

## 乳酸菌发酵接骨木果汁品质及挥发性风味物质的变化

章佳玫, 吴祖芳, 翁佩芳\*  
(宁波大学食品与药学学院 浙江宁波 315800)

**摘要** 以植物乳杆菌 L1 和发酵乳杆菌 L2 为发酵菌株,对接骨木果汁进行发酵,测定果汁发酵过程中 pH 值、总酸、色差值、花色苷含量、总酚和总黄酮含量、超氧阴离子清除率、总还原力的变化,并测定发酵前、后挥发性风味物质的变化。结果表明,发酵期间,接骨木果汁 pH 值显著降低,总酸大量增加, $L^*$  值和  $a^*$  值先上升后下降, $b^*$  值较为稳定,花色苷含量下降,总酚和总黄酮含量均提高,超氧阴离子清除率和总还原力较发酵前分别提高了 82.07% 和 55.27%。从未接种以及接种发酵前、后的各样品中共检测出挥发性风味物质 99 种,通过主成分分析法得出 3 个样品特征风味差异显著。结论:接骨木果汁经乳酸菌发酵可提高营养价值、抗氧化能力和风味品质。

**关键词** 乳酸菌; 接骨木果; 品质; 挥发性风味

文章编号 1009-7848(2022)05-0291-09 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.05.031

接骨木 (*Sambucus nigra* L.) 属忍冬科植物,广泛分布于欧洲、西亚、北非和美国,接骨木果含有丰富营养物质和生物活性物质,包括蛋白质、不饱和脂肪酸、维生素、矿物质、多酚类、黄酮类和花青素等,常用于膳食补充剂<sup>[1-2]</sup>。Denev 等<sup>[3]</sup>利用固相萃取法提取了多种浆果的花青素,试验结果显示接骨木果的花青素提取物具有较高的氧自由基吸收能力,可达到 5 783  $\mu\text{mol Trolox/g}$ 。Goud 等<sup>[4]</sup>研究表明接骨木果甲醇提取物对 DPPH 自由基的清除能力可达 62.56%,对大肠杆菌和恶臭假单胞菌具有较强的抑制能力。接骨木果可以开发成多种产品,目前市场上有果汁、果酱、果酒、啤酒等商品。接骨木果汁因丰富的花色苷含量而作为良好的食品天然着色剂<sup>[5]</sup>。Cordeiro 等<sup>[6]</sup>用 5 种不同醋作为木炭烤猪里脊的调味料,研究其对猪里脊烤制过程中多环芳烃(PAH)产生的抑制作用,发现接骨木果醋对 PAH 的抑制率最高,达到了 82%。

植物天然化合物通过乳酸菌代谢进行生物转化,其性能会发生较大的改变<sup>[7]</sup>,郑莎莎等<sup>[8]</sup>利用干酪乳杆菌和鼠李糖乳杆菌发酵红酸汤,改善了红酸汤的风味品质,并提高了营养价值。叶盼等<sup>[9]</sup>选取植物乳杆菌发酵苹果汁,结果发现苹果汁发酵

后其抗氧化能力得到提高,总酚含量有所增加,苹果汁经发酵后的总酚含量与 DPPH 清除能力呈显著正相关性。

目前国内外利用乳酸菌发酵接骨木果汁的研究报道较少。Ricci 等<sup>[10]</sup>研究了接骨木果汁多酚体外代谢,发现植物乳杆菌在发酵接骨木果汁过程中消耗咖啡酸和原儿茶酸,同时产生二氢咖啡酸和儿茶酚,新生成的二氢咖啡酸比咖啡酸具更强的抗氧化能力<sup>[11]</sup>。Ricci 等<sup>[12]</sup>利用植物乳杆菌、鼠李糖乳杆菌和干酪乳杆菌发酵接骨木果汁并测定其挥发性风味物质,结果表明植物乳杆菌具有较强的产芳香物质的能力。

本文选用前期筛选获得的植物乳杆菌 L1 和发酵乳杆菌 L2 对接骨木果汁进行发酵,测定发酵过程中的理化指标及挥发性风味物质,以期对接骨木果乳酸菌发酵产品开发提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

植物乳杆菌 L1 (*Lactobacillus plantarum* L1)、发酵乳杆菌 L2 (*Lactobacillus fermentum* L2),由宁波大学食品生物技术实验室保藏;接骨木果粉,由宁波市北仑玉健医药科技有限公司提供。

#### 1.2 主要仪器与设备

PHS-3C 型 pH 计,上海圣科仪器设备有限公司;TE214S 分析天平,成都浩驰仪器有限公司;LDZX-40B I 型立式蒸汽灭菌器,上海申安医疗

收稿日期: 2021-05-18

基金项目: 浙江省重点研发计划项目(2018C02047)

作者简介: 章佳玫(1996—),女,硕士生

通信作者: 翁佩芳 E-mail: wzfwpf@163.com

器械厂;SW-CJ-2D型超净工作台,苏州净化设备有限公司;XPX智能生化培养箱,江南仪器厂;5804R高速大容量冷冻离心机,德国Eppendorf公司;CR-400色差仪,日本Konica Minolta公司;7890B-7000C气相色谱-质谱联用仪,美国安捷伦科技有限公司;全自动固相微萃取进样系统,德国Gerstel公司;50·30  $\mu\text{m}$  DVB/CAR/PDMS固相微萃取头,美国Supelco公司;VOCOL毛细管柱(60 m  $\times$  0.32 mm  $\times$  1.8 mm),德国CNW公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 种子液制备 将植物乳杆菌 L1 和发酵乳杆菌 L2 分别从试管斜面接种至 50 mL MRS 肉汤中,37  $^{\circ}\text{C}$  恒温静置培养 24 h,备用。

