

不同红叶性状桃叶片花色素苷 种类鉴定及呈色规律研究

王明玉¹, 姜卫兵^{1*}, 韩 健¹, 王小青¹, 张斌斌², 马瑞娟²

(1 南京农业大学 园艺学院, 南京 210095; 2 江苏省农业科学院园艺研究所, 南京 210014)

摘 要:以早熟桃(*Prunus persica*, ‘早美’、‘春蕾’)和红叶桃(*Prunus persica* f. *atropurpurea*, ‘筑波5号’、‘洛格红叶’)两种不同叶片呈色类型桃品种为试材,在5~9月份对其呈色过程中叶片色泽、花色素组成进行了测定,并对其叶片色差值与色素组成间的相关性进行了分析,探讨早熟桃和红叶桃叶片呈色差异的生理机制。结果表明:(1)红叶桃叶片5月下旬叶片出现“返青”现象,叶片 a^* 值由正值变为负值;相反早熟桃叶片6月份果实采收后叶片由鲜艳绿色逐渐变为红紫色,叶片 a^* 值逐渐增大。(2)在试验所选的4个品种中共发现5类花色素苷,早熟桃含有3类,红叶桃含有4类,矢车菊素-3-葡萄糖苷和矢车菊素-3-芸香糖苷为两种类型桃叶片所共有的且含量相对较高的花色素苷;呈色过程中叶片花色素苷种类基本不变,但各色素含量发生了明显的变化。(3)多元回归分析显示:红叶桃叶片与早熟桃叶片的 a^* 值分别与矢车菊素-3-葡萄糖苷、矢车菊素-3-芸香糖苷含量呈正相关关系,且均与Ant/Chl呈负相关关系。研究表明,矢车菊素为桃叶片呈现红色的物质基础,两种类型桃叶片呈色差异并非所含花色素苷种类不同所致,而与不同种类花色素苷含量有关。

关键词:早熟桃;红叶桃;叶色;花色素苷;高效液相色谱;液-质联用

中图分类号: Q946.83⁺6

文献标志码: A

Studies on Anthocyanin Composition and the Coloring Rule of Peaches with Different Red Leaf Coloration Types

WANG Mingyu¹, JIANG Weibing^{1*}, HAN Jian¹, WANG Xiaoqing¹, ZHANG Binbin², MA Ruijuan²

(1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Institute of Horticulture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: The early maturing peach (‘Zaomei’, ‘Chunlei’) and red leaf peach (‘Tsuku-ba-5’, ‘Rutgers red-leaf’) were used as materials. The changes of leaf color and pigment composition in four varieties of peach were studied from May to September and the different red leaf phenomenon mechanism between early maturing peach and red leaf peach was investigated. The results indicated that: (1) The leaves of red leaf peach appeared “turning green” phenomenon in late May. The chromatic component a^* became from positive to negative. The leaves of early maturing peach turned to red from green after the fruits were harvested in June and the chromatic component a^* became bigger. (2) There were 5 anthocyanins were tentatively identified, early maturing peach contained three kinds anthocyanins and red leaf peach contained four kinds anthocyanins. The main anthocyanins were cyanidin-3-O-glucoside (Cy3G) and cyanidin-3-rutinoside. The

收稿日期: 2014-03-14; 修改稿收到日期: 2014-05-18

基金项目: 南京农业大学青年科技创新基金(KJ09010); 江苏省农业科技自主创新基金[CX(10)107]

作者简介: 王明玉(1987—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事果树栽培生理生态工作。E-mail: wangmingyu818@126.com

* 通信作者: 姜卫兵, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事园艺园林树种资源、生理生态学的研究和园林规划设计工作。E-mail: weibingj@sohu.com

kind of anthocyanin did not change much but the pigment contents showed significant difference during the leaf color process. (3) The multiple linear regression analysis showed that chromatic component a^* of red leaf peach leaves positively correlated with the contents of Cy3G and chromatic component a^* of early maturing peach leaves positively correlated with cyanidin-3-rutinoside. The chromatic component a^* negatively correlated with Ant/Chl. The research showed cyanidin is the material basis that the leaf showed red. Not the different kinds of anthocyanins but the content of anthocyanins that cause different red leaf phenomenon mechanism.

