

东北丘陵区沟蚀发展现状及影响因素分析*

许晓鸿^{1†} 隋媛媛^{1,2} 张瑜¹ 欧洋² 罗莉莉³ 李阳¹

(1 吉林省水土保持科学研究院, 长春 130033)

(2 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102)

(3 梅河口市水土保持工作站, 吉林梅河口 135000)

摘要 选取第一次全国水利普查土壤水蚀普查中吉林省梅河口市 6 个野外调查单元作为典型研究区, 采用野外实地调查与地理信息技术相结合的方法, 对东北低山丘陵区坡耕地沟蚀发展现状及影响因素进行调查分析。结果表明: (1) 研究区 6 个调查单元总面积为 142.9 hm², 侵蚀沟数量共 93 条, 沟长共 5 476 m, 沟壑密度 3.83 km km⁻², 总侵蚀量为 4 575 m³。其中切沟沟长占总沟长的 61.03%, 侵蚀量占总侵蚀量的 92.35%。(2) 研究区沟蚀发展现状严峻, 其中小杨乡、红梅镇、双兴乡和一座营镇沟蚀强度为剧烈, 沟道密度分别为 7.12、4.63、5.55 和 4.25 km km⁻²。牛心顶镇和海龙镇沟蚀强度分别为强烈和中度。(3) 坡度是研究区坡耕地沟蚀发育发展的重要因子, 与沟壑密度存在较强线性相关, 相关系数为 0.71 ($p < 0.05$), 在坡度大于 8° 时沟壑密度最大。(4) 沟壑密度随坡长的增大而先增大后减小, 在坡长 200 ~ 299 m 内最大, 超过 500 m 后逐渐降低。(5) 沟壑密度与流域长宽比具有较强的相关性, 相关系数为 0.83 ($p < 0.05$), 沟壑密度随流域长宽比的增大而减少。

关键词 东北低山丘陵区; 坡耕地; 侵蚀沟; 沟壑密度

中图分类号 S157.1 **文献标识码** A

东北黑土区作为保障国家粮食安全的重要生产基地, 近年来区域人口、资源、环境和粮食生产压力日趋加重, 因此越来越多的学者开始致力于黑土区沟蚀发展与防治研究^[1-5]。坡耕地占黑土区耕地总面积的 59.4%, 在维持东北黑土区粮食高产稳产中占有重要地位^[6]。坡耕地中侵蚀沟发育使大片耕地被切割的支离破碎, 土壤资源流失加重, 破坏了农业生态环境并严重影响粮食产量^[7]。国外对于侵蚀沟的相关研究始于 20 世纪初期^[8], 现已在沟道监测技术、切沟溯源侵蚀速率等方面取得了重要进展^[9-11], 航空技术、地理信息技术及化学元素示踪技术广泛应用于该研究中^[12-14]。我国开展侵蚀沟机理及防治技术研究相对较晚, 目前对于黑土区沟蚀研究主要采用遥感解译的技术方法^[15-18], 可以对侵蚀沟的侵蚀速率和侵蚀量进行快速监测, 但在实际解译过程中往往忽略了坡耕地中浅沟对土壤侵蚀加剧发展的贡献。因此, 将野外实地调查与地

理信息系统相结合, 能够准确获取研究区地形地貌信息及坡耕地浅沟、切沟发展现状, 全面了解和掌握坡耕地中侵蚀沟道发育发展及其影响因子。

吉林省地处东北黑土区中部, 是国家重要商品粮生产基地, 具有中国“黄金玉米带”之称。根据第一次全国水利普查水土保持专项普查中侵蚀沟普查结果, 吉林省现有较大型侵蚀沟 6.30 万条, 并且侵蚀沟分布较为密集的区域为中东部低山丘陵区, 为探索沟蚀发展现状及影响因素, 本文选择吉林省梅河口市为研究区。该区位于长白山地向松辽平原过渡的典型低山丘陵地带, 地貌类型全面, 并分布有大量微地形复杂地块, 侵蚀类型复杂多样, 同时建有国家水土保持监测网络和信息系统建设二期监测点, 在该区开展侵蚀沟发育发展研究具有代表性和重要意义。在研究区内选取第一次全国水利普查土壤水蚀普查中吉林省梅河口市 6 个野外水蚀调查单元作为研究对象, 在假定研究区域气象水

* 吉林省科技发展计划重点项目(20120409)、国家“十二五”科技支撑项目(2011BAD31B01)资助

† 通讯作者, E-mail: jlsbyxxh191@163.com

作者简介: 许晓鸿(1971—), 男, 陕西汉中人, 硕士, 正高级工程师, 主要从事水土流失防治与研究工作

收稿日期: 2013-10-25; 收到修改稿日期: 2014-03-27

文因子基本相同的条件下,采取野外实地调查与遥感解译相结合的方法,开展坡耕地沟蚀发展与影响因素相关性分析,探讨分析低山丘陵区坡耕地沟蚀发育现状及机理,为侵蚀沟防治技术研究提供参考依据。

1 研究区概况

梅河口市位于吉林省东南部,地处长白山西麓和辉发河上游,地理位置 $42^{\circ}08' \sim 43^{\circ}02' N$, $125^{\circ}15' \sim 126^{\circ}03' E$ 。地势由南向北逐渐倾斜,经过中部平原又逐渐升高,最高点海拔 969.1 m,最低点海拔 300.4 m,属典型的东北低山丘陵区地貌。研究区属

