

‘红灯’甜樱桃果实发育进程中香气成分的组成及其变化

张序^{1,2}, 姜远茂², 彭福田², 何乃波³, 李延菊¹, 赵登超⁴

(¹烟台市农业科学研究院, 烟台 265500; ²山东农业大学园艺科学与工程学院/作物生物学国家重点实验室, 泰安 271018;

³山东省科学技术厅, 济南 250011; ⁴山东省林业科学研究院, 济南 250014)

摘要:【目的】研究甜樱桃果实发育过程中香气成分的组成及变化。【方法】采用顶空固相微萃取技术提取红灯甜樱桃绿熟期、着色期、商熟期和完熟期果实的香气成分, 经气相色谱质谱联用仪进行测定分析。【结果】红灯甜樱桃的香气成分共检测到 37 种, 主要成分为醛类、醇类和酯类。在果实的不同发育阶段, 香味组分及其含量差异较大。醛类主要包括 C₆ 醛类和芳香醛类, C₆ 醛类相对含量在着色期迅速上升, 达 84.16%, 之后随着果实的成熟逐渐下降, 在商熟期、完熟期降至 59.20%、55.58%; 芳香醛类化合物苯甲醛含量随着果实的成熟逐渐升高, 在完熟期达到最高。醇类主要包括 C₆ 醇类、芳香醇类及乙醇, C₆ 醇类中 (E)-2-己烯-1-醇随着果实的成熟逐渐升高, 在商熟期达最大值; 乙醇仅在果实完熟期才大量出现。酯类化合物包括乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯等, 其含量随着果实的成熟逐渐升高。【结论】己醛、(E)-2-己烯醛、苯甲醛、(E)-2-己烯醇、乙酸乙酯、己酸乙酯是甜樱桃成熟果实的特征香气成分, 这些物质在着色期大量合成, 多数在商熟期达到高峰, 在完熟期出现大量乙醇, 风味变劣。商熟期是甜樱桃的最佳采收期。

关键词: 甜樱桃; 果实发育; 香气成分; 固相微萃取; GC-MS

Changes of Aroma Components in ‘Hongdeng’ Sweet Cherry During Fruit Development

ZHANG Xu^{1,2}, JIANG Yuan-mao², PENG Fu-tian², HE Nai-bo³, LI Yan-ju¹, ZHAO Deng-chao⁴

(¹Yantai Agricultural Science and Technology Academy, Yantai 265500; ²State Key Laboratory of Crop Biology/College of Horticulture Science and Engineering of Shandong Agriculture University, Taian 271018; ³Department Science and Technology of Shandong Province, Jinan 250011; ⁴Shandong Provincial Academy of Forestry, Jinan 250014)

Abstract: 【Objective】 This article was to study the changes of aroma components in sweet cherry during fruit development. 【Method】 The aroma components in sweet cherry fruit from green stage, color stage, commercial stage and ripe stage were collected using head-space solid phase microextraction (HS-SPME), and analyzed by gas chromatograph-mass spectrophotometer (GC-MS). 【Result】 A total 37 compounds were identified from the sample extracts. Aldehydes, alcohols and esters were the major constituents. The aroma components accumulates differently during the fruit developmental period. C₆ aldehydes and aromatic aldehydes were the main aldehydes in the sweet cherry fruit. The contents of C₆ aldehydes increased quickly to 84.16% at color stage, then decreased as ripening proceeded, and the content decreased to 59.20% and 55.58% at commercial stage and ripe stage. The aromatic aldehydes (Benzaldehyde) increased as ripening proceeded, and the maximum was found at ripe stage. Alcohols of sweet cherry fruit included C₆ alcohols, aromatic alcohols and alcohols. The content of (E)-2-hexen-1-ol increased as ripening proceeded, the maximum was found at commercial stage; Alcohol was only found at ripe stage. Esters components included ethyl Acetate; butanoic acid, ethyl este; Hexanoic acid, ethyl ester; which increased as fruit ripened. 【Conclusion】 Hexanal; (E)-2-hexenal; benzaldehyde; (E)-2-hexen-1-ol; ethyl acetate; hexanoic acid, ethyl ester were the characteristic aroma components of sweet cherry fruit. These aroma components started to form drastically at color stage, and the main aroma had been formed at commercial stage,

收稿日期: 2006-04-21; 接受日期: 2007-01-22

基金项目: 山东农业成果转化基金“甜樱桃良种、良砧、良法配套技术研究与示范”资助

作者简介: 张序 (1980-), 男, 山东淄博人, 硕士, 研究方向为果树营养生理。Tel: 0535-6361775; E-mail: zhangxu432@163.com。通讯作者姜远茂 (1964-), 男, 博士后, 研究方向为果树营养生理。Tel: 0538-8249778; E-mail: ymjiang@sdau.edu.cn

then turned bad at ripe stage because of the present of alcohol. The optimal harvest time of sweet cherry was at commercial stage.