1.3.2 乳酸菌发酵接骨木果汁的制备 在接骨木果粉中以料液比 1:50 加入蒸馏水,加入 8 g/100 mL 的蔗糖,调节 pH 值至 5.5,经巴氏杀菌后,得到发酵基质,冷却后接入植物乳杆菌 L1 和发酵乳杆菌 L2(1:1,接种量 3%),于 37  $^{\circ}\text{C}$  条件下发酵 36 h。

1.3.3 理化指标测定 采用数字式 pH 计测定样品 pH 值;采用 pH 电位法(以乳酸计)测定总酸含量<sup>[13]</sup>;采用 CR-400 色差仪测定样品的色差值;采用 pH 示差法测定样品花色苷含量<sup>[14]</sup>;采用福林酚法测定样品总酚含量<sup>[15]</sup>;采用亚硝酸钠-硝酸铝法测定样品总黄酮含量<sup>[16]</sup>;通过测定超氧阴离子清除率<sup>[17]</sup>、总还原力表征样品抗氧化能力<sup>[18]</sup>。

### 1.4 挥发性风味物质测定

1.4.1 GC-MS 分析-顶空进样 固相微萃取条件:样品在 60  $^{\circ}\text{C}$  下震荡平衡 15 min,再将预先老化 20 min 的 SPME 萃取头深入到样品顶空处吸附 20 min,此过程中温度仍为 60  $^{\circ}\text{C}$  并持续震荡。吸附完成后,将萃取头插入到 GC 进样口,在 210  $^{\circ}\text{C}$  温度下解吸 7 min。GC 色谱条件:进样采用不分流模式,柱温箱起始温度 35  $^{\circ}\text{C}$  保持 3 min,以 3  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,升温至 40  $^{\circ}\text{C}$  保持 1 min,再以 5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温至 200  $^{\circ}\text{C}$  保持 12 min。载气为高纯氮气,流速为 1.6 mL/min;进样口温度 210  $^{\circ}\text{C}$ 。MS 条件为 EI 离子源;电子能量 70 eV;灯丝发射电流为 200  $\mu\text{A}$ ,离子源温度为 230  $^{\circ}\text{C}$ ;扫描质量范围 50~500  $m/z$ 。

1.4.2 定量定性分析 化合物经 NIST 14 谱图库检索,选择相似度大于 80%的结果与质谱图库中

的标准谱图进行对照、复合,进行人工谱图解析确认其中的挥发性成分,相对百分含量按峰面积归一化法进行计算<sup>[19]</sup>。

### 1.5 数据分析

试验平行数为 3 次,取平均值。所有数据采用 Origin 9.1 软件作图,用 SPSS 25 软件进行相关性分析和主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 接骨木果汁发酵过程中理化指标分析

2.1.1 发酵过程中 pH 值和总酸含量变化 pH 值的变化可反映发酵是否正常进行,总酸含量是发酵产品品质的重要指标。接骨木果汁发酵过程中 pH 值和总酸含量变化如图 1 所示。

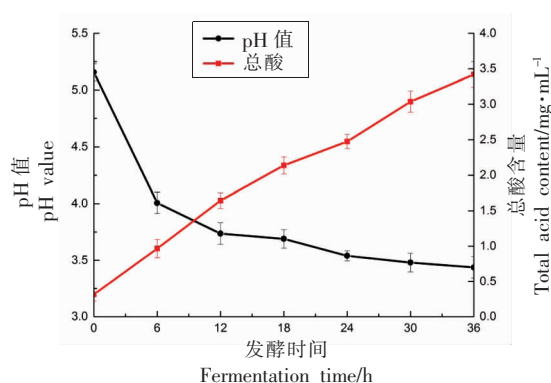


图 1 发酵过程中 pH 值和总酸含量的变化

Fig.1 Changes of pH value and total acid content during fermentation

由图 1 可见,接骨木果汁发酵期间 pH 值随着发酵时间的增加而不断减小,发酵前期下降迅速,之后趋于平稳;总酸含量则不断上升。在发酵前期(0~6 h),pH 值迅速降低至 4.01,总酸由 0.32 mg/mL 升至 0.97 mg/mL,由此可以推断,发酵前 6 h 是乳酸菌的生长对数期,生长迅速,产酸能力强。发酵第 7~36 小时,pH 值下降缓慢,总酸持续上升,此时乳酸菌正经历对数期到稳定期再到衰亡期的过度,产酸速度趋于平稳并开始下降。

2.1.2 发酵过程中色差值的变化 色值中, $L^*$  值表示样品的亮度, $a^*$  值表示样品的红绿色, $b^*$  值反映样品的黄蓝色。由图 2 可见,发酵 0~12 h,样品的  $L^*$  值有所提高,之后呈下降趋势,与  $a^*$  值大致趋势相同,这可能是因为花色苷在不同酸碱环境

