



高伟, 崔芳铭, 刘敏. 茉莉酸甲酯对‘小白玫瑰’和‘玫瑰香’葡萄酒香气的影响[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(07):79-88.
GAO Wei, CUI Fangming, LIU Min. Effects of methyl jasmonate on the aroma of ‘Muscat Blanc’ and ‘Muscat Hamburg’ wines[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(07):79-88.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.07.08

茉莉酸甲酯对‘小白玫瑰’和‘玫瑰香’葡萄酒香气的影响

高伟¹ 崔芳铭² 刘敏^{2*}

(1. 山西农业大学 创新创业学院, 山西 太谷 030801;
2. 山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西 太谷 030801)

摘要 为提高麝香葡萄酒中萜烯类物质的含量, 从而提高葡萄酒的香气质量, 本研究以‘小白玫瑰’‘玫瑰香’2种麝香葡萄为材料, 于转色期在葡萄果实表面喷施10 mmol/L茉莉酸甲酯(Methyl jasmonate, MeJA), 成熟后采收、酿酒, 测定葡萄酒的基本理化指标, 并用气相色谱-质谱联用仪分析MeJA对葡萄酒香气物质的影响。结果表明: MeJA处理后‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒中总酸含量、酒精度和总酚含量均显著增加; 在处理组和对照组酒样中共检测出39种挥发性物质, 处理组酒样中醇类、酯类、萜烯类物质的含量以及香气物质总量均显著增加; 酒样中共有的且气味活性值(Odor activity value, OAV)值大于1的香气物质包括丁酸乙酯、乙酸异戊酯、辛酸乙酯和芳樟醇, 这些物质是麝香型葡萄酒的主要特征香气物质, 其中辛酸乙酯的OAV值最大, 对葡萄酒香气贡献最大。在MeJA处理后, ‘小白玫瑰’葡萄酒的花香明显提升, 贡献突出的是丁酸乙酯、己酸丁酯、己酸乙酯、芳樟醇、反式- β -罗勒烯和香叶醇, ‘玫瑰香’葡萄酒的果香明显提升, 贡献突出的是癸酸乙酯、乙酸异戊酯、 β -月桂烯、D-柠檬烯和香茅醇。综上, MeJA处理麝香葡萄果实可提高葡萄酒中香气物质含量, 使葡萄酒的花香和果香更明显, 本研究可为提高麝香葡萄酒的品质提供理论依据。

关键词 麝香葡萄; 萜烯类物质; 茉莉酸甲酯; 辛酸乙酯

中图分类号 TS262.6

文章编号 1007-4333(2024)07-0079-10

文献标志码 A

Effects of methyl jasmonate on the aroma of ‘Muscat Blanc’ and ‘Muscat Hamburg’ wines

GAO Wei¹, CUI Fangming², LIU Min^{2*}

(1. College of Innovation & Entrepreneurship, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;
2. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract In order to increase the content of terpene compounds in Muscat wine and to improve the aroma quality of wine, ‘Muscat Blanc’ and ‘Muscat Hamburg’ grapevine varieties were taken as materials in this study, and 10 mmol/L of methyl jasmonate (MeJA) was sprayed on the surfaces of grape berries during the veraison. When the grapes were mature, they were harvested and processed to produce wine. The physical and chemical indexes of these two wines were determined, and gas chromatography-mass spectrometry was used to analyze the effects of MeJA on aroma compounds in wines. The results showed that: After MeJA treatment, the total acid content, alcohol content and total phenol content in both ‘Muscat Blanc’ and ‘Muscat Hamburg’ wines were increased significantly. A total of 39 aroma compounds were detected in wines of treatment and control groups, and the contents of alcohols, esters and terpenes as

收稿日期: 2023-04-17

基金项目: 山西省科技厅基础研究计划项目(20210302124147)

第一作者: 高伟(ORCID:0009-0004-4244-6542), 硕士研究生, E-mail:392498278@qq.com

通讯作者: 刘敏(ORCID:0000-0002-8958-0616), 副教授, 博士, 主要从事葡萄酒风味物质研究, E-mail:liumin272@163.com

well as the total amount of aroma substances in the wines of treatment group increased significantly. The shared aroma compounds with the OAV value greater than 1 in wine samples included ethyl butyrate, isoamyl acetate, ethyl octanoate and linalool, which were the main characteristic aroma compounds of Muscat wines. The Odor activity value (OAV) of ethyl octanoate was the highest, and it contributed the most to the wine aroma. According to the principal component analysis, OAV and sensory analysis, it was found that the flower aroma of 'Muscat Blanc' wine was significantly enhanced after MeJA treatment, and the main contributors were ethyl butyrate, n-butyl caproate, ethyl hexanoate, linalool, trans- β -rolerene and geraniol; The fruit aroma of 'Muscat Hamburg' wine was enhanced after treatment, and the main contributors were ethyl decanoate, isoamyl acetate, β -laurene, D-limonene and citronellol. To sum up, MeJA treatment increased the content of aroma components in Muscat wine, and made the aroma of both flower and fruit more obvious. This study provided a theoretical basis for improving the quality of Muscat wine.

Keywords muscat; terpenes; methyl jasmonate; ethyl octanoate

茉莉酸类物质是一类天然的植物生长调节剂,对植物生长发育、抗逆性以及次级代谢产物的合成具有重要的调控作用^[1]。其中,茉莉酸甲酯(Methyl jasmonate, MeJA)具有安全无毒和环境友好的特点,外源喷施 MeJA 会影响花和果实中香气物质的合成^[2-4]。将 MeJA 溶液喷施于玫瑰的花蕾和周边叶片上,在半开期玫瑰花的香气总量以及香茅醇、乙酸苯乙酯、乙酸香茅酯和乙酸香叶酯等物质的含量显著增加^[2]。MeJA 处理高丛越橘果实后,检测出正庚醛、乙酸己酯、 α -蒎烯和 β -罗勒烯等香气物质,它们可修饰果实的整体香气^[3]。外源喷施 MeJA 还可提高木莓、草莓、黑莓果实中萜烯类和 β -紫罗兰酮的含量^[4]。

