

丹江口库区不同种植模式下氮磷流失和经济效益分析

李 涛¹, 鄢紫薇², 王 砚², 张秀玲², 严 昶³,

郝福新⁴, 吴 山⁴, 李 辉⁵, 何 剑⁶, 林 杉²

(1.湖北省十堰市农业生态环境保护站, 湖北 十堰 442000; 2.华中农业大学

资源与环境学院/农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070;

3.湖北省农业生态环境保护站, 武汉 430070; 4.湖北省襄阳市农业技术推广中心, 湖北 襄阳 441021;

5.湖北省十堰市郧阳区农业技术推广中心, 湖北 十堰 442514; 6.湖北省丹江口市农业环境保护站, 湖北 丹江口 442700)

摘 要:丹江口水库长期以来因为坡耕地氮磷流失引起的面源污染问题严重,进而影响了当地的经济效益。通过三年田间小区试验,研究了自然降雨条件下玉米单作、银杏+芍药间作以及三叶菜+红花轮作3种植模式对丹江口库区坡耕地地表氮磷养分流失的影响,并进行了经济效益分析。结果表明:银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作对坡耕地地表氮磷流失有显著的阻控作用,并可有效降低水土流失;与玉米单作相比,银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作泥沙流失量分别减少了8.30%和8.94%,径流总氮年均流失量分别减少了28.69%和22.92%,径流总磷年均流失量分别减少了29.25%和37.26%;银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作两种种植模式比玉米单作经济效益高,尤其是三叶菜+红花纯收入是玉米单作的19.29倍;从农田氮磷面源污染控制和经济效益综合分析,三叶菜+红花轮作模式是丹江口库区较合理的生态种植模式,可进一步推广应用。

关键词:丹江口库区;坡耕地;氮磷流失;银杏芍药间作;三叶菜红花轮作;经济效益

中图分类号:S157; F326

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)05-0035-06

Analysis of Nitrogen and Phosphorus Losses and Environmental Benefits Under Different Planting Patterns in Danjiangkou Reservoir Area

LI Tao¹, YAN Ziwei², WANG Yan², ZHANG Xiuling², YAN Chang³,

HAO Fuxin⁴, WU Shan⁴, LI Hui⁵, HE Jian⁶, LIN Shan²

(1. Shiyang Agro-ecology Environmental Protection Station, Shiyan, Hubei 442000, China; 2. College of Recourses and Environment, Huazhong Agricultural University/Key Laboratory of Arable Land Conservation in Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China; 3. Hubei Agricultural Ecological Environment Protection Station, Wuhan 430070, China; 4. Xiangyang Extensive Center of Agricultural Technology, Xiangyang, Hubei 441021, China; 5. Shiyan Yunyang District Agricultural Technology Extension Center, Shiyan, Hubei 442514, China; 6. Agricultural Environmental Protection Station of Danjiangkou, Danjiangkou, Hubei 442700, China)

Abstract: For a long time, the non-point source pollution caused by the losses of nitrogen and phosphorus from sloping farmland in Danjiangkou Reservoir has been serious, which has affected the local economic benefits. The effects of maize monocropping, Ginkgo biloba and peony intercropping and shamrock and safflower rotation cropping on surface nitrogen and phosphorus losses of sloping farmland in Danjiangkou Reservoir area were studied by field plot experiment for three years, and the economic benefits were analyzed. The results showed that the intercropping of ginkgo+peony and rotation of shamrock+safflower could significantly inhibit the losses of nitrogen and phosphorus, and effectively reduce the soil and water loss in sloping farmland. Compared with maize monoculture, sediment loss of Ginkgo+Paeonia intercropping and Shamrock+Safflower rotation decreased by 8.30% and 8.94%, runoff of total nitrogen decreased by 28.69% and 22.92%, and runoff of total phosphorus decreased by 29.25% and

收稿日期:2020-10-15

修回日期:2020-11-09

资助项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项南水北调工程水质安全保障关键技术与示范项目“水源区中药材生态种植与氮磷污染负荷消减技术与示范”(2012ZX07205002-02);国家重点研发计划(2017YFD0301103);湖北省自然科学基金项目(2017CFB159)

