

西北旱作区不同地膜覆盖种植方式 对谷子生长发育的影响

董孔军, 杨天育, 何继红, 任瑞玉, 张磊

(甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃兰州 730070)

摘要: 选用垄膜覆盖沟播、全膜双垄沟播、全膜平铺穴播、全膜平铺沟播等4种地膜覆盖方式, 研究了不同地膜覆盖种植方式对谷子光合作用、生长速度及其产量的影响。结果表明, 地膜覆盖种植提高了谷子生长期间的净光合速率和水分利用效率, 在抽穗期, 地膜覆盖种植方式的光合速率比露地种植的高9.8%~28.5%, 水分利用效率比露地的提高3.0%~18.1%; 同时, 地膜覆盖种植明显加快了谷子生育期间的生长速度, 在苗期至成熟期, 地膜覆盖种植方式的平均生长速度较露地快28.7%~35.5%。地膜覆盖种植方式增产显著, 产量在3 429.00~4 233.60 kg·hm⁻²之间, 比露地沟播种植方式增产30.87%~61.57%。

关键词: 谷子; 覆盖方式; 水分利用效率; 产量

中图分类号: S515.048 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0036-05

Effects of different film mulching and planting patterns on growth and development of millet in dry-farming area of northwest China

DONG Kong-jun, YANG Tian-yu, HE Ji-hong, REN Rui-yu, ZHANG Lei

(Crop Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The experiment was conducted to investigate the effects of different film mulching and planting patterns on photosynthesis, growth rate and yield of millet by adopting 5 treatments, i. e., flat planting and no plastic film mulching (NM), ridge film mulching and furrow seeding (RFFS), full plastic film mulching and furrow seeding (FFFS), full plastic film mulching and bunch planting (FFBP), and full plastic film mulching on double ridges and planting in catchment furrows (FFDRF). The results showed that, the film mulching patterns improved the net photosynthetic rate and water use efficiency during the growth period of millet. At heading stage, the photosynthetic rate and water use efficiency of millet under film mulching patterns were increased by 9.8%~28.5% and 3.0%~18.1% respectively compared to those of no mulching. The film mulching patterns also significantly accelerated the growth rate during the growing period of millet. From the seedling to maturity stage, the average growth rate of millet under film mulching patterns was 28.7%~35.5% faster than that of no mulching. The film mulching patterns could significantly increase the yield of millet, which was 3 429.00~4 233.60 kg·hm⁻², being 30.87%~61.57% higher compared with no mulching.

Keywords: millet; film mulching and planting patterns; water use efficiency; yield

地膜覆盖栽培在玉米、小麦、薯类、棉花等粮经作物和蔬菜作物的普遍应用, 为中国农业生产带来了一次革命^[1]。谷子是北方干旱半干旱地区重要的秋粮作物, 在旱作农业生产中占有重要地位。实践证明, 谷子地膜覆盖栽培技术是一项增产增效的农业实用技术, 它改变了旧的谷子耕作栽培习惯, 给旱

地谷子生产带来了新的发展契机。一直以来, 关于谷子地膜覆盖的研究主要集中在增产效果^[2-8]、覆盖技术^[9-11]、覆盖后土壤保墒增温效应及其谷子生育期间的生理变化^[12-14]等方面。研究表明, 地膜覆盖后谷田地温、土壤含水量和水分利用效率明显提高, 谷子地膜覆盖栽培具有明显的抗旱、节水、增

收稿日期: 2012-03-08

基金项目: 国家谷子糜子产业技术体系糜子育种岗位专项资金资助(CARS-12.5-A5)

作者简介: 董孔军(1979—), 男, 甘肃甘谷人, 助理研究员, 主要从事糜子新品种选育及栽培技术的研究。E-mail: broommillet@163.com。

