

新型稀土转光膜对日光温室环境及番茄生长和果实品质的影响

高亚新, 李恭峰, 马万成, 张振兴, 刘益克, 李 宁, 李青云

(河北省蔬菜产业协同创新中心·河北农业大学园艺学院 河北保定 071000)

摘要: 为了探索新型稀土转光膜在日光温室番茄上的应用效果, 以佳粉 802 番茄为试验材料, PO 膜(CK)为对照, 研究了稀土转光膜(RPO)对日光温室环境及早春茬番茄植株生长和果实品质的影响。结果表明, 与对照相比, RPO 提高了温室内远红光、蓝光和红橙光比例, 降低了紫外光、紫光和绿光比例; RPO 温室内光照强度、气温、10~30 cm 土层地温均有所提高, 进而影响番茄植株的形态指标和光合参数。绿熟期 RPO 处理的番茄可溶性糖含量高于 CK 但差异不显著, 转色期、成熟期均显著高于对照; RPO 处理的番茄可溶性蛋白、维生素 C 含量均显著高于对照, 绿熟期、转色期和成熟期可溶性蛋白含量分别较 CK 提高了 44.44%、26.47%、33.33%, 可溶性糖含量分别较 CK 提高了 25.96%、44.70%、25.87%, 维生素 C 含量分别较 CK 提高了 68.43%、23.26%、28.60%; 3 个时期的可滴定酸含量均显著低于对照。RPO 温室内番茄产量达到 8 425.50 kg·667 m², 较 CK 显著提高了 32.90%。综上, 稀土转光膜可以显著改善番茄果实品质, 提高果实产量。

关键词: 番茄; 稀土转光膜; 光谱; 品质; 产量

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)12-078-07

New rare-earth light conversion film affects environment, tomato growth and fruit quality in solar greenhouse

GAO Yaxin, LI Gongfeng, MA Wancheng, ZHANG Zhenxing, LIU Yike, LI Ning, LI Qingyun

(Hebei Vegetable Industry Collaborative Innovation Center/College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: In order to explore the application effect of the new rare-earth light conversion film on tomato in solar greenhouse, the effects of rare-earth light conversion film (RPO) on the environment of solar greenhouse and the growth and fruit quality of tomato in early spring were studied with Jiafen 802 tomato as experimental material and PO film (CK) as control. The results showed that compared with the control film, the rare-earth light conversion film increased the proportion of far-red light, blue light and red-orange light in the greenhouse, and decreased the proportion of ultraviolet light, violet light and green light; the light intensity, air temperature and ground temperature of 10-30 cm. The soil layer in RPO greenhouse were improved, which affected the morphological indexes and photosynthetic parameters of tomato plants. The content of soluble sugar in tomatoes treated with rare earth light conversion film at green ripening stage was higher than CK, but the other two stages was not significant. The content of soluble protein and vitamin C in tomatoes treated with rare earth light conversion film was significantly higher than CK. The content of soluble protein in tomatoes treated with rare earth light conversion film at green ripening stage was 44.44%, 26.47% and 33.33% higher than CK at green ripening stage, color conversion stage and ripening stage respectively, and the content of soluble sugar was 25.96%, 44.70% and 25.87% higher than CK; The content of vitamin C was 68.43%, 23.26% and 28.60% higher than CK respectively; The titratable acid content in the three periods was significantly lower than that in the control. Tomato yield in RPO greenhouse reaches 8 425.50 kg·667 m², increased by 32.90% compared with CK. In conclusion, rare earth light conversion film can significantly improve fruit quality and increase fruit yield.

Key words: Tomato; Rare-earth light conversion film; Spectrum; Quality; Yield

收稿日期: 2022-05-23; 修回日期: 2022-08-28

基金项目: 河北省高端蔬菜提升岗位(HBCT2021030214)

作者简介: 高亚新, 女, 在读硕士研究生, 主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail: gaoyaxin0605@163.com

