

模拟降雨量下微集水种植对玉米光合速率及水分利用效率的影响

韩 娟, 贾志宽, 任小龙, 韩清芳, 丁瑞霞

(西北农林科技大学农学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 利用人工模拟降雨装置, 设置平作和垄作两种种植方式, 以平作为对照组, 研究了玉米在垄沟集雨下光合特性和水分利用效率的变化。结果表明, 在 230 mm、340 mm 的降雨量下, 沟垄集雨种植玉米的光合速率显著高于对照组, 分别提高了 41.1% 和 10.5%, 在 440 mm 的降雨量下, 两者的差异不显著; 在 3 个雨量下, 沟垄集雨种植玉米的叶片瞬时水分利用效率比对照组均有提高, 分别提高了 20.5%、18.9% 和 10.7%; 沟垄集雨种植玉米和对照组的光合速率日变化均呈“单峰型”曲线, 对照组水分利用效率在 230 mm、340 mm 降雨量下呈“单峰型”曲线, 在 440 mm 降雨量下呈现逐渐下降的趋势, 沟垄集雨种植的玉米水分利用效率均呈“单峰型”曲线。

关键词: 集雨种植; 光合速率; 水分利用效率; 夏玉米

中图分类号: S513.048 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0081-05

玉米是我国北方大面积种植的作物, 对水分状况反应较为敏感, 在其生长期极易出现由于干旱引起的水分胁迫。一般认为水分亏缺可降低光合作用、叶面积, 并使光合产物分配格局改变^[1~2]。大量的研究表明, 作物在遭受水分胁迫后, 其光合速率、蒸腾速率、气孔导度和叶水势下降, 细胞液浓度升高^[3~11], 使作物的经济产量受到影响。

农田微集水种植技术是农田起垄覆膜沟内集雨种植的旱地高效栽培方式, 适用于缺乏径流源或远离产流区的旱平地 and 缓坡旱地。许多研究表明, 农田微集水种植技术能够充分利用当季降雨, 提高水分利用效率, 显著提高作物产量^[12~13]。宁南国家旱农试区, 垄沟种植比平作对照水分利用效率高出 5.74 kg/(mm·hm²) (1997 年), 8.73 kg/(mm·hm²) (1998 年)^[14]。胡希远研究表明, 同一带宽的膜垄比土垄水分利用率高 1.14~1.7 kg/(mm·hm²)^[15]。

本试验在防雨棚中设置不同的降雨量处理, 研究不同雨量下平作和沟垄种植方式对夏玉米光合特性、叶片水分利用效率的影响, 以期旱地玉米的微集水种植技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2006 年 6 月至 11 月在陕西杨凌头道塬

西北农林科技大学农作一站防雨棚内进行, 棚高 3 m, 呈“人”字型, 棚顶用透光塑材覆盖, 棚侧通风。该地年蒸发量为 993.2 mm, 平均降雨量为 550 mm, 干旱指数为 1.3~1.59, 海拔 466.7 m; 年均气温 12.9℃, 极端最高气温 42℃, 极端最低气温 -19.4℃, 年均日照时数为 2 196 h, 无霜期 220 d, 光照充足, 属暖温带半湿润偏旱型气候。供试土壤为壤土, 耕层(0~30 cm) 土壤有机质 11.97 g/kg, 全氮 1.31 g/kg, 全磷 0.83 g/kg, 全钾 6.18 g/kg, 速效氮 53.12 mg/kg, 速效磷 22.34 mg/kg, 速效钾 97.37 mg/kg, pH 值 7.59, 容重 1.25 g/cm³。

1.2 试验设计

1.2.1 试验方案 人工降雨装置由供水和降雨系统两部分组成, 供水系统由 1 台潜水泵、2 根外接水管(上水管和余水排出管)以及备用储水水箱组成。降雨系统为底部密布(每 2 cm×2 cm 一枚)9 号医用注射针头的铁皮水箱及可拆卸式水箱支架组成, 水箱底部降雨面积为 2 m×1 m, 高度为 0.1 m, 支架高度为 2 m, 各小区两侧铺设移动轨道(高度 0.05 m), 雨滴降落高度大于 2 m, 雨强为 30~40 mm/h。为了缩短各小区降雨的时间差, 降雨时两台装置同时进行。

