

压榨处理对美乐葡萄汁 CO₂ 浸渍发酵特性及品质的影响

程艺超¹, 姜 娇^{1,2}, 秦 义^{1,2}, 刘延琳^{1,2}, 宋育阳^{1,2*}

(¹西北农林科技大学葡萄酒学院 陕西杨凌 712100

²西北农林科技大学宁夏贺兰山东麓葡萄酒试验示范站 宁夏永宁 750104

摘要 在 CO₂ 浸渍法(CM)酿造中,压榨处理有利于活性物质和香气前体物质的释放,而这些物质是影响第 2 阶段发酵进程和最终质量的关键因素。为了研究压力对压榨处理后葡萄酒品质的影响,以美乐葡萄为原料,分别进行酒脚分离和不同压强(0.02~1.70 kPa)的压榨处理,对照自流汁分析样品的理化指标、香气物质,并做感官评价,探究不同压强下美乐葡萄汁发酵特性及其品质的变化。结果表明:施加 1.09 kPa 有利于控制葡萄酒中的碳/氮比值(0.43)和葡萄糖/果糖比值(0.97),降低了葡萄汁发酵缓慢或停滞的风险。积累活性物质总酚(47.52±2.97)mg/L 和总花色苷(188.76±10.33)mg/L,分别提高了 7.01%和 0.96%。改善颜色,增强葡萄汁红色色调和饱和度。GC-MS 分析和感官分析表明,自流汁具有更丰富的香气,1.09~1.70 kPa 的压榨处理赋予葡萄酒爽脆的酸度和饱满的酒体,增加乙酸酯和醛类化合物等香气,增强葡萄酒中水果、香料和脂肪的味道。结论:压榨压强影响葡萄酒的成分,有望应用于优质 CM 葡萄酒的工业生产。

关键词 美乐葡萄; CO₂ 浸渍法; 压榨压强; 发酵特性; 香气

文章编号 1009-7848(2024)06-0177-13 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.06.016

CO₂ 浸渍法(CM)是红葡萄酒酿造中常用的酿造技术,用于生产口感柔和、具有独特特色的葡萄酒^[1]。在 CM 葡萄酒发酵中,将整穗红葡萄经 7~15 d 的浸渍发酵后进行压榨处理,添加酵母完成第 2 阶段发酵。压榨处理将浸渍发酵时残留于葡萄中的营养物质、活性物质和香气前体物质释放。

经浸渍发酵的葡萄含有 50% 以上的酒汁,压榨汁与自流汁相比有着更高的糖含量,此时压榨浸出的还原糖、可同化氮以及其它活性物质对第 2 阶段的发酵进程和葡萄酒的最终品质有很大影响,甚至存在发酵缓慢或停滞等问题^[2-3]。虽然已有不少 CM 葡萄酒最终的理化和香气特征的研究^[4-5],但是不同研究之间存在许多相互矛盾的结果,例如酚类物质和花色苷^[6]。目前尚未深入研究压榨强度如何调节 CM 酒第 2 阶段发酵进程以及如何影响葡萄汁香气和质量,通过探究压榨强度对释放活性物质和葡萄香气的影响,将促进 CM 葡萄酒生产中压榨阶段的工业化控制。

为研究不同压强压榨处理的美乐葡萄汁发酵特性的变化规律,本试验中分析葡萄汁中还原糖、可同化氮、花色苷、酚类物质、有机酸以及香气物质的含量,探究有利于提高葡萄酒品质的压榨强度,在增加出酒率的同时实现压榨汁的质量可控。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为陕西的美乐葡萄,初始糖含量为 243.75 g/L,样品分别为自流汁、酒脚分离汁以及不同压强处理(0.02, 0.08, 0.29, 0.73, 1.09, 1.57, 1.70 kPa)的压榨汁;酒精发酵使用商业酿酒酵母 Lalvin Clos(科汉森,丹麦);果胶酶 EX-V,纯度 99%(Lallemand Inc.公司,加拿大);单宁 Pro Tannin R,纯度 100%(Lamothe Abiet 公司,法国);焦亚硫酸钾,纯度 100%(Lamothe Abiet 公司,法国)。

1.2 仪器与设备

RLX800 酶标仪,美国博腾公司;Cary-60 紫外-可见光光度计,日本岛津公司;Y15 全自动葡萄酒分析仪,西班牙 Biosystems 公司;高效液相色谱仪,美国安捷伦科技有限公司;气相色谱-质谱联用仪,美国菲尼根公司;HPX-87H 氢离子柱(300 mm × 7.8 mm),美国 BioRad 公司。

收稿日期: 2023-06-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD1002500);国家现代农业产业技术体系资助项目;国家自然科学基金项目(31501463)

第一作者: 程艺超,女,博士生

通信作者: 宋育阳 E-mail: yuyangsong@nwsuaf.edu.cn

1.3 方法

1.3.1 酿造试验 筛选成熟且卫生状况良好的美乐葡萄。将整粒葡萄加入 10 m³ 发酵罐中, 添加 200 g/m³ 商业酿酒酵母、0.015 g/kg 果胶酶、0.3 g/kg 单宁和 0.125 g/kg 焦亚硫酸钾, 浸渍发酵 13 d。将葡萄转罐分离获得自流汁和酒脚分离汁, 再将葡萄皮渣进行压榨处理, 取不同压强处理下的压榨汁作为样品进行分析。

1.3.2 理化指标测定方法 还原糖的含量根据 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法^[7]检测。葡萄糖、果糖含量根据 Verwaal 等^[8]的方法测定, 通过高效液相色谱(HPLC)分析, 使用 HPX-87H 氢离子柱(300 mm × 7.8 mm) 在 60 °C 柱温下检测样品中的葡萄糖、果糖浓度。可同化氮采用试剂盒测定, 将试剂 A (四硼酸钠 5 mmol/L, NADH 0.5 mmol/L, pH 9.5)、试剂 B(4-羟乙基哌嗪乙磺酸 400 mmol/L, 2-氧代谷氨酸 22 mmol/L, 谷氨酸脱氢酶 140 U/mL, 乙二醇 0.2 L/L, pH 8.0) 和样品按一定比例混合后于 Y15 全自动葡萄酒分析仪中, 在波长 340 nm 处检测, 通过计算伯胺氮与氨态氮的总和得出可同化氮含量。总酚含量(TPC)根据 FC 方法^[9]稍加修改, 含量以没食子酸毫克计。总花色苷采用 pH 示差法测定^[10], 含量以二甲花翠素葡萄糖苷计。色度根据李运奎等^[11]的检测方法测定。

有机酸含量采用高效液相色谱法^[12]测定, 色谱柱: HPX-87H 氢离子柱(300 mm × 7.8 mm); 流动相: 0.01 mol H₂SO₄ (HPLC 等级水溶液); 流速: 0.6 mL/min; 柱温: 55 °C; 检测波长: 210 nm; 进样量: 5 μL; 标准品和稀释后的样品经 0.22 μm 滤膜过滤后进样, 以标准品浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标绘制标准曲线, 计算样品中有机酸浓度。每个样品进行 3 次重复测定。

1.3.3 挥发性香气物质的测定方法 SPME 样品处理: 将 5.0 mL 样品和 1.0 g NaCl 置于萃取瓶中, 加盖拧紧, 内标物质为 4-甲基-2-戊醇(1.0 g/L), 置于磁力搅拌台上, 40 °C 下平衡 30 min, 搅拌加热顶空萃取 30 min 后自动进样, 在固相微萃取进样口 250 °C 热解析 25 min。

GC-MS 分析条件: 不分流模式进样, 载气为高纯氦气, 流速 1 mL/min。柱升温程序为 50 °C 保持 1 min, 以 3 °C/min 的速度升温至 220 °C 保持 5

min。进样口温度 250 °C, 质谱接口温度 280 °C, 离子源温度 230 °C, 电离方式 EI, 离子能量 70 eV, 质量扫描范围 29~350 u, 运行时间 62.67 min。每个样品做两个重复。质谱电离方式 EI, 离子能量 70 eV, 全扫描质谱范围 25~350 amu。

香气物质的定性、定量分析: 利用质谱全离子扫描(Scan)的图谱, 依据已有标样的色谱保留时间和质谱信息、NIST14.L 标准谱库比对, 以及相关文献方法进行定性分析, 采用内标法定量, 香气质量浓度计算公式如下:

$$\text{香气质量浓度}/(\mu\text{g/L}) = \frac{\text{各香气组分峰面积} \times \text{内标物质量浓度}}{\text{内标物峰面积}} \quad (1)$$

