

利用栅栏技术比较即食方便米粉的保鲜工艺

黄才真¹, 李利华¹, 李雪晴¹, 张国栋^{1*}, 税远春², 刘竟成³

(1. 西华大学食品与生物工程学院, 食品微生物四川省重点实验室, 四川成都 610039) (2. 四川巴蜀好利食品有限公司, 四川泸州 646200) (3. 泸州职业技术学院中国酒业学院, 四川泸州 646000)

摘要: 针对即食方便米粉保质期短、易腐败变质的问题, 该研究以鲜湿米粉为对象, 利用栅栏技术研究了多种保质因子对其保鲜效果以及品质的影响。实验结果显示: 采用添加量为 0.8 g/kg 脱氢乙酸钠、0.05 g/kg ϵ -聚赖氨酸盐酸盐, 可使鲜湿米粉的保藏期延长至 19 d 左右; 结合体积分数 1.0% 的乳酸酸浸处理 90 s, 保质期可进一步增加到 30 d 以上。增加栅栏因子优化工艺条件, 采用巴氏热力杀菌结合乳酸酸浸处理, 即体积分数 1.0% 的乳酸酸浸 60 s、90 °C 热力杀菌 30 min, 改进后即食米粉的保质期可达到 90 d。以上结果表明, 采用防腐剂-酸浸和巴氏杀菌-酸浸保鲜技术, 均可有效延长鲜湿米粉保质期, 保证产品的质量。研究结果为解决方便米粉难以保存的难题, 提供了实际可行的解决方案。

关键词: 即食鲜湿米粉; 栅栏技术; 保质期; 保鲜工艺

文章编号: 1673-9078(2025)01-153-161

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.1.1446

Comparison of Preservation Processes for Instant Rice Noodles Using the Fencing Technology

HUANG Caizhen¹, LI Lihua¹, LI Xueqing¹, ZHANG Guodong^{1*}, SHUI Yuanchun², LIU Jingcheng³

(1. Sichuan Key Laboratory of Food Microbiology, School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu, 610039, China) (2. Sichuan Bashu Haoli Food Co. Ltd., Luzhou 646200, China)

(3. China University of Liquor Industry, Luzhou Vocational and Technical College, Luzhou 646000, China)

Abstract: In order to solve the problems of short shelf life and easy spoilage of instant rice noodles, fresh wet rice noodles were used as the target, the influences of multiple preservation factors on the fresh-keeping effect and quality of fresh wet rice noodles were studied using the fencing technology. The experimental results showed that the shelf life of fresh wet rice noodles could be prolonged to 19 d through adding 0.8 g/kg sodium dehydroacetate and 0.05 g/kg ϵ -poly-lysine hydrochloride; after this treatment combined with 1% (*V/V*) lactic acid for 90 s, the shelf life could be further extended to more than 30 d. The process conditions were optimized by adding the fencing factors, The shelf-life of instant rice noodles could reach 90 d via pasteurization combined with lactic acid treatment (i.e. acid soaking with 1.0% (*V/V*) lactic acid for 60 s and heat sterilization at 90 °C for 30 min). The above results showed that the preservatives-acid soaking and pasteurization-acid soaking preservation technologies can effectively extend the shelf life of fresh wet rice noodles and ensure the quality

引文格式:

黄才真, 李利华, 李雪晴, 等. 利用栅栏技术比较即食方便米粉的保鲜工艺[J]. 现代食品科技, 2025, 41(1): 153-161.

HUANG Caizhen, LI Lihua, LI Xueqing, et al. Comparison of preservation processes for instant rice noodles using the fencing technology [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(1): 153-161.

收稿日期: 2023-12-03

基金项目: 四川大学-泸州科技创新研发项目(2022CDLZ-13)

作者简介: 黄才真(1999-), 女, 硕士, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: 2417598991@qq.com

通讯作者: 张国栋(1968-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品生物技术, E-mail: 448634937@qq.com

of the product. The research results provide a practical solution for solving the storage problem that fresh wet instant rice noodles are difficult to be preserved.

Key words: instant fresh wet rice noodles; hurdle technology; shelf life; preservation technique

米粉是一种条状米制品^[1], 作为我国传统食品, 通常是将大米经过清洗除杂、浸泡磨浆/沥干粉碎、熟化、挤压/切粉等工序^[2,3], 最后烘干制成干制品^[4]。干米粉易于保藏, 但食用前需泡发蒸煮, 食用不便。所以开发开袋即食的鲜湿米粉, 具有很好的市场前景。但由于其水分含量高, 极易受到微生物的污染, 出现腐败变质现象^[5,6]。

鲜湿米粉中存在的微生物, 因环境和加工条件的不同, 而表现出较大的差异。Xue 等^[7]的研究认为, 造成米粉腐败变质的微生物主要是芽孢杆菌、乳酸菌、葡萄球菌和肠杆菌科; Dong 等^[8]从新鲜米粉中分离出四种芽孢杆菌。通过检测鲜湿米粉生产环节中的微生物污染, 白云等^[9]发现, 温度、pH 值、冷却速率和器具消毒程度是影响其腐败变质的重要因素。目前鲜湿米粉的防腐保鲜, 主要采用单一的热力加热杀菌, 或化学防腐保藏。罗永丹等^[10]采用微波杀菌处理鲜湿米粉, 可使其保质期达到 20 h 以上; Juthamas 等^[11]研究了壳聚糖与苯甲酸钠、山梨酸钾对新鲜米粉腐败菌的抗菌协同作用; 也有研究报道, 丁香和肉桂提取液可延长米粉的保质期^[12]。然而, 现有的研究还未能完全解决鲜湿米粉的保藏问题, 仅仅通过热力杀菌, 由于需要较高的温度, 长时间的热处理, 会导致米粉质量的大大降低; 而单纯使用化学防腐剂, 也会存在效果不佳以及食品安全担忧的问题, 所以需要寻找新的复合保藏方式, 来更好地延长鲜湿米粉的保质期。