温带季风气候,年均气温 $4.6^{\circ}C$,年均日照时数为 2 556 h,年均降水量为 708.3 mm,无霜期为 136 d。土壤类型共有 6 个土类,以黑土、黑钙土、白浆土为主。全市耕地面积为 $985.4 km^2$,共有 24 个乡镇,主要种植作物为玉米 (*Zea mays*) 和大豆 (*Glycine max*)。结合调查单元空间布局及侵蚀沟发生发育特点,本研究所选的 6 个典型闭合小流域分别位于梅河口市小杨乡、红梅镇、海龙镇、双兴乡、牛心顶镇和一座营镇(见图 1)。海龙镇、双兴乡和牛心顶镇为国家农业综合开发黑土区水土流失重点治理区,土地利用均以坡耕地为主,坡面缓长;沟蚀发育明显,类型全面。典型小流域概况见表 1。

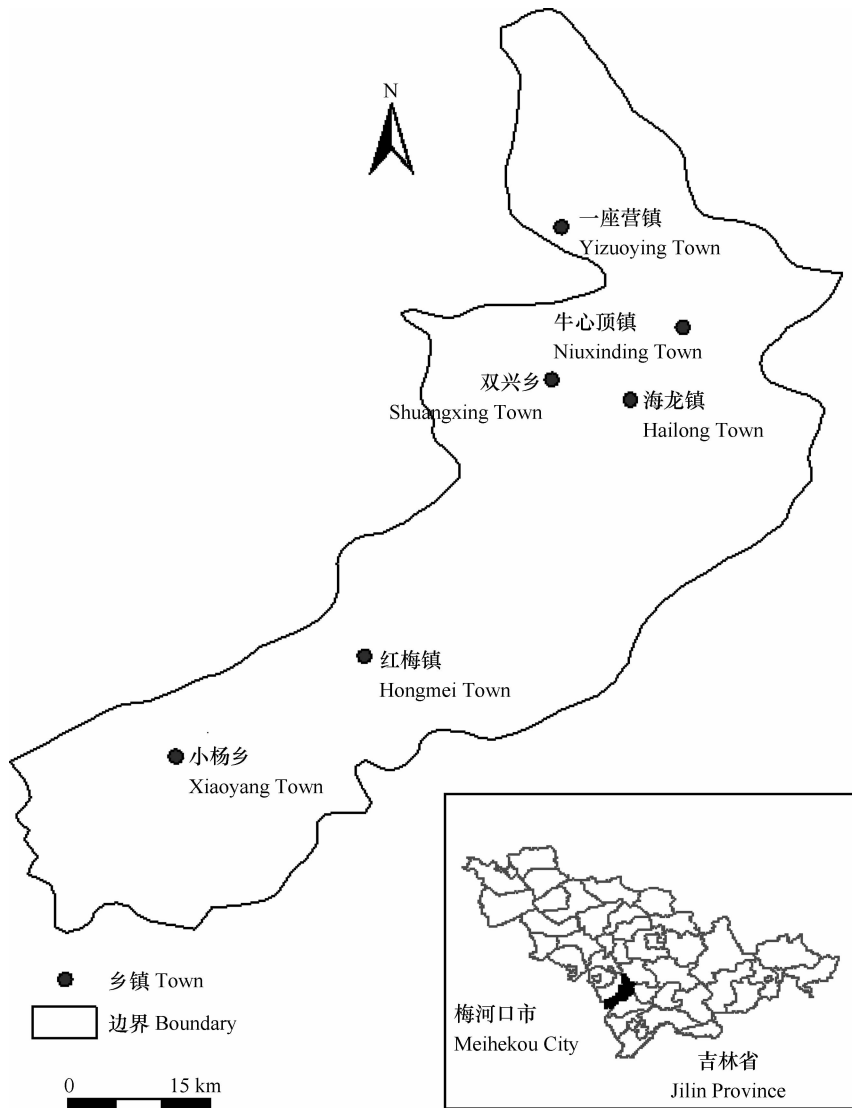


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location map of the study area

表 1 典型研究区概况

Table 1 Generalization of the typical study area

编号 No.	流域位置 Location	地理坐标 Geographic coordinate	流域汇水面积 Area of water catchment (hm ²)	长宽比 Lengthwidth ratio	平均坡度 Average slope degree(°)	土地利用 Land use type	土壤质地 Soil texture	水土保持 Conservation management
1	小杨乡 Xiaoyang Town	42°15'53"~42°16'03"N, 125°24'44"~125°25'18"E	14.39	2.5	7.9°	玉米 Corn field	壤土 Loam	无 None
2	红梅镇 Hongmei Town	42°21'7"~42°21'23"N, 125°39'10"~125°39'33"E	15.45	1.1	5.2°	玉米 Corn field	壤土 Loam	秸秆沟头填埋 Straw filling in gully
3	海龙镇 Hailong Town	42°39'14"~42°39'42"N, 125°53'37"~125°54'06"E	29.86	1.5	5.1°	玉米 Corn field	壤土 Loam	地埂植物带 Field bund with plants
4	双兴乡 Shuangxing Town	42°43'51"~42°44'14"N, 125°47'02"~125°47'33"E	26.44	1.2	6.7°	玉米 Corn field	壤土 Loam	无 None
5	牛心顶镇 Niuxinding Town	42°43'54"~42°44'23"N, 125°54'21"~125°54'55"E	32.36	1.5	6.7°	玉米 Corn field	壤土 Loam	无 None
6	一座营镇 Yizuoying Town	42°48'49"~42°49'14"N, 125°47'45"~125°48'12"E	24.39	1.3	6.6°	玉米 Corn field	壤土 Loam	无 None

