

# 不同采收期下负载量对赤霞珠葡萄及葡萄酒品质的影响

葛 谦<sup>1,2,3</sup>, 张媛珂<sup>1</sup>, 闫 玥<sup>3</sup>, 开建荣<sup>3</sup>, 周新明<sup>2</sup>, 姜文广<sup>2</sup>, 李星宏<sup>2</sup>,  
常腾文<sup>3,4</sup>, 易子程<sup>3,4</sup>, 孙翔宇<sup>1</sup>, 张振文<sup>1</sup>, 李记明<sup>2,\*</sup>

(1.西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西 杨凌 712100; 2.宁夏张裕龙谕酒庄有限公司, 宁夏 银川 750002;  
3.宁夏农产品质量标准与检测技术研究所, 宁夏 银川 750002; 4.华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

**摘 要:**本研究以生产上主栽品种赤霞珠葡萄为材料, 设置3个葡萄负载量水平(15、20、25穗/m架面), 重点分析不同采收期(E-L35(浆果开始转色并大)、E-L36(浆果具有中等白利糖度值)、E-L37(浆果不太成熟)、E-L38(浆果完全成熟))对葡萄酒有机酸、单体酚、挥发性化合物组成以及感官评价品质的影响。结果表明, 在成熟末期, 负载量为20穗/m架面处理组的果实总酸质量分数显著增加, 而其余两组果实则呈现下降的趋势。各负载量处理组葡萄酒的总酸质量浓度均在E-L35阶段达到最高, 并在E-L37阶段达到最低。各处理组葡萄酒中的酚类物质总质量浓度在E-L36阶段达到峰值, 之后迅速下降。低负载量条件下早采所酿葡萄酒的感官品质优于晚采, 较高负载量条件下推迟采收果实所酿的葡萄酒感官品质更优。葡萄酒的典型性和浓郁度随着采收时间的延长得到了显著提升, 其中J-20-6和J-20-7样品表现最为突出。总体来看, 负载量为20穗/架面E-L36阶段酿制的葡萄酒(J-20-5)综合感官评价得分最佳, J-25-7葡萄酒样品总挥发性化合物含量和感官浓郁度得分均为最高。综上, 在酿酒葡萄栽培过程中, 精确调控葡萄负载量和采收时间能显著提升葡萄酒的品质。

**关键词:**葡萄负载量; 采收期; 赤霞珠; 葡萄酒; 葡萄酒品质

## Effect of Crop Load on the Quality of Cabernet Sauvignon Grapes and Wines at Different Harvest Times

GE Qian<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Yuanke<sup>1</sup>, YAN Yue<sup>3</sup>, KAI Jianrong<sup>3</sup>, ZHOU Xinming<sup>2</sup>, JIANG Wenguang<sup>2</sup>, LI Xinghong<sup>2</sup>,  
CHANG Tengwen<sup>3,4</sup>, YI Zicheng<sup>3,4</sup>, SUN Xiangyu<sup>1</sup>, ZHANG Zhenwen<sup>1</sup>, LI Jiming<sup>2,\*</sup>

(1. College of Enology, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. Ningxia Changyu Longyu Estate Co. Ltd., Yinchuan 750002, China; 3. Ningxia Institute of Agricultural Products Quality Standards and Testing Technology, Yinchuan 750002, China; 4. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In this study, three levels of grape load (15, 20, and 25 spikes/m shelf) were set for the primary wine grape cultivar ‘Cabernet Sauvignon’. The effect of different harvest times, four growth stages according to the Eichhorn-Lorenz scale: E-L35, E-L36, E-L37, and E-L38 was investigated on the compositions of organic acids, monomeric phenols and volatile compounds and sensory quality of wine. The results showed that at the E-L38 stage, the total acid of grape berries in the medium-load group significantly increased, while the opposite was true for the low- and high-load groups. For all groups, the total acid content of wine peaked at the E-L35 stage and reached its lowest point at the E-L37 stage. The total phenol content reached its peak at the E-L36 stage, and then decreased rapidly. Under the low-load condition, the sensory quality of wine produced from early harvested grapes was superior to that of late harvested grapes, whereas the opposite result was found at the high load. The typicality and richness of wine were significantly improved with the delay of harvest time, samples J-20-6 (medium load + E-L37) and J-20-7 (medium load + E-L38) outperforming all other samples. The overall sensory score of sample J-20-5 (medium load + E-L36) was the highest, and the total volatile content and sensory richness score of sample

收稿日期: 2024-06-04

基金项目: 国家自然科学基金地区科学基金项目(32260628); 银川市科技计划项目(2022XQZD011);

宁夏回族自治区重点研发计划项目(2023BCF01024)

第一作者简介: 葛谦(1988—)(ORCID: 0000-0001-9682-8803), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为农产品风味化学与代谢调控。E-mail: 278842005@qq.com

\*通信作者简介: 李记明(1966—)(ORCID: 0000-0003-1077-175X), 男, 研究员, 博士, 研究方向为葡萄酒工艺和葡萄栽培。E-mail: zyljm@163.com

J-25-7 (high load + E-L38) were the highest among all tested samples. Thus, meticulous regulation of grape load and harvest time holds substantial promise for enhancing wine quality.

**Keywords:** grape load; harvest time; Cabernet Sauvignon; wine; wine quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20240604-017

中图分类号: TS262.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2025) 03-0128-10

引文格式:

葛谦, 张媛珂, 闫玥, 等. 不同采收期下负载量对赤霞珠葡萄及葡萄酒品质的影响[J]. 食品科学, 2025, 46(3): 128-137.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20240604-017. <http://www.spkx.net.cn>

GE Qian, ZHANG Yuanke, YAN Yue, et al. Effect of crop load on the quality of Cabernet Sauvignon grapes and wines at different harvest times[J]. Food Science, 2025, 46(3): 128-137. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20240604-017. <http://www.spkx.net.cn>

葡萄成分是塑造葡萄酒感官特性和营养品质的关键<sup>[1]</sup>, 酿酒葡萄中的糖、酸、酚类和挥发性化合物的含量均会直接影响葡萄酒的颜色、香气以及口感的复杂性等<sup>[2]</sup>。除了葡萄品种、气候条件以及葡萄园的地理位置等不可逆因素以外, 研究显示人为栽培措施如负荷调节、延迟采收、使用覆盖反光膜以及嫁接等可以显著提高葡萄的品质<sup>[3-5]</sup>。在葡萄成熟过程中, 代谢物的合成、降解和运输速率不同, 导致其化学成分随着发育和成熟的进行而发生变化<sup>[6]</sup>。研究表明, 葡萄的成熟度显著影响葡萄酒酚类化合物的种类和可提取性。例如, 随着成熟度的增加, 葡萄种子中原花青素的提取率会降低<sup>[7]</sup>, 这进一步说明了选择最佳采收时间的重要性。

另一方面, 葡萄负载量会严重影响果实的质量和成熟度<sup>[8]</sup>。合理的负载管理不仅能够确保光合产物的有效生产和积累, 还能平衡果实的消耗, 从而维持树体健康和提高果实品质。负载量可通过增加叶面积与果实的比率调控<sup>[9]</sup>, 适宜的负载量能够保持葡萄藤的健康生长, 从而改善果实品质。研究表明, 葡萄疏序可提高坐果率及果穗、果粒大小<sup>[10]</sup>, 同时对浆果颜色等产生积极影响<sup>[11]</sup>。这种管理措施还会对葡萄酒的感官特征产生显著影响, 疏果处理后的葡萄酒通常具有更深的颜色、更高的甜度及更丰富的草本香气、更淡的热带水果香气<sup>[10]</sup>。

很多研究都证实, 调控负载量和采收期均对葡萄品质和葡萄酒风格有积极影响<sup>[3,12]</sup>, 但关于酿酒葡萄最优化的负载量与采收期的组合尚未形成统一共识。因此, 有关负载量及采收期对葡萄酒品质的确切影响仍需进一步探究。本实验在不同酿酒葡萄负载量条件下, 探讨葡萄到达成熟期后基础理化性质的变化规律, 重点研究不同采收期葡萄酒的有机酸、酚类物质以及香气化合物等, 并通过感官分析进一步评价负载量和采收期对葡萄酒综合品质的影响。旨在通过调节浆果负载量优化酿酒葡萄的负荷, 对构建最佳采收期评价体系 and 葡萄酒酿造实践提供技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

本实验于2023年在宁夏张裕龙谕酒庄甘城子酿酒葡萄基地(38°45'97"N, 106°18'11"E)进行, 供试品种为赤霞珠(*Vitis vinifera* L. cv. 'Cabernet Sauvignon'), 2010年定植, 株行距为0.6 m×3.0 m, 整形方式为倾斜水平龙干型, 土壤类型为沙壤土。实验设置3个葡萄负载量水平: 每米架面长度分别保留15个果穗(PT-15)、20个果穗(PT-20)和25个果穗(PT-25), 各处理一行(120 m), 除疏除多余果穗外, 其他栽培管理措施均按照统一标准进行。根据Eichhorn-Lorenz (E-L) 生长发育系统<sup>[13]</sup>, 在葡萄进入转色期后进行4次采样: E-L35 (浆果开始转色并膨大)、E-L36 (浆果具有中等白利糖度值)、E-L37 (浆果不太成熟)、E-L38 (浆果完全成熟)。

4-甲基-1-戊醇、阿魏酸、咖啡酸、绿原酸、儿茶酸、柠檬酸、丙酸、异丁酸乙酯、丁酸乙酯、异戊酸乙酯等标准品(纯度均大于98%) 美国Sigma-Aldrich公司。

### 1.2 仪器与设备

2699型高效液相色谱仪 美国Waters公司; LC-15C高效液相色谱仪(配有二极管阵列检测器和SIL-10AF自动进样器)、GC2030-TQ8050 NX三重四极杆型气相色谱-质谱联用仪、InertCap WAX极性色谱柱(60 m×0.25 mm, 0.25 μm) 日本岛津公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 葡萄酒酿造

每个处理随机采摘20 kg葡萄果实, 除梗破碎后, 一式三份装入20 L发酵罐, 加入60 mg/L SO<sub>2</sub>和25 mg/L果胶酶, 并于入罐24 h后添加200 mg/L充分活化的商业酵母。发酵期间每日进行3次压帽, 同时监测温度和比重。乙醇发酵结束后进行皮渣分离, 静置澄清后装瓶。PT-15、PT-20和PT-25处理组对应的葡萄酒样品分别为J-15、J-20和J-25(-4、-5、-6和-7分别对应E-L35、E-L36、E-L37和E-L38时期的葡萄果实)。

### 1.3.2 葡萄果实基础理化指标测定

百粒重测定参考Wei Mengyuan等<sup>[14]</sup>的方法, 随机挑取100个果粒称质量(g), 重复3次, 计算平均百粒重。pH值采用PHS-3E pH计测定。总可溶性固形物(total soluble solid, TSS)含量使用PAL-1数字阿贝折射计测定, 结果以°Brix表示。总糖和总酸质量分数分别使用斐林试剂滴定法和酸碱滴定法进行测定。

### 1.3.3 葡萄酒有机酸组分测定

参考李彩虹等<sup>[15]</sup>的方法。采用Waters 2699高效液相色谱仪进行检测(配备CAPCELL PAK C<sub>18</sub>色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm))。流动相A为0.02 mol/L KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (pH 2.55), 流动相B为甲醇; V(流动相A): V(流动相B)=97:3, 以0.5 mL/min的流速进行等量洗脱。利用保留时间确定各有机酸成分, 采用外标法计算有机酸浓度。

