

# 基于多元分析的 11 种烟台中、晚熟品种苹果香气成分比较

孙承锋<sup>1</sup>, 朱亮<sup>1</sup>, 周楠<sup>1</sup>, 杨建荣<sup>1</sup>, 李彦伸<sup>1</sup>, 姜中武<sup>2</sup>

(1. 烟台大学生命科学学院, 山东烟台 264005) (2. 烟台大学农学院, 山东烟台 264005)

**摘要:** 为了探明烟台中、晚熟苹果品种间主要香气成分的差异, 采用顶空固相微萃取 (HS-SPME) 结合气相色谱与质谱联用 (GC-MS) 对 11 种烟台中、晚熟品种苹果的香气成分进行检测分析, 并对不同品种的苹果以及其香气成分的种类进行主成分分析和聚类分析。结果表明, 从 11 种苹果中共检测出 59 种香气成分, 其中 21 种成分为所有品种苹果所共有, 在共有香气成分中, 乙酸、丁酸、己酸的酯类化合物, 己醛 (包括 2-己烯醛) 与一些高级醇含量较高。主成分分析表明, 阳光苹果、丹霞苹果综合得分较高, 极早熟富士苹果综合得分最低, 得分排名反映出苹果品种之间主要香气成分的差异大小。聚类分析表明, 11 种苹果可分为四类: 第一类为烟富三、斗南、甘红、极早熟富士、皮诺娃、烟富一、最良短富; 第二类为丹霞、阳光; 凉香和华帅分别自为一类。经过两种分析方法有效结合, 筛选得到的丹霞、阳光、凉香、华帅四种苹果香型特点更为突出, 为今后品质育种亲本选择提供依据。

**关键词:** 苹果; 香气成分; 气质联用 (GC-MS); 主成分分析 (PCA); 聚类分析 (CA)

文章编号: 1673-9078(2015)9-268-277

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.9.044

## Comparison of Aroma Components in Eleven Medium- and Late-maturing Yantai Apple Cultivars by Multivariate Statistical Analysis

SUN Cheng-feng<sup>1</sup>, ZHU Liang<sup>1</sup>, ZHOU Nan<sup>1</sup>, YANG Jian-rong<sup>1</sup>, LI Yan-shen<sup>1</sup>, JIANG Zhong-wu<sup>2</sup>

(1. College of Life Sciences, Yantai University, Yantai 264005, China)

(2. College of Agriculture, Yantai University, Yantai 264005, China)

**Abstract:** To investigate the differences in the major aroma components between medium- and late-maturing Yantai apple cultivars, headspace solid phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography mass spectrometry (GC-MS) was employed. The apple cultivars and their aroma components were analyzed using principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). The results showed that 59 aroma compounds were identified from 11 apple cultivars, and 21 of these were common to all apple cultivars. Among the common aroma components, acetate esters, butyrate esters, hexanoate esters, hexanal (including 2-hexenal), and some higher alcohols showed higher concentrations. The PCA results indicated that the comprehensive scores of Yang Guang and Dan Xia apples were the highest, while that of the Extremely Precocious Fuji apple was the lowest. The comprehensive score ranking reflected the differences of the major aroma components between the apple cultivars. The CA results showed that 11 apple cultivars could be classified into four clusters. Yantai Fuji 3, Dou Nan, Gan Hong, Extremely Precocious Fuji, Pinova, Yantai Fuji 1, and Best Short Fuji were classified into a cluster; Dan Xia and Yang Guang were classified into a cluster; and Liang Xiang and Hua Shuai were classified into two clusters. Through an effective combination of PCA and CA, the aroma characteristics of four apple cultivars (Dan Xia, Yang Guang, Liang Xiang, and Hua Shuai) were more prominent, providing a basis for parent selection in future apple breeding.

**Key words:** apple; aroma components; gas chromatography-mass spectrometry; principal component analysis (PCA); cluster analysis (CA)

收稿日期: 2015-03-28

基金项目: 2014 年山东省泰山学者种业人才团队支撑计划

作者简介: 孙承锋 (1971-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工贮藏及品质评价

通讯作者: 姜中武 (1960-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 苹果育种与栽培技术

苹果的挥发性香气成分是影响苹果品质的重要指标, 也是影响苹果加工产品品质的重要因素。随着生活水平的提高, 消费者在选择苹果时不仅仅关注苹果的大小、颜色等外观指标, 苹果的香味也越来越受到重视<sup>[1]</sup>。苹果的香气成分是由苹果生长发育过程中各种复杂的生理生化反应共同形成的, 目前已经从新

鲜苹果中检测出 300 多种挥发性成分,醇、酯、醛、酮、萜烯等成分的复杂混合形成了苹果的独特果香<sup>[2]</sup>。苹果的香味受到很多因素的影响,例如:苹果生长的产地气候条件,苹果的采收成熟度,苹果采收后贮藏环境条件、贮藏时间等,苹果的品种也是决定风味品质最重要的因素。何义<sup>[3]</sup>等通过比较不同产地的富士苹果的香气成分发现,河北省内海拔较高的地区所产的富士苹果酯类和醛类物质含量较高,海拔较低的地区所产的富士苹果醇类物质含量较高。王海波<sup>[4]</sup>等对 5 种早熟苹果的风味物质的组分以及含量进行了测定,结果表明,不同品种苹果间的特征性风味物质存在差异。许宝峰<sup>[5]</sup>等测定了不同成熟度的王林苹果在不同温度条件贮藏后的香气成分的变化,结果表明,成熟期果实中醇类和酯类物质的含量比成熟前、后高。在苹果储藏期间,乙醇、乙醛的积累以及真菌产生的物质会导致异味的产生<sup>[6]</sup>。Vanderlei Both<sup>[7]</sup>等研究了低氧贮存环境对皇家嘎啦苹果香气成分的影响,结果表明,低氧(0.5 kPa O<sub>2</sub>)环境能抑制一些酯类物质的产生,而其他挥发性化合物几乎不受低氧环境的影响。Laila Seppä<sup>[8]</sup>等对在储藏过程中的 12 种中晚熟苹果品质进行感官评价,结果表明,相同储藏时间对不同品种苹果的风味影响不同,有些品种(如:Discovery、Heta 和 Konsta)产生较多异味,而有的品种(Red Atlas)风味却几乎不受储藏的影响。山东是我国苹果主要产区之一,烟台苹果的产量占到山东省苹果总产量的 40% 以上,晚熟品种苹果因其味道美、品质好、易储存的特点保证了苹果的周年供应,是我国苹果消费中的重要组成部分,但目前针对烟台晚熟品种苹果风味品质的比较研究较少。

本试验采用顶空固相微萃取与气相色谱质谱联用技术,对苹果香气成分的萃取条件进行优化,分别对 11 种烟台中、晚熟品种苹果香气成分的种类与含量进行测定,通过聚类分析与主成分分析对数据进行处理分析,旨在明确不同品种苹果的主要香气成分,比较不同品种苹果间香气成分的差异,为烟台中、晚熟品种苹果的选育提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试剂与仪器

