

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.06.025

京白梨酒发酵与香气分析*

宋 柬¹ 李德美² 邓小明¹ 张莉华³ 陈尚武¹ 马会勤⁴

(1. 中国农业大学大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 北京农学院食品科学与工程学院, 北京 102206;
3. 北京利民恒华农业科技有限公司, 北京 102488; 4. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

【摘要】 在京白梨酒发酵工艺研究的基础上,利用固相微萃取-气相色谱-嗅辨-质谱法进一步对京白梨酒特征性香气成分进行了分析。接种发酵前,分别采用浓缩梨汁、白砂糖、秋梨膏调整京白梨汁的含糖量,对比原汁和果渣的发酵方式、感官评价结果、挥发性成分种类和经济成本等综合因素,最终确定添加白砂糖来调整京白梨汁的糖度到16°Brix。结合前期的实验条件确定了京白梨酒的中试工艺参数。京白梨酒可能的特征香气物质包括:乙酸异戊酯、己酸乙酯、乙酸己酯、辛酸甲酯、丁二酸二乙酯、辛酸乙酯、乙酸苯乙酯、9-癸烯酸乙酯、癸酸乙酯、异戊醇、正己醇、β-苯乙醇和紫罗兰酮。本研究通过不同发酵处理对香气成分的分析,为进一步提高京白梨酒的品质提供了新的依据。

关键词: 京白梨酒 香气成分 固相微萃取 气相色谱-嗅辨-质谱联用
中图分类号: TS207.3; TS262.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)06-0133-06

Fermentation and Aroma Analysis of Jingbai Pear Wine

Song Jian¹ Li Demei² Deng Xiaoming¹ Zhang Lihua³ Chen Shangwu¹ Ma Huiqin⁴

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Food Science and Engineering College, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China
3. Limin-Henghua Agriculture Science and Technology Co., Ltd., Beijing 102488, China
4. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract

The aromatic compounds in perry were evaluated by combining SPME with GC – MS and GC – O methods on the basis of fermentation in Jingbai pear. Before fermentation, the sugar degree of Jingbai pear juice was adjusted by pear juice concentrate, granulated sugar and autumn pear grease separately. It was confirmed that pear wine adjusted to 16°Brix by granulated sugar, gained the best sensory quality and more affluent volatile components, comparing to the raw juice and pomace. The Jingbai pear wine pilot scale fermentation was carried on based on the laboratory parameters. The key aroma components included 1-butanol, 3-methyl-, acetate; hexanoic acid, ethyl ester; acetic acid, hexyl ester; octanoic acid, methyl ester; butanedioic acid, diethyl ester; octanoic acid, ethyl ester; acetic acid, 2-phenylethyl ester; ethyl 9-decenoate; decanoic acid, ethyl ester; 1-butanol, 3-methyl-; 1-hexanol; phenylethyl alcohol; 3-buten-2-one, 4- (2, 6, 6- trimethyl-2- cyclohexen-1-yl). These aroma components were compared in different pear wines. The results illustrated a new way for the quality Jingbai pear wine improvement through the fermentation by different perspectives on the analysis of aroma components.

Key words Jingbai pear wine, Aromatic compounds, Solid phase mirco-extraction, Gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry

收稿日期: 2011 – 09 – 23 修回日期: 2011 – 09 – 30

* 国家自然科学基金资助项目(30471212)

作者简介: 宋柬, 博士生, 主要从事农产品加工及食品安全研究, E-mail: songirlike@163.com

通讯作者: 陈尚武, 教授, 博士生导师, 主要从事食品生物技术研究, E-mail: swchen@cau.edu.cn

引言

京白梨果实扁圆、果色嫩黄、果肉细腻、多汁味甜、酸甜适口、果肉中含石细胞少、香气袭人且含糖量高,可达 13% 以上,品质极佳^[1],是北京地区传统的优良栽培品种之一。目前已有新疆香梨、安梨、软儿梨、南果梨、贵州刺梨、雪花梨和鸭梨等用于梨酒的开发研究和生产,但尚未见京白梨酒的酿造及其香气成分分析的研究^[2-8]。

气相色谱-嗅辨(gas chromatography-olfactometry,简称 GC-O)技术是研究食品中挥发性香气成分的一种有效手段。气相色谱(gas chromatography,简称 GC)可以分析出果酒中易挥发的低沸点化合物;而质谱(mass spectra,简称 MS)在未知物质的定性方面则有着显著优势。但一小部分对食品香味起贡献作用或者含量很低的化合物,不能被 GC 或 GC-MS 检测出来,所以 GC 和 GC-MS 不能从气味上来确定化合物对食品香味所起的作用,而 GC-O 技术的出现正好弥补了这个缺陷^[9]。