第一作者:李涛(1981—),男,湖北十堰人,高级农艺师,主要从事农业面源污染研究。E-mail:362459872@qq.com

鄢紫薇(1998—),女,湖北天门人,硕士研究生,主要从事土壤环境修复研究。E-mail:yanziwei0903@163.com

通信作者:林杉(1981—),男,福建平潭人,博士,副教授,主要从事农业生态环境研究。E-mail:linshan@mail.hzau.edu.cn

37.26% respectively. Ginkgo+peony intercropping and shamrock+safflower rotation cropping modes had higher economic benefits than maize monoculture, especially the net income of shamrock+safflower was 19.29 times that of maize monoculture. Based on the comprehensive analysis of nitrogen and phosphorus non-point source pollution control and economic benefit, the shamrock vegetable+safflower rotation pattern is a more reasonable ecological planting pattern in Danjiangkou reservoir area, which can be further popularized and applied.

Keywords: Danjiangkou Reservoir area; sloping farmland; nitrogen and phosphorus loss; Ginkgo+Paeonia intercropping; shamrock+safflower rotation; economic benefits

据全国第二次土壤普查资料,我国耕地的水土流失面积约有 0.45 亿 hm^2 ,占到耕地总面积的 34.3%,其中坡耕地是水土流失的重要发生地之一^[1-2]。丹江口水库湖北库区坡耕地面积共有 15.1 万 hm^2 ,其中 $\geq 25^\circ$ 的坡耕地面积达 8.7 万 hm^2 ^[3]。近年来,玉米单作是丹江口地区的主要种植模式,该地区经济效益较低、水土流失严重,受到了广泛关注。水土流失过程中径流冲刷不仅导致了土壤颗粒流失、水库渠道淤积、河床抬高等问题,而且会造成养分最为丰富的表土流失,导致受纳水体的富营养化,引发严重的面源污染以及经济效益降低等一系列问题^[4-6]。所以,充分利用耕地资源、选取更优种植方式是有效控制坡耕地水土流失,有效改善氮磷流失以及增加单位面积耕地经济效益的关键,是实现可持续发展与精准扶贫的前提。

丹江口水库作为南水北调中线工程的水源地,重点解决北方沿线大城市的缺水问题。国家对水库的水质有较高要求,而该库区长期以来因为坡耕地氮磷流失引起的面源污染问题,已经成为南水北调中线工程水源区的一大隐患^[7-8]。有研究表明^[9],坡耕地种植牧草可以有效减少水土流失,多年生牧草比一年生牧草水土保持效果更好,同时坡耕地种草养畜的经济效益要高于种植农作物。李太魁等^[10]研究了套种绿

肥对丹江口库区坡地柑橘园氮磷流失的影响,发现绿肥作物套种可以减少地表径流中氮磷流失量。目前关于坡耕地面源污染的防治主要集中在养分管理方式和植物的生态拦截^[11-12],在种植过程中可以充分利用光照、雨水、节地、植物间相互依存关系,采用林药间作、高矮搭配、遮荫促长或轮作换茬、间歇歇田等高效生态模式,提高植物的郁闭度、减少水土流失、控制和减少氮磷的流失,同时提高林、药的病虫害抗性,增加产量,以实现较好的生态与经济效益。之前采用过玉米+白芷以及玉米+甘薯的经济产值虽然较玉米单作有所增强,但总经济水平仍然较低,为此,本研究以丹江口库区坡耕地为对象,研究玉米单作、银杏和芍药间作及三叶菜和红花轮作 3 种植植模式下坡耕地地表径流氮磷流失特征及其经济效益分析,以期为提高丹江口经济效益、库区面源污染防控及区域农业经济的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试玉米品种为宜单 629,银杏品种为佛手,芍药品种为美丽芍药,红花为散红花,三叶菜为大叶黄花草头,土壤基本理化性质见表 1。