2 材料与方法

2.1 数据基础及处理

本研究以第一次全国土壤水蚀普查野外调查底图为基础(由 1:10 000 地形图制成),包含调查单元编号、单元边界,等高线及比例尺等信息,比例尺精度为 0.4~0.6 m,参考遥感影像,通过野外实地调查测定侵蚀沟道特征参数,与遥感影像解译结果相互校验,勾绘各调查小流域内沟蚀空间分布图。基于 GIS 技术,对调查数据进行数据化处理(数据精度为 5 m × 5 m,相对误差 < 5%),计算沟蚀密度及侵蚀量;利用 Excel 2003 对坡耕地侵蚀沟发育状况与地形要素进行相关性分析。

2.2 野外调查路线及方法

采用 GPS 定位、实地测量及现场记录的方法对研究区坡耕地侵蚀沟发育及发展现状进行调查。调查路线依据小流域地形特征确定,首先设计确定起始路线,然后以 200 m 间距平行设置调查路线,直至覆盖整个小流域。在每条调查路线上分别标记 3 个坐标点,以供调查行进过程中 GPS 导航定位。调查过程中,先从起始路线起始点行走,将沿途发现的坡耕地侵蚀沟全部测量和记录完毕,然后重新返回原行走路线。按照此方法依次走完所有路线,以免遗漏侵蚀沟。

2.3 测量项目与方法

基本特征参数测量:将坡耕地发育侵蚀沟类型分为浅沟和切沟两种,记录各类型侵蚀沟数量;利用手持 GPS 对沟头、沟尾及明显转折点处进行定位,勾绘出侵蚀沟发展趋势线,计算沟长;使用皮卷尺和钢卷尺测量各定位断面沟宽和沟深。

侵蚀沟密度:单位面积上侵蚀沟的总长度,用来反映耕地地表的破碎程度及土壤侵蚀的剧烈程度^[19]。

$$\rho = L/S \quad (1)$$

式中, ρ 为侵蚀沟密度,km km⁻²;L 为侵蚀沟总长度,km;S 为研究区总面积,km²。

侵蚀沟总侵蚀量:依据切沟体积进行估算^[20]。

$$V = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \times L_1 + \left(\frac{A_2 + A_3}{2} \right) \times L_2 + \dots \quad (2)$$

式中, A_1 、 A_2 、 \dots 分别为各侵蚀沟道横截面面积, L_1 、 L_2 、 \dots 分别为各横截面间距。

3 结果

3.1 坡耕地侵蚀沟发展现状

浅沟和切沟是东北黑土区沟蚀发育的两种常见类型,坡耕地中发育的浅沟为沟蚀的过渡阶段,能够横向耕作,经不断侵蚀与发展,成为侵蚀性和破坏性更为强烈的切沟^[21]。图 2 为研究区不同典

