

坡耕地粮草间作的培肥保土效果及生态环境经济效益

汪立刚, 梁永超

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 本文概述了我国的坡耕地资源及其利用现状, 总结了坡耕地粮草间作的培肥和水土保持的效果与机制, 阐述了粮草间作对水土资源保护的重要意义。粮草间作作为农业结构调整提供契机, 为畜牧业发展提供优质蛋白饲料, 可获得良好的经济与社会效益。

关键词: 粮草间作, 坡耕地, 培肥保土, 效益

中图分类号: S19 文献标识码: A

Soil Fertility Improvement, Soil and Water Conservation, and Eco-environmental and Economic Benefit as Affected by Crop/Forage Intercropping in Sloping Arable Lands

Wang Ligang, Liang Yongchao

(Key Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization, Ministry of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: This paper reviewed sloping land resources and use pattern in China, and the effects of crop/forage intercropping on soil fertility improvement, and soil and water conservation in sloping arable soils as well. Crop/forage intercropping has an important implication for agricultural structure adjustment and stockbreeding development. It can be concluded that crop/forage intercropping had potentials to gain great economic and social benefit.

Keywords: sloping arable lands, crop/forage intercropping, fertility improvement, economic effect

1 中国的坡耕地资源及利用

坡地资源是重要的土地资源, 开发利用坡地资源是人类极为重要的物资来源。中国坡耕地约有 4000 万 hm^2 , 25° 以上的坡耕地就达 610 万 hm^2 。坡耕地不仅是构成中国农业土地资源的主要部分, 而且由于水土流失十分严重, 坡耕地也是环境稳定的重要影响因素, 是大量江河泥沙的主要来源。据水利部资料, 目前全国水土流失面积 367 万 km^2 , 占国土面积的 38.2%, 其中坡耕地占很大比例^[1-3]。

人类在坡面上进行的一切生产、生活活动, 直接或间接地都将影响着坡面形态和坡面过程。人类不科学的生产方式, 导致对坡地资源的严重破坏, 造成了严重的环境后果。大量的试验研究结果表明, 通过采取生物措施和工程措施能有效地防治坡地资源退化, 改善水

肥状况, 取得较高的生态效益和经济效益。坡地资源利用的防治传统上为工程措施, 在国内许多地方得到推广。修建梯田最为典型, 在中国南方山区, 梯田已成为发展水稻等优质农作物的“当家田”。胡建民等^[4]的研究结果认为坡耕地改梯田后蓄水保土效益显著提高, 且梯壁植草能大大提高梯田的蓄水保土效益, 适宜在南方红壤坡地广泛推广。吴发启等^[5]认为在黄土残塬沟壑区, 梯田具有比较明显的蓄水、保水作用。生物措施方面最为典型的首推坡地农林牧复合系统。目前, 国内研究与推广的主要类型有等高植物篱—农作系统、地埂植物篱—农作系统等。等高植物篱最早起源于 20 世纪 50 年代美国的等高草篱^[6](Contour grass hedgerow), 之后也在热带、亚热带、温带和半干旱地区得以示范和推广。等高固氮植物篱本身具有固氮功能, 具有比较好的

基金项目: 国家科技支撑计划 (2006BAD05B05)。

第一作者简介: 汪立刚, 男, 1969 年出生, 博士, 副研究员, 硕士研究生导师, 主要从事土壤、植物营养、土壤残留有机污染物研究。通信地址: 100081 北京市海淀区中关村南大街 12 号中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, Email: lgwang0827@yahoo.com.cn。

通讯作者: 梁永超, Email: yliang@caas.ac.cn

收稿日期: 2008-07-08, 修回日期: 2008-09-23。

改善土壤 N 元素效果。

尹迪信等^[7]认为植物篱技术为山区坡耕地治理提供了一种新的措施,在贵州采用农民“参与式”决策的方法,提高了植物篱技术试点和推广的成功率。蔡强国等^[8]的试验研究表明:植物篱具有显著的减水、减沙效果,并可通过拦沙和截茬还田两种途径提高土壤养分;植物篱还具有较高的经济效益,是一种行之有效的复合农林业技术措施。

