

# 散射光薄膜对番茄生长和果实品质的影响

孙士景 周清\* 范冰冰 赵淑梅 王平智 曲英华

(中国农业大学水利与土木工程学院, 农业部设施农业工程重点实验室, 北京 100083)

**摘要:** 以番茄品种博粉为试材, 以普通薄膜为对照, 研究散射光薄膜对番茄生长与果实品质的影响。结果表明: 相对于普通薄膜, 在散射光薄膜温室中生长的番茄长势更强, 叶绿素含量更高, 番茄果实数量和平均单果质量分别增加 12.52% 和 7.71%, 产量提高 21.19%; 果实的体积显著增大, 果形更接近于该品种特征果形 (果形指数为 0.8~0.9); 在果实品质方面, 番茄的可溶性固形物含量及 VC 含量都有显著提高。表明散射光薄膜不仅有助于番茄植株的生长, 对果实的品质也有一定的改善。

**关键词:** 番茄; 散射光薄膜; 日光温室; 生长; 品质

近年来, 我国设施农业迅速发展, 设施蔬菜的面积也在逐年扩大。据统计, 21 世纪我国蔬菜种植面积年均增长率为 3.5%, 2014 年的蔬菜种植面积达到了 2 140.5 万  $\text{hm}^2$  (中华人民共和国农业部, 2015)。在植物生长发育过程中, 光照作为重要的环境因子之一, 不仅是植物光合作用的能源, 同时还以环境信号的形式作用于植物并调节其生长发育的过程 (胡阳等, 2009; 李汉生和徐永, 2014)。所以, 在植物整个生命周期中如果能够给予合理的光环境, 不仅可以促进作物生长, 提高产量, 还可以改变作物的品质 (Durieux, 1997; Kitaya et al., 1998; 苏娜娜等, 2013; 余新等, 2014)。

在设施栽培中, 设施薄膜是影响设施内光环境的重要因素。它通过影响设施内作物的光合作用进而影响作物的营养生长与生殖生长 (Cockshull et al., 1992; 马光恕等, 2002)。温室中散射光是由外界光通过温室的散射光覆盖材料时, 其中部分光偏离主要的传播方向形成的。目前, 温室中散射光的应用在赤道附近国家已经非常普遍, 而且有研究表明, 散射光对植物的生长具有一定的促进作用

(Hemming et al., 2007)。

在普通薄膜材料覆盖下的温室中, 由于植株等各方面的遮挡, 植株的中下部叶片获得的光照强度不能满足其生长发育的需要, 而散射光薄膜覆盖下的温室内的光照更加均匀, 植株的中下部叶片可以获得更多的光, 提高植株的光合作用, 为植株的生长发育奠定基础 (Hemming et al., 2006)。目前, 我国对散射光在设施栽培中的应用研究较少, 本试验研究散射光薄膜下的光环境对番茄生长性状与品质的影响, 旨在为我国设施栽培散射光的利用提供一定的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄 (*Solanum lycopersicum* L.) 品种为博粉, 采用穴盘育苗, 2015 年 2 月 2 日幼苗于四叶一心时定植于温室中。供试薄膜为聚乙烯流滴耐老化膜, 编号 A3.6 和 B3.6, 由博禄贸易 (上海) 有限公司提供。其中 A3.6 为普通对照薄膜, B3.6 为散射光试验薄膜。经农业部设施农业工程重点实验室检测, 试验用 A3.6 和 B3.6 薄膜的实测厚度分别为 0.053 mm 和 0.054 mm, 平均透光率为 92.1% 和 91.8%, 平均雾度为 16.8% 和 36.2%。

### 1.2 试验设计

试验于 2015 年 2 月 2 日至 6 月 11 日在山东省寿光市赵旺铺村的两栋同等规模 (长

孙士景, 女, 硕士研究生, 专业方向: 设施园艺环境工程, E-mail: sunshijing@cau.edu.cn

\* 通讯作者 (Corresponding author): 周清, 女, 副教授, 硕士生导师, 专业方向: 生物环境控制与能源工程, E-mail: cauzhou@cau.edu.cn

