

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2024.10.011

黑果枸杞-酿酒葡萄混合果酒酿造过程中 花色苷稳定性研究

吕宁^{1,2}, 禄璐², 李芮芮¹, 米佳², 罗青², 闫亚美^{1,2*}, 曹有龙^{1,2*}

(1. 宁夏大学食品与葡萄酒学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏农林科学院枸杞科学研究所, 宁夏银川 750002)

摘要: 针对黑果枸杞加工过程中存在的花色苷不稳定的关键瓶颈问题, 以黑果枸杞鲜果为原料, 辅以酿酒葡萄共发酵酿制果酒。分析不同酿造因子对果酒多酚、花色苷及色泽的影响; 明确影响酒体中花色苷含量及稳定性的主要因子, 通过正交优化试验得到最佳酒精发酵工艺。结果表明: 黑果枸杞与酿酒葡萄质量比以及 pH 值对果酒花色苷含量和色泽影响程度较大, 但对多酚含量影响作用较小, 而酵母菌类型对黑果枸杞果酒多酚、花色苷和色泽影响均较小; 复配酿酒葡萄可减少花色苷损失, 提高黑果枸杞果酒中花色苷的稳定性。最佳酒精发酵工艺条件为黑果枸杞与酿酒葡萄质量比 1:4, 果胶酶添加量 0.70 g/L、酿酒酵母添加量 0.25 g/L, 发酵后酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]含量可达(459.51±3.66) mg/L。

关键词: 黑果枸杞; 共发酵果酒; 多酚; 花色苷; 稳定性

Study on the Stability of Anthocyanins during the Brewing Process of *Lycium ruthenicum* Murr. -Grape Mixed Fruit Wine

LÜ Ning^{1,2}, LU Lu², LI Ruirui¹, MI Jia², LUO Qing², YAN Yamei^{1,2*}, CAO Youlong^{1,2*}

(1. School of Food and Wine, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China; 2. Institute of Wolfberry Engineering and Technology, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Abstract: Due to the application problem of unstable anthocyanins in *Lycium ruthenicum* Murr. processing process, the fresh fruits of *Lycium ruthenicum* Murr. were used as materials, supplemented with wine grapes to co-ferment and make fruit wine. The influence of different fermented factors on the polyphenols, anthocyanins, and color of the fruit wine was analyzed. The main factors affecting the contents and the stability of the anthocyanins in the wine were clarified. The optimal alcohol fermentation technology was obtained by an orthogonal optimization experiment. The results showed that the addition mass ratio of *Lycium ruthenicum* Murr. to wine grapes and the pH value had a greater effect on the anthocyanin contents and color of the fruit wine, but they had a smaller effect on the polyphenol contents. The yeast type had a smaller effect on the polyphenols, anthocyanins, and color of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine. The addition of wine grapes could reduce anthocyanin loss and improve the stability of the anthocyanin in *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine. The optimal alcohol fermentation process was as follows: a mass ratio of *Lycium ruthenicum* Murr. to wine grape of 1:4, an addition amount of pectinase of 0.70 g/L, and an addition amount of *Saccharomyces cerevisiae* of 0.25 g/L. The content of acylated anthocyanins [petunidin-3-O-rutinoside (trans-p-coumarin)-5-O-glucoside] after alcohol fermentation could reach (459.51±3.66) mg/L.

Key words: *Lycium ruthenicum* Murr.; co-fermented fruit wines; polyphenols; anthocyanins; stability

基金项目: 宁夏回族自治区自然科学基金资助项目(2019AAC03147); 宁夏回族自治区重点研发计划重点项目(2019BFG02026)

作者简介: 吕宁(1995—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 枸杞贮藏与加工。

* 通信作者: 闫亚美(1982—), 女(汉), 副研究员, 博士, 研究方向: 枸杞贮藏与加工; 曹有龙(1963—), 男(汉), 研究员, 博士, 研究方向: 植物学。

引文格式:

吕宁, 禄璐, 李芮芮, 等. 黑果枸杞-酿酒葡萄混合果酒酿造过程中花色苷稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(10): 75-83.

LÜ Ning, LU Lu, LI Ruirui, et al. Study on the Stability of Anthocyanins during the Brewing Process of *Lycium ruthenicum* Murr.-Grape Mixed Fruit Wine[J]. Food Research and Development, 2024, 45(10): 75-83.

黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)广泛分布于我国西北地区及青藏高原盐渍沙漠^[1], 含有许多生物活性成分, 对人体健康有很大益处^[2], 其花色苷含量高于许多植物^[3]。黑果枸杞富含花色苷, 特别是酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]^[4], 可调控肠道菌群结构^[5-6], 改善肠道微生物^[7], 具有抗氧化、预防心血管疾病等功能^[8]。

然而, 花色苷在储存过程中其稳定性易受 pH 值、温度、结构等因素影响^[9], 易降解和发生色泽变化^[10], 故大部分黑果枸杞均以干果形式销售^[11], 特别是温度高于 50 °C 会导致花色苷部分或完全降解^[12-13], 低于 50 °C 时, 花色苷较稳定^[14]。而发酵属于冷加工, 低温有助于花色苷的保存^[15], 通过发酵技术可以在很大程度上保留花色苷类物质的稳定性和生物活性^[16], 丰富其相关产品开发, 从而拓宽其市场^[17]。史晓华等^[18]利用仙人掌果和黑果枸杞作为原料酿制复合果酒并研究其发酵工艺, 通过对温度、糖度及酵母菌的添加比例等酿造因子的考察, 确定最优发酵工艺, 糖度和酵母菌添加比例对花青素稳定性的影响不明显。Guerrand 等^[19]发现 EX-V 果胶酶可以提升果酒中花色苷的稳定性, 对果酒颜色和酚类物质浸提能力有增强作用。而目前, 有关黑果枸杞与酿酒葡萄混合发酵果酒发酵工艺及在酿造过程中花色苷稳定性等方面的研究报道鲜见。

黑果枸杞鲜果成熟果实呈紫黑色, 虽然富含酚类物质, 尤其是花色苷组分, 但与成熟的酿酒葡萄相比, 黑果枸杞果实含糖量和酸度低, 同时香气成分也较少, 若单一酿造, 需人为添加大量蔗糖、柠檬酸或酒石酸来调整原料组成, 致使果酒口感较差, 缺乏怡人的果酒香气, 而且不利于酒体花色苷的保存, 无法酿造优质果酒^[20]。酿酒葡萄与黑果枸杞同为浆果, 果实色泽相近, 并具有浓郁的浆果香气, 因此考虑将黑果枸杞汁与酿酒葡萄汁混合共同发酵酿造果酒^[21]。本研究通过单因素试验, 考察不同酿造因子对果酒中多酚及花色苷含