香气是葡萄酒感官特性的重要指标之一。研究表明,MeJA 处理葡萄会影响果实和葡萄酒中香气物质的组成和含量^[5-8]。MeJA 处理‘美乐’叶片后,葡萄酒中酯类和醇类总量增加,且香气物质的种类由 60 种增加到 64 种^[5]。MeJA 处理‘桑娇维塞’果实,可提高果实中醇类、苯基化合物和萜烯类物质的含量,且处理组果实中香气总量分别是对照组的 1.96 和 2.94 倍,提高幅度较大^[6]。外源喷施 MeJA 可增加‘蛇龙珠’‘贵人香’葡萄和葡萄酒中单萜类化合物的含量和种类,转录组数据表明单萜合成途径中关键酶基因受 MeJA 诱导上调表达^[7-8]。

‘小白玫瑰’(Vitis vinifera L. cv. Muscat Blanc)和‘玫瑰香’(Vitis vinifera L. cv. Muscat Hamburg)属于麝香型葡萄,含有丰富的萜烯类物质,具有明显的玫瑰花香气,既可以鲜食又可以酿酒。如何提高麝香葡萄酒中萜烯类物质的含量,从而提高葡萄酒的香气质量,是目前亟待解决的问题。本研究在葡萄果实表面外源喷施 MeJA 溶液,通过检测葡萄酒的基本理化指标和挥发性成分以

及进行感官分析,探索 MeJA 处理对‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒香气质量的影响,以期为提高麝香葡萄酒的品质提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

山西农业大学果树研究所葡萄资源圃(112.5°E, 37.4°N)。

1.2 材料及试剂

试验材料:‘小白玫瑰’和‘玫瑰香’葡萄均为 11 年生自根苗,株距 0.8 m,行距 2.5 m,南北行向,采用厂字形整形方式。

酵母:安琪 CECA 酵母。

试剂:茉莉酸甲酯、乙醇、氢氧化钠、斐林试剂、葡萄糖、次甲基蓝、亚硫酸、果胶酶、福林-肖卡试剂和碳酸钠等。

1.3 试验方法

1.3.1 MeJA 处理

选取健康的‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄植株,于转色期在葡萄果实表面喷施 10 mmol/L MeJA 溶液(含 0.1%吐温 80),以喷施含吐温 80 的蒸馏水作为对照。

1.3.2 酿造工艺

‘小白玫瑰’葡萄酒酿造工艺:将葡萄除梗、破碎、压榨,用无菌纱布过滤后,将葡萄汁装入 10 L 玻璃罐中,3 次重复。加入 50 mg/L 二氧化硫,30 min 后加入 40 mg/L 果胶酶,常温静置 24 h。用 10 倍质量、37 °C 的水溶解酿酒酵母,然后在 37 °C 水浴锅中静置 20 min,将活化好的酵母按照 200 mg/L 加入到葡萄汁中,启动酒精发酵。每隔 24 h 监测葡萄酒的温度和比重,待比重不再下降时,添加 50 mg/L 二氧

化硫终止发酵,将葡萄酒装瓶待测。

‘玫瑰香’葡萄酒酿造工艺:将葡萄除梗、破碎后,将葡萄醪装入 10 L 玻璃罐中,3 次重复。依次加入二氧化硫、果胶酶和酿酒酵母,操作方法同上。发酵结束后,过滤除去皮渣,将葡萄酒装瓶待测。

1.3.3 基本理化指标测定

葡萄酒中还原糖、总酸、pH、酒精度、挥发酸和总酚含量的测定参考《葡萄酒分析检验》^[9]。

1.3.4 香气物质测定

将 5 mL 酒样放入样品瓶中,加入 2 g NaCl 和 100 μ L 内标 2-辛醇(100 mg/L),40 $^{\circ}$ C 平衡 10 min,固相微萃取头吸附 30 min,毛细管柱为 TG-WAX (30 m $\times$ 0.25 mm,0.25 μ m)。升温程序为 40 $^{\circ}$ C 保持 3 min,以 7.0 $^{\circ}$ C/min 升至 230 $^{\circ}$ C,保持 8 min;进样口 250 $^{\circ}$ C;传输线 230 $^{\circ}$ C;载气 He,流速 1.0 mL/min;不分流进样。电离方式为电子电离,离子能量 70 eV,离子源温度 230 $^{\circ}$ C,质量扫描范围 33~450 amu,发射电流 100 μ A,检测电压 1.4 kV。用 2-辛醇作内标计算各组分相对含量,设 3 次技术重复^[10]。

1.3.5 感官评价方法

成立 20 人的感官评价小组,对葡萄酒的外观、

香气、滋味和典型性进行打分,总分 100 分,并描述其感官特性。

1.3.6 统计分析

采用 SPSS 21 软件对数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 MeJA 处理对葡萄酒基本理化指标的影响

对酒样进行基本理化指标测定,结果如表 1 所示。本试验用‘小白玫瑰’‘玫瑰香’酿造的酒样中还原糖质量浓度均小于 4.00 g/L,属于干型葡萄酒。MeJA 处理后,‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒 pH 小于对照;总酸质量浓度高于对照,分别增加了 3.5% 和 7.3%;同时酒精度显著高于对照组,分别增加了 1.6% 和 4.8%。挥发酸可以反映葡萄酒的健康状况,是葡萄酒发酵和贮藏管理不当的产物。本试验中 4 种葡萄酒中挥发酸质量浓度均低于 0.40 g/L,远低于国标要求的 1.20 g/L。‘玫瑰香’葡萄酒中总酚质量浓度显著高于‘小白玫瑰’葡萄酒,而且 MeJA 处理显著提高了葡萄酒中总酚质量浓度,与对照组相比,‘玫瑰香’和‘小白玫瑰’处理组中总酚质量浓度分别增加了 20.10% 和 56.49%。

表 1 MeJA 处理对葡萄酒基本理化指标的影响
Table 1 Effect of MeJA treatment on basic physical and chemical indicators of wine

