

# 新型稀土转光膜对日光温室环境 及黄瓜品质和产量的影响

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:**以津优 315 密刺黄瓜为试验材料,以 PO 膜为对照(CK),研究稀土转光膜(RPO)对温室环境及黄瓜产量和品质的影响,为稀土转光膜在农业生产上的应用提供理论依据。结果表明,在 11 月至翌年 1 月,RPO 处理提高了温室内远红光和可见光中的蓝光和红橙光比例。晴天,红橙光、远红光和可见光分别较 CK 提高了 7.57%、9.26%和 5.51%,阴天,蓝光、红橙光和可见光分别较 CK 提高了 11.03%、3.93%和 3.52%,降低了紫外光、紫光和绿光比例,还提高了温室透光率,晴天透光率较 CK 提高了 9.30%,阴天提高了 13.79%;RPO 处理的光照度、气温、地温均高于 CK,平均空气湿度低于 CK,其中 1 月份 RPO 处理的积温、光照度增幅最大。1 月份 RPO 处理的积温、 $\geq 10$  °C 和  $\geq 20$  °C 的小时数分别较 CK 提高了 5.27%、28.36%和 34.23%;1 月份 RPO 处理的平均、最高、最低光照度分别较 CK 提高了 23.53%、30.06%和 11.11%。RPO 处理黄瓜果实维生素 C 和游离氨基酸含量分别较 CK 提高 27.41%和 27.81%,产量提高 30.01%。综上,稀土转光膜可显著提高温室光照度、气温和地温,降低空气湿度,尤其是改善弱光期温室的光环境、提高低温期温室的温度效果更突出,进而提高黄瓜果实产量及品质。

**关键词:**黄瓜;稀土转光膜;温室;品质;产量

中图分类号: S642.2+S626

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)06-050-06

## New rare earth light conversion film affects cucumber quality and yield 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:** The effects of rare earth light conversion film (RPO) on greenhouse environment, cucumber yield and quality were studied using Chinese long cucumber variety Jinyou 35 and Po film as control (CK), so as to provide a theoretical basis for the use of RPO film in agricultural production. The results showed that from November to January RPO film increased the proportion of blue light and red orange light in far red light and visible light, on a sunny day, the red-orange light, far-red light and visible light were increased by 7.57%, 9.26% and 5.51%, respectively, compared with CK. On cloudy days, the blue light, red-orange light and visible light were increased by 11.03%, 3.93% and 3.52%, respectively, compared with CK. The ratio of ultraviolet light, purple light and green light is reduced, and the light transmittance is also improved. The light transmittance in sunny days is increased by 9.30% compared with CK, and the light transmittance in cloudy days is increased by 13.79%. The light intensity, air temperature and ground temperature of RPO treatment were higher than CK, and the average air humidity was lower than CK. The accumulated temperature and light intensity of RPO treatment increased the most in January. Compared with CK, the accumulated temperature,  $\geq 10$  °C and  $\geq 20$  °C hours of RPO treatment in January increased by 5.27%, 28.36% and 34.23%, respectively. The average, maximum and minimum light intensity of RPO treatment in January increased by 23.53%, 30.06% and 11.11%, respectively, compared with CK. The contents of vitamin C and free amino acids in cucumber fruit under RPO film were 27.41% and 27.81% higher than CK, and the yield was increased by 30.01%. In conclusion, RPO film can significantly improve the light intensity, air temperature and ground temperature of greenhouse, reduce air humidity, especially improve the light

收稿日期: 2022-03-03; 修回日期: 2022-04-30

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队(HBCT2018030211)

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

environment of greenhouse in low light period and the temperature of greenhouse in low temperature period, so as to improve the yield and quality of cucumber fruit.

