

坡耕地不同种植模式对农田水土保持效应及土壤养分流失的影响

马传功, 陈建军, 郭先华, 何晓彤, 祖艳群, 李元*

(云南农业大学资源与环境学院, 云南 昆明 650201)

摘要:针对云南彝良地震灾区灾后坡耕地水土流失的现状,进行了不同种植模式的水土保持效应的研究。通过对试验小区不同种植模式下的径流小区的监测,以探明不同种植模式对农田水土和养分流失及对收获期作物粒重的影响,寻求控制和减少农田水土流失及增产的有效种植模式。结果表明,不同种植模式3次地表总径流量顺序为黄豆单作($17.0 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>马铃薯单作($15.9 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>玉米单作($13.7 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>玉米//马铃薯顺坡种植($12.6 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>玉米//黄豆($12.3 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>玉米//马铃薯($11.7 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$);土壤总侵蚀量顺序为马铃薯单作($930.15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>黄豆单作($821.70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>玉米单作($739.05 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>玉米//马铃薯顺坡种植($716.70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>玉米//马铃薯($651.90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>玉米//黄豆($620.10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);在地表径流量方面,最好模式玉米//马铃薯间作,比最差模式黄豆单作削减地表径流量31.2%,比马铃薯单作、玉米单作分别削减地表径流量26.4%、14.3%;在土壤侵蚀量方面,最好模式玉米//黄豆间作,比最差模式马铃薯单作削减土壤侵蚀量33.3%,比黄豆单作、玉米单作分别削减土壤侵蚀量24.5%、16.1%。在土壤养分流失方面,玉米//黄豆间作比马铃薯单作削减总氮流失30.6%;玉米//黄豆间作比马铃薯单作削减氮流失22.2%,并有显著差异。可见,在彝良地震灾区玉米//马铃薯和玉米//黄豆间作种植模式在减少水土养分流失方面有一定效果。

关键词:彝良;地震灾区;种植模式;间作;水土流失

中图分类号:X522

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2016)01-0072-08

doi: 10.13254/j.jare.2015.0170

引用格式:

马传功, 陈建军, 郭先华, 等. 坡耕地不同种植模式对农田水土保持效应及土壤养分流失的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(1): 72-79.

MA Chuan-gong, CHEN Jian-jun, GUO Xian-hua, et al. Effects of Different Cropping Patterns on Soil and Water Conservation Benefits and Soil Nutrients Loss on Sloping Land[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2016, 33(1): 72-79.

Effects of Different Cropping Patterns on Soil and Water Conservation Benefits and Soil Nutrients Loss on Sloping Land

MA Chuan-gong, CHEN Jian-jun, GUO Xian-hua, HE Xiao-tong, ZU Yan-qun, LI Yuan*

(College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: To examine water and soil loss of Yiliang earthquake-affected area in Yunnan Province, a research was conducted on the benefits of soil and water conservation under different cropping patterns. In order to explore the effects of different cropping patterns on soil, water and nutrient loss and grain weight in the harvest time and try to find suitable cropping patterns for controlling and reducing the soil and water loss and increasing crop production, different cropping patterns were analyzed with field plot experiments. The results showed that the surface runoff under different cropping patterns, was with sequence order as soybean monoculture ($17.0 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>potato monoculture ($15.9 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>maize monoculture ($13.7 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>maize//potato intercropping on sloping land ($12.6 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>maize//soybean intercropping ($12.3 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)>maize//potato intercropping ($11.7 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$). The soil erosion of the different cropping patterns was with sequence order as potato monoculture ($930.15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>soybean monoculture ($821.70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>maize monoculture ($739.05 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>maize//potato intercropping on sloping land ($716.70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>maize//potato intercropping ($651.90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)>maize//soybean intercropping ($620.10 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$). The surface runoff of the best pattern (maize//potato) decreased by 31.2% than the worst pattern soybean monoculture, while decreased by 26.4%

收稿日期:2015-07-05

基金项目:国家科技支撑计划课题“彝良“9·7”地震灾区生态恢复技术研究与示范”(2013BAK13B02);国家“十二五”水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07102-003-04)

作者简介:马传功(1990—),男,内蒙古包头人,硕士研究生,主要从事环境生态、水土保持方面的研究。E-mail:737508501@qq.com

*通信作者:李元 E-mail:liyuan@ynau.edu.cn

and 14.3% than monoculture of potato and maize, respectively. The soil erosion of the best pattern (maize // soybean) decreased by 33.3% than the worst pattern potato monoculture, whilst decreased by 24.5% and 16.1% than the monoculture of soybean and maize, respectively. In the aspect of soil nutrients, maize // soybean was the best. It is suggested that maize // soybean and maize // potato intercropping systems have some effects on reducing the soil and water nutrient loss in Yiliang earthquake-affected area.

