

2种葡萄源单宁的红葡萄酒辅色效应对比

刘霞, 刘清南, 王海丽, 杨鑫, 高小翠, 杨彬*
(河西学院生命科学与工程学院, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 为考察不同葡萄源单宁对红葡萄酒辅色效应及品质的影响, 河西走廊赤霞珠干红葡萄酒发酵后分别添加不同质量浓度的葡萄籽单宁(SD)和葡萄皮单宁(SN), 以不添加单宁为对照(CK), 陈酿6个月后测定各组葡萄酒基础理化指标、花色苷含量、形态比率、颜色参数及感官特征, 分析2种葡萄源单宁的红葡萄酒辅色效应。结果表明: 2种葡萄源单宁不会对葡萄酒的基础理化指标产生不良影响, 均可影响葡萄酒中花色苷含量及其形态分布, 其中添加320 mg/L SD的总花色苷质量浓度(298.07 mg/L)最高, 为对照组的2.81倍, 且形态分布相对均衡。另外, 2种单宁均可减弱酒体颜色浅化程度, 以SD的抗褪色能力最佳, 其中添加320 mg/L SD组的 a^* (55.10)、 C_{ab}^* (65.08)和 ΔE_{ab}^* 值(11.69)最大, b^* (28.83)、 L^* (23.85)和 h_{ab} 值(17.64°)较小, 呈更浓郁饱满的红色特征。2种单宁均能修饰葡萄酒的香气及口感品质, SD 240 mg/L组具有更好的香气浓郁度、层次感以及口感协调性, 其次为SD 320 mg/L组。因此, 添加240~320 mg/L SD可赋予红葡萄酒较强的抗褪色能力, 其作为辅色素在红葡萄酒加工领域具备一定的应用价值。

关键词: 单宁; 红葡萄酒; 辅色作用; 花色苷; 颜色参数

Comparative Analysis on the Copigmentation Effect of Two Grape-Derived Tannins in Red Wines

LIU Xia, LIU Qingnan, WANG Haili, YANG Xin, GAO Xiaocui, YANG Bin*
(College of Life Sciences and Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, China)

Abstract: To investigate the effect of different grapes derived tannins on the copigmentation and quality of red wines, different concentration of grape seed tannin (SD) and grape skin tannin (SN) were added after fermentation of Cabernet Sauvignon dry red wine from the Hexi Corridor, using the wine without tannin addition as the control (CK). After six months of aging, basic physicochemical indicators, anthocyanin content, morphological ratio, color parameters and sensory characteristics of each group of grape wine were measured, and the copigmentation effect of two grape derived tannins in red wine was analyzed. The results indicated that the two grape-derived tannins did not show adverse effect on the basic physicochemical properties of the wine, but both could affect the content and distribution of anthocyanin in wine. Among them, the wine with SD addition 320 mg/L showed the highest total anthocyanin content (298.07 mg/L), which was 2.81 times that of CK, and the morphological distribution was relatively balanced. In addition, both types of tannins could reduce the color lightening degree during ageing, with SD exhibiting superior anti-fading capacity. The group with SD addition 320 mg/L had the highest color parameters a^* (55.10), C_{ab}^* (65.08), and ΔE_{ab}^* values (11.69), while b^* (28.83), L^* (23.85), and h_{ab} values (17.64°) were smaller, showing a richer and fuller red color. Both types of tannins could modify the aroma and taste quality of wine. The wine group with SD addition 240 mg/L achieved better aromatic intensity, complexity and better taste coordination, followed by the group with SD addition 320 mg/L. Therefore, adding grape seed tannin 240–320 mg/L could endow red wine with strong anti-fading ability, and it had certain application value as copigment in the field of red wine processing.

Keywords: tannin; red wine; copigmentation; anthocyanin; color parameter

DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.025

中图分类号: TS262.6

文献标志码: A

文章编号: 0254-5071 (2026) 04-0185-08

收稿日期: 2025-10-01

基金项目: 大学生创新创业训练计划项目(S202310740036); 河西学院校长基金创新团队项目(CXTD2022001)

第一作者简介: 刘霞(1987—), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为葡萄酒风味化学。E-mail: 137446107@qq.com

*通信作者简介: 杨彬(1977—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为农产品加工。E-mail: 745713105@qq.com

引文格式:

刘霞, 刘清南, 王海丽, 等. 2种葡萄源单宁的红葡萄酒辅色效应对比[J]. 中国酿造, 2026, 45(4): 185-192. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.025. <https://www.chinabrewing.net.cn>

LIU Xia, LIU Qingnan, WANG Haili, et al. Comparative analysis on the copigmentation effect of two grape-derived tannins in red wines[J]. China Brewing, 2026, 45(4): 185-192. (in Chinese with English abstract) DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2026.04.025. <https://www.chinabrewing.net.cn>

葡萄酒的颜色承载了葡萄原料、酒的类型、酿制工艺、酒龄以及陈酿潜力等信息,是影响消费者进行葡萄酒质量评判和消费选择的关键因素^[1],研究葡萄酒的颜色是实现其加工过程质量管控、产品风格定位及品质鉴别的重要手段^[2]。葡萄酒的颜色品质主要由花色苷及其衍生物的类型和含量决定。新鲜红葡萄酒中以游离花色苷(free anthocyanins, FA)为主,为葡萄酒贡献了紫/宝石红色的颜色特征^[3];但FA分子中具有缺少电子的高活性“烔盐阳离子”结构,在酿造及贮藏过程中易受环境pH值、温度、SO₂、光照、氧化等因素的影响而发生降解损失,进而导致了葡萄酒的颜色消退及品质下降^[4-5]。近年来,在全球气候变暖、气温上升的大背景下,河西走廊等干旱/炎热产区的葡萄原料通常伴有高糖低酸、高pH值、采摘时高温等特征^[6],这些不利条件又加剧了酿制期间FA的降解损失,由此造成的酒液褪色老化问题已成为了该类产区发展的限制瓶颈。葡萄酒中FA在一定条件下会部分转变为呈色更稳定的辅色花色苷(copigmented anthocyanins, CA)和聚合花色苷(polymeric anthocyanins, PA)衍生物,前者呈现红色、后者则为棕红色^[7],二者对红葡萄酒的颜色特征及稳定性至关重要。因此,保留足够的FA并促使其向CA和PA进行合理转变,是保障红葡萄酒贮藏期间颜色品质的关键举措。

