

新鲜螺旋藻乳酸菌发酵饮料的研制

王力立¹, 吴 瑜¹, 梅兴国^{2*}

¹湖北科技学院药学院, 湖北 咸宁

²咸宁市康健医药产业研究院有限公司, 湖北 咸宁

收稿日期: 2025年4月2日; 录用日期: 2025年5月5日; 发布日期: 2025年5月13日

摘 要

本研究以新鲜螺旋藻为原料, 采用单因素结合正交实验方法, 对乳酸菌发酵饮料的工艺参数进行优化研究。实验结果表明, 最优工艺参数组合为: 螺旋藻添加量15%, 白糖4%, 奶粉14%, 发酵时间10小时, 接种量0.15%, 发酵温度41℃。经检测, 产品各项指标均达到国家标准(GB7101-2022)规定, 成品呈现典型藻绿色泽, 兼具螺旋藻特有风味与乳酸发酵香气, 酸甜适口, 品质优良。

关键词

新鲜螺旋藻, 乳酸菌发酵, 饮料

Preparation of Fresh Blue-Green Algae-Based Lactic Acid Bacteria-Fermented Drink

Lili Wang¹, Yu Wu¹, Xingguo Mei^{2*}

¹School of Pharmacy, Hubei University of Science and Technology, Xianning Hubei

²Xianning Kangjian Pharmaceutical Industry Research Institute Co., Ltd., Xianning Hubei

Received: Apr. 2nd, 2025; accepted: May 5th, 2025; published: May 13th, 2025

Abstract

This study utilized fresh spirulina as the raw material and employed a combination of single-factor and orthogonal experimental methods to optimize the process parameters of lactic acid bacteria fermented beverage. The experimental results demonstrated that the optimal process parameter combination was as follows: spirulina addition 15%, sucrose 4%, milk powder 14%, fermentation

*通讯作者。

time 10 hours, inoculation amount 0.15%, and fermentation temperature 41°C. Testing showed that all product indicators met the requirements of the national standard (GB7101-2022). The final product exhibited a characteristic algae-green color, combining the distinctive flavor of spirulina with the aroma of lactic acid fermentation, presenting a pleasantly sweet and sour taste with excellent quality.

Keywords

Fresh Spirulina, Lactic Acid Bacteria Fermentation, Beverage

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

螺旋藻作为一种呈现螺旋或球状形态的绿色微藻，是自然界中营养组成最为丰富且均衡的生物资源。鉴于其卓越的营养价值，该生物被联合国粮农组织(FAO)认定为“21 世纪最理想的食品资源”，同时获得世界卫生组织“21 世纪人类最佳保健食品”的高度评价[1]。螺旋藻作为人类未来的理想食物，其藻体内含有藻蓝蛋白、多酚、类胡萝卜素、维生素和甾醇等多种成分，且无毒副作用，在多种疾病的治疗方面均有很好的效果[2]，用螺旋藻制成的保健食品，还可起到增强机体免疫力、改善消化系统功能、提高肠道健康等作用[3]。

植物乳酸菌饮料所提供的乳酸菌对肠道菌群的组成和健康有着积极影响，同时乳酸菌可以代谢生物活性因子，从而抑制一些病原体生长和繁殖，使人体内的内毒素水平保持合适范围[4]。某些耐酸性和耐胆盐能力良好的乳酸菌，则可以通过人体的消化系统在肠道中进行繁殖，保持肠道微生物生态的平衡，强化人体肠道内乳酸菌菌群，促进营养物质的吸收利用[5]。同时植物基饮料能提供大量维生素、生物活性化合物和矿物质等营养元素，且在乳酸菌发酵过程中这些物质得到了很好的保留[6]。乳酸菌发酵饮料不仅可以保持食品质量，还可以增加所需感官属性的原位表达，并增强它们的营养特性，以促进人类健康。Bhowmik 等人[7]将螺旋藻生物质添加到不同乳酸杆菌和链球菌菌株的培养物中，并进行了 10 小时的发酵，观察到细菌数量随着生物质浓度的增加而增加。Parada 等人[8]将来自钝顶螺旋藻培养物的滤液添加到各种乳酸菌培养物中，使其发酵 24 小时。滤液增加了所有细菌菌株的生长。De Caire 等人[9]在牛奶中加入不同浓度的螺旋藻生物质，然后用乳酸菌混合物发酵悬浮液。螺旋藻生物质的存在有利于细菌的生长。Mazinani 等人[10]已经测试了将螺旋藻生物质添加到酸奶、奶酪和发酵乳中的效果，并获得了积极的结果，其中包括乳酸菌数量的增加和发酵产品在储存期间的营养质量的改善。