### 1.3.4 葡萄酒单体酚测定

参照李彩虹等<sup>[15]</sup>的方法。采用LC-15C高效液相色谱仪进行检测, 色谱柱为XTerra MS C<sub>18</sub>反相色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)。取100 mL乙酸乙酯加入50 mL葡萄酒样品中, 分别萃取3次, 35 °C减压旋蒸至干, 用甲醇定容至25 mL, 经0.45 μm微孔有机滤膜过滤后待测。流动相A为2%的乙酸水溶液; 流动相B为0.5%乙酸水溶液-乙腈(50:50, V/V); V(流动相A): V(流动相B)=50:50。梯度洗脱程序: 0~50 min, 10%~55% A、90%~45% B; 50~60 min, 55%~100% A、45%~0% B; 60~65 min, 100%~10% A、0%~90% B; 65~75 min, 10% A、90% B。柱温30 °C, 流速0.8 mL/min。各类单体酚的检测波长分别为280(黄烷-3-醇类以及二氢查耳酮类)、320(羟基肉桂酸类)、360 nm(黄酮醇)。利用保留时间确定各单体酚成分, 采用外标法计算浓度。

### 1.3.5 葡萄酒挥发性化合物测定

参考王悦等<sup>[16]</sup>的方法。将8 mL葡萄酒样品和10 μL内标溶液(394.08 μg/L 4-甲基-1-戊醇)置于含有2 g NaCl的顶空瓶中, 于250 r/min、45 °C平衡30 min。随后萃取30 min, 250 °C解吸3 min。色谱条件: 初始温度40 °C, 保持5 min, 然后以3 °C/min升至120 °C。载气为氮气, 流速0.8 mL/min。质谱条件: 离子源温度为230 °C, 离子能量为70 eV, 质量扫描范围为m/z 33~450。以正构烷烃(C<sub>6</sub>~C<sub>32</sub>)为标准品, 采用Kovats法测定所有组分的保留指数<sup>[17]</sup>。通过标准品的保留时间及NIST 14谱库检索进行定性分析, 并采用内标法与外标法对挥发性化合物进行定量分析。

通过化合物质量浓度与其感觉阈值的比值计算气味活性值(odor activity value, OAV)。当OAV>1时, 该化合物被认为是关键香气化合物<sup>[18]</sup>。

### 1.3.6 葡萄酒感官品评

采用GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》<sup>[19]</sup>对葡萄酒进行感官评价。感官小组由12名评审员

(6男6女, 年龄30~40岁)组成, 小组成员均具备相关的教育背景和3个月以上的葡萄酒样品评价培训经验。使用70分评分表对葡萄酒进行评价, 包括外观(澄清度和颜色, 10分)、香气(浓郁度、复杂性与变化, 20分)、口感(结构协调性、酒体醇厚感、单宁质感及强度, 30分)、整体(风格和典型性, 10分)。为确保一致性, 小组成员对同一样本至少进行2次评分。

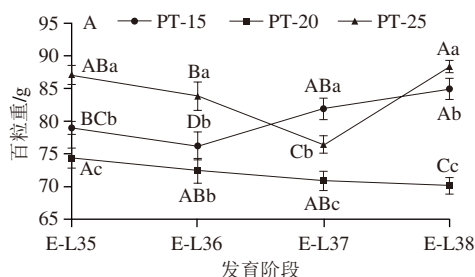
### 1.4 数据分析

所有数据均使用SPSS软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA)和Tukey检验。使用SIMCA-P 14.1软件进行偏最小二乘判别分析(partial least squares-discriminant analysis, PLS-DA)。由Graphpad Prism 9.3.1软件和Metware Cloud平台(<https://cloud.metware.cn>)绘图。在进行多变量统计分析之前, 所有的化学变量都被归一化。

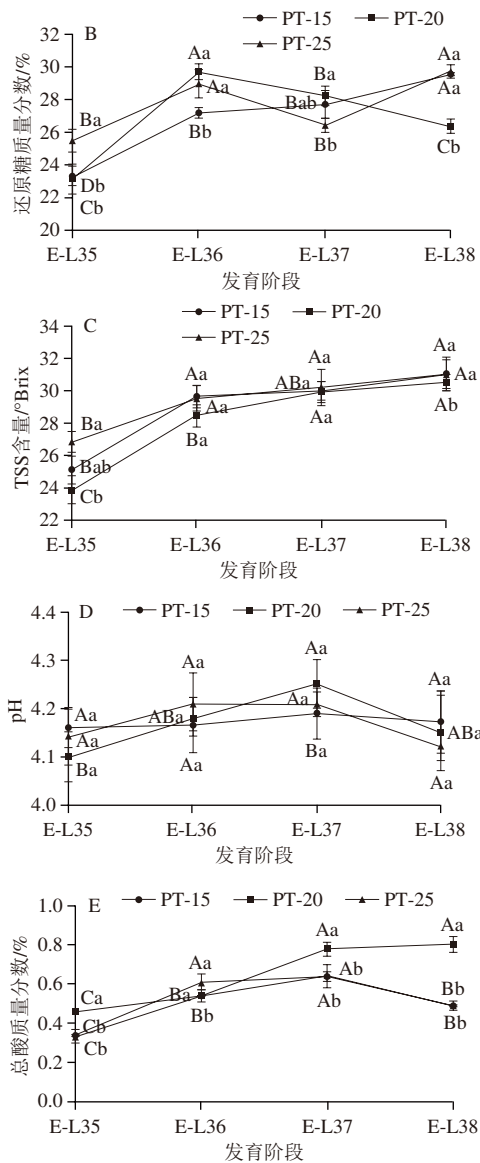
## 2 结果与分析

### 2.1 葡萄果实基础理化指标分析

葡萄的基本品质会直接影响葡萄酒的发酵过程及最终产品的风味<sup>[20]</sup>。如图1A所示, 当浆果进入成熟期后, PT-15与PT-25处理组果实百粒重均呈现先下降后上升的趋势, 而PT-20处理组则呈现平缓下降的趋势。在成熟末期阶段(E-L38), PT-15与PT-25处理组的果实百粒重显著高于其他时期( $P<0.05$ )。PT-20处理组的果实百粒重在发育阶段均为最低( $P<0.05$ )。如图1B所示, 浆果进入成熟期后, PT-15处理组果实的还原糖质量分数随着采收时间的延长而逐渐增加, 在E-L38阶段到达最高值(29.51%), 而PT-20处理组却出现显著下降, 推测与葡萄枝株长势以及叶幕面积不一致相关<sup>[21]</sup>。在果实生长发育期内, 光合产物主要以可溶性糖的形式不断积累直到完全成熟<sup>[22]</sup>。随着采收时间的推迟, TSS含量呈先快速增长后趋于平缓的趋势, 各处理组均在E-L38阶段达到最高值(31.05~30.05 °Brix)(图1C)。与E-L37阶段相比, 在E-L38阶段PT-15和PT-25处理组的总酸质量浓度和各处理组的pH值几乎均出现显著下降趋势, 这与Wang Jun等<sup>[23]</sup>的研究结果类似; 而PT-20处理组的总酸质量浓度在成熟末期出现上升趋势(图1D、E)。







A.百粒重; B.还原糖质量分数; C. TSS含量; D. pH值; E.总酸质量分数。小写字母表示在相同发育阶段组间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 大写字母表示同组在不同发育阶段差异显著 ( $P < 0.05$ )。

图1 不同负载量下赤霞珠葡萄基础参数变化

Fig. 1 Changes in basic physicochemical parameters of Cabernet Sauvignon grapes under different load conditions

由表1可知,所有葡萄酒样品中总糖质量浓度均低于4 g/L,总SO<sub>2</sub>质量浓度低于250 mg/L,而干浸出物质量浓度高于18 g/L,符合GB/T 15037—2006《葡萄酒》对干红葡萄酒的各项要求。所有葡萄酒样品的乙醇体积分数介于14.48%~16.81%之间,不同负载量处理组仅在成熟中期存在较为明显的差异,20穗/m架面处理组葡萄酒的乙醇体积分数普遍较高,而25穗/m架面处理组中J-25-5样品的乙醇体积分数最高,为16.81%。各葡萄酒样品的总酸质量浓度在5.87~8.13 g/L之间,总酸质量浓度均在E-L35时达到最高值,在E-L37时达到最低值,成熟前期J-20处理组总酸质量浓度均高于其他处理组。干浸出物质

量浓度在29.83~36.20 g/L之间,其中负载量为20穗/m架面所酿葡萄酒干浸出物普遍较高。

表1 不同负载量下赤霞珠葡萄酒基础参数

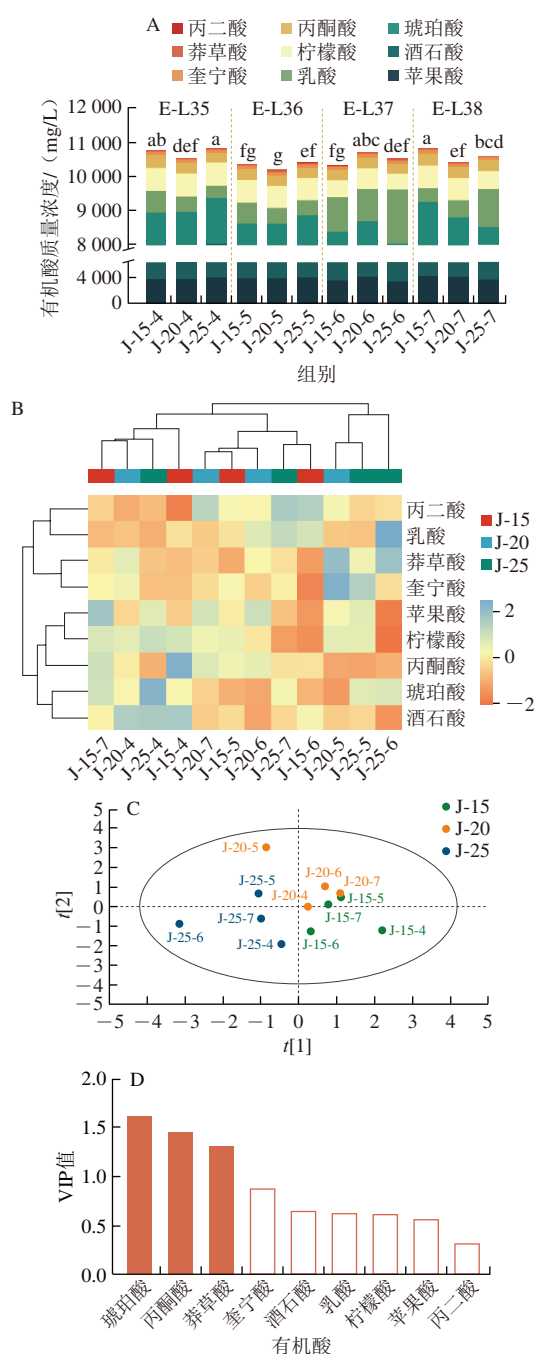
Table 1 Basic parameters of Cabernet Sauvignon wine samples under different load conditions

