吉林省侵蚀沟分布与环境要素的关系

许晓鸿[1]，崔 斌[1]，张 瑜[2]，田立生[1]，崔海锋[1]，申聪颖[1]
(1. 吉林省水土保持科学研究院，吉林 长春 130033；2. 吉林省水利厅重点项目建设管理办公室，吉林 长春 130033)

摘 要：[目的] 探求与侵蚀沟空间分布密切的环境因子，揭示其分布特征，为侵蚀沟发育规律研究及治理提供理论依据。[方法] 利用遥感调查和抽样调查相结合的方式，基于 GIS 分析功能，对吉林省 6 个区域共 23 个调查单元(小流域)内侵蚀沟进行了调查与汇总分析，研究沟壑密度、沟壑裂度等与环境要素关系。[结果] (1) 6 个区域沟壑密度大小顺序为：敦化(16.30 km/km^2)＞辽源(6.51 km/km^2)＞梅河(5.55 km/km^2)＞伊通(4.67 km/km^2)＞九台(3.54 km/km^2)＞前郭(2.21 km/km^2)；(2) 敦化地区沟壑裂度随坡度增加先稳定后急剧降低；前郭地区沟壑裂度随坡度的增加而增加；辽源、梅河、伊通、九台 4 个地区沟壑裂度均随坡度的增加呈现先增加后减少的趋势，沟壑裂度最大值除辽源发生在 6°～9°外，其他 3 个地区均发生在 3°～6°；(3) 沟壑密度随坡度的增加而增加，二者存在较强的线性关系，相关系数达 0.755，研究中符合这一规律的样本占总体的 83%。(4) 集水区形状系数对沟壑密度具有一定的规律性影响，但这只体现在九台地区，主要表现为沟壑密度随形状系数的增加而增加；(5) 6 个地区沟壑密度与集水面积呈一元二次函数关系，29.39 hm^2 为沟壑密度发生变化的临界值。[结论] 吉林省内分异特征总体表现为由西向东和由北向南增加的趋势。不同地区沟壑裂度随坡度变化呈现出不同规律，集水区长度、平均宽度与侵蚀沟各特征指标均无显著相关性。

关键词：侵蚀沟；沟壑密度；沟壑裂度；坡度；形状系数
文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2017)03-0093-04 **中图分类号**：S157.1

文献参数：许晓鸿，崔斌，张瑜，等. 吉林省侵蚀沟分布与环境要素的关系[J]. 水土保持通报，2017，37(3)：93-96. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.016；Xu Xiaohong，Cui Bin，Zhang Yu，et al. Relationship between distributions of erosion gully and of environmental factors in Jilin Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2017，37(3)：93-96. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.03.016

Relationship Between Distributions of Erosion Gully and Environmental Factors in Jilin Province

XU Xiaohong[1], CUI Bin[1], ZHANG Yu[2], TIAN Lisheng[1], CUI Haifeng[1], SHEN Congying[1]
(1. *Jilin Academy of Soil and Water Conversation Science, Changchun, Jilin* 130033, *China*; 2. *Department of Water Resources of Jilin Province, Changchun, Jilin* 130033, *China*)

Abstract: [Objective] The distribution characteristics of erosion gully in Jilin Province and the environmental factors that are relevant with the spatial distribution were explored to provide theoretical bases for gully evolution and its harness. [Methods] Using methods of remote sensing and field investigation, gullies in 23 small watersheds distributed in six districts of Jilin Province were analyzed by GIS, mainly referred to the indices of the gully density and gully crack degree. Whereby, their relationships with environmental factors were studied. [Results] (1) The gully density in the six districts had a size rank as: Dunhua(16.30 km/km^2)＞Liaoyuan(6.51 km/km^2)＞Meihe(5.55 km/km^2) ＞Yitong(4.67 km/km^2)＞Jiutai(3.54 km/km^2)＞Qianguo(2.21 km/km^2). (2) Gully crack degree had different regional associations with slope steepness: in Dunhua district, with the increase of slope steepness, the gully crack degree was stable initially and then drastically reduced; In Qianguo District, it kept an increasing tendency. In districts of Liaoyuan, Meihe,

