

# 东北漫岗黑土区防护林带分布对浅沟侵蚀的影响

苏子龙<sup>1,2</sup>, 崔明<sup>2</sup>, 范昊明<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866; 2. 中国林业科学研究院 荒漠化研究所, 北京 100091)

**摘要:**东北漫岗黑土区坡耕地浅沟侵蚀非常严重,防护林带体系作为坡耕地的重要组成部分,势必会对浅沟侵蚀过程产生影响。本文以漫岗黑土区黑龙江鹤山农场典型小流域为研究对象,基于 Quickbird 高精度遥感影像和数字高程模型,结合实地调查结果,对小流域内防护林带的分布规律和浅沟侵蚀规律进行了分析,并探讨了防护林带布局对坡面浅沟侵蚀的影响。结果表明:在横坡耕作的坡面上,临界汇水区范围内林带的个数与临界坡长、临界汇水面积呈显著正相关,即增加林带个数、减小林带间距可以增大临界坡长和临界汇水面积,而研究区防护林带间距过大,大于该区浅沟发生的临界坡长,并且防护林带间断有利于浅沟的发育;同时,坡耕地垄向由于受到防护林带影响而与其走向一致,使垄沟笔直穿过低洼水线,形成局部顺坡垄,间接诱发浅沟侵蚀。因此,通过增加横坡耕作坡面上防护林带个数、缩小林带间距、加强林带的管护和更新,同时对不合理的防护林带进行必要的调整,才能有效防治坡面浅沟侵蚀。

**关键词:**防护林带; 浅沟侵蚀; 漫岗黑土区

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)03-0020-04

## Effect of Shelterbelts Distribution on Ephemeral Gully Erosion in the Rolling-hilly Black Soil Region of Northeast China

SU Zi-long<sup>1,2</sup>, CUI Ming<sup>2</sup>, FAN Hao-ming<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang, Liaoning

110866, China; 2. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

**Abstract:** The ephemeral gully erosion in cultivated slope lands in rolling-hilly black soil region of northeast China is very serious. As one of the most important parts of cultivated slope lands, the shelterbelt system would inevitably affect the process of ephemeral gully erosion. Based on the Quickbird high-precision remote sensing and digital elevation model, and combination with field survey results, the rules of shelterbelts distribution and ephemeral gully erosion in a small watershed of rolling-hilly black soil region in Heshan Farm of Heilongjiang Province were analyzed. The results showed that the critical slope length and catchment area for the ephemeral gully development in the region were positive linearly correlated with the number of shelterbelts in the catchment of the ephemeral gully, which means increase of the number of shelterbelts and decrease of the distance between the shelterbelts could increase the critical slope length and catchment area, then decrease the possibility of ephemeral gully erosion occurrence. The distance between the shelterbelts in the study area was too large to prevent the slope from ephemeral gully erosion, and the breaks of shelterbelts benefited the development of ephemeral gully. In addition, ridge culture was adopted in the region, the direction of furrows were affected by the shelterbelts, some of the furrows straight through low-lying water line, and some furrows along slope were formed, which induced the ephemeral gully erosion. Thus increase of the number of shelterbelts in the slope lands, decrease of the distance between shelterbelts, enhancing the management and update of shelterbelts, and adjusting unreasonable distribution of shelterbelts could be the way to prevent ephemeral gully erosion.

**Key words:** shelterbelt; ephemeral gully erosion; the rolling-hilly black soil region

收稿日期:2011-10-30

修回日期:2011-11-30

资助项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(30901163, 40901133, 41001165)