然而,中国坡地资源的地域差异大,不同的自然环境背景和农牧业生产方式,坡地资源利用生态环境问题及其防治措施也各不相同。如何根据各地的差异及其生态环境问题,选择恰当的防治措施,这方面的研究工作还相对薄弱,远跟不上生产实践的需要。

传统的坡改梯技术由于投资大、费工、费时、易塌方等不足,应用上有很多局限。为此,探索简单易行,且具有良好生态、经济和社会效应的坡地水土保持措施显得尤为迫切和重要。农林复合系统对于山区坡度较大的坡地较为适合,对于坡度较小的从事农牧业生产的农区,坡耕地收益相对较低。国内外研究表明,在坡耕地上等高种植草带,实行粮草间作,不仅可以获得相当的粮食产量,同时,豆科牧草可以固结土壤、增加土层厚度和提高土壤肥力,收获的牧草通过养殖业显著增加经济效益^[9-13]。

2 粮草间作对坡耕地培肥的效果

豆科牧草根系强大,代谢快,能固氮;根茬残留量高且 C/N 比低,易于分解,因而具有良好的生物改土功能,用豆科牧草与粮食作物间作,每年可使占土地面积约 1/3 的耕层土壤得到改善,这对调节土壤肥力,增加作物产量具有很好的作用。以种植苜蓿为例,苜蓿为深根系植物,播种当年主根长 126cm,根颈粗 1.09cm,4~5 年生苜蓿,根长可达 5m 以上,可穿透犁底层,增加耕层深度。播种当年鲜根重量达 8800kg/hm²,以后逐年依次为 22340,22360,32000,37000 和 48000kg/hm²。5 年生苜蓿地,耕层土壤干根重量达 10500kg/hm²,相当于 120t 农家肥的有机质含量。因此,苜蓿对加深耕层、改善土壤理化性状、增加田间持水量和防早有显著作用。苜蓿地下根茎粗壮,具有可以固定空气中游离氮的根瘤菌,固氮能力较强,3~5 年生的苜蓿,可固氮 150~200kg/hm²,相当于 330~440kg 尿素的含氮量;也可以将土壤深层中磷酸盐类物质和钾盐分解,使磷、钾等营养要素富集到土壤耕作层,从而大大提高土壤肥力和加速土壤有机质的积累过程。苜蓿后茬种植粮食或经济作物,同等条件下,可增产 30%左右,低产田可增产一倍以上^[14]。苜蓿的这些生态功能,

是大田作物所不具备的,这对改良土壤、培肥地力和农业的可持续发展,具有十分重要的作用。

迟凤琴等在松嫩平原西部的中低产耕地土壤上,实行通过麦肥混种、翻压绿肥、夏播大豆和第三年种植玉米,三年粮肥轮作试验结束后,耕层土壤有机质和各种养分含量均有提高,pH 降低,蔗糖转化酶的增加说明土壤生物活性增强。胡敏酸/富里酸(HA/FA)比值提高,标志着土壤腐殖质品质得到改善和更新,这些都表征了粮肥轮作后起到了培肥改土,提高土壤基础肥力的明显作用^[15,16]。宿庆瑞(1998)在黑龙江中低产黑土区进行了为期三年的玉米、草木樨间种轮作试验,玉米单种为对照,结果表明,粮草间作区较对照区土壤有机质含量平均提高 61.5%,速效氮、磷、钾及田间持水量均有显著增加,容重降低^[17]。小麦单作和小麦-白三叶草间作土壤中蚯蚓的数量为分别 572 和 280 条/m²,相应的蚯蚓生物量分别为 92 和 203g/m²。这主要是因为间作系统中有机质输入的数量、质量和持久性有益于蚯蚓的全年生长。蚯蚓在土壤中活动,可以使土壤疏松,蚯蚓的排出物可以增加土壤肥力^[18-19]。龙健等研究表明,贵州喀斯特石漠化地区,种植牧草的土壤有机质、全氮、全磷和阳离子交换量比农地高得多^[20]。宁德富等在云南宣威的农用坡耕地上种草,3 年后土壤速效氮、速效钾,碱解氮和全氮、磷、钾分别增加 4.01%,4.91%,5.85%,5.76%,5.87%,0.92%^[21]。李毓堂的研究表明,种植苜蓿后,在土壤根系干物质中含氮 2%,含钙 1.3%,含磷 0.7%,含钾 0.9%,是谷物的 4~8 倍,种植 3 年苜蓿的土壤,含氮量增加 150kg/hm²,含磷量增加 45kg/hm²^[22];再如,在实验田中采用不同的复种方式,稻/牧草种植方式下,土壤总氮、有机质、速效氮、速效磷、速效钾分别比稻/麦复种方式高 23.125%,27.10%,31.25%,98.374%,46.73%,土壤肥力明显提高^[23]。

