

复合益生菌发酵马铃薯浓汁菌株筛选与工艺优化

焦昱玮, 窦兆婷, 田 硕, 刘 敏, 方海田

Screening and Process Optimization of Hybrid Probiotics for Fermented Potato Juice

JIAO Yuwei, DOU Zhaoting, TIAN Shuo, LIU Min, and FANG Haitian

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023100095>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

响应面优化植物乳杆菌发酵番茄汁工艺及其品质评估

Response Surface Optimization of the Fermentation Process of Tomato Juice by *Lactobacillus plantarum* and Its Quality Evaluation

食品工业科技. 2022, 43(10): 246–253 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021080285>

植物乳杆菌-Gm4发酵制备酸面团粉的工艺优化

Process Optimization of *Lactobacillus plantarum*-Gm4 Fermentation for Sourdough Powder

食品工业科技. 2022, 43(11): 228–234 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021090364>

植物乳杆菌和肠膜明串珠菌混合发酵泡萝卜的工艺优化

Process Optimization on Mixed Fermentation of Pickled Radish with *Lactobacillus plantarum* and *Leuconostoc mesenteroides*

食品工业科技. 2023, 44(3): 172–182 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040282>

植物乳杆菌发酵对蕨菜品质的影响

Effect of *Lactobacillus plantarum* Fermentation on the Quality of *Pteridium aquilinum*

食品工业科技. 2021, 42(14): 133–137 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120274>

植物乳杆菌ZU018增殖培养基的优化

Optimization of *Lactobacillus plantarum* ZU018 Proliferation Medium

食品工业科技. 2020, 41(14): 94–100 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.14.016>

具有益生特性植物乳杆菌的筛选及其发酵特性的研究

Screening of *Lactobacillus plantarum* with Probiotic Properties and Its Fermentation Characteristics

食品工业科技. 2020, 41(17): 109–113,120 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.17.018>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

焦昱玮, 窦兆婷, 田硕, 等. 复合益生菌发酵马铃薯浓汁菌株筛选与工艺优化 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(6): 164–169. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100095

JIAO Yuwei, DOU Zhaoting, TIAN Shuo, et al. Screening and Process Optimization of Hybrid Probiotics for Fermented Potato Juice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(6): 164–169. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100095

· 生物工程 ·

复合益生菌发酵马铃薯浓汁菌株筛选与 工艺优化

焦昱玮¹, 窦兆婷², 田硕², 刘敏^{2,*}, 方海田^{1,*}

(1. 宁夏大学食品科学与工程学院, 宁夏银川 750000;

2. 内蒙古农业大学职业技术学院, 内蒙古包头 014109)

摘要: 马铃薯浓汁为生产马铃薯口服液后剩余料液, 其本身含有丰富的营养物质, 为增强浓汁的保健功能, 以其为原料, 选择 4 株益生菌对其进行发酵, 经过单菌株发酵实验, 以产酸效率与活菌数为指标, 得到适合浓汁发酵的植物乳杆菌 A (*Lactiplantibacillus plantarum* A)、植物乳杆菌 B (*Lactiplantibacillus plantarum* B)、副干酪乳杆菌 (*Lactocaseibacillus paracasei*), 再将其进行复配, 以活菌数与感官评分为指标, 对马铃薯浓汁复合益生菌发酵工艺进行优化。结果表明, 复合益生菌发酵浓汁最佳工艺条件为: 发酵温度 37 °C, 菌株接种量 1.5%, 发酵时间 12 h, 菌株复配比例 1:1:2, 此条件下得到的复合益生菌发酵马铃薯浓汁活菌数可达到 12.63×10^8 CFU/mL, 感官评分 81.7 分。

关键词: 马铃薯浓汁, 植物乳杆菌 A, 植物乳杆菌 B, 副干酪乳杆菌, 工艺优化

中图分类号: TS05

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)06-0164-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100095



本文网刊:

Screening and Process Optimization of Hybrid Probiotics for Fermented Potato Juice

JIAO Yuwei¹, DOU Zhaoting², TIAN Shuo², LIU Min^{2,*}, FANG Haitian^{1,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750000, China;

2. College of Vocational Technology, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou 014109, China)

Abstract: Concentrated juice was the remaining material liquid after the production of potato oral liquid, which itself contained rich nutrients. In order to enhance the health function of concentrated juice, four strains of probiotics were selected for fermentation using concentrated juice as raw material. After single strain fermentation experiment, *Lactobacillus plantarum* A, *Lactobacillus plantarum* B and *Lactobacillus paracei* suitable for concentrated juice fermentation were obtained by acid production efficiency and viable bacteria number as indicators, and then compounded, and the compound probiotics fermentation process of potato concentrated juice was optimized by using viable bacteria number and sensory score as indicators. The results showed that the optimum compound probiotics fermentation conditions of concentrated juice were as follows: fermentation temperature 37 °C, inoculum size 1.5%, fermentation time 12 h, strain combination ratio 1:1:2. Under these conditions, the viable bacteria number in the compound probiotics fermentation of potato concentrated juice could reach 12.63×10^8 CFU/mL, and sensory score was 81.7 points.

