

贵州坡耕地三种种植模式的水土保持效果对比研究

朱青¹, 陈正刚¹, 李剑¹, 熊燕华²

(1. 贵州省土壤肥料研究所, 贵阳 550006; 2. 贵阳市第七中学, 贵阳 550001)

摘要:通过研究紫花苜蓿—玉米间作、作物分带轮作和玉米单作 3 种植模式下地表覆盖度和表层土壤含水量月变化, 年均土壤和养分流失量以及产量等, 比较不同模式的水土保持效果。结果表明: 紫花苜蓿—玉米间作与分带轮作模式可保持坡耕地全年覆盖, 并在整个雨季保持较高的覆盖度。紫花苜蓿根系发达, 增加了 0—20 cm 耕层土壤中的根量, 增强了土壤的渗透能力, 保护了生物多样性, 可减少地表径流 39.3%, 减少土壤侵蚀 59.3%; 分带轮作可减少地表径流 10.4%, 减少土壤侵蚀 21.3%; 两种模式都提高了雨季前和雨季耕层土壤中的水分, 减少了水土流失引起的有机质流失 29.9%~52.4%, 全 N 流失 26.7%~54.9%, 全钾流失 27.3%~70.9%, 缓效钾流失 21.4%~58.9%, 提高玉米产量 33.0%~35.9%; 紫花苜蓿—玉米间作还可收获紫花苜蓿干草 13 664 kg/hm², 复合产量是农民习惯的 4.1 倍; 分带轮作可收获大豆、红薯、油菜等, 复合产量为 12 492 kg/hm², 是农民习惯的 2.7 倍。

关键词:坡耕地; 紫花苜蓿—玉米间作; 水土保持

中图分类号: S157.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)04-0021-05

Comparative Study on Soil and Water Conservation Effect of the Three Cropping Patterns on Slope Land in Guizhou Province

ZHU Qing¹, CHEN Zheng-gang¹, LI Jian¹, XIONG Yan-hua²

(1. Soil and Fertilizer Institute of Guizhou Province,

Guiyang 550006, China; 2. No. 7 Middle School of Guiyang, Guiyang 550001, China)

Abstract: Surface cover degree, monthly variation of topsoil water content, loss of soil and nutrient in alfalfa-corn intercropping, strip rotation cropping and corn monoculture were studied. Then soil and water conservation effect of these planting modes were compared. Results showed that surface cover degree was high during all the rainy season in both alfalfa—corn intercropping and strip rotation cropping mode, with slope field covered by vegetation all the year round. Roots of alfalfa grew well, which not only improved the root biomass in 0—20 cm layer, enhanced the capacity of soil infiltration, protected biodiversity, but also reduced 39.3% and 59.3% of surface runoff and soil erosion, respectively. Strip rotation cropping could also reduce 10.4% and 21.3% of surface runoff and soil erosion. Both alfalfa—corn intercropping and strip rotation cropping increased soil moisture in rainy season and before rainy season, while reduced loss of organic matter (caused by soil erosion) by 29.9%~52.4%, 26.7%~54.9% for total N, 27.3%~70.9% for total K, 21.4%~58.9% for slow available K, increased corn production by 33.0%~35.9%. Moreover, The yield was 12 492 kg/hm² in strip rotation cropping which was 2.7 times higher than conventional mode. The yield was 13 664 kg/hm² in alfalfa—corn intercropping, which was 4.1 times higher than conventional mode.