栅栏技术, 就是通过控制多个栅栏因子^[13,14], 来提升产品的品质和贮藏性能, 利用多个栅栏因子之间的交互作用, 以获得更好的协同栅栏效应^[15]。比如李丽^[16]将栅栏技术应用到菱角豆腐防腐中, 采用质量分数 0.3% 复合磷酸盐、0.04% 脱氢乙酸钠结合 105 °C 杀菌, 可最大程度保留产品的品质, 减少腐败变质的发生; Zhou 等^[17]在研究葡萄番茄时将动力超声波与化学消毒剂结合使用, 其产生的协同效应与单一处理方法相比效率显著提高, 抑菌效果也更强; Viacheslav 等^[18]将电激活和其他栅栏因子相结合后, 发现豌豆及玉米罐头品质有了较大的提升, 其微生物数量也相对减少, 比其他常规杀菌储藏方法更有效; Norman 等^[19]将生物保鲜、改良气氛包装

和超低温冷藏等保鲜技术结合起来, 对鳕鱼和鲑鱼基产品进行原位抑制测定, 结果显示改良后的方法比单一技术更高效, 极大提高了产品的保藏性能。

本实验选择酸浸处理、复合防腐剂以及低温巴氏杀菌作为栅栏因子, 将栅栏技术运用到鲜湿米粉的防腐保鲜上, 为确定更优的即食方便米粉保藏方法和工艺, 提供有益的探索。

1 材料和方法

1.1 材料和试剂

鲜湿米粉, 四川银丰食品有限公司提供。

ϵ -聚赖氨酸盐酸盐(食品级), 河南信达化工产品有限公司; 乳酸、脱氢乙酸钠(食品级), 青岛九泰生物科技有限公司; NaCl、乙醇、NaOH、七水硫酸钴、三氯甲烷、磷酸盐缓冲液(分析纯), 成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

G154DLS 高压灭菌锅, 致微仪器有限公司; HHS 数显恒温水浴锅, 金坛医疗仪器厂; FSH-2A 高速均质机, 上海一恒科学仪器有限公司; Stable Micro System TA-XTPLUS 质构仪, 英国 SMS 公司; TW-BZJ-2-4 真空包装机, 成都市沃迪智能装备股份有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 方便鲜湿米粉防腐保鲜方法和处理工艺流程

实验采用了食品防腐剂和巴氏杀菌两种保鲜方法, 并结合乳酸菌溶液浸泡处理, 以确定米粉最佳的保鲜方式, 也为方便米粉保藏提供更多可选择的途径。

工艺流程 1 (酸浸复合防腐剂工艺):

(每份 10 g) 米粉 → 酸浸 → 防腐液浸泡 (100 °C, 5 min)

→ 滤干水分 (10 min) → 真空包装 → 37 °C 储藏

工艺流程 2 (酸浸辅助热杀菌工艺):

(每份 10 g) 米粉 → 酸浸 → 沥干水分 (10 min) → 真空

包装 → 巴氏杀菌 → 37 °C 保存

1.3.2 复合防腐剂浓度配比

依据 GB 2760-2014 《食品安全国家标准 食品

添加剂使用标准》，选择许可使用的脱氢乙酸钠（a）和 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐（b）进行本次实验，脱氢乙酸钠和 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的最大添加量分别为 1、0.25 g/kg。按照复配防腐剂使用原则，分别设置脱氢乙酸钠、 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐的复配比（质量分数）如表 1。

按照 1.3.1 的工艺流程，对米粉进行防腐剂浸泡处理后，分别测定质构指标、断条率和蒸煮品质以及细菌总数和保质期，每组三次平行^[20]。

表 1 防腐剂复配浓度

样品	配比 (b:a)	ϵ -聚赖氨酸盐酸盐 (g/kg)	脱氢乙酸钠 (g/kg)
1	空白对照	0	0
2	100% b	0.25	0
3	80% b+20% a	0.2	0.2
4	60% b+40% a	0.15	0.4
5	40% b+60% a	0.1	0.6
6	20% b+80% a	0.05	0.8
7	100% a	0	1

1.3.3 防腐剂酸浸法处理鲜湿米粉

根据 1.3.2 得到的防腐剂最佳配比，按照 1.3.1 的工艺流程 1 进行处理，乳酸体积分数梯度为：0.5%、1.0% 和 1.5%，酸浸时间梯度为：30、60 和 90 s。测定指标同 1.3.2。

1.3.4 热力杀菌保鲜技术处理鲜湿米粉

真空包装样品分别在 85、90、95 和 100 °C 的温度梯度下进行灭菌，时间分别为：10、20、30、40 和 50 min。测定指标同 1.3.2。

1.3.5 酸浸-热力杀菌组合处理鲜湿米粉

按照 1.3.1 的工艺流程 2 进行处理，新鲜湿米粉酸浸和热杀菌联合工艺的影响因素分别是：酸浸的体积分数和时间、热杀菌的温度和时间。通过单向实验获得四个最佳条件，然后设计并验证正交优化实验。

1.3.5.1 酸浸体积分数的单因素实验

乳酸体积分数梯度：0.5%、0.75%、1.0%、1.5%，根据之前实验基础选定酸浸时间 60 s，热力杀菌时间 30 min，热力杀菌温度 90 °C。测定感官评分与保质期，每组测 3 次，下同。

