

王 端, 景晨娟, 陈雪峰, 等. 华北杏不同品种(品系)果实发育阶段香气成分分析[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 974-981.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.021

## 华北杏不同品种(品系)果实发育阶段香气成分分析

王 端, 景晨娟, 陈雪峰, 刘志琨, 李亚因, 武晓红

(河北省农林科学院石家庄果树研究所, 河北 石家庄 050061)

**摘要:** 以 10 个华北杏品种(品系)为试验材料, 分析商熟期、完熟期果实中的香气成分及变化, 旨在为华北杏品质性状评价提供参考。采用顶空固相微萃取-气质联用(GC-MS)技术检测杏果实的香气成分, 结合主成分分析对不同发育阶段杏的主要香气成分进行比较。结果表明, 从 10 个华北杏品种(品系)中共检测出 114 种香气物质, 以醇类、酯类和酮类为主。商熟期检测出的主要香气物质有 8 种, 分别为芳樟醇、 $\beta$ -紫罗兰酮、 $\alpha$ -萜品醇、香叶基丙酮、 $\beta$ -环柠檬醛、壬醛、香叶醇和橙花醇; 完熟期检测出的主要香气物质有 7 种, 分别为芳樟醇、 $\beta$ -紫罗兰酮、 $\alpha$ -萜品醇、香叶基丙酮、 $\beta$ -环柠檬醛、香叶醇和乙醇。商熟期、完熟期的杏果实均具有较浓的玫瑰花香及果香。与商熟期相比, 完熟期华北杏的香气物质种类更加丰富, 果香、青香及奶香味更加浓郁。10 个华北杏品种(品系)间香味成分的差异较大, 其中金荷、冀早红、丰园红、香白、Z08-1-54、Z10-1-60 和 Z11-3-24 为醇香型, 花香及青香味突出, 新世纪、子荷和串枝红为酯香型, 果香味更浓。经主成分分析得出, 芳樟醇、香叶醇和  $\alpha$ -萜品醇对华北杏香气的贡献最大。

**关键词:** 杏; 香气; 果实; 发育期

**中图分类号:** S662.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)04-0974-08

## Analysis on aroma components in fruits of different cultivars (lines) of North China apricot during developmental stages

WANG Duan, JING Chen-juan, CHEN Xue-feng, LIU Zhi-kun, LI Ya-nan, WU Xiao-hong

(Institute of Shijiazhuang Fruit Tree, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

**Abstract:** Ten varieties (lines) of North China apricot were used as test materials to analyze the aroma composition and changes of fruits at commercial ripen stage and full ripen stage, so as to provide reference for the evaluation of quality characteristics of North China apricot. Headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) technique was used to detect the aroma components of North China apricot fruits. The main aroma components of apricot at different developmental stages were compared by combining with principal component analysis. The results showed that 114 kinds of aroma substances were detected from ten varieties (lines) of North China apricot, mainly including alcohols, esters and ketones. Eight main flavoring substances were detected in the commercial ripen stage, including linalool,  $\beta$ -irisone,  $\alpha$ -terpineol, 6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one,  $\beta$ -cyclocitral, nonanal, geraniol and nerol. Seven main flavoring substances were detected in the full ripen stage, including linalool,  $\beta$ -irisone,  $\alpha$ -terpineol, 6,10-dimethyl-5,

9-undecadien-2-one,  $\beta$ -cyclocitral, geraniol and ethanol. The apricot fruits at commercial ripen stage and full ripen stage both had strong rose fragrance and fruity aroma. Compared with those at the commercial ripen stage, the kinds of aroma substances in apricots were more abundant, and fruity, green and milky aroma were richer at the full ripen stage. The aroma components of ten varieties (lines) varied greatly, and JH, JZH, FYH, XB, Z08-1-54, Z10-

**收稿日期:** 2020-12-01

**基金项目:** 河北省科学技术研究与发展计划项目(16226313D-2); 河北省农林科学院前期预备项目(2018100301); 河北省农林科学院创新工程项目(C19C0701-03)

**作者简介:** 王 端(1988-), 女, 河北邢台人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为果树营养生理。(E-mail) wangduanxyz@163.com。  
景晨娟为共同第一作者。

**通讯作者:** 武晓红, (E-mail) 40502434@qq.com

1-60 and Z11-3-24 were classified into alcohol-type with extrude floral and green aroma, XSJ, ZH and CZH were divided into ester-type with stronger fruit flavor. It could be deduced through principal component analysis that, linalool, geraniol and  $\alpha$ -terpineol had the greatest contribution to the aroma of North China apricot.

