

静态顶空-气相色谱法同时测定葡萄酒中 12 种挥发性成分

丁银蒙^{1,2#}, 赵亚惠^{1#}, 柳文媛^{1,2}, 刘晶^{1,2*}

[1. 中国药科大学药学院, 南京 210009; 2. 浙江省原料药安全研究中心(工艺技术创新平台), 杭州 310018]

摘要: **目的** 建立一种静态顶空-气相色谱法同时测定葡萄酒中 12 种挥发性化合物的分析方法。**方法** 取葡萄酒 5.00 mL 于 20 mL 顶空瓶中, 加入 2.00 g 氯化钠, 顶空进样, 经强极性毛细管色谱柱分离, 氢火焰离子化检测器检测, 以保留时间定性, 内标法定量。**结果** 12 种挥发性成分在相应质量浓度范围内线性关系良好, 相关系数均大于 0.990, 定量限为 0.04~9.49 mg/L, 回收率为 70.43%~98.75%, 相对标准偏差为 0.87%~9.51% ($n=6$)。**结论** 本方法无需复杂样品前处理即可实现葡萄酒中 12 种挥发性成分的定性与定量, 能够有效提高分析效率, 且简便快速、成本低, 可以为葡萄酒的质量控制和检验提供一种新方法。

关键词: 葡萄酒; 挥发性醇; 挥发性酯; 静态顶空-气相色谱法

Simultaneous determination of 12 kinds of volatile compounds in wine by static headspace-gas chromatography

DING Yin-Meng^{1,2#}, ZHAO Ya-Hui^{1#}, LIU Wen-Yuan^{1,2}, LIU Jing^{1,2*}

[1. School of Pharmacy, China Pharmaceutical University, Nanjing 210009, China; 2. Zhejiang Center for Safety Study of Drug Substances (Industrial Technology Innovation Platform), Hangzhou 310018, China]

ABSTRACT: Objective To establish a method for the simultaneous determination of 12 kinds of volatile compounds in wine by static headspace-gas chromatography. **Methods** A total of 5.00 mL wine was added into a 20 mL headspace vial and 2.00 g sodium chloride was injected into the vial, the wine was separated by a strong polarity capillary column and detected by a hydrogen flame ionization detector, and the qualitative analysis was conducted based on the retention time and quantitative analysis was conducted by internal standard method. **Results** The linear relationships of the 12 kinds of volatile components were good within the corresponding mass concentrations, with correlation coefficients greater than 0.990, quantitation limits of 0.04–9.49 mg/L, recoveries of 70.43%–98.75%, and relative standard deviations of 0.87%–9.51% ($n=6$). **Conclusion** This method can realize the qualitative and quantitative analysis of 12 kinds of volatile components in wine without complicated sample pretreatment, effectively improve the analysis efficiency, and is simple, rapid and low in cost, which can provide a new method for the quality control and inspection of wine.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC1605402)、江苏省自然科学基金青年基金项目(BK20200567)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2019YFC1605402), and the Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20200567)

#丁银蒙、赵亚惠为共同第一作者。

#DING Yin-Meng and ZHAO YA-Hui are Co-first Authors.

*通信作者: 刘晶, 博士, 副教授, 主要研究方向为分析化学。E-mail: liujing@cpu.edu.cn

*Corresponding author: LIU Jing, Ph.D, Associate Professor, School of Pharmacy, China Pharmaceutical University, Nanjing 210009, China. E-mail: liujing@cpu.edu.cn.

KEY WORDS: wine; volatile alcohol; volatile ester; static headspace-gas chromatography

0 引言

葡萄酒香气独特,富含单宁等生物活性物质,适量饮用有益于身体健康^[1-3]。中国是世界葡萄酒的起源地之一,更是消费大国^[4-5]。风味是评价葡萄酒品质的一个重要指标,很大程度上受挥发性成分的影响^[6-7]。目前,已鉴定出的挥发性成分大约有 800 多种,主要包括醇类、酯类、醛类和有机酸等化合物^[8-11]。

乙醇作为葡萄酒中含量最多的挥发性醇类,在香气呈现中起重要作用。低浓度的乙醇具有芳香和酒香,而高浓度的乙醇则会产生令人不适的辛辣口感^[12-13]。作为酒类产品的重要参数,市售葡萄酒中乙醇的含量大多在 8%~15%(体积分数)之间。甲醇是一种在发酵过程中不可避免产生的有毒物质,必须在生产过程中严格控制^[14-15]。此外,葡萄酒中还含有丙醇、丁醇、戊醇等多种高级醇,可以增加香气的优雅感与协调性^[16]。然而,过高含量的高级醇会给人带来不适感,甚至引起恶心、呕吐等反应,危害人体健康,其中毒害作用最大的是异丁醇和异戊醇,而且当二者含量过多时即会产生苦涩味^[17-20]。CAMELEYRE 等^[21]的研究表明,当葡萄酒中高级醇含量高于 0.4 g/L 时,具有刺激性,有害健康。