Key words: slope field; alfalfa—corn intercropping; soil and water conservation

贵州是我国西南的一个多山省份,也是全国喀斯特的土地上,山地和丘陵占了 97%,山间平地仅占 3%,特分布最为广泛的地区之一。在全省 17.6 万 km² 是全国唯一没有平原支撑的省份。山高坡陡,土层浅

收稿日期: 2011-11-21

修回日期: 2012-02-10

资助项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目“绿肥作物生产与利用技术集成研究及示范”(200803029, 201103005);“冷浸田治理技术研究与示范”(201003059);加拿大国际植物营养研究所科研项目“贵州旱坡地农业持续发展的养分管理研究”(BFDP, Guizhou, 200501);“贵州省农业资源与环境工程技术研究中心建设”(黔科合农 G 字[2009]4001 号)

作者简介:朱青(1962—),女,贵州贵阳人,研究员,博士,主要从事环境生态研究工作。E-mail: zhuqing_gy@tom.com

通信作者:陈正刚(1967—),男(土家族),贵州石阡人,副研究员,主要从事土壤肥料与环境生态研究工作。E-mail: gzczhg@126.com

薄,降雨集中,加上长期人为活动的不利影响,导致水土流失十分严重,全省水土流失面积占总面积的 41.6%^[1]。贵州现有耕地 4 770 413 hm²,占土地总面积的 27.08%,其中水田 1 377 808 hm²,旱耕地 3 392 605 hm²,且坡耕地主要集中在坡度 6°~25°的地区,属于典型的山区农业^[2]。传统耕作方式不仅导致了严重的水土流失,还造成坡耕地养分流失^[3]严重。近年来,坡耕地不同模式的水土保持效果已有大量研究,如袁东海等^[4]研究表明,水平草带能减少径流量 32.33%,减少泥沙流失量 45.88%。李新平等^[5]研究与大豆单作相比,黄花菜和百喜草植物篱笆分别减少了径流量 4.67%、侵蚀量了 37.82%。尹迪信等^[6]研究发现植物篱(绿篱)逐步梯化技术有显著的水土保持效果,能使土壤侵蚀由传统的年均 43.2 t/hm² 迅速下降到 4 t/hm²,能增加年均水分保蓄量 360 m³/hm²,使作物产量逐年增加。紫花苜蓿为多年生宿根性豆科草本植物^[7],紫花苜蓿的利用,前人已作了一些研究。刘忠宽等^[8]以玉米和紫花苜蓿间作系统为研究对象,研究了不同间作模式和不同减氮水平下的光照强度、透光率、土壤养分含量、玉米产量、苜蓿产量和单位面积纯收益变化规律。李文娆等^[9]研究了紫花苜蓿和高粱种子的萌发能力的变化及对萌发环境的最低水分需求,并进行种间差异比较。邹亚丽等^[10]开展了温度和湿度对紫花苜蓿土壤氮矿化的影响研究。李源等^[11]研究了紫花苜蓿的耐盐性。储纪芳等^[12]进行了紫花苜蓿改良盐渍沙土试验研究。紫花苜蓿根瘤的年固氮量可达 217 kg/hm²,作为绿肥植物栽培,在农业上是一种行之有效的增产措施^[13]。玉米与豆类作物间作,其株型、叶型、需光特性不同,增加复合群体总密度,从而增加了截光量和侧面受光,减少漏光和反射,改善群体内部和下部的受光状况,提高了光能利用率^[14]。间作条件下不同作物根系分布密度和入土深度不同,增加了作物根系吸收土壤水分的面积,有利于充分利用不同层次中各种形式的土壤水分。玉米和大豆间作,作物层次增加,叶面积加大,增加了地面覆盖度,可保护土壤结构,减少地表径流,提高水分渗透率,增加了水分的有效性^[15]。以前的研究主要集中在增产、改土等方面。紫花苜蓿与玉米间作、分带轮作在贵州喀斯特类型区的水土保持效果研究较少,因此在贵州省的坡耕地上开展本项研究具有重要的实践意义。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2005—2007 年在贵州山区罗甸的坡耕地

上进行,该试验区海拔为 630 m,坡度为 11.3°~24.3°,属亚热带季风湿润半湿润气候。年平均温度 19℃,年日照时数 1 507.4 h,年降水量 1 200 mm,全年无霜期长达 340 d。雨季从每年的 4 月起至 9 月止。试验区 90%以上的耕地为旱坡地,主要种植玉米、大豆和红薯,粗放型种植。

