

LED 光质对蓝莓幼苗营养生长的影响

梁正兰¹, 韩世明^{1*}, 娄鑫^{2*}, 尚雪英¹, 熊荣川¹

(1. 六盘水师范学院生物科学与技术学院, 贵州 六盘水 553000; 2. 大连大学生命健康学院, 辽宁 大连 116622)

摘要:为探究培育蓝莓壮苗的适宜光质,以4月龄蓝莓幼苗为材料,设置CK对照(白光)、T₁(50%红光+50%蓝光)、T₂(60%红光+40%蓝光)、T₃(70%红光+30%蓝光)、T₄(75%红光+25%蓝光)、T₅(80%红光+20%蓝光)共6种光质处理,综合分析不同光质对蓝莓幼苗生长指标和光合特性的影响。结果表明,T₂、T₃处理显著增加蓝莓单株干重和壮苗指数;T₁、T₂处理能显著增加光合色素含量,T₂处理可溶性糖含量和根系活力显著增加。T₂、T₃处理的净光合速率、气孔传导率及蒸腾速率明显高于对照;胞间CO₂浓度随着红光比例升高而减小,其中T₁、T₂、T₃处理显著高于对照;T₄、T₅处理的水分利用效率显著增加。T₁处理的实际光化学量子效率和电子传递速率显著低于其他红蓝光组合,但与对照差异不显著;T₂、T₃处理的非光化学淬灭系数显著低于对照。综上,T₂处理通过增加光能利用速率、光合色素含量和气体交换参数,提升光合作用能力,产生较高含量的可溶性糖和可溶性蛋白,进而促进蓝莓干重的增加,有利于蓝莓壮苗的培育。

关键词:蓝莓;LED光质;生长发育;光合特性;叶绿素荧光

中图分类号:S663.9

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2026)04-0053-07

Effects of LED Spectral Composition on the Vegetative Growth of Blueberry Seedlings

LIANG Zhenglan¹, HAN Shiming^{1*}, LOU Xin^{2*}, SHANG Xueying¹, XIONG Rongchuan¹

(1. College of Biological Science and Technology, Liupanshui Normal University, Liupanshui 553000; 2. College of Life and Health, Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: To identify a suitable LED spectral composition for producing high-quality blueberry seedlings, four-month-old blueberry seedlings were exposed to six light treatments: CK(white light control), T₁(50% red light + 50% blue light), T₂(60% red light + 40% blue light), T₃(70% red light + 30% blue light), T₄(75% red light + 25% blue light) and T₅(80% red light + 20% blue light). The effects of the different spectral compositions on the growth traits and photosynthetic characteristics of the blueberry seedlings were comprehensively evaluated. The results showed that T₂ and T₃ significantly increased plant dry weight and the seedling quality index. T₁ and T₂ significantly increased photosynthetic pigment content, while T₂ significantly increased soluble sugar content and root activity. The net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate under T₂ and T₃ were significantly higher than those under CK. Intercellular CO₂ concentration decreased as the proportion of red light increased, but the values under T₁, T₂ and T₃ were significantly higher than that under CK. T₄ and T₅ significantly increased water-use efficiency. The actual photochemical quantum yield and electron transport efficiency under T₁ were significantly lower than those under the other red - blue light combinations, although neither differed significantly from CK. The non-photochemical quenching coefficients under T₂ and T₃ were significantly lower than that under CK. Overall, T₂ enhanced photosynthetic capacity by increasing light-use efficiency, photosynthetic pigment content and gas-exchange parameters, thereby promoting the accumulation of soluble sugars and proteins and increasing seedling dry weight. Thus, the T₂ treatment is beneficial for producing high-quality blue-

收稿日期:2025-10-09

基金项目:黔科合重大专项([2024]028);国家自然科学基金青年基金项目(31700602);2023年度联合培养研究生专项科研项目(LPSSYLPY202320)

作者简介:梁正兰(1999-),女,在读硕士,主要从事果树育种与植物生理学研究。

通信作者:韩世明,E-mail: 94684382@qq.com

娄鑫,E-mail: milo8482@163.com

berry seedlings.

Key words: Blueberry; LED spectral composition; Growth and development; Photosynthetic characteristics; Chlorophyll fluorescence

