

土壤水分胁迫对玉米光合特性的影响

韩希英^{1,2}, 宋凤斌¹, 王波^{1,2}, 张磊^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:采用盆栽方法, 测定了土壤水分胁迫下拔节期和抽雄开花期玉米叶片光合特性。结果表明, 水分胁迫下玉米叶片光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和水分利用效率(WUE)的平均水平与对照相比显著降低; 抽雄-开花期下降幅度大于拔节期。光合速率下降主要受非气孔因素限制。水分胁迫改变了玉米叶片光合参数日变化规律。水分胁迫下, 白单9的 P_n , WUE, 叶片叶绿素相对含量和叶面积明显高于白单31。

关键词: 水分胁迫; 玉米; 光合特性

中图分类号: S513.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2006)05-0028-04

Effects of Soil Water Stress on Photosynthetic Characteristics of Maize

HAN Xiying^{1,2}, SONG Fengbin¹, WANG Bo^{1,2}, ZHANG Lei^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Science,

Changchun 130012, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: Photosynthetic characteristics of maize leaf at jointing and tasseling-anthesis stage were measured under water stress by pot experiment. The results showed that averages of photosynthetic rate(P_n), stomatal conductance(G_s), transpiration rate(T_r) and water use efficiency(WUE) decreased significantly under water stress, and the decrease at tasseling-anthesis stage was more serious than that at jointing stage. The predominant cause of restricting photosynthetic rate was non-stomatal limitation. The normal diurnal rule of every photosynthetic parameter was changed greatly under water stress. The P_n , WUE, relative content of chlorophyll and leaf area of Baidan 9 were markedly higher than that of Baidan 31 under soil water stress.

Key words: Water stress; Maize; Photosynthetic characteristics

光合作用是作物物质生产和产量形成的重要因素, 作物有90%以上的干物质来源于光合生产, 而作物的产量则取决于光合产物的累积量及其向子粒中分配的比例^[1]。光合作用对水分胁迫反应敏感, 很多研究表明, 在水分胁迫条件下作物叶片光合能力降低^[1~3]。玉米品种间、不同生育时期植株叶片光合速率对水分胁迫的敏感程度不同^[1]。本试验就2个玉米品种, 对拔节期和抽雄-开花期土壤水分胁迫下玉米叶片光合参数日变化特征进行了测定, 探讨水分胁迫下玉米叶片光合作用的日变化规律。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试品种为白单9和白单31。试验为单株盆栽方式, 于2005年4-9月在吉林省白城农业科学

院防雨棚内进行。盆土采自白城农业科学院试验田耕层土, 田间持水量为21%。每盆装土17 kg, 施玉米专用肥(含N11%, P_2O_5 10%, K_2O 10%) 20 g为底肥, 并在大喇叭口期追施尿素8 g。

1.2 水分管理

试验设水分胁迫(土壤含水量为田间持水量的40%~45%)和对照(正常供水)2个处理。分别在拔节期、抽雄-开花期对2个品种玉米各选取长势一致的玉米6株, 进行水分胁迫处理, 待盆土水分自然降至胁迫水平后持续6 d, 其余时间均为正常供水。处理期间每天8:00用称重法控制土壤水分含量。水分胁迫第6天, 测定玉米叶片光合参数、叶绿素含量以及绿叶面积, 前2项测定在拔节期选用上数第一片全展叶, 抽雄-开花期选用穗位叶。每项测定采用3次重复(从所处理的玉米中随机选取3

收稿日期: 2006-04-12

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-19)

作者简介: 韩希英(1979-), 女, 山东潍坊人, 在读博士, 主要从事作物生理生态研究工作; 宋凤斌为通讯作者。

株), 并于当天完成。2 次测定均为晴天。

1.3 测定方法

光合速率、气孔导度、蒸腾速率等光合生理指标用 Li_6400P 便携式光合测定系统测定, 从 8:00 开始, 每 2 h 测 1 次, 18:00 结束。

叶绿素相对含量用 SPAD_502 叶绿素仪测定; 绿叶面积用 Li_3000 叶面积仪测定。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对玉米光合速率日变化的影响

