

## 金属元素在葡萄酒中的作用

黄雨珊<sup>1</sup>, 范舒悦<sup>1</sup>, 勾叙衡<sup>1</sup>, 王雨露<sup>1</sup>, 欧贝妮<sup>1</sup>, 李运奎<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>西北农林科技大学葡萄酒学院 陕西杨凌 712100

<sup>2</sup>西北农林科技大学宁夏贺兰山东麓葡萄酒试验示范站 银川 750104)

**摘要** 金属元素在葡萄酒质量风格形成和稳定中扮演着重要角色。近期研究发现,不同产区酒样中的金属元素含量存在较大差异;不同种类、浓度的金属元素在葡萄酒中产生的效应不尽相同。本文综述葡萄酒中金属元素的种类、来源、含量、影响因素,以及近年发现的金属元素在葡萄酒中的作用及机制,以期为葡萄酒酿造和质量控制提供参考。

**关键词** 金属离子;葡萄酒;作用机制;氧化还原;辅色

**文章编号** 1009-7848(2023)11-0446-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.11.042

金属元素天然存在于葡萄和葡萄酒中,对葡萄酒整体质量甚至饮用者身体健康有重要影响。某些金属元素是酵母细胞以及人体细胞生长代谢所必需的营养元素<sup>[1-3]</sup>,能够促进葡萄酒香气的形成,有利于提高葡萄酒的色泽品质及其稳定性<sup>[4-6]</sup>。然而,当某些金属元素超过或未达到一定浓度时可能导致葡萄酒产生沉淀、出现异味等,从而降低葡萄酒质量和稳定性,对饮用者健康产生不利影响<sup>[7-10]</sup>。相关标准和实际生产中对某些金属元素往往有明确的含量限定。由于受产区土壤、农药、环境和酿酒过程中使用器具等的影响,我国葡萄酒中金属元素含量有偏高的风险,进而影响葡萄酒的质量和饮用者最终的金属摄入量。

目前对葡萄酒质量形成与影响因素的研究,主要围绕葡萄原料中的关键成分(如酚类物质)<sup>[11]</sup>以及酿造过程的关键因素(如酵母)<sup>[12-14]</sup>进行,系统研究金属元素对葡萄酒质量的影响的报道相对较少。本文从葡萄酒中常见的几种金属元素来源及含量入手,分析其在不同浓度范围对葡萄酒的不同效应,并梳理近年报道的可能的作用机制,以期为葡萄酒金属元素控制、葡萄酒质量形成和工艺改良等提供参考。

### 1 葡萄酒中常见金属元素的含量及影响因素

葡萄酒中的金属元素主要来源于土壤、农药、发酵或储藏设备、辅料添加等。葡萄从根系吸收 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 等金属离子以满足其生长需求,或因沾上泥土和灰尘从而带入Fe、Cu、K等金属元素<sup>[5]</sup>。波尔多液是葡萄酒中Cu元素的最主要来源,农药、杀虫剂的喷洒也将Zn、Cr、Cd等元素引入酒里。除梗破碎机、压榨机、水泥池、不锈钢罐等发酵及储酒设备将Ca、Mg、Al、Cr、Mn等元素引入到酒中。原酒在管道运输过程中也可能被Fe、Al等元素污染。下胶澄清剂(皂土、明胶或鱼胶)可能造成Al、Ca过量。

《葡萄酒》(GB/T 15037-2006)中规定了红葡萄酒、桃红葡萄酒中的含铁量须 $\leq 8$  mg/L,白葡萄酒、加香葡萄酒中的含铁量须 $\leq 10$  mg/L,含铜量均不得超过1 mg/L。而事实上,当葡萄酒中的铜含量超过0.5 mg/L时,酒便可能产生混浊,进而以红棕色沉淀析出。铁质量浓度低时不发生破败病,超过8 mg/L或在不利环境下也会容易出现铁破败病。

其它金属在葡萄酒中的含量虽然未予以限定,但在实际生产中也有相应的规定。锌和锡在葡萄酒中的正常含量应少于1 mg/L,过量会引起白葡萄酒混浊,加热形成锡-蛋白质沉淀。铝含量超过5 mg/L,pH=3.8时,可使葡萄酒产生混浊。钙往往会与酒石酸反应产生不透明沉淀,钾则产生透明晶体,钠过量虽不使葡萄酒浑浊或沉淀,但影响

收稿日期: 2022-11-28

基金项目: 新疆自治区区域协同创新专项(2022E02011);  
国家重点研发计划项目(2019YFD1002500);  
大学生创新创业训练计划国家级项目(202210712213)

第一作者: 黄雨珊,女,本科生

通信作者: 李运奎 E-mail: ykli@nwsuaf.edu.cn

葡萄酒的颜色、风味。

葡萄品种、国家、产区以及酿造工艺等的不同会造成葡萄酒中金属元素含量的差异,如图 1 所示,这种差异也可为葡萄酒的真伪鉴定或者产地溯源提供条件<sup>[16]</sup>。由图 1a 可见,不同品种葡萄酒中的 Fe、Cu 等元素含量均存在较大差异<sup>[17]</sup>。葡萄牙产区 Mn 高于西班牙、法国、意大利和智利。法国、西班牙相较其它几个国家,葡萄酒中 Fe、Zn、和 Mn 含量偏低<sup>[18]</sup>。图 1c 对比了我国沿海的环渤海湾产区到内陆的河西走廊、新疆产区葡萄酒的金属元素差异,发现我国不同产区生产的葡萄酒金属元素含量也存在较大差异。其中 Cu 可作为特征元素鉴别河西走廊张掖产区的土壤<sup>[19-20]</sup>。陈翔等<sup>[21]</sup>研究表明酿酒葡萄中 Cu、Cr、Pb 等 9 种重金属主要来源并非产地土壤,重金属是否能作为产地溯源的指标有待考究。理论上来说,红葡萄酒中 K、Mg 含量高于白葡萄酒,因为红葡萄酒中的大量酚类物质对酒石酸氢钾沉淀有抑制作用,由于红葡萄酒中的浸渍作用也导致其 Mg(可溶性盐)含量高于白葡萄酒,而这也受到产区、品种等多种因素的共同影响。

