

不同配比的蔬菜与玉米间套作削减农田径流污染的研究

杨翠玲, 祖艳群, 李元*, 湛方栋, 傅志兴, 杨静

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要: 2011年7月到9月采用田间试验, 在自然降雨条件下, 对滇池流域不同比例蔬菜与玉米间套作蔬菜种植模式下农田地表径流产生量与地表径流、TN、TP、COD、SS的流失量进行分析, 寻求控制农田径流污染的蔬菜与玉米适宜比例种植模式。结果表明: 蔬菜单作地表径流流失量为 $73.78 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, TN、TP、COD和SS流失量分别为 0.79、0.195、2.86、44.46 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。1:2 玉米//青花-西葫芦间套作地表径流流失量为 $41.06 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, TN、TP、COD和SS流失量分别为 0.41、0.112、1.08、13.06 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。1:3和1:4 玉米//青花-西葫芦间套作地表径流和TN、TP、COD、SS流失量均高于1:2模式。与蔬菜单作相比, 1:2 玉米//青花-西葫芦间套作能削减44.35%的地表径流量、48.46%的TN、42.38%的TP、62.13%的COD、72.92%的SS。因此, 1:2 玉米//青花-西葫芦间套作种植模式削减农田地表径流和径流污染的效果最好。

关键词: 滇池流域; 不同比例; 蔬菜//玉米间套作; 地表径流

中图分类号: X522 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2013)02-0378-07 doi:10.11654/jaes.2013.02.024

Reduction of Runoff from Cultivated Land with Intercropping System of Different Ratio of Vegetables to Maize

YANG Cui-ling, ZU Yan-qun, LI Yuan*, ZHAN Fang-dong, FU Zhi-xing, YANG Jing

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

Abstract: The field experiment was conducted under natural rainfall condition during July to September in year 2011 to study the surface runoff and the loss of TN, TP, COD and SS from cultivated land with different ratio of vegetables to maize intercropping system in Dianchi Lake watershed. The results showed that ①The loss of surface runoff from cultivated land with vegetables mono-cropping was $73.78 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, with TN, TP, COD and SS loss of 0.79, 0.195, 2.86 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and 44.46 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. ②The surface runoff from intercropping system of ratio of maize to cauliflower-pumpkin 1:2 was $41.06 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, the loss of TN, TP, COD and SS loss of 0.41, 0.112, 1.08 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and 13.06 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. ③The surface runoff and TN, TP, COD and SS loss of from intercropping system with maize to cauliflower-pumpkin 1:2 were lower than 1:3 and 1:4. ④Comparing with cauliflower-pumpkin mono-cropping system, the surface runoff, TN, TP, COD and SS from intercropping system of 1:2 ratio were reduced by 44.35%, 48.49%, 42.38%, 62.13% and 72.92%, respectively. Therefore, the intercropping system of 1:2 ratio was the most optimal for control of surface runoff and nutrient loss.

Keywords: Dianchi Lake watershed; different ratio; vegetables and maize intercropping; surface runoff

随着对工业废水和城市生活污水等点源污染的有效控制, 面源污染尤其是农业生产活动引起的农业面源污染已成为水环境污染的最重要来源。据研究, 我国湖泊的氮、磷50%以上来自于农业面源污染^[1]。

太湖流域总氮的77%和总磷的33.4%来自于面源污染。巢湖的污染负荷中69.54%的总氮和51.71%的总磷来自于农业面源污染, 进入滇池外海的总氮和总磷负荷中, 农业面源污染分别占53%和42%^[2]。

蔬菜和玉米是滇池流域种植的主要作物之一。玉米间套作蔬菜种植模式在经济和生态学上具有明显的效益^[3-7], 这方面的研究目前主要集中在间套作系统的地上部光热水气资源的充分利用, 地下部根系间营养、水分、土壤微生物、土壤酶的改善作用方面^[7]。关于

收稿日期: 2012-06-26

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项研究课题(2012ZX07102-003-04)