在本研究中，将以螺旋藻作为主要原料，致力于研制一款螺旋藻乳酸菌发酵饮料，期望能为螺旋藻的精深加工提供具有价值的参考。

2. 材料与amp;方法

2.1. 材料与试剂

新鲜螺旋藻；全脂奶粉；白糖；副干酪乳杆菌；干酪乳杆菌；植物乳杆菌。

2.2. 仪器与设备

实验仪器与设备来源如下：酸奶机，小熊电器股份有限公司；电子分析天平(型号 ME-104)由梅特勒

- 托利多仪器(上海)有限公司提供; pH 计(型号 PE28)同样采购自梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; 其他试验设备则由重庆康城永生试验设备有限公司供应。所有仪器设备均经过校准并在有效使用期内。

2.3. 方法

2.3.1. 工艺流程

工艺流程图如下图 1。

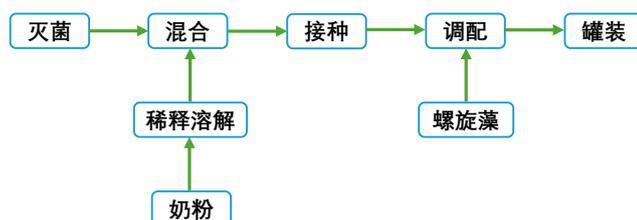


Figure 1. Process flow schematic diagram
图 1. 工艺流程示意图

2.3.2. 操作要点

(1) 灭菌

先用开水将酸奶机内胆、勺子、酸奶罐进行灭菌。

(2) 稀释溶解

溶于温水中, 煮沸冷却至 40℃~50℃。

(3) 接种

将精确称量好的菌粉加入到冷却到菌种接种温度的牛奶中, 加入白砂糖搅拌均匀。用灭菌后的玻璃棒将菌粉与牛奶搅拌均匀。

(4) 发酵

将接种后的牛奶分装到灭菌后的玻璃瓶中, 放入到适宜菌种生长的培养箱中, 10~12 h, 温度 41 摄氏度。

(5) 调配

将发酵好的乳酸菌饮料加入适量的新鲜螺旋藻, 充分混匀后装罐。

2.4. 单因素实验设计

2.4.1. 螺旋藻添加量对螺旋藻饮料质量的影响

实验设定发酵条件为: 温度 40℃, 时长 12 小时, 菌粉用量 0.2%, 奶粉添加量 10%, 白糖添加量 4%, pH 值保持自然状态。通过单因素实验方法, 考察了新鲜螺旋藻不同添加比例(5%、10%、15%、20%)对发酵饮品品质特性的影响规律。

2.4.2. 白糖添加量对饮料品质的影响

实验采用以下工艺参数: 发酵温度控制在 40℃, 持续时间为 10 小时, 菌粉用量为 0.2%, 螺旋藻添加比例为 15%, 奶粉含量为 10%, pH 值保持自然状态。通过单因素实验设计, 系统研究了白糖不同添加水平(4%、6%、8%、10%)对螺旋藻发酵饮品品质特性的影响。

2.4.3. 奶粉添加量对饮料品质的影响

本实验采用以下工艺条件: 将发酵温度设定为 40℃, 培养时间 10 小时, 菌粉用量 0.2%, 螺旋藻添

加比例 15%，白糖含量 6%，pH 值保持自然状态。通过单因素实验方法，探究了不同奶粉添加比例(10%、12%、14%、16%)对螺旋藻发酵饮品品质特性的影响规律。

2.4.4. 发酵时间对饮料品质的影响

实验采用以下参数配置：发酵过程控制在 40℃ 条件下进行，持续时间为 10 小时，新鲜螺旋藻用量为 15%，奶粉添加比例为 14%，白糖添加量为 6%，pH 值保持自然状态。通过单因素实验设计，系统考察了菌粉不同添加水平(0.1%、0.15%、0.2%、0.25%)对螺旋藻乳酸菌发酵饮品品质特性的影响规律。