## 2 金属元素在葡萄酒中的作用

葡萄酒中大部分金属元素对酿酒的生化过程及葡萄酒的颜色、稳定性等品质具有重要意义,如  $Mg^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$  可作为酒精发酵中某些酶必不可少的辅助因子, $Fe^{3+}$  和  $Cu^{2+}$  是氧化还原系统中的重要因子<sup>[22]</sup>,而包括 Fe、Cu 在内的一些金属元素还有利于葡萄酒的澄清和特殊风味的形成。当这些重要金属以微量或少量浓度存在时,对葡萄酒的颜色、香气乃至稳定性都有着积极的影响,然而部分重金属或者过量的金属会对葡萄酒质量产生不利影响甚至危害饮用者身体健康。

金属元素可以通过与花色苷的络合作用使葡萄酒色泽发生变化,可以被用来改善葡萄酒色泽品质。然而,当金属元素含量超出一定范围,可能发生颜色衰败的情况<sup>[23-24]</sup>,也可能导致挥发性硫化物(VSCs)的形成<sup>[25]</sup>。除此之外, $Fe^{3+}$  在一定条件下会使葡萄酒中的酚类物质发生非酶氧化褐变,严重影响葡萄酒的颜色质量及其稳定性,而  $Cu^{2+}$ 、 $Mn^{2+}$  等金属离子可能会加速这一反应。各种

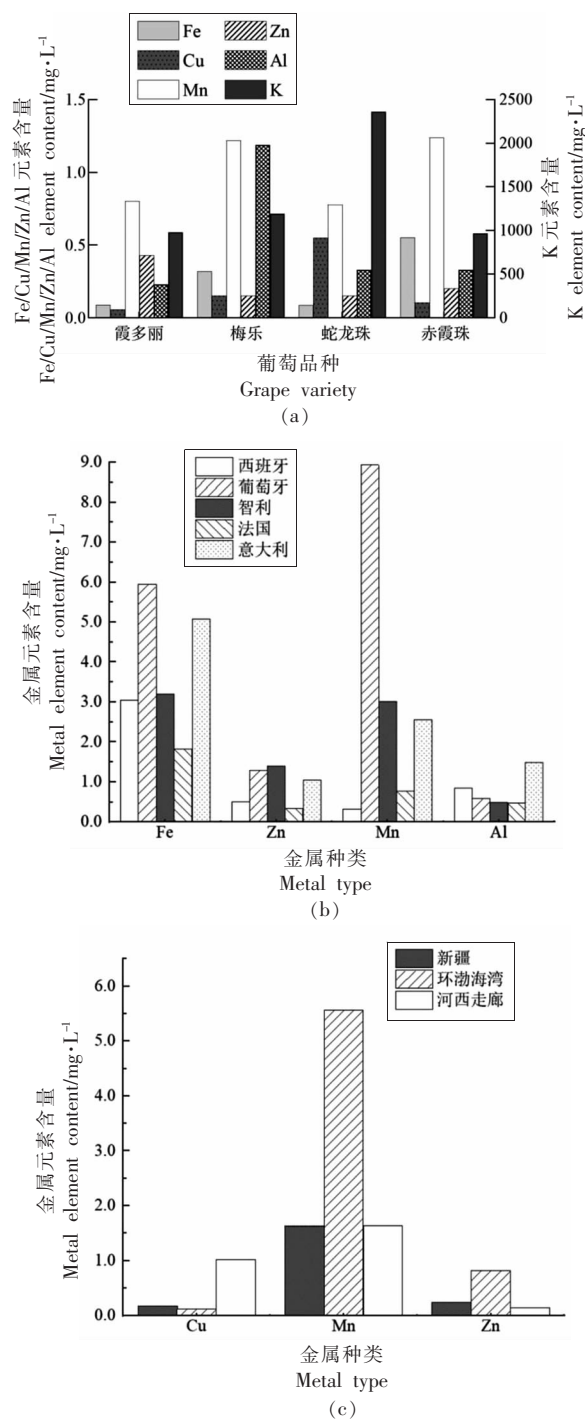


图 1 金属元素含量在葡萄品种(a)<sup>[17]</sup>、国家(b)<sup>[18]</sup>、产区(c)<sup>[19-20]</sup>等因素方面的差异

Fig.1 Differences in metal element content among grape variety (a)<sup>[17]</sup>, country (b)<sup>[18]</sup> and production region (c)<sup>[19-20]</sup>

复杂的反应最终导致葡萄酒的颜色、香气等特征及稳定性出现不同程度的变化。表 1 列举了几种重要金属元素在模拟葡萄酒或真实葡萄酒中针对

表1 部分金属元素对葡萄酒或模拟酒的影响

Table 1 The influence of some metal on wine or model wine

金属元素	在葡萄酒或模拟酒中的影响	参考文献
Cu	9.6~16 mg/L 低铜质量浓度范围,颜色质量改善	[26],[27]
	19.2~22.4 mg/L 中铜质量浓度范围,颜色质量开始下降	
	32,64,96 mg/L 高铜质量浓度,颜色质量显著降低	
	Cu <sup>2+</sup> 处理时间越长,葡萄酒褐变程度增大	[28]
	参与“还原芳香”(H <sub>2</sub> S、MeSH)形成	[29]
Fe	2.5,5,7.5,10,30,50 mg/L Cu <sup>2+</sup> ,质量浓度越高,颜色加深,紫色调增强	[30]
	3,5,8 mg/L Fe <sup>2+</sup> ,质量浓度越高,处理时间越长,模拟酒褐变程度越大	[28]
	1 mg/L Fe <sup>3+</sup> 对花色苷的稳定性有积极作用	[31],[32]
	5 mg/L Fe <sup>3+</sup> 对花色苷的稳定性无影响	
Ca	10 mg/L Fe <sup>3+</sup> 降低花色苷的稳定性	
	2.5,5,7.5,10,30,50 mg/L Fe <sup>2+</sup> ,质量浓度越高,颜色加深,紫色调增强,逐渐偏离花色苷本身颜色	[30]
	降低颜色色调,提高颜色稳定性	[33]
K	模拟酒未产生明显的辅色效果	[34]
	提高或稳定颜色强度和色调,不同温度下颜色稳定性更高	[33],[35]
Zn	增强梅鹿辄葡萄酒的果香、植物香、香料香、干果和熏烤香气的强度	[36]
Al	使模拟酒出现增色和红移效应,改善颜色质量	[34]
Mg	模拟酒中产生增色效应,无红移效应	[34]
Ca,Na	1~10 mg/L 对花色苷的稳定性有积极作用	[32]
Mn,Ba		

