

# 马铃薯鲜湿面的制备及其品质评价

周松超<sup>1,2</sup>, 梅新<sup>2</sup>, 隋勇<sup>2</sup>, 熊添<sup>2</sup>, 蒋修军<sup>3</sup>, 范凯<sup>1\*</sup>, 施建斌<sup>2\*</sup>

(1. 长江大学生命科学学院, 荆州 434023; 2. 农业农村部农产品冷链物流技术重点实验室/湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 武汉 430064; 3. 湖北金银丰食品有限公司, 随州 441300)

**摘要:** **目的** 探究不同原料配方对面团混合特性和马铃薯鲜湿面条蒸煮、质构特性的影响, 并对鲜湿面配方进行优化。 **方法** 在单因素试验中研究马铃薯全粉、芦笋全粉、水、谷朊粉、魔芋胶添加量对面团混合特性以及鲜湿面的蒸煮特性和质构特性的影响, 并通过正交试验确定马铃薯营养鲜湿面制备工艺; 此外, 比较不同配方制备的鲜湿面的消化特性和血糖生成指数。 **结果** 正交试验和验证试验结果表明, 马铃薯鲜湿面在水添加量 30%, 马铃薯全粉添加量 6%, 芦笋粉添加量 4%, 魔芋胶添加量 0.8%或 0.4%时, 面条的蒸煮特性和质构特性无显著差异( $P>0.05$ ), 都可用于鲜湿面的制备; 对比不同配方制备鲜湿面的拉伸强度、蒸煮断条率无显著差异( $P>0.05$ ), 不同方法制备鲜湿面血糖生成指数均大于 80, 都属于高生糖指数食品。 **结论** 通过工艺优化确定了马铃薯鲜湿面最优配方, 在此配方下制备的面条具有良好的蒸煮特性和质构特性, 本研究可为生产马铃薯鲜湿面提供理论依据。

**关键词:** 马铃薯全粉; 鲜湿面; 工艺优化; 质构特性; 消化特性

## Preparation and quality evaluation of fresh wet potato noodles

ZHOU Song-Chao<sup>1,2</sup>, MEI Xin<sup>2</sup>, SUI Yong<sup>2</sup>, XIONG Tian<sup>2</sup>,  
JIANG Xiu-Jun<sup>3</sup>, FAN Kai<sup>1\*</sup>, SHI Jian-Bin<sup>2\*</sup>

(1. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 2. Key Laboratory of Cold Chain Logistics Technology for Agro-product, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Institute of Agro-product Processing and Nuclear Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China;  
3. Hubei Jinyinfeng Food Co., Ltd., Suizhou 441300, China)

**ABSTRACT: Objective** To investigate the effects of different raw material formulations on the mixing characteristics of dough and the cooking and texture characteristics of fresh and wet potato noodles, and optimize the fresh and wet noodle formulations. **Methods** The effects of the addition of potato powder, asparagus powder, water, gluten, and konjac gum on the mixing characteristics of dough and the cooking and textural characteristics of fresh wet noodles were investigated by a single factor test. And the optimized ingredients were determined by

**基金项目:** 湖北省重点研发计划项目(2023BBB104)、湖北省科技创新人才计划项目(科技服务人才专项)(2023DJC104)

**Fund:** Supported by the Key Research and Development Program of Hubei Province (2023BBB104), and the Hubei Science and Technology Innovation Talent Program (Science and Technology Service Talent Special Project) (2023DJC104)

**\*通信作者:** 范凯, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏保鲜。E-mail: kaifan@yangtzeu.edu.cn

施建斌, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品加工及副产物综合利用。E-mail: shijianbin1022@126.com

**\*Corresponding author:** FAN Kai, Ph D, Associate Professor, College of Life Science, Yangtze University, No.88, Jingmi Road, Jingzhou 434023, China. E-mail: kaifan@yangtzeu.edu.cn

SHI Jian-Bin, Ph.D, Associate Professor, Institute of Agro-product Processing and Nuclear-agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, No.5, Nanhu Avenue, Hongshan District, Wuhan 430064, China. E-mail: shijianbin1022@126.com

orthogonal experiment designs. Besides, the digestive characteristics of starch *in vitro* and glycemic index of the fresh wet noodles produced by different formulations were studied. **Results** The results of orthogonal and verification tests showed that there was not significantly difference ( $P>0.05$ ) in the cooking and textural properties of potato fresh wet noodles when the addition of 30% water, 6% potato powder, 4% asparagus powder, and 0.8% or 0.4% konjac gum were applied to the noodles making. Therefore, above formulas with 0.8% and 0.4% konjac gum additions could be used in the preparation of fresh wet noodles. Furthermore, there was no significant difference ( $P>0.05$ ) in the tensile strength and cooking breakage rate of the fresh wet noodles compared with those of the different formulations. The estimated glycemic index values of fresh wet noodles prepared by different formulations were greater than 80, which belonged to high glycemic index food. **Conclusions** The optimal formula of potato fresh wet noodles is determined by process optimization. The noodles prepared under this formula has good cooking and texture characteristics. This study can provide theoretical basis for the production of potato fresh wet noodles.

**KEY WORDS:** potato powder; fresh wet noodles; process optimization; texture properties; digestive properties

## 0 引言

面条作为一种简单、营养丰富、经典的主食,在中国已有 4000 年的悠久历史,在许多亚洲国家仍拥有庞大的消费市场<sup>[1]</sup>。马铃薯是继水稻、小麦和玉米之后的世界第 4 大重要粮食作物,含有碳水化合物、蛋白质、膳食纤维、维生素、矿物质和抗氧化剂(多酚和类黄酮),为人类提供了很高的营养价值<sup>[2]</sup>。与谷物相比,马铃薯具有更平衡的氨基酸组成,可以弥补小麦面粉中赖氨酸的缺乏<sup>[3]</sup>,因此,马铃薯是改善小麦粉制品营养品质的理想原料。马铃薯-小麦配方面粉的混合特性表明,加入马铃薯粉降低了面团强度,但增强了抗降解性<sup>[4]</sup>。此外,添加马铃薯粉通常会对面条的质地、烹饪特性和感官参数产生负面影响<sup>[5]</sup>。由于马铃薯粉中不存在面筋蛋白,添加马铃薯粉通常会对面筋网络的结构产生稀释作用,从而降低面条的拉伸力和食用品质<sup>[6]</sup>。通过使用食品添加剂,如黄原胶、瓜尔胶、魔芋胶、膳食纤维等,可以提高马铃薯面条的食用质量<sup>[7-8]</sup>。谷朊粉主要由醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,已被用于改善燕麦面条、杂粮面条、紫薯面条等面条的品质<sup>[9-11]</sup>。JAVOID 等<sup>[7]</sup>在马铃薯鲜湿面的制备中加入了黄原胶,研究发现添加 0.6% 的黄原胶提高了混合粉的峰值黏度和崩解值以及面条的蒸煮品质和流变学特性,并且具有良好的质构特性和外观。ZHAO 等<sup>[6]</sup>将面筋蛋白用于马铃薯面条的制备,研究发现添加 7.0%~9.0% 的面筋蛋白不仅改善了混合粉的流变性能,而且改善了面条的质地。此外,扫描电镜分析表明,马铃薯鲜湿面的多孔微结构具有各种大空隙,有利于快速复水和吸水。在面粉中掺入谷朊粉可以改善面团中蛋白质网络的形成,从而改善面团的流变特性<sup>[12]</sup>。此外,在粗面粉中加入芦笋粉能显著影响面食的烹饪特性,缩短烹饪时间,并增加膳食纤维和蛋白质含量<sup>[13]</sup>。但目前关于在马铃薯-小麦配方面粉中添加谷朊粉与其他添加物的复配添加剂来改善面团流特性和面条品质的报道很少。因此,

本研究主要以鲜湿面为对象,研究不同比例马铃薯全粉、芦笋全粉、水、谷朊粉、魔芋胶添加量对混合粉混合特性及对鲜湿面蒸煮特性、质构特性等的影响,确定这几种物质在鲜湿面中的适宜添加量,旨在为马铃薯全粉在面制品中的应用提供可靠的理论依据,也为后期高比例马铃薯全粉添加量鲜湿面的改良与研发奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

高筋小麦粉从五得利面粉集团公司购买;鲜绿芦笋由麻城市王集鸿发芦笋专业合作社提供;马铃薯全粉从雪川食品河北有限公司购买。

$\alpha$ -淀粉酶(30 U/mg)、淀粉葡萄糖苷酶(10 万 U/g)、胰蛋白酶(250 U/mg)(上海源叶生物科技有限公司);谷朊粉、食用盐、魔芋胶等常规原料市售;其他化学试剂为分析纯(国药集团化学试剂有限公司)。