作者简介:苏子龙(1988—),男,河南省濮阳市人,硕士生,主要从事土壤侵蚀、小流域治理研究。E-mail: szl0330good@163.com

通信作者:崔明(1979—),女,主要从事土壤侵蚀、水土流失综合治理、生态恢复等方面的研究。E-mail: cuiming2009@foxmail.com

浅沟侵蚀是坡耕地常见的侵蚀方式之一<sup>[1]</sup>,一般是指由集中水流引起的沟道,通常在同一个地方重复出现,而且每年会被耕作消除<sup>[2]</sup>。东北漫岗黑土区是我国重要的商品粮生产基地,但是目前当地的土壤侵蚀的情况不容忽视,浅沟侵蚀在黑土区坡耕地上十分普遍<sup>[3]</sup>,不仅影响耕作,还导致土地生产力下降。许多学者已对该区的浅沟侵蚀展开研究,如范昊明等<sup>[4]</sup>通过对漫岗黑土区土壤侵蚀垂直分带性的研究指出浅沟、切沟主要出现在坡耕地的中下部;胡刚等<sup>[5]</sup>通过对漫岗黑土区鹤北流域两个典型小流域浅沟发育的研究,认为该区浅沟处于快速发展时期,且该区坡长坡缓的地形特点决定了浅沟发育的临界汇水面积大于黄土高原、临界坡度小于黄土高原;崔明等<sup>[6]</sup>通过对雨季浅沟发育机理的分析,认为不合理的耕作方式和微地形起伏造成的水流汇集是该地区浅沟侵蚀的主要原因,集水线处垄沟内泥沙淤积致使水道连通是诱发浅沟侵蚀的直接原因。

防护林体系是东北漫岗黑土区的一个重要子系统,对坡面和小流域的产流、汇流以及产沙、输沙过程具有重要的影响。以往的研究主要从防护林带的涵养水源、调节径流、减少泥沙等方面阐述其水土保持作用<sup>[7-8]</sup>,很少有学者从分布角度来探讨防护林带对土壤侵蚀的影响。研究防护林带分布与浅沟发育的相关关系,对漫岗黑土区的浅沟防治及防护林带布设改进具有重要的意义。本文基于RS和GIS技术,分析漫岗黑土区防护林带的布局情况,并从该角度出发,揭示其与浅沟发育的相关关系,以期能为该地区防护林建设规划和水土流失防治提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区域为黑龙江省嫩江县农垦九三分局鹤山农场六队附近的2号小流域(东经125°16′,北纬48°58′),流域面积为3.69 km<sup>2</sup>,地处小兴安岭南麓丘陵漫岗地带,坡长较长,地形起伏较小,被当地人称为“漫川漫岗”,属于典型黑土区。该区平均年降雨量在550 mm左右,降雨集中在夏季。坡耕地为小流域内主要的土地利用方式,主要种植大豆和小麦。另外,流域内分布有面积较少的防护林带和人工林地,树种为落叶松和杨树。

## 2 研究方法

### 2.1 数据的选择和处理

本研究采用2007年9月5日17时44分54秒拍摄的研究区Quickbird遥感影像,此时,研究区的雨季已接近结束,浅沟发育已非常微弱。利用ENVI

4.4将分辨率为0.61 m的全色影像和分辨率为2.44 m的多光谱影像数据进行主成分变换融合,采用立方卷积插值法重采样,然后进行正射校正和锐化增强处理,最后按照研究区范围进行剪切,得到分辨率为0.61 m的研究区真彩色影像,用于提取浅沟和防护林。在ArcGIS 9.2中将1:10 000地形图生成空间分辨率为5 m的DEM,用来提取地形参数。所有空间数据均采用横轴莫卡托(Transverse Mercator)投影和WGS—1984坐标系。

### 2.2 防护林带、浅沟及其地形参数的提取

本文采用野外实地调查与室内计算机提取防护林带、浅沟及其地形参数相结合的方法进行研究,同时参考以往的相关资料。

2.2.1 防护林带的提取及其分布规律的确定 根据以往相关资料和实地调查结果,确定研究区内防护林带的解译标志并从遥感影像上提取防护林带。研究区内主要为平行林带,并未形成网状格局,因此,选取防护林带坡面位置、带间距、走向和间断等作为确定防护林带分布的参数。其中,防护林带坡面位置由防护林带所在坡面的平均分水距确定。

2.2.2 浅沟及其地形参数的提取 结合实地调查情况和以往的研究资料,将遥感影像放大至可识别的单个像元,目视勾绘浅沟,确定浅沟的长度、数量和位置。在ArcGIS软件中运用查询功能选择坡面坡度最大处作为浅沟形成的初始位置,以此量算浅沟的临界坡度<sup>[9]</sup>,同时确定浅沟的临界坡长、并运用水文模块提取上坡临界汇水区。