葡萄酒中另一大类挥发性成分是乙酸乙酯、乙酸丁酯、己酸乙酯等酯类物质,其中含量较多的乙酸乙酯和乙酸异戊酯会赋予葡萄酒类似菠萝、香蕉等水果的香气,对葡萄酒香气的独特性影响最大^[22]。葡萄酒中挥发性成分的种类和浓度共同作用构建了葡萄酒的整体风味。因此,研究葡萄酒中挥发性成分,有助于评价其品质和调控生产过程,以更好地促进葡萄酒产业的发展^[23]。

葡萄酒基质复杂,挥发性成分的分析主要采用仪器分析法和感官分析法。气相色谱技术作为应用最广泛的一种仪器分析法,可以结合不同的检测器及样品前处理方法,实现多组分同时定性和定量,而且具有较好的重现性^[24]。配备氢火焰离子化检测器的气相色谱仪可用于

测定果酒等酒精饮料中的挥发性成分,样品直接进样,方法简单、快速^[25]。顶空固相微萃取^[26-29]、固相萃取^[30]和搅拌棒吸附萃取等技术^[31]与气相色谱/质谱法联用,能够在尽可能避免样品基质干扰的同时,以保留时间和质荷比为依据,实现葡萄酒中多种挥发性化合物的鉴定与定量分析。

通过对我国现行标准方法的梳理发现,标准方法中规定了采用气相色谱法(gas chromatography, GC)测定葡萄酒中挥发性酯类、挥发性醇类以及甲醇和乙醇。其中, QB/T 4849—2015《葡萄酒中挥发性醇类的测定方法 静态顶空-气相色谱法》和 QB/T 4850—2015《葡萄酒中挥发性酯类的测定方法 静态顶空-气相色谱法》利用顶空-气相色谱法(headspace-gas chromatography, HS-GC)分别测定正丙醇、正丁醇、异丁醇等 6 种低含量挥发性醇类和己酸乙酯、乙酸丁酯等 4 种低含量挥发性酯类。GB 5009.266—2016《食品安全国家标准 食品中甲醇的测定》中规定,需先蒸馏除去发酵酒及其配制酒中的不挥发性物质,再采用 GC 法检测甲醇的含量。GB 5009.225—2016《食品安全国家标准 酒中乙醇浓度的测定》中第三法为 GC 法,适用范围是葡萄酒、果酒和啤酒。该方法规定在测定葡萄酒的酒精含量时,需要先将葡萄酒加热蒸馏,收集馏分,再稀释后进样。样品前处理流程较为复杂,而且在过程中会对其他挥发性组分产生影响,因此无法达到乙醇和其他多种低含量挥发性组分同时测定的目的。我国关于葡萄酒中挥发性组分测定的现行标准、适用范围等相关信息见表 1。

本研究将气相色谱法良好的分离能力、氢火焰离子化检测器(flame ionization detector, FID)的宽线性范围、以及顶空进样技术可以消除不挥发基质干扰这 3 大优势相结合,建立一种可以同时测定葡萄酒中 12 种挥发性成分的 HS-GC-FID 分析方法,既能实现对葡萄酒中高浓度乙醇的含量测定,又能同时检测包括甲醇在内的多种低含量挥发性醇类和挥发性酯类,以期为生产企业及相关检验部门的葡萄酒质量控制提供参考。

表 1 我国关于葡萄酒中挥发性组分测定的现行标准

Table 1 Current standard methods in China for the determination of volatile compounds in wine

标准号	适用范围	目标物	方法
QB/T 4849—2015	葡萄酒中挥发性醇类	正丙醇、异丁醇、正丁醇、活性戊醇、异戊醇、正己醇	HS-GC
QB/T 4850—2015	葡萄酒中挥发性酯类	乙酸乙酯、乙酸丁酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯	HS-GC
GB 5009.266—2016	酒精、蒸馏酒、发酵酒、配制酒	甲醇	GC
GB 5009.225—2016	葡萄酒、啤酒、果酒	乙醇	GC

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

乙醇、正丁醇(色谱纯, 上海阿拉丁生化科技有限公司); 甲醇、正丙醇、乙酸乙酯、己酸乙酯、正己醇、异丁醇、乙酸异戊酯、异戊醇、活性戊醇(2-甲基-1-丁醇)、叔戊醇(纯度大于等于 99.9%)(色谱纯, 上海麦克林生化科技有限公司); 乙酸丁酯(色谱纯, 上海贤鼎生物科技有限公司); 氯化钠(分析纯, 西陇科学股份有限公司)。