1.3.4 感官评价 感官分析参照王玉华等^[13]的方法并稍作修改。品评小组由 10 名根据 Lan 等^[14]的方法专业培训的葡萄酒专业学生组成, 感官评价在本学院的品酒室进行。供试酒样以随机顺序提供给品尝员, 分别从葡萄酒的外观(色调、色度、澄清度)、香气(花香、果香、浓郁度)、口感(甜味、酸味、涩感、酒体)3 个方面评价, 用 9 分结构化数值进行量化, 分值越大强度越高。品尝员从葡萄酒标准香气中选择 5~6 个特征词汇描述样品香气特征, 由品评小组对某一特征词汇的使用频率 $F(\%)$ 和强度率平均值 $I(\%)$ 进行量化, 感官评价结果采用感官雷达图进行分析。感官量化数据 $MF(\%)$ 计算公式如下:

$$MF/\% = \sqrt{F \times I} \quad (2)$$

1.3.5 数据分析 试验数据采用 IBM SPSS statistics 25.0 统计软件进行单因素 ANOVA 检验, 置信水平 $P < 0.05$ 被认为具有统计学意义。每个样品进行 3 次重复, 取平均值, 以“平均值 ± 标准差”表示。采用 Excel 2019 整理数据, Origin 2019b 绘制柱状图、显著性差异标记、PCA 主成分分析以及雷达图。

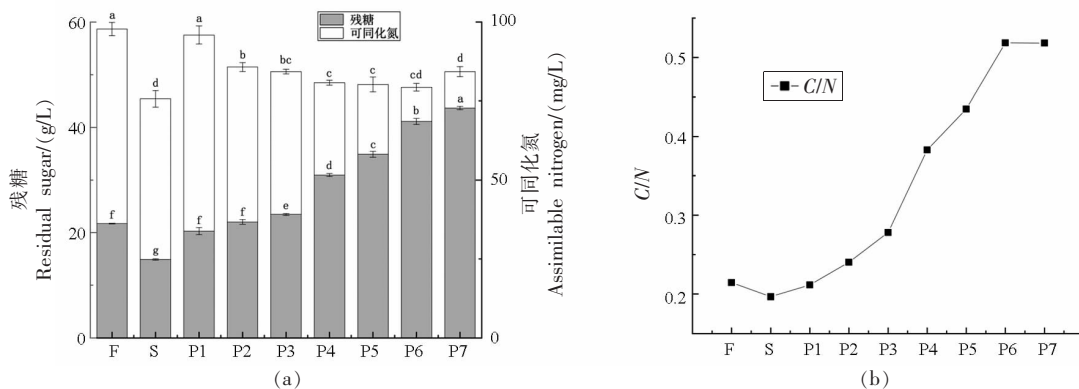
2 结果与分析

2.1 压强对葡萄汁特征理化指标的影响

为了探究不同压强的压榨处理对发酵停滞因素的影响, 检测了还原糖、葡萄糖、果糖、可同化氮指标, 分析自流汁、酒脚分离汁与压榨葡萄汁中碳、氮含量的变化。

2.1.1 压强对葡萄汁残糖、氮的影响 由图 1 可知,酒脚分离汁中总还原糖含量为自流汁(21.71 mg/L)的 68.58%。压榨处理使浸出的还原糖含量逐渐升高,当施加压强 0.29 kPa 时还原糖开始显著升高,于压强 1.70 kPa 下还原糖达到最高(43.70 g/L),与自流汁相比增加了 49.68%。酒脚分离中可同化氮含量显著降低,为自流汁的 77.40%。

施加压强 0.02 kPa 时浸出的可同化氮含量(97.8 mg/L)与自流汁相比无显著差异,而可同化氮含量随压强的增加呈下降趋势,于压强 1.57 kPa 下达到最低值(79.33 mg/L)。C/N 比值表明,随压强的增加 C/N 逐渐升高,并于压强 1.57 kPa 时达到最大值(0.52)。



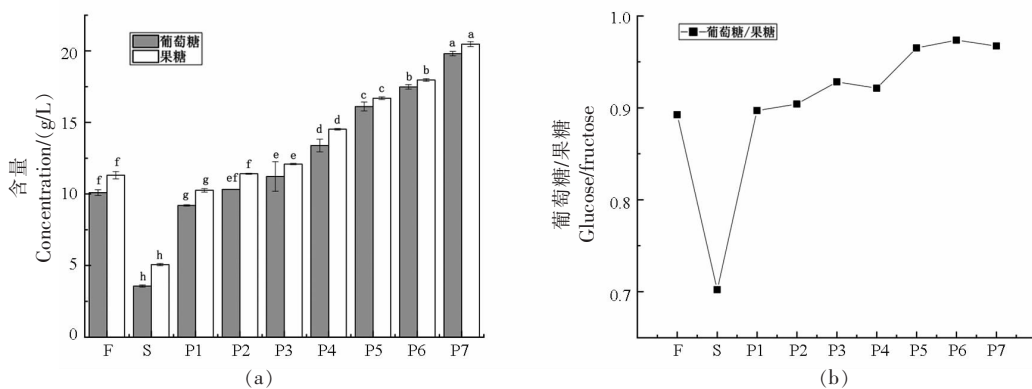
注:F、S、P1~P7 分别代表自流汁、酒脚分离汁以及 0.02,0.08,0.29,0.73,1.09,1.57,1.70 kPa 压强处理下的葡萄汁。

图 1 不同压榨处理下葡萄汁中还原糖和可同化氮的比较

Fig.1 Comparison of reducing sugar and assimilable nitrogen in grape must at different pressing treatments

2.1.2 压强对葡萄汁葡萄糖、果糖的影响 本试验中经 13 d 浸渍发酵的葡萄汁已消耗 90%的糖,残糖为 21.71 g/L,且发酵前期酵母优先消耗葡萄糖,剩余的葡萄糖和果糖的含量控制发酵进程。由图 2 可知,施加压强 1.70 kPa 时葡萄糖和果糖含量达到最高,分别为 19.81 g/L 和 20.48 g/L。葡萄

汁中果糖含量虽均高于葡萄糖,但葡萄糖与果糖含量比值随压强的增加呈上升趋势,葡萄糖浸出率高于果糖浸出率。该比值在压强 1.09 kPa 至 1.70 kPa 时达到最高值(0.97),有利于控制发酵缓慢或停滞。



注:F、S、P1~P7 分别代表自流汁、酒脚分离汁以及 0.02,0.08,0.29,0.73,1.09,1.57,1.70 kPa 压强处理下的葡萄汁。

图 2 不同压榨处理下葡萄汁葡萄糖和果糖的比较

Fig.2 Comparison of glucose and fructose in grape must at different pressing treatments

2.2 压强对葡萄汁颜色的影响

对不同压强处理下葡萄汁的 CIELAB 参数进行分析。如表 1 所示,自流汁、酒脚分离汁和压榨葡萄汁的 L^* (明度)为 81.0~87.3,它们都具有较好的光泽。样品 a^* 值(红绿色调)在 13.9~22.4 范围,颜色均偏向于红色,压榨使红色色调显著提高,在压强 0.08 kPa 下 a^* 值最高值为 22.44。样品 b^* 值(蓝绿色调)在 0.7~3.6 范围,颜色略偏向于黄色,在压强 1.57 kPa 下 b^* 值开始显著增加 (3.60);样

品色度 C_{ab}^* 值在 14~22.5 范围,色彩饱和度为中等且随压强的增加而显著提升。此外, C_{ab}^* 与 a^* 在数值上十分接近,说明美乐葡萄的红绿程度对于色度的贡献大。色调 h_{ab} 取值反映葡萄酒的成熟程度,样品 h_{ab} 都接近 0° ,属于新红葡萄酒的紫红色。选择以 1 号样品(自流汁)为参比,酒脚分离汁差异最小为 3.1,各压强下葡萄汁 ΔE_{ab}^* 差异不显著,说明压榨处理没有带来强烈的色彩差异感。

