

LED光质对决明芽苗菜光合色素和营养品质的影响

王静^{a,b}, 姜静^a, 王丹^{a,b}, 王茹丹^a, 李汇阳^a, 李景原^{a,b}

(河南师范大学 a. 生命科学学院; b. 河南省绿色药材生物技术工程实验室, 河南 新乡 453007)

摘要:以决明(*Cassia tora* L.)幼苗为材料,采用半导体发光二极管光源(LED)精确调制白光(W)、红光(R)、蓝光(B)、绿光(G),对决明(*C. tora*)芽苗进行2 h的辐照处理,探究对决明(*C. tora*)芽苗菜光合色素、可溶性糖、可溶性蛋白、总酚、类黄酮及花青素含量的影响.结果表明:以室内自然光处理(D)为对照,各光质都显著提高决明(*C. tora*)芽苗菜中叶绿素及类胡萝卜素的含量,绿光处理叶绿素a含量增加了31.73%,白光处理叶绿素b以及叶绿素总含量、类胡萝卜素含量分别增加了50.20%、33.62%、52.71%;红光处理可溶性糖含量增加了57.04%;蓝光、白光和红光处理可溶性蛋白含量分别增加了69.33%、51.74%、40.58%;几种光质处理后总酚和类黄酮含量都明显高于对照组,但不同光质间差异不明显;蓝光处理花青素含量最高,增加了32.89%.生产中可通过增加LED照射提高决明(*C. tora*)芽苗菜的营养品质.

关键词:LED光质;决明;芽苗菜;光合色素;营养品质

中图分类号:Q945

文献标志码:A

决明(*C. tora*),又称草决明,决明子是其成熟种子,有降血压明目的功能,《本草纲目》记载:“决明子除肝胆风热,淫肤白膜,青盲”.决明子是国家公布的药食两用植物产品,其主要有效成分是酚类、花青素和类黄酮类物质.决明(*C. tora*)芽苗菜是由决明子萌芽生产的芽苗菜,因质地鲜嫩、营养丰富又容易种植,深受人们欢迎.通常使用土壤平面栽培或无土立体栽培生产决明(*C. tora*)芽苗菜^[1],但生产过程中光照条件对其生长和品质的影响尚未系统研究.然而大量研究表明,光对植物的生长发育、营养成分和基因表达都有显著影响^[2],因此,在产品种植过程中调节光照条件,尤其是调节光质以提高产量及品质值得进一步深入研究.

半导体光源LED(light emitting diode)是高效节能冷光源,可以准确调制光谱能量,分离出单色光质,容易组合和分散控制.以此为光源研究光质对芽苗菜成分的影响,可提高实验结果的精确性与可靠性.本试验以决明(*C. tora*)芽苗菜为材料,分别采用白、红、蓝、绿4种光质探究不同光质对决明(*C. tora*)芽苗菜叶绿素、类胡萝卜素以及可溶性糖、可溶性蛋白、酚类物质等有效成分的影响,以期采用不同光质提高决明(*C. tora*)芽苗菜的营养品质.

1 实验材料与方法

1.1 实验材料

本实验材料为决明子,选择籽粒饱满的决明子种子,浸泡于50℃的蒸馏水中,恒温浸种4 h,均匀播种于铺有吸水纸和纱布的育苗盘中,将育苗盘放置在盛有清水的托盘中(清水接触育苗盘底部即可,避免种子全部浸没水中影响生长).放置于培养架上黑暗水培培养,待长至两片子叶完全张开后进行不同的光照处理.培养室温度为(22±1)℃.

收稿日期:2016-09-10;修回日期:2017-02-01.

基金项目:国家自然科学基金(31270225);高等学校重点科研项目(15A180015);河南师范大学青年科学基金(2015QK16).

作者简介:王静(1978-),女,河南温县人,河南师范大学讲师,博士,研究方向为主要从事植物形态学与生理生化的研究,
E-mail:wwj9812@126.com.

