

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期  
Vol.30 No.21  
**2010**



中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报 (SHENTAI XUEBAO)

第30卷 第21期 2010年11月 (半月刊)

## 目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性	曾军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康	裴雪姣,牛翠娟,高欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系	张慧文,马剑英,孙伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局	卢训令,胡楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱UV-B辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响	陈宗瑜,钟楚,王毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征	柏方敏,田大伦,方晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征	刘克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较	朱光玉,吕勇,林辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价	高杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较	张小飞,王如松,李锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估	王萱,陈伟琪,张珞平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响	李影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化	安宗胜,詹婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响	韩永强,刘川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
<b>专论与综述</b>	
河流水质的景观组分阈值研究进展	刘珍环,李猷,彭建 (5983)
<b>研究简报</b>	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响	杨兵,王进闻,张远彬 (5994)
环境因素对长颚斗蟋翅型分化的影响	曾杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 300 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 32 \* 2010-11

# 宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较

路海东<sup>1</sup>, 贾志宽<sup>1,\*</sup>, 杨宝平<sup>1</sup>, 李永平<sup>2</sup>, 刘世新<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学农学院, 陕西杨陵 712100; 2. 固原市农科所, 宁夏固原 756000)

**摘要:**在宁夏南部旱区 15°坡耕地上,于 2007 年 5 月至 2008 年 10 月连续 2a 研究了 7 种不同粮草带状间作(谷子和糜子间作苜蓿)模式与粮食单作(对照处理)模式下的作物产量、形态指标、水分利用效率及水土流失特征。结果表明,同粮食单作相比,4:4、4:6、6:4、6:6、6:8、8:6 和 8:8 等 7 个粮(谷子或糜子)草(苜蓿)条带间作种植模式的作物生育后期单株叶面积和单株质量明显增加,作物水分利用效率提高 0.99—1.57 kg/m<sup>3</sup>,产量增加 3.02%—15.72%,地表径流减少 6.86%—58.42%,泥沙流失量减少 56.09%—100%。不同粮草带比间作种植模式比较,带距越窄,粮食增产效果和整体水土流失防治效果越佳。尤其是 4:4、4:6 和 6:4 3 种带比间作种植模式的综合效果较好。

**关键词:**粮草间作; 坡耕地; 产量; 水土流失

## Different strip intercropping of grain-grass on sloping field in dry areas of south Ningxia

LU Haidong<sup>1</sup>, JIA Zhikuan<sup>1,\*</sup>, YANG Baoping<sup>1</sup>, LI Yongping<sup>2</sup>, LIU Shixin<sup>2</sup>

1 College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Guyuan Institute of Agricultural Science, Guyuan, Ningxia 756000, China

**Abstract:** On 15° sloping field in dry areas of south Ningxia province, the crop yield, morphological index, water use efficiency and soil erosion characteristics were researched about seven different types of strip intercropping of grain-grass (Millet and Alfalfa) and sloe cropping of grain (Millet) during May 2007 to October 2008. The results were showed that: Compared with sloe cropping of grain, other seven different types of strip intercropping of grain-grass (4:4, 4:6, 6:4, 6:6, 6:8, 8:6, 8:8) increased leaf area and quality of single plant significantly. The intercropping of grain-grass patterns increased crop water use efficiency by 0.99 kg/m<sup>3</sup>—1.57 kg/m<sup>3</sup> and crop yield by 3.02%—15.72%, decreased surface runoff by 6.86%—58.42% and sediment runoff by 56.09%—100%. Among different types of strip intercropping of grain-grass, the strip of intercropping of grain-grass was more narrower, the effects of crop yield increase and soil erosion control was more better. Consolidated comparative results of different intercropping grain-grass patterns was that the three types of 4:4, 4:6 and 6:4 were the best intercropping pattern.

**Key Words:** intercropping of grain-grass; sloping field; yield; soil erosion

宁夏南部地区大部分属于黄土高原半干旱区,农业生产主要依赖于天然降水,年降水量 280—450 mm,气候干燥,蒸发强烈,无效、微效降水日数多,有效降水日数少,水分供应不足是制约作物生长的主要因素<sup>[1]</sup>,80%以上的坡耕地因受雨季暴雨的作用,造成大量土壤侵蚀和地表土壤养分损失,导致土壤退化<sup>[2]</sup>;有效降水不足已成为导致农田水分供需矛盾的主要因素<sup>[3]</sup>。如何缓解这一矛盾是旱区农业研究的主要课题。吴发启等<sup>[4]</sup>研究认为:在黄土残塬沟壑区,梯田具有比较明显的蓄水、保水作用。但是,由于坡改梯技术投资大、

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD28B03)