表 1 样品 CIELAB 参数
Table 1 Sample CIELAB parameters

序号	总花色苷/ (mg/L)	总酚/ (mg/L)	L^*	a^*	b^*	C_{ab}^*	h_{ab}	ΔE_{ab}^*
F	186.95 ± 2.96 ^b	44.19 ± 0.58 ^d	85.53 ± 0.41 ^b	16.41 ± 1.20 ^c	2.18 ± 0.50 ^b	16.55 ± 1.12 ^c	0.13 ± 0.041 ^{ab}	0
S	208.12 ± 6.19 ^a	49.57 ± 1.05 ^c	84.56 ± 0.29 ^c	18.77 ± 1.28 ^{bc}	0.65 ± 0.47 ^c	18.78 ± 1.26 ^{bc}	0.036 ± 0.029 ^c	3.12 ± 0.28 ^b
P1	149.87 ± 13.47 ^d	36.37 ± 0.63 ^e	87.79 ± 0.33 ^a	13.90 ± 0.99 ^d	1.85 ± .41 ^b	14.03 ± 0.91 ^d	0.13 ± 0.040 ^{ab}	4.05 ± 1.29 ^{ab}
P2	155.48 ± 9.35 ^{cd}	39.34 ± 0.64 ^c	83.64 ± 0.27 ^d	22.44 ± 1.14 ^a	1.49 ± 0.46 ^{bc}	22.50 ± 1.10 ^a	0.067 ± 0.025 ^{bc}	6.10 ± 2.93 ^a
P3	151.43 ± 25.32 ^d	36.71 ± 5.54 ^c	84.81 ± 0.39 ^{bc}	19.59 ± 1.02 ^b	1.74 ± 0.37 ^b	19.67 ± 0.98 ^b	0.089 ± 0.024 ^{bc}	4.14 ± 1.78 ^{ab}
P4	183.29 ± 7.19 ^b	48.70 ± 1.12 ^c	82.49 ± 1.29 ^{bc}	22.38 ± 1.09 ^a	2.10 ± 0.074 ^b	22.48 ± 1.09 ^a	0.094 ± 0.0021 ^b	5.11 ± 1.65 ^{ab}
P5	188.76 ± 10.33 ^{ab}	47.52 ± 2.97 ^{cd}	82.58 ± 2.30 ^{bc}	21.78 ± 2.91 ^{ab}	2.31 ± 0.11 ^{ab}	21.90 ± 2.91 ^{ab}	0.10 ± 0.011 ^{ab}	5.89 ± 2.12 ^a
P6	179.78 ± 3.31 ^b	71.40 ± 1.03 ^b	80.96 ± 0.38 ^c	21.20 ± 1.82 ^{ab}	3.60 ± 0.69 ^a	21.52 ± 1.66 ^{ab}	0.17 ± 0.048 ^{ab}	6.39 ± 1.50 ^a
P7	174.46 ± 5.49 ^{bc}	79.04 ± 2.57 ^a	81.66 ± 0.52 ^c	20.67 ± 1.53 ^{ab}	3.55 ± 0.68 ^a	20.99 ± 1.38 ^{ab}	0.17 ± 0.046 ^a	5.66 ± 1.28 ^a

注:F、S、P1~P7 分别代表自流汁、酒脚分离汁以及 0.02,0.08,0.29,0.73,1.09,1.57,1.70 kPa 压强处理下的葡萄汁;计算色差时,以自流汁为参照;同列不同字母表示多重比较在 $P<0.05$ 水平差异显著。

花色苷和总酚是影响葡萄汁颜色的重要因素。如表 1 所示,酒脚分离汁中的花色苷含量最高 [(208.12±6.19)mg/L],压榨处理下花色苷含量呈上升趋势,然而随压强增至 1.57~1.70 kPa 时葡萄汁中花色苷含量显著降低。与自流汁相比,施加压强 1.57 kPa 时总酚含量显著提高 61.58%。压榨汁中花色苷含量与明度 L^* 、色调呈负相关,与 a^* 、 b^* 值、色彩饱和度呈正相关,压榨使葡萄汁色泽变

暗,色彩饱和度变高。

2.3 压强对葡萄汁有机酸的影响

根据对有机酸含量的检测,由表 2 可知压榨汁中有机酸含量与自流汁存在显著性差异,施加压强 1.09 kPa 时有机酸含量显著下降。存在于葡萄中的酒石酸和苹果酸于压强 0.02~0.29 kPa 下被大量浸出。施加压强 0.08~0.73 kPa 使乙酸含量显著升高,而再增加压强反而降低了乙酸含量。

表2 样品有机酸含量

Table 2 Sample organic acid content

序号	总酸/(g/L)	酒石酸/(g/L)	苹果酸/(g/L)	琥珀酸/(g/L)	乙酸/(g/L)	乳酸/(g/L)	丙酮酸/(g/L)
F	7.16 ± 0.23 ^{ab}	1.73 ± 0.051 ^a	0.81 ± 0.040 ^b	2.81 ± 0.15 ^{bcd}	0.81 ± 0.091 ^a	0.35 ± 0.017 ^b	0.15 ± 0.0050 ^d
S	7.56 ± 0.27 ^{ab}	1.69 ± 0.065 ^a	0.83 ± 0.035 ^b	3.27 ± 0.14 ^{ab}	0.69 ± 0.16 ^{ab}	0.36 ± 0.067 ^b	0.21 ± 0.0052 ^a
P1	8.26 ± 0.16 ^a	1.46 ± 0.48 ^a	0.95 ± 0.13 ^a	4.26 ± 0.16 ^a	0.45 ± 0.18 ^{bc}	0.51 ± 0.017 ^a	0.12 ± 0.0058 ^c
P2	6.63 ± 1.42 ^b	1.69 ± 0.020 ^a	0.96 ± 0.031 ^a	2.22 ± 1.68 ^{cd}	0.82 ± 0.29 ^a	0.28 ± 0.037 ^c	0.17 ± 0.021 ^c
P3	7.70 ± 0.19 ^{ab}	1.67 ± 0.060 ^a	0.91 ± 0.015 ^{ab}	3.34 ± 0.030 ^{ab}	0.92 ± 0.033 ^a	0.23 ± 0.017 ^{cd}	0.20 ± 0.0021 ^{ab}
P4	6.49 ± 0.055 ^b	0.93 ± 0.042 ^b	0.64 ± 0.013 ^c	3.15 ± 0.077 ^{bc}	0.94 ± 0.026 ^a	0.24 ± 0.10 ^{cd}	0.19 ± 0.0016 ^{bc}
P5	4.93 ± 0.067 ^c	0.96 ± 0.0067 ^b	0.66 ± 0.013 ^c	1.99 ± 0.053 ^d	0.45 ± 0.069 ^{bc}	0.21 ± 0.0078 ^d	0.14 ± 0.00053 ^d
P6	4.69 ± 0.11 ^c	0.99 ± 0.049 ^b	0.68 ± 0.019 ^c	1.91 ± 0.043 ^d	0.26 ± 0.047 ^{cd}	0.21 ± 0.0041 ^d	0.14 ± 0.00069 ^d
P7	4.27 ± 0.19 ^c	0.84 ± 0.053 ^b	0.67 ± 0.10 ^c	1.90 ± 0.053 ^d	0.01 ± 0.35 ^d	0.22 ± 0.021 ^d	0.14 ± 0.0022 ^d

注:F、S、P1~P7 分别代表自流汁、酒脚分离汁以及 0.02、0.08、0.29、0.73、1.09、1.57、1.70 kPa 压强处理下的葡萄汁;同列不同字母表示多重比较在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

2.4 压强对葡萄汁香气物质的影响

葡萄汁的香气物质通过 SPME-GC-MS 方法检测,本次共检出 56 种挥发性物质成分,定性、定量结果见表 3,主要包括酯类化合物、高级醇、挥发性脂肪酸类化合物、苯乙基类、醛类化合物,还包括挥发性酚类物质、酚酸酯类、萜烯类、C6 化合物等微量成分。

2.4.1 品种香气成分分析 共检出 11 种挥发性香气物质,包括挥发酚类、酚酸酯类、萜烯类物质以及 C6 化合物。

由表 3 可知,萜烯类化合物在自流汁中含量最高为 47.03 $\mu\text{g/L}$ 。压榨处理下,施加压强 1.09 kPa 时 C6 化合物和萜烯类化合物的含量分别为 49,069.82 $\mu\text{g/L}$ 和 31.56 $\mu\text{g/L}$,再增加压强对其含量没有显著影响。挥发性酚类物质和酚酸酯在压榨处理下无显著变化。除自流汁外,压强 0.29 kPa 和 1.09 kPa 时葡萄汁有最丰富的香气成分,质量浓度分别为 49,353.21 $\mu\text{g/L}$ 和 49,101.61 $\mu\text{g/L}$ 。

2.4.2 发酵香气成分分析 共检出 45 种发酵型香气物质,有 17 种酯(包括 11 种脂肪酸乙酯,4 种乙酸酯和 2 种其它酯类)、13 种高级醇、6 种脂肪酸、4 种醛类化合物和 5 种苯乙基类物质。

各样品中高级醇和脂肪酸类化合物对发酵香气的贡献最大。在压榨处理下,正戊醇(OAV>1)、庚醇(OAV>1)、辛醇、正癸醇、1-辛烯-3-醇(OAV>1)、苯甲醇、3-甲基-1-戊醇均无显著差异,而压强 1.57 kPa 时正丁醇显著增加了 13.93 倍

(8 996.31 $\mu\text{g/L}$)。脂肪酸在自流汁中含量最高(843 822.61 $\mu\text{g/L}$),癸酸和辛酸含量在压强 0.29 kPa 下达到最高后随压强的增加而降低。脂肪酸乙酯在自流汁中含量最高(11,120.70 $\mu\text{g/L}$),在压强 1.09 kPa 下其含量为自流汁的 79.07%。整个压榨处理过程中,异丁酸乙酯含量(OAV>1)均显著降低,月桂酸乙酯含量仅于压强 1.70 kPa 时显著降低,压强超过 1.09 kPa 后乳酸乙酯含量显著降低了 93.72%。压强为 1.57 kPa 时葡萄汁中苯乙醛和乙酸苯乙酯含量得到显著提高。