通信作者:李景原,河南师范大学教授,博士,E-mail:1273739598@qq.com.

1.2 实验方法

1.2.1 光质处理

实验所用光源分为LED白光(W)、红光(R)、蓝光(B)和绿光(G)(郑州天阳新能源科技有限公司)。以室内自然光生长的材料(D)为对照,对实验组分别进行2h光照处理后测定各项指标。LED灯的光谱能量分布主要技术参数见表1。调节光源到植物的距离,使光子照度为 $(35 \pm 5) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

表1 不同LED光谱能量分布的主要技术参数

处 理	光质配比	峰值波长/nm	波长半宽/nm	光子照度/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
白光(W)	100%白光	450~620	—	35
红光(R)	100%红光	658	5	35
蓝光(B)	100%蓝光	460	5	35
绿光(G)	100%绿光	520	5	35

1.2.2 叶绿素和类胡萝卜素的测定

叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素质量分数的测定采用分光光度法^[3]:选取0.50g新鲜决明芽苗,剪成细丝后投入试管中,加入4mL无水乙醇和4mL丙酮试剂(避光、密封、32℃恒温),24h后即可完全提取(叶片细丝变成白色,液体变成绿色)。叶绿素a、叶绿素b、叶绿素a+b和类胡萝卜素质量分数通过分别测量 OD_{663} 、 OD_{645} 、 OD_{470} (紫外分光光度计,中国,上海,上海精密科学仪器有限公司),计算出叶绿素a质量浓度 $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$: $C_a = 12.21 A_{663} - 2.59 A_{645}$;叶绿素b质量浓度 $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$: $C_b = 22.88 A_{663} - 4.67 A_{645}$;叶绿素总质量浓度 $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$: $C_{a+b} = C_a + C_b$;类胡萝卜素质量浓度 $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$: $C_{\text{类胡萝卜素}} = (1000 A_{470} - 3.27 C_a - 104 C_b) / 229$,并换算成每克鲜重质量分数 $(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$ 。

1.2.3 溶性糖质量分数的测定

可溶性糖质量分数的测定采用蒽酮比色法^[3]:称取0.50g新鲜决明芽苗,用80℃蒸馏水5mL充分研磨后,全部转移到10mL离心管中,加盖。80℃保温30min(期间数次摇晃离心管)。然后加蒸馏水定容至10mL,3500 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心15min。取上清100 μL 并稀释10倍(对照用1mL蒸馏水),加入4mL蒽酮试剂,沸水浴10min,冷却后测量 OD_{620} 。

1.2.4 可溶性蛋白质质量分数的测定

可溶性蛋白质质量分数的测定采用考马斯亮蓝G-250染色法^[3]:称取0.50g新鲜决明芽苗,加蒸馏水5mL并冰浴充分研磨。4℃环境下12000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心20min。取上清液1mL与考马斯亮蓝溶液5mL混匀,2min后,以考马斯亮蓝溶液为对照,测 OD_{595} 。

1.2.5 总酚质量分数的测定

总酚质量分数测定采用Singleton等^[4]的方法进行并稍作改动。取0.50g样品干粉于离心管内,加入50%乙醇5mL随后放入恒温水浴振荡器内(30℃、150 rmin^{-1})避光提取1.5h。6000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心15min。吸取1mL提取液置于25mL容量瓶中,加入1mL福林酚(Folin-Phenol)试剂,充分混匀后加入10mL7%碳酸钠溶液并用蒸馏水定容至25mL,不时震荡。避光放置2h后测 OD_{766} 。

1.2.6 类黄酮质量分数的测定

类黄酮质量分数测定参照Lin等^[5]的方法:称取0.50g样品干粉,加10mL70%乙醇,于70℃条件下提取2.5h,期间不时震荡,然后于6000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心10min。取1mL提取液置于10mL容量瓶中,用60%乙醇加至4mL。加入5%亚硝酸钠溶液0.4mL,摇匀后静置6min。加入10%硝酸铝溶液0.4mL,摇匀后静置6min。加入4%氢氧化钠溶液4mL,用60%乙醇定容至刻度,摇匀静置15min后测 OD_{510} 。