供试土壤为第四纪红色黏土发育的红壤和粉沙页岩发育的黄红壤,土壤质地为壤质黏土。土壤理化性状为 pH 为 4.7,有机质 16.51 g/kg,全 N、P、K 分别为 1.03、0.25、22.19 g/kg,碱解 N、速效 P、K 分别为 47.00、0.67、51.00 mg/kg,缓效钾为 207.67 mg/kg,CEC 为 10.65 cmol/kg,盐基饱和度 28.67%。根据贵州省土壤养分含量分级参考指标^[5],供试土壤全钾含量丰富,而有效钾含量较低。

田间试验设在按国家水利部水土保持试验规范要求建立的径流小区观测点,坡向朝南,小区投影面积 21 m×5 m,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。3 个处理分别为:紫花苜蓿—玉米间作(紫花苜蓿—玉米等距离相间横坡条带种植,坡度为 21°);分带轮作(玉米—大豆—红薯—油菜横坡分带轮作,坡度为 21°);农民习惯种植玉米(传统顺坡种植,坡度为 21°)。

田间试验施肥量:圈肥 18 000(N90.0, P19.6, K89.6) kg/hm²,尿素 587(N270.0) kg/hm²,过磷酸钙 656(P45.9) kg/hm²,氯化钾 175(K87.2) kg/hm²。磷、钾和圈肥作基肥,氮肥追肥。

田间试验作物:玉米(农大 108),4 月直播,9 月收获,株行距除农民习惯种植处理为 0.5 m×0.75 m 双株种植外,其他处理均为 0.25 m×0.5 m 单株种植。紫花苜蓿(维多利亚)为多年生植物,于 2005 年 3 月直播,间种在玉米的行间,用种量 11.3 kg/hm²,行距 0.5 m,每年 2—5 月收割 2 次。大豆(黔豆 1 号)、油菜(黔油 10 号)、红薯(本地)以行距 0.25 m×0.5 m 进行单株种植。分带轮作 2 行玉米间作 2 行大豆,玉米收获后种植油菜,次年油菜收获后种植大豆,大豆收获后种植红薯,次年种植玉米。大豆 4 月直播,7 月收获;油菜 11 月直播,次年 4 月收获;红薯 7 月移栽,10 月收获。

1.2 样品采集和数据测定

泥沙样品在每次发生土壤侵蚀时采集,同时测定泥沙量,计算雨季泥沙总量。径流样品在每次发生径流时采集,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,用 TST—55 型土壤渗透仪测定坡地水分渗透率。植株样测定全量 N、P、K 和

C,全氮用开氏定氮法测定,全磷用 NaOH 熔融钼锑抗比色法测定,全钾用 NaOH 熔融火焰光度法测定。

1.3 田间测定项目与方法

土壤侵蚀量:每次发生土壤流失时测定泥沙量,取泥沙样烘干(105℃,24 h)、称重,计算单位面积土壤流失量和年土壤侵蚀量;地表径流量:每次径流发生时测定径流量,取 500 ml 量筒实测径流样,计算单位径流量与土壤流失量,并计算年地表径流量;降雨量:用 ST 型自记虹吸式雨量计,在每次降雨发生时测定降雨量,并计算年降雨量;土壤水分:2003—2006 年,每月 15 号,在小区中部 0—10,10—20,20—30,30—40 cm 4 个土层上取土样烘干(105℃,24 h)测定土壤水分;地面覆盖度:2005 年 1 月至 2006 年 12 月每月 15 号,在每个小区中部,用投影法测定地表覆盖度;根系含量:2006 年 3 月 15 日,在各小区的中部,在 0—20,20—40,40 cm 以下的土层,取 10 kg 土,分离出植物根系,烘干(80℃,24 h),求出单位重量土壤中的根系含量;土壤水分渗透率:2006 年 9 月 15 日,作物收获后,在各小区的中部用双渗透环法测定;生种类数:2006 年 4 月 15 日调查各小区物种种类及数量;作物产量:作物成熟期实收小区产量,称鲜重,取样并烘干称重,测定含水量,计算单位面积产量。

