曾硕, 郭新宇, 牛东升, 等. 四种酵母发酵不同品种猕猴桃果酒的挥发性风味成分分析 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(1): 357−370. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020043
ZENG Shuo, GUO Xinyu, NIU Dongsheng, et al. Analysis of Volatile Flavor Compounds in Kiwi Fruit Wines from Different Varieties Fermented with Four Yeasts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(1): 357−370. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020043

· 分析检测 ·

四种酵母发酵不同品种猕猴桃果酒的挥发性风味成分分析

曾　硕[1], 郭新宇[2], 牛东升[1], 李　峰[1,*]
（1.新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052;
2.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100）

摘　要: 为探讨不同酵母菌株对猕猴桃果酒挥发性风味的影响，筛选适合的产香酵母菌株与猕猴桃品种组合。本研究选用四种酿酒酵母 ADT、CECA、VIC 和 BV818，分别对徐香、海沃德、华优、金艳和红阳五种猕猴桃进行发酵，采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用（SPME-GC-MS）分析其挥发性成分。结果表明，挥发性化合物主要为醇类、酯类物质。主成分分析和热图显示，正己酸乙酯、辛酸乙酯、苯乙醇、丁酸乙酯和辛酸是影响果酒香气特征的主要挥发性化合物。此外，在 93 种香气活力值（OAV）大于 1 的化合物中，丁酸乙酯和正己酸乙酯被确认为所有猕猴桃果酒中共有的主要风味贡献成分。四种酵母菌株发酵的猕猴桃果酒中共检测出 126 种挥发性成分，包括 21 种醇类、53 种酯类、14 种酸类、19 种醛酮类及 19 种其它类化合物，其中，CECA 酵母发酵的海沃德猕猴桃酯香型果酒的挥发性物质含量最高（874.36 μg/L），香气得分最高。电子鼻测试进一步证实，CECA 酵母发酵的海沃德猕猴桃果酒中，醇类和酯类挥发性化合物的风味强度表现尤为突出。研究结果揭示了丁酸乙酯和正己酸乙酯是猕猴桃果酒中的关键挥发性成分。酵母 CECA 发酵的海沃德猕猴桃果酒富含醇类和酯类挥发物，酸类与醛酮类物质平衡且香气宜人。研究结果为猕猴桃果酒风味品质的提升提供了理论依据与数据支撑。

关键词: 猕猴桃果酒, 酿酒酵母, 固相微萃取-气相色谱-质谱联用, 风味组学, 香气活力值
中图分类号: TS262.7　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1002−0306(2026)01−0357−14
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020043　　本文网刊:

Analysis of Volatile Flavor Compounds in Kiwi Fruit Wines from Different Varieties Fermented with Four Yeasts

ZENG Shuo[1], GUO Xinyu[2], NIU Dongsheng[1], LI Feng[1,*]
（1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;
2.College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China）

Abstract: In order to investigate the influence of various yeast strains on the volatile flavor profile of kiwifruit wines, this study aimed to identify suitable aroma-producing yeasts and optimal kiwifruit cultivars. Four enological yeast strains (ADT, CECA, VIC, and BV818) were employed to ferment wines produced from five kiwifruit varieties (Xu Xiang, Hayward, Hua You, Jin Yan, and Hong Yang). The volatile compounds were analyzed using solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). The results revealed that alcohols and esters were the predominant volatile compounds. Both principal component analysis and heat map visualization indicated that ethyl n-hexanoate, ethyl caprylate, phenylethanol, ethyl butyrate, and caprylic acid were the primary compounds influencing the aroma profiles of the wines. Among the 93 compounds with an odor activity value (OAV) greater than 1, ethyl butyrate and ethyl caproate were identified as the key flavor contributors common to all samples. Overall, 126 volatile compounds were

收稿日期: 2025−02−12
基金项目: 23 年天池英才引进计划-青年博士（2223RSTTCYC）。
作者简介: 曾硕（2002−）, 男, 大学本科, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 13375333642@163.com。
*** 通信作者:** 李峰（1990−）, 女, 博士, 讲师, 研究方向: 食品功能化加工工程技术, E-mail: 18089209017@163.com。

detected in the wines fermented by the four yeast strains, comprising 21 alcohols, 53 esters, 14 acids, 19 aldehydes and ketones, and 19 other compounds. Notably, the CECA yeast-fermented Hayward kiwifruit wine exhibited the highest concentration of volatiles (874.36 μg/L) and achieved the top aroma score. Electronic nose tests further confirmed that the flavor intensity attributed to alcohols and esters was particularly pronounced in this wine. These findings underscore that ethyl butyrate and ethyl caproate are critical volatile components in kiwifruit wines, and that the CECA yeast-fermented Hayward wine—characterized by a rich profile of alcohols and esters, balanced by acids and aldehydes/ketones—offers a particularly pleasant aroma. This study provides a theoretical foundation and empirical data to support efforts aimed at enhancing the flavor quality of kiwifruit wines.

Key words: kiwifruit wine; wine yeast; solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry; flavoromics; odor activity value

猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch),又称奇异果,属于猕猴桃科(Actinidiaceae)猕猴桃属(*Actinidia*),是一种多年生落叶藤本植物[1]。猕猴桃含有 20 多种必需营养素和一系列维生素,是维生素 C 含量最丰富的水果之一[2]。根据联合国粮食及农业组织(FAO)2022 年的统计数据,全球猕猴桃产量已达到 440 万吨,其中中国的猕猴桃挂果量及总产量稳居全球首位[3]。然而,猕猴桃是一种呼吸跃变型水果,在采摘后迅速发生组织软化,运输贮藏过程中容易发生水分流失现象,这会造成猕猴桃发生收缩、代谢变化、重量减少等,影响猕猴桃的品质[4]。果酒作为水果深加工常用手段,因此,猕猴桃经常被酿造成风味独特、果香与酒香兼具、且营养丰富的果酒[5]。但由于缺乏专用酿酒酵母和猕猴桃品种,现有的猕猴桃果酒香气成分不足、层次单一、不稳定,猕猴桃果酒香气不足限制了产品品质提升、市场竞争力增强和产业规模化发展[6]。

香气风味是果酒感官品质的重要因素,主要来自醛类、酯类、醇类和萜类等化学成分[7]。猕猴桃酒的香气变化可分为三个阶段:猕猴桃自身挥发性物质、发酵过程中香气的生成以及陈酿阶段的香气演变[8]。因此,猕猴桃品种和酵母的选择对酒体挥发性物质至关重要。近年来,猕猴桃酒体挥发性物质的分析研究逐渐增多。例如 Li 等[9]研究发现,依次接种酿酒酵母 *Saccharomyces cerevisiae*(Sc)与 *Wickeramomyces anomala*(Wa)、*Zygosaccharomyces rouxii*(Zr)、*Zygosaccharomyces bailii*(Zb)和粟酒裂殖酵母 *Schizosaccharomyces pombe*(Sp)可显著影响猕猴桃酒的香气特性。Zr-Sc 和 Sp-Sc 组合与猕猴桃酒中较高水平的乙酯(如己酸乙酯、庚酸乙酯、癸酸乙酯)、乙酸异戊酯和 2-苯基-1-乙醇相关,从而增强了花香和甜味。此外,Zr-Sc 组合还增强了热带果香。而 Zb 的序贯接种则与乙酸酯、丁酸乙酯、丁酸甲酯和桉树脑的含量相关,产生了热带果香,不同酵母组合酿造的果酒香气表现出明显差异。Zhang 等[10]通过核磁共振氢谱和多元分析,对绿色、黄色和红色猕猴桃的发酵风味和代谢特征进行综合评价,发现海沃德猕猴桃酒具有最突出的花香、果香和宜人香气,东红猕猴桃酒则表现出甘甜、饱满、平衡的口感,代谢组学分析表征了 106 种化合物,主成分分析(PCA)和偏最小二乘判别分析(PLS-DA)有效地区分了三种猕猴桃的香气和口感特征,表明不同品种对酒体风味有显著影响。目前,大多数猕猴桃果酒仍依赖于酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)进行发酵,Zhang 等[11]在先前的研究中证实了安琪酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae* RW)具有优良的发酵特性。周艳等[12]综述了许多安琪酿酒酵母菌株相较于其他商业酵母,展现出更高的发酵活性、强大的适应能力、卓越的酒精转化能力以及显著的香气生成能力等诸多优势,但关于安琪酿酒酵母(ADT、CECA、VIC、BV818)在猕猴桃发酵中的应用研究较为有限。此外,关于发酵过程中猕猴桃与酵母之间的双向适应性和兼容性的研究也相对匮乏[13]。因此,筛选出合适的酵母菌株和猕猴桃品种,对于提升猕猴桃果酒的香气品质至关重要。

本研究选用 ADT、CECA、VIC、BV818 四种酿酒酵母及徐香、海沃德、华优、金艳、红阳五种猕猴桃进行发酵实验,利用 SPME-GC-MS 分析不同酵母菌种的猕猴桃果酒挥发性香气成分的影响,以期为提升猕猴桃果酒风味品质提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

徐香、海沃德、华优、金艳、红阳 5 个品种猕猴桃,选择鲜果完整,无虫害、无破损的试用　采摘于陕西省眉县与周至县;酵母 ADT、CECA、VIC、BV818(*Saccharomyces cerevisiae*)　安琪酵母股份有限公司;2-辛醇　色谱级,购于中国索莱宝公司;氯化钠　分析纯,购于中国北京索莱宝公司;超纯水　由实验室自制。

GCMS-QP2010 Ultra 气相色谱质谱联用仪　日本岛津公司;气相色谱柱(DB-1MS 毛细管柱,60 mm×0.25 mm×0.25 μm)　美国安捷伦科技有限公司;PEN3 型便携式电子鼻　德国 AIRSENSE 公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头(SAAB-57329U)　美国 Supelco 公司;JYZ-E3 九阳原汁机　九阳股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 猕猴桃果酒发酵工艺　本研究所采用的实验

参数主要参考了曾硕等[3]的研究工作，该研究对不同品种猕猴桃酿造发酵酒的工艺进行了质量评估和优化，作为本实验工艺流程的参考依据。挑选刚好成熟变软、无病虫害、无腐烂、无机械损伤的猕猴桃果实（可溶性固形物含量 12~18ºBrix），除去表面杂物，用清水漂洗干净，沥干后备用。

猕猴桃原汁制备：将预处理的猕猴桃果实进行破碎打浆，同时添加 50 mg/L SO_2 进行护色，打浆机自动分离出猕猴桃浆与皮渣，将榨取后的猕猴桃浆用尼龙纱布多次过滤得到澄清的猕猴桃原汁，待用。

调整糖度：用糖度计测量原汁可溶性固形物含量（SSC），添加白砂糖调整 SSC 至 20ºBrix。将得到的不同品种的猕猴桃原汁以每份 2 L 为标准分为四份，分别转移至 2.5 L 的玻璃发酵罐中，等待加入酵母发酵。

酵母接种：分别称取 0.4 g 的 ADT、CECA、VIC、BV818 酵母，将其缓慢倒入 30 mL 装有 10% 糖水（35~40 ℃）的锥形瓶中，于 37 ℃ 水浴中静置 15~20 min，进行酵母活化，并分别加入到各罐原汁中，搅拌均匀。注意酵母液与猕猴桃原汁之间的温差应低于 10 ℃。

发酵管理：用两层扎有小孔的保鲜膜封口发酵罐，并套上八层无菌纱布。将发酵罐置于 20 ℃ 培养箱中发酵。

取样处理：每 24 h 取样，测定可溶性固形物含量。当可溶性固形物含量达到稳定时，判断发酵基本结束，进行离心过滤（8000 r/min、4 ℃ 条件下离心 10 min）。过滤后的发酵液倒罐后放入 4 ℃ 的培养箱中贮存。为了避免发酵过程中的偶然性影响，以上每组实验重复三次。

1.2.2　挥发性成分的提取　吸取 8 mL 猕猴桃原汁样装入 20 mL 固相微萃取专用瓶中，依次加入 1.5 g 氯化钠和 10.0 μL（终浓度为 62.4 μg/L）内标 2-辛醇，用 PTFE-silicon 隔膜加盖密封。将萃取头进行老化处理，即将其插入 250 ℃ 的 GC 进样口老化 30 min。将待测样品放置在进样板上，萃取温度 45 ℃，萃取 60 min。吸附结束后，萃取头自动插入 GC-MS 进样口，在 230 ℃ 下解析 2 min[14]，进行 GC-MS 三次平行检测分析。

1.2.3　GC-MS 条件　初始柱温为 40 ℃，进样口温度为 230 ℃。升温程序：起始温度为 40 ℃，保持 3 min，以 3 ℃/min 的速率升至 110 ℃，再以 4 ℃/min 的速率升至 120 ℃，然后以 6 ℃/min 的速率升至 210 ℃，保持 9 min，最后以 25 ℃/min 的速率升至 240 ℃，保持 3 min。载气为 He，流速为 1.0 mL/min，不分流进样。质谱条件：电离方式为 EI 源，电子能量 70 eV；离子源温度为 230 ℃；质量扫描范围为 m/z 35~500 amu[15]。

