

刘 帅, 张亚红, 刘 鑫, 等. 不同光源补光对设施红地球葡萄果实品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 949-956.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.018

不同光源补光对设施红地球葡萄果实品质的影响

刘 帅, 张亚红, 刘 鑫, 袁 苗, 摆虹霞, 黄嘉俊
(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 为探究不同光源补光对设施红地球葡萄果实品质的影响, 以 8 年生红地球葡萄为试验材料, 于萌芽开始至果实成熟期, 设置 5 种不同光源(红光、蓝光、红蓝光 2:1、红蓝光 4:1、红蓝光 6:1)补光处理, 以不补光为对照, 研究不同光源对红地球葡萄叶片光合特性及成熟期果实品质的影响, 并结合主成分分析筛选最佳补光光源。结果显示: 与对照相比, 5 种补光处理均能提高葡萄叶片光合作用和果实品质; 红光处理果实的纵径、果形指数最高(29.87 mm、1.16); 蓝光处理果实的可溶性固形物含量、pH、还原糖含量最高(19.3%、4.14、179.13 g/L); 红蓝光 2:1 处理果实的固酸比、花青素含量最高(5.49 mg/g、0.16 mg/g); 红蓝光 4:1 处理果实的糖酸比最高(49.79), 可滴定酸含量最低(3.45 g/L)。以花青素含量、纵横径、可溶性固形物含量、还原糖含量、可滴定酸含量、pH、糖酸比等果实品质指标进行主成分分析, 得出最适补充光源排序为: 蓝光>红蓝光 2:1>红蓝光 4:1>红光>红蓝光 6:1。补充蓝光可作为促进设施红地球葡萄果实成熟及提高果实品质的最佳选择。

关键词 葡萄; 光源; 光合特性; 果实品质

中图分类号: S663.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)04-0949-08

Effects of different supplementary light sources on fruit quality of Red Globe grape under protected cultivation

LIU Shuai, ZHANG Ya-hong, LIU Xin, YUAN Miao, BAI Hong-xia, HUANG Jia-jun

(School of Agronomy, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: To explore the effects of different supplementary light sources on fruit quality of Red Globe grape under protected cultivation, eight-year-old Red Globe grapes were used as the experimental materials. From the beginning of germination to the maturity of fruit, five different light sources (red light (R), blue light (B), R:B=2:1, R:B=4:1, R:B=6:1) used for light source supplement, and the treatment without supplementary light was control (CK). The effects of different light sources on photosynthetic characteristics of grape leaves and fruit quality at maturity were studied, and the best supplementary light source was selected based on principal component analysis. The results showed that compared with the control, all the five treatments could improve the photosynthetic performance of grape leaves and fruit quality. The longitudinal diameter and fruit shape index under red light treatment were the highest (29.87 mm, 1.16). The soluble solid content pH and reducing sugar content in fruits under blue light treatment were the highest (19.3%, 4.14, 179.13 g/L). The ratio of solid-acid and anthocyanin content of fruits were the highest (5.49 mg/g, 0.16 mg/g) under the treatment of R:B=2:1. The sugar-acid ratio of fruits was the highest (49.79) and the titratable acid content was the lowest (3.45 g/L) under the treatment of R:B=4:1. Principal component analysis was carried out on fruit quality indices such as anthocyanin content,

收稿日期: 2021-01-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360493)

作者简介: 刘 帅(1995-), 男, 陕西榆林人, 硕士研究生, 主要从事
设施园艺环境调控研究。(E-mail) 545371422@qq.com

通讯作者: 张亚红, (E-mail) zhyhcau@sina.com

longitudinal and transverse diameter, soluble solid content, reducing sugar content, titratable acid content, pH, sugar-acid ratio, and the optimal B>R:B=2:1>R:B=4:1>R>R:B=6:1. In conclusion, the blue light can be used as the best supplementary light source to promote fruit ripe-

ning and improve fruit quality of Red Globe grape under protected cultivation.

Key words: grape; light quality; photosynthetic characteristics; fruit quality

中国是葡萄(*Vitis vinifera* L.)生产大国,以生产鲜食葡萄为主,葡萄产量居世界首位^[1]。近年来设施葡萄发展迅速,成为推动中国葡萄产业发展的新动力^[2]。日光温室是设施葡萄栽培的主要模式,日光温室使鲜食葡萄提早上市提高葡萄栽培的经济效益^[3],是宁夏回族自治区葡萄产业发展的重要手段。阴阳结合型日光温室的阴棚,通常以栽培葡萄为主。葡萄是喜光植物^[4],在栽培过程中,由于设施内光照分布不均匀,加上棚膜老化、叶片遮光,致使设施内常常光照不足,造成果实的着色和成熟度不一致,进而影响果实品质和商品价值,严重制约宁夏回族自治区设施葡萄产业的经济效益^[5]。因此,有必要采取措施促进葡萄果实着色并提高果实品质,进一步提高葡萄种植的经济效益。