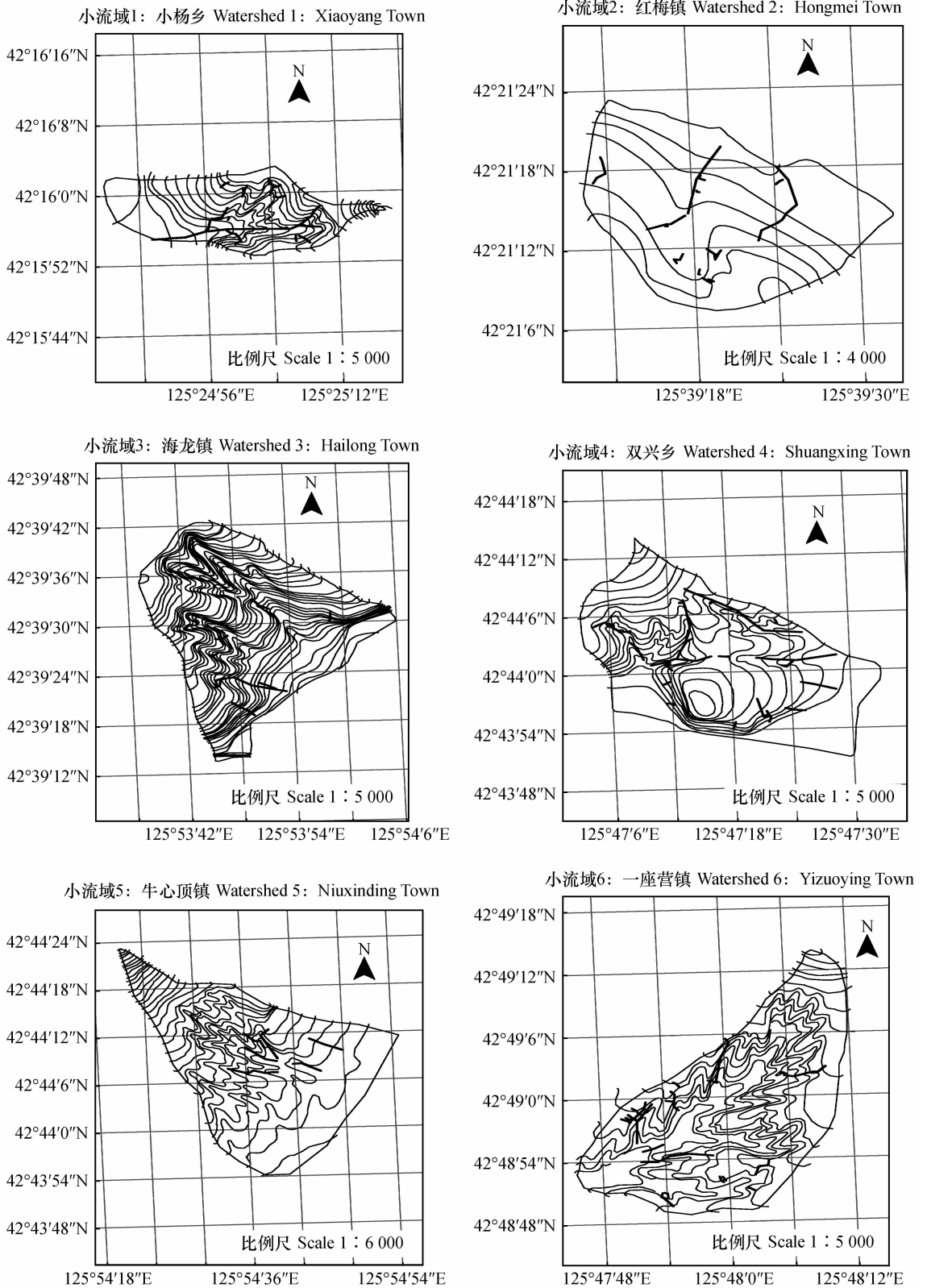


图2 典型研究区侵蚀沟道发展分布图

Fig. 2 Distribution map of gully development in the typical study area

型小流域坡耕地侵蚀沟发展分布图,由各调查单元侵蚀沟基本特征参数分析可知(见表2),研究区总面积为 142.9 hm²,侵蚀沟数量共 93 条,沟长共 5 476 m,沟壑密度 3.83 km km⁻²,总侵蚀量为 4 574 m³。其中切沟沟长占总沟长的 61.03%,侵蚀量占总侵蚀量的 92.35%,沟蚀以切沟为主;双兴乡和一座营镇坡耕地侵蚀沟数量和沟长最大,其中侵蚀沟数量均为 22 条,沟长分别为 1 468 和 1 036 m;牛心顶镇坡耕地侵蚀沟数量最少,为 6 条,侵蚀沟总长为 661.4 m。对 6 个不同小流域坡耕地侵蚀沟道发育类型进行分析,小杨乡、红梅镇、海龙镇、双兴乡发育切沟数量和沟道总长度大于浅沟,切沟数量分别为 10、10、6 和 12 条,沟长分别为 873.8、580.2、419.0 和 1 100 m;牛心顶镇和一座营镇发育浅沟数量和沟道总长度大于切沟,浅沟数量分别为 5 和 17 条,沟长为 527.2 和 801.1 m。以上分析说明,小杨乡、红梅镇、海龙镇、双兴乡四个小流域坡耕地侵蚀沟道多已发展为后期危害性较强的切沟,切沟为坡耕地沟道侵蚀的主要贡献者;牛心顶镇和一座营镇

坡耕地侵蚀沟道多为前期浅沟阶段,若不加强防治,经过一定时期有发育成为切沟的趋势。

沟道总侵蚀量和沟道密度能够作为反映坡耕地侵蚀沟发育和侵蚀剧烈程度的指标。小杨乡、红梅镇、海龙镇、双兴乡和一座营镇切沟总侵蚀量均大于浅沟,其中双兴乡坡耕地切沟侵蚀量最大,为 2 303 m³,一座营镇切沟侵蚀量最小,为 116.7 m³;牛心顶镇浅沟侵蚀量大于切沟,分别为 126.5 和 91.59 m³,这与该流域侵蚀沟分布数量及发育长度有关。六个不同典型小流域沟道密度大小顺序为小杨乡 > 双兴乡 > 红梅镇 > 一座营镇 > 牛心顶镇 > 海龙镇,根据黑土区沟蚀强度判别标准^[4],小杨乡、红梅镇、双兴乡和一座营镇沟道密度分别为 7.12、4.63、5.55 和 4.25 km km⁻²,均大于 4.00 km km⁻²,沟蚀强度表现为剧烈;牛心顶镇沟道密度为 2.04 km km⁻²,小于 3.00 km km⁻²,沟蚀强度为强烈;海龙镇沟道密度为 1.91 km km⁻²,小于 2.00 km km⁻²,表现为中度侵蚀。

表 2 典型研究区侵蚀沟道特征调查表

Table 2 Characteristics of erosion gullies in the study area

流域 Watershed	分类 Classification	数量 Gully number	沟长 Gully length (m)	总侵蚀量 Gross erosion (m ³)	沟道密度 Gully density (km km ⁻²)
小杨乡 Xiaoyang Town	浅沟 Shallow gully	7	151.4	24.16	7.12
	切沟 Gully	10	873.8	574.4	
红梅镇 Hongmei Town	浅沟 Shallow gully	5	136.0	40.80	4.63
	切沟 Gully	10	580.2	870.5	
海龙镇 Hailong Town	浅沟 Shallow gully	5	150.0	18.12	1.91
	切沟 Gully	6	419.0	268.2	
双兴乡 Shuangxing Town	浅沟 Shallow gully	10	368.2	44.16	5.55
	切沟 Gully	12	1 100	2 303	
牛心顶镇 Niuxinding Town	浅沟 Shallow gully	5	527.2	126.5	2.04
	切沟 Gully	1	134.2	91.59	
一座营镇 Yizuoying Town	浅沟 Shallow gully	17	801.1	96.12	4.25
	切沟 Gully	5	235.0	116.7	