辅色作用是一种绿色自然且安全的葡萄酒增色法,近年来逐渐引起了国内外研究人员的广泛关注。该法是通过添加外源辅色素,使其与FA分子之间通过 π - π 疏水堆叠、氢键和范德华力等驱动作用下形成较为稳定的“三明治”结构CA复合物^[8],这种非共价络合物将花色苷包裹于中间位置,可阻断水分子的亲核攻击,从而防止FA向半缩醛、酞式碱、查耳酮等形式转变和降解^[9-10],起到稳定花色苷结构及红色特征的作用;已证实辅色作用能为新鲜红葡萄酒增色30%~50%,在陈酿型红葡萄酒中也有8%~30%的颜色贡献量^[9]。另外,辅色作用可能还是形成PA的第一步^[11],这对陈酿型葡萄酒的颜色稳定性具有积极影响。现已发现的辅色素包括酚类、糖类、金属离子、维生素、生物碱及氨基酸等多种类型;其中,酚类化合物因其分子中含有可极化的平面结构及 π 电子系统^[12],

其芳香环可与缺电子的花色苷烔盐离子平面中的发色团通过 π - π 堆叠相结合,防止FA与水分子发生亲核加成反应而脱色^[9,13],是目前研究应用最广泛的一类辅色素。现有关酚酸类^[14]、黄酮醇类^[15]等小分子酚类在红葡萄酒中的辅色效应已受到较多关注,然而针对单宁类大分子酚的相关研究仍较有限。已有研究证实,适当添加单宁可以有效改善葡萄酒的综合品质^[16],由于葡萄源单宁与葡萄酒中天然单宁具有“同源性”,其作为红葡萄酒辅色素的应用潜力更值得被进一步探究。因此,该研究以河西走廊产区的赤霞珠干红葡萄酒为研究对象,探究2种葡萄源(皮/籽)单宁的辅色效果及综合应用潜力,以期为河西走廊等炎热产区调整红葡萄酒生产工艺、稳定色泽品质提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

赤霞珠葡萄(*Vitis vinifera* L., cv. Cabernet Sauvignon): 2024年9月16日采摘于张掖市临泽县板桥葡萄种植基地。葡萄表皮呈紫黑色,原料完整、卫生良好。原料基本理化指标见表1。

表1 赤霞珠葡萄原料的基本理化指标

Table 1 Basic physicochemical indexes of Cabernet Sauvignon grapes

酿酒品种	可溶性固形物含量/Brix	总酸(酒石酸计)质量浓度/(g/L)	总糖质量浓度/(g/L)	粒径/cm	百粒质量/g
赤霞珠	25.0±0.22	7.60±0.28	238±1.6	1.25±0.07	98.30±2.11

酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*) CECA安琪酵母股份有限公司;葡萄籽/皮单宁(食品级) 意大利英纳蒂斯有限公司;氢氧化钠(分析纯) 天津市天新精细化工开发中心;果胶酶RCO(食品级)、偏重亚硫酸钾(食品级) 上海鼎唐国际贸易有限公司。

1.2 仪器与设备

UV-1200PC紫外分光光度计 上海美析仪器有限公司;TGL-18M台式高速冷冻离心机 上海卢湘仪离心仪器有限公司;W100葡萄酒颜色分析仪 海能未来技术集团股份有限公司;HT1150ATC手持糖量计 禹城市田园信科光学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 干红葡萄酒的酿造工艺流程及操作要点

工艺流程：赤霞珠葡萄→串选→除梗→破碎→入罐→硫处理→酶处理→加酵母→乙醇发酵→发酵结束→分离转罐→调硫→贮存→去酒泥→陈酿→自然澄清→过滤→成品。

操作要点：赤霞珠葡萄经串选后进行100%除梗、50%破碎，置于100 L不锈钢发酵罐中（入罐量小于80%），加硫60 mg/L、2 h后加入20 mg/L果胶酶、12 h后加入200 mg/L活性干酵母，在23~27 °C条件下发酵7 d左右，待酒液比重降至0.995以下且不再变化时发酵结束，分离酒液到5 L玻璃陈酿罐中并调硫至35 mg/L，静置贮存2周后弃去酒泥，再置于室温下满罐避光陈酿6个月，期间转罐1~2次。

1.3.2 实验设计

将1.3.1节中去除酒泥的葡萄酒分为3组：对照组（CK）、葡萄籽单宁组（SD）、葡萄皮单宁组（SN），每组3个平行。其中，CK组不添加单宁，SD和SN组均按照80、160、240、320、400 mg/L依次添加葡萄籽单宁和葡萄皮单宁，2组样品分别编号为SD1~SD5、SN1~SN5；添加完成后立刻混匀，按1.3.1节中条件陈酿6个月后测定相关指标。

1.3.3 葡萄酒理化指标及花色苷形态比率测定

参考GB/T 15038—2006《葡萄酒、果酒通用分析方法》测定葡萄酒的残糖、酒精度、挥发酸和总酸含量；总花色苷含量参考翦祎等^[17]的方法测定。参考曹鹏等^[18]的方法测定花色苷的游离化率（FA占比/%）、辅色化率（CA占比/%）和聚合化率（PA占比/%）：1）调整葡萄酒pH值为3.6，取4 mL待测酒样加40 μL 10%乙醛溶液，室温避光静置反应45 min；2）另取0.2 mL待测酒样，用模拟葡萄酒溶液（12%乙醇、5 g/L酒石酸、0.2 mol/L NaCl、调节pH值为3.6）稀释20倍；3）另取4 mL酒样，加入320 μL 5% SO₂溶液；依次测定上述3组混合液在520 nm波长处的吸光度 A_{acet} 、 A_{wine} 和 A_{SO_2} 。花色苷形态比率计算公式如下：

$$\text{FA占比}/\% = \frac{A_{\text{wine}} - A_{\text{SO}_2}}{A_{\text{acet}}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{CA占比}/\% = \frac{A_{\text{acet}} - A_{\text{wine}}}{A_{\text{acet}}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{PA占比}/\% = \frac{A_{\text{SO}_2}}{A_{\text{acet}}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.4 葡萄酒CIELab空间参数的测定