光作为重要的环境信号,调控植物的形态建成和新陈代谢过程^[6]。大量研究结果表明,不同光源显著影响植物的产量和品质^[7]。LED(Light emitting diode,发光二极管)补光是改善设施内的光环境、提高设施葡萄产量和品质的重要手段^[8]。张克坤等^[9]研究结果显示,补光改善了瑞都香玉葡萄果实品质,其中蓝光处理果实成熟最快且含糖量最高,紫外光提高果实单粒质量和糖酸比。赵文东等^[10]研究发现,蓝光处理可以明显提高延迟栽培巨峰葡萄果实的可溶性固形物、还原糖和花青苷含量。黄秋凤等^[11]研究认为,夜间补充红光和白光可显著提高巨峰葡萄的果实品质。也有研究结果表明,红蓝复合光更有利于提高植物光能利用率^[12]和果实品质^[13]。目前,有关设施葡萄的补光研究多集中于单色光,而对复合光的研究较少,同时针对红地球葡萄果实成熟过程中品质变化规律的研究也鲜有报道。

随着 LED 技术的快速发展,LED 光源越来越多地应用于设施栽培研究^[14]。本课题组前期对葡萄单色光补光进行了研究,本研究在此基础上,设计不同比例红蓝复合光,研究其对葡萄叶片光合特性和果实品质的影响,比较分析不同光源处理葡萄叶片的光合特性及果实外观和营养品质变化规律,并对品质指标进行主成分分析,综合评价各光源处理,以期筛选出红地球葡萄的最佳补光方案,为宁夏回族自治区设施葡萄成熟期调控、品质改善和安全优质

生产提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于 2020 年 4—9 月于宁夏大学试验基地贺兰园艺产业园 15 号阴阳结合型日光温室阴棚内进行(106°16'E,38°20'N),温室坐南朝北,东西走向,东西长度 90.0 m,南北跨度 9.0 m,脊高 4.5 m,覆盖材料为聚氯乙烯薄膜(PVC)。该地区属中温带大陆性气候,四季分明,昼夜温差大,气候干燥,多风沙,年平均日照时数 2 800~3 000 h,年平均气温 8.5 ℃,年平均降水量 200 mm 左右,无霜期 185 d 左右,土壤类型为风沙土。试验材料为日光温室 8 年生的红地球葡萄(*Vitis vinifera* cv. Red Globe),株行距为 0.8 m×1.5 m。采用主干倾斜 L 形,南北走向,棚架栽培,试验期间进行常规管理。

1.2 试验设计

设计 5 种不同光源处理,分别为红光(R)、蓝光(B)、红蓝光(R:B=2:1)、红蓝光(R:B=4:1)和红蓝光(R:B=6:1),以不补光为对照(CK)。试验所用 LED 植物补光灯由深圳市新佳光电有限公司制造,功率 45 W,红光波长 620 nm,蓝光波长 435 nm,红蓝光由不同比例的红光、蓝光灯泡组成。共 72 株葡萄,分 6 小区,每个小区 12 株,3 次重复,每个处理设补光灯 6 盏,在试验树体上方 30 cm 处安置补光灯。光源与植株的距离可调,各处理布置反光膜用于反光和隔离,通过照度计测定光照度,以保证各处理植株受光均匀,并挂牌标示。补光从葡萄萌芽期开始直至成熟期结束,每天 8:00—20:00 进行补光,补光的光照度为 200 μmol/(m²·s)。于葡萄花后 72 d(转色期)至花后 112 d(成熟期)采样,每隔 10 d 采样 1 次,共计采样 5 次。采样时兼顾栽培行阴阳面以及果穗的上、中、下部,随机取样,每个处理采集 200 粒果粒。采样后一半用于果粒质量、果实纵径和横径、可溶性固形物含量、pH、还原糖含量、可滴定酸含量测定,一半进行液氮速冻,于 -80 ℃ 冰箱保存待测。

1.3 测定项目与方法

光合指标测定:测定仪器为 GFS-3000 便携式光

合测定仪,于葡萄果实转色期,选择晴天9:00–12:00测定各处理长势一致无遮挡的中上部叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)4项指标。每个补光处理测定3株,每株6次重复,最后取平均值。还原糖含量测定:取葡萄汁5 ml,采用斐林试剂热滴定法(GB/T 15038–2006)测定;可滴定酸含量测定:取葡萄汁5 ml,采用酸碱滴定法(GB/T 15038–2006)测定;pH值测定:取葡萄汁约50 ml,采用笔式电子pH计(KedidGT-6023)测定葡萄汁pH;可溶性固形物含量测定:采用手持糖度计(ATAGOPAL-1)测定;总花青素含量测定:精确称取0.5 g超低温冷冻样品,采用pH示差法测定^[15]。

