

植被缓冲带对地表径流阻控效果调查及模拟

张禹洋, 聂世豪, 蔡国强, 孙政, 宗全利

(青岛农业大学 资源与环境学院, 山东 青岛 266109)

摘要:为了定量分析和评价植被缓冲带对地表径流的阻控效果,对大沽河流域两岸典型植被进行了现场调查及取样,并利用 VFSMOD 模型初步探讨了植被缓冲带的作用。根据实地调查,获得了大沽河 8 个典型位置的缓冲带参数。结果表明:大沽河流域植被缓冲带主要由杨树、松树等高大乔木,罗布麻、碱蓬等灌木植物和结缕草、野艾蒿等草本植物组成;这些植被对地表覆盖度较高,可有效地拦截泥沙、增加地表粗糙度,对地表径流具有良好的阻控效果。利用 VFSMOD 模型对北岔河村、仁兆镇拦河闸、程家小里村和后路家村 4 个缓冲带的地表径流阻控效果进行了模拟,结果表明:4 处植被缓冲带分别可以拦截 0.8、0.7、0.7、0.4 mm/min 以下降雨强度产生的地表径流;在植被缓冲带宽度和源区宽度同时变化的情况下,4 处植被缓冲带宽度分别达到 8、20、1、5 m 时,对泥沙拦截率达到 0.95 以上。因此,大沽河两岸现存植被缓冲带可以对泥沙起到较好的阻控作用。

关键词:植被缓冲带;大沽河;VFSMOD 模型;地表径流

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)02-0036-07

Investigation and Simulation on the Effect of Vegetative Filter Strip on Surface Runoff

ZHANG Yuyang, NIE Shihao, CAI Guoqiang, SUN Zheng, ZONG Quanli

(College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: In order to analyze and evaluate the effect of vegetation buffer zone on surface runoff quantitatively, field investigation and sampling of typical vegetation on both banks of Daguhe River Basin were carried out, and the function of vegetation buffer zone was discussed by using VFSMOD model. Based on the field investigations, the strip parameters of 8 typical locations in the Daguhe River were obtained. The results show that the vegetative filter strip in Daguhe River Basin is mainly composed of tall trees such as *Populus* L. and *Pinus* shrub., plants such as *Apocynum venetuml* and *Suaeda glauca* Bunge, and herbaceous plants such as *Zoysia japonica* Steud and *Artemisia argyi* Levl. et Van; these plants have a high coverage on the surface of land, and can effectively intercept the sediment and increase the surface roughness, which has a good control effect on the surface runoff. The VFSMOD model is used to simulate the surface runoff control effect of four buffer zones which are located in Beichahe Village, Renzhao Town Barrage, Chengjiaxiaoli Village and Houlujia Village. The results show that the four vegetation buffer zones can intercept the surface runoff produced by rainfall intensities below 0.8, 0.7, 0.7 and 0.4 mm/min, respectively; when the width of the vegetation buffer zone and the width of the source area change at the same time, when the widths of the four vegetation buffer zones reach 8 m, 20 m, 1 m and 5 m respectively, the sediment interception rate reaches more than 0.95. Therefore, the existing vegetation buffer zones on both banks of Daguhe River can play the good role in retaining and controlling sediment.

Keywords: vegetative filter strip; Daguhe River; VFSMOD model; surface runoff

植被缓冲带也称植被过滤带,是世界公认的阻控径流、拦截泥沙的天然屏障,但是目前世界上对植被缓冲带没有明确的定义,从本质上来讲就是通过“土壤—植被”生态体系将污染源与地表水体相分离的植被区域,而对地表径流进行拦截,对泥沙的截留转化主要是通过物理过程,即过滤、吸渗、滞留、沉积等作用实现的。目前,国内外学者对滨岸植被缓冲带对地表径流阻控机理已有不少研究。数学模型是研究植被缓冲带阻控径流、拦截泥沙的重要手段,其中 VF-SMOD 模型能有效地描述地表径流污染物拦截及泥沙沉积过程,已被国外广泛的关注及应用^[1-2]。如: Abu-Zreig 等^[3]利用 VF-SMOD 模型研究了植被缓冲带宽度、坡度、曼宁粗糙系数、土壤类型、源区来沙 5 个参数对泥沙拦截的影响; Lambrechts 等^[4]利用 VF-SMOD 模型模拟了入流泥沙浓度对植被缓冲带拦截泥沙的影响; Sabbagh 等^[5]在美国中西部以及 Muñoz-Carpena 等^[6]在北卡罗纳州分别模拟了不同宽度的植被缓冲带对拦截泥沙效果。