玉米全生育期总降雨量的确定参考中国北方半干旱区多年降雨量及时空分布特点, 设定为大、中、

收稿日期: 2007-04-20
基金项目: “十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAD29B03)
作者简介: 韩 娟(1979—), 女, 新疆伊犁人, 助教, 在读硕士生, 从事旱地农业方面的研究。E-mail: hjepest@163.com。
通讯作者: 贾志宽, E-mail: zhikuan@tom.com。

小(440 mm、340 mm、230 mm)3 个雨量范围,各次的雨量范围定为 5~50 mm,即最小为 5 mm,最大不超过 50 mm;降雨时间间隔最短不短于 5 d,最长不超过 15 d;降雨次数为全生育期 12 次。

供试作物玉米品种为户单 9 号,前作为冬小麦,麦收后整地时,施用优质农家肥和磷酸氢二铵作为底肥,分别以 $2\times 10^4\text{ kg/hm}^2$ 和 500 kg/hm^2 撒播施入,供试玉米于 6 月 10 日播种,为了保证出苗,采用坐水点种,每穴先浇水 1 000 ml,播种 2 粒,播深 5 cm 左右,整个生育过程中不施追肥,及时除草、防虫,为避免土壤产生板结,每次降雨后及时松土。

试验设平作(F1)和垄作(F2)两种种植方式,降雨量设 3 个水平:230 mm、340 mm 和 440 mm,重复 3 次。田间试验中各种植小区面积为 $10\text{ m}^2(2\text{ m}\times 5\text{ m})$;垄作小区 3 沟 4 垄,沟垄比为 1:1,垄、沟宽均为 60 cm,垄上覆盖 0.08 mm 的塑料薄膜,产流区(垄)面积为 $1.2\text{ m}^2(2\text{ m}\times 0.6\text{ m})$,垄高 15 cm,沟中种植玉米。平作与垄作玉米的株距均为 30 cm,行距为 60 cm,各种植小区的单株数为 42 株,小区边行作为保护行。为了防止小区水分互渗,各小区边缘有埋深 2 m 的塑料膜。

1.2.2 测定方法 在玉米生长拔节期选择晴朗天气,从每个小区中随机选取 5 株玉米的第一片完全展开叶,以后用棒三叶,采用 Li-6400 型便携式光合作用测定仪(美国 LI-COR 公司生产)测定各处理叶片的光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度

(G_s)、气温(T_a)、叶温(T_l)、光合有效辐射(Par)和胞间浓度(C_i)等光合指标,从早上 8:00 开始测定,至 18:00 结束,每隔 2 h 测定一次,共测定 6 次。
1.2.3 数据分析 试验数据采用 Excel 软件进行统计分析,用 SAS 软件采用配对样本 t 检验对各个生理指标进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 沟垄集雨对玉米净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的影响

对不同种植方式下玉米叶片光合作用的测定结果表明:在 230 mm 的降雨量下,光合速率(P_n)和蒸腾速率(T_r)平作(F1)与垄作(F2)存在显著性差异,表现为 $F1<F2$,F1 与 F2 的 WUE 也存在显著性差异,表现为 $F1<F2$,F2 的 WUE 比 F1 提高了 20.5%;在 340 mm 的降雨量下,F1 与 F2 的 P_n 存在显著性差异,表现为 $F1<F2$,而 T_r 之间无显著性差异,F1 与 F2 的 WUE 存在显著性差异,表现为 $F1<F2$,F2 的 WUE 比 F1 提高了 18.9%;在 440 mm 的降雨量下, P_n 、WUE F1 与 F2 之间无显著性差异,F2 的 WUE 比 F1 提高了 10.7%。在 230 mm、340 mm 的降雨量下,垄作能明显提高玉米的净光合效率和水分利用效率,其内在的潜能得到了充分的发挥;在 440 mm 降雨量下,垄作也能提高玉米的水分利用效率,但较平作差异不明显。

表 1 垄沟集雨对玉米光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的影响(拔节期)

Table 1 Effects of RFPRH on summer corn P_n , T_r , WUE, G_s and C_i in different rainfall (jointing stage)

处理 Treatments		光合速率 P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	蒸腾速率 T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	水分利用效率 WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	气孔导度 G_s [$\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]	胞间浓度 C_i ($\mu\text{mol}/\text{L}$)
230 mm	F2	24.83 a	7.69 a	3.18 _a	0.31 _a	185.67 _a
	F1	17.60 b	6.56 b	2.68 _b	0.17 _b	112.5 _b
340 mm	F2	27.37 a	7.06 a	3.87 _a	0.21 _a	103.83 _a
	F1	24.77 b	7.57 a	3.28 _b	0.25 _a	150.67 _b
440 mm	F2	28.97 _a	8.62 _a	3.36 _a	0.36 _a	175.67 _a
	F1	27.93 _a	8.95 _a	3.12 _a	0.29 _b	151.67 _a

注: t 检验,不同字母表示 $\alpha=0.05$ 水平差异显著。
Note: The different letters showed there were significant differences at 5% level based on t test.

