

双菌发酵对祛湿汤理化特性及风味的影响

陈 扬, 梁泓波, 李雅琪, 王 琨, 黎 攀, 杜 冰

Effects of Two-Bacteria Fermentation on Physical, Chemical Properties and Flavor of Danpness-eliminating Decoction

CHEN Yang, LIANG Hongbo, LI Yaqi, WANG Kun, LI Pan, and DU Bing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022030063>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

发酵及添加鸡脂肪对鹿肉干营养特性和风味的影响

Effect of Fermentation and Adding Chicken Fat on the Nutritional Properties and Flavor of Venison Jerky

食品工业科技. 2021, 42(9): 60-69

植物乳杆菌发酵黑果腺肋花楸果汁的工艺优化

Optimization of Fermentation Process of *Aronia melanocarpa* Fruit Juice by *Lactobacillus plantarum*

食品工业科技. 2018, 39(17): 133-138,151

添加红枣汁对植物乳杆菌发酵胡萝卜品质的影响

Effects of Adding Jujube Juice on Quality of Carrot Fermented by *Lactobacillus plantarum*

食品工业科技. 2020, 41(15): 99-105

冻干保护剂对植物乳杆菌的代谢特性的影响

Influence on metabolic characteristics of *Lactobacillus plantarum* by cryoprotectant

食品工业科技. 2018, 39(3): 92-96

苦荞、燕麦和杏鲍菇酶解液发酵工艺优化及其抗氧化活性

Optimization of fermentation process of enzymatic hydrolysate of buckwheat, oat and *Pleurotus eryngii* and its antioxidant capacity

食品工业科技. 2018, 39(3): 153-157,166

茶梗可溶性膳食纤维的制备工艺优化及单糖组成和理化特性研究

Optimization of Preparing Process of Soluble Dietary Fiber from Tea Stalks and Its Monosaccharide Composition and Physicochemical Properties

食品工业科技. 2021, 42(18): 190-196



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

陈扬, 梁泓波, 李雅琪, 等. 双菌发酵对祛湿汤理化特性及风味的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 160-170. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030063

CHEN Yang, LIANG Hongbo, LI Yaqi, et al. Effects of Two-Bacteria Fermentation on Physical, Chemical Properties and Flavor of Danpnness-eliminating Decoction[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 160-170. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030063

· 生物工程 ·

双菌发酵对祛湿汤理化特性及风味的影响

陈 扬, 梁泓波, 李雅琪, 王 琨, 黎 攀, 杜 冰*
(华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘 要: 选用乳酸芽孢杆菌 DU-106 与植物乳杆菌复配的菌粉对茯苓、白扁豆、薏米、杏仁和甘草等药食同源材料制成的祛湿汤进行发酵, 比较发酵对祛湿汤的理化性质 (pH、还原糖、总酸、多糖、蛋白质、多酚、黄酮、必需氨基酸和有机酸) 和风味物质的影响, 并进行感官评价。结果表明: 在发酵 4 d 后祛湿汤 pH 降低至 3.0 以下, 益生菌发酵通过消耗还原糖, 提高了总酸含量, 最高达 11.00 g/kg。益生菌发酵提高了祛湿汤中多糖、蛋白质、多酚和黄酮等活性成分的含量, 且均在第 7 d 达到最大值, 最大值分别为 20.95、1.66 mg/mL、52.45、53.26 $\mu\text{g/mL}$ 。益生菌发酵也显著 ($P < 0.05$) 提高了必需氨基酸和有机酸的含量。此外, 发酵还赋予了祛湿汤特殊的发酵风味。通过顶空固相微萃取-气质联用分析发现, 发酵后祛湿汤的酯类和醇类物质的相对含量有所增加。感官评价结果表明, 益生菌发酵改善了祛湿汤的香气和滋味, 发酵第 7 d 的祛湿汤总体感官品质最好。综上, 用 DU-106 和植物乳杆菌发酵祛湿汤有利于提升祛湿汤品质, 可为复合菌种发酵药食同源材料复方水煎剂的生产提供理论依据。

关键词: 乳酸芽孢杆菌 DU-106, 植物乳杆菌, 发酵, 祛湿汤, 理化特性, 风味

中图分类号: TS218

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)24-0160-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030063



本文网刊:

Effects of Two-Bacteria Fermentation on Physical, Chemical Properties and Flavor of Danpnness-eliminating Decoction

CHEN Yang, LIANG Hongbo, LI Yaqi, WANG Kun, LI Pan, DU Bing*

(College of Food, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Danpnness-eliminating decoction was fermented by *Bacillus* sp. DU-106 and *Lactobacillus plantarum*. The effects of fermentation on physical and chemical properties and flavor substances of Danpnness-eliminating decoction were compared, and sensory evaluation was conducted. Physical and chemical properties included pH, reducing sugars, total acids, polysaccharides, proteins, polyphenols, flavonoids, essential amino acids and organic acids. The results showed that after 4 days of fermentation, the pH of Danpnness-eliminating decoction decreased to below 3.0, and the total acid content was increased by consuming reducing sugar, up to 11.00 g/kg. The contents of polysaccharides, proteins, polyphenols and flavonoids in Danpnness-eliminating decoction increased by probiotic fermentation, and the maximum values were 20.95, 1.66 mg/mL, 52.45 and 53.26 $\mu\text{g/mL}$ respectively on the 7th day. Probiotic fermentation also significantly ($P < 0.05$) increased the content of essential amino acids and organic acids. In addition, fermentation also endowed Danpnness-eliminating decoction with special fermentation flavor. The relative contents of esters and alcohols in Danpnness-eliminating decoction increased after fermentation by headspace solid phase microextraction and GC. Sensory evaluation results showed that the probiotic fermentation improved the aroma and taste of Danpnness-eliminating decoction, and the overall sensory quality of Danpnness-eliminating decoction on the seventh day of fermentation was the best. In conclusion, the fermentation of Danpnness-eliminating decoction with DU-106 and *L. plantarum* were beneficial to improve the quality of Danpnness-eliminating decoction. This study would provide a theoretical basis for the production of compound decoction of medicine-food homologous material fermented by compound strains.

收稿日期: 2022-03-07

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2020B020226008); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助 (CARS-21)。

作者简介: 陈扬 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 生物与医药方向, E-mail: 476976209@qq.com。

* 通信作者: 杜冰 (1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 中草药功能性成分评价与代谢调控方向, E-mail: dubing@scau.edu.cn。

Key words: *Bacillus* sp. DU-106; *Lactobacillus plantarum*; fermentation; Danpnness-eliminating decoction; physical and chemical properties; flavor

三仁汤、赤小豆薏仁汤、参苓白术散等均是有名的祛湿方剂,具有健脾祛湿的功效^[1-3]。其中,茯苓、白扁豆、薏米、杏仁、甘草均是具有祛湿作用的药食同源材料,含有丰富的多糖^[4]、黄酮^[5]、蛋白^[6]等成分。人们常常利用药食同源材料制成汤以达到祛湿的目的,但清水煎制的祛湿汤存在营养价值不高和风味口感不佳^[7]的问题。而对如何进一步提升祛湿汤的营养价值和风味口感的研究尚未见到。

发酵是借助酶与微生物的作用,在一定的环境条件下使食品通过发酵过程,改变其性能或是增强其功效的炮制方法。已有研究表明,益生菌发酵可以提高药食同源材料中营养成分的含量,增强药食同源材料的功效^[8]。而单一菌种发酵产生的食品风味单一,混菌发酵能更好地增加风味^[9]。目前有部分研究已公开了关于复合菌种发酵食品的报告,国内研究如周映君等^[10]利用酵母菌与植物乳杆菌复合发酵了新会柑并提升了其营养成分;吴珊珊等^[11]利用酵母菌和乳酸芽孢杆菌研究开发了佛手果酒并优化了其工艺,提升了其风味。国外研究如 Ogado 等^[12]利用乳酸菌复合菌发酵了玉米粉以提高玉米粉的营养因子含量。由此可以推测:复合菌种发酵可能会提升祛湿汤的营养价值和风味口感。乳酸芽孢杆菌(*Bacillus* sp.)DU-106 是一种从传统发酵奶酪中筛选出来的益生菌,有着耐酸和产酸能力强的特点,目前在发酵食品行业,特别是发酵药食同源食品中有着广泛的应用,对提高药食同源材料的功能特性有着良好的作用^[13-16],且已有研究发现,利用乳酸芽孢杆菌对药食同源材料进行接种发酵可以提高其活性成分^[17];植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)是具有耐酸和发酵低聚果糖能力的益生菌^[18],其发酵生成物以乳酸为主^[19],有利于发酵后生成提高发酵物酸度。而利用乳酸芽孢杆菌 DU-106 以及植物乳杆菌复配发酵药食同源材料水煎剂的研究尚未见到。因此,这两种益生菌作为具有潜力的菌群,可共同运用于祛湿汤的发酵中。