表 1 试验土壤基本理化性质

pH	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	全氮/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\text{NO}_3^- \text{-N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\text{NH}_4^+ \text{-N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	碱解氮/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全钾/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
6.23	1.29	1.17	13.93	12.20	19.23	70.41	0.71	12.51

1.2 试验设计

试验位于十堰市郧阳区安阳镇余咀村($32^\circ 81' \text{N}$, $110^\circ 97' \text{E}$),试验监测时间从 2013 年 3 月至 2015 年 8 月,试验小区面积 60 m^2 ,坡度落差值 90 cm,各小区周围为混凝土结构,每个小区田埂处设置 25 cm 宽的出水口,出水口下方连着一个容积为 1 m^3 径流池,每次降雨产流后取样,并计算径流水体积。试验设置 3 种植植模式,分别为玉米单作、芍药+银杏间作和三叶菜+红花轮作,每个模式 3 次重复。玉米于每年的 3 月中旬播种,9 月上旬收获;芍药和银杏在 2013 年

3 月中旬种植,均为多年生,芍药于 3 a 后收获其地下根;三叶菜 2013 年 8 月种植,11 月中上旬收获,红花 12 月种植,第二年 6 月收获。玉米株距 90 cm,行距 160 cm;银杏株距 107 cm,行距 203 cm,芍药与银杏间作,将芍药移栽至银杏条间带,芍药株距 48 cm,行距 86 cm;三叶菜和红花轮作条播,株距 5 cm,行距 30 cm。

各试验小区的施肥量相同,玉米单作、芍药和银杏间作、三叶菜和红花轮作 3 种植植模式每年施肥水平分别控制在氮肥(N)300 kg/hm^2 ,磷肥(P_2O_5)150

kg/hm²,钾肥(K₂O)120 kg/hm²;玉米单作期间,以玉米季总氮量的 60%,磷肥的 50%以及全部钾肥做基肥,40%的氮肥以及剩余磷肥在玉米的大喇叭口期施入;三叶菜+红花轮作整地时施用氮肥 60%以及全部磷钾肥作为基肥,深翻入土打底,基肥施用时间为种植前 10~15 d,第二三年再进行追肥,具体施肥比例按照当地施肥习惯;银杏+芍药间作以总氮量 70%、全部磷钾肥作为基肥,剩余 30%氮肥视当地气候情况以及银杏生长情况进行追肥。

1.3 样品采集及测定方法

在试验阶段,每次降雨产流后,记录径流池内的水文刻度变化情况,据此以体积法计算得到降雨产生的径流量。径流水样和泥沙样的采集同步进行。在每场降雨结束后对径流池内汇集的全部雨水进行充分搅拌,用烧杯收集 500 ml 浑水样,采用过滤—烘干法测定浑水中的含沙量并推算降雨的全部产沙量。同时,用聚乙烯采样瓶采集 200 ml 径流水样以供分析。总氮(TN)和总磷(TP)含量采用过硫酸钾+紫外分光光度仪比色法测定。

1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2010 对数据进行预处理,利用 SPSS 22 统计软件进行数据处理和统计分析,用 Origin 9.0 进行绘图。

2 结果与分析

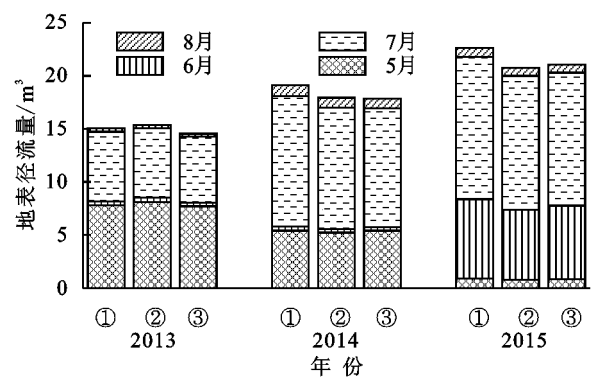
2.1 不同种植模式对地表径流量和产沙量的影响

根据国家气象局数据显示,鄂西北地区每年产生地表径流的时间主要集中在 5—8 月,该阶段的降雨量较大,占全年的 70%以上,短时间内的强降水极易引起地表径流以及沙土流失,因此每年于该时间范围内分别取样 4 次代表全年径流量和产沙量。图 1 和图 2 分别为玉米单作、银杏+芍药间作、三叶菜+红花轮作 3 种植模式下 2013—2015 年的 5—8 月间试验小区的径流量和产沙量监测数据,监测时间内的径流量和产沙量的总值视为当年的总和,以此来反映不同种植模式的坡耕地水土流失程度。

