

密云水库库区不同植物篱模式下的氮磷阻控效应

王磊, 索琳娜, 魏丹, 金梁, 丁建莉, 苏刘燕, 安志装

(北京市农林科学院植物营养与资源环境研究所, 北京 100097)

摘要: 筛选拦截效果最佳、经济效益最佳的植物篱模式, 为密云水库水源保护区控制坡耕地氮磷流失提供技术参考。设置“桔梗+狗牙根”“丹参+狗牙根”“桑树+野牛草”“黄芩+野牛草”4种不同的植物篱模式, 监测2020年天然降水条件下的地表径流、泥沙以及养分情况, 分析不同植物篱模式下径流小区的产流和产沙情况, 探讨不同植物篱对坡耕地地表径流、泥沙和养分的拦截效率及其影响因素。结果表明: 4种植物篱种植模式都能够起到截流减沙, 减轻水环境富营养化的作用, 从而避免对下游水体的污染。其中“桑树+野牛草”植物篱效果最为显著, 大雨雨强下可以减流57.96%, 减沙96.64%, 暴雨雨强下可以减流64.63%, 减沙97.17%; 对氮的相对拦截量为93.14 mg, 相对拦截率约88.27%; 对磷的相对拦截量为25.17 mg, 相对拦截率约80.72%, 能有效减少地表径流中的氮、磷含量。在考虑经济效益、社会效益和生态效益下, 开展植物篱防控面源污染工作中, 最佳的物种选择为“桑树+野牛草”, 其次为“黄芩+野牛草”。野牛草在防控水土流失与面源污染方面效果十分显著, 可以作为水土保持的先锋植物推广。

关键词: 土壤; 径流; 植物篱模式; 坡耕地; 氮磷流失

中图分类号: S157.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2023)03-0035-07

水土流失与耕地资源的大量使用所引起土壤退化, 导致氮磷等养分流失风险逐步增大, 由此引起的水体富营养化已成为亟待解决的问题(张雪莲等, 2019)。密云水库是北京市的重要水源地, 一直以来都属于重点保护区域之一。研究表明密云水库流域内径流水质有机物污染指标贡献率COD约70%, BOD₅约70%, 养分流失指标贡献率TN约70%, NH₄⁺-N和TP均达到了90%(黄生斌等, 2007)。目前在水土保持领域较为推荐、有效的水土保持生物措施就是植物篱技术(Grimaldi et al, 2012; Donjadee & Tingsanchali, 2013)。植物篱技术采用立体种植, 矮化的植物篱截割坡长, 拦截土壤, 增加入渗, 改善土壤性质(王燕等, 2006)。植物篱种植模式可以按照种植类型、间距、位置以及搭配措施等来区分(俞国松等, 2013)。由于各个地区的

实际条件如气候、地理位置等的不同, 不同地区的植物篱配置模式也不一样。譬如蒲玉琳等(2014)以紫色土为研究对象, 讨论了不同种植篱模式对氮素流失效应的影响, 结果表明, 就总氮而言, 20°坡地紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)与香根草(*Vetiveria zizanioides*)植物篱模式的年均总氮流失负荷分别比横坡农作模式降低92.4%、90.0%; 13°坡地紫花苜蓿(*Medicago sativa*)与蓼草(*Eulaliopsis binata*)植物篱模式的年均总氮流失负荷分别比横坡农作模式降低88.7%、83.9%。不同种植篱模式都具有较好的防治面源污染的效果。黄欠如等(2001)在南方红壤区研究表明, 香根草植物篱在红壤坡耕地上有较好的减流减沙能力, 可分别拦截径流和泥沙29%~72%和56.25%~97.4%。范洪杰等(2014)在南方紫色土坡耕地研究表明, 香根草植物篱可拦截径流75%, 拦截泥沙83%。廖晓勇等(2009)通过长期定位试验, 发现三峡库区饲草玉米植物篱可以削减土壤侵蚀量、地表径流量的幅度分别达41.41%~75.20%、35.71%~57.05%, 有效改善了土壤养分。Eghball等(2000)在美国深层黄土区研究表明, 牛尾梢(*Hedysarum scoparium*)草篱对径流和泥沙的阻控率分别为22%~52%和53%~63%。Culluma等(2007)研究表明0.5 m宽的芒属(*Miscanthus*)草篱使土壤侵蚀量降低了90%。Pansakw等在(2008)泰国北部建立了25 cm×75 cm的香根草植物篱, 研究表明香根草植物篱可以有效阻控30%的总氮流失。

