

工程堆积体土壤侵蚀影响因素国内研究进展

邹小阳, 周旺, 孙文俊*, 肖克飏, 胡封兵, 林珠

(广西交通设计集团有限公司, 南宁 530000)

摘要:生产建设项目排出大量弃渣,堆置形成工程堆积体,其具有边坡坡度陡、表层物质松散、机械组成复杂、植物根系及有机质缺失和抗蚀性差等特征,导致工程堆积体水土流失严重,备受国内学者的关注。本文综述了坡度、坡长、土石比(砾石含量)等下垫面条件,降雨强度(放水流量)、来水类型等降雨条件和植物措施、工程措施对工程堆积体土壤侵蚀过程的影响。为进一步探明工程堆积体的土壤侵蚀过程机理和建立适合我国的工程堆积体土壤侵蚀预测模型指引方向。今后应在以下几方面进行深入研究:试验影响因素增加工程堆积体不同堆放年限、工程堆积体物质来源和不同植被措施或工程措施等;工程堆积体野外土壤侵蚀长期定点试验;引入土壤侵蚀微观观测新技术;加大各类工程措施对工程堆积体土壤侵蚀的研究。

关键词:工程堆积体;坡度;坡长;砾石含量;植物篱;水平阶;鱼鳞坑

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2021)01-0057-05

Research Progress on Influencing Factors of Soil Erosion of Engineering Accumulation Body in China

ZOU Xiaoyang, ZHOU Wang, SUN Wenjun*, XIAO Kebiao, HU Fengbing, LIN Zhu

(Guangxi Communications Design Group Co., Ltd., Nanning 530000, China)

Abstract: Due to the characteristics of steep slope, loose surface material, complex mechanical composition, lack of plant roots and organic matter, and poor corrosion resistance, a large amount of discarded slag discharged from production and construction projects forms engineering deposits, which result in serious soil and water loss in engineering deposits. Therefore, it has been paid much attention by domestic scholars. In this paper, the effects of slope, slope length, soil-rock ratio (gravel content), rainfall intensity (discharge rate), incoming water type, plant measures and engineering measures on the soil erosion process of engineering accumulation bodies are summarized. In order to further explore the mechanism of soil erosion process of engineering deposits and to establish a suitable soil erosion prediction model of engineering deposits in China, the direction of guidance. Further research should be carried out in the following aspects in the future: increasing the influence factors of different stacking years of the engineering accumulation body, material sources of the engineering accumulation body and different vegetation measures or engineering measures; Long-term field soil erosion test of engineering accumulation body; Introducing new techniques of soil erosion microscopic observation; The research on soil erosion of engineering accumulation body should be strengthened by various engineering measures.

Key words: Engineering accumulation body; Slope; Slope length; Gravel content; Alley cropping; The level of order; Rhexmalypt

收稿日期:2018-10-18

基金项目:国家自然科学基金项目(51679205);广西新发展集团(岩溶区绿色公路修建)院士工作站能力建设(桂科AD17129047)

作者简介:邹小阳(1993-),男,工程师,硕士,主要从事土壤水分运动研究。

通讯作者:孙文俊,男,硕士,高级工程师,E-mail:1543102669@qq.com

2017年十九大报告指出:“改革开放以来的近40年,我国经济一直保持近10%的高速增长”^[1],经济的快速增长促使我国生产建设项目迅猛增长。生产建设项目施工中的挖填和占压等人为扰动方式改变了施工区原有地表形态,排出的弃土弃渣形成大量的工程堆积体。生产建设项目产生的工程堆积体一般是由机械开挖、爆破等人为活动形成的土、石等的混合体,其特征为边坡

坡度陡、表层物质松散、机械组成复杂、植物根系及有机质缺失和抗蚀性差等^[2-3],致使工程堆积体易引发地区性生态环境恶化和严重水土流失^[4]。

当前,生产建设项目排出弃渣形成的工程堆积体土壤侵蚀机理和水土保持措施研究逐渐受到学者关注,取得了丰硕的研究成果^[5]。大部分研究基于室内人工降雨试验和野外放水冲刷试验,尝试探明工程堆积体坡度^[3,5-11]、坡长^[11]、土石比(砾石含量)^[14,12-15]等下垫面条件,降雨强度(放水流量)^[1-3,5,7-8,10,12-13,15,16-24]、来水类型^[24]等降雨条件和植物措施^[10,20-21]、工程措施^[9]对工程堆积体土壤侵蚀的影响规律。近年来,针对工程堆积体土壤侵蚀机理和水土保持措施的研究发展迅猛,研究成果数量和质量逐年上升,但由于工程堆积体土壤侵蚀的影响因素众多、纷繁复杂,目前国内暂无针对工程堆积体土壤侵蚀机理和水土保持措施研究的系统总结。

