

徐子媛<sup>1,2</sup>, 严 娟<sup>3</sup>, 蔡志翔<sup>3</sup>, 孙 朦<sup>3</sup>, 宿子文<sup>1,3</sup>, 沈志军<sup>3</sup>, 马瑞娟<sup>3</sup>, 俞明亮<sup>3</sup>  
(1.南京农业大学园艺学院,江苏 南京 210095; 2.江苏省灌云县农作物栽培技术指导站,江苏 灌云 222200; 3.江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室,江苏 南京 210014)

## 桃果实糖酸和酚类物质与口感风味的相关性

徐子媛<sup>1,2</sup>, 严 娟<sup>3</sup>, 蔡志翔<sup>3</sup>, 孙 朦<sup>3</sup>, 宿子文<sup>1,3</sup>, 沈志军<sup>3</sup>, 马瑞娟<sup>3</sup>, 俞明亮<sup>3</sup>  
(1.南京农业大学园艺学院,江苏 南京 210095; 2.江苏省灌云县农作物栽培技术指导站,江苏 灌云 222200; 3.江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室,江苏 南京 210014)

**摘要:** 以 73 份桃种质资源为试材,使用高效液相色谱(HPLC)仪测定果肉中的糖、有机酸和酚类物质含量,对不同风味等级、不同涩味等级的糖、酸和酚类物质含量进行比较分析,并进行果实糖酸和酚类物质与口感风味相关性分析。结果表明:除果糖含量外,不同风味等级之间的蔗糖、葡萄糖、山梨醇、苹果酸、柠檬酸和奎尼酸含量呈现不同的显著性差异;涩味等级为多的桃果实中新绿原酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、根皮苷、矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷的含量均显著高于其他涩味等级桃果实。蔗糖含量与甜风味呈极显著的正相关关系( $r=0.534$ ),葡萄糖、山梨醇含量与甜风味呈显著或极显著的负相关关系(相关系数分别为 $-0.246$ 和 $-0.357$ ),果糖含量与甜风味的相关性未达到显著水平。苹果酸、柠檬酸、奎尼酸含量均与甜风味呈极显著的负相关关系,相关系数分别为 $-0.696$ 、 $-0.686$ 和 $-0.381$ 。比较糖和有机酸含量与果实甜酸风味的相关性发现,有机酸含量对甜酸风味的影响高于糖组分含量。检测出的 13 种酚类物质中,有 9 种组分与涩味呈正相关关系,分别为表儿茶素( $r=0.726$ )、绿原酸( $r=0.711$ )、咖啡酸( $r=0.683$ )、新绿原酸( $r=0.660$ )、根皮苷( $r=0.621$ )、儿茶素( $r=0.616$ )、阿魏酸( $r=0.501$ )、矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷( $r=0.496$ )、芸香苷( $r=0.235$ )。研究还发现:并非所有的种质资源中有机酸均以苹果酸为主,还存在少量以奎尼酸和柠檬酸为主导的种质资源;虽然大多数酚类物质含量高的种质资源存在涩味大的现象,但是也存在紫油桃 7 号等微涩的种质资源具有较高的酚类物质含量,这些种质资源将为后续的种质创新与品种选育提供遗传基础。

**关键词:** 桃; 糖酸; 酚类物质; 甜酸风味; 涩味; 相关性

**中图分类号:** S662.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)01-0190-10

## Correlation between soluble sugar, organic acid and phenolic substances with tasted flavor in peach fruit

XU Zi-yuan<sup>1,2</sup>, YAN Juan<sup>3</sup>, CAI Zhi-xiang<sup>3</sup>, SUN Meng<sup>3</sup>, SU Zi-wen<sup>1,3</sup>, SHEN Zhi-jun<sup>3</sup>,  
MA Rui-juan<sup>3</sup>, YU Ming-liang<sup>3</sup>

(1.College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2.Advisory Station for Crop Cultivation Technology in Guanyun Country of Jiangsu Province, Guanyun 222200, China; 3.Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** A set of 73 peach germplasms were used as test materials in this study. Contents of sugars, organic acids and phenolic compounds in the pulp were detected by high performance liquid chromatography (HPLC). Contents of sugar, organic acids and phenolic compounds with different flavor grades and different astringent grades were compared. Correlations

收稿日期:2021-07-02

基金项目:江苏省自然科学基金项目(BK20200278);农业农村部物种保护项目(19190156);国家科技资源共享服务平台项目(NHGRC2020-NH16)

作者简介:徐子媛(1997-),女,江苏连云港人,硕士研究生,研究方向为桃种质资源。(E-mail) xzyxzyxx@163.com

通讯作者:俞明亮, (E-mail) mly1008@aliyun.com

between sugar content, acid content, phenolic compounds content and flavor were analyzed. The results showed that, except for fructose content, the contents of sucrose, glucose, sorbitol, malic acid, citric acid and quinic acid showed diverse significant differences between peaches with different flavor grades. Contents of neochlorogenic acid, catechin, chlorogenic acid, caffeic acid, phloridzin and cy-

anidin-3-*O*-glucoside were all significantly higher in peach fruits with high astringency grades than in others. The content of sucrose was in extremely significant positive correlation with sweet flavor ( $r=0.534$ ), and the contents of glucose and sorbitol were in significant or extremely significant negative correlation with sweet flavor, the correlation coefficients were  $-0.246$  and  $-0.357$ , respectively. The correlation between fructose content and sweet flavor was not significant. The contents of malic acid, citric acid and quinic acid were in extremely significant negative correlation with sweet flavor, and the coefficients were  $-0.696$ ,  $-0.686$  and  $-0.381$ , respectively. By comparing the relationships between sugar content, organic acid content and the sweet and sour flavor of fruits, it was found that the influence of organic acid content on the sweet and sour flavor was higher than the influence of sugar component contents. Nine components were in positive correlation with astringent taste among the 13 phenolic compounds detected, such as epicatechin ( $r=0.726$ ), chlorogenic acid ( $r=0.711$ ), caffeic acid ( $r=0.683$ ), neochlorogenic acid ( $r=0.660$ ), phloridzin ( $r=0.621$ ), catechin ( $r=0.616$ ), ferulic acid ( $r=0.501$ ), cyanidin-3-*O*-glucoside chloride ( $r=0.496$ ) and rutin ( $r=0.235$ ). It was also found that malic acid was not the dominant organic acid component in all germplasm resources, while quinic acid and citric acid were dominant organic acid components in a few germplasm resources. Although most of the germplasm resources with high phenolic content had strong astringent flavor, there also existed germplasm resource with slight astringent flavor but had high phenolic substance content, such as Ziyoutao 7. These germplasm resources can provide genetic basis for the innovation of materials and variety breeding in the future.

