

# 游离 $\text{SO}_2$ 、溶解氧浓度对葡萄酒颜色及花色苷含量的影响

Effects of different concentrations of free  $\text{SO}_2$  and dissolved oxygen on wine color and anthocyanins content

彭 昕 杨兴元 艾赛提·阿合旦 杨 凡 李泽涵 李函伦

PENG Xin YANG Xing-yuan ASAT·Ahtam YANG Fan LI Ze-han LI Han-lun

(新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆 乌鲁木齐 830001)

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830001, China)

**摘要:**目的:探索不同浓度溶解氧与游离  $\text{SO}_2$  对赤霞珠干红葡萄酒在陈酿中的颜色及相关参数的影响。方法:以新疆吐鲁番鄯善县新葡王酒庄赤霞珠干红葡萄酒为酿制试材,在葡萄酒陈酿过程中通过添加不同浓度的游离  $\text{SO}_2$  与溶解氧,观察其对葡萄酒色度、色调和花色苷含量等指标的影响。结果:溶解氧与游离  $\text{SO}_2$  浓度较低时葡萄酒呈鲜艳的酒红色,充氧量为  $2 \text{ mg}/(\text{L} \cdot 30 \text{ d})$  时可促进葡萄酒中花色苷、单宁适度聚合,改善葡萄酒品质;游离  $\text{SO}_2$  质量浓度为  $15 \sim 30 \text{ mg}/\text{L}$  时对葡萄酒的色调值影响不大,但对色度影响较为明显,超过  $30 \text{ mg}/\text{L}$  时会使葡萄酒的酒颜色逐渐显橙色。结论:赤霞珠干红葡萄酒陈酿的适宜游离  $\text{SO}_2$  质量浓度为  $25 \text{ mg}/\text{L}$ ,充氧量为  $2 \text{ mg}/(\text{L} \cdot 30 \text{ d})$ 。

**关键词:**游离  $\text{SO}_2$ ;溶解氧;葡萄酒;陈酿;花色苷;色度

**Abstract:** Objective: This study aimed to explore the effects of different concentrations of dissolved oxygen and free  $\text{SO}_2$  on the color and related parameters of Cabernet Sauvignon dry red wine during aging, and to provide basic data for enterprises to improve the aging process of Cabernet Sauvignon dry red wine. Methods: Cabernet Sauvignon dry red wine from Xinpuwang Winery in Shanshan County, Turpan, Xinjiang was used as the brewing material. The effects of different concentrations of free  $\text{SO}_2$  and dissolved oxygen on wine color, hue and anthocyanin content were observed during wine aging. Results: The wine was bright red when the concentration of dissolved oxygen and free  $\text{SO}_2$  was low. When the content of oxygen was  $2 \text{ mg}/(\text{L} \cdot 30 \text{ d})$ , the moderate polymerization of anthocyanin and tannin in wine was pro-

moted, and the quality of the wine was improved. When the concentration of free  $\text{SO}_2$  was  $15 \sim 30 \text{ mg}/\text{L}$ , it had little effect on the hue value of grape wine, but it had an obvious effect on the color. When the concentration of free  $\text{SO}_2$  was more than  $30 \text{ mg}/\text{L}$ , the color of grape wine gradually became orange. Conclusion: The suitable concentration of free  $\text{SO}_2$  for Cabernet Sauvignon dry red wine aging was  $25 \text{ mg}/\text{L}$ , and the oxygen content was  $2 \text{ mg}/(\text{L} \cdot 30 \text{ d})$ .

**Keywords:** free  $\text{SO}_2$ ; dissolved oxygen; wine; brewing; wine color; anthocyanins

葡萄酒是营养价值很高的酒精饮料<sup>[1]</sup>,特别是红葡萄酒,含有丰富的酚类物质,有很强的抗氧化性,能有效清除体内的活性氧自由基,有预防心血管疾病、抗菌、抗病毒、抗癌等功效<sup>[2-4]</sup>。

葡萄酒适度接触氧气有利于其酒质的提升,但过量的氧又会导致其风味物质减少,颜色不稳定,口感变差<sup>[5-6]</sup>。Maurizio 等<sup>[7]</sup>研究发现经过连续 2 个月的微氧处理( $2 \text{ mL}/\text{L}$ )后,可保持葡萄酒的总酚和总花色苷的含量,而对于颜色稳定性尚缺乏研究。中国的酿酒工程师会兼顾游离  $\text{SO}_2$  含量来进行葡萄酒陈酿管理,但关于游离  $\text{SO}_2$  对葡萄酒颜色稳定性的研究仍十分缺乏。

