

# 不同光质对温室甜椒气孔导度的影响

苏天星<sup>1</sup>, 杨再强<sup>1,2</sup>, 黄海静<sup>1</sup>, 黄川容<sup>1</sup>, 张波<sup>1</sup>, 张继波<sup>1</sup>, 顾礼力<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学应用气象学院, 江苏 南京 210044; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

**摘要:**以甜椒品种‘苏椒13号’和‘川雄9号’为试材,于2009年3~8月在江苏南京设计不同彩色塑料薄膜(红、绿、黄、紫、蓝,无色膜为对照(CK))覆盖处理试验,系统研究不同光质对温室甜椒气孔导度的影响。结果表明:(1)在幼苗期2品种气孔导度日变化曲线的峰值均以对照(CK)最高,‘苏椒13号’和‘川雄9号’分别以紫膜和红膜处理最低,所有光质处理的气孔导度的日变化曲线均为单峰型;在结果期‘苏椒13号’的气孔导度峰值以红膜处理最高,黄膜处理最低;研究发现红膜、蓝膜和黄膜处理有效诱导温室甜椒叶片气孔开放,而紫膜和绿膜处理抑制气孔开放;(2)2甜椒品种的蒸腾速率在幼苗期和结果期分别均以对照和红膜处理最高,绿膜处理最低;(3)试验期间温度对甜椒叶片气孔导度影响不显著,而叶片气孔导度随光合有效辐射增强而增加。

**关键词:**甜椒;光质;气孔导度;蒸腾速率

**中图分类号:**S161.1

**文献标识码:**A

## 引言

气孔既是光合作用吸收空气中CO<sub>2</sub>的入口,也是水蒸气逸出叶片的出口,它在控制碳的吸收和水分损失的平衡中起着关键作用<sup>[1]</sup>。气孔导度对作物的蒸腾作用和光合作用具有重要影响<sup>[2-3]</sup>,不同光谱成分对作物的气孔开闭具有重要调节作用<sup>[4]</sup>。甜椒(*Capsicum frutescens* L.)是我国主要设施蔬菜作物,系统研究不同光质对温室甜椒的气孔导度的影响可揭示不同光质处理下甜椒水分运输机理和规律,对温室甜椒水分管理和光质调控提供科学依据。

前人研究表明不同光质对作物叶绿素形成、叶气交换等生理过程均具有调控作用<sup>[5-6]</sup>。研究认为叶片中保卫细胞的叶绿体、隐花色素和光敏色素可感应不同光质成分以调节叶片气孔大小和数量<sup>[7-12]</sup>。Zeiger等<sup>[13]</sup>提出蓝光比红光能更有效地诱导气孔开放,Talbott等<sup>[14]</sup>以离体蚕豆(*Vicia faba*)表皮为材料,对其进行红光和蓝光照射处理,发现蓝光照射2h使气孔净开张417nm,红光则使气孔净开张318nm,蓝光比红光更能有效促进作物气孔的开放,原因是蓝光可活化保卫细胞质膜上的H-

ATP酶泵<sup>[15-16]</sup>,不断泵出质子,形成跨膜的电化学梯度,推动K<sup>+</sup>进入保卫细胞,导致细胞内渗透势下降、细胞吸水膨胀,使气孔张开。也有学者研究证实远红光下气孔数量较多,气孔面积较小<sup>[17]</sup>。王丽娟<sup>[18]</sup>研究发现红膜处理草莓的叶片气孔导度比中性膜处理高12.65%,绿膜却降低了10.13%。由此可见,不同光质成分对作物气孔开闭的作用结果不尽相同。迄今为止,国内外关于不同光质对温室甜椒气孔导度影响的研究少见报道。本研究设计试验,探讨不同光质处理对温室甜椒叶片气孔导度的影响规律,阐明不同光质处理对甜椒不同发育阶段叶片蒸腾速率的影响,研究结果可为利用光质调控甜椒生长与品质及温室环境管理提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验设计

