

光质对红树莓组培苗生长及部分生理生化特性的影响

郭芳^{1,2}, 刘海鹏^{1,2}, 李保国^{1,2}, 张雪梅^{1,2}, 齐国辉^{1,2}, 李迎超³

(1. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000; 2. 河北省林木种质资源与森林保护重点实验室, 河北 保定 071000;

3. 中国林业科学研究院 林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘 要:以红树莓‘海尔特兹’继代组培苗为试材,研究了不同光质处理下红树莓生根组培苗的形态、抗氧化酶活性以及碳氮代谢,以确立红树莓组培生根苗生长的适宜光质。结果表明:随着 R/B(红蓝比)的增加,红树莓生根组培苗的株高由 1.514 cm 逐渐增加到最大值 1.638 cm,在 4R/B(红:蓝=4:1)处理下表现为最大值,但与对照 W(白光)之间差异不显著,随后株高又随着 R/B 的增加而减小,在 10R/B(红:蓝=10:1)处理下表现为最小值 0.681 cm,显著小于对照 W;茎粗则随着 R/B 的增加由最大值 0.101 cm 逐渐减小到最小值 0.076 cm,R/4B(红:蓝=1:4)处理下表现为最大值,与对照 W 之间差异显著,10R/B 处理下表现为最小值,与对照 W 之间差异不显著;叶面积、生根率以及根长与茎粗呈现相同的变化趋势,均随着 R/B 的增加而减小,在 R/4B 处理下表现为最大值,分别为 0.751 cm²、0.786、1.369 cm,在 10R/B 处理下表现为最小值,分别为 0.211 cm²、0.357、0.369 cm;SOD 及 CAT 活性均随着 R/B 的增加逐渐由 R/4B 处理下的最小值(1.832 μg·g⁻¹FW、H₂O₂ 5.902 mg·g⁻¹FW)增加到 10R/B 处理下的最大值(10.953 μg·g⁻¹FW、H₂O₂ 46.978 mg·g⁻¹FW);POD 活性随着 R/B 的增加先由 R/4B 处理下的最小值(5.511 μg·g⁻¹FW)逐渐增加到 4R/B 处理下的最大值(20.934 μg·g⁻¹FW),随后又随着 R/B 的增加逐渐减小;MDA 含量随着 R/B 的增加逐渐由 R/4B 处理下的最小值(7.357 nmol·g⁻¹FW)逐渐增加到 10R/B 处理下的最大值(10.880 nmol·g⁻¹FW),极显著高于对照 W;碳水化合物含量随着 R/B 的增加由 200.204 mg·g⁻¹增加到最大值 313.917 mg·g⁻¹,在 R/B 处理下表现为最大值,且极显著高于对照 W,随后又随着 R/B 的增加逐渐减小到最小值 154.172 mg·g⁻¹,显著低于对照 W;游离氨基酸含量随着 R/B 的增加逐渐由 R/4B 处理下的最小值(16.903 mg·g⁻¹)增加到 10R/B 处理下的最大值(33.180 mg·g⁻¹);可溶性蛋白质含量随着 R/B 的增加逐渐由 R/4B 处理下的最大值(12.507 mg·g⁻¹)减小到 10R/B 处理下的最小值(2.147 mg·g⁻¹)。

关键词:光质;红树莓;组培苗;生长

中图分类号:S 633.203.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)22-0015-05

光质对植物的生长发育具有调控作用^[1],近年来,利用光质调节试管苗生长发育的研究备受国内外学者的关注^[2-4]。植物光合作用主要吸收红蓝光,但目前一

些探究 R/B 比率的光质研究中,大都采用有色膜、滤光片或荧光灯等获得光谱,无法精确调制光谱,由此得到的各种光质纯度并不一致,影响结论的可靠性。而新型发光二极管(light-emitting diodes,LEDs),凭借光质纯度高、低发热、光谱能量调制便捷、节能环保等优势,已逐渐取代荧光灯用于植物组织培养,成为新一代节能环保型光源。

红树莓(*Rubus idaeus* L.)作为享誉国际的第三代新兴保健水果,在全国各地掀起了种植热潮。组培苗具有繁殖系数高、品种提纯复壮、成活率高等突出优势,现已成为苗木繁育的主要手段。我国许多专家学者对红树莓的组培快繁进行了研究,但大多数均集中于培养基的

第一作者简介:郭芳(1990-),女,河北卢龙人,硕士研究生,研究方向为经济林栽培生理。E-mail:guofang901003@163.com.