2.4.5. 菌粉添加量对饮料品质的影响

本实验采用以下工艺参数：发酵温度维持在 40℃，培养时间设定为 10 小时，新鲜螺旋藻添加比例为 15%，奶粉用量为 14%，白糖含量为 6%，pH 值为自然状态。通过单因素实验方法，研究了菌粉不同添加量(0.1%、0.15%、0.2%、0.25%)对螺旋藻乳酸菌发酵饮品品质特性的影响。

2.4.6. 发酵温度对饮料品质的影响

实验参数配置如下：菌粉用量为 0.15%，发酵时长为 10 小时，螺旋藻添加比例为 15%，奶粉含量为 14%，白糖添加量为 6%，pH 值保持自然状态。通过单因素实验设计，系统考察了不同发酵温度(37℃、39℃、41℃、43℃)对螺旋藻发酵饮品品质特性的影响规律。

2.5. 正交试验优化

基于前期单因素实验结果，本研究选取了新鲜螺旋藻添加量、白糖添加比例、奶粉含量及发酵时长四个关键参数作为考察对象，每个变量设置三个梯度水平，采用正交实验设计方法进行研究。根据正交实验因素水平表(表 1)的安排，以产品感官评价得分为主要考察指标，通过系统优化获得各工艺参数的最优组合，从而确定螺旋藻乳酸菌发酵饮品的最佳生产工艺。

Table 1. Orthogonal experiment factor levels table for fermentation conditions

表 1. 发酵条件正交试验因素水平表

水平	因素			
	新鲜螺旋藻添加量/%	白糖添加量/%	菌粉添加量/%	发酵时间 h
1	10%	4	0.1%	8 h
2	15%	6	0.15%	10 h
3	20%	8	0.20%	12 h

2.6. 感官评价

依据 GB7101-2022 标准，我们挑选了 10 名在食品领域拥有丰富经验的专家，对螺旋藻乳酸菌发酵饮料的色泽、口感、质地及香气等多个维度进行全面评估，最终计算平均分。详细的评分细则请参见表 2。

Table 2. Sensory evaluation table for fresh blue-green algae lactic acid bacteria-fermented drink

表 2. 新鲜螺旋藻乳酸菌饮料感官评价表

项目	标准	评分
香味	香味浓郁，螺旋藻及发酵香气，风味纯粹，没有杂味。	30~35
	发酵香气较淡，风味不足，略有杂味	15~30
	发酵香味较淡，风味较淡，杂味较重	0~14

续表

口感	酸甜恰好, 口感均一柔和, 粘稠度适中	30~35
	酸甜刚好, 口感较粘稠, 糊口	15~30
	酸甜失衡, 螺旋藻味较突出, 口感黏滞糊口	0~14
状态	状态均一细腻, 没有分层及沉淀	15~20
	分层不明显, 有较少沉淀, 上部清液较少	10~15
	分层较明显, 沉淀较多, 有凝块	0~9
色泽	颜色均一, 呈墨绿色, 光泽好	8~10
	色泽较均一, 有微少杂色, 光泽较好	4~8
	杂色明显或色泽不均, 没有任何光泽	0~3

2.7. 理化指标的测定

各项指标的测定均依据国家标准方法进行: 采用 GB 12143-2008 标准测定可溶性固形物含量; 参照 GB 12456-2021 标准检测总酸度; 依据 GB 5009.5-2016 标准测定蛋白质含量。

2.8. 微生物指标的测定

本研究中微生物指标的检测与评价严格遵循食品安全国家标准。其中, 乳酸菌总数测定依据 GB 4789.35-2023 标准执行; 霉菌和酵母菌检测参照 GB 4789.15-2016 标准进行; 致病菌的检测则按照 GB 29921-2013 标准实施。上述所有指标的判定均符合《食品安全国家标准饮料》(GB 7101-2022)的相关规定。

