

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

李永平¹, 刘世新¹, 贾志宽², 聂俊峰², 曹秀霞¹, 李明芳¹

(1 固原市农业科学研究所, 宁夏 固原 756000; 2 西北农林科技大学 干旱半干旱研究中心, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 以谷子为供试材料, 在半干旱偏旱区研究了不同垄沟集水带型对土壤有效蓄水量、不同生育阶段生长量、生长速率和植株光合系统各特征值的影响。结果表明, 垄沟集水种植方式蓄水作用效果明显, 其中以垄沟比 60 : 60 带型效果最好; 谷子垄沟集水种植主要经济性状指标值均较露地种植对照(CK)高, 平均穗长、小穗数和穗粒重分别较对照增加 3.9 ~ 5.4 cm、9.8 ~ 16.8 个和 5.20 ~ 5.25 g; 垄沟集水种植谷子的叶片光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(R_s)和水分生产效率(WUE)值分别较露地种植(CK)提高 31.83%、42.62%、24.50%和 9.6%。

[关键词] 旱地谷子; 垄沟集水; 蓄水量; 生长量; 光合特性

[中图分类号] S352.5⁺4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)10-0163-05

Effects of water retaining planting technique under ridge and ditch micro-collection on growth, photosynthetic rate and transpiration rate of dry-land foxtail millet

LI Yong-ping¹, LIU Shi-xin¹, JIA Zhi-kuan², NIE Jun-feng², CAO Xiu-xia¹, LI Ming-fang¹

(1 Institute of Agricultural Sciences of Gu Yuan City, Guyuan, Ningxia 756000, China;

2 Research Center of Agriculture in the Arid and Semiarid Areas, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effects of different ridge and ditch micro-collection strip on soil moisture, growth increment, growth rate and parameters of photosynthesis of foxtail millet were investigated in semi-arid areas. The results showed that there were obvious effects observed on the water amount stored in cropland by the furrow micro collection compared with normal ground planting (CK). Among those, the optimal ridge and furrow ratio was 60 : 60; the growth amount of single plant was increased by 46.7% compared with normal ground planting; the leaf photosynthesis (P_n), transpiration rate (T_r) and stomata conductance (R_s) of plants were increased by 31.83%, 42.62% and 24.50% than the ground planting (CK), respectively.

Key words: dry-land millet; micro-collection; rainwater storage; growth; photosynthetic characteristic

干旱是制约旱地农业持续发展的主要因子, 如何采取有效的耕作方法和蓄水保墒措施, 增加土壤水库有效蓄水量, 协调水肥关系, 提高水分生产效率, 一直是旱作农业研究的重要内容^[1-5]。垄沟集水

种植是在总结各种蓄水抗旱增产经验的基础上, 形成的一项非常有效的集水抗旱节水种植技术。其技术要点是对旱作农田通过人工或机械作业构筑沟、垄相间的集水种植带, 实行垄上覆盖地膜(产流区),

收稿日期] 2006-08-21

[基金项目] 国家科技支撑项目(2006BAD29B03); 宁夏科技攻关项目(200602-09)

[作者简介] 李永平(1955-), 男, 宁夏固原人, 研究员, 主要从事旱作农业及降水资源高效利用研究。E-mail: nxgylyp@163.com

沟内种植作物(水分入渗区),对自然降水量实行时间与空间的有效调控,提高雨水利用效率,以达到最大限度地蓄积雨水、改善土壤水分生态环境和提高水分生产效率之目的。因此,探索不同垄沟集水带型在不同降水量下对土壤有效蓄水量及作物生长发育的影响机理,对完善集水农业的理论和实践具有重要意义。本研究以谷子为试验材料,通过不同带型垄沟集水种植试验,对不同带型的蓄水效果、生物学产量、经济学产量等指标进行综合比较分析,以期筛选出垄沟集水种植最佳的种植带型,为旱地农业的粮食增产、增效和垄沟集水技术的推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2003~2005 年在宁夏海原县贾塘乡旱农试验区进行,该区属西北黄土高原丘陵沟壑区的宁夏南部半干旱区 区偏旱区。该区土壤质地为黄绵土,肥力中等,多年平均降水量为 364.9 mm,年平均气温 6.8℃。2003,2004 和 2005 年降水量分别为 343.9,247.6 和 380.0 mm,其中 2004 年为大旱年份。