鉴于此,本研究将采用乳酸芽孢杆菌 DU-106 与植物乳杆菌复配发酵的方式对茯苓、白扁豆、薏米、杏仁、甘草制成的祛湿汤进行发酵,并对其发酵前后的理化指标、风味物质和感官变化差异进行探究,以期风味独特、营养丰富、功效良好的新型祛湿饮料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

茯苓、白扁豆、薏米、杏仁、甘草 广州仲正中药饮片有限公司;乳酸芽孢杆菌(*Bacillus* sp.)DU-106 和植物乳杆菌,菌粉浓度为 1×10^{12} CFU/g 由华

南农业大学新资源与功能性原料研究及评价中心鉴定及保藏;白砂糖 南字牌食品旗舰店; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{KNa} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、NaOH、 $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ 、 $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 、KOH、苯酚、醋酸铜结晶、酒石酸钾钠、碘化钾、牛血清白蛋白、柠檬酸钠、没食子酸标准品等 均为分析纯,广州化学试剂厂;5% NaNO_2 标准溶液 上海麦克林生化科技有限公司。

PHS-3E 型 pH 计 上海仪电科学仪器股份有限公司;UV-1100 型紫外分光光度计 上海美谱达仪器有限公司;DHP600 型电热恒温培养箱 北京市永光明医疗仪器厂;L-8900 型全自动氨基酸分析仪

日本日立公司;QP2010 Ultra 型气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 祛湿汤的制备 将茯苓、白扁豆、薏米、杏仁、甘草分别洗净后烘干,准确称取茯苓 20.0 g、白扁豆 20.0 g、薏米 20.0 g、杏仁 8.0 g、甘草 5.0 g,注入 1200 mL 纯净水,煮 40 min;煮后装于发酵罐中,封口,115 °C 30 min 灭菌后,在超净工作台向发酵罐中添加 3%(w/w)白砂糖;将 0.1 g 乳酸芽孢杆菌 DU-106 和植物乳杆菌的混合菌粉添加到 100 mL 生理盐水中,活化 30 min 后,向发酵罐中添加 3.3% 菌种活化液质量的活化液,于 28 °C 下密封发酵 7 d。每日在超净工作台取样于无菌离心管中,于-20 °C 冰箱中冻存。

1.2.2 pH、总酸与还原糖的测定 使用 pH 计对祛湿汤直接测定。祛湿汤总酸参照 GB/T 12456-2008《食品中总酸的测定》^[20]进行测定,折算系数以乳酸 0.090 计。祛湿汤还原糖参照 GB 5009.7-2016《食品中还原糖的测定》^[21]进行测定。

1.2.3 生物活性成分的测定

1.2.3.1 总多糖的测定 总多糖参照刘培等^[22]的方法,采用苯酚硫酸法进行测定。精密吸取发酵 0~7 d 的祛湿汤 0.8 mL 于具塞试管,加水补至 1 mL,加入 5% 苯酚 1 mL 后迅速加入浓硫酸 5 mL,摇匀,降至室温后,置于沸水浴中加热 15 min,再置于冷水浴中降至室温,随行作空白对照,于 490 nm 处测吸光度。精密吸取 D-葡萄糖对照品溶液 0.15、0.30、0.45、0.60、0.75、0.90、1.00 mL,置于具塞试管中,精密吸取供试品溶液 0.8 mL 于具塞试管,加水至 1 mL,后同上述法测定吸光度。每根试管做 3 个平行试验,绘制标准曲线,计算得到标准曲线方程: $y = 5.0771x + 0.0418$ ($R^2 = 0.9991$)。

1.2.3.2 总蛋白的测定 总蛋白参照周艳星等^[23]的方法并稍作修改,采用双缩脲试剂法进行测定。分别

准确吸取 1 mL 发酵 0~7 d 的祛湿汤放入试管中,再依次加入 4 mL 双缩脲溶液,摇匀,在室温下反应 30 min。空白溶液作为参照物,在波长 540 nm 处测各管吸光度。在试管中分别精准吸取牛血清白蛋白标准品溶液 0、0.2、0.6、0.8、1.0 mL 的标准蛋白质溶液,用水补足到 1 mL,后同上述法测定吸光度。每根试管做 3 个平行试验,绘制标准曲线,计算得到标准曲线方程: $y=0.3133x+0.0785$ ($R^2=0.9991$)。

1.2.3.3 总多酚的测定 多酚参照李娜等^[24]的方法并稍作修改,采用福林酚法,以没食子酸作为对照品进行测定。取 1 mL 发酵 0~7 d 的祛湿汤于试管中,分别加入 1 mL 福林酚显色剂及 3 mL 20% Na_2CO_3 溶液,混匀后于 50 °C 水浴中反应 30 min。在 765 nm 波长下测定吸光度。准确称取质量浓度为 1000 mg/L 的没食子酸标准储备液 0、1.25、2.5、5、10、20、40 mL 于 100 mL 容量瓶中,用蒸馏水定容至刻度,配制成质量浓度为 0、12.5、25、50、100、200 和 400 mg/L 的系列标准溶液,分别取 1 mL 于试管中,后同上述法测定吸光度。每根试管做 3 个平行试验,绘制标准曲线,计算得到没食子酸标准曲线方程: $y=0.0055x+0.0842$ ($R^2=0.9995$)。

1.2.3.4 总黄酮的测定 黄酮参照李娜等^[24]的方法并稍作修改,采用 AlCl_3 比色法,以芦丁作为对照品进行测定。取 1 mL 发酵 0~7 d 的祛湿汤置于 25 mL 容量瓶中,加 70% 乙醇至 6 mL,加 5% 亚硝酸钠溶液 1 mL,摇匀后放置 6 min,加 10% 硝酸铝溶液 1 mL,摇匀后再次放置 6 min,加 4% 氢氧化钠溶液 10 mL,加 70% 乙醇至刻度,摇匀后放置 15 min,以不加样品的空白制剂按上述操作得到空白溶液,在 510 nm 处测定溶液吸光度。精密量取 1 g/L 的对照品溶液 0、0.25、0.5、1、1.5、2、2.5 mL 分别置于 25 mL 容量瓶中,按上述测量方法进行测定。每根试管做 3 个平行试验,绘制标准曲线,计算得到芦丁标准曲线方程: $y=1.442x-0.022$ ($R^2=0.9998$)。

1.2.4 氨基酸组成的测定 参考 GB 5009.124-2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》^[25]并稍做修改,准确量取发酵第 0~7 d 样品各 5 mL 分别倒入水解管中,加入 5 mL 12 mol/L 的盐酸溶液,将水解管放入冷冻剂中冷冻 5 min,充入氮气,拧紧瓶盖,放入 110 °C 的电热鼓风恒温箱中水解 23 h,再用滤纸过滤水解液,取 1 mL 过滤好的水解液置于烧杯中,60 °C 水浴蒸干,再加入 1 mL 一级水,再次蒸干,重复两次。彻底蒸干后加入 4 mL pH2.2 的柠檬酸钠缓冲溶液,振荡混匀,吸取溶液通过 0.22 μm 滤膜后,转移至仪器进样瓶,注入氨基酸自动分析仪分析。检测条件:色谱柱为阳离子树脂柱 LCAK06/Na;流动相为柠檬酸钠 A(pH3.45)与柠檬酸钠 B(pH10.85);洗脱泵流速 0.45 mL/min,衍生泵流速 0.25 mL/min;检测波长:570 与 440 nm;检测温度:58~74 °C 梯度升温。

