

赤霞珠葡萄酒苹果酸-乳酸发酵过程中 香气成分动态变化

代晨曦, 张 旺, 张丹丹, 刘战霞, 程卫东, 王 斌, 史学伟*

(石河子大学 食品学院, 新疆维吾尔自治区 石河子 832000)

摘要: 为了研究苹果酸-乳酸发酵过程对葡萄酒香气的影响, 采用顶空固相微萃取(HS-SPME)结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)对赤霞珠葡萄酒苹果酸-乳酸发酵过程中香气物质动态的变化进行了监测。结果表明: 在葡萄酒苹果酸-乳酸发酵过程中共检出 55 种不同的香气成分, 包括 22 种酯类、10 种醇类、8 种酸类、7 种醛类、4 种酮类、3 种萜烯类和 1 种酚类, 其中酯类、醇类和酸类化合物为苹果酸-乳酸发酵过程中主要香气成分。相比于发酵起始阶段(0 d), 发酵末期(18 d)葡萄酒中的酯类和酸类化合物的质量分数由 20.7% 和 1.08% 上升至 25.61% 和 2.33%, 主要包括乙酸乙酯、己酸乙酯、月桂酸等, 这类香气物质能够赋予葡萄酒浓郁的果香, 而由于酯化反应醇类化合物的质量分数由 42.89% 下降至 29.01%, 主要变化为异戊醇等高级醇质量分数的降低。由此看出, 葡萄酒经过苹果酸-乳酸发酵不仅增强了酒体的水果类香气还提高了葡萄酒的安全性。

关键词: 赤霞珠葡萄酒; 苹果酸-乳酸发酵; 香气; GC-MS

中图分类号: TQ 926 文章编号: 1673-1689(2020)08-0099-07 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.08.012

Dynamic Changes of Aroma Components in Malolactic Fermentation of Cabernet Sauvignon Wine

DAI Chenxi, ZHANG Wang, ZHANG Dandan, LIU Zhanxia, CHEN Weidong, WANG Bin, SHI Xuewei*

(Food College, Shihezi University, Shihezi, 832000, China)

Abstract: The aroma substances during Cabernet Sauvignon wine fermentation process was monitored by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) to study the effect of malolactic fermentation process on wine aroma. The results showed that 55 different aroma components were detected during the malolactic fermentation of wine, including 22 esters, 10 alcohols, 8 acids, 7 aldehydes, 4 ketones, 3 terpenes and 1 phenol, wherein esters, alcohols and acid compounds were the main aroma components during the malolactic fermentation process. Compared with the initial stage of fermentation (0 d), the mass fraction of esters and acids in wine at the end of fermentation (18 d) increased from 20.7% and 1.08% to 25.61% and 2.33%, respectively, mainly including ethyl acetate,

收稿日期: 2019-01-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(31500092); 新疆建设兵团科技攻关项目(2016AD024)。

* 通信作者: 史学伟(1980—), 男, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事食品生物技术方面的研究。E-mail: shixuewei@shzu.edu.com

ethyl hexanoate, lauric acid, etc., introducing the wine a rich fruity flavor. Due to esterification reaction, the alcohols mass fraction decreased from 42.89% to 29.01% with a main change of decrease in the higher alcohols content, such as isoamyl alcohol. The malolactic fermentation not only enhances the fruit aroma but also improves the safety.

Keywords: Cabernet Sauvignon, malolactic fermentation, aroma, GC-MS

苹果酸-乳酸发酵 (malolactic fermentation, MLF) 是葡萄酒乙醇发酵结束后的二次发酵, 指乙醇发酵结束后的葡萄酒在乳酸细菌的作用下将葡萄酒中的苹果酸转化成乳酸和 CO_2 的过程, 也是葡萄酒酿造过程中最难以控制的过程, 对酿造优质红葡萄酒具有重要作用^[1]。这个过程增加了葡萄酒风味的复杂性, 对风味具有修饰作用^[2-3], 其次级代谢提高了葡萄酒中的醛类、酯类、氨基酸等化合物的含量, 从而改善葡萄酒的果香、花香等挥发性香气^[4-5]。对于葡萄酒香气物质的测定, 目前固相微萃取结合气质联用 (HS-SPME-GC-MS) 技术被广泛应用, 给葡萄酒香气物质的分析鉴定提供有力的支撑^[6]。相比传统的分析方法, 它具有高灵敏度、操作简单以及高重现性和用时短等优点^[7]。刘迪^[8]等使用固相微萃取结合气质联用技术研究了干白葡萄酒瓶储过程中的香气物质动态变化, 结果表明, 干白葡萄酒随着瓶储的进行, 香气物质呈现 3 种不同的变化趋