收稿日期: 2021-08-04 修回日期: 2022-10-15

基金项目: 北京市农林科学院植物营养与资源环境研究所团队促进项目(ZHS202304); 北京市农林科学院青年基金(QN-JJ2022014); 北京市乡村振兴科技项目(20220924); 联合国开发计划署项目(The UNDP Project)——密云水库面源污染生态控制与环境可持续发展研究(cpr/19/401)。

作者简介: 王磊, 1993年生, 男, 高级农艺师, 硕士, 主要从事农业面源污染治理研究。E-mail: 314429112@qq.com

通信作者: 安志装, 1969年生, 男, 研究员, 博士, 主要从事农业面源污染治理研究。E-mail: azzly@126.com

随着国民生态环保意识的增强,水土流失、水体富营养化等环境问题受到了各界的关注,学术界也掀起了以生物拦截技术防治农业面源污染的研究热潮(施卫明等,2014)。但目前关于不同物种植物篱模式对坡耕地土壤氮磷流失阻控效应的研究还相对较少,已筛选出的水土保持效果较好的植物篱模式可产生的经济价值较低。因此,本次试验针对密云水库这一特殊的地理位置,通过设置4种不同的植物篱模式,分析不同植物篱模式下径流小区的产流和产沙情况,探讨不同植物篱对坡耕地地表径流、泥沙和养分的拦截效率及其影响因素,筛选出拦截效果最佳、经济效益最佳的植物篱模式,以期为密云水库水源保护地保护和修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

研究区位于密云水库库区北京市农林科学院面源污染防控基地(117°6'42.08"E, 40°32'22.02"N),面积13 333 m²。其北边是主要入库河流潮河,南边为清水河。年均气温约13.5℃,海拔155 m。研究区共建有16个径流小区,每年定期采集基础土壤样品,每个小区分上、中、下坡采集土样,每个样品取3次重复,每批样品共有144个。土壤类型为砂质土,2019年测得土壤基础理化性质pH为6.33,有机质含量11.42 g/kg,全氮含量6.89 g/kg,速效磷10.5 g/kg,速效钾39.7 g/kg。

1.2 试验设计

本试验采用完全随机区组设计,在密云水库周边坡耕地先后设置4个区组,每组包括1种植物篱模式径流小区和1个裸地对对照小区CK。4种植物篱模式小区分别为T1(桔梗+狗牙根)、T2(丹参+狗牙根)、T3(桑树+野牛草)、T4(黄芩+野牛草)。每种植物篱模式径流小区设3个重复,如图1。试验地安装有自动雨量计。为避免因外坡面径流汇入给监测结果造成偏差,研究组还为16个径流小区分别修建了临时挡水墙,埋深为80 cm,地上高度为30 cm。径流小区的集雨产沙水平投影均为顺坡10 m、横坡5 m的矩形,面积为50 m²。此外,径流小区底部还设置了径流液出口,并借助自带计量功能的径流桶收集,最大容纳量为5 000 L(如图2,图3)。裸地为长期裸露的地块,因裸地上经常会有野草等生长,所以为了常年保证裸地数据的准确性,基地工作人员会定期用剪刀小心地剪去地上部分,不造成土壤扰动。