AG110-25 压面机(北京香荷万寿山食品机械厂);TA-XTPlus 质构仪(英国 Stable Micro System 公司);ASM-DA1000 和面机(北美电器有限公司);UV-2800 分光光度计[尤尼柯(上海)仪器有限公司];CF-100 A 醒发箱(中山卡士电器有限公司)。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 芦笋全粉的制备

将芦笋切成 2~3 mm 薄片,在温度 50℃ 下通过热泵干燥,干燥终点控制含水量小于 8%。干燥后的芦笋通过粉碎机粉碎后过 80 目筛网,低温保存备用。

#### 1.2.2 马铃薯营养鲜湿面的制备

取 500 g 混合粉(含有不同添加量的芦笋全粉和马铃薯全粉)并以此为基准加入 32% 水,3% 谷朊粉,1% 食盐,0.6% 魔芋胶,室温下和面 10 min 后,将面絮放入湿度 85%,温度 35℃ 的醒发箱中熟化 30 min,之后将面条在压面机中

通过反复压片至表面光滑并用切刀切成 2 mm 的圆面条,装入自封袋,4℃ 密封保存。

1.2.3 单因素试验和正交试验

研究马铃薯全粉、芦笋全粉、水、谷朊粉、魔芋胶添加量对面条蒸煮特性和质构特性的影响,各因素水平见表 1。

表 1 马铃薯营养鲜湿面制备单因素试验水平表  
Table 1 Single factor test level table for preparation of potato nutrition fresh wet noodles

| 因素         | 水平                        |
|------------|---------------------------|
| 马铃薯全粉添加量/% | 0、2、4、6、8、10              |
| 芦笋全粉添加量/%  | 0、1、2、3、4、5、6             |
| 水添加量/%     | 30、31、32、33、34、35         |
| 谷朊粉添加量/%   | 0、1、2、3、4、5               |
| 魔芋胶添加量/%   | 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 |

在单因素试验中参考 1.2.2 面条的配方,对考察的因素水平进行调整,在单因素基础上根据各因素较优水平进行四因素三水平正交试验确定最优工艺配方,正交因素水平表见表 2。

表 2 正交试验因素水平表  
Table 2 Orthogonal test factor and level table

| 水平 | A: 水添加量<br>/% | B: 马铃薯全<br>粉添加量/% | C: 芦笋全粉<br>添加量/% | D: 魔芋胶<br>添加量/% |
|----|---------------|-------------------|------------------|-----------------|
| 1  | 30            | 4                 | 3                | 0.4             |
| 2  | 31            | 6                 | 4                | 0.6             |
| 3  | 32            | 8                 | 5                | 0.8             |

1.2.4 混合粉混合特性测定

参照 GB/T 37511—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试》对混合粉混合特性进行测定。对纯面粉混合粉特性研究发现,吸水率 58.40%,形成时间 4.10 min,稳定时间 5.97 min, C1-C2 0.624 N·m, C5-C4 1.29 N·m, C3-C2 1.34 N·m, C3-C4 0.04 N·m。

1.2.5 面条蒸煮特性测定

参照 GB/T 40636—2021《挂面》对鲜湿面的蒸煮吸水率、蒸煮损失率和蒸煮断条率进行测定。

1.2.6 面条质构特性分析

参考 WANG 等<sup>[14]</sup>的方法,对面条的剪切力和拉伸强度进行测定。

1.2.7 面条淀粉消化特性和血糖生成指数

参照的 FAN 等<sup>[15]</sup>的方法进行测定并做少许修改。淀粉的体外消化水解曲线遵循一级反应方程式,通过对淀粉水解曲线下面积(areas under curve, AUC)的积分得到淀粉水解指数(hydrolysis index, HI),根据 HI 值预估马铃薯面条血糖生成指数(estimated glycemic index, eGI)。具体计算如公式(1)~(2)。

$$HI/\% = \frac{AUC_{\text{样品}}}{AUC_{\text{参考食品}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$eGI = 39.71 + 0.549 \times HI \quad (2)$$

1.3 数据处理

试验重复 3 次,结果用平均值±标准偏差表示,列表或采用 Origin 2018 对所得数据进行作图处理。用 SPSS 20 通过一元方差分析进行多个组间平均数的比较,如果组间存在显著性差异( $P < 0.05$ ),则采用 Duncan 检验进行组间多重比较。

2 结果与分析

2.1 马铃薯全粉添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响

马铃薯全粉添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响分别见表 3 和 4。从表 3 中能看出随着马铃薯全粉添加量的增加,面团的吸水率显著增加( $P < 0.05$ ),添加量 0%时吸水率为 61.30%,在添加量为 10%时吸水率增加了 8.90%。而面团形成时间和稳定时间都随着马铃薯全粉添加量的增加而降低,形成时间从 0%时的 7.72 min 减少到 4.38 min,稳定时间从 5.18 min 降低到 3.94 min。整体上蛋白质弱化度 C1-C2 值和 C3-C4 值随马铃薯全粉添加量的增加而

表 3 马铃薯全粉添加量对面团混合特性的影响  
Table 3 Effects of potato powder addition on dough mixing characteristics

| 马铃薯全粉添加量/% | 吸水率/%                   | 形成时间/min               | 稳定时间/min                | C1-C2/(N·m)            | C5-C4/(N·m)            | C3-C2/(N·m)            | C3-C4/(N·m)             |
|------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 0          | 61.30±0.00 <sup>f</sup> | 7.72±0.10 <sup>a</sup> | 5.18±0.26 <sup>a</sup>  | 0.69±0.02 <sup>c</sup> | 1.13±0.02 <sup>a</sup> | 1.16±0.01 <sup>a</sup> | -0.01±0.01 <sup>c</sup> |
| 2          | 62.50±0.00 <sup>e</sup> | 6.89±0.22 <sup>b</sup> | 5.22±0.17 <sup>a</sup>  | 0.71±0.02 <sup>c</sup> | 0.99±0.03 <sup>b</sup> | 1.15±0.01 <sup>a</sup> | 0.00±0.02 <sup>c</sup>  |
| 4          | 63.50±0.00 <sup>d</sup> | 6.20±0.11 <sup>c</sup> | 4.59±0.14 <sup>b</sup>  | 0.77±0.01 <sup>d</sup> | 0.98±0.01 <sup>b</sup> | 1.14±0.01 <sup>a</sup> | 0.05±0.01 <sup>b</sup>  |
| 6          | 67.00±0.00 <sup>c</sup> | 5.44±0.04 <sup>d</sup> | 4.38±0.36 <sup>bc</sup> | 0.81±0.01 <sup>c</sup> | 0.90±0.01 <sup>c</sup> | 1.10±0.01 <sup>b</sup> | 0.08±0.02 <sup>a</sup>  |
| 8          | 68.63±0.12 <sup>b</sup> | 4.81±0.11 <sup>c</sup> | 4.06±0.20 <sup>c</sup>  | 0.84±0.00 <sup>b</sup> | 0.82±0.01 <sup>d</sup> | 1.08±0.00 <sup>c</sup> | 0.09±0.01 <sup>a</sup>  |
| 10         | 70.20±0.00 <sup>a</sup> | 4.38±0.18 <sup>f</sup> | 3.94±0.26 <sup>c</sup>  | 0.87±0.02 <sup>a</sup> | 0.76±0.04 <sup>c</sup> | 1.03±0.01 <sup>d</sup> | 0.08±0.01 <sup>a</sup>  |

注: 同组数据不同小写字母表示数据之间具有显著性差异( $P < 0.05$ ),下同。

增加, 淀粉回生值 C5-C4 和糊化特性 C3-C2 随着马铃薯全粉添加量的增加而降低, 这说明马铃薯全粉添加后面团糊化特性降低、不易回生, 但是降低了面团对机械搅拌的承受能力。马铃薯全粉是通过蒸煮、烘干、磨粉得到的, 马铃薯全粉中的淀粉已经糊化, 并且在马铃薯制粉过程中产生了较多的破损淀粉, 而破损淀粉的持水能力高于完整淀粉颗粒, 从而提高了其吸水性<sup>[16-17]</sup>。研究表明, 马铃薯全粉的吸水率为 148.0%, 而纯小麦粉的吸水性为 58.40%<sup>[16]</sup>。此外, 由于马铃薯全粉中不含谷蛋白, 随着马铃薯全粉的增加, 混合粉中谷蛋白含量呈下降趋势<sup>[18]</sup>。同时, 吸水能力的增加导致面团吸收过多的水分。因此, 马铃薯全粉的添加可能会导致面团对机械搅拌的承受能力降低。