1.3.5.2 酸浸时间的单因素实验

乳酸浸泡时间的梯度：45、60、75、90 s，根据 1.3.5.1 的结果确定乳酸浸泡体积分数，热杀菌时间

设定为 30 min，热杀菌温度设定为 90 °C。

1.3.5.3 热力杀菌温度单因素实验

热力杀菌温度梯度：85、90、95 和 100 °C，乳酸体积分数和浸泡时间分别由 1.3.5.1 和 1.3.5.2 确定，热灭菌时间设定为 30 min。

1.3.5.4 热力杀菌时间单因素实验

第 1.3.5.1、1.3.5.2 和 1.3.5.3 节分别得出了酸浸体积分数、酸浸时间和热杀菌温度，设置热杀菌时间梯度：25、30、45 和 50 min。

1.3.5.5 酸浸-热力杀菌组合正交实验

明确单个因素最佳条件后，选取影响米粉保鲜品质的四因素，设计正交实验，确定最佳灭菌条件组合。

1.3.6 检测方法

1.3.6.1 鲜湿米粉感官评分标准

邀请专业人员 10 人对米粉进行感官评价并打分^[21](表 2)。

表 2 鲜湿米粉感官评分标准

Table 2 Sensory scoring criteria for fresh and wet rice

noodles		
项目	评分标准	评分
色泽	光亮洁白	4.0~5.0
	略有光泽	3.0~4.0
	暗淡无光	2.0~3.0
气味	清香浓郁	4.0~5.0
	略有清香	3.0~4.0
	无香且酸	2.0~3.0
整体外观	规整、有弹力	4.0~5.0
	较规整、弹力	3.0~4.0
	粗糙、无弹力	2.0~3.0
口感	细腻爽滑耐嚼	4.0~5.0
	较细腻略硬不黏牙	3.0~4.0
	粗糙软烂粘牙	2.0~3.0

1.3.6.2 米粉物性测试

采用王云^[22]的方法进行实验，选取长 6 cm、直径 0.1 cm 的样品用 P-36R 探头进行 TPA 测试，测中速度：1 mm/s，测前、测后速度：2 mm/s，形变量：50%，感应力：5 g，数据采集：400 pps。重复 10 次。

1.3.6.3 菌落总数

按 GB 4789.2 规定的方法检验，微生物限量 $\leq 80\ 000$ CFU/g。

1.3.6.4 熟断条率

用筷子夹起米粉段并控制适当力度，静置保

留 10 s 以上, 用肉眼观察, 判定是否有断裂或断裂的痕迹, 熟后断条率用断条数与样品总数的比值表示, 注意测定应在熟制完成后 5 min 内完成^[23,24]。

1.3.6.5 蒸煮损失率

测定参考张雨^[25]的方法, 称取 2 g 样品, 在 100 mL 沸腾蒸馏水中煮制, 于 60 s 后沥干水分 20 min, 在 105 °C 烘干至恒重, 称量煮制后的米粉的质量。将剩余的蒸煮液于 105 °C 烘干至恒重, 测其质量。重复 3 次, 计算式为:

$$W = \frac{m}{M} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

W —蒸煮损失率(质量分数), %;

m —蒸煮液的干物质质量, g;

M —鲜湿米粉烘干后的质量, g。

1.3.6.6 酸度

参照 GB 5009.53 规定的酚酞指示剂法测定。

1.4 数据分析

数据处理使用 SPSS 26.0 进行组间单因素方差分析, 作图使用 Origin 2021 软件, $P < 0.05$ 表示数据差异显著具有统计学意义。

2 结果与分析

2.1 防腐剂对即食鲜湿米粉品质和保鲜的影响

实验使用表面处理法(浸泡法)能够减少防腐剂用量, 如表 3 可知, 实验组细菌菌落总数明显减少, 最低值为样品 6 的 12 400 CFU/g, 货架期明显变长, 其中样品 6 (20% b+80% a) 最长, 为 19 d。蒸煮损失、酸度、断条率和感官评价的变化趋势与

空白组对比不明显。说明用防腐剂浸泡处理虽不能改变其加工品质, 却能明显抑制微生物生长, 延长货架期, 且单一防腐剂的效果明显弱于其复配。刘瑾瑾等^[12]使用复合保鲜剂处理鲜湿米粉, 结果也说明防腐剂能显著抑制微生物生长繁殖且对米粉本身的品质无影响, 与实验结果相同。所以, 添加量为: 脱氢乙酸钠 0.8 g/kg、 ϵ -聚赖氨酸盐酸盐 0.05 g/kg 的组合效果最好。

2.2 防腐剂-酸浸处理对米粉品质和保鲜的影响

由 2.1 的实验结果可以看出, 仅进行防腐剂处理对鲜湿米粉的货架期延长效果不够, 由于改变酸碱度能够影响微生物的存活, 所以增加乳酸酸浸处理, 探究其对保鲜效果的影响。

根据表 4 可知, 防腐剂与某一体积分数的乳酸浸泡处理结合使用, 其细菌数量明显减少, 可能是由于防腐剂破坏了细菌的细胞膜导致其死亡, 延缓了鲜米粉的腐败变质, 延长了米粉的保鲜期。此外, 防腐剂-酸浸组合保鲜方式, 还可降低断条率和粘性, 可能是处理后米粉的凝胶结构更加紧密、强硬, 改善米粉品质。袁蕾蕾^[26]在鲜湿米粉保鲜储藏的研究中同样证实了, 采用适当的酸浸处理能够改善鲜湿米粉的品质。然而, 通过表 5 看出, 随着乳酸体积分数的增加和浸泡时间的延长, 米粉的硬度和咀嚼感都有所下降, 可能由于破坏了淀粉的组织结构使其变为松散。当乳酸体积分数达到 1.5% 时, 感官评分明显下降。所以, 能够得到防腐剂-酸浸复合处理最优参数为: ϵ -聚赖氨酸盐酸盐 0.05 g/kg、脱氢乙酸钠 0.8 g/kg、1.0% 体积分数的乳酸浸泡 90 s, 方便米粉保质期可延长至 32 d。