1.2.7 花青素含量的测定

花青素的测定采用1%盐酸-甲醇法^[6]:取0.50g新鲜决明芽苗,用少量预冷的1%HCL-甲醇溶液充分冰浴研磨,转移至试管中,并用1%HCL-甲醇溶液定容至20mL,于4℃避光提取20min,期间摇动数次,避光过滤后收集滤液待用。以1%HCL-甲醇溶液作对照,测 OD_{530} 、 OD_{560} 。

1.2.8 数据处理

采用 Excel 2010 软件进行数据处理, SPSS19.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 LED 光质对决明 (*C. tora*) 芽苗菜叶绿素以及类胡萝卜素质量分数的影响

由图 1 可知,用白、红、蓝、绿 4 种不同的 LED 灯处理 2 h 后,叶绿素的质量分数均明显高于对照组,其中绿光处理下的叶绿素 a 质量分数最高,达到 $2.13 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,它们的叶绿素 a 质量分数的从大到小依次为:G,W,B,R,D,比对照组分别增加了 31.73%、24.30%、18.00%、1.69%,差异均达到了极显著水平 ($p < 0.01$);白光处理下的叶绿素 b 质量分数明显最高,达到 $1.36 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,比对照组增加了 50.20%,差异达到极显著水平 ($p < 0.01$),叶绿素 b 质量分数的从大到小依次为:W,G,R,B,D;各光质处理后的叶绿素 a 与 b 的总质量分数均高于对照组,其叶绿素 a、b 总质量分数的从大到小依次为:W,G,B,R,D,比对照组分别增加了 33.62%、30.48%、12.03%、7.90%,差异均达到极显著水平 ($p < 0.01$);白光处理下的类胡萝卜素质量分数最高,达到 $0.36 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,比对照组增加了 52.71%,差异达到了极显著水平 ($p < 0.01$),它们的类胡萝卜素质量分数从大到小依次为:W,G,B,R,D。

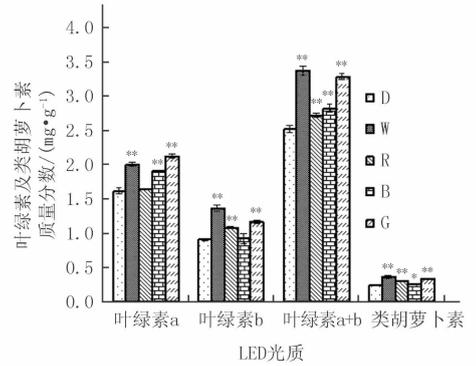


图1 LED光质对决明(*C. tora*)芽苗菜叶绿素及类胡萝卜素质量分数的影响

2.2 LED 光质对对决明 (*C. tora*) 芽苗菜可溶性糖质量分数的影响

由图 2 可知,决明 (*C. tora*) 芽苗在红光、蓝光和白光培养 2 h 后,其可溶性糖质量分数均高于对照组,其中红光处理下质量分数最高,达到 $15.72 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,与对照组相比增加了 57.04%,差异达到了极显著水平 ($p < 0.01$);绿光处理下质量分数最低,为 $9.57 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,差异不显著。它们的可溶性糖质量分数从大到小依次为:R,B,W,D,G,在红光处理下决明子芽苗菜中可溶性糖的质量分数明显高于其他处理,而蓝光与白光处理后质量分数接近。

2.3 LED 光质对决明 (*C. tora*) 芽苗菜可溶性蛋白质量分数

由图 3 可知,蓝光、白光和红光处理下的决明 (*C. tora*) 芽苗,其可溶性蛋白的质量分数高于对照组,其中蓝光处理下的可溶性蛋白质量分数最高,达到 $23.54 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,比对照组增加了 69.33%,差异达到了极显著性 ($p < 0.01$);绿光处理下的可溶性蛋白质量分数最低,为 $13.52 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,差异不显著。它们的可溶性蛋白质量分数从大到小依次为:B,W,R,D,G。

