相伴概率值 $p<0.001$ 。同时, 林地和草地 2 个自变量从回归方程中剔除, 说明二者在综合影响分析中作用不大。但是可以看出侵蚀沟与景观格局之间的综合作用探讨中, 多因子之间的综合作用高于单因子对于侵蚀沟形成的影响, 但是这种关系也没有呈现出非常高的相关性, 自变量仅能解释因变量的 25% 左右, 原因可能是各子流域景观格局差异小, 对沟蚀的贡献小。因此各子流域之间的景观格局差异不是引起沟蚀差异的主要原因, 这也充分说明了侵蚀沟的发展受到水文、降水、地貌、土壤、土地利用及植被的影响, 是这几个因子综合作用的结果。想进一步探讨沟蚀形成因素需要进一步加强这方面的探讨, 以达到更好的理解沟蚀发育过程。

3 结论和讨论

研究区结构性侵蚀沟条数为 2 246 条, 最短侵蚀沟为 19.7 m, 最长侵蚀沟为 12 499.43 m, 侵蚀沟密度为 479.15 m/km², 吞噬耕地面积为 1 734.05 hm², 破坏耕地面积为 8 067.5 hm², 以上的数字表明研究区正遭受着严重的沟蚀, 严重危害当地粮食生产, 必须加大力度治理。

研究区为典型的农业景观, 旱地占该区面积的 75.72%, 为基质景观类型, 其余的景观类型较少, 这种景观格局使得该区具有较低的景观分维数和香农多样性以及较高的聚集度, 但以上各指数子流域间差异较小, 这种格局加剧了该区的土壤侵蚀。也就是说集中分布的耕地将是未来水土保持的主战场。

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。子流域侵蚀沟密度与景观格局指数相关性分析的结果表明旱地是产生侵蚀的主要景观类型, 林地在抑制侵蚀上具有重要作用, 分维数、聚集度以及多样性指数的相关性分析表明, 合理的调整旱地、林地和草地的比例, 优化景观斑块空间配置, 对于抑制侵蚀具有重要性。

侵蚀沟密度与景观指数的多因子相关性分析表明各子流域之间的景观格局差异不是引起沟蚀差异的主要原因, 要想进一步探讨沟蚀形成因素需要进一步将其他影响沟蚀的自然和人为因素加入, 进行综合的深入的研究和探讨。

东北黑土区对于中国粮食安全意义重大, 但是该区受人工干预较高, 使得土地集中连片, 种植作物类型单一, 使得该区成为景观异质性小的人工农田生态系统, 这种系统加速了侵蚀的产生。本研究从水土保持的基本单元小流域角度出发探讨沟蚀与景观格局之间的关系, 对于该区的水土流失防治具有一定的指导意义, 但是研究中仍存在一些缺陷, 需要进一步探讨: 1) 景观格局分析中仅针对不同的景观类型空间格局进行分析, 而没有考虑不同景观类型上当前的水保措施的作用, 探讨水土

保持的效应对于得出更科学合理的结果具有重要意义；2) 仅考虑了侵蚀沟的长度和面积，而对于侵蚀沟的体积方面的信息都没有进行研究，如何确定这个参数，对于获取研究区侵蚀沟产沙量具有重要意义；3) 仅讨论了沟蚀与景观格局之间的关系，如何将降雨、土地利用、土壤、植被以及地貌因子加入到研究中，讨论他们与侵蚀沟形成的综合作用关系是值得思考的。

致谢：感谢松辽委松辽流域水土保持监测中心站的领导和同志在野外调查过程中给予的帮助；感谢克东县水务局的工作人员在野外调查和资料收集上给予的帮助。

[参 考 文 献]