从表 4 能看出, 随着马铃薯全粉添加量的增加, 面条蒸煮吸水率和断条率无显著性差异( $P>0.05$ ), 吸水率在 131.12%~144.46%之间, 断条率小于等于 2.50%。在马铃薯添加量 0%~6%的范围内, 蒸煮损失率无显著差异( $P>0.05$ ), 在添加量大于 8%后, 蒸煮损失率显著提高( $P<0.05$ )。马铃薯全粉的加入增加了淀粉含量, 导致面筋网络断裂松散<sup>[4]</sup>, 在烹饪过程中大量的游离淀粉被释放到汤中, 从而增加了烹饪损失<sup>[19]</sup>。面条的剪切力在添加量 4%时内最大, 为 170.03 g, 但是其与 6%时剪切力无显著性差异( $P>0.05$ )。这是因为马铃薯淀粉在高温烹饪后形成糊状物和凝胶网络。该网络与面筋蛋白网络具有相似的功能, 从而可以提高面条的剪切力<sup>[20]</sup>。拉伸强度和拉伸距离在未添加马铃薯全粉时最大, 分别为 27.18 g 和 52.60 mm, 之后随着添加量的增加而降低, 拉伸强度在 4%时最小, 但是其添加量 8%和 10%无显著性差异( $P>0.05$ ); 拉伸距离在添加量为 10%时最低, 仅为添加量 0%时的 50.28%, 而添加量在 2%~8%范

围内无显著性差异( $P>0.05$ )。随着马铃薯粉含量的增加, 面筋网络之间的间隙被破坏, 导致面筋网络松弛。与面筋蛋白网络相比, 预糊化的淀粉-凝胶网络和淀粉-蛋白质网络显示出略微降低的结合力, 马铃薯粉的添加导致面条的拉伸强度略微降低<sup>[21]</sup>。因此, 综合各指标马铃薯全粉添加量为 4%~8%相对适宜。

2.2 芦笋全粉添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响

芦笋全粉添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响分别见表 5 和表 6。从表 5 中能看出, 芦笋全粉的添加能够增加面团的吸水率, 吸水率在添加量 3%和 6%时最大为 67.50%, 其虽与添加量 4%和 5%时有显著性差异( $P<0.05$ ), 但其差仅有 0.50%、0.70%。小麦粉具有良好的吸水能力, 这是由直链淀粉/支链淀粉和支链淀粉的链长分布所决定的<sup>[22]</sup>, 而芦笋全粉的加入使吸水性增加, 因为芦笋全粉具有较强的亲水性, 在和面过程中, 它与面粉形成紧密的网络结构, 提高了吸水率、形成时间和稳定时间。然而, 过量添加虽然会增加面团的吸水性, 但也会稀释面筋蛋白, 导致面团形成时间和稳定时间降低<sup>[23]</sup>。添加芦笋全粉后形成时间降低, 在添加量 1%~5%范围内无显著性差异( $P>0.05$ )。面团的稳定时间在未添加芦笋全粉时为 7.52 min, 添加芦笋全粉后显著性降低( $P<0.05$ ), 在添量为 6%时仅为 5.27 min。蛋白质弱化度 C1-C2 值, 淀粉热稳定性 C3-C4, 淀粉回生值 C5-C4 和糊化特性 C3-C2 随着芦笋全粉添加整体上有显著性变化( $P<0.05$ ), 但是变化幅度都不大。这与施建斌等<sup>[24]</sup>的研究结果一致, 添加芦笋全粉后面团的热稳定性有所提升, 并且面团的回生得到了抑制, 但是降低了面面对机械搅拌的承受能力。

表 4 马铃薯全粉添加量对鲜湿面蒸煮、质构特性的影响

Table 4 Effects of potato powder addition on cooking and texture properties of fresh wet noodles

| 马铃薯全粉添加量/% | 蒸煮吸水率/%                   | 蒸煮损失率/%                | 蒸煮断条率/%                | 剪切力/g                      | 拉伸强度/g                   | 拉伸距离/mm                 |
|------------|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 0          | 144.46±12.97 <sup>a</sup> | 4.11±0.97 <sup>b</sup> | 1.67±1.44 <sup>a</sup> | 103.81±9.10 <sup>d</sup>   | 27.18±1.55 <sup>a</sup>  | 52.60±4.51 <sup>a</sup> |
| 2          | 137.79±6.95 <sup>a</sup>  | 5.73±1.02 <sup>b</sup> | 0.00±0.00 <sup>a</sup> | 129.01±7.82 <sup>c</sup>   | 24.22±1.39 <sup>bc</sup> | 43.37±4.97 <sup>b</sup> |
| 4          | 134.72±7.09 <sup>a</sup>  | 5.69±1.03 <sup>b</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 170.03±10.03 <sup>a</sup>  | 22.47±1.52 <sup>c</sup>  | 41.58±6.57 <sup>b</sup> |
| 6          | 133.66±1.02 <sup>a</sup>  | 5.32±0.89 <sup>b</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 161.13±18.47 <sup>ab</sup> | 25.23±1.62 <sup>b</sup>  | 43.48±2.07 <sup>b</sup> |
| 8          | 132.95±3.99 <sup>a</sup>  | 7.47±0.45 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 145.26±9.88 <sup>b</sup>   | 23.33±1.67 <sup>bc</sup> | 36.07±4.59 <sup>b</sup> |
| 10         | 131.12±2.65 <sup>a</sup>  | 8.39±0.60 <sup>a</sup> | 2.50±2.50 <sup>a</sup> | 147.24±6.18 <sup>b</sup>   | 23.56±1.25 <sup>bc</sup> | 26.45±3.06 <sup>c</sup> |

表 5 芦笋全粉添加量对面团混合特性的影响

Table 5 Effects of asparagus powder addition on dough mixing characteristics

| 芦笋全粉添加量/% | 吸水率/%                   | 形成时间/min                | 稳定时间/min                | C1-C2/(N·m)             | C5-C4/(N·m)            | C3-C2/(N·m)             | C3-C4/(N·m)             |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0         | 64.50±0.00 <sup>f</sup> | 5.13±0.25 <sup>a</sup>  | 7.52±0.11 <sup>a</sup>  | 0.78±0.01 <sup>b</sup>  | 0.91±0.02 <sup>a</sup> | 1.19±0.00 <sup>a</sup>  | 0.09±0.02 <sup>a</sup>  |
| 1         | 65.50±0.00 <sup>e</sup> | 4.67±0.22 <sup>ab</sup> | 6.07±0.26 <sup>b</sup>  | 0.80±0.01 <sup>a</sup>  | 0.93±0.03 <sup>a</sup> | 1.15±0.02 <sup>b</sup>  | 0.07±0.00 <sup>bc</sup> |
| 2         | 66.50±0.00 <sup>d</sup> | 4.52±0.11 <sup>b</sup>  | 5.59±0.03 <sup>dc</sup> | 0.79±0.01 <sup>ba</sup> | 0.93±0.01 <sup>a</sup> | 1.14±0.00 <sup>b</sup>  | 0.09±0.01 <sup>ab</sup> |
| 3         | 67.50±0.00 <sup>a</sup> | 4.74±0.31 <sup>ab</sup> | 5.99±0.10 <sup>bc</sup> | 0.77±0.00 <sup>b</sup>  | 0.87±0.01 <sup>b</sup> | 1.10±0.02 <sup>d</sup>  | 0.07±0.01 <sup>bc</sup> |
| 4         | 67.00±0.17 <sup>b</sup> | 4.37±0.44 <sup>b</sup>  | 5.68±0.36 <sup>bc</sup> | 0.80±0.00 <sup>a</sup>  | 0.80±0.03 <sup>c</sup> | 1.10±0.01 <sup>d</sup>  | 0.09±0.01 <sup>a</sup>  |
| 5         | 66.80±0.00 <sup>c</sup> | 4.69±0.37 <sup>ab</sup> | 5.85±0.15 <sup>bc</sup> | 0.81±0.01 <sup>a</sup>  | 0.86±0.02 <sup>b</sup> | 1.14±0.02 <sup>bc</sup> | 0.07±0.01 <sup>bc</sup> |
| 6         | 67.50±0.00 <sup>a</sup> | 4.30±0.04 <sup>b</sup>  | 5.27±0.27 <sup>d</sup>  | 0.81±0.02 <sup>a</sup>  | 0.78±0.03 <sup>c</sup> | 1.11±0.01 <sup>cd</sup> | 0.07±0.00 <sup>c</sup>  |