试验于2009年3~8月在南京信息工程大学农业气象试验站塑料温室内进行。塑料温室顶高3.5m,肩高2.5m,宽6.0m,长30.0m,温室呈南北向。在温室内离地面2.0m高处搭架,架上覆盖不同彩

收稿日期:2010-09-17; 改回日期:2010-10-18

基金项目:中国气象局公益性行业专项(GYHY(QX)200906023)和(GYHY(QX)201006028),中国气象局干旱气象科学研究基金(IAM200901),江苏省科技支撑计划(社会发展)项目(BE2010734),南京信息工程大学科研基金(80127)共同资助

作者简介:苏天星(1985-),男,硕士研究生,研究方向为应用气象. Sutipianxing2323@163.com

色塑料薄膜,试验设计红膜、黄膜、绿膜、蓝膜、紫膜处理,以无色膜为对照(CK),色膜处理覆盖面积 $18\text{ m}^2$ ,长 $6.0\text{ m}$ ,宽 $3.0\text{ m}$ 。为了保证不同颜色薄膜覆盖条件下的光强和光质稳定,1个月更换1次新膜。试验以甜椒品种‘川雄9号’(‘CX-9’)(茎无限生长型)和‘苏椒13号’(‘Sujiao13’)(茎有限生长型)为试材,于2009年3月26日定植幼苗,苗高为 $20\text{ cm}$ ,叶片数为 $6\sim 10$ 片。株行距为 $50\text{ cm}\times 50\text{ cm}$ (种植密度为 $4\text{ 株}/\text{m}^2$ ),采用土培,试验8月10日结束。

### 1.2 温室环境数据采集和色膜光谱测定

温室环境数据由数据采集器(CR-10X,产地:美国)自动采集,采集项目为不同处理离地面 $1.5\text{ m}$ 高处空气温度和作物冠层上方光合有效辐射(PAR)。采集频率为每 $10\text{ s}$ 1次,存储每 $30\text{ min}$ 的平均值。利用可见—紫外分光光度计(岛津UV-2450,产地:日本)测定薄膜在 $200\sim 800\text{ nm}$ 波长范围的透过率。

### 1.3 气孔导度测定方法

在试验期间,不同光质处理在甜椒幼苗期和结

果期各选择 $5\text{ d}$ ,利用Li-6400光合作用测定系统每隔 $2\text{ h}$ 测定一次,测定叶片气孔导度、蒸腾速率、叶片温度、PAR等参数。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同色膜对光透过率和光合有效辐射的影响

不同色膜处理在不同波长的透过率如图1a,可知不同处理在 $280\sim 360\text{ nm}$ 的透过率曲线有一个峰值,无色薄膜在 $500\sim 800\text{ nm}$ 有较高透过率,达 $75\%$ 左右。黄膜在 $400\sim 800\text{ nm}$ 的透过率比无色膜低,在 $60\%\sim 70\%$ 范围内波动。绿膜、紫膜分别在 $600\sim 670\text{ nm}$ 、 $400\sim 600\text{ nm}$ 透过率低,在 $10\%\sim 20\%$ 范围内。蓝膜与紫膜的透过率曲线趋势一致。红膜在 $480\sim 530\text{ nm}$ 间透过率低,仅 $10\%$ 。所有薄膜在 $700\sim 800\text{ nm}$ 透过率较高,达到 $75\%$ 以上。

不同色膜处理的光合有效辐射见图1b,在试验期间,不同处理的冠层累计截获PAR日积分从大到小顺序为:无色膜(CK) $>$ 红膜 $>$ 黄膜 $>$ 绿膜 $>$ 紫膜 $>$ 蓝膜。由于不同光质处理在同一温室内进行,不同处理间的空气温度差异不明显。

