

不同预处理方式黑果腺肋花楸果酒营养品质和抗氧化活性的对比

孙盾, 薛桂新*

(延边大学农学院, 吉林延吉 133000)

摘要: 实验以黑果腺肋花楸果(简称黑果)为实验原料, 对黑果进行无预处理(CK, 为对照)、温水浴处理(HTWB)、苹果催熟处理(AMWA)、晚采收处理(DH)、冷冻处理(LTF) 5种不同方式的预处理, 并加工成果酒, 对比果酒中营养物质含量和抗氧化活性的差异。结果表明, 5种果酒相比, 黑果经过预处理后, 果酒的总酸和抗氧化活性均有显著的降低, 营养成分含量也有较大差异。LTF的多酚含量(8.94 mg/g)和羟自由基清除率(40.9%)显著高于其他果酒($P<0.05$); HTWB的总黄酮(19.23 mg/g)含量、单宁含量(0.782%)和超氧自由基清除率(68.08%)显著高于其他果酒($P<0.05$); DH的花青素含量(0.155 mg/g)和DPPH·清除率(97.91%)显著高于其他果酒($P<0.05$)。主成分分析结果说明5种预处理方式中晚采收处理可以更好的保留果酒中的营养物质, 且操作简单, 费用低, 适宜广泛推广应用。

关键词: 黑果腺肋花楸果酒; 预处理; 营养物质; 抗氧化; 主成分分析

文章编号: 1673-9078(2024)10-302-310

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.10.1190

Comparison of Nutritional Quality and Antioxidant Activity of Rowan Fruit Wines Subjected to Different Pretreatments

SUN Dun, XUE Guixin*

(College of Agriculture, Yanbian University, Yanji 133000, China)

Abstract: In this research, black fruit glandular-ribbed Rowan fruit (short name: blackfruit) was used as the raw material. Blackfruits were pretreated respectively in five different ways, namely, no pretreatment (CK, as the control), warm water bath treatment (HTWB), apple ripening treatment (AMWA), late harvest treatment (DH), and freezing treatment (LTF), and the fruits were processed into fruit wines, to compare the differences in nutrient content and antioxidant activity of the fruit wines. The results showed that after the comparison of the five fruit wines, the pretreatments decreased significantly the fruit wine's total acid content and antioxidant activity and caused significant differences in the nutrient contents of the fruit wines. The polyphenol content (8.94 mg/g) and hydroxyl radical scavenging rate (40.9%) of the LTF-treated wine were significantly higher than those of the other fruit wines ($P<0.05$). The content of total flavonoids (19.23 mg/g), tannin content (0.782%) and superoxide radical scavenging rate (68.08%) of the HTWB-treated wine were significantly higher than those

引文格式:

孙盾,薛桂新.不同预处理方式黑果腺肋花楸果酒营养品质和抗氧化活性的对比[J].现代食品科技,2024,40(10): 302-310.

SUN Dun, XUE Guixin. Comparison of nutritional quality and antioxidant activity of rowan fruit wines subjected to different pretreatments [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(10): 302-310.

收稿日期: 2023-10-07

作者简介: 孙盾(1990-), 男, 硕士, 助理实验员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: 1498860554@qq.com

通讯作者: 薛桂新(1964-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 农产品加工, E-mail: gxxue@ybu.edu.cn

of other fruit wines ($P<0.05$); the anthocyanin content (0.155 mg/g) and DPPH scavenging rate (97.91%) of the DH-treated wine were significantly higher than those of other fruit wines ($P<0.05$). The results of principal component analysis showed that among the five pretreatments, the late harvest treatment was the best pretreatment for retaining the nutrients in the fruit wine and its operation was simple and its cost was low, thus, this pretreatment is suitable for wide promotion and application.

Key words: aronia nigra; pretreatment; nutrients; antioxidant; principal component analysis

在果酒的加工生产过程中,果实原料的预处理过程是非常重要的环节。有关研究发现,果实原料经过预处理,可以改善发酵果酒的口感、色泽、澄清度,丰富营养成分含量和香气成分含量,以提升果酒品质。桂长莉^[1]通过对葡萄高温高压浸渍 5 min 处理后发酵果酒,发现葡萄酒中总酚、单宁、花色苷、色度与未经过处理果酒相比均有显著升高,说明高温高压浸渍处理可以有效改良果酒品质。早期成熟果实会释放乙烯,具有催熟晚果的作用^[2],所以混果催熟也常作为一种常用的催熟手段,被广泛应用。Liu 等^[3]和马小英等^[4]研究了不同成熟度果实酿制果酒的品质特性,发现成熟度增加可提高果酒中酯类物质含量和口感与风味的平衡度,对果酒品质有很大影响。连琛等^[5]研究发现通过延迟采收可以提高苹果白兰地的香气成分含量,提升酿造产物的品质。刘汝薇等^[6]通过对“爱格丽”葡萄原料冷冻处理(-24 °C, 10 h)后酿造葡萄酒,结果发现,原料经过冷冻处理后酿造的葡萄酒总酸、酒精度、多酚、单宁、香气成分含量都有明显的升高,提升了葡萄酒的品质。

黑果腺肋花楸(*Aronia melanocarpa*, 以下简称黑果)原产于北美洲东部^[7],又名不老莓、野樱莓,属于蔷薇科灌木。在 20 世纪 90 年代初,作为食用、药用经济作物和环境改善作物引入我国^[8,9]。现在我国辽宁省、河北省、山西省、吉林省等十几个市县地区已大规模种植^[10,11]。黑果腺肋花楸果实中富含多种营养物质,但其口感较为酸涩。为了更好的利用其中的营养物质,人们开始研究将其加工成果酒,同时也开始了提升其果酒品质的研究,其中以工艺优化和果酒澄清方面居多^[12-14],而通过对原料进行预处理方式,提升黑果果酒品质的相关研究比较少。

