



不同光质对烟草组培苗生长及生理特性的影响

苏俊^{1,2},刘昳雯³,杨凡⁴,孔垂丝⁵,杨谨⁶,孟庆雄^{1*}

(1 昆明理工大学 生命科学与技术学院,昆明 650500;2 云南省农业科学院园艺作物研究所,昆明 650205;3 云南农业大学 花卉研究所,昆明 650201;4 云南省产品质量监督检验研究院,昆明 650000;5 云南省农业科学院农业环境资源研究所,昆明 650205;6 云南省农业科学院经济作物研究所,昆明 650205)

摘要:以‘云烟 87 号’生根组培苗为试材,以荧光灯为对照(CK),采用 LED 光源发射的单色光谱红光(R)、蓝光(B)、绿光(G)等不同光质配比组合光照处理,研究光质对烟草组培苗生长和生理特性的影响。结果显示:(1)与 CK 相比,红蓝绿(RBG)和红蓝白(RBW)组合光质使烟草组培苗植株株高、叶长、叶宽、叶面积、茎粗、根数、根长和干重显著增加,植株叶绿素含量也有提高但差异不显著。(2)RBW 组合光质照射的植株可溶性糖含量和 C/N 比值显著高于其他光质处理,RBG 组合光质处理植株的游离氨基酸含量显著高于其他光质处理,且各光质及其组合处理的烟草叶片可溶性蛋白含量显著高于对照,红蓝配光(1RB)使植株可溶性淀粉含量较对照显著提高。(3)各光质及其组合处理的烟草膜脂过氧化物 MDA 含量较对照均显著降低,而其 SOD、POD 和 CAT 活性较对照均显著提高;其中红光处理的植株膜脂过氧化物 MDA 含量最低,CAT 活性最高。研究表明,LED 光源不同光质及其组合光照均能够显著降低烟草组培苗的 MDA 含量,降低膜脂过氧化的伤害,促进烟草组培苗的生长,其主要通过调节抗氧化物酶活性的合成代谢来应对光氧化胁迫;LED 光源的 RBG 和 RBW 组合光质可作为烟草组培苗生根阶段的最适光质。

关键词:LED 光质;烟草;生理特性

中图分类号:Q945.78

文献标志码:A

Effect of Different Light Qualities on Physiological Characteristics and Growth of Tobacco *in vitro* under Light Emitting Diodes(LEDs)

SU Jun^{1,2}, LIU Yiwen³, YANG Fan⁴, KONG Chuisi⁵, YANG Jin⁶, MENG Qingxiong^{1*}

(1 Faculty of Life Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 2 Institute of Horticulture, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; 3 Institute of Landscape Plants, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 4 Yunnan Province Product Quality Supervision and Inspection Institute, Kunming 650000, China; 5 Institute of Agricultural Environment and Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; 6 Industrial Crop Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China)

Abstract: By arraying tobacco rooted plantlets with the different wave length and ratio of light emitting diodes(LEDs), with fluorescent lamp(CK) light as control, the effects of light quality on physiological characteristics and growth were investigated. The results showed that:(1)Red-blue-green(RBG) and Red-blue-white(RBW) light enhanced the heights, leaf lengths and leaf widths, leaf area, shoot diameter, root length, number of root and dry weigh of plant, and the contents of chlorophyll were also up-graduated, but those of treatments were no significantly differences.(2)RBW light treatments led to higher content of soluble sugar and C/N ratio, RBG light treatments led to higher content of free amino acid, and significantly higher

收稿日期:2014-01-08;修改稿收到日期:2014-04-04

作者简介:苏俊(1980—),男,在读研究生,副研究员,主要从事植物栽培及生理学研究。E-mail:sujun198067@sina.com

*通信作者:孟庆雄,副教授,主要从事植物生物学的研究。E-mail:qxmeng@sina.com

than that of other treatments; for all light treatments, tobacco leaf soluble protein content is significantly higher than that of CK light treatment, 1Red-blue(1RB) light treatment led to higher content of soluble starch, and significantly higher than that of CK light treatment. (3)Fluorescent lamp(CK) light treatments led to higher contents of MDA, and significantly higher than that of other treatments; while decreased activities of SOD,CAT and POD in the leave, and significantly lower than those of other treatments; which red light lowered content of MDA and enhanced activity of POD, and CAT activity is the highest. LED light source can significantly reduce the MDA content of tobacco plantlets, reduce the membrane lipid peroxidation damage, promote the growth of tobacco plantlets, and the main reason lies in its regulation metabolism of the activities of antioxidant enzymes in response to photo-oxidative stress.