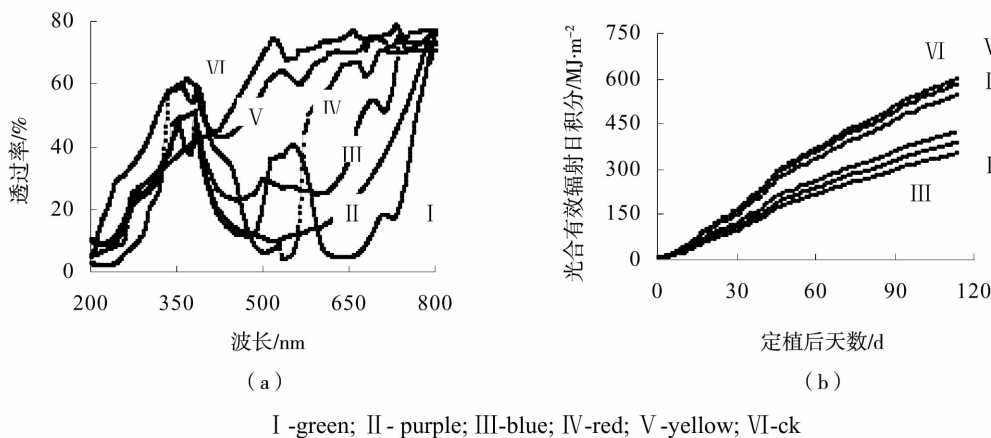


图1 不同光质处理对透过率(a)和定植后PAR日积分(b)的影响

Fig. 1 Effects of light qualities on light transmitted rate(a) and the accumulative daily PAR integral after planting(b)

### 2.2 不同光质对甜椒气孔导度的影响

‘苏椒13号’和‘川雄9号’幼苗期和结果期的气孔导度日变化曲线如图2,在幼苗期不同处理的‘苏椒13号’气孔导度峰值由大到小的顺序为:CK $>$ 红膜 $>$ 黄膜 $>$ 蓝膜 $>$ 绿膜 $>$ 紫膜。所有处理的峰值出现在 $10:00\sim 14:00$ 之间,气孔导度的最低值均出现在 $18:00$ 。‘川雄9号’在不同光质处理下对气孔导度影响的峰值大小顺序为:CK $>$ 蓝膜 $>$ 黄膜 $>$

紫膜 $>$ 绿膜 $>$ 红膜。在结果期‘苏椒13号’和‘川雄9号’气孔导度的峰值均以红膜处理最高,蓝膜、红膜、紫膜处理‘苏椒13号’气孔导度日变化呈单峰,其它处理气孔导度变化规律性差,气孔导度值在 $0\sim 200\text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 波动。‘川雄9号’气孔导度出现上午高, $12:00$ 后气孔导度低的趋势。

不同处理气孔导度日均值如图3,在幼苗期对‘苏椒13号’气孔导度日均值以对照最高,达 $236.7$

$\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,紫膜处理最低为  $76.2 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,气孔导度日均值由大到小的顺序为:CK > 红膜 > 蓝膜 > 绿膜 > 黄膜 > 紫膜。‘苏椒 13 号’在结果期气孔导度日均值则以红膜处理最高,达  $240.5 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,紫膜处理最低,仅为  $58.4 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,不同处理气孔导度的大小顺序为:红膜 > 蓝膜 > CK > 黄膜 > 绿膜 > 紫膜。而‘川雄 9 号’在幼苗期叶片气孔导度的日均值以 CK 最高( $174.9$

$\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),绿膜处理最低,仅为  $34.5 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,各处理叶片的气孔导度日平均值由大到小顺序为:CK > 红膜 > 黄膜 > 蓝膜 > 紫膜 > 绿膜。结果期气孔导度日均值以红膜处理最高,为  $155.1 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,绿膜处理的气孔导度最低,为  $71.2 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从上可知:红膜,蓝膜和黄膜处理能够有效促进甜椒叶片气孔开放,而紫膜、绿膜处理对甜椒气孔开放具有抑制作用。

