

# 坡耕地间作作物群体水土保持耕作措施

安瞳昕<sup>1</sup>, 周 锋<sup>1</sup>, 吴珍珍<sup>2</sup>, 和成山<sup>3</sup>, 李 康<sup>4</sup>, 杨友琼<sup>1</sup>, 吴伯志<sup>1</sup>

(1. 云南农业大学 农学与生物技术学院, 昆明 650201; 2. 云南省西双版纳傣族自治州农业科学研究所, 云南 景洪 666100; 3. 迪庆州德钦县种子管理站, 云南 德钦 674500; 4. 普洱市墨江县农科局农广校, 云南 墨江 654800)

**摘 要:**为解决云南山区坡耕地作物生态系统中存在的作物栽培技术措施不配套,水土等自然资源不能有效利用与保护的问题,对不同作物搭配间作方式水土保持效应进行了研究,为坡耕地水土流失治理提供了合理可行的保护性作物种植措施。试验选用玉米、辣椒和混播草带搭配成不同间作方式:玉米间作辣椒(行比为2:2, 2:4, 2:6)、玉米间作草带、辣椒间作草带,研究不同间作群体对坡耕地水土流失的影响。结果表明:作物间作群体总水土流失量均低于作物单作,玉米间作草带总径流量最多比玉米单作减少97.52%,总侵蚀量最多比辣椒单作减少99.49%;玉米间作辣椒群体中,行比为2:2, 2:4的水土保持效果好于2:6处理。随着降雨强度增加,间作处理的水土保持效果更明显,玉米间作草带和辣椒间作草带的径流量和侵蚀量均显著小于辣椒单作及玉米单作( $p < 0.05$ ),在高强度降雨下,玉米间作草带径流量最多比玉米单作减少98.25%,侵蚀量最多减少99.96%。玉米间作辣椒、玉米间作草带和辣椒间作草带均能有效减轻坡耕地水土流失,在高强度降雨下,该间作模式的水土保持效果更明显,有利于山区坡耕地水土资源的持续利用与保护。

**关键词:**玉米; 草带; 辣椒; 间作; 水土流失; 坡耕地

**中图分类号:**S344.2; S157

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2019)02-0017-06

## Effect of Crop Intercropping on Soil and Water Conservation in Arable Sloping Land

AN Tongxin<sup>1</sup>, ZHOU Feng<sup>1</sup>, WU Zhenzhen<sup>2</sup>, HE Chengshan<sup>3</sup>,  
LI Kang<sup>4</sup>, YANG Youqiong<sup>1</sup>, WU Bozhi<sup>1</sup>

(1. Faculty of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Institute of Agricultural Science of Xishuangbanna, Jinghong, Yunnan 666100, China;

3. Seed Management Station of Deqin County in Diqing Prefecture, Deqin, Yunnan 674500, China;

4. Agricultural Broadcasting and Television School of Mojiang County in Puer City, Mojiang, Yunnan 654800, China)

**Abstract:** Because of the unreasonable cultivation techniques and measures in the ecological system of sloping land in hill, there is inefficient utilization and protection of natural resources such as water and soil in Yunnan Province. Use of the measures of soil and water conservation with different crops and varieties intercropping can provide reasonable and feasible crop protective planting measures for soil and water losses on sloping land. Maize, green pepper and grass strip were selected to form different intercropping patterns (maize and green pepper intercropping, maize and grass strip intercropping, green pepper and grass strip intercropping, in which the row ratio is 2:2, 2:4, 2:6, respectively) in order to analyze the effects of different intercropping system on soil erosion in slope land. Soil erosion of intercropping system was lower than monoculture system. The total runoff of maize and grass strip intercropping was 97.52% lower than maize monoculture, total soil erosion of maize and grass strip intercropping was 99.49% lower than green pepper monoculture, the efficiency of soil and water conservation of 2 rows of maize intercropping with 2 rows of green pepper and 2 rows of maize intercropping with 4 rows of green pepper were better than 2 rows of maize intercropping