收稿日期:2009-10-12; 修订日期:2010-04-22

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhikuan@tom.com

费工、费时、易塌方等缺点,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。大量研究表明,在坡地种植植物篱<sup>[5]</sup>和实行粮作物与普通草木隔行带状种植<sup>[6-9]</sup>可显著减少水土流失,有很好的水土保持效果。而有关坡地粮草条带间作后的作物产量、水分利用效率和植株性状的研究较少。

间作种植模式具有明显的增产增效作用<sup>[10-12]</sup>。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,更是以后科研工作首先要解决的问题<sup>[13]</sup>。为了明确坡耕地上粮食作物与苜蓿不同带比间作种植模式的效应机理,筛选适宜宁夏南部旱区坡地的最佳粮草间作种植模式,本试验在宁南旱区15°坡耕地上设置不同带比的粮草间作种植处理,重点研究粮(谷子和糜子)草(苜蓿)不同带宽间作下的作物水分利用效率、粮食产量水平和水土保持效果,探索提高宁南旱区坡地粮食生产能力和控制水土流失的最佳种植模式,为旱区农业持续发展提供支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在宁夏南部的彭阳县白阳镇陡坡村旱农基点进行。位于宁夏回族自治区南部边缘、六盘山东麓,介于东经106°32'—106°58'、北纬35°41'—36°17'之间,海拔1800m左右,年蒸发量1000—1100mm,降水量350—550mm,≥80%保证率的年降水量仅250—350mm,多年平均降雨量435mm,年平均气温7.4—8.5℃,≥0℃积温2600—3700℃,无霜期140—170d。试验地土壤类型为黄绵土,耕层0—20cm土壤养分含量分别为:有机质6.403g/kg,碱解氮40.23mg/kg,全氮0.618g/kg,全磷0.611g/kg,全钾2.937g/kg,速效磷5.05mg/kg,速效钾54.69mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验按不同种植模式和粮草带比设置8个处理(表1),采用随机区组设计,沿坡耕地水平方向依次等高随机排列,3次重复,共24小区。于2007年初在坡度为15°的坡耕地同一坡面上,按照处理要求设小区宽度为4m,坡长为20—26m的试验小区24个,小区内从坡顶沿坡长方向按草带、粮带进行依次间作种植,小区面积80—104m<sup>2</sup>,不同小区间用砖带隔离,各小区坡底建0.5m×0.5m×0.8m=0.2m<sup>3</sup>的径流收集池。

2007年试验是在3年生苜蓿的坡地基础上按试验设计翻耕苜蓿建立粮食作物间作带和单作带,粮食作物种植的为当地主栽谷子品种大同14号,播种日期为5月10日,5月18日出苗,7月25日拔节,8月19日抽穗,9月9日灌浆,10月20日收获,草带为3年生苜蓿,品种为紫花苜蓿(*Medicago sativa L.*)。2008年试验继续在粮带翻耕种植糜子,品种为宁糜9号。当年因春季播期干旱严重,试种的糜子播种期推迟到6月15日,6月21日出苗,7月20日拔节,8月26日抽穗,9月15日灌浆,10月20日收获,草带仍为苜蓿(4年生)。

表1 试验处理  
Table 1 Treatment of test

间作带比处理 Intercropping treatment	种植模式 Cropping patterns	坡顶起始种植作物 Top of the hill start planting crops	草带宽/m Grass Bandwidth	粮带宽/m Food Bandwidth	处理小区长/m Dealing with cell length
4:4	间作	苜蓿	4	4	24
6:6	间作	苜蓿	6	6	24
8:8	间作	苜蓿	8	8	24
4:6	间作	苜蓿	4	6	24
6:4	间作	苜蓿	6	4	26
6:8	间作	苜蓿	6	8	20
8:6	间作	苜蓿	8	6	22
单作CK	单作	全种粮食作物	0	24	24

### 1.3 测定内容和方法

在2007年试验处理设置前,按S型布点取试验田0—20cm土层土壤样品,进行基础养分测定。于粮食作

物播种前和收获后,测定不同条带处理各粮草种植小区 0—200cm(每 20cm 取一个样)的土壤水分含量。于粮食作物拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期每处理小区选择 20 个代表性植株,测定株高、叶面积、单株鲜重和单株干重( $105^{\circ}\text{C}$ 杀青 15min, $80^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重)。在每次大的降雨过后,及时测定各不同小区径流池中的径流量。苜蓿按当地收获时间进行收获(每年 2 次)计产(单位种植面积鲜重和干重),粮食作物在成熟后进行收获计产,测定各小区单位种植面积的总生物量和籽粒产量,并计算收获指数。每年在粮食作物播种后,用 SMI 型人工雨量计人工测定粮食作物整个生育期内的降雨量。

土壤含水量测定采用烘干法,土壤有机质测定采用电热板加热-重铬酸钾容量法,碱解氮测定采用扩散法,速效磷测定采用  $0.5\text{mol/L NaHCO}_3$  浸提-钼锑抗比色法,速效钾测定采用  $1\text{mol/L NH}_4\text{OAc}$  浸提-火焰光度法。全氮(TN)测定采用半微量凯式定氮法,全磷(TP)测定采用  $\text{NaOH}$  熔融铝锑抗比色法,全钾(TK)测定采用  $\text{NaOH}$  熔融火焰分光比色法<sup>[14]</sup>。

