

紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷生物合成影响因素和相关酶的研究

闫伟明¹, 孟焕文¹, 钟杨权威², 程智慧^{1,*}

(¹西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100; ²西北农林科技大学林学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 以紫皮大蒜品种‘G075’为试材, 研究了鳞茎发育过程中鳞茎外皮花青苷的积累规律及其与生物合成相关的苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查儿酮异构酶(CHI)和二氢黄酮醇还原酶(DFR)活性的关系, 分析了不同设施栽培方式、基质 pH 值、基质氮素水平和磷素水平对花青苷生物合成的影响。研究结果表明: 随着大蒜鳞茎的发育, 鳞茎外皮花青苷含量逐步提高, CHI 活性与鳞茎外皮花青苷积累关系密切, 其活性变化与花青苷积累趋势吻合; 露地栽培温度相对较低的紫皮大蒜花青苷积累高于保护地温度相对较高的栽培大蒜, 基质 pH 6.5 和 1/2 氮素水平(7.5 mmol·L⁻¹)时对花青苷合成有利, 花青苷积累随磷素水平提高呈现先升后降的变化趋势。

关键词: 紫皮大蒜; 鳞茎; 外皮; 花青苷; 相关酶活性; 环境条件

中图分类号: S 633.4

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2014) 02-0285-08

Studies on the Relationship Between Anthocyanin Biosynthesis and Environment Condition and Related Enzymes in the Outer Scales of Purple Garlic

YAN Wei-ming¹, MENG Huan-wen¹, ZHONG Yang-quan-wei², and CHENG Zhi-hui^{1,*}

(¹College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; ²College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Anthocyanin, a water soluble compound is thought to be responsible for the coloration of outer scales of purple garlic. The changes in anthocyanin content in relation to enzymatic activities of phenylalanine ammonia-lyase (PAL), chalcone isomerase (CHI), and dihydroflavonol reductase (DFR) were studied in the outer scales of purple garlic ‘G075’. The relationships between anthocyanin biosynthesis and environmental conditions (temperature, pH of substrate, supplement of nitrogen and phosphorus) were established. The results show that among these enzymes, the activity of CHI is positively correlated to anthocyanin content in significant level and further postulated as key limiting factor to regulate anthocyanin synthesis in the outer scales of purple garlic. The fluctuation of the CHI activity and anthocyanin content is consistent with that of the environmental conditions. These results obviously demonstrate the environmental conditions play a major role in regulating the enzyme activities of anthocy-

收稿日期: 2013-09-05; 修回日期: 2013-12-31

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(200903018-7)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: chengzh2004@163.com; Tel: 029-87082613)

anin biosynthesis. Cool temperature in open field, acidic medium (pH 6.5), low nitrogen level (1/2 N: 7.5 mmol · L⁻¹) and optimum phosphorus levels (P: 1 mmol · L⁻¹) are favorable for anthocyanin synthesis in the outer scales of purple garlic.

Key words: purple garlic; outer scales; anthocyanin; activities of related enzymes; environment condition

大蒜 (*Allium sativum* L.), 按照颜色可分为紫皮蒜和白皮蒜两种。紫皮蒜鳞茎外皮颜色受栽培环境的影响很大, 有时甚至出现紫色几乎消失的现象, 这种受环境条件改变而变化的色素可能主要为花青苷 (Du & Francis, 1975)。但迄今关于大蒜鳞茎外皮花青苷生物合成及影响因素尚未见研究报道。

花青苷属于黄酮类物质, 且具有很高的保健作用, 长期以来一直受到科学家们的关注 (唐忠厚和周丽, 2009)。目前花青苷生物合成途径基本清晰, 主要是在系列酶的催化作用下, 通过一系列生物合成, 在细胞质中最终转化为花青苷, 随后由液泡膜进入液泡中 (He et al., 2010)。

本研究中以紫皮大蒜为试材, 旨在明确紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷生物合成的关键酶和影响因素, 为紫皮大蒜鳞茎外皮颜色的研究及紫皮大蒜栽培育种提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试验处理

试验于 2013 年 3—5 月在西北农林科技大学园艺场内进行, 供试紫皮大蒜品种为西北农林科技大学园艺学院大蒜种质资源圃保存繁殖的 ‘G075’, 其鳞茎外皮深紫色。