葡萄酒实际样品: 市售 12% vol 干红葡萄酒, 购于超市。

1.2 仪器与设备

GC-2030 气相色谱仪, 配有 HS-10 顶空自动进样器、FID 检测器及 Labsolution 色谱工作站(日本 SHIMADZU 公司); DB-WAX 石英毛细管色谱柱(30 mm×0.32 mm, 0.50 μm)(美国 Agilent 公司); GL2202-1SCN 天平(百分之一)、BSA124S 天平(万分之一)(赛多利斯科学仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 气相色谱条件

升温程序: 45 °C 保持 3 min, 以 3.5 °C/min 升至 106 °C, 保持 4 min, 再以 50 °C/min 升至 210 °C, 保持 13 min; FID 检测器温度: 250.0 °C; 氢气流量: 30.0 mL/min, 空气流量: 300.0 mL/min, 尾吹气流量: 30.0 mL/min。载气(氮气)流速: 1.50 mL/min; 进样口温度: 200 °C; 进样体积: 1 mL; 分流比: 10:1。

1.3.2 顶空条件

恒温炉温度: 50 °C; 样品流路温度: 180 °C; 传输线温度: 190 °C; 样品瓶恒温时间: 30.0 min; 加压平衡时间: 0.20 min; 导入平衡时间: 0.10 min; 样品瓶加压用气压: 80.0 kPa, 进样时间: 1.00 min。

1.3.3 样品处理方法

取葡萄酒样品适量于 100 mL 容量瓶中, 加入叔戊醇内标 5 μL, 定容、混匀、密封, 0~4 °C 冰箱冷藏保存。分析时, 准确吸取 5.00 mL 于 20 mL 顶空瓶中, 加入 2.00 g NaCl, 压紧瓶盖密封后分析。

1.3.4 定性定量方法

以目标物的保留时间定性, 内标法定量, 内标物为叔戊醇^[32]。按照 1.3.1 色谱条件及 1.3.2 顶空条件测定, 各组分含量按照公式(1)计算:

$$X=C \times \frac{A/A_1}{A/A_1} \quad (1)$$

式中:

X-----样品中各组分的含量, 单位为 mg/L;

C-----混合标准溶液中各组分的浓度, 单位为 mg/L;

A-----混合标准溶液中各组分的峰面积;

A₁-----混合标准溶液中叔戊醇内标的峰面积;

A'-----样品溶液中各组分的峰面积;

A'₁-----样品溶液中叔戊醇内标的峰面积。

1.3.5 数据处理

采用 SHIMADZU Labsolution 工作站对 GC 所采集的数据进行积分处理, 并导出色谱图, 其他数据和图谱经 Graphpad prism 7 绘图软件分析处理, 采用 Excel 2019 进行线性回归分析。所有实验至少重复 3 次, 数据以平均值表示。

2 结果与分析

2.1 混合标准溶液配制方法的选择

现行标准 QB/T 4849—2015 和 QB/T 4850—2015 中采用静态顶空-气相色谱法测定葡萄酒中挥发性醇类和酯类的含量。为了提高醇类和酯类在水相中的溶解度, 2 种方法均以乙醇溶液为溶剂配制内标和混合标准储备液, 这会导致在同时测定乙醇含量时带来干扰。本研究根据葡萄酒中乙醇、挥发性醇和挥发性酯的含量水平配制了标准溶液(表 2)。其中, 乙醇含量为 12%(体积分数), 一方面, 能够使所有目标组分在水相中充分溶解; 另一方面, 与葡萄酒样品中乙醇含量接近, 有利于其准确定量。

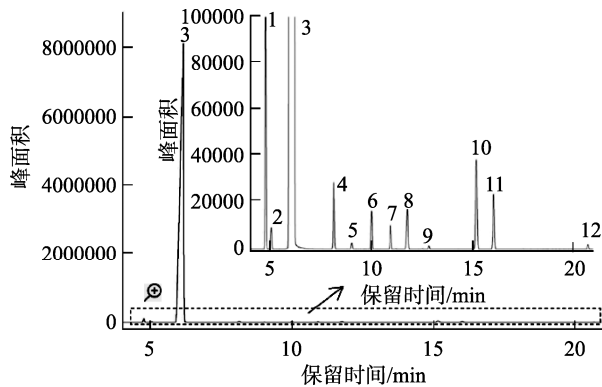
表 2 混合标准溶液中各组分浓度(mg/L)
Table 2 Concentrations of each component in the standard solution (mg/L)