国内对于 VF-SMOD 模型的应用研究较少,张壮^[7]利用 VF-SMOD 模型模拟了浑河沈抚段河岸缓冲带对地表径流泥沙拦截与径流削减效果;杨方社等^[8]应用 VF-SMOD 模型对位于内蒙古的沙棘-灌草植被缓冲带对地表径流中泥沙拦截效果进行了模拟;潘岱立等^[9]运用 VF-SMOD 模型预测了不同草种生草带后黄土坡面产流产沙动态特征;孙晓涛^[10]基于 VF-SMOD 模型对植被缓冲带拦截效果的坡度、宽度、入流量等因素的敏感性进行了分析;张鸿敏^[11]运用 VF-SMOD 模型模拟了植被缓冲带对泥沙的拦截效果;杨寅群等^[12]通过 VF-SMOD 模型对植被过滤带净化效果的模拟与适应性分析,提出了 VF-SMOD 模型具有较高的精度与较强的适应性,可用于植被缓冲带的规划设计。但在利用 VF-SMOD 模型研究植被缓冲带的项目当中,涉及到滨岸植被缓冲带的数量较少,VF-SMOD 模型的 Hydrology, Sediment Transport, Chemical Transport/Trapping 模块的土壤数据是 Rawls 等^[13]1983 年提供的 Green-Ampt 参数,植被数据是 Haan 等^[14]于 1994 年提供的,这些数据是以北美等地区植被和土壤数据建立的,国内滨岸植被数据没有涉及。

综上,现有研究多集中在通过室内试验和现场试验,鲜有具体到某一河流域的现场调查和模拟结果。本文以大沽河流域为研究对象,针对植被缓冲带对地表径流的阻控效果进行初步分析,为进一步研究土壤-植被系统净化污染物作用机理提供技术支持和理论保证。

1 研究区概况

大沽河位于山东省胶东半岛西部,是胶东半岛最大的河流,位于东经 119°30′—121°00′,北纬 35°35′—37°09′。大沽河自北向南从招远阜山至胶州湾全长 179.9 km,支流众多,流域面积 50 km² 及以上入河支流(一级支流)15 条,其中流域面积在 300 km² 以上的有南胶莱河、小沽河、五沽河、濰河、流浩河、桃源河。大沽河及其支流季节性明显,流域内水资源短缺,每年断流时间长。自招远市老马思家至莱西市巨家为大沽河流域上游,地形主要是山区和山丘陵区,河道弯曲较多,水土流失较为严重^[15];自巨家至望壁河口为中游,河道局部弯曲但弧度较大,水集镇潭彪庄到院上镇小清河口大部是平原,河道游荡不定;平度县南村以下为下游,大部分为平原地带;山角底以下为河口段,河床变迁频繁,弧度较大。

2012—2015 年期间大沽河实施了生态治理工程,两岸通过种植树木及灌草等形成了植被缓冲带,对地表径流起到了一定的阻控效果。本文主要选择了 4 处比较典型的植被缓冲带作为研究对象,包括北岔河村(36°32′8″N, 120°8′31″E)、仁兆镇拦河闸(36°35′40″N, 120°11′46″E)、程家小里村(36°43′21″N, 120°18′12″E)和后路家村(37°9′44″N, 120°27′10″E)。

2 材料与方法

2.1 植被缓冲带对地表径流阻控机理

植被缓冲带对地表径流的阻控效果是显而易见的,尤其对流域周边农业发达,但土壤侵蚀和水土流失严重的地区尤为重要。植被缓冲带既减缓径流运输速度,促进泥沙沉积,又促进降雨入渗,减少径流流量^[16]。植被缓冲带对地表径流的阻控主要有过滤、吸渗、滞留、沉积等,见图 1。从图中可以看出,植被缓冲带是位于农田作物和河流之间具有一定坡度、层次的植被,通常由草本植物、灌木植物、乔木植物组成,且宽度一般不小于 10 m^[17],地表径流从源区经过植被缓冲带的过滤后进入河流。植被缓冲带阻控径流、拦截泥沙是一个复杂的过程,径流、泥沙经过植被缓冲带,通过植被根系对土壤的固结缠绕作用、茎秆系统以及枯枝落叶的拦截作用,使得出流泥沙浓度和径流量低于进入植被缓冲带时。当上游携带泥沙的地表径流到达植被缓冲带后,流经大量植被对泥沙起到了过滤作用;同时植被增加了地表的粗糙率即增加了径流阻力,对地表径流起到了滞留作用,使水流速度减缓,促进泥沙沉积和土壤对地表径流的吸渗作用。