Key words: Sweet cherry; Fruit development; Aroma components; Solid phase microextraction; GC-MS

0 引言

【研究意义】成熟果实的香气是由各种芳香成分共同作用形成的, 虽然各种芳香物质只占果实鲜重的 0.01%~0.001%, 但对果实风味品质起着很重要的作用, 也是吸引消费者和增强市场竞争力的重要因素之一, 随着国际市场对果品品质要求越来越高以及食品工业对天然风味物质需求的增加, 果品香气成分及其影响因素研究日益受到关注^[1]。【前人研究进展】果实芳香物质传统提取方法为溶剂萃取法和动态顶空抽气法, 近年来发展的固相微萃取技术特别适合萃取微量的挥发、半挥发性物质, 具有操作简便、准确性高, 节约样品制备时间等优点, 2005 年张序等^[2]研究了固相微萃取-GC-MS 联用法测定甜樱桃芳香成分的技术, 提高了樱桃芳香物质的检测精度。目前, 国内外对樱桃香气成分的研究还处于起步阶段, Petersen 等^[3]采用溶剂萃取法对加工酸樱桃品种的香气成分进行了研究, 认为苯甲醛、苯甲醇、香兰素和丁子香酚是重要的香气成分, Mattheis 等^[4]采用动态顶空法从‘Bing’甜樱桃果实中检测出 28 种香气成分, 认为 2-丙醇、苯甲醛、己醛是‘Bing’果实的主要香气成分; Bernalte 等^[5]、Girard 等^[6]相继对‘Sweet-heart’、‘Salmo’、‘PicoColorado’等欧美甜樱桃主栽品种的香气成分进行了研究, 认为己醛、(E)-2-己烯醛、(E)-2-己烯醇、苯甲醛是甜樱桃果实最重要的香气成分。【本研究切入点】每种果树成熟果实均具有有别于其它果树的特征香气。特征香气由几种香气阈值较低、相对含量较高的芳香物质成分在果实成熟过程中逐步形成的。对草莓、猕猴桃、杏、桃等果树^[7-13]果实不同发育期香气成分的定性和定量检测, 是确定其果实特征香气和判断果实成熟的主要途径。【拟解决的关键问题】通过采用灵敏度更高的固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术, 对中国主栽‘红灯’甜樱桃果实不同发育期的

香气成分进行测定、分析, 研究其香气成分在果实发育过程的变化动态, 对确定樱桃果实特征香气及其影响因素有一定的价值。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2005 年在山东农业大学果树生理实验室及江南大学分析测试中心进行。试材为正常管理条件下的 7 年生‘红灯’甜樱桃 (*Prunus.avium* L.), 样品采自泰安苑庄果园, 园内树势中庸, 纺锤树型, 土壤为砂壤, 肥力中等, 常规管理。在甜樱桃果实的绿熟期 (5 月 10 日)、着色期 (5 月 15 日)、商熟期 (5 月 20 日)、完熟期 (5 月 25 日) 分别采样, 每次取样时间为上午 9:30~10:00。以感官分析为基础, 辅以手持测糖仪测定, 根据可溶性固形物和果色等性状决定采样期 (表 1)。每次采样从树冠外围随机采果 30 个, 采后用保鲜盒盛装常温下运至江南大学分析测试中心进行测定分析。

1.2 方法

1.2.1 SPME 取样 取样前先将 100 μm PDMS 萃取头 (美国 Supelco 公司) 在气相色谱进样口老化 2 h, 老化温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。选取 5 个甜樱桃果实, 快速去皮、去核, 用刀片切碎果肉, 样品置于 15 ml 顶空瓶中, 上部留有 2 cm 左右的空间, 封口。将老化后的萃取头插入样品瓶顶空部分, 于 45 $^{\circ}\text{C}$ 吸附 40 min, 吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口, 于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3 min, 进行 GC-MS 检测分析。

