

光质对萝卜芽苗菜总酚类物质含量及抗氧化能力的影响

鲁燕舞, 张晓燕, 耿殿祥, 崔 瑾*

(南京农业大学生命科学学院, 南京 210095)

摘 要: 采用发光二极管(LED)精确调制光质和光量, 以黑暗为对照, 研究光质对‘杨花萝卜’和‘青头萝卜’芽苗菜生长、总酚类物质含量、抗氧化能力及苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响。结果表明, 芽苗菜的生长、总酚类物质含量、抗氧化能力和 PAL 活性因光质和处理时间不同而异。总体来看, 下胚轴长和地上部鲜质量在培养 3 ~ 7 d 增加迅速, 其后增加缓慢, 且总酚类物质含量也是在培养初期高于培养后期。与黑暗处理相比, 紫外光(UV-B)处理显著增加了芽苗菜中酚类物质的含量。相应地, 芽苗菜的抗氧化能力和 PAL 活性都在 UV-B 处理下最高。另外, 蓝光处理也显著增加了‘杨花萝卜’芽苗菜中酚类物质的含量及 PAL 活性。因此认为 UV-B 和蓝光, 能增加芽苗菜中的总酚类物质含量, 提高萝卜芽苗菜的营养品质。

关键词: 萝卜; 芽苗菜; 光质; 总酚类物质; PAL 活性; 抗氧化能力

中图分类号: S 631.1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2014) 03-0545-08

Effects of Light Quality on Total Phenolic Contents and Antioxidant Activity in Radish Sprouts

LU Yan-wu, ZHANG Xiao-yan, GENG Dian-xiang, and CUI Jin*

(College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The effects of different light quality on growth, total phenolic contents, antioxidant and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity of radish sprouts have been investigated. The results showed that the growth, total phenolic contents, antioxidant and PAL activity of radish sprouts that treated with different light spectrum qualities varied with light quality and treatment time. The hypocotyl length and growth of radish sprouts rapidly increased from 3 to 7 d, and then they increased slowly. Accumulated phenolic in sprouts also showed the general trend distribution of early stage of culture > late stage of culture. Compared to dark treatment, radish sprouts grown in UV-B treatment were found to have much higher concentrations of phenolic. Accordingly, the antioxidant and PAL activity were highest in the UV-B treatment. In addition, the blue light treatment also induced the PAL activity and increased the phenolic content in ‘Yanghua’ radish sprouts. These results suggest that light treatments of radish sprouts, especially UV-B and blue light, are effective in promoting dietary phenolic antioxidants and radish sprouts have the

收稿日期: 2013 - 10 - 21; 修回日期: 2014 - 01 - 06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31171998); 国家基础科学人才培养基金项目 (J1210056)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: cuijin@njau.edu.cn)

potential to be an effective source of bioactive compounds for the consumers.

Key words: radish; sprouts; light quality; total phenolic contents; PAL activity; antioxidant activity

萝卜芽苗菜含有大量对人体健康有益的物质,如维生素 C、硫代葡萄糖苷、酚类物质等 (Ciska et al., 2008; Martínez-Villaluenga et al., 2008; Cevallos-Casals & Cisneros-Zevallos, 2010; Hanschen et al., 2012), 在中国及东南亚国家深受欢迎。

萝卜芽苗菜作为一种植物幼苗在生长发育过程中对周围环境因素的变化十分敏感,尤其是光环境。近年来,随着芽苗菜工业化生产的进行以及消费者对食品安全的严格要求,在芽苗菜生产过程中通过应用发光二极管 (light emitting diode, LED) 调节光环境来提高芽苗菜产量及品质已引起人们的重视,并成为设施栽培领域新的研究热点 (Morrow, 2008; 马超 等, 2010)。酚类物质作为植物中重要的次生代谢产物,具有多种生物活性,如抗氧化、抗肿瘤、抗病毒和抗菌等 (Apak et al., 2007), 可作为芽苗菜的营养保健品质之一。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 (Ghasemzadeh et al., 2010)、光质 (Samuoliene et al., 2011)、光周期 (Świeca et al., 2012), 而适当的光处理可提高植物体内酚类物含量及抗氧化能力 (Pérez-Balibrea et al., 2008; Younis et al., 2010)。Wu 等 (2007) 的研究表明,红光处理能提高豌豆苗的抗氧化能力,增强其营养价值。Lee 等 (2010) 的研究发现,蓝光更能提高大麦叶中总酚类物质的含量,且相应的抗氧化能力也较高。

本试验旨在初步探究 LED 光质对萝卜芽苗菜总酚类物质含量及抗氧化能力的影响,为发展萝卜芽苗菜工业化生产的光环境调控技术、提高萝卜芽苗菜抗氧化物质的含量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验方法

