

# 光影响植物花青苷合成研究

占丽英, 王 晶, 林义章

(福建农林大学 园艺学院, 福建 福州 352000)

**摘 要:**近几年来,对于环境因子影响花青苷合成的研究已有相关报道。现基于对花青苷合成影响最大的光因子,结合国内外研究,综述了光照时间、光照强度和不同光质对植物花青苷合成途径中相关酶活性的调节作用、相关基因的调控作用以及植物的呈色反应的影响,指出对于大多数植物而言,光照时间越长,越有利于花青苷的合成,植物呈色效果明显;光照促进植物花青苷合成和积累,光强越大,提高花青苷合成途径中相关酶活性,促进相关基因上调表达以及促进植物花青苷的积累,呈色效果明显;在不同的光质中,对合成花青苷最有效的是蓝光和紫外光,可以提高酶活性,增强相关基因的表达,促进植物呈色。此外,还分析了目前花青苷光环境研究存在的问题,为今后研究提供新思路和新方向。

**关键词:**光;花青苷;酶活性;基因表达

**中图分类号:**Q 946 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)12-0197-05

花青苷是一类溶于水、无毒的植物色素,广泛存在于植物体的花、果、茎、叶和种子的多酚类黄酮化合物。长期以来,因其重要的应用潜能和广阔的市场空间,花青苷合成研究受到了广泛关注。花青苷合成与积累往往与植物生长发育过程紧密相关,受内外因子共同调控,结构基因和调控基因是决定花青苷合成的内因,光、温度、水分、营养元素以及外源激素等环境因子是诱导植物花青苷合成与积累的外因。随着克隆、诱变和突变体等生物技术的不断完善和广泛使用,花青苷合成途径中相关的结构基因和调节基因的分离、克隆及基因的时空特异性表达已有研究,目前已从梨<sup>[1]</sup>、蝴蝶兰<sup>[2]</sup>、苹果<sup>[3]</sup>、甘薯<sup>[4]</sup>、白菜<sup>[5]</sup>等植物中分离并克隆了大量与花青苷合成相关的基因。

此外,花青苷作为一种重要的植物天然色素,在其结构和组分鉴定分析、提取方法和稳定性研究以及其生物合成过程中的环境调控等方面都已进行了相关研究。高效液相色谱-质谱法分析鉴定出不同结构修饰的花青苷组分<sup>[6]</sup>;采用超声波法进行花青苷提取方法的优化<sup>[7]</sup>;林文超<sup>[8]</sup>在温度、pH 和光照等方面研究了花青苷的稳定性,得出保持花青苷稳定性的最佳条件。植物合

成花青苷受到外界环境因子(如温度、水分、光照等)的影响,其中光环境对花青苷合成影响最大。光环境因子能够激活花青苷合成途径中相关酶活性和相关基因的表达,促使植物合成并积累花青苷<sup>[9]</sup>。光质、光强和光周期均在一定程度上影响花青苷的合成<sup>[10]</sup>。因此,现结合国内外相关花青苷研究,在光影响花青苷合成的相关研究方面进行综合分析,主要在酶活性、相关基因表达和植物呈色方面进行阐述。从而掌握光因子对植物花青苷合成的调控机理,在植物栽培生产过程中,可以通过调节植物生长过程中的光条件,以期达到提高植物呈色色泽度、观赏性、品质和市场价值。

## 1 光周期影响花青苷的合成

光周期是指昼夜周期中光照期和黑暗期长短的交替变化,光周期现象是植物对光周期的反应。除了光诱导并影响植物的开花,植物的其它生理活动也受光周期的影响,如植物块根、块茎的形成,叶的脱落和芽的休眠等。光照时长对植物花青苷的积累也有一定的影响。植物花青苷含量随着光照时间的增加而增加,青苷合成基因和 *McMYB10* 基因随着光照时间的增加,基因较高的上调表达,促进叶片和愈伤组织花青苷合成和积累<sup>[11]</sup>。史宝胜<sup>[12]</sup>研究发现,光照时间的延长显著提高了紫叶李叶片中 PAL 活性,促进了花色素苷的生物合成,使叶色变红。而蔡葛平<sup>[13]</sup>研究发现,短光照明显促进黄岑中类黄酮的生物合成,而长光照有不利影响,这可能与药用植物的遗传特性有关。