光是植物生长的关键因素,光质(波长)对植物的影响最为复杂,对植物的生长发育、物质代谢及光合作用均有显著影响^[1]。光合色素对红光(620~700 nm)和蓝光(400~500 nm)的吸收率更高,这两种波长对植物生长也更有效,因此红蓝光组合广泛应用于植物生长发育调控。但不同植物对光质的响应存在一定差异。研究表明,红光处理促进了陆地棉幼苗可溶性糖、蔗糖和淀粉的积累^[2];蓝光通过扩大气孔的开度和提高光合作用的量子效率,进而提高了单位叶面积的光合能力,同时在控制植物高度方面具有重要作用^[3]。在含有蓝光的光组合环境下,叶片光合速率、气孔传导率均高于单色红光照射,进而影响植物的光合作用^[4]。红蓝(4:1)复合光对菠菜的生长指标、光合色素含量、叶片结构特征及内在品质均有明显的影响,并且菠菜品质更优^[5]。红蓝(1:2)复合光处理下生菜的气孔导度和叶绿素相对含量指数增加,但干重和水分利用效率降低。红蓝(7:3)复合光处理下番茄总叶面积、干重、总叶绿素/类胡萝卜素、可溶性蛋白含量和可溶性糖含量显著增加,同时增强光合作用系统性能^[6]。

蓝莓隶属杜鹃花科(Ericaceae)越桔属(*Vaccinium* L.),是开发潜力巨大的多年生小浆果^[7]。自20世纪80年代我国开展蓝莓引种试栽以来,产业规模逐渐发展壮大,设施农业的发展进一步助推了蓝莓产业的技术革新^[8]。植物苗期生长状况对后期的生长发育起着重要作用,通过改变光源对幼苗进行调控,是植物工厂育苗中的普遍手段,在植物工厂中对人造光下蓝莓植株的生长和果实品质进行了评估,表明了受控环境中生产蓝莓的可能性。然而,我国在人工照明植物工厂(PFALs)中栽培蓝莓的技术仍然不完善。因此,迫切需要探究 PFALs 中蓝莓种植需求的光质,以期找到适于蓝莓幼苗生长的最佳红蓝光配比,为提升设施育苗水平、发展我国设施果树幼苗栽培提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为4月龄的蓝莓幼苗,品种为“朱丽叶”,由大连森茂现代农业有限公司提供。选取

长势基本相同的幼苗移栽到营养钵(11 cm×9 cm)中,移入人工气候室,在白光下适应性培养4周,随机选取幼苗进行单色光质试验。

1.2 试验设计

试验在大连大学生命健康学院的人工气候室内进行(东经121°48'53",北纬39°5'49"),LED光源,红光和蓝光的峰值波长分别为660、440 nm。设6个处理:对照CK(全光谱白光)、T₁(50%红光+50%蓝光)、T₂(60%红光+40%蓝光)、T₃(70%红光+30%蓝光)、T₄(75%红光+25%蓝光)、T₅(80%红光+20%蓝光)。每个处理12株,4次重复,随机排列。通过调整LED灯管数量和培养支架的高度,统一将植株冠层光子通量密度(PPFD)控制在200 μmol/(m²·s),光合光子量通量密度用PLA-30植物光照分析仪(杭州远方光电信息股份有限公司)测定,人工气候室通过自带系统对室内环境自动调控,各项指标为:昼温(24±1)°C、夜温(18±1)°C、空气相对湿度60%~80%、CO₂浓度380~400 μL/L,光周期12 h/d。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 幼苗生长指标测定

人工气候室内培养30 d后,从每个处理随机选取4株,测量株高、茎粗、叶面积和鲜重量,105 °C下杀青30 min,85 °C烘干至恒重,测定植株的干重。壮苗指数=茎粗/株高×全株干重^[9]。

1.3.2 叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和根系活力的测定

采集各光质处理组幼苗叶片,清洗干净后用滤纸控干,测定叶绿素含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量。采集幼苗的根系,洗净控干后采集根尖样品测定根系活力。以上指标均参照李合生的方法进行测定^[10]。

1.3.3 光合参数和叶绿素荧光参数测定

不同光质培养30 d后,参照LI-6400光合仪(LI-COR,美国)使用说明,对植株的光合指标和叶绿素荧光参数进行检测。其中,暗呼吸速率(Rd)经暗处理0.5 h后测量,通过净光合速率和暗呼吸速率计算光合速率,测定时将光合仪参数设置为叶室温度24 °C,光强200 μmol/(m²·s),流速500 μmol/(m²·s),空气相对湿度50%,CO₂浓度400 μmol/(m²·s)。第2天早晨控制光源关闭,光源开启前测定PSII最大光化学效率(Fv/Fm)。其后,打开光源,活化2 h后,将

荧光叶室内活化光强设置为 $200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 测定 PS II 实际光化学量子效率(ΦPSII), 电子传递速率(ETR), 光化学淬灭系数(qP), 计算非光化学淬灭系数(NPQ)。

1.3.4 气孔形态指标的测定

各处理随机选取 4 片叶片, 采用指甲油印迹法^[11], 于 Nexcope GREEN 系列生物显微镜(NE620, Nexcope, 中国)下观察并利用显微镜配备的照相机(DFC 300-FX, Leica Corp, Germany)拍照。每个样品记录 10 张 $40\times$ 物镜下照片, 随机选取 4 张照片通过 Image 软件计算气孔的数量、长度、宽度、周长和面积, 换算 1 mm^2 气孔个数并计算气孔密度; 形状指数(S)参照朱玉的方法计算^[12]。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2019 软件进行数据整理, SPSS 26.0 软件进行数据分析; GraphPad Prism 10 软件进行分析并作图。

