

# 辣木叶粉对鲜湿面条品质特性的影响研究

梁铭豪<sup>1,2</sup>, 潘晓云<sup>3</sup>, 张世奇<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>广西师范大学化学与药学学院, 广西 桂林

<sup>2</sup>省部共建药用资源化学与药物分子工程国家重点实验室(广西师范大学), 广西 桂林

<sup>3</sup>岭南师范学院食品科学与工程学院, 广东 湛江

收稿日期: 2026年5月28日; 录用日期: 2026年6月26日; 发布日期: 2026年7月8日

## 摘要

本文探究辣木叶粉对鲜湿面条品质特性的影响, 研发富含功能性的辣木叶粉鲜湿谷物面条。通过在小麦粉中添加不同比例的辣木叶粉、纯净水、食用碱、食用盐对面条色泽、表现、弹性、光滑度、粘牙性、风味和总体可接受程度等维度, 系统研究其对面条品质的影响。采用单因素和响应面相结合的方法, 优化辣木叶粉鲜湿面条制作工艺, 最终确定最佳工艺参数为辣木叶粉添加量2.0%、食用碱添加量0.4%、水添加量46%、盐添加量1.1%。在此工艺下感官评分最高分为92.2分, 且颜色均匀, 接受程度高。当加入辣木叶粉后能够赋予鲜湿面条稳定绿色色泽和草本风味, 并提升产品营养强化价值。

## 关键词

辣木叶粉, 鲜湿面条, 工艺研究, 品质特性

# Study on the Effect of Moringa Leaf Powder on Quality Characteristics of Fresh Wet Noodles

Minghao Liang<sup>1,2</sup>, Xiaoyun Pan<sup>3</sup>, Shiqi Zhang<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>School of Chemistry and Pharmaceutical Sciences, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi

<sup>2</sup>State Key Laboratory for the Chemistry and Molecular Engineering of Medicinal Resources, School of Chemistry and Pharmaceutical Sciences, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi

<sup>3</sup>College of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang Guangdong

Received: May 28, 2026; accepted: June 26, 2026; published: July 8, 2026

\*通讯作者。

文章引用: 梁铭豪, 潘晓云, 张世奇. 辣木叶粉对鲜湿面条品质特性的影响研究[J]. 食品与营养科学, 2026, 15(4): 378-394. DOI: 10.12677/hjfn.2026.154042

## Abstract

This study aimed to investigate the effects of *Moringa oleifera* leaf powder on the quality characteristics of fresh wet noodles and develop functional *Moringa oleifera* leaf fresh wet cereal noodles. Different proportions of *Moringa oleifera* leaf powder, purified water, edible alkali, and edible salt were added to wheat flour, and their effects on the color, texture properties, elasticity, smoothness, gumminess, flavor, and overall acceptability of the noodles were systematically evaluated. The single-factor experiment combined with the response surface methodology (RSM) was employed to optimize the processing technology of *Moringa oleifera* leaf fresh wet noodles. The optimal processing parameters were determined as follows: *Moringa oleifera* leaf powder addition of 2.0%, edible alkali addition of 0.4%, water addition of 46%, and edible salt addition of 1.1%. Under these optimal conditions, the noodles achieved the highest sensory score of 92.2 points, with uniform color and high acceptability. The addition of *Moringa oleifera* leaf powder could endow the fresh wet noodles with a stable green color and herbaceous flavor, while improving the nutritional value of the product.

## Keywords

**Moringa Leaf Powder, Fresh Wet Noodles, Process Optimization, Quality Characteristics**

Copyright © 2026 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

随着居民生活水平提升与饮食结构精细化,肥胖、2型糖尿病等代谢综合征发病率持续攀升,健康主食开发成为食品科学领域的研究热点,面条作为我国传统主食,因食用便捷、受众广泛,是承载营养强化与功能改良的理想载体[1]。辣木叶(*Moringa oleifera* Lam.)作为2012年获批的新资源食品,富含多酚、多糖、黄酮等活性成分,兼具抗氧化、降血糖、抗疲劳等功效,被誉为“超级食物”[2][3]。将辣木叶粉与面条加工技术结合,开发营养与功能兼具的辣木叶粉鲜湿面条,既契合“药食同源”的健康理念,又能丰富功能性主食品类,对推动辣木叶资源高值化利用、满足大众健康饮食需求具有重要现实意义。

国外对辣木资源研究起步较早,研究重心逐步由基础营养成分分析,转向功能因子解析、加工适配性及食品载体多元化应用领域。有国外研究将辣木叶粉用作传统饮品天然生物着色剂,印证其天然色泽与植物风味在食品加工中具备良好应用潜力[4][5]。同时辣木叶多酚、多糖等活性成分成为研究热点,其中多酚抗氧化活性与加工稳定性,是制约其食品产业化应用的关键因素[6][7]。此外,借鉴灵芝发酵粉、植物功能粉体在面制品中的相关研究可知,植物粉体添加虽能提升主食膳食纤维、矿物质含量及天然色泽,但易破坏小麦面筋网络结构,造成面团延展性降低、面条质构变硬、蒸煮损失率上升,如何平衡营养强化与食用品质成为研究核心[8]-[10]。国内辣木叶相关研究起步较晚,但近年在资源开发、活性成分表征及食品应用领域发展迅速。国内已开展辣木叶多酚提取工艺与抗氧化活性探究,证实其可作为优质功能性食品原料[11][12];同时针对辣木叶多糖结构及降血糖功效的研究,为其开发健康主食奠定理论基础[13]。另有杂粮复合面条研究表明,面制品中蛋白、非淀粉多糖与面筋的相互作用,直接影响产品口感及蒸煮稳定性[14]。目前国内针对辣木叶粉鲜湿面条的系统性研究仍较匮乏,存在工艺优化研究相互割裂

的问题, 缺乏对最佳添加比例及作用机理的系统性探究。

本研究以辣木叶粉鲜湿面条为对象, 设置单因素、感官评定、响应面实验方法, 优化确定辣木叶粉鲜湿面条的最佳制作工艺, 从蒸煮损失率、色差分析和质构等多维度全面探究品质特性。为辣木叶资源在鲜湿面条中的产业化应用、配方标准化及工业化生产提供可靠的理论支撑与实际工艺参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试剂与设备

辣木叶(湛江佳池塘辣木种植基地); 中筋小麦粉(食品级, 益海嘉里食品营销有限公司); 食盐(食品级, 广东省盐业集团有限公司); 食用碱(食品级, 安琪酵母股份有限公司); 纯净水(杭州娃哈哈集团有限责任公司)。

电子分析天平 CH-120 广州市红图仪器有限公司; 压面机 FKM-180 浙江俊媳妇厨具有限公司; 质构仪 TA-T053480026 上海保圣实业发展有限公司; 色差仪 DS-420 彩谱科技有限公司; 电磁炉 DT-GT2400 鼎泰烹饪科技(广州)有限公司。

### 2.2. 试验方法

#### 2.2.1. 鲜湿面条基础配方与制备工艺

鲜湿面条制备工艺流程如图 1 所示: 基础配方以小麦粉质量 50 g/份计, 在预实验基础上设置辣木叶粉、加水量、食盐和食用碱的添加比例。制备时先将小麦粉、辣木叶粉、食盐和食用碱混合均匀, 再将水混合后缓慢加入干粉中。和面结束后将面团密封醒发, 使水分充分迁移并促进面筋网络形成。醒面后用压面机以 2 mm 滚筒间距隔压 15 次复合压延, 使面团表面变得光滑有弹性[15]; 最后切成长 10 cm × 宽