**第一作者简介:**占丽英(1990-),女,江西景德镇人,硕士研究生,研究方向为蔬菜生理与分子生物学。E-mail:643456975@qq.com.

**责任作者:**林义章(1956-),男,福建福州人,教授,现主要从事蔬菜生理等研究工作。E-mail:lyz2003007@163.com.

**基金项目:**福建省蔬菜产业技术体系资助项目(2012K83139294)。

**收稿日期:**2016-03-11

## 2 光照强度促进花青苷的合成

### 2.1 光照强度调节花青苷合成酶活性

光可以通过激活光敏色素来调控酶的合成和活化,在光照条件下,花青苷合成有关酶的活性增强,从而促进花青苷的合成。花青苷合成途径中的苯丙氨酸解氨酶(PAL)、查耳酮合酶(CHS)、二氢黄酮醇 4-还原酶(DFR)、类黄酮葡萄糖苷转移酶(UFGT)等关键合成酶都是光调节酶,光可以诱导激发并提高这些酶的活性,从而促进花青苷的合成和积累<sup>[14]</sup>。花青苷合成相关酶活性一般和光照强度呈正相关。金鱼草中的 CHS 活性在强光照射下比在黑暗中显著增强<sup>[15]</sup>。不同植物的光诱导酶活性对不同程度光照强度的响应不同,遮光处理红叶石楠的研究发现,遮光条件下叶片光合色素含量增加,全光照条件下利于叶片花青苷积累以及能够提高 PAL 活性<sup>[16]</sup>;强光促进花青苷的高水平合成,当光强在 50%以下时,花青苷的浓度和光照强度呈正相关<sup>[14]</sup>;套

袋处理的荔枝接受光照后,UFGT 活性显著增加<sup>[17]</sup>。

### 2.2 光照强度调控花青苷合成相关基因表达

在所有影响花青苷合成的外部因子中,光是最重要的。调节基因编码的转录因子可以决定结构基因表达与否及其强弱,而结构基因可以决定花青苷合成的种类。有研究发现,强光可以同时诱导结构基因和调节基因的表达,促进花青苷的合成和积累。菊花强光研究表明,强光处理菊花蕾期花序,大量基因丰度上调表达,促使花青苷含量增加,花色增加<sup>[18]</sup>;在花青苷合成的前期,不同的光照强度可以调控相关基因的表达,由表 1 可知,不同物种的基因表达模式不尽相同,花青苷合成结构基因几乎均受光调控,在强光下,基因上调表达,在弱光、遮光或黑暗下基因不表达或下调表达;部分植物花青苷合成的转录因子在强光下上调表达,在黑暗下不表达或没有影响。

表 1 不同光照处理方式对花青苷合成相关基因表达的影响

Table 1 Effect of different light treatment on genes expression involved in anthocyanin biosynthesis