酒样编号	乙醇体积分数/%	总糖质量浓度/(g/L)	总酸质量浓度/(g/L)	总SO <sub>2</sub> 质量浓度/(mg/L)	干浸出物质量浓度/(g/L)
J-15-4	15.71±1.21 <sup>ab</sup>	2.97±0.27 <sup>b</sup>	7.62±0.51 <sup>ab</sup>	47.26±0.67 <sup>a</sup>	32.66±0.17 <sup>de</sup>
J-20-4	15.71±0.66 <sup>ab</sup>	1.93±0.11 <sup>d</sup>	8.13±0.32 <sup>a</sup>	49.49±0.24 <sup>a</sup>	35.22±0.87 <sup>ab</sup>
J-25-4	15.43±0.69 <sup>ab</sup>	1.45±0.02 <sup>c</sup>	7.52±0.19 <sup>b</sup>	37.68±2.41 <sup>b</sup>	32.08±0.97 <sup>de</sup>
J-15-5	14.66±0.28 <sup>b</sup>	3.39±0.46 <sup>ab</sup>	5.88±0.22 <sup>d</sup>	18.73±0.09 <sup>f</sup>	33.50±0.00 <sup>cd</sup>
J-20-5	16.62±0.87 <sup>a</sup>	3.90±0.05 <sup>a</sup>	6.99±0.21 <sup>bc</sup>	28.58±0.14 <sup>c</sup>	36.20±0.00 <sup>a</sup>
J-25-5	16.81±1.33 <sup>a</sup>	3.73±0.05 <sup>a</sup>	6.86±0.51 <sup>bc</sup>	27.03±0.84 <sup>c</sup>	33.41±1.04 <sup>cd</sup>
J-15-6	15.49±0.15 <sup>ab</sup>	3.52±0.16 <sup>a</sup>	5.98±0.36 <sup>d</sup>	26.61±1.88 <sup>c</sup>	32.29±0.78 <sup>de</sup>
J-20-6	16.37±0.07 <sup>ab</sup>	3.84±0.12 <sup>a</sup>	5.98±0.25 <sup>d</sup>	31.20±0.80 <sup>cd</sup>	29.83±0.80 <sup>ef</sup>
J-25-6	14.48±0.53 <sup>b</sup>	2.99±0.23 <sup>b</sup>	5.87±0.09 <sup>d</sup>	31.84±0.48 <sup>c</sup>	31.26±0.66 <sup>ef</sup>
J-15-7	15.87±0.24 <sup>ab</sup>	3.80±0.04 <sup>a</sup>	7.20±0.29 <sup>bc</sup>	31.06±0.15 <sup>cd</sup>	34.57±0.53 <sup>ab</sup>
J-20-7	15.87±0.23 <sup>ab</sup>	2.05±0.15 <sup>d</sup>	6.48±0.19 <sup>d</sup>	29.73±0.29 <sup>d</sup>	36.09±0.69 <sup>a</sup>
J-25-7	15.41±0.24 <sup>ab</sup>	2.41±0.06 <sup>c</sup>	6.86±0.20 <sup>bc</sup>	30.11±0.31 <sup>cd</sup>	30.90±0.84 <sup>ef</sup>

注: 同列不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.2 葡萄酒有机酸组成分析

有机酸是构成葡萄酒骨架的关键成分,对其化学稳定性和微生物稳定性至关重要<sup>[24]</sup>。研究表明,有机酸含量直接影响葡萄酒的多个关键品质参数,例如颜色、pH值、可滴定酸度含量以及感官评分等<sup>[25]</sup>。由图2A可知,所有葡萄酒样品中均含有9种有机酸,其总质量浓度范围为10 195.34~10 817.10 mg/L。值得注意的是,苹果酸和酒石酸质量浓度最高。它们主要来源于葡萄浆果,是葡萄酒酸味和涩味的主要呈味化合物<sup>[26]</sup>。除了这两种主要的酸以外,其他有机酸在样品中的质量浓度均显示出明显的差异,这些酸通常是由发酵过程中酵母和微生物的共同代谢产生<sup>[27]</sup>。在本研究中,采用负载量为15穗/m架面处理所酿制的葡萄酒在E-L35和E-L38阶段显示出最高的有机酸质量浓度。20穗/m架面与25穗/m架面处理所酿制的葡萄酒分别在E-L37(J-20-6)和E-L38(J-25-4)阶段显示出最高的有机酸总质量浓度。另外,20穗/m架面处理组所酿制的葡萄酒总有机酸质量浓度普遍较低,仅在E-L37阶段高于其他两个处理组。由图2B可知,奎宁酸(123.14 mg/L)和莽草酸(60.40 mg/L)在J-20-5样品中的质量浓度均为最高,而J-25-6样品的乳酸质量浓度最高,达到了1 565.44 mg/L,显著高于其他样品( $P < 0.05$ )。J-15-4样品中丙酮酸的质量浓度最高,丙二酸质量浓度最低。聚类热图显示,所有样品可划分为3类,其中由E-L35阶段果实酿造的葡萄酒被归为一类。随着采收期的延长,各处理组葡萄酒的有机酸差异逐渐增大。由图2C可知,不同处理组样品呈现出明显的分离趋势,甚至在同一处理组内也存在这样的趋势。这表明负载量和采收时间的差异均对葡萄酒有机酸的含量产生了显著影响。根据各物质的变量投影重要性(variable importance in projection, VIP)值,琥珀酸、丙酮酸和莽草酸为贡献较大的物质,其VIP值均大于1(图2D)。



A.有机酸含量; B.有机酸的聚类热图; C.有机酸的PLS-DA得分图; D.有机酸PLS-DA的VIP得分图。不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

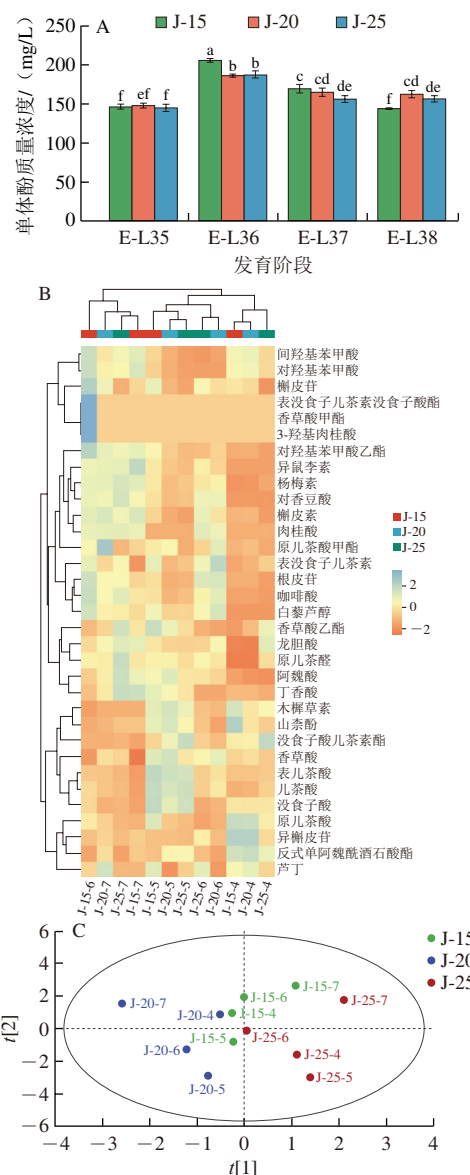
图2 不同负载量下赤霞珠葡萄酒有机酸含量的多元统计分析

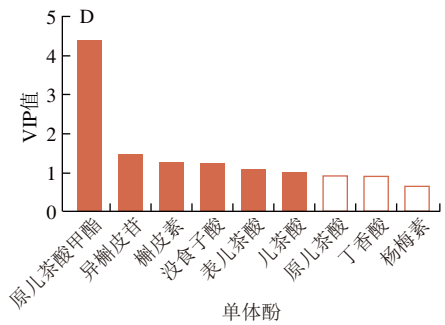
Fig. 2 Multivariate statistical analysis of organic acid contents in Cabernet Sauvignon wine under different load conditions

### 2.3 葡萄酒多酚组成分析

酚类化合物是葡萄和葡萄酒具备高抗氧化活性的物质基础<sup>[28]</sup>, 同样也是塑造葡萄酒颜色、风味和稳定性的关键成分。作为加工后的产品, 葡萄酒中酚类物质的总含量和组成受到多重因素的影响, 包括葡萄原料的品种和产地特性, 以及葡萄园的风土气候条件。此外, 栽培管理技术和酿酒工艺等人为因素也会起到调控作用<sup>[29]</sup>。

由图3A可知, 不同负载量处理组酚类物质总质量浓度随着采收时间的延长呈现出相似的变化趋势。E-L36阶段果实所酿制的葡萄酒样品酚类总质量浓度最高(J-15>J-25>J-20), 此后随着果实的成熟葡萄酒中酚类物质逐渐减少。值得注意的是, 3-羟基肉桂酸、表没食子儿茶素没食子酸酯以及香草酸甲酯仅在J-15-6样品中出现(图3B)。白藜芦醇是一种天然的抗氧化剂, 被证实葡萄和葡萄酒中均会被检测到<sup>[30]</sup>。然而, 本实验结果显示在E-L35时期果实所酿制的葡萄酒中并没有检测到, 推测与葡萄生长过程中外源性应激因素的诱导或发酵过程中物质间的相互作用有关<sup>[31-32]</sup>。由图3C可知, 尽管样品没有严格地聚为几类, 但可以明显观察到不同处理组具有按照采收时间进行聚类的趋势。利用PLS-DA模型对葡萄酒样品中33种单体酚含量进行分析, 结果与2.2节相印证, 表明负载量处理和采收时间的差异均会对葡萄酒单体酚含量产生影响。如图3D所示, 在模型建立中有6种单体酚起到了较关键的作用(VIP值>1)。





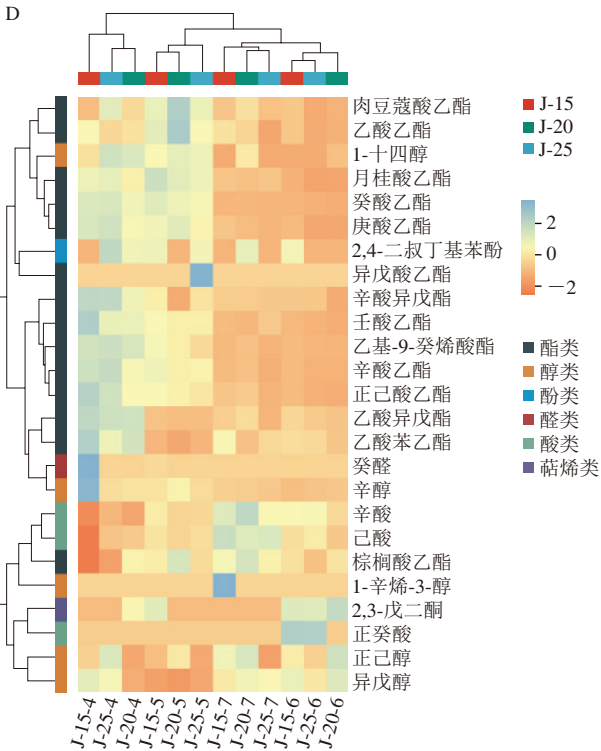
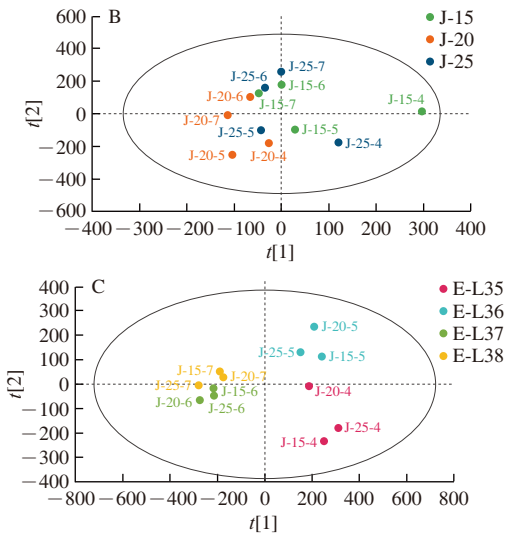
A. 单体酚质量浓度; B. 单体酚的聚类热图; C. 单体酚PLS-DA得分图; D. 单体酚PLS-DA的VIP得分图。

图3 不同负载量下赤霞珠葡萄酒单体酚含量的多元统计分析

Fig. 3 Multivariate statistical analysis of monomeric phenol contents in Cabernet Sauvignon wine under different load conditions

