

杨瑞欣,郝文琴,王雪芸,等. 纳米硒和红蓝光配比对生菜生长和光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(5):123-128.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.05.023

纳米硒和红蓝光对比对生菜生长和光合特性的影响

杨瑞欣, 郝文琴, 王雪芸, 王梓皓, 杨一凡, 侯雷平, 张 毅

(山西农业大学园艺学院/山西省设施蔬菜提质增效协同创新中心,山西太谷 030801)

摘要:为探究纳米硒和红蓝光对比对生菜生长和光合特性的影响,以意大利耐抽薹生菜为试材,采用水培法,在红蓝光比例为 4:1、1:2 及单独红光与蓝光照射条件下,分别用不同浓度(0、24、48 $\mu\text{mol/L}$)纳米硒溶液对生菜叶面进行喷施处理。结果表明:(1)在 4:1 红蓝光、1:2 红蓝光及红光照射条件下,喷施纳米硒均能有效提高生菜生物量,其中在 4:1 红蓝光照射下喷施 48 $\mu\text{mol/L}$ 硒溶液时,植株生物量最高且增幅最大。(2)增加蓝光比例可提高叶片叶绿素含量,且在单独蓝光照射下喷施 48 $\mu\text{mol/L}$ 硒溶液时,叶绿素含量最高且增幅最大。(3)纳米硒在 4:1 红蓝光下可提高叶片净光合速率与蒸腾速率,并降低其水分利用率,在单独红光照射下增大了气孔导度,在单独蓝光照射下可提高水分利用率,并降低其胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率与气孔导度。综上,在 4:1 红蓝光照射下喷施 48 $\mu\text{mol/L}$ 硒溶液对生菜光合作用和生物量积累的促进效果最好

关键词:生菜;纳米硒;红蓝光配比;单色光;光质;生长特性;光合特性

中图分类号:S636.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)05-0123-06

硒是人类必需的重要营养元素^[1],缺硒会引发人体诸多疾病。而人体无法合成硒,只能通过外界补充获得^[1-2]。人类饮食缺硒是个全球性问题^[3],

近年来,人们对富硒产品的需求不断上升。王佑成等研究发现,适宜浓度的纳米硒能够促进植物生长^[4]。胡万行等研究发现,纳米硒相比于无机硒体积更小、活性更高且无毒,与植物光合作用的调控密切相关,更能有效促进植物生长^[5]。刘嘉兴等研究发现,生态纳米硒可显著提高生菜品质^[6]。

光是重要的环境因子,能够调节植物的代谢活动、形态建成与品质^[7]。相比于光照度、光周期,光质对植物生长发育的影响效应更为复杂^[8]。LED 灯具有体积小、冷光源、光质精量调控等优点,被广

收稿日期:2020-05-02

基金项目:山西省高等学校大学生创新创业训练计划(编号:2019111);山西省高等学校教学改革创新项目(编号:J2016029);山西省重点研发计划重点项目(编号:201703D211001-04-03)。

作者简介:杨瑞欣(1998—),女,河南洛阳人,主要从事设施蔬菜栽培生理研究。E-mail:yrx9887@163.com。

通信作者:张 毅,博士,副教授,主要从事设施蔬菜栽培生理研究。E-mail:harmony1228@163.com。

理化性质的影响[J]. 吉林农业,2017(4):76-79.

[13]贾庆美. NaCl 处理对茄子发芽期与幼苗期生长发育的影响[D]. 合肥:安徽农业大学,2014.

[14]宋新颖,张玉梅,张洪生,等. 干旱胁迫对不同冬小麦品种幼苗期生理特性的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(12):6-11.

[15]林彰文. 种子处理对玉米种子萌发及幼苗期生理化的影响[D]. 长沙:湖南农业大学,2003.

[16]王雪奎,黄建良. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2015:123-124.

[17]苍 晶,赵会杰. 植物生理学实验教程[M]. 北京:高等教育出版社,2013.

[18]张志良,瞿伟菁,李小芳. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2009:32-33.

[19]郝建军,康宗利,于 洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007:159-160.

[20]达拉诺夫斯卡娅. 根系研究法[M]. 李继云,译. 北京:科学出

版社,1962.

