

# 东北 3 个典型区冲沟形态发育特征及其成因

顾广贺<sup>1</sup>, 范昊明<sup>1</sup>, 王岩松<sup>2</sup>, 钟云飞<sup>2</sup>, 刘建祥<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 水利部 松辽水利委员会, 吉林 长春 130000)

**摘要:** [目的] 研究黑土区自然环境地域性分异特征对冲沟形态的影响。[方法] 利用差分 GPS 测量冲沟, 基于 GIS 平台计算冲沟形态参数, 分析五一、光荣、吉兴 3 个典型冲沟形态特征及成因。[结果] 冲沟长度、面积、体积、宽度、深度、横断面面积之间分别成正相关关系。就冲沟长度、面积、体积而言, 五一 > 光荣 > 吉兴, 就冲沟深度、宽度、横断面面积而言, 光荣 > 五一 > 吉兴; 土壤黏粒、砾石含量, 持水能力及土层厚度对冲沟形态影响显著, 降雨因素对冲沟形态影响有限。[结论] 地形因子是影响冲沟形态的重要因素。随着地形因子的增加, 冲沟长度、面积、体积增加显著, 当地形因子为 36.75 时, 冲沟横断面面积最大。

**关键词:** 冲沟形态; 发育; 东北黑土区; 地形因子

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)03-0030-04

中图分类号: S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.013

## Morphologies Characteristics and Driving Factors of Gullies in Black Soil Region of Northeast China

GU Guanghe<sup>1</sup>, FAN Haoming<sup>1</sup>, WANG Yansong<sup>2</sup>, ZHONG Yunfei<sup>2</sup>, LIU Jianxiang<sup>2</sup>

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;

2. Songliao Water Resources Commission, Ministry of Water Resources, Changchun, Jilin 130000, China)

**Abstract:** [Objective] To study the effects of different environment factors in black soil region on gullies morphologies. [Methods] The gully morphologies were measured by differential GPS and their morphological parameters were calculated by GIS, then the reasons of different gully morphologies were analyzed. [Results] The length, area and volume of gullies were positive correlation, and the width, the depth and sectional area of gullies were positive correlation too. The gully length, gully area and gully volume in Wuyi watershed were the biggest, the second were in Gaungrong watershed, and the third were in Jixing watershed. In terms of gully width, gully depth and gully sectional area, that of Gaungrong watershed were the biggest, and then were that in Wuyi watershed and Jixing watershed. The content of soil clay and gravel, soil water-holding capacity, and soil thickness had important influences on gullies morphologies, rainfall factors had less important effects. [Conclusion] Terrain factors are the important factors influencing the gully morphologies. With the growth of terrain factor, the length, area and volume of gullies increased significantly, the sectional area of gully was the biggest when the terrain factor was 36.75.

**Keywords:** gully morphologies; developing; black soil region; terrain factors

沟蚀是土壤侵蚀的重要组成部分,完整的沟蚀序列一般包括细沟、浅沟、切沟和冲沟,绝大部分学者将细沟归入面蚀类<sup>[1]</sup>。沟道在发育过程中,形态不断变化,冲沟的出现标志着沟道发育至中后期,已度过沟道发育活跃期,形态变化相对较小。冲沟形态是多种因素多年综合作用的结果,横断面一般上游为 V 形,下游为 U 形,多呈阶梯状,沟壁陡直,以崩落、滑塌为主,下游沟底有暂时性堆积<sup>[2]</sup>。降雨、土壤、地形等因

素的不同造成黑土区冲沟形态具有地域性差异。东北黑土区是中国重要商品粮生产基地,由于人为活动的加剧,黑土区水土流失严重,沟蚀现象突出<sup>[3]</sup>,全国第一次水利普查显示黑土区共有侵蚀沟 295 663 条,沟壑密度为 0.27 km/km<sup>2</sup>,侵蚀沟已严重破坏黑土资源,严重威胁国家粮食安全,影响当地居民生活<sup>[4]</sup>。目前,对黑土区侵蚀沟的研究相对滞后,已有研究多集中于侵蚀沟的年际变化、发育速率及影响因素,对