3.2 侵蚀沟形成发育影响因素分析

坡度是影响坡耕地土壤侵蚀的重要地形因子。根据黑土区水土流失综合防治技术标准^[22]及研究区实际情况,将研究区坡度分为 <3°、3°~5°、5°~8°和 >8°四个坡度级。由图 3 分析可知,六个调查单元沟壑密度在整体上表现为随坡度级增大而增加的趋势,即坡耕地坡度越大,越有利于侵蚀沟形

成和发育,侵蚀沟沟壑密度越大。其中小杨乡、红梅镇、双兴乡、牛心顶镇和一座营镇五个研究区沟壑密度均在坡度 > 8°时取得最大值,沟壑密度分别为 8.08、12.27、6.92、2.71 和 5.42 km km⁻²;而海龙镇在坡度 3°~5°和 5°~8°时沟壑密度较大,坡度 > 8°时沟壑密度最小,对研究区坡耕地侵蚀沟密度与坡度进行相关分析(见图 4),结果表明坡耕地侵蚀

沟密度与坡度存在线性相关,相关系数为 0.71 ($p < 0.05$),坡度是影响坡耕地沟蚀剧烈程度的重要因子。

东北黑土区坡耕地具有坡面缓长的特点,结合实地调查,将研究区坡耕地坡长分为 0~99、100~199、200~299、300~399、400~499 和 500 m 以上 6 个等级。由图 5 分析可知,六个流域单元坡耕地沟蚀密度在不同的坡长范围下具有相似的分布特征,

侵蚀沟密度在 0~500 m 坡长范围内表现为沟壑密度随坡长的增加而增大,且在 200~299 m 坡长范围内沟壑密度最大,分别为 8.63、6.63、2.96、6.38、3.04 和 4.84 km km^{-2} ;当坡长超过 500 m 时,沟壑密度逐渐降低,并没有随坡长的增加而递增。沟壑密度与坡长的相关分析结果表明(见图 6),坡耕地沟壑密度与坡长不具有线性相关性,而是随坡长的增加先增大后减小。

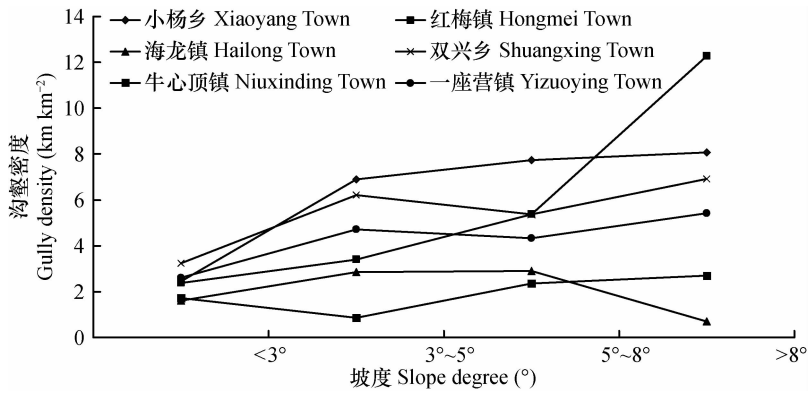


图 3 不同坡度坡耕地沟壑密度

Fig. 3 Gully densities of slope farmlands different in slope degree

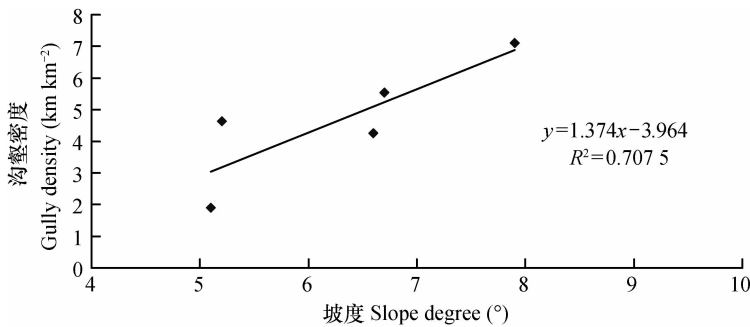


图 4 研究区坡耕地沟壑密度与平均坡度的相关关系

Fig. 4 Relationship between gully density and average slope degree of slopland in the study area