将酒样在8 000 r/min条件下离心10 min，经0.45 μm膜过滤后，注入2 mm光径玻璃比色皿中，利用葡萄酒颜色分析仪扫描酒样在可见光区350~780 nm内的吸光度，以超纯水作为空白，读取样品亮度值（ L^* ）、红-绿指数值（ a^* ）、黄-蓝指数值（ b^* ）、彩度（ C_{ab}^* ）、

色调角（ h_{ab} ）和色差值（ ΔE_{ab}^* ），其中 C_{ab}^* 值 = $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ ， h_{ab} 值（色调） = $\tan^{-1}(b^*/a^*)$ 及色差 ΔE_{ab}^* 值 = $(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)^{1/2}$ 。

1.3.5 葡萄酒香气测定

参考刘霞等^[19]的方法进行葡萄酒香气的感官量化测定。

招募志愿者并进味觉和嗅觉阈值测定，筛选阈值测定得分较高的12人组成品评小组，男：女=5：7，年龄在21~39岁。先采用葡萄酒标准香气体系（酒鼻子）对品评小组进行为期30 d的闻香训练，让品尝员精准记忆葡萄酒经典香气类型。采用ISO标准杯进行正式品评，品尝员按照“静止”→“摇杯”流程闻香，每次闻香持续5~10 s，样品间隔5~8 min；各组酒样均设置2次平行，随机区组设计。品评环境自然光线充足、室温18 °C左右，无噪音、无异味。要求：品尝员用标准香气体系中3~5个词汇记录酒样香气特征，并用10点标度尺作强度量化记录：[0~2]很弱、[2~4]弱、[4~6]中等、[6~8]强、[8~10]很强。香气特征量化强度值（modified frequency, MF）以该特征在品评小组中使用频率和强度得分率的几何平均数表示，计算公式如下：

$$\text{MF}/\% = \sqrt{F \times I} \quad (4)$$

式中： F 为某一香气词汇的使用频率/%； I 为某一香气强度值平均数占最大值（10分）的百分数/%。

1.3.6 葡萄酒口感评价

由1.3.5节中的品评小组进行葡萄酒口感特征评价。采用随机盲品模式进行酒样测定，每个样品平行测定2次，每次品评间隔10 min，品尝员可以通过用饮用纯净水或咀嚼苏打饼干的方式恢复味觉敏感性。要求：品尝员分别从生青味、涩感、饱满度、协调性4个方面分析，并用5点标度尺作强度量化记录：[0~1]极弱、[1~2]弱、[2~3]中等、[3~4]较强、[4~5]强，指标分数越高则表示其感官体验越强烈。

1.4 数据处理

采用Excel整理数据、SPSS 27.0软件分析数据、OriginPro 2024软件绘图。

2 结果与分析

2.1 赤霞珠干红葡萄酒的基础理化指标分析

葡萄酒的基础理化指标作为品质评价体系的核心要素，不仅与葡萄原料有关，还受到发酵和陈酿过程的影响。由表2可知，各组葡萄酒的基础理化指标均符合国标GB/T 15037—2006《葡萄酒》中的干红葡萄酒相关指标的限量要求，说明该葡萄酒的发酵及陈酿过程的监管良好，且单宁处理没有给酒质带来负面影响。各组

葡萄酒残糖质量浓度 $<4\text{ g/L}$ 、乙醇体积分数 $>12\%$ 、pH值在 $3.64\sim 3.76$ 之间,即产品类型符合实验要求。SD组和SN组总酸含量均显著低于CK组($P<0.05$),说明单宁处理可以降低葡萄酒的总酸含量,这可能与单宁中酚羟基通过氢键或疏水作用与酒中游离有机酸结合形成复合物,进而降低了可滴定酸浓度有关^[20];其中,SD组总酸普遍高于SN组,说明葡萄皮单宁与有机酸的结合能力较强,对葡萄酒总酸含量有较大影响。挥发酸含量是评估葡萄酒健康状况的关键指标,其升高通常提示可能存在微生物污染或氧化过度等问题。SD组和SN组挥发酸含量均显著低于CK组($P<0.05$),说明添加单宁能够有效控制挥发酸含量上升,李其其等^[21]的研究也发现添加SD和SN可以降低葡萄酒中挥发酸含量;究其原因,一方面与单宁通过抗氧化作用减少乙醇氧化有关,另一方面可能与单宁抑制催化乙酸形成的细菌乙醇脱氢酶活性有关^[22]。因此,添加单宁对于稳定酒质具有积极作用,且各组总体情况满足后续测定的基本要求。

表2 赤霞珠干红葡萄酒的基础理化指标
Table 2 Basic physicochemical indexes of Cabernet Sauvignon dry red wine

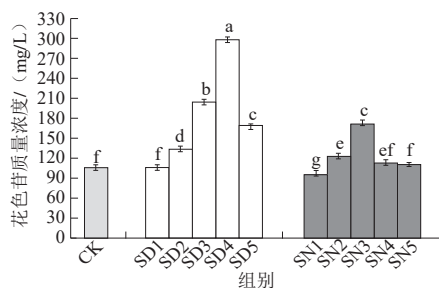
组别	编号	乙醇体积分数/%	总酸质量浓度/(g/L)	挥发酸质量浓度/(g/L)	残糖质量浓度/(g/L)	pH
对照	CK	12.61 ± 0.03^a	6.93 ± 0.02^a	0.58 ± 0.01^a	3.30 ± 0.02^a	3.64 ± 0.02^a
	SD1	12.60 ± 0.14^a	6.74 ± 0.02^b	0.46 ± 0.01^b	3.30 ± 0.02^a	3.71 ± 0.02^a
	SD2	12.63 ± 0.07^a	6.74 ± 0.02^b	0.50 ± 0.01^b	3.38 ± 0.02^a	3.70 ± 0.01^a
SD组	SD3	12.88 ± 0.08^a	6.85 ± 0.02^b	0.46 ± 0.01^b	3.36 ± 0.03^a	3.65 ± 0.02^a
	SD4	12.61 ± 0.03^a	6.84 ± 0.03^b	0.47 ± 0.02^b	3.36 ± 0.02^a	3.65 ± 0.02^a
	SD5	12.60 ± 0.14^a	6.77 ± 0.02^b	0.54 ± 0.02^{ab}	3.40 ± 0.02^a	3.68 ± 0.02^a
	SN1	12.63 ± 0.11^a	6.48 ± 0.02^c	0.35 ± 0.02^d	3.35 ± 0.02^a	3.76 ± 0.02^b
	SN2	12.03 ± 0.05^c	6.48 ± 0.02^c	0.44 ± 0.02^{bc}	3.28 ± 0.02^{ab}	3.75 ± 0.02^b
SN组	SN3	12.41 ± 0.12^b	6.55 ± 0.02^d	0.41 ± 0.03^c	3.25 ± 0.01^b	3.68 ± 0.01^a
	SN4	12.57 ± 0.06^b	6.68 ± 0.03^c	0.49 ± 0.02^b	3.21 ± 0.02^b	3.66 ± 0.02^a
	SN5	12.45 ± 0.03^b	6.76 ± 0.03^b	0.46 ± 0.01^b	3.18 ± 0.02^b	3.65 ± 0.01^a
GB/T 15037		≥ 8.0	/	≤ 1.2	≤ 4.0	/