2.2 沟垄集雨对玉米净光合速率、蒸腾速率日变化的影响

由于影响植物光合作用的主要环境因子——光照、温度、湿度和 CO_2 体积分数等在一天中呈现明显的日变化,因此植物光合作用也呈现出日变化。由图 1、图 2 和图 3 可以看出:在 230 mm、340 mm

和 440 mm 降雨量下,F1 和 F2 的 P_n 日变化都属“单峰型”曲线,这与 C_4 植物光合特征表现一致;从 8:00 开始,随着光照强度的增大, P_n 逐渐升高,F1、F2 在中午 12:00 左右达到最大值,此后逐渐下降。

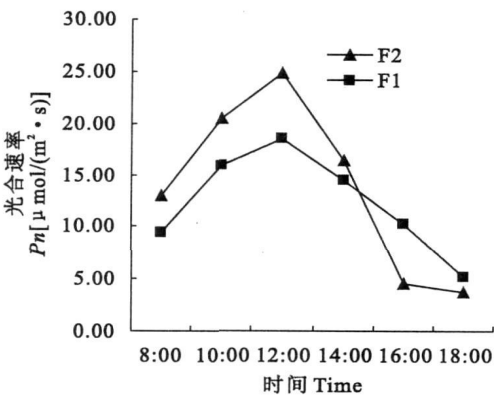


图 1 230 mm 降雨量下 P_n 日变化
Fig.1 Daily change of P_n in 230 mm rainfall

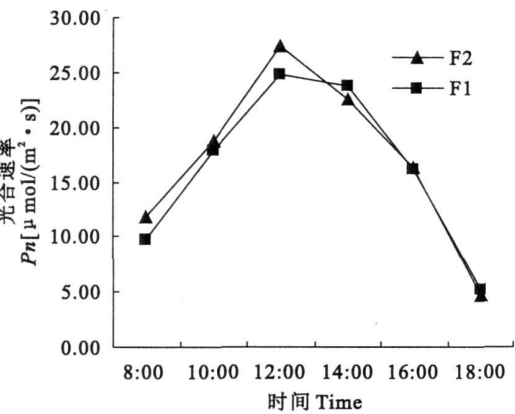


图 2 340 mm 降雨量下 P_n 日变化
Fig.2 Daily change of P_n in 340 mm rainfall

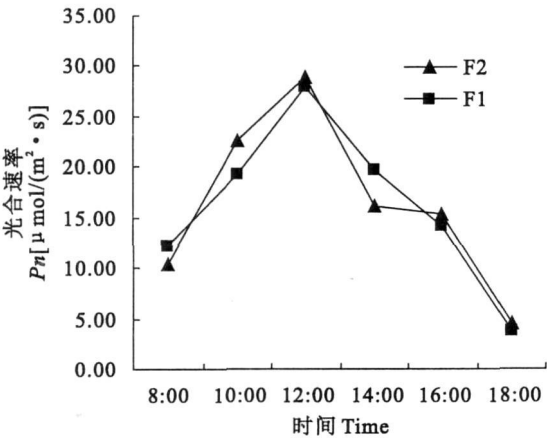


图 3 440 mm 降雨量下 P_n 日变化
Fig.3 Daily change of P_n in 440 mm rainfall

从图 4、图 5 和图 6 中可以看出:3 种不同降雨量下,F1 的 T_r 日变化均呈“单峰型”曲线,从清晨开始,随着光照强度的增大, T_r 逐渐升高,在 230 mm 和 440 mm 降雨量下,F1 的 T_r 值均在 12:00 左右达到最大值,而在 340 mm 降雨量下,F1 的 T_r 值在 14:00 左右达到最大值,此后逐渐下降;在 230

mm 和 340 mm 降雨量下,F2 的 T_r 日变化均呈“单峰型”曲线,最大值均出现在中午 12:00 左右,而在 440 mm 降雨量下,F2 的 T_r 日变化属“双峰型”曲线,其两个峰值分别出现在 12:00 和 16:00 左右,从 8:00 开始持续上升,在中午 12:00 左右达到最大值,此后逐渐下降,14:00 后回升,至 16:00 达到第 2 次高峰。