中会呈现不同的颜色,调节了初始 pH 值后,果汁颜色偏深紫,后因为发酵期间乳酸菌产酸,果汁 pH 值下降,开始呈现原来的颜色。发酵前期  $L^*$  值和  $a^*$  值的变化与花色苷含量之间呈负相关,这一结果与 Kwaw 等<sup>[20]</sup>的研究结果类似。 $b^*$  值较为稳

定,且数值保持在-0.3 附近,说明样品偏蓝。 $\Delta E^*$  值代表样品的色差综合偏差值,接骨木果汁发酵过程中  $\Delta E^*$  值变化不大,说明样品色泽变化并不明显。

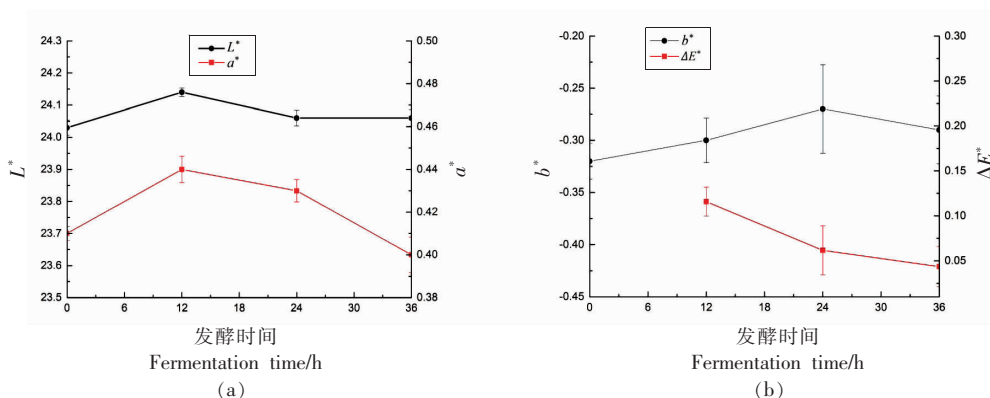


图 2 发酵过程中色差值的变化

Fig.2 Variation of chromatic aberration during fermentation

2.1.3 发酵过程中花色苷含量的变化 接骨木果汁发酵过程中花色苷含量的变化结果如图 3 所示,发酵前 6 h,花色苷含量迅速从 153.41 mg/L 降至 130.62 mg/mL,发酵前期花色苷含量下降迅速,这是因为花色苷分子被  $\beta$ -葡萄糖苷酶水解为糖基和花色素<sup>[21]</sup>。由于花色苷在酸性条件下较稳定,随着发酵后期 pH 值降低,花色苷含量下降的速度也有所降低。

2.1.4 接骨木果汁发酵过程中总酚总黄酮含量变化 由图 4 可见,总酚含量在发酵过程的前 12 h 迅速从 4.93 mg/mL 升至 7.52 mg/mL,之后缓慢上升,至 24 h 开始下降,发酵结束时含量为 7.82 mg/mL;总黄酮含量在发酵过程的前 6 h,由 0.46 mg/mL 升至 0.74 mg/mL,随后呈缓慢上升趋势,发酵结束时最终含量为 1.03 mg/mL。经过乳酸菌发酵,接骨木果汁的总酚和总黄酮含量较发酵前分别提高了 58.62% 和 123.91%,这与张宏志等<sup>[22]</sup>的研究结果相似。

2.1.5 接骨木果汁发酵过程中抗氧化能力变化 由图 5 可见,发酵过程中,接骨木果汁的超氧阴离子清除率和总还原力都呈现上升趋势。发酵结束后,超氧阴离子清除率达到 47.74%,较发酵前提

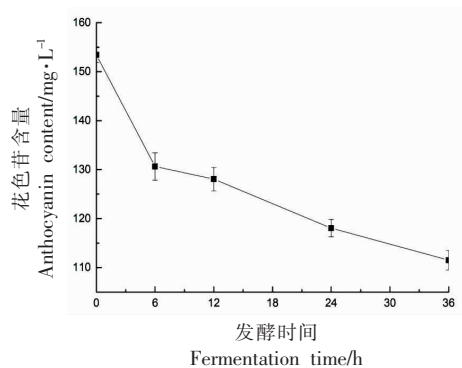


图 3 发酵过程中花色苷含量的变化

Fig.3 Changes of anthocyanin content during fermentation

高了 82.07%,总还原能力为 0.9 mg VC/mL,较发酵前提高了 55.17%,表明接骨木果汁经过发酵,具有良好的抗氧化能力。赖婷等<sup>[23]</sup>将乳酸菌接种于桂圆肉中,发现游离态的酚类和黄酮类物质含量增加,铁离子还原能力和氧自由基吸收能力两种抗氧化性能有所提高。