表 3 不同配比防腐剂对鲜湿米粉保鲜效果的影响

Table 3 Effects of different ratios of preservatives on the freshness preservation of fresh and wet rice noodles

样品	防腐剂配比 (b:a)	断条率/%	蒸煮损失/%	酸度/°T	感官评分/分	细菌总数/(CFU/g)	保质期/d
1	空白	11.67 ^c	1.4 ^a	0.4 ^a	15.0 ^a	54 000 ^a	2 ^c
2	100% b	13.33 ^d	1.34 ^a	0.5 ^a	15.6 ^a	23 000 ^b	12 ^b
3	80% b+20% a	8.33 ^c	1.37 ^a	0.5 ^a	15.3 ^a	13 636 ^{dc}	8 ^b
4	60% b+40% a	15 ^a	1.29 ^a	0.45 ^a	15.1 ^a	14 000 ^d	7 ^{bc}
5	40% b+60% a	10.78 ^{cd}	1.28 ^a	0.5 ^a	15.1 ^a	12 400 ^e	9 ^b
6	20% b+80% a	10.67 ^{cd}	1.25 ^a	0.6 ^a	15.6 ^a	11 000 ^f	19 ^a
7	100% a	10 ^b	1.38 ^a	0.55 ^a	15.0 ^a	19 000 ^e	7 ^{bc}

注: 表中同列数据不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下表同。

表 4 不同条件防腐剂-酸浸杀菌对鲜湿米粉保鲜效果的影响

Table 4 Effect of different conditions of preservative-acid dip sterilization on the freshness preservation of fresh and wet rice noodles

样品	乳酸体积分数/酸浸时间	断条率/%	蒸煮损失/%	酸度/°T	感官评分/分	细菌总数/(CFU/g)	保质期/d
1	空白	15.68 ^a	1.43 ^{ab}	0.55 ^g	15.4 ^a	12 000 ^a	2 ^c
2	0.5%/30 s	14.69 ^{ab}	1.42 ^{ab}	0.65 ^{fg}	15.5 ^a	6 900 ^b	21 ^b
3	0.5%/60 s	13.24 ^{ab}	1.42 ^{ab}	0.8 ^f	15.6 ^a	5 700 ^c	21 ^b
4	0.5%/90 s	12.33 ^{ab}	1.33 ^b	1.05 ^e	15.1 ^a	4 700 ^d	21 ^b
5	1%/30 s	13.67 ^{ab}	1.46 ^{ab}	1.3 ^d	15.3 ^a	2 900 ^c	24 ^b
6	1%/60 s	12.37 ^{ab}	1.53 ^{ab}	1.45 ^{cd}	15.5 ^a	2 000 ^f	26 ^b
7	1%/90 s	11.67 ^b	1.60 ^{ab}	1.55 ^c	15.5 ^a	1 400 ^g	32 ^a
8	1.5%/30 s	13.33 ^{ab}	1.56 ^{ab}	1.9 ^b	12.6 ^b	1 400 ^g	35 ^a
9	1.5%/60 s	12.33 ^{ab}	1.64 ^a	2.1 ^{ab}	12.3 ^b	1 300 ^g	35 ^a
10	1.5%/90 s	11.67 ^b	1.68 ^a	2.2 ^a	12.1 ^b	1 000 ^h	35 ^a

表 5 不同条件防腐剂-酸浸杀菌对鲜湿米粉质构指标的影响

Table 5 Effect of different conditions of preservative-acid dip sterilization on the textural indexes of fresh and wet rice noodles

试验号	乳酸体积分数/酸浸时间	硬度/g	粘性/(g·sec)	弹性	粘聚性	耐咀嚼性	恢复性
1	空白	351.301 ^b	-0.694 ^d	0.969 ^{abc}	0.581 ^a	189.089 ^f	0.418 ^a
2	0.5%/30 s	349.227 ^b	-0.878 ^c	0.974 ^{bc}	0.606 ^{bc}	188.343 ^{ef}	0.426 ^a
3	0.5%/60 s	325.665 ^a	-0.917 ^a	0.954 ^{abc}	0.585 ^{ab}	187.598 ^{dc}	0.427 ^a
4	0.5%/90 s	322.017 ^{ab}	-0.917 ^a	0.966 ^c	0.607 ^c	186.355 ^{abc}	0.427 ^{ab}
5	1%/30 s	311.766 ^{ab}	-0.916 ^b	0.943 ^{abc}	0.611 ^{abc}	186.860 ^{bcd}	0.410 ^a
6	1%/60 s	285.758 ^{ab}	-0.889 ^{bc}	0.938 ^{ab}	0.589 ^a	187.267 ^{cde}	0.432 ^c
7	1%/90 s	275.326 ^{ab}	-0.893 ^{bc}	0.955 ^{abc}	0.593 ^a	186.617 ^{abc}	0.424 ^{ab}
8	1.5%/30 s	272.637 ^{ab}	-0.901 ^{ab}	0.961 ^{abc}	0.576 ^a	186.417 ^{abc}	0.443 ^{bc}
9	1.5%/60 s	269.481 ^{ab}	-0.901 ^{ab}	0.953 ^{abc}	0.601 ^b	185.660 ^a	0.425 ^{ab}
10	1.5%/90 s	216.743 ^{ab}	-0.893 ^{bc}	0.937 ^{abc}	0.596 ^a	185.978 ^{ab}	0.421 ^a

