

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240517003

澄清处理对干红葡萄原酒中矿质元素的影响

聂旭元¹, 张军强², 况刚¹, 王强^{1*}

- 重庆第二师范学院生物与化学工程学院, 重庆 400065;
- 甘肃张掖国风葡萄酒业有限责任公司, 张掖 734000

摘要: 目的 测定澄清材料最佳澄清质量浓度下干红葡萄原酒中18种矿质元素的含量, 筛选最优的矿质元素澄清材料。**方法** 用不同质量浓度的明胶、蛋清粉、皂土、果胶酶、聚乙烯吡咯烷酮(polyvinyl-polyrrolidone, PVPP)和壳聚糖溶液对干红葡萄原酒做澄清处理; 确定各澄清材料的最佳澄清质量浓度; 采用电感耦合等离子体质谱测定最佳澄清质量浓度下干红葡萄原酒中Al、Cr、Ni、Mn、Fe、Cu、Ca、Mg、Zn、Sr、Co、Mo、Sn、Sb、Pb、As、Hg、Cd元素的含量。**结果** 干红葡萄原酒明胶澄清的最佳质量浓度为0.4 mg/mL, 皂土为1.2 mg/mL, 蛋清粉为0.6 mg/mL, 果胶酶为1.2 mg/mL, PVPP为0.6 mg/mL, 壳聚糖为0.8 mg/mL; 干红葡萄原酒中Pb、As、Hg、Cd未检出, 经澄清处理后干红葡萄原酒中的矿质元素的含量有不同程度的下降, 其中壳聚糖的沉降效果最显著。**结论** 澄清处理可以降低干红葡萄酒中矿质元素的含量, 其中Fe和Cu元素的含量影响干红葡萄酒的口感和色泽, 重金属元素的含量影响干红葡萄酒的品质, 因此干红葡萄原酒的澄清材料既要能去除有害的金属元素还要尽可能保留营养元素。

关键词: 干红葡萄原酒; 澄清材料; 矿质元素

Effects of clarification treatment on mineral elements in dry red grape raw wine

NIE Xu-Yuan¹, ZHANG Jun-Qiang², KUANG Gang¹, WANG Qiang^{1*}

- School of Biological & Chemical Engineering, Chongqing University of Education, Chongqing 400065, China;
- Gansu Zhangye Guofeng Wine Industry Co., Ltd., Zhangye 734000, China

ABSTRACT: Objective To determine the content of 18 kinds of mineral elements in dry red grape wine under the optimal concentration of clarifier materials and to screen the best clarifiers. **Methods** The dry red grape wine was clarified with different concentrations of gelatin, egg white powder, bentonite, pectinase, polyvinyl pyrrolidone (PVPP) and chitosan solution, the contents of Al, Cr, Ni, Mn, Fe, Cu, Ca, Mg, Zn, Sr, Co, Mo, Sn, Sb, Pb, As, Hg and Cd in dry red grape wine were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry at the optimum clarification concentration. **Results** The optimal concentration of gelatin for clarification of dry red grape wine was 0.4 mg/mL, bentonite was 1.2 mg/mL, egg white powder was 0.6 mg/mL, pectinase was 1.2 mg/mL, PVPP was 0.6 mg/mL, chitosan was 0.8 mg/mL, Pb, As, Hg and Cd in dry red grape wine were not detected, after clarification, the content of mineral elements in the dry red grape wine decreased to different degrees, and the sedimentation effect of chitosan was the most

基金项目: 重庆第二师范学院校级科研项目(KY201917C)

Fund: Supported by the School-level Scientific Research Project of Chongqing University of Education (KY201917C)

*通信作者: 王强, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品加工及贮藏。E-mail: gogo1443@sina.com

*Corresponding author: WANG Qiang, Ph.D, Professor, School of Biological & Chemical Engineering, Chongqing University of Education, Chongqing 400065, China. E-mail: gogo1443@sina.com

significant. **Conclusion** Clarification treatment can reduce the content of mineral elements in dry red wine, in which the content of Fe and Cu elements affect the taste and color of dry red wine, and the content of heavy metal elements affects the quality of dry red wine. Therefore, the clarification material of dry red wine should not only remove harmful metal elements but also retain nutritional elements as much as possible.