本文综述了工程堆积体坡度、坡长、土石比(砾石含量)等下垫面条件,降雨强度(放水流量)等气候因素和植物措施、工程措施对工程堆积体土壤侵蚀的影响规律,对国内水土保持学者了解工程堆积体土壤侵蚀机理和水土保持措施研究成果、总结研究经验和创新研究方法具有十分重要的引导意义,以期工程堆积体水土流失防治提供参考依据。

1 下垫面条件对工程堆积体土壤侵蚀的影响

下垫面条件的定义为:“对区域水热平衡和水文过程均产生影响的植物、工程、地形地貌和土壤等因素综合的统称”^[25]。前人主要关注工程堆积体坡度、坡长和土石比(砾石含量)等下垫面条件对土壤侵蚀的影响。工程堆积体坡度和坡长直接影响地表径流的冲刷能力和输沙能力,对工程堆积体的土壤侵蚀过程产生重要影响^[26]。工程堆积体土石比(砾石含量)直接影响下垫面粗糙度^[14],并改变土壤机械组成、入渗能力和土壤粘结力等土壤理化特性^[12-13],进而影响工程堆积体的侵蚀产沙特征。

1.1 坡度对工程堆积体土壤侵蚀的影响

坡度是影响工程堆积体土壤侵蚀的重要因素之一,对降雨入渗量、地表滞水能力、降雨径流量、径流深度、径流流速和径流切应力等指标产生直接影响^[27]。

李永红等^[3]通过模拟放水冲刷试验,研究了工

程堆积体坡度对坡面径流水动力参数的影响,发现坡面径流流速与坡度呈正相关关系,坡度对径流流速的影响明显大于流量。张翔等^[5]通过野外放水冲刷试验研究发现,当坡度小于 28° 时,平均含沙量和产沙比与坡度呈正相关关系;当坡度超过 28° 时,平均含沙量和产沙比随坡度增加而减小。黄鹏飞等^[6]基于室内人工模拟降雨试验,建立坡度因子S值的查算表,为黄土区工程堆积体水力侵蚀测算模型的建立提供了科学依据。牛耀彬等^[7]通过野外冲刷试验,发现放水流量对工程堆积体坡面侵蚀沟宽度和深度及细沟发育的影响较坡度更显著。丁文斌等^[8]通过野外实地放水冲刷试验研究发现,坡度对工程堆积体边坡临界径流剪切力和径流功率产生显著影响,面蚀侵蚀阶段的临界径流剪切力和临界径流功率出现在坡度为 30° 处理组,而细沟侵蚀阶段的临界径流剪切力和临界径流功率分别出现在坡度为 25° 和 40° 处理组。牛耀彬等^[9]通过径流冲刷试验发现,工程堆积体坡度处于 $24^{\circ} \sim 32^{\circ}$ 时,土壤入渗率呈下降趋势。杜捷等^[10]基于野外模拟放水冲刷试验结果,发现布设植物篱处理组的平均减沙效益与坡度呈负相关关系,而平均减流效益与坡度呈正相关关系。邓利强等^[11]通过室内人工模拟降水试验发现,在坡度达到 25° 时,径流率呈现先增加后平稳波动的趋势。

综合前人关于坡度对工程堆积体土壤侵蚀的影响规律研究结果,发现工程堆积体土壤侵蚀存在一个坡度阈值,该阈值是一个变量,与土壤颗粒组成、容重、坡面长度和降雨强度等因素相关,一般情况下工程堆积体土壤侵蚀阈值处于 $25^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 范围内。当坡度小于该阈值时,坡面径流量和土壤侵蚀量均呈增加趋势;当坡度超过该阈值时,工程堆积体土壤侵蚀量呈现下降趋势或波动变化趋势。