责任作者:李保国(1958-),男,河北武邑人,博士,教授,博士生导师,现主要从事经济林栽培生理与山区开发技术研究及经济林栽培教学等工作。E-mail:lbgs88@163.com.

基金项目:河北省“十二五”科技支撑资助项目(16226806D);国家现代农业科技城成果惠民科技示范工程资助项目(Z141100002314009)。

收稿日期:2016-07-21

筛选研究,对于组培微环境的研究尚鲜见报道。为此,该试验采用 LEDs 光源设计了不同 R/B 处理试验,研究不同 R/B 处理对红树莓组培苗生长及生理生化特性的影响,以期为红树莓组培工厂化育苗提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为‘海尔特兹’红树莓继代组培苗 1 cm 左右的带芽茎段。

1.2 试验方法

1.2.1 光谱能量分布 采用中国林科院研制 LEDs 植物光源及调控设施。试验共设置 7 组 LED 光质处理,分别为白光、红:蓝=1:4、红:蓝=1:1、红:蓝=2:1、红:蓝=4:1、红:蓝=8:1、红:蓝=10:1,以白光为对照,以下分别用 W、R/4B、R/B、2R/B、4R/B、8R/B、10R/B 表示。

1.2.2 试验设计 试验于 2015 年 10—12 月在河北省南和县河北至高点农业科技有限公司组培中心进行。选择生长状况一致的‘海尔特兹’继代组培苗,将其剪成高度为 1 cm 左右的茎段,接种在生根培养基 1/2MS+6-BA 1.2 mg·L⁻¹+IBA 0.5 mg·L⁻¹+琼脂 5 g·L⁻¹+蔗糖 20 g·L⁻¹中,高压灭菌前 pH 5.8,培养瓶容积为 240 mL,每瓶 7 株,均匀分布。预培养 7 d 后,随机将组培苗放置在不同 R/B 的 LEDs 光源下,每种光质之间用黑色塑料袋隔开。调节电流以及光源与植株的距离,使光强保持一致(1 500 lx)。每处理 3 次重复。培养室温度(25±2)℃,湿度(50±5)%,光周期 16 h·d⁻¹。

1.3 项目测定

培养 50 d 后测定并统计生根组培苗的株高、生根率、根长、叶面积、茎粗、干鲜质量、可溶性蛋白质含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)、碳水化合物以及游离氨基酸含量。形态指标 5 次重复,生理指标 3 次重复。

用直尺测定株高、根长,用游标卡尺测定茎粗;用硫酸纸剪称重法测定叶面积^[5];采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白质含量;采用 NBT(氮蓝四唑)光化学还原法测定 SOD 活性;采用愈创木酚法测定 POD

活性;采用高锰酸钾滴定法测定 CAT 活性;采用蒽酮比色法测定碳水化合物含量;采用茚三酮溶液显色法测定游离氨基酸含量。

1.4 数据分析

采用 LSD 法对试验结果进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 光质对红树莓组培苗生根及形态的影响