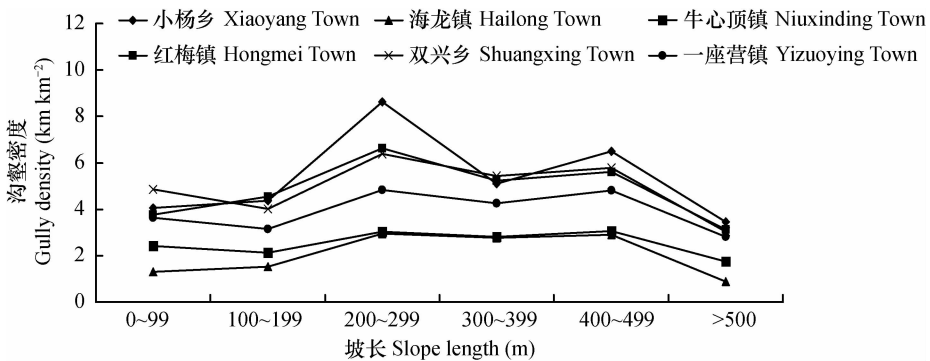


图 5 不同坡长坡耕地沟壑密度

Fig. 5 Gully densities of slope lands different in slope length

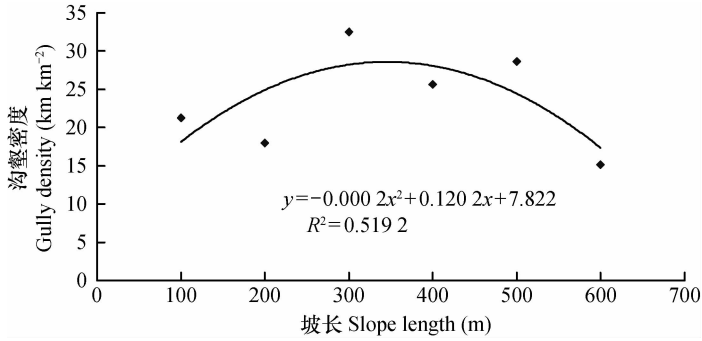


图 6 研究区坡耕地沟壑密度与坡长的相关关系

Fig. 6 Relationship between gully density and slope length of slopland in the study area

根据各调查单元地形特征,探索分析了流域长宽比对侵蚀沟发展的影响。经量算,小杨乡、红梅镇、海龙镇、双兴乡、牛心顶镇和一座营镇六个调查单元的长宽比范围为 1.1 ~ 2.51。由图 7 分析,除小杨乡外其他各流域单元沟壑密度均随流域长宽

比的增加而减小,长宽比与侵蚀沟发育具有较强的相关性,相关系数为 0.83 ($p < 0.05$)。以上结果表明,长宽比能够作为反映流域地形特征的因子之一,对流域内沟蚀发生发展具有较显著影响。

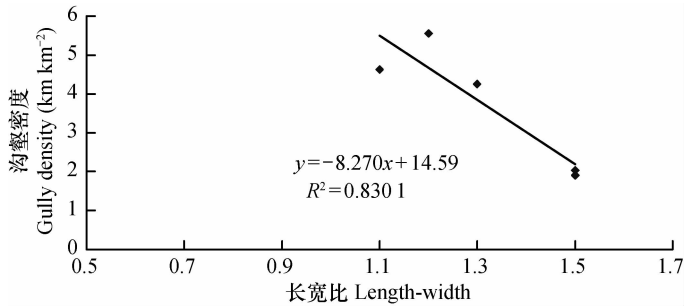


图 7 研究区坡耕地沟壑密度与流域单元长宽比的相关关系

Fig. 7 Relationship between gully density and length - width ratio of a watershed in the study area

4 讨论

在本研究 6 个调查小流域中,沟蚀强度均在中度侵蚀以上,其中有 4 个小流域沟蚀强度表现为剧烈。说明该研究区侵蚀沟发展迅速,将对黑土资源造成严重破坏,危害当地粮食生产。由野外现状调查结果可以发现,在所调查的 6 个小流域中,仅有红梅镇和海龙镇两个调查单元采用了沟头秸秆填埋和坡面地埂植物带措施,水土保持措施少且分散,不能够充分发挥防治效益,因此,应该充分加强该区域水土流失治理力度。总体上,各调查单元切沟的总侵蚀量及沟道密度高于浅沟,说明切沟作为浅沟的发展和延续,对坡耕地的侵蚀危害更为严重,这与已有大多研究结果一致^[23-24]。

本研究浅沟数量及沟长占坡耕地侵蚀沟总数量和总长度的 50% 左右,说明浅沟侵蚀为坡耕地沟

蚀不可忽略的重要部分,而目前利用遥感和 GIS 手段的大部分研究,往往是对切沟的精确提取及分析,对浅沟的研究不足^[10,25]。本研究采用地理信息技术与野外实地调查相结合的方法,初步摸清了东北低山丘陵区坡耕地浅沟、切沟的发展现状,并通过对其发育发展影响因素的分析,在一定程度上可以填补遥感解译过程中对浅沟贡献的忽略。

相关性分析表明,坡度和流域单元长宽比与沟壑密度相关性较强,流域地形因子是坡耕地侵蚀沟形成及发展的重要影响因素,这与现有研究成果相一致^[26-28]。在本研究中,除海龙镇外,其他 5 个调查小流域沟壑密度均随坡度的增大而增加,说明随坡度的增大,坡耕地产生径流入渗时间缩短,侵蚀动能增大,加剧侵蚀沟形成及扩张。而海龙镇在坡度 $> 8^\circ$ 时沟壑密度最小,经实地调查,原因是该地区坡度 8° 以上坡耕地实施了地埂植物带水土保持措施,从而减弱了水土流失及沟蚀发育。当坡长因子

超过 500 m 时,沟壑密度表现为逐渐降低的趋势,这与在实际生产中的耕作措施等人为因素影响有关。通过本文研究,长宽比是能够反映流域单元地形地貌特征的参数之一,沟壑密度随长宽比的增大而减小,当长宽比比值较大时,其能够对闭合流域汇水方式、汇水量及种植方式产生重要影响。