由于  $\text{SO}_2$  具有强还原性,因此氧化脱色的能力也随之而来<sup>[8]</sup>。同时氧的存在会促进游离花色苷与其他酚类物质结合,形成性质更稳定、呈色强度更高的物质<sup>[9]</sup>。研究拟考察不同浓度的游离  $\text{SO}_2$ 、溶解氧(DO)含量对葡萄酒色度、色调、总花色苷含量的影响,以期为企业改进赤霞珠干红葡萄酒的陈酿工艺提供基础试验数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

2019 年份赤霞珠干红葡萄酒(A)、2015 年份赤霞珠干红葡萄酒(B):陈酿于  $100 \text{ t}$  不锈钢大罐(高  $10 \text{ m}$ ,直径

基金项目:新疆科协“自治区专家服务基层”项目(编号:xjks2021023)

作者简介:彭昕,男,新疆农业大学在读硕士研究生。

通信作者:杨兴元(1966—),男,新疆农业大学教授,博士。

E-mail:402114241@qq.com

收稿日期:2022-04-14

改回日期:2022-09-15

3.6 m),新疆维吾尔自治区鄯善县新葡王酒庄;

2020 年份赤霞珠干红葡萄酒(C):陈酿于 0.25 t 不锈钢发酵罐(直径 0.6 m 高 0.9 m),新疆维吾尔自治区鄯善县新葡王酒庄;

氢氧化钠、无水碳酸钠、磷酸、过氧化氢溶液:分析纯,天津市致远化学试剂有限公司;

硫代硫酸钠、淀粉:分析纯,天津市鑫铂特化工有限公司。

## 1.2 仪器与设备

紫外分光光度计:TU-1900 型,北京普析通用仪器责任有限公司;

电子天平:JJ200 型,常熟市双杰测试仪器厂;

多功能葡萄酒分析仪:Foss WineScan 型,福斯华(北京)科贸有限公司;

充氧仪:SDSCY10 微型,济南金君电子科技有限公司。

## 1.3 方法

1.3.1 游离  $\text{SO}_2$  溶液处理 将样品 C 混匀后,分装于 5 L 储酒罐,分别按游离  $\text{SO}_2$  质量浓度为 15,20,25,30,35,40,45 mg/L 的量加入偏重亚硫酸钾,所得样品依次编号为 C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7。以未作处理的样品为对照(CK)。各样品置于 20 °C 控温箱中贮存备用。

1.3.2 溶解氧处理 将样品 C 混匀后,分装于 5 L 储酒罐,分别按 1,2,3,4 mg/(L · 30 d) 的充氧量微氧处理 90 d,所得样品依次编号为 DC1、DC2、DC3、DC4 以未进行充氧处理的样品为对照(DCK)。

1.3.3 总花色苷的测定 采用 pH 示差法<sup>[10]</sup>。取待测样品 0.2 mL 分别用 pH 4.5 (0.2 mol/L  $\text{NaCO}_3$  缓冲液)和 pH 1.0 (0.2 mol/L KCl 缓冲液)稀释,静置 100 min,在 510 nm 和 700 nm 处测定两种样品的吸光度。根据式(1)计算样品总花色苷含量。

$$\rho = (\Delta A_{\text{pH } 1.0} - \Delta A_{\text{pH } 4.5}) \times 449.2 \times 10 \times 100 / 26\,900, \quad (1)$$

式中:

$\rho$ ——样品总花色苷的质量浓度,mg/L;

$\Delta A_{\text{pH } 1.0}$ ——样品处于 pH 1.0 缓冲溶液时分别在 510 nm 和 700 nm 处的吸光值之差;

$\Delta A_{\text{pH } 4.5}$ ——样品处于 pH 4.5 缓冲溶液时分别在 510 nm 和 700 nm 处的吸光值之差;

449.2——矢车菊素-3-O-葡萄糖苷的摩尔质量,g/mol;

10——稀释倍数;

26 900——矢车菊素-3-O-葡萄糖苷的摩尔消光系数,L/(mol · cm)。

100 t 罐中不同液位总花色苷含量的变化检测:以导管和 500 mL 注射器,通过抽空气法在不同液位采取 3 个点点位的样品,每 4 个月进行 1 次检测分析其总花色苷含量。

1.3.4 色度及色调的计算 样品静止 24 h 后,经 0.45  $\mu\text{m}$  孔径的滤纸过滤,以水做空白对比(测定前经 0.45  $\mu\text{m}$  孔径的滤纸过滤),用 pH 3 的磷酸氢二钠—柠檬酸缓冲液稀释 10 倍,装入比色杯中使用分光光度计分别在 420 nm 和 520 nm 处比色。

色度:将稀释样品倒入 1 cm 比色皿中,在 420,520,620 nm 下分别测定其吸光值,三者之和即为该样品的色度。色调:420 nm 与 520 nm 吸光值之比。