由表 1 可知,红树莓生根组培苗的株高随着 R/B 的增加呈现先增大后减小的趋势,在 4R/B 处理下,表现为最大值(1.638 cm),其余处理均小于对照 W,10R/B 处理下表现为最小值(0.681 cm),其中只有 8R/B 和 10R/B 处理与对照 W 之间存在极显著差异,其余处理与对照 W 之间均无显著差异。红树莓生根组培苗的茎粗表现为随着 R/B 的增加而减小,R/4B 处理下表现为最大值(0.101 cm),显著高于对照 W,其余处理与对照 W 之间则均无显著差异。叶面积与茎粗呈现相同的变化趋势,随着 R/B 的增加而减小,R/4B 处理下表现为最大值(0.751 cm²),与对照 W 之间存在极显著差异,10R/B 处理下表现最小值(0.211 cm²),其与 4R/B 和 8R/B 之间无显著差异,但三者均极显著小于对照 W 及其它处理。生根率与根长呈现相同的变化趋势,均随着 R/B 的增加而减小,R/4B 处理下表现为最大值(0.786,1.369 cm),10R/B 处理下表现为最小值(0.357,0.369 cm),但各处理的生根率与根长的差异不一致,生根率中 R/4B、R/B 以及 2R/B 处理与对照 W 均无显著差异,4R/B、8R/B 以及 10R/B 处理均与对照 W 存在极显著差异,而根长中 R/4B 处理与对照 W 之间存在极显著差异,R/B、2R/B 以及 4R/B 处理与对照 W 之间均无显著差异,8R/B、10R/B 处理与对照 W 之间均存在极显著差异。红树莓生根组培苗鲜质量与干质量的变化趋势与差异均一致,随着 R/B 的增加呈现先增大后减小的趋势,R/B 处理下表现为最大值(1.138,0.182 g),10R/B 处理下表现为最小值(0.541,0.055 g),且 R/4B、R/B 以及 2R/B 处理均极显著大于对照 W,4R/B、8R/B 以及 10R/B 处理均极显著小于对照 W。因此认为,适量的增加红光含量有助于红树莓生根组培苗的伸长生长,但并不是红光含量越

表 1 不同光质下红树莓组培苗的生根及形态

Table 1 Rooting and morphology of red raspberry tissue culture plantlets under the different light qualities

光质	株高	茎粗	叶面积	生根率	根长	鲜质量	干质量
Light quality	Plant height/cm	Stem diameter/cm	Leaf area/cm ²	Rooting rate	Root length/cm	Fresh weight/g	Dry weight/g
W(CK)	1.617±0.285aA	0.086±0.010bcAB	0.585±0.194bB	0.686±0.241aA	0.807±0.392bcB	0.805±0.159bB	0.142±0.019bB
R/4B	1.514±0.321aA	0.101±0.019aA	0.751±0.100aA	0.786±0.168aA	1.369±0.498aA	1.089±0.213aA	0.180±0.017aA
R/B	1.599±0.239aA	0.093±0.018abAB	0.645±0.183abAB	0.771±0.225aA	1.058±0.197bAB	1.138±0.230aA	0.182±0.019aA
2R/B	1.610±0.405aA	0.089±0.013bAB	0.546±0.207bB	0.757±0.234aA	1.051±0.168bAB	1.120±0.185aA	0.180±0.012aA
4R/B	1.638±0.282aA	0.085±0.014bcAB	0.281±0.101cC	0.429±0.150bB	0.723±0.306cBC	0.572±0.170cC	0.061±0.017cC
8R/B	1.097±0.265bB	0.083±0.011bcB	0.227±0.069cC	0.414±0.171bB	0.390±0.111dCD	0.561±0.089cC	0.060±0.010cC
10R/B	0.681±0.171cC	0.076±0.008cB	0.211±0.085cC	0.357±0.193bB	0.369±0.120dD	0.541±0.081cC	0.055±0.017cC

多越好,在 10R/B 处理下会抑制伸长生长,蓝光则有助于矮壮,并促进红树莓生根组培苗叶的生长,同时,蓝光含量越多,越有利于红树莓组培苗的生根。

2.2 光质对红树莓生根组培苗叶片抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响

2.2.1 光质对红树莓生根组培苗叶片抗氧化酶活性的影响 由表 2 可知,红树莓生根组培苗叶片的 SOD 以及 CAT 活性均表现为随着 R/B 的增加而增大,在 10R/B 处理下,表现为最大值($10.593 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 、 H_2O_2 $46.978 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$),且均极显著高于对照 W,R/4B、R/B 以及 2R/B 处理的 SOD 和 CAT 活性无显著差异,与对照 W 之间差异也不显著,4R/B 处理下,CAT 活性显著高于 2R/B,而 SOD 活性则极显著高于 2R/B 处理,表明随着红光含量的增加,光胁迫逐渐加剧,红树莓组培苗通过提高 SOD、CAT 活性来有效地清除细胞中的超氧自由基,催化分解组织中的 H_2O_2 ,缓解光质对细胞质的伤害。而 POD 活性则随着 R/B 的增加呈现先增大后减小的趋势,在 4R/B 处理下表现为最大值($20.934 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$),显著高于对照 W 及其它处理,说明不同条件下,不同的酶可能处于主导地位,此消彼长,共同在植物体内协同作用,消除过量的活性氧,维持其代谢平衡,保护膜结构。