本研究以种植在吉林省延边朝鲜族自治州安图县的黑果为原料,对其进行不同的预处理后,加工成果酒。通过对比果酒的活性成分含量和抗氧化活性差异,了解预处理方式不同对黑果果酒品质的影响,为优选预处理方式提升黑果果酒品质,提供技术参考。

1 材料和方法

1.1 材料

延边安图县黑果腺肋花楸果;酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*),意大利 AEB 公司;白砂糖(食品级),广东大华糖业有限公司;果胶酶,德国三颗星食品物料公司。

1.2 试剂

氢氧化钠、无水乙醇、福林酚试剂、亚硝酸钠、硝酸铝、高锰酸钾、靛红、硫酸等, DPPH (1,1-二苯基-2-三硝基苯肼)、ABTS(2,2-连氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐)、过硫酸钾、硫酸亚铁、水杨酸、过氧化氢、邻苯三酚、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、盐酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、氯化钠、铁氰化钾、三氯乙酸(TCA)、氯化铁(以上试剂均为分析纯),购自天津科密欧化学试剂有限公司。草酸、DL-酒石酸、L-乳酸、L-苹果酸、琥珀酸、柠檬酸、没食子酸、(+)-儿茶素、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、白藜芦醇、表儿茶素、阿魏酸、芦丁、槲皮素(以上标准品),购自上海源叶生物科技有限公司。

1.3 主要仪器与设备

RHB-02 手持糖度计,上海奋业光电仪器有限公司;BSA124S-CW 电子天平,赛多利斯科学仪器有限公司;TDZ5-WS 高速离心机,湖南湘仪实验仪器有限公司;R201D 旋转蒸发器,上海一科仪器有限公司;UV1101 紫外分光光度计,上海新茂仪器有限公司;1260 infinity 高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司;Elipse plus C18 色谱柱,安捷伦科技有限公司。

1.4 方法

1.4.1 预处理方式实验设计

参考已有的预处理方面研究,实验设计以不做处理、混果催熟、晚采收、温水浴和冷冻共 5 种不

同预处理方式,对比5种不同预处理黑果果酒的活性物质含量和抗氧化活性差异。具体操作方法如表1。

表1 实验设计

Table 1 Experimental design

处理方式	代号	处理方法
对照处理	CK	不做任何处理
温水浴处理	HTWB	37~40 °C下水浴4 h
混果催熟处理	AMWA	与成熟苹果混果室温贮存催熟48 h
晚采收处理	DH	延长采收期15 d
低温冷冻处理	LTF	在-20 °C下冷冻贮存15 d

1.4.2 黑果腺肋花楸果酒发酵工艺流程

表1中黑果腺肋花楸果酒发酵工艺流程如图1。

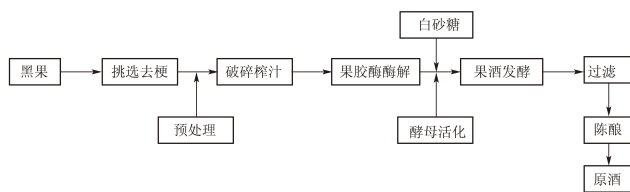


图1 果酒发酵工艺流程图

Fig.1 Fermentation process flow chart of fruit wine

操作要点:

(1) 黑果挑选: 选择无霉烂、成熟适度的果实, 去掉梗叶和杂质。将黑果按不同的处理方式分成5组, 每组10 kg。

(2) 果实破碎, 将黑果进行破碎处理。

(3) 果胶酶酶解处理: 向破碎后的果浆中加入适量果胶酶(100 mg/kg), 室温下酶解反应处理不少于4 h。

(4) 调糖: 适当加入白砂糖, 调整果浆糖度到30° Brix。

(5) 活化酵母菌: 干酵母中加入适量无菌蒸馏水, 充分搅拌, 确保酵母完全溶解, 盖上保鲜膜在35~38 °C条件下水浴活化20~30 min。

(6) 果酒发酵: 加入活化后酵母(300 mg/kg), 室温下发酵, 从果酒发酵开始计时, 至果酒糖度和酒精度基本稳定视为果酒发酵过程结束。期间每隔一天对果酒的理化指标进行检测, 记录其变化趋势。

(7) 主发酵过程结束后, 对果酒进行过滤, 放置在常温下避光贮存一定时间, 进入后发酵过程, 在发酵的第30天对相应指标再次进行检测。

(8) 贮存: 果酒后发酵结束后, 室温贮存。

1.4.3 果酒中化学成分的测定方法

(1) 总酸测定: 按照GB 12456-2021《食品中总酸的测定》中pH电位法测定^[15]。

(2) 多酚测定: 采用Folin-Ciocalteu法进行测定^[16], 以没食子酸作为标准品进行定量。

(3) 黄酮测定: 采用亚硝酸钠-硝酸铝法进行测定^[17], 标准曲线用芦丁标准品定量, 计算样品黄酮含量。

(4) 单宁测定: 参照张珊珊^[18]方法测定单宁含量。

(5) 花青素测定: 采用pH示差法^[19]。

(6) 有机酸测定: 参考GB 5009.157-2016《食品中有机酸的测定》^[20]进行。

(7) 酚类物质测定: 参考孙翔宇等^[21]方法进行测定。

(8) 抗氧化活性的测定: 取5种不同处理发酵原酒, 过滤, 将果酒用蒸馏水稀释100倍, 具体测定方法同许立伟等^[22]中抗氧化的测定方法。

1.4.4 数据分析

实验数据采用Excel和SPSS 23.0软件进行统计和显著性差异分析。

2 结果与分析

2.1 预处理对黑果果酒糖度和酒精度变化的影响

发酵开始后, 每隔一天使用糖度仪和玻璃酒精计对果酒的糖度和酒精度进行检测。由图2和图3可知, 随着发酵进行果酒糖度开始下降, 酒精度含量逐步升高, 但5种果酒均在发酵至第12天时, 酒精度含量变化逐步趋于稳定, 说明糖转化酒精过程基本结束。在果酒发酵30 d后对5种不同果酒的成分进行测定对比。