收稿日期:2018-06-02

修回日期:2018-07-02

资助项目:国家自然科学基金(31660378);云南省自然科学基金(2014FB144);农业部公益性行业专项(201503119-03-03);云南省农田无公害生产创新团队(2017HC015);云南省玉米产业技术体系资助项目

第一作者:安瞳昕(1974—),男,陕西西安人,副教授,主要从事山区坡耕地水土保持与农业可持续发展研究。E-mail:tongxinan2012@163.com

通信作者:吴伯志(1960—),男,云南玉溪人,教授,主要从事山地农业可持续发展研究。E-mail:Bozhiwu@hotmail.com

with 6 rows of green pepper in maize and green pepper intercropping system. Soil and water conservation benefit of intercropping system was more significant with the increase of rainfall intensity. Runoff and soil erosion of maize and grass strip intercropping and green pepper intercropping with grass strip were significantly lower than those of the green pepper monoculture and maize monoculture ( $p<0.05$ ). In the condition of high intensity rainfall, runoff and soil erosion of maize intercropping with grass strip were 98.25% and 99.96% lower than maize monoculture. So, maize intercropping with grass strips and pepper are effective to reduce the soil erosion on sloping land. Under the high intensity of rainfall, the measures of intercropping are more useful for sustainable use and protection of the soil and water resources on mountainous arable sloping land.

**Keywords:**maize; grass strip; green pepper; intercropping; soil erosion; sloping land

云南省地貌类型属典型的山地构造地形,其中山坡地占 94%,平坝区只占总面积的 6%<sup>[1]</sup>。云南省是我国水土流失较严重的省份之一,目前,全省水土流失面积 13.4 万 km<sup>2</sup>,占全省总面积的 35%,年平均土壤流失量超过 5 亿 t<sup>[2]</sup>。多数坡耕地不合理的使用(如滥垦、滥伐、滥牧的掠夺式经营以及坡地不合理的耕作措施如:顺坡种植、大坡度种植等),造成大面积的水土流失。有研究表明,云南省坡耕地玉米顺坡种植造成水土流失量达 4 993 kg/hm<sup>2</sup>,未采取其他保护措施的高种植流失量也达 1 465 kg/hm<sup>2</sup><sup>[3]</sup>,使原本浅薄的土层更加贫瘠,加之其又易受干旱条件的制约,致使土地生产力严重受损,环境日益恶化,坡耕地可持续利用受到严重考验,水土保持任务十分艰巨。因此研究合理的作物间作方式对坡耕地水土等自然资源进行保护与利用,有利于促使坡耕地农业生产持续增产、增收、增效。间作是在同一田地上于同一生长期分行或分带相间种植两种或两种以上作物的种植方式,是中国传统精细农艺的精华,在世界农作史上享有盛誉。在前人的研究中,间套作可以增加地表覆盖度,延长覆盖时间,减轻水土流失,是山地保持水土的重要种植措施<sup>[4-7]</sup>。采用不同间作种植方式对山地水土流失进行治理,均能达到一定的效果<sup>[8-10]</sup>。虽然目前坡耕地水土保持耕作措施有一定的研究<sup>[11-12]</sup>,但是从农业生产领域来说,研究不够全面,尤其是对利用不同作物特性构建间作群体水土保持效应的研究较少,有待进一步研究。本研究旨在通过合理选配玉米、辣椒、草带等不同作物进行间作,通过构建不同间作群体,增加空间层次或地表覆盖度,削弱雨水对地面的冲击,减缓径流速,拦截泥沙,阻拦疏生作物区产生的水土流失,为坡耕地水土流失治理和山地农业可持续发展提供科学理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于云南省昆明市北郊云南农业大学教

学科研试验农场,地理位置为:25°18'N,102°45'E,海拔 1 930 m。属北纬低纬度亚热带—高原山地季风气候,雨季旱季分明,降雨主要集中在 6—9 月,年均降雨量 1 035 mm,具有典型的温带气候特点。试验地土壤质地为山地砂质红壤,坡度为 10°,试验地共设 24 个径流小区,小区面积为 30 m<sup>2</sup>(3 m×10 m)。