1.2.4　定性方法　将未知化合物经计算机检索同时与 NIST library（107k compounds）和 Wileylibrary（320k compounds, version 6.0）相匹配，进行定性分析并保留相似度大于 85 的结果。

1.2.5　定量方法　参考 Yang 等[16]方法，以 2-辛醇为内标，用内标法对猕猴桃果酒中常见的代表性酸类、醇类、酯类、醛酮类等物质进行半定量计算，将各挥发性化合物和内标物的峰面积进行对比，得出挥发性物质的含量，计算公式见式（1），OAV 计算方法见式（2）。

$$\text{各组分含量}(\mu g/L) = \frac{\text{各组分峰面积} \times \text{内标物质量浓度}}{\text{内标物峰面积}} \quad \text{式（1）}$$

$$\text{OAV} = \frac{\text{挥发性成分的质量浓度}(\mu g/L)}{\text{香气阈值}(mg/m^3)} \quad \text{式（2）}$$

1.2.6　电子鼻分析　该传感器阵列由 10 种化学传感器组成：W1C（芳香成分苯类），W5S（氮氧化合物型），W3C（芳香型），W6S（氢化物型），W5C（芳香-烷基型），W1S（甲基类），W1W（硫-有机型），W2S（醇类、醛酮类），W2W（硫-无机型）和 W3S（长链烷烃型）。测试开始时，传感器随时间波动，约在 110 s 后趋于平稳。样品被稀释 1∶40，然后取 10 mL 加入 20 mL 的试管中，随后用塑料膜密封。参考检测时间为 120 s，清洗时间为 80 s，预注入时间为 5 s，注入流量为 400 mL/min，载气（洁净空气）流量为 400 mL/min[17]。

1.2.7　感官描述分析　根据国标《GB/T 15038-2006

表 1　猕猴桃果酒香气评价标准

Table 1　Aroma evaluation standards for kiwi fruit wine

指标	特征描述	分值（分）
醇香（20分）	醇香弱或带有刺激性酒精味	0~4
	醇香适中，带有如香蕉香的异戊醇或酒香	5~9
	醇香明显，带有香蕉、酒香、蜂蜜香等	10~14
	醇香浓郁，带有丰富的香蕉香（异戊醇）、蜂蜜香等	15~20
酯香（20分）	酯香缺乏或单一	0~4
	酯香轻微，带有菠萝、苹果香（如乙酸乙酯）	5~9
	酯香明显，呈现成熟果香（如乙酸异戊酯、辛酸乙酯）	10~14
	酯香浓郁且层次丰富，带有热带水果、花卉香气	15~20
果香（20分）	果香缺乏或极弱	0~4
	果香适中，可能有青苹果、柑橘香（如乙酸乙酯）	5~9
	果香明显，带有草莓、桃子等成熟水果香	10~14
	果香浓郁，带有热带水果、浆果香（如乙酸异戊酯、辛酸乙酯）	15~20
青草香（20分）	青草香气几乎没有	0~4
	青草香气轻微，不突出	5~9
	青草香气明显，带有清新的青草气息（己醛）	10~14
	青草香气浓郁且持久，增添酒的清新感	15~20
其他香（20分）	香气缺乏或微弱，发酵异味重	0~4
	香气轻微，带有香草、坚果、奶油（如脂肪酸乙酯）	5~9
	香气明显，带有香料、坚果、奶油（如脂肪酸乙酯、苯甲酸乙酯）	10~14
	香气浓郁复杂，呈现香草、坚果、香料、奶油等	15~20

葡萄酒、果酒通用分析方法》[18]、Lan 等[19] 方法制定感官评分标准(表 1)。评价小组由 10 名专业评鉴人员组成,实验在 20 ℃ 恒温且通风的房间内进行,每位成员禁止交流,确保评价结果的独立性。风味评分采用 0~20 分制,每位评价员独立评分,最终得分取所有成员的平均分。

1.3 数据处理

采用 Excel 2018、Mintab 18 对数据进行处理、分析,利用 Origin 2021 软件绘制堆积柱状图、聚类热图及雷达图,MetaboAnalyst 6.0(https://new.metaboanalyst.ca/MetaboAnalyst/ModuleView.xhtml)进行 PCA 和 OPLS-DA 置信检验图分析,每组实验重复三次,显著性水平 $P<0.05$。

2 结果与分析

2.1 不同酒样挥发性物质种类分析

由图 1 可知,徐香猕猴桃经过酵母发酵后,酵母 ADT 发酵的果酒种类最多,共有 60 种,其次是酵母 VIC(58 种)、酵母 CECA(55 种)和酵母 BV818(49 种);海沃德猕猴桃通过酵母发酵后,酵母 ADT 发酵的果酒种类最多,达到 60 种,其次是酵母 CECA(56 种),酵母 BV818 和 VIC 发酵的种类数均为 54 种;华优猕猴桃经过酵母发酵后,酵母 VIC 发酵的果酒种类数达到了 60 种,其次是酵母 BV818,产生了 52 种挥发性种类;金艳猕猴桃发酵后的果酒中,酵母 CECA 发酵的果酒种类数最多,为 52 种,其次是酵母 ADT 与 VIC,达到 47 种;红阳猕猴桃经过四种酵母发酵后,酵母 CECA 和酵母 ADT 发酵的果酒中,挥发性物质的种类均为 53 种。此外,海沃德猕猴桃果酒中共有 35 种共有挥发性化合物,包括 9 种醇类和 21 种酯类物质,是所有品种中共有化合物最多的。徐香猕猴桃果酒中共有 34 种共有挥发性化合物,其中包括 9 种醇类和 19 种酯类物质。金艳猕猴桃果酒含有 29 种共有挥发性化合物,包括 6 种醇类和 18 种酯类物质。华优猕猴桃果酒中有 28 种共有挥发性化合物,包含 8 种醇类和 16 种酯类物质。红阳猕猴桃果酒中共有 27 种挥发性化合物,其中醇类物质 11 种,酯类物质 14 种,是所有品种中共有化合物最少的,但醇类物质含量最丰富。

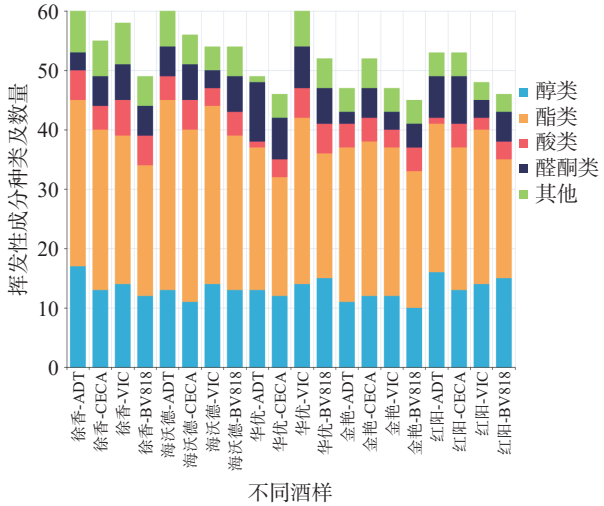


图 1 不同酒样挥发性成分种类及数量

Fig.1 Types and quantities of volatile compounds in different wine samples

综合来看,四种酵母在不同猕猴桃品种中均表现出高度多样化的挥发性化合物,表明其具备较强的底物转化能力,能够在发酵过程中合成多种酯类等复杂香气成分,从而产生丰富风味,这与肖慧琳等[20]关于安琪酿酒酵母活性的研究结果一致。不同猕猴桃品种与酵母组合所产生的挥发性化合物谱具有明显差异,其中酯类占主导地位,其次是醇类,这与 Huang 等[21] 的发现相符。有研究表明,酵母在代谢过程中会分泌多种酶,参与糖类、脂肪酸及氨基酸等物质的转化,从而影响挥发性成分的生成[22]。同时,不同品种的猕猴桃富含的糖类、酸类和芳香前体各异,这些前体在发酵过程中被酵母转化为多样的挥发性成分。总体而言,猕猴桃果酒中挥发性化合物谱的差异主要源自酵母菌株的代谢特性与猕猴桃品种的理化特征。

2.2 不同酒样挥发性物质种类含量分析

根据表 2 可知,添加四种不同酵母发酵的徐香猕猴桃果酒中,挥发性化合物含量依次为:酵母 ADT(731.51 μg/L)、酵母 CECA(453.45 μg/L)、酵母 VIC(529.99 μg/L)、酵母 BV818(556.77 μg/L)。其中,酵母 ADT 发酵的果酒挥发性化合物含量最高,醇类和酯类分别为 324.75 μg/L 和 375.88 μg/L,占

表 2 不同酒样挥发性物质种类含量

Table 2 Content of volatile compounds in different wine samples

组合名称	含量(μg/L)					
	醇类	酯类	酸类	醛酮类	其他	总和
徐香-ADT	324.75	375.88	14.98	3.87	12.03	731.51
徐香-CECA	245.56	186.14	7.31	6.53	7.91	453.45
徐香-VIC	249.634	253.41	11.98	5.43	9.54	529.99
徐香-BV818	296.35	233.49	10.75	5.78	10.4	556.77
海沃德-ADT	259.1	328.57	12.83	6.69	17.39	624.58
海沃德-CECA	386.483	442.94	16.66	8.52	19.76	874.36
海沃德-VIC	349.78	367.09	9.05	10.38	22	758.3
海沃德-BV818	293.59	248.47	15.49	11.97	8.31	577.83
华优-ADT	214.93	183.83	1.21	7.08	3.38	410.43
华优-CECA	155.88	172.55	29.25	3.67	42.95	404.3
华优-VIC	164.97	230.78	7.5	3.7	21.77	428.72
华优-BV818	120.09	309.42	3.88	5.89	8.46	447.74
金艳-ADT	156.43	221.03	5.12	1.06	1.62	385.26
金艳-CECA	160.59	192.13	6.08	2.16	7.09	368.05
金艳-VIC	270.1	338.06	9.35	2.62	7.3	627.43
金艳-BV818	165.35	193.33	5.78	3.28	7.51	375.25
红阳-ADT	318.28	249.48	2.64	6.95	16.28	593.63
红阳-CECA	283.99	269.53	7.67	6.71	9.01	576.91
红阳-VIC	264.97	282.17	6.92	3.91	25.94	583.91
红阳-BV818	249.452	177.76	3.73	6.37	9.46	446.77

总含量的 44.39% 和 51.38%，在四种酵母中最丰富；而 CECA 酵母发酵的果酒醇类和酯类含量最低。

在四种酵母发酵的海沃德猕猴桃果酒中，挥发性化合物含量从高到低依次为：CECA（874.36 μg/L）、VIC（758.3 μg/L）、ADT（624.58 μg/L）、BV818（577.83 μg/L）。其中，CECA 酵母发酵的酒样醇类和酯类物质含量最高，分别为 386.48 μg/L 和 442.94 μg/L，占总含量的 44.20% 和 50.66%。

添加不同酵母发酵的华优猕猴桃果酒中，挥发性化合物含量依次为：酵母 ADT（410.43 μg/L）、酵母 VIC（428.72 μg/L）、酵母 CECA（404.3 μg/L）、酵母 BV818（447.74 μg/L）。其中，ADT 酵母发酵的果酒醇类物质含量最高，为 214.93 μg/L，BV818 酵母发酵的果酒酯类物质含量最高，为 309.42 μg/L，分别占总香气含量的 53.59% 和 69.11%。

在金艳猕猴桃果酒中，尽管 VIC 酵母发酵的酒挥发性成分种类并非最多，但其挥发性化合物含量最高，达到 627.43 μg/L，高于 ADT（385.26 μg/L）、CECA（368.05 μg/L）和 BV818（375.25 μg/L）。VIC 酵母发酵的果酒醇类和酯类物质含量也最高，分别为 270.1 μg/L 和 338.06 μg/L，占总挥发性化合物含量的 43.05% 和 53.88%。

红阳猕猴桃果酒中添加不同酵母的挥发性化合物含量依次为：酵母 ADT（593.63 μg/L）、酵母 VIC（583.91 μg/L）、酵母 CECA（576.91 μg/L）、酵母 BV818（446.77 μg/L）。其中，ADT 酵母发酵的酒挥发性成分含量最高，醇类物质含量为 318.28 μg/L，VIC 酵母发酵的酒酯类物质含量最高，为 282.17 μg/L，分别占总挥发性化合物的 53.62% 和 48.32%。

总体而言，不同酵母对不同猕猴桃品种的挥发性化合物含量产生了不同的影响。酵母 CECA 发酵的海沃德猕猴桃果酒挥发性浓度最高。王悦等[23] 研究了不同酵母（CECA、F15、EC1118、71B、2323）对黑果腺肋花楸复合果酒的发酵效果，同样发现 CECA 酵母发酵的果酒在其中一组原料组合 B 中挥发性成分的浓度最高。酵母 ADT、BV818、VIC 和 CECA 在不同猕猴桃品种的果酒发酵过程中，各自展现出不同的香气成分生成模式，因此酵母的选择对果酒的香气质量和风味特征具有重要的调控作用。