理化指标 Physical and chemical indicator	小白玫瑰葡萄酒 Muscat Blanc wine		玫瑰香葡萄酒 Muscat Hamburg wine	
	对照	处理	对照	处理
还原糖质量浓度/(g/L) Mass concentration of reducing sugar	1.33 $\pm$ 0.02 c	1.63 $\pm$ 0.02 ab	1.62 $\pm$ 0.03 b	1.67 $\pm$ 0.02 a
总酸质量浓度/(g/L) Mass concentration of total acid	6.84 $\pm$ 0.05 b	7.08 $\pm$ 0.07 a	5.63 $\pm$ 0.03 d	6.04 $\pm$ 0.06 c
pH	3.38 $\pm$ 0.04 ab	3.29 $\pm$ 0.11 b	3.44 $\pm$ 0.04 a	3.36 $\pm$ 0.05 ab
酒精度/% Alcohol content	13.2 $\pm$ 0.05 b	13.41 $\pm$ 0.02 a	11.93 $\pm$ 0.15 d	12.5 $\pm$ 0.10 c
挥发酸质量浓度/(g/L) Mass concentration of volatile acid	0.36 $\pm$ 0.03 a	0.21 $\pm$ 0.02 b	0.35 $\pm$ 0.02 a	0.33 $\pm$ 0.02 a
总酚质量浓度/(mg/L) Mass concentration of total phenol	148.22 $\pm$ 1.80 d	231.95 $\pm$ 2.00 c	797.16 $\pm$ 3.55 b	957.38 $\pm$ 2.51 a

注:同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different letters show significant differences at the 0.05 level in the same row. The same below.

2.2 MeJA 处理对葡萄酒挥发性成分的影响

葡萄酒的香气不仅反映了酿酒葡萄的品种特

色,还决定了葡萄酒的风味和典型性,是衡量葡萄酒质量的重要指标。本研究采用 GC-MS 对葡萄

酒的挥发性成分进行检测(表2),结果显示,在‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒中共检测出39种挥发性成分,包括7种醇类、23种酯类、8种萜烯类和1种降异戊二烯类物质;‘小白玫瑰’对照组和处理组酒样中挥发性物质总量分别为3 824.76和4 977.29 μg/L;‘玫瑰香’对照组和处理组酒样中挥发性物质总量分别为12 233.01和14 289.35 μg/L。由此可知,MeJA处理显著提高了葡萄酒中挥发性物质总量,有利于改善葡萄酒的香气质量。

表2 MeJA处理对葡萄酒香气物质质量浓度的影响

Table 2 Effect of MeJA treatment on the contents of aroma compounds in wine								μg/L
序号 No.	保留时间/min Retention time	香气物质	香气描述	小白玫瑰葡萄酒	Muscat Blanc wine	玫瑰香葡萄酒	Muscat Hamburg wine	
		Aroma component	Aroma description	对照	处理	对照	处理	
醇类 Alcohol								
1	5.58	戊醇	香草味、辛辣味	—	0.40±0.10 b	—	18.51±0.44 a	
2	6.76	3-甲基-2-己醇	—	1.21±0.04 b	—	2.46±0.05 a	2.45±0.13 a	
3	7.48	异戊醇	杂醇香	229.64±3.64 d	253.18±2.03 b	247.89±1.02 c	344.59±2.50 a	
4	9.91	己醇	青草味	2.10±0.30 c	1.62±0.08 c	27.58±0.52 b	75.09±1.01 a	
5	13.42	庚醇	油脂味	0.60±0.05 c	1.03±0.06 c	15.62±0.54 b	38.99±1.00 a	
6	18.76	6-甲基-2-庚醇	—	0.90±0.10 b	—	9.09±0.10 a	—	
7	22.25	苯乙醇	玫瑰花	2.50±0.10 c	46.53±1.50 a	35.51±0.46 b	47.62±0.76 a	
		小计 Subtotal		236.94±4.14 d	302.76±3.71 c	338.16±2.61 b	527.26±5.81 a	
酯类 Ester								
1	3.47	乙酸乙酯	果香、指甲油	41.21±28.55 a	28.55±0.65 b	6.54±0.15 d	15.40±0.50 c	
2	4.00	丙酸乙酯	菠萝、苹果	1.00±0.07 b	2.04±0.05 a	—	—	
3	6.34	丁酸乙酯	草莓、苹果、香蕉	25.76±0.25 b	26.63±0.55 a	12.43±0.45 d	20.37±0.74 c	
4	8.03	3-甲基丁酸乙酯	果香	2.53±0.15 a	1.93±0.015 b	—	—	
5	9.23	乙酸异戊酯	香蕉	574.36±3.19 d	644.90±2.76 c	786.14±1.03 b	936.79±1.58 a	
6	10.92	己酸甲酯	菠萝	—	0.61±0.06 c	1128.03±2.00 a	712.77±2.54 b	
7	11.82	丙酸丁酯	苹果	—	—	4.23±0.32 a	2.92±0.07 b	
8	13.02	丙酸戊酯	苹果	—	10.47±0.47	—	—	
9	14.42	己酸乙酯	菠萝、香蕉、草莓、青苹果	647.03±2.00 b	670.93±2.00 a	—	—	
10	17.23	乙酸松油酯	柠檬、薰衣草、柑橘	7.26±0.16 c	7.44±0.14 c	33.65±0.47 a	24.26±1.10 b	
11	19.23	庚酸乙酯	草莓、菠萝蜜、香蕉	6.86±0.06 a	2.08±0.09 b	—	—	
12	25.01	辛酸乙酯	菠萝、梨、花香	1 309.43±9.50 d	1 942.40±2.62 c	7 677.56±7.50 a	7 611.02±22.64 b	
13	26.14	乙酸薰衣草酯	薰衣草	—	3.04±0.07 c	6.94±0.15 b	7.05±0.17 a	
14	26.98	辛酸丙酯	果香	—	—	1.84±0.07 b	13.67±0.68 a	
15	28.70	壬酸乙酯	玫瑰花、果香	5.07±0.21 c	—	34.13±0.81 b	35.39±0.46 a	
16	29.43	辛酸异丁酯	果香	—	2.01±0.02 c	14.85±0.75 b	27.67±0.83 a	
17	29.93	乙酸香叶酯	玫瑰花、柠檬、薰衣草香	—	—	9.26±0.48	—	

