

云南省玉米间作蔬菜和牧草对坡地土壤侵蚀的影响

杨友琼, 吴伯志, 安瞳昕

(云南农业大学, 云南 昆明 650201)

摘要: 2005—2006 年在云南农业大学试验农场 10° 坡地上研究了玉米间作蔬菜和牧草对径流、土壤侵蚀的影响。结果表明, 间作的水土保持效果优于玉米单作。2005 年径流和土壤侵蚀, 间作比玉米单作分别减少 24.4%~34.1% 和 13.0%~50.9%; 2006 年间作比玉米单作分别减少 8.5%~55.3% 和 32.5%~85.3%。其中玉米间作牧草水土保持效果最好, 其次是玉米间作马铃薯及间作甘蓝。2005 年径流量与降雨量、降雨强度和降雨侵蚀力呈极显著正相关; 土壤侵蚀量与降雨强度和降雨侵蚀力呈极显著正相关关系。

关键词: 玉米; 蔬菜; 牧草; 间作; 土壤侵蚀

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)03-0026-06

中图分类号: S157.2

Effect of Intercropping Maize with Vegetable and Pasture on Soil Erosion Control on Slope Lands of Yunnan Province

YANG You-qiong, WU Bo-zhi, AN Tong-xin

(Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China)

Abstract: An experiment was conducted on plots of 10 degree slope at the teaching and experiment farm in Yunnan Agricultural University in 2005–2006. The effect of maize intercropped with vegetables and pasture on runoff and sediment was investigated. The result show that the soil and water conservation function of maize intercropping was better than monoculture of maize. Compared with monoculture maize, the runoff and sediment of intercropped maize have been reduced by 24.4%~34.1% and 13.0%~50.9% in 2005, 8.5%~55.3% and 32.5%~85.3% in 2006, respectively. Maize intercropped with pasture had the best soil and water conservation effect, followed by maize intercropping with potatoes and cabbages. A significantly positive correlation had been identified between runoff and sediment with rainfall intensity and erodibility.

Keywords: maize; vegetable; pasture; intercropping; soil erosion

云南省是全国水土流失最严重的省份之一, 水土流失面积为 $1.41 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占土地面积的 36.9%, 每年流失土壤 $5.00 \times 10^8 \text{ t}$ 多, 是全国年流失土壤量的 1/10, 而且流失的土壤多是适宜耕作或植物生长的优质表土。云南省的坡耕地仅占土地总面积的 1/10, 水土流失面积却占总流失面积的 29%, 是水土流失最集中的地方之一^[1]。

据统计, 云南省的 73 个国家级贫困县中, 有 58 个县属于水土流失严重的地区, 水土流失严重县与贫困县的重叠率为 79%, 说明这些地区水土流失与贫困关系密切。

为使水土流失严重地区彻底摆脱“越穷越垦越流失, 越流失越垦越穷”的恶性循环, 促进云南省坡耕

地农业的可持续发展, 本试验在坡耕地条件下, 采用适当的耕作措施, 进行了玉米间作蔬菜、牧草的水土保持效果研究, 期望通过此项研究能寻找到较理想的种植方式, 减少水土流失, 提高土地生产力。本实验中水土流失的 2 个预测回归方程可作为与本试验条件相同或相近的地区进行水土流失预报使用。

1 材料与方法

1.1 供试材料

2005 年供试玉米 (*Zea mays* L.) 品种: 云瑞 8 号; 马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.): 合作 88, 辣椒 (*Capsicum annuum* L.): 云南通海本地品种; 甘蓝 (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.): 中甘 11 号;

收稿日期: 2010-11-05

修回日期: 2010-11-24

资助项目: 云南省科技厅国际合作项目“城郊型粮草饲共生轮作可持续发展种植制度研究(2003GH05)”

作者简介: 杨友琼(1974—), 女(汉族), 云南省镇雄市人, 硕士, 讲师, 主要从事水稻基础研究、水土保持及农业可持续发展研究。E-mail: rab-bitnw@21cn.com。

通信作者: 吴伯志(1960—), 男(汉族), 云南省华宁县人, 教授, 博士生导师, 主要从事耕作制度、水土保持及农业可持续发展研究。E-mail: bozhiwu2003@yahoo.com.cn。