注: 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$, $n=3$); / 无限量要求。

2.2 葡萄酒中花色苷含量分析

花色苷是红葡萄酒呈色、稳定和营养功能的重要物质基础,但在陈酿期间会因为多种因素而发生结构变化,由此影响葡萄酒颜色特征和综合品质。各组葡萄酒总花色苷含量的测定结果见图1。SD组和SN组葡萄酒的花色苷含量均随着单宁添加量的增加呈先上升后下降趋势,说明单宁对葡萄酒花色苷含量的影响与其添加量密切相关,这与前人的研究结果^[23]一致。SD1与CK组花色苷含量无显著差异($P>0.05$),SN1组低于CK组,说明2种单宁在低添加量(80 mg/L)下无法阻止陈酿期间花色苷的降解损失;SN4、SN5组与CK组无显著差异($P>0.05$),说明高质量浓度(320 mg/L)葡萄皮单宁处理对于稳定花色苷含量并无积极意义。其余各组花

色苷含量均显著高于CK组($P<0.05$),按含量排序为 $SD4>SD3>SD5=SN3>SD2>SN2$,SD4组花色苷质量浓度($(298.07\pm 2.22)\text{ mg/L}$)是CK组的2.81倍、其次为SD3组(1.92倍),而SD5组与SN3组无显著差异($P>0.05$),说明葡萄籽单宁保护酒中花色苷的效果更佳,究其原因可能与其特殊的分子结构有关。葡萄籽单宁分子链较长且含有丰富的酚羟基,长链结构呈现出更多的花色苷结合位点,更易形成稳定的花色苷-单宁辅色复合物,从而避免FA的降解损失^[24]。



小写字母不同表示组间差异显著($P<0.05$)。

图1 单宁处理对葡萄酒总花色苷含量的影响

Fig. 1 Effect of tannin treatment on the total anthoc content in yanin wine

2.3 葡萄酒中花色苷形态比率分析

陈酿期间葡萄酒花色苷形态分布的差异性是导致其颜色变化的主要原因之一。各组葡萄酒花色苷形态比率测定结果见图2。

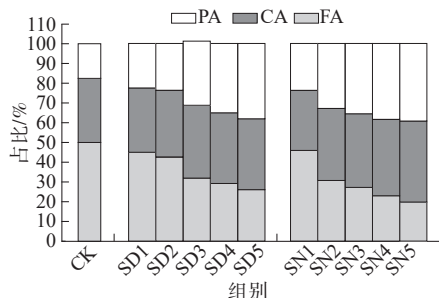


图2 单宁处理对葡萄酒中花色苷比率的影响

Fig. 2 Effect of tannin treatment on the anthocyanin ratio in wine

由图2可知,CK组和实验组之间的花色苷形态比率存在明显差异,各实验组花色苷的游离化率(FA占比)均低于CK组、辅色化率(CA占比)和聚合化率(PA占比)则均高于CK组,说明单宁处理会促进花色苷由游离态过渡为复合态,这一方面是单宁可与FA之间发生辅色作用形成稳定的单宁-花色苷复合物^[7];另一方面是高浓度的CA能够进一步与酚类物质通过烷基基团连接形成聚合物^[25]。由于FA、CA和PA具有明显的呈色差异性^[3,7],推测添加2种葡萄源单宁都会因改变葡萄酒中花色苷形态分布而影响其颜色类型及稳定性。具体而言,SD组的

CA占比先上升后平稳、PA占比呈逐渐上升趋势, SN组的CA占比和PA占比均逐渐上升; 由此证实添加两种葡萄源单宁均会产生辅色作用, 且作用强度呈现出一定的浓度依赖性。此外, 辅色作用产生的大量CA还会进一步向PA形式转化^[11,15,25], 这是SD和SN组内PA占比逐渐上升的主要原因之一。由于PA具有抗水化和抗SO₂漂白的能力^[26], 进而表现出良好的结构及呈色稳定性。对比而言, SD3组的花色苷比率分布较为均衡, FA、CA和PA占比依次为30.19%、38.2%和32.68%, 即CA占比略高于FA和PA, 推测会赋予红葡萄酒良好的颜色浓郁度、稳定性和层次感, 其次为SD4组和SN3组。由于花色苷含量及其形态是影响葡萄酒颜色特征的两大主要原因, 结合2.2节中结果推断可知, 具有较高总花色苷含量的SD4组葡萄酒可能拥有更深邃的颜色特征, 其次为SD3组。

2.4 葡萄酒颜色特征分析

CIELab空间参数可系统全面反映葡萄酒的颜色特征; 其中 L^* 表示明度, 数值越大则颜色越亮; a^* 体现红/绿程度, $a^*>0$ 时偏向红色; b^* 反映黄/蓝程度, $b^*>0$ 时偏向黄色; C_{ab}^* 代表彩度, 该值越大则饱和度越高; h_{ab} 值为色调, 反映色泽在红/黄色之间的比例, 葡萄酒的 h_{ab} 值一般介于0~90°之间, 越接近0代表酒液越红; ΔE_{ab}^* 代表色差, 反映不同颜色刺激大脑产生的视觉差别, 该值越小表示样品间的颜色越相近^[3,27-28]。各组葡萄酒的CIELab颜色指标测定结果见图3。