Keywords: Yiliang; earthquake area; cropping patterns; intercropping; soil and water loss

地震直接或间接诱发大量崩塌、滑坡、泥石流等次生山地灾害^[1],导致大面积的农田土壤损毁^[2],并进一步诱发生水土流失问题^[3]。云南省地貌类型属典型的山地结构,山区面积达94%,坡耕地占全省耕地面积的74%,全省水土流失面积达 7×10^4 km²以上,年土壤流失量5亿多t,全省广布的坡耕地是水土流失的主要源地^[4]。在坡耕地上,进行水土保持耕作措施能拦截地表径流,减少土壤冲刷,为农业生产保水保土保肥。国内外水土保持措施一般分为两大类:一类是改变地面微地形、增加地面粗糙度,如等高种植、横坡种植等;另一类是增加地面覆盖度和改良土壤,如间套混复种等^[5]。云南省在坡耕地治理上,主要采用工程梯化方法,但投资大、进展慢,对土层扰动大,雨季容易塌陷、复原为坡地^[6]。研究表明,粮菜间作和粮草间作等不同间作方式均能有效地减少土壤侵蚀,保护土地资源,减少养分流失,提高作物产量^[7-8]。然而,由于在地震灾区山体的稳定性遭到了极大破坏^[1],利用作物间作在受损坡地进行水土保持的研究并不多见。彝良地区主要粮食作物有玉米、水稻、马铃薯等^[9],种植模式主要为顺坡玉米单作、马铃薯单作、玉米//马铃薯间作。因此,建立彝良震区玉米、薯类、豆类等主要粮食作物的优化种植、对减轻震区山地农田水土流失有一定的必要性。

本研究针对彝良当地的特殊地形和农业特点,在地震受损严重区域——彝良县洛泽河镇大寨村,采用单作、间作模式,以优化种植模式为核心,通过对不同种植模式下径流小区的监测,测定了小区径流、土壤理化性质、作物生长等指标,以探明不同种植模式对当地水土和养分流失的影响,寻求控制和减少当地水土流失的有效种植模式。为减少当地水土流失,改善农业生产环境,提升灾区生态环境质量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点位于云南省昭通市彝良县洛泽河镇大寨村,27°31'64"N,103°54'40"E,海拔1 780 m。试验田为坡度30°的坡耕地,0~20 cm土层全氮 $1.43\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,

全磷 $1.57\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾 $8.23\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $173.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $6.37\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,有机质 $86.73\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH值4.55。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

实验共设6个处理,其中1个处理为当地顺坡种植,其余5个处理均为等高线种植,采用完全随机区组设计,3次重复,共18个小区,小区面积4 m×7.5 m。2014年4月16日移栽种植玉米苗,种植黄豆及马铃薯,黄豆为播种种植,马铃薯为块茎种植,供试玉米品种为“路单3号”,马铃薯为脱毒马铃薯“会-2号”,黄豆为“六月黄”,施肥量均为常规施肥和管理。

种植模式为玉米//黄豆等高间作(模式A)、玉米//马铃薯等高间作(模式B)、玉米//马铃薯顺坡间作(模式C)、黄豆单作(模式D)、马铃薯单作(模式E)、玉米单作(模式F)。

种植规格:等高种植试验小区,每个小区种植8行,间作模式每种作物各种植4行,顺坡种植试验小区,每小区种植5行,3行玉米,2行马铃薯;各模式行距均为30 cm,每行种植2排作物,玉米、马铃薯株距均为20 cm,黄豆株距10 cm。小区长宽用石棉瓦围成,防止小区内外水分渗透及降雨溅出,在每个小区出口各处理设塑料桶并铺设PVC管引流以承接地表径流与泥沙。

1.2.2 测定项目与方法

土壤采样:在作物生长期,分别在2014年6月18日、7月17日、8月20日采集土样测定土壤容重、毛管孔隙度及含水率;在2014年9月9日作物收获时,采集并测定土壤养分含量。采样方法为在各小区中分别按梅花形布点法采取土样,每点取0.5 kg组成混合样,按四分法取混合样1 kg作为该点土壤样品,带回实验室分析。

土壤理化性状分析按《土壤农化分析》^[10]的方法进行测定,土壤容重和毛管孔隙度采用环刀法测定,土壤含水率采用烘干法测定,全氮采用凯氏法测定,全磷采用NaOH熔融-钼锑抗比色法测定,全钾采用火焰光度法测定,碱解氮采用碱解扩散法测定,速效磷采用NaHCO₃浸提钼锑抗比色法测定,有机质采用

重铬酸钾容量法-外加热法测定。

径流采样: 水样的采集密度为每场雨采集 1 次, 雨的场次以一场雨停后 6 h 内均未降雨为 1 场雨。由于试验地土质为砂质粘壤土, 通透性较好, 降雨后径流较易下渗, 因此本试验采集了在作物生长期(4—9 月)降雨量(图 1)较大 3 个月中的 3 次典型降雨, 即 2014 年 6 月 18 日、7 月 17 日、8 月 20 日 3 次较为明显的降雨径流。每次降雨产生径流后, 测量每个小区的径流池中的总水量。参照《水和废水监测分析方法》^[1], 采样时将集水桶中的水及泥沙搅拌均匀, 取中间部分水样, 每次用量筒采集 1 L 水样, 带回实验室过滤、烘干、称重, 测定水样中的土壤侵蚀量。根据水样中的侵蚀量和小区总径流量, 换算出每次降雨产流后各小区的土壤总侵蚀量。小区径流养分流失量为采集的水样中的氮、磷、钾含量乘以径流量, 计算得到小区径流氮、磷、钾养分流失量。水样中的氮、磷、钾等指标按《水和废水监测分析方法》^[1]进行测定, 总氮的测定采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定, 总磷的测定采用钼锑抗分光光度法测定, 总钾的测定采用火焰原子吸收法, 氨氮的测定采用纳氏试剂分光光度法测定, COD 的测定采用微波密封消解法^[12]。