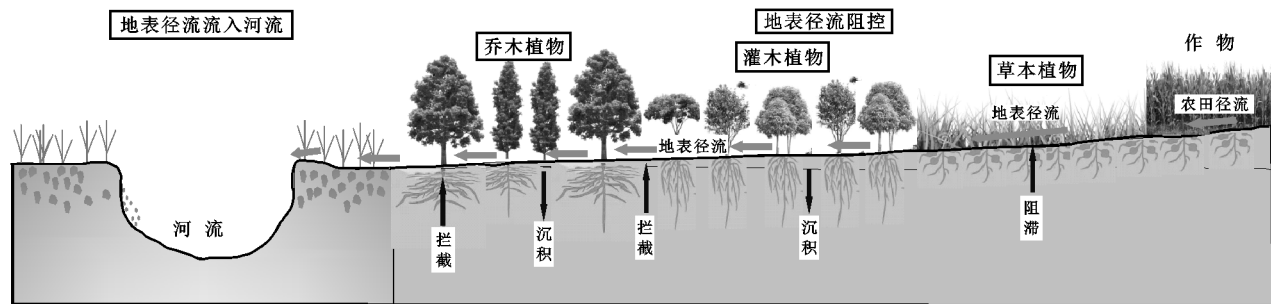


图 1 植被缓冲带对地表径流阻控过程

例如,在大沽河流域后路家段两岸植被缓冲带主体为人工种植的杨树(*Populus* L.)其间距为 3~5 m,杂乱生长其间的有野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia* DC.)50~100 cm、狗尾草[*Setaria viridis* (L.) Beauv.]50~70 cm、茵陈蒿(*Artemisia capillaris* Thunb.)90~120 cm、马唐[*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.]10~50 cm、小蓬草[*Conyza canadensis* (L.) Cronq.]50~100 cm、艾草(*Artemisia argyi* Levl. et Van.)90~130 cm、苍耳(*Xanthium sibiricum* Patrín ex Widder)40~80 cm、防风[*Saposhnikovia divaricata* (Trucz.) Schischk.]50~80 cm、针茅(*Stipa capillata* L.)40~80 cm、中华草沙蚕(*Tri-pogon chinensis*)30~50 cm、牛筋草[*Eleusine indica* (L.) Gaertn.]30~80 cm 等杂草以及不便测量高度的葎草[*Humulus scandens* (Lour.) Merr.]等攀援草本植物,其茎秆间距不均匀但对地表覆盖度较高,可有效拦截泥沙、保持土壤含水率、增加地表粗糙度,对地表径流具有良好的阻控效果。需要指出,上述植被特征,仅是结合大沽河流域后路家段实际调研及实地测量情况,从植被缓冲带对地表径流阻控作用分析。针对更符合大沽河流域的植被缓冲带阻控地表径流的效果,需要依靠大沽河典型地区的植被参数、缓冲带参数、土壤参数、源区参数、雨量参数等参数进行模拟计算等,这在后续进一步研究将会考虑。

2.2 植被缓冲带对地表径流阻控过程模拟方法

传统植被缓冲带设计方法,主要是依靠经验。规划部门在考虑设计农田与河道之间的植被缓冲带时,多根据实地景观和政策给出笼统的宽度范围和物种选择,很少将土壤、地形、植物本身性质等作为考虑因素^[18]。利用数学模型设计植被缓冲带,可调整缓冲带宽度、地表坡度等控制参数,获得不同参数下的阻控效果,为植被缓冲带提供最适合当地土壤、地形、植物本身性质的各个可控参数。比较有代表性的数学模型主要有 REMM 模型和 VFSSMOD 模型等,其中 REMM 模型对植被缓冲带净化过程描述较详细,但

该模型模拟需要气象、田间、河岸带及土壤、植被等 160 个指标数据,实际应用较困难。VFSSMOD 目前由以下模块组成:(1)入渗模块 infiltration module,用于计算土壤表面的水量平衡;(2)坡面流模块 overland flow module,用于计算渗透土壤表面的流动深度和速度;(3)泥沙运动模块 sediment filtration module,用于模拟泥沙沿植被缓冲带输移及沉积的过程;(4)水质/污染物输移模块 water quality/pollutant transport module,用于模拟污染物沿植被缓冲带迁移及削减的过程。此次模拟主要利用其描述水流输运和沉积物沉积的功能。首先,通过入渗模块,根据输入的不同时间节点及不同时间步长的降雨分布计算降雨量,并结合土壤入渗能力,计算缓冲带土壤入渗情况;其次,坡面流模块通过缓冲带参数、源区进入缓冲带的径流和降雨超渗产流情况,描述不同位置的径流流速和单宽流量;然后,泥沙运动模块通过植被缓冲带参数、源区进入缓冲带的泥沙情况,计算不同粒径泥沙运动情况;最后,模型输出缓冲带径流及泥沙输出情况。