从表 6 能看出,随着芦笋全粉添加量的增加蒸煮吸水率和断条率无显著性差异( $P>0.05$ ),吸水率范围为 128.94%~132.52%,断条率小于 2.50%。蒸煮损失率在芦笋全粉添加量 0%和 1%较高,分别为 7.05%和 7.63%,但其之间无显著性差异( $P>0.05$ )。芦笋粉在 2%~6%范围内蒸煮损失率无显著性差异( $P>0.05$ ),但显著低于添加量为 0%和 1%的面条,这是因为芦笋粉中的可溶性膳食纤维具有较高的黏性,与淀粉、蛋白质相结合形成了密实的网络结构<sup>[23]</sup>。这表明适量添加芦笋全粉可以减少面条在蒸煮过程中的损失。剪切力在添加量 4%~6%范围内较高;拉伸强度在芦笋粉添加量 0%~5%范围内无显著性变化( $P>0.05$ )。白玉婷<sup>[25]</sup>研究发现添加芦笋汁能够提高苦荞面条的硬度和弹性,但添加量过大又会对其有制约作用,这是因为芦笋含有大量的膳食纤维,添加量过大会阻碍面筋蛋白形成网络结构。此外,膳食纤维的增加会导致面筋蛋白被稀释,使面筋网络结构变得松散,从而对鲜湿面的质构特性产生负面影响,导致其弹性、内聚性和回复性等 TPA 指标降低。这与钱鑫等<sup>[26]</sup>对辣椒粉鲜湿面质构特性研究结果一致。综合各指标,芦笋全粉加量为 3%~5%时面条品质较好。

2.3 水添加量对面条蒸煮、质构特性的影响

水添加量对面条蒸煮、质构特性的影响见表 7。从表 7 可知,不同添加之间面条蒸煮损失率和断条率无显著性差异( $P>0.05$ )。蒸煮吸水率范围在 122.45%~133.06%,在添加量 34%时吸水率最高。剪切力随着水添加量的增加呈先增加后减小的趋势;在水添加量 31%时剪切力、拉伸强度

和拉伸距离最高,分别为 292.78 g, 26.51 g, 50.09 mm。这说明在适宜的水量条件下,面团得到充分水合,形成了较为完整的面筋网络结构,有助于充分包裹淀粉。这样的制作条件在蒸煮过程中能够减少淀粉的溶出量。适量的水分对于面团的面筋网络形成至关重要。水量不足时,面筋网络结构无法充分形成,导致淀粉颗粒无法被面筋蛋白充分包裹。然而,随着水量的增加,面筋蛋白网络能够通过吸水形成更完整的结构,从而提高面条的延展性。但是,水量过多时,湿面条会水化过度,使得面条的延展性增加,但拉伸强度降低<sup>[27]</sup>。含水量较高的面条在干燥后可能形成坚硬且难以被水侵入的圆柱形,导致其拉伸距离减少<sup>[28]</sup>。前人研究表明,在 28%到 36%水添加量范围内,荞麦面条的拉升强度和拉伸距离整体上都随着水添加量增加而减小,这可能是因为荞麦粉的吸水率高,在 28%水添加量时已经达到最佳,再添加水则会导致面条变软,使质构特性下降<sup>[29]</sup>。这表明水的添加量在面条制作过程中需要谨慎控制,以保持理想的面筋网络结构和面条品质。综合各指标,水添加量在 30%~32%时面条品质较好。

2.4 谷朊粉添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响

谷朊粉添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响分别见表 8 和表 9。从表 8 中能看出来在谷朊粉添加量 0%时,面团吸水率为 65.97%,在添加量 1%~4%范围内无显著性差异( $P>0.05$ ),而在添加量为 5%时,吸水率为 66.37%。面团的形成时间在添加量 5%时才显著增加( $P<0.05$ ),为 4.95 min;面团稳定时间在 4%~5%时呈

表 6 芦笋全粉添加量对鲜湿面蒸煮、质构特性的影响  
Table 6 Effects of asparagus powder addition on cooking and texture properties of fresh wet noodles

| 芦笋全粉添加量/% | 蒸煮吸水率/%                   | 蒸煮损失率/%                 | 蒸煮断条率/%                | 剪切力/g                     | 拉伸强度/g                   | 拉伸距离/mm                  |
|-----------|---------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0         | 131.32±15.72 <sup>a</sup> | 7.05±0.64 <sup>a</sup>  | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 118.25±5.22 <sup>bc</sup> | 21.04±1.71 <sup>b</sup>  | 35.23±3.40 <sup>ab</sup> |
| 1         | 132.06±7.45 <sup>a</sup>  | 7.63±0.33 <sup>ab</sup> | 2.50±2.50 <sup>a</sup> | 122.17±6.03 <sup>ab</sup> | 21.87±1.64 <sup>b</sup>  | 39.90±3.55 <sup>a</sup>  |
| 2         | 128.94±1.98 <sup>a</sup>  | 4.18±1.00 <sup>c</sup>  | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 117.54±4.69 <sup>bc</sup> | 21.12±1.00 <sup>b</sup>  | 41.17±2.73 <sup>a</sup>  |
| 3         | 131.31±0.86 <sup>a</sup>  | 4.24±0.42 <sup>c</sup>  | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 109.75±2.07 <sup>c</sup>  | 21.87±1.68 <sup>b</sup>  | 28.12±5.38 <sup>c</sup>  |
| 4         | 130.32±1.09 <sup>a</sup>  | 4.60±0.77 <sup>c</sup>  | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 130.89±8.79 <sup>a</sup>  | 23.52±2.64 <sup>ab</sup> | 33.79±2.48 <sup>bc</sup> |
| 5         | 131.93±3.03 <sup>a</sup>  | 5.46±1.82 <sup>bc</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 130.91±3.68 <sup>a</sup>  | 23.47±1.54 <sup>ab</sup> | 31.98±3.35 <sup>bc</sup> |
| 6         | 132.52±2.81 <sup>a</sup>  | 3.91±1.06 <sup>c</sup>  | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 130.03±7.48 <sup>a</sup>  | 24.88±1.27 <sup>a</sup>  | 40.02±3.15 <sup>a</sup>  |

表 7 水添加量对鲜湿面蒸煮、质构特性的影响  
Table 7 Effects of water addition on cooking and texture properties of fresh wet noodles

| 水添加量/% | 蒸煮吸水率/%                    | 蒸煮损失率/%                | 蒸煮断条率/%                | 剪切力/g                     | 拉伸强度/g                   | 拉伸距离/mm                  |
|--------|----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 30     | 122.45±0.73 <sup>c</sup>   | 6.84±0.73 <sup>a</sup> | 1.67±1.44 <sup>a</sup> | 272.39±15.19 <sup>b</sup> | 21.51±1.99 <sup>b</sup>  | 27.36±3.73 <sup>de</sup> |
| 31     | 124.27±5.31 <sup>bc</sup>  | 6.39±1.58 <sup>a</sup> | 0.00±0.00 <sup>a</sup> | 292.78±25.66 <sup>a</sup> | 26.51±2.20 <sup>a</sup>  | 50.09±1.24 <sup>a</sup>  |
| 32     | 126.76±2.30 <sup>abc</sup> | 6.26±1.79 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 227.62±9.92 <sup>c</sup>  | 18.52±0.75 <sup>cd</sup> | 41.07±0.20 <sup>b</sup>  |
| 33     | 125.86±3.56 <sup>bc</sup>  | 6.20±0.56 <sup>a</sup> | 2.50±2.50 <sup>a</sup> | 215.90±10.02 <sup>c</sup> | 20.23±1.27 <sup>bc</sup> | 37.25±5.00 <sup>bc</sup> |
| 34     | 133.06±1.32 <sup>a</sup>   | 5.01±0.25 <sup>a</sup> | 3.33±2.89 <sup>a</sup> | 187.15±8.53 <sup>d</sup>  | 17.19±0.86 <sup>d</sup>  | 24.35±2.30 <sup>cd</sup> |
| 35     | 129.68±4.97 <sup>ab</sup>  | 6.67±0.94 <sup>a</sup> | 2.50±2.50 <sup>a</sup> | 181.13±11.58 <sup>d</sup> | 16.92±1.72 <sup>d</sup>  | 32.96±6.50 <sup>c</sup>  |