正常供水下, 玉米 P_n 的日变化曲线为单峰曲

线, 从 8:00 开始 P_n 随光照强度的迅速增加而升高, 到 12:00 光照强度达到一天中的最大值, 玉米 P_n 相应具最高值(图 1)。土壤水分胁迫能明显降低玉米 P_n , 拔节期 2 个品种 P_n 曲线均呈逐渐下降趋势, 最大值出现在 8:00; 抽雄-开花期, 2 个品种 P_n 一直维持在 $0 \sim 3 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 之间, 说明与拔节期相比, 抽雄-开花期玉米光合速率对水分胁迫反应更敏感。这与水分胁迫条件下玉米 P_n 在雌穗小花分化期和开花期下降幅度最大, 灌浆期次之, 拔节期相对较小的结论^[5]一致。

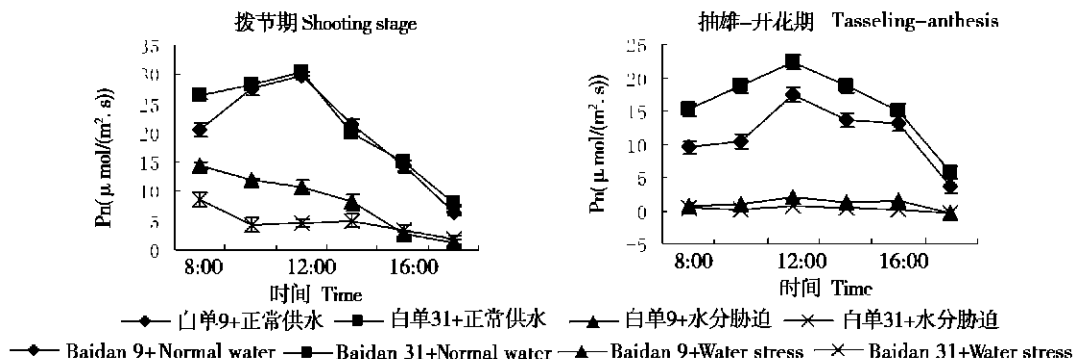


图 1 水分胁迫对玉米光合速率日变化的影响

Fig. 1 Diurnal change of P_n of maize under water stress

从不同品种来看, 水分胁迫条件下, 白单 9 的 P_n 要高于白单 31, 拔节期 8:00 至 16:00 表现明显, 与对照相比白单 9 P_n 下降程度较小, 说明在同样的水分胁迫条件下, 白单 9 有较强的光合作用能力。

2.2 水分胁迫对玉米气孔导度日变化的影响

气孔是植物和大气进行气体和水分交换的门户, 其启闭程度受光照强度、水分状况、空气相对湿度和气温等因素影响^[6]。从图 2 看出, 除正常供水下, 抽雄-开花期白单 9 呈双峰曲线外, 其他处理

G_s 日变化均和 P_n 变化趋势相同。正常供水下, 从 8:00 到 12:00, 玉米叶片 G_s 快速增加, 使得大气中的 CO_2 迅速向细胞内扩散, 促使 P_n 相应提高。抽雄-开花期, 白单 9 G_s 在 16:00 出现一个次峰值, 在 14:00 时出现低谷, 可能是因为白单 9 G_s 对温度比较敏感。从图 1 可看出, 白单 9 P_n 相应地在 12:00–14:00 内下降幅度较大, 但并未出现低谷, 说明 P_n 还受其他因素影响。