粮食作物水分利用效率(WUE)定义为粮食作物产量  $Y(\text{kg}/\text{hm}^2)$  与农田耗水量  $ET(\text{mm})$  的比值,即:

$$WUE = Y/ET$$

根据农田水量平衡原理: $ET = W_{\text{播前}} - W_{\text{收获}} + I + P + G$ ,则有  $WUE = Y/(W_{\text{播前}} - W_{\text{收获}} + I + P + G)$

式中,  $W_{\text{播前}}$  为播种前土壤贮水量, mm;  $W_{\text{收获}}$  为收获时土壤贮水量, mm;  $I$  为生育期灌水量, mm;  $P$  为生育期降水量, mm;  $G$  为作物利用地下水, mm。试验地无灌溉条件,因此  $I=0$ 。研究区地下水埋深 70m,因此  $G=0$ 。

在每次准确测量完总径流量后,将径流池的径流搅拌均匀采集水样 500mL,用滤纸过滤出泥沙,在  $105^{\circ}\text{C}$  恒温下烘干后称重,计算每次径流泥沙含量,根据每次降雨的径流量及其泥沙含量,计算单位面积的泥沙流失量。

#### 1.4 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2003 进行作图,采用 DPS 统计系统进行数据处理和统计分析,采用 LSD 法进行显著性检验。

### 2 结果与分析

#### 2.1 不同种植模式的产量变化

表 2 和表 3 分别为不同条带间作处理 2007 年苜蓿与谷子的产量情况和 2008 年苜蓿与糜子的产量情况。从表中可以看出,2007 年,不同条带处理间苜蓿的产量没有显著差异,而谷子的产量差异明显。粮草间作处理模式下的谷子产量显著高于单作谷子处理(对照),尤其是 4:4、6:4 和 4:6 这 3 个间作处理产量最高,极显著高于单作处理,分别较单作增产 15.72%、15.49% 和 13.22%;2008 年各不同间作处理的苜蓿和糜子产量均差异明显,4:4 和 4:6 条带间作处理的苜蓿产量显著高于其他处理,间作处理模式的糜子产量均显著高于单作处理,较单作增产 8.03%—12.73%,不同间作处理比较,4:4、4:6 和 6:4 这 3 个处理的增产幅度最大,分别较

表 2 2007 年不同条带处理苜蓿和谷子的产量

Table 2 Yield of alfalfa and millet in different bands treatment in 2007 year

处 理 Treatment	苜蓿 Alfalfa		产量 Yield / (kg/hm <sup>2</sup> )	收获指数 HI /%	增产幅度 Production rate /%
	鲜重 Fresh weight / (kg/hm <sup>2</sup> )	干重 Dry weight / (kg/hm <sup>2</sup> )			
4:4	8142.10a	3250.15a	2431.98aA	31.81	15.72
6:6	8161.53a	3236.83a	2241.31bB	31.24	6.64
8:8	8001.95a	3208.73a	2234.94bcB	31.47	6.34
4:6	8066.85a	3258.20a	2379.55aA	31.25	13.22
6:4	7982.65a	3163.61a	2427.18aA	31.92	15.49
6:8	7988.20a	3206.43a	2168.82cdBC	31.50	3.19
8:6	7956.60a	3192.50a	2165.14cdBC	31.15	3.02
单作 CK	-	-	2101.68dC	30.82	-

不同字母表示差异水平,小写字母表示 0.05 水平,大写字母表示 0.01 水平

单作增产12.73%、11.44%和10.31%。可见,坡地采用粮草条带间作种植,具有显著的增产效果,尤其是4:4、4:6和6:4这3个间作处理模式增产效果最佳,谷子较单作增产13.22%—15.72%,糜子较单作增产10.31%—12.73%。

表3 2008年不同条带处理苜蓿和糜子的产量

Table 3 Yield of alfalfa and panicum miliaceum in different bands treatment in 2008 year

处理 Treatment	苜蓿 Alfalfa		糜子 Panicum miliaceum		
	鲜重 /(kg/hm <sup>2</sup> )	干重 /(kg/hm <sup>2</sup> )	产量 /(kg/hm <sup>2</sup> )	收获指数 HI /%	增产幅度 Production rate /%
4:4	7850.50aA	3001.45aA	1220.7aA	38.25	12.73
6:6	7800.20abA	2903.40bAB	1198.45abcAB	37.70	10.67
8:8	7667.25abA	2878.70bBC	1178.40bcAB	37.38	8.82
4:6	7825.35aA	2996.20aA	1206.7abAB	37.16	11.44
6:4	7801.45abA	2919.70bAB	1194.45abcAB	38.32	10.31
6:8	7750.50abA	2857.65bcBC	1188.30bcAB	37.18	9.74
8:6	7612.95bA	2784.35cC	1169.85cB	37.40	8.03
单作 CK	-	-	1082.86dC	37.15	-