收稿日期：2016-10-17 **修回日期**：2016-11-13
资助项目：水利部公益性行业科研专项经费项目“黑土区退化坡耕地生产力恢复关键技术研究”(20141025)；水利部 948 项目“流域侵蚀元素迁移分析系统”(201521)；吉林省科技发展计划项目“东北黑土区坡耕地侵蚀沟道治理模式研究”(20120409)
第一作者：许晓鸿(1971—)，男(汉族)，陕西省汉中市人，硕士，正高级工程师，主要从事土壤侵蚀及水土保持与生态环境建设。E-mail：Jlsbyxxh191@163.com。

Yitong and Jiutai, variation characterized with preceding increase and later decline was more normal. The maximum of gully crack degree was found at slopes of 6°～9° in Liaoyuan district, at slopes of 3°～6° in other three districts. (3) About 81% of the investigated gullies, its density was found closely dependent upon slope steepness, their correlation coefficient was 0.734. (4) In Jiutai District, the gully shape was found associated with the gully density , the gully density exhibited an increasing tendency with slope steepness increasing. (5) Evolution of gully with respect to the density obey a quadratic function with catchment area as independent variable, in all the six districts, the point of inflection was at 29.39 hm^2 of catchment area. [Conclusion] The gully densities increased from the west to the east and from the north to the south of Jilin Province. The dependence of gully crack degree upon slope steepness varied in different districts. No significant correlations between gully density and indices as gully length, gully width, and other gully indicators were found.

Keywords: gully; gully density; gully crack degree; slope steepness; shape factor

东北黑土资源以有机质含量高、土质疏松、适宜耕作而闻名于世,号称“北大仓”,是中国重要的商品粮基地之一,区域面积 1.03×10^6 km^2[1]。长期以来,由于人类的过度垦殖和不合理耕作,造成该区大规模的水土流失,侵蚀沟不断切割地表,蚕食耕地,冲走沃土,降低了大型机械的耕作效率。据调查统计,黑土区内有侵蚀沟 29 万多条,侵蚀沟总面积 3 648.42 km^2,总长度 195 512.64 km[2]。进入 21 世纪之后,黑土区水土流失逐渐引起社会各界的关注,侵蚀沟治理与研究工作取得了一系列研究成果[3-8]。近期,按照水利部安排部署,松辽水利委员会全面启动了东北黑土区侵蚀沟治理专项规划编制工作,东北黑土区侵蚀沟治理迎来了新的时机。为助推黑土区侵蚀沟治理步伐,本研究拟以吉林省为对象,采用分层抽样方法,在吉林省水土保持区划 3 级分区共选取 6 个市县内 23 个调查单元为样本单元,进行侵蚀沟特征与环境要素关系研究,以期为整个东北黑土区内侵蚀沟的分布特征与发展规律研究提供补充。

1 研究内容与方法

1.1 典型调查单元选取

本研究选取吉林省内 6 个典型区共 23 个典型调查单元,于 2014 年 10 月进行实地现场调查,其中前郭县 1 个,梅河口市 12 个,九台市 5 个,伊通 1 个,敦化县 1 个,辽源 3 个(东辽 1 个,东丰 2 个)。各调查单元均为一个或多个闭合集水区域,对单元内切沟进行全面调查,支沟只计入长度而不计入数量。调查提取的侵蚀沟长度介于 10～569 m,集水面积介于 4.3～45.61 hm^2。以 1∶1 万地形图为底图,应用 GIS 软件,采取人机交互方式解译侵蚀沟形态要素与地形要素(见表 1),用于分析东北黑土区侵蚀沟分布特征及发展规律。

表 1 吉林省典型研究区基本情况

项 目	前郭平原	梅河口低山丘陵	九台漫川漫岗	伊通漫川漫岗	敦化山地	辽源低山丘陵
调查流域数量	1	12	5	1	1	3
流域面积/hm^2	25.85	258.62	141.89	15.25	4.30	46.85
水土流失类型区	风力侵蚀	水力侵蚀	水力侵蚀	水力侵蚀	水力侵蚀	水力侵蚀
土壤类型	草甸土	白浆土	棕壤	黑钙土	暗棕壤	暗棕壤
多年平均降水/mm	451	708	577	608	632	658
土地利用现状	耕地	耕地	耕地	耕地	耕地	耕地
平均坡度/(°)	5	9	6	12	13	6