主要试剂:氯化钠(AR),烟台三和试剂有限公司。

主要仪器:手动 SPME 进样手柄、萃取头(75 μm CAR/PDMS),美国 Supelco 公司;GCMS-QP2010 型气相质谱仪,日本岛津公司;DS-1 型高速组织捣碎机,

金坛万华仪器公司。

### 1.2 材料

3 种新鲜中熟苹果(极早熟富士、皮诺娃、甘红)与 8 种新鲜晚熟苹果(分别为烟富一、烟富三、最良短富、斗南、丹霞、华帅、凉香、阳光)采摘于烟台市农业科学研究院试验果园。采收时间为 2014 年 10 月 10 日前后一周,采收后贮存于 0±1℃冷库,在测定前 12 小时取出,放至常温后进行测定,所有品种苹果在采摘后两天内完成测定。

### 1.3 样品处理

选择成熟的、果型正常、色泽自然、无病虫害的新鲜苹果,用清水洗净擦干,将果实去核放入组织捣碎机捣碎,迅速称取 6 g(精确到 0.001 g)样品于 15 mL 萃取瓶中,加入 0.3 g 的氯化钠,搅拌均匀,用橡胶隔片密封。将样品瓶放置恒温磁力搅拌器,在一定温度的水浴条件下平衡 10 min,用已老化的纤维萃取头萃取一定时间。

### 1.4 HS-SPME 萃取条件的优化

萃取时间定为 40 min,研究不同的萃取温度 30、40、50、60℃对萃取效果的影响,对萃取温度进行优化。

萃取温度为已优化的条件,研究不同的萃取时间 30、40、50、60 min 对萃取效果的影响,对萃取时间进行优化。

### 1.5 GC-MS 分析条件

萃取头在气相色谱仪进样口于 230℃下解吸 5 min。色谱条件:色谱柱为 DB-Wax(30 m×0.25 mm×0.5 μm),载气为氦气,流速为 1.0 mL/min,不分流进样;进样口温度为 250℃;初始温度 40℃,保持 3 min,以 8℃/min 升温至 80℃,保持 1 min,继续以 9℃/min 升温至 130℃,保持 1 min,最后以 6℃/min 升温至 230℃保持 5 min。质谱条件:离子源温度 200℃,电离方式 EI,电子能量 70 eV,扫描范围 33 m/z~450 m/z。

### 1.6 定性与定量

挥发性成分的定性方法:未知化合物质谱图经计算机检索同时与 NIST27.LIB 和 NIST147.LIB 质谱库相匹配,并结合人工图谱解析及资料分析,对香味物质进行定性;定量方法:按峰面积归一化法求得各成分相对质量百分含量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 萃取条件优化

#### 2.1.1 萃取温度的优化

样品在不同温度 (30 °C、40 °C、50 °C、60 °C) 下萃取 40 min, 不同萃取温度下色谱图所对应峰面积以及有效峰个数如图 1 所示。

由图 1 可见, 在不同萃取温度下随着萃取温度的增加峰面积逐渐增大, 温度越高越有利于香气成分的析出, 萃取纤维的吸附量也逐渐增大, 此外有效峰个数也有所增加, 但总体上来说有效峰数量变化不大, 由此将萃取温度确定为 60 °C。

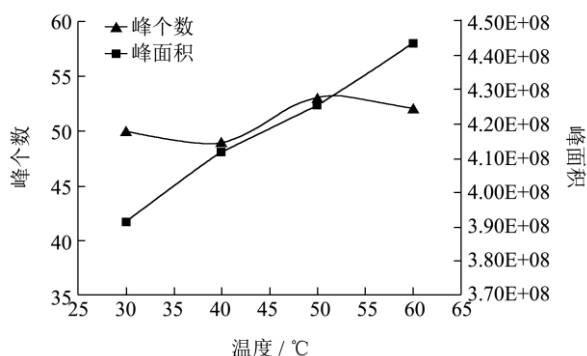


图 1 不同萃取温度对萃取效果的影响

Fig.1 The effects of extraction temperature on extraction efficiency

#### 2.1.2 萃取时间的优化

样品在 60 °C 下萃取不同时间 (30 min、40 min、50 min、60 min), 不同萃取时间下色谱图所对应峰面积以及有效峰个数如图 2 所示。

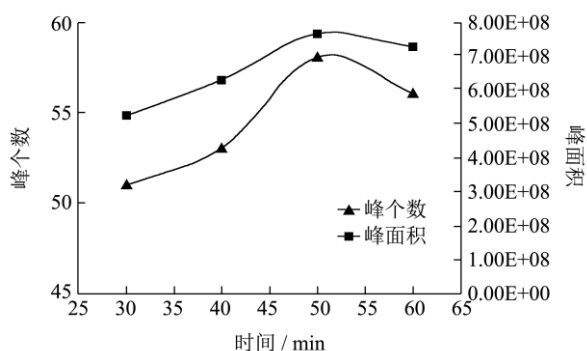


图 2 不同萃取时间对萃取效果的影响

Fig.2 The effects of extraction time on extraction efficiency

由图 2 可知, 萃取时间对有效峰个数以及峰面积的影响一致, 都是先增加后减小, 在萃取时间为 50 min 时达到最大, 这可能是因为随着萃取时间的延长, 纤维萃取达到饱和后, 长时间在 60 °C 下引起了热敏性成分的分解并促进了解吸<sup>[9]</sup>, 由此将萃取时间确定为

50 min。

### 2.2 苹果果实特征香气

在萃取温度为 60 °C, 萃取时间为 50 min 条件下, 对 11 种不同品种的苹果的香气成分进行测定分析, 经计算机检索和 NIST 质谱库相匹配, 结合人工图谱解析及资料分析, 共检出 59 种香气成分如表 1 所示, 其中酯类 21 种, 醛类 9 种, 醇类 8 种, 酮类 2 种, 萜烯类 1 种, 酸类 4 种, 酚类 2 种, 烷烃类 6 种, 含氮化合物 2 种, 杂环类 1 种, 其他 3 种。表 2 为 11 种苹果中不同种类化合物的相对含量, 由表 2 可知, 酯类含量最多, 其次为醛类和醇类, 三者总共占到苹果中所测得香气成分的 80% 以上, 最大达到了 92% (极早熟富士), 由此可知苹果中主要香气成分为酯类、醛类和醇类化合物。