收稿日期:2014-08-25

修回日期:2014-10-09

资助项目:国家自然科学基金项目“东北黑土低山丘陵区融雪侵蚀机理与过程研究”(41371272)

第一作者:顾广贺(1989—),男(满族),辽宁省凤城市人,硕士研究生,研究方向为土壤侵蚀机理。E-mail:guguanghe666@163.com。

通信作者:范昊明(1972—),男(汉族),吉林省白山市人,博士教授,从事流域侵蚀产沙与水土保持规划研究。E-mail:fanhaoming@163.com。

侵蚀沟形态的研究较少<sup>[5-7]</sup>。刘增文等研究发现地质地貌基础及土壤侵蚀强度的不同造成黄土残塬区沟道具有不同的形态特征<sup>[8]</sup>。Poesen 研究发现土壤类型,特别是具有不同抗蚀性的土层的垂直分布,很大程度上控制着侵蚀沟横截面的形态<sup>[9]</sup>。冲沟形态是降雨、土壤、地形等因素综合作用的结果,是发育规律的外在体现,研究选取光荣、吉兴、五一 3 条小流域为研究区域,3 条流域分别位于黑土区东北部、东南部和西北部,土壤、地形、地貌等自然因素具有一定差别,冲沟形态有较好的代表性。通过野外测量冲沟并基于 GIS 平台计算冲沟形态参数,分析冲沟形态发育特征及成因,研究成果将进一步揭示侵蚀沟发育规律,为侵蚀沟的预警及防治提供依据。

## 1 研究区概况

光荣小流域位于黑龙江省中部地区,地理位置为  $126^{\circ}50'11''\text{E}$ ,  $47^{\circ}21'7''\text{N}$ , 年均降雨量为 523.26 mm, 气温平均为  $2.6^{\circ}\text{C}$ , 漫川漫岗地貌, 面积为  $1.87\text{ km}^2$ , 土壤类型以黑土为主, 第四系覆盖广厚, 侵入岩在区内分布广泛, 以泥页岩为主, 以褶皱构造为主。吉兴流域位于吉林省南部, 地理位置为  $125^{\circ}29'48''\text{E}$ ,  $42^{\circ}12'27''\text{N}$ , 年均降雨量为 468.58 mm, 气温平均为  $3.3^{\circ}\text{C}$ , 山地丘陵地貌, 面积为  $15\text{ km}^2$ , 土壤类型以白浆土为主, 地堑盆地, 断裂较多, 构造复杂, 特有的地质活动造成流域坡陡、坡短, 地形较为破碎。五一流域位于内蒙古自治区东部, 地理位置为  $122^{\circ}43'40''\text{E}$ ,  $47^{\circ}56'45''\text{N}$ , 年均降雨量为 661.50 mm, 气温平均为  $2.6^{\circ}\text{C}$ , 低山丘陵地貌, 面积为  $3.15\text{ km}^2$ , 土壤类型以暗棕壤为主, 断裂构造为主, 出露地层主要为上元古界震旦系加疼群, 石炭系下统莫尔根河组, 二叠系上统林西组, 侏罗系中统南平组、塔木兰沟组及上库力组。研究区地理位置及冲沟数量见表 1。

表 1 各小流域冲沟位置及数量

小流域	位置	冲沟数量/条
五一	内蒙古自治区扎兰屯市	2
光荣	黑龙江省海伦县	2
吉兴	吉林省梅河口市	3

## 2 材料与方法

本研究利用差分 GPS 实地测量侵蚀沟, 仪器精度为水平精度  $(1 \pm 1/10^6)\text{ cm}$ , 垂直精度  $(2 \pm 1/10^6)\text{ cm}$ , 其配置主要包括基准站、移动站。2013 年 5 月对选取的 7 条冲沟进行测量, 测量时, 将基准站安置于固定位置, 手持移动站沿沟缘及沟底均匀采点, 地形