**Key words:** Cucumber; Rare earth light conversion film; Greenhouse; Quality; Yield

近年来,北方地区深冬季节的长期连阴(雾霾)天气频发,使黄瓜、番茄等喜光蔬菜的生长受到很大的限制<sup>[1]</sup>。黄瓜是我国设施栽培的主要蔬菜之一<sup>[2]</sup>,其生长发育除受光强和光周期影响外,光质也是很重要的影响因素<sup>[3]</sup>。光质对植物生长发育、形态建成和生理代谢等方面都有很重要的调控作用<sup>[4]</sup>。设施内光质调控主要通过两种途径,即人工补光和覆盖材料<sup>[5]</sup>,人工补光能够对环境精准调控,但成本较高;利用稀土转光膜覆盖进行光质调控成本较低且使用方便。高海荣等<sup>[6]</sup>研究表明,转光膜可提高温室内空气温度及光照度,保温效果优于普通膜,最终使生菜产量提高 8.54%<sup>[7]</sup>;王玉霞等<sup>[8]</sup>研究表明,转光膜的透光率较高,增温效果好,转光膜 I 和转光膜 II 覆盖栽培的大白菜产量提高 7.53% 和 13.70%;文莲莲等<sup>[9]</sup>研究表明,转光膜的红橙光和远红光透过率高于对照,红色转光膜覆盖生长的黄瓜产量显著高于对照,且果实中可溶性糖、游离氨基酸和维生素 C 含量显著提高,改善了黄瓜品质。但这些研究仅限于单一气温、单一光谱或转特定光(转红光等)对作物的影响,且对照多为 EVA 棚膜。联合晴阴天光谱比例、光照度、平均温度与积温、平均湿度和土壤温度且以 PO 膜为对照综合分析对日光温室环境及黄瓜品质和产量影响的相关研究报告甚少。

笔者采用覆盖内蒙古舜明有限公司生产的稀土转光膜,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光及红橙光。张玲玲等<sup>[10]</sup>在内蒙古试验研究表明,该膜覆盖下番茄品质得到提升,可溶性蛋白和番茄红素含量分别是普通膜处理的 1.9 倍和 1.5 倍。笔者选择冬季光照条件较差、但温度比内蒙古高的冀中地区作为试验地,以津优 315 密刺黄瓜为试材,普通 PO 膜为对照,研究新型稀土转光膜对日光温室温光环境及黄瓜品质和产量的影响,旨在为稀土转光膜在冀中地区日光温室果菜上的应用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试品种:津优 315 密刺黄瓜由天津科润农业科技股份有限公司选育,河北康城现代农产品开发

有限公司育苗。

供试棚膜:稀土转光膜(内蒙古舜明有限公司生产),厚度 0.1 mm,对照棚膜为 PO 膜(河北康城现代农产品开发有限公司提供),厚度 0.1 mm。

### 1.2 试 验 设 计

试验于 2020 年 9 月至 2021 年 1 月在河北省保定市定兴县石象村河北康城现代农产品开发有限公司基地日光温室内进行。温室长度 100 m,脊高 5.4 m,内跨 11.5 m。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随机选取相邻的 12 行为 1 个小区,每小区面积约 80 m<sup>2</sup>,3 次重复。大行距 80 cm,小行距 40 cm,株距 35 cm,覆盖透明地膜,膜下沟灌,水肥管理和病虫害防治同常规管理。植株于 2020 年 9 月 25 日定植,11 月 5 日开始采收,2021 年 1 月 6 日拉秧。

自 2020 年 11 月至 2021 年 1 月连续监测温室的光照度、气温、地温、空气湿度,并于每个月选典型晴天和阴天测定温室内的光谱及其透过率。

### 1.3 项 目 测 定 及 方 法

1.3.1 光环境的测定 棚膜透射光谱的测定:使用 Ocean Optics 生产的 QE65000 光谱仪与透射积分球用光纤连接测定不同棚膜的透射光谱,在每块棚膜的中央处进行测定。自 2020 年 10 月 1 日开始测定,每月选择典型的晴天和阴天进行测定,共测定 8 次,取平均值,计算各个波段光的透过率。