量的影响, 通过正交试验优化最佳酒精发酵工艺, 在发酵过程中可以高效地利用黑果枸杞花色苷物质, 以为黑果枸杞资源的综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.): 国家枸杞工程技术研究中心种质资源圃(宁夏, 银川); 酿酒葡萄(*Cabernet Sauvignon*): 国家枸杞葡萄种质资源圃(宁夏, 银川)。共发酵果酒由国家枸杞工程技术研究中心枸杞加工室酿制; 张裕干红葡萄酒(赤霞珠葡萄采收于 2009 年, 生产日期 2013.09.04): 烟台张裕葡萄酒股份有限公司。

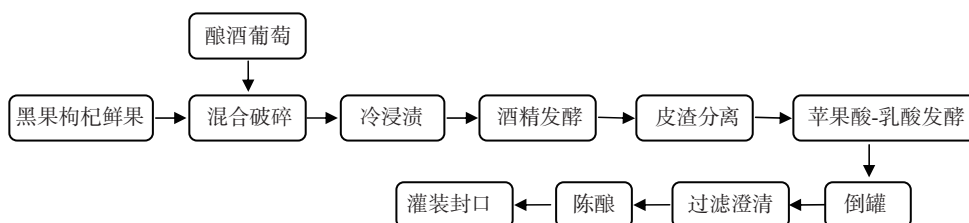
EX-V 果胶酶(>3 479.3 U/g)、FX-10(Zymaflore FX10)、RX-60(Zymaflore RX60)、AC 活性干酵母、活性乳酸菌(Lactoenos 450 Pre AC)(食品级): 法国 LAF-FORT 公司; 2-氯苯丙氨酸、甲醇、乙腈(均为色谱纯): 德国 Merck 公司; 矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰)-5-O-葡萄糖苷标准品(纯度>90%): 国家枸杞工程技术研究中心枸杞加工室自制; 甲酸(色谱纯): 天津市大茂化学试剂厂; 乙醚(分析纯): 四川西陇科学有限公司。

1.2 仪器与设备

MS 204S 分析天平: 德国赛多利斯公司; 125L 不锈钢发酵罐: 山东烟台市吉讯酿酒设备加工厂; ZORBAX XB-Aq 914 柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm)、1260 高效液相色谱系统(G1311C Quat Pump, G1329B ALS, G1316A TCC, G1315D DAD): 美国安捷伦科技有限公司; TU1810 紫外可见分光光度计: 北京普析通用仪器有限责任公司; CM-5 分光测色仪: 日本柯尼卡美能达控股株式会社。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程



黑果枸杞鲜果与酿酒葡萄分别除梗破碎,按质量比 1:3 混合,加入果胶酶 0.50 g/L,补二氧化硫 40×10^{-6} mg/L, 16~18 °C 冷浸渍 (cold soaking, CS) 7 d,有助于果肉细化,提高出汁率和色素溶出^[22]。7 d 后进行酒精发酵 (alcohol fermentation, AF)。称取 0.25 g/L 活性酿酒干酵母融入少量混合浆液进行活化,3~4 h 后将活化后的酵母菌接种到黑果枸杞与酿酒葡萄混合汁中,20~22 °C 发酵 7 d 左右。检测酒体中残糖含量 <5 g/L,酒精发酵结束,进行皮渣分离,自流汁经管道流入新消毒的罐中,皮渣经过 30~50 MPa 压力出汁,与自流汁混合,进入苹果酸-乳酸发酵 (malolactic fermentation, MLF)。乳酸菌按 10 mg/L 加入酒中,18~20 °C 缓慢发酵 30~60 d,降低酒体酸度,使酒体变得饱满、柔和,提高酒体风味和稳定性^[23],当苹果酸微量时,苹果酸-乳酸发酵 (malolactic fermentation, MLF) 阶段结束。倒罐,低温澄清 (clarification, CF) 30 d,倒入新罐中,补二氧化硫 20×10^{-6} mg/L,封口陈酿 (Ageing)。试验分为 6 组:CS 为冷浸渍时期;AF 为酒精发酵时期;MLF 为苹果酸-乳酸发酵时期;CF-30 d,为澄清 (30 d) 时期;Ageing-1M 为陈酿 1 个月;Ageing-2M 为陈酿 2 个月。

1.3.2 单因素试验设计

考察酿酒葡萄添加量、酵母菌类型及不同发酵 pH 值对黑果枸杞果酒多酚、花色苷的影响,明确不同酿造因子对酿造时期果酒品质的影响作用,具体试验设计如表 1~表 3 所示。

1.3.2.1 酿酒葡萄添加量对黑果枸杞果酒花色苷的影响

黑果枸杞与酿酒葡萄按质量比 1:3 混合,并以单一酿酒葡萄、单一黑果枸杞发酵作为对照组,加入果胶酶 0.50 g/L, 18 °C 下冷浸渍 7 d,添加 FX-10 酵母菌 0.25 g/L 至混合汁中,pH 值为 3.9,22 °C 下经过 7~10 d 的发酵,使残糖含量 <5 g/L,酒精发酵结束。试验分为 3 组:LRM-WG 表示酿酒原料为黑果枸杞:酿酒葡萄 (质量比);WG 为单一酿酒葡萄;LRM 为单一酿酒葡萄。

1.3.2.2 不同酵母菌对黑果枸杞果酒花色苷的影响

黑果枸杞与酿酒葡萄按质量比 1:3 混合,加入果胶酶 0.50 g/L, 18 °C 下冷浸渍 7 d,分别添加不同酵母菌 (RX-60、AC、FX-10 和 RX-60、AC、FX-10 3 种酵母菌株质量比 1:1:1 混合) 0.25 g/L 至混合汁中,pH 值为 3.9,22 °C 下发酵 7~10 d,至残糖含量 <5 g/L,酒精发酵结束。试验分为 4 组:Yeast-1、Yeast-2、Yeast-3、Yeast-4 分别表示酵母菌种 RX-60、AC、FX-10 以及前 3 种酵母菌株质量比 1:1:1 混合。

1.3.2.3 不同 pH 值对发酵后酒体花色苷的影响

黑果枸杞与酿酒葡萄按质量比 1:3 混合,加入果胶酶 0.50 g/L, 18 °C 下冷浸渍 7 d,添加 FX-10 酵母菌

0.25 g/L 至混合汁中,用柠檬酸调整 pH 值分别为 3.5、3.9、4.3,22 °C 下发酵 7~10 d,至残糖含量 <5 g/L,酒精发酵结束。

表 1 不同原料配比酿造黑果枸杞果酒试验设计

Table 1 Design scheme for brewing *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine with different addition mass ratios

编号	黑果枸杞与酿酒葡萄质量比	果胶酶添加量/(g/L)	酵母菌种	酵母添加量/(g/L)	pH 值
LRM-WG	1:3	0.50	FX-10	0.25	3.9
WG	纯葡萄	0.50	FX-10	0.25	3.9
LRM	纯黑果枸杞	0.50	FX-10	0.25	3.9

表 2 不同酿酒酵母菌酿造黑果枸杞果酒试验设计

Table 2 Experimental design scheme for brewing *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine with different *Saccharomyces cerevisiae*