Key words: light emitting diodes(LEDs); tobacco(*Nicotiana tabacum* L.); physiological characteristics

光对植物的生长发育起着重要的作用。相关研究表明,不同光质对不同种类植物的生长发育有明显的影响^[1-2]。烟草属于喜光植物,不同光源的光(白光、红光、黄光、蓝光和紫光)对烟草叶片的生长发育、形态建成、内部结构和光合特性等有着显著的影响^[3]。在植物组织培养中,光合光量子通量密度(photosynthetic photon flux density, PPFD)、光照周期和光谱分布对植物的光合作用和形态建成起重要作用。发光二极管(LED)具有节能环保、发热量少、易于分散或组合控制等许多不同于其他电光源的重要特点^[4],在植物组织培养中采用LED提供照明,调控光质和PPFD,不仅能够调控组织培养植物的生长发育和形态建成、缩短培养周期、提高品质,而且能够减少能耗,降低成本^[5]。

LED在植物组织培养中的应用是基于LED技术的发展和植物组织培养环境调控而发展起来的^[6-7]。在国内外,LED已经被应用于许多植物光合生理领域的研究,如叶绿素合成^[8]、光形态发生^[9]、光合作用^[10]、植物栽培^[11]等。目前已在菊花^[12]、洋桔梗^[13]、紫皮石斛^[14]等组培苗的相关报道。但关于LED不同光质配比组合对烟草组培苗形态学和生理学的研究未见报道。本研究采用LED光源发射的单色光谱红光、蓝光、白光和绿光,进行不同光质配比组合,比较不同光质处理下烟草组培苗生长和生理特性的差异,旨在为烟草栽培提供新方法及其理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料培养

试验材料为烟草(*Nicotiana tabacum* L.)品种‘云烟87’的生根组培苗。生根培养基配方为1/2 MS+30 g/L蔗糖,pH 5.8,培养室相对湿度(75±5)%,温度(25±2)℃,在生根阶段培养30 d,测定各项生长和生理指标。

1.2 实验设计

1.2.1 光质控制系统 本研究光质控制系统由云南电子工业研究所提供。由于目前植物组培工厂内主要采用荧光灯(日光灯)作为人工光源,其光谱分布不符合植物生长需求,生物能效极低。LED光质较纯,生物能效较高。参考已发表的相关文献,本研究拟通过将荧光灯作为对照,比较不同LED光质对烟草组培苗生长和生理特性方面的差异,探索出烟草组培苗生长的最适宜光源。LEDs的光质控制系统见表1,将生根阶段组培苗预培养7 d后随机分成8组,每组12瓶,每瓶5株苗,分别置于7种LEDs光源小区和1个荧光灯对照区。调节电流及光源与植株的距离,使光强保持一致(800 lx);12 h/d光照周期,照射时间为每天8:00~20:00。荧光光源为深圳市来田实业有限公司生产的Philips牌40 W普通照明灯。不同层间用1 cm厚纸壳隔离,所有处理间到达瓶苗上表面的光强基本保持一致。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 生长指标 烟草生根阶段的组培苗在各光质下生长30 d后,进行株高、茎粗、叶片数、叶长、叶宽,叶片面积、比叶面积的测定。株高测定从植株基部开始到最长叶片的长度,用直尺测量;茎的直径用游标卡尺测量其最粗处;叶长是指叶尖至叶痕处的长度,叶宽测定叶片中部的最宽处,叶面积用描叶法测定^[15]。同时,用直尺测量根长(从根颈直至根尖处),随机抽取6株苗,测量根数。最后,将植株放入115℃烘箱杀青20 min,然后降至75℃烘干24 h至恒重,用电子天平称量干重。

1.3.2 生理指标 叶绿素含量测定采用分光光度计比色法^[16];可溶性蛋白质含量参照Read等^[17]考马斯亮蓝法测定;可溶性糖和淀粉含量采用林加涵等^[18]蒽酮比色法测定;游离氨基酸含量测定采用茚三酮显色法^[18];超氧化物歧化酶活性(SOD)采用氮蓝四唑(NBT)法^[19]测定,过氧化物酶(POD)活性采

表 1 试验光源控制系统
Table 1 Control system of light source in the experiment

光处理 Light treatment	光质 Light quality	光量比例 The ratio of luminous flux	峰值波长 Peak wavelength/nm	波长半宽 Wavelength halfwidth/nm
RBG	R+B+G	4:2:1	625+475+530	20
R	R	100% R	625	20
1RB	R+B	1:1	625+475	20
B	B	100% B	475	20
RBW	R+B+W	6:1:1	625+475+720	20
2RB	R+B	2:1	625+475	20
W	W	100% W	720	20
CK	F	—	W	—

注: R. 红光; B. 蓝光; G. 绿光; W. 白光; F. 荧光。

Note: R. Red light; B. Blue light; G. Green light; W. White light; F. Fluorescence.

