

植物乳杆菌 J26 对蓝莓酒品质的影响

梁雅琪, 程莎莎, 丁弋芯, 苏悦, 鲁杏茹, 张宇, 满朝新, 姜毓君*
(东北农业大学食品学院 乳品科学教育部重点实验室 哈尔滨 150030)

摘要 以蓝莓汁为原料,接种植物乳杆菌 J26(原植物乳杆菌 NDC75017、TD109、LJ26)预发酵后,利用酿酒酵母发酵蓝莓酒,采用 pH 计法、直接测定法、分光光度法和高效液相色谱法分析植物乳杆菌+酵母发酵组、酵母发酵组和市售蓝莓酒的 pH 值、总酸、糖度、酒精度、总酚以及花青素含量,确定添加益生菌预发酵对蓝莓酒品质的影响。结果表明,添加益生菌预发酵后的蓝莓酒,pH 值、总酸、糖度和酒精度均在国家标准规范范围。在 25 d 的发酵时间里,其总酚含量下降至 8 010.21 mg/L,显著高于酵母发酵组;植物乳杆菌+酵母组的花青素在发酵时期含量保持稳定,发酵末期花青素含量显著高于酵母发酵组(7 200.65 mg/kg)。在后发酵结束后,植物乳杆菌+酵母发酵组蓝莓酒中 J26 活菌数可达 9.3×10^6 CFU/mL。本研究通过添加益生菌预发酵得到的蓝莓酒总酚、花青素含量丰富,且具有一定数量的益生菌,可赋予蓝莓酒一定的益生功能,有助于提高蓝莓酒的品质。

关键词 植物乳杆菌 J26; 发酵; 蓝莓酒; 功能成分; 品质

文章编号 1009-7848(2024)08-0259-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.08.025

蓝莓为一种低脂、低糖的水果,被国际粮农组织列为人类大健康食品之一^[1],其果实富含花青素、多糖、黄酮以及丰富的必需氨基酸等营养成分,具有抗氧化、降糖降脂、预防心血管疾病、抗癌等功效^[2-3]。然而,蓝莓在储存和加工过程中非常容易腐烂,因此,最近一些研究尝试将蓝莓作为原料来研究开发不同的产品,以此来达到保存和提高蓝莓营养价值的目的。目前,通过发酵将蓝莓果实转化为酒的过程就是其中之一^[4]。

蓝莓酒因含有多种维生素和微量元素,故被认为与增强免疫功能、抗衰老作用有关,特别是对心血管疾病和肾功能衰竭有明显的保护作用^[5]。蓝莓酒的发酵是一个复杂的生物转化过程,在酒精发酵过程中,蓝莓中的一些功能性成分结构被破坏,造成营养损失过多等结果。例如:花青素经过酵母代谢会进一步改变其结构,从而影响蓝莓酒的颜色^[6]。乳酸菌代谢会产生一些功能性成分,如短链脂肪酸(SCFAs)、维生素和胞外多糖等,通常用于益生菌食品的开发,以改善人类健康^[7-9]。植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)作为一种乳酸

菌,具有调节免疫、肠道菌群平衡和慢性代谢疾病如酒精性和非酒精性脂肪肝等功能^[8]。近年来蓝莓酒的生产虽已很普遍,但通过添加益生菌发酵的蓝莓果酒是极少的。本研究以蓝莓汁为原料,接种植物乳杆菌 J26 (*Lactobacillus plantarum* J26,原植物乳杆菌 NDC75017、TD109、LJ26)及酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)发酵蓝莓酒,探究添加益生菌发酵对蓝莓酒活性成分的影响,旨在提高蓝莓酒的保健功能。

1 材料与方法

1.1 材料

蓝莓汁:由湖北均瑶大健康饮品股份有限公司提供;植物乳杆菌 J26(原植物乳杆菌 NDC75017、TD109、LJ26),分离自西藏传统发酵乳制品,现保藏于中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心,保藏号为:CGMCC NO.5448;酿酒酵母:市售安琪酵母;成品蓝莓酒:市售发酵型蓝莓酒。

1.2 试剂

蔗糖,生工生物工程股份有限公司;甲醇、乙腈、无水乙醇,天津星马克科技发展有限公司;甲酸,天津市科密欧化学试剂有限公司;盐酸,哈尔滨理工化学试剂有限公司;没食子酸,北京索莱宝

收稿日期:2023-08-24

基金项目:黑龙江省“双一流”学科协同创新成果建设项目(LJGXCG2022-021)

第一作者:梁雅琪,女,硕士生

通信作者:姜毓君 E-mail:yujun_jiang@163.com

科技有限公司;福林酚,北京博奥拓达科技有限公司;飞燕草色素、矢车菊色素、矮牵牛色素、天竺葵色素、芍药素、锦葵色素,上海源叶生物科技有限公司。

1.3 设备与仪器

pH计,梅特勒托利多科技有限公司;高效液相色谱仪,美国安捷伦科技公司;恒温培养箱,上海力申科学仪器有限公司;分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;电热恒温水浴锅,上海精密仪器仪表有限公司;超净工作台,北京东联哈尔仪器制造有限公司