通信作者: 杨天育(1968—), 研究员, 硕导, 主要从事小杂粮品种选育方面研究。E-mail: yang1968tian10yu@163.com。

产特性,不同地区谷子地膜覆盖栽培技术的增产效果不同。但对西北地区不同覆盖模式研究较少。本试验通过研究不同地膜覆盖种植技术对土壤水分、温度的影响及其谷子光合生理变化,为谷子地膜覆盖栽培技术在适宜的应用范围、适合的技术模式选择、增产机理等方面提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2010 年 4—10 月在甘肃省会宁县柴门乡鸡儿村进行,海拔 1 720 m,年平均温度 6.2℃,常年平均降雨量 396 mm,试验地面平坦,土壤为黄绵土,土壤有机质含量 12.69 g·kg⁻¹,碱解氮 58.68 mg·kg⁻¹,速效磷 53.25 mg·kg⁻¹,速效钾 215.50 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验采用甘肃省农业科学院作物所选育的谷子新品种陇谷 11 号作为指示品种,在会宁县生育期为 130 d 左右。试验地前茬芸豆,设置露地沟播(CK)(Flat planting and no plastic film mulching(NM))种植、垄膜覆盖沟播(Ridge film mulching and furrow seeding(RFFS))种植、全膜平铺沟播(Full plastic film mulching and furrow seeding(FFFS))种植、全膜平铺穴播(Full plastic film mulching and bunch planting(FF-BP))种植、全膜双垄沟播(Full plastic film mulching on double ridges and planting in catchment furrows(FF-DRF))种植 5 种栽培模式,3 次重复,随机区组排列,试验区面积 15 m²。试验于 2010 年 4 月 25 日播种,5 月 11 日出苗,6 月 12 日定苗,9 月 30 日收获。试验中垄膜沟播种植以 50 cm 为一带幅,垄宽 30 cm,垄间距宽 20 cm,垄高 10 cm,呈圆形,垄上覆膜,每垄两侧各耩播一行谷子;全膜双垄沟播种植 110 cm 为一带幅,分为大小双垄,大垄宽 70 cm,高 10 cm,小垄宽 40 cm,高 15 cm,全地面覆膜,每垄两侧各耩播一行谷子;全膜平铺穴播种植全地面覆膜,采用穴播机穴播种植谷子;全膜平铺沟播种植采用开沟耩播谷子,全地面覆膜;以露地沟播为 CK,采用开沟耩播方式种植谷子。试验中薄膜厚 0.007 mm,试验留苗密度 3 万株·667m⁻²。

1.3 数据采集与分析

1.3.1 生长量和生长速度测定 分别在苗期(6 月 6 日)、抽穗期(7 月 24 日)、成熟期(9 月 22 日)采样 10 株测定地上部分鲜重,然后在烘箱 105℃杀青 15 min,80℃烘干至质量恒定,称干物质质量。计算不同生育期谷子的生长量 WR(g·株⁻¹)和生长速率

AGR(g·株⁻¹·d⁻¹)^[15-16]。

$$WR = \frac{W_{i+1} - W_i}{N}$$

$$AGR = \frac{W_{i+1} - W_i}{T_{i+1} + T_i}$$

式中, N 为测定样本植株数量(个); W_{i+1} 、 W_i 分别为 T_{i+1} 、 T_i 时期的生物量(g)。

1.3.2 光合生理指标测定 在试验抽穗期用 Li-6400 便携式光合仪测定不同模式下的谷子净光合速率,从早上 7:00 开始,分别在 7:00、9:00、11:00、13:00、15:00、17:00 测定不同处理旗叶叶片的净光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r),每次测定 3 株,每株测定 3 次,结果取平均值。计算各时段叶片水分利用效率(WUE)^[17-18]。

$$WUE = \frac{P_n}{T_r}$$

1.3.3 地温 在苗期、抽穗期、成熟期测定不同模式下土壤深度 5、10、15、20、25 cm 下的地温日变化,从早上 7:00 开始,20:00 结束,每一小时测定一次。

1.3.4 土壤含水量 采用烘干法测定苗期、抽穗期、成熟期土壤深度 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 的含水量。

1.3.5 经济性状及产量 参考《谷子种质资源描述规范和数据标准》^[19]进行考种,产量为小区实测值。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖种植方式对主要经济性状的影响

由表 1 可以看出,与露地沟播种植相比,地膜种植方式株高增高 7.3~23.5 cm,穗长增长 0.5~4 cm,单穗重增重 0.5~8.8 g,穗粒重增加 1.4~8.6 g,株草重增加 1.3~4.0 g,千粒重增加 0.27~0.43 g。产量结果显示地膜覆盖种植方式产量 3 429.00~4 233.60 kg·hm⁻²,比露地沟播种植方式增产 30.87%~61.57%。