**Key words:** peach; sugar and organic acids; phenolic compounds; sweet and sour tastes; astringent taste; correlation

桃原产于中国西部,经过4 000多年的栽培演化,形成了丰富的种质资源和栽培类型。中国桃品种选育已经取得显著成效,新中国成立以来育成了系列桃品种 623 个,其中鲜食及加工桃品种 598 个<sup>[1]</sup>,有效支撑了中国桃产业的发展。挖掘优异资源、培育适应现代管理和消费需求的多样化品种是今后桃育种的主要方向<sup>[1]</sup>。口感风味、营养品质和果实安全性是消费者最关注的性状,也是桃种质资源鉴定评价与挖掘利用的重点。

从口感鉴定的角度,Bellini 等<sup>[2]</sup>在欧美采用的“桃描述符”中,综合风味、酸度、甜度、香气等将桃口感品质(Eating quality)分为非常差、差、一般、好、很好 5 个等级。从甜酸风味的角度,《桃种质资源描述规范与数据标准》<sup>[3]</sup>将桃的甜酸风味分为酸、酸甜、淡甜、甜、浓甜 5 个等级;《果树种质资源描述符》将桃的甜酸风味分为酸、甜酸、酸甜适中、酸甜、甜 5 个等级<sup>[4]</sup>。从涩味程度的角度,《果树种质资源描述符》将桃的涩味分为无、微、中、多 4 个等级<sup>[4]</sup>。

随着果实品质测定技术的升级,桃果实中的糖酸、酚类物质组分和含量的鉴定评价已经成为研究的重点<sup>[5-6]</sup>。研究者围绕不同来源<sup>[7-8]</sup>、不同肉色类型<sup>[9]</sup>、不同品种群<sup>[10]</sup>、不同发育阶段<sup>[11-13]</sup>、特殊遗传群体<sup>[14]</sup>开展了桃果实中糖酸组分的鉴定分析,发现桃果实中糖组分以蔗糖、葡萄糖、果糖和山梨醇<sup>[5-6]</sup>为主,酸组分以苹果酸、奎尼酸和柠檬酸<sup>[14]</sup>为主,大多数种质资源中果糖/葡萄糖比值接近 1,部分种质资源的果糖/葡萄糖比

值小于 1,未发现果糖/葡萄糖比值显著高于 1 的种质资源<sup>[7-9]</sup>,还有一些研究者已经对糖酸组分与桃果实甜酸风味相关性进行了分析<sup>[15]</sup>。研究已经证实,果实中的酚类物质对抗氧化能力的贡献高于花色苷<sup>[12,16-17]</sup>,因此,关于对健康有益组分(Health beneficial components)酚类物质的鉴定评价成为研究的重点。在桃果实中已经鉴定出多种酚类物质,且以绿原酸、新绿原酸、儿茶素、表儿茶素等为主<sup>[18-19]</sup>,桃果实涩味与酚类物质相关性的研究报道很少。

本研究在测定 73 份桃种质资源糖酸组分和酚类物质含量的基础上,探索桃果实口感风味与代谢组分的相关性,以期为优良口感风味桃资源的挖掘与种质创新提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料取自国家果树种质南京桃资源圃,树龄 4 年,株行距为 2.0 m×5.0 m,两主枝按“Y”形修剪,统一肥水管理,果实套白色纸袋。选取的 73 份桃种质资源以普通桃[*Prunus persica* (L.) Bastch] 为主(69 份),新疆桃、山桃、甘肃桃、光核桃种质各 1 份(表 1)。果实样品统一取自树体中上部、树冠外围的长果枝上。每份资源挑选均匀一致、成熟度 8.5~9.0(体现种质资源的特征特性)的果实 18 个,随机分成 3 组,每组 6 个果实,先进行口感风味的鉴定评价,然后快速将果肉切碎混匀,置于液氮中速冻,再放置于  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  冰箱中保存备测。

表 1 桃种质资源果实特性

Table 1 Fruit characteristics of peach varieties tested

序号	种质名	所属种或变种	种质类型	甜酸风味值	涩味值
1	扬州早甜桃	<i>Prunus persica</i>	选育品种	6.0	0.7
2	安农水蜜	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
3	雨花露	<i>P. persica</i>	选育品种	5.3	0.0
4	宣城甜桃	<i>P. persica</i>	地方品种	3.3	0.0
5	日本 86	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
6	Tropicprince	<i>P. persica</i>	选育品种	1.0	1.0
7	锦春	<i>P. persica</i>	选育品种	5.7	0.0
8	银花露	<i>P. persica</i>	选育品种	5.0	0.0
9	雨花 3 号	<i>P. persica</i>	选育品种	5.0	0.0
10	红肉桃 1 号	<i>P. persica</i>	地方品种	1.0	1.7
11	红桃	<i>P. persica</i>	地方品种	1.0	3.0
12	锦香	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
13	野鸡红	<i>P. persica</i>	地方品种	5.7	1.3
14	丽江桃	<i>P. persica</i>	野生资源	5.7	0.3
15	金陵黄露	<i>P. persica</i>	选育品种	5.0	0.0
16	接桃	<i>P. persica</i>	地方品种	5.0	0.0
17	春蜜	<i>P. persica</i>	选育品种	4.3	0.0
18	霞晖 5 号	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
19	北京一线红	<i>P. persica</i>	地方品种	1.0	3.0
20	仓方早生	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
21	巴 6	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
22	金旭	<i>P. persica</i>	选育品种	2.0	1.0
23	TX4F244C	<i>P. persica</i>	选育品种	1.0	1.0
24	云台山毛桃 3 号	<i>P. persica</i>	野生资源	4.6	1.3
25	长引 1 号	<i>P. persica</i>	选育品种	5.0	0.0
26	塔桥	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
27	VistaRich	<i>P. persica</i>	选育品种	1.0	0.0
28	嶺凤	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
29	农林 89	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
30	小红花	<i>P. persica</i>	地方品种	4.6	0.3
31	霞晖 6 号	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
32	酸肉大红袍	<i>P. persica</i>	地方品种	1.0	2.0
33	SJZ04-1-23	<i>P. persica</i>	选育品种	4.0	0.0
34	紫毛桃 480	<i>P. persica</i>	地方品种	1.6	1.0
35	雪白桃	<i>P. persica</i>	地方品种	5.3	0.0
36	湖景蜜露	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
37	锦枫	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
38	霞晖 8 号	<i>P. persica</i>	选育品种	6.3	0.0
39	霞脆	<i>P. persica</i>	选育品种	6.0	0.0
40	罐桃 14 号	<i>P. persica</i>	选育品种	1.0	1.3
41	奉罐 1 号	<i>P. persica</i>	选育品种	1.0	1.3
42	白花水蜜	<i>P. persica</i>	地方品种	6.0	0.0
43	金童 7 号	<i>P. persica</i>	选育品种	1.0	0.0