棚膜透光率的测定:采用 QUANTUM LIGHT METER 型照度计测定大棚内外的光照度,调节高度使其探头距地面 1.5 m 处,且使仪器处于棚膜中央,读取实时光照度,每个处理下测定 3 次取平均值计算透光率,测定时间为 09:00—11:00。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 温室内环境的测定 空气温度、空气湿度和光照度:采用杭州智拓仪器记录 CK 和 RPO 处理的空气温度、湿度以及光照度。

土壤温度:采用 ET60 智墒仪记录 CK 和 RPO 处理的土壤温度,平均值为日均地温。

1.3.3 果实品质及产量的测定 自采收开始记录小区黄瓜产量,测定黄瓜品质,每小区测定 6 个果

实。自第1个果采收期开始记录单果质量和产量。采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白含量;采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定维生素 C 含量;采用茚三酮比色法测定游离氨基酸含量<sup>[1]</sup>。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 软件处理数据,采用 SPSS 23 软件统计分析。

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率的影响 由表 1~2 可以看出,不同棚膜透过光谱(300~760 nm)分析显示,晴天和阴天稀土转光膜均可以增加远红光和可见光中的蓝光和红橙光,减少紫外光、紫光

和绿光。晴天,RPO 处理的紫外光、紫光和绿光均显著低于 CK,分别较 CK 降低了 16.39%、6.02%和 2.73%;红橙光、远红光和可见光均显著高于 CK,分别较 CK 提高了 7.57%、9.26%和 5.51%;RPO 处理和 CK 蓝光虽差异不显著,但 RPO 处理较 CK 提高了 5.53%。阴天,RPO 处理的紫外光和绿光均显著低于 CK,分别较 CK 降低了 16.87%和 3.90%;蓝光、红橙光和可见光均显著高于 CK,分别较 CK 提高了 11.03%、3.93%和 3.52%,RPO 处理和 CK 远红光差异不显著,但 RPO 处理的远红光较 CK 提高了 7.19%。结果表明,稀土转光膜减少了紫外光、紫光和绿光比例,其中紫外光降幅最大;通过增加红橙光、蓝光,提高了可见光比例,并提高远红光比例,其中晴天的远红光、阴天的蓝光增幅均最大。

表 1 典型晴天不同处理的光谱比

处理	紫外光 (300~400 nm)	紫光 (400~440 nm)	绿光 (510~610 nm)	蓝光 (440~510 nm)	红橙光 (610~710 nm)	远红光 (710~760 nm)	可见光 (400~700 nm)
CK	8.42±0.03 a	5.48±0.14 a	27.10±0.36 a	14.65±0.28 a	28.54±0.46 b	11.45±0.25 b	81.19±0.64 b
RPO	7.04±0.02 b	5.15±0.06 b	26.36±0.66 b	15.46±0.29 a	30.70±0.41 a	12.51±0.33 a	85.66±1.29 a

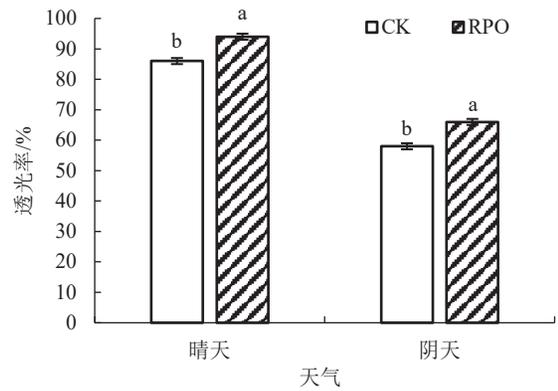
注:表中同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

表 2 典型阴天不同处理的光谱比

处理	紫外光 (300~400 nm)	紫光 (400~440 nm)	绿光 (510~610 nm)	蓝光 (440~510 nm)	红橙光 (610~710 nm)	远红光 (710~760 nm)	可见光 (400~700 nm)
CK	7.29±0.07 a	5.47±0.08 a	28.47±0.38 a	14.69±0.20 b	26.49±0.22 b	10.85±0.12 a	80.66±0.85 b
RPO	6.06±0.01 b	5.13±0.13 a	27.36±0.21 b	16.31±0.35 a	27.53±0.26 a	11.63±0.39 a	83.50±0.25 a