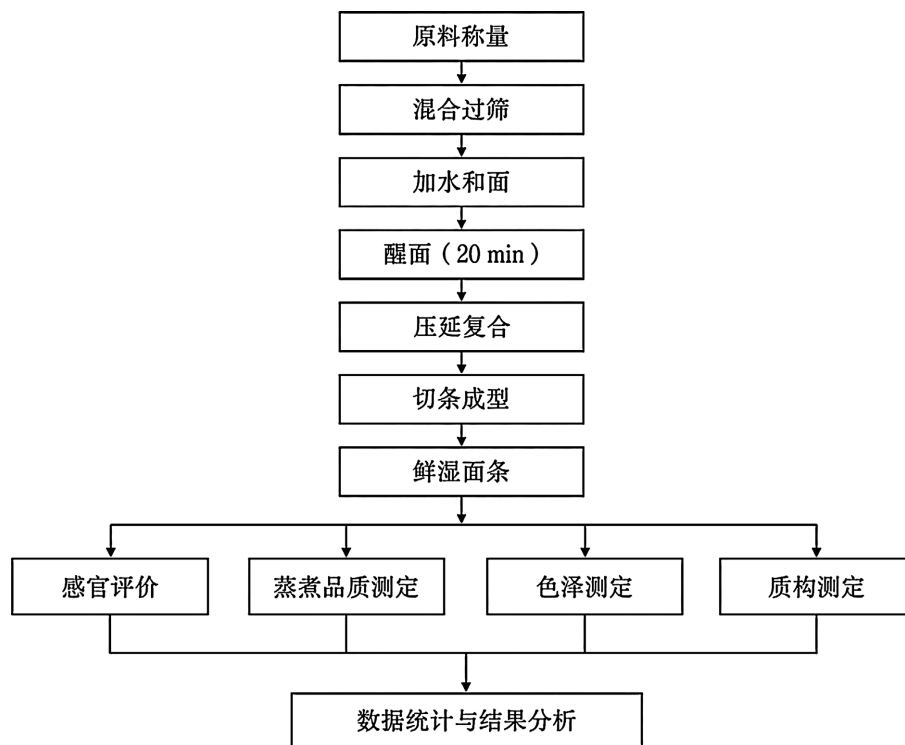


Figure 1. Preparation process flow of fresh wet noodles

图 1. 鲜湿面条制备工艺流程

2 mm × 高 2 mm 的面条。将辣木叶粉鲜湿面条在水温 70℃ 时下入面条，水沸 30 s 后倒入 50 g 的凉水，再次加热至 100℃ 沸腾 30 s 后再倒入 50 g 凉水，再次煮沸。全程用时 3 min 遵循两滚面操作保证面条筋道。逐步减小压片间距，最后切成宽度一致的鲜湿面条。所有样品在相同时间内完成煮制和评价，以降低放置时间对水分迁移和色泽变化的影响。鲜湿面条的工艺控制重点在于“变量可控”。如果同一组样品在压延次数、醒面时间或煮制时间上存在差异，即使配方相同也可能得到不同的感官评分和质构结果。因此，正式实验中应将和面时间、醒面时间、压延次数、最终面片厚度、面条宽度和煮制条件作为固定参数记录。

### 2.2.2. 单因素实验设计

如下表 1 所示，以辣木叶粉添加量 1.5%、加水量 48%、食盐添加量 1.1%、食用碱添加量 0.6%，分别用 50 g 小麦粉探究不同的辣木叶粉添加量、加水量、食盐添加量、食用碱添加量对面条品质与风味的影响，每组实验平行 3 次。以感官综合评分作为主要评价指标，并结合煮后状态、断条情况和口感描述进行辅助判断。

**Table 1.** Factors and levels of single-factor experiments

**表 1.** 单因素实验因素与水平

因素	水平设置				
辣木叶粉添加量/%	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
加水量/%	44	46	48	50	52
食盐添加量/%	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5
食用碱添加量/%	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0

### 2.2.3. 感官评定

参照 GB/T 4655-2025，所有感官评价在符合 GB/T 13868 要求的标准感官分析实验室内完成。评价间采用独立隔间设计，环境温度控制在(22 ± 2)℃，相对湿度(50 ± 5)%；照明为均匀、无影的白色日光灯，通风良好且无异味干扰，背景噪声低于 40 dB，以最大限度排除外界因素对评价员判断的影响。

评价员筛选与培训严格遵循科学程序。首先招募 30 名食品专业健康大学生作为候选评价员，经初筛排除色盲、嗅觉或味觉障碍及食物过敏者后，依次进行色觉、嗅觉和味觉阈值测试，以及三点差别检验(要求正确率 ≥ 75%)。通过上述测试的 15 名候选者进入为期 20 h 的系统培训，培训内容涵盖感官术语规范、标度正确使用、目标样品关键属性识别及多次模拟评价练习。培训结束后，采用真实样品进行评分考核，利用方差分析评估评价员的区分能力、一致性与重复性，最终选出 10 名综合表现优异的评价员，正式组建感官评价小组。

正式评价前，向全体评价员详细解读各项评分指标的定义及标度使用规则，并说明样品采用三位随机数编码，呈送顺序依据威廉姆斯拉丁方设计进行平衡，以消除评价顺序和样品名称带来的心理暗示。每份样品按统一标准煮制后，立即置于白色评价盘并加盖保温，在规定时限内(如煮制后 3 min 内)随机呈送至评价员隔间。评价员独立完成评分，评价不同样品之间须用温水和无盐饼干漱口恢复感官，全程禁止相互交流。评分采用百分制，指标包括色泽、表观、弹性、光滑度、粘牙性、风味和总体可接受度，各指标权重及标度锚点事先明确定义。

在本评价体系中，辣木叶粉固有的天然绿色和草本清香使其在色泽和特色风味方面具有明显的感官优势，是正向评价的潜在来源。然而，当其添加量过高时，易引入苦涩味、颗粒感和粗糙感等不良属性，这些感官缺陷将成为主要扣分因素，需在评价过程中重点关注。感官评分标准如表 2 所示。

**Table 2.** Sensory evaluation criteria**表 2.** 感官评分标准

指标	分值	评分要点
色泽	10	绿色均匀、光泽自然、无明显褐变
表观	10	形态完整、表面平整、无裂纹和明显气泡得高分
弹性	15	咬断后回弹较好、不易断裂、韧性适中得高分
光滑度	15	入口顺滑、颗粒感弱、吞咽无阻滞得高分
粘牙性	15	咀嚼后不粘牙、口腔残留少得高分
风味	15	草本香与面香协调、无苦涩或霉味得高分
总体可接受度	20	综合色泽、口感、风味和复购意愿评分

#### 2.2.4. 响应面实验设计

在单因素实验结果基础上,以辣木叶粉添加量(A)、食用碱添加量(B)、水添加量(C)、食盐添加量(D)作为响应面试验的因素,进行辣木叶粉鲜湿面条制备工艺的响应面试验,以感官评价的得分(R1)为响应值确定辣木叶粉面条的最佳配方。筛选后的响应面试验因素及水平如表 3 所示,采用 Design-Expert V13.0 软件对表中的因素及水平进行响应面试验。

**Table 3.** Factors and levels of response surface methodology experiment**表 3.** 响应面实验因素与水平

因素代码	因素名称	水平		
		-1	0	+1
A	辣木叶粉添加量%	1.5	2.0	2.5
B	食用碱添加量%	0.2	0.4	0.6
C	水添加量%	44	46	48
D	食盐添加量%	0.9	1.1	1.3

#### 2.2.5. 质构与蒸煮品质测定

质构实验采用质构仪进行 TPA 测试。为避免样品脱水,确保实验结果准确性采用分批制作方法,样品煮至 3 min 后捞出,沥水并冷却至适宜温度,取长度一致的面条放置于测试平台上,测定硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性。检测条件:探针为 TA/5,测前移动速率 5.0 mm/s,测试运动速度 15.0 mm/s,测后移动速度 5.0 mm/s,硬度反映面条被压缩时的阻力,弹性反映变形后的恢复能力,黏聚性体现内部结构维持能力,咀嚼性则综合反映咀嚼所需能量。质构数据能为感官评价提供客观支撑,例如评价员认为“口感偏硬”的样品,通常会在硬度指标上表现出升高趋势。