1.4 数据处理

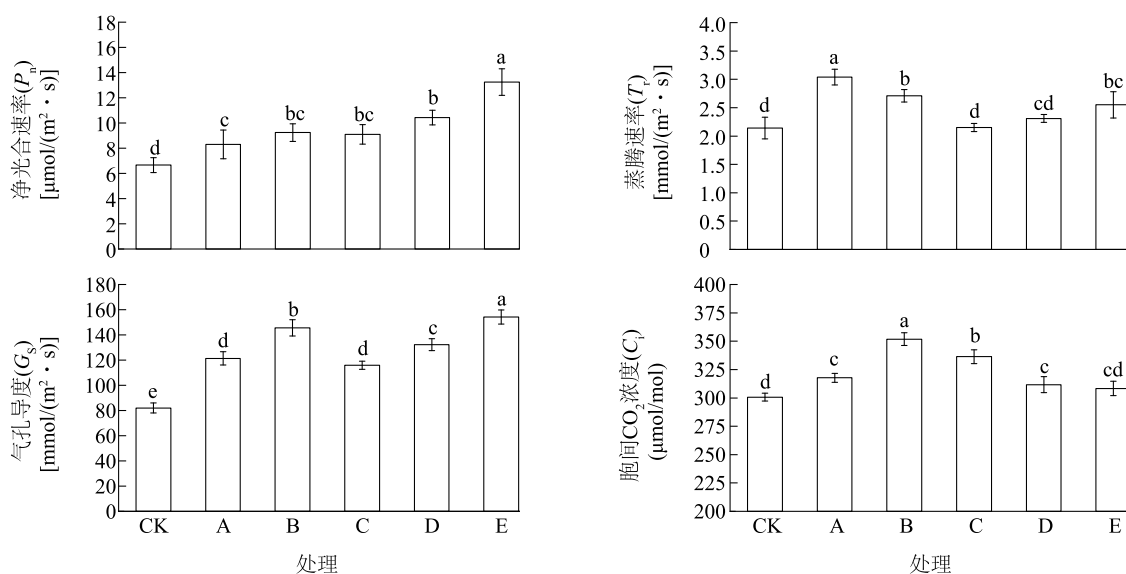
采用SPSS 25.0进行方差分析及主成分分析,并采用Duncan's法进行多重比较。利用Origin-Pro2019软件进行作图,数据均为平均值 \pm 标准差,用不同字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同补光处理对红地球葡萄叶片光合特性的影响

5种补光处理下,红地球葡萄叶片的光合特性

表现出显著差异(图1)。红光、蓝光、红蓝光2:1、红蓝光4:1、红蓝光6:1处理相比CK均显著增加了葡萄叶片的净光合速率,增幅分别为24.7%、38.8%、36.7%、56.8%、99.0%。叶片净光合速率在红蓝光6:1处理下最高,为 $13.25 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,显著高于其他各处理。叶片的蒸腾速率在红光处理下最高,为 $3.04 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,是CK的1.42倍,显著高于其他各处理;其次为蓝光处理与红蓝光6:1处理,分别是CK的1.26倍和1.19倍,且两者之间无显著差异;而红蓝光2:1处理和红蓝光4:1处理与CK间无显著差异。叶片的气孔导度在红蓝光6:1处理下最高,为 $154.19 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,是CK的1.88倍,显著高于其他处理;其次为蓝光、红蓝光4:1、红光、红蓝光2:1处理,分别是CK的1.77倍、1.61倍、1.48倍、1.41倍。胞间 CO_2 浓度在蓝光处理下最高,为 $351.78 \mu\text{mol}/\text{mol}$,显著高于其他各处理,其次为红蓝光2:1、红光、红蓝光4:1处理,分别是CK的1.17倍、1.12倍、1.06倍、1.04倍,而红蓝光6:1处理与CK差异不显著。红光处理下叶片的蒸腾速率最高,蓝光处理下叶片的胞间 CO_2 浓度最高,红蓝光6:1处理下叶片的净光合速率和气孔导度最高。结果表明不同光源对红地球葡萄叶片的光合特性具有不同的影响。



CK:不补光;A:红光(R);B:蓝光(B);C:红蓝光(R:B)=2:1;D:红蓝光(R:B)=4:1;E:红蓝光(R:B)=6:1。不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

图1 不同补光处理对葡萄叶片光合特性的影响

Fig.1 Effects of different supplementary light treatments on photosynthetic characteristics of grape leaves

2.2 不同补光处理对红地球葡萄单粒质量及果粒纵横径的影响

5 种补光处理对成熟期红地球葡萄的单粒质量、果粒纵横径均有促进作用(表 1)。红蓝光 6:1 处理单粒质量最大(10.48 g),红光、红蓝光 4:1、红蓝光 2:1 处理次之,较对照分别高出 11.97%、9.72%、8.65%、6.62%,蓝光处理与对照无明显差异。红光处理果粒的纵径(29.87 mm)高于其他处理,蓝光、红蓝光 2:1、红蓝光 4:1 处理次之,均显著高于对照,较对照分别高出 7.45%、4.42%、3.27%、1.55%。各补光处理的横径均显著高于对照,但各补光处理间无显著差异。果形指数在所有处理间均无明显差异。可见,补光能够不同程度提高葡萄果粒的质量和大小,其中以红光处理效果最好。