颜色、香气和稳定性等方面出现的效应。

从表1中不难发现:1)Cu、Fe等金属在不同质量浓度下可能具有相反的效应。低质量浓度下对葡萄酒尤其是红葡萄酒,能改善其颜色质量参数,增强颜色强度或是达到稳定和保持葡萄酒颜色的作用;当超过一定质量浓度,葡萄酒或模拟葡萄酒中出现褐变,并随着质量浓度升高,褐变程度增大、颜色稳定性下降。2)Cu、Zn等金属参与葡萄酒香气物质的构成。Cu、Fe参与某些挥发性硫化物的形成,包括硫化氢、甲硫醇等具有还原气味的物质,可能会导致不良气味、破坏葡萄酒特性;先前有认为锌元素会让葡萄酒带有恶臭味<sup>[15]</sup>,而近期有研究发现田间叶面喷施一定浓度的锌肥可以提升葡萄酒的香气质量,增强水果、植物、香料等香气。3)不同价态的金属离子影响葡萄酒的颜色程度有所不同。这也包括不同金属的不同价态(Al<sup>3+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>)<sup>[34]</sup>以及同一金属的不同价态(Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>)<sup>[37]</sup>之间的影响,具体表现为较高价态的金属辅色因子可能具有较好作用效果。

同一金属元素(Fe、K)在葡萄酒中的效应基于不同的研究体系,呈现出了不同的研究结果。现有研究体系多为模拟葡萄酒,缺少对于真实葡萄酒体系的详细研究。此外,结果分析仅基于能体现葡萄酒色泽、香气或抗氧化活性等品质的指标,未考虑人体每天或者每一阶段葡萄酒的摄入量,这关系到金属元素在人体中的积累量,会进一步影响到人体的健康问题,例如像Al、Ca等元素,应根据其在人体中发挥的作用采取适当降低或提高其浓度。

### 3 金属元素影响葡萄酒品质的作用机制

#### 3.1 金属元素对葡萄果实的影响

3.1.1 葡萄基因表达变化 金属元素可调控葡萄中相关金属元素转运蛋白基因及转运蛋白的活性或表达量,抑制生长和改变叶片形态,进而导致金属元素在葡萄中的积累量存在差异,显著影响了葡萄果实品质<sup>[36,38]</sup>,金属元素也可使植株内部其它生理特性发生变化。如Cd能导致催化酶的代谢紊

乱和氨基酸蛋白的失活,抑制  $H^+$ -ATPase 和质膜  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性,且随着胁迫浓度增加,质膜  $H^+$ -ATPase 和  $Ca^{2+}$ -ATPase 活性先升高后降低<sup>[39-40]</sup>。

**3.1.2 影响植物光合作用** 金属元素通过影响葡萄叶片的细胞结构进而影响光合作用。长期重金属胁迫将会破坏叶绿体的结构<sup>[41]</sup>,因为叶片细胞膜受到破坏,膜透性增大<sup>[42]</sup>,导致叶绿体膜结构受到破坏、类囊体膜膨胀松散及叶绿体基质解体等,抑制叶绿素的合成或破坏叶绿素结构,抑制光合作用,甚至失去光合功能<sup>[43]</sup>。过量 Zn 处理也会降低葡萄幼苗的净光合速率<sup>[36]</sup>。

**3.1.3 影响抗氧化水平** 金属元素会引起葡萄叶片的抗氧化反应。重金属会刺激植物组织细胞产生过量的活性氧(ROS),导致膜脂过氧化,使细胞膜结构遭到破坏,胞内组分外渗,代谢紊乱。金属对抗氧化物的影响因金属种类、金属浓度、葡萄品种不同而有所差异。管虹<sup>[42]</sup>发现在培养基中添加 5 mg/L 的  $Cu^{2+}$  时,葡萄叶片过氧化氢酶(CAT)活性均不受影响,丙二醛(MDA)的含量下降,添加大于 10 mg/L 的  $Cu^{2+}$  时,浓度增加,CAT 活性显著上升,MDA 含量上升,且两者呈极显著相关。郭亮<sup>[43]</sup>发现 Cd 胁迫下,“夏黑”叶片的过氧化物酶(POD)、CAT、超氧化物歧化酶(SOD)、MDA 都有所增强,表现出抛物线的趋势,在一定范围内浓度越高活性越强,而刺葡萄和“温克”叶片的 POD、MDA、SOD、CAT 均与  $Cd^{2+}$  浓度呈正相关关系,并且低浓度的镉胁迫下,叶片抗氧化酶活性提高,镉胁迫浓度增加,抗氧化酶活性开始下降,葡萄的抗氧化系统功能紊乱。

## 3.2 金属元素对酿酒酵母的影响

在金属元素影响酿酒酵母的研究中,研究  $Cu^{2+}$  对酿酒酵母的影响居多。在低浓度下,铜是几乎所有生物中必需的微量元素,对生物起着重要的积极作用<sup>[44-45]</sup>,超出一定范围时,就会抑制细胞生长发育甚至产生毒性<sup>[46]</sup>。

**3.2.1 影响酵母生长速率和发酵性能** 高水平的  $Cu^{2+}$  抑制酿酒酵母 BH8 的细胞生长和存活率,延缓了酿酒酵母的生长速率,导致葡萄酒发酵时间的延长甚至终止,降低了还原糖的利用,从而影响到葡萄酒的质量<sup>[47-50]</sup>。酵母生长受到抑制具体表现为随  $Cu^{2+}$  浓度的增加,两株酿酒酵母的滞后期均

不同程度地延长,而对数期则显著延长,达到稳定期的时间增加<sup>[48]</sup>,生长速率降低。这可能与酵母细胞的铜吸附作用有关,Wang 等<sup>[48]</sup>的研究中,在含有 0.5 mmol/L  $Cu^{2+}$  的培养基中,部分细胞出现不规则变形,细胞畸变率增加,进而影响细胞对铜的吸附作用。

