

奶花芸豆纳豆的研制

张舒琪¹, 胡选生^{1,2,3*}, 赵彤^{1,2}, 张培哲³, 孟华英¹, 朱旭朝¹

¹商洛学院生物医药与食品工程学院, 陕西 商洛

²商洛市粮食工程技术研究中心, 陕西 商洛

³商洛康派绿色食品有限公司, 陕西 商洛

收稿日期: 2024年11月9日; 录用日期: 2024年12月29日; 发布日期: 2025年1月3日

摘要

为了优化奶花芸豆纳豆发酵工艺, 在考察蒸煮时间、发酵时间、发酵温度、接种量对奶花芸豆纳豆感官评分影响的基础上, 采用L₉(3⁴)正交试验法对发酵工艺进行优化。结果表明, 奶花芸豆纳豆最佳发酵工艺条件为: 蒸煮时间25 min, 发酵时间18 h, 发酵温度42℃, 接种量1.4%。在此条件下奶花芸豆纳豆感官评分为94.3, 为奶花芸豆开发利用提供了理论依据。

关键词

奶花芸豆, 纳豆, 发酵条件

Development of Phaseolus Vulgaris Natto

Shuqi Zhang¹, Xuansheng Hu^{1,2,3*}, Tong Zhao^{1,2}, Peizhe Zhang³, Huaying Meng¹, Xuchao Zhu¹

¹College of Biology Pharmacy and Food Engineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

²Shangluo Food Engineering Technology Research Center, Shangluo Shaanxi

³Shangluo Kangpai Green Food Co., Ltd, Shangluo Shaanxi

Received: Nov. 9th, 2024; accepted: Dec. 29th, 2024; published: Jan. 3rd, 2025

Abstract

The fermentation process of Phaseolus vulgaris natto was optimized in this paper. On the basis of investigating the effect of cooking time, fermentation time, fermentation temperature and inoculation amount, L₉(3⁴) orthogonal experiment was used to optimize the fermentation process. The results showed that the optimum fermentation conditions were as follows: cooking time was 25 min, the

*通讯作者。

文章引用: 张舒琪, 胡选生, 赵彤, 张培哲, 孟华英, 朱旭朝. 奶花芸豆纳豆的研制[J]. 食品与营养科学, 2025, 14(1): 16-22. DOI: 10.12677/hjfn.2025.141003

fermentation time was 18 h, the fermentation temperature was 42°C, and the inoculation amount was 1.4%. The sensory evaluation score of *Phaseolus vulgaris natto* was 94.3 under this condition, and it provides a theoretical basis for the development and utilization of *Phaseolus vulgaris natto*.

Keywords

Phaseolus Vulgaris, Natto, Fermentation Condition

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

纳豆是以大豆为原料, 利用纳豆菌发酵制作的一种传统食品[1], 含有纳豆激酶、维生素 K、大豆异黄酮、过氧化物歧化酶等生理活性物质, 以及钾、钙、钠、铁等多种微量元素[2], 具有预防高血压、辅助治疗动脉硬化、抗氧化、抗肿瘤、预防骨质疏松等保健功能[3]。研究表明蚕豆[4]、芸豆[5]、黑豆[6]、鹰嘴豆[7]、赤小豆[8]和红豆[9]等均可作为发酵原料, 开发新型纳豆产品。

奶花芸豆, 俗称“斑豆”, 主要生长在海拔 900~1500 m 的冷凉地区, 我国云、贵、川山区及东北、河北、新疆等地种植较多, 在陕西也有部分地区种植[10]。奶花芸豆含有铁蛋白、黄酮素、多肽奶花芸豆中富含 K、Mg、Ca、P [11], 等成分, 具有淀粉酶抑制活性[12]、防治心脏病、动脉硬化, 高血脂等功能[13]。我们前期已研究了奶花芸豆丹贝的制作工艺[14], 但目前尚未有奶花芸豆纳豆的研究报道, 因此, 本研究以商洛产奶花芸豆为原料, 通过正交试验优化奶花芸豆纳豆的发酵工艺, 研制一款风味可口, 营养丰富的纳豆产品, 促进奶花芸豆的深度开发利用。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