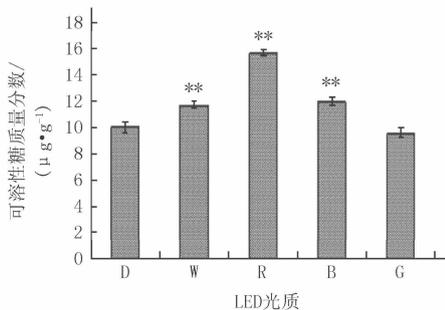


图2 LED光质对决明(*C. tora*)芽苗菜可溶性糖质量分数的影响

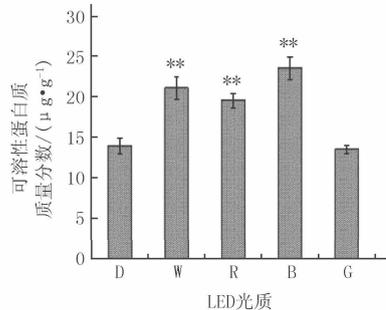


图3 LED光质对决明(*C. tora*)芽苗菜可溶性蛋白质量分数的影响

2.4 LED 光质对决明 (*C. tora*) 芽苗菜总酚质量分数的影响

由图 4 可知,相对于对照组,各光质均可显著提高决明 (*C. tora*) 芽苗总酚的质量分数,都利于总酚质量分数的生成,其中绿光照射下总酚质量分数最多,为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,比对照组增加了 48.82%,差异达到极显

著水平($p < 0.01$),各光质处理之间总酚的质量分数无明显差异。

2.5 LED光质对决明(*C. tora*)芽苗菜类黄酮质量分数的影响

由图5可知,相对于对照组,各光质均可显著提高决明(*C. tora*)芽苗菜类黄酮的质量分数,都利于类黄酮质量分数的生成,绿光照射下类黄酮质量分数最多,与对照组相比增加了74.28%,差异达到极显著水平($p < 0.01$).各光质处理之间类黄酮的质量分数无明显差异。

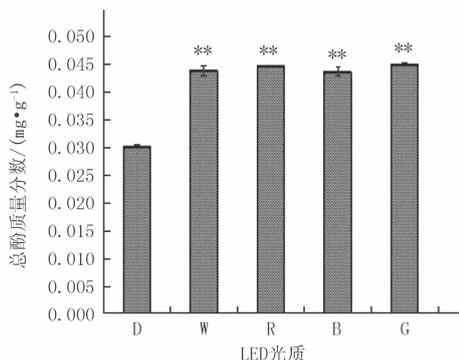


图4 LED光质对决明(*C. tora*)芽苗菜总酚质量分数的影响

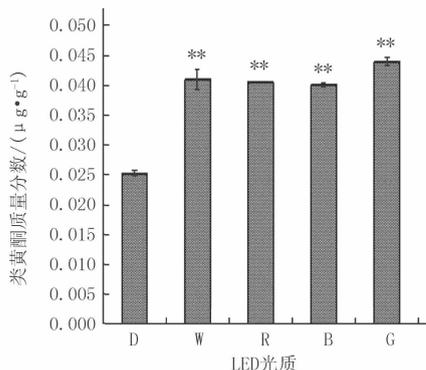


图5 LED光质对决明(*C. tora*)芽苗菜类黄酮质量分数的影响

2.6 LED光质对决明(*C. tora*)芽苗菜花青素含量的影响

由图6可知,相对于对照组,各光质均可提高决明(*C. tora*)芽苗花青素的含量,白光照射2h后,比对照组增加7.89%,差异达到显著水平($0.01 > p > 0.05$);蓝光、绿光、红光在处理2h后的花青素含量分别比对照组增加了32.89%、15.79%、10.53%,差异达到极显著水平($p < 0.01$).