1.2 试验设计

(1) 供试作物及品种:玉米(*Zea mays* L.):云瑞 8 号;辣椒(*Capsicum annuum* L.):云南省通海县曲陀关长辣椒;非洲狗尾草(*Setaria sphacelata* cv.Narok)。

(2) 试验设计:试验设 8 个处理(A,B,C,D,E,F,G,H),3 次重复,按随机区组设计,共 24 个试验小区。处理如下,A:玉米 || 辣椒等高种植(行比为 2:2);B:玉米 || 辣椒等高种植(行比为 2:4);C:玉米 || 辣椒等高种植(行比为 2:6);D:玉米 || 草带等高种植;E:辣椒 || 草带等高种植;F:玉米等高等行距单作;G:辣椒等高等行距单作;H:玉米顺坡等行距单作。

1.3 作物种植与管理

作物种植方式为:玉米、辣椒采用育苗移栽;草带为直播。各作物种植规格见表 1。

表 1 作物种植规格

处理	作物	密度/ (株/666.67 m <sup>2</sup> )	行距/cm		塘距/ cm	间距/ cm	幅宽/ cm
			宽行	窄行			
A	玉米	4356	110	40	45	30	150
	辣椒	2133	107	45	40		
B	玉米	3111	190	40	45	35	230
	辣椒	2844	100	45	40		
C	玉米	2489	260	40	45	30	300
	辣椒	3200	100	40	40		
D	玉米	4356	110	40	45	30	150
	草带	—	40	—			
E	辣椒	2133	110	40	40	30	150
	草带	—	40	—			
F	玉米	4356	75	45	—	—	
G	辣椒	3733	40	45	—	—	
H	玉米	4356	80	40	—	—	

试验地经 20—30 cm 深翻后碎土,间作等高处理

均采用沿等高线开沟种植,玉米顺坡单作均采用打塘种植,将农家肥和化肥一起施入沟内或塘内,每穴移栽 2~3 株苗(双株留苗);辣椒单作采用顺坡打塘种植,将农家肥和化肥一起施入沟内或塘内,移栽辣椒幼苗(单株留苗)。草带种植:采用草种为非州狗尾草,播种量为 50 g/m<sup>2</sup>,每小区间作 7 带,每带宽 40 cm。在玉米和辣椒宽行松碎土壤,施用农家肥和有机肥与土壤混拌后平整,均匀撒播草种,加盖约 1 cm 厚沙土,均匀轻拌并镇压播层表土,铺盖无纺布。

不同处理各作物田间管理措施均保持一致。玉米:第一次在拔节期追施苗肥,第二次在大喇叭口期追施穗肥。追肥时在距根部 5 cm 左右的地方破膜施入尿素。辣椒:第一次在辣椒现蕾期施用复合肥,壅施;第二次在门椒(辣椒第一朵花长成的果实)长到 3 cm 左右时施复合肥。以后每收获一次,可酌情追肥。草带于每次刈割后追施尿素。

1.4 测定项目及方法

气象指标测定:在试验地旁设有一台自动观测气象站(美国造 Davis Vantage Pro 2 型无线自动气象站)。每隔 5 min 记录 1 次数据,观测记录气象指标主要有:日最高温、日最低温、日均温、月蒸发量、日蒸发量、日降雨量、降雨次数、降雨强度、最大降雨强度( $I_{30}$ )。根据降雨强度,把降雨分为 4 个等级: $I_{30}<0.25$  mm/min(低强度降雨), $0.25$  mm/min $<I_{30}<0.50$  mm/min(中强度降雨), $0.50$  mm/min $<I_{30}<0.75$  mm/min(高强度降雨), $I_{30}>0.75$  mm/min(极高强度降雨)。

径流量及土壤侵蚀量测定:在作物生长期间,每次降雨产生径流后,用直刻度尺测定每个小区蓄水桶中的径流水深。根据水的深度计算小区径流量。每次降雨产生径流后,充分搅匀蓄水桶中的集水,分上、