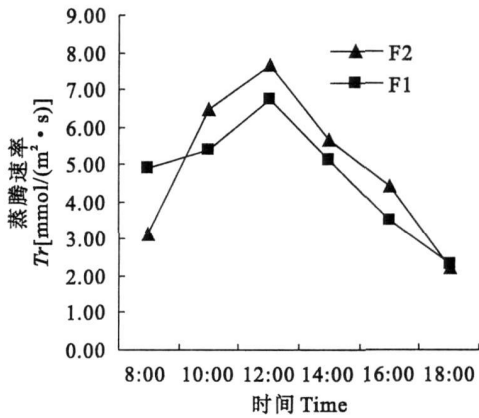


图 4 230 mm 降雨量下 T_r 日变化
Fig.4 Daily change of T_r in 230 mm rainfall

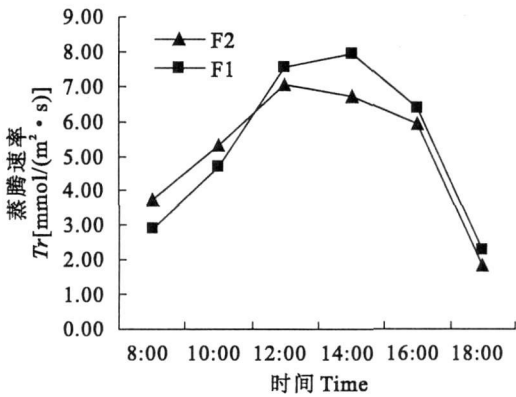


图 5 340 mm 降雨量下 T_r 日变化
Fig.5 Daily change of T_r in 340 mm rainfall

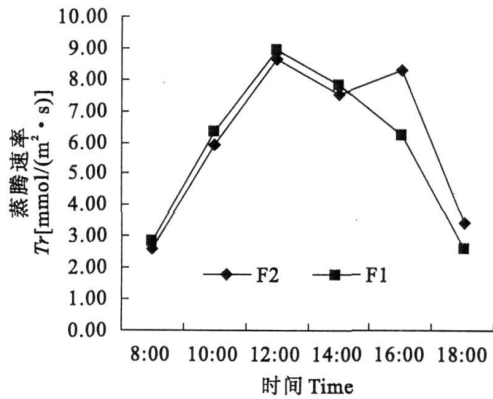


图 6 440 mm 降雨量下 T_r 日变化
Fig.6 Daily change of T_r in 440 mm rainfall

2.3 沟垄集雨对玉米 WUE 日变化的影响

植物的水分利用效率为瞬时净光合速率与蒸腾速率的比值(P_n/T_r),它反映了 CO_2 同化作用和水
分消耗的关系^[16]。如图 7 所示:从清晨开始,随着
光照的逐渐增强,F1 呈“单峰型”曲线变化,在 10:00
时左右达到最大值,F2 在早上 8:00 时达到一天中
的最大值,此后随着光强和温度的增加呈下降趋势,
在 10:00~14:00 下降较为缓慢,在 14:00 以后急剧
下降;从图 8 可以看出,F1 和 F2 都随着光强的增加
呈“单峰型”曲线变化,F1 在 10:00 左右达到最大
值,此时光合速率远远大于蒸腾速率,此后蒸腾速率
逐渐增大,WUE 呈现下降趋势,F2 在 12:00 左右达
到最大值,其值稍高于 F1;从图 9 可知,F1 和 F2 随
着光强的变化而呈现下降趋势,在下午下降速度小
于上午。在 230 mm 和 340 mm 的降雨下,F2 的
WUE 明显高于 F1,在 440 mm 降雨下,F1 和 F2 的
WUE 无显著的差异。