1.4 数据处理

所有数据采用 Excel 2003 录入和计算,根系含量、土壤水分渗透率、生物种类数为 1 a 数据,地面覆盖度为 2 a 平均值,其它为 3 a 平均值。

2 结果与分析

2.1 不同模式对地表覆盖度的影响

紫花苜蓿—玉米、分带轮作种植模式从单一作物增加到 2~4 种作物,同时增加的作物如紫花苜蓿、大豆,可促进玉米的生长,有效增加地表覆盖度。农民习惯种植模式一年中冬闲(5 个月)时完全裸露,在 4—5 月开始进入雨季时覆盖度也较低,在 5—9 月维持一个较高水平,9—10 月份覆盖度大幅度下降,直到地表完全裸露。紫花苜蓿—玉米、分带轮作种植模式一年都有覆盖,在 4—9 月雨季保持了较高的覆盖度,特别是紫花苜蓿—玉米模式在雨季到来之前的 3 月开始,直到整个雨季结束都保持了较高的覆盖度(图 1)。

2.2 不同模式对土壤中植物根系量的影响

紫花苜蓿—玉米、分带轮作种植模式增加了土壤中根系数量,特别是增加了 0—20 cm(耕层)土壤的根系量(表 1)。紫花苜蓿根系发达,主要集中在 0—

20 cm 土层,根系量达 9.0 g/cm³,是农民习惯根系量的 7.5 倍,是分带轮作根系量的 1.8 倍。在 20—40 cm 土层和 40 cm 以下根系增加较少。

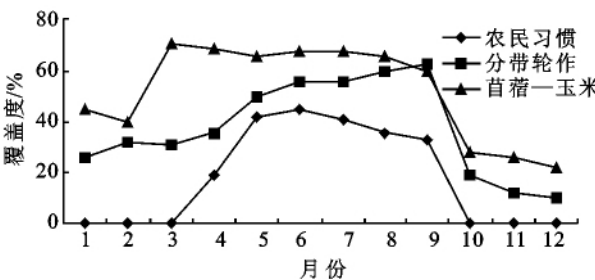


图 1 不同模式对地表覆盖度的影响

表 1 不同模式对土壤中植物根系量的影响 g/cm³

处理	0—20 cm	20—40 cm	40 cm 以下
紫花苜蓿—玉米	9.0	0.6	0.4
分带轮作	5.0	0.8	0.2
农民习惯	1.2	0.6	0.2

2.3 不同模式对坡耕地水分渗透率的影响

紫花苜蓿—玉米、分带轮作种植模式由于间作了紫花苜蓿、大豆等作物,增强了土壤渗透的能力。在 30 min 内,紫花苜蓿—玉米坡地水分渗透率较农民习惯增加 54.2%,在 60 min 以内,坡地水分渗透率较农民习惯增加 35.4%。而分带轮作由于耕作活动较多,土壤较为疏松,坡地水分渗透率更大,在 30,60 min 分别比农民习惯增加 148.0%,76.8%(表 2)。

表 2 不同模式对坡地水分渗透率的影响

处理	30 min		60 min	
	渗透率/ (cm ³ ·min ⁻¹)	与对照 /%	渗透率/ (cm ³ ·min ⁻¹)	与对照 /%
紫花苜蓿—玉米	34.8	54.2	22.2	35.4
分带轮作	55.8	148.0	29.0	76.8
农民习惯	22.5	—	16.4	—

2.4 不同模式对坡耕地生物多样性的影响

紫花苜蓿—玉米的生物种类有玉米、酸浆菜、紫苜蓿、蒿菜、菊苣、清明菜 6 种,这主要是由于紫花苜蓿是多年生植物,种植紫花苜蓿的地块没有翻耕,有利于酸浆菜、蒿菜、菊苣、清明菜等的生长。而农民习惯和分带轮作由于翻耕而不利于其它作物的生长,生物种类只有 2~3 种。紫花苜蓿—玉米有利于生物多样性保护,从而有利于坡地水土保持(表 3)。