3 讨论

叶绿素和类胡萝卜素是主要的光合色素,其含量可直接影响植物叶片的光合速率等光合特性^[7].赵占娟^[8]等在光质对绿豆幼苗叶片超微弱发光及叶绿素含量的影响的研究中发现生长在白光下的绿豆幼苗叶片叶绿素含量最高,与本试验结果相一致;李慧敏^[9]等研究大叶蚕豆芽苗菜中发现红光比白光更有利于叶绿素及类胡萝卜素含量的积累,孙丽^[10]等在研究不同光质对萝卜芽苗菜的影响中发现,蓝光比红光更有利于叶绿素的积累,然而,本试验结果发现,白、红、蓝、绿4种光质均有利于叶绿素及类胡萝卜素的积累,且白光、绿光比红光、蓝光提高其幅度更大,这可能因为植物种类不同,其叶片对不同光质吸收的比例也不同.而白光比其他光质更有利于提高色素含量,可能是因为有些光质的光照强度对决明子芽苗菜形成了弱光胁迫,不利于芽苗菜的生长和光合色素的积累^[10].

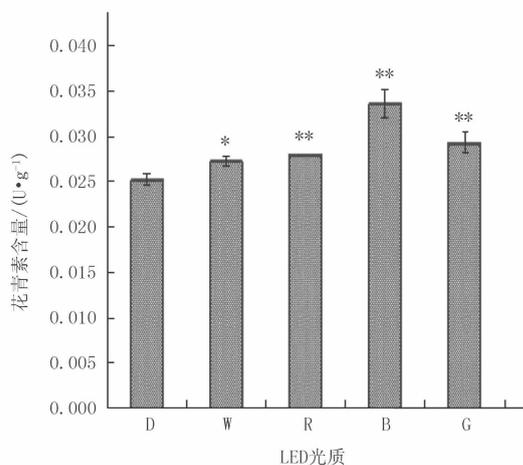


图6 LED光质对决明(*C. tora*)芽苗菜花青素含量的影响

本研究发现红光能明显提高决明(*C. tora*)芽苗菜中可溶性糖的含量,与张欢等^[11]研究不同光质对萝卜芽苗菜的生长和营养品质的影响的结果一致.本研究发现蓝光显著提高了决明(*C. tora*)芽苗菜中可溶性蛋白的含量.蓝光可以明显地促进氮代谢,提高蛋白质和游离氨基酸的含量,这与Kowalik^[12]研究蓝光对呼吸作用的光效应的结果一致,蓝光有助于促进线粒体的暗呼吸,为氨基酸的生成提供了碳架,从而在一定程度上提高了植物体内氨基酸的含量.蛋白质是大分子物质,合成时需要更多的能量,而蓝光对硝酸还原酶(NR)的激活作用^[13]比其他光质强,能够为蛋白质的合成提供了较多的可同化态的氮源.有研究^[14]表明蓝光可诱

导抗氧化酶基因的表达和酶活的上升,从而抑制了植物体内可溶性蛋白的降解而提高可溶性蛋白的含量.另外蓝光促进可溶性蛋白含量的提高可能与蓝光区的光量子能量较高有关^[16],蓝光区波长短能量高,与其他光质相比,蓝光可以为蛋白质合成提供更多能量,故蓝光处理可以提升可溶性蛋白的含量.

