

芸豆/大豆复合发酵液代谢组分及功能性研究

Studies on metabolites and functions of soy-based plant fermentation broth

李志芳¹ 佐兆杭¹ 王颖^{1,2,3,4} 张裕¹ 王迪¹

LI Zhi-fang¹ ZUO Zhao-hang¹ WANG Ying^{1,2,3,4} ZHANG Yu¹ WANG Di¹

(1. 黑龙江八一农垦大学食品学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 国家杂粮工程技术研究中心,

黑龙江 大庆 163319; 3. 粮食副产物加工与利用教育部工程研究中心, 黑龙江 大庆 163319;

4. 黑龙江省农产品加工与质量安全重点实验室, 黑龙江 大庆 163319)

(1. College of Food, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;

2. National Coarse Cereals Engineering Research Center, Daqing, Heilongjiang 163319, China;

3. Engineering Research Center of Processing and Utilization of Grain By-products, Ministry of Education, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 4. Key Laboratory of Agro-Products Processing

and Quality Safety of Heilongjiang province, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

摘要:目的:探究豆基植物发酵液在发酵过程中代谢产物及抗氧化活性的变化规律。方法:以紫花芸豆、大豆为原料,采用酵母菌、乳酸菌等多种益生菌共同发酵制备复合发酵液,并对发酵过程中 pH 值、总酸、还原糖、可溶性固形物、总酚、黄酮含量及抗氧化活性进行分析。结果:发酵液 pH 值随发酵时间的延长不断降低并逐步稳定在 3.55 左右,总酸由 0.13 mg/mL 上升至 0.43 mg/mL,可溶性固形物由 10.01% 降低至 5.73%,还原糖含量在发酵过程中呈先下降后保持波动平衡的状态,总酚、黄酮类物质含量在发酵过程中均先迅速上升,后分别稳定在 430 mg/mL 和 155.30 μ g/mL 左右,发酵液还原力、ABTS 自由基清除能力总体呈持续增长趋势并于发酵后期达稳定状态,分别于发酵 48 h 时达到最大值(0.608, 3.404 mmol/L)。结论:芸豆/大豆复合发酵液常规代谢组分的变化趋势存在一定规律性,且该发酵液具有一定的抗氧化能力。

关键词: 益生菌;复合发酵液;代谢产物;抗氧化

Abstract; Objective: To explore the changes of metabolites and antioxidant activity of soybean based plant fermentation broth during fermentation. **Methods:** The experiment was conducted to

prepare the compound fermentation liquid from kidney beans and soybean by fermentation of yeast, Lactobacillus and other probiotics. The pH value, total acid, reducing sugar, soluble solids, total phenol, flavone content and antioxidant activity in the fermentation process were analyzed. **Results:** The pH value of fermentation broth decreased with the extension of fermentation time and gradually stabilized at about 3.55, the total acid content increased from 0.13 mg/mL to 0.43 mg/mL, and the soluble solid content decreased from 10.01% to 5.73%. The content of reducing sugar decreased at first and then kept fluctuating balance. The total phenol content increased rapidly in the fermentation process, and then stabilized at about 430 mg/mL. The content of flavonoids also increased with the fermentation, and then stabilized at 155.30 μ g/mL. The reducing power and ABTS free radical scavenging capacity of fermentation broth showed a continuous growth trend, and reached a stable state in the late stage of fermentation, reaching the maximum value (0.608 and 3.404 mmol/L) at 48 h of fermentation, respectively. **Conclusion:** There is a certain regularity in the change trend of conventional metabolic components in kidney bean and soybean compound fermentation broth, and the fermentation broth has a certain antioxidant capacity.

Keywords: probiotics; compound fermentation broth; metabolites; antioxidant

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2018YFE0206300);黑龙江省自然科学基金研究团队项目(编号:TD2020C003);黑龙江省“杂粮生产与加工”优势特色学科资助项目(编号:黑教联[2018]4号);黑龙江八一农垦大学“三横三纵”科研团队支持计划(编号:TDJH201806)