KEY WORDS: dry red grape raw wine; clarification material; mineral elements

0 引言

干红葡萄酒是依次经酒精发酵、苹果酸-乳酸发酵、自然澄清、调配、澄清处理以及灌装等工艺流程制作的酒精饮品。其富含多种矿物质元素, 必需元素 Ca、Mg、Zn、Sr 等元素的含量对干红葡萄酒的品质具有显著影响; Pb、As、Hg、Cd 等重金属元素则对干红葡萄酒有潜在的污染^[1-2]。Fe 和 Cu 元素含量对干红葡萄酒的色泽和口感具有重要影响。Fe 含量超过 8 mg/L 时, 易与空气接触产生微弱浑浊, 导致品质下降^[2]。Cu 含量高于 0.5 mg/L 时, 也可能导致浑浊和棕褐色沉淀物生成^[3]。干红葡萄酒含有果胶、多糖、蛋白质、多酚及各种矿物质元素等多种成分^[4], 这些成分使得酒体稳定性较差。通过研究澄清材料对葡萄酒中矿质元素含量的影响, 可以优化澄清工艺, 在去除有害元素的同时, 保留葡萄酒中的必需营养元素如 Ca、Mg、Zn 等, 有助于维持葡萄酒的营养价值。研究不同澄清材料的最佳使用浓度, 可以为葡萄酒生产提供更精确的工艺参数, 提高干红葡萄酒的稳定性。确保葡萄酒产品符合国家和地区关于食品中矿质元素含量的法规标准, 避免法律风险。

为确保干红葡萄酒的稳定性, 通常采用板式过滤、自然澄清、下胶澄清、冷冻处理以及膜过滤等多种技术手段对葡萄酒进行澄清处理^[5]。下胶澄清能有效促使悬浮物质快速沉降, 使酒体清澈透亮。不同类型的下胶澄清材料对干红葡萄酒中各组分的沉降效果各异^[4,6-7], 因此下胶澄清处理直接影响干红葡萄酒中各组分的含量, 进一步影响干红葡萄酒的色泽和口感^[8-11]。常用的下胶材料有明胶、蛋清、皂土、果胶酶、酪蛋白、壳聚糖以及聚乙烯吡咯烷酮 (polyvinyl-polyrrolidone, PVPP) 等。本研究利用电感耦合等离子质谱技术, 对经过下胶澄清处理后的干红葡萄酒中 18 种矿物质元素含量进行了测定, 并深入探讨了各常用下胶材料对干红葡萄酒中矿物质元素含量的影响。系统地筛选和评估了明胶、蛋清粉、皂土、果胶酶、PVPP 和壳聚糖对葡萄酒中矿质元素含量的影响, 为去除葡萄酒中的有害金属元素和保留营养元素选择合适的澄清材料提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

赤霞珠干红葡萄酒(甘肃张掖国风葡萄酒业有限公

司); 明胶、酪蛋白、蛋清粉、壳聚糖、果胶酶、PVPP(食品级, 河南万邦实业有限公司); 皂土(烟台帝伯仕自酿机有限公司)。

硝酸(优级纯, 重庆川东化工有限公司); 多元素标准溶液(100 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心, GSB 04-1767-2004); 一水柠檬酸(分析纯, 成都市科隆化学制品有限公司)。

1.2 仪器与设备

GL224-1SCN 万分之一电子天平(赛多利斯科学仪器有限公司); CEM Mars Classic 微波消解仪(美国 CEM 公司); BHW-090-20 赶酸器(上海博通化学科技公司); Agilent 7700 series 电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦科技有限公司); UV 9600 紫外-可见分光光度计(北京北分瑞利分析仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 干红葡萄酒原酒的下胶方法

配制母液质量浓度为 20 mg/mL 明胶、蛋清粉、酪蛋白、PVPP 溶液和 40 mg/mL 果胶酶、壳聚糖、皂土溶液, 在 50 mL 比色管中加赤霞珠干红原酒, 按表 1 质量浓度进行下胶, 加原酒至 50 mL, 摇匀, 每隔 2 h 摇匀一次, 连续摇 4 次, 放 4°C 静置澄清 7 d^[11]。

表 1 下胶的质量浓度表

Table 1 Mass concentration table of the glue

下胶材料	下胶质量浓度/(mg/mL)				
明胶	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
蛋清粉	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
酪蛋白	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
PVPP	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
壳聚糖	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
果胶酶	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
皂土	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0

1.3.2 干红葡萄酒原酒色度的测定

分别在波长 420、520 和 620 nm 处测定澄清后的干红葡萄酒原酒上清液吸光度(optical density, OD 值), 3 值相加即为干红葡萄酒原酒的色度(色度 $A=OD_{420}+OD_{520}+OD_{620}$)^[12-14]。

1.3.3 干红葡萄酒原酒澄清度的测定

取澄清后的干红葡萄酒原酒样品上清液, 于波长 680 nm 处测定透光率 T , 以 $T_{680\text{nm}}$ 表示干红葡萄酒原酒的澄清度^[14]。

1.3.4 干红葡萄酒原酒样品消解

准确吸取 0.5000 g 经明胶、蛋清粉、皂土、酪蛋白、果胶酶、PVPP、壳聚糖下胶澄清后的干红葡萄酒原酒样品于消解罐中; 赶酸器 100°C 挥发样品至尽干, 加硝酸 7 mL, 110°C 预消解 30 min, 自然冷却至室温, 然后置微波消解仪中程序升温消解。消解结束后, 120°C 赶酸至 1 mL 左右, 将消解液转移至 25 mL 塑料容量瓶, 加水定容。同时做空白实验^[15]。