**Key words:** apricot; aroma; fruit; developmental period

香气物质赋予了果实的特征风味,随着消费市场果品品质要求的不断提升,香气浓郁的杏品种变得更具有吸引力和市场竞争力<sup>[1]</sup>。目前,人们从杏果实中检测出的香气成分约有 300 种<sup>[2-3]</sup>,以酯类、醇类、酮类、醛类和萜烯类等为主,这些香气成分含量及比例的变化共同决定了杏的香味<sup>[4]</sup>。不同生态群杏的特征香气存在差异,例如乙酸乙酯、乙酸己酯、柠檬烯、甲基庚烯酮、薄荷酮、芳樟醇、 $\beta$ -紫罗兰酮和  $\gamma$ -癸内酯等形成了欧洲杏的特征香气<sup>[5-7]</sup>;芳樟醇、*D*-柠檬烯、 $\gamma$ -癸内酯、 $\delta$ -十二内酯及部分酯类、醛类、酮类物质形成了新疆杏的主要香气<sup>[3-4]</sup>。目前,关于华北杏(华北生态群杏)香气成分的研究较多,结论也不同。尹燕雷等<sup>[8]</sup>认为,乙酸己酯、2-己烯-1-醇乙酸酯是魁金杏果实的特征香气成分;薛晓敏等<sup>[9]</sup>研究发现,乙酸己酯、己酸乙酯、2-甲基-丙酸己酯和 1-己醇是金凯特杏的特征香气成分;陈美霞等<sup>[10]</sup>通过测定新世纪、红丰成熟期杏果实发现,紫罗酮、己醛、己醇、己烯醛、己烯醇、内酯类、萜烯醇类等成分共同构成了杏果实的香味。目前关于不同熟期、不同华北杏品种香气成分的研究较少,基于此,本研究以 10 个华北杏品种(品系)为试验材料,分析商熟期、完熟期其香气成分及变化,以期为华北杏品质性状的评价提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料于 2016 年取自石家庄果树研究所杏种质资源圃,每个品种(品系)均选择 3 株生长良好的盛果期杏树,分别于表 1 中的果实商熟期(S1)和完熟期(S2)从树冠外围不同方位随机采集样品果约 0.5 kg,然后立即加冰袋并快速送至中国农业科学院原子能利用研究所进行分析。10 个华北杏品种(品系)分别为新世纪(XSJ)、子荷(ZH)、金荷(JH)、冀早红(JZH)、丰园红(FYH)、串枝红(CZH)、香白(XB)、Z08-1-54、Z10-1-60、Z11-3-24。

### 1.2 测定方法

1.2.1 固相微萃取香气物质 将样品果去核后打

浆,取 1 g 置于 20 ml 顶空瓶内,于 50 ℃ 平衡 40 min 后,将 65  $\mu$ m PDMS/DVB(聚二甲基硅氧烷/二乙烯基苯)萃取头插入顶空瓶中萃取 30 min,然后将萃取头拔出并置于 250 ℃ 进样口中解吸 2 min<sup>[11-12]</sup>。

表 1 供试杏品种(品系)的成熟期

Table 1 Mature stages of the tested apricot varieties (lines)

品种 (品系)	商熟期 (月-日)	完熟期 (月-日)	品种 (品系)	商熟期 (月-日)	完熟期 (月-日)
子荷	05-18	05-24	冀早红	05-27	06-03
金荷	05-18	05-24	Z10-1-60	05-27	06-03
Z08-1-54	05-18	05-24	Z11-3-24	05-27	06-03
新世纪	05-20	05-26	香白	06-03	06-10
丰园红	05-20	05-26	串枝红	06-22	06-30

1.2.2 气相色谱质谱分析 采用气相色谱-质谱联用仪(岛津 GC-MS QP2010 plus)进行香气物质分析。色谱条件:DB-WAX 色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu$ m),柱温箱初始温度为 40 ℃,进样口温度为 250 ℃,不分流进样,恒流 1 ml/min,柱温箱升温程序如下:40 ℃ 保持 3 min,5  $^{\circ}$ C/min 升至 120 ℃,10  $^{\circ}$ C/min 升至 200 ℃,保持 5 min。质谱条件:离子源温度为 200 ℃,传输线温度为 250 ℃,采用全扫描(Scan)模式采集信号,扫描范围为 35~500 m/z。

1.2.3 数据处理 用 NIST11 数据库对采集到的质谱图进行比对,选出相似度大于 85% 的物质,并采用面积归一化法计算各香气成分的相对含量。用 SPSS 19.0 软件对不同发育阶段杏的主要香气成分进行主成分分析。

## 2 结果与分析

采集到质谱图(图 1、图 2)后,用 NIST11 谱库检索,分析 10 个华北杏品种(品系)中芳香化合物的种类和相对含量,详见表 2。

### 2.1 不同发育阶段华北杏的香气成分

2.1.1 商熟期的香气成分 在华北杏商熟期共检测到 70 种香气物质,其中醇类 14 种,酯类 14 种,酮类 11 种,醛类 10 种,烃类 6 种,内酯类 5 种,酸类 4

种,酚类 3 种,杂环类 3 种。商熟期金荷果实香味成分的总离子流见图 1。将存在于 8 个及以上品种(品系)中并且相对含量均值超过 1.00% 的组分称为供试品种(品系)的主要香气物质<sup>[3]</sup>。由表 2 可以看出,商熟期 10 个华北杏品种(品系)共有的组分仅有 2 种,分别为芳樟醇、 $\beta$ -环柠檬醛,其相对含量均值分别为 35.31%、4.52%;9 个华北杏品种(品系)共有的组分有 4 种,分别为 $\alpha$ -萜品醇、香叶醇、 $\beta$ -紫罗兰酮和香叶基丙酮,其相对含量均值分别为 4.59%、3.57%、3.33% 和 2.43%;8 个华北杏品种(品系)共有的组分有橙花醇、壬醛,其相对含量均值分别为 1.60%、2.24%。以上 8 种物质中除壬醛外,其他均为萜类化合物,其中芳樟醇、 $\beta$ -紫罗兰酮、 $\alpha$ -萜品醇、香叶基丙酮具有丁香、铃兰、玫瑰和紫罗兰的花香气息, $\beta$ -环柠檬醛、壬醛、香叶醇和橙花醇具有玫瑰、柠檬、柑橘等果香味<sup>[13]</sup>,它们共同构成了商熟期供试华北杏的主要香味。