序号	化合物	浓度	序号	化合物	浓度
1	乙酸乙酯	90.20	7	正丁醇	8.10
2	甲醇	237.30	8	异戊醇	97.10
3	正丙醇	16.10	9	活性戊醇	96.90
4	乙酸丁酯	8.80	10	己酸乙酯	8.71
5	异丁醇	40.20	11	正己醇	8.20
6	乙酸异戊酯	8.76	12	乙醇	12%*

注: *乙醇的浓度为体积分数, 下同。

2.2 顶空及色谱条件的选择

葡萄酒样品基质复杂, 挥发性组分多。通过分析现行方法中挥发性醇类和挥发性酯类的顶空和色谱条件, 以及“相似相溶”原理, 本研究直接选用行业认定的标准方法 QB/T 4849—2015 和 QB/T 4850—2015 中规定的顶空条件, 以及 DB-WAX 强极性柱采集和分离目标组分。优化色谱柱升温程序得到混合标准溶液的色谱图如图 1 所示。由图 1 可知, 所有目标物在 21 min 内即可全部流出。另外, 除了异戊醇和活性戊醇一对同分异构体之外, 其余各色谱峰均完全分离, 分离度大于 1.5。若进一步提高异戊醇和活性戊醇的分离度, 推荐选择柱长更长、柱内径更细的色谱柱, 例如采用标准方法中使用的 0.25 mm×50 m, 0.25 μm 强极性色谱柱。



注: 1-乙酸乙酯; 2-甲醇; 3-乙醇; 4-叔戊醇(内标); 5-正丙醇; 6-乙酸丁酯; 7-异丁醇; 8-乙酸异戊酯; 9-正丁醇; 10-异戊醇+活性戊醇; 11-己酸乙酯; 12-正己醇。

图1 混合标准溶液的色谱图

Fig.1 Chromatogram of mixed standard solution

2.3 线性回归方程及定量限

设定表2中挥发性组分的浓度为100%，分别配制50%、80%、100%、150%、200%的混合标准工作溶液，以HS-GC-FID分析，内标法定量。结果表明，只有乙酸乙酯、

甲醇和正丙醇的标准曲线呈线性相关，其余各组分的响应随浓度的增大呈现不规则变化，甚至有递减趋势(图2)。产生这种现象的主要原因在于，标准溶液中乙醇含量的增加，能够提高挥发性醇和挥发性酯在水相溶液中的溶解度，使得挥发至顶空气相中醇和酯的含量有所降低。因此，在后续配制系列标准工作溶液时，固定乙醇的含量为12%不变，仅改变其余挥发性醇和挥发性酯的浓度，得到的线性范围、线性方程和相关系数(r^2)如表3所示。可以看出，所有目标物在相应浓度范围内线性关系良好， $r^2 \geq 0.990$ 。结果表明，在同时测定葡萄酒中乙醇、挥发性醇和挥发性酯时，需要根据葡萄酒标示的酒精度来配制混合标准工作溶液中乙醇的浓度，以保证标准溶液与样品之间具有相似的基质，提高醇和酯的定量准确性。

以信噪比 $S/N=10$ 的浓度为定量限(limit of quantification, LOQ)，以12%乙醇为溶剂配制混合标准溶液，取5.00 mL混合溶液于20 mL顶空瓶中，加入2.00 g NaCl，压紧瓶盖密封，平行测定3次。各组分LOQ的测定结果如表3所示，其中己酸乙酯和乙酸丁酯的LOQ浓度最低，均为0.04 mg/L，甲醇的LOQ浓度最高，为9.49 mg/L，方法灵敏度高。

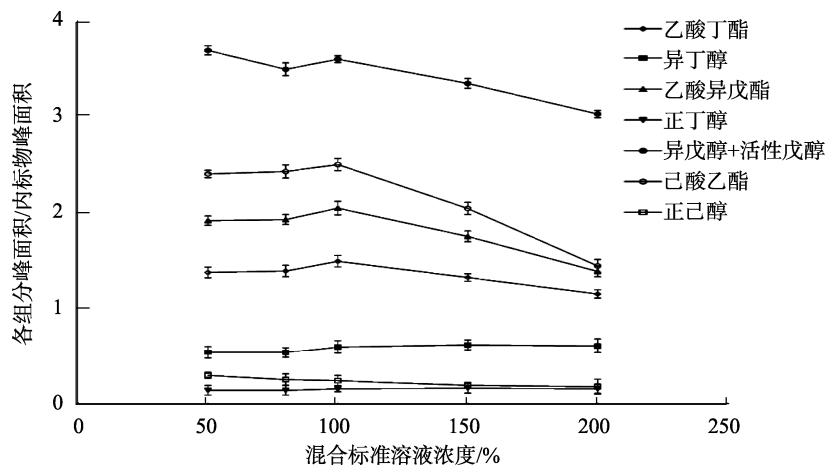


图2 不同乙醇浓度对混合标准工作溶液中部分挥发性组分色谱响应的影响($n=3$)

