

坡度和耕作措施对土壤侵蚀及大豆产量的影响

姜佰文¹,赵赛东¹,魏 丹²,金 梁²,李玉梅²,郭文义³,徐 猛³,张 哲⁴

(1. 东北农业大学 资源与环境学院,黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所/黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 沈空后勤部克东农副业基地,黑龙江 克山 161600; 4. 黑龙江省农业科学院 黑龙江现代农业示范区管理委员会,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要:采用径流小区试验,在克山县粮食沟小流域定位试验站不同坡度(3°和5°)下研究横坡垄作和顺坡垄作两种耕作措施对地表径流、土壤侵蚀及大豆产量的影响,寻求最优推荐措施。结果表明:以克山县近30年降雨数据发生频率为依据,2012年为湿润年型,全年降雨量578.6 mm,有效降雨(产生地表径流的降雨)次数为18次,有效降雨量为399.6 mm,占全年降雨量的69.1%;3°顺坡垄作和5°顺坡垄作发生径流的临界雨量分别为13.1和11.1 mm,有效降雨与3°顺坡垄作和5°顺坡垄作产生径流量的相关系数分别为0.765和0.805,而与3°横坡垄作和5°地埂植物带产生的径流量相关性较弱,相关系数分别为0.109和0.112。与顺坡垄作相比,3°横坡垄作和5°地埂植物带阻水抗蚀效果明显,两处理年径流量分别减少94.3%和95.9%,侵蚀模数降低99.9%和99.8%,3°横坡垄作和5°地埂植物带大豆百粒重分别增加9.3%和21.4%,产量分别增加8.2%和13.4%。

关键词:坡度;土壤侵蚀;耕作措施;大豆产量
中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.02.0238

Effect of Slope and Tillage Measures on Soil Erosion and Yield of Soybean

JIANG Bai-wen¹, ZHAO Sai-dong¹, WEI Dan², JIN Liang², LI Yu-mei², GUO Wen-yi³, XU Meng³, ZHANG Zhe⁴

(1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Soil and Environmental Resources Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Heilongjiang Province Key Laboratory of Plant Nutrition and Soil Environment, Harbin 150086, China; 3. Shenyang Air Force Logistics Kedong Agricultural Base, Keshan 161600, China; 4. Modern Agriculture Demonstration Management Commettee of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: Using runoff plot experiments, the effect of cross ridge and downslope ridge (3° and 5°) on runoff, soil erosion and soybean yield was studied in the experimental station, which located in grain gully watershed in Keshan county. The results showed that three rainfall year types were classified according to local 30-year rainfall data of Keshan County, 2012 was characterized as a wet-year with 578.6 mm annual rainfall. Eighteen times of effective rainfall (start producing surface runoff) surface runoff happened with 399.6 mm precipitation, accounted for 69.1% of annual rainfall. The amount of critical rainfall, above which could make surface runoff happen, were of 13.1 mm and 11.1 mm for vertical ridge tillage land with slope of 3°/5° degree respectively. Correlation coefficients between the amount of effective rainfall and 3°/5° vertical ridge tillage land were 0.765/0.805 respectively and meanwhile these between the effective precipitation and 3° cross ridge tillage/5° contour hedgerow 0.109/0.112 respectively. Compared with vertical ridge tillage, the conservation effects of cross ridge tillage with slope of 3 degree and contour hedgerow with slope of 5 degree were significant by reducing runoff 94.3% and 95.9% respectively and reducing erosion mode by 99.9% and 99.8%, meanwhile 100 – seed weight of those two treatments increased by 9.3% and 21.4% and the percentage of soybean yield increasing were up to 8.2% and 13.4%. The results could provide integrated evaluation for comprehensive soil fertility improvement measures.