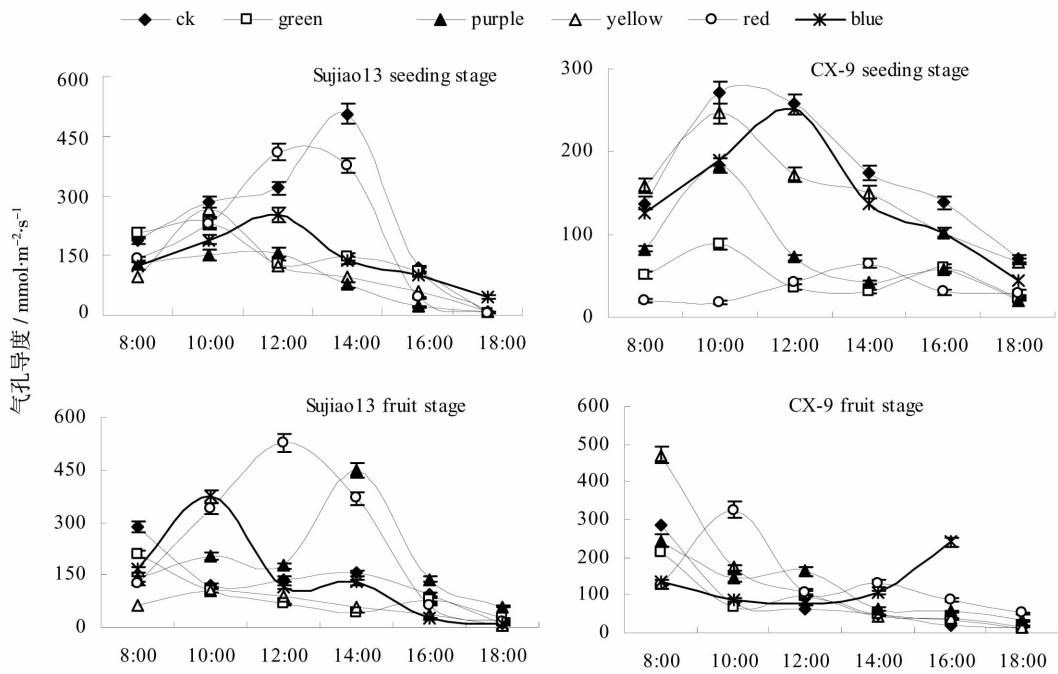


图2 不同时期不同甜椒品种气孔导度的日变化

Fig.2 The daily change curves of stomatal conductance for different sweet pepper varieties in seeding stage and fruit stage

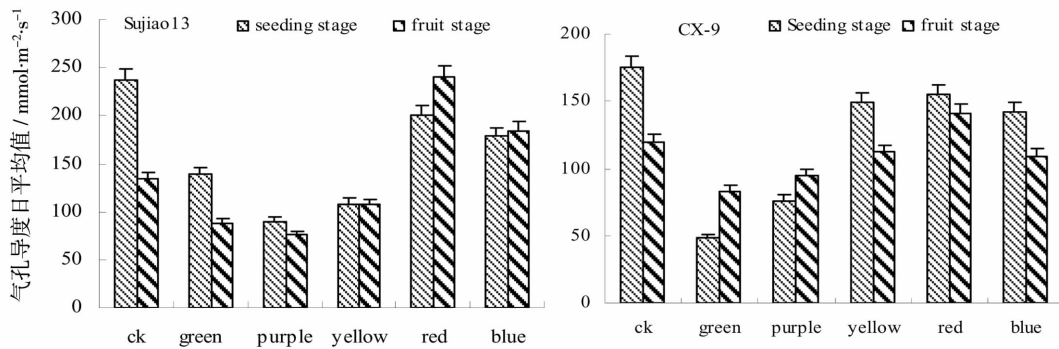


图3 不同发育时期不同品种气孔导度日平均值的比较

Fig.3 Comparison of the daily average of stomatal conductance for different sweet pepper varieties in different development stages