通过 REMM 模型和 VFSSMOD 模型相比较可以发现,VFSSMOD 模型所需的参数较少,可以模拟单次降雨径流条件的水文过程及径流产生的沉积物通过植被缓冲带运移过程,因此更适用于我国滨岸植被缓冲带设计的实际应用。

2.3 大沽河流域植被缓冲带现状调查

2020 年 7 月 17 日、8 月 5 日、8 月 13 日 3 次到大沽河流域进行实地调查,收集了大沽河流域现状等资料。对移风拦河闸、后路家等典型位置的地表土体和植被缓冲带基本参数进行了现场取样,共收集了 16 处不同位置的土体、8 处缓冲带参数,见表 1。

3 结果与分析

3.1 大沽河植被缓冲带调查结果及分析

采用室内土工试验方法分析了大沽河地表土体密度、容重和含水率等基本力学特性。由表 2 可知,大沽河主要的土质类型是砂土,而砂土类土壤具有土

壤颗粒孔隙大,小孔隙少,毛细管作用弱等特点,导致其保水性差,较容易发生水土流失;同时,试验土样土壤含水量较低,但从实地考察来看,仍能维持原生土著植被的正常生长。

表 1 大沽河现场取样情况

位置	取样数量/个	植被缓冲带参数描述
北岔河村	2	主要为草地缓冲带和乔木缓冲带;杨树间距 3 m 左右;野艾蒿、狗尾草等杂草较多,总体高度 30~100 cm
移风拦河闸	2	草地缓冲带+乔木缓冲带;杨树间距 3 m 左右;结缕草等草本植物较多,总体高度 20~30 cm
程家小里村	1	缓冲带主要由野艾蒿等构成,宽约 17 m,高约 1.5 m;河岸有一排高大杨树,间距 4 m 左右;花生(<i>Arachis hypogaea</i> Linn.)农田,约 45 m 宽(垂直于河流方向),30 m 长
孙受镇大坝	1	草地缓冲带,宽度约 10 m;地瓜农田约 24 m 宽,38 m 长
茂芝场村	3	植被缓冲带较为完整,主要由龙柏(<i>Sabina chinensis</i> (L.) Ant. cv. Kaizuca)、柳树(<i>Salix matsudana</i> Koidz.)、槐树(<i>Sophora japonica</i> L.)等乔木,连翘(<i>Forsythia suspensa</i>)、大叶黄杨(<i>Buxus megistophylla</i> Levl.)等灌木、结缕草、狗尾草等草本植物构成,植被高度复杂,植被覆盖度高
产芝村	3	主要为草地缓冲带缓冲带和乔木缓冲带,杨树间距为 3 m 左右,其他植被高度 50~80 cm
庙子乔村	1	草地缓冲带,宽度约 10 m,主要由结缕草、狗尾草等草本植物构成,植被高度 15~20 cm
后路家村	3	主要为杨树缓冲带宽度约为 100 m,杨树间距为 4 m 左右,树林内野艾蒿、葎草等较多,总体高度为 80 cm 左右,且覆盖度较高,农作物为苹果树(<i>Malus pumila</i> Mill.),果园宽度约为 30 m

表 2 大沽河地表土体力学性质

位置	土质类型	含水率/%	天然密度/(g·cm ⁻³)	干密度/(g·cm ⁻³)	容重/(kN·m ⁻³)
北岔河村	砂土	7.20	1.8207	1.6982	17.836
移风拦河闸	砂土	9.27	1.7485	1.6002	17.135
程家小里村	砂土	14.16	2.0659	1.8096	20.246
孙受镇大坝	砂土	11.06	1.9026	1.7132	18.160

从图 2 中可以看出,4 个典型位置地表土体的中值粒径分别为 0.24,0.21,0.17,0.47 mm;北岔河的地表土级配不均匀、级配连续性不好,属于不均匀土、级配不良的土;移风拦河闸的地表土级配均匀、级配连续性不好,属于均匀土、级配不良的土;程家小里村的地表土级配不均匀、级配连续性不好,属于不均匀土、级配不良的土;孙受镇大坝的地表土级配不均匀、级配连续性好,属于不均匀土、级配良好的土。

从大沽河地表土的实测结果来看,大沽河流域沿岸适宜植被生长,但由于砂土的特性限制,仍然会有水土流失现象,且沿岸农民为了获得经济效益而牺牲环境效益的心理,使得应属于植被缓冲带的区域日益减少,导致水土流失日益严重。可利用沿岸多砂土的特点,在沿岸种植垂柳、水杉等乔木加以点缀,在水岸种植芦苇、蒲草等水生植物,在阻控地表径流的同时,起到美化大沽河环境的作用。