编号	黑果枸杞与酿酒葡萄质量比	果胶酶添加量/(g/L)	酵母菌种	酵母添加量/(g/L)	pH 值
Yeast-1	1:3	0.50	RX-60	0.25	3.9
Yeast-2	1:3	0.50	AC	0.25	3.9
Yeast-3	1:3	0.50	FX-10	0.25	3.9
Yeast-4	1:3	0.50	3 种酵母 1:1:1	0.25	3.9

表 3 不同 pH 值条件酿造黑果枸杞果酒试验设计

Table 3 Experimental design scheme of brewing *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine under different pH conditions

编号	黑果枸杞与酿酒葡萄质量比	果胶酶添加量/(g/L)	酵母菌种	酵母添加量/(g/L)	pH 值
1	1:3	0.50	FX-10	0.25	3.5
2	1:3	0.50	FX-10	0.25	3.9
3	1:3	0.50	FX-10	0.25	4.3

1.3.3 正交试验设计优化发酵工艺

以黑果枸杞与酿酒葡萄质量比、果胶酶添加量、酿酒酵母添加量为考察因素,以酒精发酵后期酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]含量为考察指标,采用正交试验设计优化共发酵果酒工艺,因素与水平如表 4 所示。制备 9 组共发酵果酒样品,分别编号为 1#~9#。

表 4 正交试验设计因素与水平

Table 4 Orthogonal design factors and level

水平	A 黑果枸杞与酿酒葡萄质量比	B 果胶酶添加量/(g/L)	C 酿酒酵母添加量/(g/L)
1	1:3	0.3	0.15
2	1:4	0.5	0.20
3	1:5	0.7	0.25

1.4 指标测定方法

1.4.1 总酚测定

总酚测定方法参考福林酚法^[24]以没食子酸为标准溶液,并稍作修改。称取 5.00g 样品于 250 mL 三角瓶中,加入 75 mL 体积分数为 70% 的乙醇溶液,搅拌均

匀,在恒温水浴锅中 75 °C 水浴,提取 50 min,提取液以 3 000 r/min 离心 30 min,取上清液。重复提取步骤 2 次,定容至 250 mL,得到样品多酚提取液。移取 1 mL 样品待测液于 25 mL 容量瓶中,分别加入福林酚试剂 1 mL,摇匀后再加入质量分数 12% Na₂CO₃ 溶液 2 mL,用水定容至 25 mL,摇匀,平行 3 组,室温下避光反应 2 h 后,在 765 nm 波长下测定吸光度。

1.4.2 总花色苷含量的测定

总花色苷含量参考闫亚美等^[25]的 pH 示差法测定,并稍作修改。吸取一定量酒体样品于 100 mL 烧杯中,用柠檬酸-柠檬酸钠缓冲溶液调 pH 值至 3.0,再用 pH 值为 3.0 的缓冲溶液定容至 100 mL 容量瓶中。取稀释后样品 1 mL,加入 pH 值为 1.0 和 4.5 的缓冲溶液 9 mL,40 °C 水浴平衡 20 min 后,以去离子水为空白,于 510 nm 和 700 nm 波长下测定吸光度。

1.4.3 色泽测定

采用 CM-5 分光测色仪进行果酒色泽特征分析^[26],测定时使用液体反射模式,以白色校正瓷砖为背景,测量果酒液体亮度(L*值)、红度(a*值)、黄度(b*值),c 值和 h 值(L 表示亮暗;±a 表示红绿;±b 表示黄蓝;c 表示色彩饱和度,c 越大则颜色的鲜艳度越高;h 表示色度角),每个样品测定 5 次,记录数据。

1.4.4 高效液相色谱(high performance liquid chromatography, HPLC)法测定花色苷组成及含量

取 5 mL 酒样,用 15 mL 乙醚萃取 3 次(每次加入 5 mL,提取 30 min),取下层液体过 0.22 μm 滤膜,置于 -80 °C 备用。

色谱条件:色谱柱 ZORBAX XB-Aq 914(4.6 mm×250 mm, 5 μm);流动相 A:1% 甲酸+0.1% 三氯乙酸(trichloroacetic acid, TFA)溶液;流动相 B:15% 甲醇乙腈溶液;梯度洗脱,洗脱程序:0 min,90% A,10% B;20 min,70% A,30% B;35 min,50% A,50% B;45 min,90% A,10% B;55 min,90% A,10% B;流速 0.8 mL/min;检测波长 530 nm;柱温 30 °C;进样体积 20 μL。

花色苷标准曲线的绘制:称取标准品矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷 5 mg,用 1% 甲酸定容于 50 mL 容量瓶,配制成 100 mg/L 标准液,分别配制成 5、10、50、100、200、500 mg/L 不同浓度标准品溶液进样,以质量浓度为横坐标(mg/L),峰面积为纵坐标,进行线性回归得到标准曲线 $y=29.4x-99.55$, $R^2=0.9915$;各标准品曲线在 5~500 mg/L 范围内线性关系良好。样品进样后将峰面积代入标准曲线,计算并得到酰化花色苷矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷含量。

1.5 统计分析

数据统计分析采用 SPSS 21.0 对数据进行单因素方差统计分析,结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 不同原料配比对果酒酿造过程酚类物质的影响

为保证发酵的正常进行,并确保果酒具有良好的香气结构,黑果枸杞与酿酒葡萄的混合汁需满足:总糖≥24%,pH3.5~4.5,通过预试验,确定了黑果枸杞与酿酒葡萄的添加比例范围>1:2.6(质量比),即酿酒葡萄最低添加量≥72%。因此,设置黑果枸杞与酿酒葡萄的复配比例为 1:3(质量比),同时以单一酿酒葡萄、单一黑果枸杞发酵果酒为对照,探究酿酒葡萄添加量对果酒总酚、总花色苷含量及色泽的影响,结果如图 1、图 2 所示。

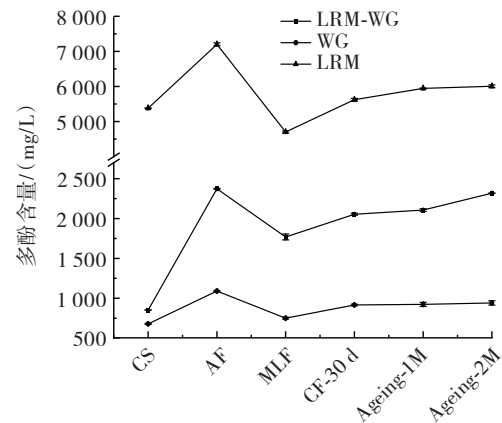


图 1 不同原料配比酿造黑果枸杞果酒多酚含量变化

Fig.1 Changes of polyphenol content in *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed with different addition mass ratios of raw materials

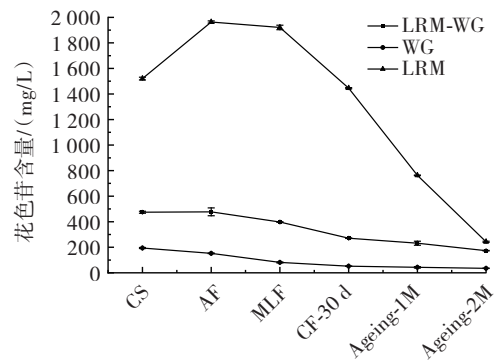


图 2 不同原料配比酿造黑果枸杞果酒花色苷含量变化

Fig.2 Changes of anthocyanin content in *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed with different addition mass ratios of raw materials