进一步方差分析显示,垄膜覆盖沟播种植方式、全膜双垄沟播种植方式与露地沟播种植方式产量差异显著,表明地膜覆盖栽培比露地常规种植具有明显的增产增收效果。在地膜覆盖种植方式中,以垄膜覆盖沟播种植方式产量最高,比露地沟播种植方式增产 61.57%。

2.2 不同覆盖种植方式对地温的影响

由表 2 可以看出,苗期耕层全膜覆盖种植方式的地温比露地高 2.04℃~2.97℃,垄膜覆盖种植方式比露地沟播种植方式高 0.09℃;抽穗期耕层地温全膜覆盖种植方式比露地沟播种植方式高 0.26℃

~0.67℃, 垄膜覆盖种植方式耕层平均地温较露地沟播种植方式高 0.3℃; 成熟期耕层全膜覆盖种植方式的地温比露地沟播种植方式高 0.29℃ ~ 0.43℃, 垄膜覆盖种植方式比露地沟播种植方式高 0.29℃。

从整个生育期间来看地膜覆盖种植在谷子整个生育期对耕层地温提高均有一定作用, 尤其是全膜覆盖种植方式, 提升地温显著; 分阶段来看, 地膜覆盖在苗期对地温提高效果最大, 全膜覆盖种植方式最大能提高地温 2.97℃。

表 1 不同覆盖种植方式对经济性状的影响

Table 1 Effect of different mulching patterns on economic traits

处理 Treatments	株高 Plant height /cm	穗粗 Spike diameter /cm	穗长 Spike length /cm	单穗重 Weight per spike /g	穗粒重 Grain weight per spike /g	株草重 Straw weight per plant /g	千粒重 1000-grain weight /g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
露地沟播 NM	125.8	2.34	24.1	13.4	9.8	15.4	3.60	2620.20
垄膜覆盖沟播 RFFS	144.6	2.49	24.6	19.0	15.8	16.7	3.87	4233.60*
全膜平铺沟播 FFFS	133.1	2.40	26.1	13.9	11.7	18.4	3.90	3429.00
全膜平铺穴播 FFBP	149.3	2.84	28.1	21.5	17.5	19.4	3.91	3791.25
全膜双垄沟播 FFDRF	148.8	2.78	27.3	22.2	18.4	18.7	4.03	4218.00*

注: * 表明该模式在 0.05 水平下与露地沟播间差异显著。

Note: * Indicates the difference at 0.05 significance level compared with NM.

表 2 不同覆盖种植方式耕层平均地温(0~25 cm)

Table 2 The average ground temperature under different mulching patterns

处理 Treatments	苗期 Seedling stage	抽穗期 Heading stage	成熟期 Maturity stage
露地沟播 NM	25.21	22.22	16.63
垄膜覆盖沟播 RFFS	25.32	22.50	16.92
全膜平铺沟播 FFFS	27.63	22.89	16.92
全膜平铺穴播 FFBP	28.18	22.48	17.06
全膜双垄沟播 FFDRF	27.25	22.63	16.97
标准差 SD	1.37	0.24	0.16

覆盖种植方式中垄膜覆盖种植方式较全膜覆盖种植方式低 0.4% ~ 0.7%; 抽穗期 0~60 cm 地膜覆盖种植方式比露地沟播种植方式含水量高 0.2% ~ 2.7%, 不同地膜覆盖种植方式中起垄覆盖(垄膜覆盖沟播、全膜双垄沟播)种植方式均高于平铺覆盖种植方式(全膜平铺沟播、全膜平铺穴播); 成熟期 0~60 cm 土壤含水量地膜覆盖种植方式比露地沟播种植方式高 2.5% ~ 3.0%, 不同覆膜种植方式中起垄覆盖(垄膜覆盖沟播、全膜双垄沟播)种植方式均高于平铺覆膜种植方式(全膜平铺沟播、全膜平铺穴播)。