中、下 3 层共取水样 250 ml,装于玻璃瓶中,过滤泥沙,在温度为 105℃ 的烘箱中烘干 24 h 后称重,与各小区径流量换算得到每次降雨产生的土壤侵蚀量。

1.5 数据处理

对所得的数据用 Excel 和 SPSS 等应用软件进行数据计算、整理、统计分析,利用 Duncan 法对数据进行差异性检验。

2 结果与分析

2.1 间作作物群体对坡耕地径流量的影响

由表 2 可知,2009 年作物生育期内 6 月、7 月各处理间径流量差异不显著( $p>0.05$ )。8 月份各处理径流量差异达显著水平( $p<0.05$ ),其中,D 处理与 B,C,G,H 处理差异显著( $p<0.05$ );间作处理径流量依次为 B>C>A>E>D,单作处理径流量依次为 G>H>F,D 处理径流量比 G 处理减少 92.83%。各处理总径流量差异不显著( $p>0.05$ ),间作处理总径流量依次为 B>C>A>D>E,单作处理依次为 G>H>F,D 和 E 处理总径流量分别比 G 处理减少 46.33%,50.23%。2010 年 6 月份各处理径流量差异不显著( $p>0.05$ ),其余各月和总径流量差异均显著( $p<0.05$ ),7 月份和总径流量各处理差异达极显著水平( $p<0.01$ ),D,E 处理总径流量均与 H,G 处理差异极显著( $p<0.01$ );间作各处理总径流量依次为 A>C>B>E>D,单作处理依次为 H>G>F,D 和 E 处理总径流量比 G 处理分别减少 96.01%,87.74%,比 H 处理分别减少 97.52%,92.37%。综合 2 年结果可知,玉米间作草带、辣椒间作草带径流量最少,玉米间作辣椒次之,其中玉米间作辣椒 2:4 少于 2:6,玉米、辣椒单作地表径流量最大。总体表明,间作草带处理能有效地减少坡耕地地表径流。

表 2 不同时期各处理径流量方差分析

时间 (年-月)	各处理径流量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )								F 值
	A	B	C	D	E	F	G	H	
2009-06	117.13a	193.35a	206.89a	220.44a	178.76a	201.05a	165.09a	215.92a	0.31
2009-07	673.14a	1000.50a	976.69a	563.28a	523.17a	684.67a	1177.30a	975.88a	2.00
2009-08	75.42ab	147.80b	138.95b	13.01a	36.88a	90.19ab	142.04b	133.40b	3.66*
合计	865.69a	1341.68a	1322.50a	796.70a	738.80a	975.90a	1484.40a	1325.18a	1.57
2010-06	70.91bc	10.89a	12.18a	2.11a	6.99a	29.93ab	59.30ab	87.99c	3.18*
2010-07	79.53bcBC	22.08abA	54.53abAB	3.08aA	9.72aA	29.56abA	104.32bcBC	116.79cC	7.54**
2010-08	73.52bc	2.33a	16.06ab	4.47ab	6.34ab	17.20ab	62.36abc	101.89c	3.40*
合计	226.27cdCD	35.31abAB	83.48abcAB	7.69aA	23.63abAB	77.78abcABC	192.71cdBCD	309.89dA	4.30**

注:同行中数字后不同小写字母和\*表示在  $p<0.05$  水平上差异显著,不同大写字母和\*\*表示在  $p<0.01$  水平上差异极显著,相同字母表示差异不显著,下表同。

2.2 间作作物群体对坡耕地土壤侵蚀量的影响

由表 3 可知,2009 年作物生育期内 6 月、7 月以及总土壤侵蚀量各处理差异均不显著( $p>0.05$ )。8 月份各处理侵蚀量差异达显著水平( $p<0.05$ ),其中,D,E 处理与 B,G,H 处理差异均达显著水平( $p<0.05$ );间作处理侵蚀量依次为  $C>B>A>E>D$ ,单作处理侵蚀量依次为  $G>H>F$ ,D 处理侵蚀量比 G 处理减少 97.62%。间作处理总侵蚀量依次为  $B>C>A>D>E$ ,单作处理依次为  $G>H>F$ ,D 和 E 处理总侵蚀量分别比 G 处理减少 89.75%,85.68%,比 H 处理分