1.2 坡长对工程堆积体土壤侵蚀的影响

工程堆积体坡长是影响土壤侵蚀的重要因素,坡长直接影响坡面径流、泥沙运移和侵蚀形态动态变化过程,从而间接影响径流能量的沿程变化规律和径流挟沙能力^[28]。

邓利强^[11]通过室内人工模拟降雨方法,研究发现径流率和土壤剥蚀率与坡长紧密相关,随着坡长增加,细沟数量和径流率均呈现增加趋势,而土壤剥蚀率与坡长不呈线性关系。坡长小于5 m和大于6.5 m时,土壤剥蚀率随着坡长增大呈缓慢增长趋势;坡长处于5.0 ~ 6.5 m范围内,土壤剥蚀率随着坡长的增加而显著增大。因此,推断工

工程堆积体细沟侵蚀的坡长存在一个阈值。

通过以上研究可知,工程堆积体土壤侵蚀量随坡长增加呈波动起伏变化规律,坡长对工程堆积体土壤侵蚀量的影响存在一个阈值,坡长处于该阈值时,土壤侵蚀量达到最大值。目前,关于工程堆积体坡长阈值的研究成果较少,今后应加强该领域研究。

1.3 土石比(砾石含量)对工程堆积体土壤侵蚀的影响

砾石具有形状不均匀、离散程度大、有机质缺乏等特征^[29],一方面砾石的光滑表面和较差的透水性促进了坡面径流的汇聚;另一方面砾石的不均匀分布或内嵌于坡面增加了坡面粗糙度,提升了坡面径流流动阻力^[30]。在两者共同作用下,土石比(砾石含量)对工程堆积体土壤侵蚀的影响较复杂。

李建明等^[1]通过室内人工模拟降雨试验发现,黏土、壤土和砂土3种质地工程堆积体的平均土壤侵蚀速率随着砾石含量的增加呈显著减小趋势,且径流平均流速与砾石含量呈负相关关系,砾石对坡面径流的形成和土壤侵蚀量增加均具有阻碍作用。丁文斌等^[4]研究发现,紫色土堆积体最大侵蚀泥沙颗粒大于黄沙壤,而黄沙壤堆积体侵蚀模数大于紫色土。康宏亮等^[12]采用室内人工模拟降雨试验,发现产流0~6 min,砾石对工程堆积体坡面径流流动存在促进作用;产流12~30 min后,砾石对径流流动的促进作用转变为阻碍作用。10%砾石质量分数工程堆积体频发高含沙水流现象,而20%和30%砾石质量分数堆积体几乎不产生高含沙水流现象。王雪松等^[13]研究发现砾石类型对工程堆积体坡面土壤侵蚀无显著影响,大石块工程堆积体的平均径流率和平均产沙率均高于小石块工程堆积体。史东梅等^[14]通过野外实地放水冲刷试验发现,在相同条件下偏土质边坡累积产流量大于土石混合质,黄沙壤工程堆积体边坡累积产流量高于紫色土。王雪松等^[15]研究发现工程堆积体土壤剥蚀率与降雨强度和砾石质量分数之间存在二元线性方程关系,土壤侵蚀速率随砾石含量增加而增大。

从上述研究结论发现,砾石含量对工程堆积体土壤侵蚀既存在正相关也存在负相关,这与土壤类型、砾石大小、砾石分布位置等因素相关,康宏亮等^[12]确定了10%砾石含量为阈值。

2 降雨条件对工程堆积体土壤侵蚀的影响

降雨是土壤侵蚀的主要动力来源,降雨强度

(放水流量)对土壤侵蚀产生的影响最明显^[27]。国内学者关于降雨条件对工程堆积体土壤侵蚀的研究主要集中于降雨强度和来水类型2个因素。

2.1 降雨强度(放水流量)对工程堆积体土壤侵蚀的影响

研究发现,工程堆积体土壤侵蚀的各项量化指标均与降雨强度或放水流量相关。李建明等^[1]研究发现工程堆积体平均侵蚀速率与降雨强度呈正相关关系。张乐涛等^[2]研究发现次径流过程中径流强度与降雨强度紧密相关,径流强度随降雨强度增加而增大。李永红等^[3]研究发现坡面径流流速随放水流量的增加而增大。张翔等^[5]、康宏亮等^[12]、王雪松等^[13,15]、袁普金等^[20]、李宏伟、刘志鹏和张乐涛等^[22-24]研究发现径流强度和产沙率随放水流量的增加而增大。牛耀彬等^[7]研究发现侵蚀沟宽度和深度随放水流量的增加而增大。丁文斌等^[8]研究发现,除放水流量10 L/min处理组外,工程堆积体产流率、产沙率均呈现先增加后平稳的变化趋势。杜捷等^[10]研究发现产流强度和产沙率随放水流量的增加而增大。李叶鑫等^[16]研究发现土壤容重和土壤稳定性均随降雨强度增加而降低。张荣华等^[17]研究发现工程堆积体坡面产流开始时间与降雨强度呈负相关关系。顾儒馨等^[18]研究发现,径流强度、径流含沙量、土壤剥蚀率随降雨强度增加而减小,而土壤入渗率与降雨强度呈负相关关系。戎玉博等^[19]研究发现,降雨强度对径流率和流速的影响显著,平均径流率和平均流速均随降雨强度增加而增大,土壤侵蚀总量与降雨强度呈指数函数关系。杨帅等^[21]研究发现,削弱土壤侵蚀的效率随放水流量增加呈幂函数形式降低。