Key words: potato gravy; *Lactobacillus plantarum* A; *Lactobacillus plantarum* B; *Lactobacillus paracei*; process optimization

收稿日期: 2023-10-16

基金项目: 内蒙古农业大学创新创业训练项目 (202310129056); 内蒙古农业大学职业技术学院“一生一品”工程项目 (NDZYYSYP202216)。

作者简介: 焦昱玮 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 健康食品生物制造, E-mail: 15848112722@163.com。

* 通信作者: 刘敏 (1975-), 女, 硕士, 教授, 研究方向: 农畜产品贮藏加工, E-mail: Minliu0000@163.com。

方海田 (1978-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 健康食品生物制造, E-mail: fanght@nxu.edu.cn。

益生菌是一种具有活性的有益微生物,乳杆菌属和双歧杆菌属为常见益生菌^[1]。当其达到一定使用量(10^6 CFU/mL)时,对调节胃肠道生物平衡、治疗抑郁精神疾病、治疗非酒精性脂肪肝病、抗病毒等方面都具有一定作用^[2-5]。目前益生菌发酵应用最成熟的食物领域主要是在乳制品方面,由于一部分人群存在乳糖不耐受等情况,导致益生菌发酵乳制品具有一定的局限性^[6]。因此选用益生菌发酵除乳制品以外原料成为研究热点。

马铃薯作为四大主粮之一,在全球已经登上近 1 亿人的餐桌^[7],其在农业中的地位紧随玉米、小麦和大米等谷物^[8]。作为拥有领先世界的马铃薯种植面积以及产量大国^[9-10],我国的马铃薯早已成为餐桌上常见的主食,因此人们对马铃薯所含有的营养物质以及保健功效也在不断深入探索。有研究表明马铃薯可以为人类日常饮食提供关键营养素^[11],其中包括维生素 C、钾、氨基酸和膳食纤维^[12-14]。维生素 C 具有抗氧化、抗病毒以及预防心血管疾病等作用^[15-17],是人体不可或缺的营养素;钾作为人体不可缺少的矿物质,在马铃薯中也具有一定含量,在预防骨质疏松等疾病方面有一定的作用^[18];在氨基酸方面,马铃薯更是拥有着非常全面的人体所必需氨基酸,比如其他谷物所缺少的赖氨酸更是含量丰富^[19-20];并且马铃薯中的其他化合物也已被证明在抗氧化、抗炎和抗高血脂方面具有一定作用^[21]。

马铃薯丰富的碳源以及多种营养成分可以作为理想的益生菌发酵基质。刘媛等^[22]以马铃薯全粉为原料,得到一款新型甜酒曲发酵马铃薯饮料,其具有细腻柔和的口感以及较好的香味,感官评分高达 9.2。何维^[23]用植物乳杆菌 HQ-3 为菌株,紫色马铃薯为原料在最佳工艺条件下得到一款发酵饮料,活菌数为 $9.38 \lg(\text{CFU/mL})$,感官评分为 85.23。刘聪慧等^[24]利用复合益生菌对马铃薯进行发酵,在经过优化的最佳发酵条件下其产品活菌数为 9.3×10^8 CFU/mL。这说明益生菌发酵马铃薯不仅能够赋予其特殊的风味与保健功能,还可以改善马铃薯自身缺陷等问题。

马铃薯口服液由新鲜马铃薯采用低温提取和凝胶过滤层析法处理后得到的马铃薯提取液制备^[25]。在制备马铃薯提取液过程中会产生大量滤渣,将其称之为浓汁,工厂生产过程中这部分浓汁通常被当作无法利用的废料被直接排放。但这些浓汁中仍然含有大量可溶性淀粉,因此将其经过酶解后可以得到足量的还原糖,这部分还原糖恰好可以为益生菌的生长和繁殖提供碳源。

本研究以浓汁为原料,植物乳杆菌 A(*Lactobacillus plantarum* A)、植物乳杆菌 B(*Lactobacillus plantarum* B)、副干酪乳杆菌(*Lactobacillus paracei*)、嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*)为发酵菌株,选出三株在发酵浓汁时活菌数与产酸效率都较

高的菌株,将选出的几株菌进行复配,对不同菌种配比、接种量、发酵温度发酵后产品的活菌数及感官评分进行研究分析,开发一款“变废为宝”的饮料,为后续马铃薯发酵饮料的工艺优化奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

植物乳杆菌 A 宁夏大学食品科学与工程学院分离保存;植物乳杆菌 B、副干酪乳杆菌 丹麦 Chr.Hansen 公司;马铃薯 内蒙古薯元康生物科技有限公司;MRS 液体培养基、MRS 固体培养基 广东环凯微生物科技有限公司;氢氧化钠、氯化钠 天津鑫铂特化工有限公司;酚酞 天津永晟精细化工有限公司。