表 3 不同模式对坡地生物多样性的影响

处理	植物种类	生物种类数
紫花苜蓿—玉米	玉米、酸浆菜、苜蓿、蒿菜、菊苣、清明菜	6
分带轮作	黄豆、野菊、玉米	3
农民习惯	野菊、玉米	2

2.5 不同模式对坡耕地土壤水分的影响

在 0—10 cm 土层,紫花苜蓿—玉米间作模式下 2—5 月土壤水分明显高于农民习惯种植方式,到 5 月达到峰值,然后逐步下降。分带轮作模式下 1—2 月和农民习惯土壤水分差别不大,3 月以后上升较快,明显高于农民习惯,到 5 月达到峰值,而农民习惯在 4 月份以后土壤水分才开始上升,6—7 月达到峰值。7 月以后,3 种模式土壤水分开始下降,到 9 月以后维持在一个水平上(图 2)。

在 10—20 cm 土层,紫花苜蓿—玉米间作下土壤水分从 2 月开始上升,到 5 月达到峰值,5—7 月维持

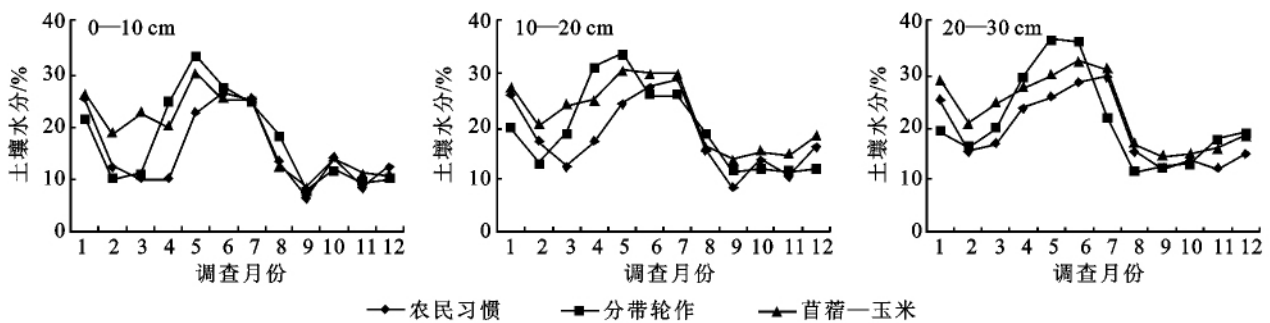


图 2 不同模式对 0—30 cm 土层土壤水分的影响

2.6 不同模式对坡耕地水土流失的影响

降水是引起坡地水土流失的直接原因。2005—2007 年年均降水量达 901 mm,主要集中在 5—8 月,降水量达 779 mm,占全年降水量的 86.5%。全年降水过程高峰出现在 6 月,降水量达 363.85 mm,占全年降水量的 40.4%。坡地不同种植模式的水土流失程度不同(表 4)。农民传统耕作方式的水土流失量很大,3 a 平均土壤侵蚀量达到 26.3 t/hm²,年平均地表径流达到 2 659.7 t/hm²,侵蚀强度达到全国水蚀强度分级标准的Ⅲ级,即中度侵蚀。紫花苜蓿—玉米、分带轮作较农民习惯减少地表径流 10.4%~39.3%,减少土壤侵蚀 21.3%~59.3%。玉米间作紫花苜蓿较分带轮作减少地表径流 32.2%,减少土壤侵蚀 48.3%;较农民习惯减少地表径流 39.3%,减少土壤侵蚀 59.3%。可见,玉米间作紫花苜蓿是一种较好的水土保持措施。

表 4 不同模式对水土流失的影响

处理	年均地表径流/(t·hm ⁻²)	与对照/%	年均土壤侵蚀/(t·hm ⁻²)	与对照/%
紫花苜蓿—玉米	1614.8	-39.3	10.7	-59.3
分带轮作	2382.7	-10.4	20.7	-21.3
农民习惯(对照)	2659.7	—	26.3	—