变化处, 加大采点密度, 每条冲沟平均采集高程点 4 387 个。基于 ArcGIS 软件对测量数据进行展点处理, 建立线图层、面图层, 参照高程点分别勾绘沟底线、沟缘线, 利用高程点空间差值获取侵蚀沟 DEM, 提取冲沟长度、宽度、面积、体积等参数见表 2 和表 3。

## 3 结论与分析

### 3.1 东北黑土区冲沟形态发育特征

3.1.1 冲沟长度、面积、体积发育特征 由表 2 可以看出, 冲沟长度、面积、体积成正相关关系, 就冲沟长度、面积、体积而言, 五一流域冲沟发育规模较大, 吉兴流域冲沟发育规模较小, 光荣流域冲沟发育规模处于二者之间。就冲沟各项指标均值而言, 五一、光荣流域冲沟长度分别为吉兴流域冲沟长度的 3.94 和 1.13 倍, 五一、光荣流域冲沟面积分别为吉兴流域冲沟面积的 4 倍、1.64 倍, 五一、光荣流域冲沟体积分别为吉兴流域冲沟体积的 37.83 和 11.19 倍。

表 2 各小流域侵蚀沟长度、面积、体积

冲沟编号	冲沟长度/m	冲沟面积/ $\text{m}^2$	冲沟体积/ $\text{m}^3$
光荣 1 号	159.98	1 152.10	1 627.09
光荣 2 号	179.54	2 459.04	8 442.13
吉兴 1 号	53.52	354.66	461.42
吉兴 2 号	129.20	281.91	220.06
吉兴 3 号	99.85	504.32	630.73
五一 1 号	734.96	3 527.62	17 661.73
五一 2 号	525.82	3 634.38	21 279.67

3.1.2 冲沟宽度、深度及横截面发育特征 由表 3 可以看出, 冲沟宽度与深度成正相关关系, 冲沟宽度、深度差别较明显, 光荣流域冲沟宽度、深度最大, 吉兴流域冲沟宽度、深度最小, 五一流域冲沟宽度、深度介于二者之间。冲沟宽深比介于  $3.47 \sim 6.58$ , 光荣流域冲沟横断面形态特征为宽度较小、深度较大, 五一流域冲沟横断面形态特征为宽度较大、深度较小。光荣、吉兴、五一流域冲沟宽度平均值分别为 13.12, 3.8, 9.06 m, 深度平均值分别为 2.81, 0.8, 1.82 m, 断面面积平均值分别为 29.34, 4.15, 15.14  $\text{m}^2$ , 光荣、五一流域冲沟宽度分别为吉兴流域冲沟宽度的 1.99 和 2.8 倍, 冲沟深度分别为吉兴流域冲沟深度的 1.73 和 3.53 倍, 光荣、五一流域断面面积分别为吉兴流域冲沟断面面积的 7.06 和 1.93 倍。

综合 3 条流域冲沟宽度、深度、横断面面积可以看出, 3 者成正相关关系, 冲沟宽度越大, 深度越大, 横断面面积越大。

表 3 各小流域侵蚀沟宽度、深度

冲沟编码	冲沟宽度/m	冲沟深度/m	宽深比	横截面积/m <sup>2</sup>
光荣 1 号	8.45	1.28	6.58	12.25
光荣 2 号	17.80	4.41	4.03	46.44
吉兴 1 号	3.86	1.11	3.47	5.68
吉兴 2 号	2.53	0.39	6.53	1.59
吉兴 3 号	5.00	1.00	5.00	5.17
五一 1 号	7.50	1.24	6.07	14.24
五一 2 号	10.63	1.74	6.10	17.73