本文采用固相微萃取-气相色谱-质谱/嗅闻(SPME-GC-MS/GC-O)技术检测 5 种不同处理的京白梨酒样和成品酒的香气成分并比较其差异,为提高京白梨果酒的主体香浓度及品质提供有力的理论基础。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

京白梨,购自北京市房山区,选择优质、无腐烂和无机械损伤的京白梨为实验材料。

果胶酶(LALLZYME EXV,法国 LALLEMAND 公司)、酵母营养添加物(HELPER,法国)、干酵母粉(LALVIN KD,法国 LALLEMAND 公司)。

秋梨膏和浓缩梨汁均购于北京科力博桑食品有限公司,白砂糖购自北京市农贸市场。

实验所用试剂亚硫酸 6% 水溶液、柠檬酸、NaCl 均为分析纯。

高纯氦气(纯度大于或等于 99.999%)北京千禧京城气体有限公司。

1.2 主要仪器与设备

榨汁机(九阳股份有限公司);紫外分光光度计(上海棱光技术有限公司);酸度计(北京华瑞博远科技发展有限公司);WYT-J 型手持糖度计(北京卓川科技有限公司);密闭式发酵系统。

手动 SPME 进样器(美国 Supelco 公司);7890A-5975C 型气相色谱-质谱联用仪(美国 Agilent 公司);嗅觉测量仪 Sniffer 9000 型(瑞士

Brechbühler);EY-300A 型分析天平(日本松下电器公司);DB-5 型毛细管色谱柱(美国 Agilent 公司);PDMS 萃取针(美国 Agilent 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 京白梨酿酒方法

工艺流程: SO₂ 酵母及营养添加物
京白梨→清洗→榨汁→澄清→调整成分→主发酵→
倒酒→后发酵→倒酒→澄清→原酒→包装
果胶酶
添加 SO₂ 终止发酵

操作要点:主发酵前京白梨汁中含糖量为 13°Brix,用浓缩汁、白砂糖和秋梨膏调整至 16°Brix,分别以原汁和果渣作对比,加入 6% H₂SO₃ 提供 60 mg/L SO₂,用柠檬酸调酸至 pH 值 3.5。采用商业酵母和营养添加物,在 14~17℃ 进行酒精发酵。当比重降至 1 000、残糖降为 0.4% 时,添加 30 mg/L SO₂ 使主发酵结束,分离后以 12~14℃ 陈酿 30 d,供感官鉴定、中试探索和香气分析。小试发酵按 10 L 发酵量发酵,每个处理 3 个重复。根据小试的实验结果确定最佳的 5 t 京白梨酒中试发酵工艺条件。

1.3.2 检测与感官评价方法

酒度采用沸点法测定,总糖为斐林法,总酸为 NaOH 滴定法。

由 7 人组成的评定小组,参照 GB 15037—2006 感官要求,对梨酒的色泽(满分 20 分)、香气(满分 20 分)、滋味(满分 40 分)和典型性(满分 20 分)进行综合评分^[10]。

1.3.3 京白梨酒 SPME 操作

参考文献[11~12]方法略有改进,果酒 8 mL 放入 15 mL 样品萃取瓶中,加入 2.2 g NaCl,磁力搅拌置于固相微萃取工作台上,于 40℃ 水浴中平衡 10 min;PDMS 萃取针插入顶空瓶中,使之与梨酒液面保持 1.5 cm 距离,40℃ 萃取 15 min,磁力搅拌速度 900 r/min。迅速将萃取针插入气相色谱仪的进样口,推出纤维头热解析 3 min,同时启动气相色谱仪采集数据。

1.3.4 GC-MS-O 分析

气相色谱柱:DB-5 型毛细管色谱柱,14% 氰丙基苯基、86% 甲基硅烷,30 m×0.25 mm×0.25 μm。

气相色谱条件:PDMS 萃取针热解析 3 min,进样口温度 250℃,载气为高纯氦气,不分流进样。程序升温:起始温度 45℃,保持 2 min,以 4℃/min 的速度升至 200℃,再以 15℃/min 的速度升至 250℃,保持 10 min。