[21]孙 杰,刘登民,时连辉,等. 菇渣对土壤理化性质和生菜生长的影响[J]. 北方园艺,2015(14):169-173.

[22]刘国丽,李 超,李学龙,等. 不同菌糠配比基质对番茄幼苗期生长的影响[J]. 辽宁农业科学,2017(5):82-84.

[23]朱小平. 菌糠复合剂对土壤改良和作物生长的影响[D]. 北京:中国农业大学,2005.

[24]曾振基,陈逸湘,凌宏通,等. 食用菌菌糠生产有机肥研究[J]. 中国食用菌,2015,34(2):56-59.

[25]曹雪莹,陈智毅,唐秋实,等. 金针菇菌糠啤酒糟有机肥对土壤及马铃薯品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报,2017,8(6):2140-2145.

[26]陈智毅,曹雪莹,唐秋实,等. 金针菇菌糠有机肥对土壤及农作物的影响研究[C]//中国菌物学会 2016 学术年会论文. 2016:118-119.

泛应用于设施园艺光质研究中^[9]。目前有关光质的研究多集中于白光基础上补充不同比例红蓝光,刘文科等研究发现,蓝光处理下生菜(*Lactuca sativa* L.)地上部生物量最大,红光次之,白光最小^[10]。刘晓英等研究发现,红光可促进生菜生长,蓝光可使生菜叶片肥厚并提高其营养品质^[11]。周成波等研究发现,同时补充红光和蓝光不利于生菜干物质积累与光能利用^[12]。

生菜是常见的叶类蔬菜之一,清脆爽口,鲜嫩多汁,富含抗氧化物、膳食纤维等营养成分,具有很高的食用价值和营养价值^[13]。生菜具有病虫害少、均匀整齐、适合水培等优点,是目前营养液栽培应用广泛的模型蔬菜。采用水培技术种植生菜,对于缓解农业资源紧张、提高生菜品质具有重要的实践指导意义。

目前有关生菜的报道侧重于无机硒、光质对生菜的影响效应,鲜见生态纳米硒对给予光质下生菜的研究。因此,本试验采用水培技术,以意大利耐抽薹生菜为试材,以 LED 灯为光源,以纳米硒为硒源,在不同光质条件下对生菜叶面进行不同水平的纳米硒处理,探究纳米硒对不同光质下生菜的影响效应,以期为基于优化的光质条件和硒源进行功能性、高品质生菜生产提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为意大利耐抽薹生菜,种子购于山西省晋中市太谷区艺农种子有限公司。纳米硒由中国农业大学潘灿平教授馈赠的纳米硒原液(19 mmol/L)稀释配制而成。

1.2 试验设计

本试验于 2019 年 5—11 月在山西农业大学园艺站人工气候室进行。前期先后经过浸种、催芽等处理,然后播种育苗,待幼苗长至 2 叶 1 心时定植于装有 10 L 1/2 剂量的生菜专用山崎配方营养液(pH 值为 6.0 ± 0.2)水培槽中,其标准营养液配方如下: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 236 mg/L、 KNO_3 404 mg/L、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 57 mg/L、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 123 mg/L、 FeEDTA 30 mg/L、 H_3BO_3 2.86 mg/L、 $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2.13 mg/L、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.22 mg/L、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.08 mg/L、 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.02 mg/L。每 2 d 调 1 次 pH 值,每 7 d 换 1 次营养液。缓苗 5 d 后,将生菜随机分为 12 组并开始处理:以 LED 为光