1.3.5 标准品溶液的配制

使用 5% HNO₃ 溶液配制质量浓度为 5、10、20、50、100、200、500 ng/mL 多元素混合标准溶液。测定对应浓度的离子数, 以浓度(X)为横坐标, 离子计数(Y)为纵坐标, 绘制标准曲线, 生成线性方程。

1.3.6 电感耦合等离子体质谱仪测试条件

等离子体具体参数如表 2。

表 2 等离子体参数设置
Table 2 Plasma parameter settings

参数名称	参数值	参数名称	参数值
射频功率/W	1550	射频电压/V	1.6
载气流速/(L/min)	1.13	补偿气流速/(L/min)	0.00
采样深度/mm	8.0	雾化室温度/°C	2
积分时间/s	0.3	样品提升速率/(r/min)	0.10
提取透镜 1 电压/V	0	提取透镜 2 电压/V	-200
Omega 偏转电压/V	-90	Omega 透镜电压/V	6.6
碰撞池入口电压/V	-60	碰撞池出口电压/V	-40
Deflect 电压/V	1	Plate bias/V	-50
八级杆射频电压/V	190	八级杆偏转电压/V	-18
氦气流量/(L/min)	4.3	能量歧视电压/V	3.0

仪器调试到正常工作状态, 使氧化物、双电荷、灵敏度满足分析测试要求(CeO+Ce+<3%、Ce++/Ce+<2%, 59Co>5000、89Y>8000、205Tl>5000)。

1.3.7 干红葡萄酒原酒中矿质元素的测定

设置仪器参数, 编辑进样列表, 将配制好的标准溶液和待测样品溶液依次上机进行测定。

1.4 数据处理

利用 SPSS Statistics 19.0 分析软件进行数据的统计分析, *t* 检验比较两组样本均数之间的差异, 若 *P*<0.05 则认为检验结果具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 下胶材料最佳澄清浓度的确定

由表 3 分析明胶下胶随着明胶质量浓度的增加, 干红葡萄酒的色度呈现下降趋势, 而透光率则相应上升, 表明明胶下胶处理有助于减少干红葡萄酒中的色素和悬浮颗粒, 从而增加其澄清度; 此外, 胶泥层的增厚也潜在的提升了葡萄酒的热稳定性, 因为胶泥层的形成可能有助于去除影响热稳定性的杂质^[16]。皂土下胶处理后, 干红葡萄酒的色度未显著性变化, 但胶泥层厚度有所增加; 随皂土浓度的增加透光率在达到 53% 后不再有明显变化, 说明皂土在提高干红葡萄酒澄清度方面的效果有限。果胶酶下胶处理对干红葡萄酒的透光率有一定的负面影响, 色度未显著性变化, 说明果胶酶在提高葡萄酒澄清度方面的效果并不理想。壳聚糖质量浓度增加到 2.0 mg/mL 时, 干红葡萄酒的澄清度显著提升, 同时胶泥层厚度随着下胶质量浓度的升高呈现出增加趋势, 而色度和 pH 相对稳定, 没有出现明显的波动, 这表明壳聚糖是一种温和而有效的下胶澄清材料。PVPP 和蛋清粉下胶处理随着材料浓度的增加, 胶泥层厚度呈现出不断增加的趋势, 色度和 pH 未显著性变化, 表明这两种材料在下胶对干红葡萄酒中成分影响较小。基于上述分析, 用单一材料对干红葡萄酒下胶处理, 明胶的最佳下胶质量浓度为 0.4 mg/mL, 皂土和果胶酶为 1.2 mg/mL, 壳聚糖为 0.8 mg/mL, PVPP 和蛋清粉的最宜下胶质量浓度为 0.6 mg/mL。

表 3 干红葡萄酒原酒下胶后理化指标变化
Table 3 Changes in physical and chemical indexes of dried red grape after gum application

下胶材料	质量浓度/(mg/mL)	色度	透光率/%	pH	胶泥厚度/cm
未下胶	0.0	1.112±0.001	49.9±0.1	3.92±0.01	0.00
	0.2	0.955±0.001	51.8±0.1	3.92±0.03	0.38±0.04
	0.4	0.867±0.001*	56.7±0.2	3.92±0.01	0.63±0.05
明胶	0.6	0.731±0.001*	65.2±0.1*	3.90±0.01	0.75±0.04
	0.8	0.663±0.002*	71.1±0.1*	3.94±0.01	0.72±0.20
	1.0	0.602±0.002*	75.9±0.1*	3.94±0.01	0.68±0.04
	0.4	0.938±0.001	49.9±0.1	3.95±0.02	0.45±0.04
	0.8	0.984±0.001	50.8±0.0	3.92±0.00	0.94±0.06
皂土	1.2	0.983±0.001	53.0±0.1	3.95±0.01	1.40±0.02
	1.6	0.963±0.001	52.6±0.0	3.95±0.01	1.79±0.01
	2.0	0.930±0.001	53.9±0.2	3.94±0.01	2.36±0.11

