

冻干水蜜桃挥发性风味成分的变化及迁移

Changes and migration of volatile flavor components in freeze-dried peaches

闫秋菊^{1,2} 王海鸥² 朱 华^{1,2} 吴雨龙²

YAN Qiu-ju^{1,2} WANG Hai-ou² ZHU Hua^{1,2} WU Yu-long²

周 峰² 汪振炯² 王仁雷³ 华 春^{2,4}

ZHOU Feng² WANG Zhen-jiong² WANG Ren-lei³ HUA Chun^{2,4}

(1. 南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210046; 2. 南京晓庄学院食品科学学院, 江苏 南京 211171; 3. 江苏第二师范学院生命科学与化学化工学院, 江苏 南京 210013; 4. 江苏省高校“特殊生物质废弃物资源化利用”重点建设实验室, 江苏 南京 211171)

(1. College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210046, China; 2. School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing, Jiangsu 211171, China; 3. School of Life Science and Chemistry, Jiangsu Second Normal University, Nanjing, Jiangsu 210013, China; 4. Jiangsu Provincial Key Construction Laboratory of Special Biomass Waste Resource Utilization, Nanjing, Jiangsu 211171, China)

摘要:对新鲜水蜜桃进行真空冷冻干燥试验,采用顶空固相微萃取—气相色谱/质谱联用测试方法(SPME-GC/MS),对比分析了新鲜水蜜桃、冻干水蜜桃和冻干机冷阱水中主要挥发性风味组分构成及含量。结果表明,新鲜水蜜桃、冻干水蜜桃和冷阱水中分别有26,18,11种挥发性风味化合物,主要由醛、醇、酯、烃、杂环及醚等物质构成。新鲜水蜜桃中的风味物质在冻干过程中发生了变化和迁移。大部分保留在冻干水蜜桃中的挥发性风味物质为己醛、(E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、苯甲醛、戊醇、己醇、(E)-2-己烯-1-醇、乙酸己酯、乙酸叶醇酯、 γ -己内酯;全部迁移到冷阱水中的挥发性风味物质为壬醛、二乙二醇乙醚;冻干水蜜桃中含量增加的挥发性风味物质有(E)-2-己烯醛、芳樟醇、(E)-乙酸-2-己烯-1-醇酯;经过冻干后新生成的挥发性风味物质成分为醋酸异辛酯、2,7-二甲基萘、1,6-二甲基萘、2,3-二甲基萘。

关键词:水蜜桃;真空冷冻干燥;挥发性风味化合物;保留;迁移

Abstract: The composition and content of main volatile flavor

components in fresh peach, freeze-dried peach and lyophilizer cold trap water were compared and analyzed by SPME-GC/MS. The results showed that there were 26, 18 and 11 volatile flavor components in fresh peach, freeze-dried peach and cold trap water, respectively. They mainly included aldehydes, alcohols, esters, hydrocarbons, heterocyclics and ethers. Volatile flavor components in fresh peaches changed and migrated during freeze-drying. The retained volatile flavor components in the freeze-dried peach mainly included hexanal, (E)-2-heptenal, (E)-2-octenal, benzaldehyde, pentanol, hexanol, (E)-2-hexen-1-ol, hexyl acetate, hexyl acetate, and γ -caprolactone. Furfural and diethylene glycol ether completely migrated into the cold trap water; the contents of the freeze-dried peach slices were (E)-2-hexenal, linalool, (E)-acetic acid-2-hexen-1-ol ester. The content of (E)-2-hexenal, linalool, (E)-acetic acid-2-hexen-1-ol in freeze-dried peach were increased. The newly generated volatile flavor components after freeze-drying were isooctyl acetate, 2,7-dimethylnaphthalene, 1,6-dimethylnaphthalene, and 2,3-dimethylnaphthalene.