1.2 主要调查指标及方法

(1) 集水面积。以 1∶1 万地形图为底图,利用 GIS 软件勾绘各单元集水区域,并计算集水面积。

(2) 沟壑密度及沟壑长度。通过实地测量,利用高精度差分 GPS 沿沟头至沟口在侵蚀沟拐点处定坐标点,记录各侵蚀沟点号。利用 GIS 软件根据点号绘制每条侵蚀沟,利用数据统计分析功能计算侵蚀沟总长度等沟长信息,再除以单元集水面积,得到沟壑密度。

(3) 坡度。以 1∶1 万地形图为底图,应用 GIS 软件的 3 D 分析模块,以研究区 DEM 作为数据源,建立数字坡度模型。按 0°～3°,3°～6°,6°～9°,9°～12°,

12°～15°,15°～18°,≥18°分为 7 个级别,转换矢量图斑,与沟壑裂度、集水面积等图层叠加,求得各坡度的特征值。

(4) 沟壑裂度。在实地调查中沿侵蚀沟一定距离测量断面尺寸,利用下式计算沟壑占地面积:

$$A=(\frac{L_1+L_2}{2})\cdot L_0+(\frac{L_2+L_3}{2})\cdot L_0+\cdots \quad (1)$$

式中:A——沟壑占地面积(m^2),以沟缘线为计算边界;L_1,L_2,…——各断面上口宽(m);L_0——测量断面间距(m)。利用沟壑占地面积除以单元集水面积得到沟壑裂度。

(5) 集水区形状系数。当粗略计算时,可采用经验公式[9]:

$$f=\frac{F}{L^2} \quad (2)$$

式中:f——集水区内的流域形状系数;F——集水面积(km^2);L——集水区内的流域长度(km)。

2　结果与分析

2.1　沟壑密度的地区分异

6 个市县区 23 个调查单元内侵蚀沟总数为 277 条,总长度 21.71 km,侵蚀耕地达 453 hm^2。沟壑密度大小排序为:敦化(16.30 km/km^2)>辽源(6.51 km/km^2)>梅河(5.55 km/km^2)>伊通(4.67 km/km^2)>九台(3.54 km/km^2)>前郭(2.21 km/km^2),其省内分异特征总体表现为由西向东和由北向南增加的趋势。地形和降雨是不同调查区域的 2 大主要分异要素,吉林省东南部高,西北部低,地形由中山低山过渡至风沙平原,降雨量由东南向西北逐渐减少,侵蚀类型由水力—风水复合—风力过渡,由此形成了前述沟壑密度的区域分异特征。这说明沟壑密度与区域自然要素密切相关。

2.2　沟壑裂度的坡度分异

6 个地区的沟壑裂度与坡度曲线关系体现了 3 种不同特征趋势:敦化地区沟壑裂度随坡度增加先稳定后急剧降低;前郭地区沟壑裂度随坡度的增加而增加;辽源、梅河、伊通、九台 4 个地区沟壑裂度均随坡度的增加呈现先增加后减少的趋势,沟壑裂度最大值除辽源发生在 6°～9°外,其他 3 个地区均发生在 3°～6°(图 1)。

结合实地调查和数据分析结果显示:① 敦化地区调查单元平均坡度较高,为 13°,短历时强降雨频率大,坡面易于产流且径流动能大,侵蚀沟长度大且以中型冲沟为主,沟道断面沿坡度变化较小,沟壑裂度随坡度平稳变化,在陡坡带主要为林草地,郁闭度较高,因此沟壑裂度急剧降低;② 前郭地区调查单元坡形坡向单一,缓坡带坡耕地横垄耕作基本与等高线平行,同时该区降雨量较少,垄台起到了很好的拦蓄径流作用,因此仅有少量浅沟(顺犁沟)分布。大型切沟分布在沟垄末端与道路交叉处路边陡坡,坡长较短、多为荒地、植被盖度<0.3,陡坡处侵蚀量占区域侵蚀总量的 92%,这是由于缓坡带汇集的径流通过"渠系效应"[10]形成集中股流流经落差较大坡面造成沟蚀后,沟道受长期水流切割作用沟底逐渐下切,导致沟岸在水力、重力及冻融等多营力侵蚀作用下加剧扩张所形成的。③ 辽源、梅河、伊通、九台 4 个地区调查单元区域属性比较一致。坡度大于 6°时以浅沟为主,而切沟主要分布在 6°以下的缓坡带,长度仅分别占总长度的 32%,28%,35%和 30%,但侵蚀量却分别占侵蚀总量的 72%,83%,85%,75%。这说明缓坡带往往存在大密度侵蚀沟。实地调查中发现缓坡带侵蚀沟沟头及两侧沟岸均有来水,侵蚀沟具有较大的宽长比,并且跌差较大,一般均>1 m。这证实溯源侵蚀是该区缓坡带侵蚀沟的主要发展形式。