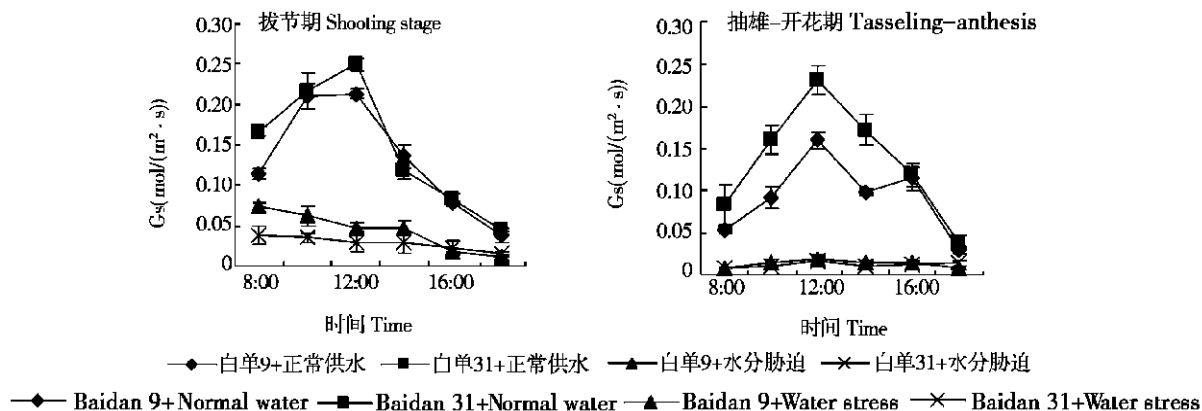


图 2 水分胁迫对玉米气孔导度日变化的影响

Fig. 2 Diurnal change of G_s of maize under water stress

水分胁迫下,植物通过关闭气孔来减少体内水分蒸发。从图 2 可知,拔节期 2 个品种 G_s 最大值出现在 8:00,然后近乎直线下降。在 8:00 至 16:00 内,白单 31 G_s 明显小于白单 9,比对照下降幅度也大于白单 9(图 2)。抽雄-开花期,2 个品种 G_s 水平较低,其变化平缓,无峰值出现,受抑制程度明显高于拔节期(图 2)。