酚类物质、类黄酮和花青素与蔬菜的色泽发育、品质和风味形成、成熟衰老、抗逆性和抗病性代谢等密切相关^[16].许多研究表明,酚类物质的生物合成和积累受到光环境的影响,包括光强、光质、光周期^[17].鲁燕舞在光质对萝卜芽苗菜总酚类物质含量及抗氧化能力的影响中发现蓝光可显著提高“杨花萝卜”的总酚类物质;Giedre等^[18]的研究发现:在萝卜芽苗菜中,红光和复合光即红、蓝、远红、紫外均显著提高了总酚类的含量.本研究发现各光质处理均显著提高了决明(*C. tora*)芽苗总酚含量,其中绿光处理后的总酚含量增加最多,并且差异达到了极显著水平,但不同光质间差异不明显.张立伟^[19]等在光质对萝卜芽苗菜营养品质的影响中发现蓝光与白光处理能显著提高萝卜芽苗菜类黄酮的含量,本试验结果发现各光质均可明显提高决明(*C. tora*)芽苗中类黄酮的含量,且以绿光处理后增加的最多,但不同光质间差异不明显.本试验结果中各光质均可提高决明(*C. tora*)芽苗中花青素的含量,且以蓝光处理后增加的最多,这与赵森等^[20]研究不同光质对草莓果实成熟过程中色素类物质含量的影响结果一致.本试验结果中,绿光最有利于类黄酮和总酚的积累,蓝光最有利于花青素的积累,表明不同光质可以调控不同次生代谢产物的分配.

结果表明,红、蓝、白、绿几种光质对决明(*C. tora*)芽苗菜的食用价值都有所提高,白光更有利于提高其叶绿素以及类胡萝卜素的含量;红光更有利于提高其可溶性糖的含量;蓝光更有利于提高其可溶性蛋白及花青素的含量,对提高决明(*C. tora*)芽苗菜的营养品质及特性有明显的促进作用;绿光更有利于提高其总酚和类黄酮的含量.生产中可通过增加LED照射提高决明(*C. tora*)芽苗菜的营养品质.

参 考 文 献

- [1] 马超,张欢,郭银生,等. LED在芽苗菜生产中的应用及前景[J]. 中国蔬菜, 2010, (20): 32-33.
- [2] 张静,梁卫红. 2种非生物胁迫和7种激素对水稻OsAQP基因表达的影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(1): 105-109.
- [3] 刘萍,吕宝鹤,卢芳,等. 叶面喷施磷酸二氢钾对菊花蕾期叶片生理生化指标的影响[J]. 湖北农业科学, 2016(1): 124-127.
- [4] Singleton V L, Orthofer R, Lamuela-Raventos RM Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent[J]. Methods Enzymol, 1999, 299: 152 - 178.
- [5] Yin, Lin, Min-Feng et al. Content determination of the flavonoids in the different parts and different species of *Abelmoschus esculentus* L. by reversed phase-high performance liquid chromatograph and colorimetric method[J]. Pharmacognosy magazine, 2014, 39(10): 278-284.
- [6] 王静,冯娜娜,王丹,等. UV-B辐射对紫花苜蓿幼苗品质和抗氧化性的影响[J]. 食品科技, 2016, (06): 56-60.
- [7] 李建军,王君,任美玲,等. 金银花新品系与主栽品种的表皮毛、叶色素及光合速率的比较分析[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(1): 137-141.
- [8] 赵占娟,李光,王秀生,等. 光质对绿豆幼苗叶片超微弱发光及叶绿素含量的影响[J]. 西北植物学报, 2009, 29(7): 21-23.
- [9] 李慧敏,陆晓民. 不同光质对大叶蚕豆芽苗菜品质的影响[J]. 安徽农学通报, 2013, 10(19): 26.
- [10] 孙丽,张静祎,刘振威,等. 不同光质对萝卜芽苗菜生长和品质的影响[J]. 资源开发与市场, 2015, 3(31): 257-261.
- [11] 张欢,徐志刚,崔瑾,等. 不同光质对萝卜芽苗菜生长和营养品质的影响[J]. 中国蔬菜, 2009(10): 12-15.
- [12] Kowallik W. Blue light effects on respiration[J]. Annual Review of Plant and Plant Molecular Biology, 1982, (33): 51-72.
- [13] 刘素慧,张立伟. 红蓝光质对香椿芽苗菜营养品质的影响[J]. 中国农业气象, 2015(03): 306-312.
- [14] 唐丽,陆燕鲁,崔瑾. 光质对苜蓿芽苗菜营养品质和抗氧化特性的影响[J]. 食品科学, 2014, 13(35): 21-23.
- [15] Rostagno MA, Villares A, Guillamon E, et al. Sample preparation for the analysis of isoflavones from soybeans and soy foods[J]. Journal of Chromatography A, 2009, 1216: 2-29.
- [16] 刘文科,杨其长,邱志平,等. LED光质对豌豆苗生长、光合色素和营养品质的影响[J]. 中国农业气象, 2012(04): 500-504.
- [17] 鲁燕舞. 光质对萝卜芽苗菜物质代谢及营养品质影响的机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [18] Giedre S, Akvile U, Ausra B, et al. The impact of LED illumination on antioxidant properties of sprouted seeds[J]. Central European Journal of Biology, 2011, 6(1): 68-74.
- [19] 张立伟,刘世琦,张自坤,等. 光质对萝卜芽苗菜营养品质的影响[J]. 营养学报, 2010, 4(32): 6-9.
- [20] 赵森,林毅,蔡永萍,等. 不同光质对草莓果实成熟过程中色素类物质含量的影响[J]. 浙江农业学报, 2008, 20(1): 64-66.