### 2.3 不同光质对甜椒蒸腾速率日变化的影响

甜椒幼苗期和结果期的蒸腾速率的日变化曲线见图 4, 可知在幼苗期‘川雄 9 号’的蒸腾速率最大值的大小顺序为: CK > 红膜 > 紫膜 > 蓝膜 > 黄膜 > 绿膜, 无色膜 (CK) 处理蒸腾速率中午 12:00 最高, 达到  $0.288 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 绿膜仅为  $0.101 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。各个处理蒸腾速率的日变化曲线均呈单峰型。在幼苗期‘苏椒 13 号’蒸腾速率的最大值不同处理由大到小顺序: CK > 红膜 > 黄膜 > 紫膜 > 蓝膜 > 绿膜, CK 处理中午 12:00 的蒸腾速率峰值达到  $0.254 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 绿膜处理最低, 仅为  $0.074 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

CK 处理的蒸腾速率日变化曲线呈双峰型, 其它处理呈单峰型。

结果期‘川雄 9 号’的蒸腾速率峰值由大到小为: 红膜 > 紫膜 > 蓝膜 > CK > 黄膜 > 绿膜, 红膜处理下蒸腾速率峰值出现在 10:00, 为  $0.285 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 绿膜处理的蒸腾速率峰值在 10:00 时出现, 仅为  $0.133 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。红膜处理下蒸腾速率日变化呈双峰型, 其它处理均呈单峰型。结果期‘苏椒 13’在红膜处理的蒸腾速率峰值最大, 14:00 达到  $0.314 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 绿膜处理蒸腾速率峰值最小, 仅为  $0.114 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 所有处理的蒸腾速率日变化曲线呈单峰型。

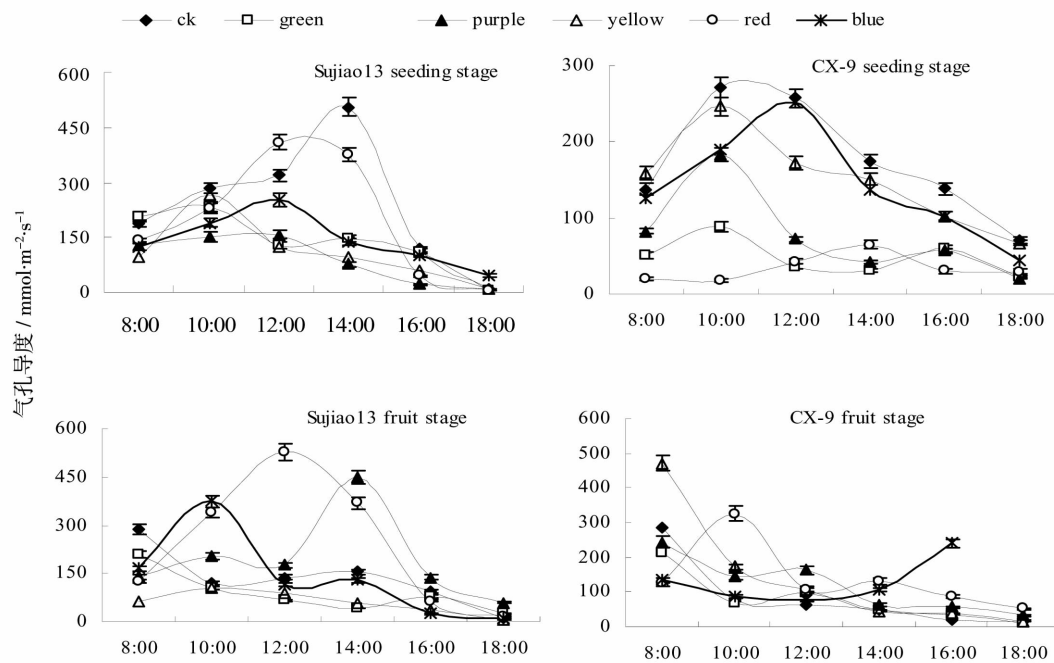


图 4 不同光质对温室甜椒蒸腾速率的日变化的影响  
Fig. 4 Effect of light qualities on the daily change curve of transpiration rate of greenhouse sweet pepper