## 1.3.5 总多酚含量的测定

(1) 没食子酸对照品溶液的制备:精密称取没食子酸 0.01 g 于 100 mL 容量瓶中,用蒸馏水定容,即为 0.1 mg/mL 的没食子酸对照品溶液备用。

(2) 没食子酸标准曲线的绘制:精密吸取 1.0,2.0,3.0,4.0,5.0 mL 没食子酸对照品溶液,用蒸馏水定容至 10 mL。从各溶液中吸取 1 mL 于 10 mL 量瓶内,加 5 mL 蒸馏水,摇匀,加入福林酚试剂 0.5 mL,充分摇匀,加 10% 碳酸钠溶液 1.5 mL,混匀,加水定容,混匀后于 30 °C 下避光反应 2 h,于 765 nm 处测得吸光度。其标准曲线如图 1 所示。

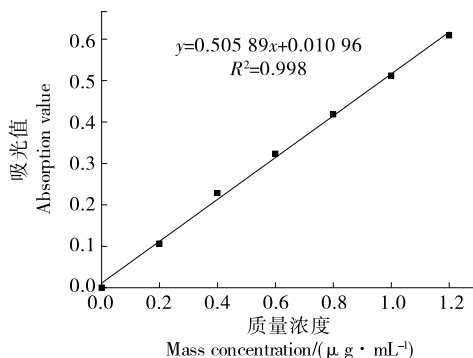


图 1 没食子酸标准曲线

Figure 1 The standard curve of gallic acid

(3) 葡萄酒溶液总酚的测定:每个深度酒样各取 1 mL,用蒸馏水补充至 10 mL。从各溶液中吸取 1 mL 于 10 mL 量瓶内,加 5 mL 蒸馏水,摇匀,加入福林酚试剂 0.5 mL,充分摇匀,加 10% 碳酸钠溶液 1.5 mL,混匀,加水定容,混匀后于 30 °C 下避光反应 2 h,于 765 nm 处测得吸光度并代入回归方程计算含量。

1.3.6 颜色分析 在试验过程中,记录各阶段葡萄酒颜色的变化。

1.3.7 葡萄酒基础理化分析  $\text{SO}_2$  含量根据《葡萄酒、果酒通用分析方法》(GB/T 15038—2006)规定的方法检测,酒精度、总酸、pH、挥发酸利用葡萄酒全自动分析检测仪进行基础理化的检测。

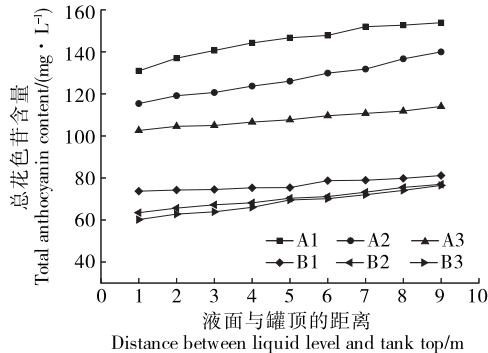
## 1.4 统计分析与数据处理

采用 SPSS 20.0 分析软件对数据进行统计分析;使用 Origin 2019b 进行作图。

2 结果与分析

2.1 大罐中总花色苷含量的变化

由图 2 可知,在 3 次总花色苷含量测量中,随着罐体深度的增加,葡萄酒中花色苷的含量逐渐增加,样品 A 尤为明显( $P<0.01$ ),样品 B 变化则较为平缓。随着贮藏时间的延长,样品 A 和样品 B 的总花色苷含量均有所下降,并且样品 A 整体总花色苷含量下降的速率高于样品 B,分析原因是葡萄酒中花色苷主要以游离、结合以及聚合的状态存在,其中游离态花色苷主要存在于新鲜葡萄酒中,贮藏的前几年便与其他物质结合而消失,结合态及聚合态花色苷受酒龄影响较小<sup>[11]</sup>。通过在大罐陈酿期间检测到葡萄酒中总花色苷随着陈酿时间变化的规律,并且,Beattie 等<sup>[12]</sup>和 Scalzo 等<sup>[13]</sup>发现在葡萄酒贮存过程游离 SO<sub>2</sub> 含量较低时通过氧化作用使酒体产生 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 与亲核物质破坏花色苷的 C<sub>2</sub> 位,使花色苷开环形成查尔酮进而降解。不同浓度的游离 SO<sub>2</sub> 以及不同浓度的溶解氧均会对总花色苷含量造成影响,因此,还需进一步研究总花色苷含量的变化与游离 SO<sub>2</sub> 以及溶解氧之间的关系。