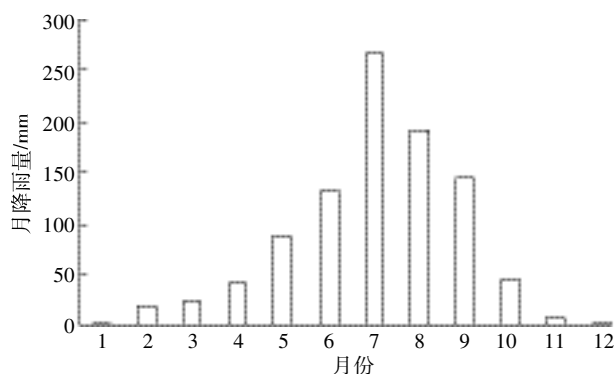


图 1 研究区 2014 年 1—12 月降雨量分布

Figure 1 Monthly rainfall distribution in the study area from January to December, 2014

分别在玉米拔节期、抽穗期、收获期, 黄豆分枝期、开花期、成熟期, 马铃薯块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期, 即 2014 年 6 月 18 日、7 月 17 日、8 月 20 日每个试验小区定株选取 5 株长势相同的植株测定其株高、叶面积(系数法^[13])、基茎, 计算叶面积指数(LAI): 叶面积指数=叶片总面积/土地面积。在马铃薯收获期 2014 年 8 月 20 日, 玉米、黄豆收获期 2014 年 9 月 9 日, 每小区取 5 株测定植株鲜、干重, 玉米千粒重、黄豆百粒重。干重测定方法把鲜样于 105 ℃杀青 30

min, 70 ℃烘至恒重。用烘干法测定千粒重、百粒重。

1.2.3 数据处理

对所得数据用 Excel 2007, SPSS 13.0 进行统计分析和整理, Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式对地表径流量的影响

分析 2014 年 6—8 月的地表径流量(表 1)可知, 不同种植模式的地表径流量不同, 间作模式均低于单作模式, 其大小关系为: 黄豆单作(模式 D)>马铃薯单作(模式 E)>玉米单作(模式 F)>玉米//马铃薯顺坡(模式 C)>玉米//黄豆(模式 A)>玉米//马铃薯(模式 B)。最好模式为玉米//马铃薯间作, 比最差模式黄豆单作削减地表径流量 31.2%, 比马铃薯单作、玉米单作分别削减地表径流量 26.4%、14.3%。

2.2 不同种植模式对土壤侵蚀量的影响

通过 2014 年 6—8 月的监测(表 2)可知, 不同种植模式降雨对土壤的侵蚀量不同, 间作模式均小于单作模式, 其大小关系为马铃薯单作(模式 E)>黄豆单作(模式 D)>玉米单作(模式 F)>玉米//马铃薯顺坡(模式 C)>玉米//马铃薯(模式 B)>玉米//黄豆(模式 A)。最好的模式为玉米//黄豆间作, 比最差模式马铃薯单作削减土壤侵蚀量 33.3%, 比黄豆单作、玉米单

表 1 不同种植模式的地表径流量($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 1 Surface runoff under different cropping patterns($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)

种植模式	6 月 18 日	7 月 17 日	8 月 20 日	总计
A	3.3±1.4a	6.0±2.26a	3.0±1.2a	12.3
B	2.9±1.3a	5.0±2.13a	3.9±1.3a	11.7
C	3.2±1.3a	5.4±2.11a	4.1±1.4a	12.6
D	4.1±1.5a	7.5±2.41a	5.4±1.4a	17.0
E	3.9±1.4a	6.0±2.28a	6.0±1.5a	15.9
F	3.6±1.4a	5.7±2.17a	4.4±1.4a	13.7

注: 不同小写字母表示不同种植模式间差异显著($P<0.05$)。下同。

表 2 不同种植模式的土壤侵蚀量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

Table 2 Soil erosion amount under different cropping patterns($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

种植模式	6 月 18 日	7 月 17 日	8 月 20 日	总计
A	151.05±42.43a	262.35±42.06b	206.70±42.43ab	620.10
B	174.90±42.86a	318.00±42.43ab	159.00±42.32b	651.90
C	178.50±42.97a	330.00±42.43ab	208.20±21.21ab	716.70
D	206.70±42.11a	318.00±42.87ab	297.00±42.53a	821.70
E	214.65±42.32a	397.50±42.96a	318.00±63.64a	930.15
F	189.00±42.53a	319.50±42.77ab	230.55±42.33ab	739.05

作分别削减土壤侵蚀量 24.5%、16.1%。

2.3 不同种植模式对土壤养分流失的影响

水土流失研究不仅包括对水和土的流失研究,也包括养分的流失引起的土地生产力的问题研究。在降雨冲刷的情况下,土壤养分会随径流而流失。从表 3 可以看出,在总氮、氨氮方面,间作模式径流养分流失量均低于单作模式,玉米// 黄豆(模式 A)模式最好,玉米// 黄豆(模式 A)比马铃薯单作(模式 E)削减总氮流失 30.6%,玉米// 黄豆(模式 A)比马铃薯单作(模式 E)削减氨氮流失 22.2%,并有显著差异。在总磷方面,间作、单作模式无明显差异。在总钾方面,玉米// 黄豆(模式 A)与单作马铃薯(模式 E)、玉米// 马铃薯(模式 B)与黄豆单作(模式 D)有显著差异,有马铃薯种植小区(模式 B、模式 C、模式 E)总钾径流流失量明显高于无马铃薯种植小区。在 COD 方面,间作模式(模式 A、模式 B、模式 C)土壤径流流失 COD 均高于单作模式。