质谱条件:7890A-5975C 型质谱仪,电离方式

EI,电子轰击能量为 70 eV;接口温度为 280℃,离子源温度为 230℃,四级杆温度为 150℃,扫描质量范围为 33 ~ 350 amu。

定性分析:各组分经过计算机 NIST 08 库检索及有关资料进行分析鉴定。嗅辨仪末端流出的香气组分的鉴定由 3 名(2 名女性、1 名男性)对 GC-O 有一定实验基础的感官评价人员来完成。嗅闻过程中记录香气物质出现的时间并描述其香气属性,每人对同一样品进行 3 次评价,最后以每一种物质被这 3 名人员所嗅闻到的总数即检测频率(DF)来表征每种物质香气贡献大小。在本实验中,将 DF 大于或等于 2 且至少被 2 名评价人员各嗅闻到 1 次的物质,定义为京白梨酒的特征香气成分^[13]。

2 结果与分析

2.1 京白梨酒发酵条件的确定

通过前期多参数的实验确定了京白梨酒的最适发酵条件:采用商业酵母 KD,接种量 0.2 g/L,发酵液初始 pH 值为 3.3 ~ 3.5,SO₂添加量为 60 mg/L,装罐量为罐容的 80%,发酵温度控制在 14 ~ 17℃,至完全发酵完毕进行分离与陈酿。

2.2 京白梨汁调整成分的发酵曲线分析

图 1 为最适发酵条件下,采用浓缩汁、白砂糖和秋梨膏调整京白梨汁含糖量等不同处理,与原汁和果渣的发酵曲线对比图。将密闭式发酵系统置于恒温环境中,每隔 1 d 称量 1 次,记录相关数据,换算

成酒度设为纵坐标。表 1 中数据为酒样的 3 个平行处理的平均值。结合感官评价结果及表 1 的指标可知,原汁组酒度较低,梨酒的香气不足;白砂糖组的效果较好,但发酵周期要明显比其他几组长 2 ~ 3 d。用浓缩汁和秋梨膏调整后所酿出的梨酒香气较其他处理组明显,但发酵醪颜色较深,而且秋梨膏在制作过程中添加的中草药,会影响梨酒的风味。

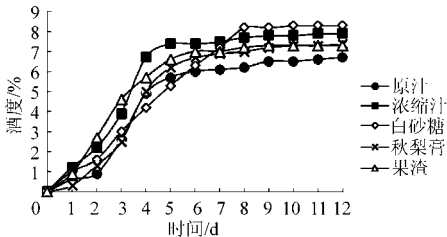


图 1 不同成分调整对京白梨酒发酵效果影响的发酵曲线
Fig.1 Effect of different additions on fermentation of Jingbai pear wines

带果渣发酵是模拟红葡萄酒的带皮发酵,与白葡萄酒的无皮渣发酵对比,可探索梨酒发酵更适合的方式。采用带果渣发酵方式的优点是在发酵的过程中将梨渣中的香气成分充分浸渍出来,增加京白梨酒香气;但是果渣在发酵醪表面形成的酒盖,影响低温发酵效果,且后期京白梨酒比较浑浊,不易过滤澄清,影响透光性和后期稳定性。

综合以上各个因素,最终中试生产的成品酒采用添加白砂糖将梨汁糖度调整为 16°Brix。

表 1 经成分调整的京白梨果酒指标
Tab.1 Organoleptic index of Jingbai pear fruit wine after components adjustment

处理	发酵时长/d	酒度/%	酸度(以柠檬酸计)/%	残糖/g·L ⁻¹	风味特点	感官评分
原汁	12	6.7	0.366	3.5	酒香尚可,口感清淡	73
浓缩汁	12	7.9	0.409	4.2	酒香宜人,口感醇厚	83
白砂糖	14	8.3	0.407	4.3	梨香清新,口感和谐爽口	85
秋梨膏	12	7.4	0.396	4.5	稍有草药味,口感清爽	79
果渣	12	7.3	0.387	4.8	酒香良好,口感适当	76

2.3 中试成品酒感官特性

在实验室和小试发酵的基础上,进行了 5 t 规模的中试生产发酵,经完整的发酵工艺和陈酿过程形成京白梨成品酒,其感官特性鉴定结果见表 2,感官特性综合了 7 个感官评价人员的描述得出,感官评分达到 90 分以上。

2.4 京白梨酒的 GC-MS 结果分析与对比

图 2 为几种不同发酵方式梨酒与中试成品梨酒 GC-MS 检测的总离子流对比图。SPME 后进入气相色谱仪,热解析 3 min;同时,溶剂延滞 3 min 后自动采集。