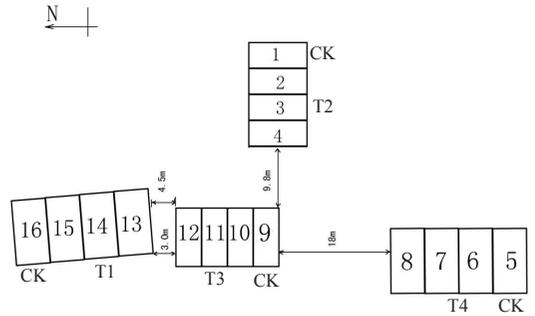


图1 径流小区设计

Fig.1 Design drawing of runoff plots

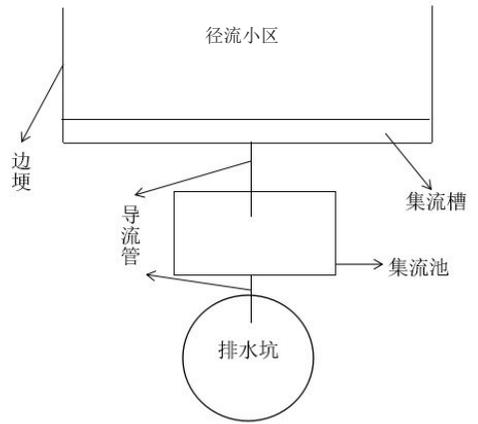


图2 径流小区布设

Fig.2 Runoff plot layout

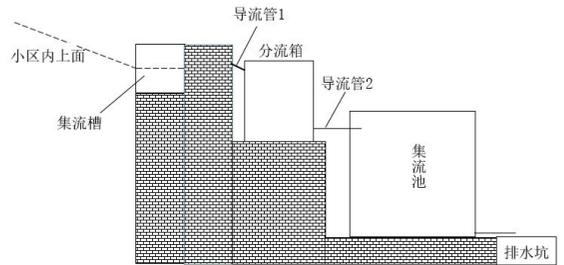


图3 径流小区集流池系统示意

Fig.3 Schematic diagram of the catchment tank system in the runoff plots

依据适合当地土地和气候条件、多年生草本或木本植物、水土保持效果好、旺期生长期与集中降雨季相一致、经济价值高等原则,本试验采用的植物篱物种桑树(*Morus alba*)、丹参(*Salvia miltiorrhiza*)、野牛草(*Buchloe dactyloides*)、黄芩(*Scutellaria bicalensis*)、桔梗(*Platycodon grandiflorus*)、狗牙根(*Cynodon dactylon*) 6种生长阶段无需施肥的生态型且具有一定经济、景观价值的植物进行间作种植。桑树采用移栽的方式种植,其具有耐寒、耐旱、耐瘠薄、对土壤的适应性强等特点,根系特别发达,且具

有较高的经济价值,果实可食用、入药。丹参、黄芩、桔梗是多年生草本植物,根系发达,对土壤选择性不强,其根可入药,采用播种的方式种植。野牛草和狗牙根是多年生草本植物,生命力极其旺盛且种植方法简单,采用播种的方式种植。6种植物均于2012年4月布设在径流小区中,株距为15 cm,篱间距为100 cm,每个径流小区每种植物间隔种植,1:1布置,共布设8行,具体组合模式见表1。开始监测时植物篱带内盖度约为90%,且不同物种植物篱差异不大,2020年各径流小区植物篱生长状况见表1。

表1 不同径流小区植物篱模式情况

Tab.1 Hedgerow treatment for each runoff plot

编号	植物篱模式	株高/cm	坡度/°	土地利用类型
T1	桔梗+狗牙根	50	10	林草地
T2	丹参+狗牙根	45	10	林草地
T3	桑树+野牛草	230	10	林草地
T4	黄芩+野牛草	40	10	林草地
CK	空白	—	10	裸地

1.3 试验方法

1.3.1 采样与测定 2020年1-12月,在试验区开展动态监测工作,监测期内共有6场降雨产生地表径流,其他场次降雨均未产生地表径流,直接在径流小区内入渗。当次降雨在径流小区产生地表径流时,雨后需按径流小区分别采集水样,共采集径流水样6批,每批16个样品,共96个样品,每个样品600 mL。

植物株高:采用卷尺测量,每个小区除桑树外随机选择10株植物进行测量,取其平均值。桑树高度采用测斜仪测定。

植物篱盖度:采用针刺法测定,借助于钢卷尺和样方框绳上每隔1.25 m的标记,用粗约2 mm的细针(针越细结果越准确),按顺序在样方内上下左右间隔1.11 m的点(共5 000个点)上,从植被的上方垂直下插,如果针与植物接触,即算作一次“有”、如没有接触则算“无”不划记。最后计算划记的数次,用百分数表示即为盖度。

径流采集与测定:单次降雨产流结束后,将径流小区的径流通过集流槽收集到径流桶中,由水位流量关系计算单次降雨的径流量。取径流桶中的清夜3次重复的混合样0.6 L,加入4 mL浓硫酸,测定径流氮、磷浓度。

泥沙采集与测定:有产流的单次降雨结束后采集水样,待径流桶中地表径流澄清后,弃去清夜,将余下的悬浊液收集至塑料桶,继续澄清,收集泥沙,45°烘干测定泥沙量。

径流养分测定:径流全氮(total nitrogen of runoff, WTN)浓度采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定(彭鹏和石慧,2008);径流铵氮(ammonium nitrogen of runoff, WAN)浓度,将水样经0.45 μm滤膜过滤后采用流动注射分析仪法测定(郑科等,2018);径流总磷(total phosphate of runoff, WPN)采用钼酸铵分光光度法测定(秦雨,2020)。