1.2.5 有机酸含量的测定 祛湿汤的有机酸参考 GB/T 40179-2021^[26]中测定有机酸的方法进行测定,色谱条件:Amnec HPX-87H 色谱柱;流动相为 0.1% 磷酸水溶液;流速 400 $\mu\text{L}/\text{min}$;柱温 40 °C;紫外检测器波长 210 nm;手动进样量 20 μL 。根据保留时间及峰面积分别定性及定量,对照标准曲线方程计算出物质含量。

1.2.6 挥发性风味物质的测定 祛湿汤的挥发性风味物质测定参照李婷婷等^[27]的方法稍作修改后进行测定。分别称取发酵第 0~7 d 样品各 5 g 置于 50 mL 的顶空瓶中,锡箔纸密封,60 °C 水浴平衡 5 min 后将 65 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头插入顶空瓶中吸附 30 min,萃取后将纤维头插入气相色谱系统解吸 3 min,解吸温度为 250 °C。

GC 条件:毛细管柱为 HP-5MS(30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度 240 °C;进样量 2 μL ;分流比 5:1;溶剂延迟时间 3.8 min;升温程序:初始柱温 40 °C,保持 3 min 后,以 3 °C/min 升至 230 °C,保持 2 min;载气(He)流速 1.88 mL/min。

MS 条件:电子轰击(EI)离子源;离子源温度 230 °C,四级杆温度 150 °C;质谱接口温度 250 °C;离子化方式 EI;电子能量 70 eV;质量扫描范围(m/z 29~500)。

将质谱数据经计算机在 NIST 14 谱库检索,结合手动检索校对,选取匹配度大于 800(最大值为 1000)成分作为定性结果。

1.2.7 感官评定 感官评价小组由 20 名(男 10 名,女 10 名)通过感官分析培训的食品专业人员组成,分别从色泽、香气、滋味和外观澄清度方面对发酵第 0、3、5 及 7 d 的发酵祛湿汤进行感官评定,详细的感官评分标准如表 1 所示^[28]。

表 1 发酵祛湿汤感官评定标准
Table 1 Sensory evaluation of fermented Qushi decoction

感官项目	标准	评分(分)
色泽(25分)	颜色深浅适中、有光泽	16~25
	颜色略深、有少量光泽	6~15
	颜色暗淡、无光泽	1~5
香气(25分)	发酵的清香味浓郁,无异味	16~25
	发酵香味一般,无异味	6~15
	无发酵香味,有异味	1~5
滋味(25分)	滋味协调、酸甜适中	16~25
	滋味协调一般、酸甜度不够	6~15
	滋味不协调、过酸或酸度不够	1~5
外观澄清度(25分)	液体透明澄清、没有沉淀	16~25
	液体略浑浊、稍有沉淀	6~15
	液体浑浊不透明、有大量沉淀	1~5

1.3 数据处理

采用单因素方差分析的方法,运用 SPSS 25.0 软件进行显著性分析, $P<0.05$ 表示差异显著;采用 Microsoft Office Excel 2010 与 GraphPad Prism 5.0 软件进行绘图分析。所有实验重复三次,实验结果以平均值 \pm 标准误差(mean \pm SD)的方式表示。

2 结果与分析

2.1 祛湿汤发酵过程中 pH 和总酸的变化

pH 和总酸与祛湿汤的品质密切相关,是祛湿汤发酵过程中重要的理化指标。祛湿汤发酵过程中 pH 和总酸的变化如图 1 和图 2 所示。由图 1 可知,祛湿汤的 pH 随时间的延长而降低,在发酵前期 pH 迅速下降,在发酵 4 d 后降到 3 以下,后趋于稳定。这是因为在发酵前期乳酸菌大量产酸,导致初期 pH 迅速下降;到达发酵后期,低 pH 环境影响了菌种的生长, pH 进入稳定期^[28],发酵前期与后期的 pH 具有显著性差异($P<0.05$)。由图 2 可知,祛湿汤的总酸随时间的延长而升高,并在第 7 d 达到峰值 11 g/kg,表明祛湿汤的 pH 与总酸含量与发酵时间有密切联系。对比张平等^[29]使用植物乳杆菌发酵梨汁的研究,其 pH 最终未下降到 3 以下,而 DU-106 与植物乳杆菌复配发酵后产酸更多,在发酵后期 pH 更低。

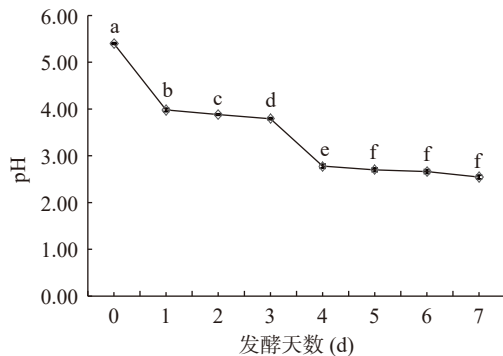


图 1 发酵过程中 pH 随时间的变化

Fig.1 pH changes with time during fermentation

注: 曲线上方小写字母不同表示差异显著($P<0.05$); 图 2~图 7 同。

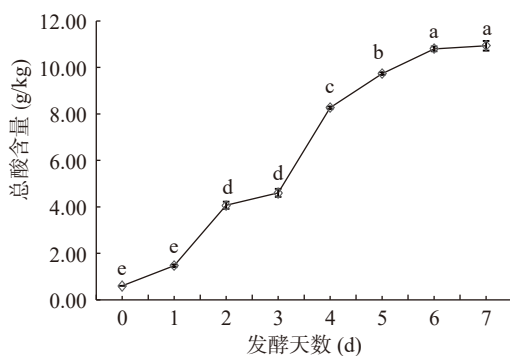


图 2 发酵过程中总酸随时间的变化

Fig.2 Changes of total acid over time during fermentation

2.2 祛湿汤发酵过程中还原糖的变化

还原糖的变化也与祛湿汤的品质相关,也是祛湿汤发酵过程中的一个重要的理化指标。祛湿汤发酵过程中还原糖的变化如图 3 所示。由图 3 可知,祛湿汤的还原糖含量随时间的延长而降低,发酵初期还原糖含量迅速降低,这是因为在发酵前期,乳酸菌消耗还原糖;在发酵 4 d 后趋向稳定。这表明乳酸菌需要消耗还原糖来产酸,祛湿汤中还原糖的含量会影

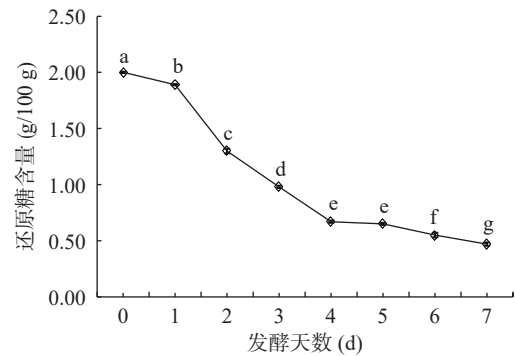


图 3 发酵过程中还原糖随时间的变化

Fig.3 Changes of reducing sugar over time during fermentation

响产酸量。

2.3 祛湿汤发酵前后生物活性成分的变化

2.3.1 祛湿汤发酵前后多糖的变化 多糖具有免疫调节、抗衰老、降血脂、抗病毒、抗炎等多种药理作用,是祛湿汤中重要的一个活性成分。有研究表明,益生菌可以通过分解培养基中的有机物质,提高发酵后多糖的含量^[30]。通过对祛湿汤发酵过程中的总多糖含量的测定发现,发酵第 0~7 d 的多糖含量分别为 19.08、19.08、19.14、19.61、20.14、20.53、20.80、20.95 mg/mL,多糖含量在发酵过程中显著提高($P<0.05$),见图 4。这与何彩文等^[31]利用酵母粉发酵茯苓以提高茯苓多糖含量的研究结果一致。