作者简介: 杨翠玲(1987—), 女, 云南大理人, 硕士研究生, 环境科学专业。E-mail: maggie_ycl@126.com

* 通信作者: 李元 E-mail: liyuan03@yahoo.com.cn

玉米套作蔬菜降低土壤硝酸盐含量累积,削减农田面源污染方面的研究也有报道^[8-10],但在不同比例种植模式削减污染负荷的效果方面的研究很少。

本文着重对不同比例种植模式进行对比研究,分析玉米套作不同比例的蔬菜对滇池流域农田地表径流量与径流污染流失的影响,这对于削减蔬菜农田面源污染输出和保护滇池具有重要的科学意义,为治理滇池面源污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地点位于云南省昆明市晋宁县上蒜乡段七村主公路东侧 50 m 的农田上 (102°45'E, 25°18'N), 海拔 1930 m, 土壤为山地红壤。

试验地为台地,共分割整理 42 个小区,各小区面积均为 30 m²,长×宽分别为:1~6 小区为 5 m×6 m;7~17 小区为 6.4 m×4.7 m;18~30 小区为 8 m×3.75 m;31~42 小区为 7.5 m×4 m。小区中的垄的走向与坡地的坡向呈垂直角度设置。在每个小区底部均开挖一个体积约为 1 m³(1 m×1 m×1 m)蓄水池(集水小区),在每个集水小区内放入一个体积为 60 L 的聚乙烯塑料桶,用以收集及测量各小区内所产生的降雨径流(径流用 PVC 管引入集水小区中),且在每排小区下侧均修筑一条排水通道,可使集水小区内收集到的降雨径流通过小区一侧的排水沟流入大集水池中。

该试验地的土壤背景值:土壤有机质 19.57 g·kg⁻¹,全氮 1.39 g·kg⁻¹,碱解氮 131.1 mg·kg⁻¹,全磷 0.795 g·kg⁻¹,速效磷 56.8 mg·kg⁻¹,全钾 4.46 g·kg⁻¹,速效钾 265.3 mg·kg⁻¹,pH 值为 6.62。

1.2 蔬菜种植模式和规格

2011 年 6 月初种植玉米和第一茬蔬菜青花,在 2011 年 8 月中旬玉米套作第二茬蔬菜西葫芦,作物需要移苗。种植第二茬蔬菜西葫芦时不需要翻耕。种植模式为 1:2 玉米//青花-西葫芦间套作(JZ1),1:3 玉米//青花-西葫芦间套作(JZ2),1:4 玉米//青花-西胡

芦间套作(JZ3),玉米单作(DZ1),青花-西葫芦单作(DZ2)。

单作模式的种植规格(行距×株距)为:玉米单作 80 cm×40 cm,青花单作 80 cm×40 cm。间作模式的种植规格见表 1。

各作物种植均采用育苗移栽+地膜覆盖方式。

1.3 施肥量、田间管理与收获时间

各处理施肥量相同。底肥:有机微肥(氨基酸微量元素肥)100 kg·666.7 m⁻²,磷酸一铵 10 kg·666.7 m⁻²。追肥:3 次均用复合肥,移栽 7 d 后 5 kg·666.7 m⁻²,之后 2 次每隔 20 d 分别追施 10 kg·666.7 m⁻²。

磷酸一铵:氮 10%、磷 50%。尿素:氮 46.4%。复合肥:氮 12%、磷 8%、钾 24%。

翻地时施用基肥,边施边翻将基肥与土壤混合均匀,翻在地下。之后种植玉米或蔬菜幼苗,栽苗后及时浇水定根。追肥采用穴施的方法,施肥后浇水。在持续干旱蔬菜出现轻微缺水现象时,进行人工浇水。选用对口低毒低残留化学农药防治病虫害。

青花于 8 月 6 日收获,西葫芦从 9 月 23 日开始收获至 11 月 18 日结束。

1.4 农田径流采集与测定

试验地采集的水样为自然降雨在小区中产生的地表径流,2011 年 7 月、8 月和 9 月的降雨量分别为 95.6、48.5、28.8 mm。水样的采集密度为每场雨采集一次,以一场雨停后 6 h 内均未降雨为一场雨。2011 年 7 月 11 日、7 月 13 日、7 月 17 日、7 月 22 日、7 月 24 日、8 月 3 日、8 月 12 日和 9 月 16 日试验地降雨,小区产生径流 8 次,7 月总降雨量为 95.6 mm,7 月 11 日、7 月 13 日、7 月 17 日、7 月 22 日、7 月 24 日的降雨量分别为 19.4、8.4、26.8、9.2、5.2 mm,降雨历时不同,分别为 3 h 30 min、4 h、3 h 15 min、1 h 45 min、1 h 30 min 左右。8 月 3 日、8 月 12 日的降雨量分别为 20.2、6.61 mm,降雨历时各 1 h 25 min、2 h 40 min。9 月 16 日的降雨量为 12.3 mm,降雨历时 3 h。7—9 月下雨的次数不只 8 次,只是在试验小区中产生的大的