### 3.2 东北黑土区冲沟形态成因分析

3.2.1 土壤因素对冲沟形态影响 光荣小流域黑土机械组成粒级黏重,颗粒均匀一致,质地部分为粘壤质到黏土类,土壤黏粒含量较多,砂粒(>0.02 mm)、粉粒(0.02~0.002 mm)、黏粒(小于 0.02 mm)含量分别为 34.46%,25.86%,39.7%,持水能力很强,土层较厚,自然剖面有效土层可达 200—300 cm<sup>[10]</sup>,黑土发育在黏重的黄土状亚黏土上,下层紧实,透水不良,中厚层黑土在 70 cm 下的土层每小时透水速度小于 20 mm,薄层黑土从表层起透水性是极弱的,易形成上部滞水层,加剧了土壤的分散和崩解,加快侵蚀沟形态发育。黑土独特的上层滞水性质易产生地表径流,加剧对沟头的冲刷,较强的持水能力造成黑土冬季含水量较高,加剧冻融作用对沟岸的破坏,造成沟岸崩塌、解体,沟头处侵蚀剧烈。

吉兴小流域白浆土的成土母质主要是第四纪河湖黏土沉积物,母质和土壤质地都比较黏重,0—20 cm 土层容重变化范围较大,为 0.5~1.6 g/cm<sup>3</sup>,机械组成以 0.05~0.01 mm 粗粉砂和 <0.001 mm 黏粒含量最多,表层 0—10 cm 透水速度较快,土层较薄,白浆土雨季易产生季节性还原条件,土壤表层的铁锰被还原成可溶性强的低价铁、锰,与黏粒随水向下迁移,形成 20~40 cm 紧实、板结的白浆层,当沟道下切到一定深度后,白浆层削弱了沟道下切与扩张的能力,造成冲沟宽度、深度较小,限制冲沟形态发育,由于白浆层的存在,冲沟前半段扩张能力受到限制,宽、深发育速率较慢,发育规模较小,后半段冲沟已冲破白浆层,发育规模相对较大。

五一小流域暗棕壤表层容重在 0.72~0.81 g/cm<sup>3</sup>,饱和含水率介于 83.38%~99.85%,表层含水量较高,向下剧烈降低,相差可达数倍,冻期长,冻层深造成土壤滞水现象比较严重,降低土壤抗蚀性,加剧冲沟形态发育。暗棕壤质地大多为壤质,从表层向下石砾含量逐渐增加,半风化石砾很多,土壤中混有砾石在一定程度上破坏了土壤颗粒之间的黏结力,降低土壤整体抗蚀性,冻融作用后沟岸处砾石脱落,造成土壤结构破坏,加剧沟岸的崩塌。

通过以上分析可以发现,土壤组成、土层厚度、土壤持水能力等因素都在一定程度上影响冲沟形态,土壤中黏粒、砾石含量通过影响径流流向、土壤抗蚀性,进而影响冲沟形态,土壤持水能力影响冻融作用强度,土层厚度在一定程度上限制冲沟发育深度。

3.2.2 地形因素对冲沟形态发育影响 地形是影响地表水文和土壤侵蚀的主要环境因素,坡度、坡长是反映区域地形特征的主要因素<sup>[11]</sup>。地形因素既可以决定集水区面积、冲沟发育空间,又可以影响降雨、融雪径流量、流速等条件,对冲沟形态具有重要影响。通过实地调查发现,光荣流域坡长、坡缓的地形特点为侵蚀沟上方创造大面积集水区,加大降雨、融雪汇流量,加剧径流对沟道的冲刷。吉兴流域属于地堑盆地,断裂较多,流域坡陡、坡短,地形较为破碎,限制冲沟发育空间。五一流域构造以断裂构造为主,沟头上方集水区面积较大,雨季可以形成季节性洪水,加剧侵蚀沟的发育,同时坡度、坡长较大为冲沟提供了发育空间。研究区冲沟所在坡面地形特征见表 4。

表 4 冲沟坡面地形特征

冲沟编号	坡度/%	坡长/m	集水区面积/hm <sup>2</sup>
光荣 1 号	7.50	332.36	2.23
光荣 2 号	6.40	406.42	3.67
吉兴 1 号	10.82	195.28	2.05
吉兴 2 号	6.80	179.12	1.68
吉兴 3 号	9.67	195.03	1.62
五一 1 号	6.12	805.44	3.03
五一 2 号	6.80	715.83	4.50