表 8 谷朊粉添加量对面团混合特性的影响  
Table 8 Effects of gluten content on dough mixing characteristics

| 谷朊粉添加量/% | 吸水率/%                   | 形成时间/min               | 稳定时间/min                | C1-C2/(N·m)             | C5-C4/(N·m)             | C3-C2/(N·m)             | C3-C4/(N·m)            |
|----------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 0        | 65.97±0.40 <sup>b</sup> | 4.40±0.12 <sup>b</sup> | 4.98±0.05 <sup>c</sup>  | 0.81±0.01 <sup>a</sup>  | 0.84±0.08 <sup>ab</sup> | 1.20±0.01 <sup>a</sup>  | 0.07±0.00 <sup>a</sup> |
| 1        | 67.20±0.00 <sup>a</sup> | 4.23±0.31 <sup>b</sup> | 5.33±0.12 <sup>c</sup>  | 0.81±0.01 <sup>a</sup>  | 0.79±0.03 <sup>b</sup>  | 1.14±0.01 <sup>b</sup>  | 0.07±0.00 <sup>a</sup> |
| 2        | 67.33±0.40 <sup>a</sup> | 4.09±0.12 <sup>b</sup> | 5.22±0.22 <sup>c</sup>  | 0.81±0.01 <sup>ab</sup> | 0.80±0.02 <sup>b</sup>  | 1.14±0.02 <sup>bc</sup> | 0.08±0.01 <sup>a</sup> |
| 3        | 67.30±0.17 <sup>a</sup> | 4.21±0.24 <sup>b</sup> | 5.46±0.07 <sup>bc</sup> | 0.79±0.01 <sup>b</sup>  | 0.80±0.02 <sup>b</sup>  | 1.11±0.01 <sup>dc</sup> | 0.08±0.01 <sup>a</sup> |
| 4        | 67.20±0.00 <sup>a</sup> | 4.50±0.15 <sup>b</sup> | 5.86±0.25 <sup>ab</sup> | 0.81±0.01 <sup>ab</sup> | 0.83±0.03 <sup>ab</sup> | 1.12±0.02 <sup>cd</sup> | 0.08±0.01 <sup>a</sup> |
| 5        | 66.37±0.12 <sup>b</sup> | 4.95±0.38 <sup>a</sup> | 6.15±0.52 <sup>a</sup>  | 0.83±0.02 <sup>a</sup>  | 0.89±0.05 <sup>a</sup>  | 1.09±0.00 <sup>f</sup>  | 0.07±0.01 <sup>a</sup> |

表 9 谷朊粉添加量对鲜湿面蒸煮、质构特性的影响  
Table 9 Effects of gluten addition on cooking and texture properties of fresh wet noodles

| 谷朊粉添加量/% | 蒸煮吸水率/%                   | 蒸煮损失率/%                | 蒸煮断条率/%                | 剪切力/g                     | 拉伸强度/g                  | 拉伸距离/mm                 |
|----------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0        | 135.00±2.73 <sup>a</sup>  | 4.50±1.30 <sup>a</sup> | 1.67±1.44 <sup>a</sup> | 260.46±4.56 <sup>c</sup>  | 18.50±0.97 <sup>b</sup> | 25.67±1.24 <sup>b</sup> |
| 1        | 132.22±2.02 <sup>ab</sup> | 4.21±0.56 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 260.28±10.98 <sup>c</sup> | 22.17±2.14 <sup>a</sup> | 24.45±1.87 <sup>b</sup> |
| 2        | 129.68±2.04 <sup>ab</sup> | 4.49±0.67 <sup>a</sup> | 1.67±1.44 <sup>a</sup> | 314.76±13.38 <sup>a</sup> | 22.82±1.76 <sup>a</sup> | 34.58±3.41 <sup>a</sup> |
| 3        | 130.45±5.36 <sup>ab</sup> | 4.06±0.24 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 294.20±4.78 <sup>b</sup>  | 19.47±0.97 <sup>b</sup> | 32.78±0.89 <sup>a</sup> |
| 4        | 128.83±0.44 <sup>b</sup>  | 3.80±0.66 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 280.32±7.54 <sup>b</sup>  | 18.26±0.83 <sup>b</sup> | 25.52±1.86 <sup>b</sup> |
| 5        | 130.01±0.84 <sup>ab</sup> | 4.75±0.72 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 293.5±11.28 <sup>b</sup>  | 18.52±1.10 <sup>b</sup> | 26.43±1.75 <sup>b</sup> |

增加, 4%时为 5.86 min, 5%时为 6.15 min, 但是这两者之间无显著性差异( $P>0.05$ )。谷朊粉添加量 3%时蛋白的弱化度 C1-C2 值最小, 为 0.79 N·m, 其他不同添加下弱化度无显著性差异( $P>0.05$ )。热稳定性值 C3-C4 之间无显著性差异( $P>0.05$ )。谷朊粉的加入促使大量二硫键形成, 通过氢键、离子键和疏水作用改变了面团的物理性质<sup>[30]</sup>, 提高了面团结构的稳定性, 改善了其机械性能。前人研究表明, 山药面团的吸水率随谷朊粉添加量的增加而增加, 其原因可能是谷朊粉的添加促使形成的面团具有更加致密的面筋网络结构, 山药全粉颗粒被包裹住, 面团吸水率增强<sup>[31]</sup>。适度的谷朊粉可以弥补面筋蛋白不足, 形成更为完善的面筋网络<sup>[32]</sup>。然而, 过量使用谷朊粉并不能使混合粉达到与纯小麦粉相同的品质, 反而可能导致面团混合特性下降, 这是由于蛋白组分比例、分子量分布和各组分之间的相互作用的影响<sup>[29]</sup>。

从表 9 能看出来, 谷朊粉添加对面条蒸煮吸水率、损失率和断条率无显著影响( $P>0.05$ )。剪切力、拉伸强度和拉伸距离在谷朊粉添加量 2%时最大, 分别为 314.76 g, 22.82 g 和 34.58 mm。过多过少的谷朊粉都会导致面条品质的下降。这是因为低添加量和高添加量的谷朊粉面团中, 面筋网络可能并不能形成完整的结构, 导致蒸煮断条率增加和质构指标下降<sup>[33]</sup>。在于洋等<sup>[34]</sup>的研究中发现谷朊粉的适量使用能赋予面团良好的延展性、黏弹性和耐揉性等特性。在适度的添加范围内, 谷朊粉的投入能够改善面条的成型性, 增强筋力和强度, 同时降低面条在蒸煮过程中的损失率, 提高吸水性能。然而, 过量使用谷朊粉可能导致面团中硫基和二硫键的减少, 进而易形成所谓的“面筋

球”<sup>[35]</sup>, 降低加工特性。熊添等<sup>[36]</sup>研究表明谷朊粉能够提高马铃薯热干面的弹性和拉伸力, 这是因为谷朊粉吸水后会形成具有网络结构的湿面筋, 从而获得优良的黏弹性和延伸性。

2.5 魔芋胶添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响

魔芋胶添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响分别见表 10 和表 11。从表 10 中能看出, 随着魔芋胶添加量的增加吸水率逐渐增加, 添加量 1.2%时吸水率为 70.30%, 然而随着添加量的增加面团的形成时间、稳定时间、弱化度值 C1-C2、热稳定性 C3-C4 无显著变化( $P>0.05$ )。面团回生值 C5-C4 在添加量高于 0.6%后逐渐降低, 在添加量 1.2%时最低为 0.76 N·m。此外, 魔芋胶的添加也导致面团糊化特性降低, 在添加量为 1.2%时, C3-C2 值最低为 1.07 N·m。从表 11 能看出来魔芋胶的添加对于面条断条率无显著性影响( $P>0.05$ )。魔芋胶在添加量 1.0%~1.2%时吸水率较高, 具有显著性差异( $P<0.05$ )。这是因为添加的魔芋胶具有较强的吸水能力, 并且其自身具有立体构象, 因此提高了面条的吸水性<sup>[37]</sup>。剪切力在添加量为 1.2%时最大, 拉伸特性在添加量 1.0%时最大。说明魔芋胶的添加能够提高面条的剪切力和拉伸强度。这是因为魔芋胶与面条中的蛋白质相互作用形成了线性的抗性框架, 可以结合煮熟面条中的可溶性物质, 从而形成致密的结构<sup>[38]</sup>。当添加更多的魔芋胶时, 额外的魔芋胶量可以进一步限制淀粉膨胀, 减少自发破裂, 加强网络强度<sup>[39]</sup>。因此, 综合各指标魔芋胶添加量为 0.4%~0.8%相对适宜。

