

桃果肉花色苷遗传多样性及红肉桃判定指标的探讨

赵 玉^{1,2},王力荣²,曹 珂²,朱更瑞²,方伟超²,陈昌文²,彭福田¹

(¹山东农业大学园艺科学与工程学院,泰安 271018;²中国农业科学院郑州果树研究所,郑州 450009)

摘要:本研究运用比色法(UV)和高效液相色谱法(HPLC)测定 68 份桃品种果肉花色苷含量,比较 2 种测定结果的一致性,分析桃果肉花色苷的遗传多样性,初步提出红肉桃的判定标准。结果表明,2 种方法测定白肉品种花色苷含量接近,可根据实际情况进行选择分析方法,而黄肉品种应尽可能选用高效液相色谱法(HPLC)。HPLC 定性定量检测结果表明,48 份材料检测出矢车菊-3-葡萄糖苷,是桃果肉中主要的花色苷种类,乌黑鸡肉桃,大果黑桃果肉中同时检测到矢车菊-3-芸香糖苷。根据高效液相色谱法测得花色苷含量将桃划分为 5 个等级,含量 20 mg/100 g 定位红肉桃的划分临界点。本研究中共鉴定出 5 份红肉桃品种,感官判定且风味为甜的红肉桃不符合上述判定标准,需要进一步研究完善。

关键词:桃果肉;花色苷;红肉桃;比色法;HPLC

Genetic Diversity of Anthocyanin in Peach Fruit and the Evaluating Criterion of Red-flesh Peach

ZHAO Yu^{1,2}, WANG Li-rong², CAO Ke², ZHU Geng-rui², FANG Wei-chao²,
CHEN Chang-wen², PENG Fu-tian¹

(¹College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018;

²Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009)

Abstract: Sixty-eight peach cultivars were measured for their anthocyanin content by Vis-UV Spectrophotometry and High performance liquid chromatography for comparing the consistency of the two methods and analysis for cultivar genetic diversity, and then suggested a criterion for red-flesh peach classification. The results showed that anthocyanin content in white-flesh peach was very similar by the two methods, we could choose one of them, while only HPLC was suitable for yellow-flesh peach. The major anthocyanin in peach fruit was cyanidin 3-glucoside that was existed in 48 cultivars, while cyanidin 3-rutinoside was identified in some cultivars, such as Wuheijitoutao, Daguohe-itaotao. Grade index and reference cultivars were given by statistical anthocyanin data for red peach description. These grade indexes were recorded on 1-5 scale which classified 20 mg/100 g as critical points. From this study, we identified five true red-flesh peach, other cultivars with visual red-flesh and sweet flavor did not conform to the criterion, we would do further study to solve this problem.

Key words: Peach; Anthocyanin; Red-flesh peach; Vis-UV Spectrophotometry; HPLC

桃[*Prunus persica* (L.) Batsch] 起源于我国,具有极其丰富的种质资源。根据感官判定,可以将果肉颜色划分为白、绿、黄、红。白肉和黄肉是一对质量性状^[1];果肉(包括近核处)含有红色物

质较常见。许多研究证明,使果肉呈现红色的主要成分是花色苷^[2-3]。花色苷作为一种天然食用色素,安全、无毒,而且具有一定营养和药理作用,在食品、化妆品、医药领域有着巨大应用潜力。目

收稿日期:2011-01-23 修回日期:2012-03-29 网络出版日期:
URL:

基金项目:十二五科技支撑;国家“863”课题(2011AA10020606)

作者简介:赵玉,在读硕士。研究方向:果树种质资源。E-mail:zhaoyu9897@sina.com

通信作者:王力荣,博士,研究员,博士生导师。研究方向:果树种质资源。E-mail:wlrong2009@sina.com

前对花色苷含量研究较多的是美国和芬兰,2007年美国农业部营养中心发布了黄酮(包含水果花色苷)的数据库,用以指导居民膳食^[4]。桃是世界上主要水果之一,富含花色苷的红肉桃成为当前国内外功能性水果开发研究的热点。欧美等国已启动红肉桃新品种选育计划,推出的红肉桃、油桃果实已经在市场销售^[5]。近年来,我国也开始将红肉桃育种列入近期目标,龚林忠等^[6]于2000年开始,搜集20多份不同类型的红肉桃资源,选育出新一代红肉品种—天仙红。目前研究中无论白肉还是黄肉,根据感官判定,果肉中红色素多的均称为红肉桃。那么如何判定是红肉桃,则成为本研究组进行品种选择的重要基础,即给出红肉桃花色素苷含量的数量指标,以便更好地研究红肉桃品种。