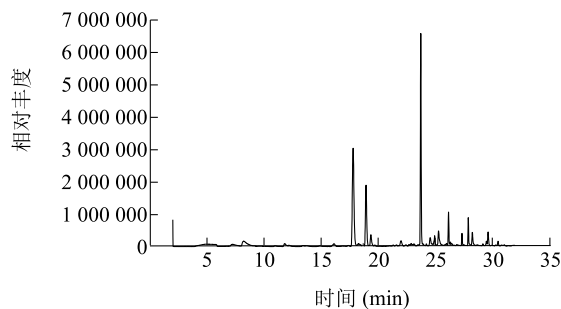


图 1 商熟期金荷果实香味成分的总离子流

Fig.1 Total ionic chromatogram of aromatic components in Jinhe apricot fruit at commercial ripen stage

**2.1.2 完熟期的香气成分** 在华北杏完熟期共检测到 94 种香气成分,其中醇类 23 种,酯类 25 种,酮类 13 种,烃类 11 种,醛类 9 种,内酯类 5 种,酸类 4 种,杂环类 3 种,酚类 1 种。完熟期金荷果实香味成分的总离子流见图 2。由表 2 可以看出,完熟期 9 个华北杏品种(品系)共有的组分有 4 种,分别为芳樟醇、香叶醇、 $\beta$ -环柠檬醛和  $\beta$ -紫罗兰酮,其相对含量均值分别为 26.40%、3.59%、2.85% 和 2.33%;8 个华北杏品种(品系)共有的组分有 3 种,分别为乙醇、香叶基丙酮和  $\alpha$ -萜品醇,其相对含量均值分别为 15.78%、5.12% 和 4.18%。以上 7 种组分构成了完熟期供试华北杏的主要香气物质,除乙醇外,其他主要香气物质组分与商熟期保持一致。

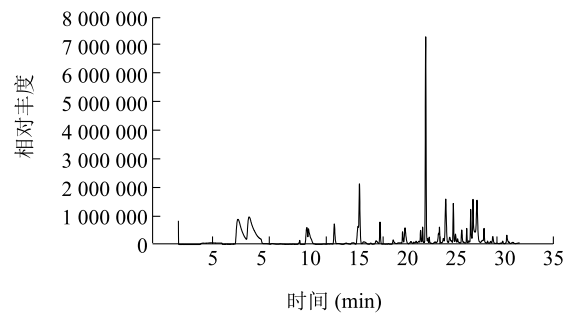


图 2 完熟期金荷果实香味成分的总离子流

Fig.2 Total ionic chromatogram of aromatic components in Jinhe apricot fruit at full ripen stage

## 2.2 不同发育阶段华北杏香气成分的变化

从供试样品中共检测到 114 种香气物质,其中酯类 31 种,醇类 24 种,酮类 14 种,醛类 14 种,烃类 13 种,内酯类 7 种,酸类 5 种,酚类 3 种,杂环类 3 种。从商熟期到完熟期,华北杏中的香气成分均以醇类、酯类和酮类为主,且相对含量排序均为醇类>酯类>酮类(表 3),但各组分含量在不同阶段有所差异;与商熟期相比,完熟期供试华北杏中醇类的相对含量下降了 7.87%,酯类的相对含量提高了 12.35%,酮类的相对含量提高了 20.59%。

由表 2 可以看出,酯类物质中乙酸己酯、乙酸叶醇酯和乙酸乙酯的相对含量较高。从商熟期到完熟期,10 个华北杏品种(品系)中乙酸己酯、乙酸叶醇酯的平均相对含量降幅分别达到 45.59%、91.32%,乙酸乙酯的相对含量大幅度上升。在完熟期,酯类成分更为丰富,其中相对含量较高的乙酸异戊酯、乙酸香叶酯、乙酸橙花酯、乙酸苯乙酯、辛酸乙酯、十三酸乙酯、己酸乙酯和癸酸乙酯等均在完熟期才出现,从而使得完熟期华北杏果实的果香味更加浓郁。

由表 2 还可以看出,醇类物质中芳樟醇、 $\alpha$ -萜品醇、乙醇、香叶醇和橙花醇的相对含量较高。从商熟期到完熟期,10 个华北杏品种(品系)中芳樟醇、 $\alpha$ -萜品醇、橙花醇的平均相对含量分别下降了 32.71%、19.06%、25.79%;乙醇的平均相对含量由 5.90% 增加至 12.62%,增幅为 1.14 倍;香叶醇的平均相对含量基本不变。在完熟期,华北杏中醇类成分更为丰富,其中相对含量较多的异戊醇、2-壬醇、2-甲基丙醇、(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇和(S)-2-甲基丁醇等均在完熟期才出现。与商熟期相比,完熟期的华北杏果实花香味稍变淡,青香味增加。