各种覆膜种植方式对集雨保墒效果显著。地膜覆盖种植方式中起垄有利于集雨, 在后期降雨较多时, 同一深度起垄覆膜种植方式土壤含水量明显高于平铺种植方式。

2.3 不同覆盖种植方式对土壤含水量的影响

由表 3 可以看出, 苗期 0~60 cm 土壤含水量地膜覆盖种植方式比露地高 0.9% ~ 1.6%, 不同地膜

表 3 不同覆盖种植方式土壤含水量/%

Table 3 The average moisture content under different mulching patterns

处理 Treatments	苗期 Seedling stage			抽穗期 Heading stage			成熟期 Maturity stage		
	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm
露地沟播 NM	13.1	17.6	18.4	5.8	8.1	14.3	5.1	7.1	10.8
垄膜覆盖沟播 RFFS	15.2	16.5	20.1	6.8	10.7	18.9	5.1	9.8	17.2
全膜平铺沟播 FFFS	15.4	17.4	20.3	6.0	8.1	15.8	5.4	9.4	16.7
全膜平铺穴播 FFBP	15.8	17.4	20.8	6.2	8.4	14.2	6.1	9.5	14.9
全膜双垄沟播 FFDRF	15.3	17.5	21.2	6.9	9.7	16.1	5.6	9.7	16.4

2.4 不同覆盖种植方式对谷子生长量和生长速度的影响

由表 4 可以得, 苗期谷子地上部分生长量地膜覆盖种植方式比露地沟播种植方式高 0.045 ~ 0.198 g·株⁻¹; 抽穗期谷子地上部分生长量地膜覆盖种植

方式比露地沟播种植方式高 2.571 ~ 4.055 g·株⁻¹; 成熟期地膜覆盖种植方式比露地沟播种植方式生长量高 4.203 ~ 5.197 g·株⁻¹。苗期至抽穗期生长速度地膜覆盖方式高出露地沟播种植方式 23.1% ~ 38.4%, 抽穗期至成熟期谷子生长速度地膜覆盖种

植方式较露地沟播种植方式高出 12.5% ~ 45.5%, 播种植方式高 28.7% ~ 35.5%。
苗期至成熟期生长速度地膜覆盖种植方式较露地沟

表 4 不同地膜覆盖种植方式对谷子生长量和生长速度的影响

Table 4 Effects of different mulching patterns on growth amount and growth rate of millet

处理 Treatments	生长量 Growth amount/(g·株 ⁻¹)			生长速度 Growth rate/(g·株 ⁻¹ ·d ⁻¹)		
	苗期 Seedling stage	抽穗期 Heading stage	成熟期 Maturity stage	苗期至抽穗期 Seedling to heading	抽穗期至成熟期 Heading to maturity	苗期至成熟期 Seedling to maturity
露地沟播 NM	0.168	10.575	14.264	0.217	0.061	0.131
垄膜覆盖沟播 RFFS	0.213	14.116	18.920	0.290	0.080	0.173
全膜平铺沟播 FFFS	0.331	13.146	18.467	0.267	0.089	0.168
全膜平铺穴播 FFBP	0.366	14.094	19.461	0.286	0.089	0.177
全膜双垄沟播 FFDRF	0.231	14.630	18.779	0.300	0.069	0.172

地膜覆盖种植在苗期、抽穗期、成熟期地上部分增长量明显,生长速度比露地加快显著。表明地膜覆盖前期提高了地温和耕层土壤水分,为谷子出苗和营养生长提供了良好的条件,有利于早生快发,培育全苗、壮苗和壮株。

方式比露地沟播种植方式高 9.8% ~ 28.5%,蒸腾速率比露地沟播种植方式高 2.9% ~ 14.0%;水分利用效率比露地提高 3.0% ~ 18.1%。抽穗期净光合速率和产量相关系数为 0.98(图 1),水分利用效率与产量之间的相关系数为 0.92(图 2),二者与产量的相关性均达到显著水平。地膜覆盖方式有效提高了谷子光合效率,有利于光合物质积累,培育大穗饱满粒,为高产奠定了基础。

2.5 不同地膜覆盖种植方式对谷子抽穗期光合指标的影响

由表 5 可得,抽穗期净光合速率地膜覆盖种植

表 5 不同覆盖种植方式对抽穗期光合指标的影响

Table 5 Effects of different mulching patterns on photosynthetic indexes at heading stage of millet