续表1 Continued1

序号	种质名	所属种或变种	种质类型	甜酸风味值	涩味值
44	南山甜桃	<i>P. persica</i>	地方品种	5.7	0.0
45	晚湖景	<i>P. persica</i>	选育品种	6.7	0.0
46	晚硕蜜	<i>P. persica</i>	选育品种	6.3	0.0
47	迟园蜜	<i>P. persica</i>	选育品种	6.7	0.0
48	早黄蟠桃	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	选育品种	5.7	0.0
49	银河	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	选育品种	6.3	0.0
50	早魁蜜	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	选育品种	6.3	0.0
51	陈圃蟠桃	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	地方品种	6.0	0.0
52	瑞蟠 2 号	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	选育品种	5.7	0.0
53	长生蟠桃	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	地方品种	6.0	0.0
54	撒花红蟠桃	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	地方品种	6.0	0.0
55	奉化蟠桃	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	地方品种	6.0	0.0
56	白芒蟠桃	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	地方品种	6.0	0.0
57	中蟠 15 号	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	选育品种	6.0	0.0
58	白蜜蟠桃	<i>P. persica</i> var. <i>compressa</i>	地方品种	6.0	0.0
59	金霞早油蟠	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i> × <i>compressa</i>	选育品种	6.0	0.0
60	金霞油蟠	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i> × <i>compressa</i>	选育品种	6.7	0.0
61	Armking	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	选育品种	1.0	0.3
62	Crimsonbaby	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	选育品种	1.0	1.0
63	紫金红 1 号	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	选育品种	6.0	0.0
64	紫金红 3 号	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	选育品种	6.3	0.0
65	Sunraycer	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	选育品种	1.0	1.0
66	沪油 005	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	选育品种	5.0	0.0
67	紫油桃 2 号	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	地方品种	2.0	1.3
68	紫油桃 3 号	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	地方品种	2.0	1.3
69	紫油桃 7 号	<i>P. persica</i> var. <i>nectarina</i>	地方品种	2.0	1.3
70	云台山山桃	<i>P. davidiana</i>	野生资源	1.0	1.6
71	新疆黄肉	<i>P. ferganensis</i>	地方品种	2.0	1.3
72	大庄甘肃桃	<i>P. kansuensis</i>	野生资源	1.0	3.0
73	云南桃 19 号	<i>P. mira</i>	野生资源	1.0	3.0

甜酸风味值 1~7 分别表示酸甜口感为酸、酸多甜少、酸甜适中、甜多酸少、淡甜、甜、浓甜,所列数值为 3 人品鉴结果的平均值;涩味值 0~3 分别表示涩味等级为无、微、中、多,所列数值为 3 人品鉴结果的平均值。

## 1.2 试验方法

桃口感风味的鉴定评价由 3 人进行盲测,涩味按照《果树种质资源描述符》<sup>[4]</sup>中的方法分为无、微、中、多 4 个等级,甜酸风味综合《桃种质资源描述规范与数据标准》<sup>[3]</sup>和《果树种质资源描述符》<sup>[4]</sup>中的方法分为酸、酸多甜少、酸甜适中、甜多酸少、淡甜、甜、浓甜 7 个等级。

桃果实中糖和有机酸的提取参照钱巍等<sup>[11]</sup>的方法。使用高效液相色谱(HPLC)仪 Agilent 1260 测定糖和有机酸含量,糖的测定使用 CARBOSep CHO-620 CA 柱,有机酸的测定使用 ZORBAX Eclipse XDB-C18 柱。柱温、流速等的测定均参考沈志军等<sup>[13]</sup>的方法,使用标准曲线进行蔗糖、葡萄糖、

果糖、山梨醇、苹果酸、奎尼酸和柠檬酸的定量。

桃果实样品中酚类物质的提取与测定参照严娟等<sup>[19]</sup>的方法,利用标准曲线进行 13 种主要酚类物质(绿原酸、新绿原酸、儿茶素、表儿茶素、芸香苷、阿魏酸、咖啡酸、根皮苷、根皮素、槲皮苷、槲皮素、矢车菊素-3-O-葡萄糖苷、矢车菊素-3-O-芸香苷)的定量。

## 1.3 数据处理

总糖含量=蔗糖含量+果糖含量+葡萄糖含量+山梨醇含量,总酸含量=奎尼酸含量+苹果酸含量+柠檬酸含量,总酚含量=绿原酸含量+新绿原酸含量+儿茶素含量+表儿茶素含量+芸香苷含量+阿魏酸含量+咖啡酸含量+根皮苷含量+根皮素含量+槲皮苷含量+槲皮素含量+矢车菊素-3-O-葡萄糖苷含

量+矢车菊素-3-O-芸香苷含量。参考 Roussos 等<sup>[20]</sup>的公式计算甜度指数(SI),  $SI = 1.00 \times \text{葡萄糖含量} + 1.35 \times \text{蔗糖含量} + 2.30 \times \text{果糖含量} + 0.81 \times \text{山梨醇含量}$ ; 甜酸比=甜度指数/总酸含量; 糖酸比=总糖含量/总酸含量。相关性分析时, 涩味的无、微、中、多分别赋值为 0、1、2、3, 甜酸风味的酸、酸多甜少、酸甜适中、甜多酸少、淡甜、甜、浓甜分别赋值为 1~7, 利用 SPSS 22.0 软件进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 桃果实糖酸组分含量及其与甜酸口感风味的相关性