在 11 种苹果的香气成分中, 检测到 21 种共有成分, 其中有 9 种香气成分含量较高, 分别为: 乙酸己酯、乙酸丁酯、己酸丁酯、己醛、2-甲基丁基乙酸酯、 $\alpha$ -法尼烯、2-己烯醛、1-己醇和 1-丁醇, 其中 2-甲基丁基乙酸酯是富士苹果最佳成熟的标志<sup>[10,11]</sup>,  $\alpha$ -法尼烯的氧化产物可能是导致苹果皮褐变的成分<sup>[12]</sup>。此外, 1-辛醇在除烟富三外的其他 10 种苹果中检测到, 2-甲基丁酸丁酯在除阳光外的其他 10 种苹果中检测到, 辛醛、庚酸乙酯和邻苯二甲酸二甲酯在除皮诺娃外的其他 10 种苹果中检测到; 丁酸丁酯在除烟富三和皮诺娃外的其他 9 种苹果中检测到, 2-壬烯醛在除烟富三和皮诺娃外的其他 9 种苹果中检测到; 丁酸乙酯在除烟富三、皮诺娃和最良短富外的其他 8 种苹果中检测到, 己酸乙酯在除斗南、皮诺娃和阳光外的其他 8 种苹果中检测到。在所有苹果品种检测到的香气成分中, 以乙酸、丁酸、己酸的酯类化合物 (乙酸丁酯、2-甲基丁基乙酸酯、乙酸己酯、丁酸乙酯、丁酸丁酯、丁酸己酯、2-甲基丁酸己酯、己酸乙酯、己酸丁酯、己酸己酯)、己醛 (包括 2-己烯醛) 与一些高级醇 (1-丁醇、1-己醇、1-十二醇) 为主, 所有苹果的主要香气成分检测结果与赵胜亭<sup>[13]</sup>等研究的苹果中主要芳香成分基本一致, 但是不同品种苹果存在各自独特的风味物质。此外, 在所有苹果中都检测到邻苯二甲酸酯类物质, 这些物质可能是由苹果套袋中转移至苹果皮上的<sup>[14]</sup>, 因此在对香气成分进行主成分分析及聚类分析时, 对其进行剔除再分析。检测发现阳光苹果中辛酸己酯含量较高; 斗南苹果中辛醛与 1-辛醇含量较高; 烟富一苹果中庚酸乙酯含量较高; 华帅苹果中 4-(2-丙烯基) 苯酚与 2-羟基十四烷酸含量较高; 丹霞苹果中 2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-苯酚与 1-壬醇含量

较高,这些成分可能是构成该种苹果特色风味的物质。

表1 苹果中香气成分 GC-MS 分析结果

Table 1 GC-MS results of aroma components of apples

香气成分	保留时间	相对含量/%					
		烟富三	丹霞	斗南	甘红	华帅	极早熟富士
L-丙氨酸乙基酰胺	2.00	0.17 ±0.02	0.26±0.32	n.d.	n.d.	0.98 ±0.56	0.30 ±0.06
乙醛	2.24	0.11 ±0.11	0.99±0.07	n.d.	n.d.	0.91 ±0.04	n.d.
丁酸乙酯	7.12	n.d.	3.43±0.07	1.37 ±0.54	0.33 ±0.03	0.64 ±0.05	0.35 ±0.03
乙酸丁酯	7.89	3.67 ±0.88	5.85±0.18	5.29 ±0.48	6.43 ±0.42	9.15 ±0.56	11.74 ±0.57
己醛	8.12	4.99 ±0.9	5.17±1.10	6.21 ±1.00	2.58 ±0.06	5.96 ±0.15	7.36 ±0.50
2-甲基丁基乙酸酯	8.89	8.04 ±1.35	2.03±0.11	1.10 ±0.10	10.4 ±0.97	12.58 ±2.33	11.94 ±1.38
丙酸丁酯	9.31	n.d.	0.17±0.03	0.74 ±0.08	0.66 ±0.02	n.d.	0.94 ±0.37
1-丁醇	10.19	2.09±0.76	8.21±2.00	2.65±0.09	6.36 ±1.29	6.74 ±1.42	4.34 ±0.35
丁酸丁酯	11.00	n.d.	1.15±0.10	1.77±0.34	1.53 ±0.18	1.74 ±0.09	0.98 ±0.18
2-甲基丁酸丁酯	11.25	0.48±0.13	0.35±0.03	0.02±0.00	0.33 ±0.03	0.58 ±0.13	0.76 ±0.29
己酸乙酯	11.31	1.47±0.45	0.84±0.04	n.d.	0.73 ±0.01	1.24 ±0.34	0.96 ±0.28
2-己烯醛	11.50	34.19±3.13	19.43±1.06	27.88 ±1.12	19.30 ±0.86	14.26 ±1.21	24.16 ±2.31
乙酸己酯	12.33	3.58 ±0.5	3.49±0.47	5.11 ±0.48	3.46 ±0.42	5.10 ±0.55	6.14 ±1.70
辛醛	12.78	0.47 ±0.17	0.41±0.12	2.61 ±0.25	0.85 ±1.04	0.40 ±0.16	0.21 ±0.07
己酸丙酯	13.28	0.06 ±0.01	0.35 ±0.02	n.d.	0.24 ±0.01	0.78 ±0.05	0.46 ±0.02
庚酸乙酯	13.57	0.51 ±0.05	0.29 ±0.01	0.32 ±0.05	0.21 ±0.06	0.34 ±0.05	0.30 ±0.08
2-己烯醇	13.69	1.07±0.14	n.d.	2.44 ±0.53	n.d.	n.d.	0.77 ±0.09
6-甲基-5-庚烯-2-酮	13.93	0.04±0.01	0.07±0.01	0.19 ±0.05	0.04 ±0.00	n.d.	0.06 ±0.04
1-己醇	14.34	3.90±0.15	7.25±1.67	5.82 ±0.37	4.65 ±1.17	5.21 ±1.86	7.10 ±0.51
壬醛	14.91	0.33±0.06	1.09±0.24	1.12 ±0.17	0.65 ±0.14	0.96 ±0.01	0.71 ±0.14
己酸丁酯	15.15	4.29 ±0.76	4.72 ±0.43	3.27 ±0.30	2.53 ±0.11	6.35 ±0.10	6.88 ±0.46
丁酸己酯	15.22	0.59±0.04	2.59±0.18	3.24 ±0.48	6.38 ±1.86	4.89 ±0.62	1.80 ±0.31
2-己烯-1-醇乙酸酯	15.35	1.13±0.27	0.65±0.01	1.92 ±0.12	0.89 ±0.30	0.53 ±0.10	0.41 ±0.03
2-甲基丁酸己酯	15.44	4.07±2.96	3.05±0.20	0.49 ±0.04	10.20 ±1.97	4.60 ±0.07	1.29 ±0.11
辛酸乙酯	15.63	0.31 ±0.03	0.15±0.01	0.15 ±0.01	0.05 ±0.00	0.12 ±0.02	0.14 ±0.08
乙酸	16.36	0.83±0.18	n.d.	1.74 ±0.98	0.47 ±0.11	n.d.	n.d.
十五烷	16.39	n.d.	0.16±0.03	n.d.	0.25 ±0.05	0.15 ±0.04	0.11 ±0.01
2-乙基己醇	16.98	n.d.	0.06±0.03	n.d.	0.07 ±0.02	0.04 ±0.01	0.02 ±0.00
1-辛醇	17.15	0.17±0.03	0.34±0.10	1.46 ±0.43	0.25 ±0.01	0.34 ±0.05	0.23 ±0.01
十六烷	17.60	0.48±0.1	0.28±0.07	0.12 ±0.09	0.10 ±0.03	0.06 ±0.02	0.06 ±0.02
2-壬烯醛	18.10	n.d.	0.49±0.06	0.39 ±0.15	0.28 ±0.02	0.45 ±0.07	0.23 ±0.08
1-辛醇	18.42	n.d.	0.38±0.09	0.30 ±0.07	0.25 ±0.06	0.31 ±0.05	0.10 ±0.03
2,6,10-三甲基十五烷	18.91	0.14±0.01	0.11 ±0.03	0.12 ±0.09	0.08 ±0.06	0.08 ±0.01	0.07 ±0.02
己酸己酯	19.36	2.81±1.98	1.95 ±0.09	2.76 ±0.34	4.48 ±1.91	1.57 ±0.17	1.03 ±0.09
2,6,10,14-四甲基十五烷	19.78	0.28±0.12	0.17±0.02	0.19 ±0.05	0.15 ±0.17	0.17 ±0.07	0.09 ±0.02
2-癸烯醛	20.34	1.12 ±0.19	1.49 ±0.07	1.28 ±0.28	0.74 ±0.09	1.32 ±0.13	0.66 ±0.16
1-壬醇	20.50	0.14 ±0.02	1.24±1.68	0.21 ±0.04	0.24 ±0.10	0.21 ±0.01	0.06 ±0.02
十七烷	20.66	0.38 ±0.05	0.16±0.01	0.24 ±0.07	0.27 ±0.07	0.15 ±0.04	0.22 ±0.04
对-烯丙基苯甲醚	20.88	0.25±0.02	2.19±0.40	1.56 ±0.44	2.16 ±0.06	1.69 ±0.32	0.26 ±0.06