Fig.2 Effects of different concentrations of ethanol on the responses of some volatile compounds in mixed standard solution ($n=3$)

表3 线性范围、回归方程、相关系数及定量限($n=3$)

Table 3 Linear ranges, regression equations, correlation coefficients and LOQs ($n=3$)

化合物	线性范围/(mg/L)	回归方程	相关系数(r^2)	定量限/(mg/L)
乙酸乙酯	45.10~180.40	$Y=0.052X+0.2731$	0.990	0.13
甲醇	118.65~474.60	$Y=0.0019X-0.0168$	0.994	9.49
正丙醇	8.04~32.16	$Y=0.0073X+0.0149$	0.996	0.50
乙酸丁酯	4.40~17.60	$Y=0.0964X+0.0655$	0.990	0.04
异丁醇	20.08~80.32	$Y=0.0159X-0.0342$	0.997	0.40
乙酸异戊酯	4.38~17.52	$Y=0.1344X+0.1238$	0.991	0.09
正丁醇	4.05~16.20	$Y=0.0103X+0.0057$	0.997	0.81
异戊醇+活性戊醇	48.42~193.68	$Y=0.0386X-0.3352$	0.997	0.32
己酸乙酯	4.35~17.40	$Y=0.147X+0.1633$	0.992	0.04
正己醇	4.10~16.40	$Y=0.018X-0.0008$	0.999	0.33

2.4 精密度

平行移取 6 份混合标准溶液, 按照实验条件依次进行测定, 记录色谱图, 计算各挥发性组分峰面积与内标峰面积比值的相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs), 以此考察方法的精密度, 结果如表 4 所示。所有待测挥发性组分 RSDs 均在 10% 以下, 表明精密度良好, 可以满足实际样品的测定需求。

2.5 加标回收率

除乙醇外, 以表 2 中挥发性组分的浓度为 100%, 分别配制含高(150%)、中(100%)、低(50%) 3 种浓度水平的葡萄酒加标溶液, 加入 5 μ L 叔戊醇内标, 定容、混匀。分别取上述溶液 5.00 mL, 加入 2.00 g 氯化钠, 压紧瓶盖密封; 另配制葡萄酒样品加叔戊醇内标溶液, 取 5.00 mL 于空瓶中, 加入 2.00 g 氯化钠, 压紧瓶盖密封, 进样分析, 并计算加标回收率和精密度, 结果见表 5。低浓度加标样品中各目标组分的回收率在 70.77%~96.70%之间; 中浓度加标样品中各目标组分的回收率在 71.94%~98.75%之间; 高浓度加标样品中各目标组分的回收率在 70.43%~94.71%之间, 相对标准偏差为 0.87%~9.51%, 表明准确度较高。

2.6 实际样品测定

取市售葡萄酒样品, 采用新建 HS-GC-FID 方法测定其挥发性组分的含量, 结果见表 6, 色谱图见图 3。样品中乙醇含量测定值为 11.24%, 与酒精度标签标示值的(12%)差值为

0.76%, 在 $\pm 1.0\%$ 范围内, 满足 GB/T 15037—2006 的理化要求。其他挥发性醇类中, 甲醇的质量浓度为 166.7 mg/L, 含量最高, 但是仍然符合国家标准中所要求的红葡萄酒甲醇含量应小于等于 400 mg/L; 高级醇总量为 152.7 mg/L, 其中异戊醇和活性戊醇的含量为 91.5 mg/L, 异丁醇含量为 40.0 mg/L, 虽然远低于刺激阈值(0.4 g/L), 但是因为异戊醇和异丁醇的毒性较大, 建议可以进一步优化生产工艺、改善运输及贮存条件, 以降低二者的含量。葡萄酒挥发性酯类中乙酸乙酯含量为 11.2 mg/L, 其余组分含量均在 0.40 mg/L 以下, 乙酸丁酯未检出。另外, 按照甲醇、挥发性醇和挥发性酯的现行标准方法中对精密度的要求, 计算在重复性测定条件下获得的葡萄酒样品两次独立测定结果的绝对差值均小于其算数平均值的 10%, 满足方法要求。