不同字母表示差异水平,小写字母表示0.05水平,大写字母表示0.01水平

## 2.2 不同种植模式各生育期作物形态指标比较

### 2.2.1 不同种植模式谷子各生育期的株高、叶面积和单株质量

谷子的单株叶面积随生育期的推进呈抛物线变化(图1),抽穗期最大,随后开始下降。不同处理比较,在抽穗以前各处理间差异不大,抽穗后,4:4、6:4和4:6等3个间作处理的单株叶面积明显高于单作处理;谷子株高在抽穗期达到最高,抽穗以后基本保持稳定,不同处理间差异不明显;谷子单株质量随生育期的推进逐渐增加,成熟期达到最大。不同处理比较,粮草间作处理明显高于单作处理。尤其是在抽穗以后,4:4、6:4和4:6等3个处理的单株质量显著高于单作处理。

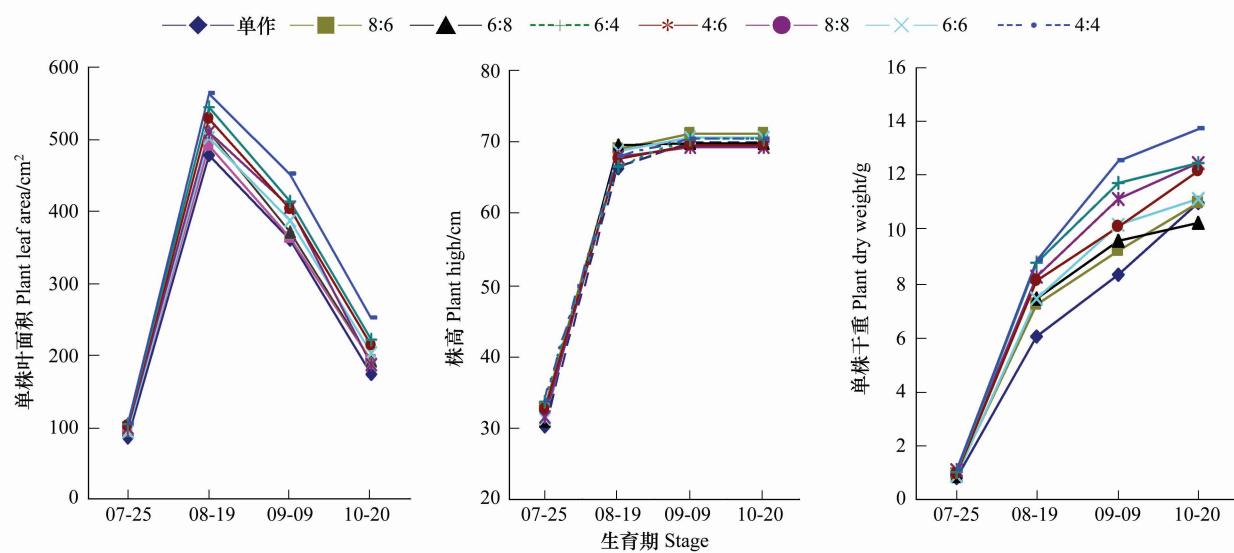


图1 2007年不同生育期各处理谷子的叶面积、株高和单株干重变化

Fig. 1 The change of leaf area, plant high and dry weight of different treatment during different stage in 2007 year

\* 图中数据为3个重复各种植小区的平均值

### 2.2.2 不同种植模式糜子各生育期的株高、叶面积和单株质量

糜子的叶面积呈抛物线变化(图2),抽穗期达到最大,然后随着生育期的推进开始下降。不同处理比较,

抽穗以前各处理间差异不大,抽穗后单作处理的叶面积明显小于其他间作处理,尤其是4:4、6:4和4:6等3个间作处理明显较大;糜子株高随生育期增进不断增高,抽穗后基本保持稳定,不同处理间差异不明显;糜子单株质量随生育期的推进逐渐增加,成熟期达到最大。不同模式比较,粮草间作模式明显高于单作模式,尤其是在抽穗以后,4:4、6:4和4:6等3个间作处理显著高于单作处理。可见,粮草间作种植模式能够显著增加糜子抽穗至成熟期的单株叶面积和单株质量,尤其是4:4、6:4和4:6等3个间作处理效果最佳。