**3.2.2 产生氧化胁迫** Cu 可以通过 Haber-Weiss 和芬顿反应刺激酿酒酵母细胞内 ROS 的形成<sup>[51-53]</sup>,改变细胞的氧化/抗氧化水平,或产生与过氧化氢类似的氧化胁迫,进一步损害细胞中蛋白质、氨基酸、膜脂等组分。低浓度下,Cu 对酿酒酵母的氧化胁迫是由  $O_2^-$  发挥主要作用;高浓度下,为  $O_2^-$  和  $H_2O_2$  共同发挥作用,对细胞产生氧化伤害。随着铜浓度增加,超氧阴离子的产生速率和过氧化氢的含量增加,酿酒酵母膜脂过氧化程度加剧,细胞内丙二醛含量上升,SOD 和 CAT 的活性也有不同程度的升高<sup>[52]</sup>。

## 3.3 金属元素对葡萄酒的影响

**3.3.1 氧化还原作用** 葡萄酒中 Cu 和 Fe 与葡萄酒的氧化还原有关,是最可能导致葡萄酒褐变的因素。分子氧并不能与葡萄酒中的酚类物质直接反应,而是重金属(特别是 Cu、Fe)离子催化葡萄酒氧化。它们对氧化的贡献主要是通过催化分子氧诱导的反应,最终促进二氧化硫、酚类化合物和乙醇等葡萄酒成分的氧化;在促进葡萄酒还原方面,当葡萄酒处于低氧陈酿状态时,Cu 和 Fe 可能与某些硫化化合物的积累有关,从而导致不良气味的产生<sup>[25]</sup>。

**3.3.1.1 金属与非酶氧化过程** Fe 等过渡金属能催化、活化三线态氧,启动非酶氧化,而 Cu、Mn 等金属又可增强这一催化过程。非酶氧化反应使酚类物质氧化成醌, $O_2$  还原成  $H_2O_2$ <sup>[28,54]</sup>。

1) 与  $Fe^{3+}$  结合的不稳定络合物发生电子内转移,生成 Fe 和相应的半醌自由基,后者通过歧化或氧化生成邻醌,醌作为亲电活性中间体,和亲核物质(硫醇、含硫抗氧化剂和类黄酮)发生反应,产生褐色色素前体类黄酮醌,并经过氧化等一系列后续反应生成有色物质。葡萄酒氧化褐变表现的黄褐色是多种色素叠加的结果<sup>[54]</sup>。

2)  $H_2O_2$  与  $Fe^{2+}$  发生芬顿反应生成羟自由基·OH(强氧化物质),羟自由基主要与乙醇反应氧化

生成乙醛<sup>[55]</sup>,或者由微量的金属离子显著提高邻苯二酚的氧化速率,加快乙醛的生成,同时也激活酒石酸的氧化降解,产生乙醛酸<sup>[56]</sup>。乙醛质子化与黄烷醇 A 环的 C6 或 C8 位→亲核加成→加成产物进一步质子化并继续和其它黄烷醇反应,最终生成通过乙醛连接的多聚体,聚合物聚合程度越高,黄色越深;乙醛酸直接与黄烷-3-醇发生亲核加成,通过缩合和氧化反应生成黄色、橙色的吨盐阳离子色素(Xanthylum cation pigment)<sup>[27-28,54]</sup>。Fe 和 Cu 离子具有一定的协同作用,在包含有 Fe<sup>3+</sup>和 Cu<sup>2+</sup>的模拟酒中,硫化氢和硫醇的氧化速率比 Fe<sup>3+</sup>单独存在时更快,Cu、Mn 和 Zn 对·OH 的产生有直接的促进作用<sup>[57]</sup>。

金属在葡萄酒中的催化作用还体现在金属影响葡萄酒中氧气、二氧化硫的消耗率上<sup>[22,24,58]</sup>,而氧气和二氧化硫的浓度直接影响着葡萄酒的氧化程度和感官质量。在金属离子的催化作用下,加速芬顿反应,提高了氧气的消耗率。Morozova 等<sup>[24]</sup>的研究中,加入 1 mg/L Fe<sup>3+</sup>和 0.5 mg/L Cu<sup>2+</sup>可催化耗氧量,而游离二氧化硫的损失与装瓶后的总消耗氧成正比,并且在所有添加了铁和铜的葡萄酒中,游离二氧化硫的下降量显著高于对照。

**3.3.1.2 金属与还原过程** 葡萄酒中的还原反应往往和一些含硫化合物有关,如硫化氢(H<sub>2</sub>S)、甲硫醇(MeSH)、二硫化碳(CS<sub>2</sub>)、二甲硫醚(DMS)等挥发性硫化物(VSCs),这也是导致葡萄酒还原香气或不良气味产生的主要来源物。一些金属,如 Cu、Zn、Mn、Al 会参与 VSC 的形成过程<sup>[25,29,59]</sup>,或形成新的硫化物,如 Nedjma 等<sup>[60]</sup>证明在 Cu 的存在下,H<sub>2</sub>S 可以与 MeSH 和乙硫醇(EtSH)反应形成

对称和不对称的三硫化物。Viviers 等<sup>[59]</sup>猜想可能由于金属抑制了葡萄酒中已经存在的前体形成 DMS,或者是由于 DMS 的催化降解,导致 DMS 总体浓度降低。然而,在 Bekker 等<sup>[29]</sup>的研究中,Cu<sup>2+</sup>处理对 DMS 的形成没有明显的影响。金属对于其它硫化物 H<sub>2</sub>S、MeSH 等的影响在不同品种的葡萄酒存在差异,可能是由于酿酒葡萄品种中多酚和花青素与金属离子的氧化还原循环之间的关系造成的。

**3.3.2 辅色作用** 辅色效应是指溶液中花色苷分子与其它有机分子或金属离子发生作用形成呈色的辅色复合体,可以增加溶液中呈色花色苷的比例,并通过改变花色苷分子的构象增加其在可见光光谱吸收(增色效应),和/或增加其最大吸收波长(红移效应)<sup>[61]</sup>。B 环上具有邻苯二酚或者连苯三酚结构的花色苷能够通过配位键与某些金属离子(Mg<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup>)结合形成络合物(图 2),进而与其它辅色素产生分子间辅色效应。大多情况下金属离子、花色苷与辅色素三者之间的化学计量比为 2:6:6<sup>[62]</sup>。

