

# 绿肥阻控贵州山区坡耕地水土流失的应用

朱青<sup>1,2</sup>, 崔宏浩<sup>1,2</sup>, 张钦<sup>1,2</sup>, 林海波<sup>1,4</sup>, 陈正刚<sup>1,2</sup>, 曹卫东<sup>3</sup>

(1. 贵州省土壤肥料研究所, 贵阳 550006; 2. 贵州省农业资源与环境研究所, 贵阳 550006;

3. 中国农业科学院 农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 4. 贵州大学 农学院, 贵阳 550025)

**摘要:**通过田间试验,研究绿肥阻控坡地水土流失,对土壤覆盖度、土壤侵蚀量、土壤水分及作物产量的影响,探索利用绿肥阻控坡地水土流失规律及技术。结果表明:种植和翻压绿肥能减少地表径流和土壤侵蚀量,提高旱坡地覆盖度,与对照组相比,苕子—玉米+菜豆模式在雨季减少地表径流 62.6%,减少土壤侵蚀量 78.4%,提高旱坡地覆盖度 52.1%~66.7%。与对照相比,苕子—玉米处理玉米籽粒增产 35.3%,秸秆增产 34.1%,苕子—玉米+菜豆处理玉米籽粒增产 25.8%,玉米秸秆增产 39.7%,同时收获菜豆 814.5 kg/hm<sup>2</sup>,菜豆秆 1 006.5 kg/hm<sup>2</sup>。种植和翻压绿肥能够在雨量充沛时,减少水土流失,增强土壤的蓄水能力,雨量较少时能促进土壤提供作物水分,最终使得作物增产。

**关键词:**坡耕地; 土壤侵蚀量; 绿肥; 覆盖度; 土壤水分

中图分类号: S142; S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0101-05

## The Application of Green Manure Controlling Soil Erosion of Slope Farmland in Guizhou Mountain Area

ZHU Qing<sup>1,2</sup>, CUI Honghao<sup>1,2</sup>, ZHANG Qin<sup>1,2</sup>, LIN Haibo<sup>1,4</sup>, CHEN Zhenggang<sup>1,2</sup>, CAO Weidong<sup>3</sup>

(1. Guizhou Institute of Soil and Fertilizer, Guiyang, Guizhou 550006, China; 2. Guizhou

Institute of Agricultural Resources and Environment Science, Guiyang, Guizhou 550006, China;

3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences,

Beijing 100081, China; 4. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

**Abstract:** Using the field plot test, we had investigated the soil erosion on sloping lands in which the green manure was grown, observed the impact on soil coverage, soil moisture, soil water content and the crop yield. We hope to seek for the rule to control the soil erosion with green manure. The results showed that planting and incorporation of green manure could reduce the overland runoff and the amount of soil erosion and improve the dry slope land coverage. Compared with control, common vetch-corn and bean was the best planting pattern, which could reduce the surface runoff by 62.60% and the soil erosion by 78.4%, improve the dry slope land coverage by 52.08%~66.67%. Compared with control, the vetch-corn pattern could improve the corn grain by 35.25% and straw yield by 34.08%. Meanwhile, the common vetch-corn and bean pattern could improve the corn by 25.8% and straw yield by 39.7%. In addition, the bean and straw were 814.5 kg/hm<sup>2</sup> and 1 006.5 kg/hm<sup>2</sup>, respectively. In conclusion, planting and incorporation of green manure can reduce the soil erosion and increase soil water storage ability when it is abundant in rainfall. On the contrary, it could increase the yield, and enhance the soil to supply more water when there is less rainfall.