Keywords: peach; vacuum freeze-drying; volatile flavor compounds; retention; migration

基金项目:国家自然科学基金资助项目(编号:31872901, 31301592);江苏省高校重点建设实验室项目(编号:苏教科[2016]8)

作者简介:闫秋菊,女,南京师范大学在读硕士研究生。

通信作者:华春(1963—),女,南京晓庄学院教授,硕士。

E-mail:176167168@qq.com

收稿日期:2019-01-31

水蜜桃原产于中国,栽培历史悠久、种植区域广泛。果实色、香、味俱佳,富含多种营养成分,但集中在7~8月份上市,且不耐储藏,为便于流通运输和长期保存常将新鲜水蜜桃脱水加工成干制品^[1-2]。目前桃脆片、桃

干等加工制品深受市场欢迎^[3]。

香气风味是水果干燥制品的重要品质特征,但在干燥过程中挥发性风味物质会产生一系列的复杂变化,且与干燥工艺条件密切相关。真空冷冻干燥(简称冻干)过程主要是在真空低温条件下完成,能够较好地保持物料原有风味。从柠檬^[4]、榴莲^[5]、香蕉^[6]、杏仁^[7]、卷心菜^[8]等果蔬物料冻干研究文献和生产实践可知,不同果蔬冻干后其挥发性风味成分构成及含量均有不同程度的变化,冻干对物料原有风味保留程度并未达到人们预期。在真空环境下,尤其是在冻干后段,物料温度接近加热隔板温度,物料中的挥发性风味物质可能会发生转化或迁移,部分在冻干机冷阱中与升华出来的水蒸气一同被凝结,部分被真空泵排出,所以冻干物料挥发性风味物质的变化也是非常复杂的物理和化学作用过程。而目前对水蜜桃挥发性风味物质的研究^[9-10]主要是集中在新鲜水蜜桃生长过程或贮藏过程中风味成分代谢形成作用机制等方面,而在水蜜桃冻干前后挥发性风味组分构成变化及转移的研究方面至今未见相关报道。

本试验拟对典型品种水蜜桃果实开展冻干试验,采用顶空固相微萃取—气相色谱/质谱联用测试方法(SPME-GC/MS)分析了新鲜水蜜桃、冻干水蜜桃、冻干机冷阱水中的挥发性风味组分构成及含量,研究冻干对水蜜桃挥发性风味化合物的影响,以期水蜜桃冻干加工风味品质优化提供理论依据和实践参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

水蜜桃:品种为夏玉女,当季市售新鲜水蜜桃,置于4℃冰箱冷藏待用;

环己酮标准样品:纯度>99.5%,美国 Sigma 公司。

1.2 主要试验仪器

真空冷冻干燥机:BLK-0.5 型,江苏博莱客冷冻科技发展有限公司;

固相微萃取装置:CAR/PDMS/DVB 型,美国 Supelco 公司;

气相色谱质谱联用仪:Agilent 7890A/5975C 型,美国 Agilent 公司;

毛细管色谱柱:HP-INNOWAX 型,美国 Agilent 公司;

高剪切分散均质机:FA25 型,弗鲁克流体机械制造有限公司。

1.3 水蜜桃冻干

从中挑选无损伤、颜色相近、大小一致的水蜜桃,洗净后削掉外果皮,去除桃核,切成厚度为 5 mm 的水蜜桃片。将水蜜桃片放入冻干设备中在常压下冷冻 4 h,使物料温度达到-40℃左右,然后抽真空维持冻干仓压强在

30 Pa 以下,开启加热程序进行干燥,冻干 12 h 后结束,冻干水蜜桃湿基含水率约为 5%。

1.4 测试样品制备

1.4.1 新鲜水蜜桃样液及冻干水蜜桃样液的制备 准确称取干物质重为 0.50 g 的新鲜水蜜桃果肉片及冻干水蜜桃果肉片,加入 15 mL 蒸馏水,混匀后 9 000 r/min 均质 2 min,定容至 20 mL,获得新鲜水蜜桃及冻干水蜜桃挥发性风味组分测试备样。