由图 1、图 2 可知,3 组样品在整个酿造时期多酚含量变化趋势一致,在酒精发酵期达到最高值,且 LRM 组中多酚含量远高于 WG 组。LRM 组果酒花色苷含量始终高于 WG 组和 LRM-WG 组,这和黑果枸杞原料中花色苷含量有关,但 LRM 组果酒花色苷降解速率最大, WG 组和 LRM-WG 组相对较为平稳。单一

LRM 发酵,冷浸渍时期花色苷含量为 1 520.76 mg/L,在酒精发酵时期达到最高值 1 963.20 mg/L,但在二次发酵后花色苷含量迅速锐减,至陈酿两个月时花色苷含量仅为 242.49 mg/L,这与 Wang 等^[27]的研究规律一致;单一酿酒葡萄酿造果酒,花色苷含量随着酿造时间延长而不断降低,但降低速率较慢,陈酿 2 个月时花色苷含量为 35.26 mg/L,LRM-WG 组花色苷含量在陈酿 2 个月时花色苷含量为 173.38 mg/L,说明单一 LRM 发酵不易于酒体花色苷的保存,黑果枸杞与酿酒葡萄复配抑制了花色苷降解损失。

2.1.2 不同原料配比果酒酿制过程中色泽变化

不同原料配比果酒酿制过程中色泽变化见表 5。

表 5 不同原料配比酿造黑果枸杞果酒色泽

Table 5 Color of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed with different addition mass ratios of raw materials

色泽	组别	LRM-WG	WG	LRM
<i>L</i> *值	CS	31.04±0.02 ^b	68.93±0.04 ^a	0.82±0.04 ^c
	AF	48.10±0.04 ^b	79.52±0.02 ^a	6.35±0.06 ^c
	MLF	51.29±0.19 ^b	78.60±0.01 ^a	1.11±0.04 ^c
	CF-30 d	52.96±0.13 ^b	74.37±0.00 ^a	1.91±0.04 ^c
	Ageing-1M	58.74±0.19 ^b	74.82±0.11 ^a	16.68±0.14 ^c
	Ageing-2M	59.22±0.13 ^b	75.45±0.05 ^a	33.69±0.15 ^c
	<i>a</i> *值	CS	55.17±0.01 ^a	36.89±0.04 ^b
AF		47.65±0.04 ^a	22.52±0.02 ^b	8.03±0.09 ^c
MLF		44.40±0.14 ^a	24.56±0.01 ^b	5.64±0.07 ^c
CF-30 d		40.76±0.11 ^a	26.39±0.01 ^b	11.46±0.018 ^c
Ageing-1M		35.23±0.14 ^b	24.82±0.10 ^c	40.53±0.13 ^a
Ageing-2M		32.56±0.05 ^b	23.98±0.05 ^c	42.16±0.10 ^a
<i>b</i> *值		CS	-7.03±0.03 ^c	7.05±0.01 ^a
	AF	-2.69±0.03 ^c	8.40±0.03 ^a	-0.51±0.05 ^b
	MLF	10.66±0.16 ^b	11.46±0.00 ^a	1.05±0.03 ^c
	CF-30 d	16.51±0.13 ^a	10.23±0.01 ^b	2.07±0.03 ^c
	Ageing-1M	24.14±0.13 ^a	9.28±0.02 ^c	21.40±0.27 ^b
	Ageing-2M	25.72±0.15 ^b	9.92±0.06 ^c	49.15±0.05 ^a

注:同行不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

由表 5 可知,同一时期不同原料组果酒样品色泽值存在显著差异。LRM-WG 组果酒 *L**值和 *b**值呈现逐渐增长的趋势;LRM-WG、WG 和 LRM 3 组果酒在不同时期测定的 *L**值差异不显著($p > 0.05$)。

2.1.3 不同类型酵母菌对果酒酿制过程酚类物质的影响

通过添加不同类型酵母菌酿造了 4 组果酒,不同时期酒体样品中多酚、花色苷含量如图 3、图 4 所示。

由图 3、图 4 可知,不同样品组多酚含量变化趋势一致,且含量较为接近,说明 FX-10、AC、RX-60 酵母菌及 3 种酵母菌混合发酵对酿造时期多酚的影响作用较小。不同样品组花色苷含量变化趋势一致,但与多酚变化趋势不同,在酒精发酵期结束后花色苷含量一直

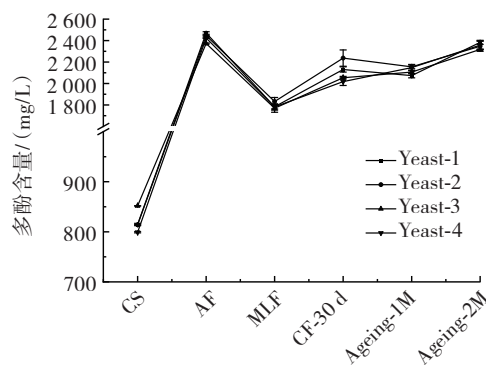


图 3 不同酿酒酵母菌酿造黑果枸杞果酒多酚含量变化

Fig.3 Changes of polyphenol content in *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed with different *Saccharomyces cerevisiae*

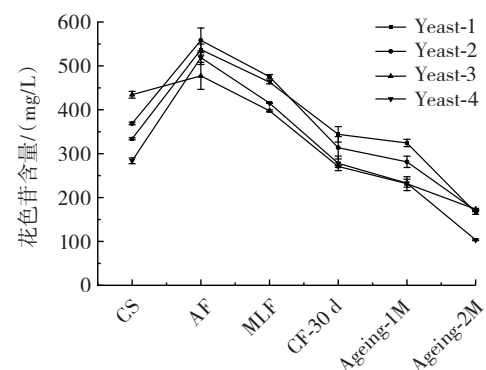


图 4 不同酿酒酵母菌酿造黑果枸杞果酒花色苷含量变化

Fig.4 Changes of anthocyanin content in *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed with different *Saccharomyces cerevisiae*

呈下降趋势,混合酵母菌 Yeast-4 组在陈酿期花色苷含量较其他组低。这也与李双石等^[28]研究发现的结论基本一致。

2.1.4 不同酿酒酵母菌对果酒过程色泽的变化

不同酿酒酵母菌对果酒过程色泽的变化见表 6。

表 6 不同酿酒酵母菌酿造黑果枸杞果酒色泽

Table 6 Color of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed with different *Saccharomyces cerevisiae*