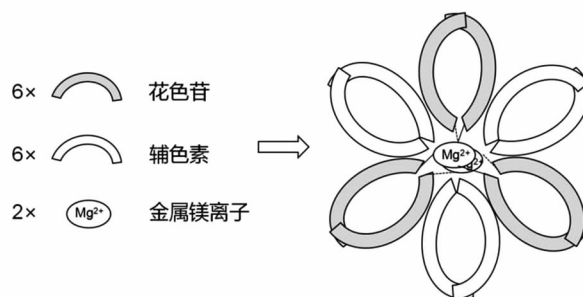


图 2 金属-花色苷络合物的一般结构<sup>[62]</sup>

Fig.2 General structure of metal-anthocyanin complexes<sup>[62]</sup>

表 2 金属元素影响葡萄酒品质的作用机制

Table 2 The mechanism of metal elements affecting wine quality

作用对象	作用机制	参考文献
葡萄果实	金属调控金属元素转运蛋白基因或转运蛋白的表达量或活性	[36],[38]
	影响葡萄叶片的细胞、叶绿体结构,影响光合作用	[41]~[43]
	产生大量 ROS,引起葡萄叶片发生抗氧化反应	[42],[43]
酿酒酵母	高水平铜浓度抑制酿酒酵母的生长速率和存活率,影响发酵性能	[47]~[50]
	刺激酵母细胞形成 ROS,产生氧化胁迫	[51]~[53]
葡萄酒	Fe 等过渡金属催化非酶氧化过程,导致氧化褐变	[27],[28],[54]~[56]
	金属可以参与 VSCs 的形成过程,影响葡萄酒香气或产生不良气味	[25],[29],[59],[60]
	金属离子与花色苷分子相互作用形成呈色物质,影响颜色	[61],[62]

金属种类、浓度以及葡萄酒中其它物质同时影响着金属络合辅色效应。吴娟弟等<sup>[34]</sup>的研究发现以  $Al^{3+} > Mg^{2+} > K^{+}$  的趋势,表现出较高价态的金属辅色因子可能具有较好作用效果的现象,该现象可能是由于高价态金属离子易与花色苷 B 环上的游离羟基结合所导致<sup>[63]</sup>。较高价态或是较多电荷的金属离子,其与花色苷的相互作用能力会增强。例如,相比于  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  最外层电子轨道只有 1 个电子占据,并呈高自旋状态,则更有利其与花色苷分子的结合<sup>[37]</sup>。在含  $Al^{3+}$  和  $K^{+}$  的模拟葡萄酒溶液中,加入酚酸后溶液的辅色效果进一步增强。 $Mg^{2+}$  可能会与酚酸结合,破坏了原本由  $Mg^{2+}$  和花色苷所建立的辅色体系,最终使溶液体系丧失了增色效果;当  $Mg^{2+}$  浓度超过一定数量,即酚酸与  $Mg^{2+}$  的结合达到饱和后,剩余的  $Mg^{2+}$  会继续与花色苷反应,增加溶液吸光值。不过相关的机制原因还需进一步研究。多糖、蛋白、儿茶素等多酚类物质亦能够与金属离子作用,影响金属离子的辅色效果<sup>[64-65]</sup>。最终将金属元素对葡萄酒的作用机制汇总如表2。

#### 4 展望

葡萄酒各金属元素含量与葡萄品种、葡萄酒产区 and 酿造工艺等因素息息相关。随着科技的快速发展,金属元素的分析检测技术也得到迅猛进步,仪器的优化以及分析技术的联用不仅使金属元素快速高效的检测成为现实,也为葡萄酒品种鉴定和产地溯源提供新手段,现已基于花色苷<sup>[66]</sup>、有机酸<sup>[67]</sup>、挥发性物质<sup>[68]</sup>、酵母<sup>[69]</sup>等成分或信息构建出了葡萄酒的指纹图谱,而金属元素指纹图谱的构建在国外已有相关研究<sup>[70-71]</sup>。中国葡萄酒产业蓬勃发展,然而对于葡萄酒品种鉴定和原产地认证的手段始终不够成熟,缺乏全面、具体、有效的检测指标及技术予以支撑,将金属的含量及组成作为分析指标构建指纹图谱对国内葡萄酒和进口酒进行品种鉴别或真伪鉴定,也是一项有力的补充。

金属在葡萄酒中的效应及作用机制,仍需全面、系统的深入研究。某些研究呈现出不同甚至截然相反的现象,可能与选定的不同研究体系有关,葡萄酒成分及其复杂,基于真实酿造的葡萄酒进行研究十分有必要。葡萄酒的金属组成、含量以及

与酒中其它物质的联系对葡萄酒质量和风格的形成有很大影响,例如,仅从花色苷的组成和含量分析葡萄酒颜色是不够的,因为花色苷还与多糖、酚酸和金属离子产生辅色作用,这些都需开展进一步研究。目前对辅色机制的探索且大多集中于分子间辅色效应,分子内辅色和金属络合作用占比较少,这难免是一项颇具潜力的研究课题。

#### 参 考 文 献

- [1] 张星宇, 赵薇, 赵辉, 等. 重金属铜对葡萄酒品质和酿酒酵母影响机制研究进展[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2021(5): 60-64.  
ZHANG X Y, ZHAO W, ZHAO H, et al. Research progress on the impact mechanisms of copper on wine and *Saccharomyces cerevisiae*[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2021(5): 60-64.
- [2] 刘鹭, 李函彤, 张书文, 等. 生物富集与人体营养健康[J]. 生物产业技术, 2018(1): 102-106.  
LIU L, LI H T, ZHANG S W, et al. Chromium enrichment and human nutrition[J]. Biotechnology & Business, 2018(1): 102-106.
- [3] 温建辉. 葡萄酒中的铁元素及其影响[J]. 中国酿造, 2014, 33(4): 158-160.  
WEN J H. Iron and its effect in grape wine[J]. China Brewing, 2014, 33(4): 158-160.
- [4] 李记明, 姜忠军, 段辉, 等. 葡萄酒中主要矿质元素的研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2004(5): 7-10.  
LI J M, JIANG Z J, DUAN H, et al. Study on the main mineral elements in wine[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2004(5): 7-10.
- [5] 李运奎, 汪兴杰, 靳国杰, 等. 爱格丽干白葡萄酒发酵过程中典型乙酸酯的生成动力学[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 360-367.  
LI Y K, WANG X J, JIN G J, et al. Kinetic feature for acetate esters production during Ecolly dry white wine fermentation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 360-367.
- [6] 吴璐璐, 范舒悦, 张煜, 等. 不同产区陈酿干红葡萄酒花色苷与颜色相关性分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2022(2): 1-7.  
WU L L, FAN S Y, ZHANG Y, et al. Correlation between anthocyanins and color of aging red wines from different regions of China [J]. Sino-Overseas