奶花芸豆: 商洛学院丹江校区试验田生产; 纳豆菌: 购于日本川岛株式会社。

2.2. 主要试验仪器

电子天平 ESJ220-4G (西安顺智电子科技有限公司); 电热恒温发酵箱 DGG-9146A (上海齐欣科学仪器有限公司); 多功能电蒸锅 DHN30A (美的集团)。

2.3. 实验方法

2.3.1. 工艺流程

选取颗粒饱满、大小均一、无异色的奶花芸豆, 清洗后用温水浸泡, 将泡好的奶花芸豆放入高压蒸汽锅中蒸熟。取出蒸熟的奶花芸豆放入超净工作台, 吸取一定量纳豆菌液接种于冷却后的奶花芸豆中, 混匀后放入发酵箱中进行发酵, 发酵结束后取出放入 4°C 冰箱后熟, 制得奶花芸豆纳豆并进行感官评定。

2.3.2. 操作要点

- (1) 原料选择及预处理: 选取颗粒饱满、无虫蛀、无霉变、成熟的奶花芸豆, 去除沙土、石子等杂物。
- (2) 浸泡: 称取适量的奶花芸豆室温下进行浸泡至奶花芸豆充分的膨胀, 以无皱折、无硬心为标准。
- (3) 蒸煮: 将浸泡后的奶花芸豆倒入电热锅内蒸煮一定时间, 然后自然冷却至室温。

- (4) 接种：将纳豆菌粉和奶花芸豆按一定质量比例混合，搅拌均匀，完成接种。
- (5) 发酵：将接种后的奶花芸豆放于恒温发酵箱中进行发酵，制作奶花芸豆纳豆。
- (6) 后熟：发酵结束后，将奶花芸豆放入冰箱 4℃ 后熟 24 小时，即得奶花芸豆纳豆。

2.3.3. 单因素试验

以感官评分为指标，蒸煮时间、发酵时间、发酵温度、纳豆菌粉接种量为考察因素，选择蒸煮时间(10, 15, 20, 25, 30 min)、发酵时间(10, 14, 18, 22, 26 h)、发酵温度(30℃, 34℃, 38℃, 42℃, 46℃)、纳豆菌粉接种量(1%, 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%)进行单因素试验。

2.3.4. 奶花芸豆正交试验

根据单因素试验结果，选择对奶花芸豆感官评分影响较显著的因素，以奶花芸豆纳豆感官评分为指标，进行正交试验优化。

2.3.5. 奶花芸豆感官评定

挑选从事食品行业相关人员 10 名，根据产品颜色、香气、滋味和组织形态进行感官评价，取平均分。感官评分标准见表 1。

Table 1. Sensory evaluation standard of *Phaseolus vulgaris* natto
表 1. 奶花芸豆纳豆感官评分标准

分数/分	颜色(25 分)	香气(25 分)	滋味(25 分)	组织形态(25 分)
21~25	颜色鲜亮，表皮光泽明显	有纳豆特有香味	软糯，口感湿润，无后苦味	黏液量丰富，黏性好
16~20	颜色暗哑，表皮有光泽	略有氨味	较软糯，口感湿润，无后苦味	黏液量较丰富，黏性较好
11~15	颜色暗哑，表皮光泽一般	有氨味	较软糯，口感较湿润，苦味微苦	黏液量一般，黏性一般
6~10	颜色呈茶褐色，表皮无光泽	有明显氨味	较软糯，口感较干涩，苦味较苦	黏液量较少，黏性较差
0~5	颜色呈暗褐色，表皮无光泽	有强烈氨味	不软糯，口感较干涩，苦味苦	基本无黏液，黏性差

3. 结果与分析

3.1. 单因素试验结果

3.1.1. 蒸煮时间对奶花芸豆纳豆品质的影响

如图 1 所示，当蒸煮时间在 10~20 min 时，奶花芸豆纳豆的感官评分随着蒸煮时间的增加而增加，当蒸煮时间超过 20 min 后，奶花芸豆纳豆的感官评分开始下降。这可能是由于蒸煮时间太短时，豆粒的硬心较多，导致口感不软糯；蒸煮时间过长时，奶花芸豆营养物质损失较大，影响产品组织形态[15]。