2.1.2 稀土转光膜对典型晴天和阴天透光率的影响 从图 1 可以看出,无论是晴天还是阴天 RPO 处理的透光率均显著高于 CK。在晴天时,RPO 处理的透光率较 CK 提高了 9.30%;在阴天时,RPO 的透光率较 CK 提高了 13.79%;说明 RPO 处理的透光率在阴天提高效果更好。

2.1.3 稀土转光膜对温室内光照度的影响 由表 3 可知,11 月至翌年 1 月,RPO 处理较 CK 的平均光照度提高 5.88%~23.53%,最高光照度提高了 26.75%~30.86%,最低光照度提高了 11.11%~18.75%。在光照度最低的 1 月份,2 个处理平均光照度和最高光照度差异最大,结果表明,光照度越



注:不同小写字母表示 RPO 处理和 CK 在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 典型晴天和阴天不同处理的透光率

表 3 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		
	11 月	12 月	1 月	11 月	12 月	1 月	11 月	12 月	1 月
CK	5.10	4.20	3.40	32.90	27.30	24.30	1.60	1.20	0.90
RPO	5.40	4.90	4.20	41.70	35.00	31.80	1.90	1.40	1.00
比 CK+/%	5.88	16.67	23.53	26.75	28.21	30.86	18.75	16.67	11.11

注:最低光照度计算忽略温室覆盖保温被期间的 0 值(保温被覆盖时间为 17:00 至翌日 09:00)。

低,稀土转光膜改善光照度的作用越明显。

## 2.2 稀土转光膜对温室内气温和空气湿度的影响

由表4可以看出,在11月至翌年1月,CK和RPO处理的气温逐渐降低,RPO处理的平均气温、最高气温、最低气温均始终高于CK,平均气温较CK提高5.45%~6.76%,最高气温较CK提高0.52%~1.08%,最低气温较CK提高12.50%~18.18%,其中,1月份最高、最低气温增幅最大。11月、12月和翌年1月,RPO处理的平均空气湿度分别比CK降低了

10.15%、9.09%、4.81%,表明稀土转光膜可有效降低空气相对湿度,在温度较高的11月效果最明显。

由表5可以看出,RPO处理的积温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的小时数和 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的小时数均高于CK,RPO处理的积温较CK高3.49%~5.27%, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的小时数较CK高8.02%~28.36%, $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的小时数较CK高10.10%~34.23%,其中1月份3种积温的增幅均为最大。结果表明,稀土转光膜可提高温室平均温度和积温,外界气温最低的1月份增幅最大。

表4 不同处理的气温和空气湿度

处理	最高气温/ $^{\circ}\text{C}$			最低气温/ $^{\circ}\text{C}$			平均气温/ $^{\circ}\text{C}$			平均空气湿度/ $^{\circ}\text{C}$		
	11月	12月	1月	11月	12月	1月	11月	12月	1月	11月	12月	1月
CK	39.00	38.30	37.00	9.60	6.90	5.50	16.50	14.80	14.30	87.70	90.20	91.50
RPO	39.30	38.50	37.40	10.80	8.00	6.50	17.40	15.80	15.10	78.80	82.00	87.10
比CK $\pm$ /%	0.77	0.52	1.08	12.50	15.94	18.18	5.45	6.76	5.59	-10.15	-9.09	-4.81

表5 不同处理的积温及 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的小时数

处理	积温/ $^{\circ}\text{C}$			$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的小时数/h			$\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的小时数/h		
	11月	12月	1月	11月	12月	1月	11月	12月	1月
CK	289.80	417.90	195.30	2 548.60	3 288.00	1 426.20	407.90	755.40	402.60
RPO	299.90	435.90	205.60	2 753.10	3 757.00	1 830.70	480.30	831.70	540.40
比CK $\pm$ /%	3.49	4.31	5.27	8.02	14.26	28.36	17.75	10.10	34.23