2.1.1 糖组分的测定结果 在测定的 73 份桃种质资源中, 糖组分含量表现出较大的变异(图 1)。蔗糖含量为 27.8~67.3 mg/g, 均值为 67.3 mg/g; 葡萄糖含量为 9.7~28.1 mg/g, 均值为 14.9 mg/g; 果糖含量为 4.4~20.8 mg/g, 均值为 12.5 mg/g; 山梨醇含量为 0.8~26.9 mg/g, 均值为 5.1 mg/g。4 种糖组分的总含量为 56.1~99.2 mg/g。

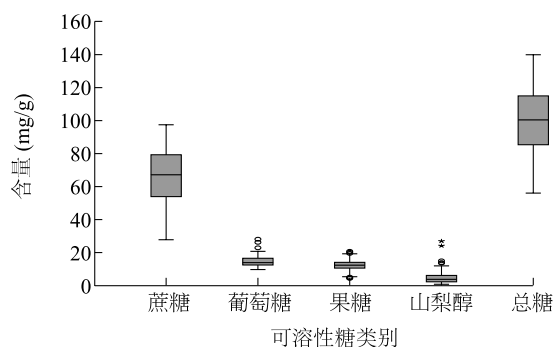


图 1 桃果实可溶性糖含量及分布范围

Fig.1 Content and distribution range of soluble sugar in peach fruit

不同种质资源桃的糖组分的含量占比也表现出较大差异。在测定的 73 份桃种质资源中, 蔗糖含量占比为 43.6%~75.2%, 葡萄糖含量占比为 11.1%~32.2%, 果糖含量占比为 5.0%~21.7%, 山梨醇含量占比为 1.0%~25.1%。其中新疆黄肉、红桃、北京一线红的蔗糖含量占比最低, 分别为 43.6%、47.9%、50.9%; 云台山山桃、新疆黄肉、紫油桃 7 号的葡萄糖含量占比最高, 分别达到 32.2%、26.2%、24.0%; 酸肉大红袍、红肉桃 1 号、红桃的果糖含量占比最高, 分别达到 21.7%、20.9%、19.8%; 新疆黄肉、北京一线红的山梨醇含量占比最高, 分别达到 25.1%、24.0%。

大多数桃种质的果糖与葡萄糖含量接近, 果糖/葡萄糖比值接近 1(图 2)。12 份种质(占 16%)中的果糖含量明显低于葡萄糖含量, 其中有 3 份种质的果糖/葡萄糖比值小于 0.30, 分别是云台山山桃(0.17)、新疆黄肉(0.19)、北京一线红(0.25)。与沈志军等<sup>[12]</sup>、牛景等<sup>[8]</sup>的研究结果类似, 本研究的 73 份试材中也未发现果糖/葡萄糖比值明显大于 1 的种质资源。

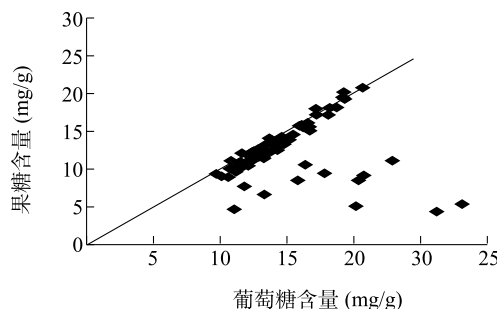


图 2 桃果实中果糖含量与葡萄糖含量的散点图

Fig.2 Distribution of fructose content-glucose content ratio in peach fruit

2.1.2 有机酸组分的测定结果 73 份桃种质资源的有机酸含量总体上表现为苹果酸含量>奎尼酸含量>柠檬酸含量(图 3)。苹果酸含量表现出较大的变异, 介于 0.9 mg/g(安农水蜜)和 19.3 mg/g(云南桃 19 号)之间, 均值为 4.0 mg/g; 奎尼酸含量介于 0.6 mg/g(VistaRich)和 5.6 mg/g(云南桃 19 号)之间, 均值为 1.8 mg/g; 柠檬酸含量介于 0.1 mg/g(扬州早甜桃)和 4.7 mg/g(VistaRich)之间, 均值为 1.1 mg/g; 总酸含量介于 3.0 mg/g(雨花 3 号)和 25.3 mg/g(云南桃 19 号)之间, 均值为 3.0 mg/g。

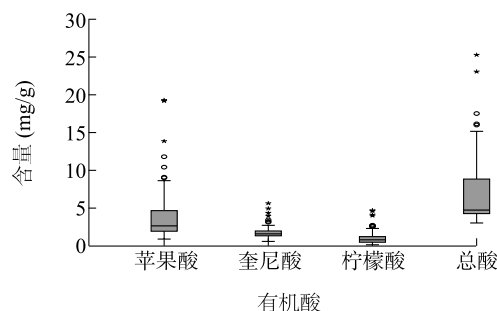


图 3 桃果实有机酸含量及分布范围

Fig.3 Content and distribution range of organic acids in peach fruit

并非所有种质资源桃的有机酸均以苹果酸为主, 不同种质资源桃的有机酸组分含量的占比表现



出较大的差异。苹果酸含量占比介于 22.0%(安农水蜜)和 83.1%(大庄甘肃桃)之间,奎尼酸含量占比介于 5.9%(VistaRich)和 66.4%(安农水蜜)之间,柠檬酸含量占比介于 1.4%(云南桃 19 号)和 44.6%(罐桃 14 号)之间。

2.1.3 不同风味等级桃种质之间糖酸含量差异  
对不同风味等级桃种质的糖酸含量进行分析比较(表 2),发现除果糖含量外,不同风味等级之间的蔗糖、葡萄糖、山梨醇、苹果酸、柠檬酸和奎尼酸含量呈现不同的显著差异。

甜酸风味等级按照蔗糖含量排序为:浓甜>甜、淡甜、甜多酸少、酸甜适中、酸多甜少>酸,多数等级之间

存在显著差异( $P<0.05$ )。葡萄糖含量虽然在不同甜酸风味等级之间呈现一定的显著差异,但是并非按照由甜到酸的等级排列。果糖含量在所有甜酸风味等级之间差异不显著( $P>0.05$ )。甜酸风味等级按照山梨醇含量排列为酸多甜少>酸>酸甜适中、甜多酸少、淡甜、甜、浓甜,其中酸多甜少等级的山梨醇含量显著高于其他风味等级( $P<0.05$ )。苹果酸和柠檬酸含量在不同甜酸风味等级之间表现一致,均为酸、酸多甜少>酸甜适中、甜多酸少、淡甜、甜、浓甜( $P<0.05$ )。奎尼酸含量在不同风味等级之间表现为浓甜、淡甜<酸甜适中、酸多甜少、酸( $P<0.05$ )。