2.4 不同种植模式对土壤养分含量的影响

从表 4 可以看出,不同种植模式对土壤养分含量的影响不同。在碱解氮方面,玉米// 马铃薯(模式 B)等高种植高于当地玉米// 马铃薯顺坡(模式 C)5.7%,说明等高种植在降雨的冲刷下,比顺坡种植更能保持土壤肥力,利于作物生长。在速效磷方面,各种模式相差不明显。从表中数据可以看出,间作模式(模式 A、模式 B、模式 C)土壤有机质含量整体上高于单作模式 8.8%~20.8%,说明间作更有利于保肥增肥。

2.5 不同种植模式对作物形态及土壤性质的影响

2.5.1 不同种植模式作物形态指标对水土保持作用分析

从表 5~表 6 及图 2 可以看出,间作模式(模式 A、模式 B、模式 C)玉米的株高、基茎整体上高于单作模式,玉米// 黄豆(模式 A)、玉米// 马铃薯(模式 B)作物长势最好,只有当地模式(模式 C)较低,因为顺坡种植更易导致土壤养分随径流流失。间作模式的叶面积指数也整体高于单作模式,说明间作模式促进了作

表 4 试验结束时不同模式 0~20 cm 土壤养分含量

Table 4 0~20 cm soil nutrient contents under different cropping patterns at the end of experiment

种植模式	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$
A	$119.0\pm 4.0\text{b}$	$7.77\pm 0.25\text{a}$	$87.43\pm 8.11\text{a}$
B	$147.0\pm 25.2\text{ab}$	$9.08\pm 1.12\text{a}$	$86.27\pm 13.04\text{a}$
C	$138.6\pm 25.7\text{ab}$	$8.00\pm 2.18\text{a}$	$73.75\pm 10.21\text{a}$
F	$157.5\pm 22.8\text{ab}$	$8.82\pm 1.48\text{a}$	$73.86\pm 7.07\text{a}$
D	$205.8\pm 61.4\text{a}$	$7.85\pm 1.61\text{a}$	$79.71\pm 15.34\text{a}$
E	$170.1\pm 1.0\text{ab}$	$8.82\pm 1.48\text{a}$	$69.26\pm 13.76\text{a}$

物的生长,单作玉米叶面积指数较高是因为单作玉米种植密度较大。马铃薯在单作模式(模式 E)中生长较好,是因为马铃薯在与玉米间作中,马铃薯处于不利地位,使生长受到影响^[4]。

不同种植模式的作物形态指标说明了间作模式有助于作物生物量的积累,增大了叶面积,因此可以阻碍雨水直接冲击地面,比单作更有效地保持水土。

2.5.2 不同种植模式土壤容重、毛管孔隙度及含水量对水土保持作用分析

从图 3 和图 4 中可以看出,间作模式(模式 A、模式 B、模式 C)比单作模式土壤容重降低 4.1%~9.2%,

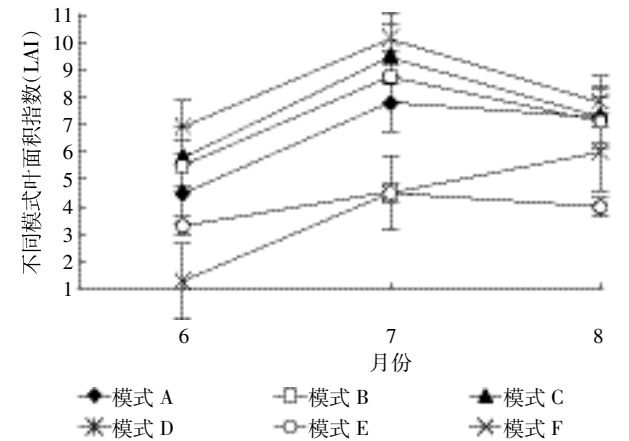


图 2 不同种植模式叶面积指数

Figure 2 Leaf area index of different cropping patterns

表 3 不同种植模式的土壤径流养分流失量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 3 Soil runoff nutrient loss under different cropping patterns($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

种植模式	总氮	氨态氮	总磷	总钾	COD
A	$7.5\times 10^{-2}\pm 0.011\text{a}$	$5.6\times 10^{-2}\pm 0.005\text{b}$	$4.5\times 10^{-3}\pm 0.001\text{a}$	$5.1\times 10^{-2}\pm 0.022\text{bc}$	$51.2\times 10^{-2}\pm 0.111\text{a}$
B	$9.0\times 10^{-2}\pm 0.029\text{a}$	$5.9\times 10^{-2}\pm 0.001\text{ab}$	$4.5\times 10^{-3}\pm 0.003\text{a}$	$15.2\times 10^{-2}\pm 0.107\text{ab}$	$48.0\times 10^{-2}\pm 0.136\text{a}$
C	$9.3\times 10^{-2}\pm 0.010\text{a}$	$6.2\times 10^{-2}\pm 0.001\text{ab}$	$4.5\times 10^{-3}\pm 0.003\text{a}$	$15.8\times 10^{-2}\pm 0.003\text{ab}$	$48.8\times 10^{-2}\pm 0.000\text{a}$
D	$9.8\times 10^{-2}\pm 0.011\text{a}$	$6.5\times 10^{-2}\pm 0.006\text{ab}$	$1.5\times 10^{-3}\pm 0.003\text{a}$	$2.0\times 10^{-2}\pm 0.002\text{c}$	$38.4\times 10^{-2}\pm 0.000\text{a}$
E	$10.8\times 10^{-2}\pm 0.046\text{a}$	$7.2\times 10^{-2}\pm 0.013\text{a}$	$3.0\times 10^{-3}\pm 0.002\text{a}$	$17.1\times 10^{-2}\pm 0.027\text{a}$	$28.8\times 10^{-2}\pm 0.136\text{a}$
F	$9.5\times 10^{-2}\pm 0.011\text{a}$	$6.6\times 10^{-2}\pm 0.007\text{ab}$	$4.5\times 10^{-3}\pm 0.003\text{a}$	$5.7\times 10^{-2}\pm 0.003\text{abc}$	$28.8\times 10^{-2}\pm 0.136\text{a}$