草种为: 非洲狗尾草(*Setaria anceps* Stapf ex Massesy) 和白三叶(*Trifolium repens*)。

2006 年供试玉米品种: 云瑞 8 号; 马铃薯: 合作 88; 辣椒: 韩国红海; 甘蓝: 世龙之春; 牧草为 2005 年再生, 非洲狗尾草和白三叶。

1.2 试验设计与测定方法

试验地位于云南省昆明市云南农业大学教学实验农场, 海拔 1 930 m, 地理坐标为 25°18' N, 102°45' E, 坡度为 10°, 土壤为旱地红壤, 土壤有机质 20.20 g/kg, 全氮 0.15 g/kg, 速效氮 37.29 mg/kg, 全磷 0.08 g/kg, 速效磷 20.36 mg/kg, 全钾 0.15 g/kg, 速效钾 83.30 mg/kg, pH 值 6.66。

1.2.1 试验设计 试验设 7 个处理, 3 次重复, 共 21 个小区, 采用单因素随机区组设计, 小区面积为 3 m × 10 m。处理为 A: 玉米 || 马铃薯; B: 玉米 || 青椒; C: 玉米 || 甘蓝; D: 玉米宽窄行单作; E: 玉米 || 牧草; F: 玉米等行距单作(以上处理玉米均盖膜); G: 未覆膜玉米宽窄行单作(玉米及蔬菜均沿等高线双行种植, 其中玉米起垄种植。牧草沿等高线条形种植, 面积为 300 cm × 40 cm)。

(1) 玉米。A, B, C, D, E 和 G 处理采用宽窄行种植, 株行距 45 cm × 120 cm(35 cm), F 处理采用等行距种植, 株行距为 45 cm × 83 cm, 密度 60 667 株/hm²。

(2) 间作。甘蓝、马铃薯。株行距 30 cm × 40 cm, 密度 40 000 株/hm²; 辣椒株行距 45 cm × 40 cm, 密度 56 000 株/hm²(2005 年), 2006 年辣椒株行距 30 cm × 40 cm, 密度 80 000 株/hm²(增加种植密度为了减小水土流失)。

(3) 间作牧草。非洲狗尾草和白三叶草混作, 种子播种密度, 狗尾草 40 kg/hm², 白三叶 15 kg/hm², 每小间作 7 带, 每带宽 40 cm。

(4) 玉米、甘蓝、辣椒育苗移栽, 马铃薯、牧草直接播种; 施肥水平同当地用量。

1.2.2 测定指标及计算方法

(1) 气温及降雨量。记录干球温度、湿球温度、最高温度、最低温度、降雨量(包括标准降雨量和自动降雨量)。所用雨量计为 DSJ2 型虹吸式雨量计和标准雨量计。日均温度计算公式如下:

$$\text{日均温} = (\text{最高温} + \text{最低温}) / 2$$

$$\text{降雨量} = (\text{标准降雨量} + \text{自动降雨量}) / 2$$

(2) 径流量及土壤侵蚀量。径流量计算公式:

$V = (\pi r^2 + h^2 \text{ctg}\alpha + h^3 \text{ctg}^2\alpha) / 3 = 1194h + 4.9h^2 + 0.0067h^3$
式中: V ——径流量(ml); h ——测定径流深度(cm); r ——收集径流的容器半径。

土壤侵蚀量计算公式:

每个小区土壤侵蚀量(g) = (300 ml 径流中泥沙量 × V) / 300。式中, V 为每个小区产流量。

数据处理运用 Excel2003 图表处理软件和 SPSS 13.0 统计分析软件进行。

2 结果与分析

2.1 气象资料分析

国内外学者对侵蚀性降雨进行了研究, 认为^[2-3] 土壤侵蚀量与一次降雨过程中的最大 30 min 降雨强度 I_{30} 密切相关, 据此将降雨类型分为极高、高、中、低 4 种降雨。从表 1 可看出, 2005 年 6—8 月这 3 个月降雨较多, 占总量 88.13%; 2006 年降雨少于 2005 年, 且 5—7 月降雨较多, 占总量的 80.12%。2005 年高、中强度降雨次数占总降雨次数的 22.9%, 2006 年占 31.7%, 可以看出 2006 年高、中强度降雨所占比重有所上升。2005 年高强度降雨集中分布在 6、7 月份, 中强度降雨 6、8 月较多。2006 年高强度降雨次数在 6 月高达 5 次, 中强度降雨 5、7、9 月份较多。