通信作者: 李青云, 女, 教授, 主要从事设施蔬菜生理生态及生长调控研究。E-mail: yylqy@hebau.edu.cn

番茄是设施栽培的主要蔬菜作物之一,因其丰富的营养和独特的风味而备受人们青睐^[1]。番茄属喜光植物,良好的光照条件是番茄植株正常生长的重要环境因素,光照变化主要通过光质、光强和光周期3个方面进行调控^[2]。其中,光质对植物形态建成、生理代谢和果实品质等方面具有明显的调控作用^[3]。设施内光质调控主要通过2种途径,即人工补光和覆盖材料。人工补光能够对环境精准调控,但成本较高,利用转光膜覆盖进行光质调控成本较低且使用方便。因此,利用转光膜进行光质调控越来越多地应用于生产中。

稀土转光膜是一种通过添加稀土转光剂来实现光转换的薄膜,它能将紫外光转换成对作物有用的蓝紫光及红橙光,或将黄绿光转换成红橙光^[4],从而改变透过膜的光质,使植物充分利用光能,实现调控植物生长发育的目的,进而提高设施蔬菜产量^[5-6]。涂覆型棚膜与普通棚膜相比可显著提高透光性和保温性,使番茄增产9.92%^[1]。刘杨等^[7]研究发现转光膜处理下的草莓可提前10 d成熟,每667 m²增产219.90 kg。转光膜除了增加产量外,还可显著改善果实品质,转光膜覆盖下甜椒果实的维生素C含量提高了31.56%,可溶性糖和游离氨基酸含量也分别显著提高了14.37%和15.94%^[8];转光膜覆盖下草莓第一茬和第二茬果实维生素C含量比普通膜处理分别增加了16.1%、24.4%^[7]。

由于转光膜可明显促进园艺植物生长发育、提高产量及改善农产品品质,因此转光膜在生产应用中受到国内外学者广泛关注。笔者以覆盖内蒙古舜明有限公司生产的稀土转光膜进行试验,该膜是在PO膜的基础上加入了稀土转光剂,将太阳光中的紫外光和黄绿光转换成对作物生长有益的蓝紫光及红橙光^[4]。笔者以番茄品种佳粉802为试材,探究了在不同棚膜下番茄生长发育和产量品质的差异,以期筛选适宜番茄生长的优质棚膜提供参考依据。

1 材料与试验方法

1.1 材料

供试品种:佳粉802番茄,由河北惠优特种业有限公司选育。供试棚膜:稀土转光膜,由山东舜明有限公司生产,厚度0.1 mm,对照棚膜为PO膜,厚度0.1 mm。

1.2 试验设计

试验于2021年2—6月在河北省保定市石象

村河北康城现代农产品开发有限公司基地厚土墙日光温室内进行。温室长100 m,脊高5.4 m,内跨11.5 m。前茬作物为黄瓜,2021年1月6日拉秧,覆膜时间为2020年10月。设置2个处理,对照温室覆盖PO膜(CK),处理温室覆盖稀土转光膜(RPO),在处理温室和对照温室的中部完全随机选取相邻的12行为1个小区,每小区面积约80 m²,3次重复。番茄于2021年2月8日定植,5月4日开始采收,留7穗果打顶。土壤栽培,大行距80 cm,小行距40 cm,株距35 cm,膜下沟灌,田间管理同常规生产。

自2021年3—5月连续监测温室的光照度、气温、地温,并于每个月选典型晴天和阴天测定温室内的光谱,计算光谱比例,同时测定温室内外光照度,计算透光率。定植后17 d开始测定植株的株高、茎粗、节间长度和叶片数,分别在每个处理下随机测定10株,以后每隔15 d测定1次,至摘心为止;分别在第2穗果实的绿熟期(果实基本停止生长,果顶白,尚未着色)、转色期(果顶部由绿白色转为粉红色)和成熟期(果实全部转红,肉质较软)测定生长点下第3片完全展开叶的光合参数,果实的可溶性蛋白、可溶性糖、维生素C、可滴定酸含量,分别在每个处理下选取5株植株进行测定,采收后记录小区产量。

1.3 测试指标和方法

1.3.1 光环境指标测定 棚膜透射光谱的测定:采用QE65000光谱仪(Ocean Optics公司生产)在温室内测定中部距棚膜3.0 m远、距地面1.5 m高处的透射光谱,测定时间为9:00—11:00。

棚膜透光率的测定:采用QUANTUM LIGHT METER型照度计测定温室中部内外距地面1.5 m高处光照度,测定3次,取平均值,计算透光率。透光率(T)的计算: $T=R_i/R_0 \times 100\%$,其中 R_i 、 R_0 分别为温室内外平行于棚膜的光照度,测定时期同棚膜透射光谱的时期一致。