随着红肉桃资源越来越受到重视,目前这一特

色种质的收集、整理与遗传评价成为当今桃种质资源工作的重要内容之一。本研究在68份供试桃品种资源进行调查、收集、测定的基础上,旨在建立合适的花色苷含量测定方法;其次,分析桃果肉花色苷的组成与含量,明确桃品种资源花色苷的遗传多样性,发掘出优异的种质资源;最后,给出红肉桃花色苷的判定指标,完善红肉桃种质资源描述的规范性。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料均采自中国农业科学院国家果树种质郑州桃圃,树体立地条件、管理措施均一致。供试68份桃品种材料及果肉颜色感官评价(注:文中只基于白肉和黄肉两种基本果肉颜色进行品种分类分析)见表1。

表1 供试材料及其花色苷和可滴定酸含量

Table 1 List of the tested cultivars and their anthocyanin and titratable acid content

品种名称 Name of cultivar	果肉颜色 Fresh colour	UV 测得花色 苷含量(mg/100 g) Anthocyanin content by UV	HPLC 测得花 色苷含量(mg/100 g) Anthocyanin content by HPLC	可滴定酸含量(%) Titratable acid content
82-9	白	33.52	27.97	0.22
白花 Baihua	白	1.86	0.60	0.29
北京 40-10 Beijing 40-10	白	3.44	2.00	0.74
大果黑桃 Daguohetao	红	8.57	2.84	1.3
大红袍 Dahongpao	红	5.54	4.27	0.26
大雪桃 Daxuetao	白	2.18	0	0.23
大赵黄桃 Dazhaohuangtao	黄	0.35	0	0.20
大珍宝赤月 Dazhenbaochiyue	白	1.18	0.71	0.27
吊枝白 Diaozhibai	白	0.83	0.22	0.33
肥城红里 6 号 Feichenghongli 6 [#]	白	0.88	0	0.41
甘选 2 号 Ganxuan 2 [#]	黄	2.25	0	0.37
割谷 Gegu	白	0.4	0	0.41
光义白花桃 Guangyibaihuatao	白	7.03	7.92	0.26
白凤 Hakuho	白	0.14	0	0.21
黑布袋 Heibudai	红	31.08	23.04	—
红垂枝 Hongchuizhi	绿	0.26	0	—
红桃 Hongtao	白	11.28	7.73	1.23
红鸭嘴 Hongyazui	白	2.82	1.37	0.5
黄腊桃 Huanglatao	黄	1.8	0.40	—
黄肉 6 号 Huangrou 6 [#]	黄	4.04	3.76	0.51
花玉露 Huayulu	白	3.04	0	—
尖嘴红肉 Jiazuihongrou	红	7.43	6.20	—
嘉庆蟠桃 Jiaqingpantao	白	0.78	0	0.25
吉林 8903 Jilin 8903	白	1.12	0.63	—
金凤 Jinfeng	黄	0.16	0	0.16

表 1(续)