表 3(续)

下胶材料	质量浓度/(mg/mL)	色度	透光率/%	pH	胶泥厚度/cm
果胶酶	0.4	1.059±0.002	42.8±0.1	3.93±0.01	0.01±0.01
	0.8	1.031±0.001	43.8±0.0	3.94±0.01	0.01±0.00
	1.2	1.010±0.002	48.0±0.1	3.92±0.01	0.01±0.00
	1.6	1.008±0.001	46.0±0.1	3.91±0.01	0.01±0.01
	2.0	1.051±0.001	43.7±0.1	3.93±0.01	0.01±0.01
壳聚糖	0.4	1.051±0.000	42.8±0.1	3.94±0.02	0.01±0.01
	0.8	1.031±0.002	54.3±0.2	3.90±0.02	0.50±0.05
	1.2	0.975±0.002	55.9±0.1	3.90±0.02	0.63±0.14
	1.6	1.122±0.001	42.1±0.1	3.96±0.02	0.86±0.01
	2.0	0.924±0.001	62.4±0.1*	3.88±0.01	1.25±0.08
PVPP	0.2	1.029±0.001	45.2±0.0	3.93±0.01	0.10±0.02
	0.4	1.093±0.000	46.6±0.1	3.94±0.01	0.10±0.01
	0.6	1.000±0.001	48.3±0.2	3.95±0.02	0.29±0.03
	0.8	1.005±0.001	48.0±0.0	3.94±0.02	0.24±0.06
	1.0	0.988±0.001	48.7±0.1	3.94±0.01	0.32±0.03
蛋清粉	0.2	1.052±0.001	45.3±0.1	3.89±0.01	0.26±0.05
	0.4	1.002±0.001	47.3±0.0	3.94±0.01	0.41±0.07
	0.6	1.023±0.008	48.3±0.0	3.93±0.01	0.53±0.09
	0.8	0.938±0.002	49.5±0.3	3.95±0.02	0.45±0.07
	1.0	0.941±0.002	51.4±0.1	3.96±0.01	0.59±0.08

注: *表示与未下胶(对照组)相比,具有显著性差异, $P<0.05$,表 5 同。

2.2 各元素的线性方程

线性方程是描述各元素标液浓度和离子计数之间关系的方程,通过相关系数说明两者之间的相关程度。由表 4 可知 18 种矿质元素的线性相关系数均大于 0.9990,满足分析测定的要求,测定数据真实可靠。通过这些线性方程可计算出葡萄酒样品中相应金属离子的浓度。

2.3 各下胶材料对重金属离子的沉降效果对比

由表 5 可知张掖产的赤霞珠干红葡萄酒原酒中富含营养元素,其中 Ca 含量 547 mg/kg, Mg 为 8170 mg/kg, Zn 为 10.495 mg/kg, Sr 为 95.592 mg/kg; 重金属元素铝含量为 0.838 mg/kg, Cr 为 0.028 mg/kg, Pb、As、Hg、Cd 未检出,这充分说明该葡萄酒原酒营养元素含量高,重金属污染极低,整体品质佳^[16-18]。此外该葡萄酒原酒中 Fe 元素含量为 4.226 mg/kg, Cu 元素含量为 0.253 mg/kg, 两者质量浓度均低于诱发破败病的阈值^[19]。

干红葡萄酒原酒经明胶、皂土、果胶酶、壳聚糖、PVPP 以及蛋清粉下胶工艺处理后,酒体内的 Al、Cr、Mn、Fe、Ni、Cu、B、Mg、Ca、Co、Zn、Sr、Mo、Sn、Sb 等矿质元素质量浓度有不同程度的变化。干红葡萄酒原酒中的 Al 离子经明胶、皂土和蛋清粉下胶处理后,Al 离子质量浓度显著增加,这可能是由于这些下胶材料中含有较高 Al 离子;壳聚糖下胶葡萄酒中的 Al 离子质量浓度下降了 20%左右,