表 2 10 个华北杏品种(品系)果实部分香气成分的相对含量

Table 2 Relative contents of partial aroma components in fruits of ten varieties (lines) of North China apricot

类别	香气成分	新世纪		子荷		金荷		冀早红		丰园红		串枝红		香白		Z08-1-54		Z10-1-60		Z11-3-24	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
醇类	芳樟醇* (%)	10.62	12.02	5.51	3.03	34.17	15.27	56.52	43.48	56.15	19.69	2.81	-	59.75	32.36	12.49	30.33	66.21	31.50	48.91	49.93
	$\alpha$ -蒎品醇* (%)	0.90	1.73	0.66	0.32	4.84	2.73	6.49	7.63	6.67	2.86	-	-	8.05	7.16	1.16	-	8.02	4.25	4.55	6.78
	香叶醇* (%)	0.61	1.99	-	0.44	3.79	4.41	4.35	5.79	4.57	1.83	0.31	-	7.21	6.45	1.13	2.89	6.45	2.82	3.73	5.73
	橙花醇* (%)	-	0.52	-	-	1.45	0.90	1.97	2.41	1.76	0.78	0.31	-	3.21	2.63	0.41	1.15	2.13	1.11	1.56	-
	乙醇 (%)	12.23	6.41	14.44	11.70	4.49	16.25	9.29	-	5.15	13.28	-	40.17	-	6.69	13.45	18.60	-	13.13	-	-
	苯乙醇 (%)	-	0.82	-	-	-	1.11	-	0.26	0.29	0.32	-	-	0.51	1.01	-	3.06	-	0.30	-	-
	正辛醇 (%)	-	-	-	0.62	-	0.30	-	-	0.61	0.43	-	-	-	-	2.06	-	-	-	-	-
	正己醇 (%)	-	0.97	-	-	0.12	1.67	-	-	0.14	0.14	-	-	-	0.09	-	-	-	-	-	-
	异戊醇 (%)	-	-	-	-	-	2.05	-	-	-	1.34	-	-	-	-	-	2.21	-	-	-	-
	2,3-丁二醇 (%)	-	-	-	0.22	-	-	-	-	1.51	0.64	-	-	-	0.35	-	-	-	-	-	-
酯类	乙酸己酯 (%)	31.26	21.49	4.17	25.39	24.79	2.11	-	-	-	-	46.14	1.45	-	-	-	-	-	7.43	-	-
	乙酸叶醇酯 (%)	12.45	-	12.57	5.69	12.56	0.15	-	-	-	-	29.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	乙酸乙酯 (%)	4.26	6.13	6.62	14.15	-	12.39	-	-	-	11.70	-	31.15	-	7.14	4.98	12.82	-	-	-	-
	乙酸异戊酯 (%)	-	1.11	-	-	-	5.40	-	-	-	2.60	-	-	-	3.33	-	0.99	-	3.46	-	-
	乙酸香叶酯 (%)	-	-	-	-	-	-	-	2.30	-	-	-	-	-	2.99	-	-	-	-	-	-
	乙酸丁酯 (%)	0.64	0.62	5.74	7.49	0.36	-	-	2.38	2.00	-	-	-	-	8.80	0.88	-	-	0.60	-	-
	乙酸苯乙酯 (%)	-	-	-	-	-	2.42	-	-	-	0.46	-	-	-	0.94	-	2.24	-	-	-	-
	水杨酸乙酯 (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19	3.99
	癸酸乙酯 (%)	-	-	-	-	-	5.04	-	-	-	-	-	-	-	2.50	-	1.94	-	-	-	-
	(Z)-2-己烯-1-醇乙酸酯 (%)	5.87	7.48	-	1.16	2.30	-	-	-	-	-	10.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
酮类	香叶基丙酮* (%)	2.65	6.74	-	7.67	1.99	-	5.10	1.28	1.36	-	0.75	4.90	3.42	4.50	5.42	8.64	0.37	3.47	0.77	3.78
	$\beta$ -紫罗兰酮* (%)	2.82	2.70	-	2.40	2.22	0.67	4.27	0.64	2.12	-	2.92	5.16	4.48	1.25	4.48	2.32	1.83	3.08	4.82	2.75
	侧柏酮* (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.41	-	-
	3-羟基-2-丁酮 (%)	3.39	-	9.70	-	-	5.76	0.80	4.88	4.74	4.83	-	6.20	-	0.89	1.39	2.35	-	-	1.45	0.42
	$\beta$ -二氢紫罗兰酮* (%)	1.78	4.35	-	-	0.58	-	0.80	1.71	1.48	9.06	-	-	0.80	-	-	-	1.21	3.40	8.04	4.51
	脱氢二氢- $\beta$ -紫罗兰酮 (%)	-	0.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.90	2.95	2.32	-
	6-甲基-5-(1-甲基亚乙基)-6,8-壬二烯-2-酮 (%)	-	-	-	-	0.65	0.22	0.92	0.35	1.23	0.50	1.52	1.92	-	-	-	-	-	-	-	1.63
	甲基壬基甲酮 (%)	-	-	-	-	-	1.02	-	-	-	3.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-壬酮 (%)	-	-	-	-	-	0.47	-	-	-	1.47	-	-	-	0.27	-	-	-	-	-	-
	$\beta$ -环柠檬醛* (%)	5.11	3.11	3.80	2.26	3.30	0.56	4.73	1.11	3.37	-	2.03	3.02	6.30	1.32	5.07	2.46	1.86	5.41	9.59	6.37
醛类	柠檬醛* (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.18
	壬醛 (%)	1.55	0.27	1.71	1.95	0.41	-	0.55	-	2.65	0.67	1.69	-	1.11	0.79	8.29	-	-	-	-	0.64
	苯甲醛 (%)	-	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.75	-	-	-	1.81	0.81
	反-2-十一烯醛 (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.23	-	-	-	-	-
	(Z)-9-十八烯醛 (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34	-	-	-	-	-	-	1.23
烃类	右旋柠檬烯* (%)	-	-	-	-	0.93	-	0.75	0.80	-	-	-	-	-	0.38	-	-	-	-	-	-
	罗勒烯* (%)	-	-	-	-	0.20	0.36	0.94	-	0.30	-	-	-	-	0.49	-	-	-	-	-	-
	苯乙烯 (%)	-	-	-	-	-	-	-	11.27	-	3.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
酸类	乙酸 (%)	0.85	-	1.03	3.92	-	0.81	-	-	0.27	2.74	-	5.11	-	0.15	-	0.33	-	-	-	-
	辛酸 (%)	-	-	-	0.20	-	0.85	0.08	-	-	-	-	-	-	0.93	0.72	1.12	-	-	-	-
	癸酸 (%)	-	2.74	-	0.77	-	-	-	2.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
内酯类	丙位辛内酯 (%)	-	0.25	0.51	1.02	0.24	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	-	-	-	-
	丙位癸内酯 (%)	-	5.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.47	-	-	-	-	-
酚类	3,5-二叔丁基苯酚 (%)	-	-	12.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2,3,5,6-四甲基苯酚 (%)	-	-	-	-	-	-	0.62	-	-	-	-	0.48	-	-	1.82	-	-	0.38	2.37	1.07
杂环类	茶香螺烷 (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	0.68	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82