选取长势一致的植株于 3 月初移植于装有珍珠岩的花盆中, 缓苗后采用 Hoagland’s 营养液补充营养。试验分别研究了不同栽培方式 (钢结构 50 m × 8 m 塑料大棚, 露地栽培, 4 m × 3 m 小棚)、基质 pH (6.5、7.5 和 8.5)、氮素水平 (1/2N: 7.5 mmol · L⁻¹; N: 15 mmol · L⁻¹ 和 2N: 30 mmol · L⁻¹)、磷素水平 (1/2P: 0.5 mmol · L⁻¹; P: 1 mmol · L⁻¹ 和 2P: 2 mmol · L⁻¹) 4 个因素, 每个因素 3 个处理, 每个处理 4 次重复, 每个重复 10 株。

基质 pH、氮素水平和磷素水平为露地条件, 栽培方式为大棚、露地和小棚, 塑料棚设施性能良好, 不同栽培方式平均日最高温度见表 1。

每隔 5 ~ 10 d 取样 1 次, 每处理共 8 株, 徒手撕下鳞茎外皮样品后洗净、擦干, 用锡箔纸包好, 装入冰盒迅速带回实验室, 然后用液氮冷冻 5 min 后保存到 - 80 °C 冰箱待用, 用来测定花青苷含量及苯丙氨酸解氨酶 (PAL)、查尔酮异构酶 (CHI) 和二氢黄酮醇还原酶 (DFR) 的活性。

表 1 不同处理不同时间段平均日最低温和最高温

Table 1 Average daily maximum and minimum temperatures of different treatments in different time

°C

日期/ (M - D) Date	小棚 Small tunnel		露地 Open field		大棚 Large tunnel	
	最高温 Max temperature	最低温 Min temperature	最高温 Max temperature	最低温 Min temperature	最高温 Max temperature	最低温 Min temperature
03 - 20—03 - 30	28.0	5.6	20.9	5.1	41.9	9.5
03 - 30—04 - 04	32.5	6.1	20.6	5.8	40.5	10.0
04 - 04—04 - 09	26.2	4.1	16.6	3.8	33.9	7.3
04 - 09—04 - 16	28.5	5.6	24.9	4.8	33.8	8.9
04 - 16—05 - 04	32.8	10.8	24.1	9.0	34.3	13.1

1.2 鳞茎外皮花青苷含量测定

参照 Du 和 Francis (1975) 及 Giusti 和 Wrolstad (2001) 的方法并稍作改进。准确称取 0.2 g 大蒜鳞茎外皮, 加入 5 mL 1% HCl 甲醇溶液, 60 °C 水浴中提取 1 h, 提取液用分光光度计分别在 516 nm 和 700 nm 测定在 pH 1.0 和 pH 4.5 时的吸光值, 计算花青苷含量。试验样品测定重复 3 次。

1.3 鳞茎外皮 PAL、CHI 活性测定

酶液提取参照王惠聪等 (2004) 的方法。取鳞茎外皮加液氮研磨后准确称取 0.2 g 粉末, 加 5 mL 提取液 [0.05 mol · L⁻¹ Na₂HPO₄/KH₂PO₄ (pH 7.0), 0.05 mol · L⁻¹ 抗坏血酸, 0.018 mol · L⁻¹ β-巯基乙醇], 冰浴匀浆, 4 °C 12 000 r · min⁻¹ 离心 20 min, 上清液即为酶粗提液, 用于测定 PAL、CHI 酶活性。PAL 和 CHI 活性测定参照 Lister 和 Lancaster (1996) 的方法。试验样品测定重复 3 次。

1.4 鳞茎外皮 DFR 活性测定

酶液提取参照 Murray 和 Hackett (1991) 的方法, 取样品 0.4 g 加液氮研磨后, 加入 3 mL 丙酮 - 20 °C 摇匀离心, 弃去上清液, 后用 3 mL 丙酮 - 20 °C 再提取 1 次, 沉淀用 4 mL [0.1 mol · L⁻¹ 硼酸盐缓冲液 (pH 8.8), 0.005 mol · L⁻¹ 抗坏血酸] 溶液进行提取, 上清液即为 DFR 粗提酶液。DFR 活性参照 Stafford 和 Lester (1984) 的方法测定。试验样品测定重复 3 次。

1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析, Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 紫皮大蒜鳞茎发育过程中外皮花青苷含量及相关酶活性的变化

紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量和相关酶活性变化见图 1。

随着大蒜鳞茎的发育, 鳞茎外皮花青苷含量前期呈现缓慢上升的趋势, 5 月 2 日达到最大, 为 0.4996 mg · g⁻¹FW; 后期逐渐下降, 收获时含量为 0.3258 mg · g⁻¹FW, 比 5 月 2 日降低了 34.79%。

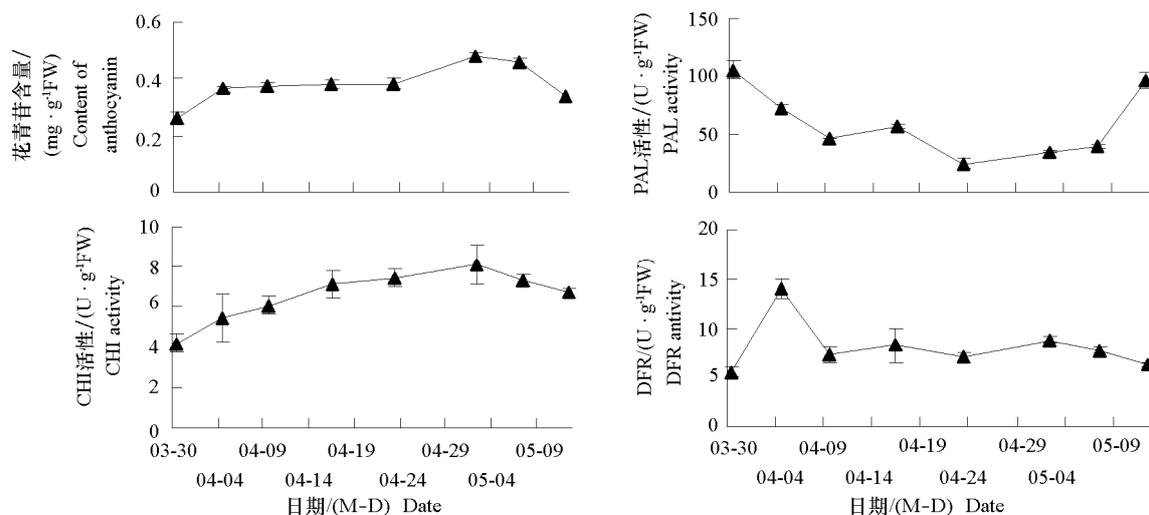


图 1 紫皮大蒜鳞茎发育过程外皮花青苷含量与相关酶活性的变化

Fig. 1 Dynamic changes of the content of anthocyanin and activities of PAL, CHI and DFR of outer scales

PAL 活性随着大蒜鳞茎的发育呈现先递减后缓慢上升的趋势,但整体趋势是下降的,3月30日 PAL 酶活性最大,为 $105.33 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 。

紫皮大蒜鳞茎发育过程中,鳞茎外皮 CHI 活性呈现先上升后下降的趋势,在5月2日时达到峰值,为 $8.17 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 。

紫皮大蒜鳞茎发育过程中,鳞茎外皮 DFR 活性在 $5.50 \sim 14.00 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$ 范围内呈现波动变化。

紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量与 PAL、CHI 和 DFR 活性相关性分析表明,PAL 活性与花青苷含量相关性并不显著。

而 CHI 活性与花青苷则呈现极显著的线性关系,相关系数 0.86,花青苷含量随着 CHI 活性的升高而提高,与 CHI 活性动态趋势保持一致;DFR 活性与花青苷的含量相关性不显著。

因此推断在 PAL、CHI 和 DFR 中,CHI 活性的提高可能与鳞茎外皮花青苷含量的增加有更直接的关系。

2.2 环境条件对紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量的影响

温度对花青苷合成影响很大,低温有利于花青苷的积累,高温促进花青苷的降解。由表 1 可以看出,由于前期大棚密闭,棚内温度过高,最高温度可以达到 $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 甚至更高,导致鳞茎发育前期外皮花青苷含量很低,后期由于通风及时,最高温度下降,外皮花青苷含量升高(图 2, a);小棚内,由于前期外界温度低,棚内温度适宜,有利于鳞茎外皮花青苷的合成积累,4月4—9日,棚内温度变化剧烈,不利于花青苷的合成积累,后期随着外界温度的稳定,外皮花青苷含量缓慢上升;露地条件下环境温度相对稳定,鳞茎外皮花青苷含量呈现连续上升的趋势。