通过图 1 与图 2 可以看出,与玉米单作相比,芍药+银杏间作和三叶菜+红花轮作的地表径流总量和产沙总量在整体上均有一定程度的降低。对地表径流的三年总量分析发现,玉米单作、芍药+银杏间作和三叶菜+红花轮作三年总和分别为 56.78 m³, 54.03 m³, 53.45 m³, 3 种植方式的地表径流三年总量差异不大,其中三年径流总量最小的为三叶菜+红花轮作,与玉米单作相比差异仅为 3.33 m³。在产沙量方面,玉米单作、芍药+银杏间作和三叶菜+红花

轮作三年产沙总量分别为 37.48 kg, 34.37 kg 和 34.13 kg,芍药+银杏间作和三叶菜+红花轮作之间并无明显差异,但是相比玉米单作,后面两种种植方式的三年产沙总量分别降低了 8.30%和 8.94%。

经分析可得,3 种植模式下径流量和产沙量随年份变化虽然有所不同,但是不同种植模式之间的月径流量、月产沙量相差不大,且总体趋势变化也不大。2013 年,银杏+芍药间作过程中全年的径流量和产沙量均略高于玉米单作,可能是因为种植时间太短而使银杏和芍药的根系尚不稳定。到了 2014 年、2015 年,随着地表作物生长覆盖率的增加,以及种植作物根系发育日趋强壮,银杏+芍药间作与三叶菜+红花轮作两种模式相比于玉米单作明显降低,且二者间对地表径流量和产沙量的调控效果基本一致。相比玉米单作种植模式,2014 年,银杏+芍药间作与三叶菜+红花轮作下地表径流量分别减少了 1.19 m³, 1.25 m³,产沙量分别减少 1.74 kg 和 1.78 kg,而在 2015 年,则地表径流量降低了 1.86 m³, 1.57 m³,产沙量降低了 1.53 kg 和 1.42 kg。可见,当种植系统稳定后,玉米单作模式下的地表径流量和产沙量都是最高的,银杏+芍药间作与三叶菜+红花轮作种植模式均可以有效减缓地表水土流失。同时,根据各不同种植模式下的月径流量和月产沙量对比分析可知,除了 2015 年 6 月的地表径流量和产沙量较多以外,其余各年份中的 6 月和 8 月的产沙量和径流量均较低,不同种植模式间的当月趋势相差不大,各月份间的地表径流量和产沙量变化趋势基本一致,这可能是当地的降水量引起的。



注:图中①,②,③分别代表玉米单作、银杏+芍药间作、三叶菜+红花轮作 3 种不同的种植模式,下同。

图 1 不同种植模式下地表径流量

2.2 不同种植模式对地表氮流失的影响

监测年间,不同种植模式对地表氮流失的影响有所不同(图 3)。2013 年,玉米单作与银杏+芍药间作差异不明显,而三叶菜+红花轮作略低于玉米单作;2014 年和 2015 年,银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作均比玉米单作显著降低了地表氮的流失量,且随着年限增长氮

流失量的下降比例有增大趋势,其中 2015 年的下降比例分别为 39.51%和 31.03%。2013—2015 年,3 种植植模式地表氮素的平均流失量分别为 5.89 kg/hm²,4.20 kg/hm²,4.54 kg/hm²;与玉米单作相比,后两者种植模式的总氮流失量分别降低了 28.69%和 22.92%,是各模式施氮总量的 1.40%和 1.52%。可见,在径流情况下,玉米单作模式下总氮的流失量最大,而银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作可以有效减少氮素流失,对坡耕地总氮流失具有显著的阻控效应。