3 粮草间作对坡耕地水土保持的效果

在世界不同地区的试验表明,粮草间作对于坡耕地有很好的水土保持效果。在不同土壤利用方式中,间作土壤土层的蓄水量最多。间作土壤容重降低,使得降水更容易渗入土中,减少了坡地地表径流,土壤侵蚀减轻^[24]。例如,在秘鲁湿润热带坡地上,等高间作连续 6 年的试验结果表明,间作平均每年保持了 287mm 的降雨量和 73t/hm² 土壤,分别占单作下损失量的 83%和 93%。与单作相比,间作保持了较高的土壤养分水平,改善了土壤物理性质。等高间作所产生的水土保持效果,并没有在短期内使作物显著增产。这是由于与单作相比,有大约 1/5 的土地被非主要作物占用,而且间作所产生的水土保持效益要经历较长的时期才能在作物

生产中表现出来。考虑到水土保持的长期效应和较少的连续种植投入,等高间作在中等坡度的土地上较适合^[25-29]。

草本作物与朱樱花(豆科牧草)等高间作种植比单作草本作物分别减少地表径流和土壤侵蚀量45%和35%,连续试验五年后,土壤交换性钾、钠和沙粒含量分别提高14%,9%和8%。由于提高土壤水分渗透,草本作物与朱樱花间作达到了有效的水土保持效果,对于增强坡耕地持续利用提供了一种模式^[26]。在坡度小的耕地上,草本作物与朱樱花(豆科牧草)等高间作5年后,土壤容重显著降低^[27]。

王宁在黑龙江不同地区开展了多年的两垅玉米间种一垅草木樨肥田养畜试验,结果表明:草木樨主根当年入土平均深达175cm,横向生长160cm,81%的根系集中在40cm土中。在0~30cm耕层中,每平方米残留根茬1700g,间种每公顷残留根茬5670kg,腐烂后增加土壤孔隙度0.55%,12kg鲜根可转化成1kg土壤有机质,按此计算可转化成土壤有机质31.5kg^[28]。

刘景辉等用不同青贮玉米品种与紫花苜蓿的间作试验表明,间作复合群体可充分利用田间光照和地温条件,而且紫花苜蓿是多年生豆科牧草,具有覆盖地面、防风固沙、培肥地力的作用,第2年5~6月份即可收获第一茬,不仅为养殖业提供草料,而且为间作青贮玉米提供了较大的生长空间^[29]。

赵举等在内蒙古阴山北麓地区开展粮草带状间作试验,结果表明:该模式可有效增加地表粗糙度,比对照裸地平均降低近地面5cm风速31.6%,风蚀量平均降低79.4%;减缓地表风蚀粗化,>1mm的砾石为对照裸地的25%;生物量达3773kg/hm²,是天然草场的5.7倍。同时具有轮作培肥土壤的作用,是适应当地条件的有效、简单、经济可行的防风蚀方法^[30]。叶莉等的试验也表明,通过玉米与草木樨间作,可培肥地力,改良土壤,从而提高经济效益,获得良好的生态效益^[31]。夏锦慧等研究认为,黔中坡耕地种植牧草具有良好的截流效应和防治土壤侵蚀效果,对贵州省坡耕地退耕还草、发展畜牧业养殖具有重大的意义。黄壤旱坡耕地通过种植香根草植物篱,发展横坡种植,对防治土壤侵蚀和维持坡耕地土壤肥力具有良好的效应,可提高玉米产量4.4%~24.6%^[32]。米艳华等在云南19.5°红壤坡耕地上设置水土流失综合治理试验样方,观测水土流失控制效果。结果表明,各观测样方的地表径流量、土壤流失和养分流失按照裸地(CK₁)>传统单作玉米区(CK₂)>植物篱玉米秸秆覆盖区>植物篱麻袋覆盖区>植物篱牧草活覆盖区依次降低。植物篱+覆盖区的养分利用