收稿日期: 2015-11-12; 接受日期: 2016-01-20

基金项目: 国际合作项目 (201404810910617)

度 55 m, 跨度 13.2 m)、位置相邻的日光温室内进行。分别覆盖编号为 B3.6 的散射光棚膜(试验温室)和编号为 A3.6 的普通棚膜(对照温室)。

温室内番茄采用槽式栽培方法, 每个温室中共设置 29 个南北方向的槽, 每个槽内栽植 2 行, 每行栽植 24 株。在试验温室内中间区域随机选取 24 株番茄苗, 对照温室在相同位置选取 24 株。在试验期间, 两栋日光温室内番茄的管理方式完全一致。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 温室内的光合有效光子密度 (PPF) 用光合有效辐射传感器测定温室内植株冠层和根际的光合有效光子密度, 设定每 10 min 记录 1 个均值, 自定植 30 d 起开始测定, 直至番茄拔秧。

1.3.2 株高、茎粗 用卷尺测量定植后番茄的株高, 株高为土壤至植株心叶顶端的距离, 自定植 15 d 起开始测量, 每隔 15 d 左右测量 1 次; 用游标卡尺测量定植后番茄的茎粗, 测量点为植株第 1、2、3 花序下方 2 cm 处, 并取 3 处平均值作为该株番茄的茎粗。每个处理测量 24 株, 取平均值作为该处理下番茄的株高和茎粗。

1.3.3 叶片叶绿素含量 (SPAD 值) 采用叶绿素计 SPAD-502 (KONICA MINOLTA, Japan), 从植株最上部的生长点算起, 选取完全展开的第 3 片叶进行测定, 测定 3 次取平均值作为本株番茄叶片的叶绿素含量, 每隔 15 d 左右测定 1 次, 每个处理测定 24 株, 取平均值作为该处理下番茄植株叶片的叶绿素含量。

1.3.4 坐果数 记录从番茄开始坐果到摘心期间内, 不同处理番茄在同一时间的坐果数, 从 3 月 5 日开始调查, 每隔 15 d 左右记录 1 次, 每个处理调查 24 株, 取平均值作为该处理下番茄在此时间之前的坐果数。

1.3.5 产量 对每个处理温室中, 番茄从开始收获到拔秧期间所有果实进行计数与称重。每个处理记录 144 株番茄产量。

1.3.6 果实品质指标 果实成熟后, 从每个处理的同一穗果中随机选取 8 个果实, 进行果实的品质测定。在整个试验期间进行 3 次果实品质检测, 果实分别取自第 1、第 3、第 5 穗果。

采用手持式数显糖度计 (PAL-1, 日本 Atago

公司) 测定番茄果实中的可溶性固形物含量, 每个果实测量 3 次, 取平均值作为该果实的可溶性固形物含量, 将 8 个果实的可溶性固形物取平均值作为该处理区番茄可溶性固形物含量的测量值; 用 2, 6-二氯酚酚滴定法 (李合生, 2000)、蒽酮比色法 (李合生, 2000)、酸碱中和滴定法 (张志良等, 2009) 分别测定番茄果实中 VC、可溶性糖、可滴定酸含量; 用果实硬度计 (FT-02, 意大利 Fruit Test 公司) 测定番茄果实的硬度; 用游标卡尺测量果实的横径、纵径; 用排水法测定果实的体积。

### 1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件进行试验数据的整理与作图, 采用 SPSS 17.0 软件进行方差分析, 并用 T 检验 ( $P \leq 0.05$ ) 检验各处理平均数之间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 散射光薄膜对温室内光合有效光子密度 (PPF) 的影响

以 2015 年 4 月 24 日 (晴天) 温室内植株冠层和根际的 PPF 为例, 探讨温室内 PPF 的分布。由图 1 可以看出, 7:00~13:00 散射光温室内植株冠层 PPF 高于对照, 而 13:00~17:00 散射光温室内植株冠层 PPF 低于对照, 但二者之间均不存在显著性差异; 由图 2 可以看出, 7:00~17:00 散射光温室内植株根际 PPF 一直高于对照, 且差异显著。