实地调查发现,大沽河流域植被种类丰富,结构复杂,主要有杨树、松树、柳树、梧桐、香椿、苹果树、桃树、李树、枣树、樱桃、小麦、玉米、花生、甘薯、白菜、土豆、大豆等人工植被,结缕草、罗布麻、碱蓬、芦苇、葎草、野艾蒿、狗尾草等原生土著植被,见图 3。例如:

后路家村附近河道植被缓冲带主要由杨树林及错杂其中的野生植被构成,宽约 100 m,其中数量较多的有野艾蒿、葎草、狗尾草等,左岸农田宽约 30 m。总体来说,大沽河流域植被缓冲带主要由杨树、松树等高大乔木,罗布麻、碱蓬等灌木植物和结缕草、野艾蒿等草本植物组成。

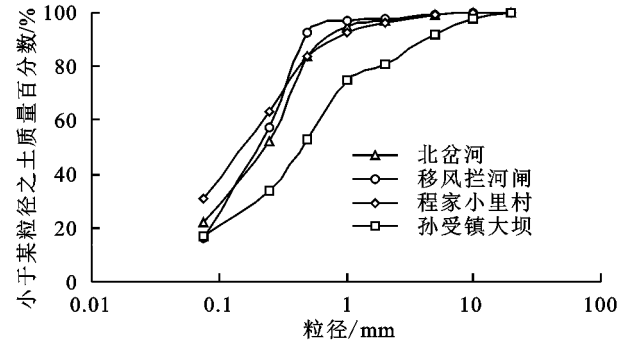


图 2 大沽河地表土体粒径级配

3.2 大沽河流域地表径流阻控效果模拟结果及分析

3.2.1 模型参数 运用 VFSMOD 模型对实地调研数据,对大沽河典型植被缓冲带进行模拟。模型主要参数见表 3。

3.2.2 对泥沙的阻控效果 模型模拟结果表明,在各种降雨强度下,在现有大沽河植被缓冲带中,对

泥沙的拦截率很高,基本都能完全拦截泥沙。对地表径流的拦截效果略有差异,北岔河可以拦截 0.8 mm/min 以下降雨强度下产生的地表径流,当降雨强度达到 0.9 mm/min 时,地表径流拦截率为 0.888;仁兆镇拦河闸和程家小里村植被缓冲带可以拦截 0.7

mm/min 以下降雨强度产生的地表径流,当降雨强度达到 0.9 mm/min 时,地表径流拦截率分别为 0.769, 0.767;后路家村植被缓冲带可以拦截 0.4 mm/min 以下的降雨强度产生的地表径流,地表径流达到 0.5 mm/min 时,地表径流拦截率为 0.279。

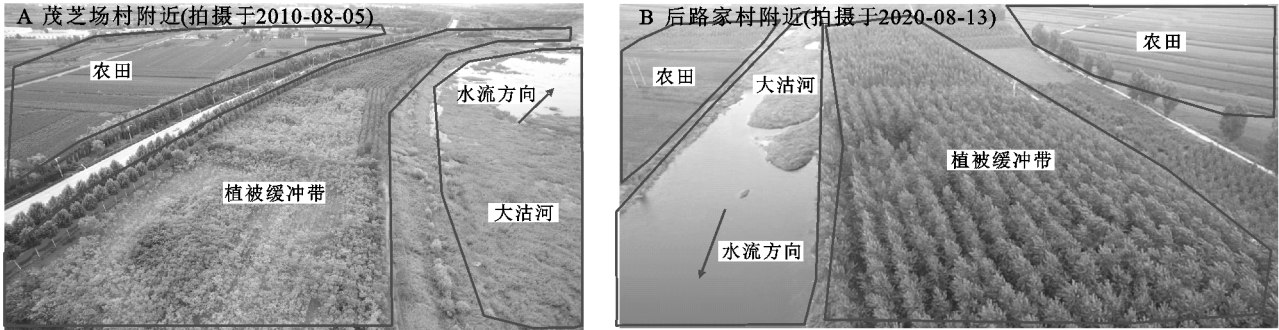


图 3 大沽河流域典型植被缓冲带

表 3 VFSMOD 模型参数取值

位置	缓冲带 宽度/m	缓冲带 长度/m	植被 间距/cm	植被 高度/cm	土壤初始 含水率	中值 粒径/cm	粒径>0.0037 cm 的粗颗粒占比/%	源区 宽度/m	源区径流 流程/m
北岔河村	40	30	14	50	0.0720	0.024	0.93	24	30
仁兆镇拦河闸	500	20	10	30	0.0927	0.021	0.99	60	20
程家小里村	17	30	4	150	0.1416	0.017	0.88	45	30
后路家村	100	120	10	40	0.1106	0.027	0.89	30	120