2.3 不同补光处理对红地球葡萄可溶性固形物和还原糖含量的影响

红地球葡萄果实成熟过程中,果实中可溶性固形物和还原糖含量呈上升趋势,前期增长较快而后期缓慢。各补光处理能够不同程度提高果实中可溶性固形物和还原糖含量,并使其提前趋于稳定(图

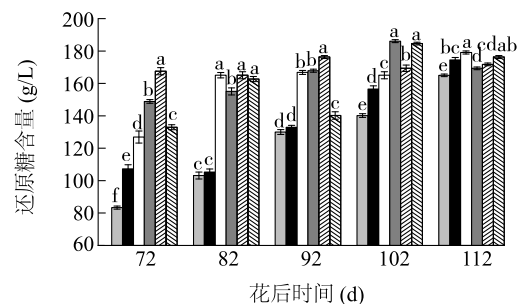
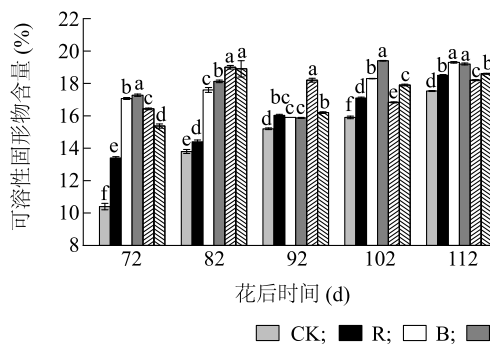
2)。在花后 82 d,果实中可溶性固形物和还原糖含量在蓝光和红蓝复合光中较高,显著高于对照和红光处理。随着果实的成熟,各处理间差异缩小。在花后 112 d,果实中可溶性固形物和还原糖含量在蓝光处理下最高(19.3%、179.13 g/L),较对照分别增加 10.10%和 8.56%,其次为红蓝光 6:1 处理,较对照分别增加了 6.10%和 6.84%,红蓝光 2:1、红蓝光 4:1、红光处理次之,均显著高于对照。结果表明补光能显著提高果实成熟过程中可溶性固形物和还原糖含量,果实成熟期以蓝光的提升效果最为明显。

表 1 不同补光处理对葡萄外观品质的影响

Table 1 Effects of different supplementary light treatments on grape appearance quality

处理	单粒质量 (g)	纵径 (mm)	横径 (mm)	果形指数
CK	9.36±0.31c	27.80±0.53c	24.46±0.28b	1.14±0.08a
A	10.27±0.24ab	29.87±0.42a	25.76±0.44a	1.16±0.03a
B	9.48±0.22c	29.03±0.43ab	25.67±0.23a	1.13±0.06a
C	9.98±0.27b	28.23±0.42bc	25.91±0.24a	1.09±0.06a
D	10.17±0.12ab	28.71±0.53bc	25.70±0.41a	1.12±0.03a
E	10.48±0.23a	27.83±0.43c	25.81±0.24a	1.08±0.06a

各处理见图 1 注。同一列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。



各处理见图 1 注。不同字母表示相同花后天数不同处理间差异显著($P<0.05$)。

图 2 不同补光处理对葡萄果实可溶性固形物和还原糖含量的影响

Fig.2 Effects of different supplementary light treatments on the contents of soluble solid and reducing sugar in grape fruit

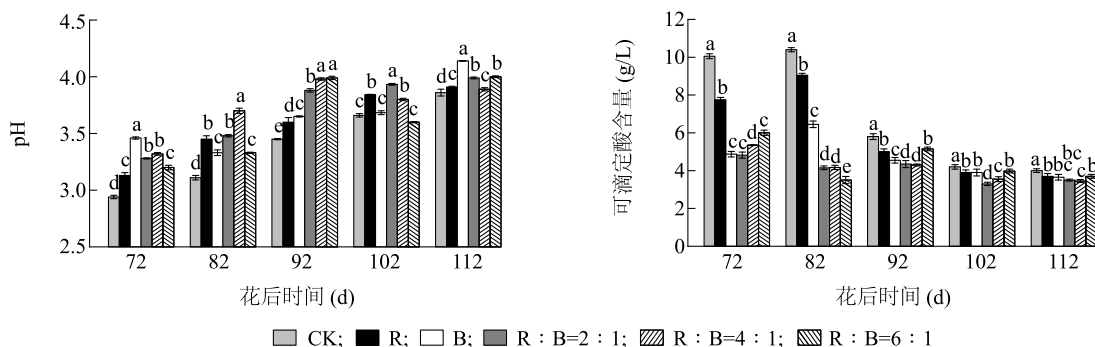
2.4 不同补光处理对红地球葡萄果实 pH 和可滴定酸含量的影响

从整体来看,随着果实成熟,pH 呈增高趋势,前期增高较快而后期增高缓慢,可滴定酸含量呈降低趋势,前期降低较快而后期降低缓慢(图 3)。在花后 82 d,果实 pH 在红蓝光 4:1 处理下最高(3.70),显著高于其他处理;果实可滴定酸含量在红蓝复合光中较低,显著低于其他各处理。在花后

