

干旱胁迫对两种辣椒叶片气体交换 和叶绿素荧光特性的影响

胡文海^{1,2}, 曾建军¹, 曹玉林³, 肖宜安^{1,2}, 段智辉¹

(1. 井冈山大学生命科学学院, 江西吉安 343009; 2. 井冈山生态环境研究中心, 江西吉安 343009;
3. 江西省茶叶学校, 江西婺源 333200)

摘要: 试验研究了干旱条件下鸡爪×吉林和正椒 13 号两种辣椒叶片气体交换和叶绿素荧光参数的变化。结果表明, 干旱处理 5 d 导致叶片相对含水量(RWC)、相对电导率(REC)、净光合作用(Pn)和暗适应下 PSII 最大光化学效率(Fv/Fm)下降, 其中对鸡爪×吉林影响大于正椒 13 号。干旱处理下两辣椒品种的气孔导度(Gs)下降, 而水分利用效率(WUE)、非光化学猝灭系数(NPQ)和光呼吸速率/净光合速率(Pr/Pn)均明显增加, 其中正椒 13 号上升幅度高于鸡爪×吉林, 这可能是正椒 13 号比鸡爪×吉林更耐旱的原因。

关键词: 干旱; 辣椒; 气体交换; 叶绿素荧光

中图分类号: S162.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0156-04

我国南方地区属于亚热带季风气候区, 虽然水资源丰富, 但降水时空分布不均匀, 每年 6 月中旬至 9 月高温少雨^[1,2], 季节性干旱严重地影响到蔬菜生产, 成为我国南方蔬菜秋淡的主要原因之一。研究表明干旱胁迫可引起气孔关闭、水平衡失调、Ru-bisco 降解、以及 Calvin 循环中酶活性下降, 从而抑制植物光合作用^[3-7], 光合作用下降导致了 Calvin 循环对还原力 NADPH 需求减少, 而引起光合电子传递链过度还原, 光合电子传递受阻, 导致过剩电子泄漏形成活性氧, 并对叶绿体甚至植物细胞产生伤害^[8]; 逆境胁迫下植物可通过光合电子传递过程中的能量耗散机制如热耗散和光呼吸等减少过剩电子的产生, 从而对植物起到一定保护作用^[9,10]。然而干旱胁迫下热耗散和光呼吸等能量耗散途径的变化, 及其与植物抗旱能力的关系仍不清楚, 有待于进一步研究。为此我们以南方夏季主要蔬菜作物辣椒为研究对象, 研究了干旱胁迫对两种辣椒叶片气体交换和叶绿素荧光参数的影响, 以期探索干旱胁迫下辣椒光合作用的变化, 热耗散和光呼吸途径在作物抗干旱胁迫中所起的作用及其与抗性之间的关系。

1 材料与与方法

1.1 试验材料与设计

供试辣椒品种为鸡爪×吉林(*Capsicum annu-*

um L cv. Jizhao×Jilin, 早熟品种, 耐寒性强, 适于保护地栽培)和正椒 13 号(*Capsicum annuum* L cv. Zhengjiao No. 13, 特耐热, 抗性强, 露地栽培品种)。试验在井冈山大学生命科学学院实验园内进行。种子播种于草碳土:珍珠岩(8:2, v:v)基质中, 70% 以上的种子出苗后进行正常水肥管理, 营养液为 1/2 园试营养液^[11], 幼苗 2 片真叶后营养液更换为完全园试营养液, 幼苗 4 片真叶时移入 30 cm×30 cm 的花盆中, 基质同播种基质, 长至第二分叉后选择生长一致的植株进行处理。对照(Control)保持土壤相对含水量高于 80%, 干旱处理(Drought)保持土壤相对含水量为 40%~50%, 5 次重复。处理 5d 后分别测定叶片相对含水量、叶片相对电导率、叶片气体交换和叶绿素荧光参数、光呼吸速率。

1.2 测定方法

按 Schlemmer 等^[12]的方法用称重法测定叶片相对含水量(RWC); 按 Vieira Santos 等^[13]的方法测定细胞相对电导率(REC); 用 Ciras-1 型光合仪(英国 PP-systems 公司生产)在 600 μmol/(m²·s)光强下测定净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)等叶片气体交换参数, 并计算气孔限制值 $l(l = 1 - Ci/Ca)$, 其中 Ca 为大气 CO₂ 浓度)和水分利用效率 WUE(Pn/Tr); 用 FMS-2 型叶绿素荧光仪(英国 Hansatech 公司生产)测定叶绿素荧光参数, 测定前叶片于暗中适应 20 min, 先

收稿日期: 2008-04-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(30560089)

作者简介: 胡文海(1973—), 男, 江西吉安人, 副教授, 博士, 主要从事园艺作物生理生态研究。E-mail: huwenhai@jgsu.edu.cn; huwenhaicy@yahoo.com.cn.