色泽	组别	Yeast-1	Yeast-2	Yeast-3	Yeast-4
<i>L</i> *值	CS	42.32±0.23 ^a	35.83±0.01 ^b	31.04±0.02 ^d	32.32±0.11 ^c
	AF	48.98±0.13 ^b	52.99±0.04 ^a	48.10±0.04 ^c	46.67±0.07 ^d
	MLF	49.49±0.031 ^c	50.30±0.34 ^b	51.29±0.19 ^a	51.62±0.13 ^a
	CF-30 d	50.44±0.20 ^c	49.00±0.15 ^d	52.96±0.13 ^b	54.59±0.12 ^a
	Ageing-1M	55.93±0.04 ^c	57.69±0.34 ^b	58.74±0.19 ^a	58.50±0.41 ^a
	Ageing-2M	58.18±0.12 ^d	61.51±0.30 ^b	59.22±0.13 ^c	62.57±0.01 ^a
	<i>a</i> *值	CS	39.97±0.29 ^d	42.26±0.01 ^c	55.17±0.01 ^a
AF		46.17±0.10 ^c	42.76±0.04 ^d	47.65±0.04 ^a	47.29±0.06 ^b
MLF		45.37±0.23 ^a	42.68±0.23 ^c	44.40±0.14 ^b	41.91±0.09 ^d
CF-30 d		42.64±0.16 ^a	40.69±0.09 ^b	40.76±0.11 ^b	37.70±0.09 ^c
Ageing-1M		37.98±0.05 ^a	34.99±0.23 ^b	35.23±0.14 ^b	34.39±0.27 ^c
Ageing-2M		36.91±0.06 ^a	32.99±0.23 ^b	32.56±0.05 ^c	31.84±0.04 ^d

续表6 不同酿酒酵母酿造黑果枸杞果酒色泽

Continue table 6 Color of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed with different *Saccharomyces cerevisiae*

色泽	组别	Yeast-1	Yeast-2	Yeast-3	Yeast-4
b*值	CS	-5.11±0.01 ^a	-7.34±0.01 ^d	-7.03±0.03 ^b	-7.17±0.08 ^c
	AF	-2.31±0.11 ^c	0.81±0.11 ^a	-2.69±0.03 ^d	0.31±0.07 ^b
	MLF	5.82±0.26 ^c	5.79±0.28 ^c	10.66±0.16 ^c	9.52±0.13 ^b
	CF-30 d	11.13±0.17 ^c	14.90±0.12 ^b	16.51±0.13 ^a	16.58±0.10 ^a
	Ageing-1M	22.07±0.13 ^c	22.12±0.13 ^c	24.14±0.13 ^b	24.74±0.30 ^a
	Ageing-2M	23.27±0.23 ^c	23.35±0.38 ^c	25.72±0.15 ^b	28.96±0.20 ^a

注:同行不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

由表6可知, Yeast-1组果酒在不同时期 L^* 值和 b^* 值呈现逐渐增长的趋势; Yeast-2组果酒在不同时期 b^* 值呈现逐渐增长的趋势, Yeast-3和Yeast-4组果酒在不同时期的 L^* 值和 b^* 值呈现不断增长的趋势, 而 a^* 值呈现不断下降的趋势。

2.1.5 不同pH值对果酒酿制过程酚类物质的影响

不同pH值对果酒酿制过程酚类物质的影响见图5、图6。

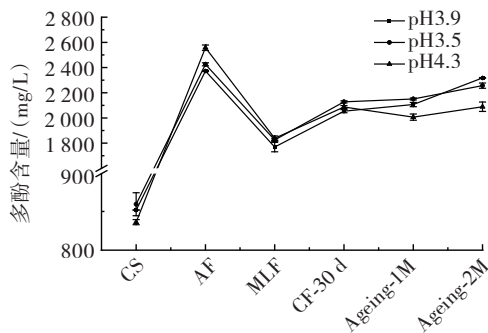


图5 不同pH值条件酿造黑果枸杞果酒多酚含量变化

Fig.5 Changes of polyphenol content in *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed under different pH conditions

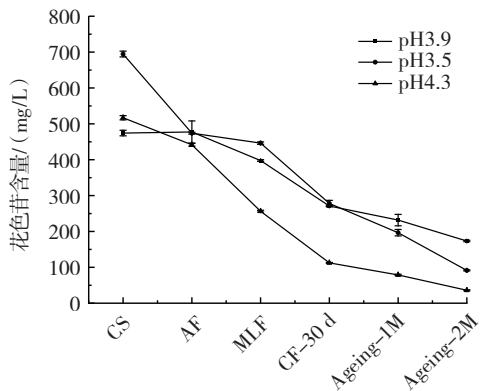


图6 不同pH值条件酿造黑果枸杞果酒花色苷含量变化

Fig.6 Changes of anthocyanin content in *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewed under different pH conditions

如图5所示,不同pH值条件下发酵并酿造果酒,其多酚含量变化趋势都一致,但在澄清期后, pH4.3组多酚含量低于其他两组;如图6所示,不同pH值条件下花色

苷含量变化差异较大, pH4.3组花色苷含量从冷浸渍时期之后持续降低,并始终低于其他两组,结果说明在pH值在3.5~4.3范围对酿造果酒中多酚含量的影响较小,但对花色苷含量的保存影响较大,应控制物料pH值小于4.0进行果酒酿造,有助于果酒多酚、花色苷的保存。

2.1.6 不同pH值条件酿制果酒色泽变化

不同pH值条件酿制果酒色泽变化见表7。

表7 不同pH值条件酿造黑果枸杞果酒色泽

Table 7 Color of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine brewing under different pH conditions

色泽	组别	pH3.5	pH3.9	pH4.3
L^* 值	CS	18.45±0.02 ^c	31.04±0.02 ^b	38.72±0.11 ^a
	AF	34.31±0.06 ^c	48.10±0.04 ^b	56.90±0.09 ^a
	MLF	39.75±0.10 ^c	51.29±0.19 ^b	61.44±0.05 ^a
	CF-30 d	43.34±0.06 ^c	52.96±0.13 ^b	63.11±0.01 ^a
	Ageing-1M	49.91±0.08 ^c	58.74±0.19 ^b	67.88±0.13 ^a
	Ageing-2M	55.99±0.13 ^c	59.22±0.13 ^b	70.24±0.24 ^a
a^* 值	CS	48.06±0.01 ^b	55.17±0.01 ^a	47.08±0.06 ^c
	AF	59.67±0.01 ^a	47.65±0.04 ^b	37.62±0.09 ^c
	MLF	59.17±0.03 ^a	44.40±0.14 ^b	32.07±0.03 ^c
	CF-30 d	54.97±0.01 ^a	40.76±0.11 ^b	29.39±0.01 ^c
	Ageing-1M	48.38±0.07 ^a	35.23±0.14 ^b	26.02±0.15 ^c
	Ageing-2M	41.64±0.14 ^a	32.56±0.05 ^b	24.83±0.20 ^c
b^* 值	CS	-4.14±0.02 ^a	-7.03±0.03 ^c	-6.49±0.08 ^b
	AF	5.34±0.01 ^a	-2.69±0.03 ^c	2.64±0.08 ^b
	MLF	7.76±0.04 ^c	10.66±0.16 ^b	25.83±0.10 ^a
	CF-30 d	14.06±0.06 ^c	16.51±0.13 ^b	36.23±0.02 ^a
	Ageing-1M	18.34±0.10 ^c	24.14±0.13 ^b	43.79±0.02 ^a
	Ageing-2M	24.08±0.14 ^c	25.72±0.15 ^b	44.87±0.26 ^a