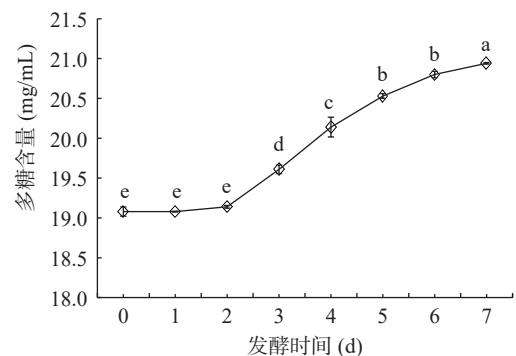


图 4 发酵过程中多糖随时间的变化

Fig.4 Changes of polysaccharides over time during fermentation

2.3.2 祛湿汤发酵前后蛋白的变化 在药食同源中药中,存在着生物大分子蛋白质,其种类丰富,功能各异,已被证明有抗肿瘤、抗炎、免疫调节等作用^[32]。Yin 等的研究表明,微生物可以通过利用薏米中纤维素或是半纤维素酶解后生成的可溶性糖,从而提高蛋白质的含量^[33],而薏米蛋白有较好的健脾祛湿的功能^[34]。通过对祛湿汤发酵过程中的蛋白含量的测定发现,发酵第 0~7 d 的蛋白含量分别为 0.90、0.91、0.97、1.14、1.39、1.47、1.58、1.66 mg/mL,蛋白含量在发酵过程中显著提高($P<0.05$),见图 5。对比 Yin 等^[33]的研究中,发酵薏米的蛋白含量并未得到提升,双菌发酵祛湿汤更具优势。

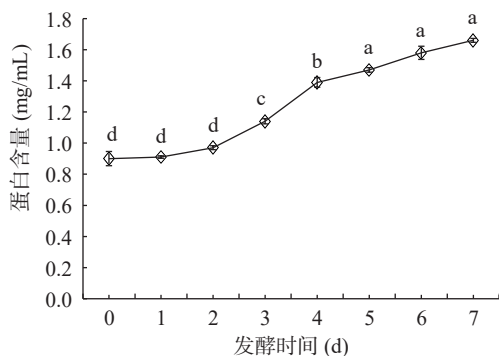


图5 发酵过程中蛋白随时间的变化

Fig.5 Changes in protein over time during fermentation

2.3.3 祛湿汤发酵前后多酚的变化 天然中草药中广泛存在着多酚化合物,其具有抗氧化、抗炎、抗菌、抗肿瘤等活性^[35]。通过测定祛湿汤发酵过程中的多酚含量发现,发酵第0~7 d的多酚含量分别为32.68、32.72、32.75、37.81、43.20、46.25、49.80、52.45 $\mu\text{g/mL}$,多酚含量在发酵过程中得到显著性提升($P<0.05$),见图6。有研究表明,乳酸菌能够将植物细胞中的活性物质,转化成为其代谢产物并产生新的酚类化合物,且多酚含量越高,其潜在生物学功效越强^[36]。

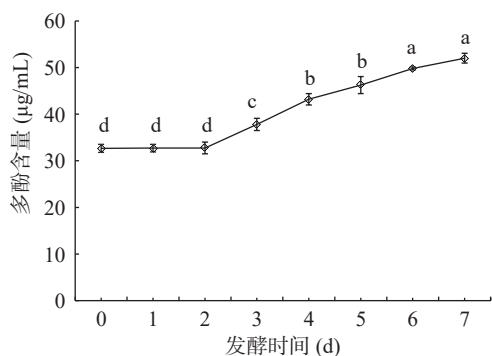


图6 发酵过程中多酚随时间的变化

Fig.6 Changes in polyphenols over time during fermentation

2.3.4 祛湿汤发酵前后黄酮的变化 黄酮类化合物是一种很强的抗氧化剂,可有效清除体内的氧自由基,具有抗肿瘤、抗病毒、抗炎等生物活性^[37]。通过对祛湿汤发酵过程中的黄酮含量的测定发现,发酵第0~7 d的黄酮含量分别为45.79、45.84、46.17、46.42、49.10、50.53、52.44、53.26 $\mu\text{g/mL}$,黄酮含量在发酵过程中显著提升($P<0.05$),见图7。这可能是微生物发酵促使祛湿汤中酶的活力增加,从而合成新的黄酮类化合物^[38]。有研究表明,黄酮含量越高,其功效越强^[39]。对比易桥宾等^[40]的研究,自然发酵可豆后其多酚与黄酮含量未得到提升,双菌发酵祛湿汤可以显著提升祛湿汤中多酚与黄酮的含量($P<0.05$),更具优势。由此可以猜测,DU-106与植物乳杆菌复配发酵可以通过酶降解的作用,有效利用药食同源材料中的有机物质增加祛湿汤中多糖、蛋白、多酚和黄

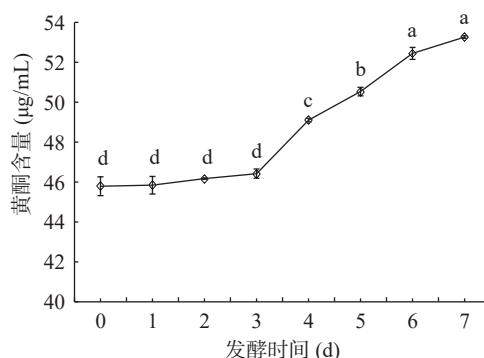


图7 发酵过程中黄酮随时间的变化

Fig.7 Changes in flavonoids over time during fermentation

酮的含量,从而提高祛湿汤的功效。

2.4 祛湿汤发酵前后水解氨基酸的变化

由表2可知,发酵第0~7 d的祛湿汤均含有18种氨基酸;各个样品均含有7种人体必需氨基酸(Essential amino acid, EAA)(色氨酸未检测),总氨基酸含量(Total amino acids, TAA)随发酵时间的增加而增加,在发酵第7 d祛湿汤的EAA和NEAA含量都得到显著提升($P<0.05$),EAA含量最高为65.00 mg/100 g, TAA达到最大值为429.00 mg/100 g。有研究表明, F值越大说明蛋白质潜在的生物活性可能越好^[41]。由表2可知,乳酸菌发酵后F值提高了,说明发酵可以提高祛湿汤的潜在生物活性功能。

2.5 祛湿汤发酵前后有机酸的变化

由2.1可知,祛湿汤总酸含量随发酵时间的增加而上升,这是因为乳酸菌在不断地产酸。通过对祛湿汤发酵前后的乳酸含量的测定得出,发酵第0 d的乳酸含量为0.02 mg/g,发酵第7 d的乳酸含量显著提升($P<0.05$),达到最大值为6.83 mg/g。由表3可知,对比其他有机酸,乳酸含量增加幅度最大。证明乳酸含量的增加是总酸含量增加的关键因素。

2.6 祛湿汤发酵前后挥发性风味物质变化分析

挥发性香气是发酵食品重要的品质之一,很大程度上会影响消费者接受程度和偏好^[42]。采用顶空固相微萃取-气质联用技术对第0~7 d的发酵祛湿汤进行分析,如表4所示,共测得65种挥发性物质,其中包括烯类9种,醇类18种,酯类6种,酮类10种,醛类18种和其他物质4种。发酵第0~7 d的祛湿汤分别检测出香气物质25、22、21、31、21、27、30和31种,前2 d正己醛、辛醇的相对含量较高,呈花果香气;后6 d苯甲醛的相对含量均为最高,分别为25.83%、53.72%、60.16%、60.40%、67.82%和64.75%;苯甲醛具有杏仁香气,是杏仁原料本身的特征香气。

对于发酵的祛湿汤来说,虽然醛类、酯类以及醇类等物质不是含量最高的物质,但是由于它们的阈值较低,它们对发酵祛湿汤香气也有重要的贡献。在发酵0 d组中,含量比较高的是醛类;接种乳酸菌后,由于乳酸菌进行乳糖、氨基酸等的物质代谢时,可使得