转下页

接上页

$\alpha$ -法尼烯	22.10	15.28 $\pm$ 1.51	12.41 $\pm$ 2.64	12.98 $\pm$ 1.48	9.97 $\pm$ 1.01	2.85 $\pm$ 0.41	4.76 $\pm$ 1.00
2-十一烯醛	22.53	0.85 $\pm$ 0.06	0.95 $\pm$ 0.21	1.13 $\pm$ 0.23	0.56 $\pm$ 0.03	0.24 $\pm$ 0.07	0.33 $\pm$ 0.15
十八烷	22.85	n.d.	0.56 $\pm$ 0.26	0.08 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.02	0.13 $\pm$ 0.02	0.08 $\pm$ 0.03
辛酸己酯	23.37	0.24 $\pm$ 0.04	0.04 $\pm$ 0.00	0.31 $\pm$ 0.03	0.34 $\pm$ 0.09	n.d.	n.d.
2,4-癸二烯醛	23.79	n.d.	0.32 $\pm$ 0.10	n.d.	n.d.	0.16 $\pm$ 0.04	0.06 $\pm$ 0.05
1-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯	24.08	n.d.	0.56 $\pm$ 0.18	0.40 $\pm$ 0.16	n.d.	0.24 $\pm$ 0.02	0.34 $\pm$ 0.06
6,10-二甲基-5,9-二烯-2-十一碳酮	24.44	0.18 $\pm$ 0.02	n.d.	0.37 $\pm$ 0.09	0.26 $\pm$ 0.06	n.d.	0.18 $\pm$ 0.07
1-十二醇	26.40	n.d.	1.19 $\pm$ 0.30	n.d.	1.08 $\pm$ 0.23	2.06 $\pm$ 0.18	0.87 $\pm$ 0.08
肉豆蔻酸异丙酯	27.52	n.d.	0.04 $\pm$ 0.00	0.05 $\pm$ 0.02	n.d.	0.04 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.03
聚 N-丙基-2-羟基-1-氧代六氢-1-氮杂环	28.62	0.09 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.03	n.d.	0.06 $\pm$ 0.03	0.07 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.01
2-羟基十四烷酸	29.28	n.d.	0.19 $\pm$ 0.01	0.17 $\pm$ 0.10	0.15 $\pm$ 0.06	1.01 $\pm$ 0.19	n.d.
壬酸	30.02	0.45 $\pm$ 0.03	n.d.	n.d.	0.22 $\pm$ 0.08	n.d.	0.12 $\pm$ 0.04
2-羟基癸酸	30.04	0.03 $\pm$ 0.00	0.24 $\pm$ 0.04	0.18 $\pm$ 0.02	n.d.	0.07 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.00
2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-苯酚	30.17	0.11 $\pm$ 0.01	1.56 $\pm$ 0.16	0.18 $\pm$ 0.04	0.25 $\pm$ 0.05	0.26 $\pm$ 0.04	0.11 $\pm$ 0.01
苯甲酸-2-乙基己酯	30.29	0.12 $\pm$ 0.04	0.06 $\pm$ 0.02	n.d.	n.d.	0.22 $\pm$ 0.07	0.08 $\pm$ 0.03
十六烷酸甲酯	30.67	0.04 $\pm$ 0	0.03 $\pm$ 0.01	n.d.	n.d.	0.06 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01
邻苯二甲酸二甲酯	32.47	0.37 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.02	0.15 $\pm$ 0.01	0.51 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.09
4-(2-丙烯基)-苯酚	32.84	n.d.	0.60 $\pm$ 0.17	0.15 $\pm$ 0.06	0.22 $\pm$ 0.05	1.00 $\pm$ 0.28	0.27 $\pm$ 0.11
邻苯二甲酸二乙酯	33.63	0.08 $\pm$ 0.03	0.09 $\pm$ 0.01	n.d.	0.09 $\pm$ 0.00	0.39 $\pm$ 0.32	0.13 $\pm$ 0.07
1,3-二甲苯基-15-冠-[4, 2,3]-庚烷	34.90	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.12 $\pm$ 0.08	0.14 $\pm$ 0.18
香气成分	保留时间	相对含量/%					
		凉香	皮诺娃	烟富一	阳光	最良短富	
L-丙氨酸乙基酰胺	2.00	0.24 $\pm$ 0.08	0.12 $\pm$ 0.02	n.d.	n.d.	0.09 $\pm$ 0.01	
乙醛	2.24	0.29 $\pm$ 0.05	0.02 $\pm$ 0.00	2.43 $\pm$ 1.86	1.35 $\pm$ 0.07	0.45 $\pm$ 0.16	
丁酸乙酯	7.12	0.51 $\pm$ 0.14	n.d.	0.57 $\pm$ 0.05	0.36 $\pm$ 0.12	n.d.	
乙酸丁酯	7.89	11.42 $\pm$ 0.61	11.85 $\pm$ 0.05	6.73 $\pm$ 0.30	11.7 $\pm$ 0.87	4.16 $\pm$ 0.30	
己醛	8.12	3.58 $\pm$ 0.97	6.21 $\pm$ 0.58	4.56 $\pm$ 0.79	3.30 $\pm$ 0.74	5.14 $\pm$ 1.29	
2-甲基丁基乙酸酯	8.89	11.42 $\pm$ 1.41	2.45 $\pm$ 0.12	8.00 $\pm$ 0.55	3.62 $\pm$ 0.22	7.68 $\pm$ 0.68	
丙酸丁酯	9.31	0.74 $\pm$ 0.35	n.d.	n.d.	0.92 $\pm$ 0.96	0.25 $\pm$ 0.05	
1-丁醇	10.19	2.33 $\pm$ 0.92	3.11 $\pm$ 0.29	3.34 $\pm$ 0.29	3.27 $\pm$ 0.45	1.52 $\pm$ 0.25	
丁酸丁酯	11.00	1.26 $\pm$ 0.26	n.d.	1.28 $\pm$ 0.40	0.86 $\pm$ 0.11	0.84 $\pm$ 0.03	
2-甲基丁酸丁酯	11.25	0.67 $\pm$ 0.06	0.39 $\pm$ 0.01	0.25 $\pm$ 0.02	n.d.	0.37 $\pm$ 0.07	
己酸乙酯	11.31	0.80 $\pm$ 0.09	n.d.	2.10 $\pm$ 1.60	n.d.	0.37 $\pm$ 0.09	
2-己烯醛	11.50	14.88 $\pm$ 0.65	25.11 $\pm$ 0.95	23.52 $\pm$ 1.08	19.78 $\pm$ 1.18	40.34 $\pm$ 1.42	
乙酸己酯	12.33	4.58 $\pm$ 0.59	4.55 $\pm$ 0.17	5.78 $\pm$ 0.41	3.43 $\pm$ 0.62	5.46 $\pm$ 0.28	
辛醛	12.78	0.28 $\pm$ 0.16	n.d.	0.73 $\pm$ 0.18	0.36 $\pm$ 0.02	0.50 $\pm$ 0.08	
己酸丙酯	13.28	0.50 $\pm$ 0.10	n.d.	n.d.	0.16 $\pm$ 0.02	n.d.	
庚酸乙酯	13.57	0.26 $\pm$ 0.01	n.d.	1.14 $\pm$ 0.19	0.25 $\pm$ 0.01	0.23 $\pm$ 0.05	
2-己烯醇	13.69	n.d.	0.79 $\pm$ 0.23	5.35 $\pm$ 1.03	1.38 $\pm$ 0.10	0.98 $\pm$ 0.11	