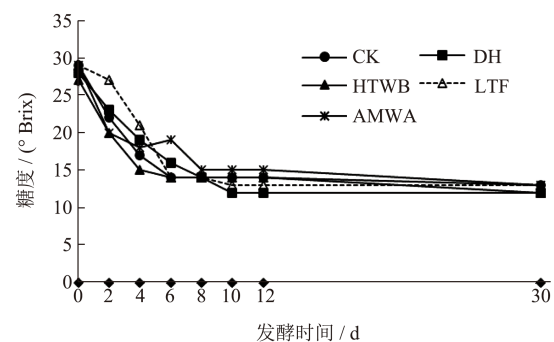


图2 不同处理方式对糖度含量的影响

Fig.2 Effect of different treatments on sugar content

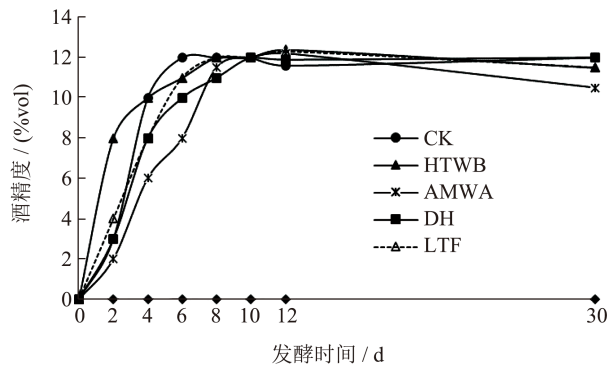


图3 不同处理方式对酒精度的影响
Fig.3 Effects of different treatment methods on alcohol content

2.2 预处理对黑果果酒总酸含量的影响

由图4可知,5种果酒总酸含量相比,CK(1.445%)>AMWA(1.316%)>LTF(1.284%)>HTWB(1.124%)>DH(1.091%),其中4种果酒均显著低于CK($P<0.05$),说明4种预处理方式都具有降低果酒酸度的作用,分析可能与果实成熟度^[23]变化和温度影响有关。AMWA和DH改变了果实成熟度而使酸度降低,HTWB是利用适当的高温使有机酸发生降解^[24],而LTF通过冷冻使果实细胞膜破裂汁液流失导致酸度降低。

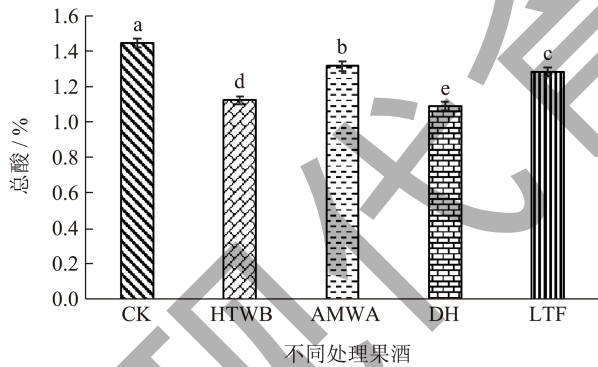


图4 五种果酒的总酸含量
Fig.4 Total acid content of five fruit wines

注:图中小写字母不同表示果酒测定指标存在显著性差异($P<0.05$)。下同。

2.3 预处理对黑果果酒总黄酮含量的影响

黄酮是果酒中重要的功能性成分之一,对果酒的抗氧化活性有重要影响^[25]。由图5可知,5种果酒的总黄酮含量相比,HTWB(19.23 mg/g)>CK(16.85 mg/g)>AMWA(13.57 mg/g)>LTF(9.44 mg/g)>DH(8.68 mg/g)。HTWB的总黄酮

含量显著高于其余4种处理($P<0.05$),这可能是因为黑果果实经过高温处理促进了果皮中黄酮的浸出^[26],从而提高果酒中黄酮类物质的含量。此外,果实总黄酮含量还与成熟度有关,成熟度越高,黄酮含量越低,AMWA和DH处理后使得果实成熟度增加,所以含量低于CK。另外LTF总黄酮含量也显著低于CK($P<0.05$),分析是短期低温贮藏转入到常温后,呼吸高峰出现时间提前,后熟衰老速度加快造成的^[27]。

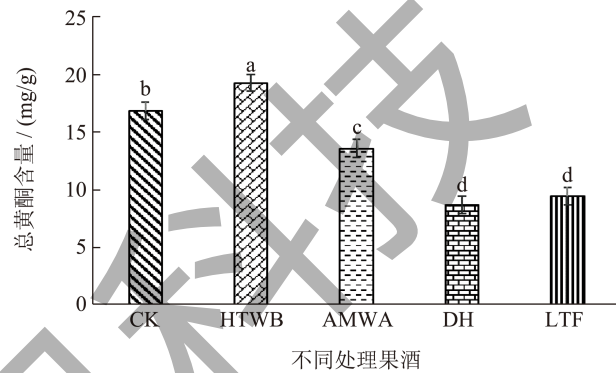


图5 五种果酒的总黄酮含量
Fig.5 Total flavonoids content of five fruit wines

2.4 预处理方式对黑果果酒多酚含量的影响

由图6可以看出,5种果酒多酚含量相比,DH(7.562 mg/g)、AMWA(7.258 mg/g)和HTWB(6.958 mg/g)均低于CK(7.856 mg/g),且均有显著性差异($P<0.05$),可能是受高温和果实的成熟度变化影响。LTF(8.936 mg/g)果酒的多酚含量又显著高于CK($P<0.05$),可能是因为果实经过低温处理可以一定程度上抑制多酚氧化酶、过氧化物酶以及超氧化物歧化酶活性,控制了多酚含量的降低^[28]。