2.1.6 发酵接骨木果汁中活性物质抗氧化能力相关性分析 发酵接骨木果汁总酚、总黄酮与超氧阴离子清除率、总还原力的相关性分析见表 1。

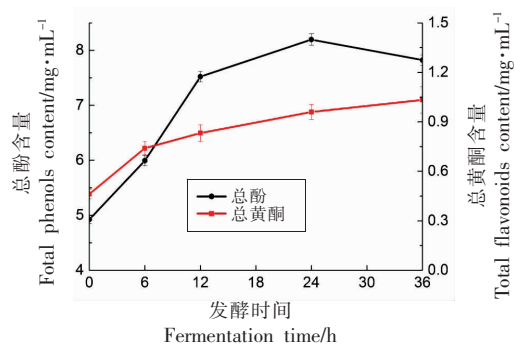


图4 发酵过程中总酚和总黄酮含量的变化

Fig.4 Changes of total phenols and flavonoids during fermentation

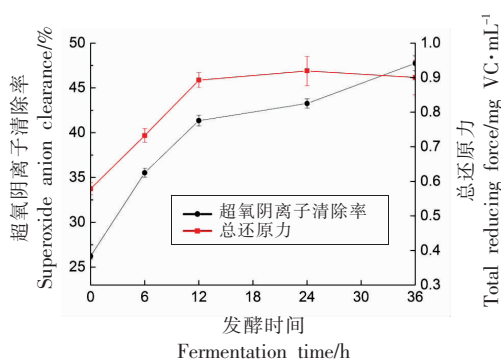


图5 发酵过程中抗氧化能力的变化

Fig.5 Changes of antioxidant capacity during fermentation

表1 发酵接骨木果汁中活性物质与抗氧化能力的相关性

Table 1 Correlation between active substances and antioxidant capacity of fermented elderberry juice

指标	总酚	总黄酮	超氧阴离子清除率	总还原力
总酚	1			
总黄酮	0.945*	1		
超氧阴离子清除率	0.947*	0.991**	1	
总还原力	0.989**	0.948*	0.958*	1

注: \*为显著相关( $P < 0.05$ ), \*\*为极显著相关( $P < 0.01$ )。

结果表明,总酚、总黄酮与超氧阴离子清除率、总还原力具有显著相关性,这说明总酚、总黄酮均有助于接骨木果汁的抗氧化能力。

## 2.2 接骨木果汁挥发性风味物质含量分析

不同的接骨木果汁样品(发酵0h、发酵36h、未接菌对照组)各挥发性风味物质相对含量结果如图6所示,3种接骨木果汁样品共鉴定出99种挥发性风味物质,其中醛类14种、烯炔类13种、醇类17种、酮类10种、烷烃类5种、酯类16种、其它类24种,挥发性风味物质分别为47、39种和39种。从不同样品组之间的聚类分析结果可以看出,发酵前、后和未接菌对照组的接骨木果汁差异性较大,挥发性风味物质相似性较低。如图7所示,与发酵前相比,接骨木果汁经乳酸菌接种发酵后,烯炔类、醇类、酮类、烷烃类、酯类物质的相对含量增加,醇类、酮类、烷烃类风味物质个数增加,且产生了很多新的物质。

结合图6和图7,接骨木果实经乳酸菌发酵后,相比较发酵前样品,醛类物质相对含量减少约87.37%,减少幅度较大;烯炔类物质相对含量增加

102.03%,新生成相对含量较高的为9.97%的环己基亚乙烯和6.78%的3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯;醇类物质在相对含量和种类上都有所增加,新生成相对含量较高的为4.42%的3-trans-(1,1-二甲基乙基)-4-反式甲氧基环己醇、3.42%的1-(2-己烯基)环己醇和4.94%的丙基环己醇;酮类物质相对含量增加49.22%,其中含量较高的为5.35%的大马士酮;烷烃类物质相对含量增加186.38%;酯类物质相对含量增加36.12%,其中增加幅度较大的物质为10.32%的3Z-安萸庚酯;其它类物质虽在相对含量上无明显差异,但在种类上区别较大。

未接菌对照组的样品中,醛类物质的相对含量和种类和发酵前组较为相似;烯炔类物质相对含量降低了40.42%;醇类物质相对含量增加了139.02%,其中含量较高的为7.33%的顺-2-甲基环己醇和7.21%的2-亚甲基环庚烷醇;未接菌对照组的酯类相对含量较发酵前组的降低了11.21%;其它类物质的相对含量约为发酵前和发酵后样品的1/2。