Key words: early maturing peach; red leaf peach; leaf color; anthocyanins; HPLC-PAD; HPLC-ESI-MS

花色素苷是一种水溶性植物色素,赋予植物器官(花、果实、茎、根等)各种颜色^[1-2]。植物所含色素不同种类及其含量的时空组合最终决定了植物色泽表现^[3]。近年来人们对花色素苷进行了广泛而深入的研究,但对花色素苷种类的研究以果实和花瓣居多,对叶片花色素苷种类的研究很少,在桃上更是鲜见报道。红叶桃春秋季节叶片呈现绚丽的红色^[4-5],夏季高温会出现“返青”现象,而许多早熟桃品种在果实采收前叶色浓绿,夏季果实采收后叶片从叶柄、主脉开始沿叶脉逐渐变为紫红色^[6-7]。相同外界环境下,不同类型桃叶片发生呈色差异。前人研究认为早熟桃叶片转色可能是由某个或几个与熟期连锁的基因控制或间接导致^[8],摘果后库源关系改变,叶片可溶性糖大量积累推动了早熟桃叶色的转变^[9]。文习成研究发现,早熟桃花色素苷合成途径中相关基因的表达水平与叶片花色素含量呈正相关,与叶片红色的呈现有着紧密关系^[10]。本研究以早熟桃(‘早美’、‘春蕾’)和红叶桃(‘筑波5号’、‘洛格红叶’)为试材,利用高效液相色谱和质谱联用技术从所含花色素苷成分差别的角度对不同类型桃叶片花色素组成进行了分析鉴定,并对叶色表达与花色素苷组成之间的关系进行了分析,以期揭示两种不同类型桃叶片呈色差异提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料与叶色测定

试验于2013年5~9月在江苏省农业科学院国家果树种质南京桃资源圃中进行。试验材料为生长正常一致的早熟桃(‘早美’、‘春蕾’)和红叶桃(‘筑波5号’、‘洛格红叶’)成年树,南北行向种植,行株距5 m×3.5 m,树形为自然开心形,常规管理。试验地以棕壤土为主,肥力中等。5~9月份每月下旬取树冠中部外围成熟功能叶片(从枝顶往下数第4~7片叶)拍照,并测定相关指标,3次重复。

利用日本 KONICA MINOLTA 公司生产的 CM-2500d 型分光色差仪,在 C/2°光源、光斑直径为

8 mm 下测定叶片的明度 L^* 、色相 a^* 和 b^* ,并计算彩度 C^* 和色相角 h 。 $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, $h = \arctan(b^*/a^*)$ 。每片叶均测定叶尖、叶中、叶基3个部位,重复3次,取3个部位的平均值作为一张叶片的相应指标值。

1.2 色素提取和含量测定

摘取树冠中部外围成熟功能叶片(从枝顶往下数第4~7片叶),迅速带回实验室进行叶绿素含量测定。采用朱广廉等^[11]的方法,将新鲜叶片去掉主脉剪成细丝状,称取0.2 g加入20 mL提取液(丙酮与无水乙醇体积比为1:1)避光浸提24 h后分别测定645 nm、663 nm的吸光度值(OD),重复3次。

新鲜叶片经精确测色后,立即液氮速冻置于一70°冰箱冷藏待用。花色素苷各组分含量测定参照钟培星等^[12]的方法。称取1.5 g去掉主脉的速冻叶片,磨碎后加入组成为甲醇:水:甲酸:三氟醋酸(70:27:2:1)提取液7 mL,置于4 °C冰箱中低温避光浸提24 h,再离心10 min取上清液,用棕色容量瓶定容至10 mL,然后经微孔滤膜(0.22 μm)过滤,供花色素苷的定性、定量分析用,重复3次。

高效液相色谱仪(HPLC)采用安捷伦公司生产1100系列,UV检测器,色谱柱为安捷伦公司生产的 ZORBAX SB-C18(4.6 mm×250 mm,5 μm)。分析条件:柱温35 °C,流速0.8 mL·min⁻¹,进样体积10 μL,花色素苷的检测波长为515 nm。流动相A液为甲酸:水(10:90);B液为甲酸:乙腈(85:15)。乙腈、甲酸为色谱级,水为双蒸水。线性梯度洗脱,程序如下:0 min,95% A;30 min,88% A;40 min,75% A;50 min,70% A;60 min,95% A。其中,花色素苷标准品使用美国 Sigma 公司生产的矢车菊素-3-葡萄糖苷(cyanidin-3-O-glucoside,Cy3G)与矢车菊素-3,5-二葡萄糖苷(cyanidin-3,5-di-O-glucoside,Cy3G5G)。采用标准品半定量法分别计算叶片中含有的相对于标准品的花色素苷(μg·g⁻¹)^[13]。最后以相对于两种标准品含量的平均数为准。