表 1 气象观测资料

时间	日均 温/℃	降雨次 数/次	降雨量		降雨强度/次		
			mm	%	高	中	低
200505	21.8	4	4.9	0.6	0	0	4
200506	20.8	19	259.2	31.0	3	4	12
200507	20.0	17	223.5	26.7	2	0	15
200508	19.6	16	254.2	30.4	1	5	10
200509	18.2	13	94.4	11.3	0	1	12
2005 年合计	—	69	836	100	6	10	53
200605	20.2	11	156.9	21.6	1	4	6
200606	19.6	12	254.9	35.1	5	1	6
200607	22.2	16	170.2	23.4	1	4	11
200608	20.9	13	65.0	9.0	0	1	12
200609	18.6	11	79.5	10.9	0	3	8
2006 年合计	—	63	726.5	100	7	13	43

注: $I_{30} > 0.75 \text{ mm/min}$ (极高强度降雨); $0.50 \text{ mm/min} < I_{30} \leq 0.75 \text{ mm/min}$ (高强度降雨); $0.25 \text{ mm/min} < I_{30} \leq 0.50 \text{ mm/min}$ (中强度降雨); $I_{30} < 0.25 \text{ mm/min}$ (低强度降雨)。

2.2 不同处理水土保持效果研究

2.2.1 降雨类型与水土流失的关系 表 2—3 是不同处理在不同雨强下水土流失的比较, 由表 2—3 可看出, 2005 年各间作处理(B 处理除外)与单作相比, 中、低强度的径流和土壤侵蚀差异较小, 高强度降雨下, 径流和土壤侵蚀, 间作处理分别比单作处理 F 减少 44.1%~45.6% 和 10.2%~54.7%。各间作处理相比, 中、高降雨强度下, B 处理径流量和土壤侵蚀量为最高, 其它间作处理产流量差异小, 其中 A 处理土壤侵蚀量为最低。2006 年各处理相比, 规律同 2005 年(B 处理除外), 高强度降雨下, 径流和土壤侵蚀, 间

作处理分别比单作 F 处理减少 15.4%~67.4% 和 35.4%~88.7%。各间作处理相比,中、高降雨强度下,B 处理径流量和土壤侵蚀量仍为最高,E 处理为最低。B 处理径流和土壤侵蚀量在 2005 年都较高,2006 年在增加间作作物辣椒的种植密度后,土壤侵蚀量明显减少,可径流量仍较高,其原因可能与辣椒的植物学性状有关。辣椒主根不发达,根群多分布在

30 cm 的耕层内,根系再生能力较差,叶片为单叶互生^[4],因此辣椒根固土能力和吸水能力都较低。该处理 2006 年土壤侵蚀比 2005 年低。而其它处理(E 处理除外)与之相反,2006 年比 2005 年高出近 2 倍左右,这说明增大辣椒种植密度后 B 处理的保土效果明显改善。E 处理 2006 年保水、保土效果较好,原因为 2006 年牧草为 2005 年的再生,根系较发达。

表 2 2005 年不同雨强下不同处理水土流失比较

处 理	径流量/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)			土壤侵蚀量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)		
	低强度	中强度	高强度	低强度	中强度	高强度
玉米 甘蓝(C)	29.02	73.70	114.36	33.66	178.13	1 227.63
玉米 青椒(B)	78.84	148.59	299.76	88.74	824.61	2 334.89
玉米 马铃薯(A)	51.29	82.91	114.78	44.29	150.34	618.48
玉米 牧草(E)	53.50	72.28	111.53	114.93	272.56	923.73
玉米等行距单作(F)	47.62	76.72	205.15	76.50	212.15	1 366.61
玉米宽窄行单作(D)	42.36	103.09	152.94	87.86	176.72	1 978.98
未覆膜玉米单作(G)	74.06	103.46	275.91	127.89	289.72	3 707.97
合 计	376.69	660.75	1274.43	573.88	2104.23	12 158.28