Keywords: Slope; Soil erosion; Tillage measures; Soybean yield

东北黑土区总面积101.85万km²^[1],总耕地面积2139.83万hm²,其中坡耕地面积为1280万hm²,占耕地总面积的59.38%,且多数分布在3°~5°坡面上^[2]。据水利部第三次遥感调查,我国黑土区流失土壤量达2.4亿t·a⁻¹,严重的土壤侵蚀已对我国黑土区土壤肥力构成严重威胁,并对我国粮食安全构成潜在危险^[3]。在多年的水土保持工作中,人们逐步积累总结出各种治理坡耕地水土流失的措施

及经验,陈光^[4]在2004年进行了坡耕地改垄措施效益对比试验,结果显示,与顺垄相比,改垄措施有效降雨年均侵蚀量为1298t·km⁻²·a⁻¹,平均保土减沙效益为64.6%;张少良^[5]研究了免耕、少耕、传统耕作和横坡垄作4种耕作措施的保水、保土功效,结果表明,免耕秸秆覆盖和横坡垄作能够有效地控制土壤侵蚀和地表径流的发生,为作物生长提供更多的土壤有效水分。以上研究主要集中在不同措施

收稿日期:2014-05-14
基金项目:农业部行业专项(201303095,201303126);黑龙江省科技攻关项目(GC12B102);黑龙江省自然科学基金(E201202)。
第一作者简介:姜佰文(1970-),男,博士,教授,主要从事作物养分资源管理研究。E-mail: jbwneau@163.com。
通讯作者:魏丹(1965-),女,博士,研究员,主要从事土壤肥料研究。E-mail: wd2087@163.com。

的保水保土功效方面,而对坡耕地不同坡度与不同耕作措施结合降雨有效性对土壤侵蚀和作物产量的影响研究较少,为此,本文在黑龙江省齐齐哈尔市克山县粮食沟径流观测场设置径流小区定位试验,研究坡耕地不同坡度和耕作措施对土壤侵蚀及大豆产量的影响,并对不同坡度和耕作措施下地表径流和土壤侵蚀量的发生进行分析,为进一步优化坡耕地农艺技术措施,研究综合技术模式与土壤侵蚀的关系提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于黑龙江省齐齐哈尔市克山县境内粮食沟小流域的试验场内(地理坐标为 E47°43′, N126°01′),该地属于典型丘陵漫岗黑土区。气候属中温带大陆性季风气候,有效积温2 503.6℃,属于第二积温带。年均降雨量479.4 mm,年均径流深50 mm。土壤为黄土状亚黏土上的黏底黑土,土层平均厚度20~30 cm,土壤侵蚀模数为6 000 t·km⁻²·a⁻¹。

1.2 试验设计

供试大豆品种为北豆28,由黑龙江省农垦科研育种中心华疆科研所提供。试验于2012年进行,试验设4个处理:T₁:3°横坡垄作、T₂:3°顺坡垄作(CK₁)、T₃:5°地埂植物带(横坡+生物篱)、T₄:5°顺坡垄作(CK₂),3次重复。供试土壤容重1.36 g·cm⁻³,全氮、全磷和全钾分别为0.216、0.137和1.78 g·kg⁻¹,碱解氮137.3 mg·kg⁻¹,速效磷和速效钾分别为54.5和279 mg·kg⁻¹,有机质33.6 g·kg⁻¹,pH6.36。共12个径流小区,每个小区面积20 m×5 m,整个试验区面积为1 200 m²。地埂植物

带是在横坡垄作的基础上,20 m长的等距离三点设置植物带,种植作物为多年生苜蓿;顺坡垄作处理小区种植大豆8行,垄距0.625 m、行长20 m;横坡垄作处理小区种植大豆30行(5°地埂植物带处理种植大豆27行、苜蓿3行),垄距0.65 m、行长5 m、种植密度30万株·hm⁻²,进行常规田间管理,2012年10月5日收获并进行测产。

1.3 测定项目与方法

采用中国科学院东北地理与农业生态研究所自主研发的无动力水土流失过程自动观测装置XYZ-III型进行径流总量和产沙的观测;径流量采用径流深(mm)表示;侵蚀量采用烘干法测定;利用自动气象站测定逐日降雨量。

1.4 数据分析

采用Excel 2007进行数据初步处理,SPSS Statistics 17.0对数据进行统计分析,径流系数由年径流量与年降雨量的百分比计算得出,侵蚀模数由单位面积土壤及土壤母质在单位时间内侵蚀量的大小计算得出。