供试萝卜品种为‘杨花萝卜’和‘青头萝卜’。

萝卜种子用水浸泡 12 h 后,去除漂浮的种子和种皮上的粘液,沥去多余水分,将种子均匀洒在底部铺 2 cm 厚蛭石的育苗盘中,黑暗催芽 2 d 后置于不同 LED 光照培养箱中培养。照光 3、5、7、9 和 11 d 后随机取样进行相关指标的测定。培养箱内相对湿度为 80% 左右,温度为 $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$, 每天照光 12 h。

光质处理在 LED 冷光源培养箱 (宁波海曙赛福试验仪器厂生产) 内进行。箱内顶置 LED 光源,可发出白光 (W)、红光 (R)、蓝光 (B) 及黄光 (Y),用 UV-B 紫外窄谱灯管作 UV-B 光源,以黑暗培养 (D) 作为对照。各培养箱的光谱能量分布主要技术参数为: W 峰值波长 440 ~ 660 nm; R 峰值波长 658 nm, 波长半宽 5 nm; B 分别为 460 nm 和 5 nm; Y 分别为 585 nm 和 5 nm; UV-B 分别为 300 nm 和 20 nm。调节电流以及光源与植株的距离,使用光量子计 (GLZ-A, 浙江托普仪器有限公司) 测量光量,使光强均为 $30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。

1.2 测定项目与测定方法

用直尺测定芽苗菜下胚轴长,地上部鲜质量用天平称量后,在 $85 ^\circ\text{C}$ 下烘干后测定干质量。

总酚类物质含量的测定参照李文仙等 (2011) 的方法。样品中的总酚类物质含量用每克干物质中含有的没食子酸当量毫克数表示。总酚提取物的抗氧化能力评估采用清除二苯代苦味酰基自由基 (DPPH) 法 (Lim et al., 2012), 即 0.2 mL 总酚提取物与 3 mL $0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ DPPH 混合物在黑暗下振荡反应 30 min, 于 517 nm 处测定吸光值,计算公式为: 抗氧化能力 (%) = $(1 - A_{517, \text{样品}}/A_{517, \text{对照}}) \times$

100。为了更好地反映酚类物质的抗氧化能力，即酚类物质中和自由基的有效能力，定义总抗氧化能力与总酚类物质含量的比值为比抗氧化能力（Cevallos-Casals & Cisneros-Zevallos, 2010）。

PAL 酶粗提液的制备参照刘金等（2012）的方法。取样品加液氮研磨后，准确称取 1 g 粉末，加入 10 mL 提取液（0.1 mol · L⁻¹ 硼酸缓冲液 pH 8.7，0.05 mol · L⁻¹ 抗坏血酸，0.018 mol · L⁻¹ β- 巯基乙醇），冰浴匀浆，4 ℃ 12 000 × g 离心 30 min，上清液即为酶粗提液，用于检测 PAL 酶活（Lister et al., 1996）。

均采用随机取样，设 3 次重复。采用 SPSS 16.0 软件进行数据处理，Origin 8.5 软件作图，显著性由邓肯氏新复极差法检验， $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 光质对萝卜芽苗菜生长的影响

由表 1 可知，萝卜芽苗下胚轴长随培养时间的增加而不断增长，3 ~ 7 d 增加迅速，其后增加缓慢。黑暗处理下下胚轴最长，光质处理对下胚轴伸长的抑制效果不同，UV-B 处理抑制效果最明显。

表 1 光质对萝卜芽苗菜地上部鲜、干质量和下胚轴长的影响

Table 1 Effects of light quality on shoot fresh and dry mass and hypocotyl length of radish sprouts