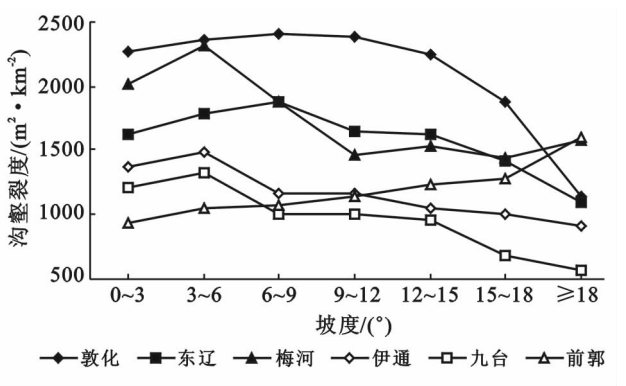


图 1　研究区沟壑裂度坡度分异

2.3　沟壑密度随坡度变化规律

坡度是地貌形态特征的主要因子。地表径流产生的能量受径流量和流速的影响,而径流量和流速的大小主要取决于径流深和地面坡度。因此,坡度直接影响径流的冲刷能力[11]。对 23 个调查单元内的沟壑密度与坡度进行了相关性分析,剔除 4 个异常点(与总体平均值偏差>3 km/km^2 的数值)后,得到剩余 19 个调查单元(占总调查单元的 83%)的沟壑密度与坡度相关关系曲线(图 2)。

从图 2 中可以看出,沟壑密度随坡度的增加而增加,二者存在较强的线性关系,相关系数达 0.755,并且符合这一规律的样本数占总体样本的 83%,说明坡度是影响沟壑密度大小的重要因子。分析认为这主要体现在坡度对土壤抗蚀性及坡面产汇流过程的

影响:侵蚀沟是由集中股流切割地表所形成,土壤抗蚀性与径流切割力相互作用,决定着侵蚀沟发育发展。一方面,通过研究及实地调查结果表明,随坡度增加,土壤中黏粒含量、土壤团聚体的几何平均直径与平均重量直径减小,土壤抗蚀性下降[12-13];另一方面,坡面产汇流过程决定径流切割力。由于存在临界坡度,使坡度对汇流历时、径流系数、径流量均有较复杂的影响,但在达到临界坡度之前,随坡度增加,存在汇流历时缩短、径流系数和径流量增加的趋势[14-15],这也加剧了侵蚀沟的发育。

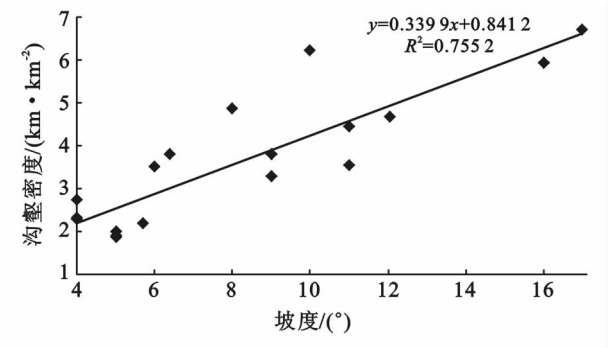


图 2 沟壑密度与坡度关系

2.4 沟壑密度随集水区形状特征因子变化规律

对 23 个调查单元集水区域的长度、平均宽度、集水面积、形状系数等体现流域形状特征的因子与侵蚀沟各指标进行了相关分析。结果为:集水区长度、平均宽度与侵蚀沟各项指标无相关性;形状系数对沟壑密度有一定的影响,但这只体现在九台地区,主要表现为沟壑密度随形状系数的增加而增加(图 3)。以上结果表明,集水区长度、平均宽度以及形状系数对侵蚀沟发育影响较小;沟壑密度随集水面积增加表现为先减小后增加,二者呈一元二次函数关系($y=0.009x^2-0.529x+10.06$)(图 4),并且通过计算,得到了 29.39 hm^2 为沟壑密度变化的临界值。对于这一结论,目前鲜有研究和报道,对此还需要大量的调查数据以及在不同尺度条件下开展进一步研究进行论证。