2 结果与分析

2.1 不同光质对蓝莓幼苗形态指标的影响

由表 1 可知, 蓝光占 40% 时(T_2), 植株的茎粗、单株鲜重、单株干重和壮苗指数达到最大值。 T_5 处理株高最高、比叶面积最大, 但长势较弱。由此可见, 红光占比高时虽能提高植株的株高和比叶面积, 但会使植株徒长。因此蓝光占比 40% 时(T_2)最有利于壮苗的培育。

表 1 不同光质对蓝莓生长指标的影响

Table 1 Effects of different light quality on blueberry growth indexes

处理	株高/cm	茎粗/mm	单株鲜重/g	单株干重/g	比叶面积/ $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	壮苗指数
Light quality	Plant height	Stem thickness	Fresh weight of single plant	Single plant dry weight	Specific leaf area	Seedling strength index
CK	35.50 $\pm$ 1.53a	3.24 $\pm$ 0.17a	20.33 $\pm$ 1.00b	5.93 $\pm$ 0.11b	267.23 $\pm$ 12.45b	0.54 $\pm$ 0.05bc
T_1	35.67 $\pm$ 1.86a	3.03 $\pm$ 0.12a	16.27 $\pm$ 0.36c	4.72 $\pm$ 0.57c	293.46 $\pm$ 18.64b	0.41 $\pm$ 0.06c
T_2	34.17 $\pm$ 0.93a	3.80 $\pm$ 0.09a	27.07 $\pm$ 0.94a	7.98 $\pm$ 0.14a	232.85 $\pm$ 8.25b	0.89 $\pm$ 0.02a
T_3	35.00 $\pm$ 1.53a	3.44 $\pm$ 0.20a	26.32 $\pm$ 1.08a	7.11 $\pm$ 0.10a	235.44 $\pm$ 4.72b	0.70 $\pm$ 0.03ab
T_4	34.67 $\pm$ 1.20a	3.12 $\pm$ 0.44a	23.32 $\pm$ 1.80ab	6.95 $\pm$ 0.51ab	257.71 $\pm$ 18.74b	0.64 $\pm$ 0.13b
T_5	38.47 $\pm$ 2.03a	3.14 $\pm$ 0.30a	24.70 $\pm$ 1.14a	7.49 $\pm$ 0.21a	410.07 $\pm$ 45.02a	0.61 $\pm$ 0.04bc

注: 小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

Note: Different lowercase letters after the same column of data in the table indicate significant differences($P < 0.05$), the same below.

2.2 不同光质对蓝莓幼苗生理特性的影响

由图 1 可知, T_2 处理的可溶性糖含量显著高于其他处理, 比对照高 19.2%。 T_3 处理的可溶性蛋白含量最高, 比对照高 21.3%。 T_2 和 T_3 处理的根系活力与对照无显著差异, 但明显高于其他处理。 T_1 、 T_2 处理的光合色素含量显著高于其他处理, 对照组的叶绿素 a 含量和类胡萝卜素含量最低, T_5 处理的叶绿素 b 含量最低, T_1 处理的类胡萝卜素含量显著低于 T_2 处理。

2.3 不同光质对蓝莓幼苗气孔的影响

由表 2 可知, T_2 处理气孔长度、宽度、面积、周长及密度均高于其他处理, 分别比对照高 15.8%、17.3%、7.2%、5.2%、15.4%。 T_1 处理的气孔形状指数显著高于对照, 高 8.3%, 与 T_2 、 T_3 和 T_5 处理无显著差异。光质影响了气孔的发育和运动, 这会对气孔导度、光合性能和水利用效率产生影响^[13]。总体而言, 蓝光比例高, 对蓝莓幼苗叶片气孔发育具有积极的影响。