2.4.3 PCA 主成分分析 对样品中 56 种香气物质的 SPME-GC-MS 数据进行主成分分析。由图 3 所示,9 种不同阶段的葡萄汁分布在 4 个象限中,被分类为 3 类:F 和 S(自流汁和酒脚分离汁)分为一类,位于第 1 象限;P1、P2 和 P3(0.02~0.29 kPa)分为一类,位于第 4 象限;P4、P5、P6 和 P7(0.73~1.70 kPa)分为一类,位于第 2、3 象限。F 和 S(自流汁和酒脚分离汁)附近存在着与 PC1 高度正相关的品种香气 4-乙基愈创木酚、 α -松油醇、合金欢醇、反,2-己烯-1-醇、顺,2-己烯-1-醇(载荷系数大于 0.9),以及大量发酵香气包括脂肪酸乙酯(C)、高级醇(F)、脂肪酸(G)和苯乙基类化合物(I),尤其是具有浓郁花香果香的脂肪酸乙酯和高级醇(如乙酸异戊酯、正己酸乙酯、辛酸乙酯、苯甲醇)。PC2 主要体现脂肪酸乙酯、乙酸酯、醛类和具有消极气味的脂肪酸(如辛酸、癸酸)等香气化合物的重要信息(载荷系数大于 0.9),与检测到分布

表3 不同压榨处理下葡萄汁的挥发性香气物质
Table 3 Volatile aroma substances of grape must under different pressing treatments

编号	香气化合物	香气物质质量浓度/($\mu\text{g/L}$)										OAV ($\mu\text{g/L}$) ^[15-17]
		F	S	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		
品种香气成分												
挥发酚类												
A1	4-乙基愈创木酚	0.2 ± 0.01 ^a	0.01 ± 0.01 ^b	0.23 ± 0.07 ^a	0.11 ± 0 ^{ab}	0.13 ± 0.1 ^{ab}	0.14 ± 0.02 ^{ab}	0.18 ± 0.02 ^a	0 ± 0 ^b	0 ± 0 ^b	-	-
酚酸酯类												
A2	水杨酸乙酯	0.04 ± 0 ^b	0.19 ± 0.01 ^a	0.02 ± 0 ^b	0.03 ± 0 ^b	0.03 ± 0 ^b	0.02 ± 0 ^b	0.05 ± 0 ^b	0.19 ± 0.07 ^a	0.07 ± 0.13 ^a	-	-
萜烯类												
A3	香茅醇	7.63 ± 2.93 ^a	5.9 ± 0.21 ^{abc}	9.35 ± 1.85 ^a	2.34 ± 0.04 ^c	2.52 ± 0.07 ^c	2.5 ± 0.09 ^b	2.9 ± 0.17 ^{bc}	6.16 ± 0.51 ^{abc}	0.51 ± 5.84 ^{abc}	100	<0.1
A4	里那醇	1.34 ± 0.07 ^d	2.35 ± 0.25 ^a	1.47 ± 0.17 ^{cd}	1.69 ± 0.01 ^{cd}	1.75 ± 0.08 ^{bcd}	1.61 ± 0.15 ^{cd}	2.2 ± 0.09 ^{ab}	1.95 ± 0.11 ^{abc}	0.11 ± 1.91 ^{abc}	25	<0.1
A5	α -松油醇	17.72 ± 3.87 ^a	4.05 ± 0.93 ^b	11.81 ± 3.22 ^{ab}	1.07 ± 0.02 ^b	9.44 ± 8.6 ^{ab}	6.67 ± 4.72 ^{ab}	2.73 ± 0.19 ^b	4.7 ± 2.16 ^b	2.16 ± 7.36 ^{ab}	330	<0.1
A6	合金欢醇	18.08 ± 1.64 ^{abc}	10.34 ± 1.91 ^c	19.97 ± 6.16 ^{ab}	15.26 ± 0.53 ^{abc}	15.76 ± 1.86 ^{abc}	14.69 ± 1.32 ^{abc}	21.36 ± 2.28 ^a	12.93 ± 1.19 ^{abc}	1.19 ± 11.97 ^{bc}	-	-
A7	橙花醇	0.63 ± 0.01 ^{ab}	0.83 ± 0.17 ^a	0.62 ± 0.05 ^{ab}	0.62 ± 0.01 ^{ab}	0.63 ± 0 ^{ab}	0.68 ± 0.02 ^{ab}	0.74 ± 0.08 ^{ab}	0.57 ± 0.02 ^b	0.02 ± 0.52 ^b	500	<0.1
A8	柠檬烯	1.63 ± 0.06 ^{ab}	1.74 ± 0.02 ^{ab}	1.4 ± 0.27 ^b	1.36 ± 0.06 ^{ab}	1.39 ± 0 ^{ab}	1.43 ± 0.03 ^{ab}	1.63 ± 0.03 ^{ab}	1.81 ± 0.2 ^a	0.2 ± 1.71 ^{ab}	15	<0.1
总量												
C6 化合物												
B1	反-2-己烯-1-醇	30.77 ± 5.37 ^{abc}	19.82 ± 5.47 ^{bc}	26.78 ± 3.42 ^{abc}	24.26 ± 7.45 ^{abc}	33.29 ± 7.77 ^{abc}	40.57 ± 6.27 ^a	28.87 ± 0.78 ^{abc}	36.37 ± 2.48 ^{ab}	2.48 ± 17.17 ^c	-	-
B2	顺-2-己烯-1-醇	48 530.44 ± 503.74 ^a	42 277.54 ± 104.81 ^a	41 787.67 ± 7 365.04 ^a	41 668.25 ± 1 928.82 ^a	49 266.7 ± 1 769.13 ^a	44 732.54 ± 765.19 ^a	49 020.45 ± 2 973.13 ^a	45 979.82 ± 5 845.68 ^a	5 845.68 ^a	37 439.98 ^a	-
B3	反-3-己烯-1-醇	12.9 ± 4.54 ^b	10.89 ± 1.84 ^b	19.22 ± 1.78 ^{ab}	18.41 ± 3.04 ^{ab}	21.57 ± 4.32 ^{ab}	28.37 ± 5.91 ^a	20.5 ± 0.69 ^{ab}	22.92 ± 1.33 ^{ab}	1.33 ± 15.48 ^b	-	-
总量												
48 574.11 ± 42 308.25 ± 41 833.67 ± 41 710.92 ± 49 321.56 ± 44 801.48 ± 49 069.82 ± 46 039.11 ± 5 849.49												

(续表 3)