源,设置红蓝光比例为 4:1、1:2、红光与蓝光 4 种光质,分别用 R_4B_1 、 R_1B_2 、R、B 表示,分别与蒸馏水、稀释 800 倍纳米硒溶液(即硒浓度为 $24 \mu\text{mol/L}$)、稀释 400 倍纳米硒溶液(即硒浓度为 $48 \mu\text{mol/L}$)3 个硒处理两两完全组合,共 12 个处理,分别用 $\text{R}_4\text{B}_1 - 0$ 、 $\text{R}_4\text{B}_1 - 800$ 、 $\text{R}_4\text{B}_1 - 400$ 、 $\text{R}_1\text{B}_2 - 0$ 、 $\text{R}_1\text{B}_2 - 800$ 、 $\text{R}_1\text{B}_2 - 400$ 、R - 0、R - 800、R - 400、B - 0、B - 800、B - 400 表示。每个处理 2 次重复,每个重复 8 株。每 3 d 进行 1 次喷硒处理,均在 17:00—18:00 进行,将配制好的纳米硒溶液均匀喷洒在叶面上,至叶面产生水膜且水滴落,每次各处理喷施液体用量控制为 0.5 L。待定植 1 个月后收获生菜样品,并进行各项指标的测定。人工气候室的各项环境指标:昼温(25 ± 1)℃,夜温(17 ± 1)℃,空气相对湿度 70%~80%,光周期 12 h/d。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标 用直尺测量生菜株高、叶片长和宽,用电子天平、烘箱等测定生菜植株地上部和根干鲜质量,根冠比 = 地下部干质量/地上部干质量。

1.3.2 光合参数 利用 Li-6400 便携式光合仪,于处理 28 d 09:00—11:00 时选择生菜完全展开功能叶测定光合参数,包括净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)及蒸腾速率(T_r),照射光照度为 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,设定 CO_2 浓度(C_o)为 $400 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。瞬间水分利用率(WUE)和叶片气孔限制值(L_s)按照公式计算,即 $\text{WUE} = P_n/T_r$, $L_s = 1 - C_i/C_o$ 。

1.4 数据处理与分析

使用 Excel 2010 对试验数据进行作图,使用 SPSS 18.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 纳米硒和红蓝光配比对生菜地上部生长的影响

适宜光质下纳米硒可显著提高生菜植株生物量。由表 1 可知,在 R_4B_1 条件下,与喷蒸馏水相比,喷施稀释 800 倍纳米硒溶液处理地上部干质量显著提高了 34.12%,与喷蒸馏水相比,各处理地上部鲜质量均显著提高,增幅为 26.16%~31.44%;在 R_1B_2 条件下,与喷蒸馏水相比,喷施稀释 400 倍纳米硒溶液处理生物量稍有提高,增幅最高可达 31.03%但无显著差异;在 R 条件下,与喷蒸馏水相比,各处理地上部干鲜质量均显著提高,增幅分别

表 1 纳米硒和红蓝光对比对生菜地上部生长的影响

处理	株高 (cm)	叶长 (cm)	叶宽 (cm)	叶片数 (张)	地上部鲜质量 (g)	地上部干质量 (g)
R ₄ B ₁ -0	14.37±0.32ef	15.37±0.19cd	8.87±0.23bc	10.67±0.33abc	22.17±3.13bcd	0.85±0.11bcd
R ₄ B ₁ -800	14.43±0.28def	15.73±0.64c	9.03±0.29bc	12.00±0.58ab	27.97±0.67a	1.14±0.04a
R ₄ B ₁ -400	14.40±0.21def	15.50±0.29cd	10.00±0.17b	12.00±0.00ab	29.14±0.89a	1.00±0.03abc
R ₁ B ₂ -0	12.60±0.38g	12.93±0.23d	7.00±0.00d	12.33±0.33a	15.19±0.42f	0.58±0.01d
R ₁ B ₂ -800	13.07±0.22fg	12.90±0.71d	7.80±0.53cd	10.67±0.33abc	15.85±0.23ef	0.58±0.01d
R ₁ B ₂ -400	13.17±0.20fg	13.83±0.44cd	7.67±0.33cd	11.67±0.33ab	17.43±1.70def	0.76±0.06cd
R-0	16.00±1.00bc	21.50±0.87a	8.90±0.49bc	11.00±0.58ab	20.44±0.32cde	0.78±0.07cd
R-800	15.50±0.06cde	21.43±1.30a	10.03±0.39b	11.00±0.58ab	26.06±1.57ab	1.03±0.05abc
R-400	18.00±0.76a	21.83±1.59a	9.50±0.87b	10.33±1.20bcd	25.48±0.23ab	1.06±0.09ab
B-0	15.77±0.12cd	18.60±1.20b	10.03±0.32b	8.00±0.00e	18.23±0.64cdef	0.79±0.09bcd
B-800	15.73±0.15cde	15.83±0.10c	9.17±0.44bc	8.67±0.67de	14.31±1.61f	0.78±0.16cd
B-400	17.17±0.33ab	18.83±0.73b	11.50±0.76a	9.00±0.58cde	22.71±2.83bc	0.94±0.14abc