表 2 发酵祛湿汤的氨基酸含量
Table 2 Amino acid content of fermented Qushi decoction

氨基酸	含量(mg/100 g)							
	第0 d	第1 d	第2 d	第3 d	第4 d	第5 d	第6 d	第7 d
Tau	48.00±1.50 ^a	48.00±2.00 ^a	47.00±5.00 ^a	46.00±1.50 ^b	46.00±3.00 ^b	45.00±1.00 ^c	45.00±1.00 ^c	44.00±3.00 ^c
Asp	95.00±3.00 ^a	95.00±3.00 ^a	95.00±11.00 ^a	94.00±2.00 ^a	94.00±4.00 ^a	93.00±3.00 ^a	92.00±9.00 ^b	92.00±13.00 ^b
Thr ^r	6.00±0.00 ^c	6.00±0.00 ^c	6.00±0.50 ^c	7.00±1.50 ^b	7.00±0.00 ^b	7.00±0.50 ^b	9.00±0.00 ^a	9.00±0.50 ^a
Ser	7.00±1.00 ^b	7.00±0.00 ^b	8.00±0.00 ^a	8.00±1.00 ^a	8.00±0.00 ^a	9.00±1.00 ^a	9.00±0.00 ^a	10.00±1.00 ^a
Glu	51.00±3.00 ^d	52.00±8.00 ^d	54.00±6.00 ^d	57.00±2.00 ^d	59.00±5.00 ^d	66.00±6.00 ^c	73.00±3.00 ^b	82.00±6.00 ^a
Gly	9.00±0.00 ^c	9.00±0.00 ^c	10.00±1.00 ^c	13.00±0.00 ^b	14.00±0.00 ^b	14.00±1.00 ^b	16.00±2.00 ^a	17.00±1.00 ^a
Ala	10.00±0.00 ^d	11.00±0.00 ^d	14.00±0.50 ^d	18.00±4.00 ^c	23.00±4.00 ^b	27.00±3.00 ^b	31.00±0.50 ^a	35.00±2.50 ^a
Cys	13.00±2.00 ^a	13.00±0.00 ^a	11.00±0.00 ^b	11.00±0.00 ^b	10.00±0.00 ^b	7.00±0.00 ^c	6.00±0.00 ^c	5.00±0.00 ^c
Val ^r	8.00±0.00	8.00±2.00	8.00±0.00	9.00±0.50	9.00±1.50	10.00±2.00	10.00±0.00	10.00±0.00
Met ^r	2.00±0.00 ^c	2.00±0.00 ^c	3.00±0.00 ^c	3.00±0.00 ^c	5.00±0.50 ^b	5.00±0.00 ^b	7.00±1.00 ^a	8.00±0.50 ^a
Ile ^s	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	6.00±0.00	6.00±0.00	6.00±0.50	7.00±0.00	7.00±0.00
Leu ^r	10.00±0.00	10.00±0.00	11.00±0.00	11.00±0.00	12.00±1.50	12.00±0.00	13.00±0.00	14.00±1.00
Tyr	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00
Phe ^s	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	6.00±0.50	6.00±0.00	6.00±0.00
His	7.00±0.00 ^c	7.00±0.00 ^c	7.00±0.00 ^c	8.00±0.00 ^c	10.00±0.00 ^b	13.00±0.00 ^a	14.00±0.00 ^a	14.00±0.00 ^a
Lys ^s	5.00±0.50 ^c	5.00±0.00 ^c	6.00±0.00 ^b	6.00±0.00 ^b	7.00±0.00 ^b	8.00±0.00 ^b	10.00±1.00 ^a	11.00±0.50 ^a
Arg	29.00±0.50 ^c	30.00±2.00 ^c	30.00±4.00 ^c	34.00±0.50 ^b	36.00±0.00 ^b	37.00±3.00 ^b	40.00±7.50 ^a	42.00±1.50 ^a
Pro	24.00±0.00	24.00±1.00	24.00±0.00	23.00±2.00	23.00±2.00	22.00±3.00	22.00±2.00	22.00±3.50
TAA	335.00±11.50 ^c	338.00±18.00 ^c	345.00±28.00 ^c	360.00±15.00 ^b	375.00±21.50 ^b	388.00±24.50 ^b	411.00±27.00 ^a	429.00±34.00 ^a
EAA	41.00±0.50 ^c	44.00±2.00 ^c	47.00±0.50 ^c	51.00±2.00 ^b	54.00±3.50 ^b	62.00±3.50 ^a	65.00±2.00 ^a	65.00±2.50 ^a
NEAA	294.00±11.00 ^c	294.00±16.00 ^c	298.00±27.50 ^b	309.00±13.00 ^b	321.00±18.00 ^b	326.00±21.00 ^b	346.00±25.00 ^a	364.00±31.5 ^a
EAA/TAA(%)	12.24	13.02	13.62	14.17	14.40	15.98	15.82	15.15
NEAA/TAA(%)	87.76	86.98	86.38	85.83	85.60	84.02	84.18	84.85
F值	3.83	3.83	4.00	4.33	4.50	4.00	4.29	4.43

注: *, 必须氨基酸; TAA, 氨基酸总含量; EAA, 必需氨基酸总含量; NEAA, 非必需氨基酸总含量; F值=支链氨基酸含量/芳香族氨基酸含量; 同行肩标不同的小写字母表示具有显著差异(P<0.05); 表3、表5同。

表 3 祛湿汤中五种有机酸的标准曲线方程以及发酵前后含量变化

Table 3 Standard curve equation of five organic acids in Qushi decoction and the changes of their contents before and after fermentation

组分	第0 d (mg/g)	第1 d (mg/g)	第2 d (mg/g)	第3 d (mg/g)	第4 d (mg/g)	第5 d (mg/g)	第6 d (mg/g)	第7 d (mg/g)
苹果酸	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
乳酸	0.02±0.00 ^e	0.14±0.02 ^e	1.22±0.04 ^f	3.86±0.17 ^e	4.34±0.21 ^d	4.93±0.18 ^c	6.21±0.06 ^b	6.83±0.30 ^a
柠檬酸	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
酒石酸	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00	0.01±0.00
奎宁酸	1.34±0.13 ^c	1.53±0.04 ^b	1.68±0.20 ^b	1.97±0.33 ^a	2.24±0.09 ^a	2.55±0.41 ^a	2.61±0.02 ^a	2.74±0.08 ^a

表 4 祛湿汤发酵前后的挥发性物质

Table 4 Volatile compounds of Qushi decoction before and after fermentation

化合物名称	气味描述	相对含量(%)							
		第0 d	第1 d	第2 d	第3 d	第4 d	第5 d	第6 d	第7 d
烯类									
Dipentene 双戊烯	柠檬香气	2.07	-	11.08	10.79	0.40	0.43	0.27	0.27
γ-terpinene γ-松油烯	柑橘和柠檬香气	-	-	2.19	0.80	-	-	-	-
ALPHA-pinene ALPHA-蒎烯		-	-	-	0.17	-	-	-	-
Cyperene 莎草烯		-	-	-	0.20	-	-	-	-
ALPHA-lycolene ALPHA-律草烯	丁香香气	-	-	-	0.04	-	-	-	-
Δ-cadinene Δ-杜松烯		-	-	-	0.06	-	-	-	-
1, 11-dodecadiene 1,11-十二碳二烯		-	-	-	-	0.07	0.06	-	-