112 d,各处理 pH 发生变化,果实 pH 在蓝光处理下最高(4.14),其次为红蓝光 6:1 和红蓝光 2:1 处理,两者间无显著差异,较对照分别增加 7.25%、3.63%和 3.37%,再次为红光和红蓝光 4:1 处理,均高于对照。果实可滴定酸含量在红蓝光 4:1 处理下最低(3.45 g/L),其次为红蓝光 2:1 和蓝光处理,较对照分别降低 13.75%、12.50%和 8.75%,再次为红光和红蓝光 6:1 处理,均显著低于对照。结

果表明补光提高了果实成熟过程中的 pH,降低了果实可滴定酸含量,在果实成熟期,蓝光对提升果实

pH 效果最好,红蓝光4:1 对降低果实可滴定酸含量效果最佳。



各处理见图 1 注。不同字母表示相同花后天数不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

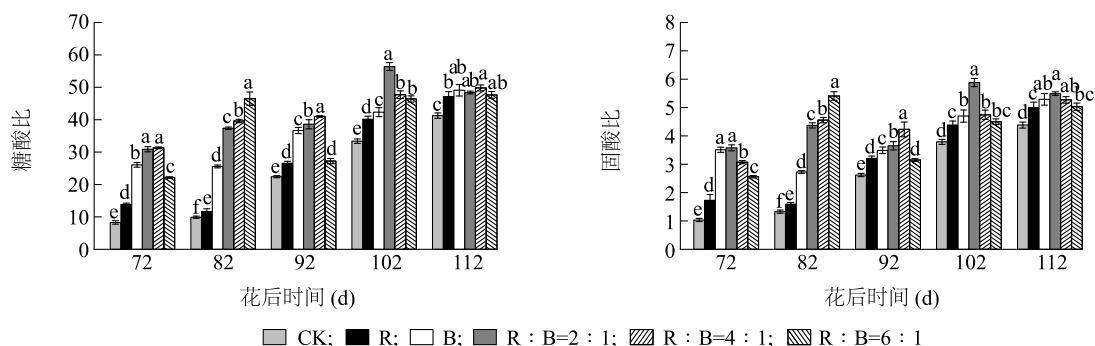
图 3 不同补光处理对葡萄果实中 pH 和可滴定酸含量的影响

Fig.3 Effects of different supplementary light treatments on pH and titratable acid content of grape fruit

2.5 不同补光处理对红地球葡萄果实糖酸比和固酸比的影响

葡萄果实糖酸比和固酸比随果实成熟呈增高趋势,前期增高较快而后期增高缓慢,各补光处理能够不同程度提高果实糖酸比和固酸比,并使其提前趋于稳定(图 4)。花后 82 d,果实糖酸比和固酸比在红蓝光6:1 处理下最高(46.49、5.41),显著高于其他处理。在花后 112 d,各处理间差异减小,果实糖酸比在红蓝光4:1 处理下达到最高值(49.79),其

次为蓝光和红蓝光2:1 处理,较对照分别增加 20.70%、19.03%和 17.28%。果实固酸比在红蓝光2:1 处理下达到最高值(5.49),其次为蓝光和红蓝光4:1 处理,较对照分别增加 25.34%、20.78%和 20.32%。结果表明补光增加了果实成熟过程中的糖酸比和固酸比,在果实成熟期,红蓝光4:1 处理对提升果实糖酸比效果最好,红蓝光2:1 处理对提升果实固酸比效果最佳。



各处理见图 1 注。不同字母表示相同花后天数不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 4 不同补光处理对葡萄果实中糖酸比和固酸比的影响

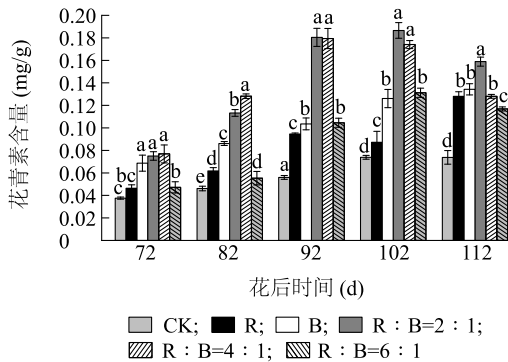
Fig.4 Effects of different supplementary light treatments on sugar-acid ratio and solid-acid ratio of grape fruit

2.6 不同补光处理对红地球葡萄果实花青素含量的影响

随着葡萄果实的着色成熟,花青素含量呈先增高后降低的趋势(图 5)。各补光处理能够有效促进各时期果实花青素含量的积累,并维持稳定。在花后82~102 d,果实花青素含量在红蓝光2:1 和红蓝