1.2.2 GC-MS 分析条件 用美国 Finnigan 公司 Finnigantrace MS 气相色谱-质谱联用仪对样品进行测定分析。色谱条件: PEG-20M 毛细管色谱柱, 长 30 m, 内径 0.25 mm, 液膜厚 0.25 μm , 载气 He, 不分流, 恒流 0.8 ml/min, 进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$, 柱温起始温度 36 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3 min, 以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至

表 1 不同发育阶段红灯甜樱桃果实性状

Table 1 Characteristic of sweet cherry fruit harvested at different development stages

发育阶段	发育期	单果重	可溶性固型物	果色
Stage of development	Fruit development (days)	Fruit weight (g)	Soluble solids (%)	Skin colour
绿熟期 Green stage	30	5.75	6~8	绿色 Green
着色期 Color stage	35	6.35	8~10	白底片红 White background, stretched red
商熟期 Commercial stage	40	7.52	10~12	半红 Red
完熟期 Ripe stage	45	7.82	12~14	全红 Whole red

120℃, 再以 10℃·min⁻¹ 升温至 230℃, 保持 8 min。
质谱条件: 离子源温度 200℃, 电离方式 EI, 电子能量 70 eV。2 次重复。

2 结果与分析

气相色谱-质谱-计算机联用技术检测得到‘红灯’甜樱桃果实绿熟期、着色期、商熟期、完熟期的香气成分总离子图(图 1), 各组分质谱经计算机谱库(NBS/WILEY)检索及资料分析, 确认其香气成分, 运用峰面积归一化法, 求得各成分相对含量(表 2)。

2.1 不同发育期的香气组成

采用固相微萃取技术从‘红灯’甜樱桃果实发育各时期共检测到 37 种芳香物质(表 2), 在果实的不同发育阶段, 香味组分及含量存在差异。

绿熟期果实共检测出 20 种成分(图 1, 表 2), 相对含量较高的芳香成分为(E)-2-己烯醛、(E)-2-

己烯-1-醇、己醛、(Z)-3-己烯醛、(E,E)-2,4-己二烯醛、柠檬油精, C₆ 醛类化合物较高, 相对含量达 37.06%。

着色期果实中共检测出 27 种成分(图 1, 表 2), 相对含量较高的芳香成分为(E)-2-己烯醛、己醛、(Z)-3-己烯醛、(E)-2-己烯-1-醇、(E,E)-2,4-己二烯醛, C₆ 醛类化合物为 4 个采样时期的最高, 相对含量达到 84.16%; 该时期检测到了(E)-2-戊烯-1-醇、1-戊烯-3-醇、1-己烯-3-醇等成分。

商熟期果实中共检测出 27 种成分(图 1, 表 2), 相对含量较高的芳香成分(E)-2-己烯醛、(E)-2-己烯-1-醇、己醛、(E,E)-2,4-己二烯醛、苯甲醛、乙酸乙酯, 与着色期相比 C₆ 化合物相对含量开始下降, 而乙酸乙酯、(E)-2-己烯-1-醇、苯甲醛等成分的相对含量迅速上升, 该时期出现了 2-乙基呋喃、丁酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸苯乙酯、萜品醇、苯乙醇等成分。