作者简介:李志芳,女,黑龙江八一农垦大学在读硕士研究生

通信作者:王颖(1979—),女,黑龙江八一农垦大学教授,博士。

E-mail: wychen156@163.com

收稿日期:2021-03-10

芸豆又名四季豆^[1],在中国种植广泛,已成为栽培面积仅次于黄豆的豆类农作物^[2]。芸豆中含有多种活性物质,如其特有的 α -淀粉酶抑制剂可有效改善胰岛素抵抗并增强机体抗氧化能力^[3-5];芸豆抗性淀粉可增加饱腹

感为身体供能,减慢血糖上升速度,同时具有预防肠癌的作用^[6-7]。大豆作为主粮之一,除能提供基本的营养素外,还含有大豆异黄酮、潜在活性肽、多酚等多种功能性物质^[8-10],综合价值较为全面。

豆类植物含有丰富的营养物质及多种功能性成分,经发酵后的植物原液含有丰富的次级代谢物、维生素、矿物质以及多种功效酶类、抗氧化物质、有机酸、香气成分等^[11-12],能够满足消费者一次摄入补充多种营养的品质需求。目前市场上的发酵产品主要以果蔬类、小麦、大豆、米胚芽等植物原料为主,在原料的选择上存在单一性,以杂豆复配主粮形式制备的复合植物发酵液尚未有成形的研究成果,从膳食多样性的角度来说,复配形式的组合发酵是一种新的思路。试验拟将芸豆、大豆按比例进行共同发酵,主要研究复合植物发酵液在发酵过程中代谢产物及抗氧化活性的变化规律,初步探究复合发酵的优势所在,以为豆基植物类发酵产品的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

紫花芸豆:黑龙江垦区;

大豆、白砂糖:市售;

安琪牌活性干酵母:湖北安琪酵母股份有限公司;

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*):东北农业大学菌库;

嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*):中国工业微生物菌种保藏中心;

耐高温 α -淀粉酶(20 000 U/mL)、糖化酶(10 000 U/mL):上海源叶生物科技有限公司;

ABTS 自由基测试试剂盒:南京建成生物工程研究所;

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、铁氰化钾、三氯乙酸、福林酚(10%)、无水乙醇、碳酸钠、葡萄糖、氯化铁、3,5-二硝基水杨酸、亚硝酸钠、硝酸铝等:分析纯,辽宁泉瑞试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

料理机:JYL-Y912 型,九阳股份有限公司;

pH 计:S220 型,瑞典波通仪器公司;

台式高速离心机:TG16-WS 型,常州金胜仪器制造有限公司;

超净工作台:BCV-6S1 型,浙江赛德仪器设备有限公司;

电热恒温培养箱:DRP-9082 型,上海培因实验仪器有限公司;

紫外分光光度计:V-5100B 型,上海元析仪器有限公司;

高温压力蒸汽灭菌器:YXQ-30SII 型,济南捷岛分析

仪器有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程及操作要点

芸豆、大豆去皮清洗→打浆→液化→糖化→离心→
灭菌→接种→发酵→后发酵
↑
酵母菌、乳酸菌

(1) 菌种活化:取体积分数为 10% 的液态保藏的植物乳杆菌和嗜酸乳杆菌菌液于 MRS 液体培养基中,37 ℃ 恒温培养 24 h;活性干酵母于 10 倍体积蒸馏水中溶解,30~35 ℃ 水浴活化 30 min。

(2) 清汁的发酵:芸豆、大豆清洗后去皮,按料液比($m_{\text{芸豆和大豆}}:V_{\text{蒸馏水}}$)1:3 (g/mL)打浆。控制酶解条件: α -淀粉酶添加量 200 μ L/100 mL、pH 6.0、酶解温度 97 ℃、时间 20 min;糖化酶加酶量 200 μ L/100 mL、pH 4.5、温度 60 ℃、时间 30 min。浆液于 10 000 r/min 离心 15 min。调清汁 pH 至 5.0、装瓶量 30 mL、糖添加量 8%,灭菌。冷却后接种酵母菌,32 ℃ 恒温振荡 24 h 进行预发酵,按 $V_{\text{植物乳杆菌}}:V_{\text{嗜酸乳杆菌}}$ 为 1:1(共同发酵)接种植物乳杆菌和嗜酸乳杆菌,恒温发酵 24 h。4 ℃ 后发酵并冷藏备用。