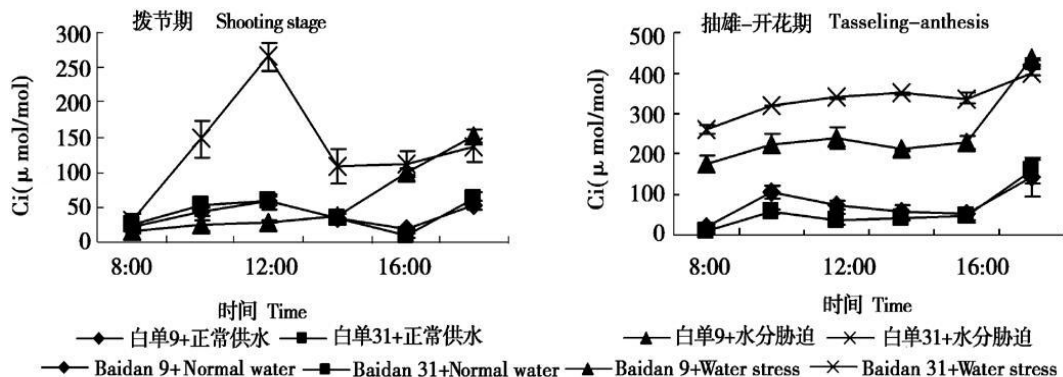


图 3 水分胁迫对玉米胞间 CO_2 浓度日变化的影响

Fig. 3 Diurnal change of C_i of maize under water stress

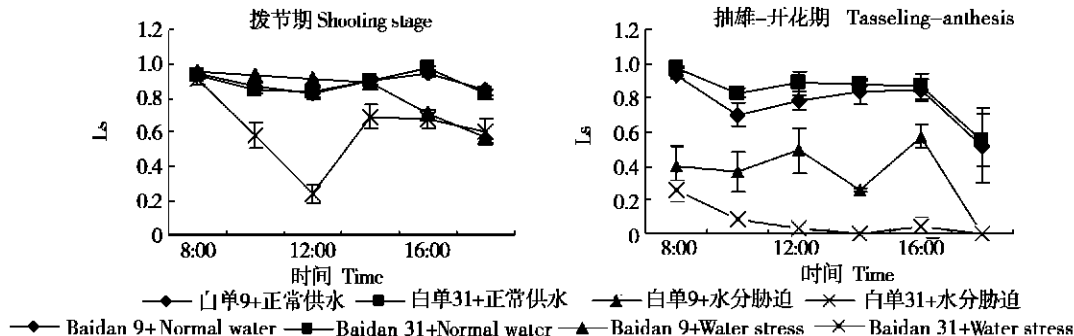


图 4 水分胁迫对玉米气孔限制值的影响

Fig. 4 L_s of maize under water stress

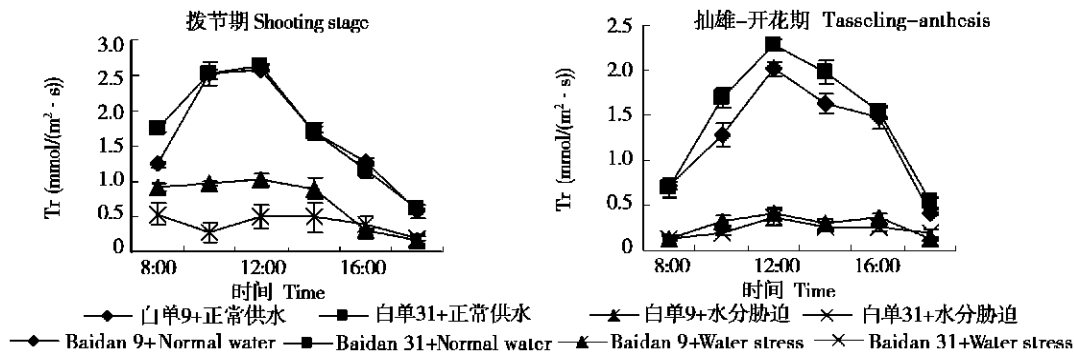


图 5 水分胁迫对玉米蒸腾速率日变化的影响

Fig. 5 Diurnal change of Tr of maize under water stress

判断叶片光合速率降低的主要原因是气孔因素还是非气孔因素的 2 个可靠判据是 C_i 和 L_s 的变化方向, C_i 降低和 L_s 升高表明气孔导度降低是主要原因; 而 C_i 增加和 L_s 降低则表明主要原因是非气孔因素^[7]。从图 1~4 可看出, 正常供水下, 12:00-

2.3 水分胁迫对玉米胞间 CO_2 浓度和气孔限制值的影响

从图 3 可知, 正常供水下玉米叶片 C_i 呈先上升后下降再上升的变化趋势。 C_i 开始时的上升可能是由 G_s 的增加幅度大于 P_n 的升高引起的。这与王群等^[6]的研究结果不同, 具体原因还有待进一步研究。