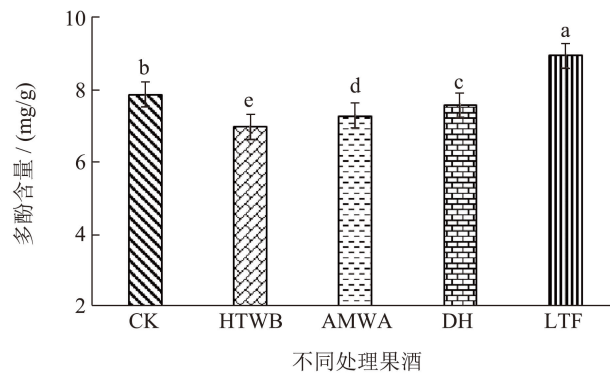


图6 五种果酒的多酚含量
Fig.6 Polyphenol content of five fruit wines

2.5 预处理对黑果果酒花青素含量的影响

果酒颜色稳定性与花青素密切相关,花青素含量和果实成熟度呈现显著的正相关关系^[29],由图7可知,5种果酒相比,DH(0.155 mg/g)果酒的花青素含量最高,说明其成熟度最高。AMWA(0.116 mg/g)的花青素含量低于CK(0.138 mg/g),分析是因为催熟过程中进行了遮盖,使得光照强度发生改变^[30],减少了花青素的积累。花青素本身易受热分解^[31],所以HTWB(0.094 mg/g)含量显著低于其他4种果酒($P < 0.05$)。LTF(0.122 mg/g)的花青素含量低于CK,分析是因为低温使果酒中的pH值发生了改变^[32],导致花青素稳定性发生改变,使得含量降低。综上所述,说明预处理条件对果酒的花青素含量有很大影响。

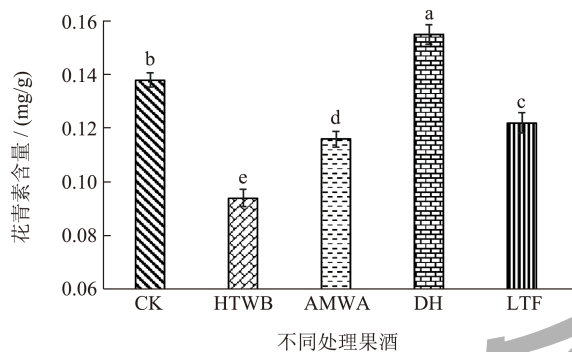


图7 五种果酒的花青素含量

Fig.7 Content of anthocyanins in five types of fruit wines

2.6 预处理对黑果果酒单宁含量的影响

单宁作为果酒的“骨架”,决定了果酒的风味、结构和质地,是果酒产生酸涩的主要原因,适量的单宁会增加果酒的醇厚感和立体感。从图8可以看出,5种果酒的单宁含量相比,HTWB(0.782%)>AMWA(0.705%)>CK(0.615%)>DH(0.416%)>LTF(0.208%)。HTWB(0.782%)的单宁含量最高,而LTF(0.208%)的单宁含量最低,说明贮藏温度对果实单宁含量有影响,适当高温可以促进果实单宁成分的浸出,而低温抑制单宁的浸出^[33]。果实中单宁含量受果实成熟度的影响,随着成熟度的增加而减少^[34]。与CK(0.615%)相比,DH(0.416%)低于CK($P < 0.05$),而AMWA高于CK($P < 0.05$),分析原因是两种催熟方式有所不同,AMWA和DH虽然都是使黑果的成熟度增加,但DH是在自然环境下进行,而AMWA是外源乙烯的作用下进行,两者环境中的光照条件和昼夜温差等条件不同。另有相关研究发现,光照和外源乙烯可以交互调控影响果实单宁物质的合成^[35]。

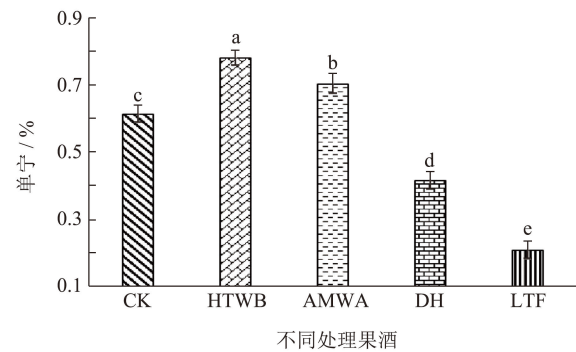


图8 五种果酒的单宁含量

Fig.8 Tannin content of five fruit wines

2.7 预处理对黑果果酒有机酸含量的影响

根据表2可知,5种黑果果酒中酒石酸、苹果酸、乳酸和琥珀酸的含量较高,柠檬酸和草酸含量较低。相较CK,其他4种预处理后果酒均表现为乳酸含量升高,而苹果酸含量降低,说明4种预处理过程具有促进苹果酸-乳酸发酵过程的作用,苹果酸-乳酸发酵过程会将苹果酸转化为酸性柔和圆润的乳酸,具有改善果酒的口感和风味的作用^[36]。另外,其他4种处理果酒琥珀酸的含量也显著低于CK($P < 0.05$),分析琥珀酸也是受苹果酸-乳酸发酵过程影响,转化成乳酸^[37]。5种果酒相比,DH的酒石酸含量显著低于其他4种果酒($P < 0.05$),分析这是因为在自然成熟条件下,随着果实的成熟,部分酒石酸转化为糖类^[38],使含量降低。综合以上结果说明,不同的预处理方式对果酒有机酸组成和含量有显著影响,5种处理相比,DH降低酒石酸和琥珀酸含量,提高乳酸含量的效果最好。