| 培养时间/d Treatment time | 光质 Light quality | 青头萝卜 Qingtou Luobo | | | 杨花萝卜 Yanghua Luobo | | |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | 地上部鲜质量/mg Shoot fresh mass | 地上部干质量/mg Shoot dry mass | 下胚轴长/cm Hypocotyl length | 地上部鲜质量/mg Shoot fresh mass | 地上部干质量/mg Shoot dry mass | 下胚轴长/cm Hypocotyl length |
| 3 | D | 118.78 ± 6.05 a | 6.88 ± 0.61 a | 8.85 ± 0.46 a | 67.09 ± 5.13 a | 4.53 ± 0.34 a | 5.88 ± 0.71 a |
| | W | 96.92 ± 4.03 cd | 6.81 ± 0.40 a | 5.52 ± 0.62 d | 43.37 ± 5.29 d | 3.21 ± 0.26 b | 3.74 ± 0.30 c |
| | R | 103.95 ± 3.10 bc | 6.34 ± 0.18 ab | 6.32 ± 0.51 c | 49.41 ± 4.96 cd | 3.33 ± 0.59 b | 4.55 ± 0.54 b |
| | Y | 111.09 ± 5.13 ab | 6.03 ± 0.68 ab | 7.13 ± 0.90 b | 64.94 ± 7.34 ab | 3.49 ± 0.37 b | 5.71 ± 0.22 a |
| | B | 95.39 ± 8.24 cd | 5.55 ± 0.84 b | 6.29 ± 0.74 c | 55.31 ± 3.87 bc | 3.73 ± 0.20 b | 4.71 ± 0.74 b |
| | UV-B | 87.70 ± 6.11 d | 5.96 ± 0.50 ab | 3.80 ± 0.50 e | 45.03 ± 5.36 d | 3.09 ± 0.32 b | 3.11 ± 0.22 d |
| 5 | D | 140.78 ± 1.55 a | 7.97 ± 0.40 a | 10.73 ± 0.64 a | 82.34 ± 7.11 a | 4.54 ± 0.40 a | 7.83 ± 0.52 a |
| | W | 101.41 ± 4.30 d | 6.15 ± 0.81 b | 6.48 ± 0.51 d | 53.11 ± 3.28 c | 3.37 ± 0.26 b | 4.87 ± 0.76 c |
| | R | 132.62 ± 7.28 ab | 6.89 ± 0.22 ab | 8.36 ± 0.76 b | 59.49 ± 8.80 bc | 3.42 ± 0.73 b | 5.87 ± 0.34 b |
| | Y | 122.70 ± 9.77 bc | 6.79 ± 0.94 ab | 8.55 ± 0.76 b | 70.15 ± 5.96 b | 3.98 ± 0.20 ab | 6.25 ± 0.38 b |
| | B | 118.04 ± 5.00 c | 7.09 ± 0.43 ab | 7.38 ± 0.53 c | 65.75 ± 2.65 b | 4.03 ± 0.70 ab | 5.15 ± 0.60 c |
| | UV-B | 100.58 ± 8.74 d | 6.36 ± 0.73 b | 5.11 ± 0.57 e | 53.40 ± 5.29 c | 3.11 ± 0.30 b | 4.25 ± 0.50 d |
| 7 | D | 143.58 ± 5.35 a | 6.22 ± 0.57 ab | 11.58 ± 1.13 a | 81.59 ± 4.56 a | 3.86 ± 0.21 a | 9.01 ± 0.95 a |
| | W | 131.01 ± 8.77 bc | 7.41 ± 0.80 a | 6.51 ± 0.81 d | 61.93 ± 4.11 | 4.07 ± 0.42 a | 5.39 ± 0.74 cd |
| | R | 135.92 ± 2.75 ab | 6.06 ± 0.57 b | 8.54 ± 0.83 bc | 67.97 ± 3.88 b | 3.64 ± 0.51 a | 6.39 ± 0.91 b |
| | Y | 142.13 ± 6.06 b | 6.76 ± 0.44 ab | 8.99 ± 0.58 b | 73.34 ± 5.40 ab | 3.68 ± 0.54 a | 6.74 ± 0.55 b |
| | B | 122.76 ± 5.24 c | 6.97 ± 0.74 ab | 7.91 ± 0.64 c | 64.21 ± 7.67 b | 3.31 ± 0.55 a | 5.64 ± 0.59 c |
| | UV-B | 122.61 ± 3.55 c | 7.05 ± 0.52 ab | 6.01 ± 0.47 d | 62.04 ± 8.46 b | 3.47 ± 0.34 a | 4.80 ± 0.43 d |
| 9 | D | 147.86 ± 6.09 a | 6.72 ± 0.71 a | 11.62 ± 1.07 a | 81.23 ± 4.35 a | 3.64 ± 0.45 a | 9.14 ± 0.75 a |
| | W | 129.80 ± 5.28 bc | 6.98 ± 0.91 a | 6.53 ± 0.66 d | 65.90 ± 5.17 c | 3.57 ± 0.71 a | 5.46 ± 0.68 c |
| | R | 140.41 ± 5.72 ab | 6.49 ± 0.97 a | 8.90 ± 1.00 b | 77.50 ± 6.52 ab | 3.73 ± 0.61 a | 7.13 ± 0.46 b |
| | Y | 142.71 ± 9.35 a | 6.47 ± 0.90 a | 9.18 ± 0.66 b | 75.12 ± 3.46 abc | 3.53 ± 0.75 a | 6.83 ± 0.66 b |
| | B | 120.69 ± 3.59 c | 6.71 ± 0.57 a | 7.90 ± 0.95 c | 71.32 ± 5.21 bc | 3.76 ± 0.25 a | 7.28 ± 0.66 b |
| | UV-B | 124.07 ± 4.84 c | 7.77 ± 0.39 a | 6.92 ± 0.62 d | 67.59 ± 3.68 c | 3.47 ± 0.32 a | 5.79 ± 0.43 c |
| 11 | D | 146.85 ± 1.08 a | 6.45 ± 0.20 a | 12.03 ± 0.77 a | 84.82 ± 0.86 a | 3.48 ± 0.54 a | 9.48 ± 0.98 a |
| | W | 130.30 ± 2.01 b | 6.02 ± 0.15 a | 6.75 ± 0.71 c | 73.35 ± 1.24 b | 3.18 ± 0.36 a | 5.87 ± 1.04 d |
| | R | 141.50 ± 7.74 a | 6.87 ± 0.39 a | 9.69 ± 0.97 b | 72.03 ± 1.29 bc | 3.99 ± 0.73 a | 8.59 ± 0.88 b |
| | Y | 142.87 ± 3.62 a | 6.06 ± 0.68 a | 9.29 ± 0.83 b | 73.14 ± 5.39 b | 3.27 ± 0.61 a | 6.90 ± 0.72 c |
| | B | 119.27 ± 8.97 c | 6.43 ± 1.00 a | 9.34 ± 0.68 b | 71.54 ± 0.31 bc | 3.50 ± 0.44 a | 7.62 ± 0.78 c |
| | UV-B | 126.42 ± 6.52 bc | 7.19 ± 0.71 a | 6.97 ± 0.97 c | 65.30 ± 7.94 c | 3.03 ± 0.33 a | 5.91 ± 0.67 d |