2.3 热力杀菌对米粉品质和保鲜的影响

由表 6 结果可知,对比空白对照组,随着温度的上升和时间的增加,细菌总数显著减少,可能因为较高的温度不适宜细菌生长繁殖,保质期明显延长,蒸煮损失极大减少,热力杀菌影响了米粉的凝胶组织结构,变得更为致密所以在煮的过程中干物质不易脱离,张玮等^[27]也在鲜湿米粉的杀菌工艺研究中提出了这一结论。但是温度过高时间过长使断条率偏高,蒸煮损失上升,因为米粉的结构无法承受过高的温度和时间,影响鲜湿米粉的食用品质,黄永平^[28]在研究鲜湿米粉蒸煮过程中的品质变化时,推测微生物的代谢活动破坏了湿米粉的淀粉结

构及其吸水效果,使得在蒸煮过程中淀粉不易吸水而易析出,导致浑汤现象。

如表 7 所示,热力杀菌对鲜湿米粉的硬度、耐咀嚼性、弹性、恢复性略微升高,粘性随着温度和时间逐渐降低,推测是由于米粉凝胶结构增强导致的^[29]。杀菌温度达到 85~95 °C 时,米粉的质构特性均无明显变化,而当杀菌温度上升到临界值 100 °C,米粉的各质构参数发生较大变化,质构品质劣变显著,米粉的感官评分呈现降低趋势,米粉弹性下降,粘结成团,断条率增加。综合考虑其感官品质和质构指标,应选择最佳热力杀菌条件:热力杀菌温度 90 °C、时间 30 min。

表 6 不同条件热力杀菌对鲜湿米粉保鲜效果的影响

Table 6 Effect of thermal sterilization under different conditions on the freshness preservation of fresh and wet rice noodles

试验号	杀菌温度/杀菌时间	断条率/%	蒸煮损失/%	感官评分/分	细菌总数/(CFU/g)	保质期/d
1	空白	10 ^f	1.43 ^a	16.7 ^a	12 000 ^a	2 ^g
2	85 °C /10 min	10 ^f	0.20 ^l	16.1 ^a	7 000 ^b	8 ^f
3	85 °C /20 min	10.21 ^f	0.25 ^{kl}	16.5 ^a	6 800 ^b	8 ^f
4	85 °C /30 min	10.24 ^f	0.30 ^{jkl}	16.8 ^a	6 500 ^c	10 ^f
5	85 °C /40 min	11.10 ^e	0.31 ^{jkl}	16.6 ^a	6 300 ^c	10 ^f
6	85 °C /50 min	11.14 ^e	0.35 ^{ijk}	16.4 ^a	6 500 ^c	10 ^f
7	90 °C /10 min	10.27 ^f	0.40 ^{hij}	17.0 ^a	6 000 ^d	20 ^e
8	90 °C /20 min	11.17 ^e	0.42 ^{ghij}	17.2 ^a	5 300 ^e	21 ^{de}
9	90 °C /30 min	11.21 ^e	0.45 ^{ghi}	17.3 ^a	4 900 ^f	21 ^{de}
10	90 °C /40 min	11.25 ^e	0.47 ^{ghi}	17.2 ^a	4 200 ^g	21 ^{de}
11	90 °C /50 min	12.0 ^{cd}	0.50 ^{fgh}	17.1 ^a	3 700 ^h	19 ^e
12	95 °C /10 min	11.78 ^d	0.52 ^{efgh}	16.9 ^a	3 600 ^{hi}	21 ^{de}
13	95 °C /20 min	12.24 ^{bc}	0.55 ^{efg}	17.0 ^a	3 400 ⁱ	21 ^{de}
14	95 °C /30 min	12.29 ^{abc}	0.61 ^{def}	17.3 ^a	3 000 ^j	23 ^{cd}
15	95 °C /40 min	12.32 ^{abc}	0.64 ^{de}	16.9 ^a	2 800 ^{jk}	23 ^{cd}
16	95 °C /50 min	12.34 ^{ab}	0.72 ^{cd}	16.7 ^a	2 700 ^k	23 ^{cd}
17	100 °C /10 min	12.35 ^{ab}	0.74 ^{bcd}	16.5 ^a	2 000 ^{lm}	23 ^{cd}
18	100 °C /20 min	12.41 ^{ab}	0.82 ^{bc}	16.7 ^a	2 100 ^l	24 ^{bc}
19	100 °C /30 min	12.45 ^{ab}	0.86 ^b	16.6 ^a	1 800 ^{mn}	26 ^{ab}
20	100 °C /40 min	12.52 ^{ab}	0.85 ^{bc}	16.4 ^a	1 700 ⁿ	27 ^a
21	100 °C /50 min	12.58 ^a	0.87 ^b	16.4 ^a	1 300 ^o	28 ^a

表 7 不同条件热力杀菌对鲜湿米粉质构指标的影响

Table 7 Effect of thermal sterilization under different conditions on the textural indexes of fresh and wet rice noodles