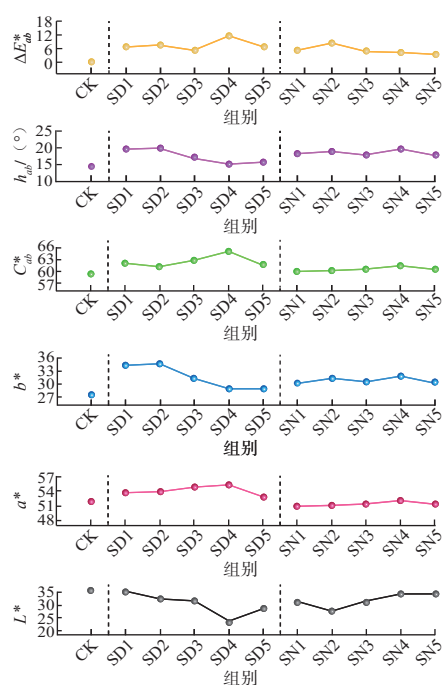


图3 单宁处理对葡萄酒CIELab颜色特征的影响

Fig. 3 Effect of tannin treatment on the CIELab characteristics of color wine

2.4.1 葡萄酒颜色参数 L^* 、 a^* 和 b^* 分析

由图3可知, 各实验组葡萄酒的 L^* 均低于CK组, 说明两种单宁处理均可以减弱酒体颜色浅色化程度, 其他学者的研究^[16,29]也证实了这一观点, 这是由于外源单宁可使乙醛诱导单宁/花色苷反应生成紫色乙桥类物质, 同时减少FA降解损失, 有利于稳定和加深葡萄酒的颜色^[30]; L^* 承载的信息与2.2节和2.3节中的结果相印证。具体而言, SD4组 L^* 值为组间最小(23.85), 为CK组的67.8%、其次为SD5(81.3%)和SN2组(78.1%), 说明SD和SN分别在较高和较低添加量下可以起到稳定葡萄酒颜色浓度的作用, 尤其以320 mg/L葡萄籽单宁添加量组最佳, 该组葡萄酒呈现出更深邃浓郁的颜色特征。就红/黄分布特征而言, SD组的 a^* 高于CK组, 说明添加葡萄籽单宁可赋予葡萄酒更强抗红色衰退能力, 这与前人的研究^[31-32]相符, 这也是辅色作用导致的增色和红移变化的结果^[33], 究其原因可能与葡萄籽单宁的特殊分子结构有关, 其更多的共轭C=C双键和酚羟基结构易通过辅色作用产生呈色更红且稳定的单宁-花色苷复合物; SN组的 a^* 均低于CK组, 说明添加葡萄皮单宁可以弱化葡萄酒的红色程度, 与孙佳莹等^[34]的研究结论相似, 这可能与葡萄皮单宁更易介导花色苷的聚合作用有关; 另外, 各实验组的 b^* 均高于CK组, 说明添加单宁促使葡萄酒出现黄色特征, 这可能也与单宁介导形成PA有关, 与2.2节中信息基本相符。综合而言, 各SN处理组的红调较弱且黄色较强、颜色较浅, 这主要与其总花色苷含量较低有关; 各SD组颜色特征差异较大, 其中SD4组的红色最强($a^*=55.10$)、黄色相对较弱($b^*=28.83$)、颜色最为浓郁($L^*=23.85$), 表现出最佳的颜色品质。

2.4.2 葡萄酒颜色参数 C_{ab}^* 、 h_{ab} 和 ΔE_{ab}^* 分析

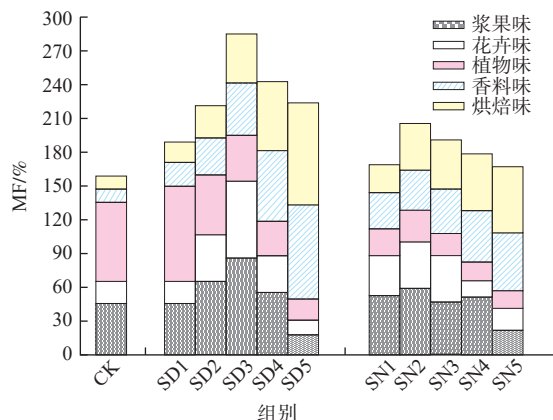
由图3可知, SD组的 C_{ab}^* 值均高于CK组, SN组则接近于CK组且组内差异不大, 说明葡萄籽单宁可以有效提升葡萄酒的颜色集中度; SD组 C_{ab}^* 值与 a^* 变化趋势相同, 即单宁可提高葡萄酒的红色色调, 从而起到提高其色彩饱和度的作用。相较而言, SD4组 C_{ab}^* 值最大(65.08), 颜色饱和度最高, 其次为SD5和SD3组。各实验组 h_{ab} 值都高于CK组, 与 b^* 变化趋势一致, 进一步说明发酵结束后添加单宁可以加强葡萄酒的黄色特征, 李运奎等^[3]的研究也印证了此观点; 分析原因可能与陈酿期间单宁介导形成的吡喃花色苷和PA结构有关^[35-36]。葡萄酒 h_{ab} 值在0~10°之间为紫红、10~20°之间为胭脂红、20~30°之间为宝石红^[37], 因此, SD3~SD5组葡萄酒均为胭脂红, 其中SD4组 h_{ab} 值更小(17.64°)、颜色更红, 其次为SD5组和SD3组; 其余各实验组则均为宝石红; 这与 a^* 、 b^* 所示信息相符。各实验组 ΔE_{ab}^* 值均大于0, 说明2种葡萄源单宁均可以使葡萄酒的颜色发生变化, 该变化由酒中花色苷含量及其形态分布直接决定, 究其原因还是与单宁

的抗氧化、辅色以及聚合等作用息息相关。根据文献报道^[18,27-28], ΔE_{ab}^* 值大于3表明样品间的颜色差异可通过肉眼直接辨识, 该研究中除了SN5组外, 其余各组 ΔE_{ab}^* 值均大于3, 说明SD1~SD5、SN1~SN4组的颜色都可以从视觉上区分于CK组, 其中SD4组与CK组的色差最大($\Delta E_{ab}^* = 11.69$), 其次为SN2组; 这种差异主要体现在 L^* 和 C_{ab}^* 值引起的颜色差异上, 而 h_{ab} 变化对总 ΔE_{ab}^* 值影响较弱^[38]。