编号	香气 化合物	香气物质质量浓度/($\mu\text{g/L}$)										P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	S	F	OAV ($\mu\text{g/L}$) ^[15-17]	OAV ($\mu\text{g/L}$) ^[18-19]
		F	S	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7												
发酵香气成分																						
脂防酸乙酯																						
C1	丁酸乙酯	60.8 ± 11.8 ^a	66.15 ± 4.37 ^a	61.72 ± 5.82 ^a	59.21 ± 2.15 ^a	50.16 ± 5.41 ^a	52.48 ± 5.1 ^a	68.08 ± 9.95 ^a	63.43 ± 10.01 ± 51.3 ^a	10.01 ± 51.3 ^a	20	>1										
C2	正己酸乙酯	702.89 ± 122.67 ^a	754.03 ± 1.78 ^a	692.42 ± 104.83 ^a	688.12 ± 13.29 ^a	649.7 ± 26.29 ^a	675.3 ± 111.11 ^a	814.46 ± 122.61 ^a	764.16 ± 113.32 ^a	113.32 ± 619.12 ^a	14	>1										
C3	辛酸乙酯	1316.92 ± 17.15 ^a	1130.92 ± 2.19 ^a	1122.57 ± 199.26 ^a	1118.21 ± 52.07 ^a	1322.94 ± 48.75 ^a	1199.45 ± 21.05 ^a	1313.88 ± 79.85 ^a	1229.89 ± 156.81 ± 1000.38 ^a	5	>1											
C4	壬酸乙酯	4.29 ± 0.33 ^a	4.64 ± 0.01 ^a	3.93 ± 0.98 ^a	3.83 ± 0.04 ^a	4.21 ± 0.41 ^a	3.63 ± 0.34 ^a	4.08 ± 0.02 ^a	4.33 ± 0.3 ^a	0.3 ± 4.11 ^a	1300	<0.1										
C5	月桂酸乙酯	73.99 ± 1.5 ^{abc}	52.82 ± 4.89 ^d	73.99 ± 1.38 ^{abc}	70.86 ± 4.32 ^{abcd}	88.59 ± 0.21 ^a	81.05 ± 3.04 ^{ab}	81.79 ± 8.74 ^{ab}	67.63 ± 9.39 ^{abcd}	9.39 ± 51.62 ^d	1500	<0.1										
C6	异丁酸乙酯	5589.87 ± 1015.12 ^a	3395.09 ± 61.52 ^b	3679.55 ± 404.15 ^b	3547.02 ± 268.66 ^b	3542.76 ± 26.76 ^b	3503.11 ± 80.15 ^b	3855.05 ± 8.4 ^b	3803.39 ± 369.3 ± 3304.06 ^b	15	>1											
C7	2-甲基丁酸乙酯	7.18 ± 5.88 ^a	1.86 ± 0.22 ^a	9.06 ± 7.95 ^a	0.85 ± 0.13 ^a	5.73 ± 4.69 ^a	6.11 ± 4.97 ^a	1.41 ± 0.13 ^a	1.64 ± 0.19 ^a	0.19 ± 1.54 ^a	18	<0.1										
C8	异戊酸乙酯	53.07 ± 12.63 ^a	78.06 ± 1.22 ^a	58.11 ± 5.18 ^a	59.69 ± 2.08 ^a	48.21 ± 4.94 ^a	58.51 ± 11.5 ^a	70.74 ± 11.36 ^a	75.15 ± 14.92 ± 58.26 ^a	3	>1											
C9	乳酸乙酯	1998.45 ± 368.13 ^a	1237.08 ± 104.88 ^{bcd}	1626.78 ± 166.05 ^{abc}	1585.99 ± 188.07 ^{bc}	1493.07 ± 54.69 ^{abcd}	1416.25 ± 153.81 ^{bcd}	1671.68 ± 6.57 ^{bc}	1080.07 ± 125.48 ± 924.11 ^d	150000	<0.1											
C10	丁二酸乙酯	1288.96 ± 280.97 ^a	977.06 ± 48.46 ^{ab}	855.49 ± 236.98 ^{ab}	751.71 ± 65.69 ^b	1189.39 ± 137.26 ^{ab}	847.07 ± 13.18 ^{ab}	894.57 ± 48.29 ^{ab}	1034.1 ± 44.17 ± 870.32 ^{ab}	200000	<0.1											
C11	棕榈酸乙酯	24.28 ± 0.76 ^a	11.77 ± 2.89 ^{abc}	22.15 ± 10.62 ^{ab}	10.86 ± 0.49 ^{bc}	11.81 ± 3.11 ^{abc}	10.4 ± 0.33 ^c	16.9 ± 2.47 ^{abc}	9.24 ± 2.71 ^{bc}	1500	<0.1											
总量																						
乙酸酯																						
D1	乙酸乙酯	38776.98 ± 6902.63 ^a	48828.34 ± 559.8 ^a	38652.14 ± 6132.91 ^a	36225.82 ± 587.51 ^a	32468.68 ± 2779.71 ^a	35782.49 ± 5549.67 ^a	42200.37 ± 4434.66 ^a	45747.68 ± 7303.55 ^a	38565.90 ± 25.98 ^a	7500	>1										
D2	乙酸己酯	18.43 ± 4.32 ^{ab}	31.90 ± 2.09 ^a	18.46 ± 3.71 ^{ab}	16.81 ± 0.58 ^b	13.38 ± 1.11 ^b	15.50 ± 4.15 ^b	18.25 ± 3.53 ^b	26.15 ± 7.15 ^{ab}	670	<0.1											
D3	乙酸异戊酯	2544.71 ± 531.49 ^{bc}	3987.86 ± 133.73 ^b	2318.59 ± 610.52 ^{bc}	2103.99 ± 99.78 ^c	2020.38 ± 181.52 ^c	2070.50 ± 342.83 ^c	2435.09 ± 230.39 ^{bc}	3636.16 ± 646.56 ^{ab}	646.56 ± 2911.23 ^{abc}	30	>1										
D4	乙酸香叶酯	446.64 ± 10.44 ^{ab}	679.03 ± 112.85 ^a	479.40 ± 27.7 ^{ab}	386.60 ± 4.94 ^{ab}	330.97 ± 28.06 ^{ab}	328.59 ± 60.3 ^b	231.70 ± 220.3 ^b	550.75 ± 117.84 ^{ab}	117.84 ± 353.65 ^{ab}	-											

(续表3)

编号	香气物质质量浓度/($\mu\text{g/L}$)										限值/ ($\mu\text{g/L}$) ^[15-17]	OAV ^[18-19]
	香气 化合物	F	S	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		
D5	乙酸苯乙酯	214.83 ± 8.18 ^b	1 237.32 ± 58.15 ^a	163.44 ± 58.05 ^b	113.97 ± 0.54 ^b	130.26 ± 7.81 ^b	137.20 ± 4.59 ^b	146.81 ± 22.7 ^b	1 238.85 ± 476.46 ± 845.59 ^a	476.46 ± 250	>1	
	总量	42 001.59	54 764.45	41 632.03	38 847.19	34 963.67	38 334.28	45 032.22	51 199.59	39 813.91		
E1	其他酯类											
	辛酸甲酯	0.45 ± 0.08 ^a	0.18 ± 0.03 ^{bc}	0.4 ± 0.05 ^a	0.44 ± 0.05 ^a	0.44 ± 0.1 ^a	0.34 ± 0.02 ^{ab}	0.39 ± 0.04 ^a	0.15 ± 0.01 ^c	0.01 ± 0.11 ^c	200	<0.1
E2	乙酸异戊酯	0.79 ± 0.09 ^c	29.98 ± 1.15 ^{ab}	29.87 ± 10.01 ^{ab}	32.32 ± 0.32 ^{ab}	43.6 ± 3.2 ^a	36.25 ± 0 ^{ab}	40.4 ± 6.34 ^{ab}	34.65 ± 5.38 ^{ab}	5.38 ± 24.17 ^b	-	
	总量	1.24	30.16	30.27	32.76	44.04	36.59	40.79	34.8	5.39		
	高级醇类											
F1	正丙醇	146 055.2 ± 16 244.76 ^e	99 882.73 ± 383.99 ^{bc}	137 175.58 ± 12 900.05 ^{ab}	113 277.54 ± 4 330.89 ^{abc}	90 137.1 ± 6 471.56 ^e	112 822.24 ± 17 210.88 ^{abc}	133 881.6 ± 20 423.94 ^{ab}	88 474.02 ± 12 760.16 ^c	12 760.16 ± 75 199.92 ^e	-	
F2	正丁醇	645.81 ± 142.53 ^c	9 956.18 ± 360.16 ^a	498.48 ± 245.01 ^c	293.39 ± 27.5 ^c	258.74 ± 13.41 ^c	289.7 ± 29.1 ^c	3 396.09 ± 3 078.14 ^{bc}	8 996.31 ± 1 651.51 ^a	1 651.51 ± 7 045.88 ^{ab}	150 000	<0.1
F3	异丁醇	90 468.46 ± 2 911.83 ^a	53 158.47 ± 425.99 ^{bc}	804 77.92 ± 12 040.08 ^{ab}	71 568.91 ± 5 078.59 ^{bc}	63 537.1 ± 475.64 ^{cd}	70 407.21 ± 1 822.7 ^{bc}	87 554.71 ± 2 220.27 ^a	52 403.56 ± 5 640.91 ^{bc}	5 640.91 ± 49 521.11 ^{de}	40 000	>1
F4	正戊醇	10 239.63 ± 1 737.63 ^a	11 025.57 ± 65.61 ^a	10 124.17 ± 1 605.77 ^a	10 031.21 ± 181.97 ^a	9 526.21 ± 366.12 ^a	9 854.46 ± 1 591.32 ^a	11 889.29 ± 1 678.25 ^a	11 247.45 ± 1 641.48 ^a	1 641.48 ± 9 051.75 ^a	1 000	>1
F5	异戊醇	124 305.43 ± 5 075.68 ^{abc}	141 164.39 ± 434.65 ^{ab}	115 151.4 ± 18 423.4 ^{bc}	110 033.84 ± 4 671.37 ^c	111 457 ± 538.99 ^{bc}	115 637.13 ± 2 078 ^{bc}	131 448.45 ± 4 339.71 ^{abc}	146 065.64 ± 16 693.37 ^a	16 693.37 ± 136 865.11 ^{abc}	7 000	>1
F6	庚醇	61 376.07 ± 653.87 ^a	52 732.98 ± 203.39 ^a	52 518.98 ± 9 326.49 ^a	52 415.55 ± 2 501 ^a	62 137.32 ± 2 325.42 ^a	56 214.26 ± 994.82 ^a	61 444.42 ± 3 811.94 ^a	57 489.83 ± 7 338.47 ^a	7 338.47 ± 46 627.87 ^a	2 500	>1
F7	辛醇	19.68 ± 1.09 ^b	17.39 ± 0.12 ^a	19.14 ± 3.26 ^a	19.43 ± 0.02 ^a	20.63 ± 0.99 ^b	19.07 ± 1.34 ^b	20.96 ± 2.56 ^c	18.95 ± 1.49 ^a	1.49 ± 15.9 ^a	40	<0.1
F8	异辛醇	1.14 ± 0.07 ^d	1.6 ± 0.1 ^{bcd}	1.23 ± 0.39 ^{cd}	1.35 ± 0.02 ^{bcd}	1.57 ± 0.02 ^{bcd}	1.29 ± 0.23 ^{bcd}	1.91 ± 0.03 ^{abc}	1.58 ± 0.21 ^{bcd}	0.21 ± 1.86 ^{bc}	-	
F9	正癸醇	4.37 ± 0.74 ^a	1.74 ± 0.07 ^a	4.34 ± 0.88 ^a	2.26 ± 1.42 ^a	2.54 ± 1.67 ^a	2.46 ± 1.55 ^a	3.03 ± 2.01 ^a	1.9 ± 0.14 ^a	0.14 ± 1.78 ^a	500	<0.1
F10	1-辛烯-3-醇	3 598.65 ± 36.94 ^a	3 136.22 ± 7.76 ^a	3 100.1 ± 546.88 ^a	3 090.64 ± 143.77 ^a	3 652.39 ± 129.86 ^a	3 318.55 ± 56.66 ^a	3 636.04 ± 220.67 ^a	3 410.5 ± 434.1 ^a	434.1 ± 2 776.12 ^a	20	>1
F11	苯甲醇	1.56 ± 0.25 ^b	2.03 ± 1.63 ^a	2.1 ± 0.46 ^a	2.38 ± 0.02 ^a	2.97 ± 0.36 ^a	2.66 ± 0.04 ^a	2.48 ± 2.01 ^a	3.34 ± 0.04 ^a	0.04 ± 3.37 ^a	41	<0.1
F12	3-甲基-1-戊醇	51.35 ± 5.92 ^a	46.76 ± 2.74 ^a	48.86 ± 6.25 ^a	47.74 ± 0.39 ^a	45.41 ± 1.36 ^a	49.62 ± 2.48 ^a	53.78 ± 5.44 ^a	49.84 ± 9.57 ^a	9.57 ± 42.91 ^a	500	<0.1
F13	4-甲基-1-戊醇	17.67 ± 1.52 ^a	11.77 ± 0.43 ^b	16.39 ± 3.45 ^{ab}	16.08 ± 0.56 ^{ab}	14.41 ± 0.66 ^{ab}	15.68 ± 1.44 ^{ab}	18.18 ± 1.77 ^a	11.05 ± 2.16 ^b	2.16 ± 10.64 ^b	50 000	<0.1
	总量	436 785.02	330 841.05	399 138.69	360 800.32	340 793.39	368 634.33	433 350.94	368 173.97	327 164.22		