由此可以认为, 散射光温室内的光照更加

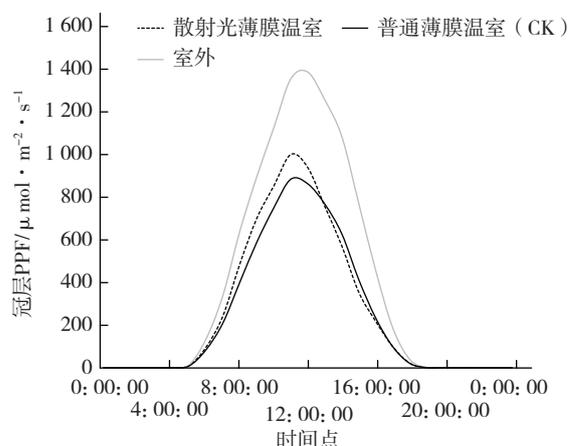


图 1 2015 年 4 月 24 日温室内植株冠层 PPF 变化趋势

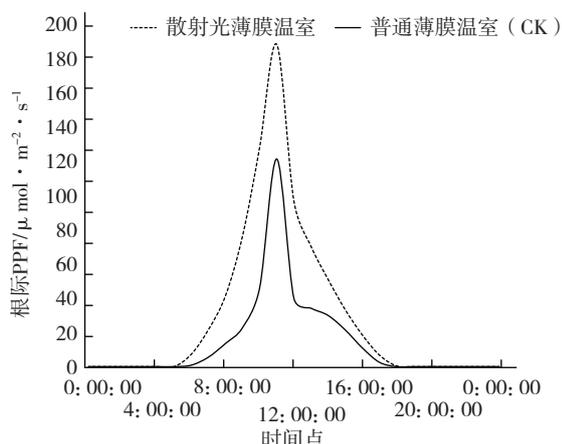


图2 2015年4月24日温室内植株根际PPF变化趋势

均匀, 散射光薄膜将室外的直射光转变为散射光后, 温室内植株根际可以获得更多的光合有效辐射 (PAR), 从而提高植株中下部叶片的光合作用, 为植物后期果实发育奠定基础。这与 Hemming 等 (2006) 的研究结果相同。

### 2.2 散射光薄膜对番茄株高和茎粗的影响

由图3可以看出, 在整个试验期间试验温室和对照温室番茄的生长趋势一致, 散射光温室中的番茄株高一直显著高于对照, 且二者的差距随生长时间延长逐渐加大。其中, 2015年4月23日的株高数据属于番茄摘心后的数据, 所以会出现对照温室番茄株高在4月23日低于4月9日的现象。由图4可以看出, 在整个试验期间试验温室和对照温室番茄的茎粗变化趋势一致, 散射光温室中的番茄茎粗一直大于对照温室番茄的茎粗, 在番茄定植2个月后二者差异显著。试验结果表明, 散射光薄膜下的温室内环境可以促进番茄的生长, 提高植株的健壮程度, 但对后者的影响需要较长的时间。

### 2.3 散射光薄膜对番茄叶片叶绿素含量 (SPAD值) 的影响

由图5可以看出, 在整个试验期间处理温室和对照温室中番茄叶片的叶绿素含量的变化趋势基本一致, 散射光薄膜下的番茄叶片叶绿素含量一直显著高于对照。而且, 二者之间的差距有逐渐增大的趋势, 并能一直持续到叶片内叶绿素含量下降。由此可以说明: 温室覆盖散射光薄膜可以促进叶片叶绿素的合成, 从而为植物后期果实的发育奠定有利的基础。