用愈创木酚法^[20]、过氧化氢酶(CAT)活性采用 Acibi 等的方法进行测定^[21]。丙二醛含量参照 Madhava 等^[22]的硫代巴比妥酸(TBA)法测定。

1.4 数据分析

数据采用大型统计软件 SPSS 16.0 (Inc., Chicago, IL, USA) 的方差分析(ANOVA)和 Duncan 的多重比较法进行分析,用 Excel 2003 制图。

2 结果与分析

2.1 不同光质对烟草组培苗生长的影响

表 2 显示:不同光质照射对烟草组培苗植株株高、叶长、叶宽、叶面积、茎粗、根数、根长和干重的影响效果不一,且处理间差异均显著($P<0.05$)。其中,组培苗各生长指标在红蓝绿(RBG)和红蓝白(RBW)复合光处理下均具有最高值且两者间无显著差异,在红蓝(1RB 和 2RB)复合光和单色红光(R)处理下多居中,而在单色蓝光(B)、白光(W)或对照荧光(CK)处理下常处于较低值;株高、叶长、叶宽、叶面积、茎粗、根数、根长和干重的最高值(RBG

或 RBW 处理)分别比荧光对照(CK)显著增加 34.5%、90.0%、59.5%、142.2%、140.2%、44.1%、14.2% 和 67.3% ($P<0.05$)。即红蓝绿(RBG)和红蓝白(RBW)光质对烟草组培苗植株生长指标的促进效果均显著优于其他组合光、单色光和白光处理,并在叶面积和茎粗上促进效应最突出。以上结果表明 LED 组合光质促进了烟草组培苗地上和地下部分的生长,有利于单株生物量的累积;RBG 和 RBW 组合光质都可作为烟草组培苗生根阶段的最适光质。

2.2 不同光质对烟草组培苗叶片叶绿素含量的影响

由图 1 可知, RBW 光质照射对烟草组培苗叶片叶绿素合成的效果最佳, RBG、R、1RB、2RB 和 CK 光质处理下多居中,而 B 光质的照射效果最差。其中, RBW 处理下的叶绿素含量比荧光对照(CK)显著增加 22.5%,而 RBG、1RB 与荧光对照(CK)差异不显著。RBW 光质处理叶绿素含量分别显著高于 R、2RB、W 和 B 照射光质处理 32.5%、45.8%、49.2% 和 83.5% ($P<0.05$)。说明了 LED 复合光质对烟草叶片光合潜力的影响较单色光质和荧光灯敏感,促进了

表 2 不同光质对烟草组培苗植株生长的影响

Table 2 Effect of different light sources on the growth of tobacco seedlings *in vitro*

光处理 Light treatment	株高 Plant height/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶面积 Leaf area /cm ²	茎粗 Stem diameter/mm	根数 No. of root/条	根长 Root length/cm	干重 Dry weight/g
RBG	5.12a	5.93a	1.75b	7.63ab	3.17a	8.85a	8.73a	0.234a
R	4.07cd	4.68cd	1.20e	4.17cd	1.58c	6.31b	5.91d	0.195b
1RB	4.49b	5.05bc	1.67bc	4.21cd	1.45cd	7.08b	6.80cd	0.207b
B	4.33bc	3.42ef	0.93f	2.83d	1.23d	3.55c	4.33e	0.159c
RBW	5.17a	5.48ab	2.11a	9.24a	2.29b	8.77a	8.26ab	0.253a
2RB	4.07cd	4.03de	1.46cd	5.44bc	1.48cd	3.67c	7.07c	0.205b
W	3.98d	3.67ef	1.41de	4.48cd	1.38cd	7.12b	7.76abc	0.21b
CK	3.84d	3.12f	1.32de	3.82cd	1.32cd	6.14b	7.65bc	0.151c

注:同列不同的字母表示处理间在 0.05 水平存在显著性差异;下同。

Note: Different letters within the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level. The same as below.

光合作用中的光能吸收和转化作用。

2.3 不同光质对烟草组培苗叶片碳氮代谢的影响

2.3.1 可溶性糖含量 由图 2,A 可知, 烟草组培苗叶片可溶性糖含量在 RBW 光质照射后最高, 而在 2RB、RBG、1RB、B 和 W 处理下多居中, 在 R 处理和荧光对照(CK)处理受到的影响最小。其中, RBW、2RB、1RB、W、B 和 RBG 处理分别比荧光对照(CK)显著增加 112.1%、76.4%、43.7%、42.4%、38.6%、35.8%($P<0.05$), 但 R 与荧光对照(CK)差异不显著。以上结果说明单色红光不利于植株可溶性糖的合成, 但 LED 复合光质和单色蓝光有利于烟草组培苗光合产物的合成。

2.3.2 可溶性蛋白含量 图 2,B 显示, 烟草组培苗可溶性蛋白含量在荧光(CK)照射下最高, 在 RBG、R、1RB、B、RBW 和 W 处理下多居中, 而 2RB 处理下的含量最低。其中, 荧光对照(CK)处理烟草组培苗可溶性蛋白含量分别显著高于 R、1RB、RBG、W、RBW、B 和 2RB 光质照射处理 12.7%、19.8%、26.8%、35.5%、42.4%、59.8% 和 64.8%($P<0.05$)。即荧光灯光质在光合作用中更有利于促进了蛋白质的合成, 可溶性蛋白可能在抵御光质引起的氧化伤害中起到了重要的调节作用。