1.4 工艺流程

蓝莓酒发酵工艺流程见图1。

蓝莓汁→常温解冻→调整成分(糖分)→接种益生菌→预发酵→接种酵母→主发酵→降温→后发酵→澄清过滤

图1 蓝莓酒发酵工艺流程

Fig.1 Blueberry wine fermentation process

1.4.1 果汁预处理 取酶解后的蓝莓果汁2 L, 85~95℃巴氏灭菌15 min,冷却到37℃。

1.4.2 预发酵 以无菌操作方式,将蓝莓果汁倒入发酵罐后,添加6%的蔗糖,40℃完全溶解。按1.5%接种量将植物乳杆菌J26(1×10^{12} CFU/mL)加入发酵罐中进行预发酵。

1.4.3 酵母活化 称取4 g酵母粉,加入到装有40 mL 37℃的无菌水中,并放入37℃水浴锅中静置,直至液面有大量气泡产生,即酵母活化完成。

1.4.4 酵母发酵 预发酵24 h后,按0.4%接种量添加活化好的酵母,摇匀,装好单向阀并进行水封,25℃恒温主发酵,分别发酵2,4,6,8,10 d。主发酵结束后进行12℃低温发酵,分别发酵3,6,9,12,15 d。酵母发酵组按照以上参数仅进行主发酵和低温发酵。

1.4.5 澄清过滤 将发酵结束的蓝莓酒置于密封容器中,在4℃条件下静置,静置后会使得悬浮物沉淀。

1.5 理化指标测定

1.5.1 pH值和总酸含量的测定 pH值采用pH计法进行测定,平行测定3次。总酸测定参考国家标准《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》

(GB 12456-2021)^[9]的方法。移液枪吸取5 mL样液,置于50 mL烧杯中,并加入10 mL蒸馏水。将pH计电源接通,稳定后,根据使用的pH计校正规程或用pH 8.0缓冲液校正pH计。将pH计电极浸入盛有样液的烧杯中,按下pH计读数开关,缓慢搅拌,迅速用1 mol/L氢氧化钠标准滴定溶液滴定,随时观察溶液pH值变化,接近滴定终点时,放慢滴定速度,一次滴加半滴,直至溶液的pH值达到8.2左右,记录消耗氢氧化钠标准滴定溶液的体积,平行测定3次。

1.5.2 总酚含量的测定 总酚含量参考团体标准《植物提取物及其制品中总多酚含量的测定 分光光度法》(T/AHFIA 005-2018)^[10]的方法,采用分光光度法进行测定。吸取5 mL提取液于100 mL烧杯中,加入30 mL 60%乙醇溶液,超声10 min,用60%乙醇溶液定容50 mL容量瓶,摇匀、过滤。吸取1 mL滤液于10 mL比色管中,加入2.5 mL福林酚试剂,摇匀后再加入2.5 mL 15%碳酸钠溶液,加水定容至刻度,摇匀。40℃水浴60 min,取出后静置冷却20 min,在波长778 nm处测定其吸光度。以没食子酸作为标准参照,根据标准曲线计算样液总酚的质量浓度,其含量按照式(1)进行计算。

$$X(\text{mg/L}) = c \times 10 \times n \quad (1)$$

式中: X 为样品中总酚质量浓度,mg/L; c 为由标准曲线计算得出的待测液中总酚的质量浓度,mg/L;10为滤液稀释倍数; n 为样品稀释倍数。

1.5.3 花青素含量的测定 花青素含量参考农业标准《植物源性食品中花青素的测定 高效液相色谱法》(NY/T 2640-2014)^[11]的方法,采用高效液相色谱法进行测定。

溶液配制方法如下:将200 mL无水乙醇、100 mL水和100 mL盐酸混匀配制提取液;取10 mL盐酸、90 mL甲醇混匀配制10%盐酸-甲醇溶液。

吸取样品5 mL于25 mL比色管中,加入提取液定容至刻度,摇匀1 min后,超声提取30 min。超声提取后,于沸水浴中水解1 h,取出冷却后,用提取液再次定容。静置,取上清液,用0.45 μm水相滤膜过滤,待测。以飞燕草色素、矢车菊色素、矮牵牛色素、天竺葵色素、芍药素和锦葵色素标准品作为标准参照,根据标准曲线计算各花青素的浓