表 2（续）							
序号 No.	保留时间/min Retention time	香气物质 Aroma component	香气描述 Aroma description	小白玫瑰葡萄酒 Muscat Blanc wine		玫瑰香葡萄酒 Muscat Hamburg wine	
				对照	处理	对照	处理
18	31.15	反式-4- 癸烯酸乙酯	花香	—	—	81.05±1.00 a	72.52±0.97 b
19	33.61	辛酸异戊酯	果香、白兰地	—	—	70.66±0.47 b	152.34±2.08 a
20	35.18	己酸丁酯	菠萝香	—	0.74±0.06	—	—
21	35.33	癸酸乙酯	果香、脂肪味	62.53±1.50 d	109.10±0.36 c	1 536.22±7.70 b	3 474.54±45.90 a
22	40.57	癸酸异戊酯	果香	—	—	15.96±0.34 b	33.12±1.35 a
23	40.97	月桂酸乙酯	香脂、蜜香、 花香	2.23±0.15 b	8.83±0.06 a	—	—
小计 Subtotal				2 685.31±1.56 d	3 461.71±3.88 c	11 419.48±19.35 b	13 139.82±78.06 a
萜烯类 Terpenes							
1	12.67	β-月桂烯	青草、香脂	—	—	39.80±1.25 b	124.77±1.14 a
2	14.43	D-柠檬烯	柠檬香	—	—	27.62±0.91 b	46.10±0.39 a
3	16.70	反式-β-罗勒烯	柑橘、薄荷香	35.47±1.50 b	57.24±0.31 a	14.44±0.47 c	14.64±0.98 c
4	18.38	玫瑰醚	玫瑰花、 荔枝香	—	—	15.78±0.42 a	3.99±0.11 b
5	23.16	芳樟醇	柑橘、紫丁香、 铃兰、 玫瑰花香	753.87±4.01 b	1 045.93±0.91 a	221.35±3.22 d	271.14±1.80 c
6	26.35	香茅醇	柠檬、柑橘、 玫瑰花香	—	0.39±0.06 c	49.24±0.81 b	61.87±1.63 a
7	26.60	松油醇	紫丁香	82.77±2.04 b	97.93±0.81 a	84.68±0.59 b	75.78±0.69 c
8	32.48	香叶醇	柠檬、橙子、 玫瑰花、 天竺葵香	29.80±1.06 b	49.53±0.76 a	19.01±0.88 c	19.90±0.41 c
小计 Subtotal				902.10±8.53 b	1 212.82±33.59 a	473.10±5.00 d	619.55±2.53 c
降异戊二烯类 Norisoprenoids							
1	27.71	β-紫罗兰酮	紫罗兰、玫瑰 花香	0.61±0.04 c	—	3.47±0.42 b	4.01±0.18 a
小计 Subtotal				0.61±0.04 c	—	3.47±0.42 b	4.01±0.18 a
总计 Total				3 824.76±3.96 d	4 977.29±33.90 c	12 233.01±26.92 b	14 289.35±84.47 a

2.2.1 醇类物质

葡萄酒中的醇类物质大多是酒精发酵的副产物,会增加葡萄酒中的化学气味、辛辣味和草药味,但由于其在酒中的比例和质量浓度不同,葡萄酒可能散发悦人的花香和果香^[11]。在‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒中检测到戊醇、3-甲基-2-己醇、异戊醇、己醇、庚醇、6-甲基-2-庚醇和苯乙醇这 7 种醇类物质(表 2),其中质量浓度最高的是异戊醇(共 1 075.30 μg/L),占醇类物质总量的 76.53%,该物质具有杂醇油的气味。戊醇具有香草味和辛辣味,

在‘小白玫瑰’‘玫瑰香’处理组酒样中的质量浓度分别为 0.40 和 18.51 μg/L,而在对照组中未检出。苯乙醇具有明显的玫瑰花香,在 MeJA 处理后‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒中苯乙醇质量浓度分别增加了 44.03 和 12.11 μg/L,可使葡萄酒的花香更浓郁。

2.2.2 酯类物质

酯类物质可赋予葡萄酒丰富的果香和花香,在葡萄酒中质量浓度高、种类多,对葡萄酒香气影响较大。与对照组相比,‘小白玫瑰’‘玫瑰香’处理组中酯类物质质量浓度分别增加了 776.40 和

1 720.34 $\mu\text{g/L}$ (表2)。4个酒样中共有的酯类物质包括6种,分别是乙酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸异戊酯、4-乙酸松油烯酯、辛酸乙酯和癸酸乙酯,其中质量浓度最高的是辛酸乙酯,可赋予葡萄酒菠萝、梨等果香和花香。MeJA处理后‘小白玫瑰’葡萄酒中辛酸乙酯显著增加,而‘玫瑰香’葡萄酒中该物质有所降低;处理组酒样中丁酸乙酯、乙酸异戊酯和癸酸乙酯质量浓度显著增加,具有草莓、苹果和香蕉等果香以及脂肪味。此外,在‘小白玫瑰’葡萄酒中检测到较高浓度的己酸乙酯($>600 \mu\text{g/L}$),具有香蕉、菠萝、草莓和青苹果等果香,在MeJA处理后质量浓度显著增加;在‘玫瑰香’葡萄酒中检测到较高浓度的己酸甲酯($>700 \mu\text{g/L}$),具有菠萝的香气,在MeJA处理后质量浓度有所降低。

2.2.3 萜烯类物质

葡萄酒中萜烯类物质来自葡萄果实,是麝香型葡萄和葡萄酒的典型香气物质^[12]。在本研究中共检测到8种萜烯类物质,MeJA处理后‘小白玫瑰’‘玫瑰

香’葡萄酒中萜烯类物质总量分别增加了34.44%和30.96%(表2)。4个酒样中共有的萜烯类物质包括反式- β -罗勒烯、芳樟醇、松油醇和香叶醇,在MeJA处理后,芳樟醇质量浓度显著增加,赋予葡萄酒柑橘、紫丁香、铃兰和玫瑰花的香气。在‘小白玫瑰’处理组酒样中反式- β -罗勒烯、松油醇、香叶醇的质量浓度显著高于对照组。在‘玫瑰香’处理组酒样中 β -月桂烯、D-柠檬烯和香茅醇质量浓度显著高于对照组,这些物质具有香脂、柠檬、柑橘和玫瑰花等香气。