## 2.3 稀土转光膜对土壤温度的影响

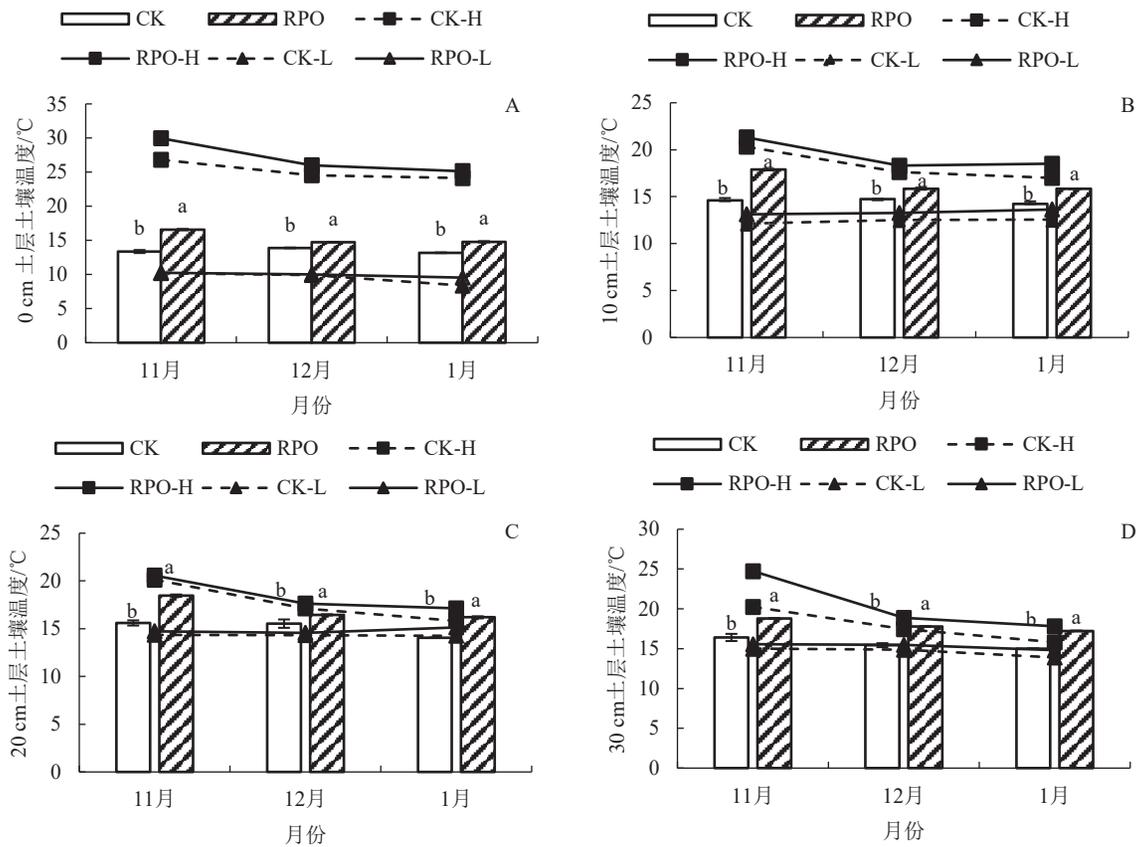
由图2可知,11月至翌年1月,0~30 cm的土层内RPO处理的土壤温度均显著高于CK。RPO处理的最高和最低土壤温度始终高于CK,各个不同深度的土壤温度均随月份增加逐渐降低。在土壤表层,11月至翌年1月RPO处理平均土壤温度较CK分别提高20.01%、5.97%、12.13%,最高土壤温度分别提高了11.75%、5.86%、4.14%,最低土壤温度分别提高了0.59%、1.11%、13.8%。在10 cm土层,11月至翌年1月RPO处理平均土壤温度较CK分别提高22.46%、7.60%、11.31%,最高土壤温度分别提高了4.92%、3.86%、8.82%,最低土壤温度分别提高了8.16%、6.00%、8.52%。在地下20 cm土层,11月至翌年1月RPO处理平均土壤温度较CK分别提高18.33%、5.92%、15.23%,最高土壤温度分别提高了2.14%、2.92%、8.35%,最低土壤温度分别提高了2.65%、1.61%和6.18%。在地下30 cm土层,11月至翌年1月RPO处理平均土壤温度较CK分别提高14.50%、15.22%、14.79%,最高土壤温度分别提高了22.22%、8.26%、12.65%,最低土壤温度分别提高了3.66%、3.99%、6.62%。由于稀土转光膜提高了地温,可促进蔬菜根系生长,有利于蔬菜吸收养分。