2.3.3 可溶性淀粉含量 由图 2,C 可知, 烟草组培苗的可溶性淀粉含量在 1RB 光质照射下最高, 在 RBG、R、B、2RB、W 和 CK 处理下多居中, 而在 RBW 光质处理下最低。其中, 1RB 光质照射下的可溶性淀粉含量显著高于荧光对照(CK)31.6%($P<0.05$), 而 RBG、R、2RB、W 处理与荧光对照(CK)的差异不显著。即与荧光灯相比, 单色红光、单色蓝光、白光对烟草组培苗可溶性淀粉合成的效果不明显, 但红蓝配光可显著促进可溶性淀粉的生成。

2.3.4 游离氨基酸含量 从图 2,D 可知, 烟草组培苗游离氨基酸含量于 RBG 光质照射下最高, CK、

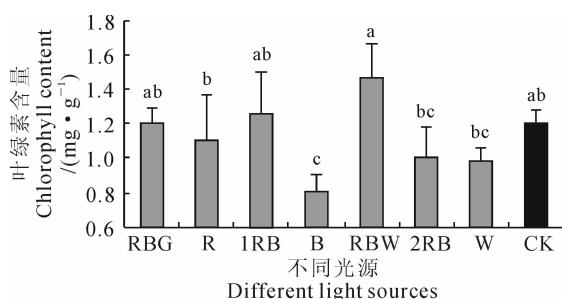


图 1 不同光质对烟草组培苗叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of different light sources on chlorophyll content of tobacco leaves *in vitro*

1RB、B、2RB、RBW 和 W 处理下多居中, R 光质处理最低。其中, B、2RB、RBW 和 W 处理间差异不显著, RBG 光质处理下显著高于荧光对照(CK)16.4%。

表明红蓝绿配光较荧光、单色红光和蓝光更有利于烟草幼苗游离氨基酸的生成, 促进氮素代谢变化, 加速烟草组培苗对氮素的吸收、运转和同化。

2.3.5 C/N 比值 由图 2,E 可知, 烟草组培苗 C/N 比在 RBW 光质照射下最高, 在 2RB、W、R、B、1RB 处理下多居中, 而在荧光对照(CK)处理下最低。其中, RBW 光质照射下的烟草组培苗 C/N 比分

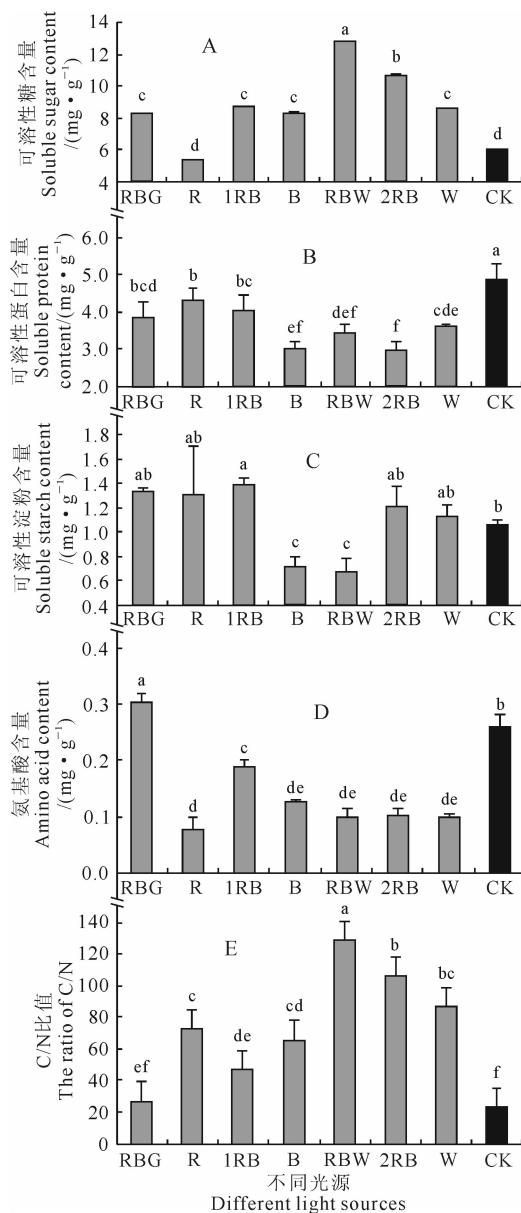


图 2 不同光质对烟草组培苗叶片可溶性糖(A)、蛋白(B)、淀粉(C)、氨基酸(D)和 C/N 比值(E)的影响

Fig. 2 Effect of different light sources on the contents of soluble sugar(A), protein(B), starch(C) and amino acid(D), and the ratio of C/N(E) in tobacco leaves *in vitro*

and the ratio of C/N(E) in tobacco leaves *in vitro*

别显著高于 2RB、W、R、B、1RB、RBG 和 CK 光质照射处理 21.2%、48.0%、77.3%、95.5%、173.6%、375.5% 和 454.1%。即 LED 光质较对照荧光灯相比,对烟草组培苗碳代谢的效果显著;白光较能促进碳代谢,使 C/N 增加;单色蓝光能够促进氮代谢,使 C/N 降低;但红蓝白配光更有利于碳代谢,进一步说明了红蓝绿配光有利于促进叶片氮代谢。