率比传统单作玉米区极显著提高。植物篱麻袋覆盖区和植物篱牧草活覆盖区,地表径流减少22.7%~34.0%,土壤流失减少27.1%~67.6%,养分流失减少36.8%~77.8%,养分利用率提高27.9%~45.2%^[33]。

4 粮草间作的生态环境与经济社会效益

4.1 粮草间作对水土资源保护具有重要意义

以中国东北地区为例,中国东北黑土带是中国重要的商品粮生产基地,主要分布在吉林、黑龙江两省的中西部。黑土分布区多为波状起伏的漫岗地形(坡度一般在1~5°),加之母质以粗粉沙、黏粒为主,具有黄土特性,因此决定了黑土易遭受侵蚀。黑土分布区交通便利,开发强度相对较高,目前垦殖率可达75%,经过200余年的垦殖,特别是近半个世纪以来采用和提倡的农田管理方式,严重地破坏了土壤结构,加速了有机质的矿化,造成水土流失面积扩大,侵蚀强度增加,如黑龙江省黑土地带的400×10⁴hm²旱作坡耕地,年流失土壤3.75×10⁴t。长春郊区耕地有机质已由垦前的5%下降到目前的2.3%,而且土壤侵蚀随黑土层变薄而加强,在坡度较大或耕作较久的地方,黑土层厚度仅剩20~40cm,有些仅10cm,甚至出现了“破皮黄”或“露地黄”。东北黑土带耕层黑土厚度达20cm的面积仅占30.5%,达18cm的占42.3%;吉林省近40%的黑土层厚度已不足30cm,黑土带已成为中国四大水土流失区之一^[34]。黑土区开发已近百年,初垦时黑土层一般为60~80cm,有的达1m。随着开发年限的不同,黑土层的厚度在不断下降。开垦40年的黑土层厚度已降至50~60cm,有机质下降50%左右。据测算,东北黑土区每年损失的黑土达1~2亿t,流失的氮、磷、钾元素折合标准化肥达400~500万t,相当于年产百万吨的化肥厂4~5个的全年生产量。肥沃黑土的损失,不仅造成农业减产,农民生活贫困,而且对整个生态环境也发生变化,致使旱涝灾害频繁,助长了沙尘暴的肆虐。水蚀使泥沙淤积江河湖泊,严重影响水资源的储存与调节,以及航运事业的畅通。土壤有机质是黑土层的主要成份,据测算该地区每年有机质下降0.13%。由于风蚀与水蚀,在严重地方每年黑土层减少1~2cm,而形成1cm的黑土层,在自然条件下则需要300~400年时间^[14,34]。21世纪中国粮食生产仍面临严峻形势,而东北黑土带是中国粮食增产潜力最大的地区之一,所以土壤侵蚀仍将增加。牧草为多年生植物,播种一次可利用多年。冬春有根茬及再生草覆盖地面,有效地防止风蚀,夏秋有茂密的植被覆盖和发达的根系,即使大雨或暴雨,水蚀也很轻微。因此,种植牧草可有效防止黑土地水土流失。