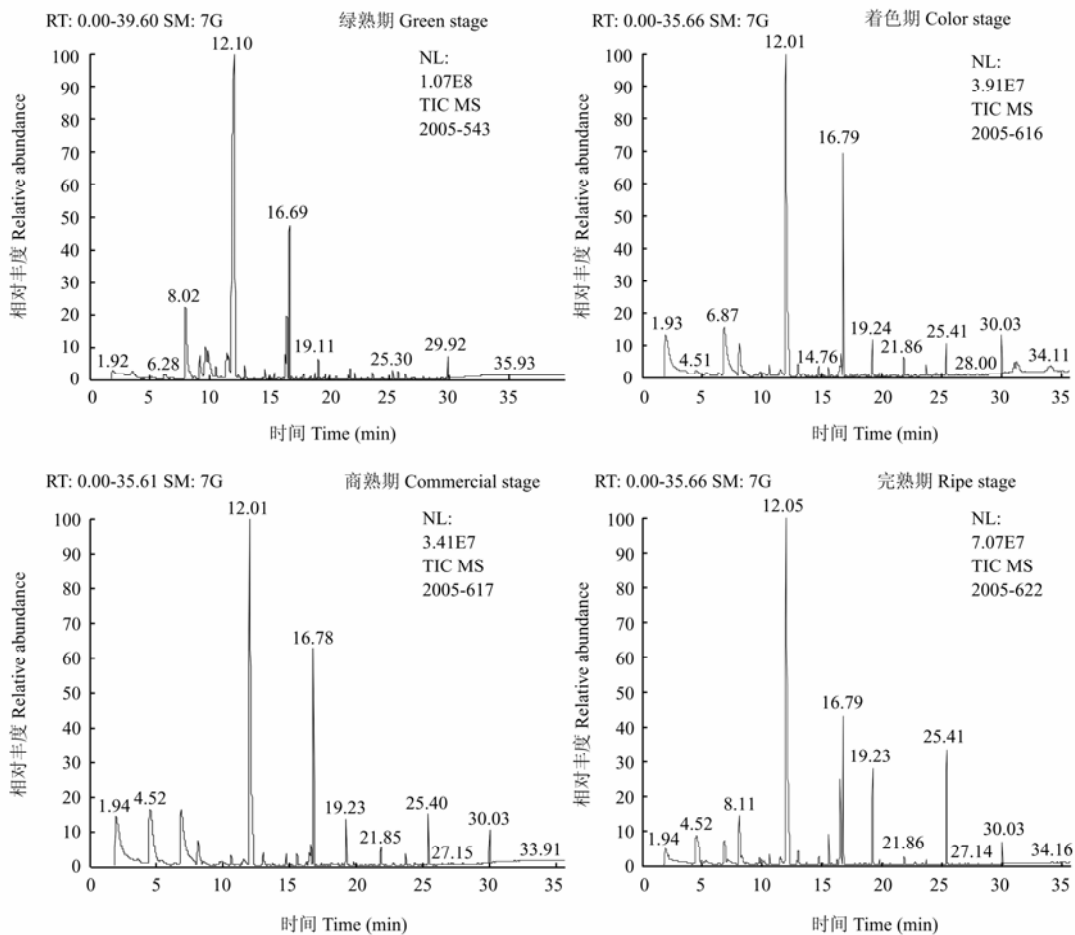


图 1 不同发育时期甜樱桃果实香气成分的 GC-MS 总离子图

Fig. 1 GC-MS total ionic chromatogram of aroma, component in sweet cherry at different development stages

表 2 甜樱桃发育过程中香气成分的 GC/MS 分析结果

Table 2 GC-MS analysis result of aroma component of sweet cherry during fruit development