注:数据为 3 a 平均值,下表同。

2.7 不同模式对坡耕地养分流失的影响

通过对径流水样和土壤侵蚀泥沙的分析,结合地

在较高水平,7 月份以后逐步下降。分带轮作下土壤水分从 2 月开始上升,到 5 月达到峰值,然后开始下降,到 9 月以后维持在较低水平。可见,紫花苜蓿—玉米模式可明显提高 1—7 月 10—20 cm 土层土壤水分。

在 20—30 cm 土层,紫花苜蓿—玉米间作下土壤水分从 2 月开始上升,6—7 月达到峰值,然后逐步下降。分带轮作土壤水分 2 月开始上升,5—6 月达到峰值,然后开始下降。到 9 月以后 3 种模式的土壤含水量维持在较低水平。可见,紫花苜蓿明显提高了 1—7 月的 20—30 cm 土层的土壤水分。

表径流和土壤侵蚀,计算全年各处理下水土流失引起的养分流失量。

结果表明,紫花苜蓿—玉米和分带轮作全年较农民习惯减少有机质流失 29.9%~52.4%,减少全 N 流失 26.7%~54.9%,减少全钾流失 27.3%~70.9%,减少缓效钾流失 21.4%~58.9%,紫花苜蓿—玉米较农民习惯减少速效钾流失 47.7%(表 5)。

表 5 不同模式对坡耕地养分流失的影响

项目	农民习惯/ (kg·hm ⁻²)	分带轮作		紫花苜蓿—玉米	
		流失量/ (kg·hm ⁻²)	较农民习惯/%	流失量/ (kg·hm ⁻²)	较农民习惯/%
有机质	579.3	406.2	-29.9	275.7	-52.4
全 N	37.5	27.5	-26.7	16.9	-54.9
全 P	9.5	14.2	+49.5	4.9	-48.4
全 K	647.9	471.0	-27.3	188.6	-70.9
速效 K	13.2	14.7	+11.4	6.9	-47.7
缓效 K	5.6	4.4	-21.4	2.3	-58.9

2.8 不同模式下的作物产量

玉米间作紫花苜蓿和其它作物可增加玉米产量 33.0%~35.9%,增加玉米秸秆量 12.9%~30.0%,同时紫花苜蓿—玉米模式可收获紫花苜蓿干草 13 664 kg/hm²,复合产量达 19 405 kg/hm²,是农民习惯的 4.1 倍;分带轮作可收获大豆、红薯、油菜等,复合产量为 12 492 kg/hm²,是农民习惯的 2.7 倍(表 6)。

表6 不同模式下的作物产量 kg/hm²

收获物	农民习惯	分带轮作	紫花苜蓿—玉米
玉米籽粒	2142	2911	2850
玉米秸秆	2561	3328	2891
大豆	—	279	—
红薯藤	—	2957	—
红薯	—	1427	—
油菜	—	1592	—
紫花苜蓿	—	—	13664
复合产量	4703	12492	19405

3 结论

(1) 在间作系统中,豆科/禾本科作物间作是传统农业中应用最为成功的一个组合^[13,16-17]。本试验利用紫花苜蓿强大的根系,探索玉米间作紫花苜蓿的水土保持效果,结果表明:玉米间作紫花苜蓿可保持坡耕地全年覆盖,在整个雨季保持较高的覆盖度,与农民习惯比较,可增加0—20 cm(耕层)土壤的根系量,增强了土壤的渗透能力。提高了0—30 cm土层土壤水分含量,并可增加生物多样性。可减少地表径流39.3%,减少土壤侵蚀59.3%。减少有机质流失52.4%,减少全N流失54.9%,减少全钾流失70.9%,减少缓效钾流失58.9%。玉米间作紫花苜蓿可增加玉米产量33.0%~35.9%,可收获紫花苜蓿干草13 664 kg/hm²,复合产量达19 405 kg/hm²,是农民习惯的4.1倍。在贵州山区,推广玉米间作紫花苜蓿模式是保障粮食安全和发