5 结 论

本研究将地理信息系统技术与野外实地调查相结合,研究方法合理,初步探讨了坡耕地沟蚀发展现状及影响因素。所选取 6 个不同调查小流域,沟蚀强度均在中度以上,且沟蚀以切沟为主,切沟沟长占总沟长的 61.03%,侵蚀量占总侵蚀量的 92.35%,其对坡耕地侵蚀破坏作用最强烈,但浅沟作为切沟发育发展的前期过渡阶段,对坡耕地沟蚀贡献不容忽视。坡度、坡长和长宽比是影响坡耕地侵蚀沟发育发展的重要地形地貌因子,坡度与沟壑密度相关性最大。实施水土保持措施能够有效控制坡耕地沟蚀加剧,加强和重视水土流失防治措施的应用,构建科学系统的水土流失防治技术体系,采取合理的耕作方式是遏制珍贵黑土流失,改善耕地生态环境和保障粮食生产安全的关键。

参 考 文 献

- [1] 王念忠,沈波. 东北黑土区侵蚀沟发展状况及其对粮食安全的影响. 中国水土保持科学, 2011, 9(5): 7—10. Wang N Z, Shen B. Development of gully erosion in Northeast China and its effects on the national food security (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2011, 9(5): 7—10
- [2] 苏子龙,崔明,范昊明. 基于东北漫岗黑土区坡耕地沟蚀防治的防护林带布局优化. 应用生态学报, 2012, 23(4): 903—909. Su Z L, Cui M, Fan H M. Optimization of shelter-belt distribution for the gully erosion control of cultivated slope land in rolling hill black soil region of Northeast China (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(4): 903—909
- [3] 孟令钦,李勇. 东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探. 水土保持学报, 2009, 23(1): 7—11. Meng L Q, Li Y. The mechanism of gully development on sloping farmland in black soil area, Northeast China (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(1): 7—11
- [4] 张皎,郑粉莉,温磊磊,等. 利用三维激光扫描技术动态监测沟蚀发育过程的方法研究. 水土保持通报, 2011, 31(6): 89—94. Zhang J, Zheng F L, Wen L L, et al. Methodology of dynamic monitoring gully erosion process using 3D laser scanning (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(6): 89—94
- [5] 范昊明,王铁良,蔡强国,等. 东北黑土漫岗区侵蚀沟发展模式研究. 水土保持研究, 2007, 14(6): 328—334. Fan H M, Wang T L, Cai Q G, et al. Gully erosion developing model in the gentle hilly black soil regions in Northeast China (In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(6): 328—334
- [6] 吕刚,班小峰,雷泽勇,等. 东北黑土区坡耕地治理过程中的水土保持效应. 水土保持研究, 2009, 16(6): 51—55. Lü G, Ban X F, Lei Z Y, et al. Benefit of soil and water conservation in the process of harnessing a sloping farmland in the black soil region, Northeast China (In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(6): 51—55
- [7] 刘兴土,阎百兴. 东北黑土区水土流失与粮食安全. 中国水土保持, 2009(1): 17—19. Liu X T, Yan B X. Soil erosion and food security in black soil region, Northeast China (In Chinese). Soil and Water Conservation of China, 2009(1): 17—19
- [8] 李勇. 沟蚀与全球变化. 成都: 四川科学技术出版社, 2004: 4—5. Li Y. Gully erosion under global change (In Chinese). Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2004: 4—5
- [9] Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, et al. Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. Catena, 2003, 50(2): 91—133
- [10] Oostwoud W D J, Bryan R. Gully-head erosion processes on a semi-arid valley floor in Kenya: A case study into temporal variation and sediment budgeting. Earth Surface Processes and Landforms, 2001, 26(9): 911—933
- [11] Vandekerckhove L, Poesen J, Govers G. Medium-term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements. Catena, 2003, 50(2): 329—352
- [12] Eric R, Rachid C, Lakhdar B. Gully erosion in Algeria: Typology, controlling factors and rehabilitation. Secheresse, 2000, 11(4): 317—326
- [13] Daisuke H, Kishor K K, Chandra S G. Soil erosion control measures on degraded sloping lands: A case study in Midlands of Nepal. Aquatic Ecosystem Health and Management, 2005, 8(3): 243—249
- [14] Marzolf I, Ries J B. Gully erosion monitoring in semi-arid landscapes. Zeitschrift für Geomorphologie, 2007, 51(4): 405—425
- [15] 王文娟,张树文,李颖,等. 东北黑土区近 40 年沟谷侵蚀动态及影响因素分析. 水土保持学报, 2009, 23(5): 51—55. Wang W J, Zhang S W, Li Y, et al. Dynamics and effect factors of gully in the black soil area of Northeast during the past 40 years (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(5): 51—55
- [16] 胡刚,伍永秋,刘宝元,等. 东北漫岗黑土区切沟侵蚀发育特征. 地理学报, 2007, 62(11): 1166—1172. Hu G, Wu Y Q, Liu B Y, et al. The growth characteristics of gully erosion over rolling hilly black soil area of Northeast China (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 2007, 62(11): 1166—1172
- [17] 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. 农业工程学报, 2011, 27(10): 192—198. Wang W J, Zhang S W, Deng R X. Gully status and relationship with landscape pattern in black soil area of Northeast China (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2011, 27(10): 192—198
- [18] 严业超, 张树文, 岳书平. 克拜东部黑土区侵蚀沟遥感分类与空间格局分析. 地理科学, 2007, 27(2): 193—199. Yan Y C, Zhang S W, Yue S P. Classification of erosion gullies by remote sensing and spatial pattern analysis in black soil region of eastern Kebai (In Chinese). Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(2): 193—199
- [19] 唐克丽, 史立人, 史德明, 等. 中国水土保持. 北京: 科学出版社, 2004: 146. Tang K L, Shi L R, Shi D M, et al. Soil and water conservation of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 2004: 146
- [20] Hudson N. Soil conservation. USA: Iowa State University Press, 1995: 165
- [21] 孟令钦. 东北黑土区沟蚀机理及防治模式的研究. 北京: 中国农业科学院研究生院, 2009. Meng L Q. Study on dynamics of gully erosion and its controlling in the black soil region, Northeast China (In Chinese). Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2009
- [22] 中华人民共和国水利部. 中华人民共和国水利行业标准 黑土区水土流失综合防治技术标准(SL 446—2009). 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 6. Ministry of Water Resources of P R C. National water conservancy industry standards of P R C. Techniques standard for comprehensive control of soil erosion in the black soil region (SL 446—2009) (In Chinese). Beijing: China Water Power Press, 2009: 6
- [23] 于章涛, 伍永秋. 黑土地切沟侵蚀的成因与危害. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2003, 39(5): 701—705. Yu Z T, Wu Y Q. Causes and damages of gully erosion in black land (In Chinese). Journal of Beijing Normal University: Natural Science Edition, 2003, 39(5): 701—705
- [24] 闫业超, 张树文, 岳书平. 近 40 a 黑土典型区坡沟侵蚀动态变化. 农业工程学报, 2010, 26(2): 109—115. Yan Y C, Zhang S W, Yue S P. Dynamic change of hill slope and gully erosion in typical area of black soil region during the past 40 years (In Chinese). Transaction of the CSAE, 2010, 26(2): 109—115
- [25] 闫业超, 张树文, 岳书平. 基于 Corona 和 Spot 影像的近 40 年黑土典型区侵蚀沟动态变化. 资源科学, 2006, 28(6): 154—160. Yan Y C, Zhang S W, Yue S P. Application of Corona and Spot imagery on erosion gully research in typical black soil regions of Northeast China (In Chinese). Resources Science, 2006, 28(6): 154—160
- [26] 李飞, 张树文, 李天奇. 东北典型黑土区南部侵蚀沟与地形要素之间的空间分布关系. 土壤与作物, 2012, 1(3): 148—154. Li F, Zhang S W, Li T Q. The spatial distribution relations between erosion gully and terrain factors in the South of typical black soil zone in Northeast China (In Chinese). Soil and Crop, 2012, 1(3): 148—154
- [27] 李琳琳. 基于 GIS 的典型黑土区沟蚀动态及其影响因子分析. 长春: 吉林大学地球科学学院, 2010. Li L L. An analysis of gully erosion dynamics and its affecting factors in a typical black soil area based on GIS (In Chinese). Changchun: College of Earth Science, Jilin University, 2010
- [28] 李天奇. 东北黑土区侵蚀沟成因与模型研究. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2012. Li T Q. A case study and module simulation of gully erosion in black soil region (In Chinese). Changchun: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2012