1.2.2 pH 值测定 使用精密 pH 计。

1.2.3 总酸含量测定 参照 GB/T 12456—2008。

1.2.4 还原糖含量测定 采用 3,5-二硝基水杨酸比色法。

1.2.5 可溶性固形物含量测定 使用手持折光仪。

1.2.6 总酚含量测定 采用 Folin-Ciocalteus 法^[13]。

1.2.7 黄酮含量测定 采用 NaNO_2 - $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 比色法^[14]。

1.2.8 发酵过程中还原力测定 参照文献^[15]。

1.2.9 发酵过程中 ABTS 自由基清除率测定 使用 ABTS 自由基试剂盒。

1.3 数据处理与统计分析

试验均进行 3 次重复操作,所有数据用 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用 Origin 8.0 等软件对数据进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 pH 值和总酸含量变化

由图 1 可知,发酵液 pH 随发酵时间的延长而不断降低,总酸含量则有所上升。发酵 8~32 h,pH 由 3.83 降至 3.58,下降较明显,说明该阶段菌种产酸速率较快,至发酵结束 pH 稳定在 3.55 左右,总酸含量可达 0.43 mg/mL。复合发酵过程中 pH 值和总酸的变化趋势与李璐等^[16]的研究结果一致,可能是因为酵母菌在发酵初始阶段大量增殖,在氧气充足的情况下可通过糖酵解和三羧酸循环途径将发酵液中的糖类物质氧化成 CO_2 和水,而当氧气缺乏时,酵母菌会利用葡萄糖大量合成乙醇及 CO_2 , CO_2 溶于水产生弱酸性的碳酸使发酵液 pH 下降。此外,微生物消耗原料中的碳水化合物等营养物质并在相关酶的作

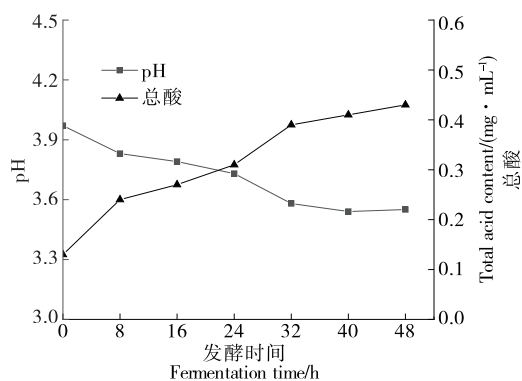


图1 发酵过程中 pH 值、总酸含量变化

Figure 1 Changes in pH value and total acid content during fermentation

用下可发酵产生乳酸、柠檬酸等有机酸,尤其当乳酸菌大量增殖成为优势菌种时可水解蛋白质形成游离氨基酸,能够进一步增加产酸量同时降低环境 pH。发酵后期,由于代谢产物、pH 值等因素抑制,菌种发酵逐步进入稳定期,此时 pH 值及总酸含量趋于稳定。

2.2 可溶性固形物含量变化

由图 2 可知,发酵过程中可溶性固形物含量随发酵时间的延长持续下降并趋于稳定,经 48 h 发酵后,发酵液中可溶性固形物含量由 10.01% 降低至 5.73%。可溶性糖可为微生物生长繁殖提供稳定的碳源,由于清汁在液化及糖化阶段积累了丰富的可溶性糖使发酵初始阶段营养物质充足,微生物生长建立了优势菌群,生长繁殖快,因此可溶性固形物的利用速率快,前期可溶性固形物下降趋势较为明显^[17-18]。发酵后期微生物生长状态趋于稳定,对可溶性糖的利用也随之趋于平缓。这与邢金金等^[19]探究不同菌种发酵对醇蜜桃酵素可溶性固形物含量的变化趋势一致。