表 2 不同光质下红树莓生根组培苗叶片抗氧化酶活性

Table 2 Antioxidant enzyme activity of leaves of red raspberry tissue culture plantlets under the different light qualities

光质 Light quality	超氧化物歧化酶活性 SOD activity /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)	过氧化物酶活性 POD activity /($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)	过氧化氢酶活性 CAT activity /($\text{H}_2\text{O}_2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)
W(CK)	1.826±0.389dC	5.927±0.529cCD	5.824±0.044dD
R/4B	1.832±0.405dC	5.511±0.771cD	5.902±0.040dD
R/B	1.826±0.378dC	7.984±0.393bBC	11.657±0.160dD
2R/B	2.311±0.406dC	8.344±0.601bB	13.741±3.368dCD
4R/B	4.583±0.725cB	20.934±2.027aA	25.380±3.590cBC
8R/B	8.564±1.428bA	6.819±0.320bcBCD	37.394±3.456bAB
10R/B	10.593±1.443aA	6.898±0.341bcBCD	46.978±11.765aA

表 4 不同光质下红树莓组培苗叶片的碳氮代谢

Table 4 Carbon and nitrogen metabolism of leaves of red raspberry tissue culture plantlets under the different light qualities

光质 Light quality	可溶性糖含量 Soluble sugar content /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	淀粉含量 Starch content /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	蔗糖含量 Sucrose content /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	碳水化合物含量 Carbohydrate content /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	游离氨基酸含量 Free amino acid content /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	C/N
W(CK)	93.903±12.800aA	32.540±6.214bA	67.310±5.002fE	193.753±13.947bBC	19.147±1.737bB	4.193±0.833bB	4.959±1.066aAB
R/4B	70.603±8.963bB	32.988±3.343bA	96.614±1.428dCD	200.204±12.341bB	16.903±3.924bB	12.507±1.117aA	4.365±1.273abAB
R/B	94.624±8.808aA	34.700±2.369abA	184.593±19.437aA	313.917±24.701aA	18.165±0.744bB	10.958±2.577aA	5.213±0.500aA
2R/B	104.523±8.134aA	39.851±2.342aA	148.944±6.143bB	293.318±13.713aA	20.295±1.928bB	10.928±0.569aA	5.196±0.815aA
4R/B	63.124±1.613bBC	38.234±2.409abA	121.037±14.678cBC	222.395±14.585bB	21.108±1.492bB	2.325±0.185cbB	2.998±0.179bcBC
8R/B	63.959±1.396bBC	38.533±1.598abA	92.206±5.501deDE	194.698±5.205bBC	32.060±3.124aA	2.347±0.291cbB	2.007±0.181cdC
10R/B	43.658±11.256cC	38.754±3.244abA	71.759±10.845efDE	154.172±23.666cC	33.180±1.832aA	2.147±0.521cbB	1.331±0.422dC

2.2.2 光质对红树莓生根组培苗叶片丙二醛含量的影响 由表 3 可知,红树莓生根组培苗叶片的丙二醛含量随着 R/B 的增加逐渐增大,10R/B 处理下表现为最大值($10.880 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$),极显著高于对照 W。由表 3 还可知,红蓝复合光处理的丙二醛含量均高于对照 W,除 R/4B 处理与对照 W 无显著差异外,其余处理均与对照 W 存在显著差异,可见在红蓝复合光照射下,红树莓生根组培苗的叶片细胞均产生了自由基,使膜质中不饱和脂肪酸发生膜质过氧化,从而使叶片中的 MDA 含量增加,且红光含量越多,增加的效果越显著。

表 3 不同光质下红树莓生根组培苗叶片丙二醛含量

Table 3 MDA content of leaves of red raspberry tissue culture plantlets under the different light qualities

光质 Light quality	丙二醛含量 MDA content/($\text{nmol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$)
W(CK)	6.068±0.941dD
R/4B	7.357±0.529cdCD
R/B	7.976±0.789cBCD
2R/B	8.623±1.476bcBC
4R/B	9.475±0.685abAB
8R/B	9.840±0.269abAB
10R/B	10.880±0.805aA