表 10 魔芋胶添加量对面团混合特性的影响  
Table 10 Effects of konjac gum addition on dough mixing characteristics

| 魔芋胶添加量/% | 吸水率/%                   | 形成时间/min               | 稳定时间/min               | C1-C2/(N·m)            | C5-C4/(N·m)             | C3-C2/(N·m)             | C3-C4/(N·m)            |
|----------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 0.0      | 65.07±0.51 <sup>c</sup> | 4.44±0.28 <sup>a</sup> | 5.50±0.19 <sup>a</sup> | 0.82±0.03 <sup>a</sup> | 0.90±0.05 <sup>a</sup>  | 1.19±0.02 <sup>a</sup>  | 0.07±0.01 <sup>a</sup> |
| 0.2      | 65.20±0.00 <sup>c</sup> | 4.50±0.03 <sup>a</sup> | 5.60±0.38 <sup>a</sup> | 0.83±0.00 <sup>a</sup> | 0.90±0.02 <sup>a</sup>  | 1.19±0.02 <sup>a</sup>  | 0.07±0.02 <sup>a</sup> |
| 0.4      | 66.63±0.06 <sup>d</sup> | 4.48±0.22 <sup>a</sup> | 5.71±0.32 <sup>a</sup> | 0.82±0.00 <sup>a</sup> | 0.90±0.03 <sup>a</sup>  | 1.14±0.02 <sup>b</sup>  | 0.08±0.01 <sup>a</sup> |
| 0.6      | 66.60±0.10 <sup>d</sup> | 4.65±0.40 <sup>a</sup> | 5.63±0.12 <sup>a</sup> | 0.84±0.01 <sup>a</sup> | 0.86±0.03 <sup>ab</sup> | 1.14±0.00 <sup>b</sup>  | 0.08±0.01 <sup>a</sup> |
| 0.8      | 67.33±0.29 <sup>c</sup> | 4.59±0.11 <sup>a</sup> | 5.60±0.28 <sup>a</sup> | 0.83±0.02 <sup>a</sup> | 0.82±0.01 <sup>bc</sup> | 1.10±0.00 <sup>c</sup>  | 0.07±0.02 <sup>a</sup> |
| 1.0      | 67.87±0.12 <sup>b</sup> | 4.64±0.06 <sup>a</sup> | 5.63±0.13 <sup>a</sup> | 0.81±0.01 <sup>a</sup> | 0.79±0.01 <sup>cd</sup> | 1.09±0.01 <sup>cd</sup> | 0.07±0.01 <sup>a</sup> |
| 1.2      | 70.30±0.17 <sup>a</sup> | 4.46±0.16 <sup>a</sup> | 5.58±0.18 <sup>a</sup> | 0.81±0.01 <sup>a</sup> | 0.76±0.04 <sup>d</sup>  | 1.07±0.01 <sup>d</sup>  | 0.09±0.02 <sup>a</sup> |

表 11 魔芋胶添加量对鲜湿面蒸煮、质构特性的影响  
Table 11 Effects of konjac gum addition on cooking and texture properties of fresh wet noodles

| 魔芋胶添加量/% | 蒸煮吸水率/%                  | 蒸煮损失率/%                | 蒸煮断条率/%                | 剪切力/g                      | 拉伸强度/g                  | 拉伸距离/mm                  |
|----------|--------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0.0      | 125.96±2.36 <sup>b</sup> | 6.02±2.22 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 279.44±21.30 <sup>bc</sup> | 18.27±1.48 <sup>c</sup> | 27.92±3.43 <sup>c</sup>  |
| 0.2      | 126.61±1.99 <sup>b</sup> | 5.87±0.28 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 274.01±6.30 <sup>c</sup>   | 21.86±1.68 <sup>b</sup> | 42.02±3.58 <sup>c</sup>  |
| 0.4      | 125.86±0.91 <sup>b</sup> | 6.92±1.84 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 249.48±7.96 <sup>d</sup>   | 19.17±2.24 <sup>c</sup> | 46.69±6.15 <sup>bc</sup> |
| 0.6      | 121.03±1.63 <sup>c</sup> | 6.89±0.40 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 271.83±12.26 <sup>c</sup>  | 21.75±1.71 <sup>b</sup> | 50.22±1.39 <sup>b</sup>  |
| 0.8      | 124.74±1.54 <sup>b</sup> | 7.36±0.67 <sup>a</sup> | 1.67±2.89 <sup>a</sup> | 312.78±14.11 <sup>a</sup>  | 18.96±2.36 <sup>c</sup> | 48.08±3.20 <sup>b</sup>  |
| 1.0      | 134.20±1.57 <sup>a</sup> | 2.76±0.56 <sup>b</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 292.27±7.87 <sup>b</sup>   | 25.34±1.97 <sup>a</sup> | 57.51±3.03 <sup>a</sup>  |
| 1.2      | 133.14±1.54 <sup>a</sup> | 2.55±0.17 <sup>b</sup> | 0.00±0.00 <sup>a</sup> | 314.05±8.24 <sup>a</sup>   | 21.92±1.38 <sup>b</sup> | 33.73±2.08 <sup>d</sup>  |

2.6 工艺优化

在单因素的基础上根据水添加量、马铃薯全粉添加量、芦笋全粉添加量和魔芋胶添加量设计四因素三水平正交试验,以剪切力和拉伸强度为考察指标进行工艺优化,正交试验设计水平表和结果分析见表 12。从极差值来看,对面条剪切力和拉伸强度影响大小顺序为  $A>C>B>D$ ,说明加水量对面条剪切力和拉伸强度影响最大,其次芦笋添加量,再次是马铃薯全粉添加量,最后是魔芋胶添加量。由极差分析以剪切力和拉伸强度作为指标得最优工艺组合为  $A_1B_2C_2D_3$ ,  $A_2B_2C_2D_1$ , 但是该组合并未在正交试验中。通过验证试验发现,该两种工艺制备的面条蒸煮特性和质构特性之间基本无显著性差异( $P>0.05$ )。因此,水添加量 30%,马铃薯全粉添加量 6%,芦笋粉添加量 4%,魔芋胶添加量 0.8%或 0.4%,都可用于马铃薯全粉鲜湿面的制备。

2.7 对比试验

比较最优工艺  $A_1B_2C_2D_3$ (对比 1)和  $A_2B_2C_2D_1$ (对比 2),其他方法(对比 3: 加水 30%,马铃薯 6%,魔芋胶 0.8%;对比 4: 加水 30%,芦笋粉 4%,魔芋胶 0.8%,食盐 1%;对比 5: 白面条,加水 30%)所制备面条的特性和消化特性差异。表 13 是不同工艺制备面条蒸煮特性和质构特性比较。各种工艺制备的面条的拉伸强度、蒸煮断条率间无显著性差异( $P>0.05$ )。其中蒸煮断条率在 0.00%~1.67%之间,处于较低的水平,这表明马铃薯全粉和芦笋全粉的添加对面条在蒸

煮过程中的整体结构无影响,仍能够保持面条在蒸煮后的完整性。对比 3 和对比 4 的蒸煮损失率较低、剪切力较高;最优工艺(对比 1 和 2)蒸煮损失率和剪切力与白面条之间无显著性差异( $P>0.05$ ),也进一步的表明最优工艺下产品与常规工艺制备的面条品质相近。对比 3 和对比 4 的剪切力分别为 241.64 g 和 235.78 g,显著高于常规工艺制备的面条( $P<0.05$ ),说明单独加入马铃薯全粉或芦笋全粉能够提高面条的口感,使其口感更加顺滑。但这两者同时加入(对比 1 和 2),剪切力并无显著变化,其口感更接近与常规工艺下制备的面条。

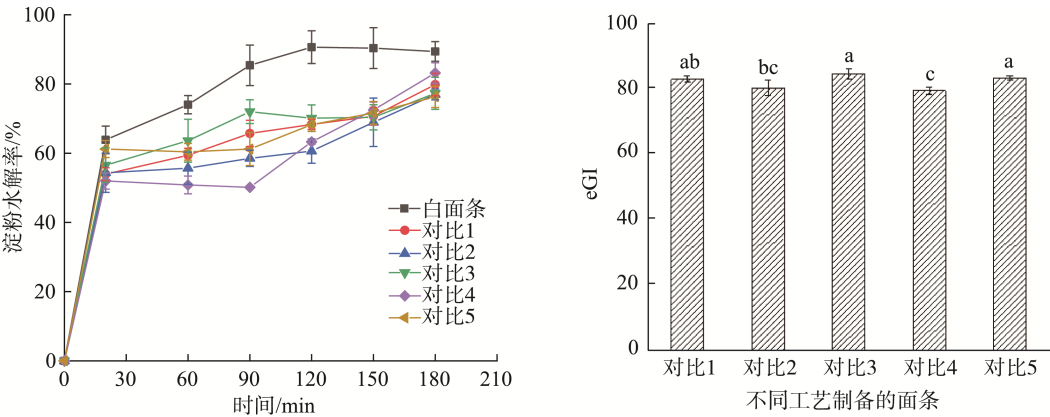
不同工艺制备的面条淀粉水解率和 eGI 值见图 1。从图 1 中能看出,不同工艺制备的面条淀粉水解率都低于参比白面条,各工艺面条淀粉水解率最终为 76.27%~83.14%。通过计算发现不同面条血糖指数为 80.02~85.16,面条都是属于高 GI 食品,在后续的研究中将通过其他手段提升产品和营品质。CHEN 等<sup>[40]</sup>研究了不同结构酚类化合物对马铃薯面条消化性能的影响,发现酚类化合物(原儿茶酸、柚皮苷和单宁酸)会降低马铃薯面条的消化率,并导致其显示出低 GI 值,这可能归因于酚类化合物和淀粉分子之间的相互作用。酚类化合物可以与淀粉分子结合,占据酶解位点,从而减少淀粉的消化,有利于抑制餐后高血糖<sup>[41]</sup>。黄艳梅<sup>[42]</sup>研究了蒲公英黄酮对马铃薯面条体外消化特性的影响,发现蒲公英黄酮可以降低  $\alpha$ -淀粉酶的活性,并且与淀粉形成的复合物可以抑制淀粉的糊化,从而降低了其消化率。