试验号	杀菌温度/杀菌时间	硬度/g	粘性/(g·sec)	弹性	粘聚性	耐咀嚼性	恢复性
1	空白	289.333 ^a	-0.865 ^f	0.974 ^{de}	0.651 ^a	140.631 ^{ab}	0.414 ^a
2	85 °C /10 min	290.266 ^d	-1.292 ^c	0.954 ^{cd}	0.643 ^a	142.259 ^b	0.423 ^b
3	85 °C /20 min	290.301 ^d	-1.838 ^d	0.966 ^{de}	0.644 ^a	145.270 ^c	0.425 ^b
4	85 °C /30 min	290.270 ^d	-2.217 ^c	0.943 ^a	0.649 ^a	140.654 ^{ab}	0.425 ^b
5	85 °C /40 min	290.146 ^d	-2.965 ^b	0.938 ^a	0.650 ^a	141.340 ^{ab}	0.423 ^b
6	85 °C /50 min	290.156 ^d	-3.647 ^c	0.955 ^b	0.646 ^a	140.657 ^{ab}	0.425 ^b
7	90 °C /10 min	289.650 ^{bc}	-4.084 ^a	0.961 ^{cd}	0.644 ^a	140.540 ^{ab}	0.427 ^b
8	90 °C /20 min	289.857 ^{bc}	-4.572 ^a	0.953 ^{bc}	0.652 ^a	140.494 ^{ab}	0.422 ^b
9	90 °C /30 min	290.189 ^d	-5.266 ^a	0.937 ^a	0.640 ^a	139.955 ^a	0.427 ^b
10	90 °C /40 min	289.561 ^{ab}	-0.695 ^f	0.969 ^c	0.651 ^a	139.481 ^a	0.423 ^b
11	90 °C /50 min	288.572 ^{ab}	-0.694 ^f	0.982 ^c	0.652 ^a	137.581 ^a	0.428 ^b
12	95 °C /10 min	289.247 ^{ab}	-4.079 ^{ab}	0.932 ^a	0.649 ^a	138.958 ^a	0.424 ^b
13	95 °C /20 min	289.872 ^{bc}	-3.649 ^c	0.933 ^a	0.655 ^a	143.592 ^b	0.419 ^a
14	95 °C /30 min	290.147 ^d	-4.575 ^a	0.956 ^b	0.753 ^b	146.272 ^c	0.422 ^b
15	95 °C /40 min	289.246 ^{ab}	-5.257 ^a	0.962 ^b	0.702 ^{ab}	144.692 ^{bc}	0.427 ^b
16	95 °C /50 min	289.185 ^d	-0.689 ^f	0.933 ^a	0.698 ^{ab}	139.398 ^a	0.424 ^b
17	100 °C /10 min	289.245 ^{ab}	-5.259 ^a	0.967 ^b	0.655 ^a	140.210 ^a	0.418 ^a
18	100 °C /20 min	290.182 ^d	-4.069 ^a	0.954 ^{bc}	0.659 ^b	142.398 ^a	0.415 ^a
19	100 °C /30 min	290.159 ^d	-3.782 ^c	0.964 ^c	0.768 ^b	142.982 ^{ab}	0.425 ^b
20	100 °C /40 min	289.248 ^{ab}	-3.724 ^c	0.937 ^a	0.788 ^c	143.295 ^b	0.443 ^c
21	100 °C /50 min	290.246 ^{ab}	-4.586 ^a	0.953 ^b	0.739 ^a	144.698 ^{bc}	0.419 ^a

2.4 酸浸-热力杀菌处理对即食鲜湿米粉防腐保鲜和品质影响

酸浸和热杀菌这两种方法的结合在延长保质期方面具有协同效应, 由于杀菌超过 100 °C 时米粉品质会极大降低, 所以选用低温巴氏杀菌, 并结合酸浸处理。因此, 在考虑酸浸体积分数、酸浸时间、热杀菌温度和热力杀菌时间四个因素的基础上, 进行单因素实验, 选取合适的水平, 确定出酸浸-热杀菌处理的最佳工艺。

2.4.1 酸浸-热力杀菌单因素实验

由图 1 可知, 当酸浸体积分数为 1.0% 和 1.5% 时, 保质期达到了最高 35 d, 但 1.5% 的杀菌后感官评分为 18.2 略低于 1.0% 的 18.7, 是由于乳酸体积分数太高, 米粉表面色泽和结构被侵蚀破坏, 同时残留有酸味破坏口感。所以酸浸体积分数单因素选择为 1.0%。

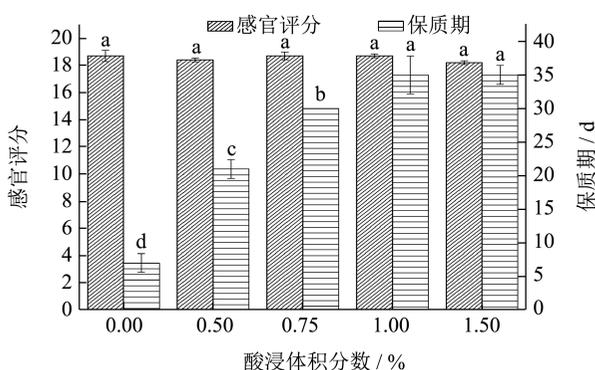


图 1 不同酸浸体积分数对鲜湿米粉感官评分及保质期的影响

Fig.1 Effect of different acid leaching volume fractions on sensory scores and shelf life of fresh and wet rice noodles

注: 图中不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下图同。

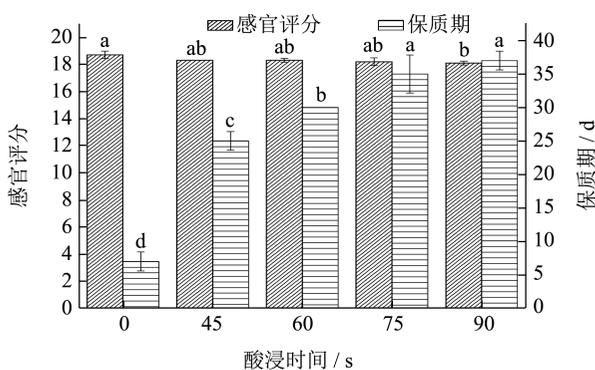


图 2 不同酸浸时间对鲜湿米粉感官评分及保质期的影响
Fig.2 Effect of different acid-soaking time on sensory scores and shelf-life of fresh and wet rice noodles