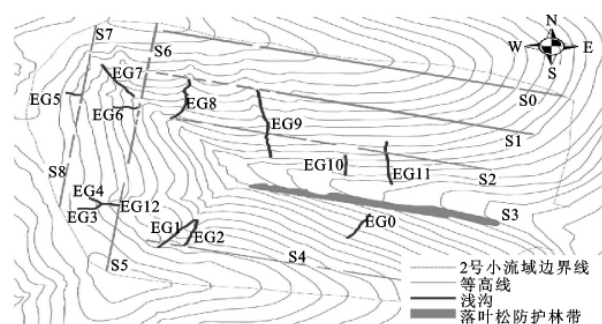


图1 2号小流域浅沟和防护林带分布图

## 3 结果与分析

### 3.1 防护林带分布规律

研究区内共有防护林带9条,树种较为单一,只有落叶松。防护林带总面积为14.93 hm<sup>2</sup>,占林地总面积的76.86%,流域总面积的4.05%,均分布在坡耕地上,从坡顶至谷底均有分布。其中阳坡上有3条、阴坡上有1条、半阳坡有4条、谷底有1条。另

外,在保证防治风害的同时,研究区内防护林带还兼顾了充分利用土地资源和方便耕种的要求,主副林带基本与所处各坡面坡长方向垂直。主林带最小间距为 284.6 m,最大间距为 472.0 m,平均间距为 354.1 m;副林带间距相差不大,平均间距为 268.0 m。此外,作为线状廊道,间断是防护林带重要的度量指标。有些间断是为农用机具进出农田预留的空隙,而有些

是由于管理不善或人为破坏造成的。间断通常以单位长度廊道上的间断数目来量度<sup>[10]</sup>,称为间断指数。经统计,研究区内平均每条林带有 3 个间断,平均间断指数达到了 2.50 个/km,有 4 条防护林带的间断个数在 3 个以上,表明该区大部分防护林带破损情况已非常严重,亟需修补和维护。防护林带各分布属性数据如表 1 所示。

表 1 2 号小流域防护林带分布属性

防护林带	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	平均
平均分水距/m	41.4	329.7	612.1	谷底	253.8	208.2	438.4	185	56.6	—
林带走向	103.8°	103.9°	103.8°	103.2°	103.1°	7.6°	7.7°	7.6°	7.8°	—
间断/个	2	6	3	0	5	1	6	4	0	3
间断指数/(个·km <sup>-1</sup> )	1.07	3.42	2.04	0	3.73	1.64	6.17	4.39	0	2.5
坡面	阳坡	阳坡	阳坡	谷底	阴坡	半阳坡	半阳坡	半阳坡	半阳坡	—
林带分属	主林带	主林带	主林带	主林带	副林带	副林带	副林带	副林带	—	—

注:林带分水距即林带到分水岭的距离;林带走向为林带与正北方向夹角。

### 3.2 浅沟的侵蚀特征

根据遥感影像的解译结果,2 号小流域共有浅沟 13 条,侵蚀沟密度达到了 0.74 km/km<sup>2</sup>(表 2)。根据水利部黑土区沟蚀强度分级标准,研究区仅浅沟侵蚀就已接近中度侵蚀强度,还未算上细沟和切沟等引起的侵蚀,由此可见,当地的土壤侵蚀状况已非常严重。浅沟侵蚀规律主要表现在发生位置、分布形式及其各项特征值的变化上<sup>[11]</sup>,本文将从分布特征和发育特征两方面分析研究区的浅沟侵蚀规律。

**3.2.1 浅沟的分布特征** 浅沟分布受坡型控制明显,多分布在低洼水线附近,分布形式受坡型影响呈现出辐散状和平行状。浅沟间距反映了浅沟分布随坡面形态的不同而产生的变化<sup>[11]</sup>,研究区的浅沟间距变化于 70~660 m,平均间距为 290 m 左右,远大于黄土高原区的浅沟间距;并且研究区浅沟分布较为分散,与黄土高原区不同,其分布间距没有明显的集中范围。另外,研究区内浅沟的临界坡长变化于 70~670 m,最小为 72.4 m,最大为 665.9 m,平均临界坡长为 313.5 m,大部分集中在 200~400 m,远大于黄土高原区的临界坡长,这是由漫岗黑土区坡长坡缓的地形特点决定的。