蒸煮品质包括最佳蒸煮时间、吸水率、干物质损失率和断条率等指标。辣木叶粉含有较多膳食纤维和非面筋蛋白,可能改变淀粉糊化、水分吸收和面筋包埋状态。当添加量适宜时,面条可形成较有特色的色泽与口感;当添加量过高时,面筋网络被稀释,煮制过程中淀粉和可溶性物质更容易进入汤液,导致蒸煮损失率增加[16]。

其中空白组面条配方为:50 g 小麦粉;纯净水 23 mL;食用碱 0.2 g;食用盐 0.55 g。

优化组面条配方为:50 g 小麦粉;纯净水 23 mL;食用碱 0.2 g;食用盐 0.55 g;辣木粉添加量 1 g。

高剂量组面条配方为：50 g 小麦粉；纯净水 23 mL；食用碱 0.2 g；食用盐 0.55 g；辣木粉添加量 1.25 g。

### 2.2.6. 面条的色差鉴定

采用色差仪检测辣木叶粉添加量为 0 和辣木叶粉最优添加量，每个样品进行 5 次重复实验。在测量过程中，L\*值代表样品亮度(0~100)；a\*值高于 0 时，代表红色，低于 0 时，代表绿色；b\*值高于 0 时，代表黄色，低于 0 时，代表蓝色[17]。

### 2.2.7. 数据处理

每组实验至少平行测定 3 次，结果以平均值±标准差表示。感官评价应剔除明显异常评分，并记录评价员对样品的文字描述，防止仅凭平均分掩盖品质缺陷。统计分析可采用单因素方差分析和多重比较，显著性水平设为  $P < 0.05$ 。为保证结果可追溯，实验记录应包括原料批次、称量数据、环境温度、醒面时间、压延次数、煮制时间、评价时间和仪器参数。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 单因素实验对辣木面条的感官品质影响

#### 3.1.1. 辣木叶粉添加量对鲜湿面条的感官品质影响

不同辣木叶粉添加量对面条感官品质的影响如图 2 所示。当辣木叶粉添加量低于 2.0%时，感官评分先略微降低后逐步升高再显著降低，分别在 1.0%，2.5%取得最小值，在 2.0%处取得最大值。面条色泽由普通浅绿色逐渐转为深褐翠绿色，产品识别度提高，草本香气也更加明显。感官评价最高(91 分)。当超过 2.0%时感官评价随之降低样品表面颗粒感增强，煮后汤液浑浊度增加，部分评价员反馈存在轻微苦涩味和粗糙感，综合评分下降。该结果说明辣木叶粉的添加量存在适宜窗口，过量添加并不会提高产品价值。

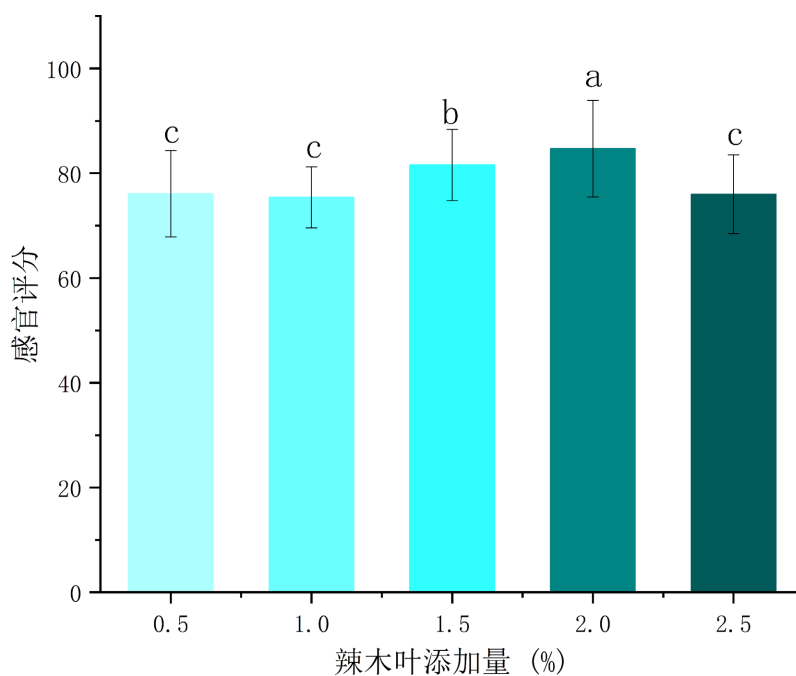
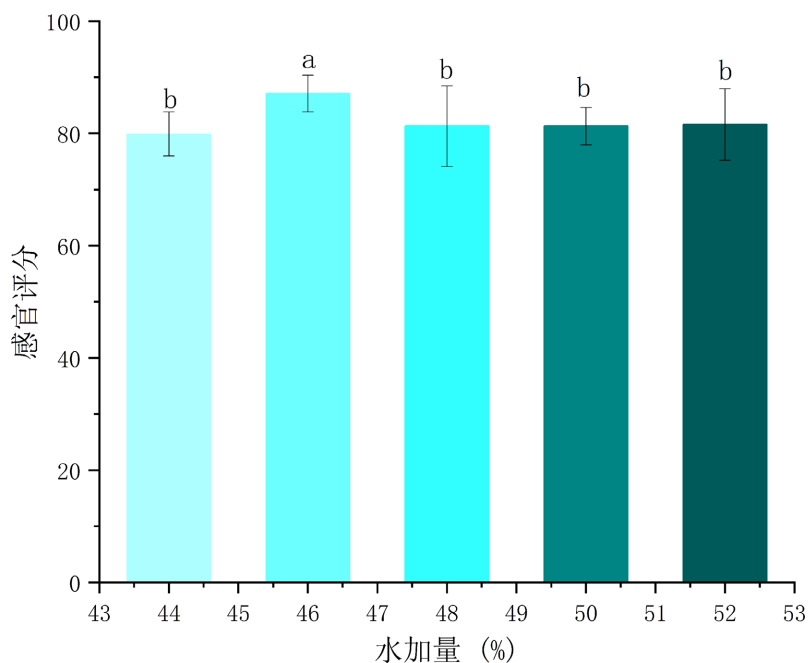


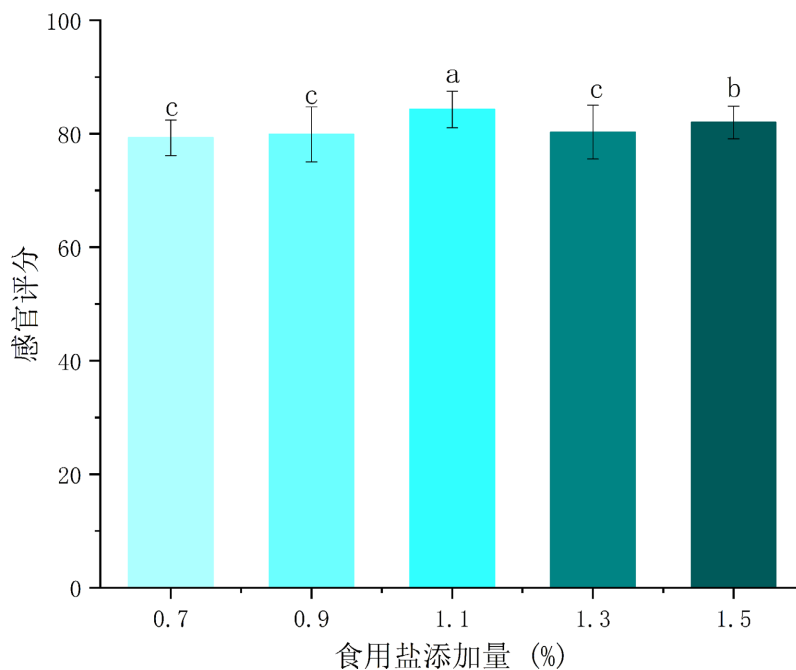
Figure 2. Effect of moringa leaf addition on the quality of fresh wet noodles with moringa leaf powder  
图 2. 辣木叶粉添加量对辣木叶粉鲜湿面条品质的影响