由图 2 得到, 虽然经过了 45 s 酸浸处理, 感官评分为最高, 但保质期较短。在酸浸 90 s 时, 保质期达到了最长, 但此时感官评分偏低。所以综合考虑选择 60 s 为最佳酸浸时间。

由 2.3 的结果可知最佳杀菌温度为 90 °C、最佳杀菌时间为 30 min。

2.4.2 酸浸-热力杀菌优化正交实验

通过前面栅栏单因素实验的最佳结果, 设计正交优化实验水平表, 如下表 8 所示。

表 8 正交试验水平表

水平	因素			
	A. 酸浸体积分数 / %	B. 酸浸时间 / s	C. 热力杀菌温度 / °C	D. 热力杀菌时间 / min
1	0.5	30	85	25
2	1.0	60	90	30
3	1.5	90	95	35

正交实验结果见表 9、10 所示。

表 9 正交试验分析表

样品	A. 酸浸体积分数 / %	B. 酸浸时间 / s	C. 热力杀菌温度 / °C	D. 热力杀菌时间 / min	保质期 / d	感官评分
1	0.5	30	85	25	56	17.3
2	0.5	60	90	30	72	18.9
3	0.5	90	95	35	61	17.8
4	1.0	30	90	35	84	18.4
5	1.0	60	95	25	65	18.7
6	1.0	90	85	30	61	18.6
7	1.5	30	95	30	50	17.5
8	1.5	60	85	35	56	17.2
9	1.5	90	90	25	41	17.0

感官评分	K1	18.000	17.733	17.677	17.667	
	K2	18.567	18.267	18.100	18.333	
	K3	17.233	17.800	18.000	17.800	
极差	1.334	0.937	0.423	0.666		

保质期	K1	63.000	63.333	57.667	54.000	
	K2	70.000	64.333	65.667	61.000	
	K3	49.000	59.333	58.667	67.000	
极差	21.000	5.000	8.000	13.000		

表 10 试验分析
Table 10 Test analysis

因素	平方和	自由度	F 比	F 临界值	显著性	
保质期	A	686.000	2	6.02	9.000	9.000
	B	182.000	2	1.60	9.000	9.000
	C	114.000	2	1.02	9.000	9.000
	D	254.000	2	2.23	9.000	9.000
误差	114.00	2				
感官评价	A	2.687	2	10.34	9.000	*
	B	0.507	2	1.95	9.000	9.000
	C	0.260	2	1.02	9.000	9.000
	D	0.747	2	2.87	9.000	9.000
	误差	0.26	2			

注:表中*表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

根据表 9、10 得到的正交试验结果可知,对鲜湿米粉感官评价有显著影响的因素是酸浸体积分数,并且影响鲜湿米粉感官评分的各主次因素可以通过极差大小的关系体现: $A>B>D>C$,即酸浸体积分数 $>$ 酸浸时间 $>$ 热力杀菌时间 $>$ 热力杀菌温度。但是单依靠感官评分不够证明鲜湿米粉的保鲜效果,所以另一方面通过保质期分析,得到各主次因素分别为 $A>D>C>B$,即酸浸体积分数 $>$ 热力杀菌时间 $>$ 热力杀菌温度 $>$ 酸浸时间。综合感官评分和保质期来看,酸浸体积分数是最大的影响因素,因此,得出酸浸-热力杀菌最佳条件: $A_2B_3C_2D_1$,即采用体积分数为 1.0% 的乳酸酸浸 60 s, 90 °C 热力杀菌 30 min。

以此最佳条件重复 3 次开展验证试验,验证实验见表 11。

表 11 验证实验
Table 11 Validation experiments

组合	感官评分	保质期/d	酸度/°T	蒸煮损失率/%	断条率/%
1	18.5	92	1.32	1.28	10.50
2	18.3	91	1.35	1.26	10.56
3	18.2	90	1.34	1.31	10.53
空白	16.7	2	0.42	1.68	15.73

验证结果如表 11 所示,即食鲜湿米粉保质期大约为 92 d 左右,相比空白组,其保质期延长了 90 d,较为有效地延缓了米粉的腐败变质。在品质方面,对比空白组,其蒸煮损失和断条率都有可观的下降,并且理化、感官指标均符合质量要求^[30]。酸浸结合热杀菌处理效果最佳,有效拓宽了米粉的可贮存性。

3 结论

本文研究了多种保质因子对鲜湿米粉保鲜效果及其品质的影响,运用栅栏技术解决了即食新鲜米粉的保鲜问题,得到两种防腐剂的最佳复配:0.8 g/kg 脱氢乙酸钠和 0.05 g/kg ϵ -聚赖氨酸盐酸盐,米粉保质期可延长至 19 d;并且在此基础上,结合体积分数为 1.0% 的乳酸浸泡 90 s 处理后,其货架期有效延长至 32 d。

另外,在经过高温杀菌处理后,米粉的保质期延长到 20 d,最佳热力杀菌条件为:90 °C 处理 30 min;但是,为了达到更好的保鲜效果,进行了酸浸渍和热杀菌的联合实验,可将即食新鲜湿米粉的保质期延长至 90 d 以上。酸浸联合热杀菌的优化条件如下:酸浸体积分数 1.0%、酸浸时间 60 s、热力杀菌温度 90 °C、热力杀菌时间 30 min。