2 结果与分析

2.1 降雨对土壤侵蚀的影响

2.1.1 降雨年型的划分 图1为1983~2012年克山县30年的降雨资料,以25%出现频率估算干旱和湿润年型,以50%出现频率估算中等年型^[6]。依据统计结果,克山县不同年型的降雨量可划分为干旱年型:305~428.2 mm,中等年型:428.2~508.9 mm,湿润年型:508.9~901.0 mm。2012年降雨量为578.6 mm,为湿润年型,全年有效降雨量(产生地表径流的降雨)为399.6 mm,占全年降雨的69.1%。

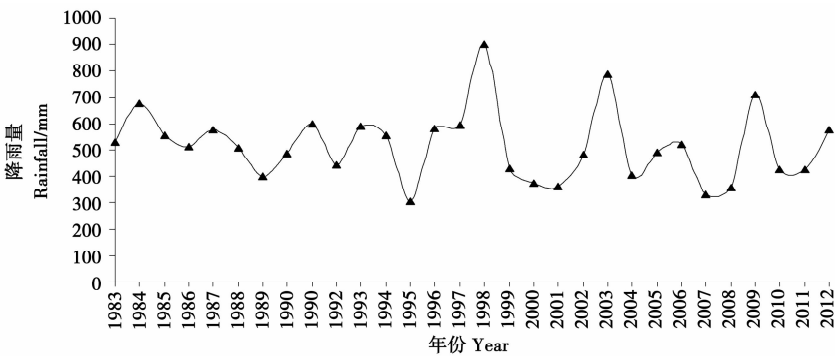


图1 1983~2012年克山县30年降雨资料

Fig. 1 Rainfall data of 1983-2012 Keshan County for 30 years

2.1.2 降雨对产流和产沙的影响 如图2所示,以降雨后地表径流集中发生的7~9月设为观测区间^[7],2012年该区间降雨量为354.4 mm,占全年降

雨量的61.3%,降雨对不同措施下的产流影响差异明显,有效降雨与T₂和T₄处理产生径流量的相关系数分别为0.765和0.805,而与T₁和T₃处理产生的

径流量相关性较弱,相关系数分别为 0.109 和 0.112。整体上看,当 2012 年降雨量低于 11.1 mm 时,5°坡各处理均未产生径流,降雨量低于 13.1 mm 时,3°坡各处理均未产生径流,5°坡各处理均未发生土壤侵蚀;降雨量低于 14.3 mm 时,3°坡各处理均未发生土壤侵蚀。7 月 10 日发生降雨,各项措施均没有发生径流,这是由于土壤的入渗作用,产流时间晚于降雨时间,随着降雨的进行,7 月 22 日径流量及侵蚀量随降雨量的增大呈现明显增加趋势,这

是由于表层土壤含水量增大,土壤入渗能力迅速减小至低于降雨强度,开始产生地表径流,并且表现出随着降雨量的增大径流量明显增大。7 月 24 日, T_2 和 T_4 处理土壤侵蚀量分别在降雨量为 14.3 和 27.2 mm 时达到最大,表明在地表径流达到一定程度时发生土壤侵蚀量。与顺坡垄作相比, T_1 和 T_3 处理则有较强的拦蓄雨水的能力,体现在观测区间的累计径流量分别降低 94.3% 和 95.9%,从而侵蚀量也相应降低 99.9% 和 99.8%。