1.4.2 冷阱水样液制备 待冻干结束后,从冷阱中取出一定量的凝霜放置于密闭取样管中常温融化,获得冷阱水挥发性风味组分测试备样。为了保证 3 组样液风味组分测试结果的可比性,将冷阱凝霜取样量与 0.50 g 干物质水蜜桃进行对应折算,按式(1)进行具体折算。

$$m_i = m_d \times \left(\frac{w_{m1}}{w_{d1}} - \frac{w_{m2}}{w_{d2}} \right), \quad (1)$$

式中:

m_i ——称取冷阱凝霜质量,g;

m_d ——称取水蜜桃干物质质量,g;

w_{m1} ——新鲜水蜜桃初始水分含量,%;

w_{d1} ——新鲜水蜜桃干物质含量,%;

w_{m2} ——冻干水蜜桃水分含量,%;

w_{d2} ——冻干水蜜桃干物质含量,%。

1.5 挥发性风味物质顶空固相微萃取处理

分别取 5 mL 新鲜水蜜桃样液、冻干水蜜桃样液、冷阱霜样液于 15 mL 顶空瓶中,然后参照谢焕雄等^[4]的试验方法,使用固相微萃取头对被测样液中挥发性风味组分进行萃取处理和 GC/MS 进样操作,每份被测样品做 3 个平行。

1.6 挥发性风味物质的 GC/MS 测试分析

测试挥发性风味组分所用的 GC/MS 色谱条件、质谱条件和定量分析方法参照谢焕雄等^[4]的试验方法。其中,水蜜桃冻干后各类挥发性风味物质保留率计算方法按照冻干样品中该类物质含量占鲜样中该类物质含量的百分比来计算。

1.7 数据处理

利用 SPSS 19.0 统计软件对试验数据进行分析处理,不同组别差异显著性采用 Tukey 方法进行检验,采用 Origin 8.5 软件进行作图处理。

2 结果与分析

2.1 冻干水蜜桃挥发性风味成分

从图 1 可见,新鲜水蜜桃离子流色谱图出峰个数最多,冻干水蜜桃次之,冷阱水最少,3 个谱图中在 11.50 min 的出峰均为外加的内标物环己酮。所测得挥发性风味成分的具体构成与含量如表 1 所示,主要为醛、醇、酯、烃、杂环及醚等不同类别物质,其中新鲜水蜜桃、

冻干桃和冷阱水分别累计检测出 26, 18, 11 种挥发性风味化合物。新鲜水蜜桃挥发性风味成分中, 醛类含量最高, 为 $17.91 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$ (DM 含义为“干物质”), 醇类次之, 含量为 $6.15 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 酯类含量为 $1.72 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 其他化合物含量为 $1.85 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$; 己醛含量最高, 为 $13.42 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 其次为萘、己醇、(E)-2-己烯醛、异辛醇。冻干水蜜桃挥发性风味成分中, 醛类含量最高, 为 $14.96 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 醇类含量为 $5.81 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 酯类含量为 $1.34 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 其他化合物含量为 $1.31 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$; 己醛含量最高, 为 $11.92 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 其次为芳樟醇和 (E)-2-己烯醛。冷阱水挥发性风味成分中, 醛类含量 $1.08 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 醇类含量 $3.70 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 酯类含量 $1.52 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 其他化合物含量为 $3.66 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$; 2-甲基萘含量最高, 为 $4.02 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 其他依次为异辛醇、萘、二乙二醇乙醚和醋酸异辛酯。