表 2 京白梨酒成品酒的感官特性

Tab.2 Sensory description of Jingbai pear wine	
项目指标	特性
色泽(20 分)	淡黄色,有光泽,透明、澄清,无悬浮物,无沉淀
香气(20 分)	有梨果的清香,酒香宜人,协调而雅致
滋味(40 分)	酒体丰满,有新鲜感,酸甜适口,柔细轻快
典型性(20 分)	有典型性,风格良好

从图 2 可以看到,不同酒样之间存在谱峰与强度的差异。除保留时间 5 min 前后的峰有重叠外,其他挥发性成分的峰尖而窄,相邻峰均完全得到分

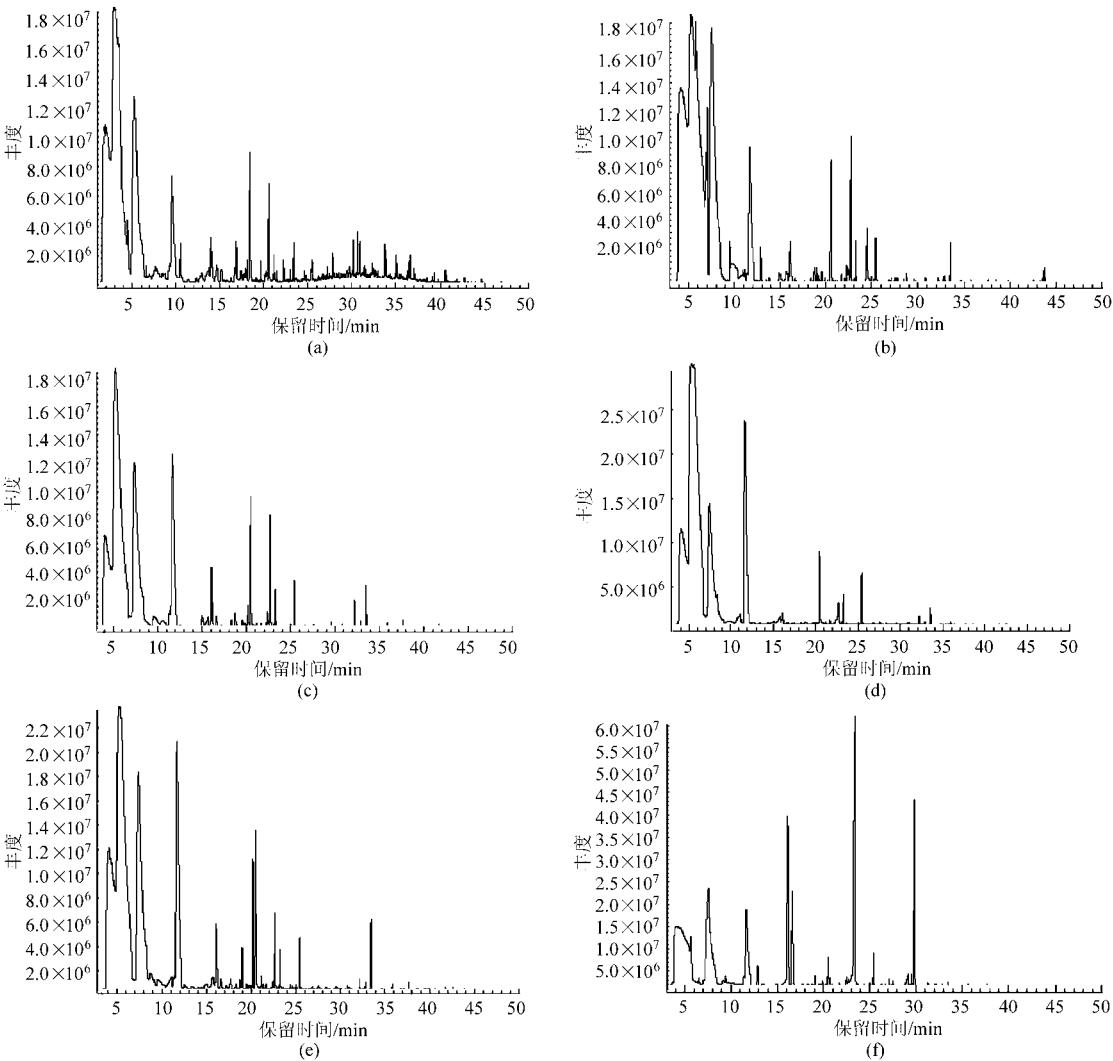


图 2 5 种京白梨酒样及成品酒香气成分的总离子流色谱图

Fig. 2 Total ion current chromatogram of GC - MS of Jingbai pear wines under five different treatments and products