照射检测光 [$<0.05 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 测 F_0 , 再照射饱和脉冲光 [$12\,000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 测 F_m , 打开内源光化光 [$600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 10 min 后测光适应下 F_s , 接着照射饱和脉冲光 [$12\,000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 测 F_m' , 随后打开远红光照射 5 s 后测定 F_0' , 暗适应下 PSII 最大光化学效率 (F_v/F_m)、PSII 光合电子传递量子效率 (ΦPSII)、光化学猝灭系数 (qP)、非光化学猝灭系数 (NPQ)、天线转化效率 (F_v'/F_m') 等叶绿素荧光参数的计算参见 Demmig - Adams 等^[14]的方法及 FMS-2 使用手册 (1998); 光呼吸速率的测定按姜闯道等^[15]的方法进行。

2 结果和分析

2.1 干旱处理对两种辣椒叶片相对含水量和相对电导率的影响

干旱处理 5 d 导致两种辣椒叶片相对含水量的下降, 其中鸡爪 × 吉林的下降程度大于正椒 13 号; 同时干旱处理导致辣椒叶片相对电导率上升, 并且鸡爪 × 吉林的上升程度大于正椒 13 号 (图 1)。结果表明干旱胁迫对鸡爪 × 吉林的伤害程度大于正椒 13 号。

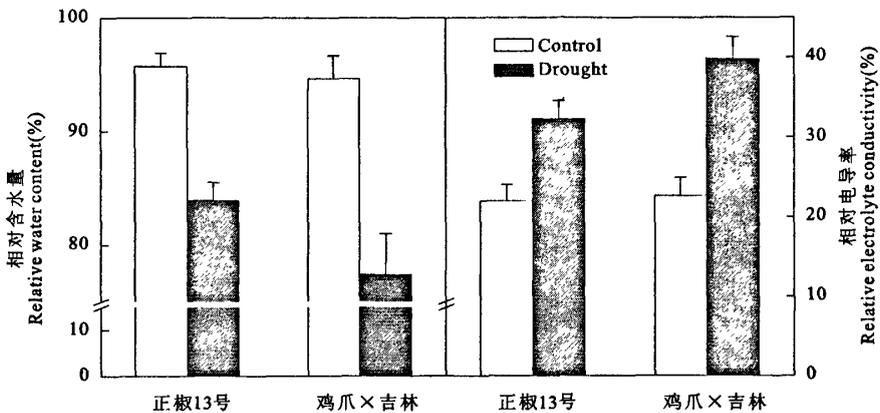


图 1 干旱胁迫对辣椒叶片相对含水量和相对电导率的影响

Fig. 1 Effects of drought on relative water content and relative electrolyte conductivity in leaves of pepper

2.2 干旱处理对两种辣椒叶片气体交换参数影响

干旱处理 5 d 对两种辣椒叶片气体交换的影响如表 1 所示: 干旱处理导致辣椒 P_n 的明显下降, 其中鸡爪 × 吉林下降程度大于正椒 13 号; 正椒 13 号

叶片 G_s 下降的同时伴随着 C_i 的下降以及 l 的增加, 表明干旱胁迫下正椒 13 号光合作用下降的主要原因为气孔限制; 而干旱处理下鸡爪 × 吉林的 C_i 与 l 并未随着 P_n 和 G_s 的下降而降低, 因此可推断干

表 1 干旱胁迫对辣椒叶片气体交换参数的影响

Table 1 Effects of drought on gas exchange characteristics in leaves of pepper

处理 Treatment		净光合速率 Net photosynthetic rate P_n [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	气孔导度 Stomatal conductance G_s [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	胞间 CO_2 浓度 Intercellular CO_2 concentration C_i ($\mu\text{L}/\text{L}$)
正椒 13 号 Zhengjiao No. 13	CK	14.3 ± 1.2	152 ± 23	214 ± 14
	Drought	8.6 ± 1.3	67 ± 10	132 ± 22
鸡爪 × 吉林 Jizhao × Jilin	CK	13.7 ± 1.1	148 ± 15	219 ± 17
	Drought	4.4 ± 0.7	32 ± 7	201 ± 24