表 2 桃种质不同风味等级之间糖酸含量比较

Table 2 Comparison of sugar and acid content among peach varieties with different flavor grades

风味	蔗糖含量 (mg/g)	葡萄糖含量 (mg/g)	果糖含量 (mg/g)	山梨醇含量 (mg/g)	苹果酸含量 (mg/g)	奎尼酸含量 (mg/g)	柠檬酸含量 (mg/g)
酸	54.4±13.5d	15.6±4.0b	12.4±5.0a	6.5±5.5b	8.0±4.9a	2.3±1.5ab	2.2±1.4a
酸多甜少	60.8±15.6cd	19.4±5.8a	13.6±6.5a	12.4±8.9a	7.8±2.7a	2.4±0.9ab	2.2±0.7a
酸甜适中	79.7±0.4ab	14.3±0.1bc	12.5±0.2a	2.3±0.3c	2.1±0.1b	2.5±0.1a	0.6±0b
甜多酸少	70.8±0.7bc	14.1±0.2bc	13.1±0.8a	4.7±0.2bc	1.4±0.1b	1.9±0.0abc	1.3±0.2b
淡甜	56.5±13.0d	12.2±3.0c	10.4±1.2a	2.4±2.4bc	1.9±0.9b	1.4±0.2c	0.6±0.3b
甜	75.3±11.0b	14.4±2.0bc	12.9±2.4a	4.0±2.1bc	2.4±0.8b	1.6±0.4bc	0.6±0.4b
浓甜	90.6±6.4a	17.3±4.9ab	13.0±1.6a	5.4±2.1bc	2.0±0.6b	1.4±0.7c	0.6±0.3b

同列数据后标有不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

2.1.4 甜酸风味与糖酸组分的相关性 对 73 份桃种质进行甜酸风味与糖酸组分的相关性分析,结果显示,蔗糖含量、葡萄糖含量、果糖含量、山梨醇含量、总糖含量、甜度指数、苹果酸含量、奎尼酸含量、柠檬酸含量、总酸含量、糖酸比、甜酸比与甜酸风味的相关系数分别为 0.534<sup>\*\*</sup>、-0.246<sup>\*</sup>、0.008、-0.357<sup>\*\*</sup>、0.304<sup>\*\*</sup>、0.344<sup>\*\*</sup>、-0.696<sup>\*\*</sup>、-0.381<sup>\*\*</sup>、-0.686<sup>\*\*</sup>、-0.777<sup>\*\*</sup>、0.881<sup>\*\*</sup>、0.882<sup>\*\*</sup>,\*、\*\* 分别表示相关性在 0.05、0.01 水平显著。蔗糖含量与甜风味呈极显著正相关关系,葡萄糖、山梨醇含量与甜风味呈显著负相关关系,果糖含量与甜风味的相关性未达到显著水平。苹果酸、柠檬酸、奎尼酸含量均与甜风味呈极显著的负相关关系。

总糖含量与甜风味间呈极显著的正相关关系( $r=0.304$ ),甜度指数( $SI$ )与甜风味之间呈极显著的正相关关系( $r=0.344$ ),总酸含量与甜风味间呈极显著的负相关关系( $r=-0.777$ )。从相关系数绝对值的角度看,有机酸含量对甜酸风味的影响高于

糖组分含量;从绝对含量的角度看,73 份桃种质资源总糖含量平均值为 99.7 mg/g,总酸含量平均值为 7.0 mg/g,糖含量是酸含量的 14.2 倍。说明与糖含量相比,有机酸含量的少量增加会导致甜酸风味的激烈改变。

糖酸比和甜酸比均能较好地体现桃果实的甜酸风味,2 个参数均与桃的甜风味呈极显著的正相关,且相关系数分别达到 0.881 和 0.882。

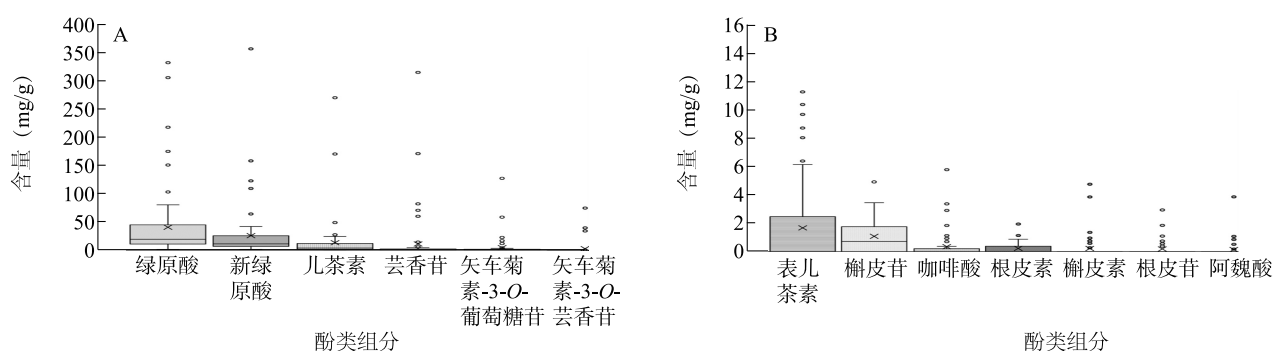
## 2.2 桃果实酚类物质的测定结果及其与口感涩味的相关性

2.2.1 酚类物质的测定结果 13 种酚类物质含量测定结果如图 4 所示。在 13 种酚类物质中,以绿原酸、新绿原酸、儿茶素、芸香苷为主,平均含量分别为 40.5 mg/kg、25.6 mg/kg、13.1 mg/kg、10.9 mg/kg。其他酚类物质的含量相对较低:表儿茶素 1.7 mg/kg、槲皮苷 1.1 mg/kg、咖啡酸 0.4 mg/kg、根皮苷 0.2 mg/kg、槲皮素 0.2 mg/kg、根皮素 0.2 mg/kg、阿魏酸 0.1 mg/kg。2 个花色苷组分矢车菊