**Figure 3.** Effect of water addition on the quality of fresh wet noodles with Moringa leaf powder  
**图 3.** 水添加量对辣木叶粉鲜湿面条品质的影响

### 3.1.2. 水添加量对鲜湿面条感官品质的影响

当水的添加量低于 46% 时, 面团整体干硬, 缺乏弹性, 压延后边缘锯齿状明显, 难以加工。加工后面条表面粗糙, 煮后易断偏硬。当水添加量高于 46% 时面团由不沾手变粘手, 面条之间易黏连, 弹性不足, 粘牙性增加, 口感绵软。如图 3 所示当水添加量达到 46% 时, 感官评价得分最高(92 分)。



**Figure 4.** Effect of edible salt addition on fresh wet noodles  
**图 4.** 食用盐添加量对鲜湿面条的影响

### 3.1.3. 食用盐添加量对鲜湿面条感官品质的影响

当食盐添加量低于 1.1% 时, 如图 4 所示感官评分随食盐添加量增加而升高, 食盐能够增强面团筋力并改善滋味, 适量添加有助于提升弹性和咀嚼感, 当食盐添加量高于 1.1% 时面条咸味突出, 掩盖辣木叶粉带来的草木香气。当食盐添加量在 1.1% 时感官得分最高(90 分)。

### 3.1.4. 食用碱添加量对鲜湿面条感官品质的影响

当食用碱添加量低于 0.2% 时, 面条色泽随时间增加褐变速度显著高于同组对比样品。主要原因是碱添加量不足, 无法有效抑制面条中多酚氧化酶活性及美拉德反应进程, 面条护色、抗褐变效果较弱, 放置过程中出现色泽暗沉现象。如图 5 所示, 当食用碱添加量高于 0.2% 时, 过高添加量使面条产生浓重刺鼻的碱味, 掩盖小麦本身的自然麦香; 同时让面条呈现出偏黄、发暗的不自然色泽。当食用碱添加量在 0.4% 时, 感官得分最高(92 分)。

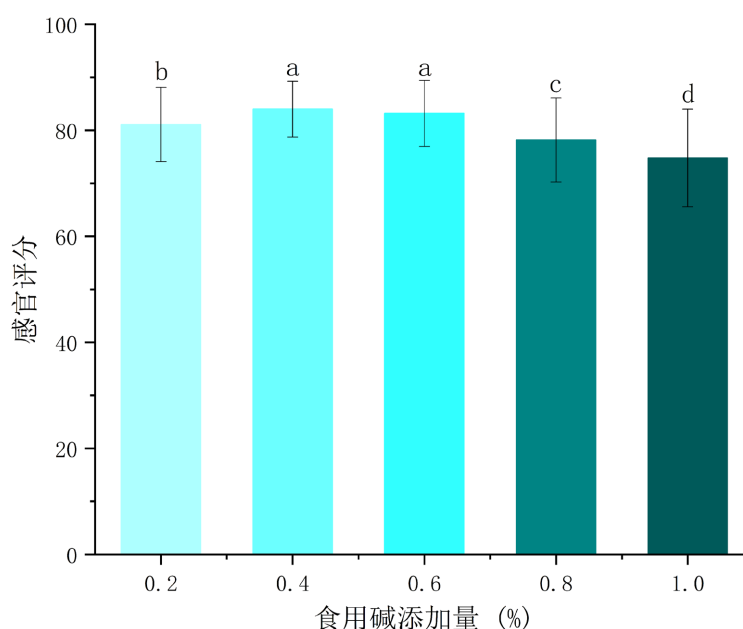


Figure 5. Effect of edible alkali addition on fresh wet noodles  
图 5. 食用碱添加量对鲜湿面条的影响

## 3.2. 响应面结果与分析

### 3.2.1. 响应面试验安排及结果

试验应用响应面优化法进行过程优化。以 A: 辣木叶粉添加量、B: 食用碱添加量、C: 水添加量、D: 盐添加量为自变量, 以感官评价为响应值 R1, 响应面试验方案及结果见表 4。得到的二次多项回归方程为:

$$\text{感官评价} = -49.7818750001 + 176.486666666666A + 12.025000000104B + 137.66000000001C + 236.141666666666D + 81AB - 4.8AC + 40AD + 7.499999999958BC - 167.5BD + 6.0CD - 49.693333333333A^2 - 409.33333333335B^2 - 2.993333333335C^2 - 343.08333333333D^2$$

方差分析结果见表 5, 回归模型的  $p < 0.0001$ ,  $R^2 = 0.9789$ ,  $R^2_{Adj} = 0.9578$  表明所得到的感官评价模型极显著。模型失拟项中  $p = 0.6805 > 0.05$ , 证明该回归方程与实验拟合良好; 信噪比(Adeq Precision)为 22.659, CV 为 0.7487%, 均说明可以利用上述模型有效预测各因素对感官评价的影响。由 F 值可得各因素(含交互项与平方项)对感官评价的影响顺序为:  $B^2 > D^2 > A^2 > C^2 > B > A > C > AB > BD > AC > AD >$

**Table 4.** Response surface experimental design and results**表 4.** 响应面试验方案及实验结果

试验号	A	B	C	D	感官评分
1	1.5	0.2	46	1.1	84.4
2	1.5	0.6	46	1.1	82.1
3	2.5	0.2	46	1.1	82.5
4	2.5	0.6	46	1.1	88.3
5	1.5	0.4	44	1.1	83.8
6	1.5	0.4	48	1.1	85.1
7	2.5	0.4	44	1.1	88.3
8	2.5	0.4	48	1.1	84.8
9	1.5	0.4	46	0.9	84.2
10	1.5	0.4	46	1.3	83.1
11	2.5	0.4	46	0.9	85.3
12	2.5	0.4	46	1.3	88.2
13	2	0.2	44	1.1	84.5
14	2	0.2	48	1.1	82.9
15	2	0.6	44	1.1	84.9
16	2	0.6	48	1.1	86.3
17	2	0.2	46	0.9	81.3
18	2	0.2	46	1.3	84.7
19	2	0.6	46	0.9	86.8
20	2	0.6	46	1.3	83.5
21	2	0.4	44	0.9	84.7
22	2	0.4	44	1.3	84.5
23	2	0.4	48	0.9	84.5
24	2	0.4	48	1.3	86.7
25	2	0.4	46	1.1	91.9
26	2	0.4	46	1.1	92.2
27	2	0.4	46	1.1	91.5
28	2	0.4	46	1.1	92.1
29	2	0.4	46	1.1	90.4

**Table 5.** Analysis of variance for the regression model of moringa leaf noodles**表 5.** 辣木叶粉面条回归模型方差分析表

来源	总和	自由度	均方	F	P	
模型	269.44	14	19.25	46.44	<0.0001	*
A-辣木叶粉添加量	37.45	1	37.45	90.35	<0.0001	**

续表

B-食用碱添加量	75.65	1	75.65	182.54	<0.0001	**
C-水添加量	28.23	1	28.23	68.13	<0.0001	**
D-盐添加量	6.88	1	6.88	16.6	0.0011	*
AB	16.4	1	16.4	39.58	<0.0001	**
AC	5.76	1	5.76	13.9	0.0022	*
AD	4	1	4	9.65	0.0077	*
BC	2.25	1	2.25	5.43	0.0353	*
BD	11.22	1	11.22	27.08	0.0001	**
CD	1.44	1	1.44	3.47	0.0834	
A <sup>2</sup>	62.57	1	62.57	150.97	<0.0001	**
B <sup>2</sup>	108.68	1	108.68	262.24	<0.0001	**
C <sup>2</sup>	58.12	1	58.12	140.24	<0.0001	**
D <sup>2</sup>	76.35	1	76.35	184.22	<0.0001	**
残差	5.8	14	0.4144			**
失拟	3.65	10	0.3654	0.6805	0.7175	
纯误差	2.15	4	0.537			
总和	275.24	28				

