

苗期夜间低温对番茄叶片气孔开张度日变化及叶片超微结构的影响

王丽娟^{1,2}, 李天来¹, 马刚³, 张岚翠³, 陈伟之¹

(1. 沈阳农业大学 园艺学院, 辽宁省设施园艺重点实验室, 辽宁 沈阳 110161; 2. 天津农学院 园艺系, 天津 300384; 3. 静冈大学 农学部, 日本 静冈 4228529)

摘 要:以 15℃夜温为对照,研究了 6℃夜间低温对番茄叶片气孔开张度日变化及叶片结构的影响。结果表明:处理 7 d 时,处理植株叶片气孔器大小和叶面积显著小于对照,气孔密度显著大于对照。表皮厚度极显著大于对照。叶片厚度大于对照,但与对照差异不显著。处理植株番茄叶片气孔张开程度一天中皆小于对照,气孔张开率上午与对照差异不显著,14:00 显著小于对照。16:00 极显著小于对照;恢复 7 d 时,夜低温处理番茄叶片气孔器显著大于对照。气孔密度、每叶气孔数及单叶叶面积、气孔张开率皆小于对照,叶片气孔开口程度、叶片表皮厚度及厚度大于对照,但差异都不显著;夜间低温处理后叶片栅栏组织得更紧密,恢复 7 d 后无显著差异。

关键词:番茄;夜间低温;气孔

中图分类号:Q 945 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)11-0001-04

设施番茄生产中,冬季夜间低温经常发生,有关低温对番茄光合作用影响的研究已有很多报道,明确了夜间低温或昼夜低温可降低番茄光合速率^[1-3],但光合速率的降低是否受到气孔限制,以及昼温适宜、夜温偏低对番茄气孔开张度日变化及叶片超微结构的研究报道则较少。有研究发现,低夜温处理后气孔因素影响了番茄上午的光合速率^[4],但这一研究未能涉及夜间低温及恢复对气孔的系统影响及气孔开度日变化。为此,该研究对夜间低温逆境条件下及恢复期气孔特性和叶片超微结构进行了探讨,旨在进一步为短期夜间低温胁迫对番茄光合作用的影响机理研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2006 年春季在沈阳农业大学蔬菜试验基地环境处理室中(通过 GIC-III 型温室环境智能化控制器进行调控)进行,供试番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)品种为辽园多丽。穴盘营养基质育苗;室内保持昼温(25±1)℃,夜温(15±1)℃,光照度 600 mol·m⁻²·s⁻¹,待幼苗第 4 片真叶展开时,以 15℃夜温为对照,进行 6℃夜间低温处理,昼温均为(25±1)℃,连续处理 7 d,处理后在昼温为(25±1)℃、夜温为(15±1)℃的条件下恢复

7 d。夜间低温处理时间为每天的 18:00 时到次日 6:00 时。处理前及处理后有 1 h 的温度过渡缓冲时间;处理期间光周期均为 12 h,单株取样,3 次重复,测定叶为完全展开的第 4 片功能叶。

1.2 试验方法

1.2.1 叶片气孔观察 取样方法:各处理分别在夜间低温处理 7 d 后取样,分别于 8:00、10:00、14:00、16:00 时,取第 4 片真叶顶端 2 片对生叶片中的 1 片用作电镜观察,3 次重复。样品观察前处理:在叶片中部叶脉与叶片边缘之间切取 1~2 mm² 见方小块,用 2.5%戊二醛前固定,按常规系列乙醇脱水,醋酸异戊脂置换,在液态 CO₂ 中干燥后进行样品粘台,对其进行喷金处理,在 S-450 型扫描电子显微镜下进行观察各处理叶片气孔器数目与气孔开放程度,并照相。每处理拍 15 张照片,分别用 250 倍和 500 倍拍照,所有数据均在照片上统计得出。气孔孔径的测量:用 Motic Images 2000 1.2 软件准确量取每个照片所有气孔纵径和横径,计算每个气孔开口程度的大小,用面积表示。气孔器大小的测量:用 Motic Images 2000 1.2 软件准确量取每个照片所有气孔器纵径和横径,计算每个气孔器的大小,用面积表示。气孔张开率(%)=气孔张开数/所有气孔数×100。