素-3-*O*-葡萄糖苷和矢车菊素-3-*O*-芸香苷的平均含量分别为 4.5 mg/kg 和 2.6 mg/kg。

从酚类各组分的箱图(图 4)可见,绿原酸、新绿原酸、儿茶素、芸香苷、矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷和矢车菊素-3-*O*-芸香苷存在明显的离群值点,表明一些特异种质资源具有较高的特定组分含量。绿原酸含量的离群值点包括云南桃 19 号、北京一线红、紫油桃 7 号、红肉桃 1 号、红桃、紫油桃 3 号 6 份种质资源,其绿原酸含量均超过 100 mg/kg。新绿原酸含量的离群值点包括大庄甘肃桃、云台山山桃、云南桃 19 号、紫

油桃 2 号、紫油桃 3 号、北京一线红 6 份种质,其新绿原酸的含量均超过 60 mg/kg。儿茶素含量的离群值点包括云南桃 19 号、大庄甘肃桃、北京一线红 3 份种质,其儿茶素含量均超过 40 mg/kg。芸香苷含量的离群值点包括北京一线红、紫油桃 7 号、紫毛桃 480、紫油桃 2 号、紫油桃 3 号 5 份种质,其芸香苷含量均超过 50 mg/kg。矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷和矢车菊素-3-*O*-芸香苷含量的离群值点主要出现于红肉桃种质资源中,包括北京一线红、紫油桃 7 号等种质资源。



A: 高含量酚类物质; B: 低含量酚类物质。

图 4 桃果肉酚类物质含量

Fig.4 Contents of phenolic compounds in peach flesh

**2.2.2 总酚含量的测定结果** 在 73 份桃种质资源中,基于 13 种酚类物质之和的总酚含量也存在较大的变异,介于 4.8 mg/kg(瑞蟠 2 号)和 749.9 mg/kg(紫油桃 7 号)之间,平均值为 101.1 mg/kg。总酚含量较高的种质资源包括紫油桃 7 号(749.9 mg/kg)、云南桃 19 号(723.7 mg/kg)、北京一线红(683.1 mg/kg)、大庄甘肃桃(585.4 mg/kg)、紫毛桃 480(382.4 mg/kg)、紫油桃 3 号(338.9 mg/kg)、紫油桃 2 号(301.2 mg/kg),这些种质资源均为野生资源或地方品种资源。此外,除了陈圃蟠桃和湖景蜜露 2 个实生选育的桃品种,其余桃育成品种的酚类物质含量均在 100 mg/kg 以下,表明桃现代育成品种的总酚含量相对较低。

虽然大部分桃种质资源的酚类物质以绿原酸为主,但是也存在果肉中以新绿原酸和芸香苷为主的种质资源,如云台山山桃、锦枫、大庄甘肃桃、新疆黄肉 4 份种质资源的新绿原酸含量分别占总酚含量的 63.6%、61.2%、60.8%、47.7%,紫毛桃 480、紫油桃 7 号的芸香苷含量分别占总酚含量的 44.6%、41.9%,这些种质资源值得进一步研究与挖掘利用。

### 2.2.3 不同涩味等级桃之间酚类物质含量差异性

对不同涩味等级桃的酚类物质含量进行比较(表 3),发现涩味等级为多的桃中新绿原酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、根皮苷、矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷的含量均显著高于其他涩味等级( $P < 0.05$ )。新绿原酸和绿原酸含量均表现为涩味等级多>中>微、无( $P < 0.05$ ),儿茶素含量表现为涩味等级多>中、微、无( $P < 0.05$ ),咖啡酸含量表现为涩味等级多>中、微>无( $P < 0.05$ ),表儿茶素含量表现为涩味等级多、中>微>无( $P < 0.05$ ),根皮苷含量表现为涩味等级多>中、微>无( $P < 0.05$ ),矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷含量表现为涩味等级多>中、微、无( $P < 0.05$ )。阿魏酸、芸香苷、槲皮素、根皮素和矢车菊素-3-*O*-芸香苷虽然在不同涩味等级之间存在显著差异,但是其含量并非严格按照涩味等级多、中、微、无的顺序排列。

**2.2.4 口感涩味与酚类物质含量的相关性** 所测定的 13 种酚类物质中,与口感涩味呈极显著( $P < 0.01$ )正相关的酚类组分包括新绿原酸、儿茶素、绿原酸、咖啡酸、表儿茶素、阿魏酸、根皮苷、矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷 8 种组分,与口感涩味呈显著( $P <$

0.05)正相关的是芸香苷。槲皮苷、槲皮素、根皮素和矢车菊素-3-*O*-芸香苷与口感涩味不相关。各酚类物质组分与涩味的相关系数大小不同,按照由大到小排列为表儿茶素( $r=0.726$ )>绿原酸( $r=0.711$ )>咖啡酸( $r=0.683$ )>新绿原酸( $r=0.660$ )>

根皮苷( $r=0.621$ )>儿茶素( $r=0.616$ )>阿魏酸( $r=0.501$ )>矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷( $r=0.496$ )>芸香苷( $r=0.235$ )。总酚含量与口感涩味呈极显著的正相关关系( $r=0.747$ ),表明不同酚类组分可导致桃果实涩味的累加。

表 3 桃种质不同涩味等级之间酚类物质含量比较

Table 3 Comparison of phenolic substance content among different astringent grade of peach varieties tested

	涩味等级			
	无	微	中	多
新绿原酸含量 (mg/kg)	12.4±9.8c	26.7±23.6c	70.5±76.6b	156.7±137.5a
儿茶素含量 (mg/kg)	4.9±6.0b	10.2±10.4b	14.5±9.5b	127.8±114.0a
绿原酸含量 (mg/kg)	20.0±15.2c	55.2±53.9c	96.3±68.8b	204.7±140.0a
咖啡酸含量 (mg/kg)	0.1±0.2c	0.5±0.9bc	0.9±0.2b	2.9±2.1a
表儿茶素含量 (mg/kg)	0.6±1.3c	2.9±3.2b	6.5±1.9a	7.7±3.2a
阿魏酸含量 (mg/kg)	0±0.1c	0.1±0.3c	1.8±1.8a	0.6±0.5b
芸香苷含量 (mg/kg)	0.6±1.3b	43.9±88.9a	8.6±5.8b	20.7±26.8ab
根皮苷含量 (mg/kg)	0.1±0.2c	0.2±0.4bc	0.4±0.4b	1.5±1.1a
槲皮苷含量 (mg/kg)	0.9±1.0a	1.3±1.0a	1.8±2.7a	1.2±1.5a
槲皮素含量 (mg/kg)	0.1±0.3b	0.4±1.0b	1.6±2.7a	0±0b
根皮素含量 (mg/kg)	0.2±0.3bc	0.1±0.2c	0.6±1.1a	0.4±0.6ab
矢车菊素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷含量 (mg/kg)	0.5±1.1b	8.1±15.6b	11.3±11.2b	36.8±60.4a
矢车菊素-3- <i>O</i> -芸香苷含量 (mg/kg)	0±0.2b	12.2±22.8a	0.9±1.5b	0.3±0.4b
总酚含量 (mg/kg)	40.3±27.5c	161.9±202.9b	215.7±64.7b	561.2±213.8a