由图 2, b 可以看出,露地栽培中,基质 pH 值对大蒜鳞茎外皮花青苷含量的积累影响很大,鳞茎发育过程中外皮花青苷含量整体上呈现上升趋势,pH 6.5 时,鳞茎发育后期外皮花青苷含量大量积累,5月4日,花青苷含量为 $0.6072 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$;pH 7.5 和 pH 8.5 时,鳞茎发育前期外皮花青苷

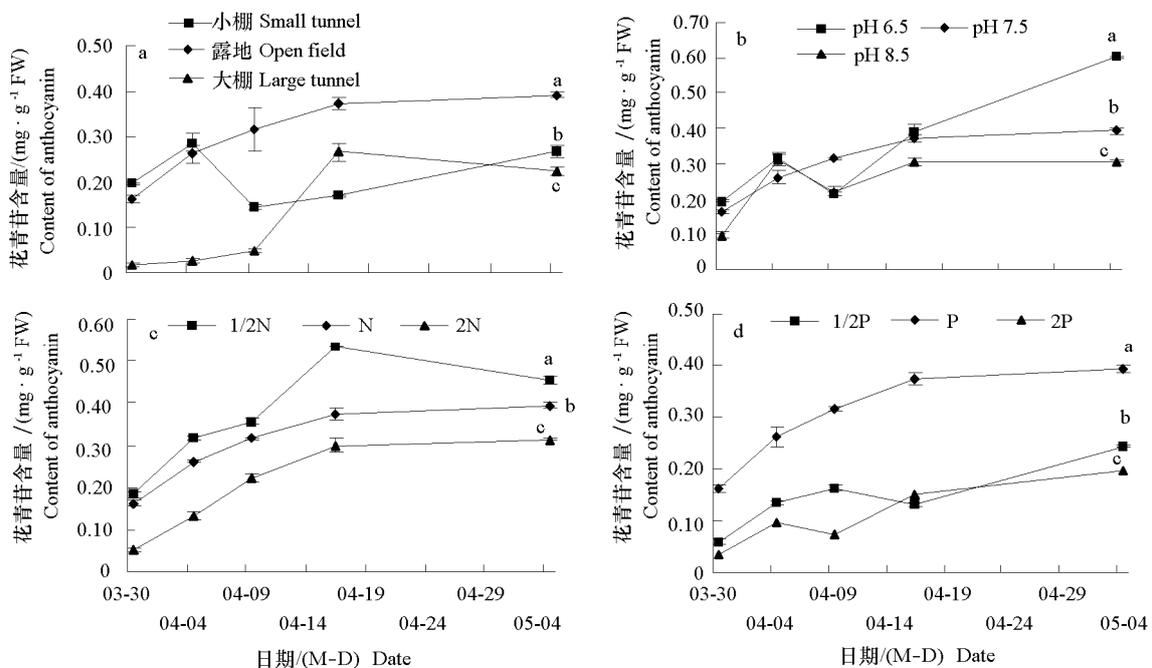


图 2 不同处理对紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量的影响

Fig. 2 Content of anthocyanin in the outer scale leaves of purple garlic affected by different treatments

积累上升趋势明显, 后期外皮花青苷积累上升趋势变缓。

由图 2, c 可以看出, 氮素水平对鳞茎外皮花青苷含量积累影响也很大, 随着大蒜鳞茎的发育成熟, 鳞茎外皮花青苷含量整体上上升, 增加趋势非常明显。1/2N 处理下鳞茎外皮花青苷含量在 4 月 16 日达到峰值, 为 $0.5338 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 高于 N 和 2N 处理, 说明鳞茎外皮中花青苷含量的积累适应低 N 素水平, 高氮水平反而抑制花青苷含量的积累。

由图 2, d 可以看出, 磷素水平对鳞茎外皮花青苷含量的影响与氮素不同, 虽然花青苷含量整体上呈现上升趋势, 但是磷素水平为 1 倍时, 鳞茎外皮花青苷含量高于 1/2 倍和 2 倍时, 表明鳞茎外皮花青苷含量可能随着磷素水平的增加呈现先升后降的趋势。不同磷素水平条件下, 花青苷含量均在 5 月 4 日达到最大, 分别为 0.3924 、 0.2438 和 $0.1979 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 。