SW-CJ-2D 型超净台 上海皓庄仪器有限公司;HWS-250B 型恒温恒湿培养箱 天津市泰斯仪器有限公司;SX-700 型灭菌锅 日本汤米仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 马铃薯浓汁的制备及发酵前处理 工艺流程如图 1 所示。

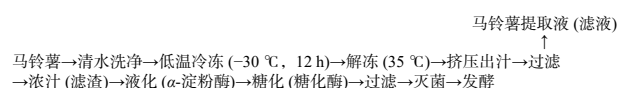


图 1 工艺流程图

Fig.1 Process flow chart

1.2.2 菌种活化 将冻干菌置于 MRS 液体培养基,以说明书要求温度培养 48 h 后传代 2 次,再将活化后的菌液接种到灭菌的马铃薯浓汁中。

1.2.3 单菌株筛选

1.2.3.1 单菌株筛选与发酵特性研究 将活化后的植物乳杆菌 A、植物乳杆菌 B、副干酪乳杆菌(*Lactobacillus paracei*)、嗜酸乳杆菌以 1.5%的接种量接入经过灭菌的马铃薯浓汁中,在 37 °C 的条件下发酵 12 h,期间每隔 2 h 测一次酸度。待到达发酵终点时测发酵液活菌数与酸度,选出活菌数高且产酸快的 3 株菌进行后续益生菌复合协同发酵试验。

1.2.3.2 复合菌株协同发酵特性研究 将挑选出的 3 株菌以 1.5%的接种量(双菌株接种配比 1:1,3 菌株接种配比 1:1:1)接入马铃薯浓汁中,在 37 °C 条件下发酵 12 h。

1.2.4 复合菌株发酵工艺条件的确定

1.2.4.1 单因素实验 实验选择菌种接种量(0.5%、1%、1.5%、2%、2.5%),发酵温度(31、34、37、40、43 °C),菌种配比(1:1:2、2:1:1、1:2:1、1:1:1、2:1:2、1:2:2、2:2:1),发酵时间(4、6、8、10、12 h)进行单因素实验,以活菌数和酸度为指标,研究不同因素对发酵工艺的影响。

1.2.4.2 正交试验 以马铃薯浓汁发酵时间、发酵温度、复合菌种配比、发酵菌株接种量为因素,结合分

析单因素结果和 $L_9(3^4)$ 正交试验设计方法(表 1), 得到浓汁最佳发酵工艺条件。

表 1 发酵工艺正交试验因素水平设计
Table 1 Fermentation process orthogonal test factor level design

水平	A 发酵温度(°C)	B 接种量(%)	C 菌种配比	D 发酵时间(h)
1	34	0.5	2:1:1	8
2	37	1	2:2:1	10
3	40	1.5	1:1:2	12

1.2.5 指标测定方法 酸度: 氢氧化钠直接滴定法, 最后得到的酸度数值均以乳酸计; 活菌数: MRS 固体培养基平板计数法, 37 °C 培养 48 h^[26];

1.2.6 感官评定 参照葛永辉等^[27]、袁辛锐等^[28] 的方法制定发酵饮料感官评分标准, 产品在 4 °C 条件下后熟 1 d, 请 10 名具有专业背景的老师与同学从色泽、口感、香气、形态方面进行评分。评分标准见表 2。

表 2 感官评分标准
Table 2 Sensory rating criteria

指标	评分标准	分数(分)
色泽(0~25分)	呈现棕黑色, 色泽均匀透彻	20~25
	呈现较不明显棕黑色, 色泽较均匀	10~19
	不能呈现棕黑色, 色泽不均匀, 有杂色	<8
口感(0~25分)	口感协调, 酸甜适中	20~25
	口感较协调, 酸味稍重	10~19
	口感不协调, 酸味过重	<8
香气(0~25分)	香气协调, 具有特殊薯汁发酵香味	20~25
	香气适中, 特殊薯汁发酵香味较淡	10~19
	香气不协调, 无特殊薯汁发酵香味, 有其他杂味	<8
形态(0~25分)	饮料形态均匀, 无沉淀	20~25
	饮料形态较均匀, 略有沉淀	10~19
	饮料形态不均匀, 有沉淀	<8

1.3 数据处理

运用 SPSS22.0 进行方差分析和差异显著性分析, $P<0.05$ 表示具有显著性差异。并采用 Origin 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 单菌株筛选与发酵特性的研究

2.1.1 单菌株活菌数 由图 2 可知经过 12 h 的发酵, 发酵浓汁中的活菌数均在 10^8 CFU/mL 以上, 符合益生菌发酵饮料的活菌数要求标准。到达发酵终点时, 植物乳杆菌 A、植物乳杆菌 B、副干酪乳杆菌、嗜酸乳杆菌在发酵浓汁中活菌数有明显差异, 嗜酸乳杆菌的活菌数为 4.1×10^8 CFU/mL 显著 ($P<0.05$) 低于其他 3 株菌; 植物乳杆菌 A 的活菌数为 1.03×10^9 CFU/mL, 显著 ($P<0.05$) 高于其他菌株, 这一结果说明植物乳杆菌 A 相较于嗜酸乳杆菌更适合在马铃薯浓汁中生长。