2.3 还原糖含量变化

经绘制葡萄糖标曲为 $y = 2.4221x - 0.1474$, $R^2 = 0.9961$,换算得还原糖含量如图 3 所示。由图 3 可知,还

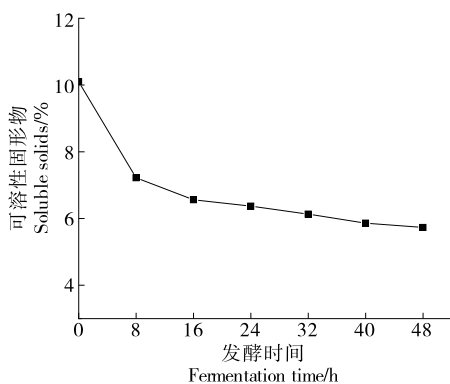


图2 可溶性固形物含量的变化

Figure 2 Changes in soluble solids content

原糖含量在发酵过程中呈先下降后保持波动平衡的状态。发酵初始阶段,酵母菌大量消化葡萄糖、果糖等还原糖用于自身生长繁殖,使基质中的还原糖含量迅速下降。接种乳酸菌后,发酵液中的葡萄糖、果糖等游离糖有利于其自身的增殖代谢,乳酸菌会分泌 β -半乳糖苷酶等水解酶分解生成乳糖、葡萄糖和半乳糖,加上菌种发酵产生的淀粉酶能够将淀粉水解成还原糖^[20],两者共同作用使发酵液中还原糖含量有所上升,但也存在糖酵解过程使葡萄糖分解转化为乳酸致使还原糖含量下降^[21],因此后期发酵处于上下波动状态,还原糖含量维持在 8.25 mg/mL 附近。

2.4 总酚含量变化

经绘制没食子酸(0~250 $\mu\text{g/mL}$)标曲回归方程为 $y = 0.0048x - 0.0157$ ($R^2 = 0.9973$)。由图 4 可知,总酚含量在发酵过程中先迅速上升,后稳定在 430 mg/mL 左右,与杨小幸等^[22]研究苹果酵素天然发酵过程中总酚含量变化趋势相符。分析变化原因可能是:首先从原料角度分析,多酚含量与种皮颜色有一定的关联,王何柱等^[23]研究表明:7 种芸豆的总酚含量为 0.91~4.96 mg/g,深色芸豆的总酚含量明显高于浅色芸豆;其次体系内酚类物质的释放与微生物作用相关,乳酸菌在发酵过程中,内源

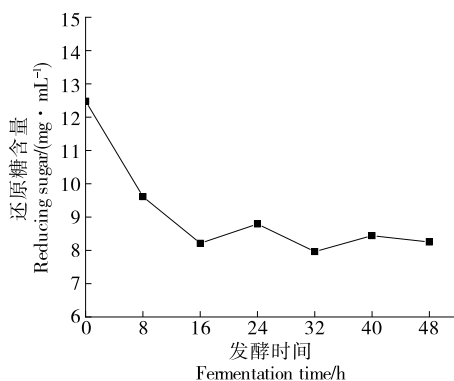


图3 还原糖含量变化

Figure 3 Changes in reducing sugar content

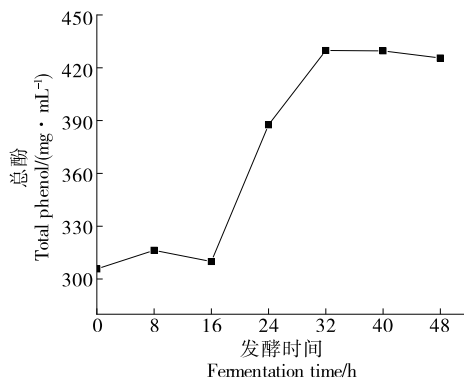


图4 总酚含量变化

Figure 4 Changes in total phenol content

酶系作用会使豆类植物细胞中的结合态酚类物质游离出来^[24],使其含量上升;此外发酵环境中的高糖浓度会升高体系渗透压,有利于酚类物质的溶出。发酵后期酚类含量略微下降,可能是部分生存能力较强的微生物逐渐适应总酚浓度较高的发酵液环境,利用酚类物质合成其他次级代谢产物从而导致总酚类物质含量略微下降^[25-26]。

2.5 黄酮类物质含量变化

由图 5 可知,发酵过程中黄酮类物质呈先持续升高后趋于稳定的趋势,在发酵 16~32 h 增长最为迅速,分析可能存在的原因有:① 微生物发酵过程中,与不溶性纤维结合的黄酮类化合物被释放出来,使黄酮类物质含量有所上升。同时乳酸菌产生的 β -葡萄糖苷酶可以将黄酮苷转化为黄酮苷元,导致黄酮苷元含量增加,此状态下的异黄酮更容易被吸收利用。有研究^[27-28]表明,发酵后的豆制品中苷元形式的异黄酮含量显著增加,而糖苷型异黄酮则明显下降,说明发酵作用有利于增强大豆异黄酮的可吸收性及功能利用率。② 酵母菌在厌氧条件下生成乙醇,有利于黄酮类物质的溶解。③ 酵母菌及乳酸菌代谢产生的酶系作用能够将部分碳源物质转变为可以发生显色反应的邻苯二酚结构^[29],使发酵液黄酮含量显著上升。