A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub> 分别为两款葡萄酒在 3 次测量中花色苷的含量

图 2 大罐中总花色苷含量的变化  
Figure 2 Changes of total anthocyanin content in large tanks

2.2 不同浓度游离 SO<sub>2</sub> 处理对葡萄酒品质的影响

2.2.1 葡萄酒颜色 由表 1 可知,CK、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub> 和 C<sub>4</sub> 都保持着相同明亮的酒红色,说明 0~30 mg/L 的游离 SO<sub>2</sub> 对葡萄酒颜色影响不大。但随着游离 SO<sub>2</sub> 浓度的升高,葡萄酒褪色较明显,由酒红色迅速褪色至淡红色。

2.2.2 葡萄酒色度和色调 由表 2 可知,通过添加不同质量浓度游离 SO<sub>2</sub> 使葡萄酒的色度发生不同变化,当游离 SO<sub>2</sub> 质量浓度较低(15 mg/L)时,色度变化幅度较小,随着 SO<sub>2</sub> 质量浓度的增加,色度值变化逐渐增大,参照 CK 的色度值变化,C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub> 在 30 d 内色度值变化明显( $P<0.05$ ),随着陈酿时间的增加,各处理组

表 1 不同浓度游离 SO<sub>2</sub> 处理对葡萄酒颜色的影响

Table 1 Effects of different concentration of free SO<sub>2</sub> treatment on color change of wine

| 样品 | 颜色  | 样品 | 颜色  |
|----|-----|----|-----|
| CK | 酒红色 | C4 | 酒红色 |
| C1 | 酒红色 | C5 | 红色  |
| C2 | 酒红色 | C6 | 淡红色 |
| C3 | 酒红色 | C7 | 淡红色 |

的色度逐渐减小,C<sub>1</sub> 在 30~90 d 色度值变化与 CK 差异不显著( $P>0.05$ ),说明低浓度游离 SO<sub>2</sub> 在 30 d 后被消耗殆尽。C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub> 陈酿 90 d 后色度值分别降低 0.576,1.347,1.562,1.739,1.847,2.047,2.739。

色调值越低代表酒体越红,数值越高则酒体逐渐显橙色。由表 3 可知,通过添加不同质量浓度游离 SO<sub>2</sub> 使葡萄酒的色调发生不同变化,变化趋势与色度相反,陈酿 90 d 后,C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>、C<sub>5</sub>、C<sub>6</sub>、C<sub>7</sub> 色调值分别上升 0.067,0.111,0.115,0.129,0.221,0.295,0.492,说明添加质量浓度为 15~30 mg/L 的游离 SO<sub>2</sub> 对葡萄酒的色调值影响不大,但对色度影响较为明显,当游离 SO<sub>2</sub> 质量浓度>30 mg/L 时会使葡萄酒的酒颜色逐渐显橙色。

在不同浓度游离 SO<sub>2</sub> 对葡萄酒颜色变化的影响研究中,发现当游离 SO<sub>2</sub> 在低浓度时,葡萄酒颜色稳定处于明亮的酒红色,色度变化和吸光度变化幅度较小,当游离 SO<sub>2</sub> 浓度升高时,花色苷与亚硫酸氢根离子发生缩合反应后使葡萄酒颜色衰退。这与张珍珍等<sup>[14]</sup>和邓玉杰<sup>[15]</sup>的研究一致,SO<sub>2</sub> 在质量浓度 0~60 mg/L 时都保持着相同明亮的酒红色,颜色影响不大,SO<sub>2</sub> 的添加量若减少,杀灭其他杂菌的能力就不足以具备,但随着 SO<sub>2</sub> 浓度的升高,褪色较明显,由酒红色缓慢褪色至淡红色。但在实际生产过程中,长时间陈酿的葡萄酒总 SO<sub>2</sub> 含量都较高,这也是造成陈酿葡萄酒颜色退变较快的原因之一。

2.2.3 葡萄酒总花色苷含量 由图 3 可知,在 90 d 陈酿过程中葡萄酒总花色苷含量呈下降趋势( $P<0.05$ ),SO<sub>2</sub> 处理组总花色苷含量变化高于 CK,游离 SO<sub>2</sub> 质量浓度<25 mg/L,色度变化幅度较小,此时花色苷处于比较稳定的状态。当游离 SO<sub>2</sub> 质量浓度>25 mg/L 时,样品中的总花色苷变化量逐渐变大。分析原因是 SO<sub>2</sub> 在水溶液中形成亚硫酸氢根,对花色苷 C<sub>2</sub> 或 C<sub>4</sub> 位亲核攻击生成了无色的花色苷亚硫酸盐复合物进而使葡萄酒中总花色苷含量下降,随陈酿时间的延长,总花色苷含量呈下降趋势,并且高浓度游离 SO<sub>2</sub> 处理组总花色苷含量变化显著高于低浓度游离 SO<sub>2</sub> 处理组的,说明游离 SO<sub>2</sub> 对葡萄酒中颜色的影响作用一直存在<sup>[16]</sup>。综合表 1~表 3 得出,25 mg/L 的游离 SO<sub>2</sub> 适合葡萄酒的陈酿。