度,其含量按照式(2)进行计算。

液相色谱条件如下: C_{18} 柱,柱长 250 mm,内径 4.6 mm,粒径 5 μm ,或性能相当者;流动相 A 为含 1%甲酸水溶液,流动相 B 为含 1%甲酸-乙腈溶液,梯度洗脱;检测波长 530 nm;流速 0.8 mL/min;柱温:30 $^{\circ}\text{C}$;进样量:20 μL 。

$$w = \rho \times V / m \quad (2)$$

式中: w 为样品花青素含量,mg/kg; ρ 为待测液中各花青素的质量浓度,mg/L; V 为定容体积,mL; m 为试样质量,g。

1.5.4 活菌数的测定 对酵母发酵的第 5,10,15,20,25 天进行植物乳杆菌 J26 活菌数的测定。具体方法参考《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》(GB 4789.35-2016)^[12]中乳酸菌的检验方法进行测定。

1.5.5 糖度与酒精度的测定 糖度测定根据比重计差值进行计算,酒精度采用比重计法进行测定并计算,计算方法见式(3)。

$$\text{糖度} = [(\text{比重}-1) \times 1000 / 4] \quad (3)$$

1.6 数据分析

所有试验均重复 3 次。试验结果利用 ANOVA 方法分析组间显著性,以 $P < 0.05$ 为标准进行统计分析。所有数据和图标均应用 GraphPad Prism 8.0.2 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 植物乳杆菌预发酵阶段蓝莓酒各指标变化

2.1.1 pH 值和总酸的变化 预发酵过程中蓝莓酒 pH 值和总酸含量的变化如图 1 和图 2 所示。如图可知,添加植物乳杆菌 J26 (原植物乳杆菌 NDC75017、TD109、LJ26) 进行预发酵时,pH 值随着发酵时间的延长而有轻微降低,虽然从 21 h 到 24 h,其 pH 值从 3.06 降至 3.00,显酸性,但整体 pH 值变化不明显。总酸变化与 pH 值结果对应一致,整体呈现上升趋势,预发酵 24 h 后,总酸含量达到 27.26 g/L。pH 值与总酸含量的变化可能与植物乳杆菌发酵产生乳酸等酸性物质有关^[13]。

2.1.2 总酚含量的变化 本研究选择使用没食子酸作为标准参照,所得标准曲线方程为 $y = 0.016x + 0.0937$,相关系数 $R^2 = 0.9902$,满足后续试验要求。

预发酵过程中蓝莓酒总酚含量的变化如图 4

表 1 梯度洗脱程序

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0	90	10
5	88	12
10	82	18
12	75	25
16	75	25
18	55	45
20	20	80
22	90	10
30	90	10

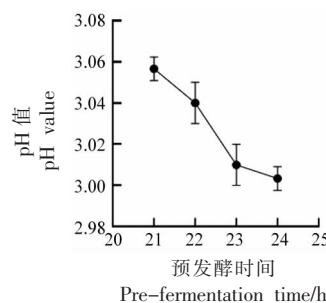


图 2 预发酵过程中蓝莓酒 pH 值的变化

Fig.2 Changes in pH value of blueberry wine during pre-fermentation

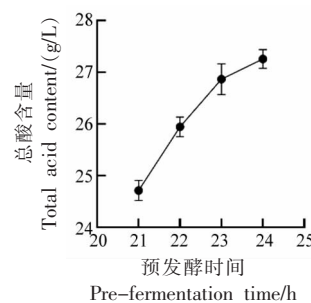


图 3 预发酵过程中蓝莓酒总酸含量的变化

Fig.3 Changes in total acid of blueberry wine during pre-fermentation

所示。如图 4 可知,预发酵开始后的 21~24 h,总酚含量从 8 124.80 mg/L 上升至 9 035.21 mg/L,整体呈现上升趋势。酚类物质增加的原因可能是植物乳杆菌具有从基质液中释放可溶性共轭或不可溶性结合的酚类化合物的能力^[14]。在另一研究中利用植物乳杆菌对豆乳进行发酵,其试验结果也是发酵后豆乳中多酚含量有一定程度的提高^[15]。目前虽无法确定酚类物质变化的原理,但乳酸菌对

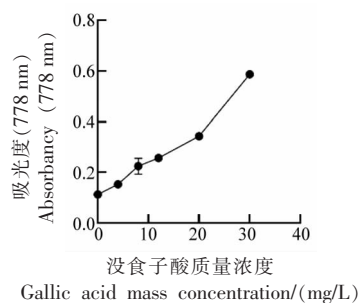


图4 没食子酸标准曲线

Fig.4 Gallic acid standard curve

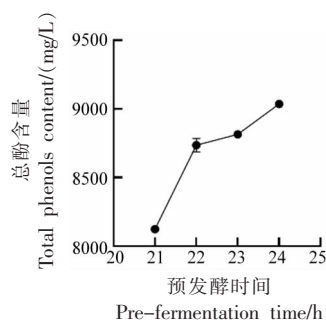


图5 预发酵过程中蓝莓酒总酚含量的变化

Fig.5 Changes of total phenolic content in blueberry wine during pre-fermentation