注：表中数据为平均值 ± 标准误；小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平显著差异。

Note: Data are showed as the mean ± SD. Different letters means significant at $P < 0.05$.

萝卜芽苗地上部鲜质量从 3~7 d 增加较快, 其后变化不大; 但光质处理间有所差异, 黑暗处理下最高, 其次为红光和黄光, 然后是蓝光、白光和 UV-B 处理。地上部干质量在整个培养期间变化不大。

2.2 光质对萝卜芽苗菜总酚类物质含量的影响

从图 1 可知, 萝卜两个品种的芽苗总酚类物质含量在培养初期高于培养后期。

光质处理对芽苗中总酚类物质含量的影响因萝卜品种和培养时间不同而有所差异。总的来说, ‘青头萝卜’和‘杨花萝卜’芽苗的总酚类物质含量在 UV-B 处理下最高, 与黑暗处理相比, 分别平均增加了 51.6%和 49.9%。‘青头萝卜’芽苗中总酚类物质含量在白光、红光、黄光和蓝光处理下无明显差异; 而相较于黑暗、白光、红光和黄光处理, 蓝光处理 3、7、9 d 的‘杨花萝卜’芽苗总酚类物质含量有显著增加。

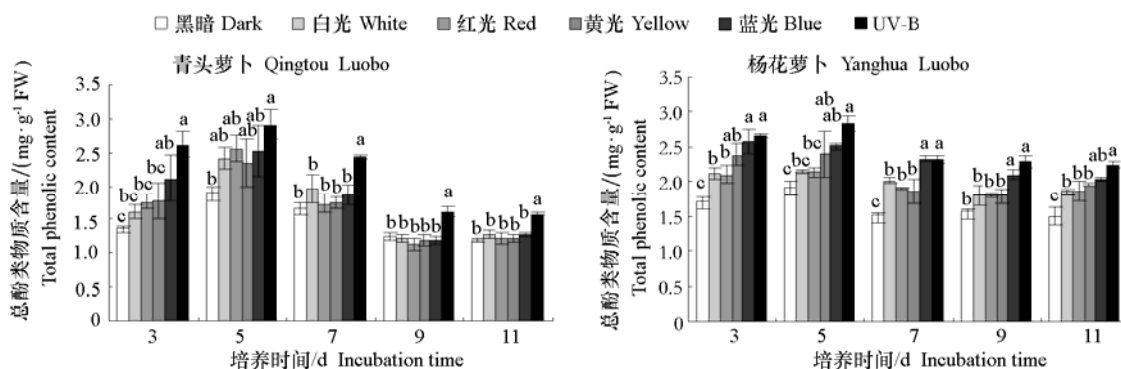


图 1 光质对萝卜芽苗菜总酚类物质含量的影响

Fig. 1 Effects of light quality on total phenolic contents in radish sprouts

2.3 光质对萝卜芽苗菜抗氧化能力的影响

如图 2 所示, 萝卜两个品种的芽苗抗氧化能力变化趋势基本一致, 培养 3~9 d 抗氧化能力逐渐增加, 至 11 d 时下降。‘青头萝卜’和‘杨花萝卜’芽苗抗氧化能力在 UV-B 处理下最高。与黑暗处理相比, 蓝光下培养 7 d 和 9 d 的‘青头萝卜’芽苗抗氧化能力显著提高。‘杨花萝卜’芽苗在蓝光下培养 3、5 和 11 d 后其抗氧化能力也显著高于对照。