表 1 玉米/蔬菜间作模式的种植规格
Table 1 Planting specification of intercropping patterns

模式	行数比(玉米:蔬菜)	玉米		蔬菜		
		行距/cm	株距/cm	窄行/cm	宽行/cm	株距/cm
玉米//青花-西葫芦	1:2	150	40	60	100	40
玉米//青花-西葫芦	1:3	220	40	60	100	40
玉米//青花-西葫芦	1:4	280	40	60	100	40

地表径流量总共有8次。根据降雨强度等级(12 h内降雨总量,5.0~14.9 mm为二级中雨,15.0~29.9 mm为三级大雨),集水桶中的水都是中雨及大雨下产生的。

采样时将能装60 L水的集水桶中的水及泥沙搅拌均匀,取中间部分水样,每次采集1 L。采集后立即运往实验室,放冰箱4℃冷藏保存,剩余水体采用1.0 L的量筒测定集水桶中水的体积(V_0),精确至0.1 L,地表径流平均产生量(V)按公式: $V=V_0/3$ 计算,得到不同种植模式地表径流产生量($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)。每个小区都有一个集水池收集地表径流,每种种植模式都有随机分布的3个小区,因为是平行,所以除以3求平均地表径流产生量。

参照国家标准(国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会,2009),TN和TP在2 d内完成测定,其余指标在7 d内完成测定。水体固体悬浮物(SS)采用烘干称重法,水样用0.45 μm 玻璃纤维微孔滤膜过滤(当日过滤)后进行TN、TP和COD测定,TN采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法,TP采用钼锑抗分光光度法,COD采用重铬酸钾法。TN、TP、COD、SS流失量为各物质的浓度乘以地表径流产生量。

1.5 数据统计分析方法

采用Excel 2003处理数据,采用统计软件DPS 6.55, Duncan新复极差法($n=3$)分析不同种植模式间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同比例种植模式下蔬菜农田地表径流产生量

7—9月共产生8次地表径流,以7月17日的第3次产流最大,第2大径流量为8月3日的第6次产流(图1)。强降雨条件下(7月17日和8月3日),1:2、1:3和1:4的地表径流流失量均小于玉米单作、青

花单作。弱降雨条件下,间作的地表径流流失量也小于单作。总体来看:8次地表径流中,7月的地表径流平均产生量以玉米单作种植模式最大,8月和9月以蔬菜单作种植模式地表径流产生量最大。7—9月1:2玉米//蔬菜间套作种植模式地表径流平均产生量最小。玉米单作和蔬菜单作种植模式地表径流的平均产生量分别是68.89、73.78 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。1:2、1:3和1:4玉米间套作蔬菜种植模式地表径流的平均产生量分别是41.06、57.50、52.00 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。与蔬菜单作相比,1:2、1:3和1:4玉米/蔬菜间套作显著减少了地表径流平均产生量,削减量分别为44.35%、22.07%和29.52%,且其中1:2玉米//蔬菜间套作种植模式减少地表径流产生最大。

2.2 不同比例种植模式下蔬菜农田地表径流TN流失量

在8次产生地表径流的降雨中,TN流失量以7月17日的第3次流失量最大,第2大TN流失量为8月3日的第6次产流(图2)。强降雨下,7月17日和8月3日,1:2、1:3和1:4的TN流失量均小于玉米单作、青花单作。弱降雨下,间作的TN流失量小于单作。7月22日的TN流失量大,1:2、1:3和1:4的TN流失量分别为0.04、0.08、0.06 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,均小于玉米单作的0.13 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和青花单作的0.10 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。总体来看:8次产生地表径流的降雨中,玉米单作和青花-西葫芦单作种植模式下地表径流TN平均流失量分别为0.80、0.79 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,1:2、1:3和1:4玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流TN平均流失量分别为0.41、0.55、0.44 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。1:2、1:3和1:4玉米//蔬菜间套作种植模式下地表径流TN平均流失量与玉米单作、青花-西葫芦单作种植模式下地表径流TN平均流失量有显著的差异;1:2与1:3玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流TN平均流失量有显著差异。1:2玉米//蔬菜