表 3 2006 年不同雨强下不同处理水土流失比较

处 理	径流量/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)			土壤侵蚀量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)		
	低强度	中强度	高强度	低强度	中强度	高强度
玉米 甘蓝(C)	23.23	79.13	247.09	162.04	641.77	1 385.31
玉米 青椒(B)	27.26	100.44	500.14	50.67	779.15	1 958.37
玉米 马铃薯(A)	16.76	63.59	183.87	303.99	759.63	1 506.96
玉米 牧草(E)	24.90	50.73	95.20	138.11	125.93	343.62
玉米等行距单作(F)	12.02	77.89	291.98	218.27	880.45	3 032.97
玉米宽窄行单作(D)	25.57	89.95	244.59	183.97	1232.95	2 663.98
未覆膜玉米单作(G)	14.13	109.87	504.78	16.66	866.72	7 199.00
合 计	143.87	571.6	2 067.66	1073.71	5 286.60	18 090.22

2005 年径流大部分在高、中强度降雨下产生,分别占总量的 55.13% 和 28.58%,高强度降雨下土壤侵蚀最多,占总量的 81.95%,中、低强度降雨相比,前者产流量和土壤侵蚀量分别是后者的 1.8 和 3.8 倍。可看出降雨强度对径流量和侵蚀量的影响较大。2006 年高、中降雨强度产生的径流分别占总量的 74.29% 和 20.54%,高强度降雨下的土壤侵蚀占总量的 73.99%,中强度降雨产流量和土壤侵蚀量分别是低强度降雨的 4.0 和 4.9 倍。可以看出,不同强度降雨下产生的径流和土壤侵蚀变化规律,2006 年与 2005 年基本一致,中强度降雨产流量和土壤侵蚀量较多,高强度降雨为最多。比较 2005 年和 2006 年的径流量和侵蚀量,可以得出,2006 年高强度降雨产生的径流量和侵蚀量分别比 2005 年高 62.24% 和 48.79%。存在这种差异的原因主要是 2006 年高强度降雨集中分布在 6 月份(表 1),在此期间,作物种植时间较短,对地表的覆盖较小,所以产生的径流和土壤

侵蚀都较大;中强度降雨产流量,2006 年与 2005 年差异较小,土壤侵蚀前者是后者的 2.5 倍。

2.2.2 玉米生育期各月水土流失量 由表 4 可得,2005 年的径流量顺序为 B>G>F>D>A>E>C;C,A,E,F 和 D 处理分别比 G 减少径流 52%,45%,48%,27% 和 34%,玉米盖膜后径流减少 34%。间作处理(B 处理除外)比单作 F 处理减少径流 24.4%~34.1%,保水效果最好的是处理 C。2006 年,G>B>F>D>C>A>E;C,A,E,F 和 D 处理分别比 G 减少径流 44.4%,58.0%,72.8%,39.3% 和 42.7%,玉米盖膜后径流减少 43%。间作处理(B 处理除外)比单作 F 处理减少径流 8.5%~55.3%,保水效果最好的是处理 E。B 处理径流与 G 处理相差较小,原因与 B 处理中辣椒的植物学性状有很大的关系(见表 2—3)。2005 年径流集中分布在 6—8 这 3 个月,分别占总量的 41.80%,28.22% 和 25.67%,2006 年 6 月和 7 月,产流较多,分别占总量的 61.60% 和 29.08%。

表 4 不同处理各月径流量比较

m³ / hm²

处 理	200506	200507	200508	200509	径流总量
玉米 甘蓝(C)	74.25	61.11	71.78	9.95	217.08
玉米 青椒(B)	273.89	126.45	108.31	18.53	527.19
玉米 马铃薯(A)	81.75	65.31	84.29	17.64	248.98
玉米 牧草(E)	88.64	61.38	69.36	17.94	237.31
玉米等行距单作(F)	143.55	113.37	68.57	4.00	329.49
玉米宽窄行单作(D)	84.11	99.38	99.63	15.31	298.39
未覆膜玉米单作(G)	220.07	125.42	91.49	16.45	453.43
2005 年合计	966.25	652.36	593.43	99.83	2 311.86
处 理	200607	200607	200608	200609	径流总量
玉米 甘蓝(C)	223.00	83.33	19.11	24.00	349.45
玉米 青椒(B)	428.50	144.33	16.78	37.83	627.84
玉米 马铃薯(A)	160.00	73.45	16.56	14.33	264.22
玉米 牧草(E)	86.67	44.33	17.17	22.17	170.83
玉米等行距单作(F)	260.34	99.00	10.78	11.56	381.89
玉米宽窄行单作(D)	184.67	137.45	15.56	22.45	360.11
未覆膜玉米单作(G)	371.34	227.33	16.78	13.11	628.78
2006 年合计	1 714.51	809.23	112.72	145.45	2 783.13