研究选取坡度、坡长乘积作为地形因子,分析其对冲沟形态的影响,由图 1—4 可以看出,地形因子与冲沟长度、面积、体积的发育关系密切,随着地形因子的增加,三者增加显著,相关系数分别为 0.87,0.88,0.91,这说明地形因子可以作为一个重要因素来衡量冲沟形态。由图 4 可以看出,随着地形因子的增加,冲沟横截面面积先增加后减小,地形因子达到 36.75 时,横截面面积最大。

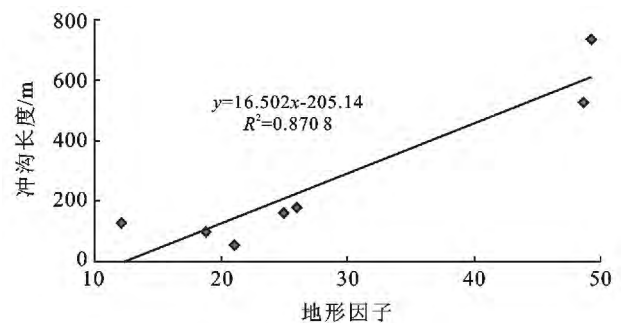


图 1 冲沟长度与地形因子关系

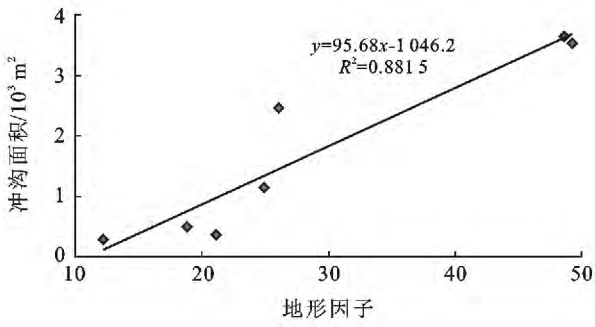


图 2 冲沟面积与地形因子关系

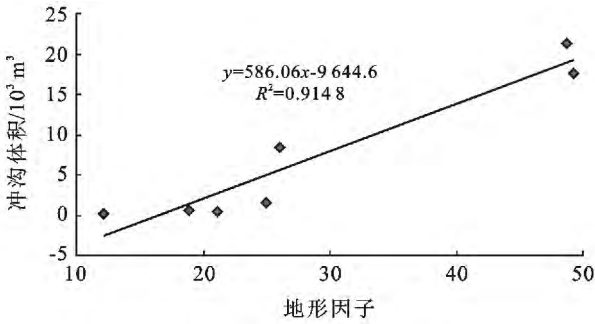


图 3 冲沟体积与地形因子关系

3.2.3 降雨侵蚀力对侵蚀沟形态发育影响 东北黑土区独特的气候条件决定降雨、冻融及融雪作用是侵蚀沟发育的主要动力因素,其中降雨、融雪对侵蚀沟发育影响具有一定相似性,多是通过降雨径流的冲刷造成侵蚀沟的发展,但由于季节性的差异,沟道内土壤性质差别较大,特别是春季解冻期土壤未解冻层的存在加剧融雪径流的冲刷作用,冻融作用可以改变土壤抗蚀性,造成沟岸崩塌,影响侵蚀沟发育。光荣、吉

兴、五一流域分别位于黑土区的东北部、东南部、西北部,地理位置决定外营力的种类及强度,3 个流域中,吉兴流域多年降雨量较多,光荣、五一流域多年平均降雨量相对较少,光荣、五一流域冻融作用更为强烈,吉兴流域冻融作用相对较弱。