1.3.2 数据分析与计算 用Excel 2010和SPSS11.0进行统计分析,采用单因子方差分析(one way-ANOVA)和SNK(Student-Newman-Keuls)法进行不同处理间单次降雨径流泥沙量和养分流失量的差异显著性比较。

$$\text{相对拦截率 } \eta = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: C_0 为CK组养分流失量; C_i 为第*i*处理组养分流失量。

2 结果与分析

2.1 不同植物篱的截流减沙效应

2.1.1 降雨特征 由于试验区受暖温带季风气候影响,1-5月及9-12月,次降雨量较小,雨水大多直接渗入土壤,未能形成径流。而2020年度形成地表径流的6场降雨都集中在6、7、8月,分别为1场、3场和2场。其中,4场降雨在白天,2场在夜间,根据降雨分级标准,降雨量15.0~29.9 mm为大雨,30.0~69.9 mm为暴雨,每场降雨的降雨量、降雨时长以及平均雨强差异较大(表2)。

表2 监测期间产生地表径流的降雨情况

Tab.2 Information on the six rainfall events that produced surface runoff

降雨日期	降雨量/mm	降雨时长/h	平均雨强/mm·h ⁻¹	降雨时段	降雨等级
2020-06-29	67.5	3.45	19.57	白天	暴雨
2020-07-02	35.1	2.25	15.60	白天	暴雨
2020-07-13	20.4	5.08	4.01	夜晚	大雨
2020-07-26	26.5	4.33	6.12	白天	大雨
2020-08-04	46.4	4.23	10.96	白天	暴雨
2020-08-18	52.6	2.80	18.79	夜晚	暴雨

降雨量不仅取决于降雨时长,还与降雨强度密切相关。第1、2、6场降雨,尽管降雨时长相对较短,但由于平均雨强大,总体降雨量反而更大(图4)。这3场降雨前期30 min降雨量增长明显,而后才缓慢下降。第5场降雨在30~180 min呈现先增加后减小趋势,而后在180~210 min又突然增加,而后减小。第4场降雨

与第5场降雨呈现规律一致。第3场降雨是在120 min后开始减小,180 min后就一直是小雨状态,差异不大,直至停止。

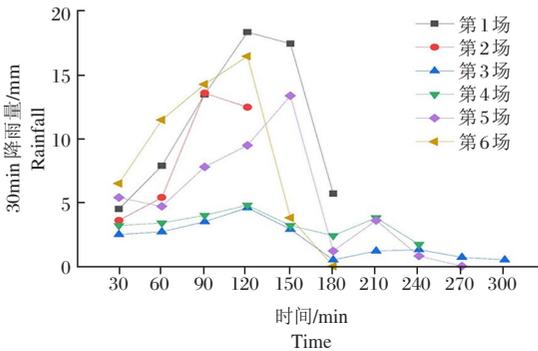


图4 6场降雨量随降雨历时变化

Fig.4 Variation in rainfall amounts of the six rainfall events

2.1.2 不同径流小区径流量 次降雨量与地表径流量存在正相关,即次降雨量越大,地表径流量也越大(表3)。试验期间,次降雨量最大的是第1场,其次是第6场,各处理小区在这2场降雨下的径流量均高于其他几场降雨。可见,降雨时长和平均雨强对径流量影响显著。同一场降雨下,各处理小区的径流量具有显著性差异,相比于对照径流小区,处理小区径流量更少,表明4种植物篱模式对坡耕地地表径流均可起截留作用,能够有效防止水土流失对周边环境造成污染。

2.1.3 径流量与泥沙量 通过对比处理小区和对照径流小区的径流量发现4种植物篱均可起到水土保持效果(图5)。不同物种植物篱处理下径流量大小为“桑树+野牛草”<“黄芩+野牛草”<“桔梗+狗牙根”<“丹参+狗牙根”(图5),计算得出不同物种植物篱对地表