别减少 85.54%,79.80%。2010 年除 8 月份各处理侵蚀量差异不显著( $p>0.05$ )外,其余月份和总侵蚀量各处理差异均达显著水平( $p<0.05$ ),D 处理与 G,H 处理差异均显著( $p<0.05$ )。间作各处理总侵蚀量依次为  $A>B>C>E>D$ ,单作处理依次为  $H>G>F$ ,D 处理总侵蚀量比 G 处理减少 99.49%,比 H 处理减少 99.37%。综合 2 年试验结果可以看出,间作处理土壤侵蚀量小于单作,其中间作草带处理土壤侵蚀量最少,在玉米间作辣椒中,2:2,2:4 侵蚀量小于 2:6,水土保持效果最好。

表 3 不同时期各处理土壤侵蚀量方差分析

时间 (年-月)	各处理土壤侵蚀量/(t·hm <sup>-2</sup> )								F 值
	A	B	C	D	E	F	G	H	
2009-06	0.35a	0.80a	0.29a	0.43a	0.26a	0.41a	0.74a	1.09a	1.681
2009-07	3.31a	8.34a	19.85a	1.85a	2.90a	2.07a	21.19a	14.51a	2.508
2009-08	0.10ab	0.29bc	0.15ab	0.01a	0.04a	0.09ab	0.42c	0.24bc	3.761*
合计	3.76a	9.43a	20.3a	2.29a	3.20a	2.58a	22.34a	15.84	2.597
2010-06	0.032ab	0.005a	0.004a	0.0001a	0.0004a	0.007a	0.004a	0.054b	3.990*
2010-07	0.077ab	0.026a	0.145ab	0.003a	0.005a	0.016a	0.663c	0.529bc	2.930*
2010-08	0.028a	0.001a	0.008a	0.001a	0.002a	0.002a	0.122a	0.073a	1.420
合计	0.137ab	0.032a	0.156ab	0.004a	0.007a	0.025a	0.789c	0.639bc	3.573*

2.3 不同降雨强度下作物间作群体对坡耕地径流量的影响

由表 4 可知,2009 年在低强度降雨和极高强度降雨下,各处理径流量差异不显著( $p>0.05$ )。在低强度和高强度降雨下,各处理差异显著( $p<0.05$ )。两个降雨强度下,D,E 处理的径流量与 G,H 处理均达到显著水平( $p<0.05$ ),低强度降雨下,间作处理径流量依次为  $B>C>A>E>D$ ,单作处理依次为  $G>H>F$ ,高强度降雨下,间作处理径流量依次为  $C>B>A>E>D$ ,单作处理依次为  $H>G>F$ 。低强度降雨下,D 处理的径流量分别比 G,H 处理降低 83.86%,83.55%,高强度降雨下,D 处理的径流量分别比 G,H 处理降低 77.13%,75.20%。2010 年低强度降雨下,各处理差异不

显著( $p>0.05$ ),中强度和高强度降雨下,各处理差异均显著( $p<0.05$ )。低强度和高强度降雨下,各间作处理径流量均依次为  $C>B>A>E>D$ ,单作处理均依次为  $H>G>F$ ,低强度下,D 处理径流量分别比 G,H 处理减少 97.39%,98.10%,E 处理分别比 G,H 处理减少 91.32%,93.68%;在高强度降雨下,D 处理径流量分别比 G,H 处理减少 97.52%,98.25%,E 处理分别比 G,H 处理减少 91.31%,93.87%。

两年试验结果表明,在各降雨强度下,间作处理中,玉米间作草带径流量最小,辣椒间作草带次之,玉米间作辣椒处理中,2:2,2:4 模式径流量小于 2:6 模式。径流量随着降雨强度的增大而增大,但间作处理尤其是草带间作处理增加幅度小于单作处理。