## 2.4 稀土转光膜对黄瓜品质及产量的影响

从表6中可以看出,RPO处理的黄瓜单果质量比CK增加了9.33%,667 m<sup>2</sup>产量为5 068.78 kg,比CK提高了30.01%。稀土转光膜显著提高了黄瓜果实的维生素C和游离氨基酸含量,RPO处理的维生素C和游离氨基酸含量分别较CK提高了27.41%和27.81%。可溶性蛋白含量虽差异不显著,但RPO处理较CK提高了17.08%。

## 3 讨论与结论

稀土转光膜对温室环境具有调控作用。本研究结果表明,稀土转光膜温室的空气温度、光照度较普通膜有很大提高。高海荣等<sup>[6]</sup>研究表明,转光膜可有效提高温室温度;傅明华等<sup>[12]</sup>研究表明,转光膜能显著提高棚内日最高气温;蒲文宣等<sup>[13]</sup>指出,在冬季和早春应用转光膜能使棚温增加1.7  $^{\circ}\text{C}$ ;王玉霞等<sup>[8]</sup>研究表明,转光膜的透光率较高,增温效果较好,同时具有调节棚内温度的作用,这与本研究结果类似。转光膜调控温室环境的一般原理为其能够吸收高能量的紫外光和黄绿光,发射低能量的蓝紫光和红橙光,将太阳光中能量相对较大的紫外线转换成能量较小的光,能量以热的形式释放出来,提高了温室升温速度、升降温速比和积温,形成有



注一A:0 cm 土层土壤温度变化;B:10 cm 土层土壤温度变化;C:20 cm 土层土壤温度的变化;D:30 cm 土层土壤温度的变化。CK-H:PO 膜最高土壤温度;RPO-H:稀土转光膜最高土壤温度;CK-L:PO 膜最低土壤温度;RPO-L:稀土转光膜最低土壤温度。

图 2 不同处理的土壤温度

表 6 稀土转光膜对黄瓜品质和产量的影响

处理	w(可溶性蛋白)/(mg·g <sup>-1</sup> )	w(维生素 C)/(mg·100 g <sup>-1</sup> )	w(游离氨基酸)/(mg·g <sup>-1</sup> )	平均单果质量/g	产量/(kg·667 m <sup>-2</sup> )
CK	2.81±0.23 a	6.13±1.80 b	4.89±0.46 b	188.98±8.05 b	3 898.87±11.87 b
RPO	3.29±0.55 a	7.81±1.07 a	6.25±0.96 a	206.61±11.91 a	5 068.78±10.13 a

利于植物光合作用的可见光,改善低温寡照天气对光合作用的影响<sup>[14]</sup>。本研究结果表明,稀土转光膜增加了温室内远红光和可见光中的蓝光和红橙光比例,降低了紫外光、紫光 and 绿光比例,验证了转光膜改善温室光环境的效果。与此同时,笔者研究发现,稀土转光膜在光照度较弱的 1 月份和典型阴天,提高透光率、改善温室内光照度的效果最显著,且 1 月份稀土转光膜温室内≥10 °C 和≥20 °C 的小时数增幅均最大。因此,稀土转光膜在低温弱光期改善温光环境的效果最显著,更适合在日光温室中应用推广。