2.4 不同光质对蓝莓幼苗光合特性的影响

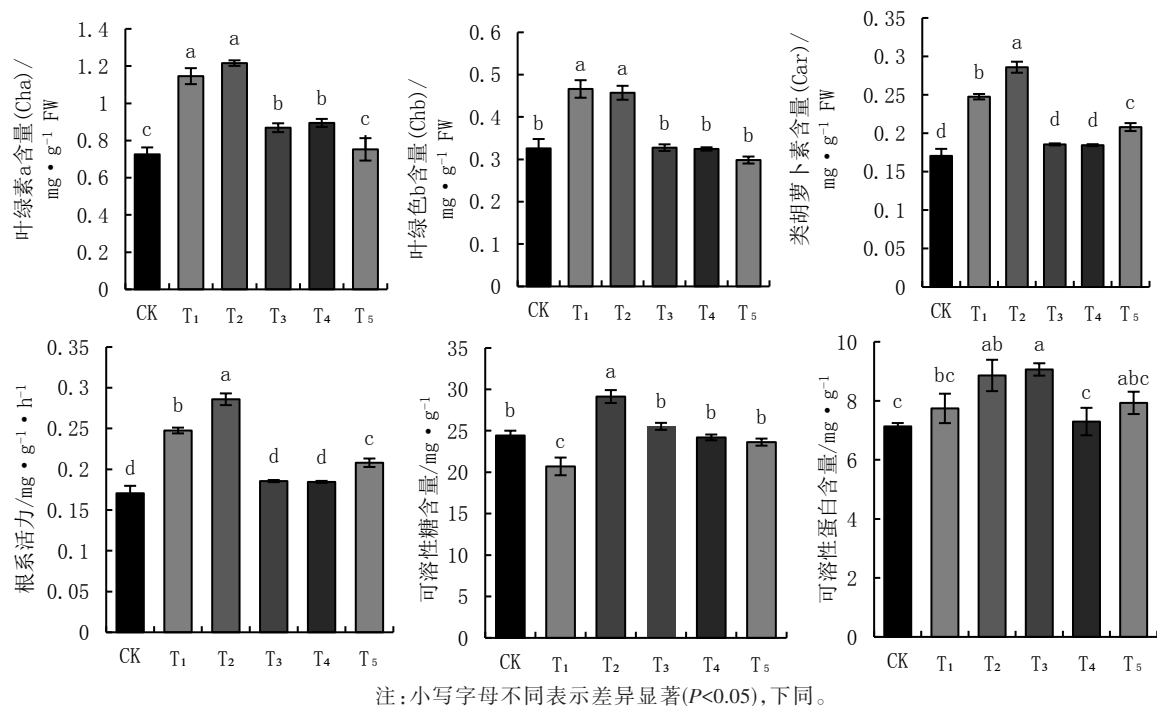
由图 2 可知, T_2 和 T_3 处理的净光合速率(P_n)最高, 分别比对照高 50.8%、50.5%。 T_1 和 G_s 的变化规律与 P_n 相似。 C_i 随着红光比例升高而减小, T_1 、 T_2 和 T_3 处理均显著高于对照, 分别高 27.4%、28.8%、21.1%。 T_4 和 T_5 处理的 WUE 显著高于对照, 分别高 50%、16.7%。

2.5 不同光质对蓝莓荧光特性的影响

由图 3 可知, T_2 处理的光系统 II 的 ΦPSII 最高。 T_2 和 T_3 处理的电子传递效率显著高于对照, 分别高 16.5%、15.2%。但 T_2 和 T_3 处理的 NPQ 显著低于对照和其他处理, 分别低于对照 52.8%、54.3%。

3 讨论

目前对不同光质 LED 光源的研究主要是特定波长单色光或者不同比例的红光和蓝光对植物生理和光合特性以及碳氮代谢等方面^[9], 而不同光质对蓝莓植株生理特性和光合特性的影响尚无一



注：小写字母不同表示差异显著(P<0.05)，下同。
Note: Different lowercase letters in the figure indicate significant differences(P<0.05), the same below.

图1 不同光质对蓝莓光合色素、根系活力、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量的影响

Fig. 1 Effects of different light quality on photosynthetic pigments, root viability, soluble sugars and soluble proteins in blueberry

表2 不同光质对蓝莓叶片气孔的影响
Table 2 Effects of different light quality on stomata of blueberry leaves

处理	长度/μm	宽度/μm	面积/μm ²	周长/μm	密度/ number·mm ⁻²	形状指数
Light quality	Stomatal length	Stomatal width	Stomatal area	Stomatal perimeter	Stomatal density	Stomatal shape index
CK	26.74±1.00b	15.84±0.22c	377.29±4.61a	72.55±1.08ab	48.08±1.23ab	1.054±0.014b
T ₁	26.15±0.67bc	17.55±0.19ab	325.18±5.33b	73.0±1.50 b	40.68±5.83b	1.142±0.026a
T ₂	30.97±1.56a	18.58±0.25a	404.33±23.16a	76.34±4.05a	55.47±3.70a	1.071±0.037ab
T ₃	27.09±0.48b	16.74±0.24bc	335.58±6.38b	69.53±0.88ab	46.84±4.27ab	1.071±0.005ab
T ₄	23.72±0.39c	14.43±0.66d	326.50±3.10b	66.72±1.50b	53.01±4.21ab	1.042±0.021b
T ₅	20.31±0.68d	10.75±0.35e	280.32±7.13c	65.71±2.10b	53.01±2.36ab	1.107±0.023ab

致的结论^[7]。与单一的红光和蓝光相比,红蓝光组合可以有效调控作物的光形态建成、光合特性和生长发育。在红光中添加适当的蓝光可以有效促进茎粗,提高光合效率,培育壮苗。