(a) 原汁 (b) 浓缩汁 (c) 白砂糖 (d) 秋梨膏 (e) 果渣 (f) 中试成品酒

离,说明实验用气相色谱和质谱条件能满足京白梨酒样挥发性成分分离的要求。

2.5 京白梨酒主要香气分析

2.5.1 不同处理京白梨酒香气成分 SPME - GC - MS 分析

根据 SPME - GC - MS 的结果,利用 NIST 08 库进行物质成分的自动检索,将 5 个京白梨酒样和成品酒所检测到的香气成分,按照保留时间的先后顺序分别列于图 3 中。检测到的挥发性成分共有 73 种,以酯类、醇类和酸类为主,此外还有少量的烯类、酚类和醛酮类物质。异戊醇、己酸乙酯、 β -苯乙醇、丁二醇二乙酯、辛酸乙酯和乙酸苯乙酯 6 种物质在 6 个样品中皆有,但含量不同。

如图 3(每个酒样进行 3 个平行处理)所示,异戊醇的含量在每个样品中占的比例是最高的,秋梨膏组异戊醇的含量相对较少; β -苯乙醇、乙酸苯乙酯在各个样品中相对含量差别不大;丁二酸二乙酯的

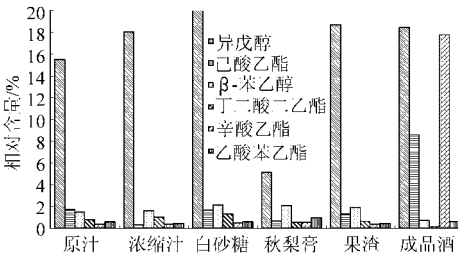


图 3 5 种京白梨酒样及成品酒相同的香气成分对比
Fig. 3 Same aromatic components comparison of Jingbai pear wines under five different treatments and product

在成品酒中含量最少;成品酒的辛酸乙酯和己酸乙酯的相对含量较高,会带来迷人的花香、果香和酒香,给京白梨酒增添雅致的香气。每个样品中也都会含独有的挥发性物质,可能为 5 种酒样提供不同的香气特征。

梨汁中添加的不同成分会影响梨酒的香气物质。原汁组检测出 22 种香气成分,占总峰面积的 69.19%,其中酯类物质 9 种,醇 5 种,酸 2 种,醛 4 种,

其他香气成分 2 种；浓缩汁组检测出 30 种香气成分，占总峰面积的 54.43%，其中酯类物质 10 种，醇 8 种，酸 7 种，其他香气成分 5 种；白砂糖组检测出 26 种香气成分，占总峰面积的 84.56%，其中酯类物质 13 种，醇 7 种，酸 3 种，其他香气成分 3 种；秋梨膏组检测出 19 种香气成分，占总峰面积的 88.28%，其中酯类物质 10 种，醇 4 种，酸 4 种，其他香气成分 1 种；果渣组检测出 21 种香气成分，占总峰面积的 79.20%，其中酯类物质 12 种，醇 4 种，酸 5 种；中试成品酒检测出 27 种香气成分，占总峰面积的 66.71%，其中酯类物质 17 种，醇 5 种，酸 4 种，其他香气成分 1 种。

2.5.2 京白梨成品酒香气成分分析

根据香气成分含量较高且阈值低的成分很可能是特征香气——Guadagni 的香气值理论^[14]，对中试成品梨酒进行了 GC-O/MS 嗅探分析。

京白梨成品酒通过 GC-MS 和 GC-O 进行香气分析，京白梨酒的特征香气包括以下 13 种主要成分：乙酸异戊酯、己酸乙酯、乙酸己酯、辛酸甲酯、丁二酸二乙酯、辛酸乙酯、乙酸苯乙酯、9-癸烯酸乙酯、癸酸乙酯、异戊醇、正己醇、 β -苯乙醇和紫罗兰酮。其中酯类 9 种，占总峰面积的 43.30%；醇类 3 种，占总峰面积的 19.80%；酮类 1 种，占总峰面积的 0.03%。特征香气物质的相对峰面积为 63.13%，占总香气物质峰面积的 94.63%。