保留时间 (Retention time)				香气成分 Aroma components	相对含量 (Relative content)			
绿熟期 Green stage	着色期 Color stage	商熟期 Commercial stage	完熟期 Ripe stage		绿熟期 Green stage	着色期 Color stage	商熟期 Commercial stage	完熟期 Ripe stage
2.69	2.53	-	-	2,4-己二烯 2,4-Hexadiene	2.16	1.27	-	-
3.57	3.57	3.62	3.62	乙酸乙酯 Ethyl Acetate	0.10	0.27	0.87	0.89
-	-	-	4.52	乙醇 Ethanol	-	-	-	15.02
-	-	4.82	4.83	2-乙基呋喃 Furan, 2-ethyl-	-	-	0.14	0.21
-	5.21	-	-	(E)-2-戊烯-1-醇(2-Penten-1-ol, (E)-	-	0.33	-	-
5.22	-	5.34	-	戊醛 Pentanal	0.39	-	0.92	-
6.26	6.28	-	-	1-戊烯-3-酮 1-Penten-3-one	0.62	0.73	-	-
-	-	6.92	6.93	丁酸乙酯 Butanoic acid, ethyl ester	-	-	0.26	0.32
8.02	8.02	8.12	8.12	己醛 Hexanal	4.60	12.68	6.66	4.53
9.37	-	9.50	-	2-戊烯醛 2-Pentenal	0.17	-	0.13	-
9.67	9.67	9.91	9.78	(Z)-3-己烯醛 3-Hexenal, (Z)-	3.13	7.08	0.97	0.88
-	10.55	10.59	10.60	1-戊烯-3-醇 1-Penten-3-ol	-	0.51	0.96	0.79
11.46	11.18	11.36	11.37	柠檬油精 Limonene	2.53	0.04	0.13	0.12
12.10	12.10	12.01	12.01	(E)-2-己烯醛 2-Hexenal, (E)-	26.36	59.69	48.83	48.67
12.46	12.46	12.62	12.63	己酸乙酯 Hexanoic acid, ethyl ester	0.07	0.19	0.56	0.58
-	12.95	-	-	1-己烯-3-醇 1-Hexen-3-ol	-	0.74	-	-
12.95	-	13.04	13.04	1-戊醇 1-Pentanol	0.77	0.86	1.06	1.14
14.65	14.65	-	14.76	(Z)-2-戊烯-1-醇 2-Penten-1-ol, (Z)-	0.48	0.46	-	1.70
15.46	15.45	15.56	15.56	1-己醇 1-Hexanol	0.24	0.30	0.56	0.69
-	15.69	-	-	3-己烯-2-醇 3-Hexen-2-ol	-	0.21	-	-
15.69	16.16	15.80	15.80	3-己烯-1-醇 3-Hexen-1-ol	0.22	0.05	0.11	0.34
16.48	16.47	16.60	16.60	(E,E)-2,4-己二烯醛 2,4-Hexadienal, (E,E)-	2.97	4.71	2.74	1.70
16.69	16.79	16.69	16.78	(E)-2-己烯-1-醇 2-Hexen-1-ol, (E)-	6.18	6.34	11.33	11.09
-	17.27	17.83	17.83	辛酸乙酯 Octanoic acid, ethyl ester	-	-	0.16	0.15
-	17.64	17.76	17.75	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	-	0.03	0.05	0.05
19.11	19.11	19.24	19.23	苯甲醛 Benzaldehyde	0.81	0.95	2.07	2.54
-	19.69	19.82	-	里哪醇 linalool	-	0.15	0.23	-
-	19.95	-	-	1-辛醇 1-Octanol	-	0.04	-	-
-	20.58	20.71	20.70	2-乙基-2(5H)呋喃酮 2(5H)-Furanone, 5-ethyl-	-	0.13	0.06	0.06
22.65	22.65	22.77	22.77	萜品醇 Terpineol	-	-	0.20	0.06
23.63	23.63	23.73	-	甲氧基苯基肟 Oxime-, methoxy-phenyl-	0.30	0.35	0.59	-
-	-	24.46	24.46	乙酸苯乙酯 Acetic acid, phenylmethyl ester	-	-	0.04	0.06
25.30	25.41	25.40	25.41	苯甲醇 Benzyl Alcohol	0.27	0.29	1.38	2.13
-	-	25.76	25.75	苯乙醇 Phenylethyl Alcohol	-	-	0.09	0.19
-	-	27.14	27.15	2-己烯酸 2-Hexenoic acid	-	-	0.25	0.12
-	26.96	-	27.25	3-己烯酸 3-Hexenoic acid	-	0.15	-	0.10
27.86	27.86	-	28.02	辛酸 Octanoic Acid	0.10	0.10	-	0.08

-:未检测到 Not found or not exist

完熟期果实中共检测出 27 种成分(图 1, 表 2), 相对含量较高的芳香成分(E)-2-己烯醛、乙醇、(E)-2-己烯-1-醇、己醛、苯甲醛、乙酸乙酯, 该时期各种成分相对含量趋于稳定, 但出现了较高含量的乙醇。

2.2 不同发育时期香气成分的变化

‘红灯’甜樱桃的香气物质 37 种, 主要成分为醛类、醇类和酯类, 在果实发育不同阶段, 各香气成分的相对含量变化较大。

2.2.1 醛类的变化 醛类化合物是甜樱桃果实香气成分中是最主要的一类物质, 主要包括 C₆ 醛类、芳香醛类(图 2)。

C₆ 醛类化合物包括(E)-2-己烯醛、己醛、(E,E)-2,4-己二烯醛、(Z)-3-己烯醛等, 相对含量在绿熟期为 37.06%, 在着色期迅速上升, 达 84.16%, 之后随着果实的成熟逐渐下降, 在高熟期、完熟期降至 59.20%、55.58%。C₆ 醛类化合物中(E)-2-己烯醛含量