试验采取随机区组设计,种植作物为谷子(品种为大同 14 号),依垄沟集水带型进行垄膜(薄膜厚 0.007 mm)沟植,其垄沟集水带型比分别为 60 90(单位为 cm,沟内种植 6 行)、60 60(单位为 cm,沟内种植 4 行)、40 40(单位为 cm,沟内种植 2 行),以不起垄不覆膜的露地种植为对照(CK)。人工平地起垄,使地面呈沟、垄相间状态,垄高 15~20 cm。将垄面降水集中于沟内,使降水在种植沟内产生水分叠加作用。所有试验处理施肥量完全一致,施纯 N 120 kg/hm²,纯 P₂O₅ 60 kg/hm²,均集中施于沟内,翻入土中。试验重复 3 次,定苗密度为 30~35 万株/hm²。

1.2 测定的主要项目及方法

1.2.1 土壤水分参数 (1)采用土钻法测定土壤含水量。正常生育期观测深度为 200 cm,其中 0~20 cm 土层每 10 cm 取 1 个土样,20~200 cm 土层每 20 cm 取 1 个土样。根据当地气象预报,在降雨前和降雨后分别定位测定垄沟集水种植和露地种植(CK)区土壤含水量,其中垄沟集水种植区测定沟侧行和中间行土壤含水量,计算平均值。(2)在降水前、后测定土壤含水量,计算本次降水量条件下土壤有效蓄水量(W), $W = W_{t_2} - W_{t_1}$ 。式中: W_{t_1} 为降

水前一定时间内土层贮水量(mm); W_{t_2} 为降水后一定时间内土层蓄水量(mm)。

1.2.2 作物生长量 在谷子生育期,选择垄沟集水带型 60 60 与露地种植(CK)2 种处理,测定植株干物质生长量和生长速度,每处理测 15 株,结果取平均值。计算不同生育期谷子的生长量 WR(g/株)和生长速率 AGR(g/(株·d))^[67]。 $WR = (W_{i+1} - W_i) / N$; $AGR = (W_{i+1} - W_i) / (T_{i+1} - T_i)$ 。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)。

1.2.3 光合指标 在谷子抽穗期选择天气晴朗的日子(本试验选 7 月 24 日),于 8:00~18:00 用 Li-6400 便携式自动化光合仪测定不同处理旗叶叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Rs)和蒸腾速率(Tr)等光合特指标。每隔 2 h 定株测 1 次,每次每处理测 3 株,每株测 3 次,结果取平均值。计算各光合时段叶片水分生产效率(WUE), $WUE = Pn / Tr$ 。

1.3 数据分析

采用 SAS 统计分析软件对试验数据进行相关分析与 One-Way ANOVA 方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同垄沟集水带型对土壤蓄水作用的影响

在作物生长期,测定不同降水量条件下不同垄沟集水带型在降水前和降水后的土壤蓄水量^[2-4,6,8-9],结果见表 1。由表 1 可知:(1)半干旱偏旱区旱地,在降水量相同条件下,从产流蓄水保墒效果、生物学产量和经济产量等方面综合比较,垄沟集水种植以 60 60 最好,其次为 40 40,最后为 60 90,露地种植(CK)蓄水效果最差。如降水量为 7.6~10.4 mm,降水后垄沟集水种植沟土壤有效蓄水量为 4.6~8.6 mm,较露地种植(CK)提高 31.43%~86.96%;当降水量为 17.0~19.8 mm,降水后垄沟集水种植土壤有效蓄水量为 12.5~16.6 mm,较对照提高 30.21%~67.68%;降水量为 28.4~34.7 mm,降水后土壤有效蓄水量为 21.0~28.3 mm,较对照提高 35.48%~71.52%;降水量达 48.5 mm 时,垄沟集水种植土壤有效蓄水量达到 36.2~39.3 mm,较对照提高 33.09%~44.49%。(2)降水量为 7.6~10.4 mm 时,垄沟比为 60 60 和 40 40 两种集水带型蓄水效果较好,较露地种植(CK)蓄水率提高了 77.14%~86.96%。(3)当降水量达 48.5 mm 时,3 种垄沟集水带型之间土壤有效蓄水量差异呈缩小趋势。