2.1.2 单菌株产酸性能 由图 3 可知, 随着发酵时间

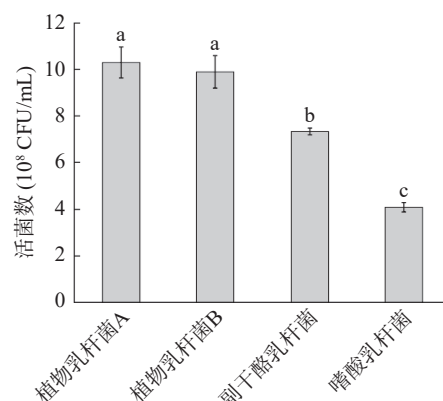


图 2 单菌株发酵马铃薯浓汁 12 h 活菌数

Fig.2 Viable number at 12 h of fermented potato juice by single strain

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 图 4、图 6~图 9 同。

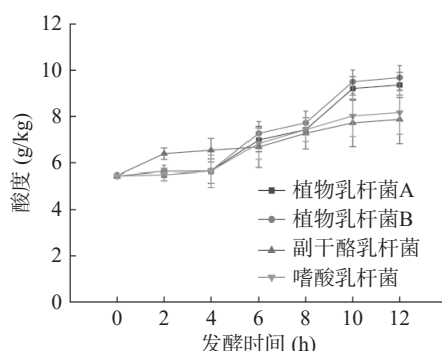


图 3 单菌株发酵马铃薯浓汁酸度变化

Fig.3 Acidity change of potato juice fermented by single strain

的增加, 发酵浓汁的酸度显著升高, 各菌株之间的产酸能力也存在一定差异。植物乳杆菌 A 和植物乳杆菌 B 的酸度在发酵 12 h 分别达到了 9.36 g/kg 和 9.68 g/kg, 并且由斜率可以看出其产酸速度均高于其他 2 株菌, 由此可知在马铃薯浓汁中 2 株植物乳杆菌的性能都得到了很好的发挥, 并且其高效得产酸效率也大大降低了发酵过程中马铃薯浓汁被污染的风险。副干酪乳杆菌和嗜酸乳杆菌在发酵 0~8 h 之间产酸效率较高, 随着发酵时间的增加其产酸能力逐渐下降, 这有可能是因为繁殖过程中代谢产出大量乳酸等酸类化合物^[29], 在后续发酵过程中对菌株的生长发育与性能造成一定的影响。

2.2 复合菌株协同发酵性能的研究

2.2.1 复合菌株协同发酵活菌数 由上可知嗜酸乳杆菌在马铃薯浓汁中的发酵性能相较于其他 3 株菌较差, 因此只选用植物乳杆菌 A、植物乳杆菌 B、副干酪乳杆菌进行复合菌株协同发酵。不同菌株组合发酵浓汁活菌数如图 4 所示。

由图 4 可以看出, 复合菌株协同发酵与单菌株发酵活菌数具有一定差异。经过 12 h 发酵复合菌株发酵浓汁活菌数均高于单菌株发酵浓汁, 这有可能是复合菌株之间存在互利共生机制。其中 ABC 组合活菌数相较于其他组合略高, 发酵 12 h 后达到了 1.43×10^9 CFU/mL。

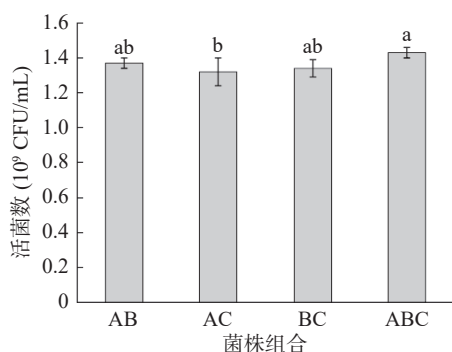


图 4 复合菌株发酵马铃薯浓汁 12 h 活菌数

Fig.4 Viable number at 12 h of fermented potato juice by composite strains

注: A: 植物乳杆菌 A; B: 植物乳杆菌 B; C: 副干酪乳杆菌。

2.2.2 复合菌株协同发酵产酸性能 发酵条件与接种量见 1.2.3.2, 不同菌株组合协同发酵浓汁酸度如图 5 所示。

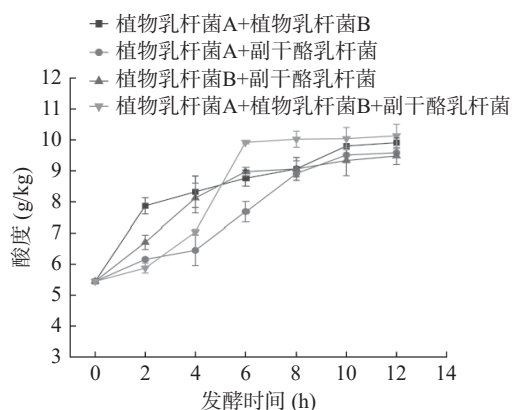


图 5 复合菌株发酵马铃薯浓汁酸度

Fig.5 Acidity of fermented potato juice with complex strains

由图 5 可知, 复合菌株发酵过程中各组合产酸性能差异明显, ABC 组合在 4~6 h 之间产酸效率达到了 $1.44 \text{ g/kg} \cdot \text{h}^{-1}$, 根据斜率可以判断其产酸速度高于组合 AB ($0.22 \text{ g/kg} \cdot \text{h}^{-1}$)、组合 AC ($0.62 \text{ g/kg} \cdot \text{h}^{-1}$) 和组合 BC ($0.43 \text{ g/kg} \cdot \text{h}^{-1}$)。发酵速度快, 不止可以降低产品被污染风险, 还可以减少成本、降低不必要的能源损耗。