综上可知, 陈酿期间添加上述两种葡萄源单宁均可以产生不同程度辅色作用, SD组有较高的 a^* 、 C_{ab}^* 值和 ΔE_{ab}^* 值, 表现出更明显的辅助增色效应; 其中, SD4组 a^* 、 C_{ab}^* 和 ΔE_{ab}^* 值组间最大、且其 b^* 、 L^* 和 h_{ab} 值相对最小, 具有深邃浓郁、集中饱满的红色特征, 表现出更强的抗褪色能力和耐储性。

2.5 葡萄酒香气特征的分析

单宁是葡萄酒中重要的非挥发性基质成分, 能够与香气化合物之间通过疏水作用、 π - π 堆叠作用而改变其挥发能力, 进而影响消费者对香气的感知程度^[39-40]。为了综合评判2种葡萄源单宁在葡萄酒辅色领域的潜在应用价值, 对各组酒样的香气特征进行了量化测定, 结果见图4。



浆果味包括黑醋栗、黑莓、李子、红醋栗、樱桃; 花卉味包括山楂花、紫罗兰、藏红花; 生青味包括青草、雪松、青椒; 香料味包括桂皮、香草、胡椒; 烘焙味包括蜂蜜、咖啡、焦糖、黑巧克力。

图4 单宁处理对葡萄酒香气强度的影响

Fig. 4 Effect of tannin treatment on the aroma MF value of wine

由图4可知, 各实验组的总香气MF值较CK组都有所增加, 且各组5种不同类型香气的MF值也呈现了一定差异性, 说明2种葡萄源单宁均可以影响葡萄酒香气浓度和复杂度, 其影响程度与单宁添加量有关, 这与前人的观点^[41]一致。SD组和SN组的香料味和烘焙味MF值均高于CK组、植物味MF值均弱于CK组, 白晓璇等^[42]的研究也得出了相似的结论, 该研究发现添加葡萄籽单宁降低了赤霞珠干红葡萄酒的生青味、增强了烘烤香。两种单宁添加量与葡萄酒中香料味及烘焙味强度成正比、与植

物味强度成反比, 说明随着单宁添加量的增加, 葡萄酒香气的成熟度上升而生青味逐渐下降, 这可能是由于添加单宁引起酚类组成及含量变化, 改变了酒中氧化还原电势, 进而调节了陈酿期间的香气演变路径^[43]。浆果味和花卉味是葡萄酒中的一类香气, 主要来源于酿制阶段的浸皮环节。随着单宁添加量的增加, SD组和SN组一类香气MF值均呈现先增强后减弱趋势, 其中SD1~SD4组、SN1~SN2组浆果味MF值均高于CK组; SD1~SD4组、SN1~SN2组的花卉味MF值均强于CK组, 高单宁添加量下葡萄酒中一类香气强度的降低可能与烘烤类香气带来的掩盖作用有关^[44], 也可能是单宁与香气物质之间产生了更强互作而减弱了一类香气挥发性所致^[41], 进而减弱其香气感知强度。与SN组相比较而言, SD组总MF值及各种香气MF值变化幅度较大, 说明添加葡萄籽单宁对葡萄酒香气会产生更显著的影响, Chen Kai等^[45]的研究也证实添加葡萄籽单宁(尤其在较低剂量下)可以一定程度上提高葡萄酒的稳定性和香气复杂度; 这可能与其特殊的分子结构及性质所导致的差异性作用方式有关^[41]。充足的浆果味和花卉味能使葡萄酒的香气轻松愉悦, 适度的植物味、香料味和烘焙味均可以凸显香气的成熟度、层次感及复杂度, 但是厚重植物味会使香气青涩、强烈烘焙及香料味会使香气沉闷。综上可知, SD3组的整体香气品质最好, 表现出良好的香气浓郁度、层次感和复杂度, 其次为SD4组。

2.6 葡萄酒口感特征分析

单宁对葡萄酒的结构感、饱满度、协调性及陈酿潜力都有重要影响^[16]; 在探究单宁在红葡萄酒中的辅色作用时, 其对葡萄酒口感特征的影响不容忽视。各组葡萄酒的主要口感特征测定结果见图5。

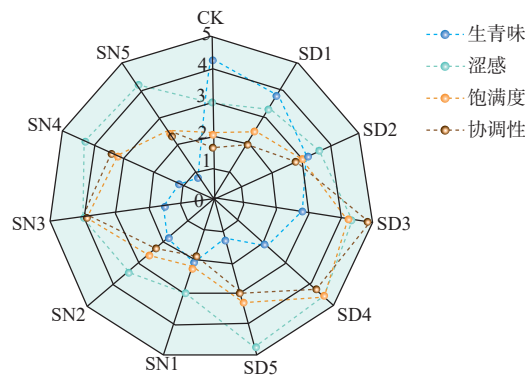


图5 单宁处理对葡萄酒口感特征的影响

Fig. 5 Effect of tannin treatment on the oral characteristics of wine

由图5可知, 各实验组的生青味均弱于CK组, 且弱化程度与单宁添加量成正比, 这与2.5节中分析结果一致, 究其原因与单宁减弱葡萄酒中植物味有关。涩感是评判葡萄酒口感(品质)优劣的关键指标之一, 它是由

单宁与唾液蛋白结合而产生的口腔黏膜粗糙感,二者结合程度越大、则涩感越强。如图5所示,各实验组的涩感均强于CK组,这与Harbertson等^[46]的研究结论一致,该研究证实向赤霞珠和美乐干红葡萄酒中添加单宁能明显增强葡萄酒的涩感和收敛性;房楠楠^[16]、王文璇^[47]等也得出了相似的结论。此外,SD组和SN组的涩感均呈组内上升趋势,即2种葡萄源单宁在实验质量浓度范围内,葡萄酒的涩感会随着添加量的上升而加强。就饱满度来说,CK组均低于各实验组,说明添加单宁可以强化酒体结构感,这可能是提高了葡萄酒中总酚含量的所致^[48];随着单宁添加量的增加,SD组和SN组的饱满度均呈组内先上升后降低趋势,以SD4组饱满度最佳,这与Fredrickson等^[49]的研究基本相符,该研究发现添加400 mg/L外源单宁可以强化葡萄酒的结构感及饱满度;其次为SD3和SN3组,说明两种葡萄源单宁对酒体的影响与添加量密切相关。葡萄酒的协调性(平衡性)是评判其品质的重要指标,该指标可以综合反映葡萄酒中各类香气、不同口感特征、香气与口感之间的均衡程度。在整体协调性方面,CK组弱于各实验组,进一步证实了添加外源单宁可以改善葡萄酒品质,前人的研究^[45]也印证了此观点;其中,以SD3组的协调性最好、综合品质最佳,其次为SD4和SN3组。综上所述,添加240~320 mg/L葡萄籽单宁可以有效改善葡萄酒的综合品质,葡萄酒呈现出适中涩度、较弱生青味、较高饱满度和平衡性。