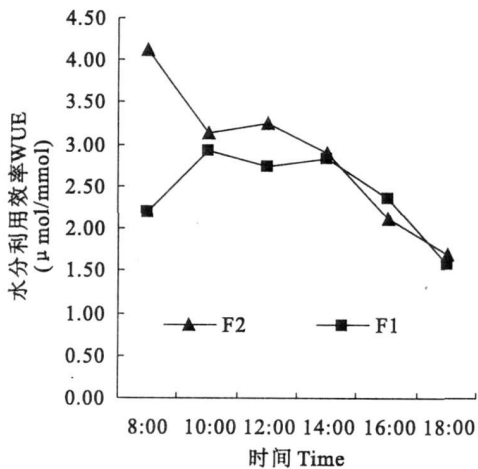


图 7 230 mm 降雨量下 WUE 日变化
Fig.7 Daily change of WUE in 230 mm rainfall

2.4 沟垄集雨条件下玉米 P_n 和 WUE 与环境因子的关系

为了进一步分析沟垄集雨条件下,环境因子对
玉米光合特性和叶片水分利用效率的影响,将 P_n
和 WUE 与环境因子进行多元线性回归分析表明:

表 2 玉米 P_n 和 WUE 与环境因子的多元回归分析

Table 2 Multi-regression results of P_n , WUE and some environmental factors in summer corn

处理 Treatments		多元回归分析 From multi-regression
P_n	F1	$74.411+2.163 T_r+4.897 G_s-0.073 C_i-0.399 T_a-1.250 T_l+0.013 P_{ar}$
	F2	$48.007+1.906 T_r+9.748 G_s-0.056 C_i-0.786 T_a-0.201 T_l+0.013 P_{ar}$
WUE	F1	$18.933+0.057 P_n-0.075 T_r-5.999 G_s-0.010 C_i+0.448 T_a-0.854 T_l+0.002 P_{ar}$
	F2	$17.723+0.075 P_n-0.122 T_r-3.087 G_s-0.011 C_i+0.382 T_a-0.737 T_l+0.001 P_{ar}$

不同降雨量、不同种植方式下环境因子中的 T_r 、
 G_s 、 P_{ar} 、 C_i 均对 P_n 有一定的影响,其中 P_n 对 G_s
最敏感,其次是 T_r 、 C_i , P_n 对其它环境因子不敏
感。这是因为气孔开度的大小能直接影响到光合速
率改变的趋势,当气孔导度降低时, CO_2 的浓度也随
之降低,从而引起光合速率的下降。

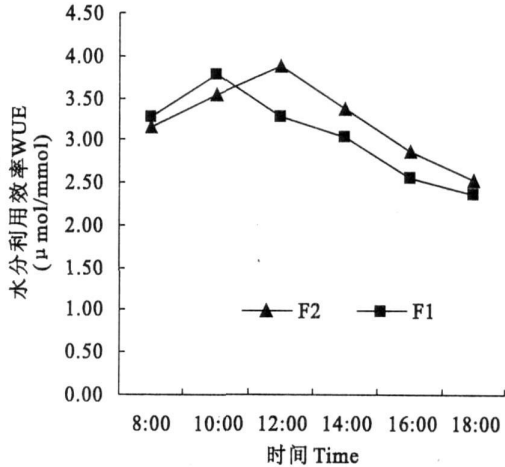


图 8 340 mm 降雨量下 WUE 日变化
Fig.8 Daily change of WUE in 340 mm rainfall

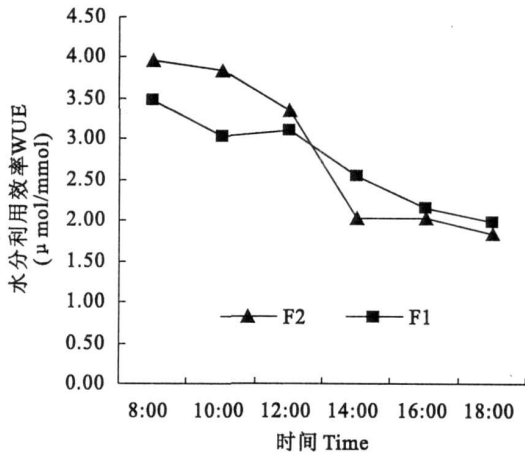


图 9 440 mm 降雨量下 WUE 日变化
Fig.9 Daily change of WUE in 230 mm rainfall

对 WUE 的多元回归分析得出:玉米的 WUE
受 P_n 、 G_s 、 T_a 、 T_l 、 P_{ar} 、 C_i 的影响,与 G_s 相关性
最强,其次是 T_l ,与其它环境因子的相关性不大。

由于 WUE 是 P_n/T_r 的比值, P_n 与 G_s 的相关性最强,而且随着 T_l 的升高,叶片会出现一定范围内的水分亏缺,为了减少植物水分的散失, T_r 会随之降低,所以 WUE 对 G_s 最敏感,其次是 T_l 。