势, 以酯类、醇类和萜烯类物质质量分数下降为特征。

然而, 目前有关苹果酸-乳酸发酵过程中葡萄酒香气变化的研究不多, 不同发酵时期对具体发酵香气成分和品种香气成分的影响缺乏数据。研究了苹果酸-乳酸发酵过程中不同时期干红葡萄酒样品, 通过顶空固相微萃取结合气质联用技术对红葡萄酒感官香气特征和香气成分进行量化分析, 总结苹果酸-乳酸发酵各时期的香气成分和香气特征的变化规律, 为红葡萄酒酿造的优化设计提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

乙醇发酵结束的赤霞珠干红葡萄酒: 产地为新疆张裕巴保男爵酒庄, 常规理化指标见表 1。葡萄酒样按照苹果酸-乳酸发酵时间每 72 小时连续取样。

表 1 常规理化指标

Table 1 Conventional physical and chemical indicators

样品	理化指标				
	乙醇体积分数/%	糖度/(g/L)	总酸质量浓度/(g/L)	挥发酸质量浓度/(g/L)	色度
赤霞珠葡萄酒	14.5	3.9	7.6	0.31	12.6

DB-WAX 毛细管柱 (30 mm×0.25 mm×0.25 μm)、SCION SQ 456-GC 型气相色谱-质谱联用仪: 美国 BRUKER 公司产品; 75 μm CAR/PDMS 萃取头: 美国 Supelco 公司产品; TDS3 热脱附系统、ODP2 嗅觉检测器: 德国 Gerstel 公司产品。

1.2 实验方法

1.2.1 香气物质的提取 样品香气物质的提取参照张佳等人的方法^[9], 取 8 mL 葡萄酒样品置于 20 mL 顶空瓶中, 迅速密封顶空瓶并于 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴加热 15 min, 将老化后的 75 μm CAR/PDMS 萃取头插入样品瓶顶空部分, 于 45 $^{\circ}\text{C}$ 吸附 30 min, 吸附后的萃取头取出后插入气相色谱进样口, 于 250 $^{\circ}\text{C}$ 解吸 3 min, 同时启动仪器进行 GC-MS 分析。

1.2.2 GC-MS 检测条件 GC-MS 分析主要参考 PLESSAS 等人的方法^[10], 采用恒定流量模式, 起始柱温 40 $^{\circ}\text{C}$, 以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 90 $^{\circ}\text{C}$; 再以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 230 $^{\circ}\text{C}$, 保留 7 min。载气为纯度 99.99% 的 He 气, 流量 0.8 mL/min, 气化室温度 230 $^{\circ}\text{C}$ 。质谱条件: 电子电离 (Electron ionization, EI) 离子源; 电子能量 70 eV, 接口温度为 250 $^{\circ}\text{C}$, 离子源温度为 200 $^{\circ}\text{C}$, 灯丝发射电流为 100 μA , 检测器电压 1 kV。

1.2.3 挥发性物质的定性和定量分析 定性方法: 通过比较质谱与 NIST15 质谱数据库来鉴定化合物, 保留正、反匹配度均大于 800 (最大值为 1 000) 的鉴定结果。