3 结论与讨论

本研究建立了一种 HS-GC-FID 分析方法同时测定我国现行标准方法中规定的葡萄酒中 12 种挥发性组分, 并进行了方法学验证, 验证结果满足标准中的要求。被分析物主要包括现行标准中规定的 4 种挥发性酯类, 6 种挥发性醇类, 以及乙醇和甲醇。该方法充分结合了静态顶空技术、气相色谱法和氢火焰离子化检测器的优势, 将 4 个现行标准方法整合成为 1 个检测方法, 大大提高了分析效率, 而且操作简便、成本较低, 研究结果可为生产企业及相关检验部门的葡萄酒质量控制提供参考。

表 4 方法精密度($n=6$)
Table 4 Precision of the method ($n=6$)

化合物	乙酸乙酯	甲醇	乙醇	正丙醇	乙酸丁酯	异丁醇	乙酸异戊酯	正丁醇	异戊醇+ 活性戊醇	己酸乙酯	正己醇
RSDs/%	1.54	8.29	6.68	5.01	3.07	2.36	3.58	3.91	1.99	4.03	2.13

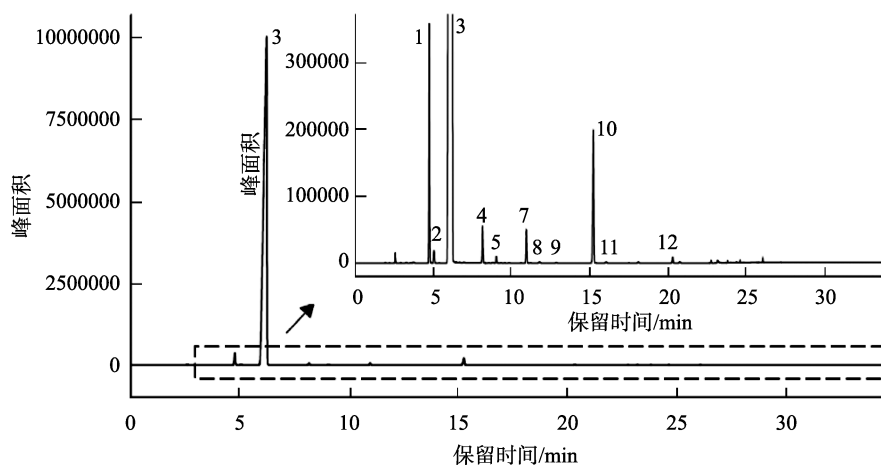
表 5 平均加标回收率结果(% , $n=6$)
Table 5 Results of average spiked recoveries (% , $n=6$)

化合物	低浓度加标		中浓度加标		高浓度加标	
	平均回收率	精密度	平均回收率	精密度	平均回收率	精密度
乙酸乙酯	72.34	0.87	88.03	5.69	76.36	5.09
甲醇	79.12	4.10	76.40	6.02	77.50	6.31
正丙醇	70.77	9.51	71.94	4.14	71.14	7.87
乙酸丁酯	80.65	8.47	81.27	1.69	78.67	2.54
异丁醇	93.07	1.93	92.84	2.00	94.71	7.10
乙酸异戊酯	76.03	9.29	83.30	1.69	74.02	3.46
正丁醇	79.04	2.10	85.47	3.02	80.68	5.99
异戊醇+活性戊醇	95.27	3.08	93.58	5.39	94.55	7.82
己酸乙酯	74.39	8.96	95.29	4.90	70.43	3.91
正己醇	96.70	1.96	98.75	1.93	85.27	6.56

表6 葡萄酒样品中挥发性组分的含量
Table 6 Concentrations of the volatile compounds in wine sample

序号	化合物	含量/(mg/L)	序号	化合物	含量/(mg/L)
1	乙酸乙酯	11.2	7	正丁醇	0.99
2	甲醇	166.7	8	异戊醇+活性戊醇	91.5
3	正丙醇	18.2	9	己酸乙酯	0.27
4	乙酸丁酯	N.D.	10	正己醇	2.01
5	异丁醇	40.0	11	乙醇	11.24%*
6	乙酸异戊酯	0.37			

注: N.D.为未检出。



注: 1-乙酸乙酯; 2-甲醇; 3-乙醇; 4-叔戊醇(内标); 5-正丙醇; 7-异丁醇; 8-乙酸异戊酯; 9-正丁醇; 10-异戊醇+活性戊醇; 11-己酸乙酯; 12-正己醇。