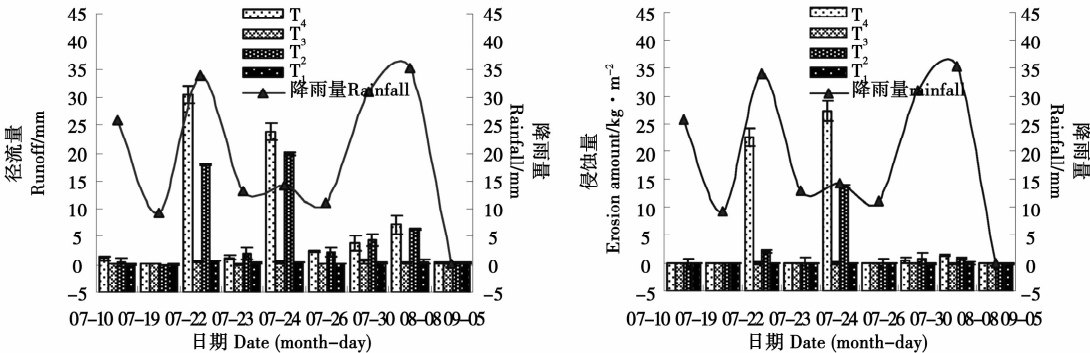


图 2 不同处理径流量和侵蚀量

Fig. 2 The different treatment of runoff and erosion

2.2 坡度对土壤侵蚀的影响

如图 3 所示,分析不同坡度对地表径流和土壤侵蚀量的影响,整个观测区间, T_4 处理径流量和侵蚀量均高于 T_2 处理, T_4 处理累积径流量比 T_2 处理增加 32.3%, 累计侵蚀量是 3°顺坡垄作的 2.9 倍,这是

由于坡度越大,土壤侵蚀作用越严重。方差分析表明, T_2 和 T_4 处理的侵蚀量之间的差异显著 ($P < 0.05$),这是由于坡度越大,地表径流的流速越大,水土流失加剧,带走的泥沙量越多^[8]。

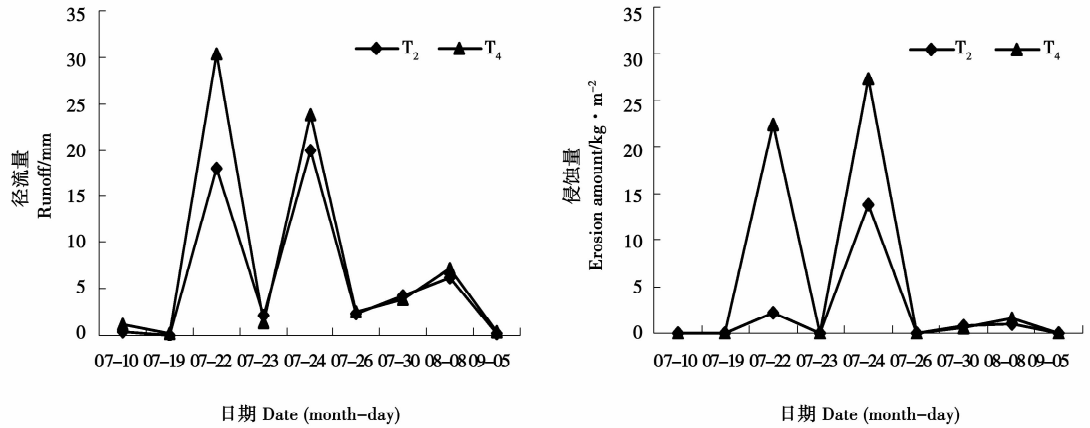


图 3 不同处理径流量和侵蚀量

Fig. 3 The different treatment of runoff and erosion

2.3 不同坡度耕作措施的水土保持作用

由表 1 可以看出, T_1 和 T_3 处理年径流量远低于 T_2 和 T_4 处理,分别低 94.3% 和 95.9%;径流系数是指径流量占降雨量的比例,可用于描述不同耕作措施在降雨过程中的保水作用^[5], T_1 和 T_3 处理径流系数远小于 T_2 和 T_4 处理,土壤侵蚀模数是表征土壤侵蚀强度的指标,用以反映某区域单位时间内侵蚀强度的大小^[9], T_1 和 T_3 处理土壤侵蚀模数远小于 T_2 和

T_4 处理,分别小 99.9% 和 99.8%,说明 3°坡和 5°坡分别采取横坡垄作措施和地埂植物带措施可显著降低地表径流流量及其发生的几率,横坡垄作条件下,由于与径流方向垂直,可有效拦截地表径流,避免了雨水对垄上土壤的打击,减慢径流和土壤侵蚀过程^[10],因而径流量减少;地埂植物带是指在坡耕地上沿等高线横向等距离培修的土埂上种苜蓿,进行调蓄径流、拦蓄水流的治理措施^[11-12],并且地埂