品种名称 Name of cultivar	果肉颜色 Fresh colour	UV 测得花色	HPLC 测得花	可滴定酸含量(%) Titratable acid content
		苷含量(mg/100 g)	色苷含量(mg/100 g)	
		Anthocyanin content by UV	Anthocyanin content by HPLC	
京玉 Jingyu	白	0.56	0	0.28
荆门毛桃 Jinmenmaotao	白	27.51	14.16	0.34
鸡嘴白 Jizuibai	白	1.9	1.01	0.37
丽格兰特 Legrand	黄	2.31	0	1.06
临城桃 Linchengtao	白	1.55	0.51	0.56
龙 124 Long 124	黄	2.73	1.03	0.37
龙 246 Long 246	黄	1.54	0.36	0.45
陆林水蜜 Lulinshuimi	白	1.19	0.68	0.35
芒夏露 Mangxialu	白	1.89	1.54	0.63
玫瑰红 Meiguihong	白	0.41	0.19	—
南山甜桃 Nanshantiantao	白	2.01	0.13	—
兴津油桃 Okitsu	黄	0.12	0	0.77
大久保 Okubo	白	0.76	0	0.25
平碑子 Pingbeizi	白	3.44	1.4	0.6
齐嘴红肉 Qizuihongrou	红	14.45	12.74	0.26
青毛子白花 Qingmaozibaihua	白	9.87	5.71	0.41
肉蟠桃 Roupantao	白	3.84	0	0.35
山东四月半 Shandongsiyueban	白	4.06	9.1	0.75
上海水蜜 Shanghaishuimi	白	3.78	2.63	0.41
深州离核水蜜 Shenzhouliheshuimi	白	1.87	0	0.27
石头桃 Shitoutao	白	1.67	0.2	0.26
寿白 Shoubai	绿	1.07	0	0.97
春雪 Spring snow	白	2.45	2.06	0.45
酸桃 Suantao	白	4.76	0	1.24
郑州 07-4-33 Zhengzhou 07-4-33	红	34.66	27.8	—
天津水蜜 Tianjinshuimi	红	43.52	30.79	1.12
徒沟 1 号 Tugou 1 [#]	黄	1.22	0.17	—
万州酸桃 Wanzhousuantao	红	56.35	72.99	0.86
微尖红肉 Weijianhongrou	红	13.22	12.27	0.15
乌黑鸡肉桃 Wuheijiroutao	红	4.53	1.17	0.63
武汉 2 号 Wuhan 2 [#]	白	21.09	5.37	0.47
狭叶桃 Xiayetao	黄	0.17	0	0.3
西教 2 号 Xijiao 2 [#]	黄	1.35	0.15	—
燕红 Yanhong	白	1.86	0.79	0.25
莺歌桃 Yinggetao	白	0.32	0.07	—
鹰嘴 Yingzui	白	1.22	0.36	0.54
豫白 Yubai	白	0.73	0	0.49
园春白 Yuanchunbai	白	6.76	5	0.86
早春桃 Zaochuntao	白	12.89	8.67	—
早熟黄甘 Zaoshuhuanggan	黄	3.47	1.03	0.47
张白 5 号 Zhangbai 5 [#]	白	5.02	2.56	0.41
朱粉垂枝 Zhufenchui zhi	绿	2.38	0	—
紫肉桃 Ziroutao	黄	2.67	1.52	—

1. 果肉颜色参照王力荣等编写的《桃种质资源描述规范和数据标准》^[10]; 2. 可滴定酸含量以苹果酸的百分含量表示; 3. “—”代表缺失数据
1. Fresh colour was referred to Descriptors and data standard for peach (*Prunus persica* L.)^[10]; 2. the percentage of malic acid indicated titrable acidity ,
3. “—”indicated missing values.

1.2 方法

在果实食用成熟期(指果实底色的绿色大部分褪尽,呈现该品种应有的底色,有色品种着色面积占应有着色面积的3/4以上,表现出品种应有的外观和风味),每品种取5个桃,分别切取桃两侧果肉混合,液氮速冻,-80℃保存。

1.2.1 比色法测定花色苷含量 每个品种称取混合果肉1.0 g,加入10 mL 1%盐酸甲醇溶液,60℃水浴1 h,冷却后于4℃避光浸提至果肉无色。以1%盐酸甲醇溶液为空白,用莱伯泰科BlueStar系列紫外分光光度计分别以530 nm、600 nm为吸收波长测定其吸光度。参照Pirie等^[7]和张昭其等^[8]的计算方法,花色苷含量以mg当量的矢车菊素-3-葡萄糖苷/100 g鲜样表示。

1.2.2 HPLC测定花色苷含量 参考骆军等^[9]的方法,称取研磨后的果肉1.0 g,加入5 mL 1.6%甲酸甲醇溶液在4℃下浸提过夜,超声波处理15 min,用0.22 μm滤膜过滤后waters液相色谱测定花色苷含量。色谱柱选用Wonda Sil C18柱(250 mm × 4.6 mm),流动相A:1.6%甲酸水溶液;B:1.6%甲酸甲醇溶液,梯度洗脱为0~5 min,85% A + 15% B;5~10 min,80% A + 20% B;10~30 min,72% A + 28% B;30~36 min,40% A + 60% B;48 min,100% B。检测波长510 nm,流速为1 mL/min,柱温为40℃,甲酸、甲醇均为色谱纯,水为0.22 μm过滤的超纯水,花色苷的含量用外标法计算,结果以mg当量的矢车菊素-3-葡萄糖苷/100 g鲜样表示。