处理方式	物种	结构基因	调节基因	基因表达模式	参考文献
强光	拟南芥( <i>Arabidopsis thaliana</i> )	CHS、F3H、DFR、LDOX	MYB(PAP1、PAP2)	上调	COMINELLI 等 <sup>[19]</sup>
弱光	拟南芥		TT8、TTG1、EGL3	下调	ROWAN 等 <sup>[20]</sup>
强光	矮牵牛( <i>Petunia hybrida</i> )	CHS、CHI、FLS		上调	ALBERT 等 <sup>[21]</sup>
	野生型 Mitchell	DFR、ANS		弱表达	
强光	矮牵牛转 Lc 的株系	CHS、CHI		高丰度表达	ALBERT 等 <sup>[21]</sup>
		DFR、ANS		高丰度表达	
		FLS		较低	
光照	百合( <i>Lilium spp.</i> )		LhbHLH1、LhbHLH2	上调	NAKATSUKA 等 <sup>[22]</sup>
弱光	紫苏( <i>Perilla frutescens</i> )	CHS、F3H、DFR、3GT、LDOX、AAT		下调	GONG 等 <sup>[23]</sup>
黑暗	矮牵牛	CHS、CHI		不表达	TUNEN 等 <sup>[24]</sup>
黑暗	矮牵牛野生型 Mitchell	DFR、ANS		不表达	ALBERT 等 <sup>[21]</sup>
黑暗 6 d	百合	LhDFR	LhbHLH1	没有影响	NAKATSUKA 等 <sup>[22]</sup>
			LhbHLH2	下调	
遮光	葡萄( <i>Vitis vinifera</i> )	FLS4、CHS2、LDOX、OMT、UFGT	MYB12、MYBA1、MYB5a	下调	MATUS 等 <sup>[25]</sup>
黑暗	角堇( <i>Viola cornuta</i> )	CHS、DFR、ANS		下调	FARZAD 等 <sup>[26]</sup>
黑暗	欧芹( <i>Petroselinum crispum</i> )	CHS		下调	SCHMELZER 等 <sup>[27]</sup>
遮光	非洲菊( <i>Gerbera hybrida</i> )	CHS、DFR		不表达	MENG 等 <sup>[28]</sup>

另一方面,光可以通过诱导花青苷合成途径中结构基因与转录因子的相互作用,调控基因的表达。研究发现,受光信号诱导的 CHS、CHI、F3H 等结构基因启动子区都存在 G-box 及 MYB 2 个响应光信号的识别元件,G-box 能与 bHLH 及 bZIP 转录因子结合,受光调节参与花青苷的合成代谢<sup>[29]</sup>。

### 2.3 光照强度促进植物花青苷积累

光影响花青苷合成和积累,能引起植物永久或暂时的变色反应。不同光照强度直接影响植物叶绿素、类胡萝卜素和花青苷含量及比例,从而影响植物的叶片呈色。不同植物对光照强度的反应表现不同,如紫叶小檗、紫叶矮樱等植物必须在全光照下才能显现出其彩叶的最佳呈色;而其它的一些彩叶植物如花叶一叶兰只有在 63%遮阴下才能呈现出斑斓色彩<sup>[30]</sup>。还有一些观赏

植物在强光下表现较高的观赏价值,如黄素梅、黄金榕;而龙血树、豆瓣绿、彩虹竹芋、黛粉叶、美丽山柰等则表现为在弱光下彩斑或彩条清晰,数目较多<sup>[31]</sup>。一定程度的光照强度促进叶绿素和花青苷的合成和积累,如在强光下的紫罗勒叶片呈色比在弱光下生长紫罗勒的单位叶面积叶绿素含量和花青苷含量要高<sup>[32]</sup>。矮牵牛转 Lc 株系强光和遮光研究发现,植物呈色表型与花青苷和类黄酮的积累有关<sup>[21]</sup>;强光(100%光强)环境下的紫荆叶片呈紫红色,中等光强(70%)处理的叶片呈暗紫红色,弱光(40%和 15%光强)下的叶片都接近绿色<sup>[33]</sup>。

## 3 光质影响花青苷的合成

### 3.1 光质调节花青苷合成酶活性

生长在不同光条件下的植物花色、叶色和果色等常

常不同,如蓝色花大多集中分布于高山地区,而在平原地带,蓝紫色的花却较罕见,这与高山地区的紫外线(UV)有关。与光的其它条件相比,光质对植物花青苷合成和积累起关键作用<sup>[34]</sup>。不同的光质对植物花青苷合成酶活性的影响不同。在苹果果皮着色中,紫外光 UV-A(>320 nm)灼伤果皮而变褐色;UV-B(280~320 nm)能够刺激果实 PAL 活性增加,促进花青苷的积累<sup>[35]</sup>;紫外光照射下的植物 CHS 活性增加<sup>[36]</sup>。