植物带自身的抗蚀性和稳定性对坡耕地水土流失防治具有重要的影响^[13-14],阻止了土壤侵蚀,有效地减少了土壤侵蚀作用,T₁和 T₃处理可作为典型坡耕地不同坡度重要的推荐保水措施。

表 1 不同处理年径流量和侵蚀模数

Table 1 The different treatment of runoff and erosion modulus

处理 Treatment	降雨量 Rainfall /mm	年径流量 Annual runoff /mm	径流系数 Runoff coefficient /%	侵蚀模数 Erosion modulus /t·km ⁻²
T ₁	578.6	3.03	0.52	0.45
T ₂	578.6	53.40	9.23	1765
T ₃	578.6	2.88	0.50	0.83
T ₄	578.6	70.67	12.21	5182

2.4 不同坡度耕作措施对大豆产量的影响

不同措施对大豆百粒重及产量的影响表明(图4),T₁处理大豆百粒重和产量与 T₂处理的差异达到显著水平,T₃处理大豆百粒重和产量与 T₄处理的差异达到显著水平($P < 0.05$),说明顺坡垄作处理大豆的产量均显著低于 T₁和 T₃处理的产量,这可能是由于侵蚀导致表层土壤变薄,水土的流失引起土壤水稳性团聚体减少、容重增加、土壤氮磷储量均发

生变化、从而导致作物产量的降低,这与 Den 等^[15]表层土壤变薄是导致坡耕地作物产量降低的最主要也是最直接的原因理论一致。与顺坡垄作相比,T₁和 T₃处理大豆百粒重分别增加 9.3%和 21.4%,产量分别增加 8.2%和 13.4%,说明 T₁和 T₃处理能明显减少地表径流、降低土壤侵蚀、保留土壤肥力,与顺坡垄作措施相比显著增加了大豆产量。

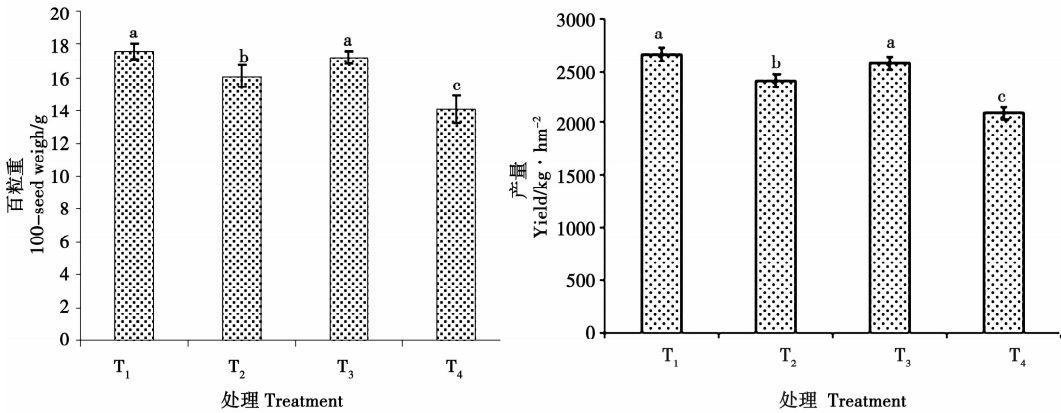


图 4 不同处理大豆百粒重和产量
Fig. 4 The different treatment of 100-seed weight and soybean yield

3 结论与讨论

根据克山县 30 年历史气象数据资料划分降雨年型区间来看,2012 年为湿润年,降雨量分布集中且单次降雨量较大,因而引起地表径流增大,土壤侵蚀偏重,土壤侵蚀量随降雨量的增大而不断增大。2012 年代表雨水较多年份,今后应结合干旱和中等年型综合分析克山县降雨对土壤侵蚀的长期影响,合理进行耕作,采用不同的治理措施来保水保土,进而提高土壤肥力和作物产量。