为了探究更适合源区的植被缓冲带设置,模拟了 2 mm/min 降雨强度下,4 处植被缓冲带宽度和源区宽度动态变化(植被缓冲带宽度减少一定距离,源区宽度增加一定距离)下,植被缓冲带对泥沙的阻控效果,并用泥沙拦截率来表示,即被拦截在植被缓冲带的泥沙量占从源区随地表径流进入植被缓冲带的泥沙量的比例。在 VFSMOD 模型中植被缓冲带的泥沙拦截率是通过源区坡度、地表径流流量、泥沙中值粒径、降雨强度等来确定源区产生的泥沙量,由植被缓冲带的宽度、长度、植被间距、糙率等来确定植被缓冲带拦截的泥沙量,由后者比前者得出泥沙拦截率。

模拟结果表明:北岔河处植被缓冲带的宽度对泥沙拦截率影响较大,当植被缓冲带宽度为 10 m 时,泥沙拦截率为 0.982,植被缓冲带宽度为 1 m 时泥沙拦截率减少到 0.352;仁兆镇拦河闸处植被缓冲带宽度对泥沙拦截率不太显著,当植被缓冲带宽度为 50 m 时,泥沙拦截率为 0.99,宽度为 10 m 时,泥沙拦截率为 0.854,宽度为 5 m 时,泥沙拦截率为 0.705,宽度为 1 m 时,泥沙拦截率为 0.696;程家小里村处植被缓冲带宽度对泥沙拦截效果影响极不显著,植被缓冲带宽度减少至 1 m 时,泥沙拦截率仍为 0.97;后路家村处植被缓冲带宽度对泥沙拦截效果影响也不太显著,宽度减少至 1 m 时,泥沙拦截率为 0.896。

3.2.3 缓冲带宽度和间距变化对阻控效果影响 以

北岔河植被缓冲带为例,探究不同植被缓冲带宽度以及不同宽度下植被间距对植被缓冲带的影响,模拟结果分别如图 4—5 所示。

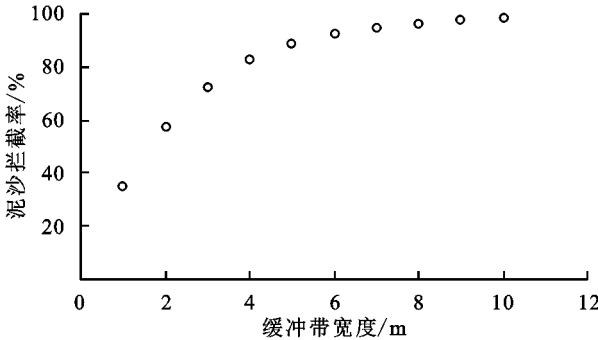


图 4 北岔河不同缓冲带宽度下泥沙拦截率

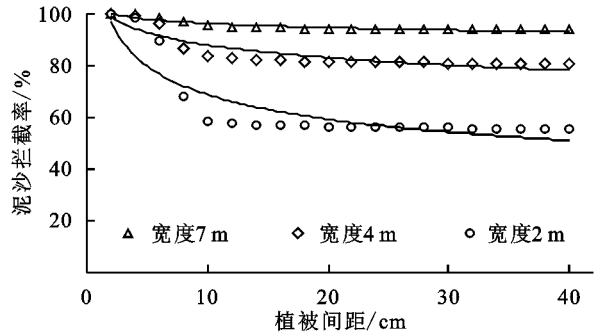


图 5 不同植被间距下的泥沙拦截率

由图 4 可知,泥沙拦截率会随着植被缓冲带宽度的增加而提高,具体表现为在宽度在 1~6 m 时,泥沙拦截率变化较为显著,从 0.352 增加到 0.925;从

6~10 m 时,虽然泥沙拦截率也在增大但增幅很小。

从图5可以看出,植被间距在一定范围内的增大会显著降低泥沙拦截率,但是增加到一定距离时,泥沙拦截率不再有显著的变化,基本都会在植被间距为10 cm 时,便减缓变化趋势,当然这是建立在 VFS-MOD 模型中,草带内部不发生土壤侵蚀假设前提下。具体规律为:当宽度为7 m 时,植被间距2 cm 时会完全拦截泥沙,植被间距增大到10 cm 时,拦截率为0.954;当宽度为4 m 时,植被间距为2 cm 时,拦截率为0.999,植被间距增大到10 cm 时,拦截率减少到0.838;当宽度为2 m 时,植被间距为2 cm 时,拦截率为0.998,植被间距增大到10 cm 时,拦截率减少到0.556。