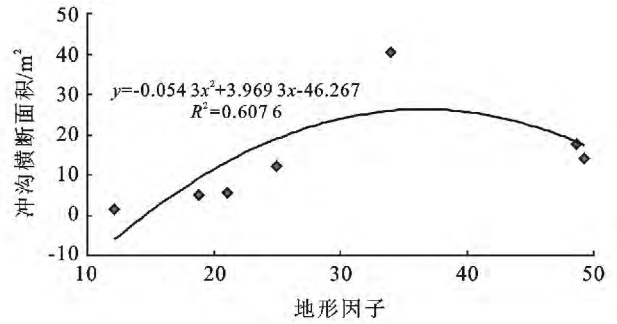


图 4 冲沟横断面面积与地形因子关系

降雨是引起土壤侵蚀的主要气候因素,降雨侵蚀力是降雨量、降雨历时、降雨强度、降雨动能等降雨侵蚀特征的综合反映,研究选取 3 个流域近 60 a 的日值降雨数据计算降雨侵蚀力,各流域降雨侵蚀力与冲沟形态参数见表 4。从中可以看出,吉兴流域降雨侵蚀力最大,但冲沟各项形态参数均为最小,光荣流域降雨侵蚀力最小,但冲沟宽度、深度、横截面面积最大,五一流域降雨侵蚀力为中间水平,但冲沟长度、面积、体积及宽深比是最大的。由此可见,冲沟形态是多因素长时间综合作用的结果,降雨因素对于冲沟形态的影响有限,土壤、地形地貌对其形态影响显著。

表 4 降雨侵蚀力与冲沟形态参数

小流域	降雨侵蚀力/ [(MJ·mm)·(hm <sup>-2</sup> ·h <sup>-1</sup> )]	冲沟 长度/m	冲沟 面积/m <sup>2</sup>	冲沟 体积/m <sup>3</sup>	冲沟 宽度/m	冲沟 深度/m	宽深比	横截面 面积/m <sup>2</sup>
光荣	1 769.76	169.76	1 805.57	5 034.61	13.13	2.85	5.31	29.35
吉兴	2 508.79	94.19	380.30	437.40	3.80	0.83	5.00	4.15
五一	1 830.72	630.39	19 470.70	19 470.70	9.07	1.49	6.09	15.99

## 4 结论

(1) 自然环境地域性分异造成冲沟形态具有一定差别,就冲沟长度、面积、体积而言,五一>光荣>吉兴;就冲沟宽度、深度、横截面面积而言,光荣>五一>吉兴,冲沟长度、面积、体积成正相关关系,冲沟深度、宽度、横截面面积成正相关关系。

(2) 土壤组成、土层厚度、土壤持水能力等因素都在一定程度上影响冲沟形态,土壤中黏粒、砾石含量影响径流流向及土壤抗蚀性,进而影响冲沟形态,土壤持水能力影响冻融作用强度,土层厚度在一定程

度上限制冲沟发育深度。

(3) 地形因子与冲沟长度、面积、体积的发育关系密切,随着地形因子的增加,三者增加显著,相关系数分别为 0.87,0.88,0.91,随着地形因子的增加,冲沟横截面面积先增加后减小,地形因子达到 36.75 时,横截面面积最大。

(4) 降雨、冻融及融雪是黑土区冲沟发育的主要动力因素,冲沟形态是多因素长时间综合作用的结果,降雨因素对于冲沟形态的影响有限,土壤、地形因素对其形态影响具有决定性作用。

(下转第 38 页)