1.3 花色素苷定性分析

花色素苷定性分析采用上述花色素苷提取液,利用高效液相色谱-电喷雾离子化-质谱联用仪(HPLC-ESI-MS)对样本进行花色素苷的结构分析,使用 Agilent1200 LC/MSD Trap VL 系统。分析条件:色谱柱同 1.2,柱温 35 °C,流速 0.8 mL · min⁻¹,进样体积 10 μL。分析程序同 1.2。液相色谱分析条件:色谱柱、流速、进样体积和检测波长同上,重复 3 次。质谱分析条件:电喷雾离子化(ESI),离子阱分析器,正离子检测模式,全离子扫描,扫描范围(*m/z*):100~1 000。毛细管电压 3 500 V,喷雾器压力 35psi,毛细管出口电压 117.9 V,干燥温度 350 °C,干燥气(N₂)流速 6.0 L · min⁻¹。参照 Lago-Vanzela^[14]方法分析质谱结果。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 软件进行数据统计,用 SPSS 19.0 软件对数据进行差异显著性分析和逐步多元回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种桃叶片呈色进程中叶色变化特征

随时间变化,各品种桃树叶片色泽变化明显。早熟桃‘早美’和‘春蕾’的叶片从主脉开始,随时间推移沿着叶脉整个叶片变红;红叶桃‘筑波 5 号’和‘洛格红叶’的叶片从 5 月份开始“返青”,叶片由红变绿(图 1)。

同时,由表 1 可见,对于叶片 *L*^{*}、*b*^{*}、*C*^{*} 值,早熟桃品种‘早美’随着季节变化均呈逐渐降低趋势,在 9 月份叶片完全变成紫红色时降为最小值,‘春蕾’叶片的变化与‘早美’相似,不同之处是在 7 月份有所回升后又继续降低;红叶桃两品种则呈波动变化。早熟桃随季节变化叶片转红,*a*^{*} 值逐渐增大并

由负值变化为正值,表明绿色减退红色增强;红叶桃叶片往年一般在 6 月甚至 8 月下旬开始“返青”^[6,15],可能由于本年环境温度较高,叶片从 5 月份便开始“返青”,叶片 *a*^{*} 值逐渐变小,6、7 月份变化为负值,而同一品种不同月份 *a*^{*} 值存在显著性差异。4 个品种叶片 *h* 值随时间的推移变化较大,早熟桃与红叶桃最小值分别出现在 8 月和 5 月份,‘筑波 5 号’和‘洛格红叶’分别在 7 月和 9 月份达到最大值。另外,同一类型的不同品种桃叶片表型也有差异,5、6 月份‘早美’*a*^{*} 值小于‘春蕾’,但‘早美’比‘春蕾’提前进入转色期,7 月份后‘早美’*a*^{*} 值大于‘春蕾’;5~8 月份‘筑波 5 号’都要比‘洛格红叶’的 *a*^{*} 值大。

2.2 不同品种桃叶片花色素苷种类及结构分析

HPLC 图谱(图 2)显示,两类品种桃叶片中共检测出 5 种花色素苷组分,早熟桃中含有 3 种(*a*1、*a*2、*a*3),红叶桃中含有 4 种(*a*1、*a*3、*a*4、*a*5),早熟桃与红叶桃中所含花色素苷种类稍有差异,但有差异的 3 种组分 *a*2、*a*4、*a*5 的含量极少。

为进一步分析花色素苷种类结构,选取含量相对较高的 *a*1、*a*3 进行了 HPLC-ESI-MS 分析。其中,花色素苷 *a*1,经一级质谱得到分子离子 449.2 *m/z*(*[M]*⁺),释放出碎片离子 287.0 *m/z*(*[Y0]*⁺, *Y0* 为苷元),为矢车菊苷元(Cyanidin,简称 Cy)的特征质荷比,且与标准品中的矢车菊素-3-葡萄糖苷在保留时间和紫外最大吸收上均一致,推断为矢车菊素-3-葡萄糖苷。花色素苷 *a*3,经一级质谱得到分子离子 595.2 *m/z*(*[M]*⁺),释放出碎片离子 286.8 *m/z*(*[Y0]*⁺),为矢车菊(Cy)苷元的特征质荷比,推定为矢车菊素-3-芸香糖苷(表 2、图 3)。