Research Progress of Industrial Wastewater Treatment by Energy Producing Microalgae Based on Photobioreactor

Li Yi¹, Wang Hailei¹, Zheng Tianling²

(1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

2. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China)

Abstract: Global energy crisis is becoming more and more serious, and the development of biomass energy can alleviate the current crisis effectively. Energy producing microalgae as the novel type of biomass energy has been paid more attention gradually, while the cost of algal cultivation stays in a high position without going down. This paper mainly proceeds from angle of algal cultivation, make a review about the effect of different photobioreactor on the cultivation of algae, compares the growth efficiency of different microalgae, proposes the possibility of using industrial wastewater as a nutrient for the cultivation of microalgae with low cost and research progress on the treatment of industrial wastewater by using energy producing microalgae, and realizes the environment-friendly control on industrial wastewater. The aim is to provide suggestions for the low cost culture of microalgae and the efficient treatment of industrial wastewater, and puts forward the key research missions in the field in the future.

Keywords: energy producing microalgae; photobioreactor; industrial wastewater treatment

[责任编辑 王凤产]

(上接第 64 页)

Effects of LED Light Qualities on Photosynthetic Pigments and Nutritional Quality of *Cassia tora* L. Sprouts

Wang Jing^{a,b}, Jiang Jing^a, Wang Dan^{a,b}, Wang Rudan^a, Li Huiyang^a, Li Jingyuan^{a,b}

(a. College of Life Sciences; b. Engineering Laboratory of Green Medicinal Material Biotechnology,

Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: The effects of LED light qualities on photosynthetic pigments, soluble sugar, soluble protein, total phenols, flavonoids and anthocyanins content of *Cassia tora* L. seedlings were investigated with treatments of 2h. *C. tora* sprouts were disposed in white light(W), red light(R), blue light(B), green light(G) generated by light-emitting diode applied. The results showed that in comparison with those of the indoor natural light treatment, the chlorophyll and carotenoid contents of all the different light both increased extremely significantly. The chlorophyll a contents of green light increased by 31.73%; the chlorophyll b, the sum of chlorophyll a and b, and the carotenoid contents of white light increased by 50.20%, 33.62%, 52.71% respectively; the soluble sugar contents of red light increased by 57.04%; the soluble protein contents of blue light, white light, red light increased by 69.33%, 51.74%, 40.58% respectively; and for the total phenols and flavonoids contents of all the different light qualities both increased extremely significantly, but there are no obvious difference between the different light qualities. The anthocyanins contents of blue light increased highest by 32.89%. Production can be increased *C. tora* sprouts nutritional quality by increasing the LED illumination.

Keywords: LED light quality; *Cassia tora* L.; sprout; photosynthetic pigments; nutritional quality

[责任编辑 王凤产]