显然,植被缓冲带的宽度在一定程度上是可以通过成本更小的减少植被间距来弥补的,例如,可以将植被缓冲带宽度设为2 m,植被间距设为2 cm,来替代宽度为7 m 时,植被间距为10 cm 的植被缓冲带。

4 讨论

植被缓冲带的宽度可以在一定程度上通过植被间距的增大来减少,对于大沽河实地情况来说,建议成本较低的草本植被缓冲带。在数据模拟过程中发现,植被高度仅需要4 cm 便可对地表径流起到阻控作用,但具体的植被缓冲带宽度、植被间距等需要根据实地情况来确定。

不同的源区面积即使在相同的降雨强度下,其产生的泥沙量也是不同的。针对北岔河的实地情况来说,在2 mm/min 的降雨强度下,当要求植被缓冲带对泥沙的拦截率为0.95 以上时,可以在植被间距为14 cm 时,将植被缓冲带宽度减少至8 m,此时泥沙拦截率为0.965;也可以通过减少植被间距为6 cm,将植被缓冲带宽度减少至4 cm,此时泥沙拦截率为0.962。显然,这两种不同的措施,植被缓冲带对泥沙的拦截效率近乎相同,这是因为植被缓冲带是通过减缓地表径流的速度,从而降低径流的携沙能力,在植被间距为14 cm 时,地表径流经过8 m,才能将径流的携沙能力减弱至0.035,而植被间距减少至6 cm 时,由于植被密度的增加导致地表径流的阻力增大,地表径流的携沙能力减弱,此时仅需4 m,便能将地表径流的携沙能力减弱至0.038。

可以看出,大沽河植被缓冲带,可以对泥沙起到较好的阻控作用,但植被缓冲带的建立仍有不足,在濒临河岸的农田,植被过少或种类单一,植被间距过大等问题能否使得植被缓冲带发挥足够的阻控径流的效果在今后仍需关注。

在今后的研究中,应加强对大沽河典型地区地表土壤及植被缓冲带各种参数定量监控,比较不同植被组成的缓冲带的阻控效果,建立更加适合大沽河植被缓冲带的模型,并用模型建立不同参数下植被缓冲带对地表径流的阻控效果,比较各个因素对大沽河植被缓冲带的敏感性,找出主要影响因子,为大沽河管理者设计符合大沽河流域特征的植被缓冲带提供合理的建议。

5 结论

(1) 调查的4处植被缓冲带对泥沙拦截效果都很好,基本能满足当地降雨情况下对泥沙的完全拦截。

(2) 北岔河处植被缓冲带可以拦截0.8 mm/min 以下降雨强度产生的地表径流,仁兆镇拦河闸和程家小里村处植被缓冲带可以拦截0.7 mm/min 以下降雨强度产生的地表径流,后路家村处植被缓冲带可以拦截0.4 mm/min 以下降雨强度产生的地表径流。

(3) 在现有的植被缓冲带条件下,缓冲带宽度和源区宽度同时改变的情况下,且降雨强度达到2 mm/min 时,北岔河村处仅需要8 m 的宽度就能使得泥沙拦截率达到0.965;仁兆镇拦河闸处需要20 m 的宽度使泥沙拦截率达到0.975;程家小里村处仅需要1 m 的宽度使泥沙拦截率达到0.97;后路家村处需要5 m 的宽度使泥沙拦截率达到0.956。

参考文献:

- [1] Muñoz-Carpena R, Miller C T, Parsons J E. A quadratic Petrov-Galerkin Solution for kinematic wave overland flow [J]. Water Resources Research, 1993,29(8):2615-2627.
- [2] Muñoz-Carpena R, Zajac Z, Kuo Y M. Evaluation of water quality models through global sensitivity and uncertainty analyses techniques: application to the vegetative filter strip model VFSMOD-W[J]. Trans. ASABE, 2007,50(5):1719-1732.
- [3] Abu-Zreig M, Rudra R P, Whiteley H R. Validation of a vegetated filter strip model (VFSMOD) [J]. Hydrological Processes, 2001,15(5):729-742.
- [4] Lambrechts T, François S, Lutts S, et al. Impact of plant growth and morphology and of sediment concentration on sediment retention efficiency of vegetative filter strips: Flume experiments and VFSMOD modeling [J]. Journal of Hydrology, 2014,511:800-810.
- [5] Sabbagh G J, Fox G A, Kamanzi A, et al. Effectiveness of vegetative filter strips in reducing pesticide loading: Quantifying pesticide trapping efficiency [J]. Journal of