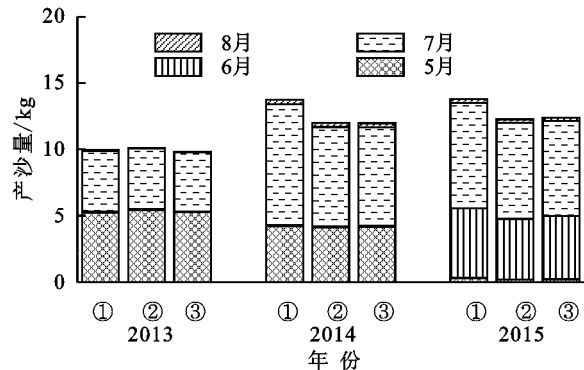


图 2 不同种植模式下的产沙量

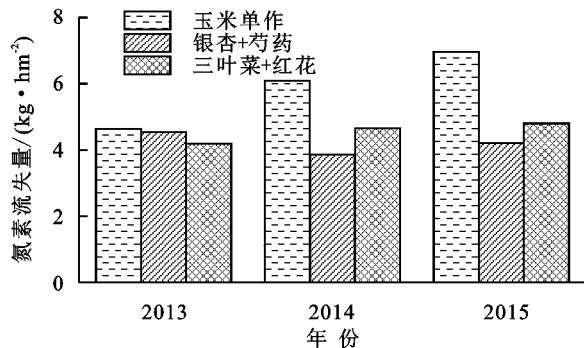


图 3 不同种植模式下地表径流总氮流失量

2.3 不同种植模式对地表磷流失的影响

监测年间,3 种植植模式下地表径流总磷流失量见图 4。玉米单作、银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作三年间的地表磷素平均流失量分别为 2.12 kg/hm²,1.50 kg/hm²,1.38 kg/hm²。2013 年,玉米单作、银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作地表磷流失量分别为 1.83 kg/hm²,1.82 kg/hm²,1.27 kg/hm²,银杏+芍药间作与玉米单作差异不明显,这可能是由

于芍药+银杏间作的根系不稳固,地表覆盖率较低所致,而三叶菜+红花轮作则比玉米单作的总磷流失量降低了 30.43%,显著降低了地表磷流失风险;但随着年份的增长,芍药+银杏间作的根系更加牢固,使其在之后对总磷流失的抑制作用大幅度增强,2014 年和 2015 年间,银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作的地表磷流失量均比玉米单作低得多,且随着年份的增加,这种差距越大;银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作两种种植模式之间的总磷流失量无显著差异,但是银杏+芍药间作对总磷流失的抑制作用略强于三叶菜+红花轮作;尤其是在 2015 年,相比玉米单作而言,三叶菜+红花轮作和银杏+芍药间作的地表磷流失量下降了 43.11%和 46.24%。这些结果表明,银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作两种种植模式均可降低坡耕地总磷流失量,从短期来看,三叶菜+红花轮作能在初始种植时对总磷流失有较好的抑制作用,而银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作两种种植模式对坡耕地总磷流失均有显著的长期阻控效应。因此,三叶菜+红花轮作种植模式更适用于对丹江口总磷流失的阻控。

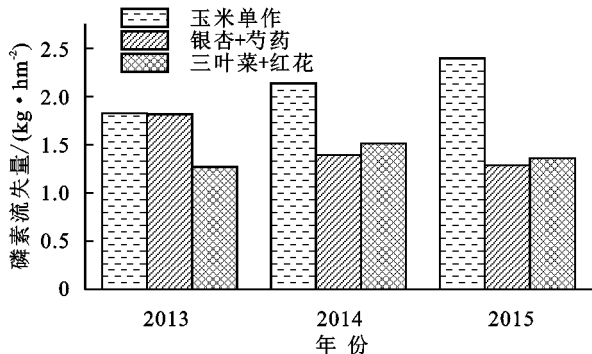


图 4 不同种植模式下地表径流总磷流失量

2.4 种植模式的经济效益

根据作物利用价值的不同,对其产量进行统计,结果列于表 2。芍药为多年生作物,故而以其三年成长期收获地下根(干重)的价值统计其经济效益;三年生银杏的叶片尚未能达到入药要求,暂不计其经济效益,故而仅对银杏三年生苗木的价值统计其经济效益;三叶菜取其鲜重统计经济效益,红花以干重统计经济效益。