1.3.2 温度指标测定 采用杭州智拓仪器记录温室中部距地面1.5 m高处的空气温度和光照度。采用ET60智拓仪记录不同土层的土壤温度。

1.3.3 番茄植株形态指标测定 使用卷尺测量植株株高和节间长度,株高为根茎基部到生长点的距离,节间长度为根基部以上第3~4节位之间的长度;使用游标卡尺测量茎粗,为植株子叶上方1 cm处的直径。

1.3.4 番茄叶片光合参数的测定 用YZQ-100A

便携式动态光合仪测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T)和胞间 CO_2 浓度(C_i), 设定光子通量密度(PFD)为 $1000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 。

1.3.5 番茄果实品质测定和产量调查 采用蒽酮比色法^[9]测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[9]测定可溶性蛋白含量;采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[9]测定维生素 C 含量;采用氢氧化钠滴定法^[9]测定可滴定酸含量;采收期记录单株结果数和小区产量。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 软件处理数据, SPSS 23 软件进行方差分析,用独立样本 T 检验进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 稀土转光膜对温室光环境的影响

2.1.1 稀土转光膜对不同光谱透过比率和透光率的影响 由表 1 对不同棚膜透过光谱(300~760 nm)进行分析可以看出,稀土转光膜增加了棚内的蓝光、红橙光和远红光,减少了紫外光、紫光和绿光。晴天,RPO 处理棚内紫外光、紫光和绿光均显著低于 CK,较 CK 分别降低 10.25%、4.28%和 3.44%;蓝光、红橙光和远红光均显著高于 CK,较 CK 分别提高 3.93%、2.46%和 8.78%。阴天,RPO 处理棚内紫外光、紫光和绿光均显著低于 CK,较 CK 分别降低 9.91%、3.79%和 1.10%,蓝光、红橙光和远红光均显著高于 CK,较 CK 分别提高 1.22%、4.34%、5.16%。结果表明,稀土转光膜显著减少了紫外光、紫光和绿光的比例,其中紫外光降幅最大;增加了红橙光、蓝光、远红光比例,无论晴天还是阴

表 1 典型晴、阴天不同处理的光谱比例及透光率

天气	处理	紫外光(300~400 nm)/%	紫光(400~440 nm)/%	蓝光(440~510 nm)/%	绿光(510~610 nm)/%	红橙光(610~710 nm)/%	远红光(710~760 nm)/%	透光率/%
晴天	CK	7.12±0.10 a	6.08±0.02 a	19.33±0.02 b	31.09±0.09 a	27.63±0.15 b	8.66±0.16 b	85.16±0.69 b
	RPO	6.39±0.10 b	5.82±0.05 b	20.09±0.01 a	30.02±0.03 b	28.31±0.10 a	9.42±0.15 a	91.49±0.74 a
阴天	CK	6.66±0.11 a	5.80±0.05 a	18.90±0.04 b	30.03±0.02 a	28.31±0.02 b	10.27±0.03 b	71.01±1.30 b
	RPO	6.00±0.06 b	5.58±0.09 b	19.13±0.04 a	29.70±0.05 b	29.54±0.02 a	10.80±0.10 a	77.49±0.44 a

注:表中在相同天气下的同列数字后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

天远红光的增幅均最大。无论晴阴天,RPO 处理的透光率均显著高于 CK,晴天、阴天的透光率分别比 CK 提高 7.43%和 9.13%,稀土转光膜改善阴天温室光照的效果更好。

2.1.2 稀土转光膜对温室内光照度的影响 由表 2 可知,自 3—5 月,温室内的平均光照度随月份的增

加逐渐增大,除 5 月平均光照度与 CK 差异不显著外,RPO 处理的平均光照度始终显著高于 CK。与 CK 相比,3 月份 RPO 处理光照度平均值、最高值和最低值的增幅均为最大,分别为 11.60%、4.12%和 39.81%,其次是 4 月份,5 月份增幅最小,分别为 4.65%、2.18%和 11.46%。3 种统计值相比,每个月