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张玉斌, 郑粉莉, 武敏. 土壤侵蚀引起的农业非点源污染研究进展[J]. 水科学进展, 2007, 18(1): 123-132.
- [2] 周维博, 李佩成. 我国农田灌溉的水环境问题[J]. 水科学进展, 2001, 12(3): 413-417.
- [3] Berg R D, Carter D L. Furrow erosion and sediment losses on irrigated cropland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1980, 35(6): 267-270.
- [4] Koluvek P K, Tanji K K, Trout T J. Overview of soil erosion from irrigation[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1993, 119(6): 929-946.
- [5] Kirkby M J. Hillslope Hydrology [M]. Norwich: Wiley-Interscience Publication, 1991.
- [6] Philip J R. Hillslope infiltration: planar slopes[J]. Water Resources Research, 1991, 27(1): 109-117.
- [7] Jackson C R. Hillslope infiltration and lateral downslope unsaturated flow[J]. Water Resources Research, 1992, 28(9): 2533-2539.
- [8] 贾志军, 王贵平, 李俊义, 等. 土壤含水率对坡耕地产流入渗影响的研究[J]. 中国水土保持, 1987(9): 25-27, 64.
- [9] 黄明斌, 李玉山, 康绍忠, 等. 坡地单元降雨产流分析及平均入渗速率的计算[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(1): 63-68.
- [10] 陈力, 刘青泉, 李家春. 坡面降雨入渗产流规律的数值模拟研究[J]. 泥沙研究, 2001, 29(4): 61-67.
- [11] 吴发启, 赵西宁, 崔卫芳. 坡耕地耕作管理措施对降雨入渗的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 115-117.
- [12] 陈洪松, 邵明安, 王克林. 上方来水对坡面降雨入渗及土壤水分再分布的影响[J]. 水科学进展, 2005, 16(2): 233-237.
- [13] 郭建华, 吴发启, 梁心兰, 等. 坡耕地地表糙度对降水分配的试验研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 11-14.
- [14] 王小燕, 李朝霞, 蔡崇法. 砾石覆盖紫色土坡耕地水文过程[J]. 水科学进展, 2012, 23(1): 38-45.
- [15] 卫喜国, 严昌荣, 魏永霞, 等. 坡度和降雨强度对坡耕地入渗的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(4): 114-116.
- [16] 辛伟, 朱波, 唐家良, 等. 紫色土丘陵区典型坡地产流及产沙模拟试验研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2): 31-35.
- [17] 张赫斯, 张丽萍, 朱晓梅, 等. 红壤坡地降雨产流产沙动态过程模拟试验研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(5): 1210-1214.
- [18] 陈俊杰, 孙莉英, 刘俊体, 等. 不同坡长与雨强条件下坡度对细沟侵蚀的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(2): 1-5.
- [19] 王晓燕, 王静怡, 欧洋, 等. 坡面小区土壤—径流—泥沙中磷素流失特征分析[J]. 水土保持学报, 2008, 22(2): 1-5.
- [20] 吴发启, 赵西宁, 余雕. 坡耕地土壤水分入渗影响因素分析[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 16-18.
- [21] 王英文, 郝明德, 唐涛. 人工降雨条件下谷子地留茬的水土保持效应研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4): 134-137.
- [22] 胡良平. SAS 统计分析教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.

(上接第 33 页)

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 陈永宗. 黄河中游黄土丘陵区的沟谷类型[J]. 地理科学, 1984, 4(4): 321-327.
- [2] 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[J]. 水土保持研究, 2007, 14(6): 384-387.
- [3] 范海峰, 白建宏, 王勇. 基于高分辨率遥感影像调查侵蚀沟的方法[J]. 东北水利水电, 2009, 27(6): 56-57.
- [4] 王岩松, 王念忠, 钟云飞, 等. 东北黑土区侵蚀沟省际分布特征[J]. 中国水土保持, 2013(10): 67-69.
- [5] 闫业超, 张树文, 李晓燕, 等. 黑龙江克拜黑土区多年来侵蚀沟时空变化[J]. 地理学报, 2005, 60(6): 137-142.
- [6] 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.
- [7] 孟令钦, 李勇. 东北黑土区坡耕地侵蚀沟发育机理初探[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 7-11.
- [8] 刘增文, 李雅素. 黄土残塬区侵蚀沟分类研究[J]. 中国水土保持, 2003(9): 28-30.
- [9] Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, et al. Gully erosion and environmental change: importance and research needs[J]. Catena, 2003, 50(2): 91-133.
- [10] 隋跃宇, 焦晓光, 程守全, 等. 海伦市农田黑土机械组成与土壤全量养分相关关系研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2007, 23(4): 456-458.
- [11] 郭明航, 杨勤科, 王春梅. 中国主要水蚀典型区侵蚀地形特征分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(13): 81-89.