2.2 来水类型对工程堆积体土壤侵蚀的影响

工程堆积体上方来水是土壤侵蚀的动力来源和传递径流能量的纽带及运载泥沙的载体,直接参与土壤侵蚀过程,对土壤侵蚀具有促进作用^[31]。

国内关于来水类型对工程堆积体土壤侵蚀的研究较少,仅张乐涛等^[32]在2015年以神府高速公路沿线典型工程堆积体为例,通过野外放水冲刷试验,研究了均匀型、流量峰值在前型、流量峰值在中型和流量峰值在后型4内来水类型对工程堆积体坡面土壤侵蚀的影响。发现上方来水类型干扰了坡面产沙过程,导致土壤侵蚀量增加,非均匀的上方来水类型破坏了坡面土壤的“剥离-运移”工程,增加了坡面产沙量。

3 植物措施和工程措施对工程堆积体土壤侵蚀的影响

植物措施和工程措施可有效减少工程堆积体土壤侵蚀,植物地上部分具备拦截降雨,削减降水对工程堆积体表层土壤的破坏^[33];植物枯枝落叶层具有疏松多孔的结构,利于削减径流流量和流速^[34];植物根系具有固结土壤、增强土壤透水性及改善土壤结构作用^[35],从而实现植物措施削减工程堆积体土壤侵蚀的目的。工程措施主要包括鱼鳞坑、水平阶、骨架护坡等,均具备拦蓄工程堆积体坡面径流、沉淀泥沙和改善微生态环境等优点^[36]。

3.1 植物措施对工程堆积体土壤侵蚀的影响

植物措施被广大水土保持学者公认为防治工程堆积体水土流失的根本措施。目前,关于植物措施对工程堆积体土壤侵蚀影响的研究主要集中于植物篱植物措施。植物篱的造价成本低、防治水土流失效果好,被广泛运用于工程堆积体水土流失治理。

杜捷等^[10]研究发现植物篱延长了初始产流时间,削弱了产流强度和产沙率。袁普金等^[20]研究发现植物篱有效削减坡面径流量,植物篱措施应加强坡面中间段的布设,以有效控制土壤侵蚀。杨帅等^[21]研究发现植物篱显著降低工程堆积体10%~50%产沙量,延迟初始产流时间100~500s,降低土壤剥蚀率。基于上述研究可知,在工程堆积体坡面布设植物篱可削弱产流强度、产沙率、产沙量、土壤剥蚀率和坡面径流量,并延迟初始产流时间,有效控制水土流失。

3.2 工程措施对工程堆积体土壤侵蚀的影响

工程措施可改善下垫面特征和泥沙运移条件,从而改变工程堆积体产流和产沙过程。牛耀彬等^[9]对比了水平阶和鱼鳞坑对工程堆积体陡坡坡面产流产沙过程的影响,发现水平阶和鱼鳞坑对工程堆积体坡面径流的拦蓄能力较弱,鱼鳞坑使坡面径流强度出现2次峰值,水平阶致使径流强度呈现阶梯式变化,水平阶和鱼鳞坑均使得累积产沙量和累积径流量呈幂函数降低趋势。

4 问题与展望

大量的国内研究结果表明,工程堆积体坡度、坡长、土石比(砾石含量)等下垫面条件,降雨强度(放水流量)、来水类型等降雨条件和植物措施、工程措施对工程堆积体土壤侵蚀过程有显著影响。为进一步探明工程堆积体的土壤侵蚀过程

机理,并尝试建立适合我国的工程堆积体土壤侵蚀预测模型,今后应在以下几个方面努力:

(1)虽然坡度对工程堆积体土壤侵蚀的研究成果与日俱增,但考虑的影响因素过于单一,与实际情况不符,今后应综合考虑工程堆积体不同堆放年限、工程堆积体物质来源和不同植被措施或工程措施因素对工程堆积体土壤侵蚀的影响。