- Grapevine & Wine, 2022(2): 1-7.
- [7] 彭德华. 影响葡萄酒质量的主要因素分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2004(5): 40-44.  
PENG D H. Analysis of main factors affecting wine quality[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2004(5): 40-44.
- [8] 姬茹婕, 刘文翰, 孙金奎, 等. 新疆五家渠地区葡萄酒中微量元素风险评估[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(8): 76-81.  
JI R J, LIU W H, SUN J K, et al. Trace elements health risk assessment of the wine from Wujiaqu area in Xinjiang[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(8): 76-81.
- [9] 张金尧, 汪洪. 锌肥施用与人体锌素营养健康[J]. 肥料与健康, 2020, 47(1): 11-16, 36.  
ZHANG J Y, WANG H. Zinc fertilizer application and human zinc nutrition[J]. Fertilizer & Health, 2020, 47(1): 11-16, 36.
- [10] INCE M, INCE O K, ONAL A. Exposure to copper and risk assessment for human health via consumption of alcoholic beverages[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(2): 510-519.
- [11] 李运奎, 韩富亮, 张予林, 等. 基于 CIELAB 色空间的红葡萄酒颜色直观表征[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 296-301.  
LI Y K, HAN F L, ZHANG Y L, et al. Visualization for representation of red wine color based on CIELAB color space[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 296-301.
- [12] 齐白羽, 洪梦楠, 陈誉文, 等. 优良本土戴尔有孢圆酵母的筛选及其在冰葡萄酒酿造中的应用[J]. 中国酿造, 2021, 40(10): 118-122.  
QI B Y, HONG M N, CHEN Y W, et al. Screening of superior indigenous *Torulaspora delbrueckii* and its application in icewine brewing[J]. China Brewing, 2021, 40(10): 118-122.
- [13] 徐晓裕, 万瑞琪, 马延琴, 等. 非酿酒酵母菌的分离鉴定及产酯关键酶活性的研究[J]. 中国酿造, 2021, 40(7): 58-64.  
XU X Y, WAN R Q, MA Y Q, et al. Isolation and identification of non-*Saccharomyces cerevisiae* and key enzyme activity for ester production[J]. China Brewing, 2021, 40(7): 58-64.
- [14] 李景明, 于静, 吴继红, 等. 不同酵母发酵的赤霞珠干红葡萄酒香气成分研究[J]. 食品科学, 2009, 30(2): 185-189.  
LI J M, YU J, WU J H, et al. Study on aromatic components of *Cabernet Sauvignon* dry red wine fermented with different species of yeast strain[J]. Food Science, 2009, 30(2): 185-189.
- [15] 孙东方. 金属元素对葡萄酒稳定性的影响[J]. 酿酒科技, 2005(4): 75-77.  
SUN D F. Effects of metallic elements on the stability of grape wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2005(4): 75-77.
- [16] MOEHRING M J, HARRINGTON P B. Analysis of wine and its use in tracing the origin of grape cultivation[J]. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 2022, 52(8): 1901-1912.
- [17] 芮玉奎, 于庆泉, 金银花, 等. 应用 ICP-MS 快速测定葡萄酒中 40 种元素的含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2007(5): 1015-1017.  
RUI Y K, YU Q Q, JIN Y H, et al. Application of ICP-MS to the detection of forty elements in wine[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007(5): 1015-1017.
- [18] 程洁, 戴伟婷, 邱永霜, 等. 应用 ICP-MS 测定进口葡萄酒中 12 种元素的含量[J]. 广东化工, 2021, 48(14): 226-228, 231.  
CHENG J, DAI W T, QIU Y S, et al. Determination of 12 elements in imported wine by ICP-MS[J]. Guangdong Chemical Industry, 2021, 48(14): 226-228, 231.
- [19] 杨学威, 邓之豪, 母健, 等. 湿法消解-ICP-MS 法测定葡萄酒中 26 种矿质元素[J]. 酿酒科技, 2019(1): 110-115.  
YANG X W, DENG Z H, MU J. Determination of 26 mineral elements in wine by wet digestion-ICP-MS[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2019(1): 110-115.
- [20] 刘霞, 李彩霞, 焦扬. 河西走廊张掖地区土壤、葡萄及葡萄酒矿质元素特征分析[J]. 中国酿造, 2019, 38(1): 179-182.  
LIU X, LI C X, JIAO Y. Characteristics analysis of mineral elements in soil, grapes and wine from Zhangye region of Hexi Corridor[J]. China Brewing, 2019, 38(1): 179-182.
- [21] 陈翔, 开建荣, 牛艳, 等. 产地土壤重金属对贺兰山东麓酿酒葡萄的影响及风险评估[J]. 中国酿造, 2020, 39(7): 178-181.  
CHEN X, KAI J R, NIU Y, et al. Effects of heavy