注: \*\*为差异极显著( $P < 0.0001$ ); \*为差异显著( $P < 0.05$ )。

$D > BC > CD$ 。其中, A, B, C, AB, AD, BD, A<sup>2</sup>, B<sup>2</sup>, C<sup>2</sup>, D<sup>2</sup>。对感官评价影响极显著( $p < 0.01$ ), AC, BC, D 响显著( $p < 0.05$ ), 而 CD 影响不显著( $p = 0.0834 > 0.05$ )。

### 3.2.2. 响应面交互作用分析

#### (1) 辣木叶粉添加量和食用碱添加量对感官评价的影响

由图 6 可知, 辣木叶粉添加量与食用碱添加量对面条感官评价的交互影响极其显著。三维响应曲面呈现出陡峭的“穹顶”状, 说明两因素对响应值具有较强的灵敏度。随着二者的增加, 感官评分均表现出先快速上升后平缓下降的趋势, 且最高点锁定在区域中心。对应的二维等高线图呈现出明显的椭圆形, 这与方差分析中交互项 AB 极显著( $p < 0.0001$ )的结果高度吻合, 表明辣木叶粉与食用碱的协同配比对提升制品品质至关重要。

#### (2) 辣木叶粉添加量和水添加量对感官评价的影响

辣木叶粉添加量与水添加量的交互作用分析, 图 7 展示了辣木叶粉添加量与水添加量的交互影响。响应曲面沿 A 轴和 C 轴方向均具有显著的弯曲度, 表明两者均存在显著的二次效应。当水添加量固定在中心水平时, 感官评分随辣木叶粉添加量的增加呈现倒“U”形变化。其等高线呈现出较好的椭圆形态, 表明 AC 交互作用显著说明水分含量的多少会直接影响辣木叶成分在面筋网络中的分布, 进而影响口感与色泽。

#### (3) 辣木叶粉添加量和盐添加量对感官评价的影响

辣木叶粉添加量与盐添加量的交互作用分析, 图 8 为辣木叶粉添加量与盐添加量的交互作用响应面。曲面整体曲率较大, 坡度较为陡峭, 反映出二者的微小变动都会对感官得分产生明显影响。当两个因素同时处于中心水平(0 水平)附近时, 响应值达到极大值。等高线图呈显著椭圆形, 验证了 AD 交互项的显著性( $p = 0.004$ ), 表明适量的盐分能够较好地衬托辣木叶的独特风味, 两者在优化过程中存在明显的协同增效作用。

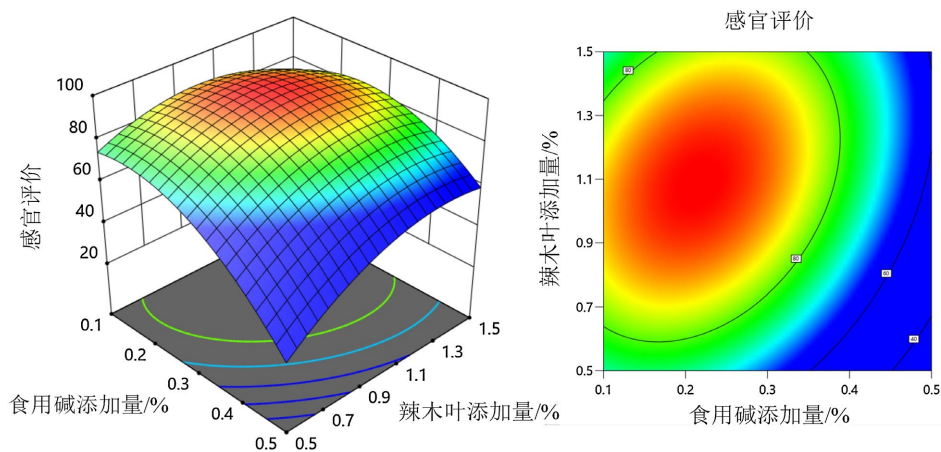


Figure 6. Effect of Moringa leaf addition and edible alkali addition on sensory evaluation  
图 6. 辣木叶粉添加量和食用碱添加量对感官评价的影响

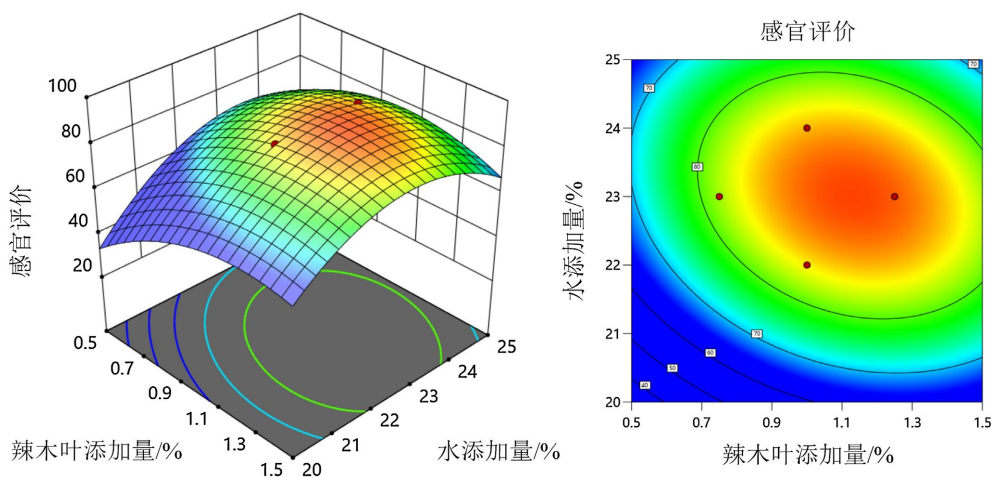


Figure 7. Effect of Moringa leaf addition amount and water addition amount on sensory evaluation  
图 7. 辣木叶粉添加量和水添加量对感官评价的影响

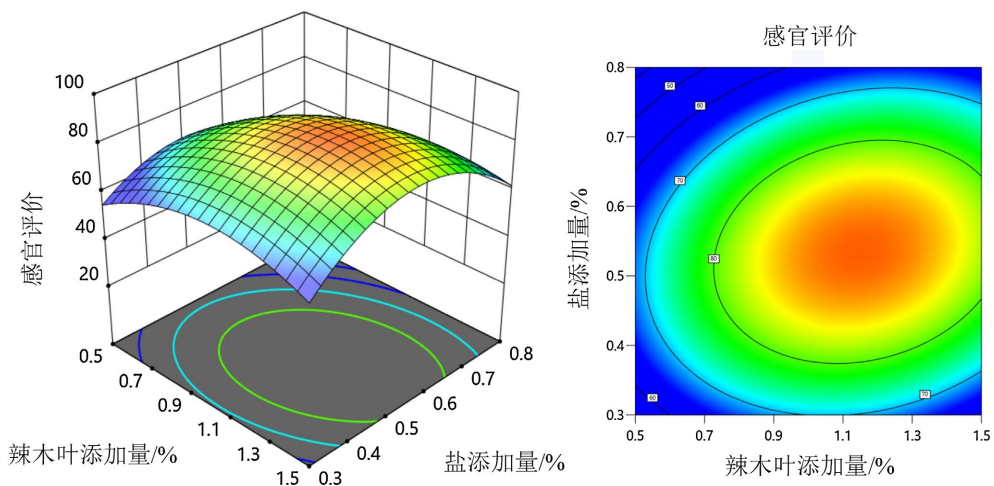


Figure 8. Effect of Moringa leaf addition amount and salt addition amount on sensory evaluation  
图 8. 辣木叶粉添加量和盐添加量对感官评价的影响