表 2 不同处理的光照度

处理	平均光照度/klx			最高光照度/klx			最低光照度/klx		
	3 月	4 月	5 月	3 月	4 月	5 月	3 月	4 月	5 月
CK	7.50±0.10 b	9.56±0.04 b	12.70±0.20 a	58.95±0.19 b	67.44±0.40 b	75.67±0.22 b	1.03±0.08 b	1.71±0.03 b	1.92±0.05 b
RPO	8.37±0.15 a	10.30±0.10 a	13.29±0.10 a	61.38±0.45 a	69.20±0.19 a	77.32±0.44 a	1.44±0.04 a	2.08±0.06 a	2.14±0.06 a
比 CK+/%	11.60	7.74	4.65	4.12	2.61	2.18	39.81	21.64	11.46

注:表中同列数字后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。表 3、表 7 同。

份的最低光照度增幅均最大。表明稀土转光膜提高了春季温室内的光照度,光照度越低,其改善光强的作用越大。

2.2 稀土转光膜对温室内气温的影响

由表 3 可知,3—5 月温室的气温和积温均随月份的增加而增大,除 4、5 月最高气温外,RPO 处理的气温和积温始终显著高于 CK。其中,3 月份的平均气温、最高气温和最低气温,增幅最大,

分别比 CK 提高 7.35%、1.91%和 8.60%,其次是 4 月份,5 月份增幅最小,分别为 2.24%、0.07%和 4.14%。在气温统计值中,每个月份的最低气温增幅均为最大。RPO 处理 3 个月的积温始终显著高于 CK,其中 3 月份的积温增幅最大,为 9.19%,其次是 4 月份,5 月份增幅最小,为 3.41%。表明稀土转光膜提高了春季的温室气温,气温越低,增温效果越显著。

2.3 稀土转光膜对土壤温度的影响

由图1可知,3—5月温室內0~30 cm土层的温度随月份增加呈逐渐升高趋势。除5月份30 cm土层的温度外,RPO处理各月份、各土层的温度均显著高于CK。其中RPO处理0 cm土层温度,3—5月的平均地温分别比CK提高4.33%~5.97%,10、

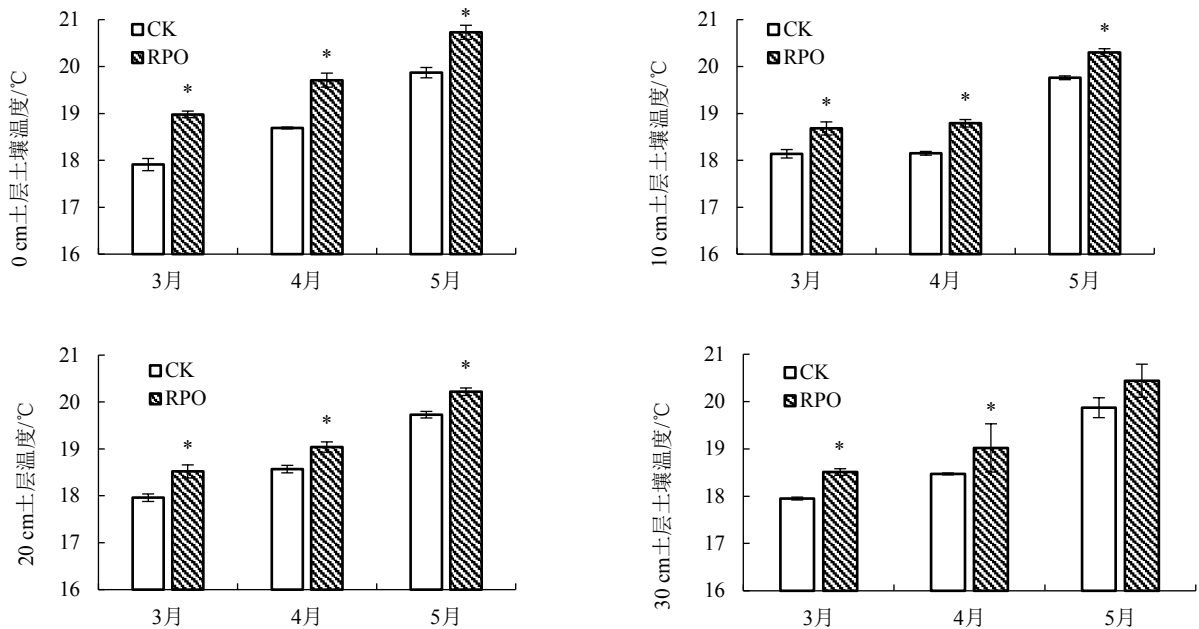
20和30 cm土层温度分别提高了2.73%~3.53%、2.48%~3.12%和2.87%~3.12%。