- Environmental Quality, 2009, 38(2):762-771.
- [6] Munoz-Carpena R, Parsons J E, Gilliam J W. Modeling hydrology and sediment transport in vegetative filter strips [J]. Journal of Hydrology, 1999, 214(1/4):111-129.
- [7] 张壮.浑河沈抚段河岸缓冲带组成调查和结构配置模式优化研究以及优势植被缓冲能力分析[D].沈阳:辽宁大学, 2018.
- [8] 杨方社,曹明明,李怀恩,等.基于 VFSMOD 模型的沙棘—灌草植被过滤带拦沙效果模拟[J].干旱区资源与环境, 2017, 31(6):71-75.
- [9] 潘岱立,赵西宁,高晓东,等.基于 VFSMOD 模型的黄土坡面生草带产流产沙动态模拟[J].农业工程学报, 2017, 33(8):119-125.
- [10] 孙晓涛.植被过滤带拦截径流和泥沙效果的 VFSMOD 模型适用性研究[D].长沙:中南林业科技大学, 2014.
- [11] 张鸿敏.植被过滤带对非点源污染物的净化效果及机理分析[D].西安:西北大学, 2017.
- [12] 杨寅群,李怀恩,史冬庆. VFSMOD 模型对植被过滤带净化效果的模拟与适应性分析[J].环境科学, 2010, 31(11):2613-2618.
- [13] Rawls W J, Brakensiek D L, A Procedure to Predict Green and Ampt Infiltration Parameters[C]//Proceedings of the National Conference on Advances in Infiltration. Chicago, USA:1983.
- [14] Haan C T, Barfield B J, Hayes J C. Design hydrology and sedimentology for small catchments [J]. Design Hydrology & Sedimentology for Small Catchments, 1994, 11(3):1-4.
- [15] 张超,吴爽,荣燕妮.大沽河流域北部山区土壤侵蚀状况研究[J].长春大学学报, 2019, 29(2):28-31.
- [16] 陈旭飞,刘通,程炯,等.华南地区草被过滤带对菜地径流、泥沙和磷阻控效果及影响因素[J].水土保持研究, 2019, 26(2):377-383.
- [17] 李怀恩,庞敏,杨寅群,等.植被过滤带对地表径流中悬浮固体净化效果的试验研究[J].水力发电学报, 2009, 28(6):176-181.
- [18] 罗晓娟,余勇利.植被缓冲带结构与功能对水质的影响[J].水土保持应用技术, 2006(4):1-3.

(上接第 35 页)

- [11] Singh R K, Panda R K, Satapathy K K, et al. Simulation of runoff and sediment yield from a hilly watershed in the eastern Himalaya, India using the WEPP model[J]. Journal of Hydrology, 2011, 405(3):261-276.
- [12] Wang S, Zhang Z, Sun G, et al. Multi-site calibration, validation, and sensitivity analysis of the MIKE SHE Model for a large watershed in northern China [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2012, 16(12):4621-4632.
- [13] 陈云明,刘国彬,郑粉莉,等.RUSLE 侵蚀模型的应用及进展[J].水土保持研究, 2004, 11(4):80-83.
- [14] Kinnell P I A, Wang J X, Zheng F L. Comparison of the abilities of WEPP and the USLE-M to predict event soil loss on steep loessal slopes in China[J]. Catena, 2018, 171:99-106.
- [15] 万新宇,包为民,钟平安.基于相似推理的多沙水库坝址泥沙预测[J].水电能源科学, 2013, 31(12):191-194.
- [16] 冉大川,齐斌,肖培青,等.佳芦河流域特大暴雨洪水对下垫面治理的响应[J].水土保持研究, 2015, 22(6):7-13.
- [17] 赵阳,刘冰,张晓明,等.极端降雨条件下黄河典型流域水沙变化特性研究[J].泥沙研究, 2020, 45(6):50-55.
- [18] 师长兴,邵文伟,范小黎,等.黄河内蒙古段洪峰特征及水沙关系变化[J].地理科学进展, 2012, 31(9):1124-1132.
- [19] 从辰宇,韩剑桥,焦菊英,等.台风“利奇马”暴雨引发的土壤侵蚀调查研究:以山东省临朐县为例[J].水土保持通报, 2020, 39(5):337-344.
- [20] 汪岗,徐明权.从黄河下游“92·8”洪水看游荡性河段高含沙水流的河床演变特性[J].泥沙研究, 2000(6):46-51.
- [21] 何斌,张澎辉,梁国华,等.基于 BP 神经网络的场次洪水河道沙量预报[J].南水北调与水利科技, 2015, 13(3):406-408, 416.