#### (4) 食用碱添加量和水添加量对感官评价的影响

食用碱添加量与水添加量的交互作用分析, 图 9 反映了食用碱添加量与水添加量之间的交互关系。相比于前述组合, 该响应曲面显得相对平缓。虽然随着碱和水的增加, 感官得分仍维持先升后降的规律, 但曲面的起伏程度较小。其等高线形状趋于圆形, 这与方差分析中交互项 BC 不显著( $p=0.352$ )的统计结果一致, 说明在现有实验范围内, 食用碱与水分的变化相对独立, 两者的相互制约作用不明显。

#### (5) 食用碱添加量和盐添加量对感官评价的影响

食用碱添加量与盐添加量的交互作用分析, 图 10 展示了食用碱添加量与盐添加量的强烈交互作用。三维曲面非常陡峭, 呈现出极其饱满的“蒙古包”状结构, 这说明二者是影响面条感官品质的核心因素。随着碱和盐添加量的增加, 感官评价得分迅速攀升并在中心点处取得最大值。等高线图呈现出极其规整且扁平的椭圆, 对应方差分析中极显著的 BD 交互作用( $p=0.0001$ ), 表明碱与盐的比例关系直接决定了面条的筋道程度与风味平衡。

#### (6) 水添加量和盐添加量对感官评价的影响

水添加量与盐添加量的交互作用分析, 图 11 为水添加量与盐添加量的交互影响图。观察发现, 曲面

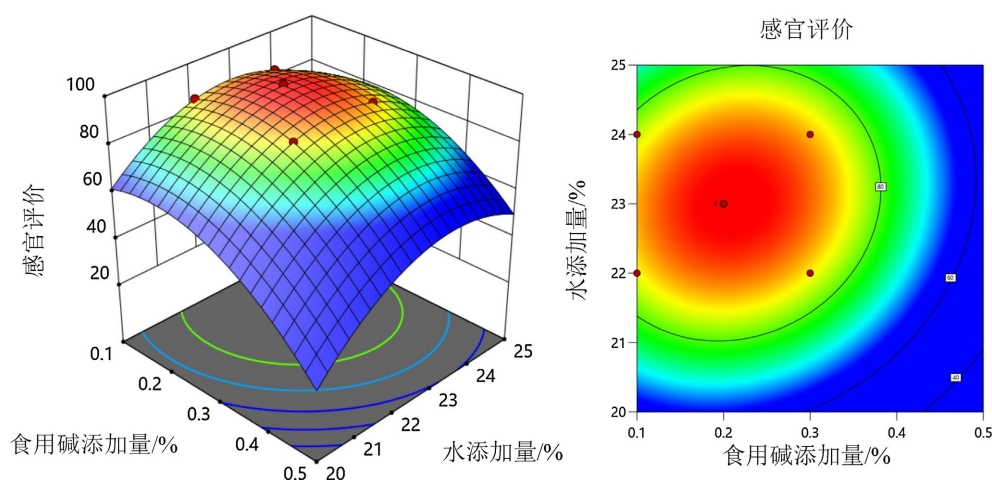


Figure 9. Effect of the amount of edible alkali and water on sensory evaluation

图 9. 食用碱添加量和水添加量对感官评价的影响

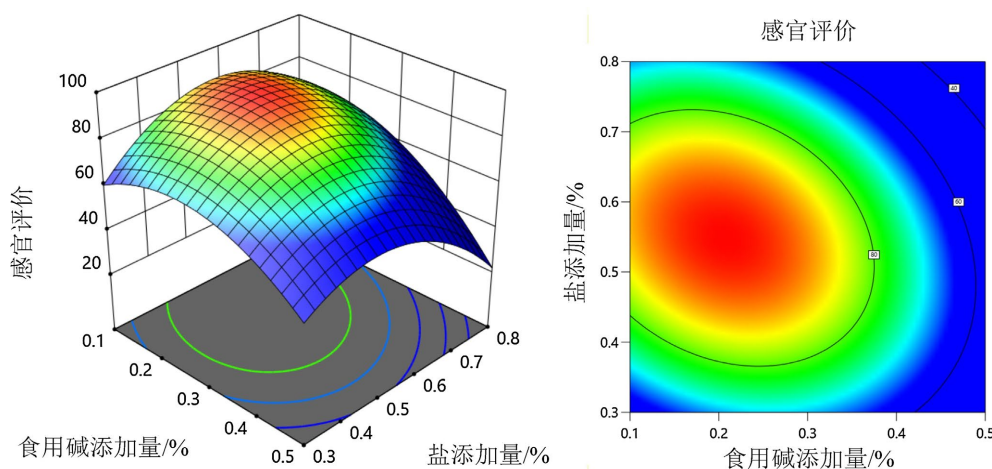
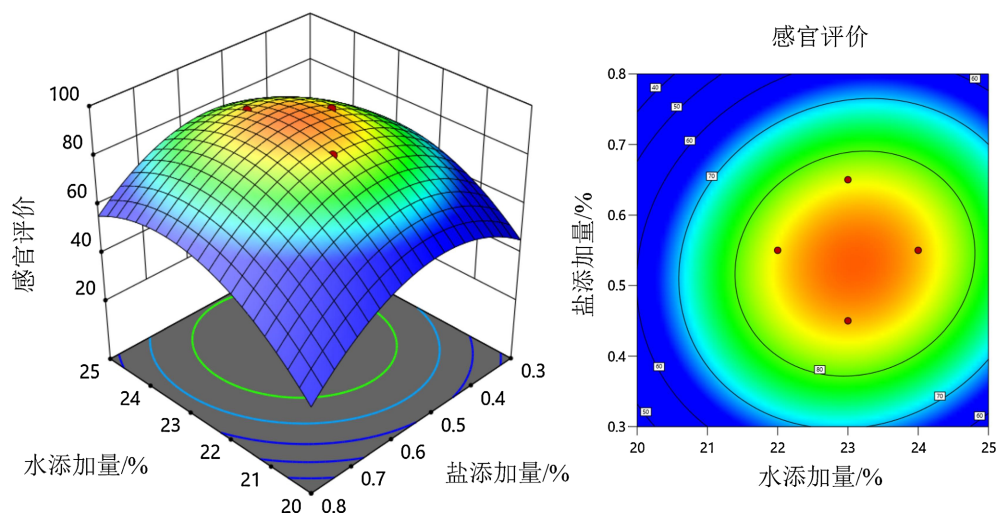


Figure 10. Effect of the amount of edible alkali and salt on sensory evaluation

图 10. 食用碱添加量和盐添加量对感官评价的影响



**Figure 11.** Effect of the amount of water and salt on sensory evaluation  
**图 11.** 水添加量和盐添加量对感官评价的影响

沿着 C 轴方向的变化较为平滑，响应面的变化梯度不如 BD 项显著。二维等高线图呈现出接近正圆形的形态，表明水添加量与盐添加量之间的交互影响并不显著( $p = 0.197$ )。这说明这两者对感官评价的影响以各自的单因素线性或二次效应为主，彼此间的协同或干扰作用较弱，在实际工艺调整中可分别进行独立控制。

#### (7) 中心点验证

由以上单因素实验和响应面实验确定影响辣木叶制品感官品质的因素按重要程度排序：食用碱添加量 > 盐添加量 > 辣木叶粉添加量 > 水添加量。考虑到实际操作的便利性，通过响应面优化得到辣木叶制品理论最佳工艺参数为 A (辣木叶粉添加量) 2.12%、B (食用碱添加量) 0.42%、C (水添加量) 46%、D (盐添加量) 1.1%，此时感官评分预测值可达 91.87 分。为更贴合生产称量与配料的便捷需求，将 A、B 两参数微调为易于计量的 2.0% 和 0.4%，而 C、D 保持不变，由此确立一套方便执行的最佳制作工艺。经 3 组平行验证，该便捷工艺的感官评分稳定在 91.5~92.2 分，与模型预测高度吻合，表明优化模型可靠、重现性良好。因此，兼顾方便与品质的辣木叶制品最佳制作工艺确定为：辣木叶粉添加量 2.0%，食用碱添加量 0.4%，水添加量 46%，盐添加量 1.1%。