表3 不同植物篱模式下径流量 L
Tab.3 Runoff for each rainfall for each plot

植物篱模式	第1场降雨	第2场降雨	第3场降雨	第4场降雨	第5场降雨	第6场降雨
T1	25.77±0.51 ^c	16.82±0.65 ^c	13.35±0.64 ^b	14.75±0.49 ^c	21.38±0.07 ^d	28.99±0.54 ^c
T2	29.02±0.31 ^b	16.17±0.73 ^b	13.21±0.31 ^b	14.78±0.56 ^b	22.58±0.20 ^b	26.88±0.39 ^c
T3	12.45±0.84 ^d	8.75±0.66 ^d	6.65±0.33 ^c	7.59±0.25 ^d	11.93±0.51 ^c	17.13±0.66 ^d
T4	25.78±1.71 ^c	14.67±0.33 ^b	12.83±0.59 ^b	12.76±0.72 ^b	20.47±0.70 ^c	26.13±0.58 ^b
CK	44.38±0.90 ^a	24.53±0.65 ^a	15.30±0.99 ^a	18.68±0.24 ^a	35.23±0.35 ^a	39.00±0.52 ^a

注:同一列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences($P<0.05$).

径流相对拦截率均可达30%以上,其中“桑树+野牛草”植物篱拦截效应最为显著,大雨雨强下相对拦截率为57.96%,暴雨雨强下相对拦截率为64.63%。富含营养的泥沙是造成水体污染的重要原因,设置植物篱能够有效拦截泥沙,达到防治水体污染的目的。

乔木、灌木以及草本植物都能起到截留泥沙的作用(图5)。不同物种植物篱处理下泥沙量大小为“桑树+野牛草”<“黄芩+野牛草”<“桔梗+狗牙根”<“丹参+狗牙根”,计算得出不同物种植物篱对泥沙的相对拦截率达78%以上,其中大雨雨强下“桑树+野牛草”植物篱拦截效应最显著,大雨雨强下相对拦截率为96.64%,暴雨雨强下相对拦截率为97.17%。在植物篱的作用下,大量泥沙在篱前被拦截,因此水体中泥沙增速放缓,养分富集也逐渐变慢。

相关性分析结果显示,泥沙量和径流量之间存在显著正相关, $R^2=0.6537$,回归方程式为 $y=0.0257x-0.277$ (图6)。表明地表径流越大,泥沙量也将随之增加。一方面,植物篱的存在可以使径流流速变慢,径流所携

带的部分泥沙将被截留;另一方面,植物根系还会令土壤孔隙增加,更多的地表径流会渗入土壤中。综上,4种植物篱截流减沙的作用都比较明显,尤其是“桑树+野牛草”植物篱相对拦截效应最显著,可以避免坡耕地径流和泥沙汇入周边水体对其造成污染。

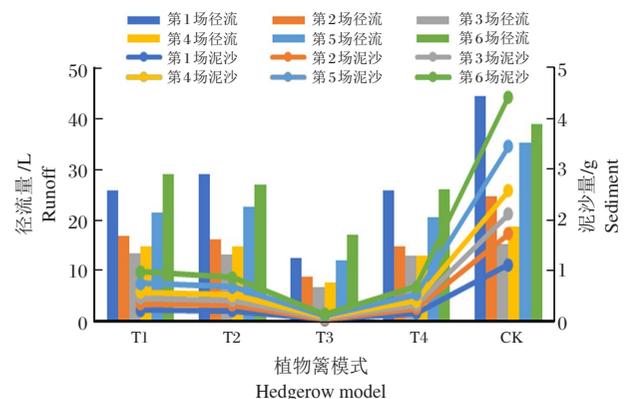


图5 不同植物篱模式下的泥沙量与径流量

Fig.5 Sediment load and runoff for each hedgerow model

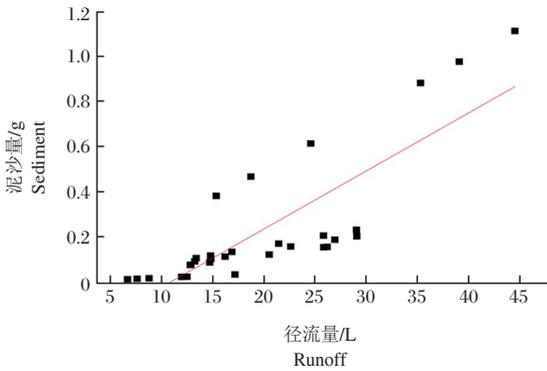
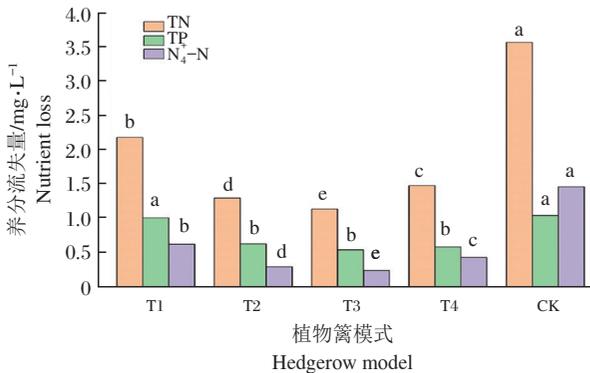