试验区黑土坡耕地地表径流和土壤侵蚀量随坡度的增加而增加,而不同的治理措施在不同的坡度上都有各自的适用范围,3°坡和 5°坡分别采用横坡垄作和地埂植物带措施能有效减少地表径流和降低土壤侵蚀量,同时大豆产量明显增加,体现在

上述处理分别比 3°顺坡垄作和 5°顺坡垄作年径流量减少 94.3%和 95.9%,侵蚀模数降低 99.9%和 99.8%,大豆产量增加 8.2%和 13.4%,表明两种措施均有较强拦蓄降雨的能力,能明显减少地表径流、降低土壤侵蚀作用^[16-17]、保留土壤肥力、增加大豆产量,且坡度是影响水土流失的重要因素^[18]。对于黑土区不同坡度坡耕地的治理措施的选择,可以考虑以下方式:5°以下坡耕地以顺坡垄作改横坡垄作为主,5°~8°坡耕地以种植等高植物篱为主^[19]。当降雨量低于 11.1 mm 时,5°坡各处理均未产生径流,降雨量低于 13.1 mm 时,5°坡各处理均未发生土壤侵蚀、3°坡各处理均未产生径流,降雨量低于 14.3 mm 时,3°坡各处理均未发生土壤侵蚀,湿润年降雨量较多的情况下,可依据气象站数据以及本研究结果,当天降雨较少时不用进行样本采集,减少

了大量工作。由于观察时间序列不够长、对土壤侵蚀和大豆产量的影响因素较多,不同措施对土壤侵蚀和大豆产量的影响需要进一步深入研究。

参考文献

[1] 中国水土流失与生态安全综合科学考察·东北组. 中国水土流失防治与生态安全·东北黑土区卷[M]. 北京: 科学出版社, 2010;52-55. (China Soil Erosion And Ecological Security Research·The Northeast Group. Prevention and ecological safety of soil and water loss China·The black soil region of Northeast China Vol [M]. Beijing: Science Press,2010;52-55.)

[2] 王宝桐,丁柏齐. 东北黑土区坡耕地防蚀耕作措施研究[J]. 东北水利水电,2008,26(1): 64-65. (Wang B T,Ding B Q. Farmland in the black soil region of northeast anti corrosion tillage research[J]. Northeast China Water Conservancy and Hydropower,2008,26(1):64-65.)

[3] 张孝存,郑粉莉,安 娟,等. 典型黑土区坡耕地土壤侵蚀对土壤有机质和氮的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(4): 182-186. (Zhang X C,Zheng F L,An J,et al. Effects on soil organic matter and nitrogen in the typical black soil zone of slope farmland soil erosion[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2013,31(4):182-186.)

[4] 陈光. 东北黑土区试点工程坡面治理减沙效益分析[J]. 东北水利水电,2006,24(12):56-59. (Chen G. Analysis of the benefit of sediment reduction of slope control pilot project in black soil region of Northeast China[J]. Northeast China Water Conservancy and Hydropower, 2006,24(12): 56-59.)

[5] 张少良,张兴义,刘晓冰,等. 典型黑土侵蚀区不同耕作措施的水土保持功效研究[J]. 水土保持学报,2009,23(3):11-15. (Zhang S L,Zhang X Y,Liu X B, et al. Research of soil and water conservation function of typical black soil erosion area of different tillage measures[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2009,23(3):11-15.)

[6] 王凤仙,李韵珠. 土壤水氮资源的利用与管理 II. 土壤水氮资源的利用、损失和周年利用效率模拟[J]. 植物营养与肥科学报,1999,5(4):297-306. (Wang F X,Li Y Z. The soil water and nitrogen resources II. Use, loss and annual utilization efficiency of soil water and nitrogen resources simulation[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer,1999,5(4):297-306.)

[7] 许晓鸿,隋媛媛,张瑜,等. 黑土区不同耕作措施的水土保持效益[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(3):13-15. (Xu X H, Sui Y Y,Zhang Y, et al. Soil and water conservation benefits of different tillage in black soil region[J]. Chinese Science of Soil and Water Conservation,2013, 11(3):13-15.)