注:同列数据后不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$),使用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。表 2、表 3 同。

为 32.05%~35.90%、24.66%~27.50%;在 B 条件下,与喷蒸馏水相比,喷施稀释 400 倍纳米硒溶液处理株高与叶宽分别显著提高 8.88%、14.66%。其中,R-0 处理的叶长分别比相同硒浓度不同光质处理显著高 39.88%、66.28%、15.59%;B-0 处理的叶宽分别比相同硒浓度不同光质处理显著高 13.08%、43.29%、12.70%。以上结果表明,纳米硒对给予不同光质的生菜生物量调控效应有所差异,在 4:1 红蓝光与单独红光照射下,纳米硒均能有效提高植株生物量,尤其以 4:1 红蓝光照射条件下 48 μmol/L 浓度水平最佳。

2.2 纳米硒和红蓝光对比对生菜根系生长的影响

由表 2 可知,在 R₄B₁ 条件下,与喷蒸馏水相比,

各处理根鲜质量均有提高,且增幅为 17.81%~57.09%,同时根冠比稍有下降,降幅为 14.29%~28.57%;在 R₁B₂ 条件下,随着硒浓度的增加,各处理根长与根鲜质量均呈先下降后上升的趋势,根冠比呈先上升后下降的趋势;在 R 处理下,随着硒浓度的增加,各处理根长呈先下降后上升的趋势,而根干鲜质量与根冠比保持不变;在 B 条件下,与喷蒸馏水相比,各处理根冠比稍有下降且降幅为 7.69%~30.77%。可见,硒和红蓝光对生菜根系生长的影响不是通过改变其根冠产生的。

2.3 纳米硒和红蓝光对比对生菜叶绿素含量的影响

适宜光质下纳米硒可显著提高生菜叶片叶绿

表 2 纳米硒和红蓝光对比对生菜根系生长的影响

处理	根长 (cm)	根鲜质量 (g)	根干质量 (g)	根冠比
R ₄ B ₁ -0	29.67±1.76ab	2.47±0.24bc	0.12±0.01ab	0.14±0.01a
R ₄ B ₁ -800	29.33±1.20b	2.91±0.22b	0.11±0.01abc	0.10±0.01ab
R ₄ B ₁ -400	30.33±2.19a	3.88±0.47a	0.12±0.01a	0.12±0.01ab
R ₁ B ₂ -0	29.67±2.40a	2.27±0.06bc	0.06±0.01d	0.10±0.02ab
R ₁ B ₂ -800	29.00±3.00ab	2.16±0.25bc	0.08±0.02bcd	0.14±0.03a
R ₁ B ₂ -400	31.20±1.35a	2.98±0.51b	0.08±0.02abcd	0.11±0.02ab
R-0	27.17±0.60ab	2.14±0.25bc	0.06±0.02d	0.08±0.02b
R-800	27.00±3.00ab	2.17±0.20bc	0.08±0.00abcd	0.08±0.01ab
R-400	28.33±3.18ab	2.34±0.46bc	0.09±0.01abcd	0.08±0.01ab
B-0	22.00±4.16b	2.21±0.29bc	0.10±0.01abcd	0.13±0.01ab
B-800	28.00±0.87ab	1.75±0.12c	0.07±0.02cd	0.09±0.02ab
B-400	25.33±1.76ab	2.61±0.17bc	0.11±0.01abc	0.12±0.02ab

素含量。由表 3 可知,在 R₄B₁ 条件下,与喷蒸馏水相比,各处理叶绿素 a/b 均有降低,且降幅为 4.17%~12.80%;R₁B₂ 条件下,与喷蒸馏水相比,各处理叶绿素 a 含量、类胡萝卜素含量、叶绿素 a/b 均有提高,增幅分别为 9.40%~19.29%、9.37%~19.88%、4.76%~7.14%;R 条件下,与喷蒸馏水相比,各处理叶绿素 a/b 显著提高,且增幅为 7.40%~7.72%,此时叶绿素 a 素含量却显著降低,降幅分别