### 3.3. 质构实验结果分析

质构实验可进一步解释感官评分差异。由图 12 和表 6 可见，与空白组相比，优化组硬度有所升高，弹性略有降低，黏聚性略低，咀嚼性变化不大。这一结果符合植物粉强化面条的一般规律：辣木叶粉增加了体系中非面筋组分比例，使面条结构更紧实，但面筋网络连续性略受影响。对于鲜湿面条而言，适度硬度有助于形成“有嚼劲”的口感，但若硬度升高同时弹性明显降低，则会表现为发硬、易断和不爽滑。

质构结果与感官结果可以相互印证。优化组虽然硬度升高，但仍保持较好的弹性和咀嚼性，因此评价员认为其具有一定韧性；高添加组则硬度过高且弹性下降，导致“硬而不弹”。这种差异提示，辣木叶粉鲜湿面条应避免单纯追求高营养添加量，而应以“口感可接受”为边界开展营养强化。

### 3.4. 蒸煮品质结果分析

蒸煮品质是判断鲜湿面条加工适应性的重要指标。示例结果显示，优化组吸水率略高于空白组，

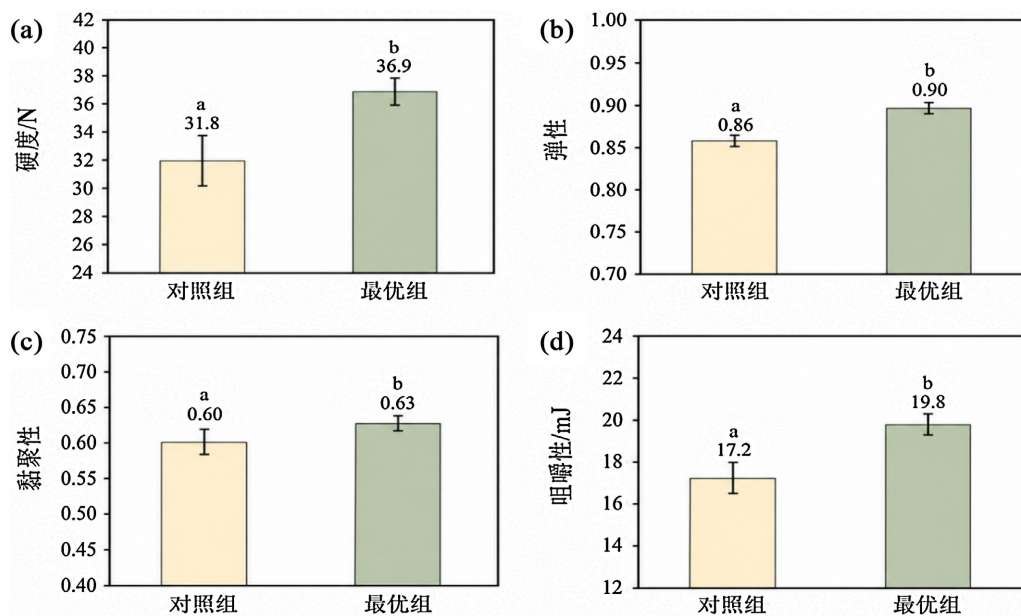


Figure 12. Comparison of texture indicators between blank group and optimized group

图 12. 空白组与优化组质构指标对比示意

Table 6. Example of determination results for texture indicators

表 6. 质构指标测定结果示例

样品	硬度/g	弹性	黏聚性	咀嚼性/g	说明
空白组	3150 ± 126	0.89 ± 0.02	0.62 ± 0.03	1740 ± 88	弹性较好, 风味普通
优化组	3520 ± 142	0.86 ± 0.03	0.59 ± 0.02	1790 ± 94	硬度提高, 特色风味明显
高添加组	4210 ± 168	0.77 ± 0.04	0.51 ± 0.03	1655 ± 103	偏硬且易断, 接受度下降

说明辣木叶粉中的纤维成分增强了体系吸水能力; 干物质损失率也略有增加, 说明部分可溶性成分和淀粉颗粒在煮制过程中更容易进入汤液。若添加量继续升高, 损失率和断条率会明显增加, 影响汤液清澈度和食用品质。

蒸煮损失率升高并不一定意味着产品不可用, 关键在于是否超过消费者可接受范围以及是否造成明显断条。由表 7 可知, 优化组的损失率虽高于空白组, 但整体仍处于可接受水平; 高添加组则同时出现汤液浑浊、断条率升高和口感粗糙, 说明其不宜作为推荐配方。类似地, 蒸汽处理辣木粉用于面包的研究也指出, 辣木粉的加工方式和添加比例会影响产品膨胀、质地和感官质量[18]。

Table 7. Example of cooking quality measurement results

表 7. 蒸煮品质测定结果示例

样品	最佳蒸煮时间/ min	吸水率/%	干物质损失率/%	断条率/%
空白组	4.5 ± 0.2	78.4 ± 2.1	5.2 ± 0.3	1.1 ± 0.2
优化组	4.8 ± 0.2	84.6 ± 2.4	6.4 ± 0.4	1.8 ± 0.3
高添加组	5.2 ± 0.3	91.3 ± 2.8	9.8 ± 0.6	6.5 ± 0.7

### 3.5. 色差分析结果

辣木叶粉的添加量对面团色泽会产生一定影响, 这是由于辣木叶自身富含以叶绿素与类胡萝卜素为

主的天然色素混合物[19]。由表 8 可知,随着辣木叶粉添加量由 0%提升至 2%,面团的  $L^*$  由 73.46 降至 71.16, 明度略有下降;  $a^*$  由 -1.52 降至 -3.16, 绿度显著增强;  $b^*$  由 17.07 升至 20.35, 黄度明显上升, 整体呈现出偏黄绿的色调特征, 这与辣木叶粉中叶绿素和类胡萝卜素的呈色特性一致。

统计分析表明,在 2%添加水平下,面团的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  比差异均不显著( $p > 0.05$ ),说明该添加量尚未对颜色造成统计学上的显著改变。但整体色差  $\Delta E$  约为 4.3, 已超过人眼可感知的色差阈值( $\Delta E > 3$ ), 表明从感官层面, 2%辣木叶粉的添加已能让面团呈现出明显的颜色差异。

**Table 8.** Effect of *Moringa oleifera* leaf powder addition on the color difference of dough

**表 8.** 辣木叶粉添加量对面团色差的影响

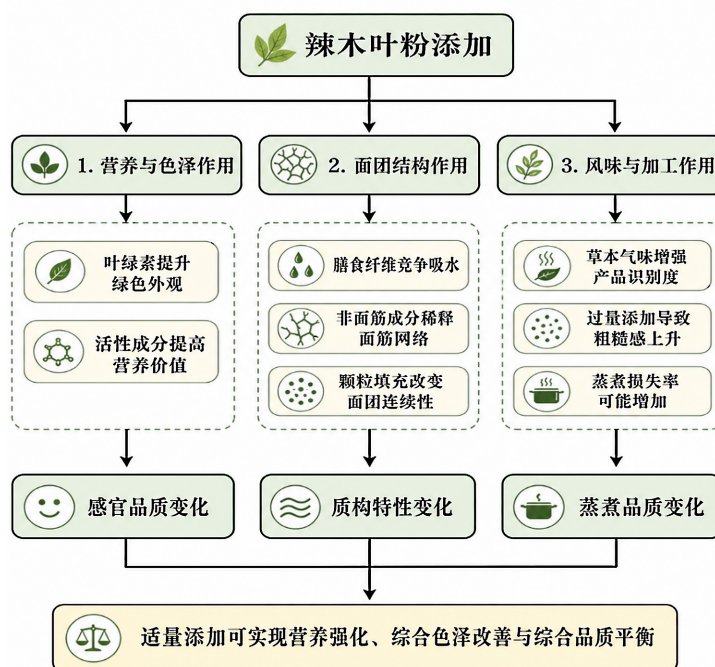
辣木叶粉添加量(%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0.00	$73.46 \pm 1.30^b$	$-1.52 \pm 0.23^b$	$17.07 \pm 1.48^a$
2.00	$71.16 \pm 0.84^b$	$-3.16 \pm 0.09^b$	$20.35 \pm 0.41^a$