续表 4

化合物名称	气味描述	相对含量(%)								
		第0 d	第1 d	第2 d	第3 d	第4 d	第5 d	第6 d	第7 d	
(R-)-1-methyl-4-(1-methylvinyl) cyclohexene (R-)-1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己烯	鲜橙子香气	-	3.47	-	-	-	-	-	-	-
1-hexadecene 1-十六烯		-	-	0.48	-	-	-	-	-	-
总计		2.07	3.47	13.75	12.06	0.47	0.49	0.27	0.27	
醇类										
Octanol 辛醇	花香气	4.42	13.89	-	6.83	8.14	-	5.32	5.61	
Linalool 芳樟醇	铃兰香气	0.87	2.15	5.65	1.29	2.15	1.12	0.95	0.99	
(-)-4-terpineol (-)-4-萜品醇		0.49	-	-	-	-	-	-	-	
1-nonyl alcohol 1-壬醇	玫瑰和橙的愉快香气	-	9.96	10.90	4.78	6.10	6.01	4.96	5.73	
Hexyl alcohol 正己醇	浆果香气	-	-	-	1.37	-	1.23	1.08	0.97	
Geraniol 香叶醇	玫瑰香气	-	0.27	-	0.31	0.33	0.22	0.25	0.30	
2-decene-1-ol 2-癸烯-1-醇		-	-	1.05	0.49	0.76	0.74	0.58	0.74	
1-decyl alcohol 1-癸醇	花果香气	-	-	-	1.04	1.40	-	1.14	-	
2-heptadecanol 2-十七醇		-	-	-	0.21	-	-	-	-	
Benzyl alcohol 苯甲醇	微弱芳香气	-	-	-	-	3.83	4.41	4.92	6.14	
2-undecanol 2-十一醇		-	-	-	-	0.32	0.23	0.19	0.20	
Trans-2-undecenol 反-2-十一烯醇		-	-	1.17	0.60	1.15	0.81	0.74	0.90	
2-tridecanol 2-十三醇		-	-	-	-	0.20	-	-	-	
2,4-decadiene-1-ol 2,4-癸二烯-1-醇		-	-	0.64	-	-	-	0.53	0.65	
1,10-sebacic alcohol 1,10-癸二醇		-	-	-	-	-	-	0.06	-	
Cis-3-nonene-1-ol 顺-3-壬烯-1-醇		-	-	-	-	-	-	-	0.08	
Nerol 橙花醇	玫瑰的香甜气	-	-	0.38	-	-	-	-	-	
Lauryl alcohol 十二醇	刺激性气	-	-	2.51	-	-	-	-	-	
总计		5.78	26.27	22.30	16.92	24.38	14.77	20.72	22.31	
酯类										
Bornyl acetate 乙酸龙脑酯	清凉的松木香气	0.15	0.69	-	-	-	0.13	0.15	0.16	
Ethyl laurate 月桂酸乙酯	果香气	0.08	-	-	-	-	-	0.07	-	
Octyl chloroformate 氯甲酸正辛酯		-	-	-	-	-	7.94	-	-	
9-decene-1-alcohol acetate 9-癸烯-1-醇乙酸酯		-	-	-	-	-	0.09	-	-	
Ethyl decanoate 癸酸乙酯	椰子香气	-	0.19	-	-	-	-	0.10	-	
Ethyl palmitate 棕榈酸乙酯	呈微弱蜡香、果爵和奶油香气	-	-	-	-	-	-	-	0.02	
总计		0.23	0.88	0.00	0.00	0.00	8.16	0.32	0.18	
醛类										
Octyl aldehyde 正辛醛	水果香气	18.89	-	-	-	-	-	-	-	
Hexaldehyde 正己醛	呈生的油脂和青草气及苹果香气	19.60	-	-	-	-	-	-	-	
Heptyl aldehyde 庚醛	果子香气	10.22	-	-	-	-	-	-	-	
Benzaldehyde 苯甲醛	杏仁香气	3.11	8.83	25.83	53.72	60.16	60.40	67.82	64.75	

续表 4

化合物名称	气味描述	相对含量(%)							
		第0 d	第1 d	第2 d	第3 d	第4 d	第5 d	第6 d	第7 d
Trans-2-octenal 反-2-辛烯醛	花香气	1.73	2.67	—	—	—	—	—	—
Decyl aldehyde 癸醛	花果香气	5.00	3.67	0.55	0.52	0.72	0.43	0.36	0.62
2,4-dimethylbenzaldehyde 2,4-二甲基苯甲醛	水果香气	0.14	—	—	—	—	0.15	0.10	—
3,4-dimethylbenzaldehyde 3,4-二甲基苯甲醛		—	0.41	—	0.06	—	—	—	—
Trans-2-decenal 反式-2-癸烯醛	柑橘香气	4.70	5.49	1.72	—	—	0.91	—	0.83
(E,E)-2,4-dodecadienal (E,E)-2,4-十二碳二烯醛		0.46	—	—	—	—	—	—	—
Undecaldehyde 十一醛	木香橙皮香气	0.23	—	—	—	0.06	—	—	0.04
(E,E)-2,4-decadienal (E,E)-2,4-癸二烯醛	鸡油香气	2.77	7.94	—	0.82	0.62	0.54	0.94	1.18
2-butyl-2-octenal 2-丁基-2-辛烯醛		0.13	0.64	0.64	0.21	—	0.21	0.19	0.24
(E)-nonene aldehyde (E)-壬烯醛		—	—	—	0.35	—	—	—	—
Nonyl aldehyde 壬醛	强烈的油脂香气和甜橙香气	12.67	3.57	—	—	—	—	—	—
2-undecenal 2-十一烯醛	呈强烈新鲜醛气味	—	3.91	—	0.57	—	—	—	—
3,5-dimethylbenzaldehyde 3,5-二甲基苯甲醛		—	—	0.09	—	—	—	—	0.11
总计		79.65	37.13	28.83	56.25	61.56	62.64	69.41	67.77
酮类									
2-nonyl ketone 2-壬酮	草药香气	2.24	—	7.18	2.93	2.54	2.37	1.32	1.39
2-decyl ketone 2-癸酮	桃子香气	1.45	3.80	—	0.81	—	0.43	0.55	0.63
Geraniyl acetone 香叶基丙酮		0.27	0.50	0.23	—	—	0.06	0.06	0.06
Methyl nonyl ketone 甲基壬基甲酮	柑橘类油脂和芸香油似香气	—	8.82	12.02	4.38	3.72	3.06	2.10	2.04
Damasone 大马士酮	玫瑰香气	—	—	—	0.14	—	—	—	—
Orange acetone 橙化基丙酮		—	—	—	0.07	—	—	—	—
2-tridecanone 2-十三烷酮	坚果和药草气味	—	0.55	6.25	2.26	3.44	2.63	1.85	1.72
2-pentadecanone 2-十五烷酮		—	—	—	0.09	0.24	0.19	0.21	0.25
1-hydroxy-1-phenylacetone 1-羟基-1-苯丙酮		—	—	—	—	—	0.22	0.23	0.36
Phallenone 香附烯酮		—	—	—	—	—	—	—	0.03
总计		3.96	13.67	25.68	10.68	9.94	8.96	6.32	6.48
其他									
2-n-pentyl furan 2-正戊基呋喃		5.94	—	—	—	—	—	—	—
Caprylic acid 辛酸	水果香气	1.26	11.89	6.06	3.19	3.36	2.72	1.89	1.97
Pelargonic acid 壬酸	浆果香气	1.11	6.65	3.38	—	—	1.76	1.05	1.02
Heptanoic acid 庚酸	脂肪气味	—	—	—	0.92	—	—	—	—
总计		8.31	18.54	9.44	4.11	3.36	4.48	2.94	2.99

注: —表示未检出, 数值为三次重复的平均数, 标准差均小于10%。

相应的醛类物质通过脱氢酶还原形成某些醇^[43]; 经过乳酸菌发酵后, 大量的酸被产生, 酸与醇类物质发生酯化反应生成酯类物质, 因此酯类和醇类物质种类和

含量得到提升, 丰富了祛湿汤的风味。

2.7 发酵前后祛湿汤的感官评价

感官品质是食品是否可以获得消费者认可的关

表5 发酵祛湿汤的感官评价
Table 5 Sensory evaluation of fermented Qushi decoction

感官指标	不同发酵天数			
	发酵0 d组	发酵3 d组	发酵5 d组	发酵7 d组
色泽	21.00±1.54	21.30±1.47	21.80±1.62	22.00±1.64
气味	19.20±0.90	19.90±1.39	20.20±1.56	20.50±1.73
滋味	13.90±0.92 ^c	14.40±1.43 ^c	19.60±1.88 ^b	22.03±2.57 ^a
外观澄清度	19.30±0.86	19.70±1.75	19.20±1.79	19.90±2.16
总分	72.60±4.22 ^c	75.30±6.04 ^c	80.80±6.85 ^b	84.43±8.10 ^a