2.4 稀土转光膜对日光温室番茄植株生长的影响

由表4可以看出,与CK相比,RPO促进了番茄植株的生长,除定植后32 d外,其他时间植株的

表3 不同处理的气温和积温

处理	平均气温/°C			最高气温/°C			最低气温/°C			积温/°C		
	3月	4月	5月	3月	4月	5月	3月	4月	5月	3月	4月	5月
CK	17.55±0.06 b	18.77±0.10 b	22.81±0.03 b	31.49±0.02 b	39.46±0.06 a	45.82±0.12 a	7.67±0.05 b	9.49±0.08 b	11.60±0.10 b	488.10±2.13 b	530.90±3.41 b	695.60±5.50 b
RPO	18.84±0.07 a	19.33±0.06 a	23.32±0.06 a	32.09±0.02 a	39.73±0.07 a	45.85±0.13 a	8.33±0.05 a	10.08±0.07 a	12.08±0.07 a	532.96±5.92 a	553.07±1.82 a	719.33±3.09 a
比CK+ / %	7.35	2.98	2.24	1.91	0.68	0.07	8.60	6.22	4.14	9.19	4.18	3.41



注:图中*表示在0.05水平差异显著。下同。

图1 不同处理的土壤温度

表4 稀土转光膜对番茄形态指标的影响

定植后时间/d	处理	株高/cm	茎粗/mm	叶片数	节间长度/cm
17	CK	27.00±2.88 b	8.32±0.80 b	4.20±0.10 b	2.00±0.22 b
	RPO	31.30±2.83 a	9.44±0.70 a	4.86±0.38 a	2.36±0.31 a
32	CK	54.50±2.51 a	9.81±1.06 b	9.10±0.74 b	4.23±2.89 b
	RPO	59.17±4.17 a	11.38±0.73 a	10.63±0.74 a	4.67±0.52 a
47	CK	88.25±4.37 b	9.84±0.84 b	12.21±0.74 b	4.56±0.48 b
	RPO	97.80±4.32 a	11.46±0.78 a	14.44±0.53 a	5.21±0.27 a
52	CK	110.79±6.12 b	10.97±0.23 b	13.60±0.89 b	5.10±0.53 b
	RPO	121.86±3.20 a	12.71±0.87 a	16.29±0.95 a	5.71±0.27 a
67	CK	113.43±2.99 b	13.65±0.86 b	14.88±1.18 b	5.25±0.50 b
	RPO	132.50±6.22 a	16.19±0.72 a	17.83±0.75 a	6.33±0.41 a

注:表中相同定植时间的同列数字后不同小写字母表示不同处理间在0.05水平差异显著。

株高均显著高于 CK, RPO 处理下植株的茎粗、叶片数和节间长度均显著高于 CK。在番茄定植后 17~67 d (摘心前), 番茄株高提高 8.57%~16.81%, 茎粗提高了 13.46%~18.61%, 叶片数提高了 15.71%~19.83%, 节间长度提高了 10.40%~20.57%。与对照相比, RPO 处理的番茄植株高大、粗壮、叶多, 营养生长旺盛。

2.5 稀土转光膜对日光温室番茄叶片光合特性的影响

由表 5 可知, 在番茄果实发育期间, RPO 处理番茄叶片净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均显著高于 CK, 胞间 CO₂ 浓度与上述指标相反, RPO 处理胞间 CO₂ 浓度始终显著低于 CK。在

表 5 稀土转光膜对番茄叶片光合特性的影响

时期	处理	净光合速率/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	蒸腾速率/($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO ₂ 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	气孔导度/($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
绿熟期	CK	11.00±0.63 b	1.80±0.35 b	429.24±2.47 a	152.10±12.70 b
	RPO	12.87±0.64 a	1.99±0.23 a	404.37±2.80 b	182.18±4.59 a
转色期	CK	17.56±1.32 b	6.80±0.48 b	346.71±6.87 a	473.69±19.96 b
	RPO	20.22±1.53 a	7.18±0.30 a	335.62±2.61 b	559.12±30.39 a
成熟期	CK	21.61±1.96 b	7.93±0.65 b	342.60±22.76 a	519.10±44.01 b
	RPO	27.56±0.71 a	8.97±0.36 a	286.17±6.40 b	633.66±48.21 a