## 2.4 葡萄酒香气成分分析

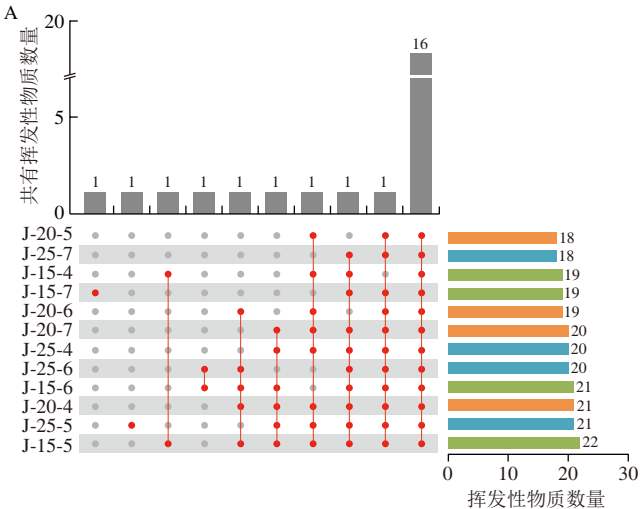
挥发性化合物的复杂性和多样性是由葡萄品种、气候、土壤和酿造技术等多种因素共同塑造<sup>[33]</sup>。这些因素相互作用的综合效应不仅在决定葡萄的感官特性和口感品质方面发挥关键作用，还直接影响到最终葡萄酒的感官特征<sup>[34]</sup>。如表2所示，3个负载量处理组在不同阶段所酿的葡萄酒中共检测到了93种挥发性香气成分。其中，酯类物质检测到的最多，有49种，其次为醇类（24种）、酸类（6种）、醛类（5种）、酮类（5种）、萜烯类（2种）和酚类（1种）。在不同负载量处理组中，葡萄酒不同采收期的挥发性香气成分质量浓度表现出一定的规律性。各处理组挥发性香气成分的质量浓度在194 595.53~312 689.15  $\mu\text{g/L}$ ，变化趋势一致，在葡萄刚成熟时达到峰值，这与前人结论<sup>[10]</sup>一致，随后出现先降低再升高的趋势。酯类化合物是葡萄酒中最重要的香气成分之一，能够赋予葡萄酒果味、花香和其他香气特征<sup>[35]</sup>。酯类化合物的变化趋势与总挥发性香气物质的整体变化趋势一致。随着葡萄的成熟，部分酯类的前体物质可能会发生降解，但随着成熟过程的进一步发展，葡萄中的酶促反应或化学反应会促使新的酯类物质生成或现有酯类的转化，从而增加或产生新的香气成分<sup>[36]</sup>。



A. 不同负载量下赤霞珠葡萄酒挥发性化合物Venn图; B. 基于负载量挥发性化合物的PLS-DA得分图; C. 基于采收期的PLS-DA得分图; D. 挥发性化合物的聚类热图。

图4 不同负载量下赤霞珠葡萄酒OAV > 1的挥发性化合物含量分析  
Fig. 4 Analysis of volatile compounds with OAV > 1 in Cabernet Sauvignon wine under different load conditions

根据OAV筛选出对葡萄酒香气特征具有重要影响的挥发性物质，OAV > 1的挥发性物质数量如图4A所示。各处理组中共同检测到的挥发性物质有16种，包括酯类13种、醇类2种和酸类1种。正己酸乙酯和辛酸乙酯是所有处理组中OAV最高的两种物质（OAV > 258.18），被认为会对葡萄酒的香气特征起到重要影响<sup>[37]</sup>。异戊酸乙酯和1-辛烯-3-醇分别是J-20-5



根据PLS-DA模型的分析结果,不同负载量处理组的葡萄酒样品并不能被很好地区分(图4B、C)。然而,当基于葡萄采摘日期对各处理组的样品进行分析时,葡萄酒样品形成了3个明显分离的簇( $R_X^2=0.875$ ,  $R_Y^2=0.969$ ,  $Q^2=0.711$ )。其中,E-L35和E-L36阶段的葡萄酒样品被分为两组,而E-L37和E-L38则组合在一起(图4D)。这表明除了E-L37和E-L38样品组之间无显著差异外,其余组之间均存在显著差异,与聚类热图的分析结果相印证。进一步证实了采收期对葡萄酒挥发性物质含量的重要性。