2.3 不同品种桃叶片花色素苷含量及变化特征

不同时期桃叶片花色素苷含量变化显著(图 4)。

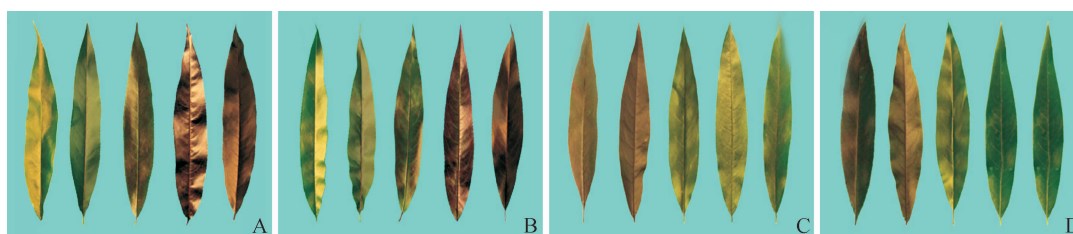


图 1 不同类型桃叶色随时间的变化

A. 早美;B. 春蕾;C. 筑波 5 号;D. 洛格红叶;每品种从左到右分别为 5~9 月的叶片

Fig. 1 The coloring change of four peach varieties from May to September

A. Zaomei; B. Chunlei; C. Tsuku-ba-5; D. Rutgers redleaf; The leaves of each variety

from left to right belong May to September, respectively

其中,组分 a1(矢车菊素-3-葡萄糖苷)为主要成分, 量极少;两种类型桃叶片所共有成分为 a1 与 a3。其次为 a3(矢车菊素-3-芸香糖苷),其余 3 种组分含 随季节变化,早熟桃‘春蕾’在叶片转色过程中,其花

表 1 不同品种桃叶片不同阶段叶色变化

Table 1 Leaf color changes during the coloring process of different peach cultivars						
品种 Cultivar	阶段 Stage	<i>L</i> [*]	<i>a</i> [*]	<i>b</i> [*]	<i>C</i> [*]	<i>h</i>
早美 Zaomei	5 月 May	34.74±0.87a	-9.53±0.42e	15.81±1.49a	18.46±1.48a	121.15±1.39b
	6 月 June	34.00±0.16a	-7.18±0.07d	11.43±0.19b	13.50±0.17b	122.15±0.41b
	7 月 July	30.47±1.57b	-3.20±1.38c	6.44±2.29c	7.92±0.68c	121.26±3.57b
	8 月 August	27.29±0.09c	2.84±0.16b	3.04±0.49d	4.58±0.34d	46.71±5.38c
	9 月 September	23.49±0.20d	3.98±0.16a	-2.27±0.15e	4.17±0.11d	330.38±2.37a
春蕾 Chunlei	5 月 May	35.17±0.61a	-9.06±0.30d	14.22±0.51a	16.86±0.59a	122.49±0.13b
	6 月 June	34.95±0.19a	-6.92±0.16c	10.84±0.37c	12.86±0.39c	122.58±0.47b
	7 月 July	35.32±0.43a	-6.40±0.80c	12.50±0.57b	14.07±0.17b	117.15±3.96b
	8 月 August	29.18±0.79b	2.06±0.99b	3.91±0.97d	4.54±0.54d	61.19±3.90c
	9 月 September	24.73±0.30c	3.31±0.32a	-0.86±0.37e	3.42±0.40e	345.73±4.62a
筑波 5 号 Tsuku-ba-5	5 月 May	24.25±0.66d	5.99±0.39a	1.20±0.46e	6.12±0.46d	11.15±3.69c
	6 月 June	29.86±0.10c	1.14±0.79b	4.81±0.33d	4.98±0.47e	77.00±4.16b
	7 月 July	34.47±0.27b	-4.70±0.33c	10.75±0.20c	11.73±0.31c	113.60±1.11a
	8 月 August	37.80±0.13a	-5.65±0.36d	16.42±0.31a	17.37±0.19a	109.00±1.43a
	9 月 September	37.47±0.10a	-6.47±0.28d	14.90±0.58b	16.25±0.44b	113.51±1.69a
洛格红叶 Rutgers redleaf	5 月 May	25.33±0.41e	4.03±0.28a	2.38±0.51d	4.70±0.25e	30.47±3.42d
	6 月 June	30.76±0.26d	-2.14±0.28b	7.33±0.02c	7.63±0.05d	106.25±2.03c
	7 月 July	35.29±0.20c	-5.17±0.10c	12.52±0.66b	13.55±0.59d	112.47±1.32ab
	8 月 August	36.61±0.09b	-5.94±0.02d	16.61±0.26a	17.63±0.25a	109.67±0.22bc
	9 月 September	37.53±0.41a	-6.39±0.31e	13.07±0.42b	14.55±0.39b	116.05±1.35a

注:不同字母表示品种内月份间在 0.05 水平存在显著差异。
Note:Different letters showed significant difference among months in the same cultivar at 0.05 level.