2.8 预处理对黑果果酒酚类物质含量的影响

酚类物质是芳香环上的氢被羟基取代的一类芳香族化合物,具有抗氧化、抗衰老、抗炎症、抗癌等功效,其结构很不稳定,极容易受到温度、光照、水分等因素而变质,是影响果酒的气味、颜色、口感等品质指标的重要功能性物质。从表3中可以看出,5种果酒中均检出了5种酚酸类物质(没食子酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸和对香豆酸),4种类黄酮物质(儿茶素、表儿茶素、芦丁、槲皮素)。对比CK,经过预处理加工成果酒中的没食子酸、绿原酸、咖啡酸含量均有明显的降低,类黄酮类(儿茶素、表儿茶素、芦丁、槲皮素)的含量有所升高,且相互之间存在显著性差异。说明4种处理均可以有效降低果酒酚酸类物质含量,同时有利于类黄酮物质的浸出,提高果酒品质。

表 2 5种黑果腺肋花楸果酒中有机酸含量 (mg/L)

Table 2 Contents of organic acids in five kinds of Rowan nigra fruit wines (mg/L)

有机酸	CK	HTWB	AMWA	DH	LTF
草酸	2.64 ± 0.12 ^a	2.61 ± 0.05 ^a	—	1.14 ± 0.12 ^b	0.33 ± 0.03 ^c
酒石酸	18.73 ± 0.69 ^d	45.62 ± 1.29 ^a	31.92 ± 0.19 ^b	15.76 ± 0.19 ^c	20.99 ± 0.76 ^c
苹果酸	67.62 ± 0.89 ^a	38.16 ± 0.61 ^c	56.85 ± 0.06 ^b	46.56 ± 0.37 ^c	39.50 ± 0.34 ^d
乳酸	12.55 ± 1.32 ^d	29.64 ± 0.62 ^b	18.17 ± 0.22 ^c	78.62 ± 0.46 ^a	29.72 ± 0.88 ^b
柠檬酸	3.04 ± 0.05 ^d	8.42 ± 0.49 ^a	5.17 ± 0.68 ^b	—	3.36 ± 0.55 ^c
琥珀酸	16.33 ± 0.44 ^a	10.72 ± 0.66 ^c	13.03 ± 0.20 ^b	8.75 ± 0.64 ^d	11.35 ± 0.08 ^c

注: 表中大小写字母不同表示不同果酒的同一指标差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

表 3 五种黑果腺肋花楸果酒酚类物质含量 (mg/L)

Table 3 Contents of phenolic substances in five kinds of Rowan nigra fruit wine (mg/L)

酚类物质	CK	HTWB	AMWA	DH	LTF
没食子酸	51.93 ± 0.37 ^a	25.63 ± 0.43 ^d	13.25 ± 0.10 ^c	28.94 ± 0.53 ^c	30.03 ± 0.63 ^b
儿茶素	9.60 ± 0.83 ^c	41.97 ± 0.59 ^a	22.22 ± 0.22 ^c	28.744 ± 0.62 ^b	15.23 ± 0.72 ^d
绿原酸	14.81 ± 0.61 ^a	12.82 ± 0.29 ^b	8.26 ± 0.27 ^d	8.894 ± 0.23 ^c	6.94 ± 0.44 ^c
咖啡酸	7.80 ± 0.22 ^a	4.03 ± 0.14 ^c	4.86 ± 0.32 ^b	2.714 ± 0.06 ^d	4.54 ± 0.13 ^b
对香豆酸	2.24 ± 0.44 ^c	3.84 ± 0.31 ^c	3.13 ± 0.24 ^d	19.16 ± 0.72 ^a	6.70 ± 0.51 ^b
表儿茶素	1.91 ± 0.06 ^d	3.12 ± 0.11 ^b	3.47 ± 0.02 ^a	2.20 ± 0.01 ^c	1.86 ± 0.20 ^d
阿魏酸	2.12 ± 0.36 ^c	5.14 ± 0.49 ^a	3.20 ± 0.28 ^c	4.14 ± 0.30 ^b	2.79 ± 0.40 ^d
芦丁	7.79 ± 0.08 ^c	23.99 ± 0.66 ^a	6.78 ± 0.64 ^d	10.18 ± 0.43 ^b	9.25 ± 0.10 ^b
白藜芦醇	2.43 ± 0.06 ^c	2.94 ± 0.13 ^a	2.20 ± 0.65 ^d	2.68 ± 0.01 ^b	2.46 ± 0.16 ^{bc}
槲皮素	2.98 ± 0.13 ^{cd}	4.37 ± 0.21 ^a	3.62 ± 0.19 ^b	3.28 ± 0.03 ^{bc}	2.55 ± 0.35 ^d