1.2.2 叶片断层观测 测量方法同气孔孔径的测量

1.2.3 叶面积的测定 取第 4 片真叶顶端对生较小叶片,取样后把叶片恢复原状后用称重法测叶面积,以 30 mm×30 mm 同样纸为标准样,计算出 1 g 纸的面积,从而计算出叶片的面积,3 次重复。

第一作者简介:王丽娟(1971-),女,副教授,现从事设施蔬菜栽培与生理的研究工作。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30170640)。

收稿日期:2011-03-25

2 结果与分析

2.1 夜间低温处理对番茄叶片气孔的影响

由表1可知,夜间低温处理影响了气孔的特性,处理7 d时,6℃处理植株叶片气孔器大小显著小于对照,气孔密度显著大于对照,每叶气孔器数小于对照,但差

异不显著,叶面积显著低于对照。恢复7 d时,夜低温处理番茄叶片气孔器显著大于对照,气孔密度小于对照,但差异不显著,每叶气孔数及单叶叶面积皆小于对照,但差异不显著。

表1

苗期夜间低温处理对番茄叶片气孔的影响

Table1

Effect of low night temperature on stomata of tomato leaves

处理 Treatment /℃	气孔器大小 Stomata size / μm^2	气孔器密度 Stomata density / mm^2	气孔器数 Number of stomata /个 $\times 10^4 \cdot \text{叶}^{-1}$	叶面积 Leaf area / mm^2
处理 7 d 7 d of treatment	6 256.79 \pm 10.71bA	286 \pm 13aA	32.61 \pm 2.79aA	1138.71 \pm 92.04bA
15	288.93 \pm 12.34aA	249 \pm 17bA	33.52 \pm 0.08aA	1362.53 \pm 181.63aA
恢复 7 d 7 d of recovery	6 345.230 \pm 17.11aA	135 \pm 9aA	26.56 \pm 6.44aA	1901.04 \pm 426.51aA
15	308.79 \pm 13.24bA	146 \pm 20aA	28.98 \pm 4.56aA	1990.38 \pm 290.45aA

注:大写字母表示 $P<0.01$ 水平,小写字母表示 $P<0.05$ 水平;同一列中不同字母代表差异显著,以下同。

Notes: Capital letter indicates $P<0.01$; small letter indicates $P<0.05$. Means followed by different letters are significantly different, the below is same.

2.2 夜间低温处理对叶片气孔日变化的影响

由表2可知,夜低温处理后7 d时,1 d中处理植株番茄叶片气孔张开程度皆小于对照,上午8:00和下午16:00气孔张开程度与对照差异显著;处理植株叶片气

孔张开率与对照相比,上午差异不显著,14:00显著小于对照。16:00极显著小于对照。恢复7 d时,1 d中处理番茄叶片气孔开口程度大于对照,但与对照差异不显著。气孔张开率小于对照,但差异不显著。

表2

苗期夜间低温处理对番茄叶片气孔日变化的影响

Table2

Effect of low night temperature on diurnal changes of stomata size of tomato leaves

时间 Time	处理 Treatment /℃	气孔开口程度 Stomatal opening extent/ μm^2	张开率 Ratio of open stomata /%
处理 7 d 7 d of treatment	8:00	6 13.47 \pm 2.06bA	86.99 \pm 6.77aA
	15	17.56 \pm 3.49aA	86.92 \pm 6.74aA
	6	17.03 \pm 6.69aA	91.29 \pm 7.46aA
	15	18.72 \pm 9.95aA	90.97 \pm 7.30aA
	10:00	6 13.53 \pm 4.21aA	81.62 \pm 5.14bA
	15	17.20 \pm 5.31aA	88.98 \pm 6.41aA
	14:00	6 12.54 \pm 3.70bA	76.59 \pm 8.17bB
	15	18.06 \pm 5.60aA	94.55 \pm 5.37aA
恢复 7 d 7 d of recovery	16:00	6 44.54 \pm 10.60aA	96.08 \pm 4.72 aA
	15	44.30 \pm 13.44aA	99.26 \pm 1.85aA
	8:00	6 42.80 \pm 10.44aA	96.43 \pm 4.66aA
	15	36.89 \pm 11.87aA	96.87 \pm 3.79aA
	10:00	6 35.51 \pm 9.62aA	98.48 \pm 2.47aA
	15	34.37 \pm 8.26aA	99.82 \pm 1.01aA
	14:00	6 34.04 \pm 15.22aA	92.02 \pm 1.48aA
	15	31.33 \pm 11.54aA	92.41 \pm 3.99aA