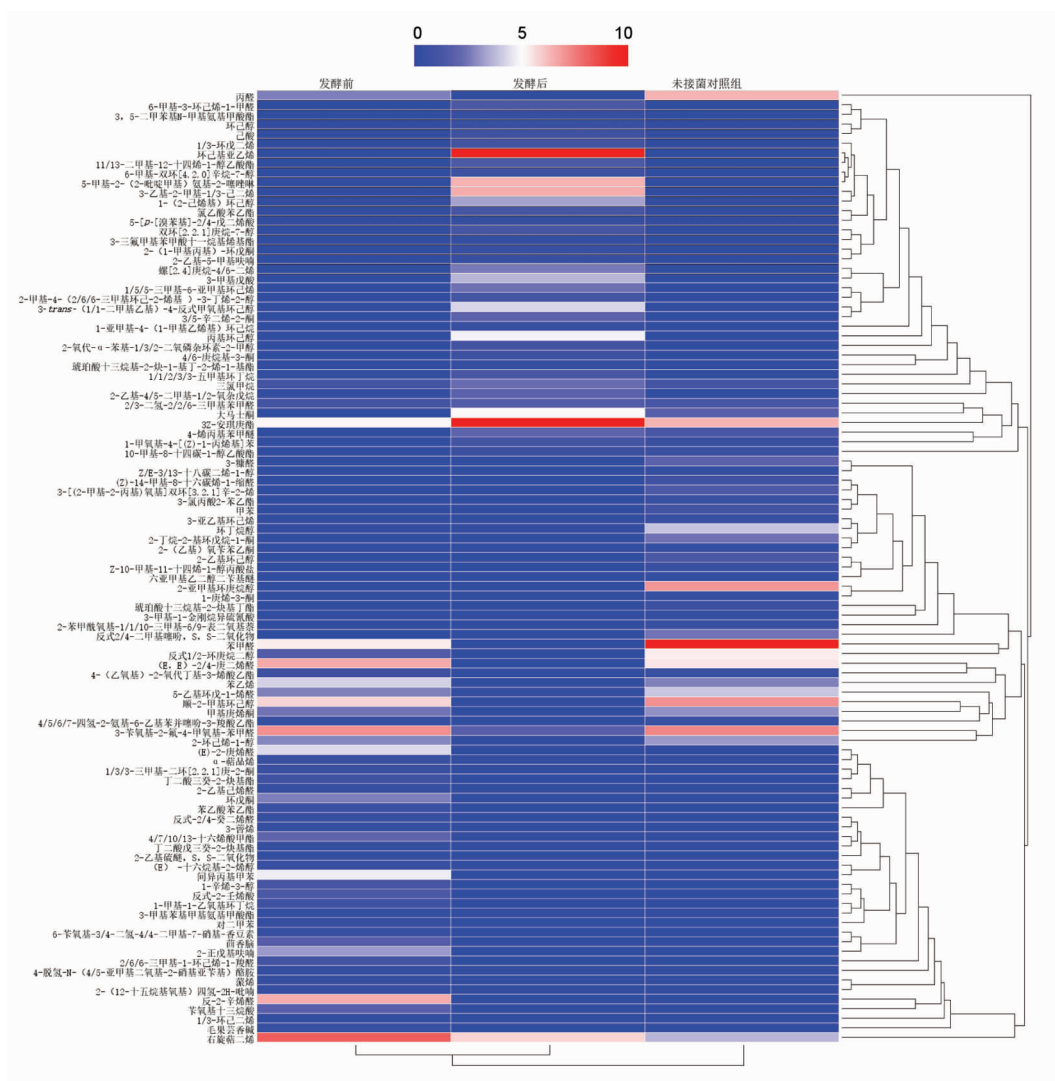


图 6 接骨木果汁样品挥发性风味成分的测定结果

Fig.6 Identification of the volatile flavor components of elderberry juice samples

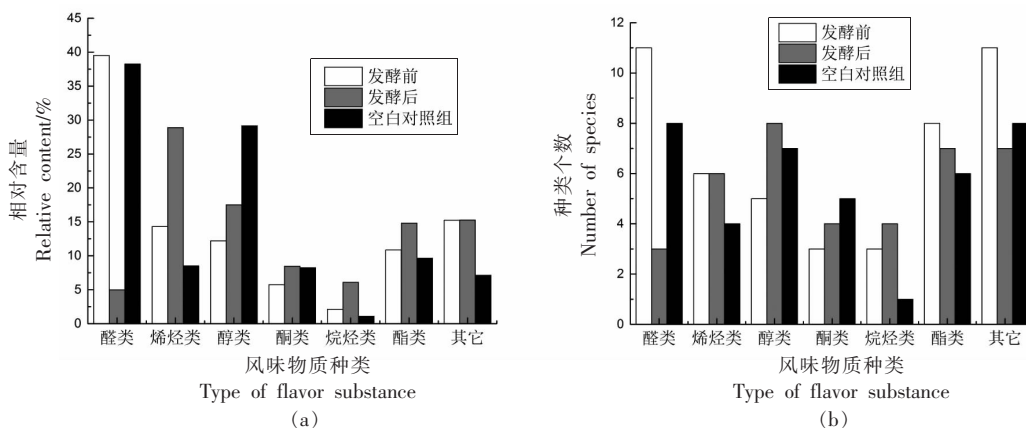


图 7 乳酸菌发酵接骨木果汁挥发性风味物质的相对含量和种类个数

Fig.7 Relative content and number of species of volatile flavor compounds in elderberry juice fermented by lactic acid bacteria

### 2.3 接骨木果汁挥发性风味物质主成分分析

利用 SPSS 25 软件对 3 种接骨木果汁样品中的 99 种挥发性风味化合物进行主成分分析,所得

的主成分的特征值和贡献率如表 2 所示,所得的 3 种接骨木果汁样品的主成分散点图和挥发性风味物质主成分散点图分别如图 8 和图 9 所示。

表 2 2 个主成分的特征值和贡献率

Table 2 Eigenvalues and contribution rate of 2 principal components

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
1	59.651	60.253	60.253
2	39.349	39.747	100