表 5 不同种植模式作物均株高(cm)

Table 5 The average plant height of different cropping patterns(cm)

均株高	模式 A	模式 B	模式 C	模式 D	模式 E	模式 F
玉米(6 月)	95.1±2.9ab	98.2±11.6ab	108.1±6.7a	—	—	90.1±8.7b
玉米(7 月)	216.0±4.0a	202.8±9.5a	199.0±10.1a	—	—	199.5±8.5a
玉米(8 月)	229.3±5.3a	223.3±4.5a	224.5±3.6a	—	—	227.3±9.9a
黄豆(6 月)	29.6±2.3a	—	—	27.1±0.7a	—	—
黄豆(7 月)	37.8±2.7a	—	—	40.0±1.9a	—	—
黄豆(8 月)	60.7±3.2a	—	—	53.6±1.2b	—	—
马铃薯(6 月)	—	44.3±5.0a	42.5±3.5a	—	45.1±2.0a	—
马铃薯(7 月)	—	67.2±4.5a	65.3±3.5a	—	68.3±2.5a	—
马铃薯(8 月)	—	77.3±3.5a	75.3±3.5a	—	78.2±2.5a	—

表 6 不同种植模式作物均基茎(cm)

Table 6 The average base stem of different cropping patterns (cm)

均基茎	模式 A	模式 B	模式 C	模式 D	模式 E	模式 F
玉米(6 月)	2.8±0.1a	2.3±0.2b	2.1±0.2b	—	—	2.3±0.2b
玉米(7 月)	2.7±0.2a	2.6±0.1ab	2.2±0.4b	—	—	2.2±0.2b
玉米(8 月)	2.3±0.1a	2.1±0.2b	1.9±0.1b	—	—	2.1±0.1b
马铃薯(6 月)	—	0.8±0.1a	0.8±0.1a	—	0.9±0.1a	—
马铃薯(7 月)	—	1.3±0.1a	1.2±0.1a	—	1.4±0.1a	—
马铃薯(8 月)	—	1.1±0.1a	1.0±0.1a	—	1.2±0.1a	—

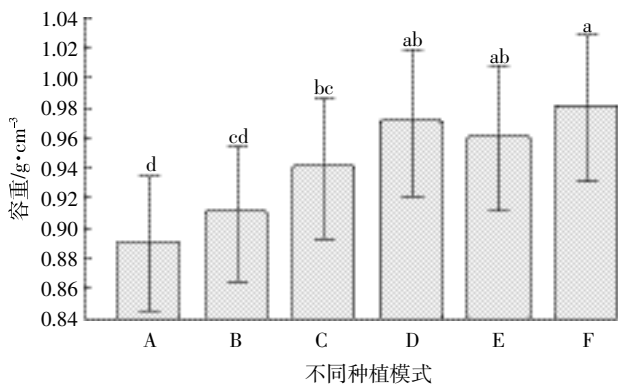
不同小写字母表示不同处理差异显著($P<0.05$)。下同

图 3 不同种植模式土壤容重

Figure 3 Soil bulk density of different cropping patterns

毛管孔隙度增加 8.8%~9.4%。因此,间作可以改善土壤的物理性质,使土壤容重降低,毛管孔隙度增大,增强土壤的水土保持效果。从图 5 可以看出,不同种植模式土壤含水率不同,等高与顺坡玉米//马铃薯间作模式在 6 月、7 月土壤含水率都高于其他模式,而在 8 月呈下降趋势,主要是因为马铃薯生长周期较短,8 月份中旬已收获。总体来说,间作模式土壤含水率高于单作。