处理 Treatments	净光合速率 Pn /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率 Tr /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	水分利用效率 WUE /($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)	产量 Yield /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
露地沟播 NM	15.07	4.48	3.70	2620.20
垄膜覆盖沟播 RFFS	19.36	5.11	4.17	4233.60
全膜平铺沟播 FFFS	16.55	4.61	3.81	3429.00
全膜平铺穴播 FFBP	18.35	4.62	4.06	3791.25
全膜双垄沟播 FFDRF	18.84	4.88	4.37	4218.00

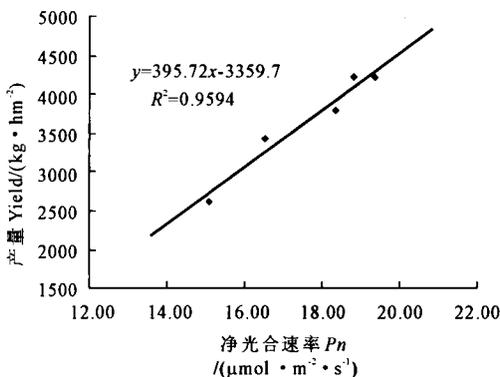


图 1 净光合速率和产量的关系

Fig.1 Relationship between photosynthetic rate and yield

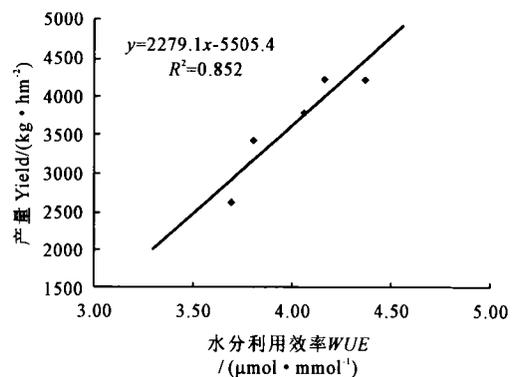


图 2 水分利用效率和产量的关系

Fig.2 Relationship between water use efficiency and yield

3 讨论

张德奇等^[14]研究表明谷子地膜覆膜种植方式的日平均水分利用效率低于露地种植方式。本试验

中地膜覆盖通过提升地温、土壤含水量,提高了谷子光合效率、水分利用率。地膜覆盖种植方式提高了谷子生长速度,加速了干物质积累,单穗重、穗粒重、谷草、产量等经济性性状提高明显。尤其是产量相比

露地增产明显,垄膜覆盖沟播种植方式最高增产达到 61.57%。

地膜覆盖种植方式相对露地种植技术对耕层地温提升、保墒集雨作用明显^[8-9]。不同覆膜种植方式中全膜覆盖种植方式对地温提升作用最大,最大能提升地温 2.97℃;而起垄覆盖种植方式对集雨保墒较其它覆膜种植方式效果明显,在后期降雨较多时,同一深度土壤含水量明显高于其它种植方式。

在谷子生产中大力推广地膜覆盖技术,能较大程度提高谷子生产水平,经济效益明显。不同模式中地膜平铺技术增温、保墒效果明显,但不利于接纳雨水;全膜沟播技术放苗费事费工,效益提高不明显;而垄膜覆盖沟播技术增温、保墒、集雨综合效果明显,相对其它模式增产显著,有较大的推广前景。

参考文献:

- [1] 中国农用塑料应用技术学会. 新编地膜覆盖栽培技术大全 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1-20.
- [2] 赵荣华, 黄明镜, 李 萍. 旱地谷子休耕期地膜覆盖垄作效应研究 [J]. 生态农业研究, 1998, 6(3): 30-32.
- [3] 杨天育, 何继红. 谷子地膜覆盖栽培研究成效及应用前景 [J]. 国外农学 - 杂粮作物, 1999, 19(4): 39-41.
- [4] 蒋 俊, 王俊鹏, 贾志宽. 宁南旱地谷子地膜穴栽培试验初报 [J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 31-36.
- [5] 古世禄, 马建萍, 郭志利, 等. 提高谷子水分利用效率的研究 [J]. 生态农业研究, 1999, 7(41): 30-33.
- [6] 张德奇, 廖允成, 贾志宽, 等. 宁南旱区谷子集水保水技术效应

研究 [J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 51-53.