3 结 论

该研究系统探究了葡萄籽单宁和葡萄皮单宁的红葡萄酒辅色效应。添加2种单宁均能够通过控制挥发酸含量而保护酒质,且未对其他基础理化指标产生不良影响,这是继续探究辅色作用的前提条件。结果发现:2种葡萄源单宁均可以影响葡萄酒中花色苷含量,其影响程度与单宁添加量有关;其中,SD4组的花色苷质量浓度((298.07 ± 2.22) mg/L)达对照组(CK)的2.81倍,其次为SD3组的1.93倍;与此同时,两种单宁也能够促使花色苷由游离态向辅色态与聚合态转化,在理论上增强了葡萄酒颜色的光化学稳定性。颜色指标进一步表明,所有单宁处理组均降低了葡萄酒的 L^* ,增强了颜色深度;SD组 a^* 值和 C_{ab}^* 值高于对照组,表明其具有较强的抗红色衰减作用,有助于形成深邃、饱满的红色调,尤以SD4组效果最佳。在感官特征方面,两种单宁均能上调葡萄酒中香料味与烘焙味并抑制植物味,对一类香气则呈现“先升后降”的剂量效应,SD3组表现出最佳的香气层次性与浓郁度,其次为SD4组;此外,SD3组

有效改善了葡萄酒的生青味、饱满度和口感协调性,其次是SD4组。综上,在乙醇发酵后添加适量葡萄籽单宁(240~320 mg/L)可以稳定陈酿期间赤霞珠干红葡萄酒颜色品质,同时兼具感官品质修饰与酒质保护的作用;因此,葡萄籽单宁作为辅色素在葡萄酒生产领域(尤其炎热产区)具备一定的推广应用价值。

参考文献:

- [1] LYU J H, CHEN S, NIE Y, et al. Aroma release during wine consumption: factors and analytical approaches[J]. Food Chem, 2021, 346: 128957.
- [2] 陶永胜, 张莉. 不同种类红葡萄酒CIELab参数与花色苷化合物的相关分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(20): 4271-4277.
- [3] 李运奎, 张煜, 范舒悦, 等. 外源多酚添加条件下干红葡萄酒颜色和花色苷特性研究[J]. 农业机械学报, 2023, 54(4): 399-406.
- [4] MA T T, WANG J Q, WANG H L, et al. Wine aging and artificial simulated wine aging: technologies, applications, challenges, and perspectives[J]. Food Res Int, 2022, 153: 110953.
- [5] CHEN Y P, BELWAL T, XU Y Q, et al. Updated insights into anthocyanin stability behavior from bases to cases: why and why not anthocyanins lose during food processing[J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2023, 63(27): 8639-8671.
- [6] ZHANG B, WANG X Q, YANG B, et al. Copigmentation evidence of phenolic compound: the effect of caffeic and rosmarinic acids addition on the chromatic quality and phenolic composition of Cabernet Sauvignon red wine from the Hexi Corridor region (China)[J]. J Food Compos Anal, 2021, 102: 104037.
- [7] 刘霞, 邢佳雨, 冯敬雯, 等. 红葡萄酒辅助呈色作用研究进展[J]. 中国酿造, 2023, 42(11): 9-14.
- [8] SUN X Y, SHOKRI S, GAO B H, et al. Improving effects of three selected co-pigments on fermentation, color stability, and anthocyanins content of blueberry wine[J]. LWT-Food Sci Technol, 2022, 156: 113070.
- [9] BOULTON R. The copigmentation of anthocyanins and its role in the color of red wine: a critical review[J]. Am J Enol Vitic, 2001, 52(2): 67-87.
- [10] FORINO M, GAMBUTI A, LUCIANO P, et al. The malvidin-3-O-glucoside chemical behavior in the wine pH range[J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(4): 1222-1229.
- [11] BROUILLARD R, DANGLES O. Anthocyanin molecular interactions: the first step in the formation of new pigments during wine aging?[J]. Food Chem, 1994, 51(4): 365-371.
- [12] BARANAC J M, PETERANOVIC N A, DIMITRIC MARKOVIC J M. Spectrophotometric study of anthocyan copigmentation reactions[J]. J Agric Food Chem, 1996, 44(5): 1333-1336.
- [13] HERAS-ROGER J, DÍAZ-ROMERO C, DARIAS-MARTIN J. What gives a wine its strong red color? Main correlations affecting copigmentation[J]. J Agric Food Chem, 2016, 64(34): 6567-6574.
- [14] 李宁宁, 张波, 牛见明, 等. 发酵前咖啡酸和迷迭香酸添加对干红葡萄酒颜色与香气的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(10): 132-140.
- [15] 王晓月, 张珊珊, 张欣珂, 等. 发酵前添加黄酮醇类辅色素对‘赤霞珠’干红葡萄酒颜色品质及多酚组成的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(18): 188-195.
- [16] 房楠楠, 王二伟, 周瑶, 等. 单宁添加配套工艺对赤霞珠干红葡萄酒品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(23): 86-94.