**Keywords:** slope farmland; amount of soil erosion; green manure; coverage; soil moisture

贵州省土地面积 17.6 万 km<sup>2</sup>, 山地和丘陵占全省土地面积的 97%<sup>[1]</sup>, 平均海拔 1 100 m, 地形复杂, 是全国唯一没有平原支撑的省份<sup>[2]</sup>。全省有耕地 4 770 413 hm<sup>2</sup>, 占全省土地面积的 27.1%, 其中水田 1 377 808

hm<sup>2</sup>, 旱耕地 3 392 605 hm<sup>2</sup>。由于喀斯特(Karst)地貌的特殊性, 决定了贵州有较大面积的坡耕地, 且主要集中在 6°~25°, 这个坡度的耕地占全省耕地总面积的 61%, ≥15°的坡耕地占耕地总面积的 50.5%<sup>[2]</sup>。坡耕

收稿日期: 2015-01-22

修回日期: 2015-05-06

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(201103005); 贵州省国际科技合作计划(黔科合外 G 字[2010]7035 号); 贵州省创新能力建设项目(黔科合院所创能[2011]4002 号); 贵州省科技厅《贵州省农业资源高效利用技术创新平台建设》(黔科条中补地[2012]4003 号); 农业部《贵州省耕地保育与农业环境实验站》(黔科平台[2013]4002 号)

第一作者: 朱青(1962—), 女, 贵州贵阳人, 博士, 研究员, 主要从事自然燃资源及环境生态研究。E-mail: zhuqing\_gy@tom.com

通信作者: 陈正刚(1967—), 男, 贵州石阡人, 本科, 研究员, 主要从事自然资源与环境生态研究工作。E-mail: gzczhg@126.com

地作为贵州耕地资源的重要组成部分,农耕坡地已经成为水土流失的主要来源<sup>[2-3]</sup>。水土流失还会造成坡耕地严重的养分流失<sup>[4]</sup>,使耕地质量下降、生态环境恶化,最终制约农业生产、限制经济增长,对贵州实现可持续发展带来难度。

贵州地处西南地区,碳酸盐类岩石分布面积大、范围广,是我国水土流失最严重的地区之一,季节性干旱问题突出<sup>[5]</sup>,其雨季主要集中在5—9月份<sup>[6]</sup>。防止水土流失,提升土壤肥力,提高土壤蓄水量,成了坡耕地治理的关键所在。而怎么能省时省力且高效的达到预期目的,成了我们课题的研究方向。因此,在雨季采取合理的水土保持措施,对于减少坡耕地水土流失会有显著的成效<sup>[7-11]</sup>。结合以往的研究成果,如尹迪信等<sup>[12]</sup>研究发现植物篱(绿篱)逐步梯化技术能使土壤侵蚀由传统的年均 43.2 t/hm<sup>2</sup> 迅速下降到 4 t/hm<sup>2</sup>,并增加年均水分保蓄量 360 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,使作物产量逐年增加;林超文等<sup>[13]</sup>研究表明植物篱对坡耕地篱前提升肥力,篱后降低肥力,坡耕地施肥时可以适当减少 P 的施用量,增加有机物和 K 的施用量;绿肥作为一种重要的有机肥,对生

态效应、土壤理化性质、土壤生物等方面都产生了一定的作用<sup>[14-17]</sup>。光叶紫花苕子作为豆科绿肥,是一种优质的有机肥,抗寒性强于紫云英、箭筈,在长江中下游地区苕子幼苗的越冬率很高。试验设计了苕子—玉米和苕子—玉米+菜豆模式与冬闲—玉米进行对照,来研究坡耕地水土流失情况及土壤蓄水能力。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试玉米品种为农大 108,供试肥料为尿素(N 46%)、过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、氯化钾(K 60%),绿肥为光叶紫花苕子和矮生菜豆(夏季)。

### 1.2 试验区概况

试验于 2010 年 9 月至 2011 年 12 月在贵州山区罗甸的坡耕地上进行,试验区地处 106°46'E, 25°26'N,海拔 630 m 左右,坡向朝南,坡度 21°,气候属亚热带季风湿润半湿润气候。供试土壤黄红壤,土壤质地为粉砂质黏土。根据贵州省土壤养分含量分级参考指标,供试土壤全钾含量丰富,而有效钾含量较低(表 1)。

表 1 试验区耕层土壤理化性质

层次	深度/ cm	质地	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	缓效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	CEC/ (cmol·kg <sup>-1</sup> )	盐基饱 和度/%	pH
A	0—20	粉砂质黏土	1.03	47.00	0.25	0.67	22.19	51.0	207.67	16.51	10.65	28.67	4.7