同一行中不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

3 讨论

国内外学者针对桃品质性状作了大量的鉴定评价工作,并筛选出一些优异种质<sup>[21-24]</sup>。桃果实营养成分主要包括糖、有机酸、酚类物质(含花色苷)等<sup>[25-26]</sup>。蔗糖是大多数桃果实中最主要的糖,对果实的甜味起最重要的作用。果糖的甜度比蔗糖和葡萄糖高,对口感有重要影响。果糖对胃肠道有好处,能诱导双歧杆菌和乳酸菌在胃肠道中生长<sup>[27]</sup>。筛选高果糖含量的桃种质资源一直是桃鉴定评价的重点,但是到目前为止尚未在桃果实中发现果糖/葡萄糖比值明显高于1的种质资源。本研究中果糖/葡萄糖比值最高的为红桃和紫毛桃480,比值均为1.05,其中紫毛桃480为“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”在江苏省南通市新收集的种质资源。山梨醇对肠胃健康和牙齿健康都有益,糖尿病患者可以用来替代葡萄糖<sup>[24]</sup>。本研究鉴定出新

疆黄肉和北京一线红2份种质资源的山梨醇含量超过20 mg/g,在一定程度上可作为创制高山梨醇含量亲本材料。

蔗糖、葡萄糖、果糖和山梨醇是桃果实中的主要糖分。在大多数品种中,糖含量的高低顺序为蔗糖>葡萄糖>果糖>山梨醇<sup>[5-6]</sup>,因此理论上应该是蔗糖、果糖、葡萄糖和山梨醇含量均与甜风味呈不同程度的正相关性。但是,本研究基于73份资源群体的分析发现,只有蔗糖含量与甜风味呈极显著的正相关关系,葡萄糖和山梨醇含量却与甜风味呈负相关关系,其主要原因是测试群体的葡萄糖、山梨醇含量均与苹果酸、奎尼酸含量呈正相关,较高的有机酸含量导致这些种质资源的风味偏酸。葡萄糖、山梨醇、苹果酸、奎尼酸含量均较高的种质资源包括红桃、北京一线红、紫油桃2号、紫油桃3号、紫毛桃480、大庄甘肃桃等,这些资源大多为野生资源和红肉桃地方品种资源,并未(很少)被现代育种用作亲本,但



也是值得关注的特殊资源类型。

前人研究结果表明,桃中主要的有机酸有苹果酸、奎尼酸和柠檬酸<sup>[14]</sup>,其中苹果酸含量最高,与果实酸度具有显著相关性,是控制桃果酸风味的最重要的成分<sup>[28-29]</sup>。靳志飞等<sup>[30]</sup>研究发现,苹果酸和山梨醇是影响桃果实甜酸风味的主导因素。本研究发现,并非所有的种质资源均以苹果酸为主,还存在奎尼酸和柠檬酸含量主导类型。如安农水蜜、陈圃蟠桃、宣城甜桃、春蜜等种质资源的奎尼酸含量分别占总酸含量的 66.4%、52.2%、48.3%、40.8%,而这些种质的苹果酸含量分别仅占总酸含量的 22.0%、35.3%、40.1%、30.6%。再如,罐桃 14 号的柠檬酸含量占总酸含量的 44.6%,也略高于苹果酸占总酸的含量(41.9%)。桃果实中有机酸含量和百分比的复杂性,可能是造成苹果酸、柠檬酸含量与甜风味呈同等程度负相关的主要原因。

涩味影响桃果实口感,《桃种质资源描述规范与数据标准》以单宁含量作为评价果实涩味的数量指标<sup>[3]</sup>,《果树种质资源描述符》同时以描述性的涩味和数量性的单宁含量作为评价涩味的指标<sup>[4]</sup>。单宁是高分子量水溶性多酚类化合物,无论是水解单宁,还是缩合单宁,均可水解为单体酚类物质<sup>[31]</sup>。酚类物质是植物中自然产生的次生代谢产物,可保护植物免受生物和非生物胁迫,同时也是具有重要生理功能的抗氧化成分,可分为酚酸类、黄烷醇、黄酮醇和花色素苷 4 类<sup>[18,32]</sup>。桃果实中的酚类物质不仅具有较高的清除自由基能力和抗氧化能力<sup>[33]</sup>,还可预防癌症、高血压、心脏病、动脉粥样硬化和心血管疾病等<sup>[34]</sup>。桃果实中酚类物质组分和含量在不同种质资源间普遍存在差异<sup>[12,35-36]</sup>。

本研究测定了 13 种单体酚的含量,在 73 份桃种质资源中表现出较大的差异。13 种单体酚中有 9 种与涩味的相关性达到显著水平,其余 4 种与涩味不相关。《果树种质资源描述符》中的方法品鉴结果显示,涩味“多”的种质资源包括北京一线红、红桃、云南桃 19 号、大庄甘肃桃等,涩味“中等”的包括红肉桃 1 号、云台山山桃、酸肉大红袍等,这些品种均为野生资源和地方品种资源,大多具有较高的酚类物质含量。因此,筛选酚类物质含量较高且涩味“微”或“无”的种质资源将是种质资源挖掘的重点。本研究中,紫油桃 7 号等种质资源的涩味等级为“微”,且具有较高的酚类物质含量,可作为桃优