1.2.3 NaOH溶液中和滴定法测定可滴定酸含量 称取研磨后果肉样品1.0 g,用约30 mL水洗入50 mL容量瓶,置75~80℃水浴上加热30 min,期间摇动数次,取出冷却,加水至刻度,摇匀过滤。根据预测酸度,用移液管吸取30 mL样液,加入酚酞指示剂3~5滴,用氢氧化钠标准溶液滴定,至出现微红色30 s内不退色为终点,记下所消耗的体积。试样的可滴定酸含量以核果类主要的苹果酸的百分含量表示。

1.3 数据分析

采用EXCEL 2003和DPS 7.05统计软件,对测量的指标进行相应的统计分析。

2 结果与分析

2.1 比色法与高效液相色谱法相关性分析结果

比色法与高效液相色谱法测得花色苷的含量均有较宽的分布区间,结果虽存在差异,但趋势相似,

约85%的品种含量集中分布在0~10 mg/100 g。根据花色苷含量进行资源份数统计,结果见图1。由图1可知,花色苷含量在0~4 mg/100 g区间内的品种数目有较大的差异。通过品种比较发现,此差异主要是由黄肉桃和不含红色素的白肉桃造成,大部分白肉品种的结果接近,而对于黄肉品种,比色法分析结果约是液相色谱法定量结果的2倍,导致黄肉品种在统计分布区间发生偏移。鉴于黄肉品种含量上的明显差异,将白肉与黄肉品种分别运用DPS软件对2种方法的测定数据进行相关性分析,结果表明,在0.01极显著水平上,2种方法测定白肉品种花色苷含量的相关系数为0.94,高于黄肉品种的0.64。

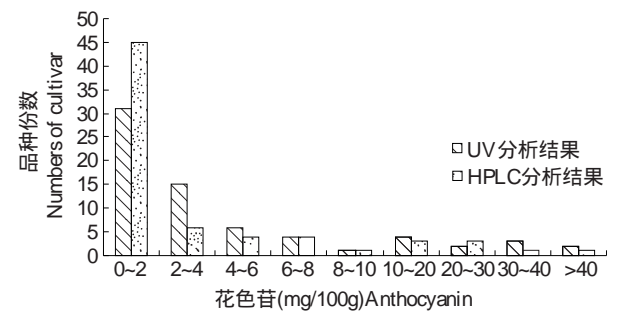


图1 花色苷含量分布统计

Fig. 1 Frequency distribution of anthocyanin content

2.2 果肉花色苷遗传多样性分析

2.2.1 果肉花色苷含量分布 通过比色法得出(表1),白肉品种果肉中花色苷含量分布在0.14~56.35 mg/100 g。万州蜜桃含量最高,白凤含量最低;黄肉品种花色苷含量分布是0.12~4.04 mg/100 g,含量最高的为黄肉6号,含量最低的为兴津油桃。

配制0.0003 mg/mL、0.0007 mg/mL、0.001 mg/mL、0.0035 mg/mL、0.008 mg/mL、0.04 mg/mL 6个浓度的矢车菊素-3-葡萄糖苷标准溶液。在标准溶液的设定浓度范围内,花色苷的含量与标样的峰面积之间存在显著的线性关系,线性回归方程:Y = 784.03 + 25446725.16X (R² = 0.9997)。通过计算得出(表1),白肉品种果肉花色苷分布为0~72.99 mg/100 g,含量最高的是万州蜜桃;15份材料未检出花色苷含量,占有所有材料的27.78%;含量在0~1.99 mg/100 g的品种占31.48%;含量在2~19.99 mg/100 g的品种占31.48%;含量高于20 mg/100 g的占9.26%。黄肉品种果肉花色苷含量分布为0~3.76 mg/100 g,含量最高的是黄肉6号,共有6份材料未检出花色苷含量,占42.86%,

含量在 0 ~ 0.99 mg/100 g 占 28.57%, 含量高于 1 mg/100 g 的品种数占 28.57%。

2.2.2 果肉花色苷种类鉴定 HPLC 定性分析发现,桃果肉中花色苷有矢车菊-3-葡萄糖苷和矢车菊-3-芸香糖苷。主要分布的种类是矢车菊-3-葡萄糖苷,48 份材料检测出含有矢车菊-3-葡萄糖苷。矢车菊-3-芸香糖苷的分布相对不广泛,只有大果黑桃、乌黑鸡肉桃 2 份材料中检测出,均是在含有矢车菊-3-葡萄糖苷的同时含有矢车菊-3-芸香糖苷,未发现单独含有矢车菊-3-芸香糖苷的桃品种。不同样品色谱图见图 2。