最高、己醛次之、而 (Z)-3-己烯醛最低。

芳香醛类化合物苯甲醛随着果实的成熟含量逐渐升高，在完熟期达到最高，为 2.54%。

2.2.2 醇类化合物的变化 醇类化合物包括 C₆ 醇类、C₅ 醇类、芳香醇、萜品醇类和乙醇 (图 3)。C₆ 醇类的 (E)-2-己烯-1-醇和 1-己醇、C₅ 醇类的 1-戊醇、芳香醇类的苯甲醇和苯乙醇均随着果实的成熟逐渐升高；萜品醇类萜品醇、里哪醇在果实着色期和商熟期出现；乙醇仅在完熟期出现，含量高达 15.02%。

C₆ 醇类、C₅ 醇类和芳香醇类化合物的总含量随果实发育呈现逐渐升高趋势，表明 C₆ 醇类、C₅ 醇类和芳香醇类化合物是甜樱桃果实的重要香气成分。

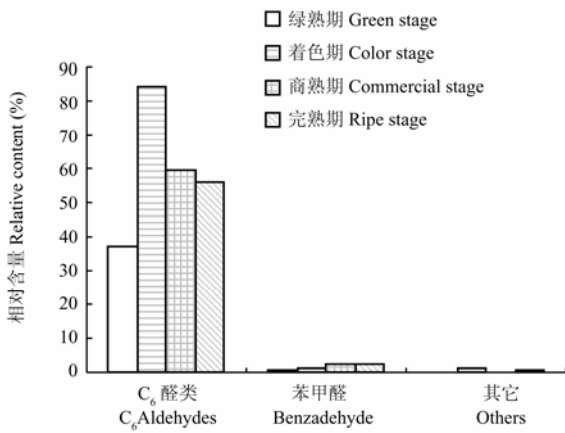


图 2 不同发育时期醛类化合物的含量 Fig. 2 Concentration of aldehydes components during different stages of fruit maturation

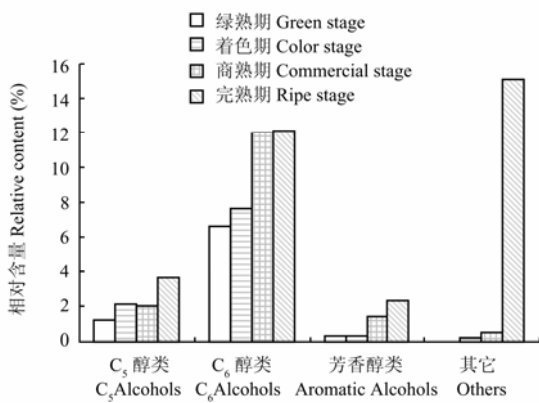


图 3 不同发育时期醇类化合物的含量 Fig. 3 Concentration of alcohol components during different stages of fruit maturation

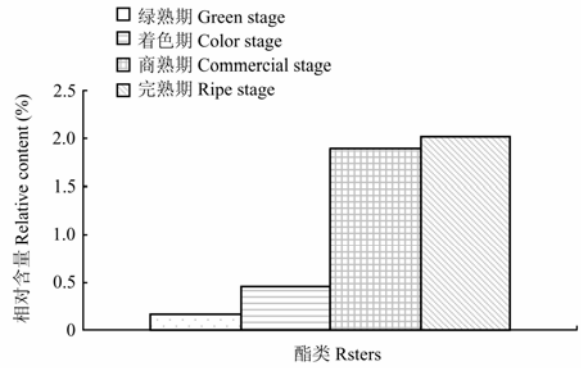


图 4 不同发育时期酯类化合物的含量 Fig. 4 Concentration of esters components during different stages of fruit maturation

2.2.3 酯类的变化 酯类化合物主要包括乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯、辛酸乙酯等成分，其相对含量较低，均在 1% 以下。其中，乙酸乙酯、己酸乙酯随果实成熟逐渐升高，在完熟期达最大值，分别达 0.89%、0.58%；而丁酸乙酯、乙酸苯乙酯、辛酸乙酯直到果实发育后期才检测到 (图 4)。