- [7] 王海林, 张桂英, 张素珍. 旱地谷子地膜覆盖高产栽培技术 [J]. 山西水土保持科技, 2006, 2: 19-20.
- [8] 杨红梅, 石 龙, 王建共. 春谷子地膜覆盖栽培试验研究 [J]. 山西农业科学, 2008, 36(1): 70-72.
- [9] 郭志利, 古世禄. 覆膜栽培方式对谷子(粟)产量及效益的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 33-39.
- [10] 金胜利. 旱地谷子不同覆膜栽培模式试验结果初报 [J]. 甘肃农业科技, 2004, 11: 23-24.
- [11] 李 兴, 史海滨, 程满金, 等. 集雨补灌区谷子种植方式对产量及水分利用效率的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(2): 106-109.
- [12] 张德奇, 廖允成, 贾志宽, 等. 宁南旱区谷子地膜覆盖的土壤水温效应 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(10): 2069-2075.
- [13] 李永平, 刘世新, 贾志宽, 等. 垄沟集水种植对土壤有效蓄水量及谷子生长、光合特性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(10): 163-167.
- [14] 张德奇, 廖允成, 贾志宽, 等. 旱地谷子集水保水技术的生理生态效应 [J]. 作物学报, 2006, 32(5): 738-742.
- [15] 李永平, 贾志宽, 刘世新, 等. 宁南山区旱地苜蓿垄沟集水种植生物群体生长特征及其水分利用效率 [J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 199-202.
- [16] 方 锋, 黄占斌. 黄土丘陵区大垄沟优化措施对玉米生理特性的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 31-35.
- [17] Fischer R A, Turner N C. Plant production in the arid and semiarid zones [J]. Annu Rev Plant Phys, 1978, 29: 277-317.
- [18] Powle S B. Photoinhibition of photosynthesis is induced by visible light [J]. Rev Plant Physiol, 1984, 35: 15-44.
- [19] 陆 平. 谷子种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

(上接第 30 页)

- [3] 池宝亮. 旱地保水与种植一体化模式及提高 WUE 机制分析 [D]. 北京: 中国农业大学, 2004: 113-115.
- [4] 徐成忠, 孔晓民, 杨洪宾, 等. 垄作栽培对夏玉米生长发育及主要产量性状的影响研究 [J]. 玉米科学, 2006, 14(5): 104-106.
- [5] 任小龙, 贾志宽, 陈小莉, 等. 模拟不同雨量下沟垄集雨种植对春玉米生产力的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1006-1015.
- [6] 任小龙, 贾志宽, 陈小莉, 等. 模拟降雨量条件下沟垄集雨种植对土壤养分分布及夏玉米根系生长的影响 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 94-99.
- [7] 王自奎, 吴普特, 赵西宁, 等. 模拟垄沟灌溉土壤水分入渗特性试验研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2001, 29(3): 24-29.
- [8] 李永平, 秦爱红, 穆兰海, 等. 旱坡地截流蓄水种植沟耕作技术及其水肥效益研究 [J]. 水土保持通报, 1997, 17(5): 1-6.
- [9] 李永平, 贾志宽, 刘世新, 等. 旱作农田微集水种植产流蓄墒扩渗特征研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 86-90.
- [10] 吴 楚, 范志强, 王政权. 磷胁迫对水曲柳幼苗叶绿素合成、光合作和生物量分配格局的影响 [J]. 应用生态学报, 2004, 15

(6): 935-940.

- [11] 池宝亮, 马步洲. 山西旱地农业的经验与发展 [J]. 河北农业大学学报, 1999, (增): 50-53.
- [12] 丁瑞霞, 贾志宽, 韩清芳, 等. 宁南旱区微集水种植条件下谷子边际效应和生理特性的响应 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(3): 494-501.
- [13] 董 钻, 沈秀瑛. 作物栽培学总论 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 42-44.
- [14] Thomas W Jurik, Kyujung Van. Microenvironment of a corn-soybean-oat strip intercrop system [J]. Field Crops Research, 2004, 90: 335-349.
- [15] 徐成忠, 孔晓民, 王 超, 等. 垄作栽培对夏玉米根系和叶片生长发育及产量性状的影响研究 [J]. 玉米科学, 2008, 16(1): 101-103.
- [16] 王同朝, 卫 丽, 王 燕, 等. 垄作覆盖对夏玉米产量及生长相关生理参数的影响 [J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 109-113.