表 4 线性方程及相关系数

Table 4 Linear equations and correlation coefficients

元素	线性方程	相关系数
Al	$Y=567.00X+8665.10$	0.9995
Cr	$Y=21349.30X-3170.63$	0.9998
Mn	$Y=12228.24X+1079.10$	0.9999
Fe	$Y=18434.98X+57164.83$	0.9999
Ni	$Y=10034.27X-3320.89$	1.0000
Cu	$Y=26865.73X+20722.29$	1.0000
As	$Y=2689.11X+5026.77$	0.9995
Cd	$Y=6908.15X-6273.74$	1.0000
Hg	$Y=10170.8237X-828.77$	0.9991
Pb	$Y=53226.0157X+17090.76$	1.0000
Mg	$Y=1450.5284X+12334.6599$	0.9995
Ca	$Y=28.3905X+285.0259$	1.0000
Co	$Y=37219.1270X+15699.7022$	0.9999
Zn	$Y=3756.5914X+3253.1985$	0.9999
Sr	$Y=17390.9550X+27310.0044$	0.9996
Mo	$Y=14192.4340X+13510.0092$	0.9998
Sn	$Y=15856.4006X+7701.1312$	1.0000
Sb	$Y=18637.8850X+14884.7241$	1.0000

表 5 下胶材料对葡萄原酒中矿质元素的沉降作用(mg/kg)
Table 5 Sedimentation effect of gum materials on mineral elements in grape wine (mg/kg)

元素	未下胶	明胶	皂土	果胶酶	壳聚糖	PVPP	蛋清粉
Al	0.838±0.014	1.380±0.051*	2.191±0.205*	0.794±0.033	0.662±0.050*	0.873±0.085	1.167±0.080*
Cr	0.028±0.030	0.033±0.007	0.031±0.004	0.034±0.008	0.028±0.002	0.030±0.001	0.046±0.020*
Ni	0.069±0.003	0.037±0.007*	0.031±0.003*	0.031±0.004*	0.045±0.009*	0.036±0.004*	0.032±0.003*
Mn	2.076±0.056	1.926±0.055*	2.015±0.015	2.020±0.011	1.950±0.007*	2.047±0.073	1.961±0.009*
Fe	4.226±0.045	2.067±0.079*	3.666±0.086*	3.916±0.162*	0.963±0.018*	3.751±0.109*	3.486±0.202*
Cu	0.253±0.005	0.209±0.004*	0.184±0.003*	0.245±0.004*	0.151±0.003*	0.248±0.006	0.225±0.004*
Ca	547±1	526±6*	580±19*	536±10*	458±2*	547±23	550±2
Mg	8170±5*	8029±57*	8252±99*	8124±21*	8051±22*	8383±268*	8118±46*
Zn	10.495±0.293	8.635±0.074*	10.010±1.600*	10.897±1.718*	8.108±0.293*	9.235±0.306*	9.361±0.707*
Sr	95.592±0.351	91.833±0.938*	96.108±1.971*	92.817±0.427*	33.366±0.744*	95.953±2.768*	93.590±0.683*
Co	0.443±0.030	0.112±0.008*	0.130±0.026*	0.123±0.018*	0.102±0.016*	0.102±0.013*	0.110±0.009*
Mo	0.454±0.021*	0.061±0.002*	0.079±0.008*	0.058±0.045*	未检出	0.100±0.024*	0.102±0.002*
Sn	0.756±0.156	0.532±0.019*	0.527±0.032*	0.535±0.022*	0.506±0.023*	0.629±0.062*	0.515±0.019*
Pb	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
As	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
Hg	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
Cd	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
Sb	0.310±0.030	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出

果胶酶和 PVPP 下胶后 Al 离子质量浓度未见明显变化。Cr 离子和 Ni 离子在干红葡萄酒中的质量浓度相对较低, 使用蛋清粉下胶后 Cr 离子质量浓度上升了 64%, 而其他下胶材料对该离子质量浓度无明显影响; 所有下胶材料都能有效降低干红葡萄酒中 Ni 离子的质量浓度。对于 Mn 离子, 明胶、壳聚糖和蛋清粉下胶可显著减少葡萄酒中 Mn 离子的质量浓度, 其他下胶材料影响不显著。所有下胶材料均可有效降低干红葡萄酒中 Fe 离子和 Cu 离子质量浓度, 其中壳聚糖沉降效果尤为显著, 下降了 77%。干红葡萄酒中 Ca、Mg、Zn 离子质量浓度较高, 经下胶处理后其质量浓度大多数有不同幅度的下降。皂土下胶后葡萄原酒中 Ca 离子质量浓度略有提升, 而明胶、果胶酶和壳聚糖下胶后 Ca 离子质量浓度有所下降; 皂土和 PVPP 下胶使 Mg 离子质量浓度略微升高, 其他材料下胶 Mg 离子质量浓度呈下降趋势; 经下胶处理后 Zn 离子和 Sr 离子质量浓度大多数表现出显著性下降趋势。至于葡萄原酒中的 Co、Mo、Sn 等微量元素, 在经过各种下胶材料处理后, 其质量浓度同样显著降低。最后, 干红葡萄酒中 Pb、As、Hg 和 Cd 元素未检出。