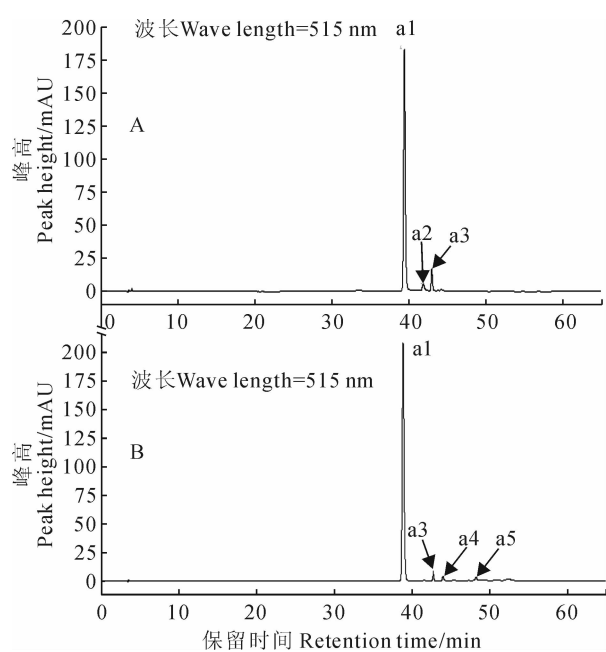


图 2 ‘早美’9 月份(A)和‘洛格红叶’
5 月份(B)的 HPLC 图谱
Fig. 2 HPLC chromatograms of ‘Zaomei’ on
September(A) and ‘Rutgers red leaf’ on May(B)

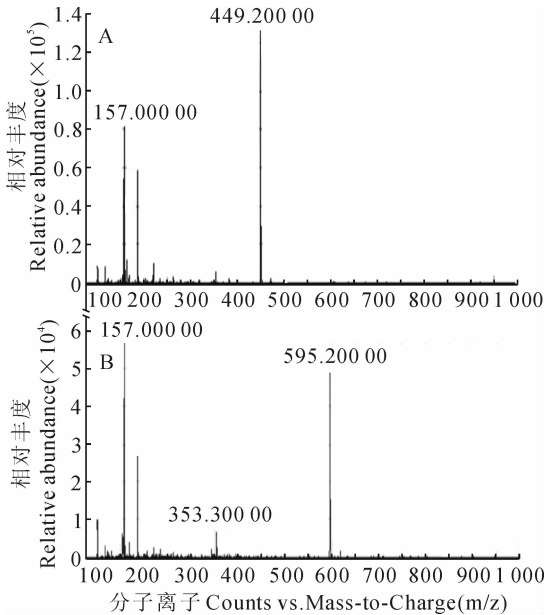


图 3 a1(A)、a3(B)离子色谱图
质谱图出峰时间较液相图谱时间稍有滞后
Fig. 3 Extracted ion chromatogram of a1(A),a3(B)
The peak time of HPLC chromatograms is later
than HPLC-ESI-MS spectra

表 2 桃叶片主要花色素苷 HPLC-ESI-MS 分析及其结构推定

Table 2 HPLC-ESI-MS analysis and tentative identification of anthocyanins in peach leaves

组分 Peak	保留时间 Retention time /min	最大吸收峰 Max absorb peak/nm	分子离子 Quasimolecularions /(m/z)	碎片离子 Fragmentions /(m/z)	推定结果 Tentative identification
a1	38.9	514	449.2	287.0	矢车菊素-3-葡萄糖苷 Cyanidin-3-O-glucoside
a2	41.7	—	—	—	未推断 No identification
a3	42.9	517	595.2	286.8	矢车菊素-3-芸香糖苷 Cyanidin-3-rutinoside
a4	44.2	—	579.0	—	未推断 No identification
a5	48.6	—	—	—	未推断 No identification

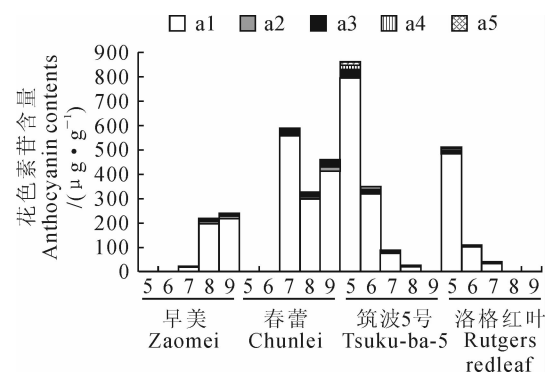


图 4 桃叶片转色期花色素苷含量的变化

a1. 矢车菊素-3-葡萄糖苷;a3. 矢车菊素-3-芸香糖苷;
a2、a4、a5 未做鉴定;5~9 分别代表 5~9 月份

Fig. 4 Variation on anthocyanins content of peach during leaf color changing stage

a1. Cyanidin-3-O-glucoside(Cy3G);a3. Cyanidin-3-rutinoside;
a2,a4. a5. No identification;5-9 represent May,

