

# 果实花青素研究进展

赵玉辉<sup>1,2</sup>, 郭印山<sup>1</sup>, 李作轩<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161; 2. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016)

中图分类号: Q946.83<sup>+</sup>6 文献标识码: A 文章编号: 1001-0009(2006)03-0046-02

果色是品质的重要指标之一, 果实色泽不仅影响到外观, 而且着色程度与风味品质有关, 决定果色的色素主要有花青素, 类胡萝卜素, 叶绿素。花青素是决定果色的主要色素, 类胡萝卜素、叶绿素在着色中起辅助作用。

花青素是类黄酮的一种, 是水溶性色素, 存在于液泡中, 在果实中以糖苷的形式存在, 称之为花青苷, 在果树上关于花青素的研究取得了一定进展, 现就这方面的工作做一综述。

## 1 花青素的细胞学研究

在水果中着色有果皮着色和果皮、果肉都着色两种类型, 现着重果皮着色。花青素位于表皮及亚表皮细胞的液泡中, Fletcher 和 Overholser 研究指出花青素在果皮最外 3~4 层细胞内, Fletcher 和 Dayton 青素的细胞分布具明显的品种特性<sup>[1]</sup>, 而日本学者中村正博确认葡萄表皮及表皮下 4~5 层细胞中有花青苷的存在<sup>[2]</sup>, 鞠志国研究认为苹果果皮下表皮的细胞层数不固定, 发育初期这类细胞的形状与果肉细胞无差别, 但后期下表皮的细胞壁加厚, 成熟时下表皮的细胞就变成厚壁而无间隙的横长细胞, 花青素就贮藏在该类细胞的细胞液中, 在同一品种中, 同一果实的着色面有 7~8 层下表皮细胞, 而不着色的仅为 6 层, 甚至更少<sup>[3]</sup>。

中村正博在“巨峰”葡萄上进行了细胞学研究, 发现了花青苷的球状体 (ACP), 并观察了 ACP 的一些特性, 发现在光学显微镜下 ACP 膜为透明膜, 花青苷包被于其中, 但 ACP 合成晚于花青苷, ACP 的出现是在花青苷出现后, 葡萄果色变为紫色时才出现的, ACP 刚出现时为红色, 多量, 随着果粒发育, ACP 由多个融合为一个大的 ACP, 颜色变黑, 其最大的直径为表皮细胞的 1/2; 表皮与表皮下第 2 层细胞相比, 表皮细胞 ACP 直径略大, 数目少, 而表皮下第 2 层细胞中 ACP 略小, 数目多, 中村正博认为表皮下层可能比表皮易产生 ACP, 或有产生 ACP 的有利条件; 将果粒横切后培养于 24% 蔗糖中, 发现培养的果粒花青苷含量是露天栽培 (当其 ACP 出现的细胞达 100%) 的 2 倍; 丙酮滴在果皮的细胞上, 发现 ACP 膜被破坏, 而液泡膜完好无损, ACP 膜被破坏后花青苷流出, 液泡变为红色, 但不长时间 (10 min) 液泡内又有小的极其多的 ACP 出现, 并吸收花青苷, 融合。液泡又变为无色, 从而中村正博分析认为 ACP 是吸收花青苷的泵, 而不是生产花青素的工厂; 对着色不良的果皮滴下乙醇, 液泡膜被破坏, 但在液泡膜变形破裂前, 有极其多的 ACP 生成, 中村正博分析认为

ACP 形成和液泡膜有一定关系<sup>[3]</sup>。

## 2 外界因素对花青素合成的影响

### 2.1 光照

在花青素的合成过程中, 光照的影响最为重要<sup>[1]</sup>, Heimcke 指出, 果实受光强是自然光强的 70% 以上时, 着色良好, 李清田指出苹果着色面积与着色处光照呈显著正相关<sup>[1]</sup>, 同时光质对花青苷的影响也是很重要的, 一般随海拔高度的增高, 紫外线加强, 果实着色度和着色率明显提高<sup>[4]</sup>。

### 2.2 温度

对花青素合成和果实着色的影响较大的是昼夜温差<sup>[4]</sup>, Uota 研究了旭苹果着色与夜间温度关系, 以平均夜温为 8℃ 时着色良好, Creasy 认为平均气温与花青素的合成呈负相关, 夜温在 20℃ 以上时对苹果着色不利, 山东果树所研究元帅系苹果成熟时平均温度在 20℃, 夜温在 15℃ 以下, 日温差达 10℃ 以上时着色较好, 低温可减少呼吸强度, 增加糖分积累, 同时低温也可使 pro 合成减弱, 从而有利于花青素合成<sup>[1]</sup>, 日本学者苦名孝, 对葡萄植株及果穗作了不同温度处理, 结果表明在树体温度 20℃, 果实温度 15℃ 时, 则着色不良, 花青素含量降低<sup>[5]</sup>。