2.3 复合菌株协同发酵单因素实验

2.3.1 发酵时间对复合菌株发酵马铃薯浓汁的影响

由图 6 可知, 活菌数与发酵时间呈正相关, 在发酵 10 h 之后其活菌数达到了 10^9 CFU/mL 以上; 感官评分则呈现出了先上升后下降的趋势, 这一原因的出现有可能是菌株发酵过程中将大量碳源转化为乳酸, 从而使得其口感逐渐酸化所导致的。因此综合考虑最佳发酵时间应该为 10 h, 此时感官评分仅出现细微变化, 而且活菌数也达到了 1.01×10^9 CFU/mL, 完全符合益生菌发酵饮料的要求。

2.3.2 发酵温度对复合菌株发酵马铃薯浓汁的影响

由图 7 可知, 当发酵温度为 37°C 时, 产品活菌数为 1.22×10^9 CFU/mL, 感官评分 82 分, 与 34°C 相比

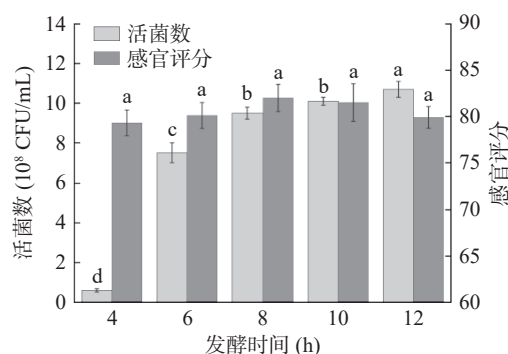


图 6 复合菌株发酵时间对马铃薯浓汁感官评分与活菌数的影响

Fig.6 Effects of fermentation time of composite strains on sensory score and viable bacteria count of potato juice

略高, 相较于其他几个温度活菌数差异显著 ($P < 0.05$), 当温度达到 40°C 时活菌数开始明显下降, 感官评分也逐步下降, 导致产品中活菌数下降的原因有可能是因为菌株耐热性较差, 持续的高温发酵对其繁殖发育造成了一定的影响, 进而抑制了发酵马铃薯浓汁中的活菌数; 感官评分的改变则有可能是因为较高的温度使其香味物质的化学组成遭到破坏, 又或者是因为菌株在温度较高的条件下性能受到影响, 无法产出具有特殊香味的风味物质, 从而对整个发酵饮料的品质造成影响, 因该饮料为益生菌发酵饮料, 其中的活菌数为关键指标, 所以马铃薯浓汁的最佳发酵温度应该为 37°C 。

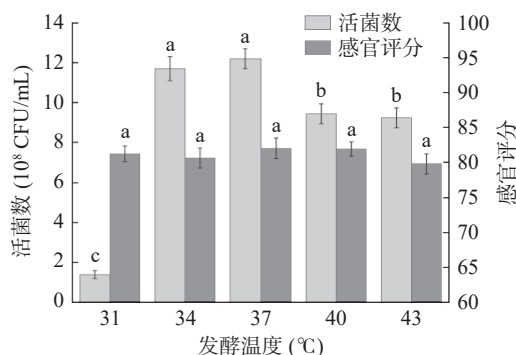


图 7 复合菌株发酵温度对马铃薯浓汁感官评分与活菌数的影响

Fig.7 Effects of fermentation temperature of composite strains on sensory score and viable bacteria count of potato juice

2.3.3 接种量对复合菌株发酵马铃薯浓汁的影响

由图 8 可知, 随着菌株接种量不断增加, 其产品中的活菌数也呈现上升趋势, 接种量超过 1‰ 之后活菌数上升趋势逐渐平稳; 感官评分在接种量为 1‰ 时最高达到 81.8 分, 当接种量由 1.5‰ 增加到 2.5‰ 时感官评分显著 ($P < 0.05$) 降低, 这有可能是因为浓汁中的营养成分有限, 不能供更多的菌株生长发育, 而感官评分的下降极有可能是因为菌株添加量太高, 合成大量酸类化合物, 影响了产品的最终口感^[30]。对感官评分与活菌数进行综合考虑, 最佳接种量应为 1‰。