处理 Treatment		蒸腾速率 Transpiration rate T_r [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	水分利用效率 Water use efficiency WUE ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$)	气孔限制值 Stomatal limitations l
正椒 13 号 Zhengjiao No. 13	CK	3.19 ± 0.54	4.48 ± 0.23	0.36 ± 0.04
	Drought	1.23 ± 0.15	6.99 ± 0.27	0.58 ± 0.05
鸡爪 × 吉林 Jizhao × Jilin	CK	3.23 ± 0.46	4.24 ± 0.27	0.37 ± 0.06
	Drought	0.77 ± 0.21	5.71 ± 0.19	0.41 ± 0.07

旱胁迫下鸡爪×吉林叶片光合作用下降的主要原因是非气孔因素^[16]。干旱处理 5 d 导致辣椒对水分的利用效率增加,其中正椒 13 号对水分的利用效率高于鸡爪×吉林,这可能是正椒 13 号比鸡爪×吉林抗旱能力强的原因之一。

2.3 干旱处理对辣椒叶片叶绿素荧光参数的影响

由表 2 可知,干旱处理 5 d 导致辣椒叶片 Fv'/Fm 下降和 F₀ 的上升,说明干旱胁迫导致了辣椒光抑制的发生,并且对鸡爪×吉林光合机构的伤害更

大;同时干旱处理导致辣椒叶片 ΦPSII、qP 和 Fv'/Fm' 的显著下降,其中鸡爪×吉林下降程度更大,这也可能是正椒 13 号光合作用高于鸡爪×吉林的原因。但干旱胁迫下辣椒叶片 NPQ 有所增强,并且正椒 13 号增加更为明显;结果表明辣椒可通过增强热耗散能力减轻干旱伤害,而干旱胁迫下正椒 13 号热耗散能力高于鸡爪×吉林的事实也是其抗旱能力强的原因之一。

表 2 干旱胁迫对辣椒叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 2 Effects of drought on chlorophyll fluorescence characteristics in leaves of pepper

处理 Treatment		Fv/Fm	ΦPSII	qP
正椒 13 号 Zhengjiao No. 13	CK	0.859±0.007	0.446±0.016	0.672±0.042
	Drought	0.805±0.007	0.233±0.015	0.540±0.024
鸡爪×吉林 Jizhao×Jilin	CK	0.858±0.006	0.455±0.009	0.693±0.026
	Drought	0.741±0.006	0.113±0.006	0.335±0.008
处理 Treatment		NPQ	Fv'/Fm'	F ₀
正椒 13 号 Zhengjiao No. 13	CK	1.57±0.07	0.649±0.018	217.7±7.2
	Drought	2.12±0.09	0.433±0.008	293.1±7.9
鸡爪×吉林 Jizhao×Jilin	CK	1.56±0.06	0.656±0.017	209.3±6.1
	Drought	1.85±0.08	0.337±0.016	383.4±10.6