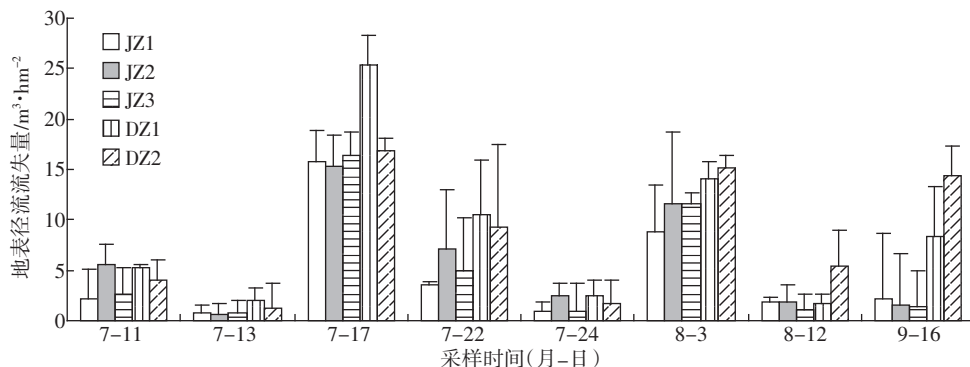
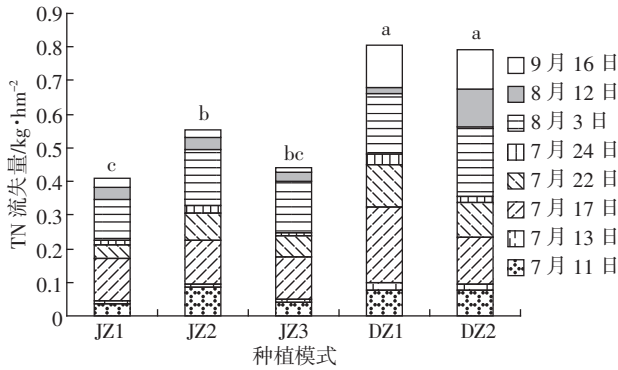


图1 不同比例玉米与蔬菜种植模式农田地表径流产生量

Figure 1 Surface runoff form cultivated land with different ratio of vegetables to maize intercropping system



不同字母表示不同种植模式间差异显著($P<0.05$)。下同
图2 不同比例玉米与蔬菜种植模式农田地表径流 TN 流失量
Figure 2 TN loss form cultivated land with different ratio of vegetables to maize intercropping system

间套作种植模式下地表径流 TN 平均流失量相对于玉米单作和青花-西葫芦单作种植模式下地表径流 TN 平均流失量分别削减了 49%和 48.49%。

2.3 不同比例种植模式下蔬菜农田地表径流 TP 流失量

在 8 次产生地表径流的降雨中,TP 流失量以 7 月 17 日的第 3 次流失量最大,第 2 大流失量为 8 月 3 日的第 6 次产流(图 3)。强降雨下,7 月 17 日和 8 月 3 日,1:2、1:3 和 1:4 的 TP 流失量均小于玉米单作、青花单作。弱降雨下,间作的 TP 流失量小于单作,在弱降雨下,7 月 22 日的 TP 流失量有点大,但间作流失量均小于玉米单作和青花单作。总的来看:8 次产生地表径流的降雨中,玉米单作和青花-西葫芦单作种植模式下地表径流 TP 平均流失量分别为 0.216、0.195 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。1:2、1:3 和 1:4 玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流 TP 平均流失量分别为 0.112、0.136、0.128 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。1:2、1:3 和 1:4 玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流 TP 平均流失量与玉米单作、青花-西葫芦单作种植模式相比地表径流 TP 平均流失量

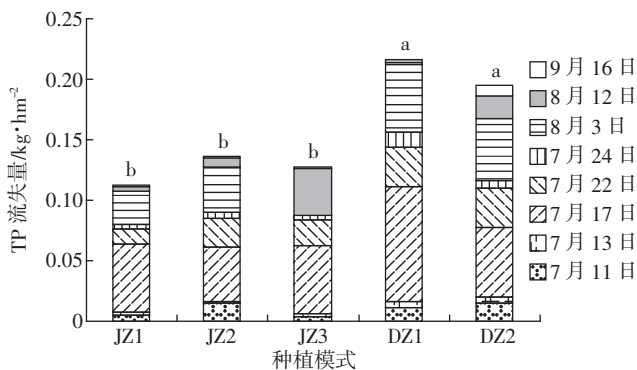


图3 不同比例玉米与蔬菜种植模式农田地表径流 TP 流失量
Figure 3 TP loss form cultivated land with different ratio of vegetables to maize intercropping system