图3 葡萄酒样品中挥发性组分的色谱图

Fig.3 Chromatogram of the volatile compounds in wine sample

参考文献

- 白丽萍, 王伟, 王强, 等. 近红外光谱快速检测葡萄酒品质[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(2): 389-391, 400.
BAI LP, WANG W, WANG Q, *et al.* Rapid determination of quality of wine by near infrared spectroscopy [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2021, 62(2): 389-391, 400.
- TARAPATSKYY M, KAPUSTA I, GUMIENNA A, *et al.* Assessment of the bioactive compounds in white and red wines enriched with a *Primula veris* L. [J]. *Molecules*, 2019, 24(22): 4074.
- DUFOURC EJ. Wine tannins, saliva proteins and membrane lipids [J]. *BBA-Biomembranes*, 2021, 1863: 183670.
- 王华, 宁小刚, 杨平, 等. 葡萄酒的古文明世界、旧世界与新世界[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2016, 16(6): 150-153.
WANG H, NING XG, YANG P, *et al.* Ancient world, old world and new world of wine [J]. *J Northwest A & F Univ (Soc Sci Ed)*, 2016, 16(6): 150-153.
- 邵靖宇. 我国葡萄酒市场竞争策略研究[J]. 中国市场, 2017, (13): 123, 129.
SHAO JY. Research on the competition strategy of my country's wine market [J]. *China Mark*, 2017, (13): 123, 129.
- WEI JP, ZHANG YX, YUAN YH, *et al.* Characteristic fruit wine production via reciprocal selection of juice and non-saccharomyces species [J]. *Food Microbiol*, 2019, (79): 66-74.
- 葛谦, 曹彩霞, 吴燕, 等. 贺兰山东麓产区不同单品种葡萄酒风味物质特征分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(17): 256-264.
GE Q, CAO CX, WU Y, *et al.* Flavor characteristics of varieties wines from eastern foot of Helan mountain [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(17): 256-264.
- 杜芬妮, 贾潜, 陈露, 等. 葡萄酒挥发性成分及其分析方法研究进展[J]. 酿酒科技, 2019, (7): 86-93.
DU FN, JIA Q, CHEN L, *et al.* Research progress in volatile components in grape wine and their analytical methods [J]. *Liquor-Mak Sci Technol*, 2019, (7): 86-93.
- ZHAO T, WU JY, MENG JF, *et al.* Harvesting at the right time: Maturity and its effects on the aromatic characteristics of *Cabernet sauvignon* wine [J]. *Molecules*, 2019, 24(15): 2777.
- 商滢, 郑茗源, 房玉林, 等. 不同萃取条件对‘媚丽’葡萄酒挥发性风味物质释放的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2021, (6): 35-41.
SHANG Y, ZHENG MY, FANG YL, *et al.* Effects of different extraction conditions on the release of aroma components from ‘Meili’ wine [J]. *Sino-overseas Grape Wine*, 2021, (6): 35-41.
- BONATTO MDCM, BIANCHI VLD, GOMEZ-ALONSO S, *et al.* Sensory descriptive and comprehensive GC-MS as suitable tools to characterize the effects of alternative winemaking procedures on wine