酚类物质的保护作用毋庸置疑的^[16-17]。因此,益生菌发酵对植物性酚类物质的影响机制仍需继续深究。

2.1.3 花青素含量的测定 本研究选择飞燕草色素、矢车菊色素、矮牵牛色素、天竺葵色素、芍药素和锦葵色素标准品作为标准参照,所得标准曲线方程和相关系数分别为 $y=9.4445x-2.5192$ ($R^2=0.9995$)、 $y=1.2024x-0.1387$ ($R^2=0.9981$)、 $y=9.382x+11.568$ ($R^2=0.9925$)、 $y=15.699x-3.4967$ ($R^2=0.9991$)、 $y=10.269x-1.8834$ ($R^2=0.9990$) 和 $y=15.323x-4.3623$ ($R^2=0.9990$),满足后续试验要求。

花青素作为一种黄酮类物质,是许多花朵和水果的红色、紫色和蓝色的来源^[18]。由表2所示,随着发酵的进行,6种花青素的含量均呈现上升的趋势。预发酵结束后,其中矢车菊色素含量最高,飞燕草色素次之,最低为天竺葵色素。在24h植物乳杆菌发酵后,飞燕草色素、矮牵牛色素、芍药素、锦葵色素、矢车菊色素、天竺葵色素含量分别增加至632.76,563.71,201.12,601.23,5675.957,2.55 mg/kg。总花青素含量在预发酵21~24h内,同样也是呈现上升趋势。Kwaw等^[19]利用植物乳杆菌、嗜酸乳杆菌、副干酪乳杆菌对桑葚

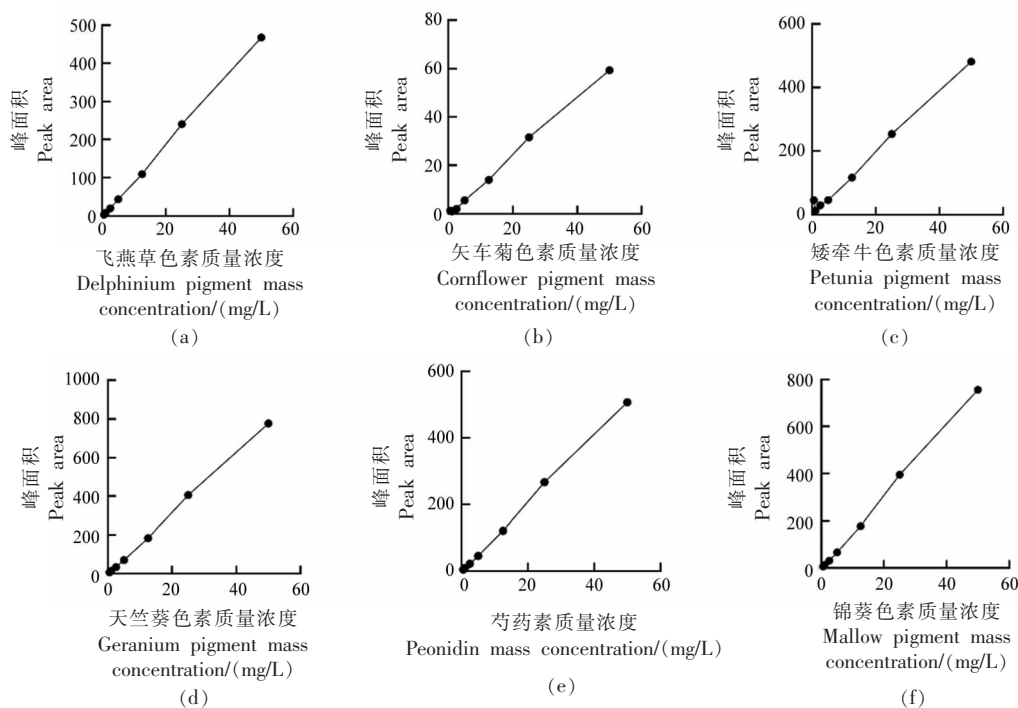


图6 6种花青素标准曲线

Fig.6 Six anthocyanin standard curves

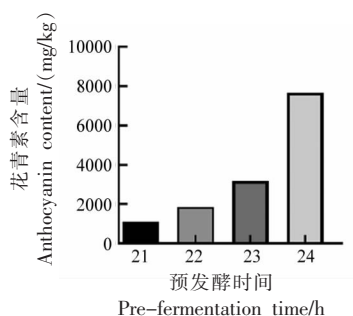


图 7 预发酵过程中蓝莓酒总花青素含量的变化

Fig.7 Changes of total anthocyanins content in blueberry wine during pre-fermentation