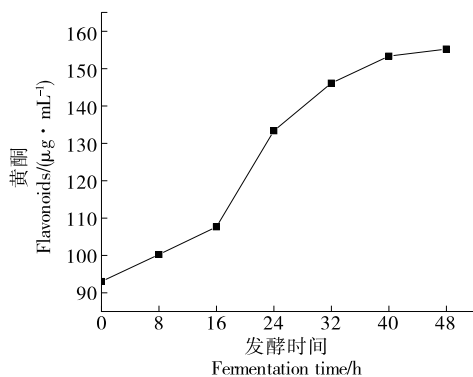


图 5 黄酮类物质含量变化

Figure 5 Changes in flavonoids content

2.6 还原力变化

由图 6 可知,还原力随发酵时间的延长不断上升,至发酵结束还原力可达 0.608,相较于未接种益生菌时,其还原力提升了 2 倍左右,与范昊安等^[30]在研究苹果梨酵素发酵过程中的还原力变化趋势相一致。这可能是除酵母菌的细胞壁多糖具有一定的抗氧化能力外,乳酸菌的自身代谢产物及其菌体表面同样有抗氧化物质存在^[31],并且这两种菌均可通过产生 NADH 氧化酶、超氧化物歧化酶(SOD)、GSH-Px 等过氧化物酶类物质清除体内活性氧^[32]。

2.7 ABTS 自由基清除能力变化

由图 7 可知,发酵 16~32 h 时 ABTS 自由基清除能

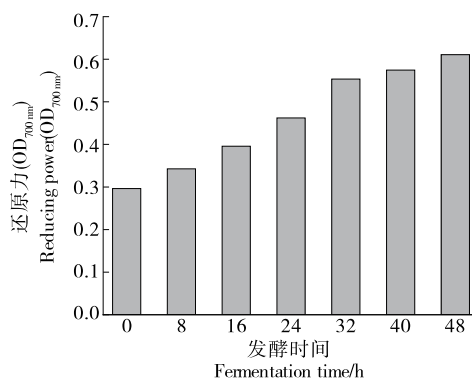


图 6 发酵过程中还原力的变化

Figure 6 Changes in reducing power during fermentation

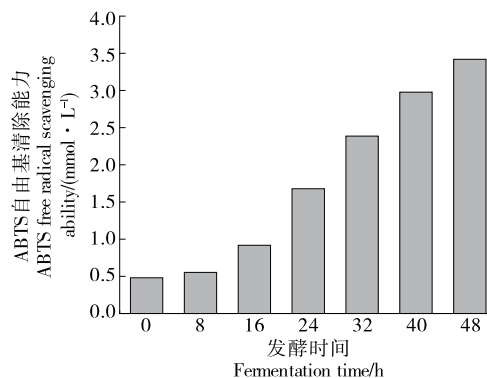


图 7 发酵过程中 ABTS 自由基清除能力的变化

Figure 7 Changes of ABTS free radical scavenging ability during fermentation

力显著提高,至发酵结束时 ABTS 清除能力可达 3.404 mmol/L,相比发酵前提升了 85.6%。这可能是随发酵时间的延长,代谢产生的小分子酚酸类物质增多,而酚羟基具有供氢体活性,在氧化过程中可以作为主要的还原部位与自由基反应,使其自身形成的自由基得以稳定,从而阻断自由基链的反应,以此来增强体系抗氧化能力。

3 结论

试验探究了芸豆、大豆复合发酵液发酵过程中代谢产物及抗氧化活性的变化情况,结果表明,各理化指标随发酵时间的延长存在一定的规律性;pH 值呈持续下降的趋势,总酸含量变化趋势与之相反;发酵过程中还原糖含量先小幅度上升后处于动态稳定,发酵 48 h 时可溶性固形物稳定至 5.73%;总酚和黄酮类物质含量总体呈上升趋势,至发酵结束趋于稳定;发酵过程中还原力及 ABTS 自由基清除能力逐步增强并于发酵结束时达到最大值。以上规律可清晰地反映复合发酵过程中相关理化指标变化趋势及功能性物质的累积情况,说明酵母菌及乳酸菌的协同发酵作用有利于芸豆及大豆中活性物质的释放,并可有效提升发酵液的抗氧化能力。由于时间及条件的