光4:1 处理中迅速提升,显著高于其他处理。花后 102 d,果实花青素含量在红蓝光2:1 和红蓝光4:1 处理中趋于稳定,显著高于其他处理。在花后102~112 d,花青素含量在红蓝光2:1 和4:1 处理中有所下降;果实花青素含量在红蓝光2:1 处理下具有最高值(0.16 mg/g),较对照增加 115.28%,其次为

蓝光、红蓝光4:1、红光处理,三者间无显著差异,再次为红蓝光6:1处理,均显著高于对照。结果表明补光促进了不同成熟期果实花青素含量的积累,其中红蓝光2:1处理对提升果实花青素含量的效果最为明显。



各处理见图1注。不同字母表示同一花后天数不同处理间差异显著($P < 0.05$)。

图5 不同补光处理对葡萄果实中花青素含量的影响

Fig.5 Effects of different supplementary light treatments on anthocyanin content of grape fruit

2.7 不同生理生化指标主成分分析

为进一步明确设施红地球葡萄的最佳补光光源,运用 SPSS 25.0 软件对不同光源处理下的葡萄品质指标进行 PCA 分析(表2)。对主成分中大于1的特征值进行提取,共提取出2个有效主成分,特征值分别为6.797和2.021,方差贡献率分别为61.794%和18.375%,累计方差贡献率为80.169%,表明这2个主成分包括了样品中80.169%的信息,具备一定的代表性。

利用2个主成分各因子特征向量值及贡献率,建立主成分及综合得分表达式,得到2个主成分的综合得分函数分别为:

$$F_1 = 0.31X_1 + 0.37X_2 + 0.22X_3 + 0.05X_4 + 0.26X_5 - 0.11X_6 + 0.35X_7 + 0.36X_8 - 0.36X_9 + 0.33X_{10} + 0.37X_{11}$$

$$F_2 = -0.18X_1 - 0.01X_2 + 0.33X_3 + 0.64X_4 + 0.37X_5 + 0.54X_6 - 0.01X_7 - 0.10X_8 + 0.04X_9 - 0.04X_{10} - 0.03X_{11}$$

$$F = (77.08 F_1 + 22.92 F_2) / 100$$

式中, $X_1 \sim X_{11}$ 分别代表标准化处理后的花青素、固酸比、单粒质量、纵径、横径、果形指数、可溶性固形物含量、还原糖含量、可滴定酸含量、pH、糖酸比。

将所有变量进行标准化处理之后,计算出各光源处理所对应2个主成分的得分,对 F_1 和 F_2 的得分

进行加权处理,得到了各个光源处理的综合得分方程 F ,并根据 F 值的大小对花后112d不同光源处理红地球葡萄的整体品质情况进行排名(表3)。得分越高,表明该处理的葡萄品质越好,各光源处理的综合排名为:蓝光>红蓝光2:1>红蓝光4:1>红光>红蓝光6:1>CK。结果显示,蓝光处理葡萄品质综合排名最高,蓝光可作为提升设施红地球葡萄成熟期果实品质的最佳选择。

表2 不同补光处理的红地球果实品质评价因子主成分分析

Table 2 Principal component analysis of fruit quality evaluation factors of Red Globe grape under different supplementary light treatments

主成分	PC1	PC2
特征值	6.797	2.021
方差贡献率(%)	61.794	18.375
累计贡献率(%)	61.794	80.169
花青素含量	0.815	-0.262
固酸比	0.968	-0.014
单粒质量	0.583	0.473
纵径	0.118	0.913
横径	0.682	0.524
果形指数	-0.279	0.768
可溶性固形物含量	0.913	-0.012
还原糖含量	0.948	-0.148
可滴定酸含量	-0.940	0.061
pH	0.865	-0.059
糖酸比	0.967	-0.042

表3 不同补光处理葡萄品质综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation on the quality of grapes under different supplementary light treatments

处理	主成分1 (F_1)得分	主成分2 (F_2)得分	主成分(F)综合得分	排名
CK	-4.92	-0.74	-3.96	6
A	0.02	2.09	0.49	4
B	1.82	-0.02	1.40	1
C	1.69	-0.92	1.09	2
D	0.64	0.34	0.57	3
E	0.75	-0.75	0.41	5