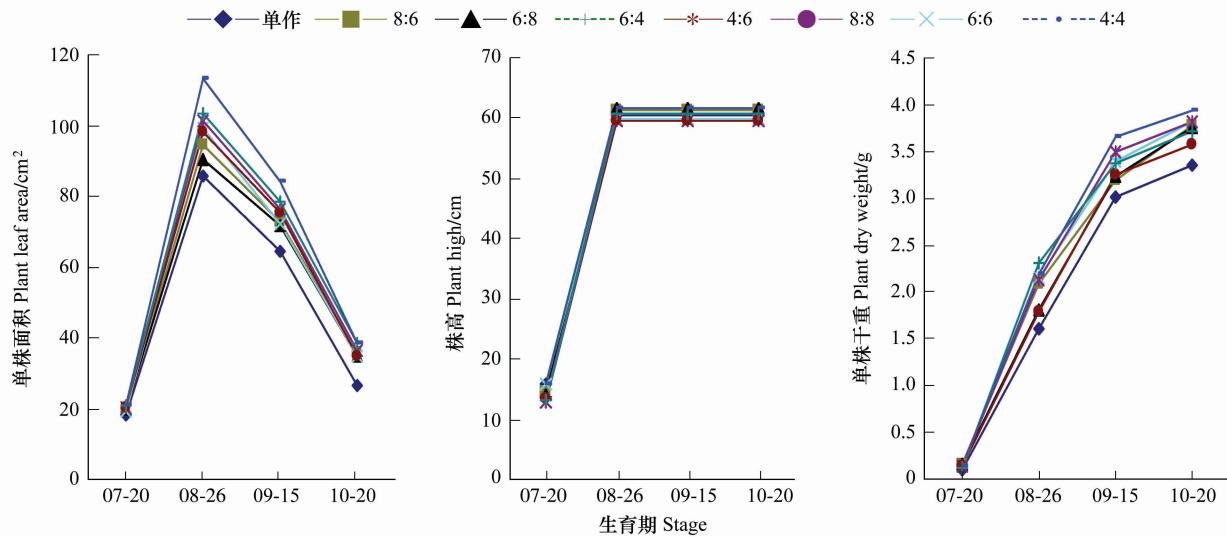


图2 2008年不同生育期各间作处理糜子的叶面积、株高和单株干重变化

Fig. 2 The change of leaf area, plant high and dry weight of different treatment during different stage in 2008 year

\* 图中数据为3个重复各种植小区的平均值

### 2.3 不同种植模式的水分利用效率

不同处理间粮食作物水分利用效率(WUE)差异显著(表4),不同种植模式比较,粮草间作模式的WUE显著高于单作模式。尤其是4:4、4:6和6:4间作处理的WUE显著高于单作处理和其他间作处理,谷子WUE分别较单作处理增加1.57、1.26、1.28 kg/m<sup>3</sup>,糜子WUE分别较单作处理增加1.25、1.04、0.99 kg/m<sup>3</sup>。可见,坡地采用粮草间作种植可显著提高粮食作物的水分利用效率,不同间作带比比较,4:4、4:6和6:4带比间作模式效果较好,尤其是4:4处理效果最佳。

表4 不同条带处理的水分利用效率

Table 4 Efficiency of water use in different bands treatment

处理 Treatment	谷子 Millet(2007)			糜子 <i>Panicum miliaceum</i> (2008)		
	产量 Yield /(kg/hm <sup>2</sup> )	耗水量 Water consumption /mm	WUE /(kg/m <sup>3</sup> )	产量 Yield /(kg/hm <sup>2</sup> )	耗水量 Water consumption /mm	WUE /(kg/m <sup>3</sup> )
4:4	2431.98aA	235.25cB	10.34aA	1220.7aA	190.38cC	6.41aA
6:6	2241.31bB	240.18bAB	9.33bBC	1198.45abcAB	201.45bB	5.95bcABC
8:8	2234.94bcB	247.36aA	9.04bcC	1178.40bcAB	208.33aA	5.66cCD
4:6	2379.55aA	237.22bcB	10.03abAB	1206.7abAB	194.52cC	6.20abAB
6:4	2427.18aA	241.46bAB	10.05aAB	1194.45abcAB	194.16cC	6.15abABC
6:8	2168.82cdBC	238.39bcB	9.10bcC	1188.30bcAB	206.85aAB	5.74cBC
8:6	2165.14cdBC	238.78bcB	9.07bcC	1169.85cB	205.33abAB	5.70cBC
单作 CK	2101.68dC	239.64bB	8.77dC	1082.86dC	209.84aA	5.16dD