3. 结果与分析

3.1. 单因素实验结果

3.1.1. 新鲜螺旋藻添加量对螺旋藻饮料质量的影响

从图 2 中可以看出, 当新鲜螺旋藻汁的添加比例在 5% 至 20% 之间时, 饮料的感官评价分数随着添加量的增加而逐渐提高, 并在添加量达到 15% 时达到峰值。然而, 若进一步增加螺旋藻汁的比例, 感官评分则呈现下降趋势。基于此, 15% 的新鲜螺旋藻汁添加量被确定为最佳比例, 此时发酵饮料不仅风味最佳, 且呈现出深绿色泽, 伴随着清新的藻香。

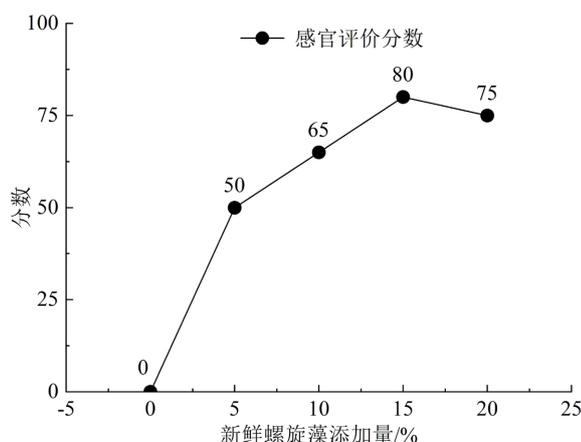


Figure 2. Sensory evaluation graph of lactic acid bacteria-fermented drinks with various addition of fresh blue-green algae
图 2. 新鲜螺旋藻添加量对乳酸菌发酵饮料质量的影响图

3.1.2. 白糖添加量对螺旋藻饮料质量的影响

根据图 3 的观察结果,随着白糖含量的逐渐增加,感官评分呈现出先上升后下降的波动趋势。当白糖含量达到 6%时,评分达到顶点,此时饮料的甜味最为适宜,整体口感最佳。然而,一旦白糖含量超过这一比例,饮料的甜味会变得过于突出,从而对整体口感产生不利影响。

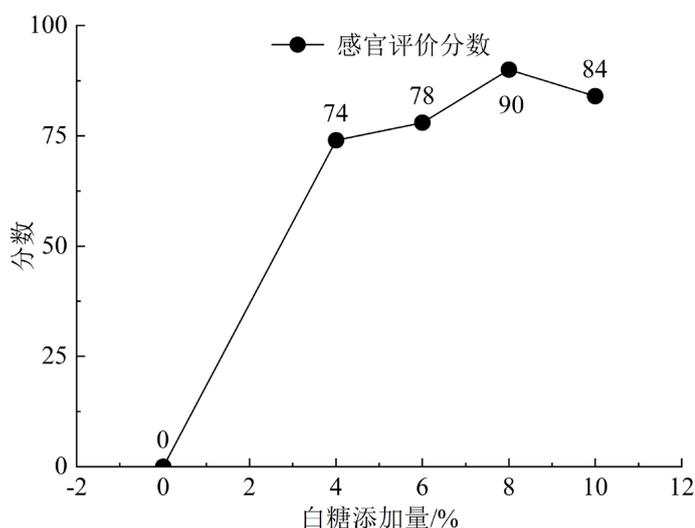


Figure 3. Impact of added sugar on quality of lactic acid bacteria-fermented drinks
图 3. 白糖添加量对乳酸菌发酵饮料质量的影响图

3.1.3. 奶粉添加量对螺旋藻饮料质量的影响

从图 4 可以看出,随着奶粉添加量增加,感官评分呈现出先上升后下降的波动趋势。当奶粉添加量达到 14%时,感官评分最高,此时饮料的奶味最为适宜,整体口感最佳。继续添加奶粉量,会降低螺旋藻的口感。