果汁进行发酵，发现发酵后花青素含量有显著提高。因此，推断发酵蓝莓汁中花青素含量有一定程度的增加，可能是由于植物乳杆菌发酵引起的。

表 2 6 种花青素在预发酵阶段的变化结果

Table 2 Change results of six anthocyanins in pre-fermentation stage

	飞燕草色素 含量/(mg/kg)	矢车菊色素 含量/(mg/kg)	矮牵牛色素 含量/(mg/kg)	天竺葵色素 含量/(mg/kg)	芍药素含量/ (mg/kg)	锦葵色素含量/ (mg/kg)
21 h	21.83	889.70	65.71	1.599	33.82	94.73
22 h	66.56	1 426.74	123.21	1.88	61.91	174.09
23 h	208.96	2 288.36	241.37	2.31	107.47	325.84
24 h	632.76	5 675.96	563.71	2.55	201.12	601.23

2.2 酵母发酵阶段蓝莓酒各指标变化

2.2.1 pH 值和总酸含量的变化 在酵母发酵阶段，酵母会对相应的有机酸进行降解^[20]，使酒体中有机酸含量降低，发酵过程中 pH 值和总酸含量会对酒体的口感、风味以及产品货架期均有较为重要的影响。植物乳杆菌和酵母发酵组与酵母发酵组对蓝莓汁发酵过程中 pH 值和酸度的影响具有差异性。由图 7 和图 8 可知，经过 25 d 的酵母发酵，两组 pH 值整体均呈现下降趋势，总酸整体呈现上升趋势。经 25 d 发酵结束后，植物乳杆菌+酵母发酵组的 pH 值和总酸含量达至 2.89, 24.28 g/L，酵母发酵组的 pH 值和总酸含量达至 2.77, 22.15 g/L。从整个产酸量来看，植物乳杆菌和酵母发酵组产酸量更高一些。

2.2.2 总酚含量的变化 由图 9 可知，在 25 d 的酵母发酵期内，酵母发酵组总酚含量整体呈现下降趋势，而植物乳杆菌和酵母发酵组的总酚含量先下降后上升。植物乳杆菌+酵母发酵组在 25 d 酵母发酵阶段，总酚含量从第 0 天的 9 035.21 mg/L 降至第 25 天的 8 010.21 mg/L，而酵母发酵

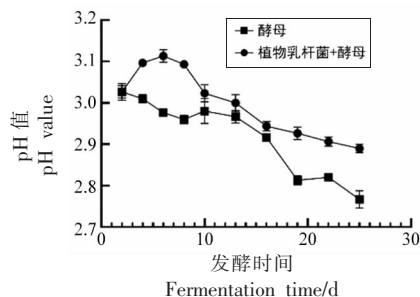


图 8 酵母发酵过程中蓝莓酒 pH 值的变化

Fig.8 Changes in pH value of blueberry wine during yeast fermentation

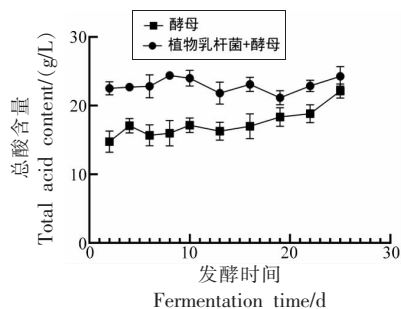


图 9 酵母发酵过程中蓝莓酒总酸含量的变化

Fig.9 Changes of total acid content in blueberry wine during yeast fermentation

组的总酚含量从第0天降至第25天的4285.21 mg/L。因此,乳酸菌的加入对酚类物质有一定的保护作用。

2.2.3 花青素含量的变化 由图10所示,在整个酵母发酵阶段,植物乳杆菌+酵母发酵组花青素含量基本呈现一个稳定状态,酵母发酵第2天结束后,花青素含量为7662.17 mg/kg,直至发酵结束,花青素含量变为7200.65 mg/kg。对于酵母发酵组来说,花青素含量从发酵开始,由于花色苷的积累及酒精的浸渍作用,至发酵第10天左右花青素含量达到最大值,为7552.58 mg/kg,发酵第10天后,随着发酵的进行,花青素含量逐渐降低,发酵结束时花青素含量为4742.51 mg/kg。

2.2.4 活菌数的变化 酵母发酵阶段酒体中的活菌数如图11所示。由图可知,植物乳杆菌J26活菌数呈现先上升后下降的趋势。在酵母发酵第15天,活菌数达到 4.9×10^7 CFU/mL,然后随着发酵的进行,活菌数逐渐下降,发酵结束后,蓝莓酒中的活菌数可达到 9.3×10^6 CFU/mL。因此添加益生菌发酵后可赋予蓝莓酒具有更多的益生功效。

2.3 3种蓝莓发酵酒对比分析

2.3.1 pH值和总酸含量的对比 从图12和图13中可以看出,植物乳杆菌+酵母发酵组pH值显著高于其余两组,酵母发酵组pH值与市售蓝莓酒相比虽然同样有显著性差异,但3组蓝莓酒pH值均在2.5~3.0范围内。总酸是指酒中所有酸性成分的总量,包括未解离酸的浓度和已解离酸的浓度^[21]。植物乳杆菌+酵母发酵组总酸含量虽然与酵母发酵组相比差异不显著,但与市售蓝莓酒相比,总酸含量显著高于市售蓝莓酒,但植物乳杆菌+酵母发酵组口感呈酸甜适中的状态,推测可能是因为益生菌代谢产物中和了蓝莓酒中的酸性成分造成的。