为 8.06%~25.68%,而叶绿素 b 和总叶绿素含量无显著变化;B 条件下,与喷蒸馏水相比,各处理叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素、总叶绿素含量均显著提高,增幅分别为 40.20%~40.23%、39.40%~45.37%、31.04%~35.40%、37.75%~39.45%。可见,纳米硒在 1:2 红蓝光与单独蓝光照射条件下可提高叶片叶绿素含量,在 R 中却相反。

表 3 纳米硒和红蓝光配比对生菜叶绿素含量的影响

处理	叶绿素 a 含量 (μg/g)	叶绿素 b 含量 (μg/g)	类胡萝卜素含量 (μg/g)	总叶绿素含量 (μg/g)	叶绿素 a/b
R ₄ B ₁ -0	342.70±44.11de	101.70±12.50def	79.10±8.74def	180.80±21.03def	3.36±0.10a
R ₄ B ₁ -800	378.50±29.95cd	117.20±7.67de	86.50±6.90cd	203.70±14.49de	3.22±0.05abc
R ₄ B ₁ -400	370.10±27.27cd	127.00±12.51cd	82.70±4.70cde	209.80±17.21cd	2.93±0.08d
R ₁ B ₂ -0	431.80±9.41bc	147.50±7.49bc	96.10±2.07bc	243.50±8.64bc	2.94±0.09d
R ₁ B ₂ -800	472.40±17.53ab	153.90±9.55b	105.10±3.62ab	259.00±13.10ab	3.08±0.08cd
R ₁ B ₂ -400	515.10±6.64a	163.50±3.43ab	115.20±1.83a	278.60±4.67ab	3.15±0.03bc
R-0	304.10±21.78de	98.20±8.72ef	69.70±4.60efg	167.80±12.95ef	3.11±0.08cd
R-800	279.60±28.35ef	83.50±8.81fg	67.40±6.87fg	150.90±15.67fg	3.35±0.02ab
R-400	226.00±11.19f	67.80±4.31g	57.10±1.82g	125.00±5.90g	3.34±0.06ab
B-0	376.60±20.99cd	124.10±6.76cd	87.30±1.82cd	211.40±8.00cd	3.03±0.03cd
B-800	528.10±10.98a	173.00±1.52ab	118.20±4.32a	291.20±4.45a	3.05±0.07cd
B-400	528.00±22.45a	180.40±7.26a	114.40±4.30a	294.80±11.54a	2.93±0.01d