不同香气成分被人感知的阈值差别较大，含量少但阈值较低的香气物质也会被评价人员嗅闻到，这种现象在文献[15~17]的实验中有所报道，本研究中也存在这种现象，如图 4 所示。

了 2 种与京白梨汁相同的香气物质：己醇和辛酸乙酯。成品酒中含有的其他香气物质是在发酵中产生或变化的。异戊醇和 β -苯乙醇都是杂油醇，是果酒发酵中酵母的代谢产物^[19]，质量浓度高于 300 mg/L 和 140 mg/L 会有腐臭味，低于此会给酒体带来宜人的果香和花香^[20]。发酵中产生的乙酸异戊酯、乙酸己酯、己酸乙酯和癸酸乙酯给果酒提供复杂且不同的混合气味^[21]。另外包括丁二酸二乙酯在内的 3 种酯和紫罗兰酮同样呈现出柔和的青香、果香、花香和酯香，构成了京白梨酒特有的香气。

京白梨酒的香气成分跟鸭梨酒、库尔勒香梨酒的主要香气成分存在异同，跟苹果酒、巴西赤霞珠等几种红葡萄酒、Zalema 白葡萄酒、甜菲安诺酒的主要香气成分作对比，同样存在异同点^[8,11,22~26]。酯类、醇类和酸类等香气物质能够给酒体提供雅致的果香、花香和酒香，但由于水果品种、发酵方式和香气萃取的预处理方法、检测方法与条件以及原料的选择控制等都存在差异，所以最终果酒挥发性香气物质的种类及含量差异较大，被不同感官评价人员嗅辨到的香气必然不同，随之确定的主要香气成分就产生了极大的差别。

3 结论

(1)接种发酵前，分别采用浓缩梨汁、白砂糖和秋梨膏调整京白梨汁的含糖量，对比原汁和果渣的发酵方式，考虑感官评价结果、挥发性成分种类和经济成本等综合因素，最终确定添加白砂糖来调整京白梨汁的糖度到 16°Brix。结合前期的实验条件确定了京白梨酒的工艺参数，通过中试探索酿造出京白梨的成品酒。

(2)采用 SPME-GC-MS 技术检测京白梨果酒样和成品酒，共得到 73 种挥发性香气成分，6 个样品中皆含有异戊醇、己酸乙酯、 β -苯乙醇、丁二酸二乙酯、辛酸乙酯和乙酸苯乙酯 6 种物质，但含量不同，每个样品中也有特有的香气物质。调整含糖量而添加的不同成分给发酵的酒样带来了不同的香气。

(3)结合 GC-O 方法，感官评价人员的嗅辨，得到京白梨酒的特征香气物质：丁酸乙酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯、乙酸己酯、辛酸甲酯、丁二酸二乙酯、辛酸乙酯、乙酸苯乙酯、9-癸烯酸乙酯、癸酸乙酯、异戊醇、正己醇、 β -苯乙醇和紫罗兰酮。初步断定这 13 种挥发性香气成分为京白梨酒提供了特有的香气。

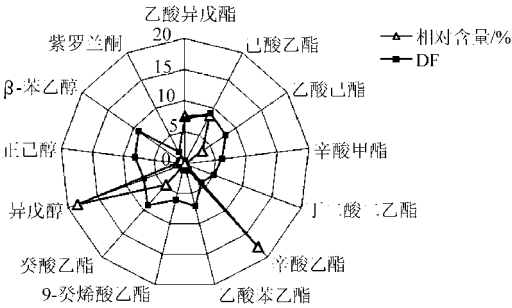


图 4 京白梨成品酒香气成分相对含量与 DF 的对比
Fig. 4 Relative content and detection frequency of aromatic components comparison in Jingbai pear wine

陈计峦等的研究发现京白梨汁中主要的香气成分主要有：乙醇、乙酸乙酯、丙酸乙酯、己醛、丁酸乙酯、乙酸丁酯、2-甲基丁酸乙酯、反-2-己烯醛、己醇、己酸乙酯、乙酸己酯、庚酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸辛酯和反-2-顺-4-癸二烯酸乙酯^[18]。京白梨成品酒保留