注: 表中相同时期同列数字后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。表 6 同。

果实绿熟期、转色期和成熟期, RPO 处理的净光合速率分别比 CK 提高 17.00%、15.15% 和 27.53%, 蒸腾速率分别比 CK 提高 10.56%、5.59% 和 13.11%, 气孔导度分别比 CK 提高 19.78%、18.04% 和 22.07%, 胞间 CO₂ 浓度分别比 CK 降低 6.15%、3.20% 和 5.79%。

2.6 稀土转光膜对番茄果实品质的影响

由表 6 可以看出, RPO 处理的番茄果实可溶性

蛋白及维生素 C 含量均显著高于 CK, 可滴定酸含量均显著低于 CK, 转色期和成熟期 RPO 处理的可溶性糖含量均显著高于 CK。绿熟期、转色期和成熟期 RPO 处理的可溶性蛋白含量分别较 CK 提高了 44.44%、26.47% 和 33.33%, 维生素 C 含量分别较 CK 提高了 68.43%、23.26% 和 28.60%, 可溶性糖含量分别较 CK 提高了 25.96%、44.70% 和 25.87%, 可滴定酸含量分别较 CK 降低了 27.06%、19.18% 和 32.75%。

表 6 稀土转光膜对番茄果实品质的影响

时期	处理	w(可溶性蛋白)/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(可滴定酸)/%	w(维生素 C)/($\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$)	w(可溶性糖)/%
绿熟期	CK	0.36±0.03 b	45.90±3.82 a	6.43±1.08 b	1.04±0.08 a
	RPO	0.52±0.07 a	33.48±3.07 b	10.83±2.14 a	1.31±0.08 a
转色期	CK	0.68±0.03 b	39.42±1.48 a	12.68±0.51 b	2.64±0.05 b
	RPO	0.86±0.05 a	31.86±2.26 b	15.63±1.05 a	3.82±0.04 a
成熟期	CK	1.17±0.08 b	25.10±1.39 a	15.00±0.88 b	4.29±0.02 b
	RPO	1.56±0.09 a	16.88±2.59 b	19.29±1.28 a	5.40±0.04 a

2.7 稀土转光膜对番茄果实产量的影响

由表 7 可知, 稀土转光膜可显著促进温室番茄坐果和果实生长, RPO 处理的番茄果实纵径、横径

和单株果数均显著高于 CK, 增幅分别为 18.16%、17.97%、和 13.54%, RPO 处理的番茄折合 667 m² 产量为 8 425.50 kg, 比 CK 高 2 086.00 kg, 显著增产

表 7 稀土转光膜对番茄果实产量的影响

处理	果实纵径/cm	果实横径/cm	单株果数/个	小区产量/($\text{kg}\cdot 80\text{m}^2$)	折合产量/($\text{kg}\cdot 667\text{m}^2$)
CK	4.57±0.06 b	7.40±0.01 b	12.56±0.10 b	760.35±9.90 b	6 339.50±9.00 b
RPO	5.40±0.10 a	8.73±0.06 a	14.26±0.10 a	1 010.55±10.10 a	8 425.50±9.54 a

32.90%。

3 讨论与结论

稀土转光膜具有对温室环境参数进行调控的作用。笔者研究发现, 稀土转光膜可以提高室内

远红光和可见光中蓝光和红橙光的比例, 降低紫外光、紫光和绿光的比例, 提高温室透光率, 尤其在阴天表现更为明显。李岩等^[8]在研究中表明, 红色转光膜显著提高了红橙光和远红光的投射比率, 降低了紫光、蓝光, 特别是绿光的投射比率, 这与笔者试