表 4 不同强度降雨下各处理径流量方差分析

年份	降雨强度 $I_{30}$ / (mm·min <sup>-1</sup> )	各处理径流量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )								F 值
		A	B	C	D	E	F	G	H	
2009	<0.25	6.94bc	9.66c	8.23bc	1.53a	5.54ab	6.09bc	9.48c	9.30c	3.99*
	0.25~0.50	24.27a	51.89a	52.69a	19.81a	22.89a	39.96a	57.29a	42.24a	1.53
	0.50~0.75	106.42abc	167.20bc	174.50bc	46.75a	75.07ab	70.27ab	204.44c	188.53c	3.39*
	>0.75	142.65	188.34	203.09	109.66	116.87	150.25	259.78	260.00	0.83
2010	<0.25	0.58a	0.86a	3.22a	0.11a	0.53a	1.93a	2.54a	4.84a	2.54
	0.25~0.50	2.28aA	6.21abAB	12.88bcAB	0.37aA	1.23aA	4.23abA	14.17bcAB	19.45cB	4.81**
	0.50~0.75	2.58a	8.13ab	16.49abc	0.51a	1.79a	4.37ab	20.60bc	29.20c	3.94*

2.4 不同降雨强度下作物间作群体对坡耕地侵蚀量的影响

由表 5 可以看出,2009 年在高强度降雨下,各处理侵蚀量差异不显著( $p>0.05$ ),在其余降雨强度下,各处理差异均显著( $p<0.05$ )。在低强度、中强度和极高强度降雨条件下,D 和 E 处理侵蚀量与 G 处理差异均达到显著水平( $p<0.05$ )。在各降雨强度下,间作处理的侵蚀量均小于 G,H 处理,间作处理侵蚀量依次为 C>B>A>E>D,单作处理依次为 G>H>F。随着降雨强度的增加,间作处理与单作处理侵蚀量差值越大,在极高强度降雨下,D 处理的侵蚀量分别比 G,H 处理降低 95.98%,94.17%,F 处理的侵蚀量分别比 G,H 处理降低 91.17%,87.20%。2010 年除低强度降雨下各处理差异不显著( $p>0.05$ )外,中强度和高强度降雨下各处理差异均达极显著水平

( $p<0.01$ )。在中强度和高强度降雨下,D,E 处理侵蚀量和 G,H 处理差异均达极显著水平( $p<0.01$ )。在中强度和高强度降雨下,各间作处理侵蚀量均依次为 C>B>A>E>D,单作处理均依次为 H>G>F。随着降雨强度增加,间作处理侵蚀量减少越多,中强度下,D 处理侵蚀量分别比 G,H 处理减少 99.59%,99.68%,E 处理分别比 G,H 处理减少 98.95%,99.18%;在极高强度降雨下,D 处理侵蚀量比 G,H 处理均减少 99.96%,E 处理分别比 G,H 处理减少 99.78%,99.80%。两年试验结果表明,在各降雨强度下,间作处理中玉米间作草带侵蚀量最小,辣椒间作草带次之,玉米间作辣椒处理中,2:2,2:4 模式侵蚀量小于 2:6 模式。侵蚀量随着降雨强度的增大而增大,但间作处理土壤侵蚀量随降雨强度的增加幅度小于单作处理。

表 5 不同强度降雨下各处理侵蚀量方差分析

年份	降雨强度 $I_{30}/$ (mm·min <sup>-1</sup> )	各处理侵蚀量/(t·hm <sup>-2</sup> )								F 值
		A	B	C	D	E	F	G	H	
2009	<0.25	0.02abc	0.02abc	0.07bc	<0.01a	0.01ab	0.01a	0.08c	0.06abc	2.91*
	0.25~0.50	0.09a	0.27a	0.25a	0.04a	0.05a	0.08a	0.53b	0.26a	4.84*
	0.50~0.75	1.18a	1.29a	4.71a	0.46a	0.40a	0.22a	4.25a	4.11a	1.46
	>0.75	1.47abc	3.52abc	11.90c	0.41a	0.90ab	0.77ab	10.19c	7.03c	4.35*
2010	<0.25	0.80a	0.22a	0.22a	<0.01a	0.04a	0.19a	0.54a	1.00a	1.17
	0.25~0.50	0.87aA	1.81aA	3.75aA	0.11aA	0.28aA	0.53aA	26.62bB	34.35bB	7.15**
	0.50~0.75	2.46aA	6.00aA	9.05aA	0.03aA	0.17aA	0.94aA	76.49bB	83.80bB	6.30**