2.3 大罐陈酿时葡萄酒总酚的变化

Castellari 等<sup>[17]</sup>指出,通过增强缩合和聚合反应,氧

表 2 不同浓度游离 SO<sub>2</sub> 处理对葡萄酒色度的影响<sup>†</sup>Table 2 Effects of different concentrations of free SO<sub>2</sub> treatment on chromaticity of wine

| 样品 | 0 d         | 30 d                     | 60 d                     | 90 d                     |
|----|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| CK | 6.318±0.022 | 6.214±0.074 <sup>a</sup> | 6.134±0.121 <sup>a</sup> | 5.825±0.078 <sup>a</sup> |
| C1 | 6.318±0.022 | 6.092±0.014 <sup>a</sup> | 6.054±0.064 <sup>a</sup> | 5.724±0.065 <sup>a</sup> |
| C2 | 6.318±0.022 | 5.643±0.083 <sup>b</sup> | 5.381±0.053 <sup>b</sup> | 4.971±0.124 <sup>b</sup> |
| C3 | 6.318±0.022 | 4.939±0.029 <sup>c</sup> | 4.876±0.077 <sup>c</sup> | 4.756±0.114 <sup>c</sup> |
| C4 | 6.318±0.022 | 4.678±0.067 <sup>d</sup> | 4.423±0.058 <sup>e</sup> | 4.579±0.042 <sup>d</sup> |
| C5 | 6.318±0.022 | 4.743±0.122 <sup>d</sup> | 4.581±0.014 <sup>d</sup> | 4.471±0.049 <sup>d</sup> |
| C6 | 6.318±0.022 | 4.563±0.072 <sup>e</sup> | 4.323±0.066 <sup>e</sup> | 4.271±0.023 <sup>e</sup> |
| C7 | 6.318±0.022 | 4.339±0.111 <sup>f</sup> | 3.876±0.122 <sup>f</sup> | 3.579±0.031 <sup>f</sup> |

<sup>†</sup> 同列字母不同代表差异显著( $P<0.05$ )。

表 3 不同浓度游离 SO<sub>2</sub> 处理对葡萄酒色调值的影响<sup>†</sup>Table 3 Effects of different concentrations of free SO<sub>2</sub> treatment on wine tones

| 样品 | 0 d         | 30 d                     | 60 d                     | 90 d                     |
|----|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| CK | 0.546±0.031 | 0.552±0.052 <sup>e</sup> | 0.572±0.012 <sup>e</sup> | 0.602±0.014 <sup>e</sup> |
| C1 | 0.546±0.031 | 0.557±0.062 <sup>e</sup> | 0.579±0.011 <sup>e</sup> | 0.613±0.049 <sup>e</sup> |
| C2 | 0.546±0.031 | 0.566±0.024 <sup>d</sup> | 0.607±0.021 <sup>d</sup> | 0.657±0.017 <sup>d</sup> |
| C3 | 0.546±0.031 | 0.579±0.043 <sup>d</sup> | 0.625±0.009 <sup>d</sup> | 0.661±0.012 <sup>d</sup> |
| C4 | 0.546±0.031 | 0.595±0.078 <sup>d</sup> | 0.636±0.022 <sup>d</sup> | 0.675±0.013 <sup>d</sup> |
| C5 | 0.546±0.031 | 0.642±0.063 <sup>c</sup> | 0.687±0.016 <sup>c</sup> | 0.767±0.014 <sup>c</sup> |
| C6 | 0.546±0.031 | 0.683±0.032 <sup>b</sup> | 0.725±0.037 <sup>b</sup> | 0.841±0.033 <sup>b</sup> |
| C7 | 0.546±0.031 | 0.726±0.085 <sup>a</sup> | 0.846±0.046 <sup>a</sup> | 0.975±0.052 <sup>a</sup> |

<sup>†</sup> 同列字母不同代表差异显著( $P<0.05$ )。

溶解也可以影响酚类化合物作为抗氧化剂的能力。缩合产物如单宁—花青素(T-A)和单宁—花青素—单宁(T-A-T)对葡萄酒抗氧化活性的贡献较小,聚合物化合物的抗氧化活性随其分子量的增加而降低。由图 4 可知,样品 A 的总酚含量比样品 B 的高,可能与陈酿时间有关。在罐中,总酚含量随深度的增加而增加,分析原因是随着深度的增加,溶解氧含量降低,同时,游离 SO<sub>2</sub> 的含量增加,抗氧化性增强,因此总酚被消耗的量减少。深度较浅