3 讨论

每种果树成熟果实中含有多种芳香物质成分，但不是每种芳香物质成分都重要，只有具有较高香气值 (相对含量/香气阈值) 的成分构成其成熟果实特征香气。目前，国内外对甜樱桃特征香气成分的研究还处于初步阶段，Mattheis 等^[4]采用动态顶空法从 ‘Bing’ 甜樱桃果实中检测出 28 种香气成分，认为 2-丙醇、苯甲醛、己醛是 ‘Bing’ 果实的主要香气成分；Girard 等^[5]研究认为己醛、(E)-2-己烯醛、(E)-2-己烯醇、苯甲醛是甜樱桃果实最重要的香气成分。本试验采用固相微萃取技术从 ‘红灯’ 甜樱桃果实发育各时期共检测到 37 种芳香成分，主要包括醛类、醇类和酯类，其中己醛、(E)-2-己烯醛、(E)-2-己烯醇、苯甲醛和酯类对甜樱桃风味品质有重要影响。

3.1 甜樱桃特征香气中的醛类化合物

在 ‘红灯’ 甜樱桃果实发育成熟过程中，C₆ 醛类化合物在着色期相对含量最高，然后随果实成熟逐渐下降，这与桃、油桃、杏上的报道一致^[11,14,15]，这是核果类果树的共同特征。猕猴桃上研究结果表明 (E)-2-己烯醛、己醛等 C₆ 醛类具有青草的清香^[8]，其香气阈值较低可以提高果实香气的感知强度，在 ‘红灯’ 甜樱桃果实商熟期和完熟期 C₆ 醛类相对含量与着色

期相比虽然下降,但仍然达到 59.20%、55.58%。Mattheis 等^[4]和 Girard 等^[5]也认为己醛、(E)-2-己烯醛是甜樱桃果实最重要的香气成分。因此,(E)-2-己烯醛、己醛是甜樱桃的特征香气。

苯甲醛是由果实中的苦杏仁苷经酶解作用产生,在‘红灯’甜樱桃果实发育成熟过程中,随果实成熟,苯甲醛及其衍生物苯甲醇的含量不断升高,在商熟期达到较高水平,结合感官分析,甜樱桃果实此时达到最佳风味,证实了 Girard 等^[5]的观点,苯甲醛也是甜樱桃的特征香气成分。

3.2 甜樱桃特征香气中的酯类化合物

在草莓、猕猴桃等果树上研究结果表明,酯类化合物特别是乙酸乙酯、丁酸乙酯、己酸乙酯等成分,其嗅觉阈值很低,香气值(浓度/阈值)很高^[16,17],是果实的重要香气成分,但其挥发性强,不易检测。本试验采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用方法,检测到了乙酸乙酯、己酸乙酯等酯类物质,弥补国外同类研究方法的缺陷,这些酯类化合物随着果实的成熟逐渐升高,在完熟期达最大值,是甜樱桃成熟果实的特征香气。

3.3 关于乙醇

板栗等果树研究结果表明,随果实成熟,呼吸作用增强,果实糖酵解产生的中间产物丙酮酸除进入三羧酸循环外,剩余部分将转化为乙醇,从而引起乙醇的积累^[18]。乙醇的大量产生不仅对果实产生危害,削弱其本身的耐性和抗病性,增加腐烂的发生,同时影响果实的风味,降低果实品质。因此,草莓、猕猴桃、桃、杏、油桃等果树均未把乙醇作为特征香气,而是果实衰变的象征。本试验仅在甜樱桃果实完熟期检测到乙醇,结合感官评价,此时,果实口感变劣,与其它果树一样乙醇不能作为甜樱桃成熟果实的特征香气。

4 结论

综合气相色谱-质谱的分析结果,从红灯甜樱桃果实中共检测出 37 种芳香成分,主要成分为醛类、醇类和酯类,在绿熟期果实中检测出 22 种成分,着色期 27 种,商熟期 27 种,完熟期 27 种。其中,己醛、(E)-2-己烯醛、苯甲醛、(E)-2-己烯醇、乙酸乙酯、己酸乙酯是甜樱桃成熟果实的特征香气成分。在果实的不同发育阶段,香气组分及其含量差异较大。在果实着色期,具有青草气味的 C₆醛类化合物大量合成,至果实商熟期时,苯甲醛、酯类等明显提高,果实的特