2.3　不同酒样挥发性成分比较分析

醇类物质是果酒酿造过程中酵母代谢产生的次级产物，也是挥发性香气非常重要的组成部分，主要由酵母在酒精发酵过程中利用葡萄糖、糖苷等前体物质或者氨基酸代谢产生，如亮氨酸、异亮氨酸生成异戊醇、2-甲基-1-丁醇等[24]。醇类物质的种类及含量在酒样挥发性成分占比均较大，对酒的总体香气形成往往发挥重要作用，极有可能构成特征香气成分。

由表 3 可知，2-甲基-1-丁醇、异戊醇和苯乙醇是徐香、海沃德及金艳猕猴桃果酒的主要醇类物质，它们均具有特殊的果香和酒香[25]，除 2-甲基-1-丁醇、异戊醇外，华优、红阳果酒中正己醇、桉叶油醇含量也较高；2-甲基-1-丁醇也叫活性戊醇，带有香蕉的香气和醇香[26]；苯乙醇作为一种莽草酸衍生物，主要由丙氨酸代谢产生的，香味独特，有柔和持久的玫瑰香、蔷薇香、蜂蜜香等多样风味，是果酒中主要的特征香气，对酒的整体感官质量具有一定的积极作用[27]；所有酒样中，CECA 发酵的海沃德果酒的 2-甲基-1-丁醇（238.50 μg/L）、苯乙醇（52.77 μg/L）含量均最高，说明该酒既具有醇香，又有浓郁的香蕉、玫瑰香、蔷薇香、蜂蜜香气[26]；异戊醇是酒中高级醇的主要成分，ADT 发酵的红阳酒中含量最高（156.80 μg/L），说明该酒具有麦芽、奶酪香等香味[28]。正己醇具有花香、青草气味，ADT 发酵的华优酒含量最高，为 32.15 μg/L；桉叶油醇是猕猴桃果实中独特的芳香物质，在 VIC 发酵的红阳果酒中含量最高，为 34.02 μg/L，除 VIC 酵母发酵的徐香猕猴桃果酒外，其余果酒均检测到；1-辛醇几乎存在于全部猕猴桃酒样中，呈现出水果香、柑橘香气和花香[29]；2,3-丁二醇是新生成的挥发性化合物，具有像黄油、奶油香气，只在 CECA、VIC 发酵的果酒中检测到[30]；香茅醇带有甜香、玫瑰香、柑橘香，在所有 CECA 酵母发酵的果酒中，香茅醇仅在华优猕猴桃酒中检出，其余果酒均未检测到[31]；除 BV818 酵母发酵的徐香和金艳猕猴桃果酒以及 VIC 酵母发酵的金艳果酒外，其余酒中均检测到庚醇，其具有水果香和青草香气[32]。乙醇浓度、发酵温度、pH、通气、固形物浓度等因素都会影响到最终高级醇的浓度，在适量范围内高级醇可以起到改善酒品质与香气的作用，但过量情况下会对猕猴桃酒香气质量呈负向贡献，还会对人体健康造成一定的影响[33]。

在猕猴桃果酒中的酯类物质主要来源于发酵过程中醇与酸的酯化反应，也有部分来源于果实本身，其赋予猕猴桃果实和果酒独特的香气，对果酒发酵总体香气的形成其重要作用[34]。

根据表 3，四种酵母发酵后，徐香、华优、金艳和红阳猕猴桃果酒中主要的酯类物质是辛酸乙酯、正己酸乙酯、乙酸异戊酯及乙酸乙酯，其含量在不同酵母及不同猕猴桃品种中的表现差异较大。辛酸乙酯是含量最高的酯类物质，具有杏子、花果的香气[35]，在徐香、金艳和红阳酒中含量均较高，尤其 ADT 发酵的徐香果酒辛酸乙酯含量最高，为 96.26 μg/L，其次是 VIC 发酵的海沃德酒为 95.53 μg/L。乙酸异戊酯是具有典型香蕉味道的酯[36]，正己酸乙酯在 ADT 发酵的徐香猕猴桃酒中含量最高，为 59.34 μg/L，能够赋予酒类似菠萝香蕉的香气[37]；具有水果清香和酒香的乙酸乙酯在 ADT 发酵的徐香酒中含量最高[38]，为 41.33 μg/L。海沃德猕猴桃酒中含量较高的酯类物质是苯甲酸甲酯，尤其在添加 CECA 酵母的酒中含量最高，达到 118.50 μg/L，赋予酒茑苣、西瓜、紫罗兰和花香[39]，该物质在其余酒中含量较低，在红阳

表 3 不同酒样香气成分分析

Table 3 Aroma component analysis of different wine samples

序号	名称	含量(μg/L)																		
		徐香-ADT	徐香-CECA	徐香-VIC	徐香-BV818	海沃德-ADT	海沃德-CECA	海沃德-VIC	海沃德-BV818	华优-ADT	华优-CECA	华优-VIC	华优-BV818	金艳-ADT	金艳-CECA	金艳-VIC	金艳-BV818	红阳-ADT	红阳-CECA	红阳-VIC	红阳-BV818
	醇类																				
1	异丁醇	39.5±4.8^{b}	29.5±3.1^{f}	0.72±0.10^{m}	27.9±2.4^{g}	25.66±4.00^{j}	40.27±4.89^{a}	31.51±3.56^{e}	23.5±3.3^{k}	–	–	–	22.29±2.11^{l}	26.74±3.47^{h}	–	39.04±4.05^{c}	–	25.92±3.81^{i}	37.74±4.71^{d}	–	–
2	正丁醇	1.00±0.09^{h}	0.93±0.08^{i}	0.92±0.07^{i}	1.14±0.10^{g}	1.53±0.12^{d}	2.48±0.20^{a}	2.09±0.17^{b}	2.03±0.18^{c}	0.69±0.06^{l}	0.69±0.06^{l}	0.61±0.05^{m}	0.76±0.07^{k}	0.46±0.04^{o}	0.68±0.06^{l}	0.76±0.07^{k}	0.57±0.05^{n}	1.23±0.11^{f}	1.32±0.12^{e}	0.88±0.08^{j}	0.86±0.08^{j}
3	1-戊烯-3-醇	–	–	0.2±0.2^{a}	–	–	–	0.2±0.12^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	异戊醇	–	–	136.1±11.5^{bc}	138.4±12.0^{bc}	115.0±9.8^{d}	–	144.0±12.2^{b}	133.8±11.3^{c}	117.4±9.9^{d}	–	82.49±6.9^{g}	–	101.3±8.6^{e}	98.42±8.5^{e}	130.0±10.9^{c}	90.19±7.6^{f}	156.8±13.1^{a}	135.1±11.4^{c}	111.3±9.4^{d}	114.7±9.8^{d}
5	2-甲基-1-丁醇	211.3±19.0^{b}	164.5±14.8^{c}	49.43±4.3^{g}	48.25±4.1^{gh}	38.55±3.4^{k}	238.5±21.2^{a}	59.16±5.1^{e}	41.04±3.5^{j}	43.82±3.8^{j}	123.1±10.6^{d}	29.31±2.5^{o}	34.18±3.0^{lm}	–	32.22±2.8^{n}	52.21±4.6^{f}	32.94±2.9^{mn}	48.06±4.2^{hi}	42.50±3.7^{j}	47.30±4.1^{i}	35.08±3.1^{i}
6	2,3-丁二醇	–	4.15±0.37^{h}	5.88±0.51^{g}	–	–	3.23±0.28^{i}	8.41±0.73^{d}	–	–	10.37±0.89^{c}	6.02±0.52^{f}	12.32±1.04^{b}	–	0.79±0.07^{j}	–	–	7.88±0.68^{e}	3.25±0.29^{i}	20.71±1.79^{a}	–
7	(2R,3R)-(-)-2,3-丁二醇	1.41±0.11^{jk}	1.42±0.12^{hi}	2.28±0.19^{hi}	18.07±1.58^{a}	0.65±0.06^{kl}	0.46±0.04^{l}	1.87±0.16^{ij}	8.21±0.73^{e}	14.14±1.25^{c}	2.98±0.26^{h}	1.32±0.11^{jk}	4.04±0.35^{g}	0.90±0.08^{kl}	0.74±0.06^{kl}	2.81±0.25^{h}	10.04±0.89^{d}	1.86±0.17^{ij}	1.45±0.13^{jk}	6.47±0.57^{f}	15.85±1.40^{b}
8	4-甲基-1-戊醇	0.16±0.02^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.34±0.03^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–
9	叶醇	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.14±0.10^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	反-3-己烯醇	1.95±0.17^{cd}	2.02±0.18^{c}	1.58±0.14^{e}	1.68±0.15^{de}	1.51±0.13^{e}	4.71±0.42^{a}	–	0.23±0.02^{g}	2.02±0.18^{c}	2.41±0.21^{b}	–	2.01±0.18^{c}	–	1.57±0.14^{e}	–	0.76±0.07^{f}	2.06±0.18^{c}	1.98±0.18^{cd}	0.93±0.08^{f}	1.53±0.14^{e}
11	正己醇	19.58±1.76^{f}	8.46±0.76^{i}	17.92±1.61^{fg}	23.1±2.08^{de}	13.02±1.17^{h}	12.74±1.15^{h}	13.89±1.25^{h}	20.16±1.81^{ef}	32.15±2.89^{a}	–	29.1±2.62a^{b}	29.6±2.66^{ab}	12.67±1.14^{h}	7.74±0.70^{i}	15.62±1.41^{gh}	15.42±1.39^{gh}	24.49±2.20^{cd}	15.83±1.42^{gh}	26.57±2.39^{bc}	28.23±2.54^{b}
12	3-甲硫基丙醇	3.74±0.34^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
13	庚醇	1.05±0.09^{c}	0.53±0.05^{ef}	0.71±0.06^{de}	–	2.00±0.18^{a}	0.81±0.07^{d}	1.56±0.14^{b}	2.09±0.19^{a}	0.80±0.07^{d}	0.88±0.08^{cd}	1.50±0.13^{b}	0.86±0.08^{cd}	0.53±0.05^{ef}	0.40±0.04^{f}	–	–	2.13±0.19^{a}	0.79±0.07^{d}	1.43±0.13^{b}	2.05±0.18^{a}
14	桉叶油醇	3.38±0.30^{d}	1.59±0.14^{d}	–	3.72±0.33^{d}	26.87±2.42^{bc}	29.21±2.63^{b}	34.02±3.06^{a}	24.98±2.25^{c}	0.80±0.07^{d}	0.88±0.08^{d}	1.50±0.13^{d}	0.86±0.08^{d}	1.51±0.13d	1.47±0.13^{d}	2.13±0.19^{d}	1.38±0.12^{d}	26.87±2.42^{bc}	29.21±2.63^{b}	34.02±3.06^{a}	24.98±2.25^{c}
15	1-辛醇	1.58±0.14^{a}	1.15±0.10^{bcd}	1.09±0.10^{cd}	1.17±0.10^{bcd}	0.79±0.07^{fg}	1.303±0.12^{b}	0.99±0.09^{de}	0.62±0.06^{gh}	1.29±0.11^{b}	1.26±0.11^{bc}	1.28±0.11^{b}	1.05±0.09^{de}	1.13±0.10^{bcd}	1.05±0.09^{de}	1.58±0.14^{a}	–	0.71±0.06^{gh}	0.66±0.06^{gh}	0.89±0.08^{ef}	0.59±0.05^{h}
16	苯乙醇	38.5±3.47^{b}	29.93±2.69^{d}	31.39±2.83^{cd}	31.62±2.85cd	32.66±2.94^{cd}	52.77±4.75^{a}	51.08±4.60^{a}	35.75±3.22^{bc}	–	12.38±1.11^{hi}	9.65±0.87^{i}	10.65±0.96^{hi}	10.53±0.95^{hi}	14.56±1.31^{gh}	24.29±2.19^{e}	13.05±1.17^{hi}	17.81±1.60^{fg}	13.48±1.21^{ghi}	12.75±1.15^{hi}	21.14±1.90^{ef}
17	1-壬醇	–	0.45±0.04^{d}	–	–	–	–	–	–	0.67±0.06^{b}	–	–	0.50±0.04^{cd}	–	0.95±0.09^{a}	0.86±0.08^{a}	0.66±0.06^{b}	–	–	–	0.58±0.05^{bc}
18	月桂醇	1.12±0.10^{a}	0.93±0.08^{b}	0.93±0.08^{b}	0.75±0.07c	0.43±0.04^{e}	–	0.50±0.04^{de}	0.59±0.05^{d}	0.31±0.03^{f}	0.41±0.04^{ef}	–	–	–	–	–	–	0.81±0.07^{c}	–	0.56±0.05^{d}	0.50±0.04^{de}
19	香茅醇	0.48±0.04^{cd}	–	0.48±0.04^{cd}	0.55±0.05^{bc}	0.43±0.04^{de}	–	0.50±0.04^{cd}	0.59±0.05^{b}	0.33±0.03^{fg}	0.29±0.03^{g}	0.48±0.04^{cd}	0.31±0.03^{g}	0.29±0.03^{g}	–	0.39±0.03^{ef}	0.34±0.03^{fg}	0.47±0.04^{d}	–	0.76±0.07^{a}	0.49±0.04^{cd}
20	1-戊醇	–	–	–	–	–	–	–	–	0.51±0.05^{c}	0.23±0.02^{e}	0.24±0.02^{e}	0.32±0.03^{de}	0.07±0.01^{f}	–	–	–	0.39±0.04^{d}	0.68±0.06^{b}	0.40±0.04^{d}	1.612±0.15^{a}
21	3-乙氧基丙醇	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.33±0.03^{d}	–	0.30±0.03^{d}	–	0.41±0.04^{c}	–	0.79±0.07^{b}	–	–	1.26±0.12^{a}
	酯类																				
22	乙酸乙酯	41.33±3.72^{a}	23.61±2.13^{e}	27.04±2.43^{de}	32.93±2.96^{bc}	–	–	–	–	32.62±2.94^{bc}	32.07±2.89^{bc}	24.38±2.19^{e}	–	30.14±2.71^{cd}	24.11±2.17^{e}	36.12±3.25^{b}	–	–	–	–	–
23	丙酸乙酯	–	0.12±0.01^{f}	–	–	0.15±0.01^{f}	0.27±0.02^{f}	–	0.27±0.02^{f}	1.29±0.12^{b}	0.88±0.08^{e}	1.45±0.13^{a}	1.14±0.10^{cd}	–	–	0.91±0.08^{e}	1.00±0.09^{de}	–	–	1.25±0.11^{bc}	–
24	硅烷二醇二甲酯	–	–	4.02±0.36^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	87.85±7.91^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–
25	丁酸甲酯	22.64±2.04^{a}	12.96±1.17^{b}	21.68±1.95^{a}	20.97±1.89^{a}	7.94±0.71^{c}	21.25±1.91^{a}	8.91±0.80^{c}	14.76±1.33^{b}	–	–	–	–	0.21±0.02^{d}	0.22±0.02^{d}	0.23±0.02^{d}	0.39±0.04^{d}	1.31±0.12^{d}	0.88±0.08^{d}	1.17±0.11^{d}	1.50±0.14^{d}
26	异丁酸乙酯	3.90±0.35^{a}	2.50±0.23^{efg}	2.11±0.19^{ghi}	–	3.13±0.28^{bc}	4.10±0.37^{a}	3.21±0.29^{b}	2.95±0.27^{bcd}	2.75±0.25^{cde}	1.35±0.12^{j}	0.80±0.07^{k}	–	2.28±0.21^{fgh}	2.05±0.18^{hi}	2.62±0.24^{def}	1.75±0.16^{i}	–	–	1.26±0.11^{j}	–
27	丁酸乙酯	21.02±1.89^{d}	10.86±0.98^{f}	15.27±1.37^{e}	17.15±1.54^{e}	25.55±2.30^{c}	47.87±4.31^{a}	27.20±2.45^{c}	30.31±2.73^{b}	3.33±0.30^{g}	3.78±0.34^{g}	2.90±0.26^{g}	3.05±0.27^{g}	3.54±0.32^{g}	2.26±0.20^{g}	3.86±0.35^{g}	2.42±0.22^{g}	2.04±0.18^{g}	2.44±0.22^{g}	2.10±0.19^{g}	1.56±0.14^{g}
28	乳酸乙酯	0.84±0.08^{abc}	0.93±0.08^{ab}	0.69±0.06^{def}	0.63±0.06^{d}	0.58±0.05^{c}	0.88±0.08^{abc}	0.80±0.07^{cd}	0.55±0.05^{gh}	0.77±0.07^{cde}	0.58±0.05^{fg}	0.26±0.02^{i}	0.66±0.06^{efg}	0.58±0.05^{fg}	0.61±0.05^{fg}	0.82±0.07^{bc}	0.45±0.04^{h}	0.95±0.09^{a}	0.93±0.08^{ab}	0.55±0.05^{gh}	0.87±0.08^{abc}
29	乙酸丁酯	0.35±0.03^{d}	0.22±0.02^{d}	0.30±0.03^{d}	0.25±0.02^{d}	–	2.79±0.25^{c}	0.26±0.02^{d}	0.24±0.02^{d}	–	–	–	–	5.00±0.45^{a}	3.12±0.28^{c}	–	–	–	3.62±0.33^{b}	–	–
30	异戊酸乙酯	0.93±0.08^{b}	1.81±0.16^{b}	–	1.86±0.17^{b}	1.55±0.14^{b}	–	1.70±0.15^{b}	1.68±0.15^{b}	–	28.05±2.52^{a}	–	–	0.81±0.07^{b}	–	1.03±0.09^{b}	0.60±0.05^{b}	0.72±0.06^{b}	1.23±0.11^{b}	–	–
31	乙酸异戊酯	58.17±5.14^{a}	32.21±2.83^{de}	37.43±3.29^{c}	26.07±2.30^{fg}	22.07±1.94^{gh}	23.14±2.04^{fgh}	20.41±1.80^{h}	13.51±1.20^{i}	34.96±3.08^{cd}	28.05±2.47^{ef}	21.49±1.89^{gh}	23.35±2.06^{fgh}	35.60±3.13^{cd}	27.34±2.41^{ef}	48.13±4.23^{b}	22.07±1.94^{gh}	27.21±2.39^{f}	32.22±2.83^{de}	33.30±2.93^{cd}	18.22±1.60^{h}
32	2-甲基丁基乙酸酯	18.17±1.60^{a}	10.08±0.89^{d}	11.64±1.02^{c}	5.37±0.47^{ghij}	6.15±0.54^{fghi}	6.69±0.59^{efg}	5.52±0.49^{fghij}	2.48±0.22^{l}	9.26±0.82^{ef}	6.61±0.58^{efgh}	4.02±0.35^{k}	5.25±0.46^{hijk}	7.60±0.67^{e}	6.10±0.54^{fghi}	13.31±1.17^{fghi}	4.23±0.37^{jk}	5.00±0.44^{ijk}	6.08±0.54^{fghi}	6.85±0.60^{ef}	–
33	戊酸乙酯	0.14±0.01^{cd}	0.06±0.005^{d}	0.13±0.01^{cd}	–	–	–	–	–	2.03±0.18^{a}	0.19±0.02^{bc}	0.14±0.01^{cd}	–	0.17±0.02^{bcd}	0.16±0.01^{cd}	–	0.28±0.02^{b}	–	–	–	–
34	丁酸异丁酯	0.59±0.05^{b}	0.28±0.02^{b}	0.25±0.02^{b}	0.21±0.02^{b}	0.72±0.06^{b}	1.14±0.10^{a}	0.59±0.05^{a}	0.33±0.03^{b}	0.09±0.008^{b}	–	0.19±0.02^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–
35	异丁酸异丁酯	–	0.10±0.009^{c}	–	–	0.15±0.01^{b}	–	–	–	2.09±0.18^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