3.1.2. 发酵时间对奶花芸豆纳豆品质的影响

由图 2 可知，当发酵 10~22 h 时，奶花芸豆纳豆的感官评分逐渐提高，在 22 h 时达到最高，之后开始下降。这可能是由于发酵时间过短，纳豆口感不软糯；发酵时间过长则奶花芸豆纳豆的氨味浓郁，影响感官评分[16]。

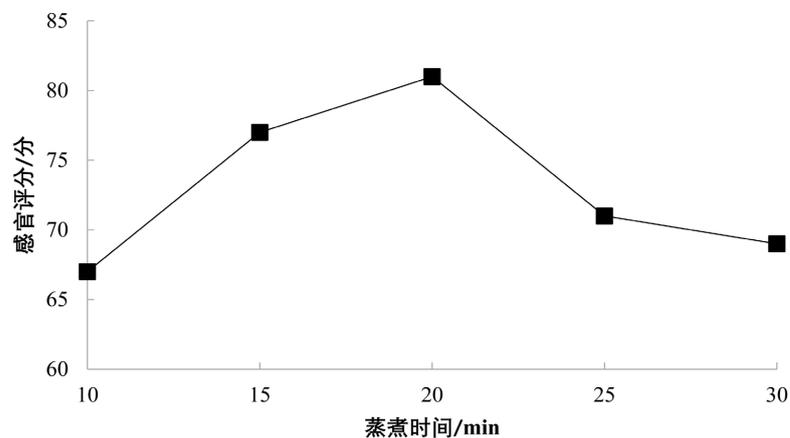


Figure 1. Effect of cooking time on the quality of *Phaseolus vulgaris* natto

图 1. 蒸煮时间对奶花芸豆纳豆品质的影响

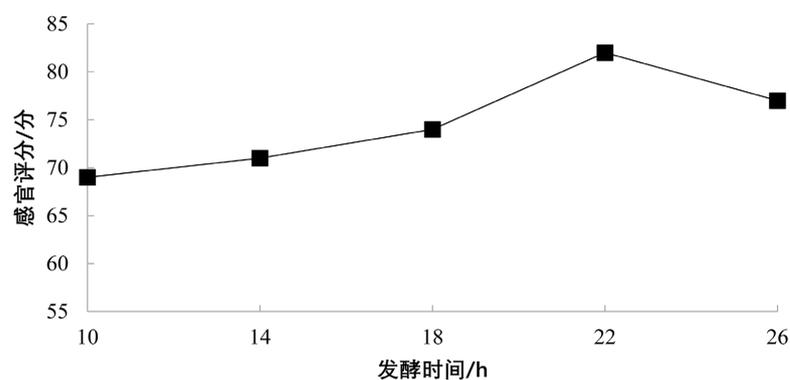


Figure 2. Effect of fermentation time on the quality of *Phaseolus vulgaris* natto

图 2. 发酵时间对奶花芸豆纳豆品质的影响

3.3.3. 发酵温度对奶花芸豆纳豆品质的影响

由图 3 可知, 随着发酵温度的增加, 奶花芸豆纳豆的感官评分也随之增加, 在 38℃ 时达到最高值。这是由于发酵温度过高或过低均会影响细菌的代谢与增殖, 降低纳豆菌生理活性, 从而影响奶花芸豆纳豆的感官评分[8]。

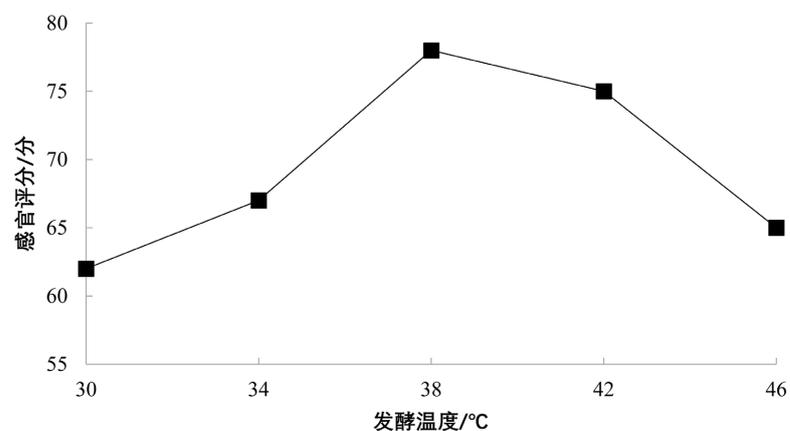


Figure 3. Effect of fermentation temperature on the quality of *Phaseolus vulgaris* natto