不同字母表示差异水平,小写字母表示0.05水平,大写字母表示0.01水平

## 2.4 不同种植模式的地表径流

表5为2007至2008年2次较强降雨下测定的水土流失量,14mm降雨为2007年8月25日测定,种植的粮食作物为谷子,21mm为2008年9月6日测定,种植的粮食作物为糜子,2次降雨前的0—20cm土层土壤含水量基本相同。从表5可以看出,在一次性降雨量为14mm时,只产生少量雨水径流,泥沙的流失量几乎为零;不同处理比较,粮草间作处理较对照单作处理减少地表径流量8.63%—58.42%,尤其是4:4、4:6和6:4等3个处理较对照减少径流量50%以上。在一次性降雨量为21mm时,地表径流量明显增加,且携带有不同程度的泥沙流失;不同处理比较,4:4处理较单作处理减少地表总径流58.42%,减少泥沙流失84.41%,4:6和6:4处理分别较单作处理减少地表总径流50.37%和50.04%,减少泥沙流失100%,6:8、8:6和8:8处理较对照减少地表径流6.86%—17.75%,减少泥沙流失100%。可见,小区条带宽度越窄、越密集,减少地表径流效果越好。不同降雨量比较,强降雨下,地表径流量增大,间作种植模式较单作模式的径流减少幅度下降。从本试验粮草条带设置来看,坡底以苜蓿结尾的种植条带泥沙流失量均几乎为零。说明,草带对泥沙流失具有明显的阻碍作用。

表5 不同降雨量下各处理的地表径流

Table 5 Rainfall under different processing of surface runoff

处理 Treatment	14mm 降雨量 Rainfall			21mm 降雨量 Rainfall			减少幅度 Decrease /%
	总径流量 Total runoff /(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	减少幅度 Decrease /%	泥沙流失 Sediment /(t/hm <sup>2</sup> )	总径流量 Total runoff /(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	减少幅度 Decrease /%	泥沙流失 Sediment /(t/hm <sup>2</sup> )	
4:4	5.01ff	58.42	0.00	31.25ff	43.91	1.25cC	84.14
6:6	7.89dD	34.52	0.00	44.05dD	20.93	3.46bB	56.09
8:8	11.01bB	8.63	0.00	51.89bB	6.86	0.00	100.0
4:6	5.98eE	50.37	0.00	37.64eE	32.44	0.00	100.0
6:4	6.02eE	50.04	0.00	36.93eE	33.71	0.00	100.0
6:8	10.35cBC	14.11	0.00	45.82dD	17.75	0.00	100.0
8:6	10.04cC	16.68	0.00	48.67cC	12.64	0.00	100.0
单作 CK	12.05aA	—	0.00	55.71aA	—	7.88aA	—

不同字母表示差异水平,小写字母表示0.05水平,大写字母表示0.01水平

## 3 讨论

刘景辉<sup>[12]</sup>等对青贮玉米与紫花苜蓿的间作研究表明,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%。本研究结果表明,坡耕地采取粮草条带间作种植模式,间作粮食作物的株高没有明显变化,但粮食作物生育后期的单株叶面积及单株质量较单作粮食明显提高,作物产量显著增加,尤其是4:4、4:6和6:4等3种带比间作处理模式,谷子产量较单作增加13.22%—15.72%,糜子产量较单作增加10.31%—12.73%。叶优良等<sup>[15]</sup>对蚕豆、豌豆、大豆3种豆科作物与玉米间作下水分利用情况研究表明,蚕豆/玉米和豌豆/玉米间作相对于单作玉米种植水分利用效率增加33.33%和23.45%。本研究发现:同粮食单作相比,粮草间作种植模式的粮食作物WUE明显提高。这除了本身的间作效应外,可能还与坡地粮草间作后的水土保持效应有关。

相关研究表明,坡地采用粮作物与普通牧草等隔行间作种植具有明显减少地表径流的作用<sup>[16-19]</sup>。本研究表明:在宁夏南部旱区15°坡地上,采取粮食作物与苜蓿条带间作种植可较粮食单作模式减少地表径流6.86%—58.42%,减少泥沙流失56.09%—84.14%,与前人研究结果一致。叶瑞卿等<sup>[18]</sup>研究表明,在坡耕地上种植草带能有效防止水土流失,草带间距越小越有利于水土保持。蔡强国等<sup>[5]</sup>的试验研究表明:植物篱具有显著的减水、减沙效果。本研究结果表明,坡地上粮食作物与苜蓿间作条带间距越窄,小区条带越密集,水土流失量越少,防治效果越佳。且坡底以苜蓿带结尾的种植模式均可有效阻止泥沙的流失。可见,粮草带状间作种植模式中草(苜蓿)带起到了与植物篱相同的防治水土流失效果。安瞳昕<sup>[19]</sup>等对玉米与蔬菜和草带

的间作研究表明,在低、中、高降雨强度下,玉米间作处理的平均侵蚀量分别比玉米裸地单作减少35.7%、61.4%和70.2%,高强度降雨下,间作处理水土保持效果更明显。本研究表明,降雨量越大,地表产生的径流量越多,但间作模式的径流减少幅度反而下降。这与前人研究结果存在部分差异,可能是与本研究测定的为降雨量而不是降雨强度有关。