2.4 干旱处理对辣椒叶片光呼吸的影响

干旱处理 5 d 导致辣椒叶片光呼吸速率的下降,但正椒 13 号光呼吸速率显著高于鸡爪×吉林,通过比较光呼吸占净光合速率比值(Pr/Pn)可知,

干旱处理下正椒 13 号可保持相对较高的光呼吸(图 2),这也是正椒 13 号较鸡爪×吉林更抗旱的原因之一。

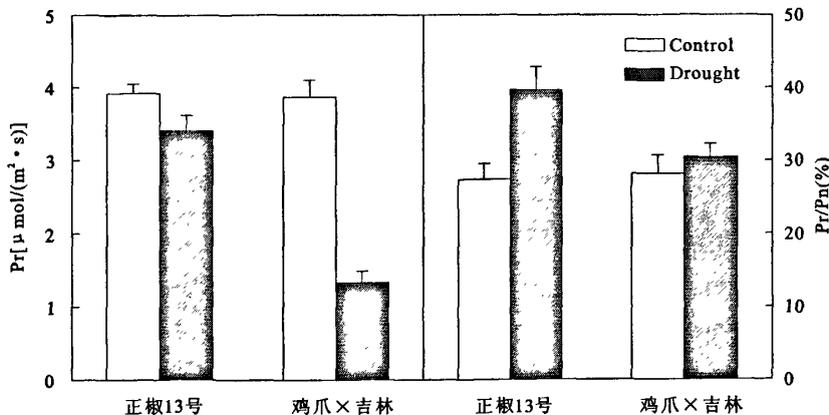


图 2 干旱胁迫对辣椒叶片光呼吸(Pr)和光呼吸速率与净光合速率比值(Pr/Pn)的影响

Fig. 2 Effects of drought on Pr and Pr/Pn in leaves of pepper

3 讨论

干旱胁迫是夏季辣椒生产的主要环境障碍之一,不同辣椒品种的抗旱能力有所差异,干旱处理下正椒 13 号表现出比鸡爪×吉林强的抗旱能力。干

旱胁迫导致辣椒光合作用的下降,其中正椒 13 号主要以气孔限制为主,而鸡爪×吉林则主要以非气孔限制为主(表 1)。干旱胁迫下两辣椒品种的气孔导度和蒸腾速率均明显下降,而其水分利用效率则显著上升(表 1),说明干旱胁迫下辣椒可通过减少水

分散失和增加水分利用效率来避免干旱胁迫伤害^[17],正椒13号的水分利用率明显高于鸡爪×吉林,这可能是其具有相对较强抗旱能力的原因之一。

叶绿素荧光参数可灵敏地探测植物叶片光合机构的功能,本研究结果表明干旱处理引起两种辣椒品种叶片 F_v/F_m 和 F_0 上升,说明干旱胁迫导致了叶片 PSII 反应中心失活或受到光破坏^[18],造成光抑制的发生,并且对鸡爪×吉林光合机构的伤害更大(表2)。干旱胁迫导致辣椒 Φ PSII 的下降, Φ PSII 的大小取决于 q_P 和 F_v'/F_m' , q_P 是开放的 PSII 反应中心数目的量度, F_v'/F_m' 则反映了开放的 PSII 的激发能捕获效率^[14,19]。本研究结果表明,与鸡爪×吉林相比,干旱胁迫下正椒13号叶片 PSII 可保持相对较高的开放程度和激发能捕获效率,这也是正椒13号在干旱胁迫下能保持相对较高光合作用的原因之一。

植物在逆境条件下可通过光合电子传递过程中的热耗散和光呼吸等能量耗散途径减少过剩电子的产生,从而减轻逆境对植物的伤害^[9,10]。我们的研究表明干旱胁迫导致辣椒 NPQ 的上升,并且正椒13号增加幅度高于鸡爪×吉林(表2);但两辣椒品种叶片光呼吸对干旱胁迫的响应却不一样,干旱胁迫下正椒13号光呼吸速率未有明显降低,但鸡爪×吉林光呼吸则显著下降,因此我们推断干旱胁迫下正椒13号保持相对较高的光呼吸速率是其抗旱能力高于鸡爪×吉林的另一主要原因。

综上所述:相对鸡爪×吉林而言,干旱胁迫下耐旱性相对较强的正椒13号可通过①增加水分利用效率,②部分关闭气孔减少水分散失,③提高热耗散和光呼吸能力以防止光合电子传递过程中过剩电子的产生等途径减轻干旱胁迫对植株的伤害。

参考文献:

- [1] 刘玲,沙奕卓,白月明.中国主要农业气象灾害区域分布与减灾对策[J].自然灾害学报,2003,12(2):92—97.
- [2] 贺喜全,盛良学,廖江林.夏秋季季节性干旱对南方春玉米主要农艺性状的影响研究[J].中国生态农业学报,2007,15(3):64—67.
- [3] 薛崧,汪沛洪,许大全,等.水分胁迫对冬小麦 CO_2 同化作用的影响[J].植物生理学报,1992,18(1):1—7.
- [4] Gimenez C, Mitchell V G, Lawlor D W. Regulation of photosynthetic rate of two sunflower hybrids under water stress[J]. Plant Physiology,1992,98:516—524.
- [5] Flexas J, Medrano H. Drought-inhibition of photosynthesis in C_3 plants: stomatal and non-stomatal limitation revisited[J]. Annals of Botany, 2002,89:183—189.
- [6] Lawlor D W, Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants [J]. Plant, Cell and Environment,2002,25:275—294.
- [7] Medrano H, Escalona J M, Bota J, et al. Regulation of photosynthesis of C_3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter [J]. Annals of Botany, 2002,89:895—905.
- [8] Mittler R, Vanderauwera S, Gollery M, et al. Reactive oxygen gene network of plants[J]. Trends in Plant Science, 2004, 9: 490—498.
- [9] Ort D R, Baker N R. A photoprotective role for O_2 as an alternative electron sink in photosynthesis[J]. Current Opinion in Plant Biology,2002,(5):193—198.
- [10] 郭连旺,沈允钢.高等植物光合机构避免强光破坏的保护机制[J].植物生理学通讯,1996,32(1):1—6.
- [11] Yu J Q, Matsui Y. Effects of root exudates and allelochemical on ion uptake by cucumber seedlings[J]. Journal of Chemical Ecology,1997,23:817—827.
- [12] Schlemmer M R, Francis D D, Shanahan J F, et al. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content [J]. Agronomy Journal, 2005,97:106—112.
- [13] Vieira Santos C L, Campos A, Azevedo H, et al. In situ and in vitro senescence induced by KCl stress: nutritional imbalance, lipid peroxidation and antioxidant metabolism[J]. Journal of Experimental Botany,2001,52:351—360.
- [14] Demmig-Adams B, Adams III W W, Barker D H, et al. Using chlorophyll fluorescence to assess the fraction of absorbed light allocated to thermal dissipation of excess excitation[J]. Physiologia Plantarum,1996,98:253—264.
- [15] 姜闻道,高辉远,邹琦,等.叶角、光呼吸和热耗散协同作用减轻大豆幼叶光抑制[J].生态学报,2005,25(2):319—325.
- [16] 许大全.光合作用效率[M].上海:上海科学技术出版社,2002.84—96.
- [17] Kozłowski T T, Pallardy S G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses[J]. Botany Review,2002,68:270—334.
- [18] Xu D Q, Wu S. Three phases of dark-recovery course from photoinhibition resolved by the chlorophyll fluorescence analysis in soybean leaves under field condition[J]. Photosynthetica,1996, 32:417—423.
- [19] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide[J]. Journal of Experimental Botany, 2000,51:659—668.

(英文摘要下转第164页)

Effects of seeds soaking with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on some osmolytes in pepper under low temperature stress

GUO Xiao-dong^{1,2}, ZOU Zhi-rong¹, ZHANG Hua-sheng²

(1. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Vegetables, Gansu Provincial Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Effects of seeds soaking with different concentrations of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and inhibitors of Ca^{2+} signal system on some osmolytes, including soluble protein, soluble sugar and proline in pepper under low temperature stress were investigated. The results indicated that calcium(40 mmol/L) treatment could increase markedly the content of soluble sugar, soluble protein and proline. Moreover, addition of calmodulin antagonist W7 could decrease markedly the content of soluble sugar, soluble protein and praline under low temperature. It is suggested that Ca^{2+} signal system may have close relationship with the change of some osmolytes in Pepper under low temperature.

Keywords: Ca^{2+} ; W7; pepper; soluble sugar; soluble protein; proline

(上接第 159 页)

Effects of drought stress on gas exchange and chlorophyll fluorescence characteristics in leaves of two pepper (*Capsicum annuum* L) varieties

HU Wen-hai^{1,2}, ZENG Jian-jun¹, CAO Yu-lin³, XIAO Yi-an¹, DUAN Zhi-hui¹

(1. School of Life Sciences, Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi 343009, China;

2. Research Center for Eco-Environmental Sciences of Jinggangshan, Ji'an, Jiangxi 343009, China;

3. Jiangxi Tea School, Wuyuan, Jiangxi 333200, China)

Abstract: Gas exchange and chlorophyll fluorescence characteristics of two varieties of pepper (*Capsicum annuum* L) were studied in drought stress. The results showed that relative water content (RWC), relative electrolyte conductivity (REC), net photosynthetic rate (Pn) and the maximal photochemical efficiency of PSII (Fv/Fm) were decreased by treated 5 d under drought stress, especially in Jizhao × Jilin. Drought resulted in a decrease of stomatal conductance (Gs), but induced significantly increases of water use efficiency (WUE), non-photochemical quenching coefficient (NPQ) and the ratio of photorespiration rate and net photosynthetic rate (Pr/Pn), especially in Zhengjiao No. 13. These results suggested that higher drought tolerance of pepper was associated with the capacity to keep higher WUE, NPQ and Pr/Pn under drought stress.

Keywords: drought stress; *Capsicum annuum* L; gas exchange characteristics; chlorophyll fluorescence characteristics