DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2026.16.008

# 磷酸盐对面团流变学特性及鲜湿面品质的影响

李霁玥[1,2],马建辉[1],郭波莉[2,3],姜丽娜[1*],张影全[2,3*]
(1. 河南师范大学 生命科学学院,河南 新乡 453007;2. 中国农业科学院农产品加工研究所/农业农村部粮油加工综合利用技术集成实验室,北京 100193;3. 中国农业科学院西部农业研究中心,新疆 昌吉 831100)

**摘　要**:为探究 4 种磷酸盐在不同添加量下对面团流变学特性及鲜湿面品质的影响,将磷酸盐按 0、1、2、3、4 g/kg(以磷酸根计)的添加量加入小麦粉中制备复配面粉,并采用粉质仪、拉伸仪、快速粘度仪测定面团流变学特性,采用质构仪测定鲜湿面的质构特性。结果表明,三聚磷酸钠和六偏磷酸钠可显著提高面团的吸水率,延长面团的形成时间和稳定时间,有效降低面团的糊化温度,并可增强面团的弹性和韧性。磷酸二氢钙在低添加量时能改善面团的稳定性,但添加过量则会缩短面团稳定时间。磷酸三钙对面团流变学特性影响较小,但在低浓度下能显著改善面团的拉伸特性。在鲜湿面品质方面,三聚磷酸钠和六偏磷酸钠的添加可显著提高鲜湿面的吸水率和弹性、降低烹煮损失率,且最佳效果出现在添加量为 4 g/kg 时。磷酸三钙则使鲜湿面硬度下降,增加烹煮损失率。磷酸二氢钙和磷酸三钙的添加会使烹煮损失率整体增加。综上所述,适量添加三聚磷酸钠和六偏磷酸钠能够显著改善面团的流变学特性,提升鲜湿面的吸水率、弹性及质构特性。

**关键词**:磷酸盐;流变学特性;鲜湿面;烹煮特性;质构特性

## Effects of Phosphates on Rheological Properties of Dough and Quality of Fresh Wet Noodles

LI Jiyue[1,2], MA Jianhui[1], GUO Boli[2,3], JIANG Lina[1*], ZHANG Yingquan[2,3*]
(1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, Henan, China; 2. Comprehensive Utilization Laboratory of Cereal and Oil Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 3. Institute of Western Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji 831100, Xinjiang, China)

**Abstract**: To investigate the effects of four phosphates at different addition levels on the rheological properties of dough and the quality of fresh wet noodles, phosphate salts were added to wheat flour at levels of 0, 1, 2, 3, and 4 g/kg (calculated as phosphate radical) to prepare blended flours. The rheological properties of the dough were measured using a farinograph, an extensograph, and a rapid visco analyzer, and the textural properties of fresh wet noodles were measured using a texture analyzer. The results showed that sodium tripolyphosphate and sodium hexametaphosphate significantly increased the water absorption capacity of dough. Both sodium tripolyphosphate and sodium hexametaphosphate extended the formation time and improved the stability of dough, while reducing the gelatinization temperature and enhancing the dough elasticity and toughness. Monocalcium phosphate improved the dough stability at low addition levels but shortened the stability time at high addition levels. Tricalcium phosphate had minimal effects on the rheological properties of dough but significantly improved the stretching properties of dough at low addition levels. Regarding the quality of fresh wet noodles, the addition of sodium tripolyphosphate and sodium hexametaphosphate significantly enhanced the water absorption and elasticity of the noodles and reduced the cooking loss, with the best effect observed at an addition level of 4 g/kg. Tricalcium phosphate decreased the hardness of the noodles and increased the cooking loss. Both monocalcium phosphate and tricalcium phosphate increased the cooking loss. In conclusion, the ap-

基金项目:国家小麦产业技术体系(CARS-03-39);中国农业科学院农产品加工研究所国家农业科技创新工程科研团队(CAAS-ASTIP-2024-IFST)
作者简介:李霁玥(2000—),女(汉),硕士研究生,研究方向:谷物加工与品质调控。
*通信作者:姜丽娜,教授,博士;张影全,副研究员,博士。

propriate addition of sodium tripolyphosphate and sodium hexametaphosphate significantly improved the rheological properties of dough and enhanced the water absorption, elasticity, and textural properties of fresh wet noodles.

**Key words**: phosphate; rheological properties; fresh wet noodles; cooking properties; textural properties

引文格式：

李霁玥，马建辉，郭波莉，等 . 磷酸盐对面团流变学特性及鲜湿面品质的影响[J]. 食品研究与开发，2026，47(16)：60-68.

LI Jiyue, MA Jianhui, GUO Boli, et al. Effects of Phosphates on Rheological Properties of Dough and Quality of Fresh Wet Noodles[J]. Food Research and Development, 2026, 47(16): 60-68.