转下页

接上页

6-甲基-5-庚烯-2-酮	13.93	0.07 ± 0.02	0.11 ± 0.01	n.d.	0.08 ± 0.04	0.04 ± 0.01
1-乙醇	14.34	6.31 ± 0.23	7.16 ± 0.46	6.89 ± 0.26	8.14 ± 0.07	4.06 ± 0.07
壬醛	14.91	0.57 ± 0.13	0.75 ± 0.11	1.75 ± 0.58	0.88 ± 0.03	1.66 ± 0.15
己酸丁酯	15.15	3.94 ± 0.68	7.25 ± 0.09	6.40 ± 1.14	4.30 ± 0.42	4.11 ± 0.29
丁酸己酯	15.22	3.35 ± 1.61	2.89 ± 1.20	1.35 ± 0.08	1.51 ± 0.29	1.38 ± 0.17
2-己烯-1-醇乙酸酯	15.35	1.72 ± 0.36	1.61 ± 0.02	0.82 ± 0.09	1.43 ± 0.13	1.01 ± 0.06
2-甲基丁酸己酯	15.44	5.8 ± 0.24	5.62 ± 0.17	0.94 ± 0.10	1.45 ± 0.18	2.64 ± 0.17
辛酸乙酯	15.63	0.17 ± 0.02	0.08 ± 0.00	0.35 ± 0.05	0.26 ± 0.37	0.15 ± 0.02
乙酸	16.36	0.42 ± 0.20	0.45 ± 0.03	n.d.	3.36 ± 0.35	0.60 ± 0.10
十五烷	16.39	0.25 ± 0.01	n.d.	n.d.	0.35 ± 0.05	0.25 ± 0.04
2-乙基己醇	16.98	n.d.	n.d.	n.d.	0.11 ± 0.00	n.d.
1-辛硫醇	17.15	n.d.	n.d.	0.49 ± 0.03	0.64 ± 0.06	n.d.
十六烷	17.60	0.17 ± 0.06	0.09 ± 0.01	0.40 ± 0.02	0.13 ± 0.06	0.08 ± 0.05
2-壬烯醛	18.10	0.28 ± 0.06	n.d.	0.50 ± 0.05	0.66 ± 0.03	0.60 ± 0.07
1-辛醇	18.42	0.16 ± 0.01	0.54 ± 0.06	0.37 ± 0.03	0.33 ± 0.01	0.26 ± 0.02
2,6,10-三甲基十五烷	18.91	0.11 ± 0.01	n.d.	0.12 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.21 ± 0.04
己酸己酯	19.36	3.69 ± 0.52	3.78 ± 0.05	0.64 ± 0.00	4.44 ± 0.87	0.79 ± 0.60
2,6,10,14-四甲基十五烷	19.78	0.18 ± 0.02	0.11 ± 0.04	0.28 ± 0.03	0.35 ± 0.05	0.23 ± 0.01
2-癸烯醛	20.34	0.58 ± 0.09	0.45 ± 0.05	1.62 ± 0.03	1.28 ± 0.07	1.70 ± 0.33
1-壬醇	20.50	0.16 ± 0.04	0.09 ± 0.00	0.26 ± 0.06	0.26 ± 0.01	0.16 ± 0.01
十七烷	20.66	0.62 ± 0.13	0.1 ± 0.03	0.13 ± 0.04	0.28 ± 0.10	0.29 ± 0.03
对-烯丙基苯甲醚	20.88	n.d.	1.01 ± 0.13	0.40 ± 0.07	1.75 ± 0.26	0.80 ± 0.07
α-法尼烯	22.10	13.96 ± 1.10	11.63 ± 1.02	3.67 ± 0.37	6.72 ± 0.90	7.16 ± 0.56
2-十一烯醛	22.53	0.36 ± 0.04	0.23 ± 0.06	2.01 ± 2.23	1.08 ± 0.26	1.40 ± 0.15
十八烷	22.85	0.17 ± 0.02	n.d.	n.d.	0.26 ± 0.06	n.d.
辛酸己酯	23.37	0.71 ± 0.11	0.22 ± 0.01	n.d.	1.32 ± 0.17	0.13 ± 0.07
2,4-癸二烯醛	23.79	0.06 ± 0.01	n.d.	0.07 ± 0.04	0.13 ± 0.03	0.10 ± 0.01
1-甲氧基-4-(1-丙烯基)苯	24.08	n.d.	n.d.	0.30 ± 0.01	0.79 ± 0.16	n.d.
6,10-二甲基-5,9-二烯-2-十一碳酮	24.44	0.08 ± 0.02	0.13 ± 0.02	0.33 ± 0.08	0.40 ± 0.09	0.29 ± 0.03
1-十二醇	26.40	1.94 ± 0.43	n.d.	3.22 ± 0.63	2.55 ± 0.62	1.39 ± 0.12
肉豆蔻酸异丙酯	27.52	0.03 ± 0.02	n.d.	n.d.	n.d.	0.08 ± 0.03
聚 N-丙基-2-羟基-1-氧代六氢-1-氮杂环	28.62	0.11 ± 0.03	n.d.	n.d.	n.d.	0.09 ± 0.01
2-羟基十四烷酸	29.28	0.21 ± 0.22	n.d.	n.d.	0.55 ± 0.13	n.d.
壬酸	30.02	0.30 ± 0.13	n.d.	0.17 ± 0.07	0.43 ± 0.15	0.37 ± 0.13
2-羟基癸酸	30.04	n.d.	n.d.	0.16 ± 0.07	n.d.	n.d.
2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-苯酚	30.17	n.d.	0.34 ± 0.02	0.21 ± 0.02	0.69 ± 0.24	n.d.
苯甲酸-2-乙基己基酯	30.29	n.d.	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01	n.d.	n.d.
十六烷酸甲酯	30.67	0.06 ± 0.01	n.d.	n.d.	0.66 ± 0.09	0.06 ± 0.00
邻苯二甲酸二甲酯	32.47	0.46 ± 0.30	n.d.	0.14 ± 0.01	0.25 ± 0.12	0.16 ± 0.05
4-(2-丙烯基)-苯酚	32.84	n.d.	0.59 ± 0.12	0.16 ± 0.04	0.64 ± 0.35	n.d.
邻苯二甲酸二乙酯	33.63	0.27 ± 0.17	0.10 ± 0.01	n.d.	0.78 ± 0.12	n.d.
1,3-二甲苯基-15-冠-[4, 2,3]-庚烷	34.90	0.01 ± 0.01	n.d.	0.88 ± 0.06	0.31 ± 0.44	n.d.