2.3 光质对红树莓生根组培苗叶片碳氮代谢的影响

由表 4 可知,红树莓生根组培苗叶片的碳氮代谢与光质有很大关系。碳水化合物含量均随着 R/B 的增加呈现先增大后减小的趋势,可溶性糖、淀粉含量在 2R/B 处理下表现为最大值($104.523, 39.851 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),其中可溶性糖含量与对照 W 之间差异不显著,淀粉含量则与对照 W 存在显著差异;而蔗糖、碳水化合物含量均在 R/B 处理下表现为最大值($184.593, 313.917 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),且均与对照 W 之间存在极显著差异。游离氨基酸含量随着 R/B 的增加呈现增大的趋势,10R/B 处理下表现为最大值($33.180 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),其与 8R/B 处理之间差异不显著,但与对照 W 及其它红蓝复合光处理之间均存在极显著差异。可溶性蛋白质含量则随着 R/B 的增加呈现减小的趋势,R/4B 处理下表现为最大值

(12.507 mg · g⁻¹), 极显著高于对照 W, 10R/B 处理下表现为最小值(2.147 mg · g⁻¹), 且显著低于对照 W。C/N 随着 R/B 的增加表现为先增大后减小, R/B 处理下表现为最大值(5.213), 但其与对照 W 以及 R/4B、2R/B 之间差异不显著, 最小值(1.331)则出现在 10R/B 处理下, 其与对照 W 之间存在极显著差异。由此可知, 在红蓝光比例相同时, 红树莓生根组培苗积累了较多的碳水化合物, 碳代谢旺盛, 使 C/N 达到最大值, 为光合生长奠定了物质基础, 游离氨基酸含量则在 10R/B 处理下最高, 说明在大含量的红光照射下, 氮代谢活跃, 使 C/N 表现为最小值。

3 结论与讨论

研究发现, 在红蓝复合光中适当的增加红光含量, 有助于红树莓组培苗的伸长生长, 但若过量增加红光含量, 当 R/B 超过 4 时, 则会出现抑制; 蓝光则明显有利于红树莓生根组培苗的矮壮, 并促进其叶的生长, 同时, 蓝光有助于红树莓组培苗的生根并促进根的伸长, 并且在 R/B 小于 2 时, 红树莓生根组培苗的生物量也呈现较大值; 红蓝复合光照射下均使红树莓生根组培苗叶片产生了自由基使膜质中不饱和脂肪酸发生膜质过氧化, 从而造成了红蓝复合光下的 MDA 含量高于对照 W, 且红光含量越多, 增加的效果越显著; SOD 以及 CAT 活性随着 R/B 的增大而增大, 而 POD 活性则随着 R/B 的增大呈现先增大后减小的趋势; 该研究还发现, 光质对红树莓生根组培苗叶片的碳氮代谢也产生了很大影响, 碳水化合物含量均随着 R/B 的增加呈现先增大后减小的趋势, 游离氨基酸含量随着 R/B 的增加呈现增大的趋势, 可溶性蛋白质含量则随着 R/B 的增加呈现减小的趋势, C/N 随着 R/B 的增加表现为先增大后减小, 在红蓝光比例相同时, 红树莓生根组培苗积累了较多的碳水化合物, 碳代谢旺盛, 使 C/N 达到最大值, 为光合生长奠定了物质基础, 游离氨基酸含量则在 10R/B 处理下最高, 说明在大含量的红光照射下, 氮代谢活跃, 使 C/N 表现为最小值。

MDA 是细胞膜质过氧化作用的产物之一, 其含量的高低可以代表膜质过氧化的程度, 从而反映出植物抗氧化能力的强弱。该试验中, 红蓝复合光照射下均使红树莓生根组培苗叶片产生了自由基使膜质中不饱和脂肪酸发生膜质过氧化, 从而使得红蓝组合复合光下叶片 MDA 含量均高于对照 W, 且随着 R/B 的增加, MDA 含量逐渐增加, 虽然红树莓组培苗叶片的 SOD 及 CAT 活性也随着 R/B 的增加而显著上升, 但仍不足以清除体内过量的活性氧和自由基, 这与王婷^[6]、王虹^[7]研究结果不一致, 可能是由于不同的植物对光质的响应不同, 并且复合光的作用效应并不是单色光作用简单累加, 而是一个复杂的响应过程, 这也许是光谱与植物光谱色素系统