2.4 纳米硒和红蓝光配比对生菜光合参数的影响

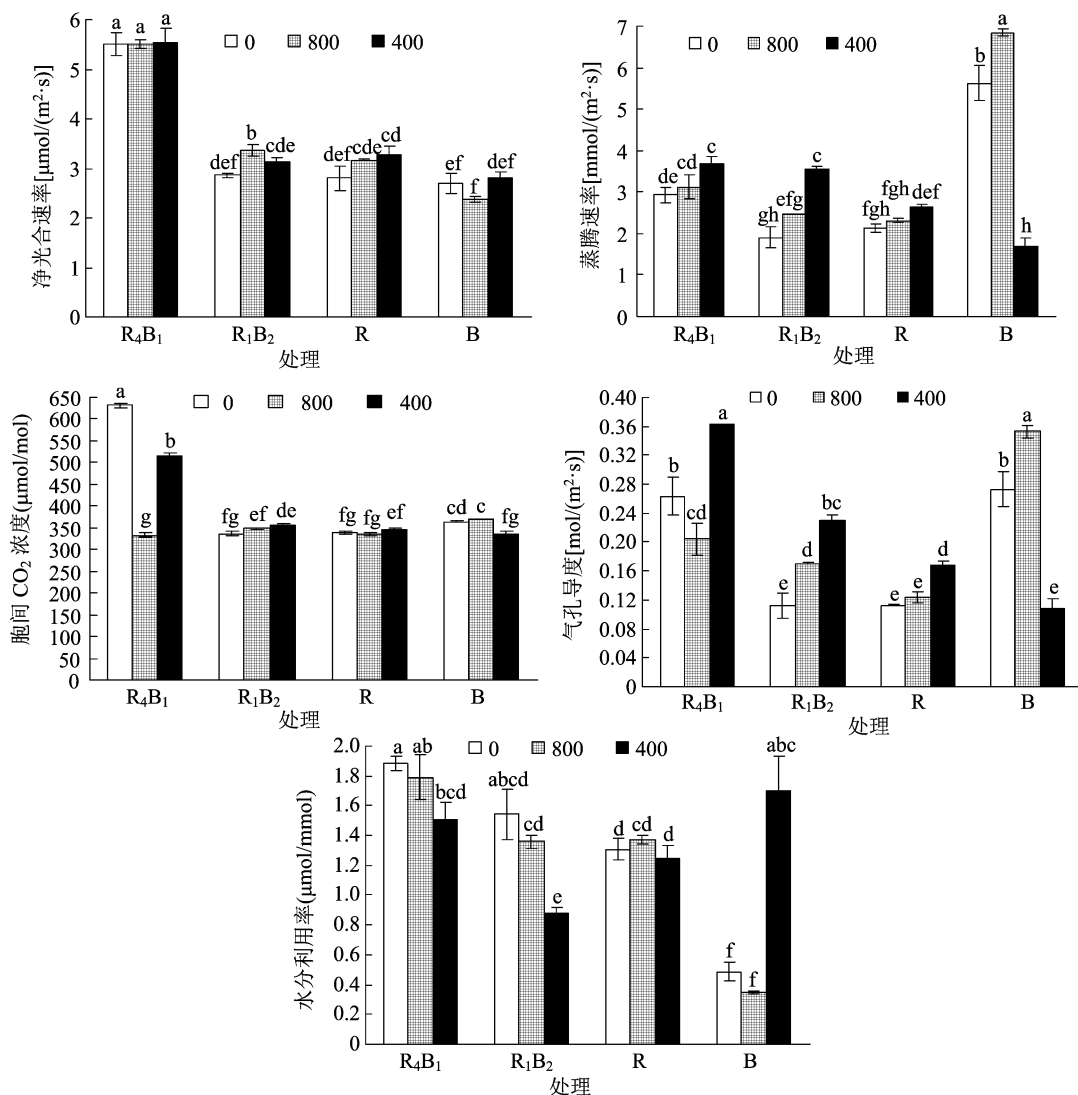
适宜光质下纳米硒可显著提高生菜的净光合速率、蒸腾速率、水分利用率、气孔导度与胞间 CO₂ 浓度。由图 1 可知,在 R₄B₁ 条件下,与喷蒸馏水相比,喷施稀释 800 倍纳米硒溶液处理气孔导度显著降低 22.57%;喷施稀释 400 倍纳米硒溶液处理蒸腾速率、气孔导度分别显著提高 26.29%、37.94%,而此时水分利用率显著降低 20.01%;各处理胞间 CO₂ 浓度显著降低 18.43%~47.43%。在 R₁B₂ 条件下,与喷蒸馏水相比,喷施稀释 800 倍纳米硒溶液处理净光合速率显著提高 17.90%;喷施稀释 400 倍纳米硒溶液处理蒸腾速率与胞间 CO₂ 浓度分别显著提高 85.72%、6.24%,而水分利用率显著降低 42.70%;各处理气孔导度显著提高,增幅为 52.68%~106.17%。在 R 条件下,与喷蒸馏水相比,喷施稀释 400 倍纳米硒溶液处理气孔导度显著提高 48.36%。在 B 条件下,与喷蒸馏水相比,喷施稀释 800 倍纳米硒溶液处理蒸腾速率与气孔导度分别显著提高 21.62%、29.24%;喷施稀释 400 倍纳米硒溶液处理水分利用率显著提高 248.75%,而蒸

腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度分别显著降低 69.81%、60.30%、7.71%。以上结果表明,适宜浓度的纳米硒可提高生菜叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度,进而促进光合作用,其中以 1:2 红蓝光与单独红光照射条件下,48 μmol/L 浓度水平较佳。