2.2 冻干水蜜桃中醛类物质的变化及迁移

C₆-醛是桃特征香气的重要成分, 是不饱和脂肪酸的

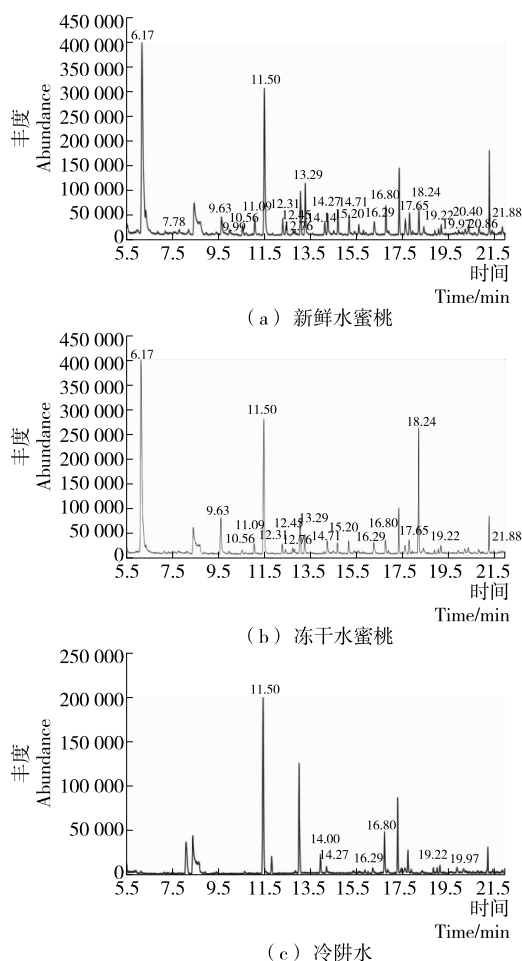


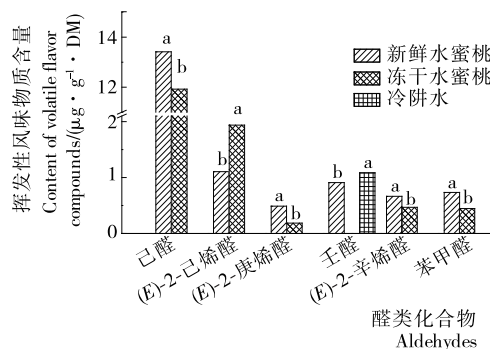
图 1 3 种测试样品挥发性风味成分总离子流色谱图
Figure 1 Total ion chromatogram of flavor compounds in three testing samples

过氧化产物。己醛和 (E)-2-己烯醛两种 6 碳醛在新鲜和冻干水蜜桃中均被检测出。醛类化合物是一种阈值低的挥发性化合物, 对风味的贡献较大。己醛在新鲜水蜜桃醛类风味化合物中含量最高, 比其他醛类化合物高 10 倍以上, 它是水果中重要的香气贡献物质, 具有青草味, 阈值为 $4.50 \mu\text{g/kg}^{[11]}$ 。水蜜桃经冻干后, 其中的己醛含量有所下降 ($P < 0.05$), 但在冷阱水中并未检测到该物质, 说明己醛在冻干过程中大部分都保留在水蜜桃中, 成为冻干水蜜桃风味主要贡献化合物; 新鲜水蜜桃中 (E)-2-己烯醛的含量为 $1.11 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 冻干水蜜桃中其含量为 $1.94 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 冻干水蜜桃中 (E)-2-己烯醛的含量比新鲜水蜜桃中的含量高, 说明在冻干过程中有醇类物质被氧化生成了 (E)-2-己烯醛。

除了 6 碳醛外, 新鲜水蜜桃中还检测出 4 种醛类风味化合物。在新鲜水蜜桃中 (E)-2-庚烯醛、(E)-2-辛烯醛、苯甲醛的含量分别为 $0.49, 0.66, 0.73 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 冻干水蜜桃中其保留率分别为 $36.73\%, 71.21\%, 61.64\%$ 。这 3 种醛类物质在冻干水蜜桃中的含量都有所减少, 在冷阱水中均未检测到, 说明这些醛类物质在冻干过程中转化成了其他物质。新鲜水蜜桃醛类风味化合物中壬醛含量为 $0.91 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 具有淡淡的玫瑰香气^[12], 在冻干水蜜桃片中未检测出该物质, 反而在冷阱水中检测出, 且含量为 $1.08 \mu\text{g/g} \cdot \text{DM}$, 比新鲜水蜜桃提高 18.68% , 说明壬醛在冻干过程中随着水分的升华干燥, 发生了选择性扩散迁移至冷阱水中^[13], 同时一些醇类化合物与水蜜桃细胞中的氧气接触发生氧化反应, 被氧化成醛类物质^[14]。