2.5.3 不同种植模式作物生物学产量分析

从表 7 可知,在玉米鲜重、干重生物量方面,玉米

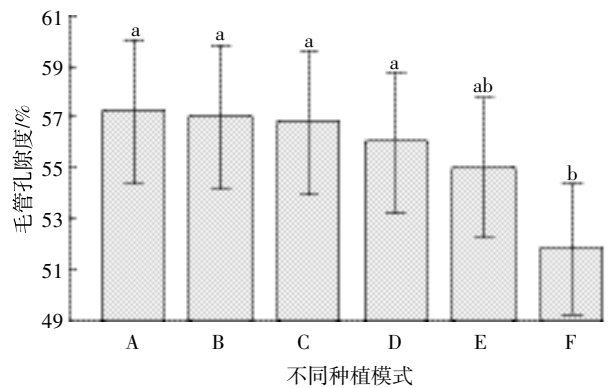


图 4 不同种植模式土壤毛管孔隙度

Figure 4 Soil capillary porosity of different cropping patterns

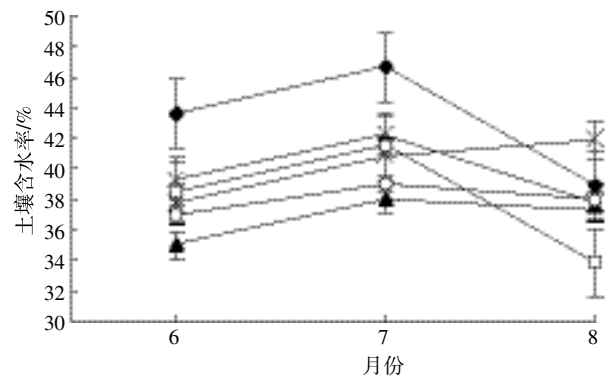


图 5 不同种植模式土壤含水率

Figure 5 Soil moisture content of different cropping patterns

间作模式分别高于玉米单作模式的地上部分与地下部分 14.8%~28.7%、22.9%~31.1%、14.8%~11.6%、17.1%~35.6%,其玉米地上部鲜重、干重大小关系为:玉米//黄豆(模式 A)>玉米//马铃薯(模式 B)>玉米//马铃薯顺坡(模式 C)>玉米单作(模式 F);玉米根鲜重大小关系为:玉米//马铃薯(模式 B)>玉米//

表 7 试验结束时不同模式生物学产量(g·株⁻¹)
Table 7 Biological yield of different cropping patterns in the end of experiment(g·plant⁻¹)

鲜干重	模式 A	模式 B	模式 C	模式 D	模式 E	模式 F
玉米地上部鲜重	435±148a	414±147a	364±55a	—	—	310±181a
玉米地上部干重	122±43a	119±30a	109±8a	—	—	84±10a
玉米根鲜重	167±81ab	189±14a	122±3ab	—	—	104±14b
玉米根干重	45±22a	44±6a	35±5a	—	—	29±3a
黄豆植株鲜重	35±13a	—	—	30±15a	—	—
黄豆植株干重	19±3a	—	—	17±6a	—	—
马铃薯植株鲜重	—	59±13a	—	—	63±15a	—
马铃薯植株干重	—	29±5a	—	—	31±6a	—

黄豆(模式 A)>玉米//马铃薯顺坡(模式 C)>玉米单作(模式 F),并且玉米//马铃薯(模式 B)与玉米单作(模式 F)有显著性差异;玉米根干重大小关系为:玉米//黄豆(模式 A)>玉米//马铃薯(模式 B)>玉米//马铃薯顺坡(模式 C)>玉米单作(模式 F)。通过分析可以看出,玉米//马铃薯间作相比玉米单作根系粗壮且多,所以间作增加根系固土能力,更有利于保持水土。黄豆单间作与马铃薯单间作对黄豆、马铃薯生物量无明显影响。

2.5.4 不同种植模式对玉米千粒重、黄豆百粒重的影响

从表 8 中可以看出,间作模式玉米千粒重间作高于单作模式,大小关系为:玉米//马铃薯(模式 B)>玉米//马铃薯顺坡(模式 C)>玉米//黄豆(模式 A)>玉米单作(模式 F),间作模式分别高于玉米单作模式 28.1%、21.2%和 15.9%。黄豆百粒重间作模式高于单作模式 5.4%。玉米千粒重间作模式与单作模式有显著性差异。

表 8 不同种植模式玉米千粒重/黄豆百粒重(g)
Table 8 Maize 1 000—seed/soybean 100—seed weight of different cropping patterns(g)

种植模式	玉米千粒重	黄豆百粒重
A	292.4±11.7a	15.5±0.6a
B	323.0±15.2a	—
C	305.7±17.6a	—
D	—	14.7±0.2a
F	252.2±28.1b	—

3 讨论

本研究发现,间作模式在削减地表径流量、土壤侵蚀量及保持土壤养分上均比单作模式效果好。可能因为间作增加了植物叶片对地表的覆盖率,从而避免或削弱雨滴对地面的溅击,减少雨滴的溅蚀率,减少

径流^[7],并且密集生长的株丛增加了地面的粗糙度,减缓径流,减小径流流速,拦截泥沙,防止或减弱径流的冲刷能力,降低径流的泥沙携带能力,从而减少侵蚀^[15-16]。间作模式土壤径流流失 COD 均高于单作模式,这是因为间作会增加土壤中的有机物^[17],所以间作土壤径流 COD 会相应增大。玉米//黄豆、玉米//马铃薯等高种植土壤有机质含量比玉米//马铃薯顺坡种植及其他单作模式高。土壤有机质含量是评价土壤质量的一个重要指标,它不仅可以反映土壤的保肥和增肥能力,而且可以反映土壤理化性质^[17]。玉米//黄豆、玉米//马铃薯等高种植模式土壤容重较其他模式小,含水率较其他模式高,这是因为间作作物根系增多,改善了土壤理化性质,促进土壤容重降低,使得降水更容易渗入土中^[16]。玉米间作蔬菜比蔬菜单作水土保持效果好的另一个原因是,对于短生育期的作物,如马铃薯,虽早于玉米收获,但对于间作模式,仍有玉米覆盖地表,玉米宽大叶片仍能起到遮挡降雨的作用。