**3.2.2 浅沟的发育特征** 临界坡度和临界汇水面积是表征浅沟发育的主要特征值<sup>[11]</sup>。据统计,研究区内临界坡度变化为 2.6°~5.1°,最小为 2.64°,最大为 5.06°,大部分集中在 3.2°~4.2°,平均为 3.59°,远小于黄土高原区的 15°~20°的临界坡度值。由于临界坡度较小,浅沟的生成和发育就需要较大的汇水面积。研究区内临界汇水面积 0.5~15 hm<sup>2</sup>,平均为 4.88 hm<sup>2</sup>,主要集中在 4~7 hm<sup>2</sup> 的范围内,远大于黄土高原区的 0.04~0.08 hm<sup>2</sup><sup>[11]</sup>。需要注意的是,这

里所统计的临界汇水面积由于受到研究区内防护林带的影响,比实际形成浅沟所需要的临界汇水面积要大。

### 3.3 防护林带分布对浅沟侵蚀的影响

**3.3.1 防护林带个数对浅沟侵蚀的影响** 位于浅沟汇水区内的防护林带具有切割汇水区的作用,本文对小流域内各浅沟汇水区内的防护林带个数进行统计,并通过进行 Pearson 相关性检验分别分析汇水区林带个数与临界汇水面积、临界坡长和临界汇水区平均宽度的相关关系。得出林带个数与临界汇水面积和临界坡长呈显著正相关,相关系数分别为 0.610 和 0.746,可见林带个数与临界坡长相关系数大于临界汇水面积,而林带个数与临界汇水区平均宽度相关性不显著,相关系数仅为 0.287。这主要是由于研究区内防护林带均为横坡林带,对浅沟汇水区的影响主要体现在对汇水区坡长的切割上,而对汇水区宽度的影响有限。当坡面坡长一定时,增加林带的个数、减小林带间距可以增大浅沟的临界坡长和临界汇水面积。

**3.3.2 防护林带间距对浅沟侵蚀的影响** 研究区内浅沟发生的最小临界坡长为不受林带影响的浅沟 EG3 的临界坡长 72.4 m,而研究区内最小的防护林带间距为 267.7 m,远大于研究区内的最小临界坡长。这说明防护林带间距过大,即使不考虑上方来水,仅在 2 条林带之间的坡面上也有可能产生浅沟。因此,防护林带间距对研究区内坡耕地上浅沟发育影响有限,缩小防护林带间距是防治浅沟发生的有效方法。

由于研究区内浅沟的临界坡长( $L_{\text{临界}}$ )和在其临界汇水区内的防护林带个数( $n$ )呈显著正相关,故作回归分析,得到回归方程( $P \leq 0.05$ ):

$$L_{\text{临界}} = 143.37 + 130.06n \quad R^2 = 0.557 \quad (1)$$

表 2 2 号小流域浅沟侵蚀特征值

浅沟	浅沟长度/m	临界汇水 面积/hm <sup>2</sup>	临界坡长/m	临界汇水区 均宽/m	临界坡度/ (°)	汇水区 内 林带个数
EG0	203.5	11.95	419.7	284.8	3.45	1
EG1	262.5	4.21	252.9	166.3	3.28	1
EG2	191.8	4.10	263.2	155.9	3.63	1
EG3	216.1	0.54	72.4	75.2	2.64	0
EG4	72.1	1.22	185.8	65.5	2.64	1
EG5	72.5	2.40	156.4	153.4	3.24	0
EG6	122.2	1.78	385.6	46.3	3.47	1
EG7	267.8	3.42	245.6	139.3	4.97	1
EG8	309.2	5.27	338.8	155.4	4.19	2
EG9	477.5	5.93	324.2	183.0	4.08	3
EG10	142.5	14.51	665.9	217.9	5.06	3
EG11	290.5	4.37	564.3	77.5	3.41	2
EG12	92.6	3.73	200.1	186.4	2.64	1
平均	浅沟密度 0.74 km/km <sup>2</sup>	4.88	313.5	146.7	3.59	1.3