注: n.d.表示未检测到该种物质。

表 2 苹果中香气成分种类相对含量

Table 2 Relative contents of different types of aroma components in apples

苹果种类	相对含量/%					
	醛类	酯类	萜烯类	醇类	酚类	含氮化合物
烟富三	42.07 ±4.38	31.29 ±5.62	15.28 ±1.51	7.37 ±0.64	0.11 ±0.01	0.26 ±0.02
丹霞	30.35 ±1.49	31.16 ±1.03	12.41 ±2.64	18.66 ±4.04	2.16 ±0.33	0.28 ±0.35
斗南	40.61 ±2.43	27.70 ±1.64	12.98 ±1.48	12.87 ±1.38	0.34 ±0.09	n.d.
甘红	24.96 ±1.14	47.19 ±2.44	9.97 ±1.01	12.90 ±2.77	0.47 ±0.01	0.06 ±0.03
华帅	24.66 ±1.52	50.30 ±2.96	2.85 ±0.41	14.89 ±3.43	1.26 ±0.31	1.04 ±0.58
极早熟富士	33.72 ±2.26	45.27 ±0.90	4.76 ±1.00	13.49 ±0.80	0.29 ±0.16	0.34 ±0.07
凉香	25.89 ±0.89	45.82 ±1.87	13.96 ±1.10	10.90 ±0.85	n.d.	0.35 ±0.10
皮诺娃	32.76 ±1.57	40.69 ±1.76	11.63 ±1.02	11.69 ±0.83	0.93 ±0.14	0.12 ±0.02
烟富一	37.20 ±0.35	36.34 ±2.05	3.67 ±0.37	19.92 ±1.54	0.37 ±0.06	n.d.
阳光	28.82 ±1.98	36.68 ±2.34	6.72 ±0.90	16.69 ±1.18	1.33 ±0.59	n.d.
最良短富	51.89 ±1.49	29.10 ±0.88	7.16 ±0.56	8.36 ±0.28	n.d.	0.19 ±0.03

苹果种类	相对含量/%				
	酸类	酮类	烷烃	杂环	其他
烟富三	1.31 ±0.21	0.21 ±0.03	1.27 ±0.05	n.d.	0.37 ±0.05
丹霞	0.42 ±0.03	0.07 ±0.01	1.44 ±0.33	n.d.	2.82 ±0.45
斗南	2.09 ±0.99	0.56 ±0.14	0.75 ±0.26	n.d.	1.96 ±0.58
甘红	0.85 ±0.25	0.31 ±0.06	0.90 ±0.36	n.d.	2.16 ±0.06
华帅	1.08 ±0.20	n.d.	0.74 ±0.17	0.12 ±0.08	2.16 ±0.27
极早熟富士	0.25 ±0.17	0.24 ±0.11	0.61 ±0.05	0.10 ±0.15	0.69 ±0.15
凉香	0.75 ±0.23	0.15 ±0.02	1.44 ±0.30	0.01 ±0.01	n.d.
皮诺娃	0.45 ±0.03	0.24 ±0.03	0.30 ±0.08	n.d.	1.09 ±0.14
烟富一	0.35 ±0.14	0.33 ±0.08	0.88 ±0.06	0.02 ±0.01	0.79 ±0.08
阳光	4.31 ±0.45	0.40 ±0.09	1.48 ±0.37	n.d.	2.54 ±0.41
最良短富	0.97 ±0.05	0.33 ±0.05	1.04 ±0.11	n.d.	0.80 ±0.07

注: n.d.表示未检测到该类物质。

### 2.3 主成分分析与聚类分析

对不同品种苹果中各类香气成分进行主成分分析, 结果如表 3, 表 4 所示。从表 3 可知, 前三个主成分的累积方差贡献率达到了 72.979%, 可以解释 11 个变量中的大部分信息。从表可知, 第一主成分 PC1 解释了总变异信息的 33.907%, 主要综合了含氮化合物、酮类、杂环类和酯类物质的信息, 其中酮类在第一主成分上呈正向分布, 含氮化合物、杂环类和酯类呈负向分布, 因酯类物质在这几种物质中含量较高, 因此将 PC1 称为“酯类因子”; 第二主成分 PC2 解释了总变异信息的 21.407%, 主要综合了酚类、醇类和其他物质的信息, 三者第二主成分上均呈正向分布,