表 1 不同降水量条件下不同垄沟集水带型对土壤有效蓄水量的影响

Table 1 Effects of the different ridge and ditch micro-collection strips on soil moisture in different rainfall

降水量 Rainfall/mm	土壤有效蓄水量/mm Moisture increase				露地种植 (CK) Traditional
	垄沟比 60 90 Ridge and ditch ratio 60 90	垄沟比 60 60 Ridge and ditch ratio 60 60	垄沟比 40 40 Ridge and ditch ratio 40 40		
7.6	4.6	6.2	6.4	3.5	
10.4	7.0	8.2	8.6	4.6	
17.0	12.5	13.8	13.5	9.6	
19.8	13.1	15.6	16.6	9.9	
28.4	21.0	23.1	24.0	15.5	
34.7	24.0	28.0	28.3	16.5	
48.5	36.2	39.3	38.4	27.2	

注:蓄水量增量为每次降雨前、后分别测定垄沟侧和沟中土壤含水量的平均值。

Note: Ratios mean the average moisture of soil on the side and in the middle of ridge and ditch that was measured before and after the rainfall

对不同垄沟集水带型垄沟比与土壤有效蓄水量的方差分析由(表 2)可知,3 种集水带型的相关决定系数 R^2 为 0.9841 ~ 0.9998,垄沟比为 60 60 的 R^2 最大,可见对于半干旱区和半干旱偏旱区而言,大面积种植谷子以垄沟比 60 60 的蓄水效应最明显;各处理土壤蓄墒值变异系数为 1.06 % ~ 8.33 %,离回

归标准差为 0.203 ~ 1.560,垄沟比 60 60 集水带型的变异系数和离回归标准差最小;3 种垄沟集水带型的蓄水效果均达到极显著水平。不同垄沟集水带型的蓄水量 (w) 与降水量 (x) 的线性关系分析结果见图 1。由图 1 可看出,3 种垄沟集水带型的土壤有效蓄水量与降水量呈线性相关关系。

表 2 降水量与集水种植土壤有效蓄水量的方差分析

Table 2 Variance analysis on soil moisture in micro-collection planting and rainfall

集水带型垄沟比 Ridge and ditch ratio	R^2	土壤蓄墒值变异 系数/ % CV	离回归标准差 Standard error	F 检验值 F value	Pr > F
60 90	0.9955	4.78	0.809	1098.1	< 0.001
60 60	0.9998	1.06	0.203	6365.7	< 0.001
40 40	0.9841	8.33	1.560	309.27	< 0.001