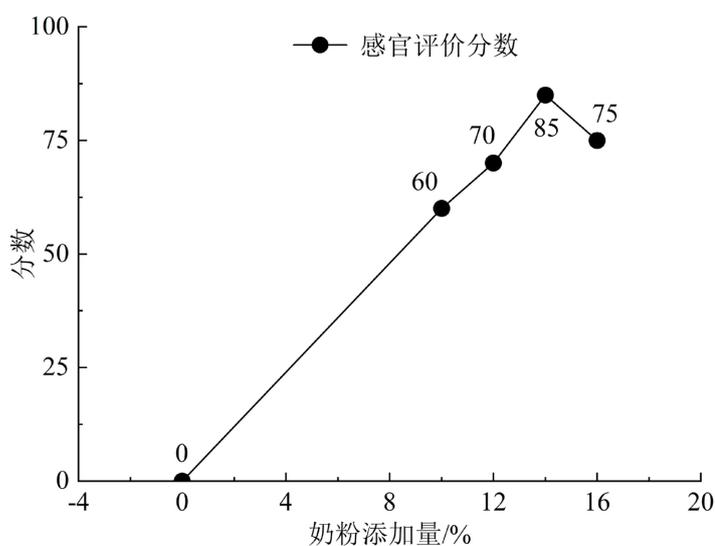


Figure 4. Figure of influence of milk powder supplemental level on the quality of lactic acid bacteria-fermented beverage
图 4. 奶粉添加量对乳酸菌发酵饮料质量的影响图

3.1.4. 发酵时间对螺旋藻饮料质量的影响

根据图 5 的数据分析,随着发酵时间从 6 小时延长至 10 小时,感官评价分数呈现逐步上升的趋势,并在 10 小时达到峰值。然而,当发酵时间超过 10 小时后,评分迅速下降,这可能是由于过长的发酵过程导致酸度过高,从而影响了饮料的整体口感。基于此,最佳的发酵时间确定为 10 小时,此时感官评分高达 90 分,饮料的风味和口感均达到最佳状态。

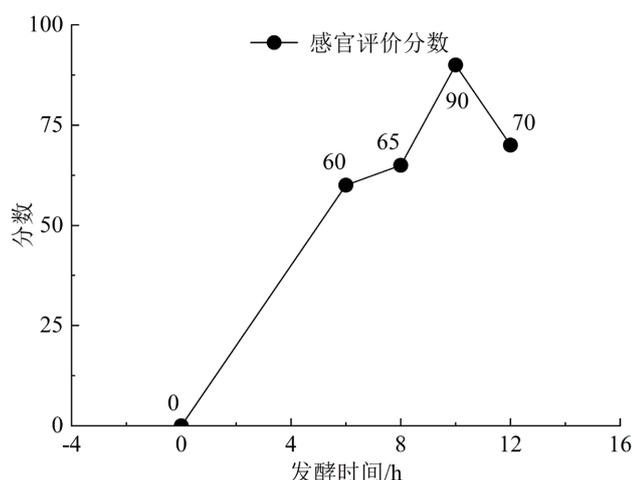


Figure 5. Influence diagram of fermentation time on quality of lactic acid bacteria-fermented drinks
图 5. 发酵时间对乳酸菌发酵饮料质量的影响图

3.1.5. 菌粉添加量对螺旋藻乳酸菌发酵饮料质量的影响

根据图 6 的观察结果,当菌粉添加量在 0.1%至 0.25%之间时,螺旋藻饮料的感官评价分数呈现出先上升后下降的变化趋势。具体而言,当菌粉添加量为 0.15%时,评分达到最高点。在其它条件保持不变的情况下,若菌粉添加量过低,发酵过程可能无法达到预期效果便提前结束;反之,若菌粉添加量过高,发酵过程则会超出预期,导致产品质量评分下降。因此,最佳的菌粉添加量确定为 0.15%,此时感官评分高达 88 分,饮料的风味和口感均达到最优状态。

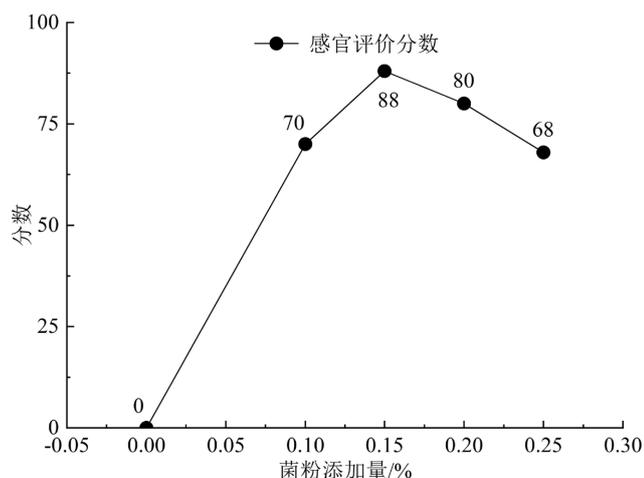


Figure 6. Influence diagram of addition amount of yeast powder on quality of lactic acid bacteria-fermented drinks
图 6. 菌粉添加量对乳酸菌发酵饮料质量的影响图