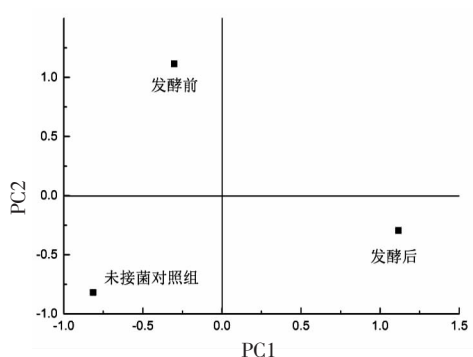


图 8 接骨木果汁样品的 PCA 分析图

Fig.8 PCA analysis chart of elderberry juice samples

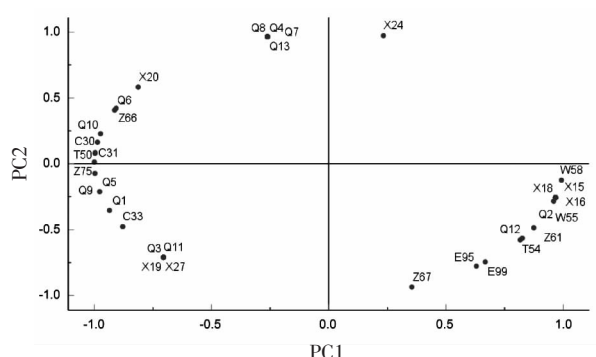


图 9 99 种挥发性风味物质 PCA 分析图

Fig.9 PCA analysis chart of 99 kinds of flavor components

由表 2 可知,特征值大于 1 的共 2 个主成分,总方差 100% 的贡献率来自于第 1 主成分和 2 主成分,其方差贡献率分别为 60.253%、39.747%,说明这 2 个主成分几乎反映了原始变量的所有信息。

以 3 种接骨木果汁的第 1 主成分值为横坐标、第 2 主成分值为纵坐标作散点图得图 8,3 种接骨木果汁中,发酵前组位于第 2 象限,发酵后组位于第 4 象限,未接菌对照组位于第 3 象限。3 种样品在象限区域内分布区间差异显著,表明样品在风味物质组成上差异较大。

以 99 种风味物质的第 1 主成分载荷值为横坐标,第 2 主成分的载荷值为纵坐标,绘制主成分散点图,由图 9 可见,第 1 主成分中正影响挥发性物质载荷系数达到 0.9 以上的有 31 种,主要为烷烃类、烯烃类、醇类、酮类、酯类和其它类,这些成分与第 1 主成分有高的相关性,第 1 主成分中的主要代表有 2-乙基-4,5-二甲基-1,2-氧杂戊烷(0.992)、螺[2.4]庚烷-4,6-二烯(0.967)、4,6-庚烷基-3-酮(0.967)、双环[2.2.1]庚烷-7-醇(0.967)、3,5-二甲苯基 *N*-甲基氨基甲酸酯(0.967);负影

响挥发物质载荷系数达到 0.9 以上有 10 种,大多为醛类,主要代表有 4,5,6,7-四氢-2-氨基-6-乙基苯并噻吩-3-羧酸乙酯(-1)、甲基庚烯酮(-0.997)、5-乙基环戊-1-烯醛(-0.997)。第 2 主成分中载荷较高的正影响挥发性物质主要为烯类和醛类,正影响挥发性物质载荷系数达到 0.9 以上有 31 种,其代表成分为右旋萘二烯(0.973)、(*E*)-2-庚烯醛(0.965)、2-乙基己烯醛(0.965);负影响挥发物质载荷较高的主要为酯类和其它类,其中 10-甲基-8-十四碳-1-醇乙酸酯(-0.935)较高。第 1 主成分代表烷烃类、烯烃类、醇类和酯类,第 2 主成分代表烯类和醛类。

结合图 8 和图 9,发酵初始的接骨木果汁主要挥发性物质为醛类,发酵后的接骨木果汁主要挥发性风味物质为烯烃类、烷烃类和酯类,未接菌对照组的接骨木果汁主要挥发性风味物质为醇类和醛类,3 种样品在风味物质的组成上有显著差异。

### 3 讨论

利用前期试验筛选得到的植物乳杆菌 L1 和

发酵乳杆菌 L2 混合发酵接骨木果汁,发酵过程中的 pH 值和总酸含量的变化规律都是呈现相反状态,说明乳酸菌在该体系中正常生长并产酸。

花色苷是一种天然植物色素,也是一种生物活性物质,但稳定性不高,多种因素例如 pH 值、光照、氧、酶、酚酸、金属离子等可影响其稳定性<sup>[24]</sup>。本研究中,发酵之前由于调节了 pH 值,导致接骨木果汁的颜色由原先的亮紫色变为暗紫色,夏其乐等<sup>[25]</sup>利用乳酸菌发酵杨梅汁,在调节 pH 值过程中,杨梅汁颜色由红色变为紫色,这是由于花色苷的结构可随 pH 值的变化发生转换,显色发生差异。发酵过程中果汁中的花色苷含量在前期迅速下降,这可能与发酵体系中的氧气含量和微生物代谢产生的糖苷酶有关。随着发酵后期 pH 值的下降,对维持花色苷的稳定性有一定的保护作用,在较低的 pH 值条件下,接骨木果汁恢复到原本的颜色。

总酚含量的提高可能是由乳酸菌在发酵过程中使接骨木果汁中糖基化酚类化合物去糖基化所致<sup>[20]</sup>。发酵过程中产生的酶和酸促进了酚类和类黄酮从复杂大分子物质转变为简单小分子形式<sup>[26-27]</sup>。当体系中的酚类物质达到一定浓度时便会产生抑菌作用,或发酵菌种通过对酚类物质的降解来维持自身生长,导致总酚含量的降低<sup>[28]</sup>。