而坡面平均长度( $L$ )为:

$$L=(n-1)D+nd \tag{2}$$

式中: $D,d$ ——防护林带间距和防护林带宽度。在满足防护林带间距( $D$ )小于最小浅沟临界坡长( $L_{\min}$ )的情况下,取极限情况  $L_{\text{临界}}=L$ ,联立(1)、(2)两式,可得到:

$$n=(L-143.37)/130.06 \tag{3}$$

$$D=[(130.06-d)L+143.37d]/(L-273.43)$$

$$\text{且 } D\leq L_{\min} \tag{4}$$

式(3),(4)所得到的  $n$  和  $D$  为研究区内防治浅沟发生的坡面防护林带个数和带间距的值。但是由于研究区内样本较少,所拟合的方程(1)精度有限;另外,防护林带个数增加、间距减少势必会对坡耕地的经济效益和耕作的难易产生影响,因此,如何在它们之间取得平衡,还需要更深入的探讨。

3.3.3 防护林带的走向对浅沟侵蚀的影响 防护林带的走向主要是通过影响坡耕地耕作方式进而影响浅沟侵蚀。研究区内大部分农田为垄作,为方便耕作、减少农机具调头次数,同时避开防护林带的干扰,耕地垄向基本与防护林带走向一致,这使得垄沟笔直穿过坡面上的低洼水线,形成局部顺坡垄。在降雨或融雪时,两侧挟沙水流沿垄沟向低洼水线集中,水流所带泥沙在此处淤积,从而抬高垄沟,使该处水道连通,在此汇集的积水顺低洼水线形成坡面股流,当其冲刷力大到足以冲毁垄台时,浅沟便开始发育<sup>[6]</sup>。

3.3.4 防护林带间断对浅沟侵蚀的影响 如图 1 所示,研究区内有 7 条浅沟的集水线穿过间断,其中有 1 条浅沟直接通过间断穿过林带。这主要是由于低洼水线附近的防护林带形成局部的顺坡林带,当坡面漫流遇到林带后,除少部分入渗外,大部分沿林带流向坡面低洼处,若集水线正好通过间断或在间断附近,水流就会在间断处汇集形成股流穿过间断,沿集水线流下坡

面,形成浅沟。值得注意的是,即使没有间断,若在集水线附近形成的股流冲刷力足够大,浅沟也会穿过林带继续发育,例如浅沟 EG9 和 EG11。但浅沟在防护林带处发生了间断,并在其上方形成淤积,下方形成跌坎,这说明防护林带具有减缓径流冲刷力的作用。

4 结 论

(1) 浅沟汇水区内防护林带个数与浅沟的临界坡长和临界汇水面积呈显著正相关,而与临界汇水区平均宽度相关关系不显著,说明由于受到防护林带影响,浅沟的发育需要更大的汇水面积,这主要是通过增大临界坡长实现的。另外研究区内的防护林带间距偏大,远大于不受防护林带影响下浅沟发育的最小临界坡长,即在降雨或融雪时,不考虑上坡来水的情况下,仅两条林带之间的坡面长度就足以形成浅沟。因此,通过增加坡面上防护林带个数、缩短防护林带间距可以防治浅沟的发育,并提出了可以防治浅沟发生的坡面防护林带个数和带间距计算方法: $n=(L-143.37)/130.06$  和  $D=[(130.06-d)L+143.37d]/(L-273.43)$ ,且  $D\leq L_{\min}$ ,但由于样本较少,该式精度有限,可以通过广泛调查来提高该式的精度。另外,坡面防护林带数和带间距的确定还需要平衡防护林带的水保效益与坡耕地经济效益以及耕作的难易,这方面需要更加深入的研究。

(2) 研究区内防护林带均为横坡林带,其走向决定了坡耕地的垄向,间接导致水流汇集和低洼水线处垄沟内泥沙淤积联通水道而诱发浅沟。另外,研究区内防护林带破损严重,而防护林带间断利于坡面漫流形成股流,对浅沟的发育有促进作用,因此,应加强对防护林带的维护和修补。

(下转第 29 页)