2.9 果酒营养物质的主成分分析结果

对 5 种不同预处理黑果腺肋花楸果酒的总酸 (X1)、多酚 (X2)、黄酮 (X3) 花青素 (X4)、单宁 (X5)、草酸 (X6)、酒石酸 (X7)、苹果酸 (X8)、乳酸 (X9)、柠檬酸 (X10)、琥珀酸 (X11)、没食子酸 (X12)、儿茶素 (X13) 绿原酸 (X14)、咖啡酸 (X15)、对香豆酸 (X16)、表儿茶素 (X17)、阿魏酸 (X18)、芦丁 (X19)、白藜芦醇 (X20)、槲皮素 (X21) 共 21 个指标进行主成分分析, 通过综合得分评价果酒品质。

通过 SPSS 软件分析得出, 由表 4 可知, 共有 5 个主成分特征值 > 1, 5 种主成分的累积贡献率达到 100%, 保留了所有的原始信息。根据各指标的因子得分系数, 得出以下 5 个主成分因子得分的函数表达式, 以各主成分对应的方差贡献率为权重, 从而建立主成分综合得分的数学模型:

$$F = 0.392 \times F_1 + 0.304 \times F_2 + 0.173 \times F_3 + 0.082 \times F_4 + 0.497 \times F_5$$

表 4 各主成分的特征值和贡献率

Table 4 Eigenvalues and contribution rates of principal components

成分	初始特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	8.223	39.157	39.157
2	6.377	30.366	69.523
3	3.630	17.285	86.808
4	1.727	8.222	95.031
5	1.044	4.969	100

通过公式计算得出各主成分因子得分及综合得分, 结果如表 5 所示, 5 种不同预处理黑果果酒的综合得分均为正数, 其中 DH 处理的综合得分最高, 说明其营养物质最为丰富, CK 和 LTF 分别排 2、3 位, HTWB 的得分最低。5 种处理相比, 采用晚采收处理既能丰富黑果果酒营养物质, 而且操作过程简单, 也不需要大量的资金投入, 为生产企业提升果酒营养品质提供了可参考的技术依据, 适宜广泛推广。

表 5 不同处理综合得分及排名

Table 5 Comprehensive score and ranking of different treatment

不同处理	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F	排名
CK	7.27	6.12	-12.28	26.42	41.96	25.61	2
HTWB	3.62	1.33	0.70	15.98	27.92	17.13	5
AMWA	6.20	5.10	-12.18	17.10	33.64	19.99	4
DH	2.56	1.36	4.59	22.38	54.73	31.25	1
LTF	3.68	1.18	1.36	21.80	32.74	20.10	3

2.10 预处理对果酒抗氧化活性的影响

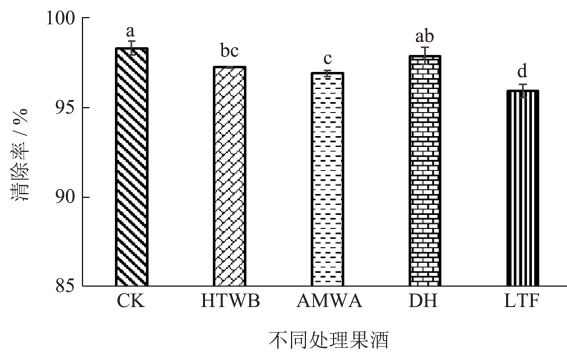


图 9 不同处理对 DPPH 自由基清除率的影响

Fig.9 Effect of different treatments on the scavenging rate of DPPH radicals

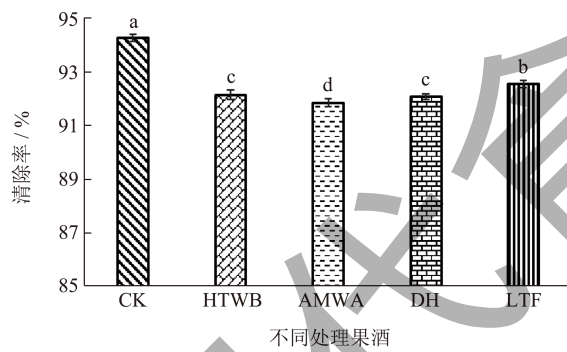


图 10 不同处理对 ABTS⁺ 自由基清除率的影响

Fig.10 Effect of different treatments on the scavenging rate of ABTS⁺ radicals

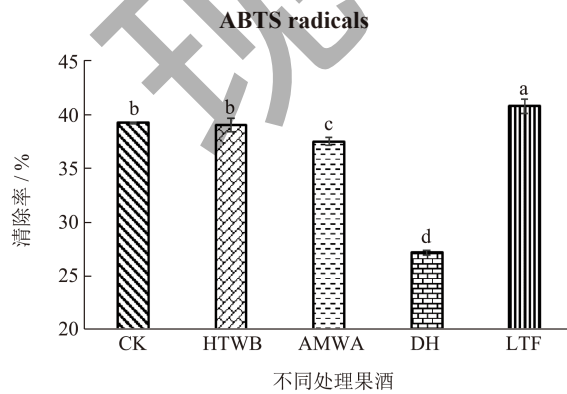


图 11 不同处理对羟自由基清除率的影响

Fig.11 Effect of different treatments on the scavenging rate of hydroxyl radicals

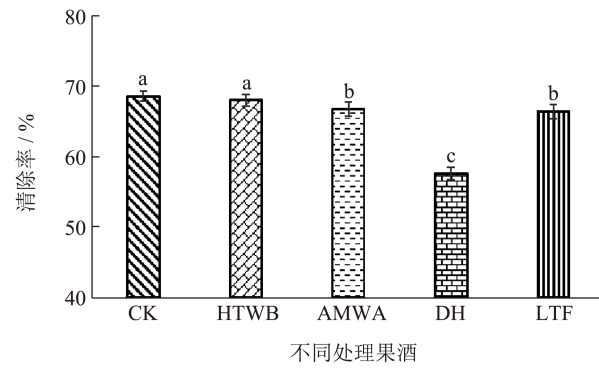


图 12 不同处理对超氧自由基清除率的影响

Fig.12 Effect of different treatments on the scavenging rate of superoxide radicals