限制,对复合发酵液其他功能的挖掘还存在一定的局限。复合发酵液的菌群调节作用能够抑制肠道致病菌的定植并重塑肠道微生物物种构成,可在一定程度上防止脂肪及糖代谢异常诱发的 2 型糖尿病,其降糖机理的深度探究对扩大产品受益人群具有一定的价值,而更多的功能性开发还需要不断的深入研究。

参考文献

- [1] GUO Xin-bo, LI Tong, TANG Ke-xuan, et al. Effect of germination on phytochemical profiles and antioxidant activity of mung bean sprouts (*Vigna radiata*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(44): 110505.
- [2] 马萍, 程天赋, 郭增旺, 等. 紫花芸豆肽修复 H₂O₂ 对 HepG2 细胞的氧化应激损伤[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 175-182.
MA Ping, CHENG Tian-fu, GUO Zeng-wang, et al. Repair of oxidative stress damage of HepG2 cells by H₂O₂ with purple kidney bean peptide[J]. Food Science, 2020, 41(1): 175-182.
- [3] 钟颖颖, 何绮怡, 冯俊超, 等. 白芸豆中 α -淀粉酶抑制剂的提取纯化及活性测定条件优化[J]. 现代食品科技, 2019, 35(8): 254-260, 225.
ZHONG Ying-ying, HE Qi-yi, FENG Jun-chao, et al. White kidney bean α -optimization of extraction, purification and activity determination conditions of amylase inhibitors[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(8): 254-260, 225.
- [4] NOLAN R, SHANNON O M, ROBINSON N, et al. It's no has bean: A review of the effects of white kidney bean extract on body composition and metabolic health[J]. Nutrients, 2020, 12(5): 1 398.
- [5] PEREZ G R M, DAMIAN G M. Meliadinol: A potent α -glucosidase and α -amylase inhibitor isolated from *azadirachta indica* leaves and in vivo antidiabetic property in streptozotocin nicotinamide induced type 2 diabetes in mice[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2012, 35(9): 1 516-1 524.
- [6] CHAGAM Koteswara Reddy, SURIYA M, SUNDARAMOORTHY Haripriya. Physico-chemical and functional properties of Resistant starch prepared from red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) starch by enzymatic method[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 95(1): 220-226.
- [7] TANAKA M, HONDA Y J, MIWA S J, et al. Comparison of the effects of roasted and boiled red kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) on glucose/lipid metabolism and intestinal immunity in a high-fat diet-induced murine obesity model[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(5): 1 180-1 187.
- [8] 周炜杰, 夏蓉, 朱崇阳, 等. R.BIL 型及 R.CL 型糖苷酶对豆浆异黄酮构型的影响及风味的改善[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 5-8.
ZHOU Wei-jie, XIA Rong, ZHU Chong-yang, et al. Effects of R.BLL and R.CL glycosidases on isoflavone configuration and flavor improvement of soybean milk[J]. Food & Machinery, 2016, 32(11): 5-8.
- [9] 陈彬和. 大豆发酵液抗氧化性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2020: 2.
- CHEN Bin-he. Study on antioxidant properties of soybean fermentation broth[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020: 2.
- [10] LU Jing-li, ZENG Ying, HOU Wen-rui, et al. The soybean peptide aglycin regulates glucose homeostasis in type 2 diabetic mice via IR/IRS1 pathway [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2012, 23(11): 1 449-1 457.
- [11] HUR S J, LEE S Y, KIM Y C, et al. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant-based foods[J]. Food Chemistry, 2014, 160: 346-356.
- [12] JIN H L, CHUNG E H, KWANG S S, et al. Comparisons of nutritional constituents in soybeans during solid state fermentation times and screening for their glucosidase enzymes and antioxidant properties[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 362-371.
- [13] LU Xu, DU Bin, XU Bao-jun. A systematic, comparative study on the beneficial health components and antioxidant activities of commercially fermented soy products marketed in China [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 203-213.
- [14] 化志秀, 芦艳, 鲁周民, 等. 红枣醋发酵阶段主要成分及抗氧化性的变化[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 248-253.
HUA Zhi-xiu, LU Yan, LU Zhou-min, et al. Changes of main components and antioxidant activity of jujube vinegar during fermentation[J]. Chinese Journal of Food, 2013, 13(8): 248-253.
- [15] OYAIZU M. Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine[J]. Japanese Journal of Nutrition, 1986, 44: 307-315.
- [16] 李璐, 徐玉娟, 温靖, 等. 益生菌对发酵菠萝果汁综合品质的影响[J]. 中国酿造, 2021, 40(1): 105-110.
LI Lu, XU Yu-Juan, WEN Jing, et al. Effects of probiotics on the comprehensive quality of fermented pineapple juice [J]. China Brewing, 2021, 40(1): 105-110.
- [17] 张巧, 陈春喜, 陈振林, 等. 大果山楂酵素发酵过程中组分及抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 15-19.
ZHANG Qiao, CHEN Chun-xi, CHEN Zhen-lin, et al. Study on components and antioxidant activity of hawthorn enzyme during fermentation[J]. Food Research and Development, 2018, 39(22): 15-19.
- [18] 高庆超, 常应九, 马蓉, 等. 黑果枸杞酵素自然发酵过程中微生物群落的动态变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(13): 126-133.
GAO Qing-chao, CHANG Ying-jiu, MA Rong, et al. Dynamic changes of microbial community during natural fermentation of *Lycium barbarum* enzyme [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(13): 126-133.
- [19] 荆金金, 林冰洁, 许雯静, 等. 不同发酵菌及酶处理的蜜桃酵素体外抗氧化活性比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(4): 260-267.
JING Jin-jin, LIN Bing-jie, XU Wen-jing, et al. Comparison of antioxidant activities of peach enzymes treated with different fermentation bacteria and enzymes in vitro[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(4): 260-267.