续表 3

序号	名称	含量(μg/L)																			
		徐香-ADT	徐香-CECA	徐香-VIC	徐香-BV818	海沃德-ADT	海沃德-CECA	海沃德-VIC	海沃德-BV818	华优-ADT	华优-CECA	华优-VIC	华优-BV818	金艳-ADT	金艳-CECA	金艳-VIC	金艳-BV818	红阳-ADT	红阳-CECA	红阳-VIC	红阳-BV818
36	乙酸戊酯	0.21±0.02^{g}	–	–	–	–	–	–	–	4.54±0.40^{fg}	2.27±0.20^{g}	9.10±0.80^{f}	4.22±0.37^{fg}	38.49±3.39^{de}	33.89±2.98^{e}	60.76±5.35^{ab}	42.60±3.75^{d}	61.59±5.42^{ab}	56.79±5.00^{bc}	66.26±5.83^{a}	52.46±4.62^{c}
37	己酸甲酯	0.34±0.03^{i}	0.12±0.01^{i}	0.17±0.01^{i}	0.44±0.04^{hi}	0.43±0.04^{hi}	0.26±0.02^{i}	0.35±0.03^{i}	0.12±0.01^{i}	4.28±0.38^{f}	5.38±0.47^{d}	12.60±1.11^{a}	5.14±0.45^{de}	4.54±0.40^{ef}	2.27±0.20^{g}	9.10±0.80^{b}	4.22±0.37^{f}	1.12±0.10^{h}	8.15±0.72^{c}	4.82±0.42^{def}	1.99±0.18^{g}
38	3-羟基丁酸乙酯	–	–	–	0.09±0.008^{c}	0.62±0.05^{b}	0.87±0.08^{a}	0.88±0.08^{a}	0.87±0.08^{a}	–	–	0.84±0.07^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–
39	丁酸丁酯	–	–	–	–	–	0.32±0.03^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
40	正己酸乙酯	59.34±5.22^{a}	27.41±2.41^{hi}	37.81±3.33^{ef}	47.33±4.16^{bc}	44.32±3.90^{cd}	48.98±4.31^{bc}	52.34±4.61^{b}	27.34±2.41^{hi}	32.50±2.86^{fgh}	38.51±3.39^{def}	38.43±3.38^{def}	30.48±2.68^{gh}	30.08±2.65^{gh}	21.88±1.93^{i}	35.10±3.09^{efg}	27.02±2.38hi	37.89±3.33^{ef}	37.15±3.27^{ef}	39.25±3.45^{de}	29.72±2.62^{gh}
41	乙酸己酯	16.56±1.32^{a}	7.32±0.66^{f}	14.78±1.18^{b}	10.59±0.95^{d}	5.30±0.45^{gh}	4.08±0.37^{h}	4.75±0.41^{gh}	2.64±0.23^{i}	4.28±0.38^{gh}	5.38±0.48^{g}	12.60±1.13^{c}	5.14±0.46^{gh}	4.54±0.41^{gh}	2.27±0.20^{ij}	9.10±0.82^{e}	4.22±0.38^{gh}	1.12±0.10^{j}	8.15±0.73^{ef}	4.82±0.43^{gh}	1.99±0.18^{ij}
42	丁酸异戊酯	–	0.13±0.01^{e}	–	–	2.47±0.22^{a}	0.19±0.02^{c}	2.19±0.19^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.16±0.01^{e}	–	0.21±0.02^{c}	0.12±0.01^{c}
43	异丁酸异戊酯	2.09±0.17^{b}	–	–	–	0.36±0.03^{de}	3.61±0.32^{a}	2.19±0.19^{b}	1.04±0.09^{c}	–	–	–	–	0.28±0.02^{de}	0.23±0.02^{de}	0.42±0.04^{d}	0.22±0.02^{de}	–	–	0.12±0.01^{e}	–
44	苯甲酸甲酯	12.15±1.09^{d}	7.50±0.68^{def}	9.26±0.83^{def}	9.97±0.90^{de}	67.80±6.10^{c}	118.50±10.07^{a}	82.77±7.45^{b}	71.70±6.45^{c}	3.10±0.28^{ef}	–	–	–	0.95±0.08^{f}	1.05±0.09^{f}	1.05±0.09^{f}	–	–	–	–	–
45	庚酸乙酯	0.64±0.06^{c}	0.44±0.04^{fgh}	0.40±0.04^{fgh}	0.89±0.08^{a}	0.43±0.04^{fgh}	0.59±0.05^{cd}	0.44±0.04^{fgh}	0.24±0.02^{i}	0.37±0.03^{h}	0.62±0.06^{cd}	0.45±0.04^{fgh}	0.80±0.07^{b}	0.19±0.02^{ij}	0.16±0.01^{j}	0.38±0.03^{gh}	0.57±0.05^{cd}	0.54±0.05^{cd}	0.48±0.04^{ef}	0.46±0.04^{efg}	0.47±0.04^{ef}
46	辛酸甲酯	2.06±0.18^{g}	–	–	–	2.09±0.19^{g}	1.95±0.17^{g}	2.11±0.19^{g}	–	30.61±2.75^{f}	–	59.42±5.35^{ab}	35.75±3.22^{def}	38.49±3.46^{de}	33.89±3.05^{ef}	60.76±5.47^{ab}	42.60±3.83^{d}	61.59±5.54^{ab}	56.79±5.11^{bc}	66.26±5.96^{a}	52.46±4.72^{c}
47	己酸异丁酯	0.89±0.08^{a}	0.37±0.03^{de}	0.35±0.03^{ef}	0.33±0.03^{efg}	0.57±0.05^{b}	0.56±0.05^{b}	0.50±0.04^{c}	0.15±0.01^{k}	0.29±0.03^{fgh}	0.35±0.03^{ef}	0.16±0.01^{jk}	0.24±0.02^{hi}	0.28±0.02^{ghi}	0.23±0.02^{hi}	0.42±0.04^{d}	0.22±0.02^{ij}	0.22±0.02^{ij}	0.48±0.04^{c}	–	–
48	苯甲酸乙酯	–	1.21±0.11^{e}	–	–	31.52±2.83^{b}	50.41±4.54^{a}	35.59±3.20^{b}	25.39±2.28^{c}	–	–	–	–	–	8.80±0.79^{d}	12.63±1.14^{d}	11.55±1.04^{d}	–	–	–	–
49	辛酸乙酯	96.26±8.66^{a}	36.86±3.32^{e}	57.36±5.16^{c}	50.88±4.58^{cd}	91.41±8.23^{ab}	85.53±7.70^{b}	95.53±8.60^{a}	44.13±3.97^{d}	6.00±0.54^{j}	8.04±0.72^{ij}	16.01±1.44^{ghi}	6.96±0.63^{j}	–	8.80±0.79^{ij}	12.63±1.14^{hij}	11.55±1.04^{hij}	17.73±1.60^{ij}	24.42±2.20^{f}	22.91±2.06^{fg}	6.02±0.54^{j}
50	乙酸苯乙酯	2.25±0.20^{c}	3.57±0.32^{b}	4.08±0.37^{a}	1.32±0.12^{efgh}	1.15±0.10^{fgh}	3.24±0.29^{b}	2.68±0.24^{cd}	1.15±0.10^{fgh}	1.09±0.10^{fghi}	1.02±0.09^{fghi}	3.20±0.29^{b}	1.58±0.14^{def}	1.46±0.13^{ef}	1.26±0.11^{efgh}	1.38±0.12^{efg}	1.77±0.16^{cde}	0.55±0.05^{i}	0.57±0.05^{i}	0.78±0.07^{hi}	0.85±0.08^{ghi}
51	己酸异戊酯	1.86±0.15^{a}	0.68±0.05^{e}	0.94±0.08^{c}	0.51±0.04^{f}	0.88±0.07^{d}	1.16±0.09^{b}	1.19±0.10^{b}	0.23±0.02^{h}	–	–	0.30±0.02^{g}	–	–	–	–	–	0.97±0.08^{c}	0.21±0.02^{g}	–	–
52	2-甲基丙醇辛酸酯	0.99±0.08^{a}	0.32±0.03^{c}	–	–	0.38±0.03^{d}	–	0.77±0.06^{b}	–	–	–	0.77±0.06^{b}	–	–	–	–	–	–	0.55±0.04^{c}	0.31±0.02^{e}	–
53	3-苯丙酸乙酯	–	–	0.29±0.02^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
54	正辛酸异丁酯	–	–	0.46±0.04^{b}	0.34±0.03^{c}	–	0.77±0.06^{a}	–	0.31±0.02^{c}	–	–	–	–	–	0.77±0.06^{a}	–	–	0.30±0.02^{c}	–	–	0.21±0.02^{d}
55	癸酸乙酯	10.02±0.80^{b}	4.01±0.32^{n}	6.08±0.49^{k}	4.78±0.38^{l}	4.47±0.36^{m}	11.32±0.91^{f}	10.94±0.88^{g}	2.81±0.22^{o}	6.00±0.48^{k}	8.04±0.64^{i}	16.01±1.28^{c}	6.96±0.56^{j}	12.63±1.01^{d}	8.80±0.70^{i}	12.63±1.01^{d}	11.55±0.92^{e}	22.91±1.83^{b}	24.42±1.95^{a}	22.91±1.83^{b}	6.02±0.48^{k}
56	辛酸3-甲基丁酯	1.09±0.09^{a}	–	–	–	0.12±0.01^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
57	月桂酸乙酯	0.85±0.07^{i}	0.46±0.04^{jk}	0.65±0.05i^{j}	0.58±0.05^{j}	0.21±0.02^{l}	1.09±0.09^{jkl}	0.93±0.07^{g}	0.32±0.03^{kl}	1.09±0.09^{fg}	1.02±0.08^{g}	3.20±0.26^{a}	1.58±0.13^{cd}	1.46±0.12^{de}	1.26±0.10^{ef}	1.38±0.11^{de}	1.77±0.14^{c}	3.00±0.24^{a}	–	3.28±0.26^{a}	2.21±0.18^{b}
58	棕榈酸乙酯	0.20±0.02^{i}	–	0.22±0.02^{i}	–	0.23±0.02^{h}	0.45±0.04^{e}	0.40±0.03^{f}	–	0.22±0.02^{i}	0.25±0.02^{h}	0.25±0.02^{h}	0.22±0.02^{i}	0.26±0.02^{gh}	0.44±0.04^{e}	0.41±0.03^{ef}	0.28±0.02^{g}	0.62±0.05^{c}	0.72±0.06^{a}	0.68±0.05^{b}	0.55±0.04^{d}
59	壬酸乙酯	–	–	–	–	0.45±0.04^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.13±0.01^{c}	–	0.15±0.01^{b}	0.14±0.01^{bc}
60	苯甲酸-2-甲基丙酯	–	–	–	–	0.17±0.01^{b}	–	0.44±0.04^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
61	苯甲酸丁酯	–	–	–	–	5.20±0.42^{a}	0.93±0.07^{b}	0.62±0.05^{c}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
62	十四酸乙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.30±0.02^{b}	–	–	0.16±0.11^{c}	–	–	–	0.44±0.04^{a}	–	–
63	十一酸乙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.16±0.01^{a}	–	–
64	十五酸乙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.28±0.02^{a}	–
65	2-甲基丁基乙酯	–	–	–	–	–	–	0.88±0.07^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
66	乙酸异丁酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	12.88±1.03^{a}	–	–	–	–	–
67	异丁酸甲酯	–	–	–	–	–	–	–	2.95±0.24^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
68	琥珀酸二乙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	87.85±7.03^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–
69	辛酸丙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.11±0.01^{d}	0.26±0.02^{b}	–	0.12±0.01^{d}	–	–	–	0.23±0.02^{c}	–	0.30±0.02^{a}	0.25±0.02^{b}
70	丙酮酸乙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.84±0.07^{b}	–	–	–	–	–	–	–	1.31±0.10^{a}	–
71	甲酸异戊酯	–	–	–	–	–	–	–	–	0.27±0.02^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
72	丁二酸二乙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.41±0.03^{d}	0.48±0.04^{c}	1.13±0.09^{a}	–	–	–	1.08±0.09^{b}	0.44±0.04^{cd}	–	–