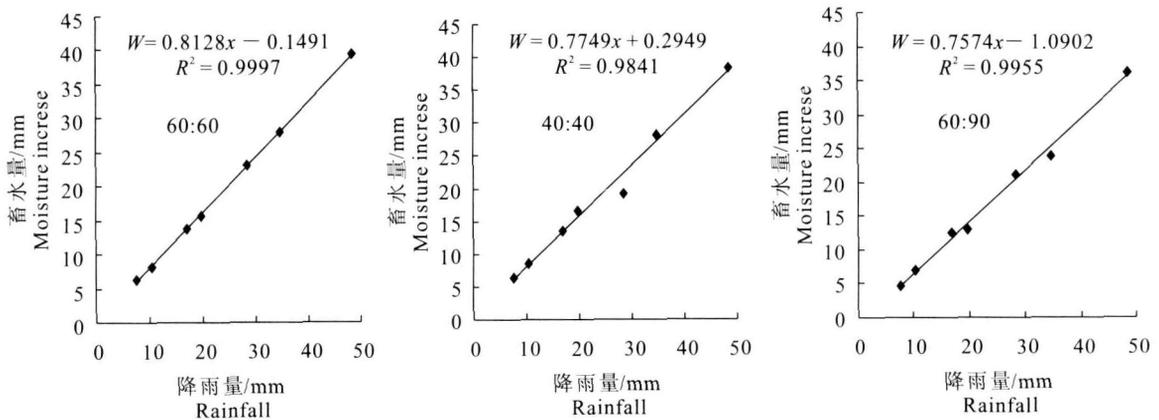


图 1 不同垄沟集水带型土壤蓄水量 (w) 与降水量 (x) 的线性分析结果

Fig. 1 Linear analysis results of soil moisture (w) of different ridge and ditch micro-collection strip and rainfall (x)

2.2 垄沟集水带型对谷子生长量 (WR) 和生长速率 (AGR) 的影响

在半干旱偏旱区,以垄沟集水种植带 60 60 为例,探讨垄沟集水种植对谷子从拔节期到成熟期植株 WR 和 AGR 的影响。从表 3 可以看出,从生育期生长量来看,谷子采用垄沟集水种植成熟期最大干物质积累量达到 22.0 g/株,较露地种植方式 15.0 g/株提

高了 46.70 %。垄沟集水种植谷子全生育期平均 WR 值为 10.58 g/株,较露地种植 (CK) 6.86 g/株提高了 54.22 %。从植株生长速度看,谷子采用垄沟集水种植,从拔节期到成熟期生长速率为 0.15 ~ 0.43 g/(株·d),露地种植生长速度为 0.10 ~ 0.31 g/(株·d),生育期垄沟集水种植平均生长速率 (AGR) 为 0.30 g/(株·d),较露地种植 (CK) 0.20 g/(株·d) 提高了 50.00 %。

表 3 垄沟集水种植对谷子生长量与生长速率的影响

Table 3 Effect of ridge and ditch micro-collection planting on foxtail millet growth and growth rate

生育期 Development course	生长量/(g·株 ⁻¹) WR		生长速率/(g·株 ⁻¹ ·d ⁻¹) AGR	
	垄沟集水种植	露地种植(CK)	垄沟集水种植	露地种植(CK)
	Micro-collection	Traditional	Micro-collection	Traditional
拔节期 Emergence	1.14	0.70	0.15	0.10
孕穗期 Booting	7.16	3.80	0.26	0.14
抽穗期 Earring	13.60	8.30	0.43	0.27
灌浆期 Grouting	19.00	13.00	0.36	0.31
成熟期 Ripening	22.00	15.00	0.28	0.19
平均 Average	10.58	6.86	0.30	0.20

注:表中垄沟集水种植数据均为垄沟集水带型比 60 60 的田间实际测定值。下表同。

Note:Data shows the micro-collection planting in this table was measured in the field with ridge and ditch micro-collection strip model of 60 60

2.3 垄沟集水种植对谷子主要经济性状的影响

以垄沟集水种植带 60 60 为例,探讨垄沟集水种植对谷子主要经济性状的影响。由表 4 可知,无论干旱年份还是正常年份,谷子垄沟集水种植主要经济性状指标均较露地种植(CK)高;在干旱年份和正常年份,垄沟集水种植谷子的株高分别达到125.5

和 133.9 cm,分别较露地种植(CK)株高 82.3 和 110.3 cm 增加了 43.2 和 23.6 cm。同时,垄沟集水种植谷子平均穗长、小穗数和穗粒重分别较露地(CK)种植方式增加了 3.9~5.4 cm,9.8~16.8 个和 5.20~5.25 g。

表 4 谷子垄沟集水种植与露地种植主要经济性状的比较

Table 4 Comparison of the major economic traits between ridge and ditch micro-collection planting and traditional planting