- aroma [J]. *Food Chem*, 2019, 272: 462–470.
- [12] 金洪艳, 裴立楠. 葡萄酒中的营养物质分析[J]. *食品安全导刊*, 2020, (21): 43.
JIN HY, PEI LN. Analysis of nutrients in wine [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2020, (21): 43.
- [13] ANTONIO J, ALICE V, FERNANDA C. From sugar of grape to alcohol of wine: Sensorial imp act of alcohol in wine [J]. *Beverages*, 2015, 1(4): 292–310.
- [14] 冯俊富, 朱飞如. 气相色谱内标法测定白酒中甲醇含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(13): 4521–4525.
FENG JF, ZHU FR. Determination of methanol in liquor by internal standard method of gas chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(13): 4521–4525.
- [15] ZHANG CY, LIN NB, CHAI XS, *et al*. A rapid method for simultaneously determining ethanol and methanol content in wines by full evaporation headspace gas chromatography [J]. *Food Chem*, 2015, (183): 169–172.
- [16] 程军, 秦伟帅, 赵新节. 葡萄酒酿造中高级醇的形成机制与调节[J]. *中国酿造*, 2011, (12): 9–11.
CHENG W, QIN WS, ZHAO XJ. Formation and regulation of higher alcohols in wine fermentation [J]. *China Brew*, 2011, (12): 9–11.
- [17] 曾朝珍, 张永茂, 康三江, 等. 发酵酒中高级醇的研究进展[J]. *中国酿造*, 2015, 34(5): 11–15.
ZENG CZ, ZHANG YM, KANG SJ, *et al*. Research progress of higher alcohols in fermented wine [J]. *China Brew*, 2015, 34(5): 11–15.
- [18] 严锦, 方尚玲, 蒋威, 等. 降低小曲酒中杂醇油含量的研究进展[J]. *酿酒*, 2012, 39(6): 32–35.
YAN J, FANG SL, JIANG W, *et al*. Research on the reduction of fusel oil content in xiaoqiu liquor [J]. *Liquor Mak*, 2012, 39(6): 32–35.
- [19] COME RJ, SCHULTEN K, CHIPOT C. Permeability of a fluid lipid bilayer to short-chain alcohols from first principles [J]. *J Chem Theory Comput*, 2017, 13(6): 2523–2532.
- [20] KLOSOWSKI G, MIKULSKI D, MACKO D, *et al*. Influence of various yeast strains and selected starchy raw materials on production of higher alcohols during the alcoholic fermentation process [J]. *Eur Food Res Technol*, 2015, 240(1): 233–242.
- [21] CAMELEYRE M, LYTRA G, BARBE J. Static headspace analysis using low-pressure gas chromatography and mass spectrometry, application to determining multiple partition coefficients: A practical tool for understanding red wine fruity volatile perception and the sensory impact of higher alcohols [J]. *Anal Chem*, 2018, 90(18): 10811–10818.
- [22] 韦广鑫, 杨笑天, 周永文, 等. 葡萄酒中酯类化合物研究进展[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(14): 394–399.
WEI GX, YANG XT, ZHOU YW, *et al*. Research progress of esters in wine [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(14): 394–399.
- [23] HONG E, LEE SY, JEONG JY, *et al*. Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category [J]. *J Sci Food Agric*, 2017, 97(12): 3877–3896.
- [24] CHEN YH, HU SQ, QI X, *et al*. Simultaneous analysis of methanol, ethyl acetate and fusel oil in wine [J]. *Mater Environ Eng*, 2017, 34(12): 1253–1260.
- [25] KIM HM, YANG G, KIM JY, *et al*. Simultaneous determination of volatile organic compounds in commercial alcoholic beverages by gas chromatography with flame ionization detection [J]. *J AOAC Int*, 2017, 100(5): 1492–1499.
- [26] ZHENG W, LIU XH, HUANG Y, *et al*. Volatile aroma compounds in wines from Chinese wild/hybrid species [J]. *J Food Biochem*, 2019, 43(10): e12684.
- [27] 姜文广, 李记明, 于英, 等. 蛇龙珠营养系干红葡萄酒中的挥发性风味物质[J]. *食品科学*, 2015, 36: 148–154.
JIANG WG, LI JM, YU Y, *et al*. Analysis of aroma volatiles in wines from eight *Cabernet gernischt* clones [J]. *Food Sci*, 2015, 36: 148–154.
- [28] 田欣, 祁新春, 张泽, 等. 全二维气相色谱-飞行时间质谱解析黄土高原产区赤霞珠葡萄酒挥发性组分特征挥发性化合物[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(23): 239–246.
TIAN X, QI XC, ZHANG Z, *et al*. Analysis of volatile compounds of *Cabernet sauvignon* wine from Loess Plateau by comprehensive two-dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(23): 239–246.
- [29] LONGO R, PEARSON W, MERRY A, *et al*. Preliminary study of australian pinot noir wines by colour and volatile analyses, and the pivot@profile method using wine professionals [J]. *Foods*, 2020, 9(9): 1142.
- [30] ZHANG XY, NIKOLAOS K, JOHN B, *et al*. Determination of 13 volatile aldehyde compounds in wine by GC-QQQ-MS: p-benzoquinone to dissociate hydrogen sulfite addition products [J]. *Food Anal Methods*, 2019, 12(6): 1285–1297.
- [31] 王蓓, 唐柯, 聂尧, 等. 搅拌棒吸附萃取-气质联用分析威代尔冰葡萄酒挥发性成分[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(11): 131–137.
WANG B, TANG K, NIE Y, *et al*. Stir bar sorptive extraction-GC-MS for the analysis of volatile compounds in Vidal icewine [J]. *Food Ferment Ind*, 2012, 38(11): 131–137.
- [32] 孟庆顺, 卜媛媛, 王悦, 等. 气相色谱法测定白酒中醇类及酯类[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(11): 4666–4671.
MENG QS, BU YY, WANG Y, *et al*. Determination of alcohols and esters in liquor by gas chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(11): 4666–4671.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



丁银蒙, 硕士研究生, 主要研究方向为药物分析。

E-mail: 1355465549@qq.com



赵亚惠, 硕士研究生, 主要研究方向为药理学。

E-mail: 1354525728@qq.com



刘晶, 博士, 副教授, 主要研究方向为分析化学。

E-mail: liujing@cpu.edu.cn