2.4 不同光质对烟草叶片组培苗 MDA 含量和抗氧化物酶活性的影响

2.4.1 MDA 含量 从图 3,A 可以看出,烟草叶片组培苗 MDA 含量在 CK 照射下最高,在 B、RBW、2RB、W 处理下多居中,而在 R 光质照射下最低。荧光对照(CK)处理的烟草组培苗叶片 MDA 含量分别显著高于 B、W、RBW、2RB、1RB、RBG 和 R 光质照射下的 34.5%、49.5%、50.5%、62.8%、68.4%、71.8% 和 619.3%。说明 LED 光质对烟草组培苗产生的膜脂过氧化伤害较小,对照荧光灯产生的膜脂过氧化伤害最大,这可能是由于 LED 光质导致了植株抗氧化物酶活性增强,从而缓解了膜脂过氧化伤害。

2.4.2 SOD 活性 由图 3,B 可知,烟草组培苗 SOD 活性在 B 和 2RB 光质照射下最强,且两者差异不显著;R、1RB 和荧光对照(CK)照射下的烟草组培苗中的 SOD 活性较弱,且三者差异不显著。B 照射下的烟草组培苗 SOD 活性分别显著高于 RBW、W、RBG、1RB、CK 和 R 光质照射处理的 17.5%、30.5%、40.0%、47.0%、62.7% 和 63.9%。说明烟草组培苗能够通过提高 SOD 的活性来有效

地清除细胞中的超氧自由基,缓解了强光对细胞质的伤害。

2.4.3 POD 活性 图 3,C 显示, RBW 光质照射下的烟草组培苗叶片 POD 活性最强,2RB、1RB、W 和 RBG 处理下多居中,B 和荧光对照(CK)照射下的烟草组培苗中的 POD 活性最弱,且两者差异不显著。RBW 光质照射的烟草组培苗叶片 POD 活性分别显著高于 2RB、1RB、W、RBG、R、CK 和 B 光质照射处理 36.9%、58.6%、89.8%、92.1%、162.3%、182.1% 和 195.6%。即烟草组培苗可以通过提高自身 POD 的活性来抵御不利光质产生的伤害。

2.4.4 CAT 活性 由图 3,D 可知,R 照射下的烟草组培苗叶片 CAT 活性最强, RBW、1RB、W 和 RBG 处理多居中, 荧光对照(CK)、2RB 和 B 处理下 CAT 活性较弱。R 照射下烟草组培苗叶片 CAT 活性分别显著高于 RBW、1RB、W、RBG、2RB、CK 和 B 光质照射下的 20.6%、29.3%、34.4%、40.7%、48.3%、50.7% 和 72.9%。说明各 LED 光质处理的烟草植株 CAT 活性显著增强,可以有效地清除细胞中的活性氧,缓解光质对细胞质的伤害。

3 讨 论

光能促进叶片形成、叶位改变、叶片内质体转化以及质体蛋白合成。叶片的形成主要与 300~700 nm 范围内生理辐射有关,其中最有效的为橙红光及蓝紫光。光在刺激叶片扩展和叶肉细胞分化的同时,也能促进原生质体或黄化体向叶绿体的转化^[23]。史