\* 表示萜类化合物,-表示未检测到或不存在。S1:商熟期;S2:完熟期。



华北杏所含酮类物质中的香叶基丙酮、3-羟基-2-丁酮、 $\beta$ -紫罗兰酮、 $\beta$ -二氢紫罗兰酮的相对含量较高。从商熟期到完熟期,10 个华北杏品种(品系)中香叶基丙酮、 $\beta$ -二氢紫罗兰酮、3-羟基-2-丁酮的平均相对含量均有所增加,增幅分别达 87.73%、56.82%、18.07%; $\beta$ -紫罗兰酮的平均相对含量下降了 29.95%。在完熟期,酮类成分增加了 3 种,分别为侧柏酮、甲基壬基甲酮和 2-壬酮。与商熟期相比,完熟期的华北杏果实奶香味更浓。在华北杏的其他香气物质中, $\beta$ -环柠檬醛、壬醛和乙酸的平均相对含量较高,从商熟期到完熟期, $\beta$ -环柠檬醛、壬醛的相对含量均降低,降幅分别达到 43.26%、75.94%,乙酸的相对含量由 0.21%提高至 1.31%,增加了 5.24 倍(表 2)。

### 2.3 不同华北杏品种(品系)间香气成分的差异

不同华北杏品种(品系)间的香气成分存在明显差异。Drawert 等<sup>[14]</sup>在对苹果香气成分进行研究时发现,根据果实中相对含量最高的香气类别,可以将苹果分为醇香型、酯香型。在供试华北杏中,醇类、酯类的相对含量最高,亦适用于该分类方法。因此,可将醇类含量较高的华北杏品种(品系)金荷、冀早红、丰园红、香白、Z08-1-54、Z10-1-60 和 Z11-3-24 划分为醇香型,其花香味、青香味较浓;将酯类含量较高的华北杏品种(品系)新世纪、子荷、串枝红

划分为酯香型,其果香味更为突出。

### 2.4 不同发育阶段华北杏香气组分的主成分分析

为了进一步明确供试华北杏香气的主要贡献因子,以不同发育期 10 个华北杏品种(品系)的部分香气物质(总相对含量>5%)及其相对含量为数据源进行主成分分析(PCA)<sup>[15]</sup>。在 PCA 模型中,商熟期第 1 主成分(PC1)~第 3 主成分(PC3)的累计方差贡献率为 78.11%,完熟期 PC1~PC3 的累计方差贡献率为 64.83%,能够反映样本的大部分信息。

由表 4 可以看出,在华北杏商熟期,第 1 主成分与芳樟醇、香叶醇、橙花醇、 $\alpha$ -萜品醇和乙酸乙酯高度相关(载荷向量绝对值 $\geq 0.75$ ),第 2 主成分与乙酸己酯、(Z)-2-己烯-1-醇乙酸酯高度相关,第 3 主成分与香叶基丙酮、丙位癸内酯和壬醛高度相关。在华北杏完熟期,第 1 主成分与芳樟醇、香叶醇、橙花醇、 $\alpha$ -萜品醇、乙酸乙酯和乙酸高度相关,第 2 主成分与 3-羟基-2-丁酮、十三酸乙酯高度相关。