续表 3

序号	名称	含量(μg/L)																			
		徐香-ADT	徐香-CECA	徐香-VIC	徐香-BV818	海沃德-ADT	海沃德-CECA	海沃德-VIC	海沃德-BV818	华优-ADT	华优-CECA	华优-VIC	华优-BV818	金艳-ADT	金艳-CECA	金艳-VIC	金艳-BV818	红阳-ADT	红阳-CECA	红阳-VIC	红阳-BV818
73	己酸丙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.20±0.02^{b}	–	–	–	0.50±0.04^{a}	–	0.58±0.05^{a}	–
74	乙酸丙酯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.72±0.06^{b}	–	–	–	–	–	2.21±0.18^{a}	–
	酸类																				
75	异丁酸	1.20±0.10^{a}	1.01±0.08^{b}	0.72±0.06^{d}	0.95±0.08^{c}	–	1.11±0.09^{a}	–	–	–	0.67±0.05^{e}	–	0.61±0.05^{e}	–	–	–	0.57±0.05^{f}	–	–	–	–
76	乙酸	–	–	–	–	–	–	0.11±0.01^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.18±0.01^{a}	–	–
77	丁酸	4.15±0.33^{a}	–	–	3.83±0.31^{b}	2.58±0.21^{d}	–	3.50±0.28^{c}	4.00±0.32^{a}	–	–	0.20±0.02^{f}	–	0.45±0.04^{e}	–	–	–	–	–	–	–
78	3-甲基戊酸	–	–	1.35±0.11^{b}	1.67±0.13^{a}	–	–	–	–	–	–	0.93±0.08^{c}	–	–	–	–	–	–	–	–	–
79	异戊酸	1.68±0.13^{a}	1.22±0.10^{c}	–	–	1.26±0.10^{c}	1.57±0.13^{b}	–	–	–	–	–	–	1.00±0.08^{d}	0.81±0.06^{e}	–	–	–	–	–	–
80	2-甲基丁酸	1.23±0.10^{fgh}	–	1.83±0.15^{de}	–	–	–	–	–	1.21±0.10^{fg}	26.36±2.11^{a}	0.62±0.05^{h}	0.99±0.08^{gh}	–	1.66±0.13^{ef}	2.59±0.21^{cd}	1.46±0.12^{efg}	–	2.22±0.18^{c}	4.82±0.39^{b}	0.85±0.07^{gh}
81	2-羟基-4-甲基戊酸	–	–	0.98±0.08^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
82	辛酸	6.72±0.54^{a}	1.62±0.13^{j}	2.87±0.23^{f}	2.55±0.20^{gh}	6.05±0.48^{c}	6.66±0.53^{b}	5.44±0.44^{d}	6.32±0.51^{c}	–	2.22±0.18^{i}	4.82±0.39^{e}	0.85±0.07^{m}	1.03±0.08^{l}	1.66±0.13^{j}	2.59±0.21^{gh}	1.46±0.12^{k}	2.64±0.21^{g}	2.44±0.20^{h}	2.10±0.17^{i}	1.56±0.12^{j}
83	丙酸	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.11±0.01^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–
84	庚酸	–	–	–	–	–	3.22±0.26^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2.83±0.23^{b}	–	–
85	苯甲酸	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2.64±0.21^{b}	–	4.17±0.33^{a}	2.29±0.18^{c}	–	–	–	–
86	4-酮庚乙酸	–	–	–	1.75±0.14^{a}	–	–	–	1.06±0.08^{c}	–	–	–	1.32±0.11^{b}	–	–	–	–	–	–	–	1.32±0.11^{b}
87	己酸	–	3.46±0.28^{b}	4.23±0.34^{a}	–	2.94±0.24^{c}	4.10±0.33^{a}	–	4.11±0.33^{a}	–	–	–	–	–	1.95±0.16^{d}	–	–	–	–	–	–
88	3-甲基丁酸	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.93±0.08^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	醛酮类																				
89	乙醛	0.68±0.05^{g}	0.62±0.05^{g}	1.04±0.08^{g}	3.67±0.33^{a}	–	1.11±0.09^{ef}	0.75±0.06^{g}	1.04±0.09^{g}	1.11±0.10^{ef}	0.86±0.08^{fg}	1.38±0.12^{de}	3.59±0.32^{a}	0.62±0.05^{g}	0.82±0.07^{fg}	1.39±0.12^{e}	1.77±0.16^{cd}	1.81±0.16^{c}	0.97±0.09^{fg}	2.66±0.24^{b}	3.09±0.28^{b}
90	异丁醛	0.07±0.006^{d}	0.20±0.02^{b}	0.32±0.03^{a}	–	0.20±0.02^{b}	0.14±0.01^{c}	–	–	0.09±0.008^{cd}	0.11±0.01^{cd}	0.07±0.006^{d}	–	–	0.15±0.01^{cd}	–	–	0.24±0.02^{b}	–	–	–
91	3-羟基-2-丁酮	–	–	0.25±0.02^{e}	0.77±0.07^{c}	–	–	–	–	–	0.09±0.008^{g}	0.33±0.03^{d}	0.16±0.01^{f}	–	–	–	–	–	–	1.11±0.10^{a}	0.94±0.08^{b}
92	2-庚酮	–	–	–	0.26±0.02^{b}	–	–	–	0.39±0.03^{a}	–	–	0.19±0.02^{c}	0.26±0.02^{b}	–	–	–	0.18±0.02^{c}	–	0.15±0.01^{d}	–	0.22±0.02^{c}
93	苯甲醛	3.12±0.28^{e}	2.91±0.26^{f}	3.20±0.29^{d}	–	2.43±0.22^{g}	6.02±0.54^{a}	4.21±0.38^{c}	4.66±0.42^{b}	1.34±0.12^{h}	0.68±0.06^{j}	0.47±0.04^{k}	–	–	–	0.82±0.07^{i}	–	1.34±0.12^{h}	–	–	–
94	3-辛酮	–	2.35±0.21^{a}	–	–	0.39±0.03^{c}	–	–	0.56±0.05^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
95	2-辛酮	–	0.45±0.04^{ef}	0.38±0.03^{h}	0.51±0.05^{cd}	0.39±0.04^{h}	–	–	0.56±0.05^{c}	0.28±0.02^{i}	0.50±0.04^{d}	–	0.45±0.04^{fg}	0.44±0.04^{g}	0.48±0.04^{e}	0.41±0.04^{fg}	0.46±0.04^{ef}	0.62±0.06^{b}	0.78±0.07^{a}	–	–
96	大马士酮	–	–	0.24±0.02^{d}	0.57±0.05^{a}	–	–	–	–	0.10±0.009^{e}	0.34±0.03^{c}	0.52±0.05b	0.12±0.01^{e}	–	–	–	–	–	–	–	–
97	己醛	–	–	–	–	3.28±0.30^{c}	0.72±0.06^{f}	5.42±0.49^{a}	4.76±0.43^{b}	0.51±0.05^{g}	1.09±0.10^{e}	–	–	–	0.56±0.05^{g}	–	–	0.94±0.08^{e}	1.83±0.16^{d}	–	–
98	2-戊酮	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.31±0.12^{b}	–	–	–	0.87±0.08^{c}	–	–	–	1.60±0.14^{a}
99	反-2-辛烯醛	–	–	–	–	–	0.14±0.01^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.23±0.02^{a}	0.14±0.01^{b}	–
100	六氢假紫罗酮	–	–	–	–	–	0.39±0.03^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
101	3-戊酮	–	–	–	–	–	–	–	–	0.51±0.05^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
102	异戊醛	–	–	–	–	–	–	–	–	0.23±0.02^{b}	–	0.74±0.07^{a}	–	–	0.15±0.01^{c}	–	–	–	–	–	–
103	苯乙醛	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.24±0.02^{a}	–	–	–
104	2-丁酮	–	–	–	–	–	–	–	–	0.20±0.02^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
105	庚醛	–	–	–	–	–	–	–	–	2.71±0.24^{a}	–	–	–	–	–	–	–	1.76±0.16^{b}	1.77±0.16^{b}	–	–
106	2-甲基四氢噻吩-3-酮	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.63±0.06^{a}	–	–
107	2-壬酮	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.35±0.03^{b}	–	0.52±0.05^{a}
	其他																				
108	氨基甲酸铵盐	–	–	0.89±0.05^{ef}	–	–	–	0.94±0.08^{d}	–	–	13.89±0.97^{a}	–	0.86±0.07^{f}	1.11±0.09^{c}	0.90±0.07^{de}	0.64±0.05^{g}	0.58±0.05^{h}	0.94±0.08^{d}	–	1.29±0.11^{b}	–