综上,本文针对鲜湿米粉货架期短难以保存的问题,提出了两种可行的解决方案:防腐剂-酸浸保鲜工艺可提供方便米粉一定的货架期,并具有工艺简单、成本低以及产品品质好的优点;而巴氏杀菌-酸浸保鲜技术,对即食鲜湿米粉具有更好的保藏效果,且避免了防腐剂的使用。为确定更优的即食方便米粉保藏方法和工艺,提供有益的探索。

参考文献

- [1] LI C M, YOU Y X, CHEN D, et al. A systematic review of rice noodles: Raw material, processing method and quality improvement [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 107: 389-400.
- [2] 梁蕊,叶发银,陈嘉,等.米粉品质改良剂研究进展[J].食品与发酵工业,2024,50(7):346-353.
- [3] LI Y, ZHENG X W, CHEN J Y, et al. Lactic acid bacteria diversity of fresh rice noodles during the fermentation process, revealed by culture-dependent and culture-independent methods [J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2015, 29(5): 915-920.
- [4] 黄维安,蒙毅,陈磊,等.干米粉加工中常见问题原因分析与对策[J].粮油食品科技,2020,28(6):158-165.
- [5] 李静.鲜湿米粉复合保鲜剂响应面优化及质构特性研究[J].中国食品添加剂,2023,34(6):152-159.
- [6] GRAM L, RAVN L, RASCH M, et al. Food spoilage-interactions between food spoilage bacteria [J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 78(1-2): 79-97.
- [7] XUE W, ZHANG C N, WANG K, et al. Understanding the deterioration of fresh brown rice noodles from the

- macro and micro perspectives [J]. Food Chemistry, 2021, 342(s21): 128321.
- [8] DONG H D, ZHU H, HE H L, et al. Identification and evaluation of spoilage potential of four *Bacillus* strains isolated from slimy rice noodles [J]. Food Microbiology, 2023, 110(110): 104160.
- [9] 白芸,王子颖,蓝伟杰,等.鲜湿米粉生产过程微生物污染调查及控制[J].食品研究与开发,2020,41(24):193-199, 224.
- [10] 罗永丹,尹秀华,朱韧,等.微波处理对鲜湿米粉保鲜品质的影响[J].粮食与油脂,2020,33(5):64-68.
- [11] TANTALA J, MEETHONGCHAI S, SUETHONG W, et al. Mold-free shelf-life extension of fresh rice noodles by synergistic effects of chitosan and common food preservatives [J]. Food Control, 2022, 133(B): 108597.
- [12] 刘瑾瑾,朱思明.复合保鲜剂对鲜湿米粉防腐保鲜效果研究[J].粮食与油脂,2022,35(10):79-83.
- [13] 郭燕茹.基于抗菌包装和冷杀菌工艺的栅栏技术在鱼糜制品品质控制中的应用研究[D].上海:上海海洋大学, 2015.
- [14] 张珂珂,曹蒙,曾洁,等.鲜湿面条栅栏技术保鲜及其品质变化[J].食品工业科技,2021,42(15):307-313.
- [15] 焦捷.栅栏技术在食品贮藏与保鲜中的应用[J].现代食品,2023,29(10):48-50.
- [16] 李丽,常宪辉,刘刚,等.栅栏技术在菱角豆腐保藏中的应用研究[J].食品科技,2022,47(6):58-62.
- [17] ZHOU X Y, SALAZA J K, FAY M L, et al. Efficacy of power ultrasound-based hurdle technology on the reduction of bacterial pathogens on fresh produce [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2023, 12(14): 2653.
- [18] LIATO V, LABRIE S, BENALI M, et al. Study of the impact of a new hurdle technology composed of electro-activated solution and low heat treatment on the canned pea and corn quality and microbial safety [J]. Food Science and Technology, 2016, 51(1): 180-193.
- [19] WIERNASZ N, CORNET J, CARDINAL M, et al. Lactic acid bacteria selection for biopreservation as a part of hurdle technology approach applied on seafood [J]. Frontiers in Marine Science, 2017, 4(4): 119.
- [20] 李雪晴.方便鲜湿米粉防腐保鲜和品质改良研究[D].四川:西华大学,2022.
- [21] 罗舜菁,占柳菁,刘成梅.食品添加剂抗鲜湿方便米粉老化的研究进展[J].食品工业科技,2016,37(6):392-395,399.
- [22] 王云.糯米粉储藏特性的研究[D].武汉:武汉轻工大学, 2014.
- [23] 洪婷婷,牛丽亚,肖建辉.黄原胶添加量及老化时间对薯粉基鱼粉品质改良的研究[J].食品科技,2018,43(7):270-273.
- [24] 王柱,史腾轩,王思宇,等.响应面优化小麦淀粉抗老化酶解工艺[J].食品研究与开发,2019,40(17):116-122.
- [25] 张雨,张康逸,张国治.淀粉老化过程机理及淀粉抗老化剂应用的研究进展[J].食品工业科技,2019,40(13):316-321.
- [26] 袁蕾蕾.鲜湿米粉保鲜储藏的研究[D].南昌:南昌大学, 2015.
- [27] 张玮,陈洁,陈玲.杀菌工艺对鲜湿米粉的保鲜效果及品质的影响[J].河南工业大学学报(自然科学版),2019, 40(5):32-37.
- [28] 黄永平.鲜湿米粉贮藏过程中品质变化及微波保鲜技术研究[D].南昌:江西农业大学,2019.
- [29] 唐煜括,郑波,徐捍山,等.茶多酚、抹茶对鲜湿米粉储藏过程中老化行为与消化性能影响的研究[J].粮油食品科技,2020,28(2):1-6.
- [30] 邹仙果,池韞,费洁羽,等.不同保鲜技术和温度对鲜米粉品质的影响[J].浙江工业大学学报,2023,51(4):439-447.