(续表 3)

编号	香气化合物	香气物质质量浓度/($\mu\text{g/L}$)										阈值/ ($\mu\text{g/L}$) ^[15-17]	OAV ^[18-19]	
		F	S	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7				
脂肪酸类														
G1	异丁酸	1 312.42 ± 28.89 ^a	1 102.66 ± 108.57 ^a	957.45 ± 34.19 ^a	841.7 ± 88.97 ^a	777.76 ± 5.95 ^a	787.77 ± 106.88 ^a	1 234.34 ± 371.99 ^a	1 169.39 ± 151.87 ± 1 109.23 ^a	151.87 ± 1 109.23 ^a	2300	<1		
G2	异戊酸	2 897.67 ± 2697 ^a	424.66 ± 3.75 ^a	190.03 ± 22.62 ^a	186.19 ± 3.21 ^a	2 489.64 ± 2 235.33 ^a	194.55 ± 10.43 ^a	208.7 ± 13.56 ^a	381.5 ± 5.4 ^a	5.4 ± 361.85 ^a	700	>1		
G3	乙酸	832 740.31 ± 25 576.97 ^a	525 545.27 ± 5 294.47 ^b	498 682.87 ± 61 364.31 ^b	405 918.29 ± 30 848.77 ^b	455 305.45 ± 19 642.09 ^b	425 057.94 ± 8 348.63 ^b	458 193.09 ± 51 506.46 ^b	460 982.03 ± 44 363.43 ^b	44 363.43 ± 460 733.5 ^b	200 000	>1		
G4	己酸	2 465.81 ± 148.83 ^{ab}	2 237.4 ± 75.26 ^{ab}	2 106.59 ± 340.38 ^{ab}	2 188.28 ± 42.49 ^{ab}	2 607.75 ± 136.37 ^a	2 287.67 ± 121.7 ^{ab}	2 241.85 ± 120.25 ^{ab}	2 409.52 ± 238.5 ± 238.5 ^{ab}	238.5 ± 1 847.27 ^b	3 000	<1		
G5	癸酸	1 821.69 ± 101.59 ^b	1 089.3 ± 128.81 ^b	1 833.63 ± 127.17 ^b	1 939.17 ± 53.99 ^b	2 928.04 ± 124.07 ^a	2 646.4 ± 59.41 ^a	2 874.84 ± 0.35 ^a	1 464.67 ± 126.31 ^c	126.31 ± 1 099.36 ^d	1 000	>0.1		
G6	辛酸	2 584.71 ± 223.45 ^b	1 632.54 ± 71.88 ^{bc}	2 257.44 ± 284.8 ^{bc}	2 190.05 ± 60.55 ^{bc}	3 133.02 ± 218.44 ^a	2 655.33 ± 27.72 ^b	2 668.16 ± 50.29 ^b	1 868.97 ± 125.33 ± 1 447.15 ^c	125.33 ± 1 447.15 ^c	500	>1		
总量														
醛类														
H1	壬醛	1.02 ± 0.01 ^b	1.11 ± 0.27 ^{ab}	1.09 ± 0.08 ^{ab}	1.12 ± 0.3 ^{ab}	1.09 ± 0.14 ^{ab}	1.91 ± 0.56 ^a	1.07 ± 0.1 ^{ab}	1.64 ± 0.06 ^{ab}	0.06 ± 0.99 ^b	15	<0.1		
H2	辛醛	503.26 ± 122.11 ^{ab}	871.32 ± 58.35 ^a	508.09 ± 108.72 ^b	456.65 ± 15.11 ^b	364.65 ± 31.7 ^b	420.55 ± 113.36 ^b	492.98 ± 97.78 ^{ab}	717.07 ± 192.47 ± 481.39 ^b	192.47 ± 481.39 ^b	-			
H3	癸醛	0.4 ± 0.01 ^b	0.39 ± 0.2 ^b	0.73 ± 0.16 ^{ab}	0.37 ± 0.13 ^{ab}	0.62 ± 0.13 ^{ab}	0.96 ± 0.19 ^a	0.45 ± 0.1 ^b	0.94 ± 0.14 ^a	0.14 ± 0.32 ^b	14 000	<0.1		
H4	糠醛	9.58 ± 1.24 ^d	26.42 ± 1.68 ^a	10.07 ± 1.81 ^d	11.4 ± 0.07 ^{cd}	9.34 ± 1.79 ^d	9.71 ± 1.63 ^d	13.56 ± 1.17 ^{cd}	18.23 ± 0.67 ^{bc}	0.67 ± 14.98 ^{cd}	10	<1		
总量														
苯乙基类														
I1	苯酚	3.81 ± 0.36 ^a	3.00 ± 0.12 ^a	2.85 ± 0.44 ^a	2.82 ± 0.2 ^a	3.10 ± 0.29 ^a	2.85 ± 0.03 ^a	3.6 ± 0.26 ^a	3.19 ± 0.63 ^a	0.63 ± 2.86 ^a	-			
I2	苯甲酸	44.25 ± 44.25 ^a	27.46 ± 10.03 ^a	23.98 ± 23.98 ^a	53.72 ± 8.37 ^a	100.64 ± 43.21 ^a	64.15 ± 12.77 ^a	86.09 ± 12.02 ^a	33.25 ± 4.25 ^a	4.25 ± 36.1 ^a	-			
I3	苯乙醛	2.83 ± 0.21 ^b	11.71 ± 4.37 ^b	3.22 ± 0.36 ^b	3.68 ± 0.16 ^b	3.77 ± 0.3 ^b	3.74 ± 0.29 ^b	5.59 ± 0.61 ^b	32.36 ± 7.02 ± 19.35 ^{ab}	7.02 ± 19.35 ^{ab}	-			
I4	4-乙基苯酚	2.62 ± 1.84 ^a	0.72 ± 0.02 ^a	0.79 ± 0.12 ^a	0.51 ± 0.14 ^a	2.84 ± 1.87 ^a	0.71 ± 0.07 ^a	3.16 ± 2.14 ^a	0.57 ± 0.05 ^a	0.05 ± 0.5 ^a	20	<0.1		
总量														
98.44													69.37	11.95

注:表中的值为两组平行试验的平均值±标准差,具有不同字母标注的平均值表示有显著差异($P<0.05$);“-”为未查阅到相关文献。F、S、P1~P7分别代表自流汁、酒脚分离汁以及0.02、0.08、0.29、0.73、1.09、1.57、1.70 kPa 压强处理下的葡萄汁。

在 P6(1.57 kPa)附近的所有乙酸酯呈负相关。P1(0.02 kPa)和 P6 在香气风格上差异较大,P1 周围存在着大部分脂肪酸,包括异戊酸、己酸、辛酸和癸酸。由于 F、S 和 P1-P3 分布在香气成分丰富的 PC1 正向端,浸渍发酵和轻微压榨对葡萄汁香气的贡献程度较大,其中 F 和 S 的品种香气和愉悦的发酵香气(酯类和醇类物质)更加突出,轻微压榨贡献了更多不愉悦的酸类物质。相反,压强 1.09 kPa 时开始释放一些乙酸酯、较高分子质量的醛类化合物,可能赋予葡萄汁柑橘、甜橙等果香。