4.2 粮草间作有利于农业结构调整, 为畜牧业发展提供优质蛋白饲料

粮草间作可以在保证农民生活用粮或者粮食不减产的情况下, 获得相当的牧草收益。以苜蓿为例, 苜蓿茎叶柔软, 清香味浓, 适口性强, 是各种家禽都很喜食的优质牧草, 春、夏、秋可青饲或直接利用, 干草可直接饲喂或加工成草粉、草块或颗粒。苜蓿干草粗蛋白含量为 18%~22%, 其消化率达 80%以上。1kg 苜蓿干草的粗蛋白质含量, 相当于 0.5kg 豆饼的粗蛋白质含量。若按能量计算, 1.6kg 苜蓿干草, 相当于 1kg 粮食的能量。若 1hm² 苜蓿年产 8t 干草, 即相当于 5t 粮食的能量营养或 4t 豆饼的粗蛋白质含量。另外, 苜蓿干草中, 含有多种维生素和微量元素, 可以代替部分化学合成的添加剂, 为生产绿色动物食品发挥重要作用^[14]。在豌豆和燕麦间作系统中, 与单作相比, 间作导致豌豆和燕麦籽粒中氮的含量显著升高, 如单作豌豆籽粒氮平均含量为 3.30%, 间作豌豆籽粒氮平均含量为 3.42%, 单作燕麦籽粒氮平均含量为 1.73%, 间作燕麦籽粒氮平均含量为 1.96%, 豌豆和燕麦间作可获得较好的经济和环境效益^[25]。

4.3 粮草间作可以获得良好的经济与社会效益

中国东北黑土(土类)总面积 590×10⁴hm², 其中耕地 440×10⁴hm²。黑土区土地开垦的历史不长, 第二次土壤普查时其土壤有机质含量的本底水平比较高, 但近 20 年来, 由于对土地的投入水平较低, 黑土区土壤有机质发生了明显的降低^[35]。单位面积土地粮食生产量的提高要求不断地培肥地力, 才能保证农业生产持续稳定地提高。然而, 在中国东北粮食主产区, 作物所需要的养分被不断地从土地中大量带走, 土壤的肥力平衡遭到破坏, 这就要求我们要不断地向土地进行归还, 尤其是有机物质。因为矿质养分可以由施用化肥而得到补充。目前, 粮食主产区向农田投入的有机物料很少。因此, 在粮食主产区通过粮草间作, 种植绿肥牧草, 发展奶牛业, 不仅可以增加有机物料资源贮量, 而且能够建立农牧业的共生互利关系, 形成一个良性循环, 从而获得良好的经济与社会效益。如, 王宁在黑龙江不同地区开展了多年的两垅玉米间种一垅草木樨肥田养畜的试验, 间种玉米平均减产 7%, 减产的主要原因是间种玉米亩株数不够, 公顷草木樨鲜草 15000kg 左右(实际为 1/3hm²)。14 个奶牛示范户的喂饲试验表明, 每天每头奶牛喂草木樨鲜草 35kg(掺一部分一般青草), 比单喂一般青草, 每天每头增产牛奶 25kg, 节省豆饼 1.5kg, 提高奶的度数为 1~1.5°, 则 1000kg 鲜草可喂 30d, 增奶 75kg, 省豆饼 45kg、省鲜草 1000kg。按 1kg

牛奶为 0.48 元、豆饼为 0.50 元、青草 0.02 元, 喂 30 天后总计增收 78.50 元, 去掉草籽款 1.50 元、磷肥款 6.50 元, 再按间种玉米减产 7%(亩产 500Kg)35Kg(1Kg 按 0.30 元), 减去 10.50 元。则间种亩纯增值为 60 元, 节省豆饼 45kg, 超过减产 35kg 玉米的数量, 而且为养牛户提前供应了精料^[28]。宿庆瑞等(1998)在黑龙江中低产黑土区进行了为期三年的玉米、草木樨 2:1、4:2 间种轮作试验, 每年平均增收草木樨鲜草 36539.25Kg/hm², 吃草木樨的奶牛产奶期延长 12d, 产奶量增加 777.5kg/(年·牛), 鲜奶蛋白质含量提高 10.3%, 粮草间作养奶牛比单种玉米养奶牛经济效益平均增长 8.03%^[17]。刘景辉等用不同青贮玉米品种与紫花苜蓿的间作试验表明, 收获期, 间作青贮玉米株高、茎粗和叶面积指数比相同种植面积的单作玉米分别提高了 2.3%~20.9%、0.4%~7.6%和 2.2%~19.6%。间作复合群体的粗脂肪和粗蛋白含量比单作玉米分别提高了 30.8%~59.1%和 99.4%~137.5%^[36]。孟军江等在贵州省清镇市试验区种植紫花苜蓿, 在管理较好的条件下, 年干草产量 13056.5~20122.6kg/hm², 农户出售干草以 70 元/t 计, 毛利可达 9100~14000 元/hm², 去除成本约 3000 元/hm²·年, 纯利可达 6100~11000 元/hm²·年, 种植其它常规作物(玉米), 纯利最高约为 6000 元/hm²·年, 相比之下, 种植紫花苜蓿可增收 3100~8000 元/hm²·年, 增幅达 50%以上。若进行产品加工或通过畜禽转化, 则盈利更多^[37]。