2.3 夜间低温处理对叶片断层结构的影响

由表3可知,夜间低温处理7 d时,处理植株叶片表皮厚度极显著大于对照,叶片厚度大于对照,但与对照差异不显著。恢复7 d时,叶片表皮厚度及厚度仍大于

对照,但差异不显著。由图1可看出,夜间低温处理7 d,表观上看,夜间低温处理后叶片栅栏组织显得更紧密,恢复7 d后无显著差异。

表3

苗期夜间低温处理对番茄叶片组织结构的影响

Table 3

Effect of low night temperature on tissue of tomato leaves

处理 Treatment /℃	叶片表皮厚度 Leaf epidermal height / μm	叶片厚度 Thickness of leaf / μm
处理 7 d 7 d of treatment	6 23.68 \pm 0.54 aA	164.45 \pm 11.23 aA
15	19.97 \pm 1.28 bB	156.54 \pm 13.49 aA
恢复 7 d 7 d of recovery	6 24.69 \pm 1.94 aA	212.76 \pm 12.40 aA
15	22.40 \pm 2.14 aA	210.14 \pm 15.31 aA

3 讨论

气孔直接影响植物叶片呼吸作用和光合作用,也是植物与外界进行物质和能量的主要通道,气孔通常是早晨开放,晚上闭合,呈周期性变化。此外还受到环境因

素的调节,如光照、低浓度的 CO_2 能使气孔张开;晚上高浓度 CO_2 的会使其关闭。低温能破坏所有光合作用的组成成分,不仅可以引起光合机构的异常,同时也影响碳还原循环及气孔的开闭。而夜低温的影响能够持续

到第2天,甚至在恢复过程中,很多植物对夜低温的反应表现出迟滞性^[5-7]。温度是影响光合作用主要环境因子之一,而低温导致光合作用下降既有气孔因素也有非气孔因素,Martin 等研究表明,番茄植株经过 10℃ 处理 16 h,其叶片光合作用显著下降,其中 75% 归因于叶绿体受损,25% 归于气孔导度下降^[8]。目前有关于夜低温导致冷敏感植物光合作用下降的报道很多,多认为许多冷敏感植物在经夜低温后光合作用的气孔限制值增大,

如番茄、咖啡、葡萄、花生以及芒果等^[6,8-10]。该研究中,夜低温处理 7 d 后叶片气孔 1 d 中开口程度及张开率都小于对照,由于气孔是光合作用 CO₂ 的通道,所以气孔张开程度及张开率的降低会影响到光合作用的进行。在低温处理后恢复期间,气孔的开口程度与张开率与对照表现差异不显著,说明恢复 7 d 气孔因素已不再影响叶片的光合作用。