展养殖业的重要措施,建议扩大推广面积。

(2) 旱地分带轮作是贵州耕作制度的重要改革,推广以旱地分带轮作为核心的综合配套技术,有利于缓解茬口矛盾。提高复种指数,提高旱地的增产潜力,是旱地农业可持续发展的重要途径。本试验探索旱地分带轮作的水土保持效果,结果表明:分带轮作也可保持坡地全年覆盖,在整个雨季保持较高的覆盖度,有较好的保水、保土和保肥效果,增产增收效果比较明显。由于分带轮作每年翻耕量大,劳力投入较大,不利于生物多样性的保护。

(3) 农民传统耕作方式的水土流失量很大,3 a平均土壤侵蚀量达到26.3 t/hm²,年平均地表径流达到2 659.7 t/hm²,侵蚀强度达到全国水蚀强度分级标准的Ⅲ级,即中度侵蚀。这种模式显然不适合贵州坡地的可持续利用。

(4) 在贵州坡耕地上,玉米是主要粮食作物和饲料作物,推广玉米间作紫花苜蓿和分带轮作模式是保障

粮食安全和发

参考文献:

- [1] 黎平. 贵州水土保持生态建设回顾与发展对策[J]. 水土保持研究, 2002, 9(4): 1-3.
- [2] Adisak S, Zhu Q, Chen Y B, et al. Development of sustainable agriculture on sloping lands in China[C]// Document of Soil Conservation Conference. Bangkok: DLD Press, 2002: 168-176.
- [3] 杨艳生, 史德明, 吕喜玺. 长江三峡库区土壤退化的研究[J]. 水土保持学报, 1991, 5(3): 53-62.
- [4] 袁东海, 王兆骞, 陈欣, 等. 不同农作措施红壤坡耕地水土流失特征的研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 67-69.
- [5] 李新平, 王兆骞, 陈欣, 等. 红壤坡耕地人工模拟降雨条件下植物篱笆水土保持效应及机理研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 69-40.
- [6] 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.
- [7] 王文卿. 紫花苜蓿[J]. 中国水土保持, 1994, 5(5): 26-27.
- [8] 刘忠宽, 曹卫东, 秦文利, 等. 玉米—紫花苜蓿间作模式与效应研究[J]. 草业学报, 2009, 18(6): 158-163.
- [9] 李文晓, 张岁岐, 山仑. 水分胁迫下紫花苜蓿和高粱种子萌发特性及幼苗耐旱性[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3066-3073.
- [10] 邹亚丽, 韩方虎, 耿丽英. 温度和湿度对紫花苜蓿土壤氮矿化的影响[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 101-107.
- [11] 李源, 刘贵波, 高洪文. 紫花苜蓿种质耐盐性综合评价及盐胁迫下的生理反应[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 78-76.
- [12] 储纪芳. 紫花苜蓿改良盐渍沙土试验研究[J]. 上海农业科技, 2010(4): 23-24.
- [13] 陈玉香, 川道玮, 张玉芬. 玉米、苜蓿间作的产量及光合作用[J]. 草地学报, 2004, 12(2): 107-112.
- [14] 张建华, 马义勇, 王振南, 等. 间作系统中玉米光合作用指标改善的研究[J]. 玉米科学, 2006, 14(4): 104-106.
- [15] 郭汀, 郭新宇, 郭程瑾, 等. 密度不同株型玉米群体结构的调控效应[J]. 华北农学报, 2008, 23(1): 149-153.
- [16] Myers R J K. Nitrogen management of upland crops: from cereals to food legumes to sugarcane[M]// Wilson. Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems [M]. Wallingford: CAB International, 1988.
- [17] Ogindo H O, Walker S. Comparison of measured changes in seasonal soil water content by rainfed maize-bean intercrop and component cropping systems in a semi arid region of southern Africa[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005, 30(11/16): 799-808.