定量方法: 采用峰面积归一化法以确定葡萄酒

中各组分挥发物的质量分数。

1.2.4 数据分析 主要采用 origin 2016 和 SPSS 23 进行数据分析。

2 结果与讨论

2.1 赤霞珠葡萄酒的香气组成

赤霞珠葡萄酒苹果酸-乳酸发酵阶段挥发性香气成分的动态变化见图 1 和表 2。在赤霞珠葡萄酒苹乳发酵期间共鉴定出 55 种挥发性香气物质,其中包括酯类(22 种)、醇类(10 种)、酸类(8 种)、醛类(7 种)、酮类(4 种)、萜烯类(3 种)、酚类(1 种)。由此可见,赤霞珠葡萄酒的主要挥发性物质为酯类,其次是醇类及酸类。在苹乳发酵开始时,共检测出 48 种挥发性化合物,其中质量分数超过 5%的挥发性物质有乙酸乙酯(5.74%)、辛酸乙酯(5.98%)、苯乙醇(6.72%)以及质量分数最高的异戊醇(32.78%)。而在苹乳发酵末期(18 d)时,共检测出 43 种挥发性化合物,其中质量分数超过 5%的挥发性物质有乙酸乙酯(6.8%)、己酸乙酯(5.42%)、辛酸乙酯(8.48%)、苯乙醇(6.03%)以及质量分数最高的异戊醇(20.48%)。总体来看,苹乳发酵结束后葡萄酒酯类香气成分比开始时有提升但也失去了一些醇醛类物质,而且还新增加了 2 种化合物,分别是月桂酸乙酯和琥珀酸异戊乙酯。

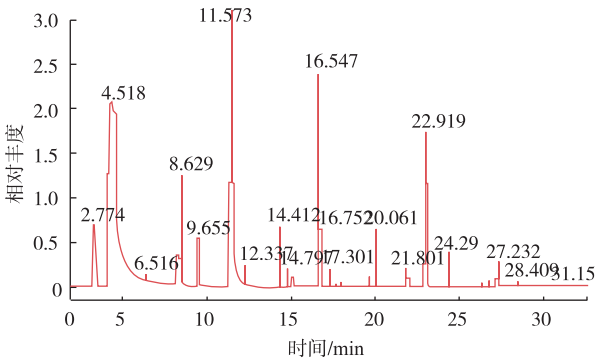


图 1 赤霞珠葡萄酒苹乳发酵末期(18 d)挥发性香气成分总离子流图

Fig. 1 Total ion chromatogram of volatile aroma components of Cabernet Sauvignon wine at the end of MLF(18 d)

2.2 赤霞珠葡萄酒苹乳发酵时期香气成分质量分数对比分析

2.2.1 酯类化合物 如表 2、图 2 所示,赤霞珠葡萄酒在苹乳发酵过程中,酚类物质的种类减少,但总质量分数上升。乙醇发酵结束时共检测出 18 种挥发性香气物质,总质量分数为 20.7%,为赤霞珠葡萄酒中主要的香气物质。在苹乳发酵第 18 天时共检测出 15 种挥发性香气物质,总质量分数为 25.61%。相对于乙醇发酵结束时,赤霞珠葡萄酒酯类香气物质总质量分数增加了 4.91%,其中主要为乙酸乙酯和己酸乙酯质量分数的上升,这两种挥发性化合物

表 2 赤霞珠葡萄酒苹乳发酵阶段挥发性香气成分动态分析

Table 2 Dynamic analysis of volatile aroma components of Cabernet Sauvignon wine during MLF

序号	物质名称	质量分数/%						
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
	酯类							
1	乙酸乙酯	5.74±0.04	3.82±0.37	4.2±0.17	3.98±0.19	5.63±0.14	6.08±0.25	6.8±0.21
2	乙酸异丁酯	0.07±0.01	0	0	0	0	0.15±0.14	0
3	丁酸乙酯	0.32±0.01	0.26±0.03	0.28±0.06	0.21±0.02	0.35±0.01	0.5±0.16	0.52±0.36
4	异戊酸乙酯	0.03±0.01	0.02±0.01	0.02±0	0.02±0	0.03±0	0.04±0.01	0.13±0.15
5	乙酸异戊酯	4.19±0.26	3.43±0.32	2.8±0.05	2.79±0.16	4.79±0.15	5.38±0.19	2.68±0.47
6	己酸乙酯	2.6±0.19	0	6.88±0.82	0	3.13±0.34	3.01±0.07	5.42±1.23
7	乙酸己酯	0.03±0	0	0	0.03±0	0.05±0.01	0.05±0	0.03±0.01
8	乳酸乙酯	0.18±0.01	0.35±0.06	0.35±0.01	0.2±0.23	0.35±0.01	0.37±0.04	0.65±0.21
9	辛酸甲酯	0.03±0.01	0.03±0.01	0.03±0	0.03±0.01	0.05±0	0.05±0.01	0.02±0.01
10	辛酸乙酯	5.98±1.06	6.58±0.65	5.1±0.27	6±1.56	6.7±0.4	7.21±1.24	8.48±1.22
11	己酸异戊酯	0.07±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.07±0	0.05±0.01	0.03±0.01
12	壬酸乙酯	0	0.02±0.01	0.02±0.01	0	0.02±0.01	0.03±0.01	0
13	丙烯酸辛酯	0	0.09±0.01	0.07±0.01	0	0	0	0