2.3 冻干水蜜桃醇类化合物的变化及迁移

醇类化合物是水蜜桃水果香气的重要贡献物质, 其含量越高则果香味越浓。醇类物质在其他香气成分合成时起着溶剂或载体的作用, 它的形成与果实中的酯酶有关^[15]。主要醇类化合物在新鲜水蜜桃中的初始含量由高



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 冻干水蜜桃主要醛类化合物的变化及迁移
Figure 2 Changes and migration of main aldehydes in freeze-dried peaches

表 1 3 种测试样品主要挥发性风味化合物含量[†]
Table 1 Content of main volatile flavor components in three testing samples

化合物 类别	化合物名称	保留时间/ min	挥发性风味成分含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{DM}$)		
			新鲜水蜜桃	冻干水蜜桃	冷阱水
醛类	己醛	6.17	13.42±0.76	11.92±0.64	ND
	(<i>E</i>)-2-己烯醛	9.63	1.11±0.03	1.94±0.04	ND
	(<i>E</i>)-2-庚烯醛	12.45	0.49±0.02	0.18±0.00	ND
	壬醛	14.27	0.91±0.03	ND	1.08±0.04
	(<i>E</i>)-2-辛烯醛	15.20	0.66±0.02	0.47±0.01	ND
	苯甲醛	17.65	0.73±0.02	0.45±0.01	ND
	(<i>E</i>)-2-癸烯醛	20.41	0.59±0.01	ND	ND
	丁醇	7.78	0.39±0.01	ND	ND
醇类	戊醇	10.56	0.37±0.02	0.18±0.01	ND
	己醇	13.29	1.83±0.05	0.81±0.02	ND
	叶醇	14.14	0.49±0.01	ND	ND
	(<i>E</i>)-2-己烯-1-醇	14.71	0.80±0.03	0.36±0.01	ND
	异辛醇	16.80	1.10±0.02	0.49±0.02	3.70±0.06
	芳樟醇	18.24	0.86±0.03	3.97±0.06	ND
	3,7-二甲基-1-辛醇	20.86	0.31±0.01	ND	ND
	乙酸己酯	11.09	0.67±0.00	0.49±0.01	ND
酯类	乙酸叶醇酯	12.31	0.55±0.01	0.36±0.02	ND
	(<i>E</i>)-乙酸-2-己烯-1-醇酯	12.76	0.20±0.00	0.24±0.00	ND
	醋酸异辛酯	14.00	ND	ND	1.52±0.05
	γ -己内酯	21.88	0.30±0.00	0.25±0.01	ND
杂环类	2-戊基呋喃	9.99	0.45±0.01	ND	ND
	萘		2.17±0.02	0.20±0.01	3.39±0.03
	2-甲基萘		0.94±0.01	0.36±0.02	4.02±0.06
	2,7-二甲基萘		ND	ND	1.38±0.03
	1,6-二甲基萘		ND	ND	1.43±0.01
	2,3-二甲基萘		ND	ND	1.25±0.04
	乙酸	16.29	0.80±0.02	0.72±0.02	1.06±0.03
其他 化合物	十六烷	19.22	0.54±0.01	0.59±0.01	0.84±0.02
	乙二醇乙醚	19.97	0.31±0.00	ND	1.76±0.06
	苯酚		0.20±0.01	ND	ND