2.3.4 复合菌株对比对发酵马铃薯浓汁的影响 为

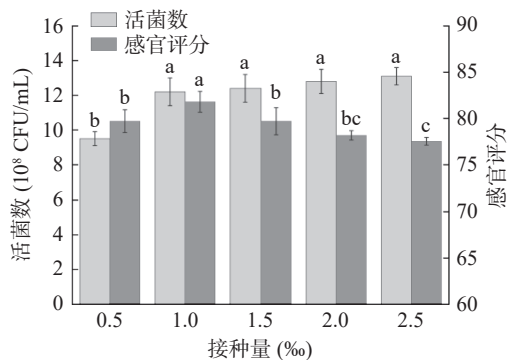


图8 复合菌株接种量对发酵马铃薯浓汁感官评分与活菌数的影响

Fig.8 Effects of inoculation amount of composite strains on sensory score and viable bacteria count of fermented potato juice

得到适宜 3 株菌种发酵的复配比例,以活菌数与感官评分为指标,对植物乳杆菌 A、植物乳杆菌 B、副干酪乳杆菌在马铃薯浓汁中的发酵情况进行分析。由图 9 可知,植物乳杆菌 A、植物乳杆菌 B、副干酪乳杆菌复配比例为 1:1:2 时活菌数为 1.24×10^9 CFU/mL,感官评分 82.8 分;略高于 2:1:1 和 2:2:1,差异不明显,但显著 ($P < 0.05$) 高于其他复配比例,因此选择 1:1:2、2:1:1、2:2:1 为最佳复合菌株配比进行后续正交试验。

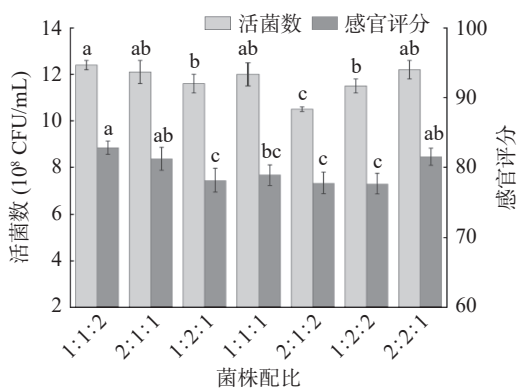


图9 复合菌株比对发酵马铃薯浓汁感官评分与活菌数的影响

Fig.9 Effects of composite strain ratio on sensory score and viable bacteria count of fermented potato juice

2.4 复合菌株协同发酵马铃薯浓汁工艺正交试验结果

为获得复合菌种发酵马铃薯浓汁最佳工艺条件,在单因素实验的基础上,以发酵温度、发酵时间、接种量、菌株配比为因素,活菌数与感官评分为评价指标,进行 4 因素 3 水平正交试验结果见表 3;方差分析结果见表 4。

由表 3 可知,各因素对复合益生菌发酵马铃薯浓汁感官评分影响顺序为:菌株配比>发酵时间>发酵温度>接种量。由表 4 方差分析可知,接种量和菌株比对感官评分及活菌数具有显著性影响 ($P < 0.05$),而发酵温度和发酵时间对其没有显著影响 ($P > 0.05$)。以活菌数为指标得到的复合益生菌发酵马铃薯浓汁最佳工艺为 $A_2B_3C_3D_3$,以感官评分为指

表3 复合益生菌发酵马铃薯浓汁正交试验结果

Table 3 Orthogonal experiment results of hybrid probiotics fermented potato juice

试验号	发酵温度A	接种量B	菌株配比C	发酵时间D	感官评分(分)	活菌数(10^8 CFU/mL)
1	1	1	1	1	78.6±0.35	0.77±0.11
2	1	2	2	2	77.8±0.15	6.63±0.05
3	1	3	3	3	81.8±0.45	12.57±0.32
4	2	1	2	3	80.3±0.25	1.10±0.21
5	2	2	3	1	81.3±0.35	11.73±1.46
6	2	3	1	2	77.6±0.21	10.70±1.67
7	3	1	3	2	79.2±0.10	1.03±0.21
8	3	2	1	3	77.7±0.32	10.77±1.76
9	3	3	2	1	77.3±0.21	10.33±1.62
活菌数	K_1	6.66	0.97	7.41	7.61	
	K_2	7.84	9.71	6.02	6.22	
	K_3	7.38	11.20	8.44	8.14	
	R	1.19	10.23	2.42	2.02	
感官评分	K_1	79.40	79.37	77.96	79.07	
	K_2	79.73	78.93	78.47	78.20	
	K_3	78.07	78.90	80.77	79.93	
	R	1.66	0.47	2.81	1.73	

表4 方差分析结果

Table 4 Results analysis of variance

指标	来源	平方和	自由度	均方	F	显著性
感官评分	A发酵温度	14	2	7	700	**
	B接种量	1.22	2	0.61	61	**
	C菌株配比	40.14	2	20.07	2007	**
	D发酵时间	13.52	2	6.76	676	**
	误差	0.18	18	0.01		
活菌数	A发酵温度	641.869	2	320.934	1.109	
	B接种量	55033.616	2	27516.808	95.086	**
	C菌株配比	2657.602	2	1328.801	4.592	*
	D发酵时间	1981.447	2	990.723	3.424	
	误差	5208.993	18	289.389		