相互作用的结果^[8], 还需要进一步试验证明。

当植物体受到外界逆境胁迫时, 会产生一定量的氧自由基, 同时, 植物体本身具有自身的氧自由基清除系统, 进而防止过量积累的氧自由基对植物体产生危害, SOD、POD、CAT 都是植物体内重要的保护酶, 参与体内重要的生理活动。该研究中, 随着 R/B 的增加, 红树莓组培苗提高 SOD、CAT 活性来有效地清除细胞中的超氧自由基, 可能是由于大含量的红光照射促进了该基因的表达, 以缓解光质对细胞质的伤害, 而 POD 活性则在 4R/B 处理下达到最大, 说明不同光质影响红树莓生根组培苗叶片的抗氧化酶活性, 且它们之间协同地防止活性氧的损伤效应, 相互间还起着保护作用, SOD 对超氧离子的清除同时可以保护 CAT, 所以 CAT 活性受 SOD 活性的影响, SOD 活性越大, CAT 活性也会相对越大^[9]。

蔗糖是光合作用的主要产物, 而光合产物主要以淀粉的形式储存在植物体内, 可溶性糖则作为碳水化合物代谢和暂时贮藏的主要形式, 在植物的碳代谢过程中占有重要地位^[10]。前人研究发现, 红光有利于可溶性糖和淀粉的累积, 而蓝光则有利于可溶性蛋白质的积累^[11-13], 该研究中可溶性糖含量随着 R/B 的增加呈现先增大后减小的趋势, 与前人研究结果不一致, 可能是由于不同的植物对光质的响应不同, 在 R/B 大于 1 处理下, 红树莓生根组培苗叶片均含有较高的淀粉含量, 可能是红光通过抑制光合产物从叶片向外的转运过程^[10], 引起淀粉在叶片中大量积累。可溶性蛋白质含量则随着 R/B 的增加呈现减小的趋势, 蓝光通过促进线粒体的暗呼吸, 为氨基酸的合成提供碳架^[14], 并且蓝光对 NR 有激活作用, 这样就为蛋白质的合成提供了更多的可同化态的氮源^[15-16], 从而促进了可溶性蛋白质含量的增加, 为红树莓组培苗的生长发育奠定了结构物质基础。

该研究认为, 红蓝复合光有利于红树莓生根组培苗的生长, 在 R/4B、R/B 以及 2R/B 处理下, 红树莓生根组培苗的性状表现较优, 因此可以用红蓝复合光质 LED 代替白光 LED。

参考文献

- [1] NAOYA F, MITSUKO K Y, MASAMI U, et al. Effects of light quality, intensity and duration from different artificial light sources on the growth of petunia (*Petunia × hybrida* Vilm.) [J]. J Jpn Soc Hortic Sci, 2002, 71: 509-516.
- [2] GUO S, LIU X, AI W, et al. Development of an improved ground-based prototype of space plant-growing facility [J]. Advances in Space Research, 2008, 41: 736-741.
- [3] SHIN K S, MURTHY H N, HEO J W, et al. The effect of light quality on the growth and development of *in vitro* cultured *Doritaenopsis* plants [J]. Acta Physiol Plant, 2008, 30: 339-343.
- [4] 刘媛, 李胜, 马绍英, 等. 不同光质对葡萄试管苗离体培养生长发育的影响 [J]. 园艺学报, 2009, 36(8): 1105-1112.
- [5] 冯东霞, 施生锦. 叶面积测定方法的研究效果初报 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(6): 150-155.