验结果不完全相同,可能是加入的转光剂不同所导致。文莲莲等^[1]在试验中发现,覆盖添加转光剂的棚膜下透光率明显提高,这与笔者试验结果一致。

稀土转光膜可以提高温室内空气温度及土壤温度。笔者研究发现,稀土转光膜温室温度、积温及土壤温度都有所提高。唐颢等^[10]研究表明,转光膜的保温效果优于普通膜。王玉霞^[11]研究表明,转光膜增温效果好,同时具备调节棚内温度的作用。傅明华等^[12]研究发现转光膜可显著提高棚内日最高气温。蒲文宣等^[13]研究发现冬季和早春应用转光膜使棚内增加 1.7℃,这与笔者研究结果类似。对大多数作物来说,随着土壤温度的增高,生长速度加快,根系呼吸作用和吸收作用加强,物质运输加快,间接影响植物生长。稀土转光膜可以将太阳光中的高能短波转换成低能量级长波和中长波,调整太阳光谱,中间能量差以热的形式散发出来,进而提高温室温度。地面只能以红外波段向外释放能量,转光膜可以有效反射这部分红外波段的能量,提高土壤温度^[14]。

稀土转光膜可以促进番茄植株的生长发育。前人研究表明,转光膜条件下胡萝卜、毛豆植株的株高、茎粗、叶片数以及产品器官鲜质量等生长指标均高于普通膜下生长的植株^[11]。文莲莲等^[1]也在研究中表明 KMN-2 转光棚膜下黄瓜株高、茎粗、叶片纵径、叶片横径、结果数等都有不同程度的提高。笔者同样发现,除定植后 32 d 外,RPO 处理下其他时间植株的株高均显著高于 CK,RPO 处理下植株的茎粗、叶片数和节间长度均显著高于 CK。可能是因为稀土转光膜内添加稀土转光剂,提高了温室内红橙光的比率,从而导致节间长度的增加,进一步提高了番茄的株高。郭林鑫等^[15]研究表明,单色红光处理下,南瓜幼苗的株高、茎长、根数和地上鲜质量、叶面积和碳氮比均最大,因此促进了植株的生长。张谨薇等^[16]在研究中指出,在光强为 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ + 光质配比为红光:蓝光=5:1 时为最佳,辣椒幼苗的株高、茎粗、叶面积均达最大。

光是植物进行光合作用的源动力和生长发育最重要的环境因素^[17-18],不同作物由于其叶片中光合作用色素含量分布不同,进行光合作用所需的光质也不同。转光膜调节光比例后可促进植物叶片叶绿素积累,增强光合能力。张元梅等^[19]在研究中表明,红光能扩大草莓叶片的气孔开放程度,提高气孔导度,增强植株的光合能力。刘杨等^[7]在转光膜对草莓影响的研究中也得到类似趋势。笔者试

验研究发现,除绿熟期 RPO 处理番茄叶片气孔导度与 CK 差异不显著外,其他时期气孔导度均显著高于 CK,RPO 处理番茄叶片净光合速率、蒸腾速率均显著高于 CK,胞间 CO_2 浓度均显著低于 CK。表明转光膜促进番茄叶片气孔开放,提高了叶肉细胞对 CO_2 的利用率,从而提高了叶片的净光合速率^[8]。

稀土转光膜可以改善果实品质。蓝光使普通白菜粗蛋白含量增加,且与红光 1:6 的比例混合时能使普通白菜中磷、钾含量提高,亚硝酸盐含量降低^[20]。吉家曾等^[21]也在研究中表明,转光膜使甜椒的维生素 C 含量显著提高 31.26%。红色转光膜覆盖生长的黄瓜果实中可溶性糖、游离氨基酸和维生素 C 含量较对照显著提高^[1]。笔者试验中,在番茄第 2 穗果实整个生长过程中,RPO 处理的可溶性蛋白及维生素 C 含量均显著高于 CK,可滴定酸含量均显著低于 CK。除绿熟期可溶性糖含量差异不显著外,转色期和成熟期 RPO 处理的可溶性糖含量均显著高于 CK。果实品质的提高可能是因为转光膜中添加了适宜的转光剂,增加了投射光中红橙光及蓝紫光的比例,从而提高番茄果实的品质。

稀土转光膜可以提高果实产量。前人研究发现转光膜可以使草莓成熟期提前且产量较普通膜提高 27.86%^[7],转光膜可以分别增加芥菜、普通白菜、菜心的生物量 20.53%~23.40%、20.13%~32.63%、16.43%~20.30%^[22]。高海荣等^[14]也在研究中指出,使用转光膜较普通膜增产 8.54%。笔者研究表明,RPO 处理的番茄果实纵径、横径和单株果数分别较 CK 显著提高了 18.16%、17.97%、13.54%,RPO 处理的番茄折合 667 m^2 产量为 8 425.50 kg,较 CK 显著提高了 32.90%。