3 讨论

影响水土流失的因素有很多,其中地表覆盖是影响水土流失最直接也最重要的因素。前人关于地表覆盖与水土流失关系的研究表明:增加作物覆盖度减少水土流失的主要原因有:(1) 增加覆盖为土壤颗粒的分离和运输提供了阻力;(2) 增加了土壤载水和持水的能力;(3) 分解的植物残体保持了土壤有机质水平;(4) 提供连续的地表覆盖,保护土壤免受雨水的直接冲刷;(5) 降低耕地表面径流的流动速度和承载力;(6) 改善土壤团聚体和土壤结构,水分渗透能力增强<sup>[3,13-16]</sup>。在农业生产中,通过不同作物间、套、复种,恰恰是增加地表覆盖、延长覆盖时间的重要措施。本研究通过玉米、辣椒、草带搭配间作,可能通过提高地表覆盖降低了径流与土壤侵蚀。除此之外,传统的单一种植,如玉米单作等高秆作物本身叶片能够汇集降雨雨滴,将小雨滴集成大雨滴,从较高处落下,增加了对地表的溅蚀能力<sup>[17-18]</sup>。而如果高位作物玉米能与矮位作物间套作,从玉米叶面落下的水滴动能消耗在矮位作物叶面上,从而有效地减小雨滴溅蚀和径流

面蚀,降低坡耕地土壤侵蚀<sup>[19]</sup>。前人研究表明,通过合理作物耕作措施,坡耕地土壤侵蚀可被极大控制,因而选配合适的作物系统,对于控制水土流失、减少径流非常重要<sup>[20-23]</sup>。本研究结果表明,高位作物玉米间作辣椒和间作草带相较于玉米单作处理,总水土流失量和总侵蚀量均能得到显著的降低,其中玉米间作辣椒 2:2,2:4 处理总径流量及总侵蚀量极显著小于辣椒单作和玉米单作。除作物之间的间作搭配能显著降低水土流失外,合理的农牧间作也能显著降低水土流失。前人研究表明,玉米与草木樨带状间作,地表径流减少 50%~80%,冲刷量减少 79%<sup>[24]</sup>,同时能显著增加其经济收入。本研究也表明,玉米间作草带和辣椒间作草带均能显著减少水土流失量,而且,在极高强度降雨条件下,该处理水土流失量减少效果更明显,坡耕地水土资源得以有效保护。因此,在不适宜种植农作物的坡耕地上,采用合理的农牧间作不仅能起到水土保持、不破坏生态环境的作用,还能提高农牧民经济收入。

从国内外利用作物群体控制水土流失研究方面来看,间作模式主要以农林间作、林草间作为主<sup>[25-27]</sup>,

国内在不同作物间作比较控制水土流失方面研究尚少。本研究采取玉米间作辣椒、玉米间作草带、辣椒间作草带等多种模式,探讨了合理的农作物间作及农牧结合对水土保持的效果,有利于保护农田生态环境,增加农牧民收入。为不同生态区域开展合理间套作搭配降低水土流失提供一定的理论支持。

## 4 结论

在坡耕地上,作物间作体系能有效减少坡耕地水土流失量。作物间作群体总水土流失量均低于作物裸地单作;玉米间作辣椒的水土保持效果较好,其中,行比为2:2,2:4的水土保持效果好于2:6模式。玉米间作草带和辣椒间作草带的水土保持效果最好,在中强度和高强度降雨下,玉米间作草带的水土流失减少程度好于低强度降雨,水土保持效果更明显。所以合理的作物间作体系均能有效利用与保护山区坡耕地水土资源。