研究发现,红蓝(3:1)复合光通过增加幼苗叶面积、叶绿素含量和叶绿素荧光来增强光合作用;通过增加根数、根体积和根活性来改善根特性;从而增加水稻幼苗的干物质积累量^[14]。番茄幼苗在红蓝(3:1)光源下壮苗指数最高,最有利于壮苗的培育^[9]。本研究中红光添加40%和30%的蓝光均能显著增加蓝莓植株干重和壮苗指数。表明适当比例的红蓝光组合更有利于促进植株的健

壮生长,但不同植物种类之间的最适宜红蓝光比例存在一定的差异。

光合作用是植物赖以生长和生物量递增所必需的生理过程,对植物生长具有十分重要的影响^[15],而光合色素是作物光合作用的物质基础,直接决定植物吸收和固定光能的能力^[16],叶片气孔特征会直接影响叶片的气体交换^[17]。在葡萄的研究中发现,红蓝(5:1)复合光能显著增加光合色素含量和株高^[18];而草莓的研究则表明,红蓝(9:1和7:3)复合光促进植株发育,增加茎和根的生物量、提高叶片数和叶面积以及叶绿素的含量^[19];在红蓝(6:1)复合光处理下番茄的茎粗、花朵数、净光合速率

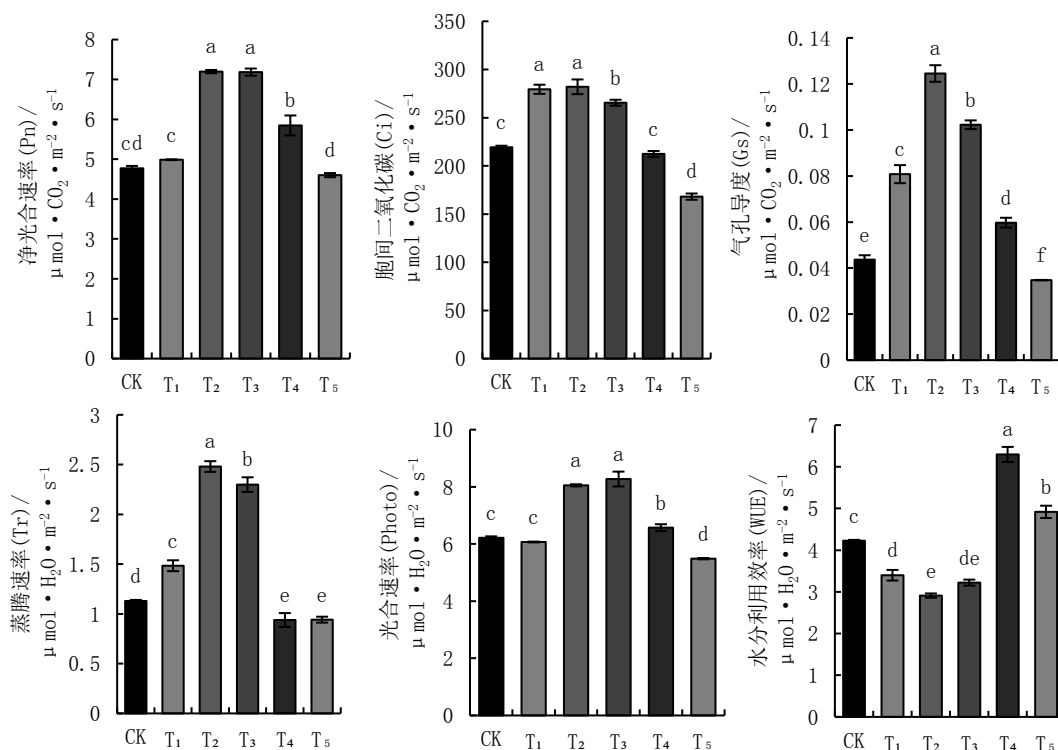


图2 不同光质对蓝莓幼苗光合特性的影响

Fig. 2 Effects of different light qualities on the photosynthetic characteristics of blueberry seedlings