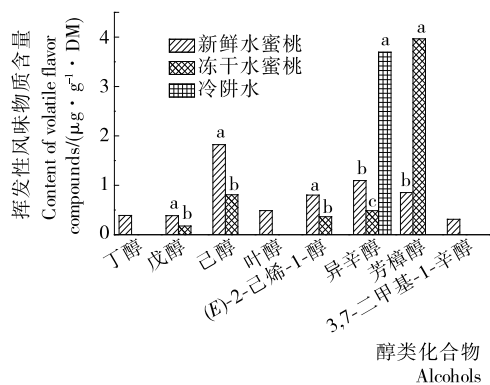
[†] ND 表示未检出。

到低依次为:己醇、异辛醇、芳樟醇、(*E*)-2-己烯-1 醇、叶醇等。异辛醇在冷阱凝霜中的含量是新鲜水蜜桃中含量的 3 倍多,可能是冻干期间一部分异辛醇从水蜜桃片中逸出,经过冷阱被捕集下来;另外在干燥过程中其他物质转化成了异辛醇从而使冷阱中的异辛醇含量比新鲜水蜜桃中的含量还要高。芳樟醇的阈值较低(6.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$),具有花香型香气特性,是很多植物的主要呈香物质。Horvat 等^[16]认为芳樟醇是桃果实的主要呈味物质,对桃风味贡献较大^[17];经过冻干后,冻干水蜜桃中芳樟醇的含

量是新鲜水蜜桃的 4 倍多,可能是在冻干过程中有其他物质转化成了芳樟醇。(*E*)-2-己烯-1 醇的阈值较低,也是构成桃果实青香的主要成分^[18]。

2.4 冻干水蜜桃酯类化合物的变化及迁移

酯类化合物是水果芬芳香味的主要来源物质,也是影响水蜜桃特征风味的重要挥发物之一^[19]。乙酸己酯在新鲜水蜜桃中含量为 0.67 $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,是被检测出含量最高的酯类化合物,而其在冻干水蜜桃中含量降为 0.49 $\mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,保留率为 73.13%。乙酸己酯风味阈值



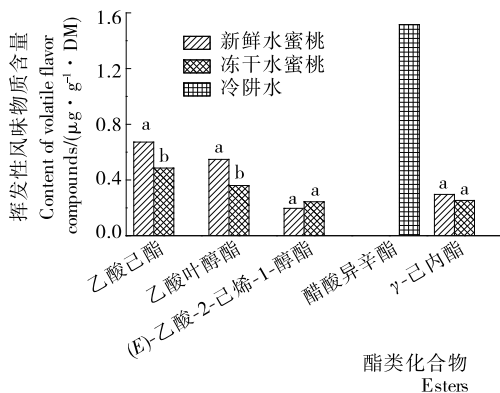
字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)

图 3 冻干水蜜桃醇类化合物的变化及迁移

Figure 3 Changes and migration of main alcohols in freeze-dried peaches

很小,仅为 $2.00 \mu\text{g}/\text{kg}$,对桃果实风味贡献较大,主要赋予果香味和甜香味^[20]。新鲜水蜜桃中乙酸叶醇酯含量为 $0.55 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,经冻干后,冻干水蜜桃中含量为 $0.36 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,保留率为 65.45% 。另一种检测到的酯类化合物为(E)-乙酸-2-己烯-1-醇酯,在新鲜水蜜桃片中的初始含量低于冻干后的含量,可能是在干燥过程中(E)-2-己烯-1-醇和乙酸发生酯化反应生成了(E)-乙酸-2-己烯-1-醇酯。在新鲜水蜜桃中未检测到醋酸异辛酯,但在冷阱水中检测到其含量为 $1.52 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,可见在冻干期间由醇类和乙酸发生酯化反应生成了醋酸异辛酯,并被冷阱捕集下来。

有资料^[21-22]表明,大多数桃果实中都具有内酯类挥发物,而不同桃品种的内酯类含量和种类具有一定差异,其中 γ -癸内酯和 δ -癸内酯是桃果实中非常重要的内酯化合物,能赋予桃果实强烈的“桃味”特征。本试验未检测出 γ -癸内酯和 δ -癸内酯,可能是桃品种不同导致的。新