水土流失是造成坡地土壤养分的大量流失的主要因素之一,其中氮素和磷素通过土壤携带造成的损失分别占氮、磷养分流失总量的90.14%和87.37%<sup>[20-21]</sup>。陈奇伯<sup>[22]</sup>等研究发现,坡耕地每损失1mm径流,供试作物产量平均下降5.0%—9.7%。焦念元<sup>[23]</sup>等研究表明,与单作相比,玉米-花生间作显著提高了玉米产量和氮、磷吸收量。本研究发现,在坡地采用苜蓿与粮食作物条带间作种植模式,作物产量明显增加。这除了与苜蓿和粮食作物的间作增产效应有关外,还可能与坡地粮草间作能有效减少地表径流和泥沙流失从而降低了地表土壤养分损失有一定关系。而有关粮草种植模式对坡地土壤养分的增益机理还有待进一步研究。任继周等<sup>[24]</sup>研究认为,种植业所占比重过高,忽视草食畜牧业是甘肃农业结构与资源分布不协调的主要症结之一。本研究表明,采用最佳的苜蓿与粮食作物条带间作种植模式,不但可以提高单位面积的粮食作物产量和水分利用效率,同时还可以维持单位面积的苜蓿产量稳定。这对本区土壤改良、培肥地力和农业的可持续发展,具有十分重要的作用。

#### 4 结论

本试验通过对宁夏南部旱区15°坡地上的粮食作物(谷子或糜子)与苜蓿等高条带间作种植研究发现,粮草间作模式可增加粮食作物生育后期的单株叶面积和单株质量,有效提高单位面积粮食作物的产量和水分利用效率,减少坡地水土流失。不同带比间作模式比较,坡底为苜蓿带可有效阻止泥沙流失,粮草条带间距越窄,增产效果和水土流失防治效果越佳。尤其是4:4和4:6、6:4等3种间作种植模式,其生育后期(抽穗至成熟期)的单株叶面积和单株质量明显增加,粮食作物水分利用效率较单作模式提高0.99—1.25kg/m<sup>3</sup>,产量较单作模式增加10.31%—15.72%,地表径流总量较单作模式减少30%以上,泥沙流失量较单作模式减少56.14%—100%。

#### References:

- [1] Wang J P, Ma L, Jiang J, Jia Z K. Research on corn planting technique of micro water harvesting in semiarid area of south Ningxia. *The Journal of Northwest Agricultural University*, 1999, 27(3):20-27.
- [2] Guo Q Y, Huang G B. Conservation tillage effects on soil moisture and water use efficiency of two phases rotation system with spring wheat and field Pea in dryland. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, 19(3):165-169.
- [3] Zhao Y Y, Liu W Z, Hu M J. The comparison of water balance in millet fields between terrace and flatland under dryland farming on the loess hill-gully region. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(4):109-112.
- [4] Kusumandari A. Soil erosion and sediment yield in forest and agroforestry area in west java, Indonesia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1997, 52(5):376-380.
- [5] Cai G Q, Pu C F. Benefit of hedgerow agro-forestry technical measure. *Resources Science*, 2004, 6(S):7-12.
- [6] 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. *Catena*, 2003, 54:197-213.
- [7] Alegre J C, Rat M R. Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 1996, 57:17-25.
- [8] Bloodworth H, Lane M. Covers and conservation tillage for sweet-potato. *Soil and Water Conservation*, 1996, 51(6):365-371.
- [9] Malinda D K. Factors in conservation farming that reduce erosion. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1995, 35:969-978.
- [10] Xu A K, Wang Z F, Yu H Z. Study of soil erosion control on alfalfa planted black earth. *Jilin Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2004, 8:23-26.
- [11] Yu H L, Fan R L. Effect of corn and caomuxi intercropping system. *Cultivate and Plan*, 1991, (2):14-16.
- [12] Liu J H, Zeng Z H, Jiao L X, Hu Y G, Wang Y, Li H. Intercropping of different silage maize cultivars and alfalfa. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(1):125-130.