2.2.4 降异戊二烯

在‘玫瑰香’葡萄酒中检测到较高浓度的 β -紫罗兰酮,该物质属于降异戊二烯,具有紫罗兰和玫瑰花的香气。在MeJA处理后,‘玫瑰香’葡萄酒中 β -紫罗兰酮增加了0.54 $\mu\text{g/L}$ 。

2.2.5 主成分分析

对葡萄酒中的香气物质进行主成分分析,结果显示PC1和PC2分别解释了数据总方差的72.85%和15.83%,累计为88.68%(图1)。

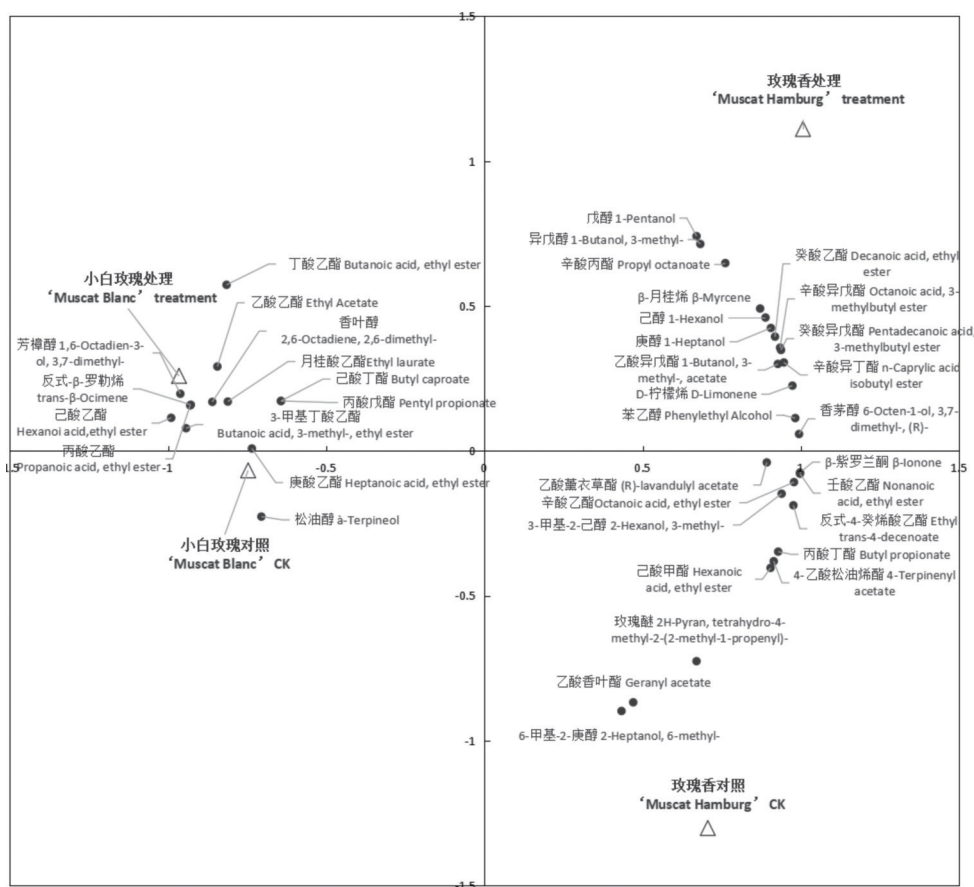


图1 2种葡萄酒处理及对照的香气物质主成分的载荷图和分布图

Fig. 1 Loadings of aroma components and distributions of treatment and control groups of two kinds of wines on the PCs

PC1 的正向端,而‘小白玫瑰’位于 PC1 的负向端;2 种葡萄的对照位于 PC2 的负向端,而处理组位于 PC2 的正向端。4 个酒样分布于 4 个象限,说明不同品种和 MeJA 处理对葡萄酒香气物质的影响差异明显,可以用主成分分析法进行区分。以香气成分在 2 个主成分上的载荷做图,结果显示,最能反映‘小白玫瑰’处理与其他酒样香气差异的物质包括 8 种酯类(丙酸乙酯、乙酸乙酯、丁酸乙酯、月桂酸乙酯、丙酸戊酯、己酸丁酯、3-甲基丁酸乙酯和己酸乙酯)和 3 种萜烯类(芳樟醇、反式- β -罗勒烯和香叶醇);最能反映‘玫瑰香’处理与其他酒样香气差异的物质包括 5 种醇类(戊醇、异戊醇、苯乙醇、己醇和庚醇)、7 种酯类(辛酸丙酯、癸酸乙酯、辛酸异戊酯、癸酸异戊酯、乙酸异戊酯、辛酸异丁酯和乙酸薰衣草酯)和 3 种萜烯类(β -月桂烯、D-柠檬烯和香茅醇)。上述香气物质在对应酒样中

的质量浓度明显高于其他酒样。由此可知,MeJA 处理可以导致葡萄酒中某些香气物质的质量浓度差异。

2.2.6 关键香气物质分析

气味活性值(OAV)是香气物质的浓度与嗅觉阈值的比值,可用来表示香气物质对葡萄酒香气的贡献。在‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒中 OAV 值大于 1 的香气物质分别有 9 和 11 种(表 3),二者共有的特征香气物质包括丁酸乙酯、乙酸异戊酯、辛酸乙酯和芳樟醇,其中 OAV 值最大的是辛酸乙酯,对葡萄酒香气贡献最大。 β -紫罗兰酮在‘玫瑰香’葡萄酒中质量浓度很低($<4\text{ }\mu\text{g/L}$),但是由于该物质的嗅觉阈值仅有 0.007,所以 OAV 值较大(>500),对葡萄酒香气贡献较大。由此可知,香气物质对葡萄酒香气的贡献与物质含量不成正比,而是与 OAV 值有关,OAV 值越大,对香气影响越大。