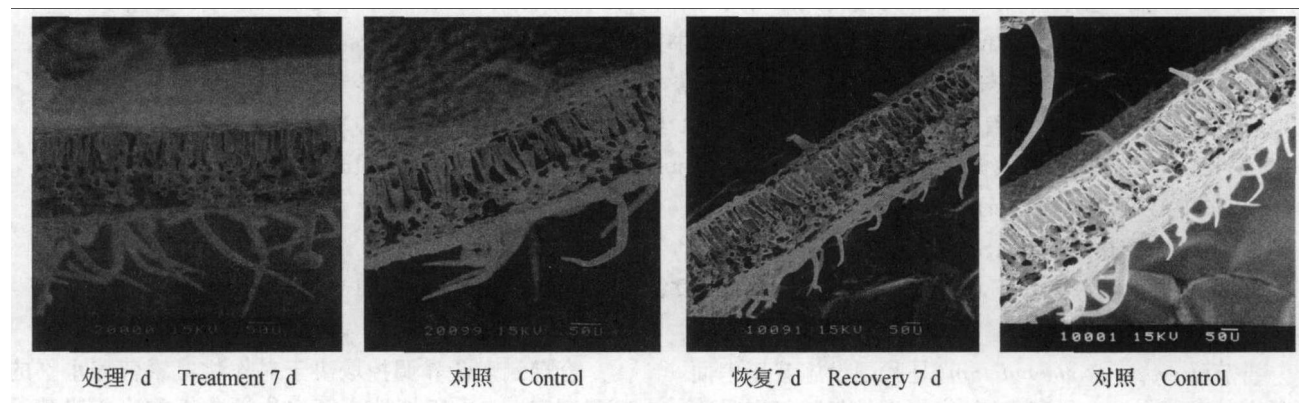


图1 6℃夜低温处理及恢复期间番茄叶片组织结构扫描电镜观察

Fig.1 Tomato leaf tissue scanning electron microscopy observation during low night temperature of 6℃ and recovery

4 结论

夜间低温处理影响了气孔的特性,处理 7 d 时,6℃ 处理植株叶片气孔器大小和叶面积显著小于对照,气孔密度显著大于对照。表皮厚度极显著大于对照,叶片厚度大于对照,但与对照差异不显著。处理植株番茄叶片气孔张开程度 1 d 中皆小于对照,气孔张开率上午与对照差异不显著,14:00 显著小于对照。16:00 极显著小于对照;恢复 7 d 时,夜低温处理番茄叶片气孔器显著大于对照。气孔密度、每叶气孔数及单叶叶面积、气孔张开率皆小于对照,叶片气孔开口程度、叶片表皮厚度及厚度大于对照,但差异都不显著;夜间低温处理后叶片栅栏组织显得更加紧密,恢复 7 d 后无显著差异。

参考文献

- [1] 黄伟,张俊花,任华中. 番茄耐低温弱光性研究进展[J]. 河北北方学院学报,2005,21(2):46-49.
- [2] 胡文海,喻景权. 低温弱光对番茄叶片光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 园艺学报,2001,28(1):41-46.
- [3] Bruggemann W, Thomas A W, van der Kooij. Long-term chilling of you

covery. I. Growth, development and photosynthesis [J]. Plant, 1992, 186: 172-178.

- [4] 王丽娟,李天来,李国强,等. 夜间低温对番茄幼苗光合作用的影响[J]. 园艺学报, 2006(4):757-761.
- [5] Allen D J, Ort D R. Impact of chilling temperatures on photosynthesis in warm climate plants[J]. Trends in plant Science, 2001(6):36-42.
- [6] Bauer H, Wierer R, Hatheway W H, et al. Photosynthesis of *Coffea arabica* after chilling[J]. Physiologia Plantarum, 1985, 64:449-454.
- [7] Long S P, East T M, Baker N R. Chilling damage to photosynthesis in young *Zea mays*. Effects of light and temperature variation on photosynthetic carbon dioxide assimilation[J]. Journal of Experimental Botany, 1983, 34: 177-188.
- [8] Martin B, Ort D R, Boyer J S. Impairment of photosynthesis by chilling-temperatures in tomato (*Lycopersicon esculentum* cultivar Rutgers) [J]. Plant Physiology, 1981, 68:329-334.
- [9] Allen D J, Ratner K, Giller Y E, et al. An overnight chill induces a delayed inhibition of photosynthesis at midday in mango[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51:1893-1902.
- [10] 张振贤,艾希珍,张福媛. 蔬菜作物光合作用研究进展[J]. 园艺学报, 2001, 28(增刊):627-632.

Effects of Low Night Temperature on the Diurnal Changes of Stomatal Opening Extent and Ultrastructure of Tomato Leaves

WANG Li-juan^{1,2}, LI Tian-lai¹, MA Gang², ZHANG Lan-cui³, CHEN Wei-zhi¹

(1. College of Horticulture, Key Laboratory of Protected Horticulture of Liaoning Province, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161; 2. Department of Horticulture, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384; 3. Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Shizuoka, Japan 4228529)

无损测技术在番茄营养诊断中的应用研究

武新岩^{1,2}, 郭建华², 张毅功¹, 方正³, 张丽娟¹, 毛思帅⁴

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097; 2. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000;