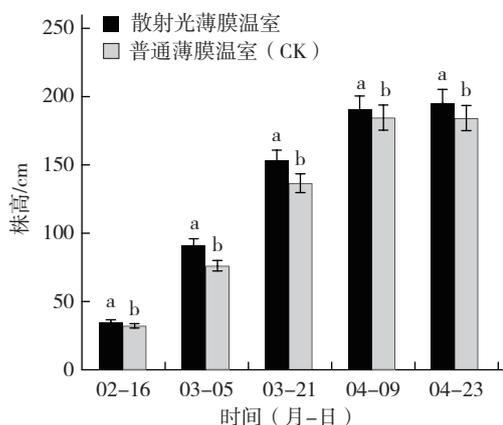


图3 不同薄膜覆盖处理对番茄株高的影响  
图柱上不同小写字母表示差异显著 ( $p \leq 0.05$ ), 下同。

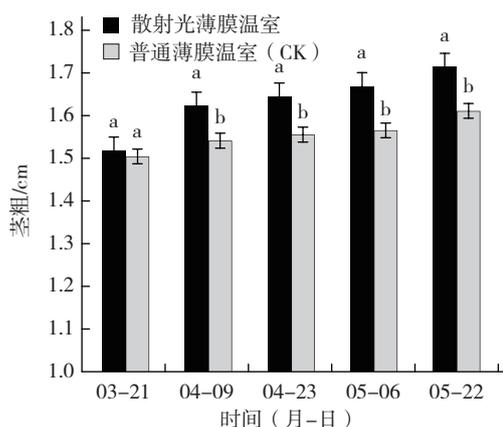


图4 不同薄膜覆盖处理对番茄茎粗的影响

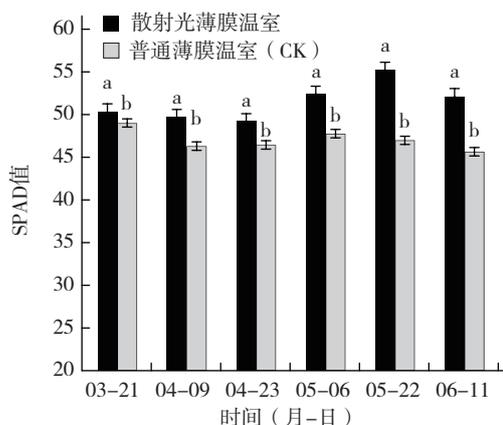


图5 不同薄膜覆盖处理对叶片叶绿素含量的影响

### 2.4 散射光薄膜对番茄坐果状况及产量的影响

分析表1数据可以看出, 自番茄开始坐果到摘心期间, 散射光温室的番茄坐果数一直显著高于对照温室。由于生产中番茄需进行摘心, 不能判断不同处理番茄最终坐果数的多少。试验结果表明, 温室覆盖散射光薄膜时, 可以使番茄的坐果期提前。

表 1 不同薄膜下番茄的坐果状况及产量

处理	坐果数			单果质量/g	果数/个·m <sup>-2</sup>	产量/g·m <sup>-2</sup>
	3月5日	3月21日	4月9日			
散射光薄膜温室	4.38 ± 1.10 a	10.92 ± 2.21 a	24.21 ± 2.80 a	171.64	39.99	6 864.02
普通薄膜温室 (CK)	3.25 ± 1.33 b	9.28 ± 2.07 b	22.38 ± 3.05 b	159.36	35.54	5 663.77

注:表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P \leq 0.05$ ), 下表同。

试验温室番茄于2015年4月17日开始采收,一直持续到5月23日。如表1所示,散射光温室的果实数量、平均单果质量分别比对照高12.52%和7.71%,果实产量比对照增加21.19%。

### 2.5 散射光薄膜对番茄果实品质的影响

分析表2中数据,在果实单果质量和单果体积方面,散射光温室的番茄果实都显著高于对照;果实的比重是反映番茄果实成熟度和品质的重要指标,只有散射光温室的第3穗果实的果实比重与对照存在显著性差异,由此可见,散射光薄膜下的温室环境对番茄的果实比重影响不大。番茄的果形指数为0.8~0.9时果实通常为圆形或近圆形,0.6~0.8则为扁圆形,分析表2中数据,第1穗果和第3穗