表 3 酒样中特征香气物质的 OAV 值
Table 3 OAV values of characteristic aroma components in wine samples

序号 No.	香气物质 Aroma component	阈值/($\mu\text{g/L}$) Threshold	小白玫瑰葡萄酒 Muscat Blanc wine		玫瑰香葡萄酒 Muscat Hamburg wine	
			对照	处理	对照	处理
1	丁酸乙酯	1.000	25.80	26.90	12.38	20.11
2	甲基丁酸乙酯	0.100	25.00	18.00	—	—
3	乙酸异戊酯	30.000	19.10	21.47	26.21	31.25
4	己酸甲酯	70.000	—	—	16.12	10.19
5	己酸乙酯	14.000	46.22	47.91	—	—
6	辛酸乙酯	5.000	261.86	388.40	1 535.53	1 521.61
7	癸酸乙酯	200.000	—	—	7.67	17.45
8	β -月桂烯	15.000	—	—	2.66	8.33
9	D-柠檬烯	10.000	—	—	2.75	4.59
10	反式- β -罗勒烯	34.000	1.04	1.68	—	—
11	玫瑰醚	0.200	—	—	79.65	19.45
12	芳樟醇	6.000	125.60	174.47	36.69	45.17
13	香茅醇	40.000	—	—	1.23	1.57
14	香叶醇	30.000	—	1.63	—	—
15	β -紫罗兰酮	0.007	85.71	—	514.29	550.00

结合主成分分析结果,确定 MeJA 处理后,丁酸乙酯、己酸丁酯、己酸乙酯、芳樟醇、反式- β -罗勒烯和香叶醇对‘小白玫瑰’葡萄酒的香气影响较大,而癸酸乙酯、乙酸异戊酯、 β -月桂烯、D-柠檬烯和香茅醇对‘玫瑰香’葡萄酒的香气影响较大。

2.3 MeJA 处理对葡萄酒感官特性的影响

品尝小组对本试验的酒样进行感官评分,结果如

表4所示。MeJA 处理后2个品种葡萄酒的总分均显著提高,达到80分以上。‘小白玫瑰’葡萄酒呈浅禾秆黄色,具有玫瑰花、茉莉花和荔枝等香气,与对照组相比,处理组酒样中花香更加突出。‘玫瑰香’葡萄酒呈浅宝石红,处理组颜色明显深于对照组,而且处理组中香蕉和草莓的香气更加浓郁,类似于博诺莱新酒,可能与酯类物质质量浓度增加有关。

表4 葡萄酒的感官评分
Table 4 Sensory evaluation scores of wine

处理 Treatment	外观(10分)		香气(30分)	滋味(40分)	典型性(20分)	总分(100分)
	Appearance (10 points)		Aroma	Taste	Typicality	Total score
	色泽(5分)	澄清度(5分)	(30 points)	(40 points)	(20 points)	(100 points)
小白玫瑰对照 ‘Muscat Blanc’ CK	3.90	4.18	22.55	32.05	13.27	75.95
小白玫瑰处理 ‘Muscat Blanc’ treatment	4.18	3.90	25.18	34.81	15.36	83.43
玫瑰香对照 ‘Muscat Hamburg’ CK	4.23	4.34	23.35	33.42	14.63	79.97
玫瑰香处理 ‘Muscat Hamburg’ treatment	4.56	4.26	26.63	35.53	15.82	86.80

3 讨论与结论

在本研究中,用 MeJA 溶液喷施‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄果实,果实成熟后酿酒,并检测酒样中的香气成分,结果显示,处理组酒样中香气物质总量及醇类、酯类、萜烯类物质总量均显著提高。有研究表明,MeJA 处理‘黑比诺’果实,可显著增加果实中香气物质总量和脂肪酸代谢产生的香气物质的质量浓度^[13]。

葡萄酒中醇类物质一部分来自酒精发酵,如戊醇、庚醇和苯乙醇等;一部分来自葡萄果实,如己醇。己醇是 C6 醇,具有青草的香味,属于绿叶挥发物(GLV),是葡萄果实中重要的香气成分,而脂氧合酶(LOX)是 GLV 生物合成途径中的关键酶^[14]。研究发现外源喷施 MeJA 可增加‘赤霞珠’‘丹魄’果实中己醇质量浓度,并激活果实中 LOX 酶活性^[15-16]。在本研究中,MeJA 处理后‘玫瑰香’葡萄酒中己醇质量浓度显著提高,可能是由于 MeJA 激活了‘玫瑰香’果实中 LOX 基因导致。总体来说,MeJA 处理后葡萄酒中戊醇、异戊醇、庚醇和苯乙醇质量浓度虽然有所提高,但是 OAV 值均小于1,对于葡萄酒香气的影响较小。

酯类是‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒中质量浓度最高的一类香气物质,酒样中共有的特征酯类物质包括丁酸乙酯、乙酸异戊酯和辛酸乙酯,其中辛酸乙酯的 OAV 值最大,赋予葡萄酒花香和果香。李凯等^[17]用不同酵母发酵‘玫瑰香’,结果显示葡萄酒中 OAV 值最大是辛酸乙酯,OAV 值为 418.85~635.79,而且丁酸乙酯和乙酸异戊酯的 OAV 值大于1,与本研究结果一致。说明丁酸乙酯、乙酸异戊酯和辛酸乙酯是麝香型葡萄和葡萄酒的特征香气物质。本试验在 MeJA 处理后,‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒中丁酸乙酯和乙酸异戊酯的质量浓度增加,而辛酸乙酯在‘小白玫瑰’处理组中增加,在‘玫瑰香’处理组中降低。赵婉珍等^[5]研究发现 MeJA 处理‘美乐’叶片后,葡萄酒中酯类总量增加,但辛酸乙酯质量浓度降低。MeJA 处理还可提高‘南国梨’果实中酯类物质的质量浓度,与 LOX 途径中相关基因被激活有关^[18]。关于 MeJA 对葡萄和葡萄酒中酯类物质的影响有待进一步研究。