各处理见图1注。

3 讨论

光是影响植物生长发育及果实品质最基本的环

境因子^[16]。LED 补光灯能够发出植物生长所需的单色光,各种单色光组合后可形成与植物光合作用和形态建成基本吻合的光谱,提高植物光能利用效率,促进植物提早开花坐果^[17]。在越橘补光研究中发现,红蓝光6:1 处理下 Emerald 越橘叶片的光合能力最强,红蓝光3:1 处理下果实的外在品质和内在品质均有很大提高,是越橘的最佳补光光源^[18]。杨俊伟等^[19]研究发现,红蓝光2:1 处理能显著提高番茄果实品质及挥发性物质含量。高勇等^[20]研究发现,红蓝光4:1 处理能显著提高紫叶生菜的光合性能,在白光的基础上增加适当比例的红蓝光可提升紫叶生菜的品质。本研究发现,补光能影响葡萄叶片的光合能力,叶片的净光合速率和气孔导度在红蓝光6:1 处理下最高,蒸腾速率在红光处理下最高,胞间 CO₂ 浓度在蓝光处理下最高。结果表明,红光有利于提高叶片的净光合速率和蒸腾速率,蓝光促进叶片气孔开放和提高胞间 CO₂ 浓度,适宜的红蓝光比例,有利于提高叶片的净光合速率和气孔导度,降低胞间 CO₂ 浓度,从而提高葡萄叶片的光合能力。这与前人在辣椒^[21]、番茄^[22]、黄瓜^[23]等植物上的研究结果基本一致。

补光可以有效改善设施内的光照条件^[24-26],进而提高果实的品质^[27]。葡萄果实的品质主要包括外观品质和内在品质^[28]。果粒的质量、纵径、横径和果形指数等反映了果实的外观品质。在本研究中,相比于对照,5 种补光处理均可以增大果粒的质量、纵径及横径,其中以红光处理最为明显,这与黄秋凤等^[11]研究结果相同。红光能够增加果实的果粒质量和纵横径,可能与红光提高了叶片光合能力,促进光合有机物的积累,增大了果实中光合产物的分配比例有关,红蓝光条件下不明显的原因可能是葡萄树体的营养生长有所增加,转运至果实中的光合产物减少。可溶性固形物、可滴定酸及还原糖的含量是决定葡萄果实内在品质的重要指标,也是形成其他营养物质和风味成分的基础原料^[29]。不同光源可以通过调控植株物质代谢来改变果实品质^[30]。本研究发现,在果实成熟过程中,果实可溶性固形物、还原糖含量和 pH 值呈上升趋势,可滴定酸含量呈下降趋势。补光显著提高了果实成熟过程中可溶性固形物、还原糖含量和 pH 值,同时补光显著降低了果实成熟过程中可滴定酸含量。这可能是因为补光促进了叶片光合产物的积累,导致转运至

果实的光合产物增加,从而促进了果实可溶性固形物和还原糖含量的积累,使果实中可滴定酸含量下降,pH 值上升。糖酸比和固酸比是评价果实风味的重要指标^[31]。本试验发现,果实成熟过程中,果实糖酸比和固酸比呈上升趋势,补光显著提高了成熟期果实糖酸比和固酸比,其中蓝光、红蓝光2:1、红蓝光4:1 处理下果实糖酸比和固酸比高于其他处理,且三者间无显著差异。表明高比例的蓝光更有利于提升葡萄果实风味,提高果实品质,这与张克坤等^[9]研究结果一致。花青素对果实的色泽和品质起决定性作用^[32]。陈强等^[33]研究结果表明,蓝光或红蓝光处理促进了番茄果皮花青素的合成。在本研究中,各补光处理均能明显促进花青素的累积,加快果实着色成熟,其中以红蓝光2:1 和红蓝光4:1 处理最为明显,表明一定比例的红蓝复合光较单色光更有利于果实花青素的积累。综合来看,在葡萄果实成熟期,补充蓝光更有利于提高果实中可溶性固形物、还原糖含量和 pH 值,红蓝光4:1 处理更有利于降低果实可滴定酸含量和提高果实糖酸比,红蓝光2:1 处理更有利于提高果实固酸比和花青素含量。

运用主成分分析对花后 112 d 各补光处理葡萄果实的外观和内在品质进行综合评价,综合得分为:蓝光>红蓝光2:1>红蓝光4:1>红光>红蓝光6:1>对照。蓝光补光条件下红地球葡萄果实的纵横径、可溶性固形物、还原糖、糖酸比和花青素含量相较于不补光对照均有明显提高,因此补充蓝光可作为促进设施葡萄果实成熟和提高果实品质的最佳选择。本研究虽筛选出了提升设施红地球葡萄果实品质的有效补光光源,但有关光调控果实品质的具体机制仍需进一步研究。

参考文献:

- [1] 田淑芬,苏 宏,聂松青. 2018 年中国鲜食葡萄生产及市场形势分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2019(2):95-98.
- [2] 王海波,王孝娣,史祥宾,等. 我国设施葡萄促早栽培标准化生产技术[J]. 中国果树,2018(1):8-15.
- [3] 尹鸿飞,梁银丽,朱帅蒙,等. 夏剪强度对温室葡萄果实品质的影响[J]. 水土保持学报,2019,33(2):287-293.
- [4] 董灵江,吴韶辉,赖齐贤,等. 不同反光膜对大棚巨峰葡萄果实品质的影响[J]. 浙江农业科学,2020,61(7):1282-1285.
- [5] 史星雲,王向红,金 娜,等. 褪黑素对设施延后栽培‘红地球’葡萄果实品质的影响[J]. 中国果树,2020(2):40-44.
- [6] 许大全,高 伟,阮 军. 光质对植物生长发育的影响[J]. 植