果为扁圆形,第5穗果为圆形或近圆形,散射光温室的第3穗果和第5穗果的果形指数与对照之间存在显著性差异,由此可以推断,散射光薄膜下的温室环境有利于番茄果实向圆形或近圆形生长,更接近博粉的特征果形。

分析表3中数据,散射光温室3穗番茄果实中的可溶性固形物含量依次比对照提高0.25、0.24和0.23个百分点,VC含量增加11.07%、23.28%和22.55%,可溶性糖、有机酸、糖酸比与对照差异不显著(第1穗果有机酸含量除外)。由此可以推测,散射光薄膜下的光环境有助于提高果实中的可溶性固形物和VC含量,但对于提高果实内的糖酸比效果不明显。

表 2 不同薄膜下番茄的感官品质

果实	处理	单果质量/g	单果体积/cm <sup>3</sup>	果实比重/g·cm <sup>-3</sup>	果形指数
第1穗果	散射光薄膜温室	171.57 ± 16.48 a	186.67 ± 17.22 a	0.92 ± 0.03 a	0.78 ± 0.03 a
	普通薄膜温室 (CK)	151.12 ± 13.13 b	162.50 ± 10.84 b	0.93 ± 0.01 a	0.76 ± 0.04 a
第3穗果	散射光薄膜温室	193.34 ± 15.81 a	193.33 ± 14.72 a	1.01 ± 0.02 a	0.80 ± 0.02 a
	普通薄膜温室 (CK)	166.49 ± 6.94 b	171.67 ± 7.53 b	0.98 ± 0.01 b	0.75 ± 0.03 b
第5穗果	散射光薄膜温室	158.36 ± 14.13 a	163.33 ± 13.29 a	0.96 ± 0.02 a	0.84 ± 0.02 a
	普通薄膜温室 (CK)	152.63 ± 11.07 b	155.83 ± 13.57 b	0.97 ± 0.02 a	0.81 ± 0.03 b

表 3 不同薄膜下番茄的营养品质

果实	处理	可溶性固形物/%	VC/mg·kg <sup>-1</sup>	可溶性糖/%	有机酸/g·kg <sup>-1</sup>	糖酸比
第1穗果	散射光薄膜温室	4.52 ± 0.32 a	1.11 ± 0.10 a	5.51 ± 0.37 a	2.75 ± 0.34 b	19.95 ± 2.55 a
	普通薄膜温室 (CK)	4.27 ± 0.25 b	1.00 ± 0.18 b	5.49 ± 0.49 a	2.96 ± 0.40 a	19.32 ± 3.78 a
第3穗果	散射光薄膜温室	4.64 ± 0.21 a	1.53 ± 0.20 a	6.12 ± 1.11 a	2.44 ± 0.35 a	26.04 ± 6.77 a
	普通薄膜温室 (CK)	4.40 ± 0.33 b	1.24 ± 0.08 b	5.98 ± 1.17 a	2.83 ± 0.85 a	23.48 ± 9.17 a
第5穗果	散射光薄膜温室	4.90 ± 0.18 a	1.79 ± 0.19 a	5.31 ± 0.21 a	2.95 ± 0.77 a	18.94 ± 5.29 a
	普通薄膜温室 (CK)	4.67 ± 0.25 b	1.46 ± 0.22 b	5.38 ± 0.47 a	3.18 ± 0.81 a	17.50 ± 3.64 a

## 3 结论

本试验通过研究散射光薄膜下温室内环境对番茄生长性状及产量品质的影响,得出以下主要结论:

① 散射光薄膜下的温室环境可以促进番茄植株的生长,提高叶绿素含量,而且随着生长进程,株高和茎粗的增长效果愈加明显,叶绿素含量也显

著高于对照,为后期番茄的生殖生长提供了一定的基础。

② 散射光薄膜下的温室环境可以使番茄的坐果期提前,果实数量比对照增加12.52%,产量增加21.19%。这与Li(2015)研究的散射光可以提高番茄的产量结果大体一致。