的部分,溶解氧含量较大,低剂量的游离 SO<sub>2</sub> 抗氧化性薄弱,酚类物质参与氧化还原反应,导致被消耗。

## 2.4 不同浓度溶解氧对葡萄酒品质的影响

2.4.1 葡萄酒总酚含量 如图 5 所示,陈酿 90 d 后 DC1、DC2、DC3、DC4 的总酚含量均低于 DCK,其中 DC4 的总酚含量下降幅度最大,与 Audrey 等<sup>[16]</sup>的试验结果一致,在高浓度的溶解氧影响下,酚类物质被氧化而使之含量下降。

2.4.2 葡萄酒总花色苷含量 由图 6 可知,在整个陈酿过程中葡萄酒花色苷呈明显下降趋势。经充氧处理后其

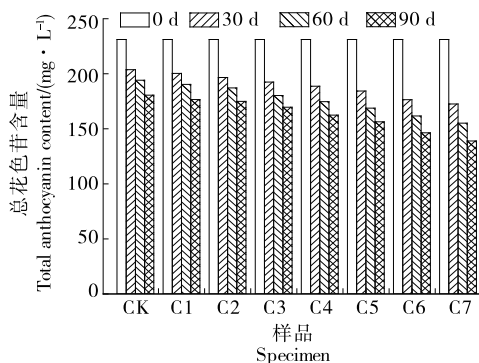
图 3 不同浓度游离 SO<sub>2</sub> 处理下总花色苷含量的变化

Figure 3 Changes of total anthocyanin content treatment under different concentrations of free SO<sub>2</sub>

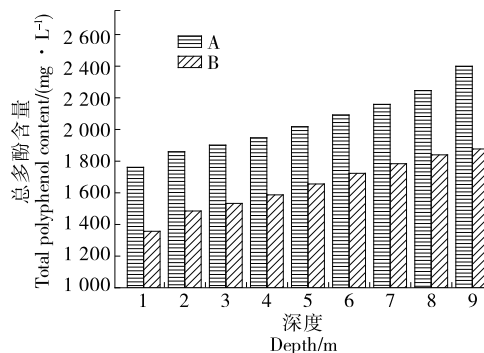


图 4 大罐中总酚含量的变化

Figure 4 Variation of total phenol content in large tank



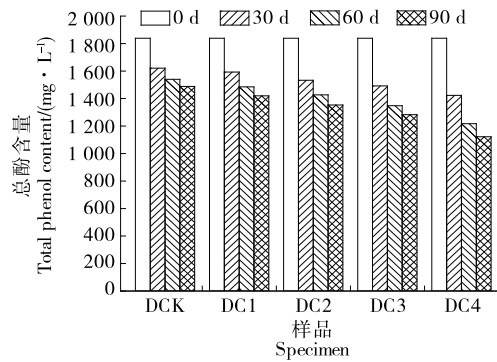


图5 不同浓度溶解氧下葡萄酒总酚含量的变化  
Figure 5 Changes of total phenol content in wine under different concentrations of dissolved oxygen

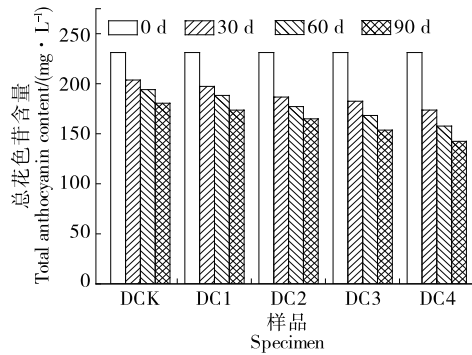


图6 不同浓度溶解氧下葡萄酒总花色苷含量的变化  
Figure 6 Changes of total anthocyanin content in wine under different concentrations of dissolved oxygen

总花色苷含量均较 DCK 有所下降,DC1 的总花色苷含量下降幅度与 DCK 差异不大,DC2、DC3、DC4 的总花色苷含量均下降明显,其中 DC4 的总花色苷含量在前 30 d 下降较快,之后的 60 d 下降幅度较小。

2.4.3 葡萄酒颜色 由表 4 可知,DCK、DC1、DC2 都保持着相同明亮的酒红色,说明 0~2 mg/(L · 30 d)的充氧量对葡萄酒颜色影响不大,但随着溶解氧的增多,褪色较明显,由酒红色迅速褪色至淡红色。

2.4.4 葡萄酒色度、色调 由表 5 可知,陈酿期间各样品的色度值总体呈下降趋势,陈酿 90 d 后 DCK、DC1、DC2、DC3、DC4 色度值分别下降 0.888,1.486,2.035,2.738,3.559,其中 DC4 的色度下降最快。分析原因是葡萄酒陈酿过程中酚类物质会相互结合,形成呈色更强且更稳定的化合物,其中适宜的氧会促进该结合反应的进行,而过量的氧会使酚类物质发生氧化,导致葡萄酒在陈酿过程中花色苷含量下降<sup>[18]</sup>。