萜烯类物质是麝香葡萄的特征香气物质,包括单萜烯(C5)、单萜烯(C10)、倍半萜烯(C15)、二萜烯(C20)和四萜烯(C40),其中单萜化合物是最丰富的,如芳樟醇、橙花醇、萜品醇、香叶醇和香茅醇^[16]。

由于单萜化合物阈值较低,因此其种类和质量浓度对葡萄酒的香气影响较大。在‘蛇龙珠’转色初期和转色中期用MeJA处理果实,葡萄酒中芳樟醇、香茅醇和香叶酸等单萜化合物的质量浓度显著升高^[7];D’Onofrio等^[6]对桑娇维塞果实进行MeJA处理,处理组葡萄酒中游离态单萜化合物质量浓度是对照组的7.39倍,而且检测到的16种单萜化合物的质量浓度均显著增加^[6]。以上结果均与本研究结果一致。一方面,MeJA可提高葡萄果实中 β -糖苷酶的活性,有利于单萜化合物由结合态转变为游离态,对葡萄酒品种香气的释放具有积极作用^[7];另一方面,MeJA可以促进葡萄果实中萜烯类物质生物合成途径中关键酶基因的表达,如单萜合成酶基因(TPS)^[19-20]和1-脱氧-D-木酮糖-5-磷酸合酶基因(DXS)^[6,8,21-22]。本研究未对葡萄果实中萜烯类物质合成相关基因进行分析,今后将对MeJA提高葡萄萜烯类物质的分子机制进行深入研究。

此外,本研究中MeJA处理显著增加了‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒中总酚质量浓度,而且由于‘玫瑰香’葡萄酒中花色苷增加,处理组酒样的颜色深于对照组,可能是由于MeJA促进了葡萄果皮中花色苷的生物合成。有研究表明,MeJA处理可以提高‘克森无核’^[1]、‘新郁’^[23]、‘黑比诺’^[24-25]、‘马瑟兰’^[25]和‘美乐’^[5]等葡萄果皮中花色苷质量浓度,与本研究结果一致。

通过香气物质的检测和分析,确定‘小白玫瑰’‘玫瑰香’葡萄酒主要特征香气物质为辛酸乙酯、丁酸乙酯、乙酸异戊酯和芳樟醇,其中辛酸乙酯的OAV值最大,对葡萄酒香气贡献最大。在MeJA处理后,‘小白玫瑰’葡萄酒的花香明显提升,‘玫瑰香’葡萄酒的果香明显提升,说明MeJA处理有利于改善麝香型葡萄酒的香气质量。本研究结果为进一步探索MeJA影响葡萄果实中萜烯类物质合成的分子机理奠定基础。

参考文献 References

- [1] 白世践, 卢金鸽, 王勇, 蔡军社, 陈光, 赵荣华. 茉莉酸甲酯对‘克瑞森无核’葡萄果实着色及品质的影响[J]. 农学学报, 2022, 12(6): 44-49
Bai S J, Hu J G, Wang Y, Cai J S, Chen G, Zhao R H. Effect of methyl jasmonate on coloration and quality of ‘Crimson Seedless’ grape [J]. *Journal of Agriculture*, 2022, 12(6): 44-49 (in Chinese)
- [2] 周金鑫, 魏恬恬, 袁晓雨, 冯立国, 生利霞. 外源茉莉酸甲酯处理对玫瑰花香成分及含量的影响[J]. 分子植物育种, 2019, 17(14): 4776-4784

- Zhou J X, Wei T T, Yuan X Y, Feng L G, Sheng L X. Effects of exogenous methyl jasmonate treatment on the volatile composition and content of *Rosa rugosa* [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17 (14): 4776-4784 (in Chinese)
- [3] 刘梦溪, 田瑞平, 曾其龙, 於虹, 韦继光. 喷施茉莉酸甲酯对高丛越橘品种‘海岸’成熟果实挥发性成分的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(2): 71-73
Liu M X, Tian R P, Zeng Q L, Yu H, Wei J G. Effects of spraying methyl jasmonate on volatile components of ripe fruits of *Vaccinium corymbosum* ‘Gulfcoast’ [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2021, 30(2): 71-73 (in Chinese)
- [4] Blanch G P, Flores G, Ruiz del Castillo M L. Influence of methyl jasmonate in conjunction with ethanol on the formation of volatile compounds in berries belonging to the Rosaceae [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 62(2): 168-178
- [5] 赵婉珍, 陈霞, 祝霞, 张波, 马腾臻, 韩舜愈. 叶面喷施茉莉酸甲酯对美乐干红葡萄酒品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(8): 86-95
Zhao W Z, Chen X, Zhu X, Zhang B, Ma T Z, Han S Y. Effect of methyl jasmonate foliar application to grapevine on the quality of Merlot wine [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(8): 86-95 (in Chinese)
- [6] D’Onofrio C, Matarese F, Cuzzola A. Effect of methyl jasmonate on the aroma of Sangiovese grapes and wines [J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 352-361
- [7] 李蔚. 外源茉莉酸甲酯对‘蛇龙珠’酿酒葡萄单萜化合物和 β -葡萄糖苷酶的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017
Li W. Effects of exogenous methyl jasmonate on monoterpenes and β -glucosidase in cabernet gernerisch grapes [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [8] 李蔚. 外源茉莉酸甲酯调‘贵人香’葡萄品质机制研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020
Li W. Mechanism of exogenous methyl jasmonate in regulating grape (*Vitis vinifera* L cv Italian Riesling) quality [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2020 (in Chinese)
- [9] 王华. 葡萄酒分析检验[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011
Wang H. *Wine Analysis and Inspection* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011 (in Chinese)
- [10] 刘敏, 高伟, 张睿梅. 杏汁发酵与杏皮渣发酵对杏酒香气质量的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(22): 193-200
Liu M, Gao W, Zhang R M. Effect of juice or pomace fermentation on aroma quality of apricot wine [J]. *Food Science*, 2021, 42(22): 193-200 (in Chinese)
- [11] 朱艳霞, 杨佳荟, 王沙沙, 苏颖玥, 常远, 杨智刚, 袁春龙. 低温浸渍对‘关口葡萄’干白葡萄酒风味物质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(4): 199-206
Zhu Y X, Yang J H, Wang S S, Su Y Y, Chang Y, Yang Z G, Yuan C L. Effect of cold maceration on the flavor of dry white wine made from ‘Guankou’ grapes [J]. *Food Science*, 2020, 41(4): 199-206 (in Chinese)
- [12] 张明霞, 吴玉文, 段长青. 葡萄与葡萄酒香气物质研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2098-2104
Zhang M X, Wu Y W, Duan C Q. Progress in study of aromatic compounds in grape and wine [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(7): 2098-2104 (in Chinese)
- [13] 高阳, 冶楠, 孔祥锦, 马英虎, 吴娟弟, 韩舜愈, 李蔚. 外源喷施茉莉酸甲酯类对‘黑比诺’葡萄及葡萄酒香气品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(6): 1-8
Gao Y, Ye N, Kong X J, Ma Y H, Wu J D, Han S Y, Li W. Effect of exogenous application of methyl jasmonate and methyl dihydrojasmonate