参 考 文 献

- 1 曲泽洲,潘季淑,闪崇辉.北京果树志[M].北京:北京出版社,1990:63~89.
- 2 武运,杨海燕,冯磐,等.库尔勒香梨果酒酿造工艺研究[J].食品工业科技,2008,29(12):148~152.
Wu Yun, Yang Haiyan, Feng Qing, et al. Study on the brewing technology of Korla pear wine [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(12):148~152. (in Chinese)
- 3 高海生,柴菊华,张建才,等.安梨酒的酿造工艺及营养成分分析[J].食品与发酵工业,2006,32(12):73~76.
Gao Haisheng, Chai Juhua, Zhang Jiancai, et al. Study on the technique of making an pear wine [J]. Food and Fermentation Industries, 2006, 32(12):73~76. (in Chinese)
- 4 赵生元,宋柯.软儿梨果酒的研制[J].酿酒科技,2009(1):87~88.
Zhao Shengyuan, Song Ke. Development of soft pear fruit wine soft pear fruit wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2009(1):87~88. (in Chinese)
- 5 刘延吉,吴铭,张蕾.南果梨酒发酵工艺研究[J].酿酒科技,2007(11):79~80,83.
Liu Yanji, Wu Ming, Zhang Lei. Research on fermentation techniques of Nanguo pear fruit wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2007(11):79~80,83. (in Chinese)
- 6 李兰,刘红霞.刺梨酒发酵过程中 VitC 的变化研究[J].江苏调味副食品,2006,23(1):13~15,27.
Li Lan, Liu Hongxia. Study on the VitC content in the fermentation of Cili pear wine [J]. Jiangsu Condiment and Subsidiary Food, 2006, 23(1):13~15,27. (in Chinese)
- 7 胡云峰,郭意如,李光普,等.干白雪梨酒的酿造技术[J].食品科学,2004,25(12):209~211.
Hu Yunfeng, Guo Yiru, Li Guangpu, et al. Study on the fermentation process of pear white wine [J]. Food Science, 2004, 25(12):209~211. (in Chinese)
- 8 何义,张伟,赵红梅,等.鸭梨果酒香气成分分析[J].园艺学报,2006,33(6):1267~1268.
He Yi, Zhang Wei, Zhao Hongmei, et al. Analysis of aroma components of 'Yali' pear wine by Gas-Mass spectrometry [J]. Acta Horticulture Sinica, 2006, 33(6):1267~1268. (in Chinese)
- 9 徐占成,王双,徐姿静,等.色谱闻香技术 GC/O 在蒸馏酒中的应用[J].酿酒科技,2011(6):42~44.
Xu Zhancheng, Wang Shuang, Xu Zijing, et al. Application of GC/O technology in distilled spirits [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2011(6):42~44. (in Chinese)
- 10 王冉.酵母发酵黄花岗梨酒加工工艺研究[D].重庆:西南农业大学,2004.
Wang Ran. Study on the proeessing technology of Huanghua pear wine with free yeast [D]. Chongqing: Southwest Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- 11 陈计峦,吴继红,冯作山,等.库尔勒香梨酒的挥发性成分分析[J].酿酒科技,2005(3):87~89.
Chen Jiluan, Wu Jihong, Feng Zuoshan, et al. Analysis of volatile components in Xinjiang Kuerle fragrant pear wine [J]. Liquor-Making Science & Technology, 2005(3):87~89. (in Chinese)
- 12 Hiroyuki K, Heather L L, Janusz P. Application of solid-phase mircoextraction in food analysis [J]. Journal of Chromatography A, 2000, 880(1~2):35~36.
- 13 Charles M, Martin B, Ginies C, et al. Potent aroma compounds of two red wine vinegars [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(1):70~77.
- 14 Guadagni D G, Buttery R G, Harris J. Odour intensities of hop oil components [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1966, 17(3):142~144.
- 15 Culleré L, Escudero A, Cacho J, et al. Gas chromatography-olfactometry and chemical quantitative study of the aroma of six premium quality Spanish aged red wines [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(6):1653~1660.
- 16 Jane E F, Terry E A. Gas chromatography olfactometry of dairy products [J]. Dairy Journal, 1998, 8(3):235~241.
- 17 Aslaug H, Russell L R. Identification of aroma active compounds in orange essence oil using gas chromatography-olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Journal of Chromatography A, 2003, 998(1~2):201~211.
- 18 陈计峦.梨香气成分分析、变化及理化特征指标的研究[D].北京:中国农业大学,2005.
Chen Jiluan. Study on the aroma analysis, variation and physicochemical characteristic index of pears [D]. Beijing:China Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 19 Gonzalez A, Gonzalez B, Cancho G, et al. Relationships between Godello white wine sensory properties and its aromatic fingerprinting obtained by GC-MS [J]. Food Chemistry, 2011, 129(3):890~898.