有显著差异。1:2、1:3 和 1:4 玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流 TP 平均流失量相对于玉米单作和青花-西葫芦单作种植模式下地表径流平均 TP 流失量分别削减了 48.12%和 42.38%、37.07%和 30.12%、40.93%和 34.40%。

2.4 不同比例种植模式下蔬菜农田地表径流 COD 流失量

在 8 次产生地表径流的降雨中,COD 流失量以 7 月 17 日的第 3 次流失量最大,第 2 大流失量为 8 月 3 日的第 6 次产流(图 4)。在强降雨下,7 月 17 日,1:2、1:3 和 1:4 的 COD 流失量分别为 0.58、0.53、0.46 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,玉米单作 COD 流失量为 0.58 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,青花单作 COD 流失量为 0.44 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。8 月 3 日,1:2、1:3 和 1:4 的 COD 流失量分别为 0.16、0.28、0.34 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,均小于玉米单作的 0.64 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和青花单作的 1.05 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。弱降雨下,间作的 COD 流失量小于蔬菜单作。总的来看:8 次产生地表径流的降雨中,玉米单作和青花-西葫芦单作种植模式下地表径流 COD 平均流失量分别为 2.10、2.86 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。1:2、1:3 和 1:4 玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流 COD 平均流失量分别为 1.08、1.45、1.20 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。1:2、1:3 和 1:4 玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流 COD 平均流失量与蔬菜单作有显著的差异。1:2 与 1:4 玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流 COD 平均流失量与蔬菜单作有显著差异。1:2 和 1:4 玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流 COD 平均流失量相对于玉米单作和青花-西葫芦单作分别削减了 48.48%、62.13%和 42.62%、57.82%。

2.5 不同比例种植模式下蔬菜农田地表径流 SS 流失量

在 8 次产生地表径流的降雨中,SS 流失量以 7 月 17 日的第 3 次流失量最大,第 2 大流失量为 8 月 3 日的第 6 次产流(图 5)。在强降雨下,7 月 17 日和 8

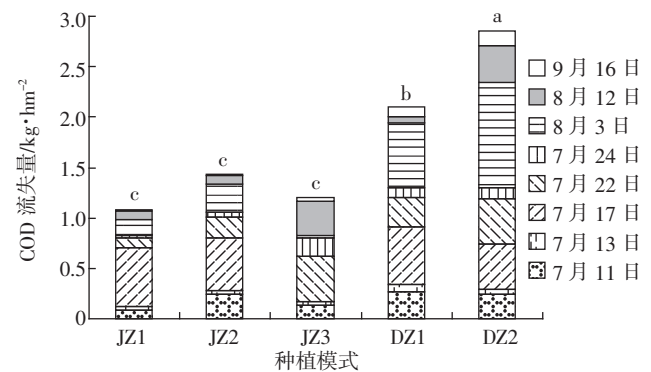


图4 不同比例玉米与蔬菜种植模式农田地表径流 COD 流失量
Figure 4 COD loss form cultivated land with different ratio of vegetables to maize intercropping system

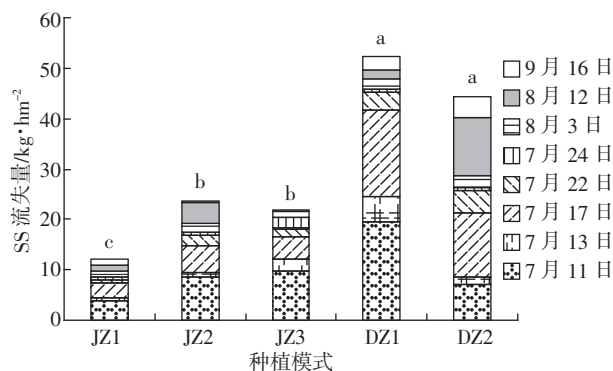


图5 不同比例玉米与蔬菜种植模式农田地表径流SS流失量

Figure 5 SS loss form cultivated land with different ratio of vegetables to maize intercropping system