续表 3

序号	名称	含量(μg/L)																		
		徐香-ADT	徐香-CECA	徐香-VIC	徐香-BV818	海沃德-ADT	海沃德-CECA	海沃德-VIC	海沃德-BV818	华优-ADT	华优-CECA	华优-VIC	华优-BV818	金艳-ADT	金艳-CECA	金艳-VIC	金艳-BV818	红阳-ADT	红阳-CECA	红阳-VIC	红阳-BV818
109	苯乙烯	2.00±0.16^{d}	–	–	–	–	13.89±1.11^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	6.10±0.49^{c}	–	7.00±0.56^{b}	–	–	–
110	环辛四烯	8.28±0.66^{b}	6.64±0.53^{g}	6.80±0.54^{g}	7.52±0.60^{e}	5.71±0.46^{h}	4.70±0.38^{i}	20.41±1.63^{a}	5.60±0.45^{h}	3.38±0.27^{j}	5.30±0.42^{h}	6.16±0.49^{g}	6.74±0.54^{f}	–	5.62±0.45^{h}	–	6.44±0.52^{g}	8.10±0.65^{c}	7.78±0.62^{d}	–	8.88±0.71^{b}
111	2-甲基-1-苯丙烯	0.19±0.02^{b}	0.13±0.01^{c}	–	–	–	–	–	–	–	–	0.66±0.05^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–
112	1-异丙烯基-3-甲基苯	–	–	0.25±0.02^{b}	0.26±0.02^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.43±0.03^{a}
113	2-荻烯	0.59±0.05^{c}	0.44±0.03^{e}	0.63±0.05^{b}	0.67±0.05^{a}	0.27±0.02^{g}	0.48±0.04^{d}	0.39±0.03^{e}	0.35±0.03^{f}	–	–	–	0.26±0.02^{g}	0.17±0.01^{h}	0.20±0.02^{h}	–	–	–	–	–	–
114	十五烷	0.18±0.01^{a}	–	–	–	–	–	–	0.15±0.01^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
115	十六烷	–	0.13±0.01^{c}	–	0.25±0.02^{a}	–	–	–	0.22±0.02^{b}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
116	2,4-二叔丁基苯酚	0.50±0.04^{e}	0.40±0.03^{f}	0.63±0.05^{c}	1.70±0.14^{b}	0.51±0.04^{d}	0.42±0.03^{f}	–	1.99±0.16^{a}	–	–	–	0.24±0.02^{g}	–	–	–	–	–	–	–	–
117	十四烷	0.29±0.02^{b}	0.17±0.01^{fg}	0.17±0.01^{fg}	–	0.38±0.03^{a}	–	0.26±0.02^{c}	–	–	–	0.20±0.02^{e}	0.36±0.03^{a}	0.11±0.01^{h}	0.11±0.01^{h}	–	0.15±0.01	0.24±0.02^{d}	0.19±0.02^{ef}	0.19±0.02^{ef}	–
118	十九烷	–	–	0.17±0.01^{b}	–	–	0.27±0.02^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	0.18±0.01^{b}	–	–	–	–	0.15±0.01^{c}
119	(2S-顺)-四氢化-4-甲基-2-(2-甲基-1-丙烯基)-2H-吡喃	–	–	–	–	0.63±0.05^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
120	十五烯	–	–	–	–	9.89±0.79^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
121	十七烷	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.12±0.01^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
122	正戊烷	–	–	–	–	–	–	–	–	–	23.64±1.89^{a}	14.22±1.14^{b}	–	–	–	–	–	–	–	24.46±1.96^{a}	–
123	顺-2-癸烯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.08±0.006^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–
124	邻异丙基甲苯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.45±0.03^{a}	–	–	–	–	–	–	–	–	–
125	1-十三烯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.23±0.02^{e}	0.26±0.02^{d}	0.38±0.03^{b}	0.34±0.03^{c}	–	0.89±0.07^{a}	–	–
126	4-异丙基甲苯	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.15±0.01^{a}	–	–

注：表中不同小写字母表示猕猴桃果酒中各样品的挥发性成分有显著性差异(P<0.05)；“–”表示未检出。

猕猴桃果酒中未检测到；苯甲酸乙酯呈现出蜂蜜、洋槐花、玫瑰、水果甜香[32]；乳酸乙酯、癸酸乙酯几乎存在于所有酒中，前者呈现水果、青草、黄油、草莓等香气，后者具有葡萄的水果香气[40]，在红阳猕猴桃果酒中相对含量最高，尤其是经 CECA 酵母发酵的红阳果酒，达到了 24.42 μg/L；徐香、海沃德猕猴桃果酒中丁酸乙酯的含量显著高于其余酒，过高含量的丁酸乙酯往往会给酒带来不愉快气味。脂肪酸乙酯在添加酵母发酵后含量变化不一，仅在红阳猕猴桃果酒中检测到了十一酸乙酯、十五酸乙酯，分别由 CECA、VIC 酵母发酵产生；仅在 VIC 发酵的华优果酒、CECA 发酵的金艳及红阳果酒中检测到十四酸乙酯，具有鸢尾油香气，并带有油脂气味[41]；棕榈酸乙酯在华优、金艳及红阳果酒中都存在；其他酯类物质虽然含量较低但都对酒体的最终香气有所贡献。

酸类物质虽然在猕猴桃果酒中的含量较低，但是其对于酒的口感起到一定的平衡作用[42]，添加了四种酵母的猕猴挑果酒中酸类物质的含量差异十分显著(P<0.05)，金艳、红阳猕猴桃果酒的酸类物质的相对含量要显著低于其余品种。对于华优猕猴桃果酒而言，经 ADT 酵母发酵酒的酸类物质的种类及含量都是最低的。华优酒中相对含量最高的酸类物质是 2-甲基丁酸，尤其是经酵母 CECA 发酵后含量达到了 26.36 μg/L，但其在海沃德、金艳酒中并未检出；3-甲基丁酸，即异戊酸，仅在 ADT、CECA 两种酵母发酵的海沃德、金艳果酒以及在 VIC 发酵的华优果酒中检测到；支链脂肪酸 2-甲基丁酸和 3-甲基丁酸均有水果香气[43]，它们来自于醛的氧化，而醛来源于氨基酸代谢产生的 α-酮酸；辛酸在徐香、海沃德、金艳和红阳果酒中的相对含量均最高，分别占酸类物质总含量的 30.54%、48.15%、49.82%、62.59%，辛酸具有果味、糖果味、奶酪味等多种风味[44]，可能与辛酸乙酯在发酵过程中的降解有关；乙酸来源于丙酮酸产生的乙醛的氧化，其仅在 VIC 发酵的海沃德酒和 CECA 发酵的红阳酒中检测出；己酸在海沃德猕猴桃酒中的相对含量最高，为 11.15 μg/L，在华优、红阳果酒中并未检测到，己酸在低浓度时能赋予酒一定的甜香、果香，高浓度时呈现汗臭、脂肪等气味[45]。

添加不同酵母的猕猴桃果酒中主要的醛酮类物质包括乙醛、苯甲醛、己醛、庚醛、3-羟基-2-丁酮等。乙醛通常呈现青香和碰伤苹果香[46]；己醛呈现出果香或者青草香、叶香、花香[47]，在 BV818 发酵的海

沃德酒中含量最高，为 4.76 μg/L；ADT 发酵的华优、金艳、红阳果酒中检测到了庚醛，能够赋予酒一定的青瓜香、发酵气味、水果香[38]；苯甲醛具有强烈的樱桃-杏仁蛋白软糖气味[48]；苯乙醛呈现出蜂蜜香、玫瑰花香、花香等风味[49]，但苯乙醛仅存在于 ADT 发酵的红阳猕猴桃酒中；除海沃德猕猴桃果酒外的部分酒中检测出了 3-羟基-2-丁酮，其带有一种令人舒服的奶香气，能够提升酒的顺滑感[21]；2-辛酮存在于大部分酒中，能够呈现水果香、蓝纹干酪香、花香[50]；2-庚酮大多存在于 BV818 酵母发酵的果酒中，具有青香、浆果等香气[51]。与此同时，还检测出一些烷烃类、苯环类、呋喃类物质，他们虽不是主要的呈香物质，但仍对酒体的风味产生一定的影响。综合比较发现，由酵母 CECA 发酵的海沃德猕猴桃果酒富含醇类、酯类挥发性化合物，酸类、醛酮类物质含量平衡，香气宜人。

2.4 OAV 值分析

香气活力值（Odor activity value，OAV）反映了化合物对香气的贡献[52]。OAV>1 的化合物通常在特征香气中起重要作用，不同香气类型中 OAV>1 的挥发性成分数量各不相同。20 种酒样共检测到 OAV>1 的挥发性物质有 93 种。图 2 展示了不同挥发性物质的贡献程度，在 OAV>1 中，徐香猕猴桃酒样中共有的挥发性成分有 31 种，海沃德猕猴桃酒样中共有的挥发性成分有 34 种，华优猕猴桃酒样中共有的挥发性成分有 28 种，金艳猕猴桃酒样中共有的挥发性成分有 33 种，红阳猕猴桃酒样中共有的挥发性成分有 30 种。所有猕猴桃酒样中 OAV>1 共有的挥发性成分有 13 种，醇类物质占 4 种，酯类物质占 9 种。此外，在所有 OAV>10000 的挥发性成分中，

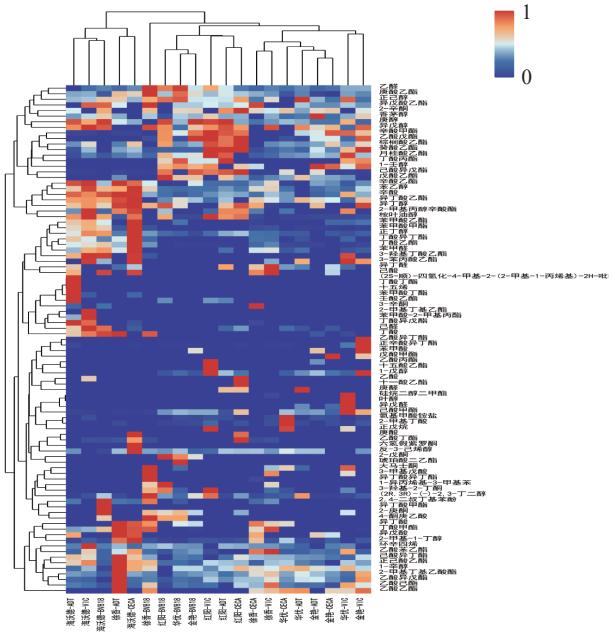


图 2 所有酒样 OAV 值分组热图

Fig.2 Grouped heatmap of OAV values for all wine samples

注：图中挥发性物质皆为 OAV>1 的挥发性物质。

徐香猕猴桃酒样有丁酸乙酯、正己酸乙酯，海沃德猕猴桃酒样和华优猕猴桃酒样中有异丁酸乙酯、丁酸乙酯、正己酸乙酯，金艳猕猴桃酒样中有异戊醇、异丁酸乙酯、丁酸乙酯、正己酸乙酯，红阳猕猴桃酒样中有异戊醇、丁酸乙酯、正己酸乙酯。丁酸乙酯、正己酸乙酯 OAV>10000 被认为具有显著贡献性，是所有猕猴桃酒样中共有的关键性挥发性物质。