### 2.4 气孔导度与温度和光合有效辐射的关系

利用试验期间测定每日不同时刻的叶片气孔导度和叶片温度数据分析得到甜椒气孔导度与温度关系如图 5 所示, 气孔导度随叶片温度的增高略有增大趋势, 但超过  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  后, 气孔导度反而降低, 气孔导度和叶片温度之间关系的拟合方程为:  $y = 0.7748x + 101.66$ , 相关系数  $r$  为 0.

098, 可以看出叶片温度与甜椒气孔导度相关系数不高, 经检验未达到显著水平 ( $R_{0.05} = 0.12$ )。研究表明甜椒气孔导度随着辐射的增强而增大, 气孔导度和辐射之间关系的拟合方程为:  $y = 0.3947x + 59.891$ , 相关系数  $r$  为 0.268, 经检验达到极显著水平 ( $R_{0.01} = 0.2$ ), 说明 PAR 对甜椒气孔导度影响高于叶片温度的影响。

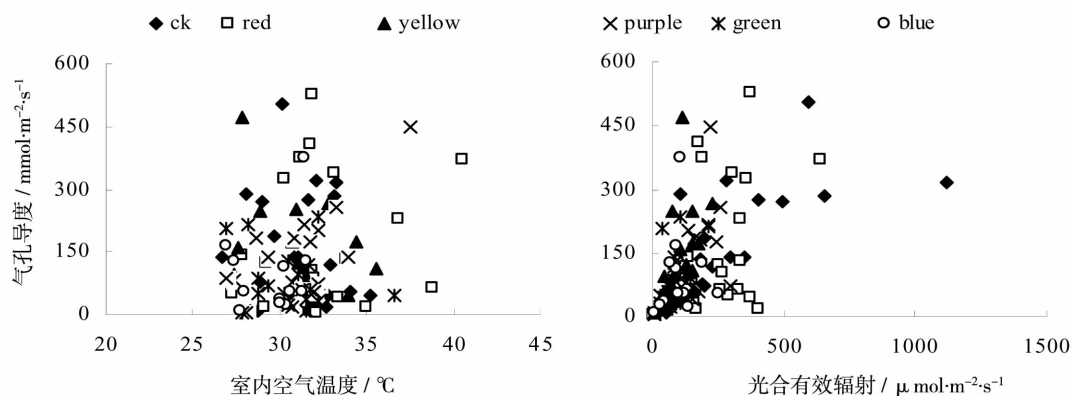


图5 温室甜椒叶片气孔导度与温度和光合有效辐射的关系

Fig.5 Relation of the stomatal conductance of greenhouse sweet pepper to the inside air temperature and photosynthetic active radiation

### 3 讨论与结论

作物气孔导度的主要因素除了温度、辐射外,还与相对湿度、饱和水气压差(Vapor press deficit, VPD)和 $\text{CO}_2$ 浓度有关<sup>[19-23]</sup>,本试验中不同光质处理在同一温室内进行,不同光质处理的冠层上方的空气温度、相对湿度、饱和水气压差和 $\text{CO}_2$ 浓度等环境条件基本一致,仅考虑不同光质成分对温室甜椒叶片气孔导度的影响,研究表明:甜椒在不同发育阶段,红膜、蓝膜、黄膜处理均能够有效促进叶片气孔张开,紫膜和绿膜处理的叶片气孔导度较低,该研究结论与王丽娟<sup>[18]</sup>研究结果基本一致。同时本研究发现不同色膜处理的叶片气孔导度与叶片温度相关系数较低,主要由于试验期间甜椒的结果期处于夏季,室内空气温度在25~40℃之间,在中午高温对甜椒气孔导度有抑制作用,因为空气温度过高会导致蒸腾作用过强,保卫细胞失水而气孔关闭的情况,这与李文瑞等<sup>[12]</sup>对沙冬青研究和阮成江等<sup>[6]</sup>对沙棘研究得出的结论相一致。前人研究认为不同光谱能够诱导叶片中保卫细胞的叶绿体、隐花色素和光敏色素,从而感应不同光质成分以调节叶片气孔大小和数量<sup>[10-12]</sup>,因此,为了揭示不同色膜对温室甜椒气孔导度的影响机理,今后还需进一步研究不同色膜处理对温室甜椒叶绿体、隐花色素和光敏色素的影响。