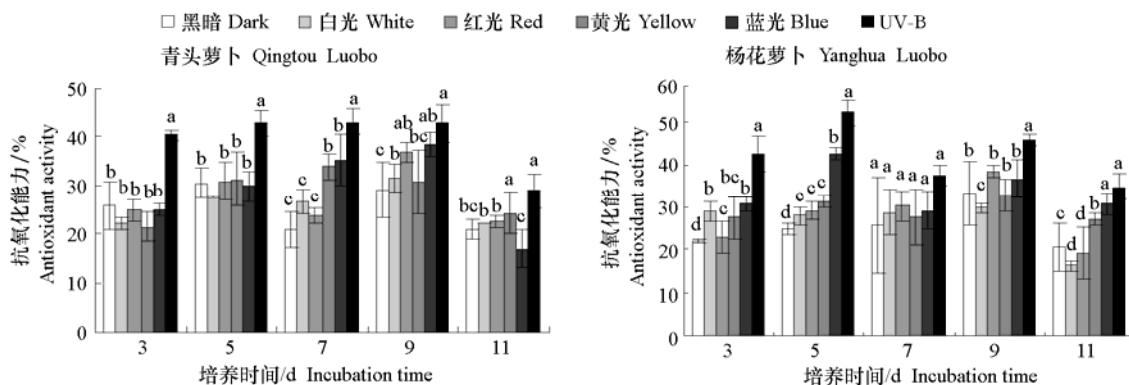


图 2 光质对萝卜芽苗菜抗氧化能力的影响

Fig. 2 Effects of light quality on antioxidant activity in radish sprouts

从图 3 可知,随着培养时间的不同,萝卜两个品种的芽苗比抗氧化能力逐渐增加,培养至 9 d 时最高。

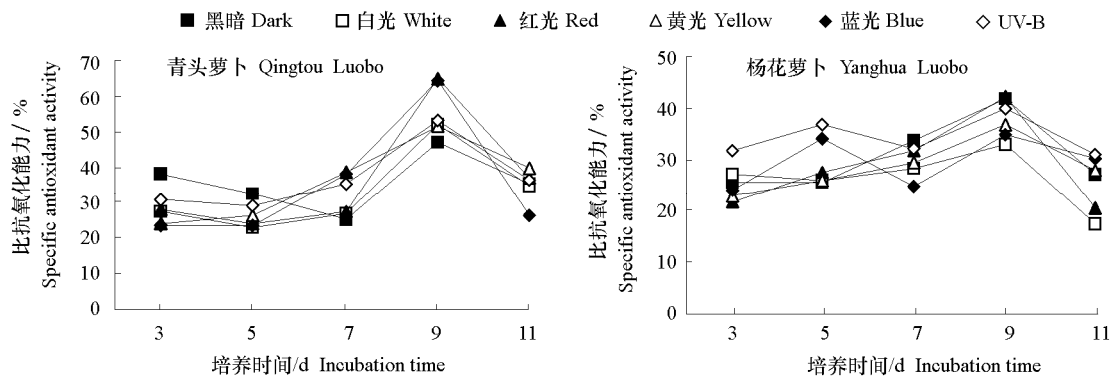


图 3 光质对萝卜芽苗菜比抗氧化能力的影响

Fig. 3 Effects of light quality on specific antioxidant activity in radish sprouts

2.4 光质对萝卜芽苗菜 PAL 活性的影响

如图 4 所示,与总酚类物质含量及抗氧化能力一致,在整个培养期间内,UV-B 处理下的‘青头萝卜’和‘杨花萝卜’芽苗 PAL 活性显著高于对照和其他光质处理,处理 5 d 时 PAL 活性最高,分别为 82.01 和 92.61 $\text{U} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ 。