- [20] 李中正. 山河陈醋大曲糖化力强化技术研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2018: 3.
LI Zhong-zheng. Study on saccharifying power enhancement technology of Shanhe aged vinegar Daqu[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2018: 3.
- [21] 冉玉兵, 刘磊, 张名位, 等. 乳酸菌发酵对龙眼果浆中糖和酚类物质的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(8): 116-122.
RAN Yu-bing, LIU Lei, ZHANG Ming-wei, et al. Effects of lactic acid bacteria fermentation on sugar and phenols in longan fruit pulp[J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(8): 116-122.
- [22] 杨小幸, 周家春, 陈启明, 等. 苹果酵素天然发酵过程中代谢产物的变化规律[J]. 食品科学, 2017, 38(24): 15-19.
YANG Xiao-xing, ZHOU Jia-chun, CHEN Qi-ming, et al. Changes of metabolites during natural fermentation of apple enzyme[J]. Food Science, 2017, 38(24): 15-19.
- [23] 王何柱, 朱勇, 朱怡, 等. 7种芸豆中酚类化合物组成及其抗氧化活性[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(9): 28-33.
WANG He-zhu, ZHU Yong, ZHU Yi, et al. Composition and antioxidant activity of phenolic compounds in 7 kidney beans[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2020, 35(9): 28-33.
- [24] 王清爽, 高珊, 朱灵芝, 等. 干酪乳杆菌发酵对脱脂薏米营养品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3): 146-152.
WANG Qing-shuang, GAO Shan, ZHU Ling-ling, et al. Effect of *Lactobacillus casei* fermentation on nutritional quality of defatted job's tears[J]. Chinese Journal of Food, 2021, 21(3): 146-152.
- [25] DI C R, CODA R, DE A M, et al. Exploitation of vegetables and fruits through lactic acid fermentation [J]. Food Microbiology, 2013, 33(1): 1-10.
- [26] 陈小伟, 程勇杰, 蒋立新, 等. 草莓酵素发酵过程中代谢产物及抗氧化性的变化研究 [J]. 中国食品学报, 2020, 20(5): 157-165.
CHEN Xiao-wei, CHENG Yong-jie, JIANG Li-xin, et al. Changes of metabolites and antioxidation during strawberry enzyme fermentation[J]. Chinese Journal of Food, 2020, 20(5): 157-165.
- [27] 李紫薇, 曹庸, 苗建银. 大豆异黄酮及其苷元的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 348-355.
LI Zi-wei, CAO Yong, MIAO Jian-yin. Research progress of soybean isoflavones and their aglycones[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(20): 348-355.
- [28] LU X, BIN D, BAO J X. A systematic, comparative study on the beneficial health components and antioxidant activities of commercially fermented soy products marketed in China [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 202-213.
- [29] SHAHAT A N E, AZEEM A M A, MEKAWAY H M S, et al. Studying the effect of g-irradiated celery leaves on antioxidant status and cardiac enzymes in hypercholesterolemic rats [J]. Indian Journal of Animal Research, 2018, 52(4): 502-507.