June,July,August,September,respectively

色素苷各组分含量均不断增加,于 9 月份总含量最高($243.66\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),其中矢车菊素-3-葡萄糖苷占 92.02%;‘早美’a2 组分含量呈逐渐增长趋势,其余两种组分含量在 6 月份后呈“V”型变化,7 月份总含量达到最高值($564.77\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$),其中矢车菊素-3-葡萄糖苷比例高达 95.6%;红叶桃花色素苷含量呈逐渐降低趋势,并以 5 月份含量最高,此时‘筑波 5 号’和‘洛格红叶’花色素苷总量分别为 863.07、 $513.57\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,9 月份红叶桃所含花色素苷量极少。

2.4 不同品种桃叶片花色素苷/叶绿素变化特征

红(紫)叶植物的叶色取决于叶片花色素苷总量和叶绿素含量的比例(Ant/Chl),Ant/Chl 的值越大,叶色越红,相反则越绿。图 5 显示,不同呈色类型的桃叶片 Ant/Chl 变化规律与花色素苷含量的变化规律基本一致。早熟桃在 6 月中旬果实采收后叶片中花色素苷开始大量合成和积累,叶色逐渐由绿转红,其中‘早美’Ant/Chl 值波动较大,7 月份迅速达到一个比较高的水平(0.18),8 月份有所下降,9 月份又回升;‘春蕾’的 Ant/Chl 比值上升较‘早

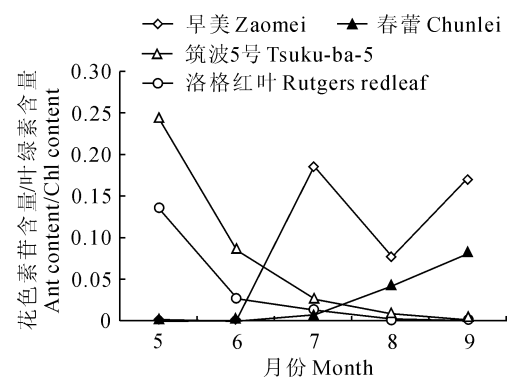


图 5 桃叶片花色素苷与叶绿素比例的变化

Fig. 5 Changes of Ant/Chl of different peach cultivars

表 3 不同类型桃叶片叶色色差值与其色素组成间逐步回归方程

Table 3 The stepwise multiple linear regression analysis of leaf color parameters and the pigment composition of different peach cultivars

类型 Type	回归方程 Regression equation	决定系数 Determination coefficient(R^2)	概率值 P
早熟桃 Early maturing peach	$L^* = 34.429 - 0.805a3 + 0.028a1$ $a^* = -7.463.368 + 1.014a3 - 109.408b$ $b^* = 12.299 - 0.463a3$	0.848 2 0.835 4 0.712 3	0.001 0.002 0.002
红叶桃 Red leaf peach	$L^* = 36.222 - 0.018a1$ $a^* = -5.994 + 0.080a1 - 212.917b$ $b^* = 13.537 - 0.017Ant$	0.864 9 0.988 0 0.792 1	0 0.001 0.001

美’延迟,增幅较小,其比值始终低于‘早美’,故其叶色变红的程度也相对较低。红叶桃叶色的变化规律与早熟桃相反,5 月份叶片花色素苷含量较高,随着气温升高,出现“返青”现象,Ant/Chl 值逐渐下降,但不同品种“返青”程度略有差异。

2.5 不同品种桃叶色与色素组成的关系分析

为探讨不同类型桃叶片叶色与其色素组成的关系,以表征叶色的色差值 L^* 、 a^* 、 b^* 作为因变量,不同类型桃叶片叶绿素含量(Chl)、花色素苷与叶绿素比值(b)、叶片所含主要花色素苷成分 a1(矢车菊素-3-葡萄糖苷)、a3(矢车菊素-3-芸香糖苷)及花色素苷

总含量 Ant 作为自变量,通过逐步回归的方法分别建立色素组成与叶色之间的回归方程,推导出数量关系,结果表 3 所示。

由方程概率值 P 可以看出,桃叶片的叶色与花色素苷主要成分存在极显著相关性($P < 0.01$)。早熟桃与红叶桃叶片色差值 a^* 值分别与矢车菊素-3-芸香糖苷、矢车菊素-3-葡萄糖苷正相关,且均与 Ant/Chl 呈负相关; b^* 值分别与矢车菊素-3-芸香糖苷、花色素苷总量呈负相关。因根据回归方程系数的绝对值大小可直接判断色素组成对花色贡献的大小^[16],所以影响早熟桃红度的主要为矢车菊素-3-芸香糖苷,并且其对早熟桃叶片亮度及黄度都有影响;而对红叶桃叶片红色贡献最大的为矢车菊素-3-葡萄糖苷,其含量增加使得叶片更红但会降低叶片亮度。