将与 PC1~PC3 高度相关的组分与华北杏商熟期、完熟期的主要香味物质进行对比,发现商熟期共有的组分有 6 种,分别为芳樟醇、香叶醇、橙花醇、 $\alpha$ -萜品醇、香叶基丙酮和壬醛;完熟期共有的组分有 3 种,分别为芳樟醇、香叶醇和  $\alpha$ -萜品醇。由此可见,芳樟醇、香叶醇和  $\alpha$ -萜品醇是华北杏的主要香味物质。

表 3 10 个华北杏品种(品系)香气成分的分类比较

Table 3 Classification and comparison of aroma components in ten varieties (lines) of North China apricot

时期	香气物质类别	新世纪	子荷	金荷	冀早红	丰园红	串枝红	香白	Z08-1-54	Z10-1-60	Z11-3-24	均值
商熟期	醇类(%)	24.35	20.61	48.85	78.62	79.45	3.43	78.72	30.70	82.81	59.65	50.72
	酯类(%)	55.58	32.50	40.36	0.24	2.00	87.23	1.88	7.50	0	0.19	22.75
	酮类(%)	10.62	18.57	5.43	11.89	10.93	5.18	9.85	11.29	7.31	18.18	10.93
	醛类(%)	6.66	6.25	3.93	5.28	6.19	4.16	7.89	24.10	1.86	11.40	7.77
	内酯类(%)	0	0.51	0.24	0	0	0	0	19.09	0	1.35	2.12
	酚类(%)	0	12.82	0	0.62	0	0	0.39	1.82	0	2.37	1.80
	烃类(%)	0	0	1.18	1.69	0.30	0	0.42	0.43	6.70	6.06	1.68
	酸类(%)	1.07	1.03	0	0.12	0.44	0	0.13	1.29	0	0	0.41
	杂环类(%)	0	0	0	0	0.68	0	0.24	1.04	0.44	0	0.24
完熟期	醇类(%)	25.50	17.48	47.28	61.65	43.51	40.17	57.71	58.46	53.11	62.44	46.73
	酯类(%)	42.06	55.06	37.94	6.50	18.75	33.04	27.17	18.34	12.78	3.99	25.56
	酮类(%)	14.88	10.35	8.14	8.86	18.91	18.18	7.94	13.60	16.92	14.06	13.18
	醛类(%)	4.53	0	0.95	16.14	12.16	0	0.87	0.75	5.78	1.71	4.29
	酮类(%)	3.38	4.21	0.81	1.17	0.67	3.02	2.22	2.46	6.81	9.23	3.40
	酸类(%)	3.09	4.89	1.66	2.19	2.74	5.11	1.08	1.45	0	0	2.22
	内酯类(%)	6.10	1.98	0.18	0	0	0	0	0.44	0.88	0.33	0.99
	酚类(%)	0	0	0	0	0	0.48	0	0	0.38	1.07	0.19
	杂环类(%)	0	0	0	0	0.21	0	0	0	0.33	0.82	0.14

表 4 不同熟期 10 个华北杏品种(品系)香气物质主成分的载荷向量

Table 4 Load vectors of principal components of aroma substances in ten varieties (lines) of North China apricot at different ripening stages

组 分	商熟期载荷向量			完熟期载荷向量		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
乙酸己酯	0.41	-0.80	-0.40	-0.52	-0.41	0.11
乙酸乙酯	0.82	0.32	0.31	-0.77	0.54	-0.02
乙酸丁酯	0.73	0.65	-0.13	0.06	-0.20	0.31
(Z)-2-己烯-1-醇乙酸酯	0.36	-0.83	-0.37	-0.29	-0.36	0.09
香叶基丙酮	-0.13	-0.22	0.89	-0.58	-0.43	0.59
$\beta$ -紫罗兰酮	-0.57	-0.35	0.57	-0.73	-0.36	0.16
3-羟基-2-丁酮	0.69	0.64	-0.12	0.02	0.77	-0.38
$\beta$ -二氢紫罗兰酮	-0.47	0.18	-0.15	0.19	-0.15	-0.74
$\beta$ -环柠檬醛	-0.32	0.22	0.32	-0.16	-0.72	0.12
$\alpha$ -萜品醇	-0.86	0.32	-0.05	0.85	-0.33	-0.13
香叶醇	-0.89	0.24	-0.04	0.90	-0.11	0.25
橙花醇	-0.88	0.20	0.01	0.75	0.07	0.22
芳樟醇	-0.90	0.33	-0.04	0.82	-0.37	0.05
乙醇	0.73	0.26	0.49	-0.71	0.51	-0.00
丙位癸内酯	0.22	-0.08	0.84	/	/	/
3,5-二叔丁基苯酚	0.69	0.63	-0.24	/	/	/
甲苯	-0.55	0.27	-0.31	/	/	/
壬醛	0.40	-0.09	0.79	/	/	/
脱氢二氢- $\beta$ -紫罗兰酮	-0.54	0.27	-0.36	/	/	/
3-氨基-5-吗啉基甲基-2-恶唑烷酮	0.69	0.63	-0.24	/	/	/
乙酸叶醇酯	0.60	-0.60	-0.50	/	/	/
苯乙醇	/	/	/	0.11	0.34	0.68
乙酸	/	/	/	-0.77	0.30	-0.38
苯乙烯	/	/	/	0.51	-0.05	-0.48
2,3-二氢-1,1,5,6-四甲基-1H-茚	/	/	/	0.37	-0.27	-0.13
(Z,E)-6-(2-丁烯亚基)-1,5,5-三甲基环己烯	/	/	/	0.08	0.36	-0.71
乙酸异戊酯	/	/	/	0.40	0.57	0.19
乙酸苯乙酯	/	/	/	0.22	0.73	0.58
十三酸乙酯	/	/	/	0.22	0.81	-0.17
癸酸乙酯	/	/	/	0.31	0.70	0.57