3.1.6. 发酵温度对螺旋藻饮料质量的影响

根据图7的数据分析,当发酵温度处于37℃至41℃之间时,螺旋藻饮料的品质随着温度的升高而逐步提升,并在41℃时达到最高评分。然而,当温度继续上升至41℃至43℃范围内时,饮料的品质则呈现下降趋势。实验结果表明,41℃为最优发酵温度条件,在此参数下产品感官评分达到90分。研究显示,当培养温度偏离这一最佳值时,将显著影响产品品质:温度过低会导致饮料产生涩味,而温度过高则可能引起乳酸菌活性降低,这两种情况均难以达到既定的产品质量要求。

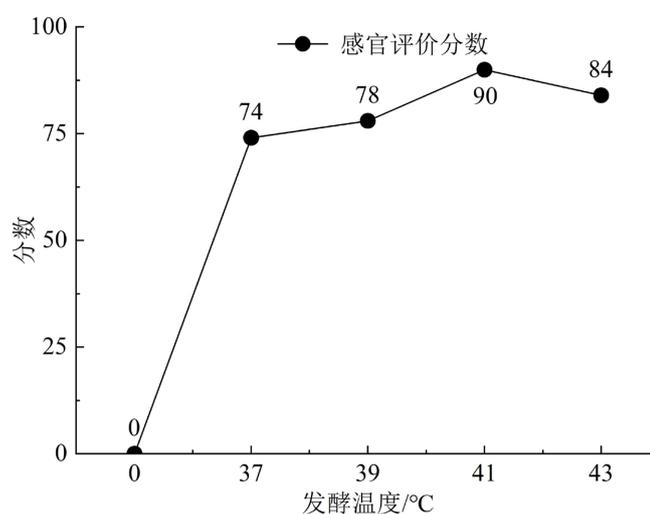


Figure 7. Influence diagram of fermentation temperature on quality of lactic acid bacteria-fermented drinks
图 7. 发酵温度对乳酸菌发酵饮料质量的影响图

3.2. 正交实验结果

根据表3的极差分析结果,各因素的显著性顺序为 $RA > RB > RD > RC$,表明对螺旋藻乳酸菌发酵饮料感官评价影响最大的因素依次为螺旋藻添加量、白糖添加量、发酵时间和菌粉添加量。进一步通过K值分析得出,最优工艺组合为 $A_2B_1C_2D_2$,即螺旋藻添加量为15%,白糖添加量为4%,菌粉添加量为0.15%,发酵时间为10小时。这一组合能够显著提升饮料的整体品质。

3.3. 验证试验结果及分析

根据表3的数据显示,最优组合为 $A_2B_1C_2D_2$,而K值分析同样支持这一组合为最佳选择。为了验证这一结论,我们进行了三次重复试验,并对 $A_2B_1C_2D_2$ 组合进行了感官评分,最终平均得分为90分,高于理论预测的88分。因此, $A_2B_1C_2D_2$ 被确认为螺旋藻乳酸菌发酵饮料的最佳发酵工艺参数组合。

Table 3. Orthogonal experimental results table

表 3. 正交实验结果表

试验号	新鲜螺旋藻添加量/%	白糖添加量/%	菌粉添加量/%	发酵时间 h	感官评分/分
1	1(10)	1(4)	1(0.1)	1(8)	62
2	1	2(6)	2(0.15)	2(10)	74
3	1	3(8)	3(0.2)	3(12)	60
4	2(15)	1	2	3	84
5	2	2	3	1	76

续表

6	2	3	1	2	70
7	3(20)	1	3	2	74
8	3	2	1	3	68
9	3	3	2	1	58
K1	196	220	210	196	
K2	230	218	216	218	
K3	200	188	210	212	
k1	65.3	73.3	70.0	65.3	
k2	76.7	72.6	72.0	72.6	
k3	66.7	62.7	70.0	70.7	
R	11.4	10.6	2.0	5.4	