续表 2

序号	物质名称	质量分数/%						
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
14	苯酸甲酯	0.03±0.01	0	0	0	0	0	0
15	γ-丁内酯	0.03±0	0.04±0.02	0.04±0	0	0.03±0.02	0.03±0.02	0
16	癸酸乙酯	0.32±0.11	0.36±0.05	0.24±0.1	0.56±0.18	0.64±0.03	0.44±0.22	0.4±0.19
17	辛酸异戊酯	0.04±0.02	0.03±0.01	0.03±0.01	0.09±0.07	0.04±0.01	0.03±0.02	0
18	丁二酸二乙酯	0.72±0.01	0.93±0.07	1.23±0.08	1.04±0.15	1.45±0.09	1.47±0.03	0.96±0.03
19	乙酸苯乙酯	0.28±0.02	0.32±0.02	0.26±0.06	0	0.4±0.06	0.39±0.03	0
20	月桂酸乙酯	0	0	0	0.02±0	0	0	0.03±0.03
21	十六酸乙酯	0.04±0.03	0.04±0.01	0.09±0.11	0.1±0.1	0.15±0.08	0.01±0	0.08±0.02
22	琥珀酸异戊乙酯	0	0	0	0.41±0.06	0	0	0.38±0.01
	总质量分数	20.7±1.81	16.34±1.66	21.67±1.77	15.51±2.74	23.88±1.36	26.29±2.45	25.61±4.16
	醇类							
23	异丁醇	2.13±0.08	1.89±0.1	1.91±0.03	1.83±0.04	1.99±0.04	2.05±0.03	1.94±0.24
24	异戊醇	32.78±0.99	26.13±2.65	21.72±0.91	18.06±3.2	29.53±0.94	30.27±1.16	20.48±1.51
25	正己醇	0.99±0.05	0.76±0.03	0.73±0.03	0.58±0.07	0.96±0.04	0.92±0.03	0.56±0.06
26	芳樟醇	0	0.03±0	0.03±0.01	0	0.03±0	0	0
27	正辛醇	0.12±0.02	0	0	0	0.16±0.01	0	0
28	3-甲基-2-己醇	0	0.05±0.01	0.04±0.01	0.03±0.01	0	0	0
29	正壬醇	0.1±0.01	0	0	0	0	0	0
30	香茅醇	0	0.06±0	0.05±0.01	0.05±0	0.06±0	0.05±0.01	0
31	苯甲醇	0.05±0	0.06±0.01	0.05±0.01	0.03±0.01	0.05±0.01	0.04±0.01	0
32	苯乙醇	6.72±0.15	6.95±0.58	6.78±0.25	6.62±0.28	6.12±0.3	6.89±0.17	6.03±0.29
	总质量分数	42.89±1.3	35.93±3.38	31.31±1.26	27.2±3.61	38.9±1.34	40.22±1.41	29.01±2.1
	酸类							
33	乙酸	0.39±0.06	1.3±0.02	0.82±0.01	0.96±0.03	0.36±0.04	0.36±0.04	1.15±0.06
34	丁酸	0	0	0	0.01±0	0	0	0
35	异戊酸	0	0	0	0	0	0.03±0.01	0
36	己酸	0.2±0.03	0.21±0.03	0.19±0.03	0.15±0.03	0.2±0.02	0.19±0.02	0.15±0.03
37	正辛酸	0.43±0.06	0.5±0.05	0.48±0.01	0.62±0.06	0.76±0.03	0.51±0.07	0.63±0.04
38	棕榈酸	0.06±0	0.06±0.02	0.08±0.06	0.16±0.01	0.04±0.01	0	0.22±0.03
39	月桂酸	0	0	0	0.15±0.01	0	0	0.11±0
40	肉豆蔻酸	0	0	0	0.08±0	0	0	0.07±0.02
	总质量分数	1.08±0.15	2.07±0.12	1.57±0.11	2.13±0.14	1.36±0.1	1.09±0.14	2.33±0.18
	醛类							
41	乙醛	0.21±0.02	0.16±0.01	0.18±0.02	0.18±0.01	0.18±0.01	0.17±0.01	0.11±0
42	壬醛	0.1±0.01	0.1±0.01	0.12±0	0.08±0	0.12±0.02	0.29±0.01	0.08±0.01
43	正癸醛	0.08±0	0.04±0	0.05±0.03	0.05±0	0.07±0	0.06±0	0.05±0.02
44	苯甲醛	0.21±0.01	0.19±0.01	0.17±0.01	0.07±0.01	0.18±0	0.17±0.01	0.09±0.01
45	反式-2-癸烯醛	0.01±0	0.02±0	0.05±0	0	0.02±0.01	0.07±0	0
46	反-2-十一烯醛	0	0	0	0	0.04±0.01	0.08±0.01	0.04±0
47	4-丙基苯甲醛	0.24±0.02	0.2±0.01	0.2±0.01	0	0.19±0.01	0.17±0.01	0.18±0.01
	总质量分数	0.85±0.06	0.71±0.4	0.77±0.07	0.38±0.02	0.8±0.06	1.01±0.05	0.55±0.05