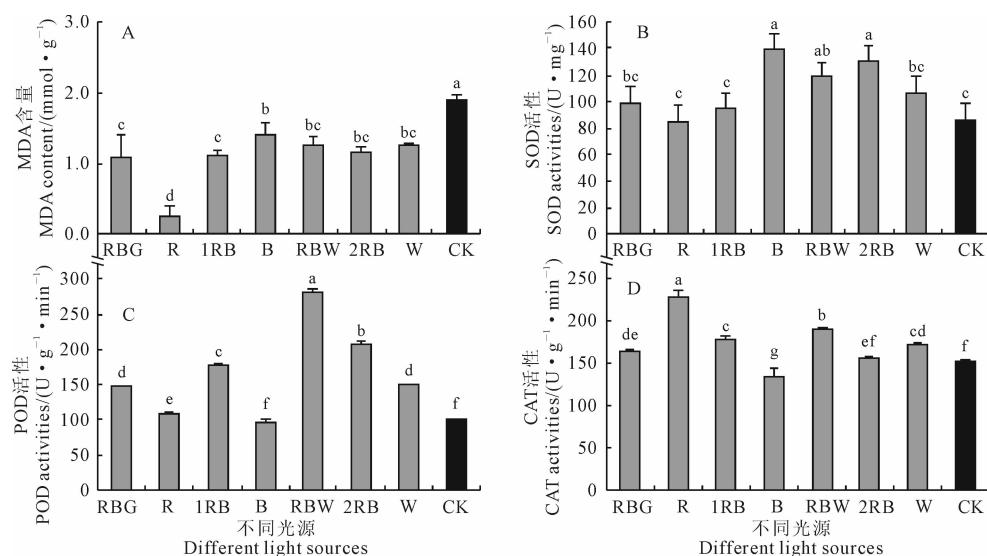


图 3 不同光质对烟草组培苗叶片 MDA(A)含量、SOD(B)、POD(C)和 CAT(D)活性的影响
Fig. 3 Effect of different light sources on the content of MDA(A), the activities of SOD(B), POD(C) and CAT(D) in tobacco leaves *in vitro*

宏志等^[24]研究发现,在辐照度相同的条件下,单色蓝光对烟苗叶片生长具有显著的抑制效应,使叶片长、宽减小。Moreira^[25]的研究表明,蓝光抑制 *Azorinavidalii* 叶片的扩大,降低株高。杜洪涛等的研究也表明蓝光有抑制作物茎生长的作用^[26]。本研究结果也表明单色蓝光不仅抑制了烟草组培苗的叶长、叶宽、叶面积和茎粗的生长,同时对根长和根数的生长均有不同的抑制作用。柯学等^[3]通过对‘云烟 87’植株覆盖白、红、黄、蓝、紫色滤膜获得不同光质,发现红膜与蓝膜处理的烟草叶片较白膜处理更厚、比叶面积更小;张艳艳等^[27]研究表明,红光比蓝光更有利于烟苗的生长发育,而红蓝复合光与单色红光和蓝光相比,对烟苗生长的促进作用较小。本研究表明,红蓝白的 LED 组合光质对烟草组培苗促进生长的效果优于单色红光、单色蓝光、单色白光和红蓝复合光。

LEDs 发射的单色红光光谱和蓝光光谱,与光合色素尤其是叶绿素 a、b 的吸收波长相匹配^[28]。史宏志等^[29]研究表明蓝光处理使烟草叶片叶绿素含量下降;同时,童哲^[30]研究表明,蓝光中混杂其他光时对高粱、黄瓜和欧白芥叶片叶绿素合成的促进都比较大,并认为混合光的这种效应是由于纯红光或纯蓝光中混杂有其他波长的光线后,活化态的光敏色素含量发生变化,隐花色素的激活也不相同,从而引起各种不同的生物学效应。本研究结果表明单色蓝光对烟草叶片叶绿素合成的促进效果较差,但红蓝白 LED 混合光质显著促进了叶绿素的合成。

光质对高等植物的碳氮代谢有调节作用。游离氨基酸是蛋白质等含氮化合物合成与分解过程的中间物质,可反映植物体内的氮素代谢变化及植物对氮素的吸收、运转、同化等状况,因此可用游离氨基酸反映植株体内氮代谢状况^[31-32]。可溶性糖既是高等植物的主要光合产物,又是碳水化合物代谢和暂时贮藏的主要形式,在植物碳代谢中占有重要位置,所以可溶性糖的变化大致反映了该植株的碳素营养代谢状况。本研究结果表明红光处理烟草叶片的可溶性糖、蛋白质、淀粉和游离氨基酸含量都较对照荧光灯处理降低,但红蓝白(RBW)混合光质(即光量比例组成为红:蓝:白=6:1:1)生长下的烟草组培苗叶片中的可溶性糖含量、C/N 比值最高;蓝光

照射下的叶片可溶性糖含量和 C/N 比值提高,但蛋白质、淀粉和游离氨基酸含量降低,而红蓝绿混合(RBG)混合光质(即光量比例组成为红:蓝:绿=4:2:1)处理的叶片游离氨基酸含量最高;红蓝定值配光(1RB)照射的叶片淀粉含量最高。史宏志等^[29]认为,复合光中较高的红光比例可促进烟叶碳代谢的增强,表现为转化酶活性高,叶片总碳、还原糖含量高,C/N 明显增加;增加蓝光比例可以促进烟叶的氮代谢,使叶片总氮、蛋白质、氨基酸含量提高,总碳、还原糖含量及 C/N 降低。尽管绿光不是光合作用的高效吸收光谱,但是补充绿光可以与红蓝光协同增益色素的合成。Kim 等^[33]研究指出绿光可以更多地穿透植物冠层,促进了下部叶片的光合作用;何小弟等^[34]指出绿光对组培苗生长作用的光质效应显著,光在组织中的作用,可能不仅仅受光敏色素的调控。因此,本研究认为复合光中较高的红光比例能够促进烟草幼苗碳代谢,而增加蓝光比例可以促进氮代谢,同时复合光中增加绿光可以提高氨基酸含量。