注:同行不同字母表示差异显著($p<0.05$)。

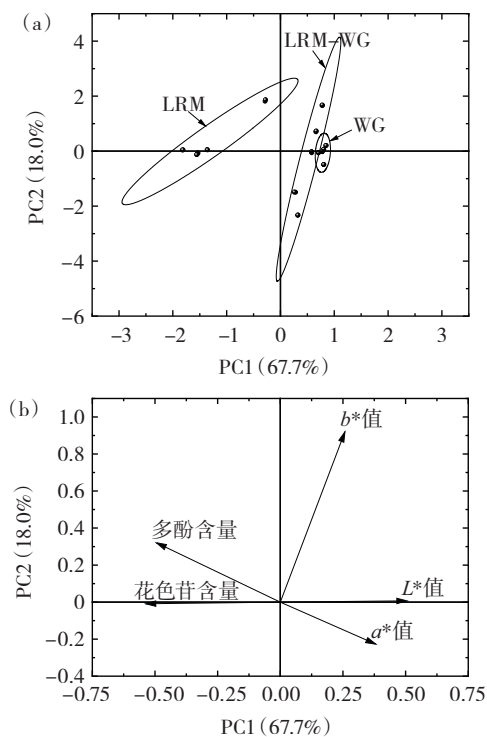
由表7可知,同一时期不同pH值条件下果酒样品色泽值存在显著差异。pH3.5组果酒在不同时期 L^* 值和 b^* 值呈现逐渐增长的趋势; pH3.9和pH4.3组果酒在不同时期 L^* 值和 b^* 值呈现不断增长的趋势, 而 a^* 值呈现不断下降的趋势; pH3.9和pH4.3这两组果酒在不同时期测定的 L^* 值差异不显著, pH4.3组果酒在不同时期测定的 a^* 值也差异不显著($p>0.05$)。研究表明,酰化的花色苷在微酸性的水溶液中有较强的维持花色苷颜色稳定的能力^[29],与天然花色苷相比,其稳定性更高^[30]。

2.2 主成分分析

2.2.1 酿酒葡萄添加量对黑果枸杞果酒品质的影响

采用单一黑果枸杞(LRM)发酵、单一酿酒葡萄(WG)发酵、黑果枸杞与酿酒葡萄(1:3,质量比,LRM-WG)混合后共发酵酿造果酒,对不同时期的样品进行多酚、花色苷含量及色泽特征值进行跟踪测定,并对数据进行多元数据回归分析,结果如图7、表8所示。

由图7可知,在第一主成分和第二主成分的得分图上,LRM组、WG组、LRM-WG 3组样品可以明显区分,



(a)主成分分析得分图;(b)主成分分析载荷图。

图7 酿酒葡萄添加量对黑果枸杞果酒品质的影响

Fig.7 Effect of wine grape addition on quality of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine

WG组和LRM-WG组分布于PC1轴右侧,LRM组分布于PC1轴左侧,说明LRM组与WG组、LRM-WG组样品信息差异较大。主成分载荷图上,色泽特征值L*值、a*值、b*值3个指标位于PC1轴右侧,花色苷、多酚含量指标位于PC1轴左侧,且花色苷、多酚和L*值在PC1上的载荷较大,表明通过改变酿酒葡萄的添加量形成不同原料配比,对酿造的黑果枸杞果酒花色苷、多酚和L*值影响较大。

表8 酿酒葡萄添加量对黑果枸杞果酒品质的影响主成分分析特征值与贡献率

Table 8 Effect of wine grape addition on quality of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine by eigenvalues and contribution rate of principal component analysis

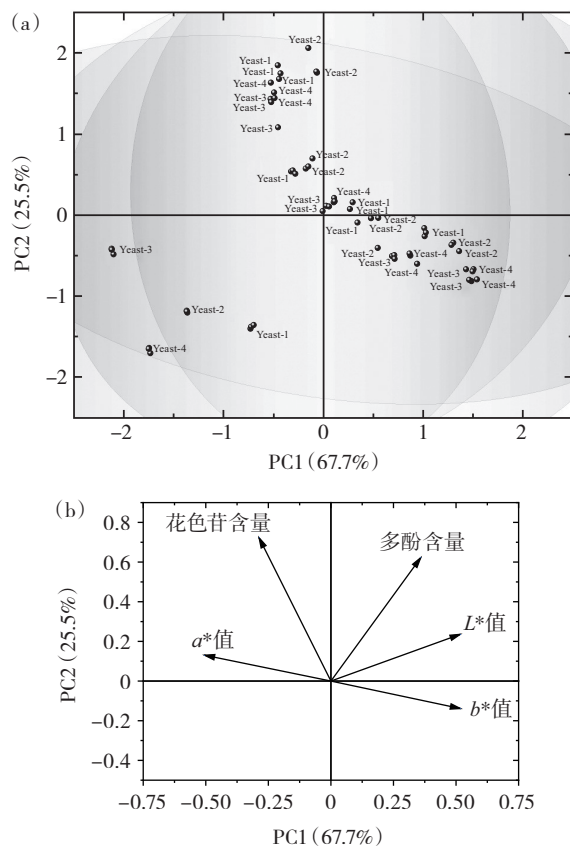
主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.385 22	67.704 30	67.704 30
2	0.900 42	18.008 35	85.712 66
3	0.622 02	12.440 45	98.153 11
4	0.062 79	1.255 83	99.408 94
5	0.029 55	0.591 06	100.000 00

如表8所示,PC1能够解释67.7%样品信息,PC2能够解释18.0%样品信息,PC1与PC2累积贡献率达到85.7%,这两个相互独立的变量可反映出不同原料配比或是组成酿造出的果酒绝大部分信息。

2.2.2 不同类型酵母菌对黑果枸杞果酒品质的影响

不同类型酵母菌对黑果枸杞果酒品质的影响,如

图8、表9所示。



(a)主成分分析得分图;(b)主成分分析载荷图。

图8 不同类型酵母菌对黑果枸杞果酒品质的影响

Fig.8 Effects of different types of yeast on the quality of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine

表9 不同类型酵母菌对黑果枸杞果酒品质的影响主成分分析特征值与贡献率

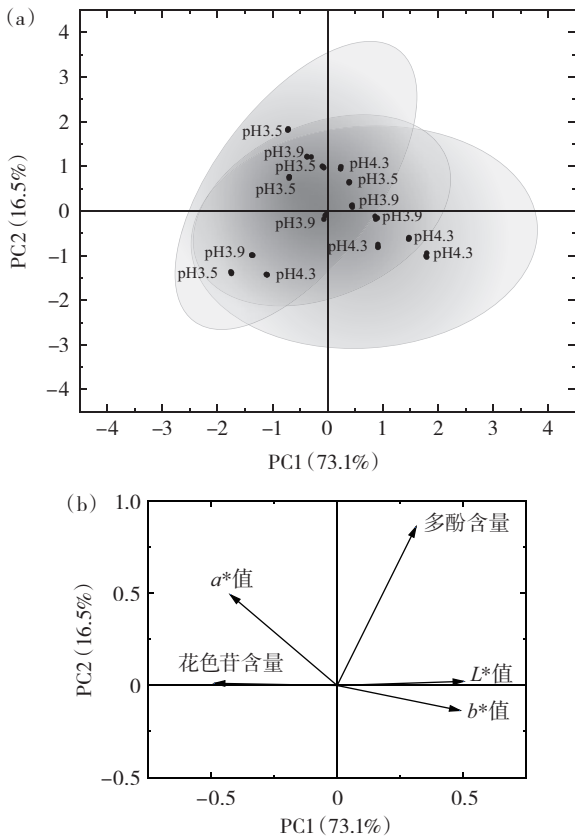
Table 9 Effects of different types of yeast on the quality of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine by eigenvalues and contribution rate of principal component analysis

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.383 90	67.677 91	67.677 91
2	1.275 82	25.516 38	93.194 29
3	0.219 65	4.393 09	97.587 37
4	0.094 96	1.899 16	99.486 53
5	0.025 67	0.513 47	100.000 00

如图8所示,4组样品能够较好分开,且色泽指标的载荷大于多酚、花色苷指标,表明酿酒酵母菌对酿造黑果枸杞果酒多酚、花色苷影响较小。如表9所示,第一主成分为67.7%,第二主成分为25.5%,累积贡献率为93.2%,表明提取两个主成分可涵盖4组样品93.2%的信息。

2.2.3 不同pH值对黑果枸杞果酒品质的影响

不同pH值对黑果枸杞果酒品质的影响见图9、表10。



(a)主成分分析得分图;(b)主成分分析载荷图。

图9 不同pH值对黑果枸杞果酒品质的影响

Fig.9 Effects of different pH values on the quality of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine

表10 不同pH值对黑果枸杞果酒品质的影响主成分分析特征值与贡献率

Table 10 Effects of different pH values on the quality of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit wine by eigenvalues and contribution rate of principal component analysis

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	3.655 86	73.117 24	73.117 24
2	0.824 70	16.493 93	89.611 17
3	0.373 53	7.470 67	97.081 84
4	0.117 45	2.349 01	99.430 85
5	0.028 46	0.569 15	100.000 00

如图9所示,通过主成分分析,不同pH值条件下酿造的果酒样品被较好地分开,且花色苷、色泽(L*值、 α^* 值、 b^* 值)指标的载荷大于多酚指标,表明pH值对黑果枸杞果酒花色苷和色泽影响较大。第一主成分为73.1%,第二主成分为16.5%,累积贡献率为89.6%,表明提取两个主成分可涵盖全部样品89.6%的信息。

2.3 正交试验结果分析

采用HPLC检测技术测定9组果酒样品中酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]的含量,试验结果如表11所示。

由表11可知,黑果枸杞与酿酒葡萄的添加比例因

表11 正交试验结果分析

Table 11 Analysis of orthogonal test results

水平	A 黑果枸杞 与葡萄 质量比	B 果胶酶 添加量/ (g/L)	C 酿酒酵母 添加量/ (g/L)	Y 酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]含量/(mg/L)
1	1:3	0.30	0.15	305.29
2	1:3	0.50	0.20	287.91
3	1:3	0.70	0.25	358.93
4	1:4	0.30	0.20	373.73
5	1:4	0.50	0.25	414.19
6	1:4	0.70	0.15	413.62
7	1:5	0.30	0.25	320.79
8	1:5	0.50	0.15	324.04
9	1:5	0.70	0.20	347.01
K_1	317.38	333.27	347.65	
K_2	400.51	342.05	336.22	
K_3	339.61	373.19	364.64	
R	83.13	39.92	28.42	

素的极差最大,说明原料组成对发酵后酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]含量的影响程度最大,其次是果胶酶添加量及酿酒酵母添加量,最佳参数组合为 $A_2B_3C_3$,即黑果枸杞与酿酒葡萄质量比为1:4、果胶酶添加量0.70 g/L、酿酒酵母添加量0.25 g/L,在此条件下进行酵母菌发酵,发酵结束后果酒样品中酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]含量为(459.51±3.66) mg/L。

3 结论

通过单因素试验,得到黑果枸杞与酿酒葡萄质量比及发酵pH值对果酒花色苷含量和色泽影响程度较大;酿酒葡萄经复配后,减少了果酒中花色苷损失,提高了黑果枸杞果酒中花色苷的稳定性,但对多酚含量影响作用较小;发酵前应调整物料pH值小于4.0再进行果酒酿造,有助于果酒多酚、花色苷的保存;酵母菌类型对黑果枸杞果酒多酚、花色苷和色泽影响均较小。正交优化试验结果表明,原料组成对发酵后酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]含量的影响程度最大,其次是果胶酶添加量及酿酒酵母添加量。试验得到最佳发酵工艺条件:黑果枸杞与酿酒葡萄质量比为1:4、果胶酶添加量为0.70 g/L、酿酒酵母添加量为0.25 g/L,酒精发酵后酰化花色苷[矮牵牛素-3-O-芸香糖(反式-p-香豆酰基)-5-O-葡萄糖苷]含量可达(459.51±3.66) mg/L。此研究旨在推动黑果枸杞花色苷类活性成分的利用及精深加工产品研发提供理论依据。

参考文献:

[1] MO S Q, BIAO A, WANG Z Q, et al. Spatio transcriptome uncover novel insight into the *Lycium ruthenicum* seedling tolerant to salt stress[J]. Industrial Crops and Products, 2022, 177: 114502.