由表 6 可知,从色调的变化上看,陈酿 90 d 后 DCK、DC1、DC2、DC3、DC4 色调值分别上升 0.056,0.082,

表 4 不同浓度溶解氧下葡萄酒颜色的变化  
Table 4 Effects of different concentrations of dissolved oxygen on color change of wine

| 样品  | 颜色  | 样品  | 颜色  |
|-----|-----|-----|-----|
| DCK | 酒红色 | DC3 | 红色  |
| DC1 | 酒红色 | DC4 | 浅红色 |
| DC2 | 酒红色 |     |     |

表 5 不同浓度溶解氧下葡萄酒色度的变化<sup>†</sup>  
Table 5 Changes of wine chromaticity under different concentrations of dissolved oxygen

| 样品  | 0 d         | 30 d                     | 60 d                     | 90 d                     |
|-----|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| DCK | 6.314±0.022 | 6.215±0.031 <sup>a</sup> | 6.133±0.068 <sup>a</sup> | 5.426±0.113 <sup>a</sup> |
| DC1 | 6.314±0.022 | 6.173±0.048 <sup>a</sup> | 6.012±0.107 <sup>a</sup> | 4.828±0.154 <sup>b</sup> |
| DC2 | 6.314±0.022 | 6.115±0.114 <sup>b</sup> | 5.685±0.032 <sup>b</sup> | 4.279±0.061 <sup>c</sup> |
| DC3 | 6.314±0.022 | 6.073±0.053 <sup>c</sup> | 5.427±0.114 <sup>c</sup> | 3.576±0.066 <sup>d</sup> |
| DC4 | 6.314±0.022 | 5.736±0.062 <sup>d</sup> | 5.073±0.059 <sup>d</sup> | 2.755±0.082 <sup>e</sup> |

<sup>†</sup> 同列字母不同代表差异显著( $P<0.05$ )。

表 6 不同浓度溶解氧下葡萄酒色调的变化<sup>†</sup>  
Table 6 Changes of wine hue under different concentrations of dissolved oxygen

| 样品  | 0 d         | 30 d                     | 60 d                     | 90 d                     |
|-----|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| DCK | 0.546±0.042 | 0.552±0.011 <sup>c</sup> | 0.572±0.014 <sup>d</sup> | 0.602±0.013 <sup>e</sup> |
| DC1 | 0.546±0.042 | 0.557±0.022 <sup>c</sup> | 0.581±0.009 <sup>d</sup> | 0.628±0.008 <sup>d</sup> |
| DC2 | 0.546±0.042 | 0.576±0.014 <sup>b</sup> | 0.607±0.021 <sup>c</sup> | 0.657±0.018 <sup>c</sup> |
| DC3 | 0.546±0.042 | 0.583±0.023 <sup>b</sup> | 0.625±0.017 <sup>b</sup> | 0.721±0.029 <sup>b</sup> |
| DC4 | 0.546±0.042 | 0.603±0.027 <sup>a</sup> | 0.676±0.016 <sup>a</sup> | 0.835±0.027 <sup>a</sup> |

<sup>†</sup> 同列字母不同代表差异显著( $P<0.05$ )。

0.111, 0.175, 0.289。与对照相比, DC1、DC2、DC3、DC4 的色度降低, 但色调升高。

葡萄酒陈酿 30 d 内, 花色苷会发生降解反应, 由游离态向结合态转变, 氧气的加入促进了降解反应, 导致花色苷含量急速下降, 使结合态的花色苷性质趋于稳定<sup>[19]</sup>。加入适宜浓度的溶解氧会加速葡萄酒颜色的稳定, 如 DC3, 在补充 3 mg/(L · 30 d) 后, 色度值与 DCK 第 90 天色度值相近, 而过量的溶解氧会导致葡萄酒失去应有的感官品质<sup>[20]</sup>。这与康文怀<sup>[21]</sup>在实验室条件研究微氧处理后其聚合指数可达到 40% 左右的结果相似。另外一个原因是乙醇通过氧化作用形成乙醛, 乙醛能增强花色苷与单宁的聚合作用, 进而影响总花色苷的含量<sup>[22-23]</sup>。葡萄酒色调的变化主要是葡萄酒中酚类物质变化所引起, 需深入研究葡萄酒中酚类物质变化机理才能更好地理解葡萄酒色调的变化。

### 3 结论

通过对葡萄酒陈酿期间游离 SO<sub>2</sub> 含量的变化规律以及不同浓度游离 SO<sub>2</sub> 对葡萄酒颜色的影响进行分析, 得出 25 mg/L 的游离 SO<sub>2</sub> 适合葡萄酒的酿造。在不同浓度溶解氧对总酚含量、花色苷含量、色度、色调值变化的影响中, 发现在陈酿 90 d 后充氧量为 4 mg/(L · 30 d) 的处理组的总花色苷含量下降最快、总酚含量下降幅度最大、色度值下降 3.559, 色调上升 0.289。研究未对于其他葡萄品种葡萄酒陈酿进行不同浓度游离 SO<sub>2</sub> 及溶解氧添加量的研究, 最适宜干红葡萄酒陈酿管理的工艺也有待进一步探索。