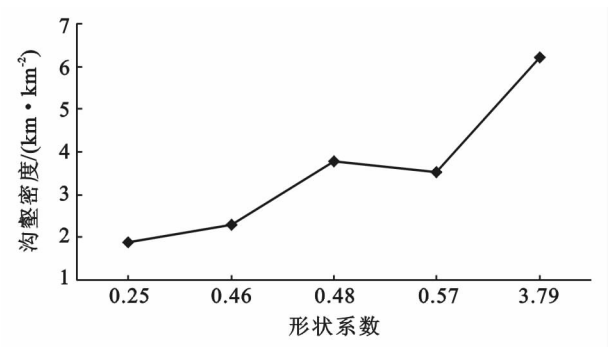


图 3 九台地区沟壑密度与形状系数关系

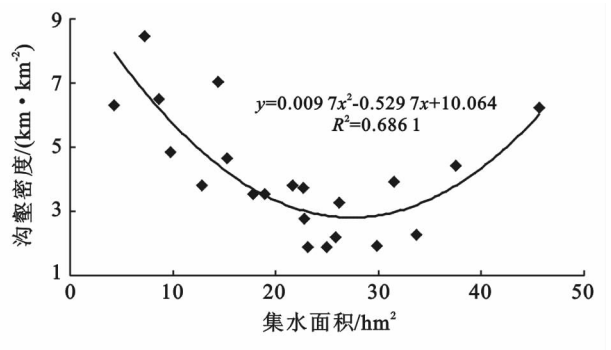


图 4 沟壑密度与集水面积关系

3 结论与讨论

(1) 吉林省侵蚀沟分异特征总体表现为由西向东和由北向南增加的趋势。6 个调查单元沟壑密度大小排序为:敦化(16.30 km/km^2)>辽源(6.51 km/km^2)>梅河(5.55 km/km^2)>伊通(4.67 km/km^2)>九台(3.54 km/km^2)>前郭(2.21 km/km^2)。

(2) 不同地区沟壑裂度随坡度变化呈现出不同规律。其中敦化地区沟壑裂度随坡度增加先稳定后急剧降低;前郭地区沟壑裂度随坡度的增加而增加;辽源、梅河、伊通、九台 4 个地区沟壑裂度均随坡度的增加呈现先增加后减少的趋势,沟壑裂度最大值除辽源发生在 6°~9°外,其他 3 个地区均发生在 3°~6°。

(3) 沟壑密度随坡度的增加而增加,二者存在较强的线性关系,相关系数达 0.755,研究中符合这一规律的样本数占总体样本的 83%。

(4) 集水区长度、平均宽度与侵蚀沟各项指标均无相关性;流域形状系数对沟壑密度具有一定的影响,但这只体现在九台地区,主要表现为沟壑密度随形状系数的增加而增加;集水面积与沟壑密度呈一元二次函数关系($y=0.009x^2-0.529x+10.06$),29.39 hm^2 为沟壑密度变化的临界值,这一结论有待于进一步的研究和论证。

[参 考 文 献]

[1] 沈波,孟令钦,任明,等.东北黑土区水土流失综合防治规划[R].长春:松辽水利委员会,2005:3-6.

[2] 王岩松,王念忠,钟云飞,等.东北墨区侵蚀沟省际分布特征[J].中国水土保持,2013(10):67-69.

[3] 闫业超,张树文,李晓燕,等.黑龙江克拜黑土区 50 多年来侵蚀沟时空变化[J].地理学报,2005,60(6):1015-1020.

[4] 胡刚,伍永秋,刘宝元,等.东北漫川漫岗黑土区浅沟和切沟发生的地貌临界模型探讨[J].地理科学,2006,26(4):449-454.

(下转第 101 页)

(3) 本文计算所需要的岩土力学及水文参数是实验室测试和前人研究成果而获得,数据具有一定的代表性和可靠性。计算的分区评价图与野外滑坡填图对比分析,斜坡稳定性评价结果和实际吻合程度较高,发生斜坡失稳面积的 71%均发生在降雨后灾害应急填图圈闭的 8 个滑坡范围内。

(4) 基于 TRIGRS 评价模型的方法适合于降雨诱发的浅层土质斜坡稳定性评价,得出的斜坡稳定性计算分区评价图,在一定程度上反映研究区的降雨诱发土质滑坡灾害空间分布关系和分布规律,为地方政府和国土部门的地质灾害防治、监测预警、群测群防体系建设提供科学依据。

[参 考 文 献]

[1] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(3):433-455.