### 1.3 试验设计

试验设 3 个处理,无重复。各小区投影面积 21 m×5 m=105 m<sup>2</sup>,径流场内坡度统一为 21°。四周用水泥板隔开,底部下端设置集流槽和集流池。观测区安装有自记雨量计、自动气象观测仪。处理分别为:冬闲—玉米(CK);苕子—玉米(T<sub>1</sub>);苕子—玉米+夏季绿肥(T<sub>2</sub>)。

1.3.1 田间试验作物种植 供试玉米品种为农大 108 月,4 月直播,9 月收获,采用宽窄行种植,宽行 1.00 m,窄行 0.50 m,株距 0.25 m,单株种植。绿肥为光叶紫花苕子于 9 月直播,在玉米的宽行间种植 2 行,采用条播,用种量 30 kg/hm<sup>2</sup>,行距 0.5 m。夏季绿肥为矮生菜豆,与玉米同时播种,在玉米的行间种植 2 行,株行距 0.25 m×0.5 m,单株种植,8 月收获。各处理玉米和绿肥均采用横坡种植。

1.3.2 田间试验施肥量 玉米施肥量:尿素 587 (N270.0) kg/hm<sup>2</sup>,过磷酸钙 656 (P45.9) kg/hm<sup>2</sup>,氯化钾 175 (K87.2) kg/hm<sup>2</sup>;磷、钾肥作基肥,氮肥作追肥分两次施入。苕子—玉米和苕子—玉米+菜豆处理,施入光叶紫花苕子鲜重 15 000 kg/hm<sup>2</sup>,于 4 月翻压苕子作玉米的肥料,翻压 15 d 后种植玉米。光叶紫花苕子和矮生菜豆不施肥。

### 1.4 样品采集和数据测定

泥砂样品在每次土壤侵蚀发生时采集,同时测定泥砂量,计算雨季泥砂总量。径流样品在每次径流发生时采集,同时测定径流量,计算雨季径流总量。用图斑法测定地表覆盖度。

土样采集:于开展试验前,每区按照 S 形随机取 0—20 cm 耕作层作为混合土样,风干、研磨过 0.25 mm 筛和 2 mm 筛,用于土壤养分含量的测定。用差重法测定 0—10,10—20,20—30 cm 土壤水分。

土样测定:包括土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、pH 值等。有机质含量测定采用重铬酸钾—外加热法;碱解氮含量采用碱解扩散法;速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提比色法;速效钾含量采用 CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 浸提火焰光度法;pH 采用水土比 1:2.5 的电位法。

玉米产量:玉米成熟后对各小区进行单打单收,分区考种计产。

## 2 结果与分析

### 2.1 旱坡地地表径流量

试验区雨季降雨量为 844 mm,分布不均匀,以 6—7 月降雨量较多,占雨季降雨量的 86.1%。地表

径流量与降雨量成正相关关系,在6—7月产生的地表径流最多,占雨季地表径流的93.4%~94.3%。

坡地地表径流与种植模式有关, $T_1$ 、 $T_2$ 较CK减少地表径流, $T_1$ 在5—9月较CK减少地表径流31.6%, $T_2$ 在5—9月较CK减少地表径流62.6%(表2)。

表2 雨季各月降雨量及早坡地地表径流量

月份	CK / ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	$T_1$ / ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	$T_2$ / ( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	降雨 量/mm
5	9.3	7.1	4.4	50
6	179.4	117.1	69.4	344
7	171.4	119.6	61.1	383
8	6.1	4.7	2.5	42
9	5.8	5.8	1.8	25
合计	372	254.3	139.2	844
6—7月占雨季/%	94.3	93.4	93.75	86.1

通过试验表明,早坡地地表径流与降雨量呈正相关关系,同时在5—8月,随着降雨量的增加,地表径流占降雨量的百分比也会增加。9月份玉米(菜豆)成熟,作物茎叶开始变黄枯萎,作物根系固力作用减弱,虽然降雨量较小,但是坡地的保水能力减弱,阻控地表径流的效果降低,导致9月份地表径流量相对较大,当地地表径流占降雨量的百分比出现大于5月、8月的效果(表3)。