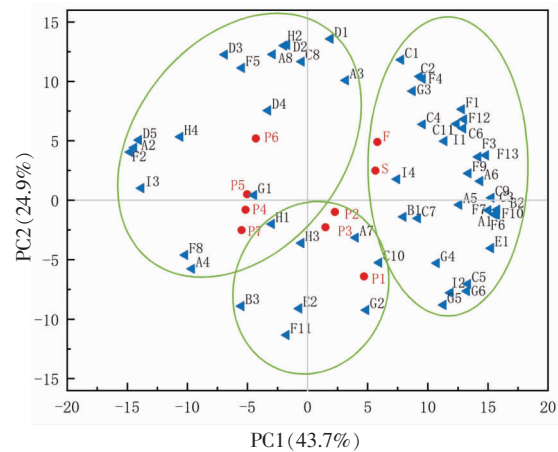
2.5 感官分析

自留酒和压榨酒的感官评价由经验丰富的品评小组获得(图 4)。从外观上,两组酒样的色泽和澄清度无较大差异。与压榨酒相比,自流酒酸度更高,单宁柔和,香气浓郁。从香气特征量化分析结果看,酒样中 5 种香气特征的 MF 值较高。在果香类(核果+热带水果红色水果)和花香类(紫罗兰、蜂蜜)香气特征中,自留酒酒样 MF 值最高,其次是压榨酒酒样。自留酒酒样的生青味香气特征 MF 值最高。此外,压榨处理增加了酒样中香料味和脂肪味香气特征,而在自留酒酒样中对应的 MF 值较低。此结果说明压榨处理增强了酒样的果香、香料味和香脂味。

3 讨论

CO₂ 浸渍第 1 阶段发酵后葡萄浆果中含有大量残糖,酵母因葡萄糖与果糖的亲合力差异性会优先利用葡萄糖^[20],葡萄糖与果糖的浓度及比例对第 2 阶段发酵进程有重要影响。施加压强 1.09~1.70 kPa,显著提高了葡萄糖与果糖的比例,压榨浸出的葡萄糖缓解了比例的失衡。与自流汁相比,酒脚分离汁中总还原糖含量显著降低了 29%,这是由于葡萄受重力因素导致部分果实破碎后由酵母进行酒精发酵,同时部分果实完好无损导致还原糖无法被浸出^[1]。压强 0.08 kPa 时酒脚结构破坏使还原糖含量升高。过高的糖含量易导致发酵缓慢,C/N 比值的升高影响酵母生长、发酵进程、微生物代谢产物^[2-3,21]。本试验中葡萄汁 C/N 比值于压强 1.57 kPa 时达到最大值 0.52。

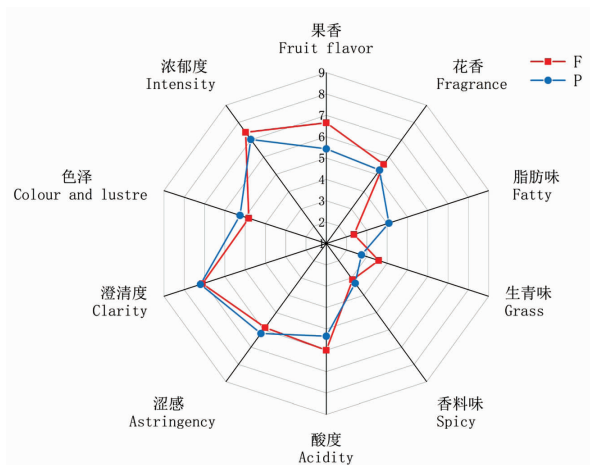
颜色是影响红葡萄酒整体质量的重要参数,葡萄汁的颜色变化取决于花色苷及其衍生物^[5]。本



注:F、S、P1~P7 分别代表自流汁、酒脚分离汁以及 0.02、0.08、0.29、0.73、1.09、1.57、1.70 kPa 压强处理下的葡萄汁;A~I 为表 3 中标注的香气物质。

图 3 前两个主成分上的不同处理葡萄汁的香气成分载荷及样品的分布图

Fig.3 Principal component (PC) analysis biplot of the scores of the sensory descriptive analysis data for the different treatments of grape must



注:F、P 分别代表自流酒(n=1)和压榨酒(n=7)。

图 4 自留酒样与压榨酒样感官分析雷达图

Fig.4 Sensory analysis radar map of wine sample of free-run and pressing

试验酒脚分离汁中花色苷的释放和红色的增强说明葡萄汁与葡萄皮籽接触过程中因酒精的作用而溶出更多的花色苷,然而,当压强 1.57 kPa 时花色苷含量反而下降,可能是压榨过程中气囊的反复充压使氧气进入,导致花色苷氧化降解^[22]。一些研究也表明 CM 酒最终的花色苷含量较少^[6]。压强过高不利于花色苷的积累,进而影响葡萄汁明度和

色彩饱和度^[23]。

从不同压强处理的葡萄汁中共检出11种品种香气物质和45种发酵香气物质,其中高级醇、酯类物质和脂肪酸对样品香气的贡献最大,16种物质OAV值大于1。有研究报道高级醇对葡萄酒果香的抑制作用,比如异戊醇和异丁醇抑制了令人愉悦的草莓和红色水果等香气^[24]。本试验中压榨处理使葡萄汁中正丙醇、异丁醇、4-甲基-1-戊醇含量整体呈下降趋势,与Tong等^[25]的研究结果一致,说明压榨处理降低高级醇含量,对葡萄酒香气有积极作用。为了保持葡萄酒中的品种特性,较低的酯类浓度是很重要的,因为高浓度的酯类物质会为葡萄酒带来汽油或指甲油气味的负面影响,甚至会抑制葡萄酒的水果味和花香^[26]。与自流汁相比,压榨阶段中葡萄汁中酯类物质整体呈下降趋势,赋予葡萄汁令人愉悦的香气。酯类物质与刘晶等^[27]的结论相反,表明第2阶段发酵对酯类物质的生产具有较大贡献。脂肪酸通常被描述为腐臭、辛辣、脂肪或奶酪的香味,在葡萄酒中产生不良风味。本试验中轻微压榨释放的脂肪酸(辛酸、酸)与Sternad等^[28]的研究结果相一致,说明CM酒中的芳香酸可能主要由压榨阶段贡献。压强为1.57 kPa时葡萄汁中苯乙醛和乙酸苯乙酯含量的显著提高与Yang等^[29]的研究结果一致,说明压榨阶段与CM酒中醛类物质与乙酸酯类物质的突出表现有关。酵母菌在酿酒过程中产生糖苷酶并通过水解作用释放萜烯类物质^[30],压榨处理使该物质整体呈下降趋势。另外,根据对SPME-GC-MS检出的56种香气物质的PCA主成分分析,将9种不同阶段的葡萄汁分为3类,其中自流汁与品种香气相关性较高。香气化合物影响葡萄酒的感官评价,通过对比自流酒($n=1$)和所有压榨葡萄酒($n=7$)之间感官量化数据,自流酒与压榨酒相比具有更浓郁的香气,这主要是由于自流酒中具有更丰富的品种香气,这与Rinaldi等^[9]的研究结果一致。压榨处理增强了葡萄酒样中的果香、脂肪味和香料味,改善了酒样中的生青味。

4 结论

本试验评估了不同压强处理下CM葡萄汁的发酵特性和品质变化,结果表明,压强1.09 kPa的

压榨处理浸出较多的葡萄糖和可同化氮,提高了葡萄糖与果糖的比例,降低了发酵缓慢或停滞的风险,有利于葡萄汁中活性物质的积累,颜色的稳定和香气复杂性。此外,还显著提高了压榨汁中总花色苷含量 $[(188.76\pm 10.33)\text{mg/L}]$ 和总酚含量 $[(47.52\pm 2.97)\text{mg/L}]$,降低有机酸含量31.15%。GC-MS分析显示1.09~1.70 kPa压强,增加了乙酸酯、醛类化合物,赋予更多柑橘、甜橙等果香、脂肪味和香料味。本试验结果为提高酒厂CM葡萄酒整体质量提供新的途径。

参 考 文 献

- [1] GONZALEZ-ARENZANA L, SANTAMARIA R, ESCRIBANO-VIANA R, et al. Influence of the carbonic maceration winemaking method on the physicochemical, colour, aromatic and microbiological features of tempranillo red wines[J]. Food Chemistry, 2020, 319: 126569.
- [2] 谢诗怡. 解决冰酒发酵迟滞问题的实验研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2018.
XIE S Y. Experimental study on the method of solving stuck and slow fermentation of icewine[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2018.
- [3] JIANG J, LIU Y C, QIANG H H, et al. Modeling and regulation of higher alcohol production through the combined effects of the C/N ratio and microbial interaction[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(38): 10694-10701.
- [4] ETAIO I, MEILLON S, PÉREZ-ELORTONDO F J, et al. Dynamic sensory description of Rioja Alavesa red wines made by different winemaking practices by using temporal dominance of sensations[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(10): 3492-3499.
- [5] RINALDI A, LOUAZIL P, ITURMENDI N, et al. Effect of marc pressing and geographical area on Sangiovese wine quality[J]. LWT, 2020, 118: 108728.
- [6] CASTILLO-SÁNCHEZ J J, MEJUTO J C, GARRIDO J, et al. Influence of wine-making protocol and fining agents on the evolution of the anthocyanin content, colour and general organoleptic quality of Vinhão wines[J]. Food Chemistry, 2006, 97(1): 130-136.