2.3.2 总酚含量的对比 从图14中看出,发酵结束后,植物乳杆菌+酵母发酵组总酚显著高于酵母发酵组和市售蓝莓酒,因此植物乳杆菌+酵母发酵组与酵母发酵组以及市售蓝莓酒相比具有更高的抗氧化能力。

2.3.3 花青素含量的对比 总花青素含量对比结果如图15所示,由图可知,与其它两组相比,市售蓝莓酒中花青素含量极少。植物乳杆菌+酵

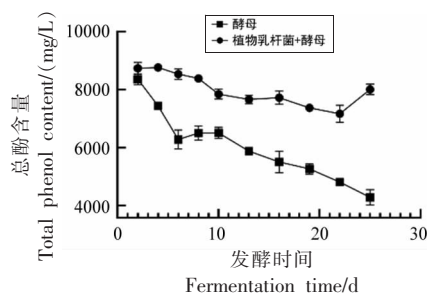


图10 酵母发酵过程中蓝莓酒总酚含量的变化

Fig.10 Changes of total phenolic content in blueberry wine during yeast fermentation

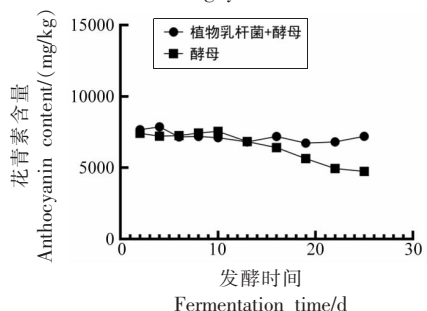


图11 酵母发酵过程中蓝莓酒总花青素含量的变化

Fig.11 Changes of total anthocyanins content in blueberry wine during yeast fermentation

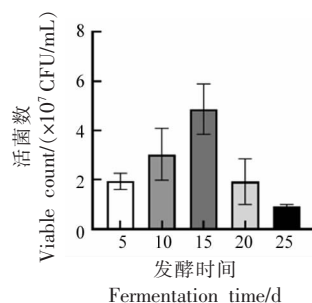
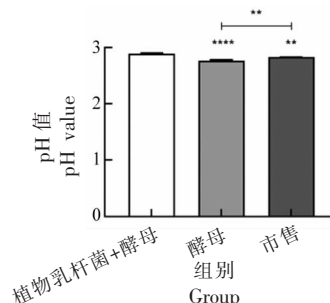


图12 酵母发酵过程中乳酸菌活菌数的变化

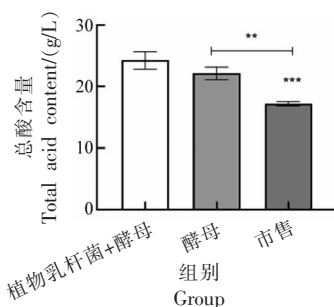
Fig.12 Changes of *Lactobacillus viable* count during yeast fermentation



注:**: $P < 0.01$;****: $P < 0.0001$ 。

图13 3组发酵蓝莓酒pH值的对比

Fig.13 Comparison of pH value of three groups of fermented blueberry wines



注: ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$ 。

图 14 3 组发酵蓝莓酒总酸含量的对比

Fig.14 Comparison of total acid content in three groups of fermented blueberry wines

母发酵组发酵结束后的花青素含量达到了 6 862.92 mg/kg, 显著高于酵母发酵组和市售蓝莓酒, 因此添加植物乳杆菌发酵的蓝莓酒具有更好的色泽和口感, 同时具有更高的抗氧化活性。

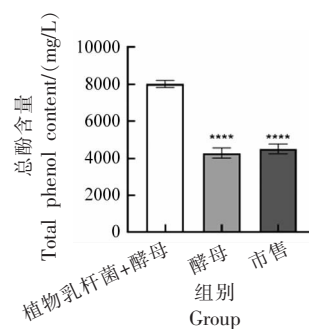
2.3.4 糖度和酒精度的对比 植物乳杆菌+酵母发酵组与酵母发酵组发酵结束后其蓝莓酒的糖度和酒精度结果如表 3 所示。两组糖度和酒精度均符合国家标准《蓝莓酒》(GB/T 32783-2016)^[2]。