- [2] YUN D W, YAN Y M, LIU J. Isolation, structure and biological activity of polysaccharides from the fruits of *Lycium ruthenicum* Murr: A review[J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 291: 119618.
- [3] 刘玉晗, 邢丽杰, 李先义, 等. 20种深色表皮农产品中花青素研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(11): 186-188.
LIU Yuhan, XING Lijie, LI Xianyi, et al. Study on anthocyanins in 20 kinds of dark skinned agricultural products[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2021, 49(11): 186-188.
- [4] TRESSERRA-RIMBAU A, RIMM E B, MEDINA-REMÓN A, et al. Inverse association between habitual polyphenol intake and incidence of cardiovascular events in the PREDIMED study[J]. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases: NMCD, 2014, 24(6): 639-647.
- [5] PENG Y J, YAN Y M, WAN P, et al. Prebiotic effects *in vitro* of anthocyanins from the fruits of *Lycium ruthenicum* Murray on gut microbiota compositions of feces from healthy human and patients with inflammatory bowel disease[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 149: 111829.
- [6] WU M, LUO Q Y, NIE R X, et al. Potential implications of polyphenols on aging considering oxidative stress, inflammation, autophagy, and gut microbiota[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2021, 61(13): 2175-2193.
- [7] EKER M E, AABY K, BUDIC-LETO I, et al. A review of factors affecting anthocyanin bioavailability: Possible implications for the inter-individual variability[J]. Foods, 2019, 9(1): 2.
- [8] TRESSERRA-RIMBAU A, RIMM E B, MEDINA-REMÓN A, et al. Polyphenol intake and mortality risk: A re-analysis of the PREDIMED trial[J]. BMC Medicine, 2014, 12: 77.
- [9] KHOO H E, AZLAN A, TANG S T, et al. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits[J]. Food & Nutrition Research, 2017, 61(1): 1361779.
- [10] ESCOBAR - ORTIZ A, CASTAÑO - TOSTADO E, ROCHA - GUZMÁN N E, et al. Anthocyanins extraction from *Hibiscus sabdariffa* and identification of phenolic compounds associated with their stability[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(1): 110-119.
- [11] 张卫. 关于宁夏黑果枸杞的调研报告[J]. 中国市场, 2022(24): 144-146.
ZHANG Wei. Investigation report on *Lycium barbarum* L. in Ningxia[J]. China Market, 2022(24): 144-146.
- [12] VIDANA GAMAGE G C, LIM Y Y, CHOO W S. Sources and relative stabilities of acylated and nonacylated anthocyanins in beverage systems[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 59(3): 831-845.
- [13] 周鹤, 张佳佳, 时蒙蒙, 等. 冷浸渍时间和发酵温度对西拉桃红葡萄酒品质的影响[J]. 中国酿造, 2022, 41(6): 178-183.
ZHOU He, ZHANG Jiajia, SHI Mengmeng, et al. Effect of cold maceration time and fermentation temperature on the quality of Syrah rosé wines[J]. China Brewing, 2022, 41(6): 178-183.
- [14] 于聪, 李艳. 3种酿酒葡萄花色苷及其稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(10): 37-43.
YU Cong, LI Yan. Study on anthocyanins in three wine grapes and their stability[J]. Food Research and Development, 2021, 42(10): 37-43.
- [15] 邹波, 徐玉娟, 吴继军, 等. 贮藏温度对蓝莓汁单个花色苷降解的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(12): 256-262, 276.
ZOU Bo, XU Yujuan, WU Jijun, et al. Effect of storage temperature on single anthocyanin degradation in blueberry juice[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(12): 256-262, 276.
- [16] CHUAH H Q, TANG P L, ANG N J, et al. Submerged fermentation improves bioactivity of mulberry fruits and leaves[J]. Chinese Herbal Medicines, 2021, 13(4): 565-572.
- [17] GAO Q C, SONG Y B, LIANG Y, et al. Dynamics of physicochemical properties, functional compounds and antioxidant capacity during spontaneous fermentation of *Lycium ruthenicum* Murr. (Qinghai-Tibet Plateau) natural vinegar[J]. Foods, 2022, 11(9): 1344.
- [18] 史晓华, 于磊娟, 邱磊. 仙人掌果黑枸杞复合果酒的发酵工艺研究[J]. 中国酿造, 2017, 36(11): 175-179.
SHI Xiaohua, YU Leijuan, QIU Lei. Fermentation process of *Opuntia ficus - indica* and *Lycium ruthenicum* compound fruit wine[J]. China Brewing, 2017, 36(11): 175-179.
- [19] GUERRAND Dr David, GERVAIS JeanPhilippe, 郭永亮, 等. 优质红葡萄酒酿造中浸提多酚物质最有效的工具——新一代果胶酶 EX-V 的应用[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2003(2): 41-44.
GUERRAND Dr David, GERVAIS JeanPhilippe, GUO Yongliang, et al. Application of a new type of pectinase-Lallzyme EX-V in the maceration of polyphenols during high quality red winemaking[J]. Sino-overseas Grapevine & Wine, 2003(2): 41-44.
- [20] LU L, MI J, CHEN X Y, et al. Analysis on volatile components of co-fermented fruit wines by *Lycium ruthenicum* Murray and wine grapes[J]. Food Science and Technology, 2022, 42: 7164-7175.
- [21] 王燕荣, 李正英, 潘雪, 等. 黑枸杞干红葡萄酒发酵工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 184-187.
WANG Yanrong, LI Zhengying, PAN Xue, et al. Fermentation process of *Lycium ruthenicum* Murr dry red wine[J]. The Food Industry, 2020, 41(1): 184-187.
- [22] 李斌斌. 冷浸渍处理对梅鹿辄干红葡萄酒品质影响的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020.
- [23] LI Binbin. Study on the effect of cold dipping treatment on the quality of merlot dry red wine[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2020.
- [23] 白桂英, 叶淑红, 王琛椰, 等. 黑枸杞乳酸菌饮料发酵工艺优化及功能性成分研究[J]. 中国酿造, 2022, 41(4): 157-162.
BAI Guiying, YE Shuhong, WANG Chenchen, et al. Fermentation process optimization and functional ingredients of black wolfberry lactic acid bacteria beverage[J]. China Brewing, 2022, 41(4): 157-162.
- [24] SINGLETON V L, ROSSI J A Jr. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1965, 16(3): 144-158.
- [25] 闫亚美, 冉林武, 曹有龙, 等. 黑果枸杞花色苷含量测定方法研究[J]. 食品工业, 2012, 33(6): 145-147.
YAN Yamei, RAN Linwu, CAO Youlong, et al. Determine the total anthocyanins in *Lycium ruthenicum* Murr. by different methods[J]. The Food Industry, 2012, 33(6): 145-147.
- [26] 禄璐, 李晓莺, 何军, 等. 气调包装对枸杞鲜果品质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(7): 168-172.
LU Lu, LI Xiaoying, HE Jun, et al. Effect of modified atmosphere packaging on the preservation quality of fresh wolfberry[J]. The Food Industry, 2021, 42(7): 168-172.
- [27] WANG C, LI L, LI Y, et al. Variation in phenolic composition and color features of red wine during vinification[J]. Journal of Polyphenols, 2019, 1(1): 33-49.
- [28] 李双石, 苏宁, 吴志明, 等. 不同酿酒酵母发酵对红葡萄酒中花色苷组成的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(11): 101-104.
LI Shuangshi, SU Ning, WU Zhiming, et al. Effects on anthocyanin composition in red wines fermented by different *Saccharomyces cerevisiae* strains[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(11): 101-104.
- [29] 韩富亮, 李杨, 李记明, 等. 红葡萄酒花色苷结构和颜色的关系研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(3): 328-336.
HAN Fuliang, LI Yang, LI Jiming, et al. Relation between anthocyanin structures and color in red wine: A review[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(3): 328-336.
- [30] 洪森辉, 黄冰晴, 张晶怡, 等. 越橘花色苷的酰化修饰及其稳定性改善研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(16): 84-89.
HONG Senhui, HUANG Bingqing, ZHANG Jingyi, et al. Improvement the stability of the bilberry anthocyanins through acylating modification[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(16): 84-89.