绿色植物在进行光合作用时,由于光合电子传递链总会发生一定程度的电子泄漏,将电子传递给分子 O₂,从而产生 ROS,当细胞内的防御系统无法阻止 ROS 自增长的自动氧化反应时,细胞将受伤和死亡^[35]。不同光质对番茄^[36]、黄瓜^[37]、彩色甜椒^[26]和油菜^[38]的抗氧化酶活性均产生不同程度的影响,如红光和蓝光提高番茄抗氧化酶活性,紫光和蓝光能维持黄瓜叶片中较高的抗氧化酶活性。文锦芬等^[39]对‘云烟 87’的研究结果表明,与白光(对照)相比,黄光处理的烟草叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性升高,而蓝光处理的叶片的所有抗氧化酶活性均下降。张艳艳^[27]研究发现,深蓝光处理可提高烟苗 CAT 活性,蓝光、红蓝复合光及深红光处理明显提高 POD 活性。本研究结果表明,荧光灯光质照射下的烟草叶片中产生的膜脂过氧化伤害最大,LED 光质中的单色蓝光较红光更容易产生氧化伤害;蓝光处理的叶片 SOD 活性较高,但 POD 和 CAT 活性均下降,红光处理可提高烟苗 CAT 活性。这与文锦芬等^[39]的研究结论相一致,即在大田条件下,相对红光和黄光而言,蓝光和紫光处理下烟草叶片更容易发生光氧化胁迫。

参考文献:

- [1] MACED A F, LEAL COSTA M V, TAVARESES, *et al.* The effect of light quality on leaf production and development of *in vitro*-cultured plants of *Alternanthera brasiliiana* Kuntze[J]. *Environ. Exp. Bot.*, 2011, 70:43-50.