3 结论

本研究以蓝莓汁为原料, 利用植物乳杆菌 J26 (原植物乳杆菌 NDC75017、TD109、LJ26) 以及酿酒酵母制备蓝莓发酵酒, 并探究添加乳酸菌发酵对蓝莓酒品质的影响。发酵后, 蓝莓酒各指标均在国家标准《蓝莓酒》(GB/T 32783-2016) 规定的范围, 酒体颜色纯正, 具有纯净的果香和酒香, 酸甜适中, 更加适宜爽口。经过乳酸菌、酵母菌发酵后的蓝莓酒总酚、花青素显著高于酵母发酵组, 分别为 8 010.21 mg/L 和 4 742.51 mg/kg, 发酵结束后活菌数可达到 9.3×10^6 CFU/mL, 赋予了蓝莓酒的更多有利于身体健康的可能性。综上所述, 与酵母菌单独发酵相比, 经植物乳杆菌与酵母菌的共发酵可显著提高功能性物质的含量, 其结果可为生产不同蓝莓酿造产品提供理论依据。

参 考 文 献

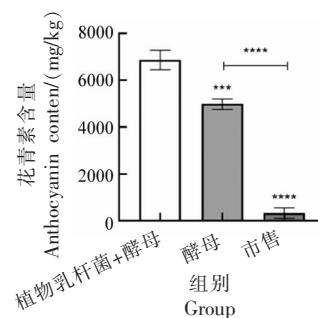
[1] 屈媛, 满都拉, 孙子羽, 等. 高酒精度蓝莓酒的发酵工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(10): 32-36.



注: **** $P < 0.0001$ 。

图 15 3 组发酵蓝莓酒总酚含量的对比

Fig.15 Comparison of total phenolic content in three groups of fermented blueberry wines



注: *** $P < 0.001$; **** $P < 0.0001$ 。

图 16 3 组发酵蓝莓酒总花青素含量对比

Fig.16 Comparison of total anthocyanin content in three groups of fermented blueberry wines

表 3 发酵结束后各组糖度和酒精度的结果

Table 3 Results of sugar content and alcohol content of each group after fermentation

	植物乳杆菌+ 酵母	酵母	市售蓝莓酒
糖度/[g/(100 g)]	0.5	0.0	22.0
酒精度/vol	5.3	5.6	12.0

QU A, MAN D L, SUN Z Y, et al. The fermentation process of high alcohol content blueberry wine[J] Food Industry, 2020, 41(10): 32-36.

[2] 徐青柳, 张杰, 赵洋溢, 等. 蓝莓酒酿造关键技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(20): 287-293.

XU Q L, ZHANG J, ZHAO Y Y, et al. Research progress in key technologies for blueberry wine brewing[J]. Food and Fermentation Industry, 2020,

- 46(20): 287–293.
- [3] 张晨颜, 张丽霞, 魏照辉, 等. 乳酸菌发酵蓝莓汁工艺优化及功能特性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(5): 77–85.
ZHANG C Y, ZHANG L X, WEI Z H, et al. Optimization of fermentation process and functional characteristics of blueberry juice by lactic acid bacteria[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(5): 77–85.
- [4] LI X S, ZHANG L, PENG Z Y, et al. The impact of ultrasonic treatment on blueberry wine anthocyanin color and its *in-vitro* anti-oxidant capacity[J]. Food Chemistry, 2020, 333: 127455.
- [5] SUN X Y, YAN Z C, ZHU T, et al. Effects on the color, taste, and anthocyanins stability of blueberry wine by different contents of mannoprotein[J]. Food Chemistry, 2019, 279: 63–69.
- [6] WANG S Y, LI S Y, ZHAO H F, et al. Acetaldehyde released by *Lactobacillus plantarum* enhances accumulation of pyranoanthocyanins in wine during malolactic fermentation[J]. Food Research International, 2018, 108: 254–263.
- [7] BOCCHI S, ROCCHETTI G, ELLI M, et al. The combined effect of fermentation of lactic acid bacteria and *in vitro* digestion on metabolomic and oligosaccharide profile of oat beverage[J]. Food Research International, 2021, 142: 110216.
- [8] 武万强, 王琳琳, 赵建新, 等. 植物乳杆菌生理特性及益生功能研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1): 1–13.
WU W Q, WANG L L, ZHAO J X, et al. Research progress in physiological characteristics and prebiotic functions of *Lactobacillus plantarum*[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(1): 1–13.
- [9] 全国食品工业标准化技术委员会. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定: GB 12456–2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
National Technical Committee for Food Industry Standardization. National food safety standard – Determination of total acids in foods: GB 12456–2021[S]. Beijing: China Standards Press, 2021.
- [10] 安徽省食品行业协会. 植物提取物及其制品中总多酚含量的测定 分光光度法: T/AHFIA 005–2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
Anhui Food Industry Association Determination. Total polyphenol content in plant extracts and their products spectrophotometric method: T/AHFIA 005–2018[S]. Beijing: China Standards Press, 2019.
- [11] 农业部种植业管理司. 植物源性食品中花青素的测定 高效液相色谱法: NY/T 2640–2014[S]. 北京: 中国农业标准出版社, 2015.
Department of Planting Management, Ministry of Agriculture. Determination of anthocyanins in plant derived foods, high performance liquid chromatography: NY/T 2640–2014[S]. Beijing: China Agricultural Standards Press, 2015.
- [12] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验: GB 4789.35–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
Ministry of Health, People’s Republic of China. National standard for food safety: Microbiological examination of food: Testing of lactic acid bacteria: GB 4789.35–2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [13] 冯雪娜, 李啸, 李建华, 等. 乳酸菌发酵红茶饮料主要营养成分变化[J]. 中国酿造, 2022, 41(2): 183–186.
FENG X N, LI X, LI J H, et al. Changes in main nutritional components of black tea beverage fermented by lactic acid bacteria[J]. China Brewing, 2022, 41(2): 183–186.
- [14] DE LA FUENTE B, LUZ C, PUCHOL C, et al. Evaluation of fermentation assisted by *Lactobacillus brevis* POM, and *Lactobacillus plantarum* (TR–7, TR–71, TR–14) on antioxidant compounds and organic acids of an orange juice–milk based beverage[J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128414.
- [15] GAN R Y, SHAH N P, WANG M F, et al. *Lactobacillus plantarum* WCFS1 fermentation differentially affects antioxidant capacity and polyphenol content in mung bean (*Vigna radiata*) and soya bean (*Glycine max*) milks[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(1): e12944.
- [16] WEBER F, LARSEN L R. Influence of fruit juice processing on anthocyanin stability[J]. Food Research International, 2017, 100: 354–365.
- [17] 李虹甫, 杨鑫焱, 刘昕宇, 等. 植物乳杆菌发酵蓝莓果汁工艺优化及其抗氧化能力[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 127–133.
LI H F, YANG X Y, LIU X Y, et al. Optimization of the fermentation process of blueberry juice by *Lactobacillus plantarum* and its antioxidant ca-