月3日,1:2、1:3和1:4的SS流失量均小于玉米单作、青花单作SS流失量。弱降雨下,间作的SS流失量小于蔬菜单作。总的来看:8次产生地表径流的降雨中,玉米单作和青花-西葫芦单作种植模式下地表径流SS平均流失量分别为52.23、44.46 kg·hm⁻²。1:2、1:3和1:4玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流SS平均流失量分别为13.06、35.61、24.51 kg·hm⁻²。1:2、1:3和1:4玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流SS平均流失量与玉米单作有显著的差异,1:2玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流SS平均流失量与玉米单作、青花-西葫芦单作有显著差异。1:2玉米/蔬菜间套作种植模式下地表径流SS平均流失量相对于玉米单作和青花-西葫芦单作分别削减了76.95%和72.92%。

3 讨论

3.1 农田地表径流污染流失

农田N、P等污染物的流失主要受降雨形成地表径流所驱动,农田地表径流污染大量流失通常发生在强降雨条件下^[11-12]。

本试验验证了农田地表径流污染的流失主要集中在2次较大的地表产流过程中,占蔬菜单作流失量的20.13%~36.42%,占玉米单作流失量的22.31%~24.76%。因此,在强降雨条件下做好防护工作,减少强降雨对地表的扰动,削减强降雨农田地表径流污染流失,可能是有效削减农业面源污染的关键。

本试验的产流最大出现在7月17日的第三次降雨,第二大产流出现在8月3日的第六次降雨。在相同降雨强度下,不同配比的蔬菜与玉米种植模式TN、TP、COD、SS流失量存在一定的规律:间作<单作。弱降雨下,间作的TN、TP流失量<单作。7月22日试验

地的降雨量为9.2 mm,降雨强度不大,处于弱降雨下TN、TP流失量大。相对于降雨强度相差不大的几次雨,流失量大,主要是在这一天试验地施肥的原因,说明施肥时间对氮磷的流失有影响。COD流失量在7月17日强降雨下,与蔬菜单作相比差距不大,而在产生第二大流失量的8月3日,间作的COD流失量<单作。该时间段处于青花收获期,有很多蔬菜叶片,并在田间分解。弱降雨下,间作的COD流失量<蔬菜单作。在强降雨下,间作的SS流失量<单作。SS往往在降雨期的初期流失量很大,后期变小。初期玉米长得很小,雨水对地面的冲击大,玉米根系对土壤固结能力弱,进入集水池泥沙多。不同时间阶段,玉米的株高、冠幅都在增大,雨水直接冲击小区地面的冲力减小。SS与降雨强度的变化呈现一定规律。

可见,雨强、径流量、植被覆盖、施肥等因素都影响着农田地表径流污染物的流失。

3.2 不同比例的蔬菜与玉米间套作种植模式对农田地表径流的影响

3.2.1 作物截留径流污染物的影响因素

作物种植模式对农田水土流失和地表径流污染流失有显著的影响,合理的种植模式能有效减少农田地表径流产生和地表径流污染的流失,主要表现在降雨截留与径流延滞作用,提高养分利用率与土层固结作用等方面^[13-15]。在降雨强度大的情况下,植被覆盖度低的种植模式,由于农田地表土壤得不到有效保护,土壤侵蚀严重,地表径流量和泥沙迁移的养分流失量明显增加^[16]。

本试验青花和西葫芦植株矮秆的蔬菜与玉米搭配种植,青花和西葫芦对地表的覆盖度较大,对截断地表径流效果明显,该结果与傅志兴^[9]的研究结果一致。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。

3.2.2 套作模式对农田地表径流污染负荷的影响

作物截留地表径流与作物的覆盖度有关。该试验地种植的是玉米、青花和西葫芦,高秆与矮秆搭配,青花和西葫芦对地表的覆盖度较大。在8次收集到地表径流的降雨过程中,不同处理的覆盖度呈现一定的动态规律:在玉米生长初期,玉米单作的覆盖度最低,不同比例植被覆盖率1:2>1:3>1:4蔬菜与玉米间套作种植模式。在强降雨条件下地表径流大量产生,但玉米