不同光质处理对‘青头萝卜’芽苗中 PAL 活性影响不大;而在‘杨花萝卜’中,与黑暗处理相比,蓝光和白光处理下的 PAL 活性也有显著提高。

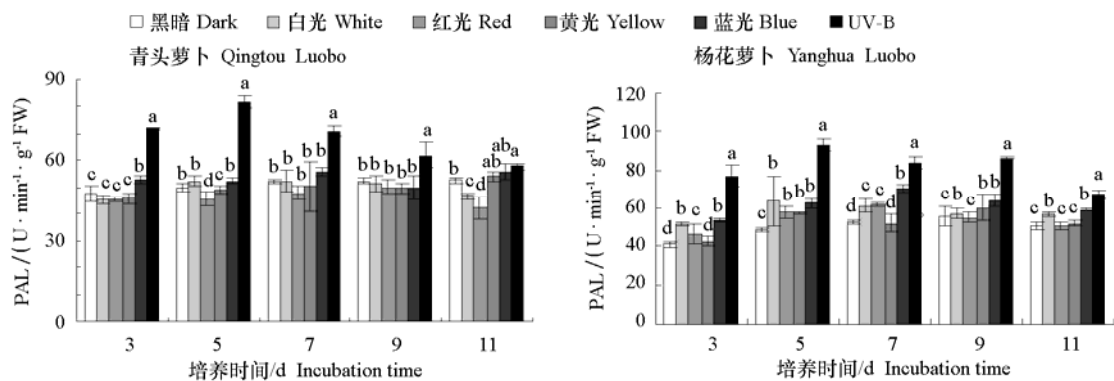


图 4 光质对萝卜芽苗菜 PAL 活性的影响

Fig. 4 Effects of light quality on PAL activity in radish sprouts

3 讨论

3.1 光质对萝卜芽苗菜生长的影响

芽苗菜的鲜干质量可反映产量和效益的高低。本试验发现萝卜芽苗培养 3~7 d 时下胚轴长和鲜质量增加迅速,其后增长缓慢,这与已报道的研究结果(张余洋等, 2008)一致,且生产上一般也将萝卜芽苗菜培养至 7 d 时采收。与黑暗处理相比,红光和黄光处理下的萝卜芽苗鲜质量减少较少,而蓝光、白光和 UV-B 显著降低了萝卜芽苗的鲜质量。这可能与红光提高植物光合速率和碳水化合

物的积累,而蓝光抑制碳水化合物的积累有关(Kowallil, 1982)。Kozak (2011) 研究发现,黄光有利于鲜质量的增加,但关于黄光利于植物生物量提高的相关机理研究较少,有待进一步研究。

3.2 光质对萝卜芽苗菜总酚类物质含量的影响

一般说来,种子中含有较高的酚类物质,而种子萌发后幼苗也含有高水平的酚类物质,这能帮助幼苗适应周围变化的环境(Pérez-Balibrea et al., 2008; Paško et al., 2009)。本试验中发现,两种萝卜品种的芽苗菜酚类物质含量在培养初期高于培养后期。而随着培养时间的增加,芽苗菜中的酚类物质含量有所减少。这与种子萌发后酚类物质结合一些有机物如碳水化合物或蛋白质有关(Khandelwal et al., 2010)。

前人研究表明,UV-B 能诱导胡萝卜(Avena-Bustillos et al., 2011)、苹果(Hagen et al., 2007)、柠檬(Interdonato et al., 2011)等酚类物质的积累。本研究表明,‘青头萝卜’和‘杨花萝卜’芽苗菜的总酚类物质含量在 UV-B 处理下最高。另外,相较于其他可见光处理,在‘杨花萝卜’中蓝光也能显著提高总酚类物质的含量,这与 Lee 等(2010)的研究结果一致。

3.3 光质对萝卜芽苗菜抗氧化能力的影响

许多研究表明,酚类物质具有抗氧化能力。本试验中采用 DPPH 法测得酚类提取物的抗氧化能力,发现两个萝卜品种的芽苗菜抗氧化能力都是在 UV-B 处理下最高。这可能与酚类物质作为一种抗氧化剂来保护植物应对不利环境(Lim et al., 2012)有关。另外,有研究表明,不同时期植物体内合成的单体酚类物质会有所不同,而改变的酚类物质组分会影响酚类物质的总抗氧化能力(Oh & Rajashekar, 2009)。从图 1~3 可知,培养初期虽然有较高的酚类物质含量,但其抗氧化能力并没有明显提高,各光质处理下的萝卜芽苗菜的比抗氧化能力在培养 9 d 时最高,也即此时的酚类物质有最多数量的与 DPPH 反应的羟基基团(Cevallos-Casals & Cisneros-Zevallos, 2010)。此外,de Ascensao 和 Dubery (2003) 研究发现,光质处理可能影响木质素或木脂素的生成,而酚类物质是木质素或木脂素的前体物质,这样酚类物质的抗氧化能力也会受到影响。

3.4 光质对萝卜芽苗菜 PAL 活性的影响

PAL 是苯丙氨酸代谢途径的第一个关键酶,与许多具有保护性质的酚类物质的产生有关。PAL 是一种诱导酶,受许多外界因素的影响,如病原菌感染(张淑珍 等, 2009)、低温(Oh et al., 2009)等。此外,植物在受到一定量的 UV-B 辐射后可通过增强 PAL、4CL、CHS 等一系列与酚类物质合成相关的酶的基因表达来保护自身免受损伤(Jansen et al., 1998; 单皓和韩榕, 2009; 张新永 等, 2009)。本研究结果表明,两个萝卜品种的芽苗菜 PAL 活性都是在 UV-B 处理下最高。另外,蓝光处理也显著提高了‘杨花萝卜’芽苗菜中 PAL 活性。Yousefzadi 等(2012) 研究发现,相较于黑暗和白光处理,蓝光更能提高 *L. album* 中 PAL 活性,且蓝光下 PAL 基因的表达量也较高。当然, PAL 只是酚类物质合成途径中的第一个关键酶,有关光质对该途径中其他关键酶的影响,还需进一步研究。

综上所述,应用光质处理(如 UV-B 和蓝光)增加萝卜芽苗菜中总酚类物质含量和抗氧化能力,提高芽苗菜的营养保健品质是可行的,而增加的酚类物质含量可能与 PAL 活性的提高和基因表达量的提高有关。

References

- Apak R, Güçlü K, Demirata B, Özyürek M, Çelik S E, Bektaşoğlu B, Özyurt D. 2007. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, 12 (7): 1496 – 1547.