比较 2005 年, 2006 年的径流量, 总量差异较小, 6 月份和 8 月份的差异较大。2006 年 6 月各处理明显高于 2005 年, C, B, A, F, D 和 G 处理高出值分别为 132.368, 100.651, 15.243, 52.403, 61.719 和 175.355 m³。虽然两年 6 月份降雨量相差较小, 仅为 4.3 mm, 但是 2006 年 6 月高强度降雨次数高出 2005 年 2 次(见表 1), 而且此时作物群体本身此时种植时间不长, 对地表没有很好的覆盖作用, 所以 2006 年 6 月产生的径流量较多。2005 年 8 月份中强度降雨次数高出 2006 年 4 次, 所以 2005 年 8 月径流量是 2006 年的 5 倍多。E 处理 2006 的牧草为 2005 年再生, 地上和地下部分生长都较旺, 它们可以阻挡和减少径流的产生, 所以 2006 年的径流量低于 2005 年。

以上分析结果可得出, 玉米盖膜后可以降低径流量, 与玉米单作相比, 玉米间作马铃薯、甘蓝和牧草后保水效果较好, 其中, 玉米间作牧草, 牧草生长两季后保水效果最好。

从表 5 中可以看出, 2005 年各处理 6—9 月和总侵蚀差异不显著, 2006 年各处理 7, 9 月土壤侵蚀量差异极显著。单作处理 F 是云南生产上运用比较广泛的一种种植方式, 比较合理的株行距使其裸露的土壤较少且玉米生长较快, 因此保土效果较好, 7 月份各间作处理与其相比差异都不显著。2006 年 6, 7 月份, 裸地玉米单作 G 处理土壤侵蚀为最高, 7 月份与其它任何一个处理间的差异都显著。9 月份各处理差异极显著, G 处理为最低。与之相比, 间作处理(E 处理除外) 稍高, 原因可能是间作作物此时已收获, 致

使土壤裸露较多。G 处理较低, 外因: 8, 9 月份降雨量较少, 低强度降雨较多, 对土壤的侵蚀较小; 内因: 可能是该处理前期比较严重的水土流失使土壤板结比较严重。

2005 年, G > B > D > F > C > E > A; C, B, A, E, F 和 D 处理分别比 G 减少侵蚀 65.1%, 21.3%, 80.3%, 68.2%, 59.9% 和 45.6%, 玉米盖膜后土壤侵蚀减少 46%。间作处理(B 处理除外) 比单作 F 处理减少土壤侵蚀 13.0% ~ 50.9%, 保土效果最好的是处理 A。2006 年, G > F > D > B > A > C > E; C, B, A, E, F 和 D 处理分别比 G 减少侵蚀 72.9%, 65.5%, 68.2%, 92.5%, 48.9% 和 49.5%, 玉米盖膜后土壤侵蚀减少 50%。间作处理比单作 F 处理减少土壤侵蚀 32.5% ~ 85.3%, 保土效果最好的是处理 E。综合两年的数据可看出, 土壤侵蚀主要在 6, 7 月产生, 该时间段各处理土壤侵蚀占总量的 73% ~ 96.7%, 且未覆膜处理所占的比例最高, 为 96.7%, 牧草种植两季的 E 处理为最低 73%。究其原因, 高、中强度降雨主要集中在 6, 7 月, 且此时作物种植时间不长, 对地表覆盖较低。

综上所述, 在 10° 的坡耕地上玉米盖膜可以明显减少土壤侵蚀, 玉米间作马铃薯、甘蓝和牧草后, 保土效果明显, 其中, 玉米间作牧草, 牧草生长两季后保土效果最好。

2005 年径流总量与侵蚀总量成极显著正相关关系($r = 0.771, p < 0.01$), 2006 年也成极显著正相关关系($r = 0.793, p < 0.01$), 说明土壤侵蚀随径流的增大而增多。