表 2 不同光质对花青苷合成相关基因表达模式的影响

Table 2 Effect of different light quality on genes expression involved in anthocyanin biosynthesis

光质	物种或组织	受调控的基因	表达模式	参考文献
UV-A,UV-B	拟南芥	CHS	上调	CHRISTIE 等 <sup>[37]</sup> ,王曼等 <sup>[38]</sup>
UV-B	矮牵牛	CHS-A,CHS-B,CHS-G,CHS-J	上调	KOES 等 <sup>[39]</sup>
红光	矮牵牛	CHS-A,CHS-J	上调	KOES 等 <sup>[39]</sup>
蓝光	转反义 BnCRY1 的油菜(Brassica napus)植株	BnCRY1	上调	MITHU 等 <sup>[40]</sup>
UV-A	芜菁(Brassica rapa)	cytochrome P450、PAL、F3H、ANS、CHS、DFR、GST	上调	许志茹等 <sup>[41]</sup> ,BO 等 <sup>[42]</sup>
UV-B	莴苣(Lactuca sativa)叶片	F3H、CHS、DFR	上调	PARK 等 <sup>[43]</sup>
UV	茄(Solanum melongena)	CHS、DFR	上调	TOGURI 等 <sup>[44]</sup>
UV-A	胡萝卜(Daucus carota)细胞	DcCHS1、DcCHS2	上调	HIRNER 等 <sup>[45]</sup>
蓝光	杨梅(Myrica rubra)果实	MrMYB1、MrCHI、MrF3H、MrF3'H、MrDFR1、MrDFR2、MrANS	上调	SHI 等 <sup>[46]</sup>
UV-A	大豆(Glycine max)芽苗菜下胚轴	PAL、CHS、CHI、DFR、ANS、UGT、MYB75、CRY1、CRY2、UVR8	上调	戚楠楠等 <sup>[47]</sup>

### 3.3 光质影响植物着色

在不同光质条件下,植物花青苷含量不同,植物的光质诱导效应不同。DUSSI 等<sup>[48]</sup>研究西洋梨在 400~500、500~600、600~700 nm 和>700 nm 波段下花青苷含量均有所增加,其中 600~700 nm 最为明显;可见光或接近可见光范围内的光辐射可以促进花青苷的积累,影响植物着色<sup>[49]</sup>;黄光和绿光促进玫瑰茄细胞花青苷合成,但蓝光是最有效的单色光<sup>[50]</sup>。蓝光和紫外光较其它光质更能促进花青苷的合成<sup>[51]</sup>;在拟南芥光质诱导研究中证实了这一点,其花青苷积累主要受 UV-B、蓝光、白光、远红光、红光的诱导,其中蓝光、UV-B 诱导效应最明显<sup>[52]</sup>。大量研究表明,用不同波长的光线照射果实,紫外光照射下的果实着色最佳,可见光下着色一般,红外线照射几乎没有着色效果。

### 4 结论和展望

关于花青苷的研究在近 10 年来取得了比较显著的成果。大多数植物花青苷合成代谢途径已经初步明确,对环境因子(温度、水分、pH、营养元素等)和植物生长调节剂在植物花青苷合成和积累方面的影响效应已有初步报道。根据国内外近年来花青苷合成相关研究,基于光照这一主要外界环境因子,已对光影响植物花青苷合成的影响机制有了初步的了解。光周期、光强和不同光质对植物花青苷生物合成和基因调控方面阐述已基本清晰。但对于植物花青苷的光影响效应方面,仍有许多问题尚待研究。一是环境因子研究比较单一,目前缺少光因子和其它环境因子多重组合研究,缺乏多种因子对植物花青苷合成调控的研究报道。二是研究材料比较