- [13] Wang L G, Liang Y C. Soil fertility improvement, soil and water conservation, and eco-environmental and economic benefit as affected by crop/forage intercropping in sloping arable lands. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(10):482-486.
- [14] Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Handbook of assay on the physio-chemical properties of soil. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1980.
- [15] Ye Y L, Li L, Sun J H. Effect of beans intercropped with maize on water use. Journal of Irrigation and Drainage, 2008, 27(4):33-36.
- [16] 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. Ecosystems and Environment, 2002, 92:1-19.
- [17] Zhao J, Zheng D W, Pan Z H, Chen Y C. Study on the technique of grass and crop strip intercropping for controlling wind erosion at ecotone in north area of Yinshan mountain. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2005, 20(S1):5-9.
- [18] Ye R Q, Huang B Z, Yuan X P, Long S W, Chen Q M, Fan X K. The effect of different interval between pasture belts on water and soil conservation. Acta Ecologiae Animalis Domestici, 2008, 29(3):80-85.
- [19] An T X, Li C H, Wu B Z, Hu C Y, Zheng A P. Effect of different intercropping measures about soil and water loss on sloping land. Journal of Soil and Water Conservation, 2007, 21(5):18-24.
- [20] Hu H X, Hong T Q, Liu L. Prediction of soil erosion and nutrient loss quantity. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(3):356-361.
- [21] Lin C W, Tu S H, Huang J J, Chen Y B. The effects of plant hedgerows on soil erosion and soil fertility on sloping farmland in the purple soil area. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(6):2191-2198.
- [22] Chen Q B, Wang K Q, Qi J, Sun L D. Soil and water erosion in its relation to slope field productivity in hilly gully areas of the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8):1463-1469.
- [23] Jiao N Y, Ning T Y, Zhao C, Hou L T, Li Z J, Li Y J, Fu Z G, Han B. Effect of nitrogen application and planting pattern on N and P absorption and use in maize-peanut intercropping system. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(4):706-712.
- [24] Ren J Z, Lin H L, Wei L. Grassland farming is an important approach for the sustainable development of agriculture in Gansu Province. Acta Agrestia Sinica, 2009, 17(4):405-412.

#### 参考文献:

- [1] 王俊鹏,马林,蒋骏,贾志宽. 宁南半干旱偏旱区农田微集水种植技术研究. 西北农业大学学报,1999,27(3):20-27.
- [2] 郭清毅,黄高宝. 保护性耕作对旱地麦-豆双序列轮作农田土壤水分及利用效率的影响. 水土保持学报,2005,19(3):165-169.
- [3] 赵姚阳,刘文兆,胡梦琪. 干旱地区农业研究,2003,21(4):109-112.
- [5] 蔡强国,卜崇峰. 植物篱复合农林业技术措施效益分析. 资源科学,2004,6(增刊):7-12.
- [10] 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.
- [11] 于海林,范瑞兰. 玉米草木樨间种效应研究. 耕作与栽培,1991, (2):14-16.
- [12] 刘景辉,曾昭海,焦立新,胡跃高,王莹,李海. 不同青贮玉米品种与紫花苜蓿的间作效应. 作物学报,2006,32(1):125-130.
- [13] 汪立刚,梁永超. 坡耕地粮草间作的培肥保土效果及生态环境经济效益. 中国农学通报,2008,24(10): 482-486.
- [14] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海:上海科学技术出版社,1980.
- [15] 叶优良,李隆,孙建好. 三种豆科作物与玉米间作对水分利用的影响. 灌溉排水学报,2008,27(4):33-36.
- [17] 赵举,郑大伟,潘志华,程玉臣. 农牧交错带粮草带状间作防风蚀保土效应的研究. 华北农学报,2005,20(专辑):5-9.
- [18] 叶瑞卿,黄必志,袁希平,龙绍武,陈庆敏,樊心逵. 坡地草带间距与水土保持效应研究. 家畜生态学报,2008,29(3):80-85.
- [19] 安瞳昕,李彩虹,吴伯志,胡昌应,郑爱萍. 玉米不同间作方式对坡耕地水土流失的影响. 水土保持学报,2007,21(5):18-24.
- [20] 胡宏祥,洪天求,刘路. 水土流失量和养分流失量的预测. 环境科学研究, 2009, 22(3):356-361.
- [21] 林超文,涂仕华,黄晶晶,陈一兵. 植物篱对紫色土区坡耕地水土流失及土壤肥力的影响. 生态学报, 2007, 27 (6):2191-2198.
- [22] 陈奇伯,王克勤,齐实,孙立达. 黄土丘陵区坡耕地水土流失与土地生产力的关系. 生态学报, 2003, 23 (8):1463-1469.
- [23] 焦念元,宁堂原,赵春,侯连涛,李增嘉,李友军,付占国,韩宾. 施氮量和玉米-花生间作模式对氮磷吸收与利用的影响. 作物学报, 2008, 34(4): 706-712.
- [24] 任继周,林慧龙,未丽. 草地农业是甘肃农业可持续发展的重要途径. 草地学报,2009,17(4):405-412.

# 2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	<b>8956</b>	1	生态学报	<b>1.669</b>
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

\*《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次, 全国排名第 2; 影响因子 1.669, 全国排名第 14; 第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊; 中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 30 No. 21 2010

编 辑	《生态学报》编辑部 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085 电话: (010) 62941099 www. ecologica. cn shengtaixuebao@ rcees. ac. cn	Edited by Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010) 62941099 www. ecologica. cn Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址: 北京海淀区双清路 18 号 邮政编码: 100085	Sponsored by Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科学出版社 地址: 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科学出版社 地址: 东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717 电话: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net	Distributed by Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010) 64034563 E-mail: journal@ cspg. net
订 购	全国各地邮局	Domestic All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址: 北京 399 信箱 邮政编码: 100044	Foreign China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号	



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元