- metals in soil on wine grape in the Helan Mountain's Eastern Region and risk assessment[J]. *China Brewing*, 2020, 39(7): 178-181.
- [22] ROUSSEVA M, KONTOUDAKIS N, SCHMIDTKE L M, et al. Impact of wine production on the fractionation of copper and iron in Chardonnay wine: Implications for oxygen consumption[J]. *Food Chemistry*, 2016, 203: 440-447.
- [23] 刘丽媛, 苑伟, 刘延琳. 红葡萄酒中花色苷辅助成色作用的研究进展[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(12): 2518-2526.
- LIU L Y, YUAN W, LIU Y L. Advances in research of red wine's anthocyanin copigmentation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(12): 2518-2526.
- [24] MOROZOVA K, SCHMIDT O, SCHWACK W. Impact of headspace oxygen and copper and iron addition on oxygen consumption rate, sulphur dioxide loss, colour and sensory properties of Riesling wine[J]. *European Food Research and Technology*, 2014, 238(4): 653-663.
- [25] KONTOUDAKIS N, SMITH M, GUO A Q, et al. The impact of wine components on fractionation of Cu and Fe in model wine systems: Macromolecules, phenolic and sulfur compounds[J]. *Food Research International*, 2016, 98: 95-102.
- [26] SUN X Y, MA T T, HAN L Y, et al. Effects of copper pollution on the phenolic compound content, color, and antioxidant activity of wine[J]. *Molecules*, 2017, 22(5): 726-741.
- [27] 孙翔宇. 国产葡萄酒中铜含量分析及铜对葡萄酒质量的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- SUN X Y. Analysis of the copper content in Chinese domestic wines and the effect of copper on wine quality[D]. Beijing: China Agriculture University, 2017.
- [28] 郭安鹊. 葡萄酒氧化褐变的机制及二氧化硫抗氧化替代物的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- GUO A Q. Mechanisms of oxidative browning of wine and antioxidant alternative to sulfur dioxide in wine[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2007.
- [29] MARLIZE Z B, AGNIESZKA M V, PAUL A S, et al. The effects of pH and copper on the formation of volatile sulfur compounds in Chardonnay and Shiraz wines post-bottling[J]. *Food Chemistry*, 2016, 207: 148-156.
- [30] 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 of the factors affecting the stability of anthocyanins wine in fermentation process[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(5): 15-19.
- [31] 张传军, 王淑慧. 发酵过程对葡萄酒色素影响的研究[J]. *中国酿造*, 2009, 28(12): 88-90.
- ZHANG C J, WANG S H. Research on pigment during wine fermentation[J]. *China Brewing*, 2009, 28(12): 88-90.
- [32] 康晓鸥. 葡萄花色苷的变色特征及其在鉴别红葡萄酒中色素的应用[D]. 保定: 河北大学, 2015.
- KANG X O. Characteristic of grape anthocyanins and its application in identification of pigment in red wine[J]. Baoding: Hebei University, 2015.
- [33] ZSUZSANNA C, IBOLYA H, LÁSZLÓ K, et al. The effect of temperature, pH, and ionic strength on color stability of red wine[J]. *Tetrahedron*, 2015, 71(20): 3027-3031.
- [34] 吴娟弟, 张波, 韩丽婷, 等. 金属离子及酚酸添加对模拟葡萄酒溶液辅色作用的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(6): 15-24.
- WU J D, ZHANG B, HAN L T, et al. Effects of metal ion and phenolic acid additions on the copigmentation of simulated wine solution[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(6): 15-24.
- [35] ZSUZSANNA C, IBOLYA H, LÁSZLÓ K, et al. Unexpected effect of potassium ions on the copigmentation in red wines[J]. *Food Research International*, 2012, 45(1): 272-276.
- [36] 宋长征. 锌元素对梅鹿辄葡萄果实与葡萄酒质量及幼苗生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- SONG C Z. Influence of zinc on the quality of Merlot grape and wine and the growth of Merlot seedlings responding to excess zinc[J]. Yangling: Northwest A & F University, 2018.
- [37] SANDOR K M, ERIKA O, LASZLO K, et al. Effect of ferrous and ferric ions on copigmentation in model solutions[J]. *Journal of Molecular Structure*, 2008, 891(1): 471-474.
- [38] 刘众杰, 李傲, 崔梦杰, 等. 铜胁迫下葡萄植株的生理响应和铜转运蛋白基因 *VvCTR1* 的克隆及分析



- [J]. 南京农业大学学报, 2018, 41(2): 256-265.
- LIU Z J, LI A, CUI M J, et al. Physiological responses to copper stress in grape plants and cloning and analysis of copper transport *VvCTR1* gene[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2018, 41(2): 256-265.
- [39] 张鑫荣, 杨洪强, 隋静, 等. 葡萄根系钙处理对叶片镉伤害的保护作用[J]. 园艺学报, 2008, 35(10): 1405-1410.
- ZHANG X R, YANG H Q, SUI J, et al. Calcium protects grape leaves against cadmium stress by root treatment[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2008, 35(10): 1405-1410.
- [40] 张富民, 赖呈纯, 潘红, 等. 葡萄钙素营养需求与施用措施[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2018(5): 53-56.
- ZHANG F M, LAI C C, PAN H, et al. Nutrient requirement and application measures of calcium for grape[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2018(5): 53-56.
- [41] 计汪栋, 施国新, 杨海燕, 等. 铜胁迫对竹叶眼子菜叶片生理指标和超微结构的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2727-2732.
- JI W D, SHI G X, YANG H Y, et al. Effects of  $\text{Cu}^{2+}$  stress on leaf physiological indice and ultra-structure of *Potamogeton malaiianus*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(12): 2727-2732.
- [42] 管虹. 铜离子对不同品种葡萄试管苗毒害机理的初步研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2009.
- GUAN H. Primary study on the toxic mechanism of  $\text{Cu}^{2+}$  on the grape test tube seedlings[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2009.
- [43] 郭亮. 长株潭地区葡萄园重金属含量评价及镉对葡萄生理特性的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- GUO L. The evaluation on the heavy metal content of vineyards in the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Area and the effects of Cd on the physiological characteristics of the grape[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2016.
- [44] AZENHA M, VASCONCELOS M, MORADAS-FERREIRA P. The influence of Cu concentration on ethanolic fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2000, 90(2): 163-167.
- [45] FERREIRA J, TOIT M, TOIT W. The effects of copper and high sugar concentrations on growth, fermentation efficiency and volatile acidity production of different commercial wine yeast strains[J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2006, 12(1): 50-56.
- [46] ROBINSON N, WINGE D. Copper metallochaperones[J]. Annual Review of Biochemistry, 2010, 79(1): 537-562.
- [47] SUN X Y, YU Z, LIU L L, et al. Copper tolerance and biosorption of *Saccharomyces cerevisiae* during alcoholic fermentation[J]. PLoS One, 2015, 10(6): e0128611.
- [48] WANG L H, WANG R H, ZHAN J C, et al. High levels of copper retard the growth of *Saccharomyces cerevisiae* by altering cellular morphology and reducing its potential for ethanolic fermentation [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 56(6): 2720-2731.
- [49] SUN X Y, LIU L L, MA T T, et al. Effect of high  $\text{Cu}^{2+}$  stress on fermentation performance and copper biosorption of *Saccharomyces cerevisiae* during wine fermentation[J]. Food Science and Technology, 2019, 39(1): 19-26.
- [50] STEHLIK T V, GULAN Z V, STANZER D, et al. Zinc, copper and manganese enrichment in yeast *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Food Technology and Biotechnology, 2004, 42(2): 115-120.
- [51] BANCIL L, BERTINI I, CANTINI F, et al. Cellular copper distribution: A mechanistic systems biology approach [J]. Cellular & Molecular Life Sciences, 2010, 67(15): 2563-2589.
- [52] 杜君, 李海兰, 李慧, 等. 铜对葡萄酒酿酒酵母的氧化胁迫机制[J]. 中国农业科学, 2011, 44(2): 369-378.
- DU J, LI H L, LI H, et al. Oxidative stress of wine yeasts under copper exposure[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(2): 369-378.
- [53] MIGOCKA M. Copper-transporting ATPases: The evolutionarily conserved machineries for balancing copper in living systems[J]. Iubmb Life, 2015, 67(10): 737-745.
- [54] 李金梁. 葡萄酒中铁、铜、锰的形态分析及其分布特征研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- LI J L. Speciation analysis and distribution characteristics of iron, copper and manganese in wine[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2021.
- [55] DANILEWICZ J C. Reactions involving iron in mediating catechol oxidation in model wine[J]. Ameri-