键指标。发酵第 0、3、5 和 7 d 的祛湿汤感官评定结果如表 5 所示。从色泽上看, 各组发酵祛湿汤色泽均匀, 颜色微微发黄。在其气味上, 发酵第 0 d 组无发酵香气, 发酵时间越长, 发酵香气越浓, 各组均无其他异味, 差异较为明显。从滋味来看, 发酵第 0 d 组无发酵酸味、滋味较为单一; 第 3 d 组与第 5 d 组酸度不够浓郁; 发酵第 7 d 组滋味协调、酸甜适中。从外观澄清度上看, 每组得分差别不大, 均无大量沉淀。综合得分高低为: 发酵第 7 d 组>发酵第 5 d 组>发酵第 3 d 组>发酵第 0 d 组。发酵第 7 d 组是 4 个发酵组中感官品质最好的; 发酵 0 d 组的气味、滋味较其他组差。复合菌发酵在一定程度上改善了祛湿汤的香气与滋味, 使得香气具有独特的发酵风味, 更受人们喜爱。

3 结论

本试验探究了乳酸芽孢杆菌 DU-106 与植物乳杆菌复配发酵对祛湿汤理化性质和风味口感的影响。结果表明: 发酵过程中, 乳酸芽孢杆菌 DU-106 和植物乳杆菌发酵能通过消耗还原糖来显著降低 pH、提高总酸含量, 最高可达 11.00 g/kg。多糖、蛋白质、多酚、黄酮等活性成分的含量也随发酵时间的增加而提高, 且在发酵第 7 d 达到最大含量, 含量分别为 20.95、1.66 mg/mL、52.45、53.26 μg/mL。总氨基酸含量、必需氨基酸含量和 F 值也随发酵时间的增加而增加, 且在发酵第 7 d 达到最大值为 429 mg/100 g, 必需氨基酸含量最高为 65 mg/100 g。有机酸特别是乳酸在发酵后含量大大增加, 含量最高达到 6.83 mg/g。由此可猜测, 发酵可以通过提高祛湿汤中的活性成分种类及含量, 从而提升祛湿汤的功效及营养价值。益生菌发酵后能显著改变祛湿汤香气成分, 增加酯类和醇类物质的种类及相对含量, 使得祛湿汤获得特殊的发酵香气。发酵后的祛湿汤在活性成分含量及风味方面都比发酵前组有所提升。

因此, 双菌发酵有利于从多个方面提升祛湿汤的品质, 解决祛湿汤营养价值不高和风味口感不好的问题。发酵后祛湿汤的功效评价仍需进一步探索。本研究为发酵技术提高祛湿汤功效或是药食同源材料祛湿产品开发提供了前期的基础和理论依据。

参考文献

[1] 张平, 谭琰, 高峰, 等. 三仁汤中三焦理论的临床应用及优势探讨[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(7): 193-200. [ZHANG

P, TAN Y, GAO F, et al. Clinical application and advantages of san-jiao theory in Sanren Decoction[J]. Chinese Journal of Experimental Formulae, 2021, 27(7): 193-200.]

[2] 蒋晨. 脾湿肥胖试试薏米赤小豆汤[N]. 中国中医药报, 2015(6): 6. [JIANG C. Try the soup of pearl barley and red bean for spleen dampness obesity[N]. China Journal of Traditional Chinese Medicine, 2015(6): 6.]

[3] 蔡朝霞. 参苓白术散治疗慢性泄泻脾胃虚弱证的临床效果[J]. 内蒙古中医药, 2021, 40(10): 45-46. [CAI Z X. Clinical effect of Shenling Baizhu Powder on chronic diarrhea syndrome of spleen and stomach weakness[J]. Inner Mongolia Journal of Traditional Chinese Medicine, 2021, 40(10): 45-46.]

[4] ZHOU X, ZHANG Y, JIANG Y, et al. *Poria cocos* polysaccharide attenuates damage of nervus in Alzheimer's disease rat model induced by D-galactose and aluminum trichloride[J]. NeuroReport, 2021, 32(8): 727-737.

[5] YANG R, LI W D, MA Y S, et al. The molecular identification of licorice species and the quality evaluation of licorice slices[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2017, 52(2): 18-26.

[6] SHEN X, QIU Z Z, WANG Y Q, et al. Exploring the potential pharmacological mechanism of Coix seed on pneumonia based on network pharmacology and molecular docking[A]. Asia-Pacific Association of Science, Engineering and Technology (APASET), Bahri Dagdas International Agricultural Research Institute, 2020: 10.

[7] 刘瑞新, 李学林, 吴子丹, 等. 论中药煎剂掩味研究的必要性、现状与对策[J]. 中国药房, 2012, 23(27): 2497-2500. [LIU R X, LI X L, WU Z D, et al. Necessity, current situation and countermeasures of occultation of Chinese herbal decoctions[J]. China Pharmacy, 2012, 23(27): 2497-2500.]

[8] 苗艳, 朱庆贺, 兰世捷, 等. 中药益生菌发酵在兽医临床中的研究进展[J]. 现代畜牧科技, 2021(9): 14-17, 22. [MIAO Y, ZHU Q H, LAN S J, et al. Research progress of traditional Chinese medicine probiotic fermentation in veterinary clinic[J]. Modern Animal Science and Technology, 2021(9): 14-17, 22.]

[9] 史学琴, 陈航, 张琳, 等. 药食同源原料发酵酒的研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(3): 120-129. [SHI X Q, CHEN H, ZHANG L, et al. Research progress of fermented wine with homologous ingredients of medicine and food[J]. Food and Fermentation Technology, 2021, 57(3): 120-129.]

[10] 周映君, 谢纯良, 陈柏忠, 等. 不同酵母菌与植物乳杆菌复合发酵对新会柑酵素品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 118-125. [ZHOU Y J, XIE C L, CHEN B Z, et al. Effects of different yeast and *Lactobacillus plantarum* combined fermentation on