香气成分	质量浓度/( $\mu\text{g/L}$ )											
	J-15-4	J-20-4	J-25-4	J-15-5	J-20-5	J-25-5	J-15-6	J-20-6	J-25-6	J-15-7	J-20-7	J-25-7
乙酸苯乙酯	777.16 $\pm$ 22.77 <sup>a</sup>	672.27 $\pm$ 13.74 <sup>a</sup>	582.48 $\pm$ 17.60 <sup>a</sup>	350.60 $\pm$ 9.04 <sup>e</sup>	311.93 $\pm$ 7.43 <sup>b</sup>	347.49 $\pm$ 11.79 <sup>a</sup>	461.56 $\pm$ 15.91 <sup>a</sup>	395.59 $\pm$ 13.11 <sup>a</sup>	457.42 $\pm$ 13.09 <sup>a</sup>	544.88 $\pm$ 18.16 <sup>a</sup>	378.78 $\pm$ 8.24 <sup>a</sup>	447.81 $\pm$ 9.87 <sup>a</sup>
乙酸异丁酯	195.91 $\pm$ 5.38 <sup>a</sup>	132.27 $\pm$ 4.88 <sup>a</sup>	—	—	—	115.75 $\pm$ 3.34 <sup>a</sup>	95.28 $\pm$ 1.80 <sup>d</sup>	44.10 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>	88.29 $\pm$ 2.31 <sup>c</sup>	75.07 $\pm$ 2.18 <sup>a</sup>	—	—
乙酸丁酯	—	—	167.19 $\pm$ 7.60	—	—	—	—	—	—	—	—	—
乙酸异戊酯	7 424.97 $\pm$ 151.01 <sup>a</sup>	6 611.18 $\pm$ 282.48 <sup>b</sup>	6 771.93 $\pm$ 173.20 <sup>b</sup>	2 269.26 $\pm$ 58.09 <sup>a</sup>	2 063.08 $\pm$ 92.09 <sup>a</sup>	2 039.17 $\pm$ 44.48 <sup>a</sup>	3 136.51 $\pm$ 86.05 <sup>a</sup>	2 293.14 $\pm$ 30.21 <sup>a</sup>	2 607.63 $\pm$ 40.62 <sup>d</sup>	2 772.29 $\pm$ 19.21 <sup>d</sup>	3 337.01 $\pm$ 18.99 <sup>a</sup>	1 655.52 $\pm$ 54.40 <sup>f</sup>
乙酸乙酯	17 798.25 $\pm$ 141.70 <sup>a</sup>	15 553.13 $\pm$ 125.16 <sup>a</sup>	14 519.20 $\pm$ 29.05 <sup>a</sup>	20 151.90 $\pm$ 426.94 <sup>b</sup>	25 938.96 $\pm$ 75.86 <sup>a</sup>	17 807.01 $\pm$ 491.47 <sup>a</sup>	12 941.72 $\pm$ 529.31 <sup>f</sup>	11 022.79 $\pm$ 435.88 <sup>a</sup>	10 467.52 $\pm$ 46.97 <sup>b</sup>	15 521.91 $\pm$ 390.19 <sup>d</sup>	14 204.86 $\pm$ 213.13 <sup>f</sup>	9 828.25 $\pm$ 420.17 <sup>g</sup>
乙酸己酯	—	198.61 $\pm$ 3.08 <sup>a</sup>	196.01 $\pm$ 4.54 <sup>a</sup>	107.36 $\pm$ 1.55 <sup>a</sup>	—	—	94.33 $\pm$ 1.03 <sup>a</sup>	78.21 $\pm$ 3.77 <sup>a</sup>	62.53 $\pm$ 0.78 <sup>a</sup>	93.76 $\pm$ 2.04 <sup>a</sup>	102.98 $\pm$ 0.59 <sup>a</sup>	70.83 $\pm$ 1.62 <sup>a</sup>
丁酸乙酯	718.90 $\pm$ 29.64	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
庚酸乙酯	293.63 $\pm$ 13.59 <sup>a</sup>	231.31 $\pm$ 3.10 <sup>a</sup>	310.58 $\pm$ 10.46 <sup>a</sup>	240.83 $\pm$ 6.45 <sup>a</sup>	273.28 $\pm$ 6.14 <sup>a</sup>	211.59 $\pm$ 3.33 <sup>a</sup>	109.76 $\pm$ 3.19 <sup>a</sup>	76.22 $\pm$ 1.55 <sup>b</sup>	74.36 $\pm$ 1.70 <sup>b</sup>	127.72 $\pm$ 3.86 <sup>a</sup>	112.72 $\pm$ 4.10 <sup>f</sup>	98.83 $\pm$ 2.93 <sup>a</sup>
辛酸乙酯	42 550.07 $\pm$ 444.00 <sup>a</sup>	29 717.26 $\pm$ 1 220.82 <sup>a</sup>	44 456.99 $\pm$ 2 337.35 <sup>a</sup>	32 643.95 $\pm$ 548.83 <sup>b</sup>	26 077.79 $\pm$ 942.23 <sup>a</sup>	27 091.53 $\pm$ 1 208.53 <sup>a</sup>	11 941.71 $\pm$ 553.23 <sup>a</sup>	9 422.10 $\pm$ 179.50 <sup>f</sup>	9 585.01 $\pm$ 147.02 <sup>f</sup>	11 766.38 $\pm$ 473.76 <sup>c</sup>	13 306.70 $\pm$ 229.66 <sup>a</sup>	8 588.28 $\pm$ 292.95 <sup>f</sup>
月桂酸乙酯	8 775.20 $\pm$ 417.31 <sup>a</sup>	7 184.02 $\pm$ 150.70 <sup>a</sup>	9 392.00 $\pm$ 362.74 <sup>a</sup>	11 462.40 $\pm$ 84.49 <sup>a</sup>	9 595.47 $\pm$ 397.20 <sup>b</sup>	8 624.23 $\pm$ 117.36 <sup>a</sup>	2 774.48 $\pm$ 85.92 <sup>a</sup>	1 789.23 $\pm$ 29.30 <sup>a</sup>	1 682.00 $\pm$ 56.84 <sup>a</sup>	4 060.47 $\pm$ 137.47 <sup>a</sup>	3 702.79 $\pm$ 69.71 <sup>a</sup>	4 117.71 $\pm$ 26.05 <sup>a</sup>
异戊酸乙酯	—	—	—	—	—	419.60 $\pm$ 15.68	—	—	—	—	—	—
癸酸乙酯	51 263.81 $\pm$ 398.04 <sup>b</sup>	42 968.68 $\pm$ 1 578.36 <sup>b</sup>	52 477.54 $\pm$ 1 132.11 <sup>a</sup>	49 778.10 $\pm$ 1 190.32 <sup>b</sup>	43 843.61 $\pm$ 49.65 <sup>a</sup>	40 901.20 $\pm$ 1 898.40 <sup>f</sup>	13 863.33 $\pm$ 435.27 <sup>a</sup>	11 368.91 $\pm$ 454.92 <sup>a</sup>	12 739.95 $\pm$ 122.80 <sup>a</sup>	14 422.25 $\pm$ 392.95 <sup>a</sup>	14 704.74 $\pm$ 168.29 <sup>f</sup>	14 175.35 $\pm$ 644.80 <sup>f</sup>
十八酸乙酯	—	1 674.95 $\pm$ 24.75 <sup>a</sup>	—	—	—	—	2 254.55 $\pm$ 70.55 <sup>a</sup>	2 711.70 $\pm$ 44.17 <sup>a</sup>	2 469.17 $\pm$ 60.69 <sup>a</sup>	3 458.79 $\pm$ 165.52 <sup>a</sup>	3 814.67 $\pm$ 105.87 <sup>b</sup>	9 216.93 $\pm$ 339.34 <sup>a</sup>
油酸乙酯	—	4 928.61 $\pm$ 193.99 <sup>a</sup>	4 114.60 $\pm$ 186.16 <sup>a</sup>	6 388.81 $\pm$ 140.23 <sup>b</sup>	—	—	5 031.52 $\pm$ 129.62 <sup>a</sup>	1 847.08 $\pm$ 64.93 <sup>a</sup>	2 257.14 $\pm$ 2.07	—	—	6 749.46 $\pm$ 171.74 <sup>a</sup>
亚油酸乙酯	—	—	—	—	—	—	—	3 254.60 $\pm$ 134.49 <sup>a</sup>	1 682.64 $\pm$ 65.95 <sup>a</sup>	2 442.62 $\pm$ 34.01 <sup>a</sup>	—	3 415.20 $\pm$ 85.86 <sup>a</sup>
丁二酸二乙酯	867.07 $\pm$ 3.65 <sup>a</sup>	310.03 $\pm$ 9.47 <sup>a</sup>	486.39 $\pm$ 11.09 <sup>d</sup>	—	—	—	—	974.67 $\pm$ 27.32 <sup>a</sup>	—	509.96 $\pm$ 3.79 <sup>a</sup>	612.40 $\pm$ 22.38 <sup>a</sup>	847.95 $\pm$ 14.82 <sup>b</sup>
壬酸乙酯	1 701.08 $\pm$ 51.10 <sup>a</sup>	1 036.64 $\pm$ 7.50 <sup>b</sup>	1 025.72 $\pm$ 41.18 <sup>b</sup>	869.19 $\pm$ 41.55 <sup>a</sup>	755.68 $\pm$ 28.82 <sup>a</sup>	760.68 $\pm$ 18.47 <sup>d</sup>	195.08 $\pm$ 2.47 <sup>b</sup>	91.55 $\pm$ 3.50 <sup>b</sup>	140.66 $\pm$ 4.66 <sup>b</sup>	227.14 $\pm$ 5.84 <sup>a</sup>	182.67 $\pm$ 1.50 <sup>b</sup>	362.79 $\pm$ 5.38 <sup>a</sup>
正己酸乙酯	10 711.10 $\pm$ 353.04 <sup>a</sup>	6 366.80 $\pm$ 201.67 <sup>a</sup>	9 179.54 $\pm$ 395.42 <sup>b</sup>	6 351.78 $\pm$ 277.04 <sup>a</sup>	6 012.09 $\pm$ 198.07 <sup>a</sup>	5 389.72 $\pm$ 134.67 <sup>d</sup>	2 828.37 $\pm$ 78.26 <sup>a</sup>	2 065.46 $\pm$ 61.52 <sup>a</sup>	2 251.28 $\pm$ 89.84 <sup>a</sup>	3 468.94 $\pm$ 30.20 <sup>f</sup>	3 714.17 $\pm$ 95.98 <sup>a</sup>	2 427.62 $\pm$ 81.25 <sup>b</sup>
肉豆蔻酸乙酯	1 416.76 $\pm$ 44.22 <sup>a</sup>	2 323.59 $\pm$ 56.81 <sup>a</sup>	4 278.40 $\pm$ 105.12 <sup>a</sup>	4 035.10 $\pm$ 77.69 <sup>a</sup>	6 066.15 $\pm$ 22.18 <sup>a</sup>	3 992.25 $\pm$ 50.45 <sup>a</sup>	1 720.38 $\pm$ 80.95 <sup>a</sup>	1 059.63 $\pm$ 8.73 <sup>a</sup>	782.72 $\pm$ 13.86 <sup>a</sup>	1 646.09 $\pm$ 23.94 <sup>a</sup>	2 564.33 $\pm$ 77.32 <sup>a</sup>	1 563.95 $\pm$ 66.21 <sup>a</sup>