综上所述,温室内光谱透过率、光照度、温度等各种要素共同作用影响番茄植株的生长和番茄果实的品质及产量。稀土转光膜降低了紫外光、紫光和绿光的透过率,提高蓝光、红橙光和远红光的透过率,以能量差的形式提高温室内温度,进而促进植株生长,提高果实产量。与普通膜相比,应用稀土转光膜果实产量提高了 32.90%。稀土转光膜作为一种改性材料在温室番茄的栽培上具有提高光能利用效率、促进作物生长的有益作用。

参考文献

- [1] 文莲莲,张雪松,陈小文,等.转光棚膜覆盖对日光温室光环境及番茄生长发育和产量品质的影响[J].北方园艺,2019(13):82-86.
- [2] 何蔚,杨振超,蔡华,等.光质调控蔬菜作物生长和形态研究进展[J].中国农业科技导报,2016,18(2):9-18.

- [3] 苏娜娜, 邬奇, 崔瑾. 光环境调控技术在蔬菜工厂化育苗中的应用及前景[J]. 中国蔬菜, 2013(4): 14-19.
- [4] 张玲玲, 景慧, 路红霞, 等. 新型稀土转光膜对西红柿生长的影响研究[J]. 种子科技, 2020, 38(8): 6-7.
- [5] 李衍素, 王惠军, 李超汉, 等. PO膜对温室温光环境、冬春茬番茄生长及产量的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(8): 1521-1527.
- [6] 程强, 刘思莹, 曲梅, 等. PO膜和PE膜日光温室温光环境比较分析[J]. 中国蔬菜, 2011(S1): 72-77.
- [7] 刘杨, 刘琪, 卫慧波, 等. 转光膜对草莓生长及品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2019(9): 62-68.
- [8] 李岩, 文莲莲, 焦娟, 等. 不同转红光棚膜对甜椒光合特性及果实品质的影响[J]. 植物生理学报, 2017, 53(12): 2147-2156.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [10] 唐颖, 刘晓塘, 陈震东, 等. 冬春季低温期大棚茶园覆盖转光膜的综合效应[J]. 广东农业科学, 2014, 41(10): 18-22.
- [11] 王玉霞. 不同蔬菜对转光膜的反应及其农药残留消解动态研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2007.
- [12] 傅明华, 汪羞德, 顾仲兰, 等. 多功能转光塑料薄膜应用效应研究[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 81-84.
- [13] 蒲文宣, 易建华, 孙在军, 等. 双转光膜对棚温及烟苗生长与生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(9): 407-411.
- [14] 高海荣, 吴勇, 陈广峰, 等. 转光膜在设施生菜种植中的应用[J]. 北方园艺, 2021(4): 51-57.
- [15] 郭林鑫, 刘振威, 乔丹丹, 等. 不同LED光质对南瓜幼苗生长及田间性状的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(2): 55-60.
- [16] 张谨薇, 孟清波, 马万成, 等. LED光源对辣椒幼苗生长和光合特性的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(6): 60-63.
- [17] JIAO Y, LAU O S, DENG X W. Light-regulated transcriptional networks in higher plants[J]. Nature Reviews Genetics, 2007, 8(3): 217-230.
- [18] FU Z Z, SHANG H Q, JIANG H, et al. Systematic identification of the light-quality responding anthocyanin synthesis-related transcripts in *Petunia* petals[J]. Horticultural Plant Journal, 2020, 6(6): 428-438.
- [19] 张元梅, 樊卫国. 草莓光合作用的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2016, 44(9): 24-29.
- [20] 樊小雪, 宋波, 徐海, 等. 不同LED光质对小白菜品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(10): 18-19.
- [21] 吉家曾, 刘厚诚, 刘晓塘, 等. 转光膜对甜椒品质的影响[C]//2013中国园艺学会设施园艺分会学术年会·蔬菜优质安全生产技术研讨会暨现场观摩会论文摘要集, 2013.
- [22] 李强, 张白鸽, 梁普兴, 等. 光转换膜技术对叶菜产量的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(21): 30-34.