图 3. 发酵温度对奶花芸豆纳豆品质的影响

3.3.4. 接种量对奶花芸豆纳豆品质的影响

由图4可知,在纳豆菌接种量在1.2%时,感官评分达到最大值。这可能是由于当接种量较小时,纳豆菌不能充分生长,导致纳豆感官品质下降。接种量过大时,过多的纳豆激酶容易阻碍体系的氧气传递和菌体获得营养物质,从而影响了奶花芸豆纳豆的品质[17]。

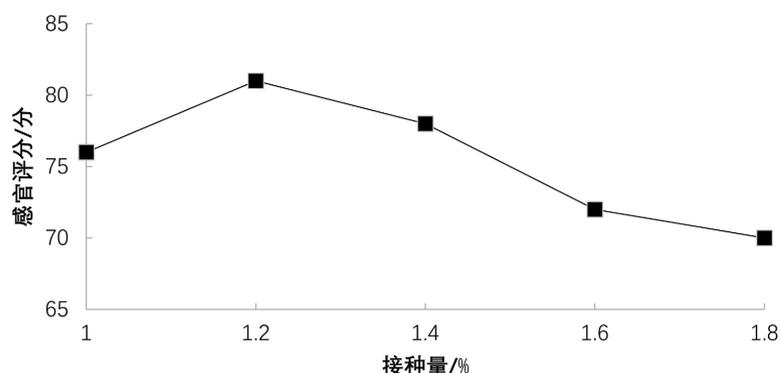


Figure 4. Effect of inoculation amount on the quality of Phaseolus vulgaris natto

图4. 接种量对奶花芸豆纳豆品质的影响

3.2. 正交试验结果

在单因素实验基础上进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,其因素与水平如表2所示,正交试验如表3所示。

Table 2. Factor and level of orthogonal test

表2. 正交试验因素水平表

水平	因素			
	A (蒸煮时间)/min	B (发酵时间)/h	C (发酵温 D)/°C	D (接种量)/%
1	15	18	34	1
2	20	22	38	1.2
3	25	26	42	1.4

Table 3. Results of orthographic experiment

表3. 正交试验结果

序号	因素				感官评分
	A (蒸煮时间)/min	B (发酵时间)/h	C (发酵温 D)/°C	D (接种量)/%	
1	1	1	1	1	75.3
2	1	2	2	2	77.0
3	1	3	3	3	80.7
4	2	1	2	3	87.1
5	2	2	3	1	80.6
6	2	3	1	2	78.3
7	3	1	3	2	91.4

续表

8	3	2	1	3	84.5
9	3	3	2	1	81.1
K ₁	233	253.8	238.1	237	
K ₂	246	242.1	245.2	246.7	
K ₃	257	240.1	252.7	252.3	
k ₁	77.67	84.60	79.37	79.00	
k ₂	82.00	80.70	81.73	82.23	
k ₃	85.67	80.03	84.23	84.10	
R	4.33	3.90	2.37	5.10	

从表 3 可知, 以感官评分为指标, 各因素的影响依次为 $D > A > B > C$, 最佳工艺条件为蒸煮时间为 25 min, 发酵时间为 18 h, 发酵温度为 42℃, 接种量为 1.4%。

3.3. 验证实验

在正交试验求得最佳工艺条件下平行进行 3 次验证实验, 平均感官评分为 94.3, 高于正交试验设计中的所有结果, 说明以上工艺参数稳定可靠, 可以作为奶花芸豆纳豆的最佳发酵工艺条件。

4. 讨论与结论

本研究根据传统纳豆生产工艺, 应用正交试验法优化了奶花芸豆纳豆的发酵工艺。结果表明, 奶花芸豆纳豆的最佳发酵工艺条件为: 蒸煮时间 25 min, 发酵时间 18 h, 发酵温度 42℃, 接种量 1.4%。在此条件下奶花芸豆纳豆感官评分为 94.3。