己-2-烯酸乙酯	261.33 $\pm$ 3.13 <sup>a</sup>	232.38 $\pm$ 4.00 <sup>a</sup>	320.64 $\pm$ 8.24 <sup>a</sup>	175.66 $\pm$ 4.84 <sup>a</sup>	185.00 $\pm$ 3.19 <sup>a</sup>	127.82 $\pm$ 5.21 <sup>f</sup>	71.12 $\pm$ 2.30 <sup>b</sup>	75.90 $\pm$ 3.02 <sup>b</sup>	79.68 $\pm$ 1.79 <sup>b</sup>	108.26 $\pm$ 5.23 <sup>a</sup>	142.04 $\pm$ 4.25 <sup>a</sup>	121.23 $\pm$ 1.42 <sup>f</sup>
4-乙氧基丁酸乙酯	—	—	—	—	692.46 $\pm$ 7.24 <sup>a</sup>	—	454.58 $\pm$ 12.54 <sup>a</sup>	—	—	—	475.59 $\pm$ 3.61 <sup>a</sup>	—
十三酸乙酯	—	262.71 $\pm$ 7.91 <sup>d</sup>	755.26 $\pm$ 25.38 <sup>a</sup>	512.38 $\pm$ 4.15 <sup>a</sup>	695.01 $\pm$ 21.10 <sup>a</sup>	492.87 $\pm$ 22.05 <sup>a</sup>	214.55 $\pm$ 2.88 <sup>a</sup>	38.23 $\pm$ 0.94 <sup>f</sup>	32.55 $\pm$ 0.92 <sup>f</sup>	—	289.66 $\pm$ 9.95 <sup>a</sup>	—
7-辛烯酸乙酯	415.18 $\pm$ 14.89 <sup>a</sup>	136.10 $\pm$ 1.53 <sup>a</sup>	208.82 $\pm$ 7.03 <sup>b</sup>	106.93 $\pm$ 4.58 <sup>b</sup>	100.67 $\pm$ 3.00 <sup>f</sup>	74.36 $\pm$ 3.37 <sup>a</sup>	61.22 $\pm$ 1.70 <sup>f</sup>	34.98 $\pm$ 1.39 <sup>b</sup>	25.10 $\pm$ 0.80 <sup>f</sup>	45.84 $\pm$ 1.06 <sup>b</sup>	51.09 $\pm$ 1.71 <sup>b</sup>	—
十五酸乙酯	—	464.52 $\pm$ 19.53 <sup>a</sup>	649.64 $\pm$ 15.25 <sup>a</sup>	735.99 $\pm$ 30.76 <sup>a</sup>	1 164.16 $\pm$ 21.95 <sup>a</sup>	767.29 $\pm$ 15.16 <sup>b</sup>	414.27 $\pm$ 20.17 <sup>d</sup>	131.61 $\pm$ 1.21 <sup>a</sup>	259.65 $\pm$ 5.57 <sup>a</sup>	219.41 $\pm$ 2.33 <sup>a</sup>	539.95 $\pm$ 15.50 <sup>b</sup>	215.60 $\pm$ 2.17 <sup>a</sup>
3-羟基丁酸乙酯	—	1 356.91 $\pm$ 35.45 <sup>a</sup>	—	435.40 $\pm$ 7.02 <sup>b</sup>	—	—	—	384.51 $\pm$ 8.39 <sup>a</sup>	—	—	—	—
亚油酸乙酯	—	4 419.85 $\pm$ 79.51 <sup>a</sup>	—	2 965.78 $\pm$ 127.90 <sup>f</sup>	—	3 472.12 $\pm$ 179.82 <sup>a</sup>	4 729.73 $\pm$ 89.02 <sup>b</sup>	4 041.26 $\pm$ 118.47 <sup>a</sup>	3 140.71 $\pm$ 109.05 <sup>f</sup>	3 980.56 $\pm$ 21.41 <sup>d</sup>	3 947.08 $\pm$ 72.00 <sup>a</sup>	5 171.57 $\pm$ 43.03 <sup>a</sup>
反油酸乙酯	—	—	—	—	—	5 522.74 $\pm$ 59.29 <sup>b</sup>	—	—	—	5 087.27 $\pm$ 191.48 <sup>a</sup>	5 982.65 $\pm$ 254.12 <sup>a</sup>	—
十一酸乙酯	—	—	669.66 $\pm$ 6.91	—	—	—	—	—	—	—	—	—
棕榈酸乙酯	1 648.94 $\pm$ 42.03 <sup>a</sup>	8 217.79 $\pm$ 194.92 <sup>a</sup>	3 729.90 $\pm$ 115.03 <sup>a</sup>	7 917.64 $\pm$ 144.28 <sup>c</sup>	10 728.04 $\pm$ 347.44 <sup>a</sup>	6 885.96 $\pm$ 190.42 <sup>a</sup>	7 223.60 $\pm$ 90.15 <sup>c</sup>	7 366.14 $\pm$ 48.63 <sup>a</sup>	5 525.12 $\pm$ 115.89 <sup>f</sup>	8 811.52 $\pm$ 79.79 <sup>b</sup>	10 861.16 $\pm$ 217.53 <sup>a</sup>	8 129.04 $\pm$ 286.38 <sup>a</sup>
乙基-9-癸烯酸酯	8 621.83 $\pm$ 196.07 <sup>a</sup>	8 286.78 $\pm$ 331.11 <sup>a</sup>	9 060.80 $\pm$ 303.85 <sup>a</sup>	6 078.70 $\pm$ 70.35 <sup>a</sup>	5 075.37 $\pm$ 136.04 <sup>a</sup>	3 758.73 $\pm$ 27.03 <sup>a</sup>	1 729.68 $\pm$ 51.62 <sup>b</sup>	1 392.23 $\pm$ 48.00 <sup>b</sup>	1 441.53 $\pm$ 53.67 <sup>b</sup>	1 637.92 $\pm$ 2.59 <sup>b</sup>	2 074.07 $\pm$ 68.55 <sup>a</sup>	1 309.59 $\pm$ 53.23 <sup>b</sup>
L-(+)-乳酸乙酯	—	86.24 $\pm$ 4.80 <sup>a</sup>	58.39 $\pm$ 1.11 <sup>c</sup>	—	—	67.91 $\pm$ 2.85 <sup>b</sup>	—	—	—	—	—	—
10-十一烯酸乙酯	—	—	—	—	391.86 $\pm$ 8.74	—	—	—	—	—	—	—
乳酸乙酯	—	—	—	113.10 $\pm$ 2.33 <sup>d</sup>	117.79 $\pm$ 3.61 <sup>d</sup>	—	169.56 $\pm$ 4.75 <sup>b</sup>	100.97 $\pm$ 2.16 <sup>c</sup>	193.58 $\pm$ 4.43 <sup>a</sup>	50.85 $\pm$ 1.71 <sup>f</sup>	81.56 $\pm$ 3.57 <sup>a</sup>	141.92 $\pm$ 3.61 <sup>f</sup>
癸酸甲酯	328.23 $\pm$ 8.69 <sup>a</sup>	172.06 $\pm$ 5.91 <sup>d</sup>	189.00 $\pm$ 3.29 <sup>a</sup>	211.72 $\pm$ 9.75 <sup>b</sup>	178.74 $\pm$ 5.31 <sup>ad</sup>	155.80 $\pm$ 0.72 <sup>a</sup>	57.50 $\pm$ 1.20 <sup>f</sup>	44.39 $\pm$ 1.43 <sup>a</sup>	46.90 $\pm$ 1.57 <sup>be</sup>	57.33 $\pm$ 1.69 <sup>a</sup>	—	53.12 $\pm$ 1.09 <sup>b</sup>
辛酸甲酯	123.99 $\pm$ 4.51 <sup>a</sup>	123.58 $\pm$ 2.50 <sup>bc</sup>	146.99 $\pm$ 2.41 <sup>a</sup>	128.18 $\pm$ 3.98 <sup>b</sup>	118.22 $\pm$ 1.89 <sup>a</sup>	119.93 $\pm$ 5.26 <sup>a</sup>	69.41 $\pm$ 2.40 <sup>d</sup>	39.05 $\pm$ 1.29 <sup>f</sup>	50.65 $\pm$ 1.50 <sup>a</sup>	56.51 $\pm$ 2.32 <sup>a</sup>	67.13 $\pm$ 1.37 <sup>a</sup>	66.76 $\pm$ 1.52 <sup>a</sup>
棕榈酸甲酯	—	493.94 $\pm$ 9.96	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
辛酸异戊酯	1 944.63 $\pm$ 82.19 <sup>a</sup>	1 215.45 $\pm$ 32.60 <sup>a</sup>	1 922.01 $\pm$ 20.65 <sup>a</sup>	899.73 $\pm$ 31.88 <sup>a</sup>	—	750.44 $\pm$ 29.38 <sup>d</sup>	389.56 $\pm$ 16.73 <sup>a</sup>	—	359.69 $\pm$ 8.45 <sup>a</sup>	438.18 $\pm$ 14.59 <sup>a</sup>	426.15 $\pm$ 18.87 <sup>a</sup>	385.76 $\pm$ 9.76 <sup>a</sup>
己酸异戊酯	238.11	—	434.43 $\pm$ 5.92 <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—
癸酸异丁酯	843.71 $\pm$ 29.08 <sup>b</sup>	853.50 $\pm$ 18.28 <sup>b</sup>	1 065.54 $\pm$ 43.30 <sup>a</sup>	750.86 $\pm$ 7.01 <sup>a</sup>	503.12 $\pm$ 2.14 <sup>d</sup>	713.33 $\pm$ 1.75 <sup>a</sup>	—	250.90 $\pm$ 2.38 <sup>d</sup>	221.10 $\pm$ 4.97 <sup>a</sup>	488.38 $\pm$ 22.33 <sup>a</sup>	404.42 $\pm$ 14.83 <sup>a</sup>	522.99 $\pm$ 19.01 <sup>a</sup>
癸酸异丁酯	227.13 $\pm$ 2.59 <sup>b</sup>	122.91 $\pm$ 2.30 <sup>a</sup>	240.70 $\pm$ 11.74 <sup>a</sup>	110.23 $\pm$ 3.24 <sup>d</sup>	—	—	—	—	—	69.13 $\pm$ 1.09 <sup>a</sup>	65.96 $\pm$ 3.25 <sup>a</sup>	83.95 $\pm$ 0.59 <sup>a</sup>
丙酮香叶酯	—	—	—	170.15 $\pm$ 6.58 <sup>a</sup>	—	—	57.48 $\pm$ 1.29 <sup>b</sup>	—	—	—	—	—
辛酸丙酯	—	—	59.71 $\pm$ 1.48	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2-甲基丁基辛酸酯	—	—	—	—	811.40 $\pm$ 23.09 <sup>a</sup>	—	—	348.55 $\pm$ 7.49 <sup>b</sup>	—	—	—	—
2,2,4-三甲基戊二酸异丁酯	904.48 $\pm$ 31.24 <sup>d</sup>	1 105.39 $\pm$ 52.21 <sup>a</sup>	1 572.68 $\pm$ 59.65 <sup>a</sup>	900.88 $\pm$ 23.86 <sup>d</sup>	—	769.00 $\pm$ 11.71 <sup>a</sup>	1 104.86 $\pm$ 28.85 <sup>a</sup>	—	584.62 $\pm$ 25.44 <sup>a</sup>	448.47 $\pm$ 13.89 <sup>a</sup>	917.00 $\pm$ 34.61 <sup>d</sup>	1 016.64 $\pm$ 42.93 <sup>a</sup>
甲酸乙酯	1 347.93 $\pm$ 55.22 <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	392.29 $\pm$ 9.99 <sup>a</sup>	—	—	605.39 $\pm$ 21.74 <sup>a</sup>	—	—
2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇 单异丁酸酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	185.46 $\pm$ 1.94