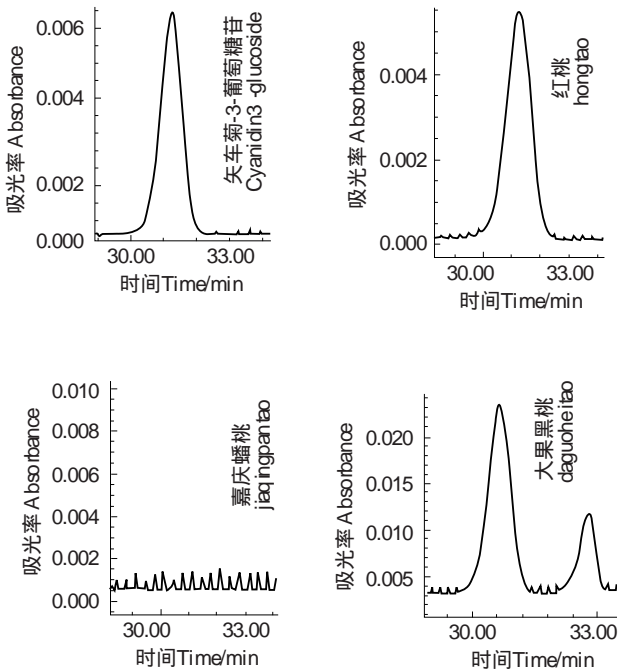


图 2 标样和样品的 HPLC 的色谱图

Fig. 2 HPLC chromatograms of standard and samples

2.2.3 花色苷与可滴定酸含量的比较 桃果实中苹果酸约占总酸组分的 60%^[11], 因此本研究中以苹果酸的百分含量表示桃果肉可滴定酸的含量。本试验测得果肉苹果酸含量分布在 0.149% ~ 1.303%。参照 GB/T 12293-1990 进行可滴定酸含量的评价,品种份数最多含量 < 0.30% 的,占 34.50%; 含量低的品种数之,占 25.50%; 含量介于 0.60% ~ 0.75% 的品种份数最少; 含量中等和极高类型的品种数相近,均占 15% 左右。对花色苷含量与苹果酸含量进行相关性分析,二者的相关性未达到显著水平,间接表明桃果肉颜色的深浅与可滴定酸含量之间无明显关系。

2.3 果肉花色苷含量的分级指标及参照品种建议 根据 HPLC 测得花色苷含量及果肉颜色的深浅将桃划分为 5 个等级并给出参照品种(表 2,图 3)。以 20 mg/100 g 的花色苷含量定为红肉桃判定的临界点,试材中共出现 5 份品种花色苷含量高于临界点,可视为红肉桃资源,按含量高低排列依次为万州酸桃、天津水蜜、82-9、郑州 07-4-33、黑布袋。

表 2 桃果肉花色苷含量分级指标及参照品种
Table 2 Scale index and reference cultivars of white-flesh peaches

分级 Scale	花色苷含量 (mg/100) Anthocyanin content	评价 Evaluation	参照品种 Reference cultivars
1	0	无	豫白
2	0 ~ 1.99	微红	鸡嘴白
3	2 ~ 19.99	较红	光义白花桃
4	20 ~ 29.99	红	黑布袋
5	≥30	很红	天津水蜜

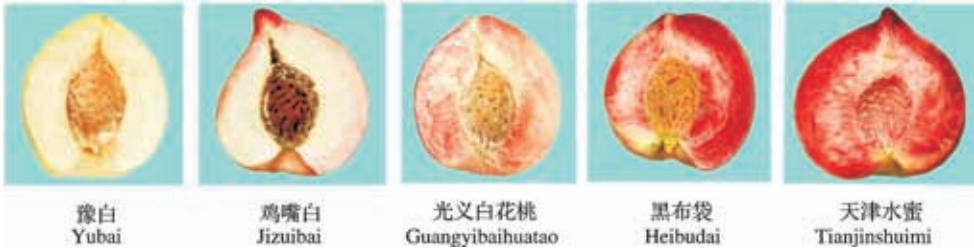


图 3 参照品种图片

Fig. 3 The picture of reference cultivars

3 讨论

3.1 花色苷测定方法的选择

目前常用检测花色苷含量的方法主要有比色法和高效液相色谱法,多数学者^[12-13]以矢车菊-3-葡萄

糖苷表示比色法测得结果,与 HPLC 定性检测出的结果的差异性尚未见报道。本研究运用 2 种方法测定 68 份桃品种的花色苷含量,比较 2 种方法检测结果的一致性,结果表明,2 种方法测定白肉品种的相关系数高于测定黄肉品种,说明黄肉品种中的某种