字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)

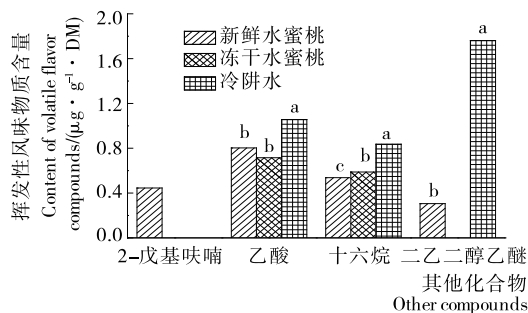
图 4 冻干水蜜桃酯类化合物的变化及迁移

Figure 4 Changes and migration of main esters in freeze-dried peaches

鲜水蜜桃中检测出酯类化合物中 γ -己内酯含量为 $0.30 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,经冻干后,冻干水蜜桃中含量为 $0.25 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,保留率为 83.33% 。

2.5 冻干水蜜桃其他化合物的变化及迁移

除了上述的醛类、醇类、脂类等主要挥发性风味化合物外,3种被测样液中还检测到一些含量相对较高的其他挥发性风味化合物(图5)。其中,2-戊基呋喃只在新鲜水蜜桃中检测到,冻干水蜜桃和冷阱水中均未检测到2-戊基呋喃。说明2-戊基呋喃在冻干过程中转化为其他物质或被真空泵抽排出机外损失。新鲜水蜜桃中乙酸的含量为 $0.80 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,而冻干水蜜桃和冷阱水两者中的乙酸含量之和超过了新鲜水蜜桃中原有乙酸含量,表明在冻干过程中有新的乙酸生成,可能是由其他物质转化而来。乙酸风味阈值是 $22.00 \text{ mg}/\text{kg}$ ^[23],阈值比较大,所以乙酸变化对水蜜桃的风味影响很小。新鲜水蜜桃中十六烷的含量为 $0.54 \mu\text{g}/\text{g} \cdot \text{DM}$,冻干水蜜桃和冷阱水中的十六烷含量之和是新鲜水蜜桃中的含量的2倍多,说明在冻干过程中也有其他物质转化为十六烷。新鲜水蜜桃中二乙二醇乙醚的含量比较低,在冻干水蜜桃中未发现二乙二醇乙醚,但在冷阱水中其含量比较高,可能是由其他物质转化而来。



字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)

图 5 冻干水蜜桃其他化合物的变化及迁移

Figure 5 Changes and migration of other compounds in freeze-dried peaches

3 结论

本研究采用 SPME-GC/MS 测试方法分析了新鲜水蜜桃、冻干水蜜桃和冷阱水中挥发性风味物质构成及含量变化。在新鲜水蜜桃、冻干水蜜桃和冷阱水中分别检测出 26, 18, 11 种挥发性风味化合物。新鲜水蜜桃中己醛、己醇、乙酸己酯等主要醛、醇、酯组分大部分被保留在冻干水蜜桃中,冻干水蜜桃中(E)-2-己烯醛、芳樟醇、(E)-乙酸-2-己烯-1-醇酯等组分含量高于新鲜水蜜桃含量,冷阱水中壬醛、异辛醇、醋酸异辛酯等组分高于新鲜水蜜桃含量,冷阱水中还检测出醋酸异辛酯、2,7-二甲基

萘等新生组分。测试结果表明,新鲜水蜜桃挥发性风味物质在冻干过程中会发生一系列变化及迁移。本研究结果可为水蜜桃冻干加工风味品质提升提供基础数据。但是新鲜水蜜桃挥发性风味物质在冻干过程中变化及迁移是一个非常复杂的过程,还有很多未知因素,尤其是各种生化反应和物理迁移综合作用机制还有待深入研究。