续表 2

序号	物质名称	质量分数/%						
		0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d
	酮类							
48	丁二酮	0.07±0	0.05±0	0.04±0	0.03±0.01	0.05±0	0.05±0	0.2±0.01
49	2,3-戊二酮	0	0.06±0.01	0.07±0	0.09±0.01	0.04±0.01	0.03±0	0.04±0.01
50	2,6-二甲基-2,5-庚二烯-4-酮	0.02±0	0.01±0.01	0.01±0	0	0.01±0	0	0
51	苯乙酮	0.11±0.02	0.07±0.01	0.09±0.01	0	0.06±0.01	0.06±0.02	0.04±0.02
	总质量分数	0.20±0.02	0.19±0.03	0.21±0.01	0.12±0.02	0.16±0.02	0.14±0.02	0.32±0.04
	萜烯类							
52	苯并环丁烯	0	0	0.74±0	0	0	0	0.58±0.08
53	苯乙烯	0.91±0.02	1±0.05	0	0	0.92±0.04	0.91±0.08	0
54	萜品油烯	0.04±0.01	0	0	0	0	0.04±0.01	0
	总质量分数	0.95±0.03	1.00±0.05	0.74±0	0	0.92±0.04	0.95±0.09	0.58±0.08
	酚类							
55	2,4-二叔丁基酚	0.12±0.04	0.1±0.03	0.11±0.02	0.03±0.01	0.09±0.02	0.04±0.02	0.07±0.04
	总质量分数	0.12±0.04	0.1±0.03	0.11±0.02	0.03±0.01	0.09±0.02	0.04±0.02	0.07±0.04

能够赋予葡萄酒浓郁的果香、酯香和己酸乙酯带来的曲香^[11-12]。香气物质种类减少了3种,分别为:乙酸异丁酯、苯酸甲酯和乙酸苯乙酯。同时也增加了2种新的香气物质——月桂酸乙酯和琥珀酸异戊乙酯,增加了葡萄酒水果类香气。