纳豆含有游离氨、吡嗪、支链短脂肪酸等不良风味物质, 在我国市场接受度较低[18][19], 但通过原料创新、改良菌种、混合菌种发酵等方法可以改善纳豆的风味[20]。本研究采用的是日本产纳豆菌, 前期实验结果表明口感优于国内产纳豆菌, 但没有测纳豆菌活力。芸豆品种繁多, 主要有白芸豆、小黑芸豆、奶花芸豆、红芸豆、大白芸豆、紫圆芸豆等, 每种芸豆的清蛋白、谷蛋白、球蛋白含量都不同, 但蛋白质品质均优于大豆[21]。另外, 挥发性风味物质检测应考虑氨基酸态氮含量和非蛋白氮含量, 不仅仅是感官评价。

基金项目

商洛市科技计划项目(2022-Z-0001); 商洛学院秦创原创新创业孵化能力提升项目(22KYZX09); 横向项目(23HKY123、22HKY382)。

参考文献

- [1] 甄珍, 刘晓兰. 甜味、咸味纳豆制备方法的研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(5): 64-67.
- [2] 付文静, 王家林, 张杰. 中国纳豆生产工艺的研究现状及展望[J]. 食品工业, 2018, 39(3): 230-233.
- [3] 朱诗萌. 纳豆的干燥工艺及其微胶囊化的研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [4] 张杰, 杨希娟, 党斌, 等. 蚕豆纳豆发酵工艺优化及其酶学性质[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6): 205-210.
- [5] 李宏梁, 赵倩楠. 芸豆纳豆发酵工艺条件的研究[J]. 中国调味品. 2014, 3(3): 46-49.
- [6] 刘畅, 江连洲, 李小雅, 等. 响应面法优化黑豆纳豆的制取工艺研究[J], 食品工业科技, 2015, 36(22): 262-266.

- [7] 罗仓学, 刘晓宇, 张雯. 响应面法优化鹰嘴豆发酵纳豆工艺[J]. 中国调味品, 2019, 44(2): 51-55.
- [8] 付文静, 王家林, 张杰. 赤小豆纳豆发酵工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(2): 109-113.
- [9] 王琳, 高辰哲, 刘丹怡, 等. 响应面法优化红豆纳豆的发酵工艺[J]. 中国酿造, 2018, 37(1): 190-194.
- [10] 王建明. 优质奶花芸豆的无公害栽培[J]. 种子科技, 2007, 25(4): 67-68.
- [11] 赵林同, 李慕春, 芦云, 等. ICP-OES 测定奶花芸豆中的微量元素[J]. 光谱实验室, 2012, 29(6): 3361-3363.
- [12] 于雪慧, 田童童, 张建. 响应面法优化新疆奶花芸豆 α -淀粉酶抑制剂的提取工艺[J]. 食品工业科技, 2017, 38(6): 223-228.
- [13] 韩锋利, 张玉先. 黑龙江省龙门农场奶花芸豆播期试验研究[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(5): 43-43, 87.
- [14] 胡选生, 麻雯雯, 李丹青, 等. 奶花芸豆丹贝的研制[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(1): 46-50.
- [15] 张树明, 唐伟林. 降低纳豆氨味研究进展[J]. 黑龙江中医药, 2016, 45(5): 75-76.
- [16] 杨波, 杨光, 杜国宁, 等. 响应面法优化纳豆菌发酵豆粕的工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2016, 52(6): 47-51.
- [17] Hu, Y., Ge, C., Yuan, W., Zhu, R., Zhang, W., Du, L., *et al.* (2010) Characterization of Fermented Black Soybean Natto Inoculated with *Bacillus natto* during Fermentation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **90**, 1194-1202. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3947>
- [18] 高雅鑫, 张蒙冉, 侯丽真, 等. 纳豆不良风味的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 445-450.
- [19] 任锡雯, 宋爽, 韦恃怡, 等. 响应面法优化果味纳豆饮品制备工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(17): 113-119.
- [20] 张震鹏, 龙彬彬, 都双, 等. 纳豆风味改良的研究进展[J]. 现代食品, 2021(4): 82-84.
- [21] 刘淑婷, 王颖, 王志辉, 等. 不同品种芸豆淀粉及其抗性淀粉结构和物化特性比较[J]. 中国食品学报, 2020, 20(4): 49-56.