参考文献

- [1] 张瑞宇. 水蜜桃果实生理特征及其运输包装设计探讨[J]. 包装工程, 2003, 24(4): 69-71.
- [2] 段振华, 张慇. 温度对水蜜桃保鲜的影响研究[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2003, 9(3): 41-44.
- [3] 张永, 林鹭, 王凯纯. 冷冻干燥法在水蜜桃加工中的应用[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(24): 91-93.
- [4] 谢焕雄, 胡志超, 王海鸥, 等. 真空冷冻干燥对柠檬挥发性风味化合物保留的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(22): 282-290.
- [5] CHIN S T, NAZIMAH S A H, QUEK S Y, et al. Changes of volatiles' attribute in durian pulp during freeze-and spray-drying process [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1 899-1 905.
- [6] MUI WW Y, DURANCE T D, SCAMAN C H. Flavor and texture of banana chips dried by combinations of hot air, vacuum, and microwave processing[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(7): 1 883-1 889.
- [7] LEE C Y, SALUNKHE D K, NURY F S. Effects of dehydration processes on flavour compounds and histology of apricots (*Prunus armeniaca*)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1966, 17(9): 393-395.
- [8] RAJKUMAR G, SHANMUGAM S, DE SOUSA GALVAO M, et al. Comparative evaluation of physical properties and volatiles profile of cabbages subjected to hot air and freeze drying[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 80: 501-509.
- [9] 王贵章, 王贵禧, 梁丽松, 等. 桃果实芳香挥发物及其生物合成研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 278-284.
- [10] 罗华, 李敏, 冯志文, 等. 肥城桃果实不同发育时期的香气组分及其变化[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2012, 38(3): 276-281.
- [11] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 20-28.
- [12] 周明, 卢剑青, 陈金印, 等. 不同干燥方法对‘修水化红’甜橙皮黄酮含量、抗氧化能力及挥发性风味成分的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(2): 246-256.
- [13] NIJHUIS H H, TORRINGA H M, MURESAN S, et al. Approaches to improving the quality of dried fruit and vegetables[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9(1): 13-20.
- [14] 周超, 黄裕怡, 胡旭佳. 不同干燥方式和酶解对茶褐牛肝菌挥发性风味成分的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(23): 203-209.
- [15] REGA B, FOURNIER N, GUICHARD E. Solid phase microextraction (SPME) of orange juice flavor: odor representativeness by direct gas chromatography of factometry (D-GC-O)[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51(24): 7 092-7 099.
- [16] HORVAT R J, CHAPMAN G W, RPBERTSON J A. Comparison of the volatile compounds from several commercial peach cultivars[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 81(1): 234-237.
- [17] EDUARDO I, CHIETERA G, BASSI D, et al. Identification of key odor volatile compounds in the essential oil of nine peach accessions[J]. Journal of the Science of Food Agriculture, 2010, 90(7): 1 146-1 154.
- [18] 郭东花, 范崇辉, 李高潮, 等. 不同果袋对“阿布白”桃果实香气成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 232-237.
- [19] 宋丽娟, 李雄伟, 陈琳, 等. 果实香气合成与遗传控制研究概述[J]. 果树学报, 2008, 25(5): 708-713.
- [20] ORTIZ A, GRAELL J, LOPEZ M L, et al. Volatile ester-synthesising capacity in “Tardibelle” peach fruit in response to controlled atmosphere and 1-MCP treatment[J]. Food Chemistry, 2010, 123(3): 698-704.
- [21] GUADAGNI D G, BUTTERY R G, HARRIS J. Odour intensities of hop oil constituents[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1966, 17(1): 142-144.
- [22] CANO-SALAZAR J, ECHEVERRIA G, CRISOSTO C H, et al. Cold-storage potential of four yellow-fleshed peach cultivars defined by their volatile compounds emissions, standard quality parameters, and consumer acceptance[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(5): 1 266-1 282.
- [23] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 金华火腿主体风味成分及其确定方法[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(2): 173-176.