2.5 PCA 分析

主成分分析（Principal component analysis，PCA）是通过确定几个能代表样本中绝大多数数据的主成分因子，可以研究不同酒样的挥发性特征之间是否存在特殊性及贡献率[53]。参考安琪等[54]方法，在 PCA 分析过程中，首先对化学物质数据进行标准化，以确保各成分在相同尺度上进行比较。然后，通过计算协方差矩阵来评估挥发性物质之间的相关性，并利用特征值和特征向量提取主要的变异成分。最后，本研究选择 14 个主成分，这些成分能够解释数据的大部分方差，并代表数据的核心信息。PCA 结果（表 4 及图 3）显示，PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 40.0% 和 23.6%，累计贡献率超过 60%。此外，图 4 中 pR^2Y=0.005 和 pQ^2=0.005 表明模型结果高度可靠。这些低 P 值（远小于 0.05 显著性阈值）证明模型的解释能力和预测能力具有统计学意义。正己酸乙酯、辛酸乙酯、苯乙醇、丁酸乙酯、辛酸在 PC1 上的载荷系数大（投影长度大），载荷系数为正，这五种化学物质与 PC1 有正向较大的关系，PC1 主要依次反应酯、醇、酸类。同样地，PC2 与乙酸异戊酯和 2-甲基-1-丁醇的关系最为密切，并且与 PC1 的关系也表现出较强的正相关。PC2 主要反映的是酯类物质的特征，而酯类化合物已知能够提供各种香气，如苹果、蜂蜜、玫瑰、青苹果、香蕉、梨、草莓、果味和花香等。醇类化合物通常提供花香、果香和甜美的香气，如玫瑰、橙花、苹果和香蕉等。酸类化合物则通常带有酸味或醋酸气味，但在较低浓度下，能增添如

表 4 主成分分析特征值与方差贡献

Table 4 Eigenvalues and variance contribution of principal component analysis

主成分编号	特征值	方差百分比(%)	累积百分比(%)
1	5.60691	40.04936	40.04936
2	3.30175	23.58393	63.6333
3	1.80574	12.89816	76.53146
4	1.12584	8.0417	84.57316
5	0.82286	5.87757	90.45072
6	0.47467	3.39053	93.84125
7	0.26965	1.92606	95.76731
8	0.19297	1.37832	97.14563
9	0.14876	1.06259	98.20822
10	0.10305	0.73607	98.94429
11	0.07057	0.50408	99.44837
12	0.05222	0.37298	99.82136
13	0.01849	0.1321	99.95346
14	0.00652	0.04654	100

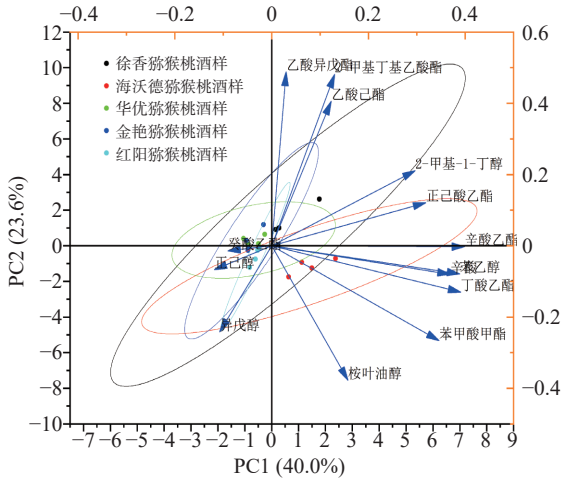


图 3　20 种酒样挥发性成分 PCA 图

Fig.3　PCA plot of volatile components of 20 wine samples

注：图中徐香、海沃德、华优、金艳、红阳各组猕猴桃酒样，均代表四种不同酵母分别发酵同一品种猕猴桃所得的全部酒样集合。

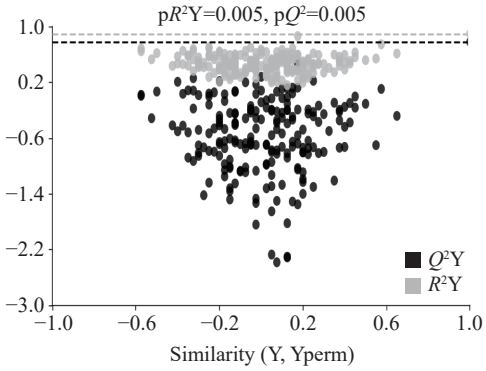


图 4　主成分因子 OPLS-DA 置信检验图

Fig.4　OPLS-DA confidence test plot of principal component factors

注：置信水平为 0.95。

柑橘、莓果或草本植物的复杂香气。徐香猕猴桃酒样、海沃德猕猴桃酒样、华优猕猴桃酒样、红阳猕猴桃酒样聚集成四个群体，其中金艳猕猴桃酒样介于红阳猕猴桃酒样与华优猕猴桃酒样之间聚集，表明不同酵母或品种发酵的酒在挥发性成分上存在显著差异（P<0.05）。

2.6　电子鼻分析结果

为了验证不同酵母与猕猴桃品种发酵的风味差异，本研究采用电子鼻的传感器对不同酒样的风味成分进行了分类分析。根据响应强度雷达图（图 5）显示，使用酵母 ADT、CECA、BV818 发酵的金艳猕猴桃酒样的传感器响应强度较低，且雷达图线几乎重合。然而，酵母 ADT 发酵的金艳猕猴桃酒样中，W2S 传感器的响应强度略高于酵母 CECA 和 BV818 发酵的金艳猕猴桃酒样。对于海沃德猕猴桃，酵母 CECA 发酵的酒样在 W2S 传感器上表现出最高的响应强度，而 W1S、W1C、W3S、W5C 传感器的响应强度相对较高，显示了芳香成分、甲基类、酯类、醇类和醛酮类化合物的风味强度。总体而言，海沃德猕猴桃酒样的风味强度>徐香猕猴桃酒样>红阳猕猴桃酒样>华优猕猴桃酒样>金艳猕猴桃酒样。这些结果表明，电子鼻能够有效区分不同酵母与猕猴桃品种发酵过程中气味物质的差异。

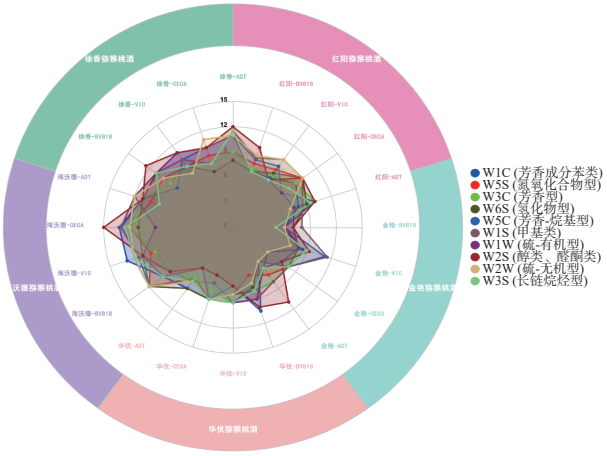
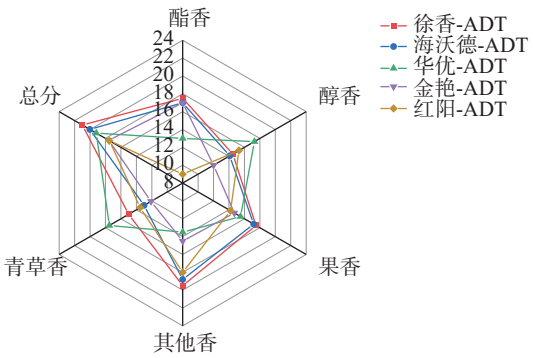


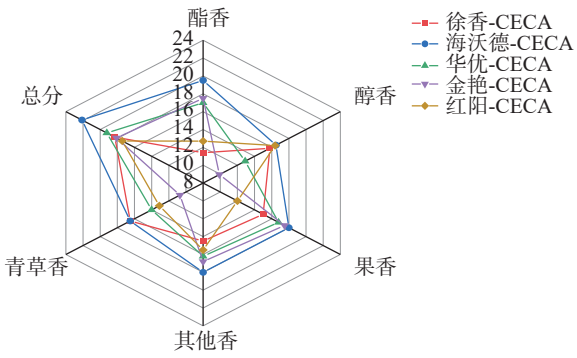
图 5　不同酒样电子鼻分析结果

Fig.5　Electronic nose analysis results of different wine samples

2.7　感官评价结果

风味雷达图（图 6）比较发现，酵母 CECA 发酵的海沃德猕猴桃果酒富含醇类和酯类挥发性化合物，酸类和醛酮类物质含量平衡，香气怡人。酵母 CECA 发酵的徐香、红阳猕猴桃，酵母 BV818 发酵的徐香、海沃德、红阳猕猴桃，酵母 ADT 发酵的华优、红阳猕猴桃皆为醇香型果酒，而四种酵母发酵后的金艳猕猴桃果酒及其余猕猴桃果酒皆为酯香型。酵母 ADT 发酵的徐香、海沃德猕猴桃，酵母 VIC 发酵的华优猕猴桃在其他香均表现最高评分，这





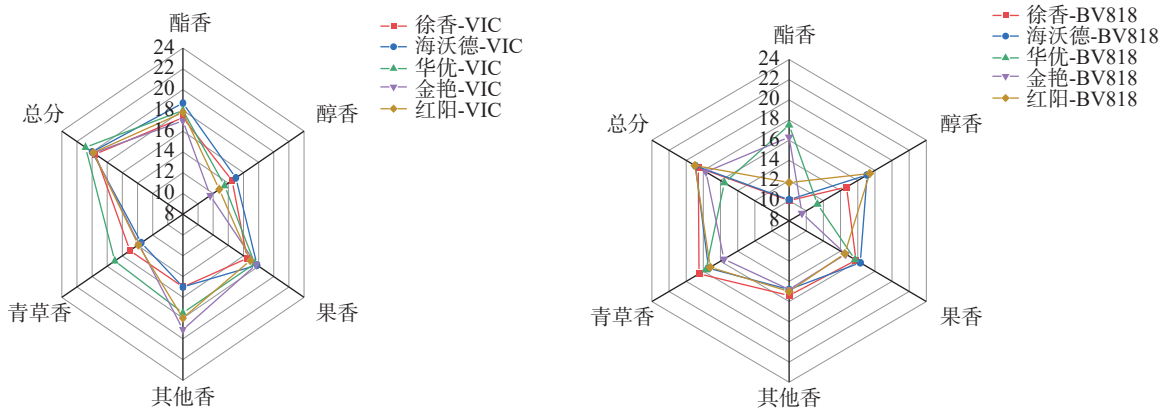


图 6 四种酵母与不同猕猴桃品种发酵果酒的描述性感官评价结果

Fig.6 Descriptive sensory evaluation results of four yeasts with different kiwifruit varieties of fermented fruit wines

可能是基于三种酒样不同种挥发性物质最多都为 60 种有关系。海沃德-CECA 在酯香得分表现最佳，在果香、其他香、青草香方面得分也较高，香气总得分最佳。

3 结论

通过对不同酵母发酵的猕猴桃果酒香气成分的分析，结果显示，在不同样品中共检测到 126 种挥发性成分。主要的挥发性化合物包括醇类和酯类物质，其中醇类化合物主要为 2-甲基-1-丁醇、异戊醇、苯乙醇、正己醇和桉叶油醇；酯类化合物包括苯甲酸甲酯、辛酸乙酯、正己酸乙酯和乙酸异戊酯；酸类物质包括 2-甲基丁酸、辛酸和苯甲酸；醛酮类物质则包括乙醛、苯甲醛、己醛和 2-辛酮。这些化合物是猕猴桃果酒典型香气的重要成分。主成分分析(PCA)结果表明，正己酸乙酯、辛酸乙酯、苯乙醇、丁酸乙酯和辛酸对 PC1 的贡献最大。此外，通过 OAV 分析，结合含量和 OAV 大于 1 的化合物，丁酸乙酯和正己酸乙酯被确定为猕猴桃果酒中具有最大香气贡献的关键挥发性物质。电子鼻测试结果表明，不同酵母发酵的猕猴桃果酒在挥发性化合物的种类和含量上存在明显差异。酵母 CECA 发酵的海沃德猕猴桃果酒中，醇类和酯类挥发性化合物的强度较高，且总挥发性化合物的含量最高，达到 874.36 μg/L，展现出典型的酯香型果酒风味。感官评价结果也显示，酵母 CECA 发酵的海沃德猕猴桃果酒在整体香气的宜人度上得分最高。本研究为猕猴桃果酒风味品质调控提供了科学依据与数据支撑。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

参考文献

[1] YUAN Xinyu, ZHENG Hao, FAN Jiangtao, et al. Comparative study on physicochemical and nutritional qualities of kiwifruit varieties[J]. Foods, 2023, 12(1): 108.

[2] MA Tingting, LAN Tian, JU Yanlun, et al. Comparison of the nutritional properties and biological activities of kiwifruit (*Actinidia*) and their different forms of products: Towards making kiwifruit more nutritious and functional[J]. Food & Function, 2019, 10(3): 1317−1329.

[3] 曾硕, 郭新宇, 牛东升, 等. 四种酵母对不同品种猕猴桃果酒品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(17): 181−190. [ZENG Shuo, GUO Xinyu, NIU Dongsheng, et al. Effects of four yeasts on the quality of kiwifruit wine made using different cultivars[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(17): 181−190.]

[4] LIN Mengfei, GAO Zhu, WANG Xiaoling, et al. Eco-friendly managements and molecular mechanisms for improving postharvest quality and extending shelf life of kiwifruit: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 257: 128450.

[5] 赵金梅, 高贵田, 薛敏, 等. 不同品种猕猴桃果实的品质及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 118−122. [ZHAO Jinmei, GAO Guitian, XUE Min, et al. Fruit quality and antioxidant activity of different kiwifruit varieties[J]. Food Science, 2014, 35(9): 118−122.]