- [1] 史志华, 蔡崇法, 丁树文, 等. 基于 GIS 和 RUSLE 的小流域农地水土保持规划研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 172—175.
Shi Zhihua, Cai Chongfa, Ding Shuwen, et al. Soil conservation planning at small watershed level using GIS-based Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE)[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 172—175. (in Chinese with English abstract)
- [2] 李运学, 邓吉华, 黄建胜. 水土流失是我国的头号环境问题[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 105—107.
Li Yunxue, Deng Jihua, Huang Jiansheng. Soil loss is the NO.1 Environment problem in China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(5): 105—107. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘晓昱. 黑土流失与整治[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 128—152.
Liu Xiaoyu. The loss of blacksoil and its rehabilitation[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(5): 128—152. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张宪奎, 许靖华, 卢秀琴, 等. 黑龙江省土壤侵蚀方程的研究[J]. 水土保持通报, 1992, 12(4): 1—9, 18.
Zhang Xiankui, Xu Jinghua, Lu Xiuqin, et al. A study on the soil loss equation in Heilongjiang Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1992, 12(4): 1—9, 18. (in Chinese with English abstract)
- [5] 阎百兴, 汤洁. 黑土侵蚀速率及其对土壤质量的影响[J]. 地理研究, 2005, 24(4): 499—505.
Yan Baixing, Tang Jie. Study on black soil erosion rate and the transformation of soil quality influenced by erosion[J]. Geographical Research, 2005, 24(4): 499—505. (in Chinese with English abstract)
- [6] 方华军, 杨学明, 张晓平, 等. ^{137}Cs 示踪技术研究坡耕地黑土侵蚀和沉积特征[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1376—1382.
Fang Huajun, Yang Xueming, Zhang Xiaoping, et al. Study on soil erosion and deposition of black soils on a sloping cultivated land using ^{137}Cs tracer method[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(6): 1376—1382. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张晓平, 梁爱珍, 申艳, 等. 东北黑土水土流失特点[J]. 地理科学, 2006, 26(6): 687—692.
Zhang Xiaoping, Liang Aizhen, Shen Yan, et al. Erosion characteristics of Black Soils in Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(6): 687—692. (in Chinese with English abstract)
- [8] 范昊明, 蔡强国, 崔明. 东北黑土漫岗区土壤侵蚀垂直分带性研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 8—11.
Fan Haoming, Cai Qiangguo, Cui Ming. Soil erosion developed with the vertical belts in the gentle hilly black soil regions in Northeast China[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(6): 8—11. (in Chinese with English abstract)
- [9] 蔡强国, 范昊明, 沈波. 松辽流域土壤侵蚀危险性分析与防治对策研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 21—24.
Cai Qiangguo, Fanhao ming, Shen Bo. Research on danger of soil erosion and prevention and cure strategy for Songhua River and Liao River Valley[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(3): 21—24. (in Chinese with English abstract)
- [10] 孟凯, 张兴义. 松嫩平原黑土退化的机理及其生态复原[J]. 土壤通报, 1998, 29(3): 100—102.
Meng Kai, Zhang Xingyi. Black soil degradation and ecological restore in Songnen Plain[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1998, 29(3): 100—102. (in Chinese with English abstract)
- [11] 林素兰, 黄毅, 聂振刚, 等. 辽北低山丘陵区坡耕地土壤流失方程的建立[J]. 土壤通报, 1997, 28(6): 261—253.
Lin Sulan, Huangyi, Nie Zhengang, et al. Soil Loss Equation establishment in low mountain and hill region of Northern Liaoning Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1997, 28(6): 261—253. (in Chinese with English abstract)
- [12] 胡刚, 伍永秋, 刘宝元, 等. GPS 和 GIS 进行短期沟蚀研究初探[J]. 水土保持学报, 2004, 18(4): 16—19, 41.
Hu Gang, Wu Yongqiu, Liu Baoyuan, et al. Preliminary research on short-term channel erosion using GPS and GIS[J]. Journal of Water and Soil Conservation, 2004, 18(4): 16—19, 41. (in Chinese with English abstract)
- [13] 游智敏, 伍永秋, 刘宝元. 利用 GPS 进行切沟侵蚀监测研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 91—94.
You Zhimin, Wu Yongqiu, Liu Baoyuan. Study of monitoring gully erosion using GPS[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(5): 91—94. (in Chinese with English abstract)
- [14] 胡刚, 伍永秋, 刘宝元, 等. 东北漫岗黑土区切沟侵蚀发育特征[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1165—1172.
Hu Gang, Wu Yongqiu, Liu Baoyuan, et al. Growth characteristics of gully erosion over rolling hilly Black Soil area of Northeast China[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(11): 1165—1172. (in Chinese with English abstract)
- [15] Hu Gang, Liu Baoyuan, Yu Zhangtao, et al. Short-term gully head retreat rates over rolling-hill areas in Black Soil of Northeast China[J]. Submitted. Catena, 2007, 71: 321—329.
- [16] Zhang Yongguang, Wu Yongqiu, Liu Baoyuan, et al. Characteristics and factors controlling the development of ephemeral gullies in cultivated catchments of black soil region[J]. Northeast China. Soil and Tillage Research, 2007, 96: 28—41.