表 5 不同处理各月侵蚀量方差分析

kg/hm²

处 理	200506	200507	200508	200509	侵蚀总量
玉米 甘蓝(C)	427.48	852.86	144.94	14.13	1439.42
玉米 青椒(B)	2822.61	285.18	127.38	13.06	3248.24
玉米 马铃薯(A)	406.52	296.82	92.97	16.81	813.12
玉米 牧草(E)	510.01	547.01	208.10	46.11	1311.22
玉米等行距单作(F)	1222.75	322.99	106.62	2.89	1655.25
玉米宽窄行单作(D)	873.40	1198.65	151.35	20.17	2243.56
未覆膜玉米单作(G)	2861.19	1048.37	190.85	25.18	4125.58
2005年合计	9125.69	4553.21	1023.94	139.88	14837.84
F 值	1.45	0.66	1.46	1.13	0.96
p 值	0.27	0.69	0.27	0.40	0.49

处 理	200606	200607	200608	200609	侵蚀总量
玉米 甘蓝(C)	931.56	831.89abA	227.67	198.00bcBC	2189.12
玉米 青椒(B)	1525.51	851.17abA	170.50	241.00cC	2788.18
玉米 马铃薯(A)	1241.23	952.89abA	241.67	134.78abABC	2570.57
玉米 牧草(E)	258.67	185.33aA	76.33	87.33aAB	607.67
玉米等行距单作(F)	2414.35	1306.56abA	213.44	197.33bcBC	4131.69
玉米宽窄行单作(D)	1923.68	1766.01bA	278.78	112.44abAB	4080.91
未覆膜玉米单作(G)	3996.91	3821.02cB	201.22	63.22aA	8082.38
2006年合计	12291.91	9714.87	1409.61	1034.1	24450.52
F 值	0.817	8.739**	2.5320	5.753**	2.135
p 值	0.576	0.001	0.0756	0.004	0.118

注:小写字母表示显著水平 $\alpha = 0.05$,大写字母表示显著水平 $\alpha = 0.01$; * 表示 $0.01 < p \leq 0.05$, ** 表示 $p \leq 0.01$ 。下同。

2.2.3 降雨因子与水土流失 本试验中降雨侵蚀力的计算参照王万忠等^[5]人结合我国实际情况得出的简易计算方法,根据以上计算公式,将不同处理径流量与降雨量、降雨强度和降雨侵蚀力进行相关分析。得出,2005年各处理径流量与降雨量、降雨强度和降雨侵蚀力都呈极显著正相关关系(表6);各处理土壤

侵蚀量与降雨强度和降雨侵蚀力呈显著或极显著正相关关系;A和E处理土壤侵蚀量与降雨量分别呈显著和极显著正相关。

以上研究表明,径流量和土壤侵蚀量随着降雨强度、降雨侵蚀力的增大而增大,径流量还随降雨量的上升而加大。

表 6 2005年不同处理水土流失与降雨因子的相关分析

项目	处 理	降雨量 P		降雨强度 I_{30}		降雨侵蚀力 R	
		r	Sig.	r	Sig.	r	Sig.
径流	玉米 甘蓝(C)	0.703**	0.000	0.765**	0.000	0.788**	0.000
	玉米 青椒(B)	0.653**	0.000	0.759**	0.000	0.810**	0.000
	玉米 马铃薯(A)	0.920**	0.000	0.738**	0.000	0.911**	0.000
	玉米 牧草(E)	0.917**	0.000	0.799**	0.000	0.942**	0.000
	玉米等行距单作(F)	0.675**	0.000	0.816**	0.000	0.839**	0.000
	玉米宽窄行单作(D)	0.700**	0.000	0.758**	0.000	0.770**	0.000
	未覆膜玉米单作(G)	0.638**	0.000	0.787**	0.000	0.792**	0.000
侵蚀量	玉米 甘蓝(C)	0.226	0.221	0.590**	0.000	0.420*	0.019
	玉米 青椒(B)	0.294	0.108	0.561**	0.001	0.504**	0.004
	玉米 马铃薯(A)	0.333*	0.067	0.744**	0.000	0.569**	0.001
	玉米 牧草(E)	0.469**	0.008	0.803**	0.000	0.691**	0.000
	玉米等行距单作(F)	0.292	0.111	0.589**	0.000	0.498**	0.004
	玉米宽窄行单作(D)	0.166	0.372	0.565**	0.001	0.361*	0.046
	未覆膜玉米单作(G)	0.253	0.170	0.546**	0.001	0.448*	0.012

注: $R = 1.70 \times P \times I_{30} / 100 - 0.136 (I_{30} < 10 \text{ mm})$, $R = 2.35 \times P \times I_{30} / 100 - 0.532 (I_{30} > 10 \text{ mm})$ 。