5 研究展望

中国坡耕地中 25° 以下的约有 3400 万 hm², 其中有数量很可观的坡度较小的漫岗漫坡地。为了保障中国的粮食安全和人民生活的需要, 大量的坡地还要继续种植作物, 不合理的耕作和种植制度造成水土流失, 不仅使坡耕地的肥力下降, 而且带来严重的生态和环境灾害。在保证坡耕地种植作物并获得相当产量的条件下, 能保持水土和提高土壤肥力, 同时在不增加农民负担的条件下, 还能增加当地农民的收入, 这是一项艰巨而重要的时代课题, 粮食作物与豆科牧草间作为实现这样的目标提供了现实途径。中国幅员辽阔, 坡耕地的类型千差万别, 加上各地的种植制度和生产生活习惯各不相同, 适应不同的农业和生态类型区域的需要, 研究不同粮食作物与豆科牧草间作的种植模式和耕作培肥方式, 是以后的科研工作首先要解决的问题。其次, 在间作系统中, 要加强引进和筛选适合密植光效率高的粮食作物以及根系发达产草量高的豆科牧草。再次, 加强牧草的综合高效利用研究, 发展农村养殖和畜牧业, 提高经济收入和改善人民生活。最后, 通过养殖

和畜牧业的发展,研究畜禽粪便的快速高效利用技术,以培肥土壤,发展农业清洁生产,发展沼气,节约资源,从而实现农业-畜牧业-生态环境的良性循环,为新农村建设和农村经济的可持续发展提供技术支持。