- can Journal of Enology and Viticulture, 2013, 64 (3): 316–324.
- [56] CLARK A C, DIAS D A, SMITH T A, et al. Iron (III) tartrate as a potential precursor of light-induced oxidative degradation of white wine: Studies in a model wine system[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(8): 3575–3581.
- [57] KATHERINE M, JOSÉ P N, ISIDRO H G, et al. Systematic study of hydroxyl radical production in white wines as a function of chemical composition[J]. Food Chemistry, 2019, 288: 377–385.
- [58] 李施瑶. 干红葡萄酒陈酿期间乙醛对氧接触程度的响应机制[D]. 烟台: 烟台大学, 2020.
- LI S Y. Response mechanism of acetaldehyde to oxygen exposure during aging process of dry red wine[D]. Yantai: Yantai University, 2020.
- [59] VIVIERS M Z, SMITH M E, WILKES E, et al. Effects of five metals on the evolution of hydrogen sulfide, methanethiol, and dimethyl sulfide during anaerobic storage of Chardonnay and Shiraz wines[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(50): 12385–12396.
- [60] NEDJMA M, HOFFMANN N. Hydrogen sulfide reactivity with thiols in the presence of copper (II) in hydroalcoholic solutions of cognac brandies: Formation of symmetrical and unsymmetrical dialkyltrisulfides[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996, 44(12): 3935–3938.
- [61] LI Y, PREJANO M, TOSCANO M, et al. Oenin and quercetin copigmentation: Highlights from density functional theory [J]. Frontiers in Chemistry, 2018, 6, 245.
- [62] MORI M, KONDO T, YOSHIDA K. Cyanosalvianin, a supramolecular blue metalloanthocyanin, from petals of *Salvia uliginosa*[J]. Phytochemistry, 2008, 69(18): 3151–3158.
- [63] SIGURDSON G T, ROBBINS R J, COLLINS T M, et al. Evaluating the role of metal ions in the bathochromic and hyperchromic responses of cyanidin derivatives in acidic and alkaline pH[J]. Food Chemistry, 2016, 208(1): 26–34.
- [64] DIEGO L V, REGINA C, PAULINA O, et al. Protection of color and chemical degradation of anthocyanin from purple corn (*Zea mays* L.) by zinc ions and alginate through chemical interaction in a beverage model [J]. Food Research International, 2018, 105: 169–177.
- [65] MOURAD E, CHARLOTTE C, FRANCK M, et al. Complexation of iron (III) by catecholate-type polyphenols[J]. Inorganica Chimica Acta, 2006, 360 (1): 353–359.
- [66] 张军翔, 冯长根, 李华. 不同品种红葡萄酒花色苷高效液相色谱指纹图谱识别[J]. 农业工程学报, 2006, 22(10): 216–221.
- ZHANG J X, FENG C G, LI H. Recognition of red wines from different grape cultivars by high-performance liquid chromatography anthocyanins fingerprint[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(10): 216–221.
- [67] 辛若竹, 丁梅, 卜丽伟. 有机酸指纹图谱快速鉴定山葡萄酒及葡萄露酒原液含量的方法研究[J]. 酿酒科技, 2013(9): 102–106.
- XIN R Z, DING M, BU L W. Research on rapid identification of original Juice content in Mountain Grape Wine and its blending wine by organic acid fingerprint[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2013(9): 102–106.
- [68] 谢建军, 陈小帆, 陈文锐, 等. 气相色谱指纹图谱法进行红葡萄酒产地溯源表征[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 253–257.
- XIE J J, CHEN X F, CHEN W R, et al. Tracing the geographical origin of red wine based on gas chromatographic fingerprint[J]. Food Science, 2013, 34(18): 253–257.
- [69] 田进, 吴成, 杨金仙, 等. 葡萄酒有孢汉逊酵母属分子指纹图谱分析[J]. 菌物学报, 2020, 39(4): 755–765.
- TIAN J, WU C, YANG J X, et al. The molecular fingerprinting analysis of *Hanseniaspora* in wine[J]. Mycosystema, 2020, 39(4): 755–765.
- [70] ASTRAY G, MARTINEZ-CASTILLO C, MEJUTO J C, et al. Metal and metalloid profile as a fingerprint for traceability of wines under any Galician protected designation of origin[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2021, 102: 1–10.
- [71] CERUTTI C, SANCHEZ R, SANCHEZ C, et al. Prospect on rare earth elements and metals fingerprint for the geographical discrimination of commercial Spanish wines [J]. Molecules, 2020, 25 (23): 5602–5078.

## The Role of Metal Elements in Wine Quality

Huang Yushan<sup>1</sup>, Fan Shuyue<sup>1</sup>, Gou Xuheng<sup>1</sup>, Wang Yulu<sup>1</sup>, Ou Beini<sup>1</sup>, Li Yunkui<sup>1,2\*</sup>

*(<sup>1</sup>College of Enology, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi*

*<sup>2</sup>Ningxia Helan Mountain's East Foothill Wine Experiment and Demonstration Station of Northwest A & F University, Yinchuan 750104)*

**Abstract** Metal elements play an important role in the formation and stability of wine quality and style. Recent studies have found that there are large differences in the content of metal elements in wine samples from different wine regions; different types and concentrations of metal elements have different effects on wine quality. In this work, the types, sources, contents and influencing factors of metal elements in wine were reviewed. The effect and its mechanism of metal elements in wine quality found in recent years were summarized, in order to provide references for wine brewing and quality control.

**Keywords** metal ions; wine; mechanism; oxidation-reduction; copigmentation