图6 泥沙量与径流量线性回归

Fig.6 Linear regression of sediment and runoff

2.2 不同物种植物的养分拦截效应

2.2.1 养分流失量 对比各处理小区和对照径流小区氮磷钾等养分流失情况发现,植物篱还能够拦截养分,同样对防治水体污染意义重大。通常,氮、磷等养分会伴随着径流和泥沙逐渐流失,有了植物篱的存在,大量养分或被拦截在土壤中,或直接被植物吸收,流失的养分减少。 F 检验和多重比较得出,各处理小区和对照径流小区的总氮、氨氮流失量存在显著差异($P<0.05$);除“桔梗+狗牙根”植物篱外,各处理小区与对照径流小区总磷流失率也存在显著差异($P<0.05$),如图7。



同一列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)

图7 不同植物篱模式下养分流失量

Different letters in the same column indicate significant differences($P<0.05$)

Fig.7 Nutrient loss under different hedgerow treatment

2.2.2 相对拦截量和相对拦截率 “桑树+野牛草”植物篱拦截效应最显著,对氮的相对拦截量为93.14 mg,相对拦截率约88.27%(表4),是避免下游水体氮富集的最佳选择。“桔梗+狗牙根”植物篱对氮的拦截能力也较为突出,总氮相对拦截率超过58%。此外,“桑树+野牛草”“丹参+狗牙根”以及“黄芩+野牛草”3种植物篱对氨氮的相对拦截率也超过了70%。

磷的拦截效果由强到弱依次是“桑树+野牛草”>“黄芩+野牛草”>“丹参+狗牙根”>“桔梗+狗牙根”,除“桔梗+狗牙根”植物篱外相对拦截率均超过33.70%。其中,“桑树+野牛草”植物篱相对拦截率为80.72%,相对拦截量为25.17 mg(表4),说明该植物篱模式能够有效拦截径流中的磷,避免下游水体出现磷富集现象。

表4 不同植物篱模式下养分拦截效应

Tab.4 Nutrient interception effect under different hedgerow treatments

植物篱模式	相对拦截量/mg·L ⁻¹			相对拦截率/%		
	TN	TP	NH ₄ ⁺ -N	TN	TP	NH ₄ ⁺ -N
桔梗+狗牙根	61.30	10.51	30.67	58.10	33.70	70.40
丹参+狗牙根	78.71	18.03	34.41	74.59	57.83	78.99
桑树+野牛草	93.14	25.17	40.77	88.27	80.723	93.58
黄芩+野牛草	77.51	19.88	37.70	73.46	63.75	86.55

由表4可知,“桑树+野牛草”植物篱无论是氮相对拦截抑或是磷相对拦截,效果都比较显著,宜大规模推广,以缓解密云水库水体富营养化的问题。其拦截效果显著的原因为:(1)野牛草生长速度惊人,且植基盖度大,可以大幅降低径流速度,将大量泥沙拦截;(2)野牛草根系发达,能够增大土壤孔隙,使更多的径流渗入土壤;(3)相比于其他草本植物,野牛草地上生物量更大,可以吸收和拦截更多的养分。因此,应积极推广“桑树+野牛草”植物篱种植模式,避免农业面源污染对下游水体的影响。