[2] 李媛,孟晖,董颖,等. 中国地质灾害类型及其特征:基于全国县市地质灾害调查成果分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,15(2):29-31.

[3] Dietrich W E, Reiss R, Hsu M L, et al. Aprocess-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data[J]. Hydrological Processes, 1995,9(3/(4):383-400.

[4] Pack R T, Tarboton D G, Goodwin C N. The SINMAP approach to terrain stability mapping[C]//8 th Congress of the International Association of Engineering Geology. Columbia: Vancouver, 1998.

[5] Baum R L, Savage W Z, Godt J W, et al. TRIGRS: A Fortran program for transient rainfallinfiltration and grid-based regional slope-stability analysis[R]. Colorado: US Department of the Interior and US Geological Survey, 2002.

[6] Baum R L, Savage W Z, Godt J W. TRIGRS: A Fortran program for transient rainfall infiltration and grid-based regional slope-stability analysis, version 2.0[R]. Colorado: US Department of theInterior and US Geological Survey, 2008.

[7] Tarolli P, Borga M, Chang K T, et al. Modelling shallow landsliding susceptibility by incorporating heavy rainfall statistical properties[J]. Geomorphology, 2011, 133(3/4):199-211.

[8] 兰恒星,伍法权,周成虎,等. GIS 支持下的降雨型滑坡危险性空间分析预测[J]. 科学通报,2003,48(5):507-512.

[9] Godt J W, Baum R L, Savage W Z, et al. Transient deterministic shallow landslide modeling: Requirements for susceptibility and hazard assessments in a GIS framework[J]. Engineering Geology, 2008,102:214-226.

[10] 李秀珍,何思明,王震宇,等. 降雨入渗诱发斜坡失稳的物理模型适用性分析[J]. 灾害学,2015,30(1):34-38.

[11] 张桂荣,程伟. 降雨及库水位联合作用下秭归八字门滑坡稳定性预测[J]. 岩土力学,2011,32(S1):476-482.

[12] 陈崇希,林敏,成建梅. 地下水动力学[M]. 5 版. 北京:地质出版社,2011:100-110.

[13] Liu Chianan, Wu Chiachen. Mapping susceptibility of rainfall-triggered shallow landslides using a probabilistic approach[J]. Environ Geology, 2008, 55(4):907-915.

[14] Salciarini D, Godt J W, Savage W Z, et al. Modeling landslide recurrence in Seattle, Washington, USA[J]. Engineering Geology, 2008,102(3):227-237.

(上接第 96 页)

[5] 张永光,伍永秋,刘洪鹄,等. 东北漫岗黑土区地形因子对浅沟侵蚀的影响分析[J]. 水土保持学报,2007,21(1):35-38,49.

[6] 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):1165-1173.

[7] 胡刚,伍永秋,刘宝元,等. GPS 和 GIS 进行短期沟蚀研究初探:以东北漫川漫岗黑土区为例[J]. 水土保持学报,2004,18(4):16-19,41.

[8] 胡刚,伍永秋,刘宝元,等. 东北漫岗黑土区浅沟侵蚀发育特征[J]. 地理科学,2009,29(4):545-549.

[9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. (GB/T 16453.3-2008)水土保持综合治理技术规范:沟壑治理技术[S]. 北京:中国标准出版社会,2009.

[10] 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.

[11] 李飞,张树文,李天奇,等. 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[J]. 土壤与作物,2012,1(3):148-154.

[12] 王宇,韩兴,赵兰坡. 黑土坡面土壤团聚体组成特征研究[J]. 水土保持通报,2010,30(5):88-90.

[13] 靳长兴. 坡度在坡面侵蚀中的作用[J]. 地理研究,1996,13(3):57-63.

[14] 郝春红,潘英华,陈曦,等. 坡度、雨强对塿土入渗特征的影响[J]. 土壤通报,2011,42(10):1040-1044.

[15] 耿晓东,郑粉莉,张会茹. 红壤坡面降雨入渗及产流产沙特征试验研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):40-43.