- [2] IACONA C, MULEO R. Light quality affects *in vitro* adventitious rooting and ex vitro performance of cherry root stock Colt[J]. *Sci. Hort.*, 2010, 125: 630–636.
- [3] KE X(柯学), LI J Y(李军营), LI X Y(李向阳). Effect of different light quality on growth and photosynthesis in tobacco leaves[J]. *Acta Photophysiol. Sin.*(植物生理学报), 2011, (5): 512–520(in Chinese).
- [4] WANG X X(王声声), WU G Y(吴广宁), JIANG W(蒋伟). LED theory and application of lighting applications[J]. *Light and Lighting*(灯与照明), 2006, 30(4): 32–35(in Chinese).
- [5] JORDAN K A, ONO E, NORIKANE J, et al. Control of LEDs to achieve light quality and intensity in tissue culture and micro-propagation studies[J]. *Acta-o*, 2001, (562): 135–140.
- [6] LANGHANS, ROBERT W. A growth chamber manual[M]. Environmental control for plants, 1978.
- [7] TIBBITS T W, KOZLOWSKI T T. Controlled environment guidelines for plant research[M]. Academic, New York, 1979.
- [8] TRIPATHY B C, BROWN C S. Root-shoot interaction in the greening of wheat seedlings grown under red light[J]. *Plant Physiology*, 1995, 107: 407–411.
- [9] HOENECKE M E, BULAR J, TIBBITS T W. Importance of “Blue” photon levels for lettuce seedlings grown under red-light-emitting diodes[J]. *Hort Science*, 1992, 27(5): 427–430.
- [10] TENNESSEN D J, BULA R J, SHARKEY T D. Efficiency of photosynthesis in continuous and pulsed light emitting diode irradiation[J]. *Photosynthesis Research*, 1995, 44(3): 261–269.
- [11] WU J S(吴家森), FU SH H(付顺华), ZHENG J(郑军). Light emitting diode lighting effects on the growth and photosynthetic characteristics of *Epiptremnum aureum*[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*(浙江林学院学报), 2008, 25(6): 739–742(in Chinese).
- [12] WEI X(魏星), GU Q(顾清), DAI Y J(戴艳娇), et al. Effects of different light qualities on *Chrysanthemum* tissue culture seedlings growth[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*(中国农学通报), 2008, 24(12): 344–349(in Chinese).
- [13] YANG CH J(杨长娟), LING Q(凌青), REN X P(任兴平), et al. LED effects of light quality on *eustoma* tissue proliferation. [J]. *Northern Horticulture*(北方园艺), 2011, 18: 154–156(in Chinese).
- [14] SUN Q W(孙启文). Light emitting diode lighting effects on the growth and photosynthetic characteristics of *Purple dendrobium*[J]. *Modern Agriculture*(现代农业), 2013, 7: 10–12(in Chinese).
- [15] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [16] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994: 66–69.
- [17] READ S M, NORTHEOTE D H. Minimization of variation in the response to different protein of the coomassie blue G dye-blinding for protein[J]. *Analytical Biochemistry*, 1981, 116: 53–64.
- [18] 林加添, 魏文铃, 彭宣宪. 现代生物学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 41–43.
- [19] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 119–120.
- [20] TAN W, LIU J, DAI T, et al. Alterations in photosynthesis and antioxidant enzyme activity in winter wheat subjected to post-anthesis water-logging[J]. *Photosynthetica*, 2008, 46: 21–27.
- [21] ACBI H. Catalase in vitro[J]. *Methods in Enzymology*, 1984, 105: 121–126.
- [22] MADHAVA RAO K V, SRESTY T V S. Antioxidative parameters in the seedlings of pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millspalgh] in response to Zn and Ni stresses[J]. *Plant Science*, 2000, 157: 113–128.
- [23] ZHANG W H(张微慧), ZHANG G L(张光伦). The physiological and ecological effect of light quality to morphogenesis and fruit quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*(中国农学通报), 2007, 23(1): 78–83(in Chinese).
- [24] SHI H ZH(史宏志), HAN J F(韩锦峰), et al. Monochromatic blue light and red light on the impact of growth and carbon and nitrogen metabolism in tobacco seedlings leaves[J]. *Journal of Henan Agricultural University*(河南农业大学学报), 1998, 32(3): 258–262(in Chinese).
- [25] MOREIRA D A, SILVAM H, DEBERGH P C. The effect of light quality on the morphogenesis of *in vitro* cultures of *Azorinavidalii* (wats). *Feer*[J]. *Plant Cell Tissue & Organ Cultures*, 1997, 51: 1930: 187–193.
- [26] DU H T(杜洪涛), LIU SH Q(刘世琦), ZHANG ZH(张珍). Effects of light quality on color pepper seedling growth and enzyme activity[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*(华北农学报), 2005, 20(2): 45–48(in Chinese).
- [27] 张艳艳. 单色光对烟草苗期生长发育和生理特性的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [28] WU Y Y(吴沿友), LIU J(刘健), HU Y G(胡永光). Characteristic analysis and application of light-emitting diode used as tissue culture light source[J]. *Journal of Jiangsu University*(Nat. Sci. Edi.) (江苏大学学报·自然科学版), 2007, 28(2): 93–96(in Chinese).
- [29] SHI H ZH(史宏志), HAN J F(韩锦峰), GONG CH Y(宫春云). Effects of red and blue light growth metabolism and quality of carbon and nitrogen of tobacco leaves[J]. *Acta Agronomica Sinica*(作物学报), 1999, 25(2): 215–220(in Chinese).
- [30] TONG ZH(童哲). Effect of light quality on seedling morphological purity[J]. *Plant Physiology Communications*(植物生理学通讯), 1989, (2): 28–31(in Chinese).
- [31] CHEN SH J(陈仕江), ZHONG G Y(钟国跃), XU J H(徐金辉). Coptis study on soluble sugar and amino acid contents during maternity leave[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*(中国中药杂志), 2005, 30(17): 13–26(in Chinese).
- [32] JIANG D(姜东), YU ZH W(于振文), LI Y K(李永康). Winter wheat leaf stem relationship between soluble sugar contents and starch accumulation[J]. *Journal of Triticeae Crops*(麦类作物学报), 2001, 21(3): 38(in Chinese).
- [33] KIM H H, GOINS G D, WHEELER R M, et al. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red-and blue-light-emitting diodes[J]. *Hort Science*, 2004, 39(7): 1 617–1 622.
- [34] HE X D(何小弟), SHAO Y CH(邵耀春), LI L J(李良俊). Preliminary study on the effect of light quality in tissue culture of *Chrysanthemum*[J]. *Laser Biology*(激光生物学), 1993, 2(2): 267–271(in Chinese).
- [35] MILIER G, SHULAEV V, MITTLER R. Reactive oxygen signaling and abiotic stress[J]. *Physiol. Plant*, 2008, 133: 481–489.
- [36] PU G B(蒲高斌), LIU SH Q(刘世琦), ZHANG ZH(张珍). Effect of light quality on the growth and antioxidant enzyme activities of tomato seedlings[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*(安徽农业科学), 2004, 32(5): 971–972(in Chinese).
- [37] WANG H(王虹), JIANG Y P(姜玉萍), SHI K(师恺), et al. Effects of light quality on leaf senescence and activities of antioxidant enzymes in cucumber plants[J]. *Scientia Agricultura Sinica*(中国农业科学), 2010, 43(3): 529–534(in Chinese).
- [38] DU J F(杜建芳), LIAO X R(廖祥儒), YE B Q(叶步青), et al. Effect of light quality on the growth and antioxidant enzyme activities of rape seedlings[J]. *Chinese Bulletin of Botany*(植物学通报), 2002, 19(6): 104–106(in Chinese).
- [39] WEN J F(文锦芬), KE X(柯学), XU C H(徐超华), et al. Light qualities on growth and antioxidant system in the process of tobacco leaf effect[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2011, 31(9): 1 799–1 804(in Chinese).