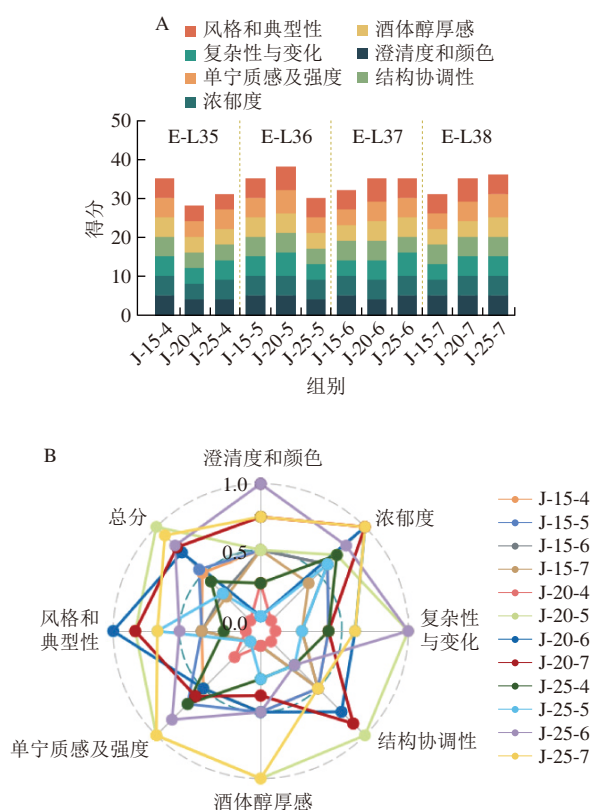
续表2

香气成分	质量浓度/(μg/L)											
	J-15-4	J-20-4	J-25-4	J-15-5	J-20-5	J-25-5	J-15-6	J-20-6	J-25-6	J-15-7	J-20-7	J-25-7
邻苯二甲酸二异丁酯	—	—	—	—	—	—	—	1 767.50±36.02	—	—	—	—
邻苯二甲酸二丁酯	2 397.22±35.67 <sup>a</sup>	—	2 891.61±26.65 <sup>b</sup>	2 887.05±40.06 <sup>b</sup>	3 019.47±125.91 <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	—	—
γ-丁内酯	2 572.24±43.93 <sup>a</sup>	1 714.33±80.83 <sup>b</sup>	187.13±5.69 <sup>f</sup>	84.77±2.78 <sup>h</sup>	1 140.40±6.06 <sup>f</sup>	90.26±3.66 <sup>b</sup>	377.13±13.41 <sup>f</sup>	374.44±11.50 <sup>f</sup>	326.36±10.56 <sup>f</sup>	460.16±13.05 <sup>f</sup>	461.37±11.98 <sup>f</sup>	536.63±19.03 <sup>d</sup>
酯类	166 368.89±783.32 <sup>a</sup>	149 173.77±530.19 <sup>d</sup>	172 121.47±2 470.35 <sup>a</sup>	159 834.43±754.61 <sup>a</sup>	145 859.74±1 040.83 <sup>a</sup>	131 468.78±3 197.82 <sup>a</sup>	74 965.11±1 241.16 <sup>f</sup>	64 885.64±366.88 <sup>f</sup>	59 635.53±349.62 <sup>b</sup>	83 703.44±909.42 <sup>b</sup>	87 525.69±989.77 <sup>a</sup>	81 506.77±619.20 <sup>f</sup>
苯乙醇	13 003.56±376.50 <sup>g</sup>	27 122.09±1 213.52 <sup>b</sup>	33 243.29±533.34 <sup>a</sup>	21 814.53±1 039.48 <sup>a</sup>	21 240.14±497.08 <sup>a</sup>	26 635.59±289.62 <sup>a</sup>	12 686.48±595.55 <sup>cd</sup>	13 787.30±192.12 <sup>ab</sup>	15 205.82±566.74 <sup>d</sup>	11 481.60±370.67 <sup>a</sup>	20 382.74±863.18 <sup>a</sup>	5 688.30±207.10 <sup>f</sup>
苯甲醇	—	—	—	—	715.59±21.13 <sup>a</sup>	—	—	612.71±21.13 <sup>a</sup>	—	—	—	—
正己醇	2 448.81±100.30 <sup>bc</sup>	2 211.88±12.99 <sup>d</sup>	2 894.47±90.55 <sup>ab</sup>	2 341.76±78.53 <sup>cd</sup>	2 588.67±93.11 <sup>cd</sup>	2 216.11±30.34 <sup>f</sup>	2 616.37±62.16 <sup>cd</sup>	2 976.08±68.00 <sup>f</sup>	2 448.98±80.86 <sup>de</sup>	2 753.04±73.70 <sup>bc</sup>	2 919.54±121.44 <sup>ab</sup>	2 161.18±57.10 <sup>f</sup>
辛醇	519.07±20.77 <sup>a</sup>	186.92±5.85 <sup>a</sup>	171.46±4.33 <sup>cd</sup>	184.95±3.47 <sup>e</sup>	222.47±5.77 <sup>a</sup>	166.60±2.99 <sup>f</sup>	101.52±2.37 <sup>h</sup>	119.99±2.04 <sup>gh</sup>	113.20±5.19 <sup>gh</sup>	140.73±3.25 <sup>f</sup>	133.14±4.06 <sup>ef</sup>	124.68±0.44 <sup>gh</sup>
1-癸醇	—	79.96±2.81 <sup>f</sup>	—	185.03±0.97 <sup>e</sup>	173.73±2.78 <sup>b</sup>	—	92.27±1.60 <sup>f</sup>	60.98±1.95 <sup>g</sup>	77.46±2.73 <sup>f</sup>	78.42±2.66 <sup>f</sup>	130.18±4.71 <sup>f</sup>	107.34±5.50 <sup>d</sup>
十二醇	328.05±4.14 <sup>f</sup>	633.62±15.48 <sup>b</sup>	767.69±23.77 <sup>a</sup>	380.58±3.62 <sup>e</sup>	—	—	337.78±5.88 <sup>d</sup>	269.99±8.52 <sup>f</sup>	294.52±4.66 <sup>f</sup>	243.10±6.73 <sup>f</sup>	340.04±5.11 <sup>f</sup>	272.97±8.55 <sup>de</sup>
1-十四醇	191.17±5.10 <sup>f</sup>	408.73±14.03 <sup>b</sup>	448.18±4.98 <sup>a</sup>	276.89±3.14 <sup>f</sup>	360.98±5.02 <sup>e</sup>	330.39±6.26 <sup>d</sup>	—	71.73±2.44 <sup>h</sup>	—	—	224.80±9.73 <sup>f</sup>	—
异戊醇	93 756.72±2 280.36 <sup>g</sup>	71 605.26±1 914.85 <sup>d</sup>	89 432.22±4 085.51 <sup>abc</sup>	68 520.97±2 504.93 <sup>d</sup>	67 061.34±794.13 <sup>d</sup>	70 298.17±2 088.85 <sup>d</sup>	92 330.10±2 087.49 <sup>ab</sup>	95 291.00±2 421.01 <sup>a</sup>	84 404.12±2 182.40 <sup>f</sup>	84 626.70±1 465.27 <sup>a</sup>	90 763.28±3 307.89 <sup>abc</sup>	88 503.12±2 358.19 <sup>ac</sup>
反式香叶基苧叶醇	—	300.18±11.90 <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	174.93±6.37 <sup>b</sup>	—	—	—	—
1-辛烯-3-醇	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36.00±0.20	—	—
顺-6-壬烯醇	—	—	88.11±2.98 <sup>b</sup>	—	—	—	—	42.41±1.83 <sup>d</sup>	—	103.99±1.91 <sup>a</sup>	—	51.91±1.97 <sup>e</sup>
2-十四醇	662.19±23.88 <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	225.33±9.70 <sup>b</sup>
3-甲氧基丙醇	—	—	194.05±2.38 <sup>a</sup>	—	—	—	117.61±4.96 <sup>b</sup>	108.38±1.56 <sup>c</sup>	117.38±1.38 <sup>b</sup>	100.69±2.89 <sup>f</sup>	106.46±3.70 <sup>f</sup>	108.38±3.54 <sup>f</sup>
2,3-丁二醇	6 193.74±57.39 <sup>f</sup>	—	—	—	—	831.44±7.94 <sup>b</sup>	—	—	—	741.18±5.99 <sup>f</sup>	—	—
2-壬基醇	—	—	—	—	—	—	—	—	—	46.81±1.96	—	—
1,7-庚二醇	—	—	—	—	125.75±2.39	—	—	—	—	—	—	—
1-十五醇	—	—	—	—	345.02±8.95 <sup>a</sup>	—	237.84±8.80 <sup>b</sup>	—	78.30±2.11 <sup>e</sup>	—	—	—
正丙醇	—	—	—	—	—	—	1 507.29±71.71 <sup>a</sup>	1 708.30±60.08 <sup>a</sup>	1 367.19±6.32 <sup>d</sup>	1 596.89±14.03 <sup>b</sup>	—	1 762.39±69.12 <sup>a</sup>
正丁醇	290.23±8.25 <sup>bc</sup>	258.78±5.03 <sup>d</sup>	267.18±10.16 <sup>cd</sup>	282.15±3.85 <sup>bc</sup>	307.11±5.43 <sup>a</sup>	248.64±5.55 <sup>bc</sup>	233.02±10.10 <sup>f</sup>	282.56±10.97 <sup>bc</sup>	254.85±11.81 <sup>f</sup>	205.31±7.83 <sup>f</sup>	259.47±8.04 <sup>f</sup>	296.61±8.71 <sup>ab</sup>
1-戊醇	58.27±2.20 <sup>f</sup>	79.30±1.13 <sup>e</sup>	—	—	—	85.47±2.64 <sup>d</sup>	—	72.49±1.82 <sup>de</sup>	55.86±1.73 <sup>f</sup>	114.24±1.89 <sup>f</sup>	76.55±2.78 <sup>cd</sup>	69.59±3.09 <sup>f</sup>
异丁醇	8 053.47±40.36 <sup>cd</sup>	7 018.75±143.18 <sup>f</sup>	7 775.01±164.11 <sup>ab</sup>	7 345.93±209.10 <sup>de</sup>	7 573.56±312.67 <sup>bc</sup>	6 965.07±159.59 <sup>f</sup>	8 045.53±146.64 <sup>cd</sup>	9 101.63±101.49 <sup>b</sup>	7 560.39±147.36 <sup>bc</sup>	8 065.34±133.54 <sup>cd</sup>	9 739.41±169.39 <sup>a</sup>	8 391.81±406.69 <sup>a</sup>
(Z)-4-己烯-1-醇	—	—	—	—	—	—	—	61.85±1.75 <sup>a</sup>	44.14±2.19 <sup>b</sup>	—	—	—
叶醇	—	—	—	—	106.34±2.47 <sup>b</sup>	78.59±2.36 <sup>d</sup>	111.92±1.69 <sup>a</sup>	76.58±0.88 <sup>d</sup>	75.11±1.03 <sup>de</sup>	71.89±2.70 <sup>f</sup>	114.45±2.61 <sup>f</sup>	86.44±3.33 <sup>f</sup>
反式-3-己烯-1-醇	—	107.06±3.65 <sup>a</sup>	108.08±3.97 <sup>a</sup>	70.50±1.68 <sup>b</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
醇类	125 505.29±2 400.35 <sup>f</sup>	101 403.28±1 583.54 <sup>ef</sup>	118 417.75±2244.66 <sup>a</sup>	110 405.93±1 678.25 <sup>d</sup>	110 012.54±2 691.10 <sup>d</sup>	100 820.70±844.18 <sup>f</sup>	124 818.91±2 436.17 <sup>b</sup>	125 190.07±3 965.76 <sup>b</sup>	135 389.74±4 687.22 <sup>a</sup>	107 856.06±1 881.61 <sup>bc</sup>	112 097.32±835.02 <sup>f</sup>	107 850.04±2 884.99 <sup>bc</sup>
壬酸	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	296.38±5.17
辛酸	197.15±6.60 <sup>f</sup>	349.79±8.65 <sup>a</sup>	443.30±10.93 <sup>f</sup>	738.09±15.68 <sup>a</sup>	599.13±19.86 <sup>f</sup>	617.85±22.67 <sup>a</sup>	794.05±20.25 <sup>a</sup>	636.77±17.86 <sup>f</sup>	818.08±25.60 <sup>f</sup>	977.56±20.50 <sup>f</sup>	1 150.04±48.64 <sup>a</sup>	796.19±20.38 <sup>c</sup>
己酸	—	288.69±7.47 <sup>f</sup>	269.98±7.14 <sup>f</sup>	386.40±12.13 <sup>cd</sup>	330.96±4.02 <sup>e</sup>	362.73±6.23 <sup>f</sup>	368.00±6.26 <sup>d</sup>	284.95±5.07 <sup>f</sup>	412.59±15.77 <sup>f</sup>	667.49±25.90 <sup>f</sup>	579.47±12.19 <sup>f</sup>	601.49±25.46 <sup>b</sup>
正癸酸	—	—	—	—	—	—	306.89±9.03 <sup>a</sup>	—	301.02±7.87 <sup>a</sup>	—	—	—
乙酸	4 302.53±112.90 <sup>f</sup>	5 110.17±100.71 <sup>f</sup>	2 630.55±88.72 <sup>a</sup>	6 377.79±277.15 <sup>a</sup>	9 762.03±224.06 <sup>a</sup>	6 475.41±108.56 <sup>b</sup>	3 291.36±67.09 <sup>f</sup>	2 942.41±59.78 <sup>b</sup>	3 244.92±71.65 <sup>ef</sup>	5 826.62±230.20 <sup>f</sup>	5 027.97±81.75 <sup>f</sup>	6 090.79±233.23 <sup>bc</sup>
异丁酸	—	132.66±2.11 <sup>e</sup>	—	214.62±7.46 <sup>b</sup>	—	173.85±1.86 <sup>f</sup>	130.96±3.42 <sup>e</sup>	—	164.28±3.09 <sup>f</sup>	—	138.54±5.21 <sup>f</sup>	230.34±8.20 <sup>a</sup>
酯类	4 499.68±106.74 <sup>a</sup>	5 881.30±106.02 <sup>f</sup>	3 343.82±86.20 <sup>f</sup>	7 716.90±278.53 <sup>a</sup>	10 692.12±236.25 <sup>a</sup>	7 629.85±114.70 <sup>bc</sup>	4 891.27±62.17 <sup>f</sup>	3 864.14±79.44 <sup>b</sup>	4 940.88±86.62 <sup>f</sup>	7 471.67±268.27 <sup>f</sup>	6 896.02±53.34 <sup>f</sup>	8 015.18±256.12 <sup>b</sup>
苯甲醛	—	—	—	—	—	—	17.64±0.46 <sup>f</sup>	25.06±0.44 <sup>e</sup>	39.79±0.76 <sup>c</sup>	38.15±0.69 <sup>f</sup>	—	—
癸醛	496.18±14.02 <sup>a</sup>	—	—	19.83±0.57 <sup>b</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—
十二醛	228.65±9.36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
三聚乙醛	—	—	—	—	—	36.08±0.84	—	—	—	—	—	—
壬醛	202.51±6.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
醛类	927.34±17.00 <sup>a</sup>	—	—	19.83±0.57 <sup>cd</sup>	—	36.08±0.84 <sup>b</sup>	17.64±0.46 <sup>d</sup>	25.06±0.44 <sup>e</sup>	39.79±0.76 <sup>b</sup>	38.15±0.69 <sup>b</sup>	—	—
2,6-二(叔丁基)-4-羟基-4-甲基-2,5-环己二烯-1-酮	391.25±11.91 <sup>f</sup>	673.89±30.56 <sup>f</sup>	984.38±49.47 <sup>a</sup>	334.37±7.02 <sup>b</sup>	243.72±8.97 <sup>a</sup>	336.03±13.70 <sup>b</sup>	1 060.87±23.49 <sup>b</sup>	393.64±10.26 <sup>f</sup>	304.20±2.22 <sup>b</sup>	564.45±11.82 <sup>f</sup>	723.90±12.23 <sup>d</sup>	1 267.67±19.61 <sup>a</sup>
1-乙酰氧基-2-丁酮	—	—	—	—	454.02±12.86 <sup>b</sup>	—	—	—	—	424.83±22.66 <sup>f</sup>	443.45±13.30 <sup>bc</sup>	476.77±17.11 <sup>a</sup>
植酮	—	507.05±8.31 <sup>a</sup>	466.26±12.02 <sup>b</sup>	284.28±3.51 <sup>d</sup>	265.39±1.17 <sup>e</sup>	322.74±14.20 <sup>f</sup>	145.63±0.83 <sup>f</sup>	—	—	—	215.39±6.50 <sup>f</sup>	—
3-羟基-2-丁酮	—	68.65±3.05 <sup>f</sup>	40.87±0.87 <sup>cd</sup>	—	—	—	—	—	51.27±0.11 <sup>f</sup>	—	—	64.51±1.70 <sup>b</sup>
2,3-戊二酮	—	208.33±0.16 <sup>f</sup>	—	318.00±11.40 <sup>b</sup>	—	—	331.82±7.33 <sup>b</sup>	432.85±11.68 <sup>a</sup>	323.35±8.66 <sup>f</sup>	—	—	—
酮类	391.25±11.91 <sup>b</sup>	936.65±13.50 <sup>f</sup>	1 538.32±19.16 <sup>b</sup>	989.28±23.82 <sup>f</sup>	1457.92±32.45 <sup>a</sup>	963.13±21.60 <sup>f</sup>	826.49±21.17 <sup>f</sup>	1 382.7±19.35 <sup>d</sup>	1 491.51±52.12 <sup>bc</sup>	658.76±27.54 <sup>f</sup>	678.82±8.45 <sup>f</sup>	1 808.96±31.51 <sup>a</sup>
抗氧化剂264	298.38±3.84 <sup>f</sup>	351.57±8.39 <sup>f</sup>	661.10±16.09 <sup>f</sup>	329.86±7.70 <sup>d</sup>	—	376.20±8.16 <sup>b</sup>	264.26±9.75 <sup>f</sup>	58.55±2.28 <sup>f</sup>	—	65.87±1.43 <sup>f</sup>	178.75±4.16 <sup>f</sup>	108.99±1.89 <sup>b</sup>
(E)-7,11-二甲基-3-亚甲基-1,6,10-十二碳三烯	—	334.13±17.95 <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	—	96.52±3.70 <sup>b</sup>	—	—	—
萜烯类	298.38±3.84 <sup>f</sup>	329.86±7.70 <sup>d</sup>	264.26±9.75 <sup>f</sup>	65.87±1.43 <sup>f</sup>	685.70±22.44 <sup>a</sup>	—	58.55±2.28 <sup>f</sup>	178.75±4.16 <sup>f</sup>	661.10±16.09 <sup>f</sup>	376.20±8.16 <sup>b</sup>	96.52±3.70 <sup>b</sup>	108.99±1.89 <sup>b</sup>
2,4-二叔丁基苯酚	—	242.65±8.98 <sup>f</sup>	400.36±11.74 <sup>f</sup>	247.24±6.88 <sup>f</sup>	—	232.45±9.56 <sup>d</sup>	227.46±7.19 <sup>d</sup>					



## 2.5 葡萄酒的感官品评

为了评估负载量和采收期对赤霞珠葡萄酒品质的影响,本研究从葡萄酒的结构协调性、风格和典型性、酒体醇厚感、复杂性与变化、单宁质感及强度、浓郁度以及澄清度和颜色7个方面进行了感官评价。由图5可知,在葡萄成熟初期,负载量较低的葡萄酒获得了更高的感官得分。这一现象可以解释为负载量较低时,浆果受到的光合作用相对更多,葡萄中的风味物质得以更早地达到平衡状态<sup>[12]</sup>。随着采收期的延长,葡萄中的糖分和风味物质更加丰富<sup>[4]</sup>,果实负载量较高酿制的葡萄酒开始展现出更好的感官品质。低负载量条件下早采所酿葡萄酒的感官品质优于晚采,较高负载量条件下晚采葡萄酒感官评分更优。在本研究中,J-20-5的整体感官品质表现最佳,并在多个感官指标上得分最高。负载量中等水平的葡萄酒典型性和浓郁度随着采收期的延长显著提高,其中,J-20-6和J-20-7葡萄酒样品分别在典型性和浓郁度上得分最高。J-25-7样品的总挥发性化合物含量和感官评价的浓郁度得分均为最高。酒体包括乙醇、糖、单宁、酸、风味和甘油的综合感知,表征了葡萄酒口感的质量<sup>[42]</sup>。本研究中,J-25-7和J-20-5的酒体最为饱满,但从口感协调性来看,J-20-5的平衡性更佳。



A.感官评价得分图; B.感官得分雷达图。

图5 不同负载量下赤霞珠葡萄酒感官评价

Fig. 5 Sensory evaluation of Cabernet Sauvignon wine under different load conditions