3 种接骨木果汁样品都含有比较丰富的右旋萜二烯,这种物质有似鲜花的清淡香气,果汁经过发酵新生成了大马士酮,这种物质含有花香、果香和紫丁香的香气特征<sup>[29]</sup>。在 Di 等<sup>[30]</sup>的研究中,发酵前番茄汁的醛类最丰富,这一点与本试验测定结果一致,接骨木果汁经乳酸菌发酵后,醛类物质大量减少,醛类物质经乳酸菌代谢后分解为醇或被氧化为酸,醇类物质的增加进而会使相应的酯类物质增加<sup>[31]</sup>,乳酸菌在接骨木果汁中代谢后赋予了果汁更丰富且令人愉快的风味。

#### 4 结论

对接骨木果汁发酵过程中的理化指标及挥发性风味物质进行了测定及分析,结果表明植物乳杆菌 L1 和发酵乳杆菌 L2 可以在接骨木果汁中正常发酵生产,且部分活性物质例如总酚总黄酮和抗氧化能力可以得到较好的提升,从而使接骨木

乳酸菌发酵果汁具有较好的保健效果。通过对比分析接骨木果汁发酵前后风味可知,发酵后的果汁在风味物质的组成和相对含量上发生了较大的变化,丰富且改善了原有的风味。

#### 参 考 文 献

- [1] ANDRZEJ S, ANNA G. Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food - A review[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18(3): 941-958.
- [2] VIAPIANA A, WESOLOWSKI M. The phenolic contents and antioxidant activities of infusions of *Sambucus nigra* L.[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2017, 72(1): 82-87.
- [3] DENEV P, CIZ R, AMBROZOVA R, et al. Solid-phase extraction of berries' anthocyanins and evaluation of their antioxidative properties[J]. Food Chemistry, 2010, 123(4): 1055-1061.
- [4] GOUD N S, PRASAD G. Antioxidant, antimicrobial activity and total phenol and flavonoids analysis of *Sambucus nigra* (elderberry)[J]. International Journal of Current Pharmaceutical Research, 2020, 12(1): 35-37.
- [5] RICARDO F, JOÃO B, SANDRINA H, et al. Anthocyanin profile of elderberry juice: A natural-based bioactive colouring ingredient with potential food application[J]. Molecules, 2019, 24(13): 2359.
- [6] CORDEIRO T, VIEGAS O, SILVA M, et al. Inhibitory effect of vinegars on the formation of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled pork [J]. Meat Science, 2020, 167: 108083.
- [7] FILANNINO P, DI CAGNO R, GOBBETTI M. Metabolic and functional paths of lactic acid bacteria in plant foods: Get out of the labyrinth[J]. Curr Opin Biotech, 2018, 49: 64-72.
- [8] 郑莎莎, 胡萍. 利用乳酸菌发酵红酸汤的品质变化研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 65-70.  
ZHENG S S, HU P. Study on quality change of red sour soup fermented by lactic acid bacteria[J]. China Condiment, 2019, 44(8): 65-70.
- [9] 叶盼, 吴慧, 王德纯, 等. 发酵苹果汁的抗氧化性能变化[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(4): 114-119.  
YE P, WU H, WANG D C, et al. Changes on an-

- tioxidant activity of fermented apple juice [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(4): 114-119.
- [10] RICCI A, CIRLINI M, CALANI L, et al. *In vitro* metabolism of elderberry juice polyphenols by lactic acid bacteria[J]. Food Chemistry, 2019, 276: 692-699.
- [11] SILVA F, BORGES F, GUIMAR E, et al. Phenolic acids and derivatives: Studies on the relationship among structure, radical scavenging activity, and physicochemical parameters[J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(6): 2122-2126.
- [12] RICCI A, CIRLINI M, LEVANTE A, et al. Volatile profile of elderberry juice: Effect of lactic acid fermentation using *L. plantarum*, *L. rhamnosus* and *L. casei* strains[J]. Food Research International, 2018, 105: 412-422.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 食品中总酸的测定: GB/T 12456-2008[P]. 北京: 中国标准出版社, 2008. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Administration Committee. Determination of total acid in foods; GB/T 12456-2008[P]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [14] 辛修锋, 余小林, 胡卓炎, 等. 杨梅澄清汁及浓缩汁中花色苷热降解动力学研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 251-255. XIN X F, YU X L, HU Z Y, et al. Thermal degradation kinetics of anthocyanins in *Myrica rubra* juice and concentrate[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(9): 251-255.
- [15] 陈建国, 李雪, 李金霞, 等. 西沙诺尼果汁总多酚含量的测定[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(29): 10127-10128. CHEN J G, LI X, LI J X, et al. Determination of total polyphenol content in Xisha Noni juice [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(29): 10127-10128.
- [16] 王天赐, 徐树英, 张德拉. 海南诺尼果鲜果汁中总黄酮含量测定[C]. 2015年海南机械科技学术年会论文集. 海口: 海南省机械工程学会, 2015: 4. WANG T C, XU S Y, ZHANG D L. Determination of total flavonoids in Hainan Noni fruit fresh juice [C]. Proceedings of 2015 Hainan Annual Conference on Mechanical Science and Technology. Haikou: Hainan Mechanical Engineering Society, 2015: 4.
- [17] 赵晓娟, 吴均, 陈佳昕, 等. 苦荞纳豆酱的抗氧化活性[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 122-126. ZHAO X J, WU J, CHEN J X, et al. Antioxidant activity of tartary buckwheat natto[J]. Food Science, 2014, 35(13): 122-126.
- [18] 岑敏连, 陈阵, PRABHATHARADE Z, 等. 酿酒酵母发酵混合果汁的功能性研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(22): 109-113, 119. CEN M L, CHEN Z, PRABHATHARADE Z, et al. Research on the function of mixed fermented juice by *Saccharomyces cerevisiae* KD [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(22): 109-113, 119.
- [19] 杨文鸽, 林娴萍, 茅宇虹, 等. 电子束辐照对美国红鱼肉挥发性风味成分的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(1): 60-68. YANG W G, LIN X P, MAO Y H, et al. Effect of electron-beam irradiation on the volatile flavor compounds in *Sciaenops ocellatus* meat[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2014, 28(1): 60-68.
- [20] 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.
- [21] GUMIENNA M, SZWENGIEL A, GÓRNA B. Bioactive components of pomegranate fruit and their transformation by fermented processes [J]. European Food Research and Technology, 2016, 242(5): 631-640.
- [22] 张宏志, 马艳弘, 刘小莉, 等. 复合乳酸菌发酵蓝莓黑莓混合汁过程中的品质变化[J]. 现代食品科技, 2019, 35(10): 85-91, 212. ZHANG H Z, MA Y H, LIU X L, et al. Quality changes during the fermentation of blueberry and blackberry juice mixture by composite lactic acid bacteria [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(10): 85-91, 212.
- [23] 赖婷, 刘磊, 张名位, 等. 不同乳酸菌发酵对桂圆肉中酚类物质及抗氧化活性的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(10): 1979-1989. LAI T, LIU L, ZHANG M W, et al. Effect of lactic acid bacteria fermentation on phenolic profiles