- [2] Bockheim J G. Solution and use of chronofunctions in studying soil development[J]. *Geoderma*, 1980, 24(1): 71-84.
- [3] Vincent K R, Bull W B, Chadwick O A. Construction of a soil chronosequence using the thickness of pedogenic carbonate coatings[J]. *Journal of Geological Education*, 1994, 42: 316-324.
- [4] Birkeland P W. Holocene soil chronofunctions, Southern Alps, New Zealand[J]. *Geoderma*, 1984, 34(2): 115-134.
- [5] Huggett R J. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: a critical review[J]. *Catena*, 1998, 32(3/4): 155-172.
- [6] Schaetzl R J, Barrett L R, Winkler J A. Choosing models for soil chronofunctions and fitting them to data[J]. *European Journal of Soil Science*, 1994, 45(2): 219-232.
- [7] 胡双熙. 陇东和陇中黑垆土的发生与演变[J]. *土壤学报*, 1994, 31(3): 295-304.
- [8] 陈晓远, 乌力更, 李绍良, 等. 全新世以来乌盟南部地区黑垆土的发生与演变规律[J]. *土壤通报*, 1998, 29(6): 241-244.
- [9] 唐克丽, 贺秀斌. 第四纪黄土剖面多元古土壤形成发育信息的揭示[J]. *土壤学报*, 2002, 39(5): 609-617.
- [10] Finke P A, Hutson J L. Modelling soil genesis in calcareous loess[J]. *Geoderma*, 2008, 145(3/4): 462-479.
- [11] Merritts D J, Chadwick O A, Hendricks D M. Rates and processes of soil evolution on uplifted marine terraces, northern California[J]. *Geoderma*, 1991, 51(1/4): 241-275.
- [12] Barrett L R. Astrand plain soil development sequence in Northern Michigan, USA[J]. *Catena*, 2001, 44(3): 163-186.
- [13] 陈庆强, 沈秉德, 孙彦敏, 等. 鼎湖山土壤有机质深度分布的剖面演化机制[J]. *土壤学报*, 2005, 42(1): 1-8.
- [14] 唐克丽, 贺秀斌. 黄土高原全新世黄土—古土壤演替及气候演变的再研讨[J]. *第四纪研究*, 2004, 24(2): 129-139.
- [15] 赵景波, 郝玉芬, 岳应利. 陕西洛川地区全新世中期土壤与气候变化[J]. *第四纪研究*, 2006, 26(6): 969-975.
- [16] Vidic N J. Soil-age relationships and correlations: comparison of chronosequences in the Ljubjana Basin, Slovenia and USA[J]. *Catena*, 1998, 34(1/2): 113-129.
- [17] 黄承敏, 龚子同. 海南岛北部玄武岩上土壤发育过程的定量研究[J]. *地理科学*, 2000, 20(4): 337-342.
- [18] Egli M, Fitze P. Formulation of pedologic mass balance based on immobile elements a revision[J]. *Soil Science*, 2000, 165(5): 437-443.
- [19] Langley-Turnbaugh S J, Bockheim J G. Mass balance of soil evolution on late Quaternary marine terraces in coastal Oregon[J]. *Geoderma*, 1998, 84(4): 265-288.
- [20] Sauer D, Schellmann G, Stahr K. A soil chronosequence in the semi-arid environment of Patagonia (Argentina)[J]. *Catena*, 2007, 71(3): 382-393.
- [21] Koutaniemi L, Koponen R, Rajanen K. Podzolization as studied from terraces of various ages in two river valleys, northern Finland[J]. *Silvia Fennica*, 1988, 22: 113-133.
- [22] Lichter J. Rates of weathering and chemical depletion in soils across a chronosequence of Lake Michigan sand dunes[J]. *Geoderma*, 1998, 85(4): 255-282.

(上接第 23 页)

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Foster G R. Modeling ephemeral gully erosion for conservation planning[J]. *International Journal of Sediment Research*, 2005, 20(3): 57-175.
- [3] 张永光, 伍永秋, 汪言在, 等. 典型黑土区小流域浅沟侵蚀季节差异分析[J]. *地理研究*, 2008, 27(1): 145-154.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 崔明, 蔡强国, 张永光, 等. 漫岗黑土区坡耕地中雨季浅沟发育机制[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(8): 59-65.
- [7] 刘新宇, 赵岭, 王立刚, 等. 黑龙江省西部丘陵漫岗区径流效益分析[J]. *防护林科技*, 2000(3): 29-31, 41.
- [8] 胡振宇, 马钦彦, 王金锡, 等. 川中丘陵区防护林改良土壤作用研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(30): 15009-15013.
- [9] 胡刚, 伍永秋, 刘宝元, 等. 东北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.
- [10] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 40-41.
- [11] 张科利, 唐克丽, 王斌科. 黄土高原坡面浅沟侵蚀特征值的研究[J]. *水土保持学报*, 1991, 5(2): 8-13.