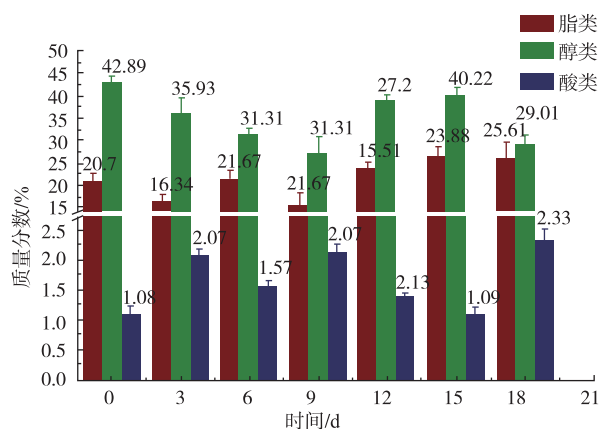


图2 酯类、醇类、酸类化合物质量分数比较

Fig. 2 Comparison of mass fraction of esters, alcohols and acids

2.2.2 醇类化合物 醇类物质总质量分数在苹乳发酵0 d时最高,为42.89%,随着发酵的进行呈显著减小趋势,直至苹乳发酵第18天的29.01%,主要为异戊醇、异丁醇、正己醇和苯乙醇等。有研究表明,葡萄本身携带的酸以及在发酵过程中产生的酸会和醇类物质在葡萄酒后熟阶段发生酯化反应^[13-4],因此使醇类物质总质量分数逐渐减小,这也解释了

苹乳发酵过程中酯类化合物质量分数上升的原因。异戊醇作为发酵的副产物,在乙醇发酵结束时质量分数达到最大32.78%,随着苹乳发酵的进行,异戊醇质量分数逐渐降低,直至苹乳发酵第18天的20.48%。异戊醇是乙醇发酵期间酵母菌代谢产生的副产物^[15],具有苦涩味,但适量的异戊醇及高级醇会赋予葡萄酒醇厚感,但质量分数过高会给葡萄酒带来不愉悦的口感以及对人体有毒害作用^[16]。苹乳发酵降低了高级醇的质量分数,保证了葡萄酒的风味口感和安全性。

2.2.3 酸类化合物 赤霞珠葡萄酒苹乳发酵过程中共检测出8种酸类化合物,质量分数总体呈上升趋势,由发酵前的1.08%上升至2.33%,质量分数变化明显的主要有乙酸、正辛酸、棕榈酸以及苹乳发酵结束后新生成的月桂酸和肉豆蔻酸,其中月桂酸能够赋予葡萄酒花果的芳香气味,肉豆蔻酸则具有椰子和油脂香味,2种化合物总体上增强了葡萄酒的香气。张顺花^[17]、胡博然^[18]等也同样在葡萄酒中检测出不同种类的酸,但未描述其形成机理,而新生成的2种酸可能是苹乳发酵过程中乳酸菌发酵作用产生的。

2.2.4 萜烯类、酚类及醛酮类化合物 酚类和萜烯类物质种类的质量分数较低且在苹乳发酵过程中变化不大,见图3。2类物质在苹乳发酵过程中仅检测出4种挥发性化合物,总质量分数保持在1%左

右。其中萜烯类化合物通常以糖苷态存在于葡萄的果实中,能够赋予葡萄酒玫瑰香气,但感官阈值很低^[19]。酚类物质对葡萄酒的香气、颜色、稳定性以及对葡萄酒的味觉平衡具有重要作用^[20],但在本试验中只检测出 2,4-二叔丁基酚这一种酚类物质。

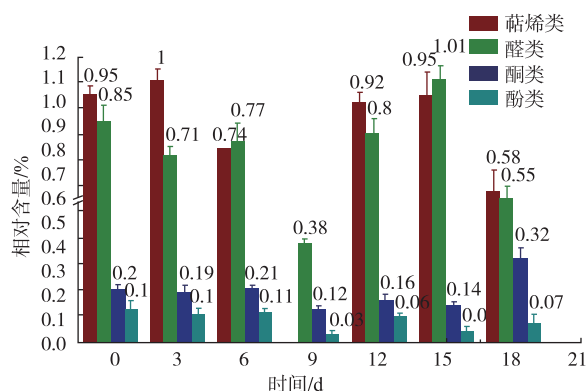


图 3 萜烯类、醛类、酮类及酚类化合物质量分数比较

Fig. 3 Comparison of mass fraction of terpene, aldehydes, ketones and phenols

葡萄酒中的羰基化合物大多数由微生物发酵生成,也有少数是在葡萄酒贮藏过程中发生的美拉德反应和醇类的氧化反应生成。赤霞珠葡萄酒在苹果酸发酵结束时共检测出 5 种酮类和 7 种醛类化合物,其中酮类化合物主要为丁二酮和 2,3-戊二酮。葡萄酒中的丁二酮的质量浓度在 2~4 mg/L 范围内可以增加葡萄酒的香气强度,但超过这个范围会导