3. 河北农业大学 河北省生物无机化学重点实验室, 河北 保定 071001; 4. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘要:为了实现番茄无损测试诊断的目标, 利用叶绿素仪 SPAD-502 测定了番茄不同生育期成叶、新叶的 SPAD 读数值。结果表明: 番茄无论新叶还是成叶全氮含量、叶绿素含量都与 SPAD 测定值有很好的相关性; 随着施肥量的增加, 番茄植株体内的叶绿素含量、全氮含量都在增加, 番茄 SPAD 读数在逐渐的增大, 番茄的维生素 C 含量呈上升趋势, 在 600 kg/hm² 时, 果实维生素 C 含量达到最大值, 当施氮量为 900 kg/hm² 时, 番茄体内的可溶性固形物达到了最大值。SPAD 能够对番茄的营养状况作出诊断。

关键词:番茄; SPAD; 叶绿素; 全氮

中图分类号:S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)11-0004-04

番茄(*Lycopersicon esculentum*)是我国设施栽培中面积最大的蔬菜之一。研究表明, 作物生长与其氮素吸收和氮浓度关系密切^[1]。由于其具有很高营养价值和药用价值, 风味独特, 深受广大消费者青睐。近年来, 叶绿素仪在作物叶片养分的间接速测上应用广泛, 取得了较好的效果, 利用叶绿素仪测定的 SPAD 值可以间接反映作物叶片的叶绿素含量及含氮量^[2-6]。对番茄最经济施肥量的研究发现, 合理施肥在一定程度上可以提高番茄的产量, 并且能够改善番茄的品质和风味^[7]。氮素营养对番茄生长发育及产量有很大的影响, 氮肥的合理施用比传统施用有更大的经济可行性和生态可行性。

合理氮素营养调控取决于对作物氮素营养水平的精确判定^[8]。由于植株全氮的化学分析方法普遍基于通过破坏土壤和作物获取样本, 历经采样、烘干、研磨、称重、化验分析等多道程序, 花费时间长, 测试结果不具有实时性, 不能满足日趋发展的农业信息化的要求^[9]。近年来, 一种基于测定叶绿素相对含量的手持式叶绿素仪(SPAD-502)较为广泛地应用于植物的氮素检测, 叶绿素检测仪 SPAD-502 是通过不同叶绿素含量的叶片对 2 种不同波长光的吸收不同来确定其叶绿素含量, 与传统的乙醇-丙酮浸提法测定叶绿素相比, 它能够快速、简便、较精确、非破坏性地监测植物氮素营养水平并能及时提供追肥所需的信息。现利用叶绿素仪对番茄不同氮素水平下各生育期成叶和新叶叶片的 SPAD 读数进行测定, 分析氮素不同用量、叶绿素、全氮与 SPAD 值的关系, 旨在寻找一种快速、简单、无损的氮素营养状况诊断方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为京丹, 供试氮肥为硫酸铵(N 21%), 磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 17%), 钾肥为硫酸钾(K₂O 0%)。

第一作者简介:武新岩(1986-), 女, 河北保定人, 在读硕士, 研究方向为植物营养生态。

责任作者:郭建华(1961-), 女, 河北武强人, 研究员, 现主要从事植物营养与施肥研究工作。

基金项目:北京市自然科学基金资助项目(6082010); 国家“863”计划资助项目(SQ2010AA1000764006)。

收稿日期:2011-03-25

Abstract: Effects of low night temperature at 6°C (15°C as control) on the diurnal changes of stomatal opening extent and the structures of tomato leaves were investigated. The results showed that on the 7th day of the treatment, the stomatal size and leaf area were significantly lower than control, while the stomatal density and leaf epidermal height were obviously higher than control. Leaf thickness was not significantly affected. During the whole day, the stomatal opening extent in low night temperature treatment was lower than control. The stomatal opening ratio was similar to the control in the morning, while it was lower than control at 14:00 and significantly lower at 16:00. After recovery for 7 days, the stomata size in the low temperature treatment was much bigger than control. The stomatal density, stomatal opening rate, leaf area were lower than control, and the stomatal opening extent, leaf epidermal height and leaf thickness were higher than control. However, these changes were not significant. In the low temperature treatment, the palisade tissue became closer, while no obvious difference was observed after recovered for 7 days.

Key Words: tomato; low night temperature; stomatal