- on the aroma compounds of pinot noir grapes and wine[J]. *Food and Fermentation Science & Technology*, 2022, 58(6): 1-8 (in Chinese)
- [14] 刘敏, 鞠延仑, 闵卓, 赵现方, 陈腾, 房玉林. 葡萄LOX基因的克隆及表达分析[J]. 农业生物技术学报, 2017, 25(11): 1809-1819
- Liu M, Ju Y L, Min Z, Zhao X F, Chen T, Fang Y L. Cloning and expression analysis of lipoxygenase gene in grape (*Vitis vinifera*) [J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2017, 25(11): 1809-1819 (in Chinese)
- [15] Ju Y L, Liu M, Zhao H, Meng J F, Fang Y L. Effect of exogenous abscisic acid and methyl jasmonate on anthocyanin composition, fatty acids, and volatile compounds of cabernet sauvignon (*Vitis Vinifera* L.) grape berries[J]. *Molecules*, 2016, 21(10): 1354
- [16] Garde-Cerdán T, Gutiérrez-Gamboa G, Baroja E, Rubio-Bretón P, Pérez-Álvarez E P. Influence of methyl jasmonate foliar application to vineyard on grape volatile composition over three consecutive vintages [J]. *Food Research International*, 2018, 112: 274-283
- [17] 李凯, 商佳胤, 黄建全, 黄春芳, 田淑芬. 应用顶空固相微萃取-气相色谱质谱技术分析不同商业酿酒酵母对玫瑰香葡萄酒香气成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(10): 212-219
- Li K, Shang J Y, Huang J Q, Huang C F, Tian S F. Using HS-SPME-GC-MS to analyze the influence of different commercial *Saccharomyces cerevisiae* on aroma components in Muscat Hamburg wine[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(10): 212-219 (in Chinese)
- [18] Luo M L, Zhou X, Hao Y, Sun H J, Zhou Q, Sun Y Y, Ji S J. Methyl jasmonate pretreatment improves aroma quality of cold-stored 'Nanguo' pears by promoting ester biosynthesis[J]. *Food Chemistry*, 2021, 338: 127846
- [19] Chizzola R. *Regular Monoterpenes and Sesquiterpenes (Essential Oils)* [M]. Berlin: Springer, 2013
- [20] Arimura G I, Garms S, Maffei M, Bossi S, Schulze B, Leitner M, Mithöfer A, Boland W. Herbivore-induced terpenoid emission in *Medicago truncatula* concerted action of jasmonate, ethylene and calcium signaling[J]. *Planta*, 2008, 227(2): 453-464
- [21] Doligez A, Audiot E, Baumes R, This P. QTLs for muscat flavor and monoterpenic odorant content in grapevine (*Vitis vinifera* L.) [J]. *Molecular Breeding*, 2006, 18(2): 109-125
- [22] Battilana J, Costantini L, Emanuelli F, Sevini F, Segala C, Moser S, Velasco R, Versini G, Grando M S. The 1-deoxy-d-xylose 5-phosphate synthase gene co-localizes with a major QTL affecting monoterpene content in grapevine[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2009, 118(4): 653-669
- [23] 张斌, 王勇, 肯吉古丽·苏力旦, 祝国庆, 李婧, 杨咪, 户金鸽. 不同浓度茉莉酸甲酯对“新郁”葡萄果实着色及品质的影响[J]. 新疆农业科技, 2021(2): 27-30
- Zhang B, Wang Y, Sultan K, Zhu G Q, Li J, Yang M, Hu J G. Effects of different concentrations of methyl jasmonate on fruit coloring and quality of 'Xinyu' grapes [J]. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 2021(2): 27-30 (in Chinese)
- [24] 孙永蓉, 宫鹏飞, 李蔚, 姚静, 宋菲红, 韩舜愈. 茉莉酸甲酯处理对‘黑比诺’葡萄果皮酚类物质及其抗氧化活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(12): 196-202
- Sun Y R, Gong P F, Li W, Yao J, Song F H, Han S Y. Effects of methyl jasmonate treatment on phenolic compounds and antioxidant activity of 'Pinot Noir' grape peel [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(12): 196-202 (in Chinese)
- [25] 宫鹏飞, 李蔚, 孙永蓉, 史肖, 牛见明, 韩舜愈. 茉莉酸甲酯处理对‘黑比诺’和‘马瑟兰’葡萄酒酚类化合物的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(11): 171-179
- Gong P F, Li W, Sun Y R, Shi X, Niu J M, Han S Y. Effect of preharvest methyl jasmonate treatment on the phenolic compounds of 'Pinot Noir' and 'Marselan' wines[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(11): 171-179 (in Chinese)

责任编辑: 董金波



第一作者简介: 高伟, 硕士研究生。主要从事葡萄酒风味物质的研究, 以第一作者发表论文2篇, 其中被SCI收录1篇。



通讯作者简介: 刘敏, 博士, 副教授。现就职于山西农业大学食品科学与工程学院, 主要从事葡萄酒和果酒风味物质的研究。以第一作者发表论文13篇, 其中被SCI收录6篇。