本试验中,等高玉米//马铃薯间作模式和玉米//黄豆间作模式在保持水土和改善土壤性质中均好于顺坡玉米//马铃薯间作模式,等高耕作使土壤充分吸纳雨水,改善土壤的理化性质,保水保肥能力强^[18]。在削减农田地表径流量方面,玉米//马铃薯间作模式的效果最好;在削减土壤侵蚀量方面,玉米//黄豆间作模式的效果最好。这是因为玉米与马铃薯和黄豆高矮搭配,增加了地表覆盖度,对截断地表径流效果明显。这与傅志兴等^[19]、杨翠玲等^[20]、湛方栋等^[21]研究的玉米与蔬菜间套作削减农田径流污染的结果相类似。降雨过程中部分雨滴降落在玉米叶子上其大部分动能被消耗,抑制了雨滴对地表的溅蚀,粘附于玉米叶子上的雨水进一步滑落到下面的蔬菜上,由于蔬菜叶子距地面距离小,叶子携带的动能很小,减轻了叶滴侵蚀,

减小了对地表的冲击^[20]。此外,降雨强度也是影响水土流失的主要因素之一,原因在于通过雨滴对地面的冲击和降雨入渗速度影响水土流失,一般说来,降雨强度越大,雨滴地面的冲击也越强烈,土壤侵蚀就越严重^[22]。因此,考虑到诸如降雨强度、降雨时长等因素对水土流失的影响,为了获得更高效更稳定的控制能力,建议在选择合理种植模式的同时,还可与工程措施相结合。

间作的优势主要是充分利用水分、养分和土壤等资源,大幅度提高生产利用率的特点^[23],具有明显的产量优势^[24]。吴炯等^[25]研究表明,玉米在不同种植模式下,生物量和产量均有显著差异,间作>单作。这与本试验的结果类似,玉米间作模式的生物量及千粒重均高于单作模式。

坡耕地作物间作模式对于水土流失和土壤改良都是一种有效的环境生态工程措施。间作种植模式在减少土壤养分的流失方面也有一定效果。由于水土流失所冲走的泥沙多是来自表层的肥沃土壤,土壤养分的流失量与土壤侵蚀量的关系极大,因此,采取合理的种植模式,减少水土流失总量是防止土壤地力衰退、控制土壤养分流失的关键。此外,合理种植模式在减少水土流失的同时,能充分利用农田土壤及水热资源^[26],提高农作物的养分吸收量,并增加作物群体产量,提高农业产值,农户接受的可能性增加,具有很好的推广前景与价值^[8]。

4 结论

在彝良震后坡耕地试验小区,减少地表径流和土壤侵蚀最好模式分别为玉米//马铃薯等高间作与玉米//黄豆等高间作。间作在减少土壤养分流失的同时,还能一定程度上提高土壤养分含量,在氮素方面,玉米//黄豆等高间作模式最好,在磷、钾、COD方面,单、间作差异不大。在水土保持效果上,玉米//马铃薯等高种植均比当地种植模式效果要好。可见,间作模式在减少彝良震后灾区的水土、养分流失方面有一定效果。

参考文献:

- [1] 王东坡,何思明,葛胜锦,等.“9·07”彝良地震诱发次生山地灾害调查及减灾建议[J]. 山地学报, 2013, 31(1): 101-107.
WANG Dong-po, HE Si-ming, GE Sheng-jin, et al. Mountain hazards induced by the earthquake of Sep 07, 2012 in Yiliang and the suggestions of disaster reduction[J]. *Journal of Mountain Science*, 2013, 31(1): 101-107.(in Chinese)
- [2] 常睿春, 和政伟. 汶川县地震灾区农田土壤损毁研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 13-15.
CHANG Rui-chun, HE Zheng-wei. Farmland damage in Wenchuan earthquake-stricken areas[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(1): 13-15.(in Chinese)
- [3] 胡波, 熊明彪, 赵健, 等. 汶川地震前后重灾区水土流失变化特征初步分析[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(11): 62-66.
HU Bo, XIONG Ming-biao, ZHAO Jian, et al. Preliminary analysis of soil and water loss change before and after Wenchuan earthquake[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2010, 27(11): 62-66.(in Chinese)
- [4] 何俊. 云南省坡耕地水土流失综合治理的探索与实践[J]. 中国水土保持, 2011(2): 11-13.
HE Jun. Exploration and practice of comprehensive harnessing of soil erosion of sloping land in Yunnan Province[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2011(2): 11-13.(in Chinese)
- [5] 付斌. 不同农作处理对坡耕地水土流失和养分流失的影响研究——以云南红壤为例[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
FU Bin. Research on soil erosion and nutrient loss under different farming measures from slope field: Taking Yunnan red soil for example[D]. Chongqing: Southwest University, 2009.(in Chinese)
- [6] 郭云周. 不同农艺措施对云南坡耕地水土保持的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
GUO Yun-zhou. The effect of different agricultural measures to soil and water conservation of sloping land in Yunnan[D]. Beijing: China Agricultural University, 2005.(in Chinese)
- [7] 安瞳昕, 李彩虹, 吴伯志, 等. 玉米不同间作方式对坡耕地水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 18-24.
AN Tong-xin, LI Cai-hong, WU Bo-zhi, et al. Effect of different intercropping measures about soil and water loss on sloping land[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(5): 18-24. (in Chinese)
- [8] 安瞳昕, 李彩虹, 吴伯志, 等. 坡耕地玉米不同间作模式效益研究[J]. 作物杂志, 2009(5): 92-94.
AN Tong-xin, LI Cai-hong, WU Bo-zhi, et al. Benefit of different maize intercropping patterns on sloping land[J]. *Crops*, 2009(5): 92-94. (in Chinese)
- [9] 袁祝芬. 昭通市昭阳区农业产业现状及发展对策[J]. 现代农业科技, 2013, 15: 315-318.
YUAN Zhu-fen. A study on the current situation of agricultural industry and its countermeasure in Zhaotong[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013, 15: 315-318.(in Chinese)
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO Shi-dan. Soil analysis in agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.(in Chinese)
- [11] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration of China. Water and wastewater monitoring analysis method[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.(in Chinese)
- [12] 黄毅. 微波密封消解测定 COD_{Cr} 值[J]. 上海环境科学, 1996, 15(5): 32-34.