PC1:第 1 主成分;PC2:第 2 主成分;PC3:第 3 主成分。“/”表示未分析或不存在。

### 3 讨 论

萜类是水果香气的主要来源<sup>[16]</sup>,其中萜烯醇类是否特征香味的来源之一<sup>[17-18]</sup>。杏果肉中含有丰富的类胡萝卜素,在成熟后期以类 $\beta$ -胡萝卜素等为底物合成大量萜类化合物<sup>[19]</sup>,使杏果实呈现多种花香和果香。在本研究中,10 个华北杏品种(品系)中对香气贡献最大的组分是芳樟醇、 $\alpha$ -萜品醇和香叶醇 3 种萜烯醇,此外,橙花醇、 $\beta$ -紫罗兰酮、香叶基丙

酮和 $\beta$ -环柠檬醛亦存在于大部分品种(品系)中且含量较高,这些萜类化合物使得供试杏果实呈现紫罗兰、玫瑰香味。卢娟芳等<sup>[4]</sup>在对新疆杏进行研究时同样也发现,芳樟醇、 $\alpha$ -萜品醇和香叶醇是新疆杏的特征香气成分。一般认为,欧洲生态群的杏品种果实香气较差<sup>[19]</sup>,可能与其萜烯醇含量较低有关。Elisabeth 等<sup>[5]</sup>检测了几个无香型欧洲杏品种的香气物质,发现其果实中仅含有芳樟醇这 1 种萜烯醇,且含量较低,不足以产生香味。目前,中国种植面积最

大的欧洲杏品种金太阳的香气较淡,在其商熟期、完熟期果实中均未检测到萜烯醇类化合物<sup>[20]</sup>。由此可见,可以将萜烯醇含量作为鉴定杏香气的重要指标。

从商熟期到完熟期,供试华北杏香气物质中芳樟醇、 $\alpha$ -萜品醇和橙花醇的相对含量有所下降,而酯类,尤其是乙酸乙酯的相对含量大幅度提升,这与卢芳娟等<sup>[4,21]</sup>关于新疆杏的研究结果一致。值得注意的是,不同华北杏品种(品系)间萜烯醇含量的变化有所不同,这可能是造成华北杏品种(品系)间香气差异的主要原因之一<sup>[19]</sup>。在本研究中,随着果实进一步成熟,新世纪中芳樟醇、 $\alpha$ -萜品醇、香叶醇的相对含量均有所增加,花香味愈加浓郁,金荷的芳樟醇、 $\alpha$ -萜品醇相对含量变化则与之相反。同一华北杏品种(品系)在不同区域种植,其香气成分亦有所变化。陈美霞等<sup>[22]</sup>认为,山东省栽植的新世纪中 $\alpha$ -萜品醇、香叶醇和橙花醇的相对含量在商熟期时最高,芳樟醇的相对含量在完熟期最高,与本研究结果存在一些差异,究其原因,可能与试材生长的环境有关。

酯类对杏香味具有较大贡献<sup>[22]</sup>。本研究从 10 个华北杏品种(品系)中共检测到 114 种香气物质,其中酯类 31 种,种类最丰富。虽然本研究中华北杏果实的主要香味物质不包含酯类,但部分华北杏品种(品系)中酯类含量很高,如完熟期新世纪、子荷果实中乙酸己酯的相对含量高达 20% 以上,串枝红果实中乙酸乙酯的相对含量高达 31% 以上。经主成分分析可知,乙酸乙酯、乙酸己酯、(Z)-2-己烯-1-醇乙酸酯和十三酸乙酯对供试华北杏香味的贡献较大。王华磊等<sup>[3]</sup>在 14 种新疆栽培杏中检测到的酯类物质亦十分丰富,达到 80 种,其中有 10 个杏品种的酯类相对含量最高;乙酸丙酯、乙酸-3-甲基-1-丁酯、(Z)-乙酸-3-己烯-1-醇酯、乙酸己酯、乙酸丁酯和丁酸乙酯均为供试品种的主要香味物质。对于不同生态群杏而言,酯类成分虽然存在差异,但其构成及含量对杏香气的形成有重要影响。

## 4 结 论

本研究以 10 个华北杏品种(品系)为试验材料,对商熟期、完熟期杏果实的香味物质进行分析发现,商熟期华北杏的主要香味物质有 8 种,分别为芳樟醇、 $\beta$ -紫罗兰酮、 $\alpha$ -萜品醇、香叶基丙酮、 $\beta$ -环柠檬