征香味化合物基本合成;在完熟期果实中出现大量乙醇,香味开始变劣。在生产中,应该选择特征香味化合物基本合成的商熟期进行采收。

References

- [1] 卮兰春,孙建设,黄瑞红.果实香气形成及其影响因素.植物学通报,2004,21:631-637.
Nie L C, Sun J S, Huang R H. The biosynthesis and affecting of aroma in some fruits. *Chinese Bulletin of Botany*, 2004, 21: 631-637. (in Chinese)
- [2] 张 序,姜远茂,彭福田.顶空固相微萃取-气相色谱质谱联用技术分析甜樱桃芳香成分.分析实验室,2005,24(11):51-53.
Zhang X, Jiang Y M, Peng F T. Analysis of aroma components from sweet cherry by head-space solid phase microextraction coupled with GC-MS. *Chinese Journal of Analysis Laboratory*, 2005, 24(11):51-53. (in Chinese)
- [3] Petersen M B, Poll L. The influence of storage on aroma, soluble solid, acid and color of sour cherries (*Prunus cerasus* L.) cv. Stevnsbær. *Eur Food Technology*, 1999, 209: 251-256.
- [4] Mattheis J P, Buchanan D A, Fellman J K. Identification of headspace volatile compounds from 'Bing' sweet cherry fruit. *Phytochemistry*, 1992, 31: 775-777.
- [5] Bernalte M J, Hernandez M T, Vidal-Aragon M C, Sabio E. Physical, chemical, flavor and sensory characteristics of two sweet cherry varieties grown in 'Valle del Jerte' (Spain). *Journal of Food Quality*. 1999, 22: 403-416.
- [6] Girard B, Kopp T G. Physicochemical characteristics of selected sweet cherry cultivars. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1998, 46: 471-476.
- [7] Miszczak A, Forney C F, Prange R K. Development of aroma volatiles and color during postharvest ripening of 'Kent' strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1995, 120: 650-655.
- [8] 涂正顺,李 华,王 华,李可昌,卢家烂.猕猴桃果实采后香气成分的变化.园艺学报,2001,28:512-516.
Tu Z S, Li H, Wang H, Li K C, Lu J L. The changes of aroma components in kiwifruit after harvest. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28: 512-516. (in Chinese)
- [9] Engel K H, Flath R A, Buttery R G. Investigation of volatile constituents in nectarines. 1. Analytical and sensory characterization of aroma components in some nectarine cultivars. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1988, 36: 549-553.
- [10] Perez A G, Olias R, Rios R, Luaces P, Sanz C. Biosynthesis of

- strawberry aroma compounds through amino acid metabolism. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2002, 50: 4037-4042.
- [11] 陈美霞, 陈学森, 周杰, 刘扬岷, 慈志娟, 吴燕. 杏果实不同发育阶段的香味组分及其变化. *中国农业科学*, 2005, 38: 1244-1249.
- Chen M X, Chen X S, Zhou J, Liu Y M, Ci Z J, Wu Y. Changes of aroma constituents in apricot during fruit development. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38: 1244-1249. (in Chinese)
- [12] Golding J B, Shearer D, McGlasson W B. Relationships between respiration, ethylene, and aroma production in ripening banana. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1999, 47: 1646-1651.
- [13] 贾惠娟, 冈本五郎, 平野健. 桃果实品质形成成分与其风味之间的相关性. *果树学报*, 2004, 21(1): 5-10.
- Jia H J, Okamoto G, Hirano K. Studies on the sensory evaluation of juice constituents of peach fruit. *Journal of Fruit Science*, 2004, 21(1): 5-10. (in Chinese)
- [14] Engel K H, Ramming D W, Flath R A, Teranishi R. Investigation of volatile constituents in nectarines. 2. Changes in aroma composition during nectarine maturation. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1988, 36: 1003-1006.
- [15] Chapman G W Jr, Horvat R J, Forbus W R Jr. Physical and chemical changes during the maturation of peaches (cv. Majestic). *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1991, 39: 867-870.
- [16] Perez A G, Sanz C, Olias R. Evolution of strawberry alcohol acyltransferase activity during fruit development and storage. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1996, 44: 3286-3290.
- [17] 李华, 涂正顺, 王华, 刘芳. 猕猴桃果酒香气成分的气相色谱质谱分析. *分析化学*, 2002, 30: 695-698.
- Li H, Tu Z S, Wang H, Liu F. Analysis of aroma components of kiwifruit wine by gas chromatography mass spectrometry. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, 2002, 30: 695-698. (in Chinese)
- [18] 王晓明, 唐时俊, 李昌珠. 板栗贮藏期坚果腐烂机理的研究. *果树学报*, 2001, 18(2): 98-103.
- Wang X M, Tang S J, Li C Z. Mechanism of chestnut rotting during storage. *Journal of Fruit Science*, 2001, 18(2): 98-103. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)