异种质资源。

## 参考文献:

- [1] 俞明亮,王力荣,王志强,等.新中国果树科学研究 70 年——桃[J].果树学报,2019,36(10):1283-1291.
- [2] BELLINI E, WATKINS R, POMARICI E. Descriptors list for peach (*Prunus persica*) [M]. Luxembourg: Commission of the European Communities, Directorate-General Information Marker & Innovation, 1984.
- [3] 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.
- [4] 蒲富慎.果树种质资源描述符[M].北京:中国农业出版社,1990.
- [5] COLARIC M, VEBERIC R, STAMPAR F, et al. Evaluation of peach and nectarine fruit quality and correlations between sensory and chemical attributes[J]. Journal of Science of Food and Agriculture, 2005, 85(15):2611-2616.
- [6] VERSARI A, CASTELLARI M, PARPINELLO G P, et al. Characterisation of peach juices obtained from cultivars Redhaven, Suncrest and Maria Marta grown in Italy[J]. Food Chemistry, 2002, 76(2):181-185.
- [7] 赵剑波,姜全,郭继英,等.桃不同种质资源成熟果实葡萄糖、果糖含量比例研究[J].中国农业大学学报,2008,13(2):30-34.
- [8] 牛景,赵剑波,吴本宏,等.不同来源桃种质果实糖酸组分含量特点的研究[J].园艺学报,2006,33(1):6-11.
- [9] 沈志军,马瑞娟,俞明亮,等.红肉桃与其他肉色类型桃糖酸组分的比较[J].江苏农业学报,2012,28(5):1119-1124.
- [10] 朱更瑞,王新卫,曹珂,等.不同生态品种群桃果实糖酸及其组分含量分析[J].植物遗传资源学报,2017,18(5):891-904.
- [11] 钱巍,严娟,马瑞娟,等.不同成熟期黄肉桃糖酸组分的测定[J].江苏农业科学,2015,43(2):287-290.
- [12] 沈志军,马瑞娟,俞明亮,等.桃三种肉色类型果实抗氧化因子的比较评价[J].中国农业科学,2012,45(11):2232-2241.
- [13] 沈志军,马瑞娟,俞明亮,等.桃果实发育过程中主要糖及有机酸含量的变化分析[J].华北农学报,2007,22(6):130-134.
- [14] 赵剑波,梁振昌,杨君,等.三个类型桃及其杂种后代糖酸含量的差异[J].园艺学报,2009,36(1):93-98.
- [15] 赵剑波,姜全,郭继英,等.桃果实风味品质指标测定与品种筛选[J].江苏农业科学,2007(6):165-168.
- [16] CEVALLOS-CASALS B A, BYRNE D, OKIE W R, et al. Selecting new peach and plum genotypes rich in phenolic compounds and enhanced functional properties[J]. Food Chemistry, 2006, 96:273-280.
- [17] GIL M I, TOMAS-BARBERAN F A, HESS-PIERCE B, et al. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(17):4976-4982.

- [18] 严娟,沈志军,蔡志翔,等.桃果实中酚类物质研究进展[J].果树学报,2014,31(3):477-485.
- [19] 严娟,蔡志翔,沈志军,等.桃3种颜色果肉中10种酚类物质的测定及比较[J].园艺学报,2014,41(2):319-328.
- [20] ROUSSOS P A, SEFFEROU V, DENAXA N K, et al. Apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit quality attributes and phytochemicals under different crop load [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(3):472-478.
- [21] NOWICKA P, WOJDYŁO A, LASKOWSKI P. Principal component analysis (PCA) of physicochemical compounds' content in different cultivars of peach fruits, including qualification and quantification of sugars and organic acids by HPLC [J]. European Food Research and Technology, 2019, 245:929-938.
- [22] 周慧娟,杜纪红,苏明申,等.水蜜桃果皮中色素和芳香物质变化与其内在品质的相关性[J].经济林研究,2019,37(1):1-10.
- [23] SAIDANI F, GIMÉNEZ R, AUBERT C, et al. Phenolic, sugar and acid profiles and the antioxidant composition in the peel and pulp of peach fruits [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 62:126-133.
- [24] FORCADA C F, GRADZIEL T M, GOGORCENA Y, et al. Phenotypic diversity among local Spanish and foreign peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] accessions [J]. Euphytica, 2014, 197(2):261-277.
- [25] 张斌斌,陈星星,王娜,等.基于果实品质指标的不同桃品种近冰温贮藏特性比较[J].江苏农业学报,2021,37(4):998-1009.
- [26] 卯新蕊,李昊聪,申志慧,等.桃果实矿质元素与糖酸指标的关联性分析[J].江苏农业学报,2020,36(1):164-171.
- [27] CANTÍN C M, GOGORCENA Y, MORENO M A, et al. Phenotypic diversity and relationships of fruit quality traits in peach and nectarine [*Prunus persica* (L.) Batsch] breeding progenies [J]. Euphytica, 2009, 171(2):211-226.
- [28] REIG G, IGLESIAS I, GATIUS F, et al. Antioxidant capacity, quality, and anthocyanin and nutrient contents of several peach cultivars [*Prunus persica* (L.) Batsch] grown in Spain [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(26):6344-6357.
- [29] 陆新华,孙德权,吴青松,等.不同类群菠萝种质果实糖酸组分含量分析[J].果树学报,2013,30(3):444-448.
- [30] 靳志飞,杨家全,陈红,等.八个贵州地方桃品种果实甜酸风味品质分析[J].植物科学学报,2015,33(1):90-97.
- [31] 舒畅,赵韩栋,焦文晓,等.植物单宁的生物活性研究进展[J].食品工业科技,2018,39(17):328-334.
- [32] 苑兆和,陈立德,张心慧,等.果树分子育种研究进展[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(4):1-12.
- [33] 朱明涛,余俊,高瑞汝,等.桃果实不同成熟期总酚含量的变化及其抗氧化活性[J].北方园艺,2017(5):31-34.
- [34] BOEING H, BECHTHOLD A, BUB A, et al. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases [J]. European Journal of Nutrition, 2012, 51(6):637-663.
- [35] 卢娟芳,刘盛雨,芦旺,等.不同类型桃果肉酚类物质及抗氧化活性分析[J].中国农业科学,2017,50(16):3205-3214.
- [36] ANDREOTTI C, RAVAGLIA D, RAGAINI A, et al. Phenolic compounds in peach (*Prunus persica*) cultivars at harvest and during fruit maturation [J]. Annals of Applied Biology, 2008, 153:11-23.

(责任编辑:张震林)