表3 雨季各月地表径流量占降雨量的百分比

月份	CK 占降 雨量/%	$T_1$ 占降 雨量/%	$T_2$ 占降 雨量/%	降雨 量/mm
5	1.9	1.4	0.9	50
6	5.2	3.4	2.0	344
7	4.5	3.1	1.6	383
8	1.5	1.1	0.6	42
9	2.3	2.3	0.7	25
合计	4.4	3.0	1.6	844

## 2.2 早坡地土壤侵蚀量

土壤侵蚀量与降雨量成正相关关系,在6—7月产生的土壤侵蚀量最多,占雨季土壤侵蚀量的89.8%~96.2%。

早坡地土壤侵蚀量与种植模式有关, $T_2$ 、 $T_1$ 比CK土壤侵蚀量小, $T_1$ 在5—9月较CK减少土壤侵蚀量62.4%, $T_2$ 在5—9月较CK减少土壤侵蚀量78.4%。试验说明,利用早坡地耕作的同时,种植和翻压绿肥可明显减少土壤侵蚀量62.4%~78.4%, $T_1$ 和 $T_2$ 模式都是阻控贵州山区坡耕地水土流失的有效技术(表4)。

## 2.3 早坡地覆盖度

绿肥作为一种重要的有机肥料,其在减少化肥用量、提高作物产量、培肥土壤地力等方面起到了积极

的作用。

表4 雨季各月降雨量及早坡地土壤侵蚀量

月份	CK / ( $t \cdot hm^{-2}$ )	$T_1$ / ( $t \cdot hm^{-2}$ )	$T_2$ / ( $t \cdot hm^{-2}$ )	降雨 量/mm
5	0.19	0.04	0.01	50
6	4.34	1.26	0.45	344
7	7.17	2.78	1.93	383
8	0.15	0.28	0.10	42
9	0.12	0.14	0.10	25
合计	11.97	4.50	2.59	844
6—7月占雨季/%	96.2	89.8	91.9	86.1

种植并翻压绿肥增加了土壤养分,促进了玉米生长,使坡地覆盖度增加,由表可知, $T_2$ 覆盖度最大。在雨季 $T_1$ 较CK覆盖度提高18.8%~37.0%; $T_2$ 较CK覆盖度提高52.1%~66.7%。CK在5—7月覆盖度有所增加,7—9月覆盖度变化不明显, $T_1$ 和 $T_2$ 地表覆盖度都有先增后减的趋势,这与作物生理周期有关,7月,8月份作物生长旺盛使地表覆盖度达到最大值,9月份作物成熟,茎叶开始干枯,坡地覆盖度减小。由表可知,早坡地地表覆盖度,不仅与作物的种植模式有关,还受作物生长周期的影响(表5)。

表5 雨季各处理早坡地覆盖度及应用绿肥覆盖度的增加率

月份	CK 覆 盖度/%	$T_1$ 覆 盖度/%	$T_1$ 增 加率/%	$T_2$ 覆 盖度/%	$T_2$ 增 加率/%
5	27	37	37.0	45	66.7
6	38	46	21.1	58	52.6
7	46	60	30.4	72	56.5
8	47	59	25.5	78	66.0
9	48	57	18.8	73	52.1

## 2.4 早坡地土壤水分

经过直线相关性分析,可知降雨量与 $T_2$ 处理坡地0—10 cm和20—30 cm土壤水分呈显著正相关( $r=0.918^*$ , $p=0.028$ ;  $r=0.909^*$ , $p=0.032$ );降雨量与 $T_1$ 处理10—20 cm土壤水分呈显著正相关( $r=0.938^*$ , $p=0.019$ )。5—7月份, $T_2$ 处理0—30 cm土层土壤水分最大,其次是 $T_1$ 处理,CK处理最小。因为5—7月份降雨量大,更容易产生地表径流。 $T_2$ 处理的地表覆盖度相对较大,作物的根系也就较多,减小地表径流,减弱土壤侵蚀量,使土壤持水力增强,相对另外两个处理土壤水分有所增加。 $T_1$ 处理经过绿肥的种植翻压,相对CK土壤肥沃,土质疏松,提高土壤持水力,且有利于玉米的生长,增加地表覆盖度,土壤水分相对冬闲—玉米处理较多。7—9月份各土层土壤水分出现了不同的变化,这主要是由降雨量、地表覆盖度、作物需要等因素影响的结果。