致葡萄酒香气劣化。同时在发酵结束后的葡萄酒中检测出微量的 2,3-戊二酮(0.04%)。有研究表明,当葡萄酒中的丁二酮与微量的 2,3-戊二酮共存时,可以增强葡萄酒的香气,使葡萄酒的香气更加浓郁^[21]。醛类物质从乙醇发酵结束后的 0.85%下降到苹果酸发酵结束的 0.55%,以乙醛、苯甲醛和 4-丙基苯甲醛质量分数的降低为代表。其中乙醛具有果香,苯甲醛具有苦杏仁、樱桃及坚果香味,4-丙基苯甲醛具有枯茗和桂皮类似香气。这 3 种醛类化合物质量分数的下降降低了葡萄酒果香的香气。

3 结 语

本研究表明,在葡萄酒苹果酸发酵的过程中共分析鉴定出 55 种挥发性化合物,其中酯类、醇类和酸类为葡萄酒主要香气物质。各类挥发性香气物质在总体上呈现不同的变化趋势,尤其以酯类和酸类以及酮类物质质量分数上升为主要特征,这 3 类化合物质量分数的上升增强了葡萄酒水果方面的香气。葡萄酒中酸和醇类物质发生酯化反应降低了醇类物质的质量分数,同时伴随着苹果酸发酵结束后高级醇质量分数的降低,保证了葡萄酒的风味并且提高了葡萄酒的安全性。因此,葡萄酒苹果酸发酵能够直接影响葡萄酒的香气和风味特征,但在苹果酸发酵的过程中最重要的影响因素为乳酸菌,因此可以利用细菌多样性来改善葡萄酒的香气和风味特征。

参考文献:

- [1] UGLIANO M, MOIO L. The influence of malolactic fermentation and *Oenococcus oeni* strain on glycosidic aroma precursors and related volatile compounds of red wine[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 86(14): 2468-2476.
- [2] BARTOWSKY E J, BORNEMAN A R. Genomic variations of *Oenococcus oeni* strains and the potential to impact on malolactic fermentation and aroma compounds in wine[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2011, 92(3): 441-447.
- [3] 康文怀, 徐岩, 赵光整. 葡萄酒风味修饰研究进展[J]. *食品与生物技术学报*, 2009, 28(4): 438-443.
- [4] VALLET A, LUCAS P, LONVAUD-FUNEL A, et al. Pathways that produce volatile sulphur compounds from methionine in *Oenococcus oeni*[J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2008, 104(6): 1833-1840.
- [5] ANTALICK G, PERELLO M C, DE REVEL G. Characterization of fruity aroma modifications in red wines during malolactic fermentation[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(50): 12371-12383.
- [6] 王华, 张莉, 李华, 刘拉平. 梅尔诺干红葡萄酒香气成分的 GC/MS 分析[J]. *酿酒科技*, 2005(5): 101-103.
- [7] DEMYTENAERE J C R, DAGHER C, SANDRA P, et al. Flavour analysis of Greek white wine by solid-phase microextraction-capillary gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Journal of Chromatography*, 2003(985): 232-245.
- [8] 刘迪, 张也, 兰义宾, 等. 干白葡萄酒瓶储过程香气物质变化及其与感官品质演变的相关性[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(4): 228-240.