参考文献

- [1] 李洪勋. 草带在防治坡耕地土壤侵蚀中的作用 [J]. 草业科学, 2005,22(1):94-97.
- [2] 苏广实, 陈健飞. 我国坡地资源利用生态环境效应的研究现状综述[J]. 热带地理, 2007,27(4):306-310.
- [3] 龚伟, 胡庭兴, 宫渊波, 等. 退耕还林中林草模式效益评价与物种的选择与配置. 四川林勘设计, 2004,3:1-7.
- [4] 胡建民, 胡欣, 左长清, 等. 红壤坡地坡改梯水土保持效应分析[J]. 水土保持研究, 2005,12(4):271-273.
- [5] 吴发启, 张玉斌, 余雕, 等. 黄土高原南部梯田土壤水分环境效应研究[J]. 水土保持研究, 2003,10(4):128-130.
- [6] Kusumandari A. Soil erosion and sediment yield in forest and agroforestry area in west java, Indonesia [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1997, 52(5):376-380.
- [7] 尹迪信, 唐华彬, 罗红军, 等. 植物篱技术发展回顾和贵州省的研究进展[J]. 水土保持研究, 2006,13(1):15-23.
- [8] 蔡强国, 卜崇峰. 植物篱复合农林业技术措施效益分析[J]. 资源科学, 2004,6(增刊):7-12.
- [9] 孙辉, 唐亚, 陈克明, 等. 等高固氮植物篱控制坡耕地地表径流的效果[J]. 水土保持通报, 2001,21(1):48-51.
- [10] Aase J K, Pikul J L. 高麦草种植带形成梯田的试验研究[J]. 水土保持科技情报, 1995(4):42-43.
- [11] Doral, Kemper. Hedging against erosion [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1992,7:284-288.
- [12] 黄必志, 吴伯志. 草带防止水土保持的效应[J]. 北京林业大学学报, 2000,22(2):84-85.
- [13] 许锋. 香根草植物篱控制坡地侵蚀与养分流失研究[J]. 山地农业生物学报, 2000,19(2):75-82.
- [14] 徐安凯, 王志锋, 于洪柱. 种植紫花苜蓿治理黑土地水土流失探讨. 吉林畜牧兽医, 2004,8:23-26.
- [15] 迟凤琴, 宿庆瑞, 王英, 等. 松嫩平原西部粮草轮作技术途径与效应的研究[J]. 草业科学, 1993,10(6):23-26.
- [16] 迟凤琴, 宿庆瑞, 王英, 等. 松嫩平原西部粮草轮作技术途径与效应的研究[J]. 草业科学, 1993,10(6):23-24.
- [17] 宿庆瑞. 东北玉米主产区玉米草木樨间种轮作农牧结合综合效益的研究[J]. 中国草地, 1998,4:17-20.
- [18] Schmidt O, Clements R.O, Donaldson G. Why do cereal - legume intercrops support large earthworm populations? [J]. Applied Soil Ecology, 2003,22,181-190.
- [19] Schmidt O, Curry, J P, Hackett, R A, Purvis G, Clements, R O. Earthworm communities in conventional wheat monocropping and low-input wheat - clover intercropping systems [J]. Ann. Appl. Biol, 2001, 138:377-388.
- [20] 龙健, 邓启琼, 江新荣, 等. 贵州喀斯特石漠化地区土地利用方式对土壤质量恢复能力的影响[J]. 生态学报, 2005,25(12):3188-3195.
- [21] 宁德富, 黄必志. 坡地不同利用方式对土壤氮、磷、钾的影响研究[J]. 云南农业大学学报, 2006,21(1):61-65.
- [22] 李毓堂. 长江水土流失规律探讨和草业综合治理方略[J]. 草业科学, 2001,18(1):66-75.
- [23] 李维俊. 湖北省草业现状及发展措施 [J]. 草业科学, 2004,21(5):52-54.
- [24] Fu B, Wang J, Chen L, Qiu Y. The effects of land use on soil moisture variation in the Danangou catchment of the Loess Plateau, China[J]. Catena, 2003, 54,197-213.
- [25] Alegre J.C., Rat M.R. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru[J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 1996, 57,17-25.
- [26] McDonald M A, Healey J R, Stevens P A. The effects of secondary forest clearance and subsequent land-use on erosion losses and soil properties in the Blue Mountains of Jamaica. Agriculture [J]. Ecosystems and Environment, 2002, 92:1-19.
- [27] Alegre J C, Rao M R. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru [J]. Agric. Ecosyst. Environ, 1996, 57,17-25.
- [28] 王宁. 玉米间种草木樨肥田养畜试验[J]. 草与畜杂志, 1989,3:11-14.
- [29] 刘景辉, 曾昭海, 焦立新, 等. 不同青贮玉米品种与紫花苜蓿的间作效应[J]. 作物学报, 2006,32(1):125-130.
- [30] 赵举, 郑大玮, 潘志华, 等. 农牧交错带粮草带状间作防风蚀保土效应的研究[J]. 华北农学报, 2005,20:5-9.
- [31] 叶莉, 袁立斌, 刘春静, 等. 玉米与草木樨间作的推广试验研究[J]. 草原与草坪, 2004,3:60-62.
- [32] 夏锦慧, 邓英, 陈明华, 等. 黔中地区坡耕地水土流失及坡面防护技术研究[J]. 贵州农业科学, 2004,32(1):39-40.
- [33] 米艳华, 潘艳华, 沙凌杰, 等. 云南红壤坡耕地的水土流失及其综合治理[J]. 水土保持学报, 2006,20(2):17-21.
- [34] 阎百兴, 汤洁. 黑土侵蚀速率及其对土壤质量的影响[J]. 地理研究, 2005,24(4):499-506.
- [35] 徐艳, 张凤荣, 汪景宽, 等. 20年来我国潮土区与黑土区土壤有机质变化的对比研究[J]. 土壤通报, 2004,35(2):102-105.
- [36] Angelika N, Knut S, Rolf R. 2007. Effects of crop density and tillage system on grain yield and N uptake from soil and atmosphere of sole and intercropped pea and oat[J]. Field Crops Research, 100:285-293.
- [37] 孟军江, 唐成斌, 钱晓刚, 等. 喀斯特山区退耕地紫花苜蓿引种栽培试验[J]. 贵州农业科学, 2005,33(6):51-53.