根据表6中的公式,分析2005年径流量、土壤侵蚀量分别与降雨量、降雨强度及降雨侵蚀力的关系,得出径流量与3个指标成正相关,并且达到极显著水平。说明产流量受3个降雨指标的影响较大,其中降雨侵蚀力影响最大,即说明降雨对径流的影响,是降雨强度和降雨量共同作用的结果。土壤侵蚀量与降雨强度和降雨侵蚀力成极显著正相关关系,其中降雨强度对其影响较大。

根据2005年径流量、土壤侵蚀量与降雨量、降雨强度及降雨侵蚀力的关系,以2005年降雨量、降雨强度和降雨侵蚀力为自变量,径流量和土壤侵蚀量为因变量进行多元回归分析,得出以下2个回归方程。对径流量与降雨量、降雨强度和降雨侵蚀力以及土壤侵蚀量与降雨强度和降雨侵蚀力的关系进行检验, $F=42.218$ 和 15.133 , $p=0.000$, 有统计学意义, $R=0.914$ 和 0.721 , 说明回归方程有较高的可行性。

$$y_{\text{径流量}} = 0.123x_1 + 1.006x_2 + 3.681x_3 - 2.008$$

$$y_{\text{侵蚀量}} = 3.514x_2 + 15.251x_3 + 7.838$$

式中: x_1 ——降雨量; x_2 ——降雨强度; x_3 ——降雨侵蚀力。

3 结论

在云南省,玉米覆膜主要是解决玉米生长前期气温较低的矛盾,在本试验中,盖膜除了有以上作用外,还可以减少水土流失。结果表明各处理水土流失大部分在6、7月份产生,说明该时期是云南省坡地水土流失防治的关键时期。

由本试验得出,径流量和土壤侵蚀量随降雨强度、降雨侵蚀力的增大而增大;径流量随降雨量的上升而加大。径流量与降雨强度、降雨量及降雨侵蚀力成极显著正相关;土壤侵蚀量与降雨强度和降雨侵蚀力成极显著正相关关系,其中降雨强度对其影响较大。不同强度的降雨条件下,高、中强度降雨产流较多,土壤侵蚀主要在高强度降雨下产生。孙飞达等^[6]

对降雨强度对径流、土壤侵蚀影响的研究,也得出同样的结论。

经分析,各间作处理(玉米间作辣椒处理除外)能有效地减少坡地水土流失,其中,玉米间作牧草在牧草种植两季后水土保持效果最好,玉米间作甘蓝和间作马铃薯较好,玉米间作辣椒在增大辣椒种植密度后,保土效果有所改善。向万胜等^[7]、吕军杰等^[8]也肯定了间作措施能有效地减少坡耕地水土流失量。2005年,玉米间作辣椒与玉米单作相比,有加剧水土流失的趋势,2006年,在增加辣椒种植密度后,该处理的土壤侵蚀明显减少,且明显优于玉米单作,说明不合理的作物种植方式会加剧水土流失。

[参 考 文 献]

- [1] 云南省环境保护局. 云南三十年生态环境保护 and 建设面临的形势[EB/OL]. (2005-01-11) [2007-05-01]. <http://www.ynepb.gov.cn>.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [Z]. United States. Dept. of Agriculture. Agriculture Handbook (USA), 1978: 85.
- [3] 蒋定生, 江忠善, 侯喜禄. 黄土高原丘陵区水土流失规律与水土保持措施优化配置研究[J]. 水土保持学报, 1992, 6(3): 14-17.
- [4] 蒋光明. 中国农业百科全书: 蔬菜卷. 各种蔬菜[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 135.
- [5] 王万忠, 张宪奎. 我国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布(iv)[J]. 水土保持学报, 1995, 9(4): 5-18.
- [6] 孙飞达, 蒋志荣, 王立. 不同降雨强度下农地的产流产沙研究[J]. 甘肃科学学报, 2005, 17(1): 53-56.
- [7] 向万胜, 梁称福, 李卫红, 等. 三峡库区花岗岩坡耕地不同种植方式下水土流失定位研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 47-50.
- [8] 吕军杰, 姚宇卿, 王育红, 等. 不同耕作方式对坡耕地土壤水分及水分生产效率的影响[J]. 土壤通报, 2003, 34(1): 74-76.