- [7] 王春晓, 江璐, 刘延琳. DNS法监控葡萄酒发酵过程的应用研究[J]. 中国酿造, 2012(31): 24-27.
WANG C X, JIANG L, LIU Y L. Application study on monitoring wine fermentation process by DNS method[J]. China Brewing, 2012(31): 24-27.
- [8] VERWAAL R, JIANG Y, WANG J, et al. Heterologous carotenoid production in *Saccharomyces cerevisiae* induces the pleiotropic drug resistance stress response[J]. Yeast, 2010, 27(12): 983-998.
- [9] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTÓS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent[J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178.
- [10] 桑戈, 赵力, 谭婷婷, 等. pH示差法测定紫薯酒中花青素的含量[J]. 酿酒科技, 2015(6): 88-91.
SANG G, ZHAO L, TAN T T, et al. Determination of anthocyanin content in purple potato wine by pH-differential method[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2015(6): 88-91.
- [11] 李运奎, 韩富亮, 张予林, 等. 基于CIELAB色空间的红葡萄酒颜色直观表征[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 296-301.
LI Y K, HAN F L, ZHANG Y L, et al. Visualization for representation of red wine color based on CIELAB color space[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 296-301.
- [12] 刘宇鹏, 郑璞, 孙志浩. 采用离子排斥色谱法分析发酵液中的琥珀酸等代谢产物[J]. 食品与发酵工业, 2006(12): 119-123.
LIU Y P, ZHENG P, SUN Z H. Determination of succinic acid and other metabolites from fermentation broth by ion-exclusion liquid chromatography [J]. Food and Fermentation Industries Editorial Staff, 2006(12): 119-123.
- [13] 王玉华, 盛文军, 李敏, 等. 耐热克鲁维酵母和粟酒裂殖酵母顺序接种发酵对美乐干红葡萄酒品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 102-111.
WANG Y H, SHENG W J, LI M, et al. Effect of sequential fermentation with *Lachancea thermotolerans* and *Schizosaccharomyces pombe* on the quality of Merlot dry red wine[J]. Food Science, 2019, 40(8): 102-111.
- [14] LAN Y B, XIANG X F, QIAN X, et al. Characterization and differentiation of key odor-active compounds of 'Beibinghong' icewine and dry wine by gas chromatography-olfactometry and aroma reconstitution[J]. Food Chemistry, 2019, 287: 186-196.
- [15] PEINADO R A, MORENO J, BUENO J E, et al. Comparative study of aromatic compounds in two young white wines subjected to pre-fermentative cryomaceration[J]. Food Chemistry, 2004, 84(4): 585-590.
- [16] FERREIRA V, LÓPEZ R, CACHO J F. Quantitative determination of the odorants of young red wines from different grape varieties[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(11): 1659-1667.
- [17] LA GUERCHE S, DAUPHIN B, PONS M, et al. Characterization of some mushroom and earthy off-odors microbially induced by the development of rot on grapes[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(24): 9193-9200.
- [18] 王倩倩, 覃杰, 马得草, 等. 优选发酵毕赤酵母与酿酒酵母混合发酵增香酿造爱格丽干白葡萄酒[J]. 中国农业科学, 2018, 51(11): 2178-2192.
WANG Q Q, TAN J, MA D C, et al. Aroma enhancement of Ecolly dry white wine by co-inoculation of selected *Pichia fermentans* and *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(11): 2178-2192.
- [19] CARPENA M, FRAGA-CORRAL M, OTERO P, et al. Secondary aroma: Influence of wine microorganisms in their aroma profile[J]. Foods, 2020, 10(1): 51.
- [20] DUTTA D, DAS M D. Effect of C/N ratio and microelements on nutrient dynamics and cell morphology in submerged fermentation of *Aspergillus giganteus* MTCC 8408 using Taguchi DOE [J]. Biotech, 2017, 7(1): 34.
- [21] 马娜, 王星晨, 孔彩琳, 等. 胶红酵母与酿酒酵母共发酵对干红葡萄酒香气与色泽的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 97-104.
MA N, WANG X C, KONG C L, et al. Effect of mixed culture fermentation with *Rhodotorula mucilaginosa* and *Saccharomyces cerevisiae* on the aroma and color of red wine[J]. Food Science, 2021, 42(2): 97-104.
- [22] DAY M P, SCHMIDT S A, PEARSON W, et al. Effect of passive oxygen exposure during pressing and handling on the chemical and sensory attributes

- of Chardonnay wine[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2019, 25(2): 185–200.
- [23] TETIK M A, SEVINDIK O, KELEBEK H, et al. Screening of key odorants and anthocyanin compounds of cv. Okuzgozu (*Vitis vinifera* L.) red wines with a free run and pressed pomace using GC-MS-Olfactometry and LC-MS-MS[J]. Journal of Mass Spectrometry, 2018, 53(5): 444–454.
- [24] DE-LA-FUENTE-BLANCO A, SÁENZ-NAVAJAS M, FERREIRA M. On the effects of higher alcohols on red wine aroma[J]. Food Chemistry, 2016, 210(1): 107–114.
- [25] TONG W Z, SUN B B, LING M Q, et al. Influence of modified carbonic maceration technique on the chemical and sensory characteristics of Cabernet Sauvignon wines[J]. Food Chemistry, 2023, 403: 134341.
- [26] LYTRA G, TEMPERE S, FLOCH A L, et al. Study of sensory interactions among red wine fruity esters in a model solution[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(36): 8504–8513.
- [27] 刘晶, 李华, 陶永胜, 等. 不同酿造工艺对两性花毛葡萄‘NW196’葡萄酒挥发性物质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(10): 117–121.
- LIU J, LI H, TAO Y S, et al. Effects of wine-making processes on volatile compounds of wine made from hermaphrodite grape variety NW196[J]. Food Science, 2013, 34(10): 117–121.
- [28] STERNAD L M, LOTTI C, VRHOVŠEK U. Comparison of aroma-related compounds of carbonic maceration and traditional young red wine making in case of ‘Merlot’ by means of targeted metabolomic approach[C]. Switzerland: University of Novi Gorici, 2016.
- [29] YANG D Y, KAKUDA Y, SUBDEN R E. Higher alcohols, diacetyl, acetoin and 2,3-butanediol biosynthesis in grapes undergoing carbonic maceration[J]. Food Research International, 2006, 39(1): 112–116.
- [30] 赵鹏涛. 西拉葡萄酒的香气活性物质以及影响瓶装葡萄酒香气因素的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- ZHAO P T. Characterization of Syrah wine aroma and study of the influence factors of the bottle wine flavor[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2017.

Effects of Pressing Pressure on Carbonic Maceration Fermentation Characteristics and Quality of Merlot Must

Cheng Yichao¹, Jiang Jiao^{1,2}, Qin Yi^{1,2}, Liu Yanlin^{1,2}, Song Yuyang^{1,2*}

¹College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi

²Ningxia Helan Mountain's East Foothill Wine Experiment and Demonstration Station of Northwest A&F University, Yongning 750104, Ningxia)

Abstract Merlot grapes were elaborated as raw materials obtaining the separated must from the marc and the press must at different pressures (0.02–1.70 kPa). In order to improve the pressing effect and the quality of the Carbonic Maceration (CM) wine, the samples' physical and chemical parameters and aroma components were analyzed against the free-run must. The results showed the balance of C/N ratio (0.43) and the glucose/fructose ratio (0.97) in the sample applying 1.09 kPa pressing, reducing the risk of slow or stagnant fermentation; accumulating active substances concluding the total phenols of (47.52±2.97)mg/L and the total anthocyanins of (188.76±10.33) mg/L, increased by 7.01% and 0.96%, respectively; the color improvement and the enhancement of color parameters. The free-run must was perceived as having a fuller aroma than the press must. In addition, the pressing of 1.09–1.70 kPa gave the wine crisp acidity and intense tannins, increasing aromas such as acetate and aldehydes and enhancing the fruit, spice and fatty flavours in the wine. The study of pressing pressure provided a new basis for the production of high-quality CM wine, which is expected to be applied to the production of pressing wine in wineries.

Keywords Merlot; carbonic maceration; pressing pressure; fermentation characteristics; aroma