DEVELOPMENT OF GULLY EROSION AND ITS INFLUENCING FACTORS IN HILLY REGIONS OF NORTHEAST CHINA

Xu Xiaohong^{1†} Sui Yuanyuan^{1,2} Zhang Yu¹ Ou Yang² Luo Lili³ Li Yang¹

(1 Soil and Water Conservation Research Institute of Jilin Province, Changchun 130033, China)

(2 Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China)

(3 Meihekou Soil Conservation Station, Meihekou, Jilin 135000, China)

Abstract Six field investigation sites in Meihekou City, Jilin Province, which were also covered by the first national water conservancy survey of China for water erosion survey, were chosen as typical research sites in the study on development of gully erosion and its influencing factors in hilly regions with cultivated slope land in Northeast China, using field investigations coupled with geographical information technology (GIS). As results show, (1) in the six investigation units, 142.9 hm² in total area, 93 erosion gullies were found, making up 5 476 m in length, 3.83 km km⁻² in gully density and 4 575 m³ in gross erosion, and accounting for 61.03% of the total valleys in length and 92.35% of the gross erosion of the region; (2) gully erosion was quite severe in the study region, of which Xiaoyang Township, Hongmei Town, Shuangxing Township and Yizuoying Town fell into the category of “Severe” in gully erosion intensity, with gully density reaching 7.12, 4.63, 5.55 and 4.25 km km⁻² respectively, Niuxinding Town and Hailong Town was sorted into the cate-

gory of “Strong” and “Moderate”, respectively; (3) slope gradient was a critical factor of the development of gully erosion in cultivated slope land and in significant linear relationship with gully density with correlation coefficient being 0.71 ($p < 0.05$). The greatest gully density appeared on a slope with gradient $> 8^\circ$; (4) with a slope extending on and on, gully density increased first and then gradually decreased, that is, peaking when a slope varied in the range of 200 ~ 299 m in length, and declining gradually when a slope was longer than 500 m; (5) gully density was quite closely related to the length / width ratio, with correlation coefficient being 0.83 ($p < 0.05$) and it decreased with the length / width ratio increasing.

Key words Low mountain hilly region of Northeast China; Slope land; Erosion gully; Gully density

(责任编辑:汪枳生)