3 讨 论

3.1 桃叶片花色素苷组成与叶色的关系

桃叶片着色与花色素苷含量密切相关。花色素苷属于次生代谢物质,它的存在使植物的花、果实、叶片具有一定的色彩^[3]。朱书香等对 4 种李属彩叶树种色素含量与叶色参数间相关性的分析表明 a^* 值与花色素苷呈正相关^[17]。本研究经逐步回归分析表明,早熟桃与红叶桃叶片 a^* 值分别与矢车菊素-3-芸香糖苷、矢车菊素-3-葡萄糖苷呈正相关,矢车菊素-3-葡萄糖苷含量的增加会使得早熟桃亮度提高,相反会使红叶桃叶片亮度降低。同时,由方程的回归系数可以看出红叶桃 b^* 值与花色素苷含量呈反比,这与张斌斌等^[18]所得到的不同光质下红叶桃叶色变化情况相符;与红叶桃叶片所不同的是早熟桃叶片 b^* 值与矢车菊素-3-芸香糖苷呈负相关,虽然早熟桃叶片所含矢车菊素-3-芸香糖苷含量相对较低,但其对早熟桃叶片呈色影响很大。

Cordts 等曾研究发现一种红叶桃叶片所含花色素苷成分为矢车菊素-3-葡萄糖苷^[19],本试验在两种早熟桃与两种红叶桃叶片中均检测到矢车菊素-3-葡萄糖苷,并首次检测出矢车菊素-3-芸香糖苷。

有研究报道,桃果实中花色素苷种类有矢车菊素-3-葡萄糖苷和矢车菊素-3-芸香糖苷^[20-21]。综上所述说明矢车菊素是桃叶片及桃果肉呈现红色的主要色素;且本研究进一步发现不同类型花色素苷对不同类型桃叶片红色贡献不同,在早熟桃叶片中矢车菊素-3-芸香糖苷的积累有利于叶片变得更红,而对红叶桃叶片红色贡献最大的则为矢车菊素-3-葡萄糖苷。

3.2 桃叶片呈色差异可能与花色素苷积累能力有关

早熟桃在 6 月份叶片进入转色期,且‘早美’比‘春蕾’提前开始变色,但是新梢叶片仍呈鲜艳绿色。本年度红叶桃较往年提前“返青”,9 月底叶片仍呈现淡绿色,这可能与本年夏季较往年气温高有关,红叶桃新叶颜色与“返青”前一致。Zhou 等研究不同时期红叶桃叶片花色素苷含量以及相关合成基因表达量时发现,夏季幼叶的基因表达水平总是高于成熟叶^[22],因此猜测新叶与老叶颜色差异可能与不同时期花色素苷合成能力有关。

本研究中早熟桃与红叶桃所含花色素苷种类几乎无差异,占总含量 90% 以上的组分都相同。Uematsu 等研究同一棵桃树上不同颜色花的花瓣时发现,3 种颜色花所含花色素苷种类相同,但含量存在差异,粉色与白色花瓣的 *CHI*、*F3H*、*DFR* 和 *ANS* 基因的表达量明显低于粉红色花瓣^[23]。文习成在探索不同桃叶花色苷合成途径中相关基因 *F3H*、*DFR*、*UFGT*、*LDOX* 的表达水平在桃叶片呈色中的作用时发现,4 个基因在红叶桃和早熟桃之间的表达水平有显著差异^[9]。在相同环境条件下,本研究中早熟桃花色素苷含量随时间变化在逐渐增加,而红叶桃花色素苷含量在降低,虽然花色素苷种类有所差异,但发生变化的花色素苷含量极少,基本不影响叶片呈色。王延玲等^[24]研究新疆红肉苹果果皮、果肉在相同环境下呈色差异时也证实果皮、果肉中花色素苷积累的差异与花色素苷合成结构基因的转录表达有关。因此,作者推断早熟桃与红叶桃 5~9 月间叶色呈现相反趋势,其呈色差异与所含有的花色素苷种类无关,而取决于花色素苷的积累能力。

参考文献:

- [1] STEYN W J, WAND S J E, HOLCROFT D M, *et al.* Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection[J]. *New Phytologist*, 2002, **155**(3): 349—361.
- [2] TANAKA Y, SASAKI N, OHMIYA A. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids[J]. *The Plant Journal*, 2008, **54**(4): 733—749.