- [17] 蔚祎, 韩舜愈, 张波, 等. 单一pH法、pH示差法和差减法快速测定干红葡萄酒中总花色苷含量的比较[J]. 食品工业科技, 2021, 33(23): 323-325.
- [18] 曹鹏, 张波, 张欣珂, 等. 陈酿前添加咖啡酸对干红葡萄酒颜色品质及多酚构成的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(7): 153-160.
- [19] 刘霞, 朱涛涛, 贾玉莹, 等. 河西走廊产区赤霞珠干红葡萄酒陈酿过程香气特征分析[J]. 中国酿造, 2024, 43(8): 106-114.
- [20] 蒋宝, 蒲飞, 孙占育, 等. 海拔对酿酒葡萄果实和相应葡萄酒中多酚物质影响的研究概述[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(8): 262-267.
- [21] 李其其, 田一秀, 杨赵朝阳, 等. 发酵前添加不同皮渣单宁组分替代二氧化硫对葡萄酒风味品质的影响[J]. 食品科学, 2025, 46(20): 242-249.
- [22] VIGNAULT A, PASCUAL O, GOMBAU J, et al. New insight about the functionality of oenological tannins; main results of the working group on oenological tannins[J]. BIO Web of Conferences, 2019, 12: 02005.
- [23] GOMBAU J, VIGNAULT A, PASCUAL O, et al. Influence of oenological tannins on malvidin-3-O-monoglucoside copigmentation in a model wine solution[J]. OENO One, 2019, 53(3): 531-547.
- [24] CANUTI V, PUCCIONI S, GIOVANI G, et al. Effect of oenotannin addition on the composition of Sangiovese wines from grapes with different characteristics[J]. Am J Enol Viticult, 2012, 63(2): 220-231.
- [25] PAISSONI M A, SEGADÉ S R, CARRERO-CARRALERO C, et al. Role of anthocyanin traits on the impact of oenological tannins addition in the first stage of red winegrape skin simulated maceration[J]. Food Chem, 2020, 320: 1-12.
- [26] 张欣珂, 赵旭, 成池芳, 等. 葡萄酒中的酚类物质I: 种类、结构及其检测方法研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(15): 255-268.
- [27] 汤晓宏, 丁燕, 高德艳, 等. 基于CIELab色空间法分析海底陈酿对葡萄酒色泽的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2022, 245(5): 88-92.
- [28] TCHABO W, MA Y K, KWAU E, et al. Statistical interpretation of chromatic indicators in correlation to phytochemical profile of a sulfur dioxide-free mulberry (*Morus nigra*) wine submitted to non-thermal maturation processes[J]. Food Chem, 2018, 239: 470-477.
- [29] HJELMELAND A K, KING E S, EBELER S E, et al. Characterizing the chemical and sensory profiles of United States Cabernet Sauvignon wines and blends[J]. Am J Enol Viticult, 2013, 64(2): 169-179.
- [30] VIVAS N, GLORIES Y. Role of oak wood ellagitannins in the oxidation process of red wines during aging[J]. Am J Enol Viticult, 1996, 47(1): 103-107.
- [31] JORDÃO M A, MUXAGATA S, FONTES L, et al. Effect of the addition of different types of oenological commercial tannins on phenolic and sensorial red wine characteristics evolution[J]. BIO Web Conf, 2016, 7: 02032.
- [32] 马懿, 喻康杰, 赖晓琴, 等. 不同种类单宁对赤霞珠葡萄酒品质及风味感官的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(21): 25-33.
- [33] ZHANG B, WANG Q, ZHOU P P, et al. Copigmentation evidence of oenin with phenolic compounds: a comparative study of spectrographic, thermodynamic and theoretical data[J]. Food Chem, 2020, 313: 126163.
- [34] 孙佳莹, 郭伟, 李超. 外源性单宁对赤霞珠葡萄酒品质的影响[J]. 中国酒, 2024(9): 36-37.
- [35] SUN J X, CAO X M, BAI W B, et al. Comparative analyses of copigmentation of cyanidin 3-glucoside and cyanidin 3-sophoroside from red raspberry fruits[J]. Food Chem, 2010, 120(4): 1131-1137.
- [36] 张欣珂, 赵旭, 刘沛通, 等. 红葡萄酒的花色苷: 来源、呈色与反应[J]. 食品科学, 2023, 44(23): 342-352.
- [37] 马雪蕾, 王舒伟, 罗春风, 等. 基于CIELab参数分析发酵前添加不同橡木片对葡萄酒陈酿期间颜色的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 296-303; 309.
- [38] GORDILLO B, RODRÍGUEZ-PULIDO F J, ESCUDERO-GILETE M L, et al. Comprehensive colorimetric study of anthocyanic copigmentation in model solutions: effects of pH and molar ratio[J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(11): 2896-2905.
- [39] PEREZ-JIMÉNEZ M, ESTEBAN-FERNÁNDEZ A, MUÑOZ-GONZÁLEZ C, et al. Interactions among odorants, phenolic compounds, and oral components and their effects on wine aroma volatility[J]. Molecules, 2020, 25(7): 1-15.
- [40] 师戈图, 付建华, 吴元, 等. 单宁对葡萄酒香气前鼻和鼻后阈值的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(17): 102-107.
- [41] VILLAMOR R R, EVANS M A, SCOTT MATTINSON D, et al. Effects of ethanol, tannin and fructose on the headspace concentration and potential sensory significance of odorants in a model wine[J]. Food Res Int, 2013, 50(1): 38-45.
- [42] 白晓璇, 凌梦琪, 陈柏年, 等. 添加葡萄籽单宁对橡木桶陈酿‘赤霞珠’和‘马瑟兰’干红葡萄酒香气的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(18): 251-257.
- [43] FERREIRA V, CARRASCON V, BUENO M, et al. Oxygen consumption by red wines. Part I: consumption rates, relationship with chemical composition, and role of SO₂[J]. J Agric Food Chem, 2015, 63(51): 10928-10937.
- [44] CAMELEYRE M, LYTRA G, SCHÜTTE L, et al. Oak wood volatiles impact on red wine fruity aroma perception in various matrices[J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(47): 13319-13330.
- [45] CHEN K, ESCOTT C, LOIRA I, et al. The effects of pre-fermentative addition of oenological tannins on wine components and sensorial qualities of red wine[J]. Molecules, 2016, 21(11): 1445-1452.
- [46] HARBERTSON J F, PARPINELLO G P, HEYMANN H, et al. Impact of exogenous tannin additions on wine chemistry and wine sensory character[J]. Food Chem, 2012, 131(3): 999-1008.
- [47] 王文璇, 董荣, 慕静怡, 等. 不同单宁提升赤霞珠干红葡萄酒品质的比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 270-276.
- [48] 董喆. 多酚氧化酶对“关口葡萄”干白葡萄酒氧化褐变影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
- [49] FREDRICKSON A J, MANNS D C, MANSFIELD A K. Addition rate of exogenous tannin for optimal tannin retention in hybrid red wines[J]. Am J Enol Viticult, 2020, 71(1): 62-69.