2.3 环境条件对紫皮大蒜鳞茎外皮 CHI 活性的影响

由图 3 可以看出, 不同环境条件对 CHI 活性的影响也不同。

由图 3, a 可以看出, 露地生长的大蒜鳞茎外皮 CHI 活性缓慢上升, 后期鳞茎外皮 CHI 活性高于大棚和小棚处理; 小棚处理下大蒜鳞茎外皮 CHI 活性表现为升—降—升的趋势; 大棚内大蒜鳞茎外皮 CHI 活性呈现先升高后下降的趋势。

由图 3, b 可以看出, 鳞茎外皮发育前期各处理间 CHI 活性变化不大, 后期 pH 6.5 处理的 CHI 活性高于 pH 7.5 和 pH 8.5 的; pH 7.5 处理的大蒜鳞茎外皮 CHI 活性呈现缓慢上升的趋势。

由图 3, c 可以看出, 鳞茎外皮发育过程中, 1/2N 处理 CHI 活性高于 N 和 2N 处理; N 和 2N 处理的大蒜鳞茎外皮 CHI 活性呈现持续上升的趋势, 1/2N 处理的大蒜鳞茎外皮 CHI 活性表现为先升后降的趋势。

由图 3, d 可以看出, P 处理 CHI 活性高于 1/2P 和 2P 处理, 呈现逐渐升高的趋势, 1/2P 和 2P 处理大蒜鳞茎外皮 CHI 活性表现为升—降—升的趋势。

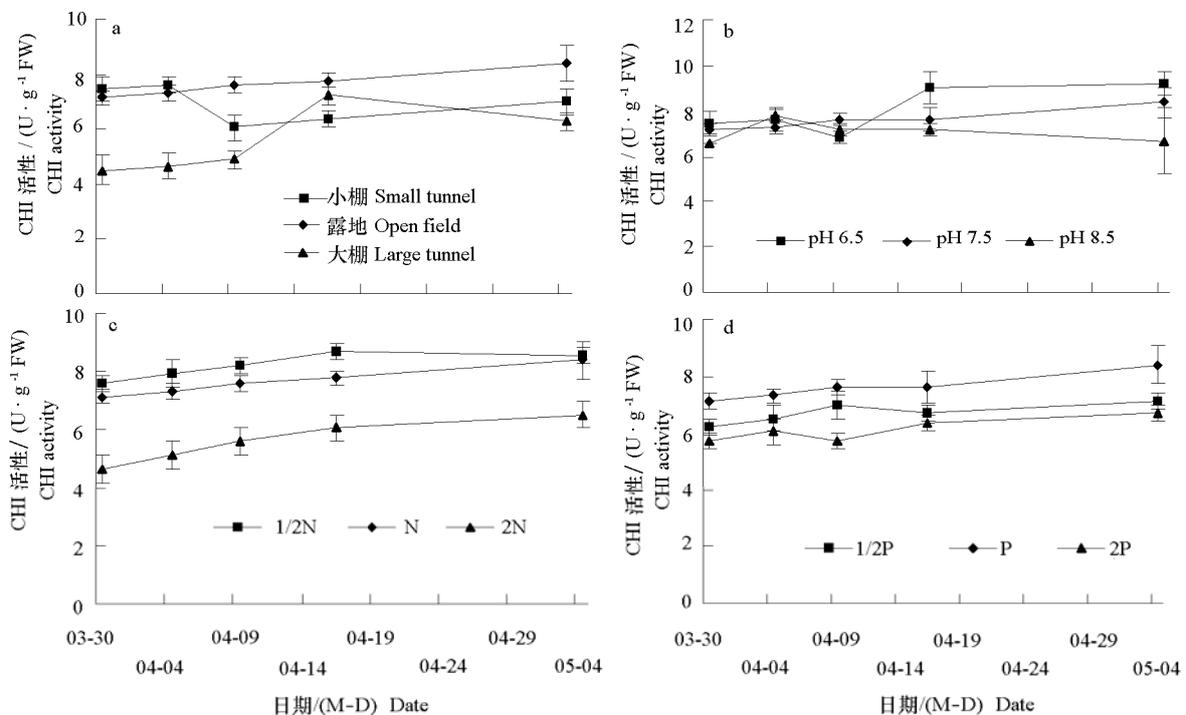


图 3 不同处理对紫皮大蒜鳞茎外皮 CHI 活性的影响

Fig. 3 Activities of CHI in the outer scale leaves of purple garlic affected by different treatments