3 讨论

3.1 植物篱拦截效应影响因素

借助植物篱防治农业面源污染的原理是利用植物篱来吸收和拦截径流、泥沙和养分,进而减轻对水环境的影响。影响植物篱拦截效应强弱的因素主要有面源污染物运移能力、阻力以及过程3方面。面源污染物运移能力,主要取决于降雨量、降雨时长和平均雨强,阻力则通常包括植物篱覆盖度、抗冲能力等。本试验结果表明,降雨量、平均雨强增加,地表径流量会随之增大(表2、表3)。径流增加量,主要受平均雨强的影响。面源污染物在运移时,由于径流小区覆盖物的存在,使一部分径流直接渗入土壤中;随后,面源污染物又被植物篱拦截,径流的速度明显降低,大量泥沙、养分被固定在植物篱四周的土壤中;少量面源污染物未能被有效拦截,最终运移至下游水体中。因此,植物篱种植宽度、行数以及基盖度的增加,可以削弱面源污染物的运移能力,从而使更

多的径流、泥沙和养分被拦截。抗冲刷能力就是植物篱承受径流冲击的能力,抗冲能力越强则植物篱越不易被破坏,拦截径流的能力也就更强;此外,植物篱根系发达与否,也对拦截保土效果有着直接的影响。通常,灌木、草本植物的根系越发达,土壤孔隙越大,越有利于径流的入渗和泥沙的拦截。坡度、坡位也在很大程度上影响着植物篱的拦截能力。随着监测时间的推移,植物篱四周泥沙堆积越来越多,拦截能力也将被改变。

3.2 植物篱模式推广建议

植物篱种植模式对防治农业面源污染的作用毋庸置疑,但在推广普及时还须关注以下3点:(1)植物篱物种选择,既要优先考虑截流减沙效果更明显的物种,也需要结合实际情况有效利用当地物种;(2)植物篱种植,应当明确配置模式、种植位置,充分发挥植物篱的拦截效应,植物篱配置应采取乔草组合、灌草组合或乔灌草组合模式,一般认为灌草、乔草搭配拦截效果最为显著,此外,植物篱不宜占用过多的耕地,可以利用坡耕地边坎区来种植(田潇等,2015);(3)植物篱效益,若要确保植物篱种植模式在密云水库坡耕地顺利推广,就必须给农户创造实实在在的经济效益从而得到农民的认可和支持,所以,植物篱的推广应实现社会效益、生态效益和经济效益的统一。

通过径流小区试验、数据分析可知,“桑树+野牛草”为4种植物篱种植模式中截流减沙效果作为显著的,“黄芩+野牛草”次之,“桔梗+狗牙根”的拦截能力相对较差。这是由于桑树的根系极为发达,可以很好的保持土壤,且野牛草生长速度快,在桑树生长初期时就可以有效防治初期土壤侵蚀,促进土壤表土层的形成。而“黄芩+野牛草”植物篱模式的减流减沙效果同样较好,说明野牛草在保持水土流失、减少面源污染方面效果显著,可以作为水土保持的先锋植物予以推广。试验结果对生态拦截防治农业面源污染、促进生态农业发展、保障人类和牲畜健康与生命安全等具有重要意义,但是对植物篱根系拦截和吸收养分的机理有待进一步深入研究。

参考文献

范洪杰,黄欠如,秦江涛,等,2014. 稻草覆盖和草篱对红壤缓坡旱地水土流失及作物产量的影响[J]. 土壤, 46(3):550-554.

黄生斌,刘宝元,刘晓霞,等,2007. 密云水库流域农业非点源污染基本特征分析[J]. 农业环境科学学报, (4):1219-1223.

黄欠如,章新亮,李清平,等,2001. 香根草篱防治红壤坡耕地侵蚀效果的研究[J]. 江西农业学报, 13(2): 40-44.

廖晓勇,罗承德,陈义相,等,2009. 陡坡地饲草玉米生物篱的生态效益研究[J]. 农业环境科学学报, 28(3): 633-638.

彭鹏,石慧,2008. 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定水样中的总氮[J]. 污染防治技术, 21(2): 86-88.

蒲玉琳,谢德体,林超文,等,2014. 紫色土区不同植物篱模式控制坡耕地氮素流失效应[J]. 农业工程学报, 30(23): 138-147.

秦雨,2020. 纳氏试剂比色法测定地表水中氨氮的不确定度分析[J]. 现代农业科技, (24):125-127.

施卫明,薛利红,王建国,等,2014. 农村面源污染治理的“4S”理论与工程实践:生态拦截技术[J]. 农业环境科学学报, 33(9):1697-1704.

田潇,周运超,蔡先立,等,2015. 坡耕地不同物种植物篱对面源污染物的拦截效率及影响因素[J]. 农业环境科学学报, 34(3):494-500.

王燕,宋凤斌,刘阳,2006. 等高植物篱种植模式及其应用中存在的问题[J]. 广西农业生物科学, 25(4): 369-374.