- Comparative Physiology A, 2005, 191(8): 675 ~ 693.
- 4 Pazur A, Schimek C, Galland P. Magneto reception in microorganisms and fungi [J]. Central European Journal of Biology, 2007, 2(4): 597 ~ 659.
- 5 魏培莲. 土曲霉固态发酵产洛伐他汀的关键技术和新工艺探索[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
Wei Peilian. Efficient and novel technologies for lovastatin production with *Aspergillus terreus* in solid state fermentation [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007. (in Chinese)
- 6 路秀玲, 赵树欣, 刘忠华. 红曲霉固态发酵中生物量的测定方法[J]. 食品与发酵工业, 2001, 27(6): 45 ~ 49.
Lu Xiuling, Zhao Shuxin, Liu Zhonghua. Biomass estimation of *Monascus* in solid-state fermentation [J]. Food and Fermentation Industries, 2001, 27 (6): 45 ~ 49. (in Chinese)
- 7 Moore R L. Biological effects of magnetic fields: studies with microorganisms [J]. Canadian Journal of Microbiology, 1999, 25(10): 1 145 ~ 1 151.
- 8 Justo O R, Perez V H, Alvarez D C, et al. Growth of *Escherichia coli* under extremely low-frequency electromagnetic fields [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2006, 134(2): 155 ~ 163.
- 9 Aarholt E, Flinn E A, Smith C W. Effects of low-frequency magnetic fields on bacterial growth rate [J]. Physics in Medicine Biology, 1981, 26(4): 613 ~ 621.
- 10 高梦祥, 夏帆, 胡秋冬. 交变磁场对啤酒酵母的生长促进效应[J]. 农业机械学报, 2007, 38(7): 91 ~ 93.
Gao Mengxiang, Xia Fan, Hu Qiudong. Stimulation of alternating magnetic field on *Saccharomyces Cerevisiae* [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38 (7): 91 ~ 93. (in Chinese)
- 11 Goldsworthy A. Effects of electrical and electromagnetic fields on plants and related topics [M] // Volkov A G. Plant electrophysiology-theory & methods. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006: 247 ~ 267.
- 12 Liu Y, Edge R, Henbest K, et al. Magnetic field effect on singlet oxygen production in a biochemical system[J]. Chemical Communication, 2005, 14(2): 174 ~ 176.
- 13 Ahmad M, Galland P, Ritz T, et al. Magnetic intensity affects cryptochrome-dependent responses in *Arabidopsis thaliana* [J]. Planta, 2007, 225(3): 615 ~ 624.
- 14 McLeod B R, Liboff A R. Dynamic characteristics of membrane ions in multifold configurations of low-frequency electromagnetic radiation [J]. Bioelectromagnetics, 1986, 7(2): 177 ~ 189.
- 15 Liboff A R, McLeod B R. Kinetics of channelized membrane ions in magnetic fields [J]. Bioelectromagnetics, 1988, 9(1): 39 ~ 51.
- 16 Lednev V V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems [J]. Bioelectromagnetics, 1991, 12(2): 71 ~ 75.

(上接第 138 页)

- 20 Rapp A, Versini G. Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds of wine [C] // JoAnne M Rantz. Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wines. Davis, CA: American Society for Enology and Viticulture, 1991: 156 ~ 164.
- 21 Ribéreau G P, Glories Y, Maujean A, et al. Handbook of enology. Vol. 2: the chemistry of wine stabilization and treatments [M]. 2nd ed. Chichester, England: Jon Wiley & Sons, 2006.
- 22 Escudero A, Campo E, Fariña L, et al. Analytical characterization of the aroma of five premium red wines. Insights into the role of odor families and the concept of fruitiness of wines [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(11): 4 501 ~ 4 510.
- 23 Xu Yan, Fan Wenlai, Qian M C. Characterization of aroma compounds in apple cider using solvent-assisted flavor evaporation and headspace solid-phase microextraction [J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2007, 55(8): 3 051 ~ 3 057.
- 24 Leila D F, Gilles R, Jean P R, et al. Aroma impact components of Brazilian Cabernet Sauvignon wines using detection frequency analysis (GC-olfactometry) [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 497 ~ 505.
- 25 Alessandro G, Angelita G, Paola P, et al. Sensory properties and aroma compounds of sweet Fiano wine [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1 228 ~ 1 236.
- 26 Beata P, Waldemar W. Application of gas chromatography-olfactometry (GC-O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages—a review [J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 449 ~ 463.