2.4.1 坡地0—10 cm土壤水分 在5—8月份 $T_2$

处理旱坡地 0—10 cm 土壤水分明显高于另外两个处理,同时 6—9 月份  $T_2$  和  $T_1$  处理,0—10 cm 土壤水分都处于减小的趋势,而 CK 处理,土壤水分处于先增后减的趋势,除了降雨量、地表覆盖度的因素,还受作物生理周期的影响,这期间  $T_2$  和  $T_1$  处理作物生长旺盛,需水量较多,降雨不足的情况下,作物要吸收土壤中的水分以补充自己的生长需要,最终在 8—9 月份三个处理 0—10 cm 土壤水分基本相同(图 1)。

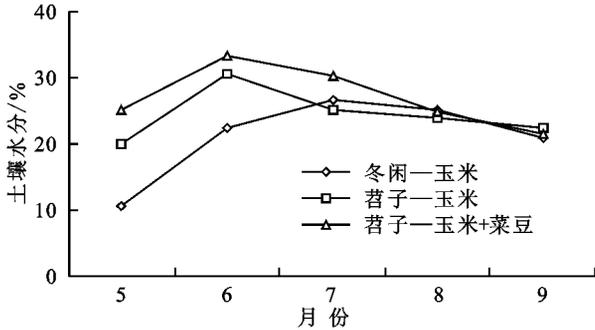


图 1 雨季坡地 0—10 cm 土壤水分

2.4.2 坡地 10—20 cm 土壤水分 在 8—9 月份,  $T_2$  处理 10—20 cm 土壤水分最少,其次是  $T_1$ , CK 土壤水分最多。因为在 8—9 月份降雨量较少,当降雨量不足时,作物生长会从土壤中吸收水分,导致 8—9 月份  $T_2$  处理土壤水分最少,在菜豆收获以后  $T_2$  处理 20—30 cm 土壤水分有回升趋势;  $T_1$  处理中玉米长势相对 CK 旺盛,虽然玉米为须根系,但是 10—20 cm 的土壤水分,依然能够利用,故而降雨较少的月份,玉米在生理需要及蒸腾作用下,吸收 10—20 cm 土壤水分,就形成了  $T_1$  处理 10—20 cm 土壤水分低于 CK 的效果(图 2)。

2.4.3 坡地 20—30 cm 土壤水分 在 8—9 月份  $T_2$  处理 20—30 cm 土壤水分最低,因为菜豆是直根系作物,其生长发育能够利用坡地 20—30 cm 的土壤水分,8—9 月份降雨较少,菜豆生长需较多水分,故而  $T_2$  处理 20—30 cm 土壤水分最少,且在 8 月份菜豆收获以后 20—30 cm 土壤水分有回升的趋势;8—9 月份  $T_1$  处

理 20—30 cm 土壤水分相对 CK 较多,是因为  $T_1$  处理土壤持水力较大,且玉米为须根系作物,其生长过程中所需水分主要来自于 0—20 cm 土壤层,因此  $T_1$  处理 20—30 cm 土壤水分相对 CK 较多(图 3)。