- [6] 王婷. LED光源不同光质对不结球白菜生理生化特性及叶绿体超微结构的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2011.
- [7] 王虹. 光质对黄瓜幼苗光合效率和白粉病抗性的调控机制[D]. 杭州:浙江大学, 2009.
- [8] 刘晓英, 徐志刚, 常涛涛, 等. 不同光质 LED弱光对樱桃番茄植株形态和光合性能的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(4): 645-651.
- [9] 周琳, 陈周一琪, 王玉花, 等. 光质对茶树愈伤组织中茶多酚及抗氧化酶活性的影响[J]. 茶叶科学, 2012(3): 210-216.
- [10] 李慧敏. 不同光源对棉花、油菜和不结球白菜组培苗与实生苗生长的影响[D]. 南京:南京农业大学, 2012.
- [11] 王婷, 李雯琳, 巩芳娥, 等. LED光源不同光质对不结球白菜生长及生理特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011(4): 69-73.
- [12] 陈文昊, 徐志刚, 刘晓英, 等. LED光源对不同品种生菜生长和品质的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(7): 1434-1440.
- [13] 唐大为, 张国斌, 张帆, 等. LED光源不同光质对黄瓜幼苗生长及生理生化特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011(1): 44-48.
- [14] KOWALLIK W. Blue light effects on respiration[J]. Annu Rev Plant Physiol, 1982, 33: 51-72.
- [15] NINNEMANN H. Some aspects of blue light research during last decade[J]. Photochem Photobiol, 1995, 61: 22-31.
- [16] 吴毅明, 徐师华. 温室塑料棚环境管理[M]. 北京:北京农业出版社, 1990: 4-6, 20.

Effect of Light Quality on Growth and Partial Physiological and Biochemical Characteristics of Red Raspberry Tissue Culture Plantlets

GUO Fang^{1,2}, LIU Haipeng^{1,2}, LI Baoguo^{1,2}, ZHANG Xuemei^{1,2}, QI Guohui^{1,2}, LI Yingchao³

(1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. Key Laboratory of Forest Resources and Forest Conservation in Hebei Province, Baoding, Hebei 071000; 3. Forestry Research Institute, Chinese Academy of Forestry Sciences/Key Laboratory of Forest Cultivation of State Forestry Bureau, Beijing 100091)

Abstract: In order to establish suitable light quality for the growth of red raspberry tissue culture plantlets, using red raspberry ‘Heritage’ tissue culture plantlets as experimental material, the morphology, antioxidant enzyme activity, carbon and nitrogen metabolism were studied. The results showed that, with the increasing of R/B (ratio of red to blue), red raspberry tissue culture plantlet’s height gradually increased from 1.514 cm to a maximum of 1.638 cm, it was the maximum value at 4R/B (red : blue = 4 : 1), but the difference was not significant with W (white), then the height of the plant decreased with the increase of R/B, the minimum value was 0.681 cm at 10R/B (red : blue = 10 : 1), significantly less than the W. Stem diameter from a maximum of 0.101 cm reduced to the minimum value of 0.076 cm with the increase of R/B, it was the maximum value at R/4B (red : blue = 1 : 4), the difference was significant with W, it was the minimum value at 10R/B. Leaf area, rooting rate and root length showed the same trend with stem diameter, all decreased with the increase of R/B, it was the maximum value at R/4B, was 0.751 cm², 0.786, 1.369 cm, it was the minimum value at 10R/B, was 0.211 cm², 0.357, 0.369 cm; SOD and CAT activity increased gradually from the minimum value (1.832 μg · g⁻¹ FW, H₂O₂ 5.902 mg · g⁻¹ FW) of R/4B to the maximum value (10.953 μg · g⁻¹ FW, H₂O₂ 46.978 mg · g⁻¹ FW) of 10R/B with the increase of R/B; POD activity increased gradually from the minimum value (5.511 μg · g⁻¹ FW) of R/4B to the maximum value (20.934 μg · g⁻¹ FW) of 4R/B, and then gradually decreased with the increase of R/B; MDA content increased gradually from the minimum value (7.357 nmol · g⁻¹ FW) of R/4B to the maximum value (10.880 nmol · g⁻¹ FW) of 10R/B with the increase of R/B. Carbohydrate content increased gradually from 200.204 mg · g⁻¹ to the maximum value (313.917 mg · g⁻¹), it was the maximum value at R/B and very significantly higher than W, then gradually decreased with the increasing of R/B, the minimum value was 154.172 mg · g⁻¹ at 10R/B, significantly lower than W. The content of free amino acid increased gradually from the minimum value (16.903 mg · g⁻¹) of R/4B to the maximum value (33.180 mg · g⁻¹) of 10R/B with the increase of R/B. Soluble protein content gradually decreased from the maximum value (12.507 mg · g⁻¹) of R/4B to the minimum value (2.147 mg · g⁻¹) of 10R/B with the increase of R/B.

Keywords: light quality; red raspberry; tissue culture plantlets; growth