表 12 正交试验分析结果  
Table 12 Orthogonal experimental analysis results

| 试验号  | 因素      |         |         |         | 剪切力/g  | 拉伸强度/g |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
|      | A       | B       | C       | D       |        |        |
| 1    | 1       | 1       | 1       | 1       | 165.84 | 12.98  |
| 2    | 1       | 2       | 2       | 2       | 199.87 | 15.12  |
| 3    | 1       | 3       | 3       | 3       | 159.98 | 13.73  |
| 4    | 2       | 1       | 2       | 3       | 193.21 | 14.49  |
| 5    | 2       | 2       | 3       | 1       | 177.54 | 16.11  |
| 6    | 2       | 3       | 1       | 2       | 107.30 | 12.19  |
| 7    | 3       | 1       | 3       | 2       | 87.86  | 11.18  |
| 8    | 3       | 2       | 1       | 3       | 97.53  | 12.26  |
| 9    | 3       | 3       | 2       | 1       | 93.97  | 11.76  |
| K1   | 175.230 | 148.970 | 123.557 | 145.783 |        |        |
| K2   | 159.350 | 158.313 | 162.350 | 131.677 |        |        |
| K3   | 93.120  | 120.417 | 141.793 | 150.240 |        |        |
| 极差值  | 82.110  | 37.896  | 38.793  | 18.563  |        |        |
| 较好水平 | A1      | B2      | C2      | D3      |        |        |
| 主次顺序 | A>C>B>D |         |         |         |        |        |
| K1   | 13.943  | 12.883  | 12.477  | 13.617  |        |        |
| K2   | 14.263  | 14.497  | 13.790  | 12.830  |        |        |
| K3   | 11.733  | 12.560  | 13.673  | 13.493  |        |        |
| 极差值  | 2.530   | 1.937   | 1.313   | 0.787   |        |        |
| 较好水平 | A2      | B2      | C2      | D1      |        |        |
| 主次顺序 | A>C>B>D |         |         |         |        |        |

表 13 不同工艺制备鲜湿面蒸煮特性和质构特性比较  
Table 13 Comparison of cooking and texture characteristics of fresh wet noodles prepared by different processes

| 分组   | 蒸煮吸水率/%                   | 蒸煮损失率/%                | 蒸煮断条率/%                | 剪切力/g                     | 拉伸强度/g                  |
|------|---------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 对比 1 | 117.34±1.97 <sup>bc</sup> | 8.31±0.53 <sup>a</sup> | 0.00±0.00 <sup>a</sup> | 216.70±16.64 <sup>b</sup> | 21.24±1.83 <sup>a</sup> |
| 对比 2 | 120.98±4.14 <sup>ab</sup> | 8.24±0.25 <sup>a</sup> | 0.83±1.44 <sup>a</sup> | 211.81±6.46 <sup>b</sup>  | 21.41±1.73 <sup>a</sup> |
| 对比 3 | 123.88±1.61 <sup>a</sup>  | 5.02±1.57 <sup>b</sup> | 0.00±0.00 <sup>a</sup> | 241.64±1.71 <sup>a</sup>  | 22.05±1.03 <sup>a</sup> |
| 对比 4 | 124.56±2.22 <sup>a</sup>  | 4.78±0.50 <sup>b</sup> | 1.67±1.44 <sup>a</sup> | 235.78±3.20 <sup>a</sup>  | 21.23±2.39 <sup>a</sup> |
| 对比 5 | 113.12±2.29 <sup>c</sup>  | 7.97±0.91 <sup>a</sup> | 0.00±0.00 <sup>a</sup> | 218.14±11.03 <sup>b</sup> | 20.10±1.18 <sup>a</sup> |



注: 不同小写字母代表差异显著,  $P<0.05$ 。

图 1 不同工艺制备面条淀粉水解率和 eGI 值

Fig.1 Hydrolysis rate of starch and eGI of noodle prepared by different processes

### 3 结 论

本研究系统研究了马铃薯全粉、芦笋全粉、水、谷朊粉、魔芋胶添加量对面团混合特性和面条蒸煮、质构特性的影响,明确了不同添加对面团吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度、回生性、蒸煮吸水率、蒸煮损失率、拉伸特性和剪切力的影响。在单因素试验的基础上选取水添加量、马铃薯全粉添加量、芦笋全粉添加量、魔芋胶添加量设计四因素三水平正交试验,以剪切力和拉伸强度为考察指标进行工艺优化,水添加量 30%,马铃薯全粉添加量 6%,芦笋粉添加量 4%,魔芋胶添加量 0.8%或 0.4%都可用于马铃薯全粉鲜湿的制备。此外,比较不同工艺面条的蒸煮、质构特性和淀粉水解特性,发现本研究制备的面条与常规工艺占制备的面条品质相近,但是面条 eGI 值表明面条还是属于高升糖指数产品,在后续的研究中将通过其他手段提升产品的营养品质。未来可以根据本研究结果,有针对性地添加品质改良剂或对马铃薯全粉进行进一步加工处理,以降低其对鲜湿面条加工性能和蒸煮品质的负面影响,同时保留风味、特色和营养,这有助于将马铃薯鲜湿面商品化和市场化。