### 3.6. 辣木叶粉影响鲜湿面条品质的影响讨论

综合单因素、响应面、质构和蒸煮结果,辣木叶粉对鲜湿面条品质的影响可以概括为营养强化、结构干扰和风味赋形三个方面。首先,辣木叶粉能够提高产品中植物活性成分和膳食纤维含量,使普通主食具有更明确的营养特色;其次,其纤维颗粒和非面筋蛋白会稀释小麦蛋白,干扰面筋网络形成,使面条弹性和黏聚性下降;并且,辣木叶粉带来绿色色泽和草本香气,但过量时会产生苦涩感和粗糙感。

由图 13 可见,辣木叶粉鲜湿面条开发的核心是建立“营养价值 - 结构稳定 - 感官接受”的三角平衡。辣木叶粉用于饼干等粮谷食品营养强化的研究同样表明,植物粉复配比例需要围绕营养提升、质构稳定和消费者接受度综合控制[20]-[21]。从产业应用看,优化配方还需进一步考虑预处理方式和冷藏保鲜条件。

#### 辣木叶粉影响鲜湿面条品质的机制示意



**Figure 13.** Mechanism of moringa leaf powder affecting the quality of fresh wet noodles

**图 13.** 辣木叶粉影响鲜湿面条品质的机制示意

## 4. 结论

本次实验运用单因素实验与响应面实验相结合, 确定辣木叶粉鲜湿面条的最佳工艺为: 辣木叶粉添加量 2.0%, 食用碱添加量 0.4%, 水添加量 46%, 盐添加量 1.1%。在此工艺条件下辣木叶粉面条感官评分最高, 口感最佳。本研究将药食同源植物辣木叶作为功能性配料应用于鲜湿面条的加工生产, 不仅丰富了面制品的营养体系——依托辣木叶中丰富的膳食纤维、维生素及矿物质等营养成分, 弥补了传统鲜湿面条营养单一的短板, 同时也拓展了辣木叶的深加工路径, 为功能性面制品的研发提供了新的思路与实践支撑。

## 基金项目

广西研究生教育创新计划项目(YCSW2026185)。

## 参考文献

- [1] 申艺欣. 低 GI 沙棘杂粮面条的研制及对 2 型糖尿病小鼠糖脂代谢的影响[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉轻工大学, 2025.
- [2] 中华人民共和国卫生部. 关于批准蛋白核小球藻等 4 种新资源食品的公告[J]. 中国食品添加剂, 2013(1): 227-228. <https://zstj.cbpt.cnki.net/portal/journal/portal/client/paper/ea84b9a0402bb4eca9f7a972992decfa>
- [3] 宋明, 费文婷, 刘金莲, 等. 外来中药辣木叶的药性与功用再探索[J]. 世界中医药, 2024, 19(11): 1550-1554, 1562.
- [4] Simonato, B., Tolve, R., Rainero, G., Rizzi, C., Sega, D., Rocchetti, G., et al. (2021) Technological, Nutritional, and Sensory Properties of Durum Wheat Fresh Pasta Fortified with *Moringa oleifera* L. Leaf Powder. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **101**, 1920-1925. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10807>
- [5] Coello, K.E., Peñas, E., Martínez-Villaluenga, C., Elena Cartea, M., Velasco, P. and Frias, J. (2021) Pasta Products Enriched with Moringa Sprout Powder as Nutritive Dense Foods with Bioactive Potential. *Food Chemistry*, **360**, Article ID: 130032. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130032>
- [6] 黄稳妃, 韦巧燕, 覃明强, 等. 辣木叶、穿心莲、肿节风混合中药水煎剂防治大肠杆菌病疗效研究[J]. 饲料工业, 2024, 45(24): 83-90.
- [7] Ganga, M.U., Karthiayani, A., Vasanthi, G. and Baskaran, D. (2019) Study on Development of Fiber-Enriched Noodles Using Moringa Leaves (*Moringa olifera*). *Asian Journal of Dairy and Food Research*, **38**, 145-149. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.dr-1451>
- [8] Mpalanzi, V.T., Chaula, D.N. and Wenaty, A. (2023) Textural, Cooking Quality and Sensory Acceptability of Noodles Incorporated with Moringa Leaf and Sardine Powders. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, **15**, 1-20. <https://doi.org/10.9734/ejnf/2023/v15i101341>
- [9] 陈志豪, 胡馨文, 肖梦倩, 等. 辣木叶及其活性成分治疗代谢性疾病的研究进展[J/OL]. 中国药学杂志: 1-28. <https://link.cnki.net/urlid/11.2162.R.20260424.1004.00>, 2026-06-24.
- [10] 高文庚, 董颖, 张美, 等. 灵芝发酵粉对面条品质的影响及多因素工艺优化研究[J]. 运城学院学报, 2025, 43(6): 29-36.
- [11] 董维雲, 边祥雨, 杨忍忍, 等. 辣木叶水提物成分分析及其对小鼠力竭游泳时间的影响[J]. 中国食物与营养, 2023, 29(12): 42-47.
- [12] 李天娇, 程碧君, 张芳玮, 等. 辣木叶多酚提取及抗氧化能力研究[J]. 农产品加工, 2023(20): 15-18.
- [13] 边祥雨, 赵珂, 李小琼, 等. 辣木叶多糖对小鼠免疫功能的影响[J]. 中国食物与营养, 2026, 32(5): 138-145.
- [14] Zang, P., Gao, Y., Chen, P., Lv, C. and Zhao, G. (2022) Recent Advances in the Study of Wheat Protein and Other Food Components Affecting the Gluten Network and the Properties of Noodles. *Foods*, **11**, Article 3824. <https://doi.org/10.3390/foods11233824>
- [15] 卫硕, 陈林, 郝建雄, 等. 小球藻面条加工工艺及品质特性研究[J]. 包装与食品机械, 2025, 43(6): 62-68.
- [16] 张光, 李侯霏, 杨杨, 等. 藜麦蛋白对大米淀粉凝胶特性的影响[J]. 包装与食品机械, 2024, 42(6): 18-24, 33.
- [17] 程丽英, 曹振霞, 石奇磊, 等. 鲜湿面条褐变抑制剂的研制[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(9): 42-46.
- [18] Koriyama, T., Kurosu, Y. and Hosoya, T. (2025) Enhancing Bread Quality with Steam-Treated Moringa (*Moringa oleifera*) Powder. *Foods*, **14**, Article 927. <https://doi.org/10.3390/foods14060927>

- [19] 杨昕怡. 辣木叶多糖的提取精制、性能评价及其在酸奶中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2023.
- [20] Vishwakarma, S., Mandliya, S., Dalbhagat, C., Majumdar, J. and Mishra, H. (2023) Effect of Marjoram Leaf Powder Addition on Nutritional, Rheological, Textural, Structural, and Sensorial Properties of Extruded Rice Noodles. *Foods*, **12**, Article 1099. <https://doi.org/10.3390/foods12051099>
- [21] Sherif, M.B., Dadi, D.W., Satheesh, N. and Woldemariam, H.W. (2025) Formulation of Nutrient-Enriched Wheat-Based Cookies Using Defatted Soybean Flour and *Moringa stenopetala* Leaf Powder. *Journal of Food Quality*, **2025**, Article ID: 3721352. <https://doi.org/10.1155/jfq/3721352>