综合图 2 和图 3 的结果,分析发现紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量变化与 CHI 活性变化基本一致,这些结果验证了 CHI 可能是紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷生物合成途径的关键酶。

3 讨论

3.1 紫皮大蒜鳞茎发育过程外皮花青苷含量与相关酶活性的关系

花青苷合成是基因调控的结果,酶作为基因的产物,催化物质合成与降解,实现基因功能。PAL 是花青苷通过苯丙氨酸代谢途径合成的第一个酶 (Ju et al., 1995),近些年来,对 PAL 活性与花青苷积累关系的研究存在较大争议。Arakawa (1988) 研究认为,在苹果中 PAL 是花青苷生物合成途径中的关键酶;而 Lister 和 Lancaster (1996) 研究指出,只有在苹果果皮变红时, PAL 活性才与花青苷生物合成关系密切;李兴国和于泽源 (2009) 及刘金等 (2012) 在黑穗醋栗上的试验结果表明, PAL 活性在一定程度上影响花青苷积累,但并不是花青苷生物合成的关键酶。

CHI 在花青苷生物合成途径中起着重要作用, Listner 和 Lancaster (1996) 在苹果上的研究指出, CHI 活性与苹果果皮花青苷含量积累保持一致;冯守千等 (2008) 在对砂梨的研究和刘晓静等 (2009) 对苹果的研究中均发现 CHI 活性与果实果皮花青苷含量积累密切相关。

DFR 活性在幼年常春藤中活性较高,但是在成熟阶段活性较低 (Murray & Hackett, 1991)。王慧聪等 (2004) 在荔枝上的研究结果表明, DFR 活性与荔枝果皮花青苷生物合成无密切关系。

本研究结果表明在紫皮大蒜鳞茎发育过程中, PAL 和 DFR 活性与鳞茎外皮花青苷积累的相关性在 5% 水平上不显著;而 CHI 活性与鳞茎外皮中花青苷积累呈极显著的线性关系。这些表明 CHI 可能是紫皮大蒜鳞茎发育过程中,鳞茎外皮花青苷生物合成的关键酶。

3.2 栽培环境对紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量的影响

花青苷生物合成是内在因子和外在因子共同作用的结果 (张茜 等, 2012), 而外在因子可以影响内在因子的作用。目前关于花青苷生物合成的外在因子研究多集中于光照和温度方面。大蒜鳞茎生长在地下,紫皮大蒜鳞茎外皮在地下发育为紫色,意味着光照在其花青苷生物合成中可能不是主导因子。

为此,本试验中研究了鳞茎发育过程中不同设施栽培、基质 pH、氮素水平和磷素水平对紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量的影响。结果表明,紫皮大蒜鳞茎外皮皮色受栽培环境因子影响很大:温度对花青苷合成影响较复杂,温度过高时,对花青苷合成不利。张光伦 (1987) 对苹果的研究结果发现相对较低的温度和较大的温差有利于苹果果皮中花青苷的合成。本研究中,由于设施性能良好,不同设施栽培主要差异表现为温度差异,设施内温度高低总体趋势为大棚 > 小棚 > 露地,收获时鳞茎外皮花青苷含量则为露地 > 小棚 > 大棚,且差异显著,说明低温可能有利于紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷的积累,这与张光伦 (1987) 的研究结果一致。

栽培基质 pH 值对发育前期大蒜鳞茎外皮花青苷含量影响不明显,而随着鳞茎成熟,鳞茎外皮花青苷含量显著升高,并以 pH 6.5 时最大,说明较低的 pH 值可能有利于促进鳞茎外皮花青苷的积累,这与酸性条件可促进花色苷形成的研究结果 (Saure, 1990) 一致。

营养元素水平,如氮素和磷素,对花青苷合成影响很大。本研究表明,随着氮素水平的提高,紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量降低,这与前人关于苹果果皮着色的报道 (鞠志国, 1991) 相似。Steven 和 Hruby (1990) 在红花槭上研究表明,减少土壤中磷的含量有利于花青苷的表达,而本试验研究结果表明紫皮大蒜鳞茎外皮花青苷含量在 0.5、1.0 和 2.0 mmol · L⁻¹ 范围内随磷素水平的提高表现为