3 讨论与结论

下胶澄清是葡萄酒酿造中至关重要的步骤, 它对葡萄酒中各成分的含量平衡具有显著影响, 进而影响葡萄酒的色泽、澄清度、香气和口感等重要指标。色素、单宁、

酚酸和其他酚类化合物的含量变化直接影响葡萄酒的色泽^[20-21]; 不溶性物质如皮残渣、酵母、蛋白质和多酚会影响其澄清度; 而醇类^[22-24]、酯类^[25-26]、挥发酸^[27-28]、酯化物^[29]和萜烯类^[30]的含量则关系到葡萄酒的香气特征酒精、糖分、单宁、挥发酸和矿物元素的含量则直接影响口感^[31-36]。因此, 科学选择下胶材料可以有效优化干红葡萄酒的色泽、提升澄清效果、促进香气的和谐与丰富性, 全面提升葡萄酒品质。本研究对张掖产的赤霞珠干红葡萄酒原酒经过明胶、蛋清粉、皂土、果胶酶、PVPP 及壳聚糖澄清剂处理后的实验结果显示, 葡萄酒中 Al、Cr、Pb、As、Hg、Cd、Mn、Ni、Sb、Cu、Fe、Ca、Mg、Zn、Co、Sr、Mo 和 Sn 元素的浓度均有不同程度的下降。尤其是壳聚糖在去除 Cu 和 Fe 元素方面表现出突出的效果。实验结果显示赤霞珠干红葡萄酒中的重金属元素 Pb、As、Hg 和 Cd 的含量低于检出限, 未被检出; Al 和 Cr 的含量较低, 葡萄酒中 Fe 和 Cu 元素的含量也未达到致病的限度。

本研究揭示了不同下胶材料对干红葡萄酒中矿物元素含量的影响, 特别是壳聚糖在降低重金属元素含量方面的显著效果。这为葡萄酒加工过程中的矿物元素控制提供了可行性方案。基于本研究结果, 进一步深入研究下胶澄清过程中各种下胶材料对葡萄酒中其他成分(如酚类化合物、酸类物质等)的影响机制, 以探索更优化的下胶澄清技术; 在保证产品质量的前提下, 进一步优化下胶工艺, 寻求更环保、高效的下胶澄清方法, 以满足市场需求 and 环境保护要求。这些研究方向有望为生产商提供优化生产工