- 物生理学报, 2015, 51(8): 1217-1234.
- [7] 杜玉芬, 高志, 狄清华, 等. LED红、蓝、白组合光对茄子幼苗质量和果皮品质的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3175-3182.
- [8] 王佳淇, 韦晓桐, 何莹钰, 等. LED补光系统对设施园艺作物的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(5): 950-954.
- [9] 张克坤, 刘凤之, 王孝娣, 等. 不同光质补光对促早栽培‘瑞都香玉’葡萄果实品质的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(1): 115-126.
- [10] 赵文东, 郭修武, 王欣欣, 等. 光质对延迟栽培巨峰葡萄果实品质的影响[J]. 中国果树, 2011(1): 20-22.
- [11] 黄秋凤, 谢蜀豫, 曹慕明, 等. 夜间补光对巨峰葡萄春果叶片营养及果实品质的影响[J]. 南方农业学报, 2019, 50(4): 781-787.
- [12] 闻婧, 杨其长, 魏灵玲, 等. 不同红蓝LED组合光源对叶用莴苣光合特性和品质的影响及节能评价[J]. 园艺学报, 2011, 38(4): 761-769.
- [13] 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.
- [14] 王晓晶, 陈晓丽, 郭文忠, 等. LED绿光对生菜生长和品质的影响[J]. 中国农业气象, 2019, 40(1): 25-32.
- [15] 翦祎, 韩舜愈, 张波, 等. 单一pH法、pH示差法和差减法快速测定干红葡萄酒中总花色苷含量的比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 323-325, 423.
- [16] 文莲莲, 李岩, 秦利杰, 等. 白光与红蓝光比例对番茄壮苗及光合特性的影响[J]. 植物生理学报, 2018, 54(7): 1223-1232.
- [17] 杨其长, 徐志刚, 陈弘达, 等. LED光源在现代农业的应用原理与技术进展[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 37-43.
- [18] 王佳淇, 何莹钰, 韦晓桐, 等. LED补光组合对大棚越橘生长发育的影响[J]. 园艺学报, 2020, 47(6): 1183-1193.
- [19] 杨俊伟, 梁婷婷, 严露露, 等. 光质对番茄果实品质及挥发性物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 55-61.
- [20] 高勇, 李清明, 刘彬彬, 等. 不同光质配比对紫叶生菜光合特性和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(11): 3649-3657.
- [21] 钱胜艳, 刘世琦, 刘颖颖, 等. 不同LED光源对辣椒光合特性的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48(9): 54-59.
- [22] LIU X, CHANG T, GUO S, et al. Effect of different light quality of LED on growth and photosynthetic character in cherry tomato seedling[J]. Acta Horticulturae, 2011, 907: 325-330.
- [23] 朱鹿坤, 陈俊琴, 赵雪雅, 等. 红蓝绿LED延时补光对日光温室黄瓜育苗的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2020, 51(4): 402-409.
- [24] 王瑞, 马姣艳, 吴倩, 等. 不同时段补光对日光温室番茄果实中矿质元素积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(19): 125-129.
- [25] 张洋, 郁继华, 唐中祺, 等. 不同时段株间补光对日光温室番茄产量及品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(2): 430-437.
- [26] 徐博娅, 钟川, 刘斯哈, 等. LED光源对番茄嫁接成活率及幼苗生理响应的影响[J]. 南方农业学报, 2020, 51(3): 608-616.
- [27] 赵雪惠, 肖伟, 郭建敏, 等. 补充蓝光对设施栽培油桃光合性能及糖酸积累的影响[J]. 植物学报, 2018, 53(2): 227-237.
- [28] 颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 成熟度对红地球葡萄品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(14): 4581-4588.
- [29] 任俊鹏, 李小红, 董瑞奇, 等. 环剥和脱落酸处理对‘夏黑’葡萄果实着色及相关基因表达的影响[J]. 果树学报, 2013, 30(6): 968-974, 1107.
- [30] ZORATTI L S, SAEALA M, CARVALHO E, et al. Monochromatic light increases anthocyanin content during fruit development in bilberry[J]. BMC Plant Biology, 2014, 14(1): 377.
- [31] 丁琦, 李琪, 张晓煜, 等. 宁夏贺兰山东麓产区‘马瑟兰’葡萄最佳采收期的确定[J]. 果树学报, 2020, 37(4): 533-539.
- [32] KOYAMA R, ROBERTO S R, REGINALDO D S T, et al. Exogenous abscisic acid promotes anthocyanin biosynthesis and increased expression of flavonoid synthesis genes in vitis vinifera × bitis labrusca table grapes in a subtropical region[J]. Frontiers in Plant Science, 2018, 9: 323.
- [33] 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.

(责任编辑: 张震林)