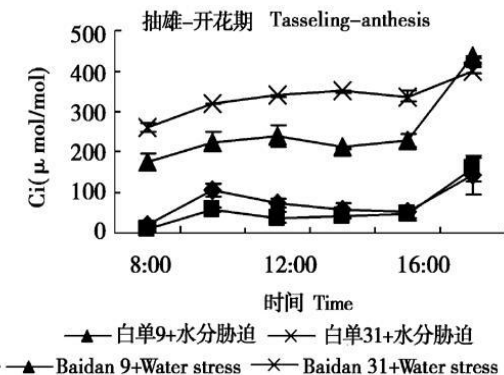


图 6 水分胁迫对玉米气孔导度日变化的影响

Fig. 6 Diurnal change of G_s of maize under water stress

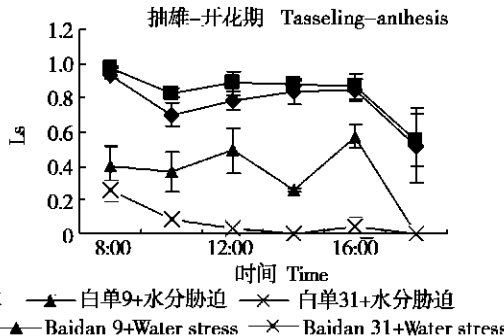


图 7 水分胁迫对玉米净光合速率日变化的影响

Fig. 7 Diurnal change of P_n of maize under water stress

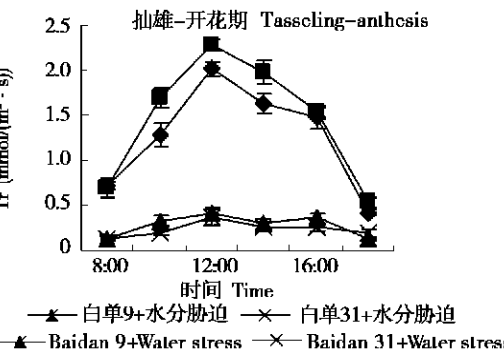


图 8 水分胁迫对玉米净光合速率日变化的影响

Fig. 8 Diurnal change of A of maize under water stress

16:00 光合速率的降低主要由气孔因素引起; 16:00 - 18:00 则由非气孔因素引起。水分胁迫下, 拔节期白单 9 光合速率主要受非气孔限制; 白单 31 在 8:00 至 12:00 和 14:00 至 18:00 受非气孔因素限制, 12:00 至 14:00 光合气孔因素明显。抽雄-开花期,

白单 9 气孔限制值呈波动式变化, 8: 00 至 10: 00 和 16: 00 至 18: 00 光合作用主要受非气孔因素限制; 白单 31 G_i 持续上升, 而 L_s 持续下降, 说明光合作用抑制因素主要为非气孔因素。

2.4 水分胁迫对玉米蒸腾速率日变化的影响

从图 5 可看出, 正常供水下, 玉米 T_r 日变化为单峰曲线, 在 12: 00 达到峰值。在水分胁迫条件下, T_r 的日变化相对比较平缓。拔节期白单 9 T_r 在 8: 00 至 16: 00 明显高于白单 31, 16: 00 以后略低于白单 31; 抽雄- 开花期, 两品种间 T_r 差异不明显。抽雄- 开花期正常供水下白单 9 14: 00 T_r 值相对较小, 与当时其 G_s 较低相一致(图 5)。

比较图 5 和图 2 可看出, 除正常供水下白单 9 抽雄- 开花期 T_r 外, 其余 T_r 和 G_s 变化明显正相关, 说明气孔开闭是 T_r 重要影响因子。

2.5 水分胁迫对玉米水分利用效率日变化的影响

WUE 为测定时 P_n 与 T_r 的比值, 它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。干旱环境下, 植物水分利用效率的大小决定了植物节水能力和水分生产力水平; 叶片水分利用效率与土壤水分关系的研究是确定植物不同生育时期田间水分管理指标和措施的重要依据^[8]。水分充足时, 白单 9 和白单 31 WUE 均在 8: 00 达到峰值, 此时光照逐渐上升, 气孔开度也逐渐增大, P_n 呈上升趋势, 但 T_r 还未达到最高水平, 所以 WUE 最高^[9]。此后, 虽然 P_n 和 T_r 继续增大, 但从图上看, P_n 上升速度低于 T_r , 因此, WUE 逐渐降低。14: 00 后随着 T_r 的快速下降, WUE 有回升趋势, 白单 31 拔节期在 16: 00 还出现一个次峰值(图 6)。