物质干扰了其中一种测定方法。有研究指出,黄肉品种 Redhaven 和白肉品种 Redhaven Bianca 在发育阶段果肉颜色均近似白色,而成熟阶段 Redhaven 中类胡萝卜素大量积累,果肉颜色变黄^[14]。许建兰等^[15]的研究结果显示,桃果肉中类胡萝卜素与花色苷的含量呈负相关关系。由此推断果实成熟后,黄肉品种在色素方面含有大量的类胡萝卜素,结合不同品种 2 种方法测定结果的相关系数进一步推测,类胡萝卜素是造成相关系数低的主要原因。显然,对红色色素的测定,HPLC 法准确度更好。

HPLC 经过将混合状态的成分分离以后,再进行定量,因此混杂物的影响较小,其定量结果较为准确。比色法不能对研究对象的单体组分定性,尤其是特定花色苷组分确定,受类胡萝卜素的干扰而降低其测定黄肉桃花色苷的准确性。因此,当桃花色苷含量以矢车菊-3-葡萄糖苷表示时,可根据要求任选一种方法测定白肉品种,而测定黄肉桃花色苷含量时应尽量选用液相色谱法。

3.2 桃果肉花色苷含量和种类的分析

同一树种不同品种间花色苷含量存在差异。本试验中用比色法测得花色苷含量为 0.11 ~ 56.35 mg/100 g,万州蜜桃含量最高,明显高于 Bolvar^[5]所测材料的最高值(37 mg/100 g),而远低于 Vizzotto 等^[16]材料中的最高值(266 mg/100 g)。花色苷是一类植物次级代谢产物,在疾病、昆虫、气候和光照等各环境压力情况下产生。此外,培育条件、生长地、农业操作、分析处理方法、采收成熟度等,也是造成花色苷含量差异的部分原因。

有研究报道桃果实中花色苷种类有矢车菊-3-葡萄糖苷和矢车菊-3-芸香糖苷^[17]。A-Francisco 等^[18]的试验结果表明,桃果肉中花色苷种类为矢车菊-3-葡萄糖苷,未检测出矢车菊-3-芸香糖苷。本试验中大果黑桃、乌黑鸡肉桃 2 个品种同时检测出 2 种花色苷的含量,据此推断,桃不同品种间果肉花色苷的种类也存在差异。

3.3 红肉桃判定标准的应用

花色苷含量是由多基因控制的数量性状,受基因型和环境效应的共同影响。水稻上由于缺乏对花色苷的鉴定方法及等级评价标准,导致国内对富含花色苷的色稻种质资源评价和鉴定存在主观性、盲目性^[19],同样的问题也出现在桃种质资源评价中。目前如何判定红肉桃,红色素含量达到多少可视为红肉桃仍未有明确地报道。王力荣等^[10]从感官方

面将天津水蜜定为红肉桃的参照标准,缺少数量化指标。本试验通过测定品种花色苷的含量,首次提出红肉桃的判定标准,给出量化指标和参照品种。依据此标准共得到的 5 份红肉桃品种,万州蜜桃、天津水蜜、82-9、郑州 07-4-33、黑布袋与感官判断结果吻合。试材中乌黑鸡肉桃、大果黑桃、大红袍、尖嘴红肉、微尖红肉、齐嘴红肉,根据感官判定为红肉桃,与本研究判定结果存在差异。观察乌黑鸡肉桃、大果黑桃的果肉颜色发现,大部分果肉呈淡粉色,颜色较深的红色素呈条纹状分布其中,与参照品种黑布袋红色素分布完全不同,这可能是造成花色苷含量低的原因。大红袍、尖嘴红肉、齐嘴红肉、微尖红肉果肉颜色虽红,但花色苷含量和可滴定酸含量均较低。溶液酸度是花色苷呈现红色的重要因素^[20],酸含量的多少一方面调节液泡 pH 值,影响花色苷的显色与其稳定性,另一方面为花色苷合成过程中各种酶活提供一个合适的 pH 条件。本试验中采用 pH=2.3 的甲醇甲酸浸提液可避免浸提过程中花色苷的降解,但上述 4 个品种浸提后的颜色浅,猜测在取样或是研磨过程中花色苷发生降解,导致含量低。进而推断受品种自身酸度的影响,对甜味红肉桃的判定不符合本研究提出的标准,这一问题需要进一步探索解决。