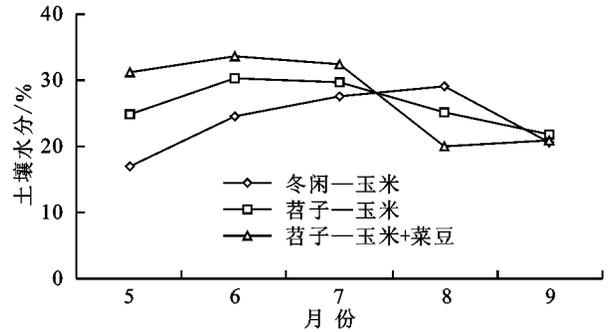


图 2 雨季坡地 10—20 cm 土壤水分

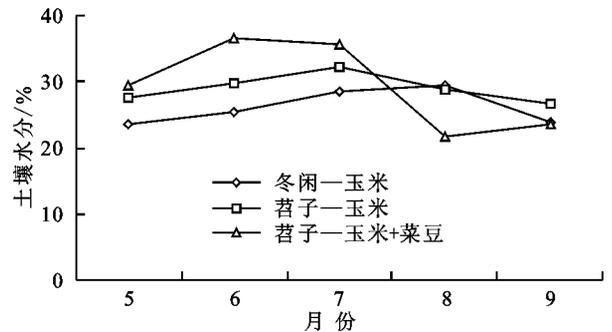


图 3 雨季坡地 20—30 cm 土壤水分

## 2.5 作物产量

种植和翻压绿肥都能提高玉米产量。与 CK 相比,  $T_1$  处理提高玉米籽粒 35.25%, 提高玉米秸秆 34.1%;  $T_2$  处理提高玉米籽粒 25.8%, 提高玉米秸秆 39.7%, 另外收获菜豆 814.5 kg/hm<sup>2</sup>, 菜豆秆 1 006.5 kg/hm<sup>2</sup>。  $T_2$  处理, 玉米籽粒产量低于  $T_1$  处理, 玉米秸秆产量高于  $T_1$  处理, 因为菜豆的种植会与玉米产生竞争作用, 使得玉米成熟所需的部分养分吸收受限, 同时菜豆作为豆科植物, 其根具有固氮作用, 为土壤提供了丰富的 N 源, 促进玉米秸秆生长(表 6)。

表 6 绿肥对作物产量的影响

处理	玉米籽粒/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	增产 率/%	玉米秸秆/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	增产 率/%	菜豆/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	菜豆秆/(kg · hm <sup>-2</sup> )
CK	3454.5	0.0	3047.5	0.0	—	—
$T_1$	4672.3	35.3	4086.2	34.1	—	—
$T_2$	4345.5	25.8	4258.3	39.7	814.5	1006.5

## 3 结论

### 3.1 绿肥能阻控坡地水土流失并提高土壤蓄水力

由于绿肥的种植,能够增加土壤有机质含量,为土壤提供适宜微生物生长的多种营养物质<sup>[17]</sup>,增加土壤 C 库<sup>[18]</sup>,影响土壤 N、P、K 等营养物质含量<sup>[19-20]</sup>,降低

土壤容重<sup>[15]</sup>,有利于土壤向健康良性方向发展,最终有利于作物的生长发育,提高作物产量。同时,由试验可知,种植和翻压绿肥能够减小地表径流量,减弱土壤侵蚀力,提高坡地覆盖度,防止坡地水土流失。

种植和翻压绿肥能够提高土壤有机质含量<sup>[15]</sup>,增加土壤孔隙度,提高其蓄水能力<sup>[14]</sup>,同时种植绿肥

能够增加土壤中的根系,使得根系固土作用增强,降低土壤侵蚀,保持土壤肥力<sup>[7]</sup>。连年翻压绿肥能够降低土壤紧实度,并增强土壤团聚体结构的稳定性<sup>[16]</sup>。在贵州雨季坡地试验中,种植和翻压绿肥能够提高土壤水分,这与前人研究得到的种植和翻压绿肥能够增加土壤孔隙度,提高土壤持水力,增强土壤团聚体稳定性等作用密不可分,进一步说明种植和翻压绿肥具有提高土壤蓄水力的作用。