因醇类物质在这几种物质中含量较高, 因此将 PC2 称为“醇类因子”; 第三主成分 PC3 解释了总变异信息的 17.666%, 主要综合了烷烃类、醛类和萜烯类物质的信息, 其中烷烃类和萜烯类在第三主成分上呈正向分布, 醛类呈负向分布, 因醛类物质在这几种物质中含量较高, 因此将 PC3 称为“醛类因子”。主成分一和主成分二的载荷图如图 3 所示, 如图可直观看出各苹果种类和 PC1 与 PC2 关系: 华帅、极早熟富士、凉香都落在 PC1 负向区间, 因为酯类物质在 PC1 上呈负向分布, 表明这几种苹果酯类物质含量较高; 丹霞、阳光、华帅、烟富一都落在 PC2 正向区间, 因为醇类物质在 PC2 上呈正向分布, 表明这几种苹果醇类物质含量较高。

表3 主成分分析解释总差异

Table 3 Total variance explained of principal component analysis

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.730	33.907	33.907
2	2.355	21.407	55.313
3	1.943	17.666	72.979
4	1.106	10.051	83.031
5	0.951	8.641	91.671
6	0.541	4.921	96.592
7	0.160	1.453	98.046
8	0.159	1.441	99.487
9	0.050	0.455	99.942
10	0.006	0.058	100.000
11	1.06E-16	9.66E-16	100.000

建立前三个主成分的线性回归方程:

$$PC1 = -0.4498 \times Zscore(\text{含氮}) + 0.4065 \times Zscore(\text{酮}) - 0.4216 \times Zscore(\text{杂环}) - 0.3735 \times Zscore(\text{酯}) - 0.0110 \times Zscore(\text{酚}) + 0.3564 \times Zscore(\text{苯}) - 0.0088 \times Zscore(\text{醇}) + 0.1193 \times Zscore(\text{烷烃}) + 0.2628 \times Zscore(\text{醛}) + 0.2013 \times Zscore(\text{萜烯}) + 0.2532 \times Zscore(\text{酸})$$

$$PC2 = 0.0716 \times Zscore(\text{含氮}) - 0.1691 \times Zscore(\text{酮}) + 0.0585 \times Zscore(\text{杂环}) - 0.0120 \times Zscore(\text{酯}) + 0.5860 \times Zscore(\text{酚}) + 0.4001 \times Zscore(\text{苯}) + 0.5360 \times Zscore(\text{醇}) + 0.2$$

表4 主成分载荷矩阵与特征向量

Table 4 Loading matrix and eigenvectors of principal components

香气成分	主成分 1		主成分 2		主成分 3	
	载荷	特征向量	载荷	特征向量	载荷	特征向量
Zscore(含氮)	-0.8686	-0.4498	0.1099	0.0716	-0.0457	-0.0328
Zscore(酮)	0.7851	0.4065	-0.2595	-0.1691	-0.2258	-0.1620
Zscore(杂环)	-0.8143	-0.4216	0.0898	0.0585	-0.4396	-0.3154
Zscore(酯)	-0.7214	-0.3735	-0.0185	-0.0120	0.4963	0.3560
Zscore(酚)	-0.0213	-0.0110	0.8992	0.5860	-0.0635	-0.0456
Zscore(其他)	0.6883	0.3564	0.6140	0.4001	-0.0072	-0.0052
Zscore(醇)	-0.0171	-0.0088	0.8225	0.5360	-0.2890	-0.2073
Zscore(烷烃)	0.2305	0.1193	0.3571	0.2327	0.6384	0.4579
Zscore(醛)	0.5076	0.2628	-0.3299	-0.2150	-0.6630	-0.4756
Zscore(萜烯)	0.3887	0.2013	-0.2594	-0.1691	0.7112	0.5102
Zscore(酸)	0.4890	0.2532	0.3183	0.2074	0.1008	0.0723

将前三个主成分的方差贡献率作为权重系数  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$  建立评价模型,  $S = \alpha_1 \times PC1 + \alpha_2 \times PC2 + \alpha_3 \times PC3$  计算不同品种苹果的综合得分, 结果如表 5 所示。由表 5 可知, 综合得分前两名为阳光和丹霞, 位于载荷图第一象限之间。综合得分第 3 至第 8 名位于载荷图第一、三象限交界处与第四象限之间。综合得分第 9 与最后一名为凉香和极早熟富士, 位于第三象限。综合

$$327 \times Zscore(\text{烷烃}) - 0.2150 \times Zscore(\text{醛}) - 0.1691 \times Zscore(\text{萜烯}) + 0.2074 \times Zscore(\text{酸})$$

$$PC3 = -0.0328 \times Zscore(\text{含氮}) - 0.1620 \times Zscore(\text{酮}) + 0.3154 \times Zscore(\text{杂环}) + 0.3560 \times Zscore(\text{酯}) - 0.0456 \times Zscore(\text{酚}) - 0.0052 \times Zscore(\text{苯}) - 0.2073 \times Zscore(\text{醇}) + 0.4579 \times Zscore(\text{烷烃}) - 0.4756 \times Zscore(\text{醛}) + 0.5102 \times Zscore(\text{萜烯}) + 0.0723 \times Zscore(\text{酸})$$

式中 Zscore 均为经过标准化后的数值。

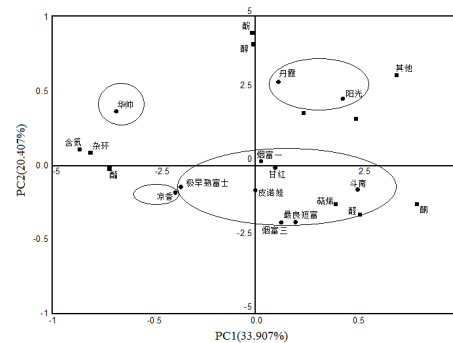


图3 主成分载荷图

Fig.3 Plot of principal component analysis

注: 图中“圆点”和“方块”分别代表苹果种类及香气成分种类在第一、第二主成分上的投影(“圆点”参照主坐标轴, 位于图内部, 量程为[-5,5]; “方块”参照次坐标轴, 位于图外部, 量程为[-1,1])

得分第 10 名为华帅, 位于第二象限。综合得分排名先后反映出不同品种苹果间主要香气成分的差异大小。

使用 SPSS Statistics 17.0 分析软件, 聚类方法为组间联接, 度量标准为平方欧氏距离, 进行个案系统聚类分析, 结果如图 4 所示。由图 4 可知, 当类间距离为 15 时, 将 11 种苹果分为四类。第一类聚集了 7 个品种, 即烟富三, 斗南, 甘红, 极早熟富士, 皮诺娃,



烟富一, 最良短富。该类品种各类物质的含量均处于中间水平, 无明显差异。第二类聚集了 2 个品种, 即丹霞, 阳光。该类品种醇类、酚类、烷烃、其他化合物含量较高, 其中醇类物质含量较高, 这与主成分分析中 PC2 分析的结果一致。凉香和华帅分别自为一类, 其中华帅酯类、含氮化合物、杂环化合物含量最高, 醛类和萜烯类含量最低, 未检测到酮类物质, 而凉香萜烯类、酯类含量都较高, 醛类、醇类、酮类和其他物质含量都较低, 未检测到酚类物质。这两种苹果中的酯类物质含量较高, 这与主成分分析中 PC1 分析结果一致。