3 结论与讨论

1) 在不同的降雨量下,对照组和沟垄集雨种植玉米的 P_n 日变化呈单峰曲线,峰值均出现在正午 12:00 左右,但在 230 mm、340 mm 降雨量下,对照组的 P_n 明显小于沟垄集雨种植,说明沟垄集雨种植能明显提高作物的光合速率,使玉米的光合潜力得到充分发挥,这与方锋等^[17]的研究结果一致。

对照组的水分利用效率在 230 mm、340 mm 降雨量下呈“单峰型”曲线,在 440 mm 降雨量下呈现逐渐下降的趋势,沟垄集雨种植的玉米水分利用效率均呈“单峰型”曲线。在不同的雨量下,沟垄集雨种植能明显提高作物水分利用效率,说明在干旱少雨情况下,沟垄集雨种植通过降雨叠加可有效改善土壤水分状况,进而增强玉米的光合能力和水分利用效率,这与王森等^[18]的研究结果一致。

一般认为,长期水分胁迫降低植物净光合速率^[1,19],根据 Farquhar 和 Sharkey 的观点^[20],当净光合速率和胞间 CO_2 浓度变化方向相同,且气孔限制值增大,主要由气孔因素引起光合速率的下降;当净光合速率和胞间 CO_2 浓度变化方向相反,气孔限制值减小,则净光合速率下降归因于非气孔因素引起。在 230 mm、440 mm 的降雨量下,对照组的 P_n 下降主要由气孔因素引起,这是因为水分亏缺导致气孔阻力增加, CO_2 的浓度降低,作物的光合速率下降,在 340 mm 雨量下,对照组的 P_n 下降主要由非气孔因素引起,因为水分亏缺使一些水解酶活性增强,作物的光合能力下降。这说明在不同的雨量下,玉米的光合作用可能受到气孔因素的影响,还会受到非气孔因素的影响^[21~25]。

2) WUE 是衡量植物水分消耗与物质生产之间关系的重要综合指标,可在单叶、整株和群体水平上研究^[26]。在本研究中,在 440 mm 降雨量下,沟垄集雨种植玉米和对照组对玉米光合速率的提高没有差异,而且在 3 个雨量下,沟垄集雨种植对玉米水分利用效率的提高并没有随着雨量的递增而增加,反而呈递减的趋势,说明在 440 mm 降雨量下,沟垄集雨种植模式已不再是提高 P_n 和 WUE 的重要因素,这与环境因子对 P_n 、WUE 影响的复杂性有关。

3) 本研究探讨了玉米光合生理特性的表现及与

环境因子的相关性,沟垄集雨种植对不同耕作模式下的土壤水分动态变化影响还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] chartzoulakis k, Noitsakis B, Therios I. Photosynthesis, plant growth and carbon allocation in Kiwi cv. Hayward, as influenced by water deficits[J]. Acta Horticulturae, 1993, 335: 227—234.
- [2] Osorio J M, Osorio L, Chaves M M, et al. Leaf gas exchange of cassava as affected by quality of planting material and water stress [J]. Photosynthetica, 1997, 34: 409—418.
- [3] 黄占斌, 山 仑. 春小麦水分利用效率日变化及其生理生态基础的研究[J]. 应用生态学报, 1997, 8(3): 263—269.
- [4] 康绍忠, 史文娟, 胡笑涛. 调亏灌溉对玉米生理指标及水分生产效率的研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(4): 88—92.
- [5] 房全孝, 陈雨海. 冬小麦节水灌溉的生理生态基础研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(1): 21—24.
- [6] 赵天宏, 沈秀瑛, 杨德光, 等. 水分胁迫及复水对玉米叶片叶绿素含量和光合作用的影响[J]. 杂粮作物, 2003, 23(1): 33—35.
- [7] 张树源, 武 海, 沈振西, 等. 青海高原小麦叶片净光合速率日变化的中午降低现象对环境生态因素的响应[J]. 西北植物学报, 1995, 15(3): 212—218.
- [8] 张喜英, 裴 冬, 由懋正. 几种作物的生理指标对土壤水分变动的阈值反应[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 280—283.
- [9] 刘海隆, 杨晓光. 夏玉米水分胁迫判别指标的研究[J]. 中国农业气象, 2002, 2(3): 22—25.
- [10] 张永强, 姜 杰. 水分胁迫对冬小麦叶片水分生理生态过程的影响[J]. 干旱地区研究, 2001, 18(1): 57—61.
- [11] Hirasawa T, Hsiao T C. Some characteristics of reduced leaf photosynthesis at midday in maize growing in the field[J]. Field Crops Research, 1999, 62: 53—62.
- [12] 朱国庆, 史学贵, 李巧珍. 定西半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 中国农业气象, 2001, 22(3): 7—9.
- [13] 王俊鹏, 蒋 骏, 韩清芳, 等. 宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999, 17(2): 9—111.
- [14] 王俊鹏, 马 林, 蒋 骏, 等. 宁南半干旱农田微集水种植技术研究[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(3): 20—27.
- [15] 胡希远, 陶仕珩, 王立祥. 半干旱偏旱区糜子沟垄径流栽培研究[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(1): 44—49.
- [16] 赵 鸿, 杨启国, 邓振镛, 等. 半干旱雨养区小麦光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 125—129.
- [17] 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): 32—35.
- [18] 王 森, 代力民, 姬兰柱, 等. 干旱胁迫对蒙古柞表观资源利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 275—280.
- [19] Cayon M G, El-Sharkawy M A, Cadavid L F. Leaf gas exchange of cassava as affected by quality of planting material and water stress[J]. Photosynthetica, 1997, 34: 409—418.