(2)目前国内关于土石比(砾石含量)对工程堆积体土壤侵蚀的影响研究大多数仍停留在室内模拟试验,设计的砾石含量梯度较单一,今后应尝试在野外布设长期定点观测试验,并丰富砾石含量的设计梯度,以期为建设生产项目工程堆积体土壤侵蚀模型的建立提供可靠的参数支撑。

(3)在植物措施(如植物篱)对工程堆积体土壤侵蚀的影响试验中,忽略了堆积体坡面起伏因素的影响,今后应引入三维激光扫描等新技术全面观测植物篱布设方式和坡面起伏程度对工程堆积体土壤侵蚀的综合影响。

(4)现应用于工程堆积体水土保持防护的工程措施包括:边坡植被喷播技术、液压喷播技术、生态植被袋技术、生态植被毯技术、客土喷播技术、植生基材喷附技术、生态灌浆技术、植生槽技术、钻孔植被护坡技术、攀缘植物垂直绿化技术、人造水平阶整地绿化技术、等高绿篱护坡技术、砌石挡墙护坡技术、格栅挡土护坡技术、土工格室护坡技术、石笼挡墙护坡技术、普通石料护坡技术、防护网护坡技术、三维植被网护坡技术、锚杆框格护坡技术等。目前国内的研究主要集中于水平阶和鱼鳞坑,且研究成果较少,今后应加大各类工程措施对工程堆积体土壤侵蚀的研究。

参考文献:

- [1] 李建明,牛俊,王文龙,等.不同土质工程堆积体径流产沙差异[J].农业工程学报,2016,32(14):187-194.
- [2] 张乐涛,高照良,李永红,等.模拟径流条件下工程堆积体陡坡土壤侵蚀过程[J].农业工程学报,2013,29(8):145-153.
- [3] 李永红,牛耀彬,王正中,等.工程堆积体坡面径流水动力学参数及其相互关系[J].农业工程学报,2015,31(22):83-88.
- [4] 丁文斌,李叶鑫,史东梅,等.两种工程堆积体边坡模拟径流侵蚀对比研究[J].土壤学报,2017,54(3):558-569.
- [5] 张翔,高照良,杜捷,等.工程堆积体坡面产流产沙特性的现场试验[J].水土保持学报,2016,30(4):19-24.
- [6] 黄鹏飞,王文龙,江忠善,等.黄土区工程堆积体水蚀测算模型坡度因子研究[J].泥沙研究,2015(5):57-62.
- [7] 牛耀彬,高照良,李永红,等.工程堆积体坡面细沟形态发

育及其与产流产沙量的关系[J]. 农业工程学报, 2016, 32(19): 154-161.

[8] 丁文斌, 史东梅, 何文健, 等. 放水冲刷条件下工程堆积体边坡径流侵蚀水动力学特性[J]. 农业工程学报, 2016, 32(18): 153-161.

[9] 牛耀彬, 高照良, 刘子壮, 等. 工程堆积体坡面工程措施减流减沙效应的试验研究[J]. 南水北调与水利科技, 2015(5): 1010-1015.

[10] 杜捷, 高照良, 王凯. 布设植物篱条件下工程堆积体坡面产流产沙过程研究[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 102-106.

[11] 邓利强. 黄土区工程堆积体水蚀特征及测算模型坡长因子试验研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2014.

[12] 康宏亮, 王文龙, 薛智德, 等. 北方风沙区砾石对堆积体坡面径流及侵蚀特征的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(3): 125-134.

[13] 王雪松, 谢永生, 景民晓, 等. 不同砾石类型对工程堆积体侵蚀规律的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(5): 21-25.

[14] 史东梅, 蒋光毅, 彭旭东, 等. 不同土石比的工程堆积体边坡径流侵蚀过程[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 152-161.

[15] 王雪松, 申卫博, 谢永生, 等. 赣北地区工程堆积体侵蚀水动力机理研究[J]. 水力发电学报, 2015, 34(11): 59-68.

[16] 李叶鑫, 史东梅, 吕刚, 等. 降雨强度对紫色土工程堆积体边坡稳定性的影响[J]. 土壤通报, 2017(6): 1475-1480.

[17] 张荣华, 荆莎莎, 张洪达, 等. 胶东铁路弃土弃渣体产流产沙特征[J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 80-85.