研究结果表明,2品种在幼苗期叶片气孔导度对不同光质的反应不同,这与品种遗传特性有关。‘苏椒13号’属茎有限生长型,株高仅60cm,而‘川

雄9号’属茎无限生长型,其主蔓不停地生长,株高可达120cm,单株叶面积明显高于‘苏椒13号’,从而引起2品种冠层结构和光分布规律不同。为了进一步揭示光质调控机理,今后需要控制试验研究不同光质对甜椒的生长发育、冠层结构、产量和品质的影响。

#### 参考文献:

- [1] Elena P, Cristina N, Giacomo L. Early Responses to Acute Ozone Exposure in Two *Fagus Sylvatica* Clones Differing in Xeromorphic Adaptations; Photosynthetic and Stomatal Processes, Membrane and Epicuticular Characteristics [J]. *Environ Monit Assess*, 2007 (128):93-108.
- [2] Lee S H, Tewari R K, Hahn E J, et al. Photon flux density and light quality induce changes in growth, stomatal development, photosynthesis and transpiration of *Withania Somnifera* (L.) Dunal. *Plantlets*[J]. *Plant Cell Tiss Organ Cult*, 2007(90):141-151.
- [3] 司建华, 常宗强, 苏永红, 等. 胡杨叶片气孔导度特征及其对环境因子的响应[J]. *西北植物学报*, 2008,28(1):125-130.
- [4] 江明艳, 潘远智. 不同光质对盆栽一品红光合特性及生长的影响[J]. *园艺学报*, 2006,33(2):338-343.
- [5] Onofrio C D, Morini S, Bellocchi G. Effect of light quality on somatic embryogenesis of quince leaves[J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 1998(53):91-98.
- [6] Ramalho J C, Marques N C, Semedo J N. Photosynthetic performance and pigment composition of leaves from two tropical species is determined by light quality[J]. *Plant Biology*, 2002(4):112-120.
- [7] Qin Y H, Zhang S L, Syed A, et al. Regeneration mechanism of Toyonoka strawberry under different color plastic films[J]. *Plant Science*, 2005(168):1425-1431.
- [8] Khattak A M, Pearson S. Spectral filters and temperature effects on