- and antioxidant activity of dried longan flesh[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(10): 1979–1989.
- [24] 孙建霞, 张燕, 胡小松, 等. 花色苷的结构稳定性与降解机制研究进展[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(3): 996–1008.
- SUN J X, ZHANG Y, HU X S, et al. Structural stability and degradation mechanisms of anthocyanins[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(3): 996–1008.
- [25] 夏其乐, 邢建荣, 陈剑兵, 等. 发酵复合果蔬汁饮料的研制[J]. *保鲜与加工*, 2007(4): 46–48.
- XIA Q L, XING J R, CHEN J B, et al. Research of blended fermented fruit and vegetable juice drink[J]. *Storage & Process*, 2007(4): 46–48.
- [26] KATINA K, LAITILA A, JUVONEN R, et al. Bran fermentation as a means to enhance technological properties and bioactivity of rye[J]. *Food Microbiology*, 2007, 24(2): 175–186.
- [27] JOSÉ M L, JOSÉ A C, HÉCTOR R, et al. Aryl glycosidases from *Lactobacillus plantarum* increase antioxidant activity of phenolic compounds[J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 7(1): 322–329.
- [28] RAFFAELLA D C, ROSSANA C, MARIA D A, et al. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation[J]. *Food Microbiology*, 2013, 33(1): 1–10.
- [29] 祝霞, 王媛, 刘琦, 等. 混菌发酵对贵人香低醇甜白葡萄酒的香气影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(4): 95–102.
- ZHU X, WANG Y, LIU Q, et al. Effects of co-fermentation on the aroma of Italian Riesling low-alcohol sweet white wine[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(4): 95–102.
- [30] DI C R, SURICO R F, PARADISO A, et al. Effect of autochthonous lactic acid bacteria starters on health-promoting and sensory properties of tomato juices[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2009, 128(3): 473–483.
- [31] 李汴生, 卢嘉懿, 阮征. 植物乳杆菌发酵不同果蔬汁风味品质研究[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(19): 293–299.
- LI B S, LU J Y, RUAN Z. Favor quality of different fruit and vegetable juices fermented by *Lactobacillus plantarum*[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(19): 293–299.

## Changes of Quality and Volatile Flavor Compounds of Elderberry Juice Fermented by Lactic Acid Bacteria

Zhang Jiamei, Wu Zufang, Weng Peifang\*

(College of Food and Pharmaceutical Sciences, Ningbo University, Ningbo 315800, Zhejiang)

**Abstract** In this study, *Lactobacillus plantarum* L1 and *Lactobacillus fermentum* L2 were selected as inoculated strains to ferment elderberry powder to make fermented juice. The changes of pH value, total acid, color difference value, anthocyanin content, total phenol and total flavone content, superoxide anion scavenging activity, total reduction capacity, and volatile flavor compounds before and after fermentation were determined. The results showed that during the fermentation period, the pH value of elderberry juice decreased but the total acid increased significantly. The  $L^*$  value and  $a^*$  value increased first and then decreased, and the  $b^*$  value was relatively stable. The anthocyanin content decreased, but the total phenol and total flavonoids content increased. The superoxide anion scavenging rate and total reduction capacity increased by 82.07% and 55.27%, respectively. A total of 99 volatile flavor compounds were detected among the uninoculated samples and fermented juice samples before and after fermentation. The results showed that there were significant differences in flavor characteristics among three samples by principal component analysis. In conclusion, the nutritional value, antioxidant capacity and flavor quality of elderberry juice can be improved by lactic acid bacteria fermentation.

**Keywords** lactic acid bacteria; elderberry; quality; volatile flavor