部分品种因不同判定标准产生的分歧说明,只有参照品种而没有具体数值指标,不能避免人们主观意念判断的失误;只有具体数值,而没有参照品种又不能说明由于环境所造成的差异。因此,一个科学的、实用的标准应该是既有参照品种又有具体数值。

参考文献

- [1] Bailey J S, French H P. The inheritance of certain fruit and foliage characters in the peach [J]. Mass Agric Expt Stn Bull, 1949, 452, 2-31
- [2] Francis F J. Food colorants: anthocyanins [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 1989, 28, 273-314
- [3] Maria Dani. Connection between the light availability and the peach fruit quality [J]. Cereal Res Commun, 2007, 35(2): 337-340
- [4] 李桂兰, 凌文华, 郎静, 等. 我国常见蔬菜和水果中花色素含量 [J]. 营养学报, 2010, 32(6): 592-597
- [5] Bolvar A, Cevallos-Casals, David Byrne, William R. Okie, et al. Selecting new peach and plum genotypes rich in phenolic compounds and enhanced functional properties [J]. Food Chem, 2006, 96: 273-280
- [6] 龚林忠, 何华平, 王富荣, 等. 10 份湖北地方红肉桃资源生物学特性观察 [J]. 果树学报, 2008, 25(3): 413-417
- [7] Pirie A, Mullins M G. Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissue treated with sucrose, nitrate and abscisic acid [J]. Plant Physi, 1976, 58: 468-472
- [8] 张昭其, 庞学群, 段学武, 等. 荔枝果皮褐变过程中花色苷

含量的变化及定[J]. 华南农业大学学报,2002,23(1):16-19

[9] 骆军,张学英,李光平. HPLC 法测定果实中花色苷含量[J]. 上海农业学报,2006,22(3):25-27

[10] 王力荣,朱更瑞. 桃种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2005:11

[11] Moing A, Svanella L, Rolin D. Compositional changes during the fruit development of two peach cultivar differing in juice acidity[J]. J Am Soc Hort Sci,1998,123:770-775

[12] 章秋平,李疆,王力荣,等. 红肉桃果实发育过程中色素和糖酸含量的变化[J]. 果树学报,2008,25(3):312-315

[13] 陈晨,文怀秀,罗智敏,等. 白刺色素和黑果枸杞色素中花色苷与总多酚的测定[J]. 光谱实验室,2010,27(5):1796-1998

[14] Federica Brandil, Einat Bar, Fabienne M B, et al. Study of ‘Redhaven’ peach and its white-fleshed mutant suggests a key role of CCD4 carotenoid dioxygenase in carotenoid and norisoprenoid volatile metabolism[J]. BMC Plant Biology,2011

[15] 许建兰,马瑞娟,俞明亮,等. 红肉桃果实发育过程中果肉色素含量的变化[J]. 江苏农业学报,2010,26(6):1347-1351

[16] Vizzotto M, Cisneros-Zevallos L, Byrne D. Total phenolic, carotenoid, and anthocyanin content and antioxidant activity of Peach and plum genotypes[J]. Acta Hort,2006,713:453-455

[17] Wu Xianli, Ronald L. Systematic identification and characterization of anthocyanins by HPLC-ESI-MS/MS in common foods in the United States: fruits and berries[J]. J Agric Food Chem, 2005,53:2589-2599

[18] Francisco A. Tomas-Barberian, Maria I. Gil, Paedar Cremin, Andrew L. Waterhouse. HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums[J]. J Agric Food Chem,2001,49:4748-4760

[19] 孙明茂,韩龙植,李奎星,等. 水稻花色苷含量的遗传研究进展[J]. 植物遗传资源学报 2006,7(2):239-245

[20] 郭金耀,杨晓玲. 葡萄皮色素的提取及其性能研究[J]. 山西农业大学学报,1994,14(4):415-418