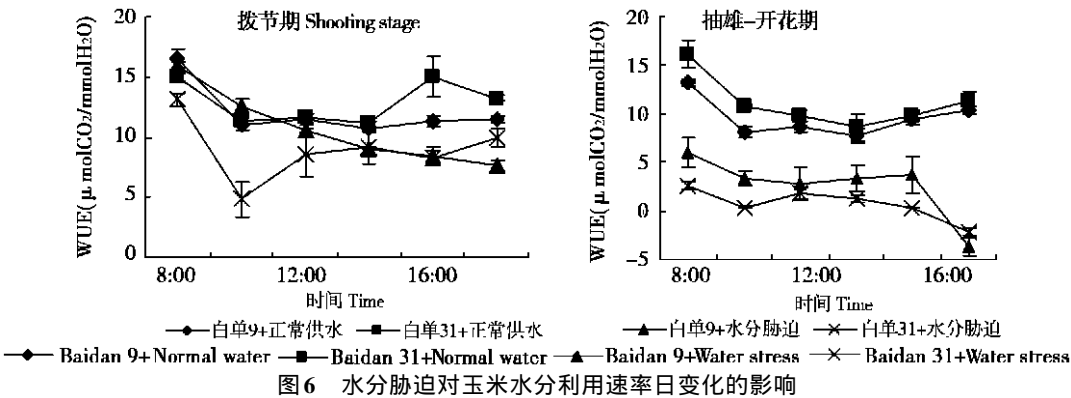


图 6 水分胁迫对玉米水分利用速率日变化的影响

Fig. 6 Diurnal change of WUE of maize under water stress

土壤水分胁迫下, 2 品种玉米 WUE 峰值也出现在 8: 00, 但其变化趋势与对对照明显不同。拔节期, 由于 P_n 的持续下降和 T_r 相对平缓的变化白单 9 WUE 呈一直下降趋势, 在 8: 00 至 10: 00 有较高的 WUE, 甚至要高于对照; 由于 8: 00 至 10: 00 P_n 降低幅度大于 T_r 减小幅度, 白单 31 在 8: 00 达到峰值后迅速降低, 在 10: 00 出现低谷, 随后又逐渐升高(图

6)。抽雄- 开花期, 白单 9 和白单 31WUE 均呈下降趋势(图 6)。由图 6 可知, 在同样水分胁迫条件下, 拔节期和抽雄- 开花期白单 9 总体 WUE 水平明显高于白单 31, 与对照的差异小于白单 31。

2.6 水分胁迫对叶绿素相对含量和绿叶面积的影响

本试验分别测定了拔节期和抽雄- 开花期玉米叶片的叶绿素相对含量和绿叶面积。由表 1 可知,

表 1 水分胁迫下玉米叶片叶绿素相对含量和绿叶面积的变化

Tab 1 Relative content of chlorophyll in leaves and leaf area under water stress

处理 Treatment	叶绿素相对含量(SPAD 值) Relative content of chlorophyll		绿叶面积(cm ²) Leaf area	
	拔节期 Jointing stage	抽雄- 开花期 Tasseling-anthesis stage	拔节期 Jointing stage	抽雄- 开花期 Tasseling-anthesis stage
	拔节期 Jointing stage	抽雄- 开花期 Tasseling-anthesis stage	拔节期 Jointing stage	抽雄- 开花期 Tasseling-anthesis stage
白单 9+ 正常供水 Baidan9+ normal water	41.85 ± 1.94	38.63 ± 0.85	2846.60 ± 195.12	5860.35 ± 287.67
白单 9+ 水分胁迫 Baidan9+ water stress	39.72 ± 1.49	34.09 ± 2.04*	1761.29 ± 225.87**	4413.92 ± 855.08
白单 31+ 正常供水 baidan31+ normal water	42.08 ± 1.85	42.77 ± 2.22	2907.25 ± 260.25	5475.68 ± 598.76
白单 31+ 水分胁迫 Baidan31+ water stress	39.08 ± 6.14	32.03 ± 2.30**	1405.38 ± 228.59**	3893.06 ± 296.43*

注: Duncan 检验结果, * 和 * * 分别表示 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ Note: Duncan's test. * and * * stand for $P < 0.05$ and $P < 0.01$

拔节期水分胁迫对玉米叶片叶绿素相对含量无明显影响,白单 9 比对照下降了 5.10%,白单 31 下降了 7.14%;抽雄-开花期,白单 9 叶绿素含量与对照的差异达显著水平,白单 31 则达到极显著水平,说明玉米叶绿素相对含量对水分胁迫反应比拔节期敏感。这与 P_n 的变化一致。