注: * $P < 0.05$, 差异显著; ** $P < 0.01$, 差异极显著。

标得到的最佳工艺为 $A_2B_1C_3D_3$, 考虑到接种量(B)对感官评分的影响极小(R 为 0.47), 而接种量(B)对活菌数影响较大(R 为 10.23), 综合考虑复合益生菌发酵马铃薯浓汁最佳工艺为 $A_2B_3C_3D_3$, 即发酵温度 37°C 、接种量 1.5‰、菌株配比 1:1:2、发酵时间 12 h, 在此工艺条件下得到的产品活菌数为 12.63×10^8 CFU/mL, 感官评分 81.7 分。从接种量的单因素实验中发现, 当接种量超过 1‰时, 产品感官评分出现下降趋势。所以造成最佳工艺感官评分略低于单因素感官评分的原因有可能是接种量超过 1‰所导致的。由于本结果优于文献中何维^[23]与刘聪慧等^[24]在最佳发酵工艺条件下所得马铃薯发酵饮料的活菌数, 说明本研究所筛选出的复合益生菌在马铃薯浓汁中具有良好的发酵性能, 适合于益生菌发酵马铃薯浓汁的生产。

3 结论

本研究通过单菌株发酵性能研究, 筛选出适合马铃薯浓汁发酵的植物乳杆菌 A (*Lactobacillus*

plantarum A)、植物乳杆菌 *B(Lactobacillus plantarum B)* 和副干酪乳杆菌 (*Lactobacillus paracei*), 又经过复合菌株发酵性能的研究确定出适合马铃薯浓汁发酵的复合益生菌组合, 最后以单因素实验与正交试验得到了马铃薯浓汁最佳发酵工艺条件为: 发酵温度 37 ℃、接种量 1.5%、菌株配比 1:1:2、发酵时间 12 h。在此工艺条件下得到的产品活菌数为 12.63×10^8 CFU/mL, 感官评分 81.7 分。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 刘彦芳, 史璇, 张和平. 益生菌缓解新型冠状病毒感染症状的研究进展[J]. 微生物学通报, 2023, 50(10): 4611–4625. [LIU Yanfang, SHI Xuan, ZHANG Heping. Research progress on probiotics to alleviate the symptoms of novel coronavirus infection[J]. Microbiological Bulletin, 2023, 50(10): 4611–4625.]
- [2] FIJAN S. Probiotics and their antimicrobial effect[J]. *Microorganisms*, 2023, 11(2): 528.
- [3] NGUYEN Q V, CHONG L C, HOR Y Y, et al. Role of probiotics in the management of COVID-19: A computational perspective[J]. *Nutrients*, 2022, 14(2): 274.
- [4] SANDERS M E, MERENSTEIN D J, REID G, et al. Probiotics and prebiotics in intestinal health and disease: from biology to the clinic[J]. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 2019, 16(10): 605–616.
- [5] ZHOU X Y, WANG J C, ZHOU S F, et al. Efficacy of probiotics on nonalcoholic fatty liver disease: A meta-analysis[J]. *Medicine*, 2023, 102(4): e32734.
- [6] 仵白敏, 杨文博, 刘慧, 等. 复合益生菌协同发酵葡萄汁菌种筛选与工艺优化[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 122–127. [WU Baimin, YANG Wenbo, LIU Hui, et al. Screening and process optimization of compound probiotics co-fermenting grape juice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(13): 122–127.]
- [7] ASSUNCAO N S, FERNANDES A M, SORATTO R P, et al. Tuber yield and quality of two potato cultivars in response to nitrogen fertilizer management[J]. *Potato Research*, 2021, 64(2): 147–166.
- [8] RAJIV K P G. Enriched potato for mitigating hidden hunger[J]. *Biofortification of Food Crops*, 2016: 433–457.
- [9] 李国景, 高明杰, 杨亚东, 等. 2022 年马铃薯产业波动与市场发展形势[J]. 中国蔬菜, 2023, 411(5): 1–5. [LI Guojing, GAO Mingjie, YANG Yadong, et al. Potato industry fluctuation and market development situation in 2022[J]. *China Vegetables*, 2023, 411(5): 1–5.]
- [10] 李玉涛, 章宪霞, 唐德晶, 等. 马铃薯主粮化加工专用品种筛选研究[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(19): 98–103. [LI Yutao, ZHANG Xianxia, TANG Dejing, et al. Screening of varieties for potato staple food processing[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(19): 98–103.]
- [11] KARETNIKOV D I, VASILIEV G V, TOSHCHAKOV S V, et al. Analysis of genome structure and its variations in potato cultivars grown in Russia[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(6): 5713.
- [12] BEALS K A. Potatoes, nutrition and health[J]. *American Journal of Potato Research*, 2019, 96(2): 102–110.
- [13] 莫日根, 杜艳, 吕娟, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定马铃薯中 8 种必需氨基酸[J]. 化学分析计量, 2021, 30(9): 54–58. [MO Rigen, DU Yan, LÜ Juan, et al. Determination of 8 essential amino acids in potato by ultra-high performance liquid chromatography-Tandem mass spectrometry[J]. *Chemical Analysis and Metrology*, 2021, 30(9): 54–58.]
- [14] KANTER M, ELKIN C. Potato as a source of nutrition for physical performance[J]. *American Journal of Potato Research*, 2019, 96(2): 201–205.