醛、壬醛、香叶醇和橙花醇;完熟期华北杏的主要香味物质有 7 种,分别为芳樟醇、 $\beta$ -紫罗兰酮、香叶基丙酮、 $\alpha$ -萜品醇、 $\beta$ -环柠檬醛、香叶醇和乙醇。上述物质使得供试华北杏呈现出丁香、铃兰、玫瑰和紫罗兰等花香及柠檬、柑橘等果香味。通过主成分分析发现,芳樟醇、香叶醇和  $\alpha$ -萜品醇 3 种萜烯醇对杏香气的贡献最大,此外,橙花醇、乙酸乙酯、乙酸己酯、(Z)-2-己烯-1-醇乙酸酯、十三酸乙酯、丙位癸内酯、香叶基丙酮、3-羟基-2-丁酮、壬醛和乙酸对华北杏香味的形成也有较大贡献。10 个华北杏品种(品系)间香味物质含量的差异较大,其中金荷、冀早红、丰园红、香白、Z08-1-54、Z10-1-60 和 Z11-3-24 为醇香型,花香及青香味较浓;新世纪、子荷和串枝红为酯香型,果香味更浓。

## 参考文献:

- [1] 章秋平,刘威生. 杏果实香气物质的研究进展[J]. 北方果树, 2020(3):1-4.
- [2] 孙家正,张大海,张艳敏,等. 新疆栽培杏风味物质组成及其遗传多样性[J]. 园艺学报, 2010, 37(1):17-22.
- [3] 王华磊,冯建荣,樊新民,等. 新疆主要栽培杏品种香气成分的研究[J]. 园艺学报, 2009, 36(7):1043-1048.
- [4] 卢娟芳,郑惠文,郑巧,等. 新疆杏果实发育过程中香气物质的变化及其特征成分的确定[J]. 园艺学报, 2016, 43(10):1878-1890.
- [5] ELISABETH G, PASCAL S, SYLVIE I. Composition of apricot aroma: correlations between sensory and instrumental data[J]. Journal of Food Science, 1990, 55(3):735-738.
- [6] GREGER V, SCHIEBERLE P. Characterization of the key aroma compounds in apricots (*Prunus armeniaca*) by application of the molecular sensory science concept[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(13):5221-5228.
- [7] SOLÍS-SOLÍS H M, CALDERÓN-SANTOYO M, SCHORR-GALINDO S, et al. Characterization of aroma potential of apricot varieties using different extraction techniques[J]. Food Chemistry, 2007, 105(2):829-837.
- [8] 尹燕雷,苑兆和,冯立娟,等. 不同杏品种果实发育期间香气成分的 GC-MS 分析[J]. 果树学报, 2010, 27(3):337-343.
- [9] 薛晓敏,韩雪平,王金政. ‘金凯特’杏果实发育期间香气成分分析[J]. 山东农业科学, 2016, 48(11):53-56.
- [10] 陈美霞,陈学森,冯宝春. 两个杏品种果实香气成分的气相色谱-质谱分析[J]. 园艺学报, 2004, 31(5):663-665.
- [11] 王俊宁,任雪岩,余树明,等. 9 个菠萝蜜品系香气成分及特征香气分析[J]. 果树学报, 2018, 35(5):574-585.
- [12] 赵玉华,赵浩均,熊苗,等. 9 个燕山板栗品种成熟时果实主要香气物质分析[J]. 果树学报, 2019, 36(6):765-773.
- [13] 张文文,吴玉森,陈毓谨,等. 3 种巨峰系葡萄的香气特征[J].

- 上海交通大学学报(农业科学版),2018,36(5):51-59,66.
- [14] DRAWERT F, KLE R A, BERGER R G. Biotechnological flavor production. I. Optimization of (*E*)-2-hexen-1-al yields in plant tissue homogenates[J]. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie, 1986, 19:426-431.
- [15] 王 娟,孙 瑞,王桂霞,等. 8个草莓品种(系)果实特征香气成分比较分析[J].果树学报,2018,35(8):967-976.
- [16] SOCHOR J, SKUTKOVA H, BABULA P, et al. Mathematical evaluation of the amino acid and polyphenol content and antioxidant activities of fruits from different apricot cultivars[J]. Molecules, 2011, 16(9):7428-7457.
- [17] TAKEOKA G, FLATH R, MON T, et al. Volatile constituents of apricot (*Prunus armeniaca*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38:471-477.
- [18] 周 围,魏玉梅,杨 敏,等. 甘肃主栽杏果实品种间香气成分的固相微萃取-气质联用分析[J].分析试验室,2008,27(8):40-44.
- [19] 章秋平,刘威生,刘家成. 3种不同基因型杏果实的主要香气物质分析[J].北方果树,2020(4):10-13,20.
- [20] 王家喜,王少敏,魏树伟. 不同成熟期金太阳杏果实香气成分分析[J].山东农业科学,2008(4):52-56.
- [21] XI W P, ZHENG H W, ZHANG Q Y, et al. Profiling taste and aroma compound metabolism during apricot fruit development and ripening[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2016, 17(7):998.
- [22] 陈美霞,陈学森,周 杰,等. 杏果实不同发育阶段的香味组分及其变化[J].中国农业科学,2005,38(6):1244-1249.

(责任编辑:徐 艳)