除抽雄-开花期白单 9 叶面积与对照无显著差异外,2 个生育时期,水分胁迫对绿叶面积的影响都达到了显著或极显著水平。拔节期玉米叶面积受影响大于抽雄-开花期。这是因为拔节期为玉米营养生长期,土壤水分胁迫阻碍上部叶片的生长,同时促使下部叶片枯萎;而在抽雄-开花期植株叶片已全部长出,土壤水分胁迫只是造成下部叶片的枯萎,因此绿叶面积减小较少。

3 结论和讨论

水分胁迫造成 P_n , G_s , Tr 和 WUE 平均水平的下降,并改变了其日变化规律,而且生育时期不同变化规律也存在差异。正常供水下 P_n , G_s 和 Tr 日变化具有较大的一致性,峰值出现在正午。水分胁迫条件下,拔节期玉米 P_n , G_s 最高值均出现在 8:00,此后下降; Tr 在 14:00 以前变化平缓,以后急剧下降。抽雄-开花期玉米 P_n , G_s 和 Tr 一直在低水平保持缓慢变化,无明显峰值出现。本试验表明,水分胁迫对抽雄-开花期玉米叶片光合作用的抑制程度明显大于拔节期。水分胁迫下,光合抑制的原因包括气孔限制和非气孔限制,在本试验中光合速率降低的主要限制因素是非气孔因素。

在干旱胁迫下维持较高的净光合速率,并保持较高的生理代谢活性是植物耐旱、丰产的物质保证,高的 WUE 常用来描述植物耐旱性^[10]。据此,从 P_n , WUE, 叶绿素相对含量和绿叶面积等指标来看,试验中两个生育时期白单 9 的耐旱性高于白单 31。

水分利用效率是 P_n 和 Tr 的比值, P_n 和 Tr 的变化及其变化速率都会影响水分利用效率的大小。有

些研究表明,适度的水分胁迫能提高植物的水分利用效率,张光灿等^[11]对此的解释是:蒸腾作用对水分胁迫的响应比光合作用敏感,即蒸腾作用超前于光合作用的下降,使叶片水分利用效率有所提高。但是对于同一作物,较高的水分利用效率并不总是意味着同时有较高的光合速率(图 1,6),对于水分利用效率和光合速率之间的关系还需做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 徐世昌,戴俊英,沈秀瑛,等.水分胁迫对玉米光合性能及产量的影响[J].作物学报,1996,23(3):356-363.
- [2] 陈军,戴俊英.干旱对不同耐旱性玉米品种光合作用及产量的影响[J].作物学报,1996,22(6):757-762.
- [3] 武玉叶,李德全,赵世杰,等.土壤水分胁迫下小麦叶片渗透调节与光合作用[J].作物学报,1999,25(6):752-758.
- [4] 张维强,沈秀瑛.水分胁迫和复水对玉米叶片光合速率的影响[J].华北农学报,1994,9(3):44-47.
- [5] 宋凤斌,徐世昌,戴俊英.水分胁迫对玉米光合作用的影响[J].玉米科学,1994,2(3):66-70.
- [6] 王群,李潮海,栾丽敏,等.不同质地土壤夏玉米生育后期光合特性比较研究[J].作物学报,2005,31(5):628-633.
- [7] 许大全.光合作用气孔限制分析中的一些问题[J].植物生理学通讯,1997,33(4):241-244.
- [8] 夏江宝,刘信儒,王贵霞,等.土壤水分及环境因子对刺楸叶片气体交换的影响[J].水土保持学报,2005,19(2):179-183.
- [9] 姬兰柱,肖冬梅,王森.模拟水分胁迫对水曲柳光合速率及水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2005,16(3):408-412.
- [10] 山仑.改善作物耐旱性及水分利用效率研究进展[A].于邹琦.作物高产高效生理学研究进展[C].北京:科学出版社,1994:258-268.
- [11] 张光灿,贺康宁,刘霞.黄土高原半干旱区林木生长适宜土壤水分环境的研究[J].水土保持学报,2001,15(4):1-5.