- [15] MILANI G P, MACCHI M, GUZ-MARK A. Vitamin C in the treatment of COVID-19[J]. *Nutrients*, 2021, 13(4): 1172.
- [16] COLUNGA BIANCATELLI R M L, BERRILL M, MARIK P E. The antiviral properties of vitamin C[J]. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 2020, 18(2): 99–101.
- [17] MORELLI M B, GAMBARDILLA J, CASTELLANOS V, et al. Vitamin C and cardiovascular disease: An update[J]. *Antioxidants*, 2020, 9(12): 1227.
- [18] SUSANNA C L, MIKKO J V, MONICA M, et al. Magnesium, calcium, potassium, and sodium intakes and risk of stroke in male smokers[J]. *Arch Intern Med*, 2008, 168(5): 459–465.
- [19] AMANDA W, SALWA K, INTEAZ A. Potato protein isolates: Recovery and characterization of their properties[J]. *Food Chemistry*, 2014, 142(Jan.1): 373–382.
- [20] 单洪波, 史佳文, 石瑛. 四倍体马铃薯块茎蛋白含量分子标记的开发与验证[J]. 作物学报, 2018, 44(7): 1095–1102. [SHAN Hongbo, SHI Jiawen, SHI Ying. Development and verification of molecular markers for protein content in tetraploid potato tuber[J]. *Acta Cropologica Sinica*, 2018, 44(7): 1095–1102.]
- [21] VISVANATHAN R, JAYATHILAKE C, CHAMINDA JAYAWARDANA B, et al. Health-beneficial properties of potato and compounds of interest[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(15): 4850–4860.
- [22] 刘媛, 王健, 宋萌萌, 等. 甜酒曲发酵马铃薯饮料浆液制备工艺[J]. 食品工业, 2021, 42(9): 143–146. [LIU Yuan, WANG Jian, SONG Mengmeng, et al. Preparation technology of potato beverage slurry fermented by sweet yeast[J]. *Food Industry*, 2021, 42(9): 143–146.]
- [23] 何维. 植物乳杆菌 HQ-3 发酵紫色马铃薯饮料的研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2023. [HE Wei. Study on fermentation of purple potato beverage by *Lactobacillus plantarum* HQ-3[D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2023.]
- [24] 刘聪慧, 刘敏, 韩育梅. 马铃薯乳酸菌饮料发酵菌种研究[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 14–18. [LIU Conghui, LIU Min, HAN Yumei. Study on potato lactic acid bacteria beverage fermentation strains[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(8): 14–18.]
- [25] 杨丽敏. 从马铃薯中提取含有氨基酸液的方法及其提取物的用途[P]. 内蒙古自治区: CN101549042B, 2011-08-24. [YANG Limin. Extraction method of amino acid containing liquid from potato and its use[P]. Inner Mongolia: CN101549042B, 2011-08-24.]
- [26] 国家卫生和计划生育委员会, GB 4789.1-2016, 食品安全国家标准 食品微生物学检验总则[S]. 北京: 中国科学出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission, GB 4789.1-2016, General rules for microbiology inspection of food under National Standards for Food Safety[S]. Beijing: China Science Press, 2016.]
- [27] 葛永辉, 汪玲, 姜天丽, 等. 黑莓玫瑰复合饮料的制备及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(7): 121–128. [GE Yonghui, WANG Ling, JIANG Tianli, et al. Preparation and antioxidant activity of Blackberry-rose complex beverage[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(7): 121–128.]
- [28] 袁辛锐, 杨其长, 王芳, 等. 紫胡萝卜复合发酵饮料的研制及其挥发性风味物质分析[J]. 食品工业科技, 2024, 45(2): 201–209. [YUAN Xinrui, YANG Qichang, WANG Fang, et al. Preparation and analysis of volatile flavor compounds of purple carrot complex fermented beverage[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2024, 45(2): 201–209.]
- [29] 尹望, 杜志琳, 李雪平. 一株乳酸菌培养条件优化及对胆盐和酸性环境耐受性的研究[J]. 饲料研究, 2015(3): 18–20, 59. [YIN Wang, DU Zhilin, LI Xueping. Study on optimization of culture conditions and tolerance to bile salt and acid environment of a strain of lactic acid bacteria[J]. *Feed Research*, 2015(3): 18–20, 59.]
- [30] 钱籽霖. 乳酸菌发酵拐枣汁工艺优化及抗氧化活性评价[D]. 重庆: 西南大学, 2019. [QIAN Zilin. Process optimization and antioxidant activity evaluation of fermented jujube juice by lactic acid bacteria[D]. Chongqing: Southwest University, 2019.]