### 3.2 光质调控花青苷相关基因表达

在花青苷合成和积累过程中,不同的光质对花青苷呈色调控效果不同,光质可以通过诱导相关基因的表达,促进花青苷的合成。植物花青苷合成相关基因表达模式对不同光质的响应模式不同,由表 2 可知,紫外光与花青苷合成相关基因的表达较为密切,其中 UV-A、UV-B 的诱导效应最明显;在可见光中,红光和蓝光诱导花青苷结构基因的表达明显。

单一,多集中在水果、花卉和观赏植物上,缺少蔬菜和一些药用植物的研究。三是光调控花青苷合成相关基因机制研究尚不明确,目前仍停留在单个基因表达情况,多个基因表达的相互作用尚不明确。四是基于光环境下的植物初级代谢(光合色素合成代谢)和次级代谢(花青苷合成代谢)之间的关系和调节机制尚不清晰。

### 参考文献

- [1] 俞波. 红色砂梨花青苷生物合成相关基因分离及表达研究[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [2] 钟淮钦,黄敏玲,吴建设,等. 蝴蝶兰花青素苷合成途径关键酶基因的克隆与表达[J]. 福建农业学报, 2013(9):854-858.
- [3] 杨宏霞,刘冰雁,刘振坤,等. '苹果梨'果实着色过程中 PyCHI 和 PyF3H 的克隆与表达分析[J]. 果树学报, 2015(3):359-365.
- [4] 贺学勤,ISHI K,SOEDARJO M. Myb 类基因 *Ibmyb* 在甘薯不同品种中的表达[J]. 中国农学通报, 2008(5):87-89.
- [5] 郭宁. 白菜花青苷和黄酮醇苷自然变异及遗传机制研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2014.
- [6] 张洁. 四种观赏植物花青苷分析及其花色形成机制[D]. 西安:西北农林科技大学, 2011.
- [7] 杨碧云,叶丽萍,林琳琳,等. 响应面法优化超声辅助提取紫色小白菜花青苷的工艺研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2014(4):373-382.
- [8] 林文超. 紫色大白菜花青素组分鉴定、稳定性及抗氧化性研究[D]. 青岛:青岛农业大学, 2012.
- [9] WEISS D. Regulation of flower pigmentation and growth: Multiple signaling pathways control anthocyanin synthesis in expanding petals[J]. *Physiologia Plantarum*, 2000, 110(2):152, 157.
- [10] 高燕会,黄春红,朱玉球,等. 植物花青素苷生物合成及调控的研究进展[J]. 中国生物工程杂志, 2012, 32(8):94-99.
- [11] LU Y, ZHANG M, MENG X, et al. Photoperiod and shading regulate coloration and anthocyanin accumulation in the leaves of *malus crabapples*[J]. *Plant Cell Tissue & Organ Culture*, 2015, 121:619-632.