- HUANG Yi. Determination of COD_{Cr} using sealed vessel microwave digestion method[J]. *Shanghai Academy of Environmental Sciences*, 1996, 15(5):32-34.(in Chinese)
- [13] 冯冬霞,施生锦.叶面积测定方法的研究效果初报[J].中国农学通报, 2005, 21(6):150-155.
- FENG Dong-xia, SHI Sheng-jin. Research on night measurement methods of leaf area[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(6):150-155. (in Chinese)
- [14] 郭华春,他理才.间作对马铃薯生长及产量的影响[J].马铃薯杂志, 1995, 9(1):35-38.
- GUO Hua-chun, TA Li-cai. Effects of intercropping on the growth and yield of potato[J]. *Chinese Potato Journal*, 1995, 9(1):35-38.(in Chinese)
- [15] Bouma J. Soil morphology and preferential flow along macro pores[J]. *Agricultural Water Management*, 1981(3):235-250.
- [16] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:98-118.
- HUANG Chang-yong. Soil science[M]. Beijing:China Agriculture Press, 2000:98-118.(in Chinese)
- [17] 路海东.坡地粮草带状间作模式的水土保持效果与作物的生理生态效应[D].杨凌:西北农林科技大学,2010.
- LU Hai-dong. Effects of strip intercropping forage cropping on soil and water conservation and on eco-physiological characteristics of crop under sloping field[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010. (in Chinese)
- [18] 高旺盛,孙占祥.中国农作制度研究进展 2008[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2008:352-357.
- GAO Wang-sheng, SUN Zhan-xiang. Advances in China farming systems research 2008[M]. Shenyang:Liaoning Science and Technology Press, 2008:352-357.(in Chinese)
- [19] 傅志兴,杨静,湛方栋,等.玉米与蔬菜间作削减农田径流污染的分析[J].环境科学研究,2011,24(11):1269-1275.
- FU Zhi-xing, YANG Jing, ZHAN Fang-dong, et al. Reduction of farmland runoff contamination with maize and vegetables intercropping system[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2011, 24(11):1269-1275. (in Chinese)
- [20] 杨翠玲,祖艳群,李元,等.不同配比蔬菜与玉米间套作削减农田径流污染的研究[J].农业环境科学报,2013,32(2):378-384.
- YANG Cui-ling, ZU Yan-qun, LI Yuan, et al. Reduction of runoff from cultivated land with intercropping system of different ratio of vegetables to maize[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(2):378-384.(in Chinese)
- [21] 湛方栋,傅志兴,杨静,等.滇池流域套作玉米对蔬菜农田地表径流污染流失特征的影响[J].环境科学学报,2012,32(4):847-855.
- ZHAN Fang-dong, FU Zhi-xing, YANG Jing, et al. Effects of maize intercropping on characteristics of surface runoff pollution from vegetables fields in Dianchi watershed[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, 32(4):847-855.(in Chinese)
- [22] 陆宝宏,汤有光,陆晓明,等.识别合适的降雨强度-历时-频率模型的方法[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(4):109-115.
- LU Bao-hong, TANG You-guang, LU Xiao-ming, et al. Method for identifying appropriate rainfall intensity-duration-frequency models[J]. *Journal of Hohai University(Natural Sciences)*, 2001, 29(4):109-115. (in Chinese)
- [23] 祖艳群,胡文友,吴伯志,等.辣椒//玉米间作条件下作物对氮、磷、钾的吸收利用特征研究[J].中国农学通报,2009,25(12):234-239.
- ZU Yan-qun, HU Wen-you, WU Bo-zhi, et al. Research on uptake and utilization characteristics of N, P and K in chili pepper//maize intercropping system[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(12):234-239.(in Chinese)
- [24] 宫秀杰,滕云飞,钱春荣,等.玉米/辣椒间作复合群体生理效应研究 I.不同间作方式对玉米/辣椒光合速率和产量的影响[J].中国农学通报,2010,26(21):111-114.
- GONG Xiu-jie, TENG Yun-fei, QIAN Chun-rong, et al. Physiological effect of maize/chili pepper intercropping I. The influence of different intercropping patterns on photosynthetic rate and yield of maize/chili pepper[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(21):111-114.(in Chinese)
- [25] 吴炯,施翠仙,祖艳群,等.玉米/辣椒间作对玉米和辣椒光合特征、生物量和产量的影响[J].中国农学通报,2014,30(30):117-121.
- WU Jiong, SHI Cui-xian, ZU Yan-qun, et al. Effects of maize and pepper intercropping on the photosynthetic characteristics, biomass and yield of maize and pepper[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(30):117-121.(in Chinese)
- [26] 段永惠,张乃明,张玉娟.农田径流氮磷污染负荷的田间施肥控制效应[J].水土保持学报,2004,18(3):130-132.
- DUAN Yong-hui, ZHANG Nai-ming, ZHANG Yu-juan. Effect of fertilizer application on controlling nitrogen and phosphorus pollution loading from farmland runoff[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(3):130-132.(in Chinese)