表 5 不同种类苹果的综合得分和排名

Table 5 Comprehensive scores and ranks of different cultivars of apple

品种	综合得分	排名
阳光	1.263	1
丹霞	0.901	2
斗南	0.567	3
甘红	0.257	4
烟富三	-0.035	5
烟富一	-0.192	6
皮诺娃	-0.240	7
最良短富	-0.243	8
凉香	-0.284	9
华帅	-0.958	10
极早熟富士	-1.037	11

经过主成分分析与聚类分析, 丹霞、阳光、凉香、华帅苹果与其他苹果品种相比, 香型特点更为突出, 与传统优质品种富士相比, 更具特点, 为以后苹果品质育种的亲本选择提供依据。

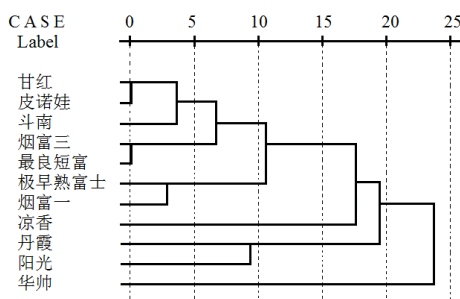


图 4 不同品种苹果的聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of different cultivars of apple

### 3 结论

3.1 通过 HS-SPME 结合 GC-MS 对 11 种烟台中、晚熟苹果的香气成分进行提取与分析, 共检出 59 种香气

成分, 其中酯类 21 种, 醛类 9 种, 醇类 8 种, 酮类 2 种, 萜烯类 1 种, 酸类 4 种, 酚类 2 种, 烷烃类 6 种, 含氮化合物 2 种, 杂环类 1 种, 其他物质 3 种。59 种物质中有 21 种物质为所有苹果香气成分所共有的。不同品种苹果间主要香气成分均为酯类、醛类和醇类, 以乙酸、丁酸、己酸的酯类化合物 (乙酸丁酯、2-甲基丁基乙酸酯、乙酸己酯、丁酸乙酯、丁酸丁酯、丁酸己酯、2-甲基丁酸己酯、己酸乙酯、己酸丁酯、己酸己酯)、己醛 (包括 2-己烯醛) 与一些高级醇 (1-丁醇、1-己醇、1-十二醇) 为主。

3.2 对不同品种苹果中各类香气成分进行主成分分析与聚类分析, 主成分分析结果表明综合得分前两名位于载荷图第一象限之间; 综合得分第 3 至第 8 名位于载荷图第一、三象限交界处与第四象限之间; 综合得分第 9 与最后一名位于第三象限; 综合得分第 10 名, 位于第二象限。聚类分析结果表明当类间距为 15 时, 将 11 种苹果分为四类。第一类聚集了 7 个品种, 即烟富三, 斗南, 甘红, 极早熟富士, 皮诺娃, 烟富一, 最良短富; 第二类聚集了 2 个品种, 即丹霞, 阳光; 第三和第四类分别为凉香和华帅。经过两种分析方法有效结合, 筛选得到的丹霞、阳光、凉香、华帅四种苹果香型特点更为突出, 使烟台苹果优质品种更为丰富, 为今后品质育种亲本选择提供依据。

### 参考文献

[1] Iglesias I, Echeverría G, Lopez M L. Fruit color development, anthocyanin content, standard quality, volatile compound emissions and consumer acceptability of several 'Fuji' apple strains [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 137: 138-147

[2] Nardini G S, Merib J O, Dias A N, et al. Determination of volatile profile of citrus fruit by HS-SPME/GC-MS with oxidized NiTi fibers using two temperatures in the same extraction procedure [J]. Microchemical Journal, 2013, 109: 128-133

[3] 何义, 李成, 许宝峰, 等. 产地对富士苹果香气成分的影响[J]. 食品研究与开发, 2014, 06: 90-92

HE Yi, LI Cheng, XU Bao-feng, et al. Effects of Producing Area on Aromatic Components of Fuji Apple [J]. Food Research And Development, 2014, 06: 90-92

[4] 王海波, 李林光, 陈学森, 等. 中早熟苹果品种果实的风味物质和风味品质[J]. 中国农业科学, 2010, 11: 2300-2306

WANG Hai-bo, LI Lin-guang, CHEN Xue-sen, et al. Flavor Compounds and Flavor Quality of Fruits of Mid-Season Apple Cultivars [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 11: 2300-2306

- [5] 许宝峰,李成,孙建设.低温贮藏和成熟度对王林苹果香气成分的影响[J].食品研究与开发,2014,13:130-133  
XU Bao-feng, LI Cheng, SUN Jian-she. Effect of Refrigeration and Maturity on Aroma Components of Orin Apple [J]. Food Research And Development, 2014, 13: 130-133
- [6] Kader A A. Flavor quality of fruits and vegetables[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(11): 1863-1868
- [7] Both V, Brackmann A, Thewes F R, et al. Effect of storage under extremely low oxygen on the volatile composition of 'Royal Gala' apples [J]. Food chemistry, 2014, 156: 50-57
- [8] Seppä L, Peltoniemi A, Tahvonon R, et al. Flavour and texture changes in apple cultivars during storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 54(2): 500-512
- [9] 何聪聪,苏柯冉,苏杭,等.SPME 和 P&T 对西瓜汁香气成分萃取条件优化及二者的比较分析[J].食品工业科技,2014, 19:194-198  
HE Cong-cong, SU Ke-ran, SU Hang, et al. Optimization and Comparison of SPME and P&T in Extraction Effect on Watermelon Juice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 19: 194-198
- [10] Fellman J K, Miller T W, Mattinson D S, et al. Factors that influence biosynthesis of volatile flavor compounds in apple fruits [J]. HortScience, 2000, 35(6): 1026-1033
- [11] Echeverria G, Graell J, López M L, et al. Volatile production, quality and aroma-related enzyme activities during maturation of 'Fuji' apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 31(3): 217-227
- [12] Balázs A, Tóth M, Blazics B, et al. Investigation of dietary important components in selected red fleshed apples by GC-MS and LC-MS [J]. Fitoterapia, 2012, 83(8): 1356-1363
- [13] 赵胜亭,齐伟,林建材.烟台富士苹果芳香物质的主成分分析[J].山东农业科学,2013,01:63-66  
ZHAO Sheng-ting, QI Wei, LIN Jian-cai. Principal Component Analysis on Aromatic Substance of Fuji Apple from Yantai [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2013, 01: 63-66
- [14] 张倩,贝峰,杜海云,等.气相色谱-质谱法测定套塑膜袋苹果中的邻苯二甲酸酯类化合物[J].南方农业学报,2014,1: 104-107  
ZHANG Qian, BEI Feng, DU Haiyun, et al. Determination of PAEs in apple bagged with plastic film bag by GC-MS [J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 1: 104-107