### 参考文献:

- [1] 彭尔瑞,杨志雷,饶碧玉.从水土流失论人与自然的持续发展[J].云南农业大学学报,1998,13(2):192-196.
- [2] 和俊.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.
- [3] 王洪中,张忠武,贾秋鸿.云南坡耕地农业持续发展研究[J].水土保持通报,1999(4):18-20.
- [4] 陈小强,范茂攀,王自林,等.不同种植模式对云南省中部坡耕地水土保持的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):48-52,65.
- [5] 金龙,吴志祥,杨川,等.间作作物收获后胶园土壤肥力对比研究[J].热带农业科学,2014,34(8):1-7,16.
- [6] 张少良,张兴义,刘晓冰,等.典型黑土侵蚀区自然植被恢复措施水土保持功效研究[J].水土保持学报,2010,24(1):73-77.
- [7] 赵雨森,魏永霞.坡耕地保护性耕作措施的水土保持效应[J].中国水土保持科学,2009,3(3):86-90.
- [8] 谢颂华,曾建玲,杨洁,等.南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J].农业工程学报,2010,26(9):81-86.
- [9] 杨勤,刘永红,柯国华,等.坡耕地麦玉薯三熟保护性耕作水土保持效应的研究[J].西南农业学报,2008(2):305-308.
- [10] 刘慧,魏永霞,刘超,等.黑土区坡耕地水土保持技术模式对降雨径流过程的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):50-55.
- [11] Khan F, Bhatti A U. Soil and nutrient losses through sediment and surface runoff under maize mono-cropping and maize-legume, intercropping from up-land sloping field[J]. Pakistan Journal of Soil Science, 2001,19:32-40.
- [12] Almas M, Jamal T. Nutrients loss through sediments and runoff under upland banana-pineapple intercropping system[J]. Pakistan Journal of Soil Science, 1999,2:689-692.
- [13] 杨大晋.旱地玉米覆盖秸秆的增产效应研究[J].贵州农业科学,1996(5):15-20.
- [14] 蒋定生.黄土高原水土流失与治理模式[M].1版.北京:中国水利水电出版社,1997.
- [15] 郑海金,杨洁,汤崇军,等.不同水土保持耕作措施对径流泥沙与土壤碳库的影响[J].水土保持通报,2011,31(6):1-4.
- [16] 刘昌红.水土保持耕作措施在小流域综合治理中的作用[J].中国水土保持,2009(9):29-30,38.
- [17] 晏清洪,原翠萍,雷廷武,等.降雨类型和水土保持对黄土区小流域水土流失的影响[J].农业机械学报,2014,45(2):169-175.
- [18] 付兴涛,张丽萍.红壤丘陵区坡长对作物覆盖坡耕地土壤侵蚀的影响[J].农业工程学报,2014,30(5):91-98.
- [19] 韩学坤,吴伯志,安瞳昕,等.溅蚀研究进展[J].水土保持研究,2010,17(4):46-51.
- [20] Larson W E, Pierce F J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management [M]//Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al. Defining Soil Quality for A Sustainable Environment. Madison, USA: Soil Science Society of America, Inc, 1994.
- [21] Miao Z, Vicari A, Capri E, et al. Modeling the effects of tillage management practices on herbicide runoff in northern Italy[J]. Journal of Environmental Quality, 2004,33(5):1720-1732.
- [22] 安瞳昕,贺佳,杨友琼,等.坡耕地甜玉米地膜覆盖间作模式水土保持效应[J].水土保持通报,2014,34(1):31-33.
- [23] 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(5):18-20,24.
- [24] 常玉,余新晓,陈丽华,等.模拟降雨条件下林下枯落物层减流减沙效应[J].北京林业大学学报,2014,36(3):69-74.
- [25] 吴伯志,刘立光,郑毅,等.不同耕种措施对坡地红壤侵蚀率的影响[J].耕作与栽培,1996(5):17-20.
- [26] 张光辉,卫海燕,刘宝元.坡面流水动力学特性研究[J].水土保持学报,2001,15(1):58-61.
- [27] 陈奇伯,齐实,孙立达.土壤容许流失量研究的进展与趋势[J].水土保持通报,2000,20(1):9-13.