- [30] 范昊安, 沙如意, 方晟, 等. 苹果梨酵素发酵过程中的褐变与抗氧化活性[J]. 食品科学, 2020, 41(14): 116-123.
FAN Hao-an, SHA Ru-yi, FANG Sheng, et al. Browning and antioxidant activity during apple pear enzyme fermentation[J]. Food Science, 2020, 41(14): 116-123.
- [31] 刘洋, 郭宇星, 潘道东. 4种乳酸菌体外抗氧化能力的比较研究[J]. 食品科学, 2012, 33(11): 25-29.
LIU Yang, GUO Yu-xing, PAN Dao-dong. Comparative study on antioxidant capacity of four lactic acid bacteria in vitro[J]. Food Science, 2012, 33(11): 25-29.
- [32] 贾丽丽, 冀利, 孙曙光, 等. 冬枣酵素发酵过程中生物学特性和抗氧化活性研究[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(4): 30-33.
JIA Li-li, JI Li, SUN Shu-guang, et al. Study on biological characteristics and antioxidant activity of winter jujube enzyme during fermentation[J]. Food and Fermentation Technology, 2014, 50(4): 30-33.
- (上接第 37 页)
- [11] 郭根和, 潘葳, 苏德森, 等. 反相高效液相色谱法同时测定枇杷中的某些有机酸[J]. 福建农业学报, 2005(3): 198-201.
GUO Gen-he, PAN Wei, SU De-sen, et al. Simultaneous determination of some organic acids in loquat by reversed-phase high performance liquid chromatography[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2005(3): 198-201.
- [12] 徐玉涛, 李珂珂, 王贺新, 等. 高效液相色谱法对蓝莓果实中 8 个有机酸含量的测定[J]. 食品科学, 2015, 36(18): 127-131.
XU Yu-tao, LI Ke-ke, WANG He-xin, et al. Determination of 8 organic acids in blueberry fruits by high performance liquid chromatography[J]. Food Science, 2015, 36(18): 127-131.
- [13] 陈战国, 恩伯提, 张志琪. RP-HPLC 同时测定乌梅中 8 种有机酸含量[J]. 中国中药杂志, 2006(21): 1 783-1 786.
CHEN Zhan-guo, EN Ber-ti, ZHANG Zhi-qi. Simultaneous determination of 8 organic acids in black *Prunus mume* by RP-HPLC[J]. Chinese Journal of Chinese Materia Medica, 2006(21): 1 783-1 786.
- [14] 严红光, 林莉, 符洋, 等. 不同成熟度青梅实发酵果酒品质分析[J]. 食品科技, 2019, 44(8): 83-87.
YAN Hong-guang, LIN Li, FU Yang, et al. Quality analysis of *Prunus mume* fermented fruit wine with different maturity [J]. Food Science and Technology, 2019, 44(8): 83-87.
- [15] 畅晓洁. 不同成熟度红枣的酚类物质、有机酸、三萜酸、V_C含量及其抗氧化活性研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(2): 28-32.
CHANG Xiao-jie. Study on the content of phenolic substances, organic acids, triterpene acids, V_C and their antioxidant activity in red dates with different maturity[J]. Fresh-keeping and Processing, 2021, 21(2): 28-32.
- [16] 周先艳, 朱春华, 李进学, 等. 果实有机酸代谢研究进展[J]. 中国南方果树, 2015, 44(1): 120-125.
ZHOU Xian-yan, ZHU Chun-hua, LI Jin-xue, et al. Research progress in fruit organic acid metabolism[J]. South China Fruit Tree, 2015, 44(1): 120-125.