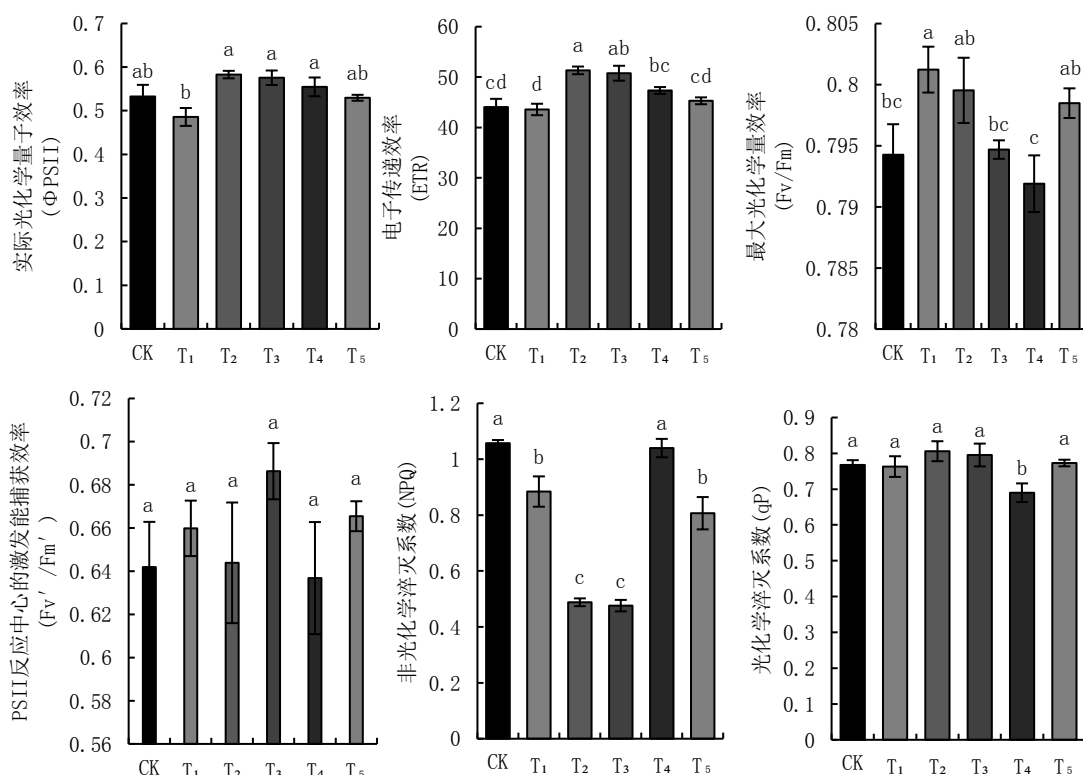


图3 不同光质对蓝莓荧光特性的影响

Fig. 3 Effect of different light qualities on fluorescence characteristics of blueberry seedlings

(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、实际光化学量子效率(ΦPSII)和电子传输速率(ETR)显著增加^[20]。红蓝(1:1)复合光促进砂糖桔幼苗叶绿素

b、类胡萝卜素含量增加和 P_n 的提高^[21]；番茄的研究表明，红蓝(7:3)复合光处理下总叶面积、干重、总叶绿素含量/类胡萝卜素含量比值、可溶性蛋白

和可溶性糖含量显著增加,促进光合作用系统性能。而蓝莓“奥尼尔”的研究表明,红蓝(2:1)复合光处理的生物量、光合色素含量、抗氧化酶活性指标显著增加^[22]。本研究结果表明,红光中添加30%(T₃)和40%(T₂)蓝光均能显著增加光合色素含量,T₂处理能显著增加气孔密度、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和根系活力。叶片光合作用通过增加光合色素浓度和优化气孔结构特征来提升光合速率,进而提高可溶性糖和可溶性蛋白含量,最终促进干物质的积累。蓝光占比40%(T₂)处理下的光系统Ⅱ的 Φ PSII和ETR最大,但NPQ显著降低,NPQ是叶绿素a吸收的不能用于光合电子传递而以热形式耗散的光能部分,是一种自我保护机制,对光合结构起一定的保护作用。结果表明,适当比例的红蓝光组合能够提高蓝莓“朱丽叶”光能的利用效率,进而提高光系统Ⅱ的活性。

综上所述,T₂、T₃处理均显著提高蓝莓幼苗生物量,T₂处理显著增加壮苗指数、气孔形状指数和光合参数,而T₃处理的壮苗指数与对照相比差异不显著,光合参数值则显著降低。表明适宜红蓝光比例即蓝光占比40%(T₂)有利于提升光系统活性,增强光合作用,有利于蓝莓壮苗的培育。

参考文献:

- [1] 高松,刘颖,刘学娜,等.光质对大葱叶片碳氮代谢的影响[J].植物生理学报,2020,56(3):565-572.
GAO S, LIU Y, LIU X N, et al. Effects of light quality on carbon and nitrogen metabolism in leaves of Welsh onion[J]. Plant Physiology Journal, 2020, 56(3): 565-572. (in Chinese)
- [2] LI H, XU Z, TANG C. Effect of light-emitting diodes on growth and morphogenesis of upland cotton(*Gossypium hirsutum* L.) plantlets in vitro[J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2010, 103(2): 155-163.
- [3] PARADISO R, PROIETTI S. Light-quality manipulation to control plant growth and photomorphogenesis in greenhouse horticulture: The state of the art and the opportunities of modern LED systems[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2022, 41(2): 742-780.
- [4] LIM S, KIM J. Light quality affects water use of sweet basil by changing its stomatal development[J]. Agronomy Basel, 2021, 11(2): 303.
- [5] NGUYEN T P D, JANG D C, TRAN T T H, et al. Influence of green light added with red and blue LEDs on the growth, leaf microstructure and quality of spinach(*Spinacia oleracea* L.)[J]. Agronomy-Basel, 2021, 11(9): 1724.
- [6] YOUSEF A F, ALI M M, RIZWAN H M, et al. Effects of light spectrum on morpho-physiological traits of grafted tomato seedlings[J]. PLoS One, 2021, 16(5): e0250210.
- [7] ZHANG D, LIU Y, NI C, et al. Effect of LED light on the growth and physiological indices of blueberry[J]. Agronomy Journal, 2022, 114(4): 2105-2112.
- [8] 吴林,陈潇,裴彤,等.吉林省蓝莓产业发展现状及对策[J].特产研究,2024,46(6):186-190.
WU L, CHEN X, PEI T, et al. Current development status and countermeasures of blueberry industry in Jilin Province[J]. Special Wild Economic Animal and Plant Research, 2024, 46(6): 186-190. (in Chinese)
- [9] 董飞,王传增,张现征,等.不同光质对樱桃番茄幼苗生理与光合特性的影响[J].植物生理学报,2017,53(7):1208-1214.
DONG F, WANG C Z, ZHANG X Z, et al. Effects of different light qualities on physiological characteristics and photosynthetic traits of cherry tomato seedlings[J]. Plant Physiology Journal, 2017, 53(7): 1208-1214. (in Chinese)
- [10] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:130-197.
- [11] 刘明智,努尔巴衣·阿布都沙力克,潘晓玲.指甲油涂抹撕取法制取植物叶气孔装片[J].生物学通报,2005(10):44,63.
LIU M Z, NURBAY A, PAN X L. Preparation of plant leaf stomatal slides by nail polish impression method[J]. Bulletin of Biology, 2005(10): 44, 63. (in Chinese)
- [12] 朱玉,黄磊,党承华,等.高温对蓝莓叶片气孔特征和气体交换参数的影响[J].农业工程学报,2016,32(1):218-225.
ZHU Y, HUANG L, DANG C H, et al. Effects of high temperature on stomatal characteristics and gas exchange parameters of blueberry leaves[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(1): 218-225. (in Chinese)
- [13] ZHENG L, HE H, SONG W. Application of light-emitting diodes and the effect of light quality on horticultural crops: A review[J]. HortScience, 2019, 54(10): 1656-1661.
- [14] REN M F, LIU S Z, TANG C Z, et al. Photomorphogenesis and photosynthetic traits changes in rice seedlings responding to red and blue light[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2023, 24(14): 11123.
- [15] 周艳丽,乔宏宇,高红春.低温弱光胁迫下甜瓜幼苗对外源水杨酸的生理响应[J].东北农业科学,2018,43(2):30-34.
ZHOU Y L, QIAO H Y, GAO H C. Physiological responses of melon seedlings to exogenous salicylic acid under low-temperature and low-light stress[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2018, 43(2): 30-34. (in Chinese)
- [16] YAO H, ZHANG Y, YI X, et al. Diaheliotropic leaf movement enhances leaf photosynthetic capacity and photosynthetic light and nitrogen use efficiency via optimising nitrogen partitioning among photosynthetic components in cotton(*Gossypium hirsutum* L.)[J]. Plant Biology, 2018, 20(2): 213-222.
- [17] 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 Tissue and Organ Culture, 2007, 90(2): 141-151.
- [18] 杨忠义,郭雯岩,李戌彦,等.不同光质对‘秋红宝’葡萄试管苗生长的影响[J].果树学报,2020,37(6):838-847.
YANG Z Y, GUO W Y, LI X Y, et al. Effects of different light qualities on growth of in vitro plantlets of ‘QiuHongbao’ grape[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(6): 838-847. (in Chinese)
- [19] CAO D H, HONG C H, JUNG H B, et al. Growth and morpho-

- genesis of encapsulated strawberry shoot tips under mixed LEDs[J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 194: 194–200.
- [20] 孙斌, 吕璐平, 李灵芝, 等. LED红蓝光对比对番茄生长和光合的影响[J]. *中国农业气象*, 2024, 45(5): 517–524.
- SUN B, LYU L P, LI L Z, et al. Effects of red and blue LED light ratios on tomato growth and photosynthesis[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2024, 45(5): 517–524. (in Chinese)
- [21] 刘敏竹. 不同LED光质对金秋砂糖橘幼苗生长发育和果实品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [22] AN H, ZHANG J, ZHANG L, et al. Effects of nutrition and light quality on the growth of southern highbush blueberry(*Vaccinium corymbosum* L.) in an advanced plant factory with artificial lighting(PFAL)[J]. *Horticulturae*, 2023, 9(2): 287.
- [23] BRODERSEN C R, VOGELMANN T C. Do changes in light direction affect absorption profiles in leaves?[J]. *Functional Plant Biology*, 2010, 37(5): 403–412.
- (责任编辑: 范杰英)