艺、改善产品质量的科学依据,为葡萄酒产业提供更加科学、可持续的发展路径。

参考文献

- [1] 于亚敏. 发酵型洋葱葡萄酒的工艺优化及品质分析研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018.
YU YM. Study on process optimization and quality analysis of fermented onion Wine [D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2018.
- [2] 范勇超. 日照港进口干红葡萄酒的质量与安全分析[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
FAN YC. Quality and safety analysis of imported dry red wine from Rizhao Port [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017.
- [3] 李湘利, 刘静. 葡萄酒破败的发病机理及综合性防治技术[J]. 酿酒, 2007, 34(6): 73-74.
LI XL, LIU J. The pathogenesis and comprehensive prevention and treatment of Wine iron collapse [J]. Liquor Mak, 2007, 34(6): 73-74.
- [4] 卢新军, 何少华, 范永, 等. 几种下胶材料对干红葡萄酒澄清效果及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(19): 159-165.
LU XJ, HE SH, FAN Y, *et al.* Effects of several sizing materials on the clarification effect and quality of dry red wine [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(19): 159-165.
- [5] 康超, 李国添, 朱珊贤, 等. 不同澄清剂对山葡萄酒澄清效果的影响[J]. 中国酿造, 2018, 37(3): 115-119.
KANG C, LI GT, ZHU SX, *et al.* Effects of different clarifying agents on clarification of mountain Wine [J]. China Brew, 2018, 37(3): 115-119.
- [6] 银晓丽, 王君, 王昕宇. 不同条件下壳聚糖对葡萄酒澄清效果的影响[J]. 酿酒科技, 2020, (4): 57-60, 69.
YIN XL, WANG J, WANG XY. Effect of chitosan on wine clarification under different conditions [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2020, (4): 57-60, 69.
- [7] 张宁波, 徐文磊, 张军翔. 澄清剂和温度对赤霞珠葡萄酒澄清效果的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(10): 87-92.
ZHANG NB, XU WL, ZHANG JX. Effects of clarifier and temperature on clarification of ChiXiazhu wine [J]. Food Ind Sci Technol, 2019, 40(10): 87-92.
- [8] 牛见明, 张波, 史肖, 等. 三种澄清方式对‘美乐’甜型桃红葡萄酒品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(16): 128-135.
NIU JM, ZHANG B, SHI X, *et al.* Effects of three clarification methods on the quality of ‘Melo’ sweet pink wine [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(16): 128-135.
- [9] 马腾臻, 鲁榕榕, 浩楠, 等. 不同下胶澄清处理对瓶内二次发酵起泡葡萄酒品质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(5): 93-100, 128.
MA TZ, LU RR, HAO N, *et al.* Effects of different clarification treatments on the quality of foaming wine by secondary fermentation in bottles [J]. Food Ferment Technol, 2018, 54(5): 93-100, 128.
- [10] 豆一玲, 严玉玲, 陈新军, 等. 不同澄清工艺对无核紫桃红葡萄酒品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(9): 118-122.
DOU YL, YAN YL, CHEN XJ, *et al.* Effects of different clarification processes on the quality of seedless purple pink wine [J]. Food Res Dev, 2019, 40(9): 118-122.
- [11] 吕艳梅, 依力努尔, 宋长冰, 等. 不同澄清剂对赤霞珠干红葡萄酒澄清效果及品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2022, (4): 40-44.
LV YM, ELI NR, SONG CB, *et al.* Effects of different clarifiers on the clarification effect and quality of Chi Xiazhu dry red wine [J]. Chin Foreign Grapes Wine, 2022, (4): 40-44.
- [12] JUÁREZ MC, ECHÁVARRI JF, NEGUERUELA AI. A proposal for a method to measure the colour of red wines by measuring transmittance at three wavelengths [J]. Food Sci Technol Int, 1997, 3(3): 189-193.
- [13] 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 YK, HAN FL, ZHANG YL, *et al.* Intuitive representation of red wine color based on the CIELAB color space [J]. Trans Chin Soc Agric Mach, 2017, 48(6): 296-301.
- [14] 张宁波, 路妍. 酿酒葡萄皮渣对葡萄酒澄清效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(13): 123-128.
ZHANG NB, LU Y. Influence of grape pomace on wine clarification in winemaking [J]. Food Ferment Ind, 2022, 48(13): 123-128.
- [15] ZHANG L, NIE XY, LE T. Rapid determination of 15 metallic elements in 2 kinds of coix seeds by inductively coupled plasma-mass spectrometry after closed-vessel microwave digestion [J]. J Food Process Eng, 2017, 40(5): e12528.
- [16] 董荣, 王舒伟, 石森, 等. 新疆天山北麓产区4种葡萄酒矿物质元素含量与其颜色品质相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(9): 82-88.
DONG R, WANG SW, SHI M, *et al.* Analysis of correlation between mineral element contents and color quality of four types of wines from the northern foot of Tianshan mountain in Xinjiang [J]. Food Ferment Ind, 2023, 49(9): 82-88.
- [17] 熊欣, 刘嘉飞, 蔡展帆, 等. 主成分分析技术对葡萄酒产地进行溯源[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(16): 5477-5484.
XIONG X, LIU JF, CAI ZF, *et al.* Origin traceability of wines using principal component analysis technology [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(16): 5477-5484.
- [18] 廖红梅, 覃然, 陈璐, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定葡萄酒中32种元素的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(12): 4898-4903.
LIAO HM, QIN R, CHEN L, *et al.* Determination of 32 elements in wine by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(12): 4898-4903.
- [19] 李华. 葡萄酒工艺学[M]. 北京: 科学出版社, 2007
LI H. Oenology: The science of winemaking [M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [20] 卢新军, 何少华, 范永, 等. 几种下胶材料对干红葡萄酒澄清效果及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(19): 159-165.
LU XJ, HE SH, FAN Y, *et al.* Effects of several sizing materials on clarification and quality of dry red wine [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(19): 159-165.
- [21] 马懿, 喻康杰, 赖晓琴, 等. 单宁添加对赤霞珠葡萄酒颜色和花色苷含量变化的影响及其相关性研究[J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 81-88.
MA Y, YU KJ, LAI XQ, *et al.* Effects of tannin supplementation on color and anthocyanin content in Chi Xiazhu wine and their correlation [J]. Food Ind Sci Technol, 2024, 45(5): 81-88.
- [22] 孙文静, 吴明, 张众, 等. 无釉陶罐陈酿对贺兰山东麓‘赤霞珠’干红葡萄酒的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(1): 60-66.
SUN WJ, WU M, ZHANG Z, *et al.* The effect of unglazed pottery pot aging on the dry red Wine of Chi Xiazhu in the eastern foot of Helan