表 2 不同种植模式下的作物产量

种植模式	作物	2013 年	2014 年	2015 年
玉米单作	玉米/(kg·hm ⁻²)	8525.70	8764.30	8952.80
	银杏/(株·hm ⁻²)	—	—	3330.00
银杏+芍药间作	芍药/(kg·hm ⁻²)	—	—	1561.80
	三叶菜/(kg·hm ⁻²)	46500.00	52500.00	49500.00
三叶菜+红花轮作	红花/(kg·hm ⁻²)	330.00	450.00	525.00

生产成本包括人工费用和物资费用。人工费用包括两部分,一是为支付田间施肥、播种、移栽、收获

等田间管理产生的人工费用,二是为本项目研究人员支出的相关费用,为 150 元/d;物资费用包括农药、化

肥、种苗等采购费,在种苗等方面,每种植 1 hm^2 银杏+芍药花费为 1.4 万元,种植 1 hm^2 三叶菜+红花的花费为 2 550 元。经济收益则来自作物本身,根据市场行情,当季农产品价格为:玉米 1.6 元/kg,银杏苗木 15 元/株,芍药 17 元/kg,三叶菜 0.5 元/kg,红花 80 元/kg。

经计算,每公顷银杏+芍药间作处理三年的经济纯收入为 17 380.00 元,三叶菜+红花间作处理经济纯收入为 130 980.00 元,而玉米单作处理经济纯收入仅为 6 788.50 元。与玉米单作处理相比,每 1 hm^2 银杏+芍药处理和三叶菜+红花轮作处理分别增收 10 591.51 元和 124 191.52 元。可见,三叶菜+红花轮作的种植模式在三年间产生的经济效益显著高于其他两种种植模式。此外,前述结果已表明银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作的三年氮、磷流失量显著低于玉米单作,且二者相差不大。因此,在丹江口库区可以大力推广银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作来有效抑制氮磷量流失,结合经济效益综合分析,三叶菜+红花轮作更好。

3 讨论

坡耕地的土壤养分流失主要是由降雨产生的地表径流引起的,农业管理措施对地表径流有较大影响,而这些影响因耕作、覆盖、种植作物等不同而有所不同^[13-15]。本研究中,与玉米单作相比,银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作两种种植模式均可以显著降低地表径流量和产沙量,特别是试验第三年(2015年),银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作两种种植模式在径流量上较玉米单作下降了 8.22% 和 6.94%,在产沙量上分别下降了 11.09% 和 10.30%。有研究表明^[16-21],地表径流量的多少与土壤的覆盖程度、土壤的持水能力及通透性有关。根据张兴昌等^[21]研究结果表明,牧草和草灌间作覆盖面积大于作物单作。本研究的银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作的作物覆盖面积均相比于玉米单作要大,这与雍世英^[9]牧草种植对坡耕地水土保持影响的研究结果相似,其主要原因是作物的种植可以增加植物覆盖面积,减缓降雨对土壤的侵蚀,减轻坡耕地地表径流,有利于坡耕地蓄水减流和保土减沙,提升土壤肥力。

地表径流中氮磷的流失与众多因素有关,包括降雨强度、种植模式、坡度、施肥量等^[17-18]。刘宗岸等^[19]研究茗溪流域茶园地表径流结果表明,氮磷流失量随降雨强度增大而增加,且等高种植径流水中总