[8] 夏卫生,雷廷武,张晴雯,等. 冲刷条件下坡面水流速度与产沙关系研究[J]. 土壤学报, 2004, 41 (6):876-880. (Xia W S,Lei T W,Zhang Q W, et al. Study on the relationship between the velocity of sheet flow and sediment scouring conditions[J]. Journal of Soil Science, 2004,41 (6):876-880.)

[9] 汪仁杰,黄荣珍. 开发建设项目土壤侵蚀模数确定初探[J]. 亚热带水土保持,2010,22(3): 72-74. (Wang R J,Huang R Z. Identified of soil erosion in the development projects[J]. Subtropical Soil and Water Conservation,2010,22(3):72-74.)

[10] 宋玥,张忠学. 不同耕作措施对黑土坡耕地土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持研究,2011, 18(2):15-16. (Song Y,Zhang Z X. Effects of different tillage measures on soil erosion in black soil [J]. Research of Soil and Water Conservation,2011,18(2):15-16.)

[11] 李志飞,许靖华,吕志学. 东北黑土区埂带植物研究现状及发展方向[J]. 水土保持应用技术, 2013(3):1-2. (Li Z F,Xu J H,Lyu Z X. The research status and development direction of plants in the black soil region of Northeast China[J]. Application of Technology of Soil and Water Conservation, 2013(3):1-2.)

[12] 张典,高雄哲. 东北黑土区坡耕地综合治理措施探讨[J]. 吉林水利,2010(8):58- 60. (Zhang D, Gao X Z. Discussion on the comprehensive control measures for slope cultivated land in black soil region of Northeast China[J]. Jilin Water Resources, 2010 (8):58-60.)

[13] 王忠林,李会科. 花椒地埂林土壤抗蚀性研究[J]. 西北林学院学报,1998,13(2):30-33. (Wang Z L,Li H K. Study on soil anti erodibility of pepper ridge forest[J]. Journal of Northwest Forestry College,1998,13(2):30-33.)

[14] 王喜龙,蔡强国,王忠科,等. 冀西北黄土丘陵沟壑区梯田地埂植物篱的固埂作用与效益分析[J]. 自然资源学报,2000,15(1):74-79. (Wang X L,Cai Q G,Wang Z K,et al. Solid analysis terrace in loess hilly gully region of Northwestern Hebei hedgerow ridge functions and benefits [J]. Journal of natural resources, 2000, 15 (1): 74-79.)

[15] Den Biggelaar C, Lal R, Wiebe K, et al. Impact of soil erosion on crop yields in North America [J]. Advances in Agronomy,2001, 72,1-52.

[16] 胡庆文,林英. 横坡垄作防止水土流失试验的研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(19):5806-5807. (Hu Q W,Lin Y. Cross ridge research on preventing water and soil loss test[J]. Anhui Agricultural Sciences,2007,35(19):5806-5807.)

[17] 刘明义,许晓鸿,刘艳军,等. 不同植物带地埂土壤抗侵蚀效果研究[J]. 中国水土保持, 2012(7):43-45. (Liu M Y,Xu X H,Liu Y J,et al. Different plant with terrace effect of soil erosion [J]. Soil and Water Conservation Chinese,2012(7):43-45.)

[18] 夏卫生,雷廷武,张晴雯,等. 坡面薄层水流中电解质脉冲迁移模型[J]. 水利学报,2003(11):22-26. (Xia W S,Lei T W, Zhang Q W, et al. Overland flow of electrolyte pulse migration model[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003(11):22-26.)

[19] 陈雪,蔡强国,王学强. 典型黑土区坡耕地水土保持措施适宜性分析[J]. 中国水土保持科学, 2008,6(5):44-49. (Chen X, Cai Q G,Wang X Q. Suitability analysis of soil and water conservation measures on slope land in typical black soil region[J]. Chinese Science of Soil and Water Conservation,2008,6(5):44-49.)