- [12] 史宝胜. 紫叶李叶色生理变化及影响因素研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.
- [13] 蔡葛平. 光周期、土壤水分及外源激素对黄芩中黄酮类成分累积的影响及其分子机制[D]. 上海: 复旦大学, 2008.
- [14] 李跃, 刘延吉. 果实花青苷代谢机制及调控技术研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(16): 4755-4756.
- [15] LIPPHARDT S, BRETTSCHEIDER R, KREUZALER F, et al. UV-inducible transient expression in parsley protoplasts identifies regulatory cis-elements of a chimeric *Antirrhinum majus* chalcone synthase gene[J]. *Embo Journal*, 1988, 7(13): 4027-4033.
- [16] 崔晓静, 肖建忠, 关楠, 等. 不同遮光处理对红叶石楠叶色表现的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008(10): 153-157.
- [17] 王惠聪, 黄旭明, 胡桂兵, 等. 荔枝果皮花青苷合成与相关酶的关系研究[J]. 中国农业科学, 2005, 37(12): 2028-2032.
- [18] 唐杏姣. 光照对菊花花青素苷合成与呈色的作用[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [19] COMINELLI E, GUSMAROLI G, ALLEGRE D, et al. Expression analysis of anthocyanin regulatory genes in response to different light qualities in *Arabidopsis thaliana*[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2008, 165(8): 886-894.
- [20] ROWAN D D, CAO M, KUI L W, et al. Environmental regulation of leaf colour in red 35S; PAP1 *Arabidopsis thaliana*[J]. *New Phytologist*, 2009, 182(1): 102-115.
- [21] ALBERT N W, LEWIS D H, ZHANG H, et al. Light-induced vegetative anthocyanin pigmentation in *Petunia*[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(7): 2191-2202.
- [22] NAKATSUKA T, NISHIHARA M, MISHIBA K, et al. Temporal expression of flavonoid biosynthesis-related genes regulates flower pigmentation in gentian plants[J]. *Plant Science*, 2005, 168(5): 1309-1318.
- [23] GONG Z, YAMAZAKI M, SUGIYAMA M, et al. Cloning and molecular analysis of structural genes involved in anthocyanin biosynthesis and expressed in a form-specific manner in *Perilla frutescens*[J]. *Plant Molecular Biology*, 1997, 35(6): 915-927.
- [24] TUNEN A J V, KOES R E, SPELT C E, et al. Cloning of two chalcone flavanone isomerase genes from *Petunia hybrida*: coordinate, light regulated and differential expression of flavonoid genes[J]. *Embo Journal*, 1988(7): 1257-1263.
- [25] MATUS J T, LOYOLA R V A, PENA N A, et al. Post-veraison sunlight exposure induces MYB-mediated transcriptional regulation of anthocyanin and flavonol synthesis in berry skins of *Vitis vinifera*[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(3): 853-867.
- [26] FARZAD M, GRIESBACH R, HAMMOND J, et al. Differential expression of three key anthocyanin biosynthetic genes in a color-changing flower, *Viola cornuta* cv. Yesterday, Today and Tomorrow[J]. *Plant Science*, 2003, 165(6): 1333-1342.
- [27] SCHMELZER E, JAHNEN W, HAHNBROCK K. In situ localization of light-induced chalcone synthase messenger-RNA, chalcone synthase, and flavonoid end products in epidermal-cells of Parsley leaves[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1988, 85(9): 2989-93.
- [28] MENG X, XING T, WANG X. The role of light in the regulation of anthocyanin accumulation in *Gerbera hybrida*[J]. *Plant Growth Regulation*, 2004, 44(3): 243-250.
- [29] ROMAN U, ALEXANDER B, ATTILA O, et al. Genome-wide analysis of gene expression reveals function of the bZIP transcription factor HY5 in the UV-B response of *Arabidopsis*[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(5): 1397-1402.