### 参考文献

- [1] DU Y, DAI Z, HONG T, *et al.* Effect of sourdough on the quality of whole wheat fresh noodles fermented with exopolysaccharide lactic acid bacteria [J]. *Food Res Int*, 2023, 172: 113108.
- [2] RASHEED H, AHMAD D, BAO J. Genetic diversity and health properties of polyphenols in potato [J]. *Antioxidants*, 2022, 11(4): 603.
- [3] PU H, YUE M, GUO S, *et al.* Influence of wheat flour substitution with potato pulp on dough rheology, microstructure and noodle quality [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2021, 56(6): 2895–2903.
- [4] PU H, WEI J, WANG L, *et al.* Effects of potato/wheat flours ratio on mixing properties of dough and quality of noodles [J]. *J Cere Sci*, 2017, 76: 236–242.
- [5] KANG J, LEE J, CHOI M, *et al.* Physicochemical and textural properties of noodles prepared from different potato varieties [J]. *Prev Nutr Food Sci*, 2017, 22(3): 246–250.
- [6] ZHAO B, DENG J, LI M, *et al.* Effects of gluten on rheological properties of dough and qualities of noodles with potato-wheat flour blends [J]. *Cere Chem*, 2020, 97(3): 601–611.
- [7] JAVAID AB, XIONG H, XIONG Z, *et al.* Effects of xanthan gum on cooking qualities, texture and microstructures of fresh potato instant noodles [J]. *J Food Measure Character*, 2018, 12(4): 2453–2460.
- [8] 郭婉雪, 郑学玲, 洪静, 等. 乳化剂、亲水胶体及谷朊粉对方便湿面品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(5): 190–200.
- [9] GUO WX, ZHENG XL, HONG J, *et al.* Effects of emulsifiers, hydrocolloids, and wheat gluten on the quality of instant wet noodles [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2023, 39(5): 190–200.
- [10] ZHOU BL, ZHU F, SHAN F, *et al.* Gluten enhances cooking, textural, and sensory properties of oat noodles [J]. *Cere Chem*, 2011, 88(3): 228–233.
- [11] 吕佳琪. 谷朊粉对五种杂粮面团特性和面条品质的影响[D]. 石家庄: 河北经贸大学, 2021.
- [12] LV JQ. Effects of gluten on dough characteristics and noodle quality of five kinds of coarse cereals [D]. Shijiazhuang: Hebei University of Economics and Business, 2021.
- [13] 熊添, 何建军, 蔡芳, 等. 高品质紫薯生全粉面条配方的工艺优化[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(4): 171–181.
- [14] XIONG T, HE JJ, CAI F, *et al.* Optimization of high quality noodles made by raw purple sweet potato flour [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2022, 38(4): 171–181.
- [15] CAO Z, YU C, YANG Z, *et al.* Impact of gluten quality on textural stability of cooked noodles and the underlying mechanism [J]. *Food Hydrocolloid*, 2021, 119: 106842.
- [16] VITAL ACP, ITODA C, CREPALDI YS, *et al.* Use of asparagus flour from non-commercial plants (residue) for functional pasta production [J]. *J Food Sci Technol*, 2020, 57(8): 2926–2933.
- [17] WANG S, HE J, HUANG S, *et al.* Application of konjac glucomannan with chitosan coating in yellow alkaline noodles [J]. *Foods*, 2023, 12(19): 3569.
- [18] FAN J, GUO X, ZHU K. Insight into the dynamic molecular mechanism underlying the endogenous polyphenols inhibiting the *in vitro* starch digestion of highland barley noodles [J]. *Food Chem*, 2024, 437: 137870.
- [19] ZENG F, LIU H, YU H, *et al.* Effect of potato flour on the rheological properties of dough and the volatile aroma components of bread [J]. *Am J Potato Res*, 2019, 96(1): 69–78.
- [20] OOMS N, VANDROMME E, BRIJS K, *et al.* Intact and damaged wheat starch and amylase functionality during multilayered fermented pastry making [J]. *J Food Sci*, 2018, 83(10): 2489–2499.
- [21] SINGH N, KAUR A, SHEVKANI K, *et al.* Structural, morphological, thermal, and pasting properties of starches from diverse Indian potato cultivars [J]. *Starch*, 2018, 70(3–4): 1700130.
- [22] TAO C, SHI W, BAI Q, *et al.* Effects of potato powder on wheat dough properties and fresh noodles quality [J]. *CyTA-J Food*, 2021, 19(1): 588–595.
- [23] FU Z, CHE L, LI D, *et al.* Effect of partially gelatinized corn starch on the rheological properties of wheat dough [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2016, 66: 324–331.
- [24] CAO Y, ZHANG F, GUO P, *et al.* Effect of wheat flour substitution with potato pulp on dough rheology, the quality of steamed bread and *in vitro* starch digestibility [J]. *LWT*, 2019, 111: 527–533.
- [25] KÖBER E, GONZALEZ ME, GAVIOLI N, *et al.* Modification of water absorption capacity of a plastic based on bean protein using gamma irradiated starches as additives [J]. *Radiat Phys Chem*, 2007, 76(1): 55–60.
- [26] 周驰. 芦笋粉加工关键技术及应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [27] ZHOU C. Key processing technology and application of asparagus powder [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2015.
- [28] 施建斌, 隋勇, 熊添, 等. 芦笋粉添加对面团和面条特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2023. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050050
- [29] SHI JB, SUI Y, XIONG T, *et al.* Effects of asparagus powder addition on dough and noodles properties [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050050
- [30] 白玉婷. 添加芦笋和热处理的苦荞对面团及面条品质的影响[D]. 成都:

- 成都大学, 2022.
- BAI YT. Effects of asparagus and heat treated Tartary buckwheat on the quality of dough and noodles [D]. Chengdu: Chengdu University, 2022.
- [26] 钱鑫, 刘艳, 张家铭, 等. 辣椒粉添加量对鲜湿面品质特性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 8–16.
- QIAN X, LIU Y, ZHANG JM, *et al.* Effects of chili powder addition on quality characteristics of fresh wet noodles [J]. *J Food Saf Qual*, 2023, 14(4): 8–16.
- [27] 胡云峰, 王奎超, 陈媛媛. 不同加水量对生鲜面条品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(24): 88–92.
- HU YF, WANG KC, CHEN YY. Effect of different water addition on quality of fresh noodle [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(24): 88–92.
- [28] 刘明, 田晓红, 汪雨萍, 等. 加水量对豌豆挂面品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2015, 23(4): 7–12.
- LIU M, TIAN XH, WANG LP, *et al.* Effects of water addition on pea dried noodle quality [J]. *Sci Technol Cere Oils Foods*, 2015, 23(4): 7–12.
- [29] 施建斌, 隋勇, 蔡沙, 等. 荞麦面条配方优化及其体外消化特性[J]. 食品研究与开发, 2023, 4(10): 153–161.
- SHI JB, SUI Y, CAI S, *et al.* Optimization of buckwheat noodle formula and its starch digestibility *in vitro* [J]. *Food Res Dev*, 2023, 44(10): 153–161.
- [30] 陈佳佳, 任国宝, 任晨刚, 等. 谷朊粉、乳化剂对全麦面条品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(6): 72–75.
- CHEN JJ, REN GB, REN CG, *et al.* Effect of gluten, emulsifiers on quality of whole wheat noodles [J]. *Cere Oils*, 2018, 31(6): 72–75.
- [31] 刘欣, 赵驰, 安艳霞, 等. 山药全粉面条的制备及其对面条品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(20): 107–114.
- LIU X, ZHAO C, AN YX, *et al.* Preparation of Chinese yam noodle with whole powder and its effect on noodle quality [J]. *Food Res Dev*, 2023, 44(20): 107–114.
- [32] 张煜, 窦博鑫, 刘丽宅, 等. TGase 与谷朊粉添加对马铃薯全粉-小麦粉混合粉面团特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(2): 47–51.
- ZHANG Y, DOU BX, LIU LZ, *et al.* Effect of TGase and wheat gluten addition on dough properties of potato flour-wheat flour mixture [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(2): 47–51.
- [33] YAO M, LI M, DHITAL S, *et al.* Texture and digestion of noodles with varied gluten contents and cooking time: The view from protein matrix and inner structure [J]. *Food Chem*, 2020, 315: 126230.
- [34] 于洋, 徐艳文, 祁岩龙, 等. 马铃薯湿面条品质改良的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2023, (5): 12–17.
- YU Y, XU YW, QI YL, *et al.* Study on quality improvement of potato fresh noodles [J]. *Cere Feed Ind*, 2023, (5): 12–17.
- [35] 杨雪飞, 袁蓓蕾, 罗水忠, 等. 品质改良剂对复合杂粮面包粉流变学特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(11): 75–80.
- YANG XF, YUAN BL, LUO SZ, *et al.* Effects of composite improvers on rheological properties of coarse grain bread flour [J]. *Food Sci*, 2015, 36: 75–80.
- [36] 熊添, 何建军, 蔡芳, 等. 谷朊粉对马铃薯热干面品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 205–211.
- XIONG T, HE JJ, CAI F, *et al.* Effect of wheat gluten on the quality of potato hot dry noodles [J]. *Food Ferment Ind*, 2021, 47(2): 205–211.
- [37] WEN X, CAO X, YIN Z, *et al.* Preparation and characterization of konjac glucomannan-poly(acrylic acid) IPN hydrogels for controlled release [J]. *Carbohydr Polym*, 2009, 78(2): 193–198.
- [38] ZHOU Y, ZHAO D, FOSTER TJ, *et al.* Konjac glucomannan-induced changes in thiol/disulphide exchange and gluten conformation upon dough mixing [J]. *Food Chem*, 2014, 143: 163–169.
- [39] CAO G, CHEN X, WANG N, *et al.* Effect of konjac glucomannan with different viscosities on the quality of surimi-wheat dough and noodles [J]. *Int J Biol Macromol*, 2022, 221: 1228–1237.
- [40] CHEN N, GAO H, HE Q, *et al.* Insight into property, function, and digestion of potato starch modified by phenolic compounds with varying structures [J]. *J Food Sci*, 2023, 88(3): 962–976.
- [41] LI M, GRIFFIN LE, CORBIN S, *et al.* Modulating phenolic bioaccessibility and glycemic response of starch-based foods in wistar rats by physical complexation between starch and phenolic acid [J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68(46): 13257–13266.
- [42] 黄艳梅. 蒲公英黄酮对马铃薯淀粉和面条体外消化特性的影响及其机制[D]. 苏州: 苏州大学, 2021.
- HUANG YM. Effects and mechanisms of dandelion flavonoids on *in vitro* digestive characteristics of potato starch and noodles [D]. Suzhou: Soochow University, 2021.

(责任编辑: 韩晓红 于梦娇)

## 作者简介



周松超, 硕士研究生, 主要研究方向为食品科学与工程。  
E-mail: 2798907396@qq.com



范凯, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏保鲜。  
E-mail: kaifan@yangtzeu.edu.cn



施建斌, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农产品加工及副产物综合利用。  
E-mail: shijianbin1022@126.com