俞国松,刘超群,王敬贵,等,2013. 植物篱水土保持功能与种植模式的研究进展[J]. 人民珠江, (6): 84-87

张雪莲,赵永志,廖洪,等,2019. 植物篱及过滤带防治水土流失与面源污染的研究进展[J]. 草业科学, 36(3): 677-691.

郑科,赵亚云,孙靖,等,2018. 地表水中总磷的2种测定方法的比对试验研究[J]. 绿色科技, (22): 52-53.

Culluma R F, Wilsona G V, Mcgregora K C, et al, 2007. Runoff and soil loss from ultra-narrow row cotton plots with and without stiff-grass hedges[J]. Soil and Tillage Research, 93: 56-63.

Donjatee S, Tingsanchali T, 2013. Reduction of runoff and soil loss over steep slopes by using vetiver hedgerow systems [J]. Paddy and Water Environment, 11(1/4):573-581.

Eghball B, Gilley J E, Kramer L A, et al, 2000. Narrow grass hedge effects on phosphorus and nitrogen in runoff following manure and fertilizer application[J]. Journal of Soil and Water Conservation,55(2):172-176.

Grimaldi C, Fossey M, Thomas Z, et al, 2012. Nitrate attenuation in soil and shallow groundwater under a bottomland hedgerow in a European farming landscape[J]. Hydrological Processes, 26(23):3570-3578.

Pansak W, Hilger T H, Dercon G, 2008. Changes in the relationship between soil erosion and N loss pathways after establishing soil conservation systems in uplands of Northeast Thailand[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 128: 167-176.

Nitrogen and Phosphorus Interception and the Control Effected by Different Hedgerow Patterns in the Miyun Reservoir Area

WANG Lei, SUO Lin-na, WEI Dan, JIN Liang, DING Jian-li, SU Liu-yan, AN Zhi-zhuang

(Institute of Plant Nutrition, Resources and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, P.R. China)

Abstract: Miyun Reservoir is an important drinking water source for Beijing and has long been an important conservation area. Because of high nutrient (nitrogen and phosphorus) loss from cultivated land around Miyun Reservoir, we studied the effect of different hedgerow treatments on stormwater runoff, sediment loading and nutrient interception from the sloping farmland around Miyun Reservoir using statistical analysis of plot runoff test results. A rational scientific agroforestry model for the land around Miyun Reservoir was then developed. Four treatments and a control were tested in triplicate, requiring a total of 15 runoff plots. The control (CK) was a bare plot and each treatment was a combination of two hedgerow species: (T1) *Platycodon grandiflorus* + *Cynodon dactylon*, (T2) *Salvia miltiorrhiza* + *Cynodon dactylon*, (T3) *Morus alba* + *Buchloe dactyloides*, (T4) *Scutellaria baicalensis* + *Buchloe dactyloides*. Surface runoff volume and the sediment and nutrient content of the runoff were monitored under natural conditions in 2020, during six rainfall events that produced surface runoff. Results show that: (1) The four hedgerow treatments all reduced flow, and downstream sediment and nutrient pollution, consequently reducing water environment eutrophication. The volume of runoff among the four hedgerow planting combinations were in the order: *Morus alba* + *Buchloe dactyloides* < *Scutellaria baicalensis* + *Buchloe dactyloides* < *Platycodon grandiflorus* + *Cynodon dactylon* < *Salvia miltiorrhiza* + *Cynodon dactylon*. The *Morus alba* + *Buchloe dactyloides* combination was most effective, reducing surface flow by 57.96% and sediment by 96.64% after heavy rain, and by 64.63% and 97.17%, respectively, after moderate rain. This combination also effectively reduced the content of nitrogen and phosphorus in surface runoff, phosphorus by 25.17 mg/L (80.72%) and nitrogen by 93.14 mg/L (88.27%). (2) Considering the economic, social and ecological benefits, the best hedgerow combination for preventing and controlling non-point source pollution is *Morus alba* + *Buchloe dactyloides*, followed by *Scutellaria baicalensis* + *Buchloe dactyloides*. *Buchloe dactyloides* (bison grass) is very effective in preventing soil loss and preventing water pollution and it should be popularized as a pioneer plant for controlling non-point source pollution.

Key words: soil; runoff; hedgerow pattern; sloping farmland; nitrogen and phosphorus loss