氮、总磷低于顺坡种植。李太魁等^[20]研究间作三叶草和秸秆覆盖对地表径流氮磷流失量影响,发现秸秆覆盖阻控效果优于间作三叶草。本研究中银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作与玉米单作相比,显著降低了地表径流中氮磷的流失量,这与张兴昌等^[21]野外径流试验结果相似,其研究结果表明不同植被对地表径流养分流失阻控不同,草灌间作模式对地表径流养分的保持能力要强于作物种植。苟桃吉等^[22]研究也表明,相比玉米单作,黑麦草、墨西哥玉米草和大力士甜高粱 3 种牧草均能显著减少径流及泥沙中的氮磷养分流失量,这主要是由于牧草地表覆盖度较高和对养分吸收能力较强所致。徐泰平等^[23-24]对紫色土坡氮磷流失的结果表明,农田养分流失中颗粒态氮和可溶性磷是径流中的主要形式,而袁敏等^[25]研究表明南方红壤的固磷能力较强,磷溶解度不大,故径流水中可溶性磷浓度较低,此时颗粒磷的流失与总磷流失存在极显著关系,湘南地区梯田—油茶以及梯田油茶+秸秆覆盖、梯田—油茶+花生+植物篱、梯田—油茶+豆科牧草对磷养分的流失量,梯田—油茶单作时颗粒磷占总磷的 94.0%,而后者间作后磷素流失量分别占总磷是 14.3%,59.6% 和 52.9%,故间作能有效降低磷的流失。本研究中,三叶菜+红花轮作以及银杏+芍药间作相比玉米单作也是通过有效降低颗粒磷的流失从而有效控制总磷。中药材生态种植在近几年也受到了广泛关注,许雷等^[26]的研究了三叉苦+千里香套作存在互利共生关系,三叉苦的地上部分为千里香提供了遮阴,其叶片和修剪后的侧枝腐烂后还田,为千里香创造了适宜的生态环境,正如本研究中的银杏+芍药间作同样可以有效提高环境效益和生态效益。此外,本研究发现径流中总氮流失量要高于总磷,这可能是由于氮素的流失主要通过径流液流失,而磷的流失载体是泥沙,以颗粒态为主,因而磷在径流水体中的浓度相对较低^[27]。当然,不同的种植模式对坡地径流氮磷流失的影响是不同的,这还需要进一步研究。

本研究根据作物的利用价值不同对其产量进行统计,进而换算出 3 种植植模式下作物的经济效益,结果可见差异巨大。银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作经济效益显著高于玉米单作,尤其是三叶菜+红花轮作三年纯收入高达 130 980 元/ hm^2 ,是玉米单作纯收入的 19.29 倍。芍药、三叶菜和红花均是价值较高的中药材。因此,在丹江口库区推广银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作种植模式有重要的理论

和实践价值。银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作两种种植模式,可充分发挥农田氮磷流失的阻控功能,对于维持土壤肥力的可持续性,防控农田面源污染,提高农民经济收入有重要的现实意义,同时其合理调整种植模式有利于促进农业的可持续发展。

4 结论

(1) 与玉米单作相比,银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作可有效降低径流量和产沙量,在一定程度上提高了土壤保水固土能力。

(2) 银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作相比玉米单作对径流中氮磷流失的拦截作用更加明显。

(3) 根据三年大田小区试验数据来看,银杏+芍药间作和三叶菜+红花轮作经济效益明显高于玉米单作,尤其是三叶菜+红花轮作三年总体经济效益最高。总体来看,三叶菜+红花轮作模式是丹江口库区较合理的生态种植模式,可进一步推广应用。

参考文献:

- [1] 邵明安,张兴昌.坡面土壤养分与降雨、径流的相互作用机理及模型[J].世界科技研究与发展,2001(2):7-12.
- [2] 花东文.黄土丘陵区水土流失面源污染研究[J].南方农业,2020,14(12):184-185,188.
- [3] 郑京津,王高德,刘学全,等.丹江口湖北库区坡耕地农药污染现状与对策[J].湖北林业科技,2014,43(1):32-34.
- [4] 王全九,王力,李世清.坡地土壤养分迁移与流失影响因素研究进展[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(12):109-114.
- [5] 田卫堂,胡维银,李军,等.我国水土流失现状和防治对策分析[J].水土保持研究,2008,15(4):204-209.
- [6] 习斌,翟丽梅,刘申,等.有机无机肥配施对玉米产量及土壤氮磷淋溶的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):326-335.
- [7] 成庆利,朱铁群.丹江口水库库区水环境质量评价[J].水土保持研究,2008,15(1):202-204,208.
- [8] 尹炜,史志华,雷阿林.丹江口水库水环境问题研究[J].人民长江,2011,42(13):90-94.
- [9] 雍世英.丹江口市坡耕地牧草种植水土保持综合效益分析[J].人民长江,2011,42(10):98-100.
- [10] 李太魁,张香凝,寇长林,等.丹江口库区坡耕地柑橘园套种绿肥对氮磷径流流失的影响[J].水土保持研究,2018,25(2):94-98.
- [11] 谢勇,荣湘民,刘强,等.控释氮肥减量施用对春玉米土壤地表径流氮素动态及其损失的影响[J].水土保持学报,2016,30(1):14-19,25.
- [12] 邹晓锦,张鑫,安景文.氮肥减量后移对玉米产量和氮

素吸收利用及农田氮素平衡的影响[J].中国土壤与肥料,2011(6):25-29.

- [13] Baumhardt R L, Jones O R. Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas[J]. Soil & Tillage Research, 2002,68(2):71-82.
- [14] Abrisqueta J M, Plana V, Mounzer O H, et al. Effects of soil tillage on runoff generation in a Mediterranean apricot orchard[J]. Agricultural Water Management, 2007,93(1/2):11-18.
- [15] Li W, Tang L, Xiao W, et al. Effects of alley crop planting on soil and nutrient losses in the citrus orchards of the Three Gorges Region[J]. Soil and Tillage Research, 2010,110(2):243-250.
- [16] Liu Y, Tao Y, Wan K Y, et al. Runoff and nutrient losses in citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China[J]. Agricultural Water Management, 2012,110:34-40.
- [17] 李晓虹,雷秋良,周脚根,等.降雨强度对洱海流域凤羽河氮磷排放的影响[J].环境科学,2019,40(12):5375-5383.
- [18] 曾鹏宇,但浩,王昌全,等.施用猪粪对稻麦产量和土壤磷素积累与淋失的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2016,42(2):202-207.
- [19] 刘宗岸,杨京平,杨正超,等.苕溪流域茶园不同种植模式下地表径流氮磷流失特征[J].水土保持学报,2012,26(2):29-32.
- [20] 李太魁,张香凝,郭战玲,等.覆盖与间作对丹江口库区坡地茶园氮磷流失和土壤环境的影响[J].生态环境学报,2020,29(3):543-549.
- [21] 张兴昌,邵明安,黄占斌,等.不同植被对土壤侵蚀和氮素流失的影响[J].生态学报,2000,20(6):1038-1044.
- [22] 苟桃吉,高明,王子芳,等.3种牧草对三峡库区旱坡地氮磷养分流失的影响[J].草业学报,2017,26(4):53-62.
- [23] 汪涛,朱波,武永锋,等.不同施肥制度下紫色土坡耕地氮素流失特征[J].水土保持学报,2005,19(5):67-70.
- [24] 徐泰平,朱波,况福虹,等.平衡施肥对紫色土坡耕地磷素径流流失的影响[J].农业环境科学学报,2006,25(4):1055-1059.
- [25] 袁敏,文石林,徐明岗,等.湘南红壤丘陵区不同生态种植模式下土壤磷素流失特征[J].应用生态学报,2013,24(11):3162-3168.
- [26] 许雷,魏伟锋,马庆,等.三叉苦生态种植模式现状分析及建议[J].中国现代中药,2020,22(3):405-408,418.
- [27] 刘毅,陶勇,万开元,等.丹江口库区坡耕地柑桔园不同覆盖方式下地表径流氮磷流失特征[J].长江流域资源与环境,2010,19(11):1340-1344.