- [17] Wu Yongqiu, Zheng Qiuhong, Zhang Yongguang, et al. Development of gullies and sediment production in the black soil region of northeastern China[J]. *Geomorphology*, 2008, 101: 683—691.
- [18] Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, et al. Gully erosion and environmental change: importance and research needs[J]. *Catena*, 2003, 50: 91—133.
- [19] 史志华. 基于 GIS 和 RS 的小流域景观格局变化及其土壤侵蚀响应[D]. 华中农业大学博士论文, 2003.
- [20] 傅伯杰, 陈利顶, 王军. 土地利用结构与生态过程[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 247—255.
Fu Bojie, Chen Liding, Wang Jun. Land use structure and ecological processes[J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(3): 247—255. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241—246.
Fu Bojie, Chen Liding, Ma Keming. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(3): 241—246. (in Chinese with English abstract)
- [22] Trimble S W. Decreased rates of alluvial sediment storage in the Coon creek basin, Wisconsin, 1975—1993 [J]. *Science*, 1999, 285: 1244—1246.
- [23] 魏建兵, 肖笃宁, 李秀珍, 等. 东北黑土区小流域农业景观结构与土壤侵蚀的关系[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2608—2615.
Wei Jianbing, Xiao Duning, Li Xiuzhen, et al. Relationship between landscape pattern and soil erosion of an agricultural watershed in the Mollisols region of northeastern China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2608—2615. (in Chinese with English abstract)
- [24] 于章涛, 伍永秋. 黑土地切沟侵蚀的成因与危害[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2003, 39(5): 701—705.
Yu Zhangtao, Wu Yongqiu. Causes and damages of gully erosion in black land[J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2003, 39(5): 701—705. (in Chinese with English abstract)
- [25] 杨华. 山西吉县黄土区切沟分类的研究[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(1): 38—43.
Yang Hua. Classification of gully in loess region of Jixian County, Shanxi Province[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2001, 23(1): 38—43. (in Chinese with English abstract)
- [26] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化的遥感时空信息研究[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2005, 54—55.
- [27] 郭晋平, 阳含熙, 张芸香. 关帝山林区景观要素空间分布及其动态研究[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 468—473.
Guo Jinping, Yang Hanxi, Zhang Yunxiang. Studies on spatial pattern and dynamics for landscape elements in guandishan forest region, Shanxi, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(4): 468—473. (in Chinese with English abstract)
- [28] Riitters K H, O'Neill, Hunsaker C T, et al. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics[J]. *Landscape Ecology*, 1995, 10: 23—39.
- [29] 水利部水土保持司. 土壤侵蚀分级标准[M]. 北京: 水利水电出版社, 1997.
- [30] 贾媛媛, 郑粉莉, 杨勤科. 黄土高原小流域分布式水蚀预报模型[J]. 水利学报, 2005, 36(3): 328—332.
Jia Yuanyuan, Zheng Fenli, Yang Qinke. Distributed water erosion prediction model for small watershed in loess plateau[J]. *Shuili Xuebao*, 2005, 36(3): 328—332. (in Chinese with English abstract)

Gully status and relationship with landscape pattern in black soil area of Northeast China

Wang Wenjuan¹, Zhang Shuwen², Deng Rongxin³

(1. Department of Resources and Environmental Sciences, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450002, China;

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China;

3. Institute of Resources and Environment, North China Institute of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: The regulation of land use structure, improvement on quantity proportion of landscape constituent and optimization of the landscape patch spatial distribution are the important measures to control erosion. Taking Kedong county in typical black soil area of Northeast China as study area, using SPOT5 image as basic data source, gully distribution status and landscape pattern were obtained for the study area. Based on hydrology analysis module, 55 subbasins were extracted as basic analysis units, then gully density and landscape pattern metrics in each subbasin were gotten using GIS spatial function and FRAGSTAT software, respectively. By correlation analysis, the relationship between gully erosion and landscape pattern was analyzed. The results showed that the number of gully is 2 246. The shortest and longest gully was 19.7 m and 12 499.43 m, respectively. Gully density is 479.15 m/km². The erosion area of

cultivated land was 1 734.05 hm² and the area of destroyed cultivated land was 8 067.5 hm². The study area is a typical matrix-patch-corridor agriculture landscape and the high factitious dry land is the main reason to cause erosion . Single-factor correlation analysis between gully density and percentage of landscape (PLAND) of dry land, forest, Perimeter-Area Fractal Dimension (PAFRAC), Contagion Index (CONTAG), and Shannon's Diversity Index (SHDI) showed that regulating the percents in dry land, grass and forest and optimizing the landscape configuration reasonably were very important for the soil erosion control and management. Multi-factor correlation analysis between gully density and landscape metrics showed that the difference of landscape pattern in subbasin was not the key reason that caused the difference of gully erosion, and therefore, research on gully formation need to integrate natural and human activities factors for further study. The research can provide suggestion for land use planning and soil erosion control in agriculture landscape.

Key words: soils, erosion, geographic information systems, gully density, Black Soil Area of Northeast China, landscape metrics