- Avena-Bustillos R J, Du W X, Woods R, Olson D, Breksa III A P, McHugh T H. 2011. Ultraviolet-B light treatment increases antioxidant capacity of carrot products. *J Sci Food Agric*, 92: 2341 – 2348.
- Cevallos-Casals B A, Cisneros-Zevallos L. 2010. Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. *Food Chemistry*, 119: 1485 – 1490.
- Ciska E, Honke J, Kozłowska H. 2008. Effect of light conditions on the contents of glucosinolates in germinating seeds of white mustard, red radish, white radish, and rapeseed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (19): 9087 – 9093.
- de Ascensao A, Dubery I A. 2003. Soluble and wall-bound phenolics and phenolic polymers in *Musa acuminata* roots exposed to elicitors from *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Phytochemistry*, 63: 679 – 686.
- Ghasemzadeh A, Jaafar H Z E, Rahmat A, Wahab P E M, Halim M R A. 2010. Effect of different light intensities on total phenolics and flavonoids synthesis and anti-oxidant activities in young ginger varieties (*Zingiber officinale* Roscoe). *International Journal of Molecular Sciences*, 11: 3885 – 3897.
- Hagen S F, Borge G I A, Bengtsson G B, Bilger W, Berge A, Haffner K, Solhaug K A. 2007. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. *Postharvest Biology and Technology*, 45: 1 – 10.
- Hanschen F S, Rohn S, Mewis I, Schreiner M, Kroh L W. 2012. Influence of the chemical structure on the thermal degradation of the glucosinolates in broccoli sprouts. *Food Chemistry*, 130: 1 – 8.
- Interdonato R, Rosa M, Nieva C B, González J A, Hilal M. 2011. Effects of low UV-B doses on the accumulation of UV-B absorbing compounds and total phenolics and carbohydrate metabolism in the peel of harvested lemons. *Environmental and Experimental Botany*, 70: 204 – 211.
- Jansen M A K, Gaba V, Greenberg B M. 1998. Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation. *Trends in Plant Science*, 3 (4): 131 – 135.
- Khandelwal S, Udipi S A, Ghugre P. 2010. Polyphenols and tannins in Indian pulses: Effect of soaking, germination and pressure cooking. *Food Res Int*, 43 (2): 526 – 530.
- Kowallil W. 1982. Blue light effects on respiration. *Annual Review of Plant Physiology*, 33: 51 – 72.
- Kozak D. 2011. The influence of light quality and BA on *in vitro* growth and development of *Gardenia jasminoides* Ellis. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*, 10 (4): 65 – 73.
- Lee N Y, Lee M, Kim Y, Park J, Park H, Choi J, Hyun J, Kim K, Park K, Ko J, Kim J. 2010. Effect of light emitting diode radiation on antioxidant activity of barley leaf. *J Korean Soc Appl Biol Chem*, 53 (6): 685 – 690.
- Li Wen-xian, Yu Dan, Lin Ling, Sun Jing, Lan Zhong-wei, Huo Jun-sheng. 2011. Study on the determination of total polyphenols content in vegetables and fruits by Folin-Ciocalteu colorimetry. *Acta Nutrimenta Sinica*, 33 (3): 302 – 307. (in Chinese)
- 李文仙, 俞丹, 林玲, 孙静, 兰中伟, 霍军生. 2011. Folin-Ciocalteu 比色法应用于蔬菜和水果总多酚含量测定的研究. *营养学报*, 33 (3): 302 – 307.
- Lim J H, Park K J, Kim B K, Jeong J W, Kim H J. 2012. Effect of salinity stress on phenolic compounds and carotenoids in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.) sprout. *Food Chemistry*, 135: 1065 – 1070.
- Lister C E, Lancaster J E, Walker J R L. 1996. Developmental changes in enzymes biosynthesis in the skins of red and of flavonoid green apple cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 71, 313 – 330.
- Liu Jin, Wei Jing-li, Liu Mei-yan, Song Yang, Feng Shou-qian, Wang Chuan-zeng, Chen Xue-sen. 2012. The relationships between the enzyme activity of anthocyanin biosynthesis, ethylene release and anthocyanin accumulation in fruits of precocious apple cultivars. *Acta Horticulturae Sinica*, 39 (7): 1235 – 1242. (in Chinese)
- 刘金, 魏景立, 刘美艳, 宋杨, 冯守千, 王传增, 陈学森. 2012. 早熟苹果花青苷积累与其相关酶活性及乙烯生成之间的关系. *园艺学报*, 39 (7): 1235 – 1242.
- Ma Chao, Zhang Huan, Guo Yin-sheng, Gu Ai-su, Cui Jin. 2010. Applications and prospects of LED in sprout seedling vegetable cultivation. *China Vegetables*, (20): 9 – 13. (in Chinese)
- 马超, 张欢, 郭银生, 谷艾素, 崔瑾. 2010. LED 在芽苗菜生产中的应用及前景. *中国蔬菜*, (20): 9 – 13.
- Martínez-Villaluenga C, Frías J, Gulewicz F, Gulewicz K, Vidal-Valverde C. 2008. Food safety evaluation of broccoli and radish sprouts. *Food and*