### 2.3 套袋对花青素合成的影响

赵宗方报道套袋的果粒花青素和还原糖均较对照低<sup>[9]</sup>, 高华君报道套袋果的颜色比对照的浓而鲜艳, 但不是花青素含量高, 而是叶绿素合成受阻, 含量下降, 从而改变了花青素的显色背景<sup>[7]</sup>, 赵钰钰报道红星、长富 2 号苹果套袋果花青素显著高于对照, 分别高于对照 64.79%、31.56%; 叶绿素含量比对照下降 48.68%、36.09%<sup>[8]</sup>。王少敏报道, 红富士套袋果花青素, 叶绿素, 类胡萝卜素均低于对照, 但花青素/叶绿素和类胡萝卜素显著大于对照, 认为正因为此比例高才使得套袋果着色较好<sup>[9]</sup>。野吕昭司报道黄色苹果套袋果花青素比未套袋果含量增加, 但其差异因品种而异, 并通过外施实验认为柠檬酸对有袋果的花青素合成有促进作用, 在无袋果上无效果<sup>[10]</sup>。王少敏<sup>[11]</sup>对短枝红富士的套袋果研究发现, 可溶性固形物, 双层袋 < 单层袋 < 未套袋果; 淀粉, 双 < 单 < 未; 花青素, 单 > 双 > 未; 叶绿素, 双 < 单 < 未。对于套袋果色泽鲜艳这一问题, 有报道认为, 因套袋后光照极弱, 花青素, 叶绿素合成 PAL 表达受抑, 花青素前体物质如原花色素, 糖, 光受体, 光合成酶仍充足, 并且黄化组织比正常组织内光敏素水平高 100 倍, 光敏素是花青素合成的光受体之一, 同时叶绿素合成

受阻,再有,套袋果在去袋后表皮和亚表皮几乎同时形成花青素,而未套袋果先在表皮形成后渐内移,所以套袋果色泽艳丽。

### 3 花青素形成的生理生化机制

#### 3.1 苯丙氨酸解氨酶

苯丙氨酸解氨酶(PAL)是色素合成相关的酶, Ikljō, Kataoka(1983)调查了葡萄3个品种“白玫瑰香”、“巨峰”、“特级汉堡”随果粒成熟PAL活性消长和花青苷的关系,发现3品种在果粒发育初期PAL活性高,后直到成熟期急剧下降,巨峰和特级汉堡在果粒着色时PAL活性再度增强,花青苷积累也多,相反白玫瑰香成熟期观察不到PAL活性<sup>[12]</sup>。也有报道认为,PAL活性与果皮发育不完全相关,或缺乏相关性,分析认为花青苷仅是类黄酮的一种,PAL作为催化酚类物质合成过程中第一个酶,也涉及到其它产物如木质素、单宁等的生化合成,因此,可能有更直接的酶调节花青苷的合成<sup>[13]</sup>。

#### 3.2 生长调节剂

松岛二良报道ABA能促进葡萄着色,但跟施用时期有很大关系,在果粒膨大期后2~3周效果最好,施用ABA后花青素迅速增加,并且比对照增加多而早<sup>[14]</sup>;在套袋富士上观察发现摘袋后第4 d ABA与对照出现差异,第8 d出现高峰,而第8 d花青素开始上升,推测可能是ABA的合成对花青素的积累起关键启动作用<sup>[15]</sup>;在葡萄上试验发现白色品种白玫瑰香和巨峰在成熟时无差别,因此ABA可能是在其它生理代谢基础上起作用;并且外用ABA能显著促进花青苷合成,离体培养果实情况下,施用ABA仍可促进花青苷积累<sup>[12]</sup>。李秀菊对套袋红富士色泽与激素含量变化研究发现,摘袋后GA<sub>3</sub>在第4 d形成一高峰,而对照一直处于稳定水平,CTK在花青苷达高峰前8 d产生一高峰,分析认为GA和CTK可能共同参与了这一复杂过程,种子乙烯生产量较高时,花青素含量也达较高水平,呈显著正相关,所以乙烯生成与花青苷的积累密切相关或是花青苷形成的关键诱因LIM,另还有报道NAA、BA、绿霉素、链霉素等对着色有影响,但都缺乏直接的证据<sup>[1,9]</sup>。