土壤温度对作物根系的影响很大,其影响根系的生长、呼吸和吸收能力。高海荣等<sup>[9]</sup>在试验研究中得出结论,覆盖转光膜的温室内平均土壤温度、最高土壤温度以及最低土壤温度都有提高,这与本研究结果类似。李文秀等<sup>[15]</sup>也得出同样结果。对大

多数植物来说,在一定温度范围内,随着土壤温度增高,生长也加快,根系吸收作用和呼吸作用加强,物质运输加快,因而细胞分裂和伸长的速度也随之增加,间接影响植物的生长。转光膜可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,将对作物光合作用不利的紫外光等转换成作物需要的蓝紫光和红橙光。地面只能以红外波段向外释放热量,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。

转光膜具有改善果实品质的作用。徐凯等<sup>[16]</sup>研究表明,蓝光下的草莓果实含糖量、可溶性固形物含量和抗坏血酸含量均最高。陈强等<sup>[17]</sup>研究表明,红光和红蓝组合光处理能够显著提高番茄果实糖、酸含量;红光和蓝光是影响番茄果实转色期品质变化的主要光质。众多研究表明,蓝光可通过促进果实中游离氨基酸、可溶性蛋白、维生素 C 的积累,进

而改善果实品质<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,稀土转光膜可显著提高黄瓜果实中维生素 C 和游离氨基酸含量,这与该处理提高温室内蓝光比例密切相关。

温室内温度、湿度、光照度以及土壤温度和土壤水分等各种要素共同作用影响黄瓜等蔬菜的生长发育。稀土转光膜温室空气温度、光照度、土壤温度、土壤水分等温光指标均优于普通 PO 膜温室,黄瓜果实的维生素 C 含量和游离氨基酸含量分别提高了 27.41% 和 27.81%, 平均单果质量和产量分别提高了 9.33% 和 30.01%, 可在设施生产中推广应用。

### 参考文献

- [1] 张健,田佳星,张国裕,等.瓜类作物耐低温弱光研究进展[J].中国瓜菜,2020,33(10):1-8.
- [2] 周海霞,李新峥,李芳霞,等.塑料大棚春提前黄瓜生产技术规范[J].中国瓜菜,2021,34(11):126-129.
- [3] 李岩,王丽伟,文莲莲,等.红蓝光质对转色期间番茄果实主要品质的影响[J].园艺学报,2017,44(12):2372-2382.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 高海荣,吴勇,陈广峰,等.转光膜在设施生菜种植的应用[J].北方园艺,2021(4):51-57.
- [7] 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.
- [8] 王玉霞,徐坤,米庆华,等.转光膜的温光效应及其对春大白菜生长发育的影响[J].中国蔬菜,2006(9):12-15.
- [9] 文莲莲,苏彦宾,陈小文,等.不同转红光棚膜对黄瓜生长、产量及品质的影响[J].天津农业科学,2019,25(11):39-42.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [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] 王平利,曹国荣.转光膜性能研究相关问题的探讨[J].北京印刷学院学报,2005,13(2):21-23.
- [15] LI W X, ZHOU N, CHEN Y, et al. The effect of the novel "light fertilizer" on the environment factor in high tunnel and growth of *Brassica Chinensis*[J]. Agricultural Science & Technology, 2014, 15(12):2245-2248.
- [16] 徐凯,郭延平,张上隆,等.不同光质膜对草莓果实品质的影响[J].园艺学报,2007,34(3):585-590.
- [17] 陈强,刘世琦,张自坤,等.不同 LED 光源对番茄果实转色期品质的影响[J].农业工程学报,2009,25(5):156-161.
- [18] 李亚华,陈龙,高荣广,等.LED 光质对茄子果实品质及抗氧化能力的影响[J].应用生态学报,2015,26(9):2728-2734.