与蔬菜间作模式保证了在蔬菜收获后仍有玉米地上部分覆盖地表,起到遮挡降雨,避免或削弱雨滴对地面的溅击,减少径流的作用^[7]。这与上面在降雨强度大的情况下,植被覆盖度低的种植模式,由于农田地表土壤得不到有效保护,土壤侵蚀严重,地表径流量与流失量明显一致。但间作在地表径流污染负荷的削减上强于蔬菜单作,可能是两作物间的相互作用,提高养分利用率与土层固结作用。

不同比例套作模式对农田地表径流污染负荷的影响与降雨过程中作物的冠层截留有关。2011年7月到9月,作物的株高、冠幅存在一定规律:先增大,然后趋于稳定,青花株高在53~61 cm之间,冠幅在71~109 cm之间。玉米生长发育中期株高在105~140 cm之间,冠幅在62~114 cm之间,生长发育后期,刚降雨时株高在195~250 cm之间,冠幅在80~112 cm之间。不同比例青花的株高与单作相比差异性不大,冠幅呈现一定的规律:间作>单作,1:2>1:4>1:3>单作青花。

小区中,雨水经植株冠层再分配后,形成四部分水量:冠层上部水量、茎秆下流量、棵间水量、冠层截留量^[6]。不同比例的蔬菜与玉米搭配,降雨过程中,雨水经过高秆作物的叶片到达低秆作物的雨滴不同。玉米冠层截留对水量进行再分配,在7月11日至8月6日青花的生长期间,当冠层上部水量在5.0~54.4 mm时,单作青花的冠层截留量与冠层上部水量呈极显著相关关系($r=0.918, n=8, P<0.01$),也与地表径流量呈显著相关关系($r=0.806, n=8, P<0.05$)。而间作青花的冠层截留量与冠层上部水量呈极显著相关关系($r=0.892, n=8, P<0.01$),冠层截留量与地表径流量呈显著相关关系($r=0.730, n=8, P<0.05$)。随着青花的生长,叶面积指数和冠幅均在增大,其冠层截留能力也在增强,冠层截留能力总体上表现为间作的青花强于单作的青花,不同比例1:2>1:4>1:3玉米//青花-西葫芦间套作种植模式。

当冠层上部水量在26.5~32.4 mm时,单作玉米的叶面积指数小于间作玉米的叶面积指数,其单作能截留的冠层雨量为2.62~2.94 mm,小于间作能截留的冠层雨量为2.79~3.05 mm,间作玉米截留的冠层雨量是单作玉米的1.04~1.06倍。雨水截留能力1:2>1:3>1:4玉米//青花-西葫芦间套作种植模式。可见,不同比例的种植模式的地表径流量差异性与作物的冠层结构有很大的关系。玉米与蔬菜相互作用,对雨水的截留能力不同,产生的地表径流量不同。

不同比例的搭配,作物株高,冠幅不同,小区的覆盖程度不同,致使对雨水的截留能力不同,总的相互作用为间作种植模式在对农业面源污染负荷的削减的效果上要比蔬菜单作效果好。

4 结论

2011年7月、8月和9月,1:2、1:3和1:4玉米//青花-西葫芦间套作种植模式的地表径流量分别为41.06、57.50、52.00 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, 1:2玉米//青花-西葫芦间套作TN、TP、COD和SS流失量分别为0.41、0.112、1.08、13.06 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 1:3玉米//青花-西葫芦间套作TN、TP、COD和SS流失量分别为0.55、0.136、1.45、35.61 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 1:4玉米//青花-西葫芦间套作TN、TP、COD和SS流失量分别为0.44、0.128、1.20、24.51 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,均低于蔬菜单作模式。

3个比例,1:2玉米//青花-西葫芦间套作种植模式削减农田地表径流和径流污染的效果最好,与蔬菜单作相比,1:2玉米//青花-西葫芦间套作能削减44.35%的地表径流量、48.46%的TN、42.38%的TP、62.13%的COD、72.92%的SS。

参考文献:

- [1] 王建兵,程磊. 农业面源污染现状分析[J]. 江西农业大学学报(社会科学版), 2008, 7(3): 35-39.
WANG Jian-bing, CHENG Lei. Analysis of current situation of agricultural non-point source pollution[J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University (Social Science)*, 2008, 7(3): 35-39.
- [2] 李昆,刘化吉,王玲,等. 农业面源污染的成因和对策[J]. 资源与环境科学, 2011, 22(11): 17-19.
LI Kun, LIU Hua-ji, WANG Ling, et al. The cause of formation and countermeasure of agricultural non-point source pollution[J]. *Resources and Environmental Science*, 2011, 22(11): 17-19.
- [3] Sarkar M, Raghav M. Studies on growth and flowering characteristics of capsicum in maize based intercropping system[J]. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 1(3): 271-272.
- [4] Seran T H, Brintha I. Review on maize based intercropping[J]. *Journal of Agronomy*, 2010, 9(3): 135-145.
- [5] Singh N, Rai B, Kumar R. Yield and economics as influenced by winter maize (*Zea mays* L.) based intercropping system in eastern Uttar Pradesh [J]. *Environment and Ecology*, 2009, 27(3): 1113-1115.
- [6] 程智慧,张昱,徐强. 玉米/蒜苗套作优势的生态学分析[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4405-4413.
CHENG Zhi-hui, ZHANG Yu, XU Qiang. Ecological analysis of the advantages of a maize/garlic-sprouts intercropping system[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4405-4413.
- [7] 徐强,程智慧,孟焕文,等. 玉米-线辣椒套作系统中土壤养分与根际土壤微生物、酶活性的关系[J]. 应用生态学报, 2007, 37(8):

- 1247-1256.
- XU Qiang, CHENG Zhi-hui, MENG Huan-wen, et al. Relationships between soil nutrients and rhizospheric soil microbial communities and enzyme activities in a maize-capsicum intercropping system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 37(8):1247-1256.
- [8] 王晓丽, 李 隆, 江荣凤, 等. 玉米/空心菜间作降低土壤及蔬菜中硝酸盐含量的研究[J]. *环境科学学报*, 2003, 23(4):463-467.
- WANG Xiao-li, LI Long, JIANG Rong-feng, et al. Effects of maize/swamp cabbage intercropping on reduction of the nitrate content in soil profile and vegetables[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, 23(4):463-467.
- [9] 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):1269-1274.
- 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):1269-1274.
- [10] 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]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(4):847-855.
- [11] Franklin D, Truman C, Potter T, et al. Nitrogen and phosphorus runoff losses from variable and constant intensity rainfall simulations on Loamy Sand under conventional and strip tillage systems[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2007, 36(3):846-854.
- [12] 张瑞国, 王克勤, 陈奇伯, 等. 昆明市水源区不同利用类型坡地径流氮和磷的输出特征[J]. *环境科学研究*, 2009, 22(5):607-610.
- ZHANG Rui-guo, WANG Ke-qin, CHEN Qi-bo, et al. Nitrogen and phosphorus loss characteristics in runoff from slopes with different land uses in Songhua dam reservoir of Kunming[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, 22(5):607-610.
- [13] Ali I, Khan F, Bhatti A. Soil and nutrient losses by water erosion under mono-cropping and legume inter-cropping on sloping land[J]. *Pakistan Journal of Agricultural Research(Pakistan)*, 2007, 20(3/4):161-166.
- [14] Bravo-Espinosa M, Mendoza M, Medina-Orozco L, et al. Runoff, soil loss, and nutrient depletion under traditional and alternative cropping systems in the Transmexican Volcanic Belt, Central Mexico[J]. *Land Degradation and Development*, 2009, 20(6):640-653.
- [15] 杨红薇, 张建强, 唐家良, 等. 紫色土坡地不同种植模式下水土和养分流失动态特征[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(3):615-619.
- YANG Hong-wei, ZHANG Jian-qiang, TANG Jia-liang, et al. Soil, water and nutrient loss under different cropping systems in purple-soil slope-lands[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(3):615-619.
- [16] 郝芝建, 范兴科, 冯 浩, 等. 玉米冠层对喷灌水量的再分配 [J]. *农业工程科学*, 2008, 65(3):615-619.
- HAO Zhi-jian, FAN Xing-ke, FENG Hao, et al. Experimental research on distribution of sprinkler irrigation water by corn canopy[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 65(3):615-619.
- [17] 刘玉民, 龙 伟, 刘亚敏, 等. 不同种植模式下紫色土养分流失影响因素研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(5):83-86.
- LIU Yu-ming, LONG Wei, LIU Ya-min, et al. Study on influencing factors of nutrient loss under different land use patterns in purple soils [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(5):83-86.