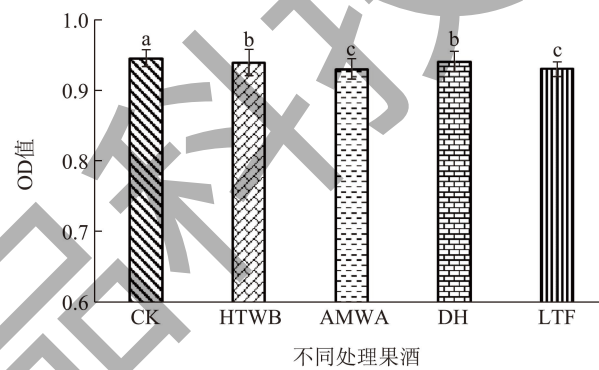


图 13 不同处理对还原力的影响

Fig.13 Effects of different treatments on reducing power

根据图 9 和图 10 可知, 对比 CK, 其他 4 种不同处理果酒的自由基清除能力均有下降, 且有显著性差异 ($P < 0.05$), 说明预处理过程对果酒的 DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除能力有显著影响。对比 DPPH 自由基清除能力, DH (97.91%) 与 CK (98.35%) 的 DPPH 自由基清除率两者无显著差异, 而显著高于其他果酒 ($P < 0.05$), 结果与主成分分析的结果一致, 说明果酒中酚类物质含量、黄酮含量与果酒的 DPPH 自由基清除率有很好的相关性。对比 ABTS⁺ 自由基清除能力, CK (94.34%) > LTF (92.59%) > HTWB (92.19%) > AMWA (91.9%), 且存在显著性差异 ($P < 0.05$), 这与 5 种果酒中的没食子酸含量差异一致, 推测黑果果酒的 ABTS⁺ 自由基清除率与没食子酸含量呈正相关关系。除 CK 外, 其他 4 种预处理果酒相比, DH (97.91%) 对 DPPH 自由基的清除能力相对较好, 而 LTF (92.59%) 对 ABTS⁺ 自由基的清除能力相对较好。

根据图 11 可知, 5 种果酒羟自由基的清除率相比, LTF (40.90%) 羟自由基清除能力显著高于其他果酒 ($P < 0.05$), 分析低温有助于羟自由基清除

能力的保留^[39], 相关研究发现, 黑果果酒的花青素含量与羟自由基清除能力呈显著负相关^[40], 本实验结果中 DH (27.21%) 羟自由基清除能力显著低于其他果酒 ($P < 0.05$), 而花青素 (0.155 mg/g) 含量显著高于其他果酒 ($P < 0.05$), 这与其研究结果一致。

由图 12 看出, CK (68.66%) 和 HTWB (68.08%) 对超氧自由基的清除率显著高于其他处理 ($P < 0.05$), 而 DH (57.67%) 对超氧自由基的清除率显著低于其他处理 ($P < 0.05$), 这与实验结果中总黄酮含量差异相同, 分析果酒的超氧自由基清除率与其总黄酮含量呈显著正相关关系。

由图 13 可知, 5 种果酒相比, 其他 4 种果酒的还原力作用均显著低于 CK ($P < 0.05$), 说明预处理过程可以影响果酒的还原力水平。DH (0.944) 和 HTWB (0.942) 对铁离子的还原力显著高于另外两种处理 ($P < 0.05$), 分析和处理后类黄酮成分含量的差异有关^[41], 通过对比实验结果中类黄酮物质含量差异, 可以得到验证。

3 结论

通过对黑果腺肋花楸果实进行无处理、温水浴、混果催熟、晚采收以及冷冻 5 种不同的预处理, 对比其制成果酒的活性成分含量以及抗氧化活性差异, 结果表明: 与无处理相比, 其他 4 种处理方式均具有显著降低果酒总酸的作用 ($P < 0.05$), 可以改善果酒的酸涩度, 但也会不同程度上降低果酒的抗氧化活性。5 种果酒中的活性成分含量相比, 温水浴处理的总黄酮含量 (19.23 mg/g) 以及单宁含量 (0.782%) 显著高于其他果酒 ($P < 0.05$); 冷冻处理果酒的多酚含量 (8.936 mg/g) 和晚采收处理的花青素含量 (0.155 mg/g) 均显著高于其他果酒 ($P < 0.05$)。主成分分析结果说明, 5 种预处理中晚采收处理可以更好的保留果酒的营养物质, 且操作过程比较简单, 费用也较低, 为生产企业提供了技术参考。

参考文献

- [1] 桂长莉. 发酵前处理工艺对干红葡萄酒品质影响的研究[D]. 银川: 北方民族大学, 2017.
- [2] 张玉锋, 宋菲, 唐敏敏, 等. 槟榔采收后生理与贮藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(2): 239-242.
- [3] LIU Q Y, WENG P F, WU Z F. Quality and aroma

characteristics of honey peach wines as influenced by different maturity [J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 445-458.