③ 与普通薄膜下温室环境中的番茄果实相比,散射光薄膜下温室环境中的番茄不仅果实偏大

(平均单果质量比对照高 7.71%), 果实更加接近圆形或近圆形, 而且果实内可溶性固形物、VC 含量均显著高于对照, 在一定程度上可以改善番茄果实商品性和品质。

由于散射光薄膜下温室中光照更加均匀, 使得植株中下部叶片可以获得更多的散射光, 进而积累更多的营养物质 (Hemming, 2006), 而且叶片灼伤少, 植株不易早衰。

综合以上分析可知, 相对于普通薄膜, 散射光薄膜下的番茄植株健壮、长势强, 叶片内叶绿素含量高; 坐果期提前, 增产效果明显; 果实单果质量高、体积大, 可溶性固形物及 VC 含量也显著提高。由此可见, 散射光薄膜对植株中下部叶片光环境的改善可以在一定程度上影响植株的生长发育, 在日光温室中将有较好的应用前景。

#### 参考文献

- Hemming S, Reindere U, 高瞻, 蔡峰. 2007. 散射光对作物生长的影响. 农业工程技术 (温室园艺), (11): 22-23.
- 胡阳, 江莎, 李洁, 高静, 高玉葆, 古松. 2009. 光强和光质对植物生长发育的影响. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 30 (4): 296-303.
- 李汉生, 徐永. 2014. 光照对叶绿素合成的影响. 现代农业科技, (21): 161-164.

- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- 马光恕, 廉华, 闫明伟. 2002. 不同覆盖材料对大棚内番茄生长发育的影响. 吉林农业科学, (4): 41-43.
- 余新, 钟辉丽, 杨振超, 丁娟娟, 耿凤展, 高波, 邹志荣. 2014. 光环境调控在蔬菜育苗中的应用研究. 农机化研究, (5): 8-10.
- 苏娜娜, 邹奇, 崔瑾. 2013. 光环境调控技术在蔬菜工厂化育苗中的应用及前景. 中国蔬菜, (4): 14-19.
- 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 2009. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社.
- 中华人民共和国农业部. 2015. 中国农业统计资料 (2014). 北京: 中国农业出版社.
- Cockshull K E, Graves C J, Cave C R J. 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. Journal of Horticultural Science, (61): 11-24.
- Durieux A. 1997. Effect of additional lighting on the production of vegetable crops. Journal of Experiment Botany, 418 (3): 33-36.
- Hemming S, Braak N, Dueck T, Jongschaap R, Marissen N. 2006. Filtering natural light by the greenhouse covering using model simulations—more production and better plant quality by diffuse light. Acta Horticulturae, 711: 105-110.
- Kitaya Y, Niu G H, Kozai T, Ohashi M. 1998. Photosynthetic photon flux, photoperiod, and CO<sub>2</sub> concentration affect growth and morphology of lettuce plug transplants. HortScience, 33 (6): 988-991.
- Li T. 2015. Improving radiation use efficiency in greenhouse production systems [Doctoral Dissertation]. Holland: Wageningen University.

## Effect of Diffuse Light Thin Film on Tomato Growth and Fruit Quality

SUN Shi-jing, ZHOU Qing\*, FAN Bing-lin, ZHAO Shu-mei, WANG Ping-zhi, QU Ying-hua

(College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Key Laboratory of Agricultural Engineering in Structure and Environment, Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Taking tomato variety 'bofen' as experimental material and ordinary film as the contrast, this paper studied the effect of diffuse light thin film on tomato growth and fruit quality. The results showed that tomato had strong growth vigor under diffuse light thin film, the content of chlorophyll was higher, the fruit setting number and average single fruit weight were increased by 12.52% and 7.71%, respectively. Its yield was also promoted by 21.19%. Besides, the fruit volume was significantly enlarged. The fruit shape index was 0.8-0.9. Further more, its fruit quality was improved. The contents of soluble solid content and VC were remarkably increased, indicating the diffuse light thin film was not only helpful for promoting tomato plant growth, but also for improving its fruit quality.

**Key words:** Tomato; Diffuse light thin film; Sunlight greenhouse; Growth; Quality