(下转第 101 页)

Effect of different tillage techniques on yield and water use efficiency in minor grain crops

YAO Ai-hua¹, FENG Bai-li¹, CHAI Yan¹, GAO Jin-feng¹,
LIU Jian-hua², XUE Shao-ping¹, ZHU Rui-xiang¹
(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Hengshan Agro-technical Extending Station, Hengshan, Shaanxi 719101, China)

Abstract: In order to study the effect of different tillage techniques on the yield of adzuki bean and broom corn millet and water use efficiency, a field experiment including three techniques, namely, deep loosening, no-tillage, conventional tillage was conducted in North Shaanxi. The results showed that, no-tillage and deep loosening techniques could improved soil structure and water holding capacity, then increased water use efficiency and yield, so they were ideal tillage techniques.

Key words: conservation tillage; minor corps; water use efficiency

(上接第 85 页)

[20] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photo-synthesis[J]. Ann Rev Plant Physiology, 1982, 33:317-345.

[21] Chazdon R L. Photosynthetic plasticity of two rain forest shrubs across natural gas transect[J]. Oecologia, 1992, 92:586-595.

[22] 李吉跃, Terence J, Blake. 多重干旱循环对苗木气体交换和水分利用效率的影响[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(3): 1-8.

[23] Weng J H. Photosynthesis of different ecotypes of Miscanthus spp. as affected by water stress[J]. Photosynthetica, 1993, 29 (1):43-48.

[24] Heitholt J J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen and waters tressed winter wheat [J]. Agron J, 1989, 81:464-469.

[25] Kramer P J. Water relations of plants[M]. New York and London: Academic Press, 1991. 489.

[26] 王美云, 李少昆, 赵明. Relationship between water use efficiency and leaf photosynthesis of maize[J]. 作物学报, 1997, 23 (3):345-352.

Effect of Water micro-collecting planting on corn (*Zea mays* L.) photosynthesis rate and water use efficiency under simulated rainfall conditions

HAN Juan, JIA Zhi-kuan^{*}, REN Xiao-long, HAN Qing-fang, DING Rui-xia
(College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Photosynthesis characteristics and water use efficiency(WUE) were studied in different simulated rainfall. The results showed that the photosynthesis rate (P_n) of micro-collecting planting treatments was higher in comparing with the control condition under 230 mm and 340 mm rainfall, increased by 41.1% and 10.5% separately. But there was no significant difference between micro-collecting planting and the control condition under 440 mm. And the WUE of micro-collecting planting treatments in comparing with the control condition was higher under 230 mm、340 mm and 440 mm rainfall, increased by 20.5%, 18.9% and 10.7% separately. The results also showed that the diurnal change curve of P_n was a single peak charact in micro-collecting planting treatments and the control condition. The diurnal change of WUE was a single peak curve under 230 mm and 340 mm rainfall, but was a downward tendency under 440 mm in the control condition. In micro-collecting planting, the diurnal change of WUE was a single peak curve.

Key words: water micro-collecting planting; photosynthesis rate; water use efficiency; summer corn (*Zea mays* L.)