(上接第45页)

3.5 田间管理

及时进行中耕除草工作, 采用化学除草或人工除草, 化学除草宜选用无不良影响的除草剂, 在苗期、分蘖中期及后期, 中耕2~3次, 在分蘖初期、块茎形成初期、块茎膨大期及时追肥或喷施中微量元素叶面肥, 补充所需的关键养分。若遇干旱要及时灌溉, 防止分蘖数减少, 降低产量。

3.6 收获时间及方式

9月中下旬霜冻来临前完成采收, 避免霜冻影响发芽率。收获前将地上部茎叶割掉, 晒干后打包离田, 再使用油莎豆专用收获机械进行收获。

3.7 适宜种植区域

吉莎15经多年多点试验鉴定, 适宜在吉林省中西部沙壤土区域种植, 该区域光热资源充足, 土壤条件契合品种生长需求。同时结合其广适性特点, 可在生态条件相似的东北松辽平原西部、华北部分沙壤土区域进一步开展引种试验, 扩大种植范围。

4 结论

吉莎15属中晚熟品种, 干果块茎蛋白质含量5.00%, 淀粉含量23.90%, 粗脂肪含量21.30%, 总糖含量70.20%, 具有较好的一致性、特异性、稳定性和抗病性。区域试验平均公顷产量8 017.69 kg。结果表明, 较对照品种“中油莎1号”平均增产8%以上; 品质指标均衡, 粗脂肪、淀粉、总糖等营养成分含量丰富, 适配油料加工、食品开发等多元用途; 抗旱、耐逆性强, 且田间病虫害发生轻, 生态适应性广。

参考文献:

- [1] REN W, GUO D Q, XING G J, et al. Complete chloroplast genome sequence and comparative and phylogenetic analyses of the cultivated *Cyperus esculentus*[J]. *Diversity*, 2021, 13(9): 405.

- [2] CASTRO D O, GARGIULO R, GUACCHIO D E, et al. A molecular survey concerning the origin of *Cyperus esculentus*(Cyperaceae, Poales): two sides of the same coin(weed vs. crop) [J]. *Annals of Botany*, 2015, 115(5): 733–745.
- [3] 阳振乐. 油莎豆的特性及其研究进展[J]. *北方园艺*, 2017(17): 192–201.
- YANG Z L. Characteristics and research progress of *Cyperus esculentus*[J]. *Northern Horticulture*, 2017(17): 192–201. (in Chinese)
- [4] ZHANG Y M, SUN S D. Tiger nut(*Cyperus esculentus* L.) oil: A review of bioactive compounds, extraction technologies, potential hazards and applications[J]. *Food Chemistry*, 2023, 19: 100868.
- [5] MU Z S, WEI Z M, LIU J Y, et al. RNA-seq analysis demonstrates different strategies employed by tiger nuts(*Cyperus esculentus* L.) in response to drought stress[J]. *Life*, 2022, 12(7): 1051.
- [6] ZHAO X Q, YI L X, REN Y F, et al. Chromosome-scale genome assembly of the yellow nut sedge(*Cyperus esculentus*) [J]. *Genome Biology and Evolution*, 2023, 15(3): 27.
- [7] 刘佳遥, 曹嘉芮, 程艳, 等. 吉林省油莎豆产业发展现状及对策建议[J]. *农业科技管理*, 2023, 42(6): 52–55.
- LIU J Y, CAO J R, CHENG Y, et al. Development status and suggestions of *Cyperus esculentus* L. industry in Jilin Province[J]. *Management of Agricultural Science and Technology*, 2023, 42(6): 52–55. (in Chinese)
- [8] 侯智惠, 慕宗杰, 赵俊利, 等. 北方风沙区油莎豆防风固沙“三生共赢”技术模式评价指标体系构建研究[J]. *北方农业学报*, 2021, 49(4): 127–134.
- HOU Z H, MU Z J, ZHAO J L, et al. Construction of evaluation index system for the windbreak and sand-fixing technology model of cyperus esculentus guided by ecology, life and production integration concepts in windy and sandy areas in Northern China[J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2021, 49(4): 127–134. (in Chinese)
- [9] 路战远, 刘和, 张建中, 等. 油莎豆产业发展现状、问题与建议[J]. *现代农业*, 2019(6): 11, 13.
- LU Z Y, LIU H, ZHANG J Z, et al. Status, problems and suggestions of *Cyperus esculentus*(Yellow Nutsedge) industry development[J]. *Modern Agriculture*, 2019(6): 11, 13. (in Chinese)

(责任编辑: 王 昱)