### 参考文献

- [1] 黄静. 鲜食葡萄酒特性及葡萄酒品质的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014: 2-5.  
HUANG J. Study on wine making characteristics and wine quality of fresh grape[D]. Shihezi: Shihezi University, 2014: 2-5.
- [2] 常甜甜. 干红葡萄酒中酚类物质和抗氧化性的研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2020: 2-5.  
CHANG T T. Study on phenols and antioxidation in dry red wine[D]. Yantai: Yantai University, 2020: 2-5.
- [3] 袁歆贻. 茶叶和葡萄酒及可可中多酚类物质生理功效研究进展[J]. 现代农业科技, 2014(13): 311-312, 314.  
YUAN X Y. Research progress on physiological effects of polyphenols in tea, wine and cocoa[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(13): 311-312, 314.
- [4] 姚乾元. 红葡萄酒保护心血管的功效[J]. 食品与药品, 2006(1): 72-73.  
YAO Q Y. Effect of red wine on cardiovascular protection[J]. Food and Medicine, 2006(1): 72-73.
- [5] 郭雪霞, 王颖, 李长文, 等. 葡萄酒陈酿研究进展[J]. 酿酒科技, 2005(12): 104-106.  
GUO X X, WANG J, LI C W, et al. Research progress of wine aging[J]. Brewing Technology, 2005(12): 104-106.

- [6] YILDIRI M H K. New techniques for wine aging[J]. BIO Web of Conferences, 2017, 9(1): 35.
- [7] MAURIZIO U, JEAN-BAPTISTE D. Oxygen consumption and development of volatile sulfur compounds during bottle aging of two Shiraz wines. Influence of pre- and postbottling controlled oxygen exposure[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(35): 27-31.
- [8] 王树庆, 李保国, 范维江, 等. 无二氧化硫添加葡萄酒酿造技术研究进展[J]. 酿酒, 2020, 47(3): 4-7.  
WANG S Q, LI B G, FAN W J, et al. Research progress of wine brewing technology without sulfur dioxide addition[J]. Make Wine, 2020, 47(3): 4-7.
- [9] MÓNICA B, ALMUDENA M C, VANESA C, et al. Formation and accumulation of acetaldehyde and strecker aldehydes during red wine oxidation[J]. Frontiers in Chemistry, 2018, 6(4): 334-336.
- [10] 翦祎, 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, 2012, 33(23): 323-325, 423.  
JIAN Y, HAN S Y, ZHANG B, et al. Comparison of rapid determination of total anthocyanins in dry red wine by single pH method, pH differential method and subtraction method[J]. Food Industry Technology, 2012, 33(23): 323-325, 423.
- [11] 成晓玲. 赤霞珠干红葡萄酒贮存过程中化学物质变化规律的研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2012: 11-13.  
CHENG X L. Study on changes of chemical substances in cabernet sauvignon dry red wine during storage[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology, 2012: 11-13.
- [12] BEATTIE M, WIDDOWSON D, ANDERSON W. Pulsed dye laser treatment of paediatric port wine stains-variation of practice in the UK (NHS)[J]. Lasers in Medical Science, 2016, 31(3): 232-235.
- [13] SCALZO R, FIBIANI M, PIETROMARCHI P, et al. Effects of different fungicide treatments on grape, must and wine quality[J]. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, 2012, 77(3): 203-206.
- [14] 张珍珍, 邓玉杰, 赵艳, 等. 葡萄酒酿造过程中内部因素对颜色稳定性影响分析[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(5): 15-19.  
ZHANG Z Z, DENG Y J, ZHAO Y, et al. Analysis on the influence of internal factors on color stability in wine brewing[J]. Food Research and Development, 2016, 37(5): 15-19.
- [15] 邓玉杰. 影响赤霞珠干红葡萄酒色泽稳定性的构成分析及工艺优化研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2018: 45.  
DENG Y J. Study on composition analysis and process optimization affecting the color stability of cabernet sauvignon dry red wine[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2018: 45.
- [16] AUDREY D, IGOR C, MARTINE M P. The protective role of dissolved carbon dioxide against wine oxidation: A simple and rational approach[J]. OENO One, 2011, 45(3): 34-37.
- [17] CASTELLARI M, MATRICARDI L, ARFELLI G, et al. Level of single bioactive phenolics in red wine as a function of the oxygen supplied during storage[J]. Food Chemistry, 2000, 69(1): 224-227.

(下转第 23 页)