- [30] 姜卫兵, 庄猛, 韩浩章, 等. 彩叶植物呈色机理及光合特性研究进展[J]. 园艺学报, 2005, 32(2): 352-358.
- [31] 文祥凤, 赖家业, 和太平, 等. 温度与光照对黄素梅、黄金榕叶色变化的影响[J]. 广西农业生物科学, 2003(1): 32-34.
- [32] 李运丽, 侯喜林, 李志强, 等. 光强对紫罗勒花青素含量及光合特性的影响[J]. 华北农学报, 2011(3): 231-238.
- [33] 杨羚. 环境因子对紫叶加拿大紫荆生长及叶色变化的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- [34] 胡可, 韩科厅, 思兰. 环境因子调控植物花青素苷合成及呈色的机理[J]. 植物学报, 2010, 45(3): 307-317.
- [35] SONG Z, LI T Z, XU G X, et al. Effect of different light spectra on the surface coloration of 'Red Fuji' apple[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5): 2304-2311.
- [36] LIPPHARDT S, BRETTSCHEIDER R, KREUZALER F, et al. UV-inducible transient expression in parsley protoplasts identifies regulatory cis-elements of a chimeric *Antirrhinum majus* chalcone synthase gene[J]. *Embo Journal*, 1988, 7(13): 4027-4033.
- [37] CHRISTIE J M, JENKINS G I. Distinct UV-B and UV-A blue light signal transduction pathways induce chalcone synthase gene expression in *Arabidopsis* cells[J]. *Plant Cell*, 1996, 8(9): 1555-1567.
- [38] 王曼, 王小菁. 蓝光和蔗糖对拟南芥花色素苷积累和 CHS 基因表达的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(3): 252-256.
- [39] KOES R E, SPELT C E, MOL J N M. The chalcone synthase multigene family of *Petunia hybrida* (V30): differential, light-regulated expression during flower development and UV light induction[J]. *Plant Molecular Biology*, 1989, 12(2): 213-225.
- [40] MITHU C, POOJA S, KHURANA J P. Cryptochrome 1 from *Brassica napus* is up-regulated by blue light and controls Hypocotyl/stem growth and anthocyanin accumulation 1[J]. *Plant Physiology*, 2006, 141(1): 61-74.
- [41] 许志茹, 李玉花. '津田芜菁'花色素苷生物合成相关基因的表达[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 32(5): 583-586.
- [42] BO Z, LI Y, XU Z, et al. Ultraviolet A-specific induction of anthocyanin biosynthesis in the swollen hypocotyls of turnip (*Brassica rapa*) [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58(7): 1771-1781.
- [43] PARK J S, CHOUNG M G, KIM J B, et al. Genes up-regulated during red coloration in UV-B irradiated lettuce leaves[J]. *Plant Cell Reports*, 2007, 26(4): 507-516.
- [44] TOGURI T, UMEMOTO N, KOBAYASHI O, et al. Activation of anthocyanin synthesis genes by white light in eggplant hypocotyl tissues, and identification of an inducible P-450 cDNA. [J]. *Plant Molecular Biology*, 1994, 23(5): 933-946.
- [45] HIRNER A A, SEITZ H U. Isoforms of chalcone synthase in *Daucus carota* L. and their differential expression in organs from the European wild carrot and in ultraviolet-A-irradiated cell cultures[J]. *Planta*, 2000, 210(6): 993-998.
- [46] SHI L, CAO S, CHEN W, et al. Blue light induced anthocyanin accumulation and expression of associated genes in Chinese bayberry fruit[J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 179: 98-102.
- [47] 戚楠楠, 张晓燕, 苏娜娜, 等. UV-A 诱导大豆芽苗菜下胚轴中花青苷积累的分子机理[J]. 中国农业科学, 2015(12): 2408-2416.
- [48] DUSSI M C, SUGAR D, WROLSTAD R E. Characterizing and quantifying anthocyanins in red pears and the effect of light quality on fruit color[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1995, 120(5): 785-789.
- [49] KENDRICK R E, KRONENBERG G H M. Photomorphogenesis in