- Chemical Toxicology, 46: 1635 – 1644.
- Morrow R C. 2008. LED lighting in horticulture. HortScience, 43 (7): 1947 – 1950.
- Oh M, Rajashekar C B. 2009. Antioxidant content of edible sprouts: Effects of environmental shocks. Journal of the Science of Food and Agriculture, 89: 2221 – 2227.
- Oh M, Carey E E, Rajashekar C B. 2009. Environmental stresses induce health-promoting phytochemicals in lettuce. Plant Physiology and Biochemistry, 47: 578 – 583.
- Paško P, Bartoň H, Zagrodzki P, Gorinstein S, Fořta M, Zachwieja Z. 2009. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. Food Chemistry, 115: 994 – 998.
- Pérez-Balibrea S, Moreno D A, García-Viguera C. 2008. Influence of light on health-promoting phytochemicals of broccoli sprouts. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88: 904 – 910.
- Samuoliene G, Urbonavičiūtė A, Brazaitytė A, Šabajevienė G, Sakalauskaitė J, Duchovskis P. 2011. The impact of LED illumination on antioxidant properties of sprouted seeds. Central European Journal of Biology, 6 (1): 68 – 74.
- Shan Hao, Han Rong. 2009. Effect of He-Ne laser and enhanced ultraviolet-B radiation on the activities of three polyphenol metabolism enzymes in wheat seeding. China Journal of Eco-Agriculture, 17 (6): 1172 – 1175. (in Chinese)
- 单皓, 韩榕. 2009. He-Ne 激光和增强 UV-B 辐射对小麦幼苗多酚代谢 3 种酶活性的影响. 中国生态农业学报, 17 (6): 1172 – 1175.
- Świeca M, Gawlik-Dziki U, Kowalczyk D, Złotek U. 2012. Impact of germination time and type of illumination on the antioxidant compounds and antioxidant capacity of *Lens culinaris* sprouts. Scientia Horticulture, 140: 87 – 95.
- Wu M, Hou C, Jiang C, Wang Y, Wang C, Chen H, Chang H. 2007. A novel approach of LED light radiation improves the antioxidant activity of pea seedlings. Food Chemistry, 101: 1753 – 1758.
- Younis M E, Hasaneen M N A, Abdel-Aziz H M M. 2010. An enhancing effect of visible light and UV radiation on phenolic compounds and various antioxidants in broad bean seedlings. Plant Signaling & Behavior, 5 (10): 1197 – 1230.
- Yousefzadi M, Sharifi M, Behmanesh M, Ghasempour A, Moyano E, Palazon J. 2012. The effect of light on gene expression and podophyllotoxin biosynthesis in *Linum album* cell culture. Plant Physiology and Biochemistry, 56: 41 – 46.
- Zhang Shu-zhen, Jin Li-mei, Xu Peng-fei, Chen Wei-yuan, Wu Jun-jiang, Li Wen-bin, Qiu Li-juan, Chang Ru-zhen. 2009. Response of PAL activity to *Phytophthora sojae* inoculation in *Glycine soja*. Soybean Science, 28 (6): 1044 – 1048. (in Chinese)
- 张淑珍, 靳立梅, 徐鹏飞, 陈维元, 吴俊江, 李文滨, 邱丽娟, 常汝镇. 2009. 野生大豆接种大豆疫霉根腐病后苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性的变化. 大豆科学, 28 (6): 1044 – 1048.
- Zhang Xin-yong, Guo Hua-chun, Dai Hua-feng. 2009. Effects of supplement ultraviolet-B radiation on activities of the related protective enzymes in the leaves of chromatic potato. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 29 (5): 0867 – 0873. (in Chinese)
- 张新永, 郭华春, 戴华锋. 2009. 增强 UV-B 辐射对彩色马铃薯叶片中相关保护酶活性的影响. 西北植物学报, 29 (5): 867 – 873.
- Zhang Yu-yang, Hu Quan-ling, Li Han-xia. 2008. Effect of treatments on the growth, yield and quality of pea and radish sprout. Journal of Huazhong Agricultural University, 27 (2): 289 – 293. (in Chinese)
- 张余洋, 胡全凌, 李汉霞. 2008. 不同处理对豌豆和萝卜芽苗菜生长、产量及品质的影响. 华中农业大学学报, 27 (2): 289 – 293.