3.4. 产品质量检测结果

3.4.1. 感官指标

成品色泽均匀，呈藻绿色，有螺旋藻特有的香味，口感细腻润滑，酸甜可口。

3.4.2. 理化指标

经检测，该产品的微生物指标符合以下标准：乳酸菌活菌数达到 1×10^8 CFU/mL 以上，霉菌含量低于 10 CFU/mL，酵母菌数量少于 20 CFU/mL，大肠菌群未检出，致病菌检测结果为阴性。这些数据均达到并优于《食品安全国家标准饮料》(GB 7101-2022)中规定的技术指标。

4. 结论

本研究以螺旋藻为核心原料，研制出一款兼具独特藻类风味与甘甜口感的乳酸菌发酵饮料。首先，通过单因素实验，以感官评价为基准，初步确定了新鲜螺旋藻用量、白糖含量、奶粉比例、发酵时长、菌粉用量及发酵温度的适宜范围。在此基础上，针对螺旋藻用量、白糖添加量、奶粉比例及发酵时长这四个关键参数，进一步设计了正交实验。结合单因素与正交实验结果，最终优化得出螺旋藻乳酸菌发酵饮品的最佳工艺参数为：螺旋藻汁添加比例 15%，白糖添加量 4%，奶粉添加量 14%，菌粉添加量 0.15%，发酵时长 10 小时，发酵温度 41℃。

参考文献

- [1] Maddina, B. Y., Asthana, G.S. and Asthana, A. (2016) A Review on Current Scenario of Spirulina Drug Delivery Systems. *World Journal of Pharmaceutical Sciences*, **4**, 86-91.
- [2] 侯兆乾, 刘鑫阳, 史超, 等. 冻融法和超声破碎法提取螺旋藻中藻蓝蛋白的工艺研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2017, 38(2): 69-75.
- [3] Kumar, R., Sharma, V., Das, S., Patial, V. and Srivatsan, V. (2023) *Arthrospira platensis* (Spirulina) Fortified Functional Foods Ameliorate Iron and Protein Malnutrition by Improving Growth and Modulating Oxidative Stress and Gut Microbiota in Rats. *Food & Function*, **14**, 1160-1178. <https://doi.org/10.1039/d2fo02226e>
- [4] Cichońska, P. and Ziarno, M. (2021) Legumes and Legume-Based Beverages Fermented with Lactic Acid Bacteria as a Potential Carrier of Probiotics and Prebiotics. *Microorganisms*, **10**, Article 91. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010091>
- [5] Floch, M.H. (2010) The Effect of Probiotics on Host Metabolism. *Journal of Clinical Gastroenterology*, **44**, S19-S21. <https://doi.org/10.1097/mcg.0b013e3181dd4fb7>
- [6] Nguyen, B.T., Bujna, E., Fekete, N., Tran, A.T.M., Rezessy-Szabo, J.M., Prasad, R., et al. (2019) Probiotic Beverage

-
- from Pineapple Juice Fermented with Lactobacillus and Bifidobacterium Strains. *Frontiers in Nutrition*, **6**, Article 54. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00054>
- [7] Bhowmik, D., Dubey, J. and Mehra, S. (2009) Probiotic Efficiency of Spirulina Platensis-Stimulating Growth of Lactic Acid Bacteria. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, **4**, 160-163.
- [8] Parada, J. (1998) Lactic Acid Bacteria Growth Promoters from Spirulina Platensis. *International Journal of Food Microbiology*, **45**, 225-228. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(98\)00151-2](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(98)00151-2)
- [9] de Caire, G.Z., Parada, J.L., Zaccaro, M.C. and de Cano, M.M.S. (2000) Effect of *Spirulina platensis* Biomass on the Growth of Lactic Acid Bacteria in Milk. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, **16**, 563-565. <https://doi.org/10.1023/a:1008928930174>
- [10] Mazinani S, Fadaei V, Khosravi-Darani K (2016) Impact of *Spirulina platensis* on Physicochemical Properties and Viability of *Lactobacillus acidophilus* of Probiotic UF Feta Cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, **40**, 1318-1324.