plants[J]. 2nd Edition. Kluwer Academic Publishers Dordrecht the Netherlands Pp,1994,52(1994):309-312.

[50] 顾林,朱洪梅,顾振新. 花青素的生物合成和成色机理及提高其稳定性的途径[J]. 食品工业科技,2007(11):240-244.

[51] OHTO M,ONAI K,FUKAWA Y,et al. Effects of sugar on vegetative

development and floral transition in *Arabidopsis*[J]. Plant Physiology,2001,127(1):252-261.

[52] WANG M. Effects of blue light and sucrose on anthocyanin accumulation and chalcone synthase gene expression in *Arabidopsis*[J]. Journal of Tropical & Subtropical Botany,2004,12(3):252-256.

## Effect of Light on Anthocyanin Synthesis in Plant

ZHAN Liying, WANG Jing, LIN Yizhang

(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 352000)

**Abstract:** In recent years, there were some comprehensive descriptions of the environmental factors' influence on anthocyanin synthesis. Therefore, based on light factor the major impact, combining with the relative literatures, the paper reviewed the effects of illumination time, light intensity and different light quality on the activity of the enzyme, the expression of genes and the color reaction of plants. The paper pointed out that the longer the illumination time, the stronger illumination intensity and blue and ultraviolet light were more effective to the biosynthesis and accumulation of anthocyanins, to improve the enzyme activity and to promote the genes expression in most plants. In addition, it also analyzed the problems unsolved in this field, in order to provide new ideas for future study work.

**Keywords:** light; anthocyanin; enzyme activity; gene expression

“镰刀弯”政策科普系列(四)

## “镰刀弯”地区玉米结构调整意见(三): “镰刀弯”地区玉米结构调整的重点区域

知识窗

### 1. 东北冷凉区

区域特点:包括黑龙江北部和内蒙古东北部第四、五积温带以及吉林东部山区,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温在 1 900~2 300  $^{\circ}\text{C}$ , 冬季漫长而严寒, 夏季短促, 无霜期仅有约 90 d, 昼夜气温变化较大。

主攻方向:内蒙古、黑龙江和吉林要结合区内畜牧业发展的要求, 大力发展青贮玉米, 扩大饲料油菜种植, 发展苜蓿等牧草生产。发挥东北地区种植大豆的传统优势, 恢复粮豆轮作种植模式。发展优质强筋春小麦, 建立“硬红春”小麦生产基地。

### 2. 北方农牧交错区

区域特点:该区涉及黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山西、河北、陕西、甘肃等省(区), 水资源紧缺, 土壤退化沙化, 灾害种类多、发生频繁、灾情严重。

主攻方向:东北四省区以发展青贮玉米和粮豆轮作、花生、杂粮生产为主, 同时积极发展饲草种植和饲料油菜;冀北、晋北和内蒙古中部以发展耐旱型杂粮杂豆、马铃薯、经济林果为主, 陕甘农牧交错区以发展杂粮杂豆为主, 因地制宜发展饲料油菜;在生态脆弱区, 积极发展耐盐耐旱的沙生植物等。

### 3. 西北风沙干旱区

区域特点:该区包括新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等省(区), 属于干旱荒漠气候, 光热资源丰富, 昼夜温差大,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温在 2 800~4 400  $^{\circ}\text{C}$ , 无霜期 115~210 d。

主攻方向:在河西走廊灌溉条件较好的地区, 发展玉米等制种产业;在宁夏、内蒙古河套灌区, 发展胡麻、油菜、饲料油菜等低耗水作物;在生态脆弱区, 积极发展耐盐耐旱的饲用兼用油莎豆等沙生植物;在新疆地区发展青贮玉米和苜蓿生产, 满足畜牧业发展对优质饲料的需求。

### 4. 太行山沿线区

区域特点:该区包括山西东部和河北西部山区, 土层浅薄, 水土流失严重。农业基础条件差, 灌溉设施不足, 春旱伏旱发生频繁, 玉米产量低而不稳。

主攻方向:大力发展耐旱的杂粮杂豆和生育期短的青贮玉米。促进板栗、核桃、山楂、蔬菜、中药材等特色种养业、农产品加工业和休闲服务业融合发展, 提高农业生产效益。

### 5. 西南石漠化区

区域特点:该区包括广西、云南、贵州等省(区), 光照条件较差, 春旱、伏旱和秋旱常有发生;地形复杂, 不利于农业规模化经营和机械化生产;岩溶发育广, 石漠化严重, 农业生态系统脆弱。

主攻方向:调减山坡地和缺少灌溉保障地区的玉米种植, 积极发展杂粮杂豆、茶叶、核桃、油茶、中药材等, 改良草山草坡, 发展饲用麻、饲用桑、饲用兼用油莎豆和人工草地, 支撑当地草食畜牧业发展。

(摘自:农业部官方网站)