[6] MOYSIDOU A M, CHEIMPELOGLOU K, KOUTRA S I, et al. A comprehensive review on the antioxidant and anti-inflammatory bioactives of kiwi and its by-products for functional foods and cosmetics with health-promoting properties[J]. Applied Sciences, 2024, 14(14): 5990.

[7] HUANG Jintao, LI Hongcai, WANG Yaqin, et al. Evaluation of the quality of fermented kiwi wines made from different kiwifruit cultivars[J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101051.

[8] ASCRIZZI R, PIERACCI Y, MELAI B, et al. Preliminary study on red wine aroma: The volatile profiles of six grape cultivars in different vinification phases[J]. Fermentation, 2022, 8(12): 753.

[9] LI Shiqi, BI Pengfei, SUN Nan, et al. Effect of sequential fermentation with four non-*Saccharomyces* and *Saccharomyces cerevisiae* on nutritional characteristics and flavor profiles of kiwi wines[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 109: 104480.

[10] ZHANG Qian, MA Yuyan, WAN Fang, et al. Comprehensive comparison of flavor and metabolomic profiles in kiwi wine fermented by kiwifruit flesh with different colors[J]. LWT, 2024, 208: 116719.

[11] ZHANG Qian, MA Jian, YANG Yupei, et al. Effects of *S. cerevisiae* strains on the sensory characteristics and flavor profile of kiwi wine based on E-tongue, GC-IMS and 1H-NMR[J]. LWT, 2023, 185: 115193.

[12] 周艳, 李华佳, 李可, 等. 猕猴桃发酵果酒生产工艺研究进展[J]. 中国酿造, 2023, 42(3): 23−27. [ZHOU Yan, LI Huajia, LI

Ke, et al. Research progress on production technology of fermented kiwi fruit wine[J]. China Brewing, 2023, 42(3): 23−27.]
[13] 陈雪雪. 猕猴桃果酒发酵菌株筛选及酒体品质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023: 1−10. [CHEN Xuexue. Screening of fermentation strains of kiwi fruit wine and study on quality of the wine body[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2023: 1−10.]
[14] 陈亮, 危晴, 辛秀兰, 等. 不同酵母发酵对猕猴桃果酒香气成分的影响[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(5): 100−106. [CHEN Liang, WEI Qing, XIN Xiulan, et al. Effect of different yeast for kiwi wine aroma components[J]. Food Research and Development, 2015, 36(5): 100−106.]
[15] LAN Yongli, WU Jin, WANG Xuejiao, et al. Evaluation of antioxidant capacity and flavor profile change of pomegranate wine during fermentation and aging process[J]. Food Chemistry, 2017, 232: 777−787.
[16] YANG Xueshan, SONG Xinyuan, YANG Liu, et al. Effect of deacidification treatment on the flavor quality of Zaosu pear-kiwifruit wine[J]. Foods, 2022, 11(14): 2007.
[17] XIA Yanan, ZHA Musu, LIU Hao, et al. Novel insight into the formation of odour: Active compounds in sea buckthorn wine and distilled liquor based on GC-MS and E-nose analysis[J]. Foods, 2022, 11(20): 3273.
[18] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 葡萄酒、果酒通用分析方法: GB/T 15038-2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Analytical methods of wine and fruit wine: GB/T 15038-2006[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.]
[19] LAN Wei, CHENG Wei, LI Ruilong, et al. Comparison of flavor differences between the juices and wines of four strawberry cultivars using two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry and sensory evaluation[J]. Molecules, 2024, 29(19): 4691.
[20] 肖慧琳, 周为真, 李记明, 等. 不同酵母对无核寒香蜜葡萄酒香气成分的影响[J]. 烟台果树, 2022(3): 14−18. [XIAO Huilin, ZHOU Weizhen, LI Jiming, et al. The impact of different yeasts on the aroma components of nuclear-free cold fragrant honey wine[J]. Yantai Fruits, 2022(3): 14−18.]
[21] HUANG Di, FAN Wenjing, DAI Ruisen, et al. Impact of must clarification treatments on chemical and sensory profiles of kiwifruit wine[J]. NPJ Science of Food, 2024, 8: 40.
[22] FENG Tao, CAI Weitong, SUN Wei, et al. Co-cultivation effects of *Lactobacillus plantarum* and *Pichia pastoris* on the key aroma components and non-volatile metabolites in fermented jujube juice[J]. RSC Advances, 2025, 15(14): 10653−10662.
[23] 王悦, 张帆, 王淑娟, 等. 不同酿酒酵母对黑果腺肋花楸复合果酒品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(14): 33−44. [WANG Yue, ZHANG Fan, WANG Shujuan, et al. Effects of different *Saccharomyces cerevisiae* on the quality of compound fruit wine of *Aronia melanocarpa*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(14): 33−44.]
[24] GONZALEZ-RAMIREZ M, KAZAKOVA J, GARCIA-SERRANO P, et al. Commercial wine yeast nitrogen requirement influences the production of secondary metabolites (aroma, hydroxytyrosol, melatonin and other bioactives) during alcoholic fermentation[J]. International Journal of Food Microbiology, 2024, 421: 110788.
[25] MENDES I, SANCHEZ I, FRANCO-DUARTE R, et al. Integrating transcriptomics and metabolomics for the analysis of the aroma profiles of *Saccharomyces cerevisiae* strains from diverse origins[J]. BMC Genomics, 2017, 18(1): 455.
[26] 程玉, 杨勇, 黄冶钰, 等. 中国 5 个产区赤霞珠干红葡萄酒挥发性香气成分差异研究[J]. 酿酒科技, 2015(1): 23−26. [CHENG Yu, YANG Yong, HUANG Zhiyu, et al. The difference in volatile flavoring components of cabernet sauvignon dry red wine from five different producing places in China[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2015(1): 23−26.]
[27] CORTES M B, MORENO J, ZEA L, et al. Changes in aroma compounds of sherry wines during their biological aging carried out by *Saccharomyces cerevisiae* Races *bayanus* and *capensis*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(6): 2389−2394.
[28] MYERS M J, ISSENBERG P, WICK E L. L-Leucine as a precursor of isoamyl alcohol and isoamyl acetate, volatile aroma constituents of banana fruit discs[J]. Phytochemistry, 1970, 9(8): 1693−1700.
[29] HAN Xueyuan, WANG Xiaoyu, SHEN Chi, et al. Exogenous ABA promotes aroma biosynthesis of postharvest kiwifruit after low-temperature storage[J]. Planta, 2022, 255(4): 82.
[30] SZUDERA-KOŃCZAL K, MYSZKA K, KUBIAK P, et al. The combined effect of lactic acid bacteria and *Galactomyces geotrichum* fermentation on the aroma composition of sour whey[J]. Molecules, 2023, 28(11): 4308.
[31] ANTONOVA D V, MEDARSKA Y N, ST STOYANOVA A, et al. Chemical profile and sensory evaluation of Bulgarian rose (*Rosa damascena* Mill.) aroma products, isolated by different techniques[J]. Journal of Essential Oil Research, 2021, 33(2): 171−181.
[32] 马统魏, 张波, 王红娟, 等. 红树莓酒发酵过程中游离态和结合态香气成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(18): 360−368. [MA Tongwei, ZHANG Bo, WANG Hongjuan, et al. Analysis of free and bound aroma components in red raspberry wine fermentation[J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(18): 360−368.]
[33] YAN B W, SADIQ F A, CAI Y J, et al. Identification of key aroma compounds in type I sourdough-based Chinese steamed bread: Application of untargeted metabolomics analysisp[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(4): 818.
[34] FARIÑA L, VILLAR V, ARES G, et al. Volatile composition and aroma profile of Uruguayan Tannat wines[J]. Food Research International, 2015, 69: 244−255.
[35] 陈娟, 阚建全, 杨蓉生. 不同品种桑椹香气成分的 GC-MS 分析[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 239−243. [CHEN Juan, KAN Jianquan, YANG Rongsheng. Gas chromatography-mass spectrometric analysis of aroma components in mulberry from different varieties[J]. Food Science, 2010, 31(18): 239−243.]
[36] 张鸿宇, 冯涛, 崔云前. 优化拉格啤酒中乙酸乙酯和乙酸异戊酯含量的研究[J]. 食品科技, 2023, 48(9): 82−90. [ZHANG Hongyu, FENG Tao, CUI Yunqian. Optimum concentration of ethyl acetate and isoamyl acetate during lager beer brewing[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(9): 82−90.]
[37] GANZORIG O, BATDORJ B, SATOMI I. Characterization of volatile compound profile in Mongolian traditional fermented mare's milk, as Airag[J]. Animal Science Journal, 2025, 96(1): e70024.
[38] FAN Guangsen, TENG Chao, XU Dai, et al. Enhanced production of ethyl acetate using co-culture of *Wickerhamomyces anomalus* and *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2019, 128(5): 564−570.

［39］ BARBEY C R, HOGSHEAD M H, HARRISON B, et al. Genetic analysis of methyl anthranilate, mesifurane, linalool, and other flavor compounds in cultivated strawberry（*Fragaria×Ananassa*）[J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 615749.
［40］ 赵子贤, 杨金雨, 汪梦诗, 等. 12 种国产主栽猕猴桃品种果酒风味物质特征分析[J]. 食品科学, 2025, 46(8): 178−188. ［ZHAO Zixian, YANG Jinyu, WANG Mengshi, et al. Characteristic flavor substances in wines made from 12 major domestic kiwifruit cultivars[J]. Food Science, 2025, 46(8): 178−188.］
［41］ CAIRNS P, HAMILTON L, RACINE K, et al. Effects of hydroxycinnamates and exogenous yeast assimilable nitrogen on cider aroma and fermentation performance[J]. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2022, 80(3): 236−247.
［42］ NAGAI Y, SUZUKI T, YAMASHITA S, et al. A *Saccharomyces cerevisiae* strain encoding a novel FAS2 mutation produces high levels of caprylic acid[J]. Mycoscience, 2016, 57(3): 228−231.
［43］ LIU Dan, QI Yiman, ZHAO Ning, et al. Multivariate analysis reveals effect of glutathione-enriched inactive dry yeast on amino acids and volatile components of kiwi wine[J]. Food Chemistry, 2020, 329: 127086.
［44］ 刘晓艳, 白卫东, 蒋爱民, 等. 荔枝果酒加工过程中有机酸的变化研究[J]. 中国酿造, 2011, 30(11): 65−69. ［LIU Xiaoyan, BAI Weidong, JIANG Aimin, et al. Changes of organic acids content during the production of litchi wine[J]. China Brewing, 2011, 30(11): 65−69.］
［45］ CHEN Chen, ZHOU Qiqi, TIAN Tonghui, et al. Interactions among key aroma compounds and the influence of taste substances on aroma perception in Gouda cheese[J]. LWT, 2024, 207: 116670.
［46］ XIAO Zuobing, LI Bolin, NIU Yunwei, et al. Characterization of key aroma-active compounds in yellow peach（*Prunus persica* L. 'Jinxiu'）based on GC-MS-O, OAV, aroma recombination and omission experiment[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023, 17(5): 4448−4461.
［47］ YU Haiyan, XIE Tong, XIE Jingru, et al. Aroma perceptual interactions of benzaldehyde, furfural, and vanillin and their effects on the descriptor intensities of Huangjiu[J]. Food Research International, 2020, 129: 108808.
［48］ FENG Zhihui, LI Ming, LI Yifan, et al. Characterization of the key aroma compounds in infusions of four white teas by the sensomics approach[J]. European Food Research and Technology, 2022, 248(5): 1299−1309.
［49］ HUANG Qun, DONG Kai, WANG Qia, et al. Changes in volatile flavor of yak meat during oxidation based on multiomics[J]. Food Chemistry, 2022, 371: 131103.
［50］ LAN Tian, GAO Chenxu, YUAN Quyu, et al. Analysis of the aroma chemical composition of commonly planted kiwifruit cultivars in China[J]. Foods, 2021, 10(7): 1645.
［51］ FENG Yiming, LIU Min, OUYANG Yanan, et al. Comparative study of aromatic compounds in fruit wines from raspberry, strawberry, and mulberry in central Shaanxi area[J]. Food & Nutrition Research, 2015, 59(1): 29290.
［52］ 陈芝飞, 蔡莉莉, 郝辉, 等. 香气活力值在食品关键香气成分表征中的应用研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 329−335. ［CHEN Zhifei, CAI Lili, HAO Hui, et al. Progress in the application of odor activity values in the characterization of key aroma components in foods[J]. Food Science, 2018, 39(19): 329−335.］
［53］ DI CANITO A, ALTOMARE A, GIUGGIOLI N, et al. From fruit to beverage: Investigating actinidia species for characteristics and potential in alcoholic drink production[J]. Foods, 2024, 13(15): 2380.
［54］ 安琪, 张霞, 郭玉琪, 等. 发酵方式对苹果幼果果酒品质及香气成分的影响[J]. 中国食品学报, 2025, 25(1): 335−347. ［AN Q, ZHANG X, GUO Y Q, et al. Effects of fermentation methods on the quality and aroma components of young apple fruit wine[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2025, 25(1), 335−347.］