### 3.2 种植和翻压绿肥提高玉米产量

种植绿肥能提高土壤肥力,促进作物生长发育,增加作物产量。其中苕子—玉米处理,玉米籽粒产量最高,比冬闲—玉米处理增产 35.3%,玉米秸秆增产 34.1%;苕子—玉米+菜豆处理,玉米籽粒增产 25.8%,玉米秸秆增产 39.7%,同时收获 814.5 kg/hm<sup>2</sup> 的菜豆和 1 006.5 kg/hm<sup>2</sup> 的菜豆秸秆。菜豆与玉米产生竞争作用,菜豆的生长会吸收玉米成熟所需要的营养物质,导致玉米籽粒部分营养供应不足,因此套种菜豆以后,玉米籽粒减产;同时菜豆作为豆科植物,能够固定空气中的 N 素,为玉米提供 N 源,能促进秸秆生长,提高玉米秸秆产量。

在实际生产中,种植和翻压绿肥有助于提高旱坡地土壤有机质,提升土壤肥力,不仅提高坡地玉米产量,同时还能够减少地表径流,防止土壤侵蚀,增加土壤持水力,为坡地的可持续高效利用提供保障。

#### 参考文献:

[1] 朱青,王兆骞,尹迪信. 贵州坡耕地水土保持措施效益研究[J]. 自然资源学报,2008,23(2):219-229.

[2] 林昌虎,谢德蕴,涂成龙. 贵州山区坡耕地综合利用与政治[J]. 水土保持研究,2004,11(3):211-213.

[3] 张旭贤,朱安国. 贵州喀斯特山区土壤侵蚀与防治[J]. 水土保持研究,1999,6(2):109-113.

[4] 唐志坚,贺海雄. 贵州旱坡耕地水土流失状况和主要整治技术及效益评价[J]. 贵州农业科学,2004,32(3):34-37.

[5] 李渝,蒋天明,王静. 贵州喀斯特山区季节性干旱特征及对策:以桐梓县为例[J]. 贵州农业科学,2009,37(5):43-46.

[6] 戴海伦,苑爽,张科利,等. 贵州省降雨侵蚀力时空变化

特征研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):37-41.

[7] 朱青,陈正刚,李剑,等. 贵州坡耕地三种种植模式的水土保持效果对比研究[J]. 水土保持研究,2012,19(4):21-25.

[8] 陈正刚,李剑,朱青,等. 贵州山区坡耕地钾素输入与输出研究[J]. 水土保持学报,2009,23(4):20-23.

[9] 彭绍云,顾祝军,修平. 南方红壤试验小区乔灌木多年水土保持效应比较[J]. 水土保持研究,2013,20(1):25-29.

[10] 字淑慧,吴伯志,段青松,等. 非洲狗尾草防治坡耕地水土流失效应的研究[J]. 水土保持研究,2006,13(5):183-185.

[11] 田小松,陈龙,周瑞荣,等. 喀斯特地区不同茎形态植物的水土保持和养分截留效果研究[J]. 水土保持研究,2014,21(4):64-68.

[12] 尹迪信,唐华彬,朱青,等. 植物篱逐步梯化技术试验研究[J]. 水土保持学报,2001,15(2):84-87.

[13] 林超文,涂士华,黄晶晶,等. 植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响[J]. 生态学报,2007,27(6):2191-2198.

[14] 李宏图,罗建新,彭德元,等. 绿肥翻压还土的生态效应及其对土壤主要物理性状的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(5):172-175.

[15] 王健波,张斐斐,周婧,等. 绿肥与施氮量对土壤理化性质的影响[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2012,30(1):83-88.

[16] 倡国涵,赵书军,王瑞,等. 连年翻压绿肥对植烟土壤物理及生物性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(4):905-912.

[17] 刘国顺,李正,敬海霞,等. 连年翻压绿肥对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1472-1478.

[18] 兰延,黄国勤,杨滨娟,等. 稻田绿肥轮作提高土壤养分增加有机碳库[J]. 农业工程学报,2014,30(13):146-152.

[19] 王飞,林诚,李清华,等. 翻压紫云英绿肥下氮钾肥运筹方式对单季稻生长的影响[J]. 福建农业学报,2012,27(7):764-767.

[20] 王飞,林诚,林新坚,等. 连续翻压紫云英对福建单季稻产量与化肥氮素吸收、分配及残留的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(4):896-904.