3 讨论与结论

光质条件影响植株光形态建成,纳米硒可促进植物生长和养分吸收^[14]。本试验结果表明,4:1 红蓝光处理条件下,喷施 48 μmol/L 硒处理植株地上部鲜质量最高且增幅最大;与单色光相比,红蓝组合条件下纳米硒均能有效促进生菜根系生长,且在以红光为主的组合光处理下植株生理状况优于以蓝光为主。这与 Noriko 等的研究结果^[15]相似,单色光条件与复合光相比,后者更适合植物生长。

叶面施硒能有效提高植株生物量^[5],这可能是因为在以红光为主的复合光可促进幼苗根系生长,提高根系活力,使其能更好地吸收养分^[16]。本试验还表明,与复合光相比,单独红光、蓝光处理下生菜叶



不同小写字母表示各处理差异显著($P < 0.05$)

图1 纳米硒和红蓝光配比对生菜光合参数的影响

长与叶宽分别显著提高,这与相关学者研究表明红光和蓝光分别利于子叶伸长与扩展的结果相同,这可能是因为红光下叶片生长速度相对高于叶柄,而蓝光下叶柄生长受到抑制生长相对慢于叶片^[17-18]。

已有研究证实,光合色素在光合作用中起决定性作用,其影响植物对光能的吸收与利用,包括叶绿素和类胡萝卜素^[19]。前者可捕获和传递光能,后者除了收集和传递光能外,还可保护叶绿素免受过多光照伤害^[20]。本试验结果表明,硒在4:1红蓝光、1:2红蓝光与单独蓝光处理下均可提高叶片叶绿素含量,而在单独红光处理下相反,这可能是因为单独红光条件下施硒促进了生菜叶片伸长使其逐渐远离光源,导致叶绿素合成减少^[21]。叶绿素含量在单独蓝光处理下最高,这与林

魁等的研究相同,单位面积的叶绿素含量随着蓝光比例的增大而升高^[22],这与王涛等研究的“红光利用率更高”的结果^[23]不同,这可能是因为叶绿素含量受光质与纳米硒共同调控,其互作机制有待进一步探究。

已有研究表明,光质条件和纳米硒均能影响植物光合作用与呼吸作用^[24]。本试验结果表明,蓝光条件下,叶片净光合速率最低,这与徐文硕等的研究结果^[25]一致,这可能是因为蓝光破坏了叶绿体光合片层结构,从而导致叶片净光合速率降低。本试验还发现,在1:2红蓝光中喷施纳米硒能显著提高叶片净光合速率且24 $\mu\text{mol/L}$ 浓度水平最佳。4:1红蓝光条件下,在48 $\mu\text{mol/L}$ 纳米硒处理下叶片胞间 CO_2 浓度显著有降低,而净光合速率与气孔导度均最大,这可能是因为施硒促进了碳同化与转

化^[26],可见影响光合作用的主要因素是气孔限制^[5],其调控机理有待进一步探究。

纳米硒对于给予不同光质生菜生长及品质特性的调控有所差异。单色红光与蓝光可提高部分指标,但适宜比例的红蓝组合光促进植株的整体生长^[27]。4:1 红蓝光条件下,48 $\mu\text{mol/L}$ 硒处理时生菜生物量最大;1:2 红蓝光条件下,48 $\mu\text{mol/L}$ 硒处理时叶片叶绿素含量均有提高,对生菜生物量却无显著影响;单独红光条件下,纳米硒促进了叶片生长,却使其叶绿素含量显著降低;单独蓝光条件下,纳米硒可促进叶片叶绿素积累。综上所述,与单色光相比,复合光更适合植物生长,且叶面施硒能有效提高植株的生物量积累。因此,调节复合光比例与喷硒浓度可在生菜生产过程中达到不同的目的。

参考文献:

- [1] Ramos S J, Faquin V, Guilherme L R G, et al. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite [J]. *Plant Soil and Environment*, 2010, 56 (12): 584 – 588.
- [2] 陈胜伦,周 豪,刘 豫,等. 外源硒对叶用莴苣营养品质和风味物质种类及含量的影响[J]. *中国农学通报*, 2019, 35 (20): 121 – 125.
- [3] Bian Z H, Lei B, Cheng R F, et al. Selenium distribution and nitrate metabolism in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.): effects of selenium forms and light spectra [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2020, 19 (1): 133 – 144.
- [4] 王佑成,赵天瑶,裴淑敏,等. 纳米硒喷施对绿豆芽生长特性、营养品质、酚类含量和抗氧化性的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2019, 24 (5): 39 – 46.
- [5] 胡万行,赵博思,石 玉,等. 生态纳米硒对紫色马铃薯生长及光合特性的影响[J]. *北方农业学报*, 2019, 47 (3): 64 – 69.
- [6] 刘嘉兴,李旭芬,石 玉,等. 叶面喷施生态纳米硒对生菜品质的影响[J]. *浙江农业科学*, 2019, 60 (5): 803 – 806.
- [7] 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.
- [8] Bian Z H, Yang Q C, Liu W K. Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2015, 95 (5): 869 – 877.
- [9] 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.
- [10] 刘文科,杨其长,邱志平,等. 不同 LED 光质对生菜生长和营养品质的影响[J]. *蔬菜*, 2012 (11): 63 – 65.
- [11] 刘晓英,焦学磊,徐志刚,等. 红蓝 LED 光对叶用莴苣生长、营养品质和硝态氮含量的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36 (5): 139 – 143.
- [12] 周成波,张 旭,刘彬彬,等. 补光光质对叶用莴苣光合特性的影响[J]. *植物生理学报*, 2015, 51 (12): 2255 – 2262.
- [13] 魏国平,王宇萧,杨立飞,等. 生菜富硒富花青素研究现状与展望[J]. *现代农业科技*, 2019 (19): 61 – 62.
- [14] Lei B, Bian Z H, Yang Q C, et al. The positive function of selenium supplementation on reducing nitrate accumulation in hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17 (4): 837 – 846.
- [15] Noriko O, Masaharu I, Hiroshi S. Continuous irradiation with alternating red and blue light enhances plant growth while keeping nutritional quality in lettuce [J]. *Hort Science*, 2018, 53 (12): 1804 – 1809.
- [16] 孙洪助,王 虹,沈建华,等. 不同比例红蓝光对生菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *浙江农业学报*, 2014, 26 (3): 603 – 608.
- [17] Ki - Ho S, Myung M O. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light - emitting diodes [J]. *Hort Science*, 2013, 48 (8): 988 – 995.
- [18] Masahumi J, Kazuhiro S, Fumiyuki G, et al. Blue light - emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce [J]. *Hort Science*, 2010, 45 (12): 1809 – 1814.
- [19] 张现征,王 丹,董 飞,等. 不同比例红蓝光对番茄幼苗生长发育及光合特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47 (14): 136 – 138.
- [20] 潘瑞炽,王小菁,李煌辉. 植物生理学[M]. 7 版. 北京:高等教育出版社,2012:75.
- [21] Hogewoning S W, Trouwborst G, Maljaars H, et al. Blue light dose - responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2010, 61 (11): 3107 – 3117.
- [22] 林 魁,徐 永. LED 照明对植物体内功能性化学物质积累的影响[J]. *植物学报*, 2015, 50 (2): 263 – 271.
- [23] 王 涛,兰 婕,陈永快,等. LED 红蓝光配比对生菜生长及生理特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47 (22): 199 – 203.
- [24] 钟松臻,张宝军,张 木,等. 硒对水稻光合作用及抗氧化作用的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2017 (4): 134 – 139.
- [25] 徐文硕,鲁 娜,高垣美智子,等. 植物工厂不同 LED 光照模式对生菜幼苗生长及光合特性的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2017, 40 (4): 57 – 63.
- [26] 宁 宇,邓惠惠,李清明,等. 红蓝光质对芹菜碳氮代谢及其关键酶活性的影响[J]. *植物生理学报*, 2015, 51 (1): 112 – 118.
- [27] 薛国萍,姜 伟,付崇毅,等. LED 光源对草莓生长发育影响的研究进展[J]. *北方农业学报*, 2017, 45 (5): 108 – 114.