- [9] 张佳,姜鑫,王瑞琦,等. HS-SPME 结合 GC-MS 分析着色葡萄中挥发性香气成分[J]. 食品工业,2017,38(10):133-136.
- [10] PLESSAS S,BEKATOROU A,GALLANAGH J,et al. Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus* and *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus* or *Lactobacillus helveticus* [J]. **Food Chemistry**,2008,107(2):883-889.
- [11] RICARDO L,VICENTE F,PURIFICATION H,et al. Identification of impact odorants of young red wines made with Merlot, Cabernet Sauvignon and Grenache grape varieties:a comparative study[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,1999,79(11):1461-1467.
- [12] TAKATOSHI T,LOUIS B,PHILIPPE D,et al. A powerful aromatic volatile thiol,2-furanmethanethiol,exhibiting roast coffee aroma in wines made from several *Vitis vinifera* grape varieties[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2000,48(5):1799-1802.
- [13] DIEGO T G,AZPILLICUETA C A. Influence of yeast strain on biogenic amines content in wines:relationship with the utilization of amino acids during fermentation[J]. **American Journal of Enology and Viticulture**,2001,52(3):185-190.
- [14] WIBOWO D,ESCHENBRUCH R,DAVIS C R,et al. Occurrence and growth of lactic acid bacteria in wine:a review[J]. **American Journal of Enology and Viticulture**,1985,36(4):302-313.
- [15] 黄桂东,徐珊珊,刘惠,等. 降黄酒高级醇无机氮源的筛选[J]. 食品与生物技术学报,2018,37(1):82-87.
- [16] 刘学强,钱泓,周正,等. 低产高级醇葡萄酒酵母菌株的筛选[J]. 食品与发酵工业,2016,42(3):73-78.
- [17] 张顺花. 美乐干红葡萄酒酿造过程中香气组成动态变化分析[D]. 兰州:甘肃农业大学,2010.
- [18] 胡博然. 宁夏“贺兰山东麓”葡萄酒香味物质变化规律研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2004.
- [19] CHATONNET P,DUBOURDIEU D,BOIDRON J,et al. Synthesis of volatile phenols by *Saccharomyces cerevisiae* in wines[J]. **Journal of The Science of Food and Agriculture**,1993(62):191-202.
- [20] MARTINEZ-ORTEGA M V,GARCIA-PARRILLA M C,TRONCOSO A M. Changes in phenolic composition of wines submitted to in vitro dissolution tests[J]. **Food Chemistry**,2001(73):11-16.

科技信息

纳米胶囊技术有效提高酶生物传感器稳定性

近日,中科院大连化学物理研究所研究员卢宪波和陈吉平团队研发的基于酶单分子纳米胶囊(SMENs)技术的生物传感器取得新进展,酶传感器的热稳定性、有机溶剂耐受性、酸碱耐受性、存储稳定性等核心性能实现质的提高,在国际上率先将 SMENs 技术应用于分析和生物传感领域。相关研究成果发表在《生物传感器和生物电子学》上。

酶生物传感器是将酶作为生物敏感基元,通过捕捉目标物与酶之间反应所产生的信号,实现对目标物定量测定的微型化检测仪器。但酶对外界环境例如温度、溶剂、pH 值等高度敏感,且保质期很短,因此限制了酶生物传感器的更广泛应用。

卢宪波介绍:“研究团队以高稳定性酶单分子纳米胶囊技术解决了长期困扰酶传感器发展的稳定性难题,分别以葡萄糖氧化酶(GOx)和酪氨酸酶(Tyr)为模型酶,在水环境中采用简单的室温原位自由基聚合策略,将上述酶的单分子封装在多孔的聚合物壳内,研制出高活性、高稳定性的单分子酶纳米胶囊(SMENs)—葡萄糖氧化酶纳米胶囊(nGOx)和酪氨酸酶纳米胶囊(nTyr)。”

聚合物外壳有效地稳定了内部的 GOx 和 Tyr 核心,同时多孔的网络结构实现了底物的快速运输,从而形成了一类具有突出活性和稳定性的新型生物催化纳米胶囊。聚合物薄层与酶分子之间的多重共价结合增强了被包裹的酶分子稳定性,如同给酶“穿上”铠甲为其提供了良好的微环境,避免了高温和强酸碱条件下的结构变性,并有助于在有机溶剂体系操作过程中保留酶活性所必需的水分子。

相关论文信息:<https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112407>

[信息来源] 中国科学报 刘万生. 纳米胶囊技术有效提高酶生物传感器稳定性 [EB/OL]. (2020-07-10). <http://paper.sciencenet.cn/htmlpaper/2020/7/20207914222155357474.shtm>