#### 3.3 糖

花青苷是糖化酶的缩合物,因此,还原糖的含量同花青苷的合成密切相关,两者呈正相关,另有报道两者呈指数函数曲线相关<sup>[6]</sup>,张跃进<sup>[16]</sup>对杨梅研究发现随花青素含量增加,可溶性固形物、蔗糖、葡萄糖、果糖趋于增加,并且蔗糖是葡萄糖、果糖的3~4倍。赵宗方<sup>[17]</sup>在富士上研究发现当还原糖和可溶性固形物分别为7.0%、10%以下时花青素为1.42 nmol/cm<sup>2</sup>果面无红色;分别为7.7%、10.2%时花青素为1.94 nmol/cm<sup>2</sup>果面出现红丝;分别为9.0%、12.2%时花青素为17.03 nmol/cm<sup>2</sup>果面较充分着色;分别为10%、13%以上时花青素为24 nmol/cm<sup>2</sup>果面充分着色。外施葡萄糖着色增糖剂时花青素含量较对照高,着色较对照早。

#### 3.4 矿质元素

Week研究认为,着色状况与叶片中N含量呈负相关,而与K含量呈正相关关系,山东果树所研究认为,N/K在0.4~0.6之间,苹果着色较好,N过量有利于pro态合成,减少糖积累,使原生质体增大而液泡变小,也有利于叶绿素形成,推迟叶绿素降解,K可以增加着色,这与糖合成运转有关,同时对N有一定拮抗作用,Fawst研究表明花青素发育只有在por态N降解到一定水平才能进行,同时指出NiCa离子利于花青素的合成<sup>[1]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 俞明亮. 苹果花青苷色素的形成[J]. 北方果树, 1992(4): 34~36.
- [2] 中村. 正博. ブドウ 巨峰 果皮におけるアントシノバラストの分布と形成(I)[J]. 园艺学杂志, 1993, 62(2): 353~358.
- [3] 中村. 正博. ブドウ 巨峰 果皮におけるアントシノバラストの分布と形成(II)[J]. 园艺学杂志, 1994, 63(4): 717~723.
- [4] 刘树文, 何玲, 任玉华. 葡萄果实中花色素合成及影响因素[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 1999, (2): 79~81.
- [5] 苦名. 孝. 树上果实の成熟に及ぼす温度环境の影響—ブドウ ‘巨峰’ 果实の着色に及ぼす树体及び果实の环境温度の影響[J]. 园艺学杂志, 1979, 48(3): 261~266.
- [6] 赵宗方. 巨峰葡萄色素发育的若干规律[J]. 江苏农学院学报, 1989, 10(4): 17~21.
- [7] 高华君. 红色苹果套袋与除袋机理研究概要[J]. 中国果树, 2000, (2)46~48.
- [8] 赵红钰. 套袋苹果果皮色素含量的变化[J]. 中国农学通报, 1998, 14(4): 9~11.
- [9] 王少敏. 套袋苹果果皮色素含量对苹果色泽的影响[J]. 中国果树, 2001, (3): 20~22.
- [10] 野吕. 昭司. リンゴの黄色品种の有袋果と无袋果におけるアントシアニン色素の生成に及ぼす影响[J]. 园艺杂志, 1989, 58, (1): 17~24.
- [11] 王少敏. 套袋短枝红富士果实内含物及果皮色素的变化[J]. 果树科学, 2000, 17, (1): 76~77.
- [12] 苏淑钰. 葡萄着色问题研究进展[J]. 葡萄栽培与酿酒, 1994, (2): 1~4.
- [13] 李平, 陈大成, 胡桂兵. 荔枝果实发育过程中果皮色素和变化[J]. 热带亚热带植物学报, 1999, 7, (1): 53~58.
- [14] 松岛. 二良平冢. 伸. ABA处理ブドウ オリンピア の果皮中におけるアントシアニン及び糖の変動[J]. 园艺学杂志, 1989, 58(3): 551~555.
- [15] 李秀菊, 刘用生. 红富士苹果套袋果实色泽与激素含量的变化[J]. 园艺学报, 1998, 25(3): 205~213.
- [16] 张跃进, 缪松林. 杨梅有色品种果实转色过程中色素与主要内含物的变化[J]. 浙江农业学报, 1991, 3(4): 198~201.
- [17] 赵宗方, 谢亲生, 吴桂法. 富士苹果果皮花青素发育的相关因素分析[J]. 果树科学, 1992, 9(3): 134~137.