先升后降的变化。

紫皮大蒜鳞茎发育过程中外皮花青苷积累与一般花卉和果品等不同, 主要原因是大蒜鳞茎生长于地下, 栽培土壤(基质)直接接触鳞茎外皮, 并影响其有关色素积累。紫皮大蒜鳞茎发育过程中, 外皮花青苷含量上升, 但在鳞茎成熟后花青苷也会出现部分降解。由于土壤环境变化极为复杂, 环境的改变又都有可能影响鳞茎外皮颜色。综合本试验研究结果认为, 相对较低的温度(露地)、偏酸性土壤条件(pH 6.5)、相对较低的氮素水平($7.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)和适宜的磷素水平($1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)对于紫皮大蒜鳞茎外皮颜色形成极为重要, 此外, 适时采收, 对于保持鳞茎外皮鲜艳颜色也很重要。

References

- Arakawa O. 1988. Photoregulation of anthocyanin synthesis in apple fruit under UV-B and red light. *Plant Cell Physiology*, 29: 1385 - 1389.
- Du C T, Francis F J. 1975. Anthocyanins of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Food Science*, 40: 1101 - 1102.
- Feng Shou-qian, Chen Xue-sen, Zhang Chun-yu, Liu Xiao-jing, Liu Zun-chun, Wang Hai-bo, Wang Yan-ling, Zhou Chao-hua. 2008. A study of the relationship between anthocyanin biosynthesis and related enzymes activity in *Pyrus pyrifolia* 'Mantianhong' and its bud sports 'Aoguan'. *Scientia Agricultura Sinica*, 41 (10): 3184 - 3190. (in Chinese)
- 冯守千, 陈学森, 张春雨, 刘晓静, 刘遵春, 王海波, 王延玲, 周朝华. 2008. 砂梨品种'满天红'及其芽变品系'奥冠'花青苷合成与相关酶活性研究. *中国农业科学*, 41 (10): 3184 - 3190.
- Giusti M M, Wrolstad R E. 2001. Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. America: John Wiley & Sons, Inc.
- He Fei, Mu Lin, Yan Guo-liang, Liang Na-na, Pan Qiu-hong, Wang Jun, Reeves M J, Duan Chang-qing. 2010. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules*, 15 (12): 9057 - 9091.
- Ju Zhi-guo. 1991. The relationships between the anthocyanin biosynthesis and apple pericarp coloration. *Journal of Fruit Science*, 8 (3): 176 - 180. (in Chinese)
- 鞠志国. 1991. 花青苷合成与苹果果皮着色. *果树科学*, 8 (3): 176 - 180.
- Ju Zhi-guo, Yuan Yong-bing, Liou Cheng-lian, Xin Shi-hai. 1995. Relationships among phenylalanine ammonia-lyase activity, simple phenol concentrations and anthocyanin accumulation in apple. *Scientia Horticulturae*, 61: 215 - 226.
- Li Xing-guo, Yu Ze-yuan. 2009. Relationship between anthocyanin synthesis and PAL activity in fruits of blackcurrant. *Journal of Jilin Agricultural University*, 31 (5): 603 - 606. (in Chinese)
- 李兴国, 于泽源. 2009. 黑穗醋栗果实中花青苷合成与 PAL 活性的关系. *吉林农业大学学报*, 31 (5): 603 - 606.
- Lister C E, Lancaster J E. 1996. Developmental changes in enzymes of flavonoid biosynthesis in the skins of red and green apple cultivars. *Journal Science of Food Agriculture*, 71: 313 - 320.
- 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.
- Liu Xiao-jing, Feng Bao-chun, Feng Shou-qian, Wang Hai-bo, Shi Jun, Wang Na, Chen Wei-yi, Chen Xue-sen. 2009. Studies on anthocyanin biosynthesis and activities of related enzymes of 'Ralls' and its bud mutation. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (9): 1249 - 1254. (in Chinese)
- 刘晓静, 冯宝春, 冯守千, 王海波, 石俊, 王娜, 陈为一, 陈学森. 2009. '国光'苹果及其红色芽变花青苷合成与相关酶活性的研究. *园艺学报*, 36 (9): 1249 - 1254.
- Murray J R, Hackett W P. 1991. Dihydroflavonol reductase activity in relation to differential anthocyanin accumulation in juvenile and mature phase *Hedera helix* L. *Plant Physiology*, 97: 343 - 351.
- Saure M C. 1990. External control of anthocyanin formation in apple. *Scientia Horticulture*, 42: 181 - 218.
- Stafford H A, Lester H H. 1984. Flavan-3-ol biosynthesis the conversion of (+) dihydroquercetin and flavan-3,4-cis-diol (leucyanidin) to (+)