## 3 结论

本研究对不同负载量处理下采收时间对葡萄的基础理化指标和葡萄酒的有机酸、单体酚、挥发性化合物及感官品质的影响进行了评估。结果显示,在成熟末期,负载量为20 穗/m架面处理组果实总酸质量浓度增加,而其余两组果实则呈现下降的趋势。各负载量处理组葡萄酒均在E-L35阶段总酸质量浓度达到最高值,在E-L37阶段达到最低值。对于葡萄酒中有机酸而言,15 穗/m架面处理所酿制的葡萄酒有机酸质量浓度在成熟前期及末期达到最高,而20 穗/m架面与25 穗/m架面处理组葡萄酒分别在E-L37和E-L38阶段显示出最高的有机酸总质量浓度。另外,各处理组葡萄酒样品中酚类物质的总质量浓度在E-L36阶段达到峰值后迅速下降,这一趋势对于确定最佳采收时间有现实意义。低负载量条件下早采果实所酿葡萄酒的感官品质优于晚采,这与葡萄中的风味物质较早地达到平衡有关。在延长采收期的情况下,葡萄酒的典型性和浓郁度得到了显著提升,特别是J-20-6和J-20-7样品表现最为突出,这与果实中糖、酸和酚类物质的积累密切相关,为葡萄酒的复杂性和层次感提供了基础。综合来看,负载量为20 穗/m架面E-L36时期酿制的葡萄酒(J-20-5)整体感官评分表现最佳。这一结果强调了适宜的负载管理和准确的采收时机是提升葡萄酒品质的关键。后续研究还应考虑将这一系列处理应用于实际生产规模的酿酒品质研究中,以确定最佳的组合方案。

综上所述,本研究全面地解释了葡萄负载量与采收期对葡萄酒品质的影响,证实了精确控制负载量和采收时间能有效提升葡萄酒的品质,可为构建酿酒葡萄果实成熟度判定与最佳采收期评价体系提供指导建议。

## 参考文献:

- [1] NIIMI J, BOSS P K, JEFFERY D, et al. Linking sensory properties and chemical composition of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon grape berries to wine[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2017, 68(3): 357-368. DOI:10.5344/ajev.2017.16115.
- [2] SNOPEK L, MLCEK J, SOCHOROVA L, et al. Contribution of red wine consumption to human health protection[J]. Molecules, 2018, 23(7): 1684. DOI:10.3390/molecules23071684.
- [3] LI J N, MA T T, BAO S H, et al. Suitable crop loading: an effective method to improve "Shine Muscat" grape quality[J]. Food Chemistry, 2023, 424: 136451. DOI:10.1016/j.foodchem.2023.136451.
- [4] BINDON K, HOLT H, WILLIAMSON P O, et al. Relationships between harvest time and wine composition in *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon 2. Wine sensory properties and consumer preference[J]. Food Chemistry, 2014, 154: 90-101. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.12.099.
- [5] YUAN Y, XIE Y M, LI B, et al. To improve grape photosynthesis, yield and fruit quality by covering reflective film on the ground of a protected facility[J]. Scientia Horticulturae, 2024, 327: 112792. DOI:10.1016/j.scienta.2023.112792.
- [6] ZAMBONI A, DI CARLI M, GUZZO F, et al. Identification of putative stage-specific grapevine berry biomarkers and omics data integration into networks[J]. Plant Physiology, 2010, 154(3): 1439-1459. DOI:10.1104/pp.110.160275.

- [7] FERRERO-DEL-TESO S, ARIAS I, ESCUDERO A, et al. Effect of grape maturity on wine sensory and chemical features: the case of moristel wines[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 118: 108848. DOI:10.1016/j.lwt.2019.108848.
- [8] MUSACCHI S, SERRA S. Apple fruit quality: overview on pre-harvest factors[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 234: 409-430. DOI:10.1016/j.scienta.2017.12.057.
- [9] MATTEO M, ZOFFOLI J P, AYALA M. Calcium sprays and crop load reduction increase fruit quality and postharvest storage in sweet cherry (*Prunus avium* L.)[J]. Agronomy, 2022, 12(4): 829. DOI:10.3390/agronomy12040829.
- [10] BOWEN A J, REYNOLDS A G. Aroma compounds in Ontario Vidal and Riesling icewines. II. Effects of crop level[J]. Food Research International, 2015, 76(3): 550-560. DOI:10.1016/j.foodres.2015.06.042.
- [11] ROBERTO S R, BORGES W F S, COLOMBO R C, et al. Berry-cluster thinning to prevent bunch compactness of 'BRS Vitoria', a new black seedless grape[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 197: 297-303. DOI:10.1016/j.scienta.2015.09.049.
- [12] KOVALENKO Y, VANDERWEIDE J, TINDJAU R, et al. Timing and severity of crop load management influences technological maturity, terpene synthase expression and free terpene accumulation in Gewürztraminer grapes (*Vitis vinifera* L.)[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2022, 28(4): 638-650. DOI:10.1111/ajgw.12565.
- [13] COOMBE B G. Growth stages of the grapevine: adoption of a system for identifying grapevine growth stages[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 1995, 1(2): 104-110. DOI:10.1111/j.1755-0238.1995.tb00086.x.
- [14] WEI M Y, MA T T, CAO M M, et al. Biomass estimation and characterization of the nutrient components of thinned unripe grapes in China and the global grape industries[J]. Food Chemistry: X, 2022, 15: 100363. DOI:10.1016/j.fochx.2022.100363.
- [15] 李彩虹, 王悦, 吕毅, 等. 基于正交偏最小二乘法判别分析宁夏和河北产区市售马瑟兰葡萄酒理化特征和抗氧化能力[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(23): 283-292. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.035090.
- [16] 王悦, 葛谦, 张静, 等. 基于智能感官和气相色谱质谱联用的中国三产区市售马瑟兰葡萄酒感官特征总结与差异分析[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(8): 253-264. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036341.
- [17] ISSA-ISSA H, GUCLU G, NOGUERA-ARTIAGA L, et al. Aroma-active compounds, sensory profile, and phenolic composition of Fondillón[J]. Food Chemistry, 2020, 316: 126353. DOI:10.1016/j.foodchem.2020.126353.
- [18] LAN T, WANG J Q, YUAN Q Y, et al. Evaluation of the color and aroma characteristics of commercially available Chinese kiwi wines via intelligent sensory technologies and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry: X, 2022, 15: 100427. DOI:10.1016/j.fochx.2022.100427.
- [19] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 葡萄酒、果酒通用分析方法: GB/T 15038—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 56-58.
- [20] MAGWAZA L S, TESFAY S Z. A review of destructive and non-destructive methods for determining avocado fruit maturity[J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(10): 1995-2011. DOI:10.1007/s11947-015-1568-y.
- [21] 杨君, 李俊楠, 任瑞华, 等. 叶幕形和留穗量对赤霞珠葡萄酒单酚类物质的影响[J]. 中国酿造, 2020, 39(5): 135-140. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2020.05.026.
- [22] 谢兆森, 王世平, 许文平. 葡萄果实中的糖分积累和调控[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(4): 785-790.
- [23] WANG J, MU W S, FANG X M, et al. Pulsed vacuum drying of Thompson seedless grape: effects of berry ripeness on physicochemical properties and drying characteristic[J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 106: 117-126. DOI:10.1016/j.fbp.2017.09.003.
- [24] TIAN M B, HU R Q, LIU Z L, et al. The pH adjustment of *Vitis amurensis* dry red wine revealed the evolution of organic acids, volatiles, and sensory quality during winemaking[J]. Food Chemistry, 2024, 436: 137730. DOI:10.1016/j.foodchem.2023.137730.
- [25] LIMA M M, CHOY Y Y, TRAN J, et al. Organic acids characterization: wines of Pinot noir and juices of 'Bordeaux grape varieties'[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 114: 104745. DOI:10.1016/j.jfca.2022.104745.
- [26] ZHAO Q H, DU G R, WANG S N, et al. Investigating the role of tartaric acid in wine astringency[J]. Food Chemistry, 2023, 403: 134385. DOI:10.1016/j.foodchem.2022.134385.
- [27] ROBLES A, FABJANOWICZ M, CHMIEL T, et al. Determination and identification of organic acids in wine samples. Problems and challenges[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2019, 120: 115630. DOI:10.1016/j.trac.2019.115630.
- [28] CHENG X H, MA T T, WANG P P, et al. Foliar nitrogen application from veraison to preharvest improved flavonoids, fatty acids and aliphatic volatiles composition in grapes and wines[J]. Food Research International, 2020, 137: 109566. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109566.
- [29] PINTAČ ŠARAC D, TOROVIĆ L, ORČIĆ D, et al. Comprehensive study of phenolic profile and biochemical activity of monovarietal red and white wines from Fruška Gora region, Serbia[J]. Food Chemistry, 2024, 448: 139099. DOI:10.1016/j.foodchem.2024.139099.
- [30] SALEHI B, MISHRA A P, NIGAM M, et al. Resveratrol: a double-edged sword in health benefits[J]. Biomedicine, 2018, 6(3): 91. DOI:10.3390/biomedicine6030091.
- [31] SHI G R, RAO L Q, YU H Z, et al. Stabilization and encapsulation of photosensitive resveratrol within yeast cell[J]. International Journal of Pharmaceutics, 2008, 349(1/2): 83-93. DOI:10.1016/j.ijpharm.2007.07.044.
- [32] EL KHAWAND T, VALLS FONAYET J, DA COSTA G, et al. Resveratrol transformation in red wine after heat treatment[J]. Food Research International, 2020, 132: 109068. DOI:10.1016/j.foodres.2020.109068.
- [33] GONZÁLEZ-BARREIRO C, RIAL-OTERO R, CANCHO-GRANDE B, et al. Wine aroma compounds in grapes: a critical review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 55(2): 202-218. DOI:10.1080/10408398.2011.650336.
- [34] YUE X F, WANG S, DONG Y, et al. Targeted metabolomics analysis based on HS-SPME-GC-MS to discriminate geographical origin of 'Muscat Hamburg' grape and wine[J]. Food Research International, 2024, 181: 114120. DOI:10.1016/j.foodres.2024.114120.
- [35] GARCÍA-CARPINTERO E G, SÁNCHEZ-PALOMO E, GONZÁLEZ-VIÑAS M A. Aroma characterization of red wines from cv. Bobal grape variety grown in La Mancha region[J]. Food Research International, 2011, 44(1): 61-70. DOI:10.1016/j.foodres.2010.11.013.
- [36] PARKER M, CAPONE D L, FRANCIS I L, et al. Aroma precursors in grapes and wine: flavor release during wine production and consumption[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(10): 2281-2286. DOI:10.1021/acs.jafc.6b05255.
- [37] MARCQ P, SCHIEBERLE P. Characterization of the key aroma compounds in a commercial fino and a commercial Pedro Ximénez sherry wine by application of the sensomics approach[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2021, 69(17): 5125-5133. DOI:10.1021/acs.jafc.1c01348.
- [38] ZHAO L L, RUAN S L, YANG X K, et al. Characterization of volatile aroma compounds in *Litchi* (Heiye) wine and distilled spirit[J]. Food Science & Nutrition, 2021, 9(11): 5914-5927. DOI:10.1002/fsn3.2361.
- [39] GAO F F, GUAN L X, ZENG G H, et al. Preliminary characterization of chemical and sensory attributes for grapes and wines of different cultivars from the Weibei Plateau region in China[J]. Food Chemistry: X, 2024, 21: 101091. DOI:10.1016/j.fochx.2023.101091.
- [40] TUFARIELLO M, CAPONE S, SICILIANO P. Volatile components of Negroamaro red wines produced in Apulian Salento area[J]. Food Chemistry, 2012, 132(4): 2155-2164. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.11.122.
- [41] JU Y L, XU X L, YU Y K, et al. Effects of winemaking techniques on the phenolics, organic acids, and volatile compounds of Muscat wines[J]. Food Bioscience, 2023, 54: 102937. DOI:10.1016/j.fbio.2023.102937.
- [42] NIIMI J, TOMIC O, NÆS T, et al. Objective measures of grape quality: from cabernet sauvignon grape composition to wine sensory characteristics[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 123: 109105. DOI:10.1016/j.lwt.2020.109105.