- capacity [J] Food Industry Technology, 2019, 40(17): 127-133.
- [18] LIANG Y, FAROOQ M U, HU Y, et al. Study on stability and antioxidant activity of red anthocyanidin glucoside rich hybrid rice, its nutritional and physicochemical characteristics[J]. Food Science and Technology Research, 2018, 24(4): 687-696.
- [19] KWAU E, MA Y, TCHABO W, et al. Effect of *Lactobacillus* strains on phenolic profile, color attributes and antioxidant activities of lactic-acid-fermented mulberry juice[J]. Food Chemistry, 2018, 250: 148-154.
- [20] MENDES FERREIRA A, MENDES-FAIA A. The role of yeasts and lactic acid bacteria on the metabolism of organic acids during winemaking[J]. Foods, 2020, 9(9): 1231.
- [21] 孙祥祥, 刘长虹, 姚洁琼, 等. 不同甜酒曲对米酒及米酒馒头品质的影响[J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 131-135.
- SUN X X, LIU C H, YAO J Q, et al Effects of different sweet wine koji on the quality of rice wine and rice wine Mantou[J]. China Brewing, 2019, 38(4): 131-135.
- [22] 中国轻工业联合会. 蓝莓酒: GB/T 32783-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- China Light Industry Federation. Blueberry wine: GB/T 32783-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.

Effects of *Lactobacillus plantarum* J26 on the Quality of Blueberry Wine

Liang Yaqi, Cheng Shasha, Ding Yixin, Su Yue, Lu Xingru, Zhang Yu, Man Chaoxin, Jiang Yujun*
(Key Laboratory of Dairy Science, Ministry of Education, College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030)

Abstract Blueberry juice was inoculated with *Lactobacillus plantarum* J26 (original *Lactobacillus plantarum* NDC75017, TD109, LJ26) and then fermented with *Saccharomyces cerevisiae*. The pH value, total acid, sugar content, alcohol content, total phenol and anthocyanin contents of *Lactobacillus plantarum* + yeast fermentation group, yeast fermentation group and commercial blueberry wine were analyzed by pH meter, direct determination method, spectrophotometry and high-performance liquid chromatography to determine the effect of pre-fermentation with probiotics on the quality of blueberry wine. The results showed that the pH value, total acid, sugar content and alcohol content of blueberry wine after pre-fermentation with probiotics were all within the national standard range. During the fermentation time of 25 days, the total phenol content decreased to 8 010.21 mg/L, which was significantly higher than that of yeast fermentation group. The anthocyanin content in *Lactobacillus plantarum* + yeast group remained stable during fermentation, and the anthocyanin content at the end of fermentation was significantly higher than that in yeast fermentation group (7 200.65 mg/kg). After post-fermentation, the number of J26 viable bacteria in blueberry wine in *Lactobacillus plantarum* + yeast fermentation group could reach 9.3×10^6 CFU/mL. In this study, the blueberry wine obtained by pre-fermentation with probiotics was rich in total phenols and anthocyanins, and had a certain amount of probiotics, which could give blueberry wine certain probiotic functions and help improve the quality of blueberry wine.

Keywords *Lactobacillus plantarum* J26; fermentation; blueberry wine; functional component; quality