- [3] ZHANG CH L(赵昶灵), GUO H CH(郭华春). Research advances in the subcellular organization of the enzymes catalyzing anthocyanins biosynthesis in higher plants[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2007, **27**(8): 1 695—1 701(in Chinese).
- [4] HAN J(韩 键), LUO X M(骆晓梦), ZHANG B B(张斌斌), *et al.* Effects of mixed solution application of KH_2PO_4 and sucrose on leaf pigmentation of red-leaf peach in summer[J]. *Jiangsu J. of Agr. Sci.* (江苏农业学报), 2012, **28**(2): 421—425(in Chinese).
- [5] XIAO H ZH(肖和忠), ZHANG J J(张吉军), ZHANG L B(张立彬), *et al.* Anthocyanin and chlorophyll variability of peach leaves[J]. *Jour. of Zhejiang for. Sci. Tech.* (浙江林业科技), 2007, **27**(1): 11—15(in Chinese).
- [6] 谢智华. 不同呈色类型的桃叶色变化生理机制与光合特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [7] SUN SH(孙 山), WANG SH M(王少敏), GAO H J(高华君), *et al.* ‘Chao Wuyuehuo’——a new extra early ripening nectarine cultivar [J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2004, **31**(1): 133—133(in Chinese).
- [8] 彭丽丽. 早熟桃红叶性状表达的遗传与生理机制研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [9] XIE ZH H(谢智华), JIANG W B(姜卫兵), HAN J(韩 键), *et al.* Studies on physiological mechanism of red leaf phenomena of early maturing peach in summer[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2012, **39**(7): 1 271—1 277(in Chinese).
- [10] 文习成. 桃不同品种花瓣和叶片呈色变化过程中花色苷合成的相关基因表达差异性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [11] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990: 51—54.
- [12] ZHONG P X(钟培星), WANG L SH(王亮生), LI SH SH(李珊珊), *et al.* The changes of floral color and pigments composition during the flowering period in *Paeonia lactiflora* Pallas[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2012, **39**(11): 2 271—2 282(in Chinese).
- [13] WANG L SH, AYA SHIRAIISHI, FUMIO HASHIMOTO, *et al.* Analysis of petal anthocyanins to investigate flower coloration of Zhongyuan(Chinese) and Daikon Island(Japanese) tree peony cultivars[J]. *Journal of Plant Research*, 2001, **114**(1): 33—43.
- [14] LAGO-VANZELA E S, REBELLO L P G, RAMOS A M, *et al.* Chromatic characteristics and color-related phenolic composition of Brazilian young red wines made from the hybrid grape cultivar BRS Violeta(“BRS Rúbea” × “IAC 1398-21”)[J]. *Food Research International*, 2013, **54**(1): 33—43.
- [15] XU L L(徐莉莉), JIANG W B(姜卫兵), *et al.* Effects of foliage spray of KH_2PO_4 and socrose solution on changes of pigments and net photosynthetic rate in leaves of red-leaf peach in early summer[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2011, **47**(3): 170—174(in Chinese).
- [16] ZHANG J(张 洁), WANG L SH(王亮生), GAO J M(高锦明), *et al.* Identification of anthocyanins involving in petal coloration in *chaenomeles speciosa* cultivars[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2011, **38**(3): 527—535(in Chinese).
- [17] ZHU SH X(朱书香), YANG J M(杨建民), WANG ZH H(王中华), *et al.* Relationship between pigment contents and leafcolor parameters of four leaf-colored species of *Prunus*[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2009, **29**(8): 1 663—1 669(in Chinese).
- [18] ZHANG B B(张斌斌), CAI ZH X(蔡志翔), SHEN ZH J(沈志军), *et al.* Effect of different light quality on color generation of red-leaf peach[J]. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2013, **30**(4): 602—607(in Chinese).
- [19] JOHN M C, RALPH S, RICHARD L B. Effects of carbohydrates and nitrogen on the development of anthocyanins of a red leaf peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) *in vitro*[J]. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 1987, **9**(2): 103—110.
- [20] ZHAO Y(赵 玉), WANG L R(王力荣), CAO K(曹 珂), *et al.* Genetic diversity of anthocyanin in peach fruit and the evaluating criterion of red-flesh peach[J]. *Journal of Plant Genetic Resources* (植物遗传资源学报), 2013, **14**(1): 169—174(in Chinese).
- [21] WU X L, PRIOR R L. Systematic identification and characterization of anthocyanins by HPLC-ESI-MS/MS in common foods in the United States: fruits and berries[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, **53**(7): 2 589—2 599.
- [22] ZHOU Y, GUO D, LI J, *et al.* Coordinated regulation of anthocyanin biosynthesis through photorespiration and temperature in peach (*Prunus persica* f. *atropurpurea*)[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2013, **9**(1): 265—278.
- [23] UEMATSU C, UOZUMI K, MAKINO I, *et al.* Flower color variegation in single petal flowering peach[C]//XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People(IHC2010): International Symposium on 929. 2010: 287—292.
- [24] WANG Y L(王延玲), ZHANG Y M(张艳敏), *et al.* The mechanism of red coloring difference between skin and cortex in *Malus sieversii* f. *neidzwetzkiana*(Dieck) Langenf[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2012, **45**(13): 2 771—2 778(in Chinese).