项目 Item	干旱年 Dry year		正常年 Normal year	
	集水种植 Micro-collection	露地种植(CK) Traditional planting	集水种植 Micro-collection	露地种植(CK) Traditional planting
株高/cm Plant height	125.5	82.3	133.9	110.3
穗长/cm Ear length	21.2	15.8	21.0	17.1
小穗数 Number spike lets	21.2	51.2	88.0	79.3
穗粒重/g Grain weightper spike	14.80	9.60	20.66	15.41
千粒重/g 1 000 - grain weight	3.62	3.21	3.89	3.52

2.4 垄沟集水种植对谷子光合指标的影响

由图 2 和图 3 可知,垄沟集水种植谷子的叶片 P_n 、 T_r 和 R_s 等光合指标均高于露地种植(CK)。其原因是,垄沟集水种植方式不仅改善了作物生长

期的土壤水分生态环境,而且改善了群体生长的通风透光条件,能够最大限度地发挥边际优势,从而提高了作物叶片光合系统的功能效率。

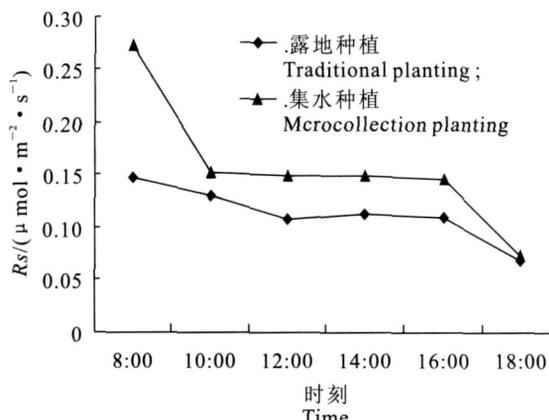
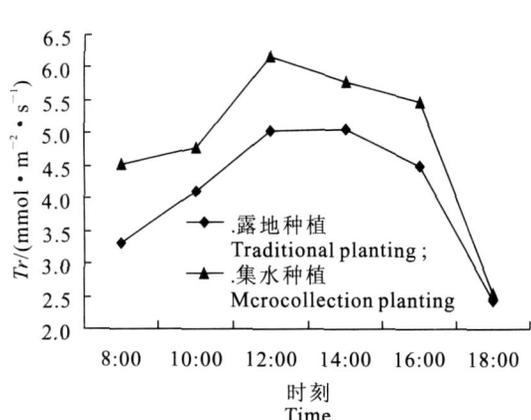


图 2 垄沟集水种植对谷子叶片蒸腾速率(T_r)和气孔导度(R_s)日变化的影响

Fig.2 Effects of different ridge and ditch micro-collection strip models on the daily variation of leaf transpiration (T_r) and stomatal conductance (R_s) of foxtail millet

从 P_n 值全天变化情况(图 3)看,有 2 个高峰和 2 个低谷,2 个峰值大致出现在上午 10:00 和下午

14:00 左右,2 个低谷值则出现在中午 12:00 和 18:00 左右。

叶片 WUE 反映了 CO₂ 同化作用和水分消耗的关系,为瞬时净 Pn 与 Tr 之比值。由图 3 可以看出,叶片 WUE 在 8:00 ~ 12:00 逐渐降低。中午 12:00 左右,由于叶片 Tr 为全天最大,Rs 最小,甚至关闭,故此时 WUE 值为全天最低时期,14:00 以后叶片 WUE 值又逐渐上升。

在对全天光合特征值进行系统测定的基础上,计算垄沟集水种植和露地种植(CK) Pn、Tr、Rs 及

叶片 WUE 日平均值^[10-11]。结果显示,垄沟集水种植 Pn 日平均值为 19.55 μmol/(m²·s⁻¹),较露地种植(CK) 14.83 μmol/(m²·s⁻¹) 提高了 31.83 %;叶片 Rs 日平均值为 0.174 μmol/(m²·s⁻¹),较露地种植(CK) 0.122 μmol/(m²·s⁻¹) 增加了 42.62 %;叶片 Tr 日平均值为 4.88 mmol/(m²·s⁻¹),较露地种植(CK) 3.92 mmol/(m²·s⁻¹) 提高了 24.50 %;叶片 WUE 日平均值为 3.78 μmol/μmol⁻¹,较露地种植(CK) 3.45 μmol/μmol⁻¹ 提高了 9.6 %。