- Mountain [J]. Food Ferment Ind, 2023, 49(1): 60–66.
- [23] 徐超, 胡文效, 陈明光, 等. 葡萄酒发酵香气物质调控研究进展[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2024, (1): 81–93.
XU C, HU WX, CHEN MG, *et al.* Research progress on regulation of aroma substances in wine fermentation [J]. Chin Foreign Grapes Wine, 2024, (1): 81–93.
- [24] 黄竞, 黄羽, 曹慕明, 等. 不同采收期对‘野酿 2 号’毛葡萄酒理化特性及香气成分的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 34–42.
HUANG J, HUANG Y, CAO MM, *et al.* Effects of different harvest time on the physicochemical properties and aroma components of wine from ‘Yebrew’ 2 [J]. Food Ind Sci Technol, 2023, 44(18): 34–42.
- [25] 孔彩琳, 许引虎, 黄杰, 等. 酿酒酵母多糖对葡萄酒果香酯类物质水解呈香的表观基质效应[J]. 中国农业科学, 2023, 56(6): 1168–1176.
KONG CL, XU YH, HUANG J, *et al.* Apparent matrix effect of *Saccharomyces cerevisiae* polysaccharides on the hydrolysis of wine fruit esters to aroma [J]. Chin Agric Sci, 2023, 56(6): 1168–1176.
- [26] 祝霞, 赵丹丹, 李俊娥, 等. 河西走廊产区酒球菌酯酶活性对葡萄酒酯类香气物质的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(1): 315–322.
ZHU X, ZHAO DD, LI JE, *et al.* Effect of esterase activity of wine esters on aroma compounds in the Hexi Corridor area [J]. Acta Agric Eng Sin, 2021, 37(1): 315–322.
- [27] 凌梦琪, 邹文文, 吴广枫, 等. 发酵后混酿调控‘赤霞珠’葡萄酒的香气和色泽[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 234–241.
LING MQ, ZOU WW, WU GF, *et al.* Adjusting the aroma and color of Chi Xiazhu wine by blending after fermentation [J]. Mod Food Sci Technol, 2021, 37(4): 234–241.
- [28] 杨沫. 冷浸渍过程中野生酵母发酵特性及其对小芒森葡萄酒香气的影响[D]. 青岛: 齐鲁工业大学, 2018.
YANG M. Fermentation characteristics of wild yeast and its effect on the aroma of Xiaomansen wine during cold maceration [D]. Qingdao: Qilu University of Technology, 2018.
- [29] 祝霞, 韩舜愈, 冒秋丹, 等. 蛇龙珠干红葡萄酒发酵过程中游离态和键合态香气物质的变化分析[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 192–197.
ZHU X, HAN SY, MAO QD, *et al.* Analysis of the changes of free and bonded aroma substances in the fermentation process of snake dragon ball dry red wine [J]. Food Sci, 2013, 34(14): 192–197.
- [30] 陈芳, 张晓旭, 杨晓, 等. 威代尔葡萄成熟及后熟过程中游离态萜烯类香气的变化[J]. 中国食品学报, 2010, 10(6): 187–192.
CHEN F, ZHANG XX, YANG X, *et al.* Changes in the aroma of free terpenes during ripening and post-ripening of Vidal grapes [J]. Chin J Food Sci, 2010, 10(6): 187–192.
- [31] 李记明. 葡萄酒品种香气研究进展[C]. 第四届国际葡萄与葡萄酒学术研讨会论文集, 2005.
LI JM. Research progress on aroma of wine varieties [C]. Proceedings of the 4th International Symposium on Grapes and Wine, 2005.
- [32] 杜娟, 热比古丽·哈力克, 沙吾提·阿布拉江, 等. 甜型葡萄酒的加工工艺[J]. 黑龙江农业科学, 2020, (2): 84–87.
DU J, REBIGULI HLK, SHAWUTI ABLJ, *et al.* Processing technology of sweet wine [J]. Heilongjiang Agric Sci, 2020, (2): 84–87.
- [33] 李思行, 张森, 何苗, 等. 我国果酒加工技术研究进展[J]. 酿酒科技, 2018, (2): 106–108, 112.
LI SX, ZHANG M, HE M, *et al.* Research progress of fruit wine processing technology in China [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2018, (2): 106–108, 112.
- [34] 张斌. 循环和压帽工艺对小树龄梅鹿辄葡萄酒品质的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2017.
ZHANG C. Effects of recycling and capping technology on the quality of small-age Meru Wine [D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2017.
- [35] 李记明, 姜文广, 于英, 等. 土壤质地对酿酒葡萄和葡萄酒品质的影响[J]. 酿酒科技, 2013, (7): 37–40, 45.
LI JM, JIANG WG, YU Y, *et al.* Effects of soil texture on the quality of wine grapes and Wine [J]. Liquor-Making Sci Technol, 2013, (7): 37–40, 45.
- [36] 冯韶辉. 葡萄含糖量对蛇龙珠葡萄酒品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2012, (3): 22–24.
FENG SH. The effect of sugar content of grape on the quality of the wine of the snake dragon [J]. Chin Foreign Grapes Wine, 2012, (3): 22–24.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

作者简介



聂旭元, 硕士, 实验师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: niexuyuan@sohu.com

王强, 博士, 教授, 主要研究方向为农产品加工及贮藏。

E-mail: gogo1443@sina.com