- catechin by reductases extracted from cell suspension cultures of douglas fir. *Plant Physiology*, 76: 184 - 186.
- Steven A, Hruby B A. 1990. Response of interveinally chlorotic red maple trees treated with medicaps or by soil acidification. *Environment Horticulturae*, 8 (1): 5 - 9.
- Tang Zhong-hou, Zhou Li. 2009. Study on anthocyanins influencing on human health and its prospect. *Food Research and Development*, 30 (7): 159 - 162. (in Chinese)
- 唐忠厚, 周 丽. 2009. 花青素对人类健康影响的研究进展及其前景. *食品研究与开发*, 30 (7): 159 - 162.
- Wang Hui-cong, Huang Xu-ming, Hu Gui-bing, Huang Hui-bai. 2004. Studies on the relationship between anthocyanin biosynthesis and related enzymes in litchi pericarp. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (12): 2028 - 2032. (in Chinese)
- 王惠聪, 黄旭明, 胡桂兵, 黄辉白. 2004. 荔枝果皮花青苷合成与相关酶的关系研究. *园艺学报*, 37 (12): 2028 - 2032.
- Zhang Guang-lun. 1987. Studies on the ecological optimum conditions of apple and its ecological suitability in ABA, Sichuan. *Journal of Fruit Science*, 4 (3): 10 - 16. (in Chinese)
- 张光伦. 1987. 苹果生态适宜条件与四川阿坝州苹果生态适宜性研究. *果树科学*, 4 (3): 10 - 16.
- Zhang Qian, Yang Jian, Wang Long, Wang Su-ke, Li Xiu-gen, Zhang Shao-ling. 2012. Advances in research of red-skinned pear coloration and anthocyanin synthesis. *Journal of Fruit Science*, 29 (4): 668 - 675. (in Chinese)
- 张 茜, 杨 健, 王 龙, 王苏珂, 李秀根, 张绍铃. 2012. 红皮梨着色与花青苷合成研究进展. *果树学报*, 29 (4): 668 - 675.

征 订

欢迎订阅《园艺学报》

《园艺学报》是中国园艺学会和中国农业科学院蔬菜花卉研究所主办的学术期刊,创刊于1962年,刊载有关果树、蔬菜、观赏植物、茶及药用植物等方面的学术论文、研究报告、专题文献综述、问题与讨论、新技术新品种以及园艺研究动态与信息,适合园艺科研人员、大专院校师生及农业技术推广部门专业技术人员阅读参考。

《园艺学报》是中文核心期刊,中国科技核心期刊;被英国《CAB文摘数据库》、美国CA化学文摘、日本CBST科学技术文献速报、俄罗斯AJ文摘杂志、CSCD中国科学引文数据库等多家数据库收录。《园艺学报》荣获“第三届国家期刊奖”及“新中国60年有影响力的期刊”、“中国国际影响力优秀学术期刊”、“百种中国杰出学术期刊”、“中国权威学术期刊”、“中国精品科技期刊”等称号。

《中国学术期刊影响因子年报》2013年公布的《园艺学报》复合总被引频次为11 071,复合影响因子为1.734;期刊总被引频次为5 146,期刊影响因子为1.112。

《中国科技期刊引证报告》2013年公布的《园艺学报》扩展总被引频次为6 106,扩展影响因子为1.333;核心总被引频次为4 328,核心影响因子为1.047;在中国科技核心期刊综合评价总分排名中居第29位。

《园艺学报》为月刊,每月25日出版。每期定价40元,全年480元。国内外公开发售,全国各地邮局办理订阅,国内邮发代号82-471,国外发行由中国国际图书贸易总公司承办,代号M448。漏订者可直接寄款至编辑部订购。编辑部地址:北京市海淀区中关村南大街12号中国农业科学院蔬菜花卉研究所《园艺学报》编辑部。

邮政编码:100081;电话:(010)82109523。

E-mail: yuanxixuebao@126.com。

网址: <http://www.ahs.ac.cn>。