- [4] 马小英, 单守明. 发酵温度及果实成熟度对北红葡萄酒香气的影响[J]. 农业科学研究, 2023, 44(3): 51-57.
- [5] 连琛, 张志兵, 白启正, 等. 苹果延迟采收对苹果白兰地甲醇及香气成分含量的影响[J]. 中国酿造, 2023, 42(8): 111-116.
- [6] 刘汝薇, 张嘉璇, 商滢, 等. 原料冷冻处理对‘爱格丽’葡萄酒品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2021, 3: 30-33, 40.
- [7] 唐晓姝, 胡博, 陈雪梅, 等. 黑果腺肋花楸榨汁工艺研究与果汁品质评价[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(12): 2406-2414.
- [8] 黄超培, 覃辉艳, 张陆娟, 等. 黑果腺肋花楸提取物的急性毒性和致突变性研究[J]. 癌变·畸变·突变, 2020, 32(6): 474-476.
- [9] 岑晓斐, 贾国晶, 曾继娟, 等. 干旱胁迫下黑果腺肋花楸的生长及生理响应[J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(12): 36-43.
- [10] 史锐, 吴鹏, 刘苗苗, 等. 黑果腺肋花楸果实高效液相色谱指纹图谱研究[J]. 中华中医药学刊, 2021, 39(12): 185-189, 292.
- [11] 陈君. 黑果腺肋花楸生物学特性与种苗繁育技术研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
- [12] 王鹏, 马兴华, 韩文忠, 等. 黑果腺肋花楸果酒发酵条件优化研究[J]. 辽宁林业科技, 2014, 4(2): 24-25, 48, 50.
- [13] 王鹏, 马兴华, 韩文忠, 等. 黑果腺肋花楸果酒降酸工艺研究[J]. 林业科技, 2014, 39(2): 53-55.
- [14] 王鹏, 马兴华, 韩文忠, 等. 黑果腺肋花楸果酒澄清处理及稳定性研究[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2014, 15(1): 116-121.
- [15] GB 12456-2021, 食品中总酸的测定[S].
- [16] 牛雪. 福林酚法测定葡萄酒总酚的优化研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2015.
- [17] 刘静, 徐莉莉. 黑果腺肋花楸黄酮提取工艺优化及体外抗氧化研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(3): 60-65.
- [18] 张珊珊. 苹果酒的开发研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2015.
- [19] 李腾. 超高压辅助提取黑果腺肋花楸花色苷及其稳定性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2018.
- [20] GB 5009.157-2016, 食品中有机酸的测定[S].
- [21] 孙翔宇, 杜国荣, 马婷婷, 等. RP-HPLC法同时测定葡萄酒、果酒、果醋中16种单体酚的含量[J]. 现代食品科技, 2014, 30(12): 201-209.
- [22] 许立伟, 王炳宇, 杨馨悦, 等. 5种浆果果酒抗氧化活性差异及综合评价[J]. 中国酿造, 2021, 40(9): 200-205.
- [23] 彭媛媛, 高展, 董凯向, 等. 不同采收期对新疆焉耆盆地酿酒葡萄及葡萄酒品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2018, 55(7): 1252-1263.
- [24] 罗丽娟. 环境因子对柑橘柠檬酸积累及其相关基因的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.

- [25] 尹子迎,关军锋,赵江丽,等.水果发酵酒质量评价体系研究进展[J].食品与机械,2023,39(1):234-240.
- [26] 沈勇根,朱凤妮,卢剑青,等.宽皮柑橘品质特性及加工适性研究进展[J].江西农业大学学报,2017,39(4):669-677.
- [27] 王震,彭勇,刘静润,等.‘鲁丽’苹果低温贮藏和货架期间品质和生理变化[J].食品科学,2023,44(17):136-143.
- [28] 郝邢维,周倩,高芳,等.温度对采后“国峰7号”李果实贮藏品质的影响[J].包装工程,2023,44(1):213-222.
- [29] 韩田雨.基于脱落酸调控的蓝莓果实花青素合成与积累的分子机理研究[D].南京:南京林业大学,2022.
- [30] 王硕,郑秀文,刘冠,等.环境因子及内源物质对果树中花青素调控的研究进展[J].中国农学通报,2023,39(19):51-57.
- [31] 宋健刚.黑果腺肋花楸果实活性成分的提取、纯化及体外活性研究[D].吉林:吉林化工学院,2019.
- [32] 杨俊峰,沈越,张耀丹,等.黑果腺肋花楸花青素理化性质及抗氧化活性研究[J].中国调味品,2023,48(11):190-195.
- [33] 舒楠.山葡萄新品种‘北国红’酿酒特性和干红酒酿制工艺的研究[D].北京:中国农业科学院,2019.
- [34] 韩春然,宋晨鑫,马蕊.响应面法优化蓝靛果酒低温二氧化碳浸渍工艺[J].食品研究与开发,2021,42(1):117-123.
- [35] 刘美迎.光和外源乙烯调控葡萄果皮酚类物质合成及其机制研究[D].咸阳:西北农林科技大学,2022.
- [36] 曹颖,耿瑶,韩乃瑄,等.果酒中的有机酸及降酸策略研究[J].食品工业科技,2023,44(14):457-464.
- [37] AKIRA T, SANAE O, PASCAL H. Metabolic engineering of *Lactobacillus plantarum* for succinic acid production through activation of the reductive branch of the tricarboxylic acid cycle [J]. *Enzyme and Microbial Technology*, 2013, 53(2): 97-103.
- [38] 李治苇,张萍,李庆,等.酿酒葡萄果实发育过程中糖酸积累规律的研究[J].食品安全质量检测学报,2021,12(19):7738-7743.
- [39] 姜瑞.蓝莓枸杞发酵果汁的研制及其功能性评价[D].哈尔滨:东北农业大学,2021.
- [40] 王思溥,朱丹,牛广财,等.黑果腺肋花楸醇素自然发酵过程中主要成分与抗氧化活性变化[J].食品工业科技,2023,44(15):93-100.
- [41] 邵郅胜,张薇,孙聪,等.欧李种质资源果实酚类物质分析及种质评价[J].西北植物学报,2023,43(8):1405-1414.