[18] 顾儒馨, 倪九派, 刘月娇. 模拟降雨对工程建设区裸露坡地产流产沙及氮素流失的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(2): 33-39.

[19] 戎玉博, 骆汉, 谢永生, 等. 雨强对工程堆积体侵蚀规律和细沟发育的影响[J]. 泥沙研究, 2016(6): 12-18.

[20] 袁普金, 张翔, 王万君, 等. 植物篱措施下工程堆积体坡面减流减沙效益研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(6): 374-380.

[21] 杨帅, 李永红, 高照良, 等. 黄土堆积体植物篱减沙效益与泥沙颗粒分形特征研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 270-278.

[22] 李宏伟, 牛俊文, 宋立旺, 等. 工程堆积体水动力学参数及其产沙效应[J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 63-67.

[23] 刘志鹏, 蒋光毅, 史东梅, 等. 工程堆积体入渗特性及持水能力对降雨条件的响应[J]. 水土保持学报, 2016, 30(5): 240-245.

[24] 张乐涛, 高照良, 田红卫. 工程堆积体陡坡坡面径流水动力学特性[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 34-38.

[25] 王萍, 王燕. 民勤荒漠-绿洲过渡带不同下垫面条件的土壤风蚀特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 138-145.

[26] 李桂芳, 郑粉莉, 卢嘉, 等. 降雨和地形因子对黑土坡面土壤侵蚀过程的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(4): 147-154.

[27] 李叶, 吴玉柏, 俞双恩, 等. 坡度对扰动黄棕壤土壤侵蚀的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2016, 44(1): 20-24.

[28] 张宏鸣, 杨勤科, 李锐, 等. 流域分布式侵蚀学坡长的估算方法研究[J]. 水利学报, 2012, 43(4): 437-444.

[29] 张翔. 模拟径流条件下坡长对工程堆积体坡面土壤侵蚀的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.

[30] Peng X, Shi D, Jiang D, et al. Runoff erosion process on different underlying surfaces from disturbed soils in the Three Gorges Reservoir Area, China[J]. Catena, 2014, 123(123): 215-224.

[31] 王小燕. 紫色土碎石石分布及其对坡面土壤侵蚀的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.

[32] 张乐涛, 高照良, 李永红, 等. 黄土丘陵区堆积体边坡对上方来水的侵蚀响应[J]. 水科学进展, 2015, 26(6): 811-819.

[33] Li Y Q, Zhang S H, Peng Y. Soil erosion and its relationship to the spatial distribution of land use patterns in the Lancang River Watershed, Yunnan Province, China[J]. Agricultural Sciences, 2015, 6(8): 823-833.

[34] 谢颂华, 郑海金, 杨洁, 等. 南方丘陵区水土保持植物措施减流效应研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(3): 35-38.

[35] 刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究[J]. 水土保持学报, 1991, 15(4): 87-92.

[36] 毛璐, 孟广涛, 周跃. 植物根系对土壤侵蚀控制机理的研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 241-243.

(责任编辑:王昱)



(上接第22页)

[7] 董百春, 沙洪林, 刘雪静, 等. 吉林省向日葵列当生理小种鉴定[J]. 中国油料, 1996(1): 54-56.

[8] 马德宁, 万县贞. 2014年中国北方向向日葵列当生理小种分布研究报告[J]. 宁夏农林科技, 2015, 56(7): 45-47.

[9] 石必显, 雷中华, 吴伟. 不同向日葵品种资源室内抗列当水平鉴定[J]. 新疆农业科学, 2016, 53(1): 108-113.

[10] 关洪江. 黑龙江省向日葵列当发生与危害初报[J]. 作物杂志, 2007(4): 86-87.

[11] 白全江, 云晓鹏, 高占明, 等. 内蒙古向日葵列当发生危害及其防治技术措施[J]. 内蒙古农业科技, 2013(1): 75-76.

[12] 于海燕, 薛丽静, 乔亚民, 等. 吉林省向日葵新引资源对列当抗性鉴定[J]. 植物遗传资源科学, 2000, 1(2): 64-65.

[13] 王文军. 黑龙江省向日葵资源抗列当鉴定及抗源筛选[J]. 黑龙江农业科学, 2010(9): 39-41.

[14] 王鹏冬, 杨新元, 赵晓军, 等. 山西食用向日葵种质资源对列当抗性的初步鉴定[J]. 甘肃农业科技, 2007(1): 16-17.

(责任编辑:王昱)