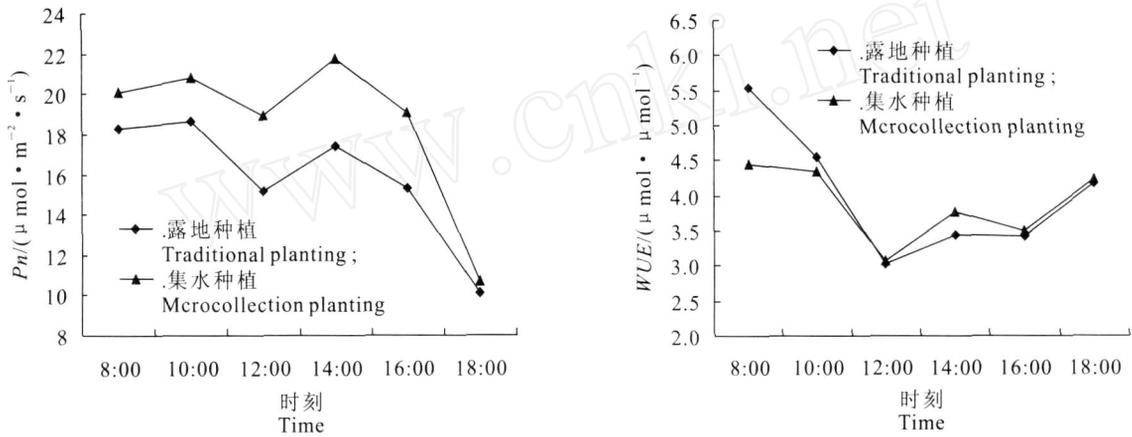


图 3 垄沟集水种植对谷子叶片光合速率 (Pn) 和水分生产效率 (WUE) 的影响

Fig. 2 Effects of different ridge and ditch micro-collection strip models on the leaf photosynthesis rate (Pn) and leaf water use efficiency (WUE) of foxtail millet

3 结论与讨论

旱作地区采取垄沟集水种植技术,确能提高土壤蓄水保墒作用,在半干旱偏旱区相同降水量条件下,垄沟集水种植产流蓄水保墒效果以带型比为 60 60 的较果最好,40 40 次之,60 90 最差。

垄沟集水种植方式能够大幅度地提高作物生长量和生长速率,无论在干旱年份和正常年份,均能够显著地改善作物生长环境,提高作物株高、穗长和穗粒重等主要经济性状指标。

垄沟集水种植方式可改善土壤水分生态环境和群体通风透光条件,能够最大限度地发挥边行优势,使光合系统功能效率显著提高。

关于不同施肥量条件下,垄沟集水种植方式对作物光合特征值的影响,尚有待于进一步研究。

[参考文献]

[1] 上官周平,彭珂珊,彭琳,等.黄土高原粮食生产与持续发展研究[M].西安:陕西人民出版社,1999.

[2] 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.

[3] 樊廷录.旱地农田微集水种植的水分生产潜力增进机理研究[J].水土保持研究,2003,10(1):99-100.

[4] 王彩绒,田霄鸿,李生秀.夏玉米沟垄覆盖集水效果及生态效应研究[J].灌溉排水学报,2004,23(3):28-30.

[5] 于亚军,李军,贾志宽,等.旱作农田水肥耦合研究进展[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):220-223.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 谢小玉,王龙昌.黄土高原发展集水农业的意义及技术途径[J].耕作与栽培,1999,5:4-5.

[9] 李小雁,张瑞玲.旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究[J].水土保持学报,2005,19(2):45-52.

[10] 于亚军,李军,贾志宽,等.不同水肥条件对宁南旱地谷子产量、WUE 及光合特性的影响[J].水土保持研究,2006,13(2):87-90.

[11] 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.