- the quality of Xinhui quan enzyme[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(6): 118–125.]
- [11] 吴姗姗, 田文妮, 陆思名, 等. 酵母菌和乳酸芽孢杆菌发酵佛手果酒工艺[J]. *食品工业*, 2019, 40(12): 74–77. [WU S S, TIAN W N, LU S M, et al. Fermentation technology of bergamot wine by yeast and *Bacillus lactate* [J]. *Food Industry*, 2019, 40(12): 74–77.]
- [12] OGODO A C, AGWARANZE D I, ALIBAN V, et al. Fermentation by lactic acid bacteria consortium and its effect on anti-nutritional factors in maize flour[J]. *Journal of Biological Sciences*, 2019, 19(1): 17–23.
- [13] REN Y H, WU S S, XIA Y, et al. TI probiotic-fermented black tartary buckwheat alleviates hyperlipidemia and gut microbiota dysbiosis in rats fed with a high-fat diet[J]. *Food & Function*, 2021, 12(13): 6045–6057.
- [14] HUANG J Z, XIAO N, SUN Y, et al. Supplementation of *Bacillus* sp. DU-106 reduces hypercholesterolemia and ameliorates gut dysbiosis in high-fat diet rats[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2021, 105(12): 1–13.
- [15] TIAN W N, DAI L, LU S, et al. Effect of *Bacillus* sp. DU-106 fermentation on *Dendrobium officinale* polysaccharide: Structure and immunoregulatory activities[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 135: 1034–1042.
- [16] PAN L, TIAN W, ZHUO J, et al. Genomic characterization and probiotic potency of *Bacillus* sp. DU-106, a highly effective producer of L-lactic acid isolated from fermented yogurt[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018: 9.
- [17] 刘玉冰, 梁钻好, 黎攀, 等. 产乳酸芽孢杆菌制备高黄酮含量的砂仁发酵饮料[J]. *农产品加工*, 2019(14): 8–11, 14. [LIU Y B, LIANG Z H, LI P, et al. Production of *Bacillus lactate* to prepare amomum fermented beverage with high flavonoid content[J]. *Agricultural Products Processing*, 2019(14): 8–11, 14.]
- [18] CEBECI A, C GÜRAKAN. Properties of potential probiotic *Lactobacillus plantarum* strains[J]. *Food Microbiology*, 2003, 20(5): 511–518.
- [19] TAO X, XIAO L, GUAN Q, et al. Starter culture fermentation of Chinese sauerkraut: Growth, acidification and metabolic analyses[J]. *Food Control*, 2014, 41(1): 122–127.
- [20] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. GB 12456-2021. 食品安全国家标准食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021. [The State Health Commission of the People's Republic of China and the State Administration of Market Supervision and Administration. GB 12456-2021. National food safety standard. Determination of total acids in foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2021.]
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.7-2016. 食品安全国家标准食品中还原糖的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [The State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.7-2016. National food safety standard. Determination of reducing sugar in foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [22] 刘培, 王伊楠, 张莉丹, 等. 四君子汤中总多糖、总黄酮和总皂苷提取工艺优化[J]. *辽宁中医药大学学报*, 2020, 22(4): 67–71. [LIU P, WANG Y N, ZHANG L D, et al. Extraction technology optimization of total polysaccharides, total flavonoids and total saponins from Sijunzi decoction[J]. *Journal of Liaoning University of Chinese Medicine*, 2020, 22(4): 67–71.]
- [23] 周艳星, 侯敢, 陈泳诗, 等. 乳制品饮料中蛋白质含量测定方法的比较分析[J]. *食品安全导刊*, 2021(9): 101–103. [ZHOU Y X, HOU G, CHEN Y S, et al. The determination method of protein in dairy drinks comparative analysis[J]. *Journal of Food Safety Tribune*, 2021(9): 101–103.]
- [24] 李娜, 胡月月, 葛亮. 不同产地沙棘中总黄酮、总多酚含量测定及其抗氧化活性研究[J]. *化学与生物工程*, 2021, 38(8): 64–68. [LI N, HU Y Y, GE L. Determination of total flavonoids and total polyphenols in *Hippophae rhamnoides* from different producing areas and their antioxidant activities[J]. *Chemical & Biological Engineering*, 2021, 38(8): 64–68.]
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.124-2016. 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [State Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, State Food and Drug Administration. GB 5009.124-2016. National food safety standard. Determination of amino acids in foods[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]
- [26] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 40179-2021. 植物中有机酸的测定 液相色谱-质谱/质谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021. [State Administration of Market Supervision and Administration, State Standardization Administration Commission. GB/T 40179-2021. Determination of organic acids in plants liquid chromatography mass spectrometry/mass spectrometry[S]. Beijing: China Standards Press, 2021.]
- [27] 李婷婷, 黄名正, 唐维媛, 等. 刺梨汁中挥发性成分测定及其呈香贡献分析[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 237–246. [LI T T, HUANG M Z, TANG W Y, et al. Determination of volatile components in *Roxburgh rose* juice and their aroma contribution analysis[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(4): 237–246.]
- [28] HAN K G, PANG F P, CAO J, et al. Fermentation of sheep bone enzymatic hydrolysates by *Lactobacillus plantarum*[J]. *Journal Article*, 2018, 34(6): 945–955.
- [29] 张平, 阮旻, 李汴生. 超高压前处理提升植物乳杆菌发酵梨汁的风味品质[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(12): 230–239, 300. [ZHANG P, RUAN Z, LI B S. Ultrahigh pressure before processing to improve the quality of pear juice plant lactobacillus fermentation flavor[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2021, 37(12): 230–239, 300.]
- [30] YE M, LI S Y, ZHANG L B, et al. Fermentation and polysaccharide antioxidative activity of a *Libertella* strain[J]. *Acta Microbiologica Sinica*, 2008, 48(10): 1398–1402.
- [31] 何彩文, 蒋咏梅, 章文贤. 液体静置发酵生产茯苓多糖条件的研究[J]. *生物化工*, 2020, 6(1): 32–34. [HE C W, JIANG Y M, ZHANG W X. Study on the production conditions of poria cocos polysaccharide by liquid static fermentation[J]. *Biochemical Engineering*, 2020, 6(1): 32–34.]
- [32] 王禹璇. 中药黄芪蛋白诱导 HepG2 细胞发生程序性坏死机制研究[D]. 太原: 山西中医药大学, 2020. [WANG Y X. Study on the mechanism of programmed necrosis induced by Astragalus

- protein in HepG2 cells [D]. Taiyuan: Shanxi University of Traditional Chinese Medicine, 2020.]
- [33] YIN H M, ZHONG Y D, XIA S K, et al. Effects of fermentation with *Lactobacillus plantarum* NCU137 on nutritional, sensory and stability properties of Coix (*Coix lachryma-jobi* L.) seed[J]. Food Chemistry, 2019, S0308-8146(19): 32182-X.
- [34] 韩晓春, 吕佳捷, 顾良臻, 等. 脾虚湿阻证大鼠肠道离子转运功能差异及薏苡仁作用[J]. 北京中医药大学学报, 2020, 43(7): 583-591. [HAN X C, LÜ J J, GU L Z, et al. Difference of intestinal ion transport function and coix seed function in rats with dampness resistance of spleen deficiency[J]. Journal of Beijing University of Traditional Chinese Medicine, 2020, 43(7): 583-591.]
- [35] LI L L, LIU X, QIU Z T, et al. Microbial synthesis of plant polyphenols[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2021, 37(6): 2050-2076.
- [36] HUO Y, ZHAO A, SONG J, et al. Betelnut polyphenols provide protection against high-altitude hypoxia in rats[J]. Journal of Southern Medical University, 2021, 41(5): 671-678.
- [37] SONG P, HAO J, WANG Y, et al. Polycyclic polyprenylated acylphloroglucinols from *Hypericum* species and their biological activities[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(19): 4881-4890.
- [38] 冯小飞, 马建鹏, 郎丹, 等. 3种食药真菌固体发酵对苦荞营养成分、总黄酮含量和抗氧化活性的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2021, 50(2): 276-282. [FENG X F, MA J P, LANG D, et al. Effects of solid fermentation of three edible and medicinal fungi on nutrient composition, total flavonoid content and antioxidant activity of tartary buckwheat[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science), 2021, 50(2): 276-282.]
- [39] ZHANG X H, LIU J D, YU F W, et al. Beneficial effects and related mechanism of hawthorn leaves flavonoids on cardiac function in rats with acute myocardial infarction[J]. Zhonghua Xin Xue Guan Bing Za Zhi, 2021, 49(7): 701-707.
- [40] 易桥宾, 谷凤林, 那治国, 等. 发酵和焙烤对可可豆多酚、黄酮和风味品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 62-69. [YI Q B, GU F L, NA Z G, et al. Effects of fermentation and baking on polyphenols, flavones and flavor quality of cocoa bean[J]. Food Science, 2015, 36(15): 62-69.]
- [41] 徐杰, 廖津, 林泽安, 等. 石斑鱼肉肽粉的氨基酸组成分析与营养价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(23): 221-226. [XU J, LIAO J, LIN Z A, et al. Grouper meat peptide powder, amino acid composition analysis and evaluation of nutritional value[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(23): 221-226.]
- [42] 李俊健, 高杰贤, 林锦铭, 等. 不同发酵方式对柚皮泡菜理化特性和风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(20): 212-218. [LI J J, GAO J X, LIN J M, et al. Different fermentation methods on the physical and chemical properties and flavor of pomelo peel kimchi[J]. The Influence of Food and Fermentation Industry, 2021, 47(20): 212-218.]
- [43] 周春丽, 刘伟, 李慧, 等. 混合菌株发酵南瓜汁及其香气分析[J]. 现代食品科技, 2014, 30(5): 301-310. [ZHOU C L, LIU W, LI H, et al. Fermented pumpkin juice by mixed strains and its aroma analysis[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(5): 301-310.]