- the growth and development of chrysanthemums under low light integral[J]. *Plant Growth Regul*, 2006(49):61-68.
- [9] 许莉,刘世琦,齐连东,等. 不同光质对叶用莴苣光合作用及叶绿素荧光的影响[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(1): 96-100.
- [10] 郑洁, 胡美君, 郭延平. 光质对植物光合作用的调控及其机理[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1619-1624.
- [11] Sing M, Chaturvedi R, Sane P V. Diurnal and seasonal photosynthetic characteristics of populus deltoides Marsh Leaves[J]. *Photosynthetic*, 1996(18):61-68.
- [12] Lin M J, Ban D H. Photosynthetic plasticity of Phalaenopsis in response to different light environments[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2004(14):53-59.
- [13] Zeiger E, Lino M, Ogawa T. The blue light response and some mechanistic implications[J]. *Photochemistry and Photobiology*, 1985(42):759-763.
- [14] Talbott L D, Zeiger E. Sugar and organic acid accumulation in guard cells of *Vicia faba* in response to red and blue light[J]. *Plant Physiology*, 1993(102):1163-1169.
- [15] Khattak A M, Pearson S, Johnson C B. The effects of far red spectral filters and plant density on the growth and development of chrysanthemums[J]. *Scientia Horticulturae*, 2004(2):335-341.
- [16] Shumin L, Nihal CR, Roy E Y, et al. Growth responses of chrysanthemum and bell pepper transplants to photo-selective plastic films[J]. *Scientia Horticulturae*, 2000(84):215-225.
- [17] Gareth A, Pearson E A, Serrao M D, et al. Blue- and green-light signals for gamete release in the brown alga, *Silvetia compressa*[J]. *Oecologia*, 2004(138):193-201.
- [18] 王丽娟. 光质对草莓光合特性及果实品质的影响[J]. 河北农业大学, 2008.
- [19] Atsuhiro I, Hisakazu F, Yachiho N, et al. Stomatal closure induced by high vapor pressure deficit limited midday photosynthesis at the canopy top of *Fagus crenata* Blume on Naeba mountain in Japan[J]. *Trees*, 2004(18):510-517.
- [20] 符军, 王军, 高建社, 等. 几个猕猴桃品种净光合速率和蒸腾速率与环境因素的关系[J]. *西北植物学报*, 1998, 18(1):90-96.
- [21] Michael M B, David T C. Effects of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stools and leaves[J]. *Plant Growth Regulation*, 2004(42):153-160.
- [22] Patricia P J, Penuelas J L, Dolores A M E. Effects of long-term experimental night-time warming and drought on photosynthesis, Fv/Fm and stomatal conductance in the dominant species of a Mediterranean shrubland[J]. *Acta Physiol Plant*, 2009(31):729-739.
- [23] James A B. Carbon dioxide effects on stomatal responses to the environment and water use by crops under field conditions[J]. *Oecologia*, 2004(140):1-10.

## Effect of Light Quality on Stomatal Conductance of Sweet Pepper in Greenhouse

SU Tianxing<sup>1</sup>, YANG Zaiqiang<sup>1,2</sup>, HUANG Haijing<sup>1</sup>,

HUANG Chuanrong<sup>1</sup>, ZHANG Bo<sup>1</sup>, ZHANG Jibo<sup>1</sup>, GU Lili<sup>1</sup>

(1. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China;  
2. Institute of Arid Meteorology; China Meteorological Administration; Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The stomatal conductance of two sweet pepper varieties ‘Sujiao13’ and ‘CX-9’ planted in a greenhouse with red, yellow, green, blue, purple and clear plastic film covering on six different part of it were measured in this experiment to study the effect of light quality on stomatal conductance of sweet pepper. The results showed that: (1) In seedling stage, the diurnal change of stomatal conductance with all treatments presented single peak curves with the daily maximum stomatal conductance with the clear plastic film treatment higher than that with other treatments, and the daily minimum stomatal conductance were found to be lowest with purple plastic film treatment for Sujiao13 and with red plastic film treatment for CX-9. While in fruit setting stage, the peak value of diurnal change curve of stomatal conductance was highest with red plastic film treatment and lowest with yellow plastic film treatment for Sujiao13. It was found that the red, blue and yellow plastic film treatment could induce the opening of stomatal of greenhouse sweet pepper, while the effects were opposite for purple and green plastic film treatment. (2) The transpiration rates of the two varieties were highest with clear plastic film treatment and red plastic film treatment, respectively, in seedling stage and fruit setting stage. With green plastic film treatment, the transpiration rates of the two varieties were lowest in both development stages. (3) The effect of temperature on the stomatal conductance of sweet pepper was not significant during the experiment, however, the stomatal conductance of sweet pepper rose with the increasing of photosynthetically active radiation.

**Key words:** sweet pepper; light quality; stomatal conductance; transpiration rate