面条是我国居民食用的主要面制主食之一，与挂面、半干面等干制面条相比，鲜湿面因具有新鲜、有嚼劲、面香味浓等特点，而深受广大消费者的喜爱[1]。鲜湿面在生产和贮藏过程中的保水性和稳定性一直是加工企业和消费者关注的重点。

磷酸盐是全球食品工业中广泛采用的品质改良剂之一，其作为食品生产中重要的功能添加剂广泛应用于面制品加工领域[2]。根据化学结构差异，其主要可分为单磷酸盐、双磷酸盐、三聚磷酸盐及有机磷酸盐等类型[3]。磷酸盐主要是通过螯合金属离子、调节体系pH值、增强乳化稳定性、杀菌、抑菌等多重作用机制改善食品的加工特性与终产品品质[4-6]。磷酸盐是鲜湿面专用粉、鲜湿面制作中最常用的一类食品添加剂，常见种类主要有三聚磷酸钠、六偏磷酸钠、焦磷酸钠、磷酸二氢钙等[7]。磷酸盐主要通过改善面筋网络结构[8-10]、改变面团吸水、持水特性[11]以及面团内部水分分布和迁移状态、促进二硫键的形成[12]来改善面制品品质。前期研究发现焦磷酸钠、三聚磷酸钠、偏磷酸钠和磷酸二氢钠能够有效地改善面制品品质，增强黏弹性，改善面粉的糊化程度，提高搅拌稳定性，降低面制品的蒸煮损失[13-14]。怀丽华等[15]发现磷酸盐可以降低面条断条率、延长面团稳定时间和提高面团吸水率，其中提升面条品质能力的排序为三聚磷酸钠>偏磷酸钠>焦磷酸钠。邢亚楠等[16]研究发现磷酸二氢钠能提高面团吸水率、粉质质量指数、拉伸阻力，延长形成时间。付徐芳等[17]开发的复合磷酸盐配方可使面条烹煮损失降低28%，但其配比在面包体系中可能引发过度筋力强化。

研究者针对磷酸盐改善面条品质的作用规律与内在机理开展了大量研究，然而常用磷酸盐（三聚磷酸钠、六偏磷酸钠等）单体对于面团流变学特性及鲜湿面的作用机制差异尚未系统阐明。基于此，本研究聚焦三聚磷酸钠、六偏磷酸钠、磷酸三钙及磷酸二氢钙4种典型磷酸盐，探究4种磷酸盐不同添加比例对面团流变学特性和鲜湿面品质的影响规律，以期为面制品专用粉开发及鲜湿面生产工艺优化提供理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

小麦粉：陕西金沙河面业有限责任公司；三聚磷酸钠、磷酸二氢钙、六偏磷酸钠、磷酸三钙（均为食品级）：连云港科德食品配料有限公司；食用盐：河北中盐龙祥盐化有限公司。

### 1.2 仪器与设备

JHMZ-200型和面机、JMTD-168/140型试验面条机：北京东方孚德技术发展中心；TA.XT Plus型物性质构测定仪：英国Stable Micro System公司；MVAG803202型快速粘度仪、Farinograph-E型粉质仪、Extensograph-E型拉伸仪：德国Brabender公司；DHG-9123A型电热恒温鼓风干燥箱：上海精宏实验设备有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 复配面粉的制备

按照0、1、2、3、4 g/kg（以磷酸根计）的添加量向小麦粉中添加磷酸盐，制备出含有不同磷酸盐添加量的复配面粉。

#### 1.3.2 磷酸盐添加量对面团流变学特性的影响

##### 1.3.2.1 粉质参数测定

参照GB/T 14614—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》中的方法，采用粉质仪测定面团的吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度及粉质质量指数。

##### 1.3.2.2 黏度特性测定

参照GB/T 24853—2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定 快速粘度仪法》中的方法，采用快速粘度仪测定面团的糊化温度、峰值黏度、回生值、崩解值。

##### 1.3.2.3 拉伸特性测定

参照GB/T 14615—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 拉伸仪法》中的方法，采用拉伸仪测定

面团延伸性、50 mm 处拉伸阻力、最大拉伸阻力、拉伸比、拉伸能量。

1.3.3　磷酸盐添加量对鲜湿面品质特性的影响

1.3.3.1　鲜湿面的制作

称取含有磷酸盐的复配面粉 100 g 于和面钵内。根据面粉不同的含水率添加适量的水，使面团的水分含量达到 36%。加入 1 g 食用盐于和面机中和面 4 min，调整试验面条机轴间距分别为 2.5、2.0、1.5、0.7、0.5 mm 进行对折压延 5 次，以形成面带。然后再次对折压延 5 次，得到厚度为 1 mm 的面带。用面条机将面带切成宽 2 mm、长 15 cm 的面条，备用。

1.3.3.2　烹煮特性测定

参照 GB/T 40636—2021《挂面》中的方法测定鲜湿面的吸水率、烹煮损失率。

1.3.3.3　质构特性测定

使用物性质构测定仪测定鲜湿面的质构特性。将鲜湿面在最佳烹煮时间点时捞出，选取 5 根熟面并排平铺于测定平台上。采用 ALKB-F 型号探头，选用全质构分析（texture profile analysis，TPA）测定模式，测定前、测定中、测定后的速度分别为 0.8、0.8、2 mm/s，2 次压缩停留间隔 5 s，起点感应力为 10 g，数据采集速率为 200 点/s。每个样品进行 5 次平行试验。

1.4　数据处理

采用 Excel 2016 处理数据，采用 SPSS 27.0 统计分析软件对数据进行方差分析。

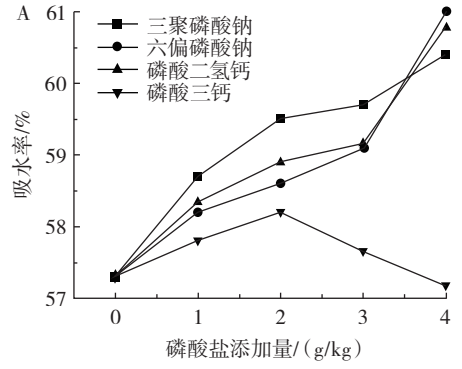
## 2　结果与分析

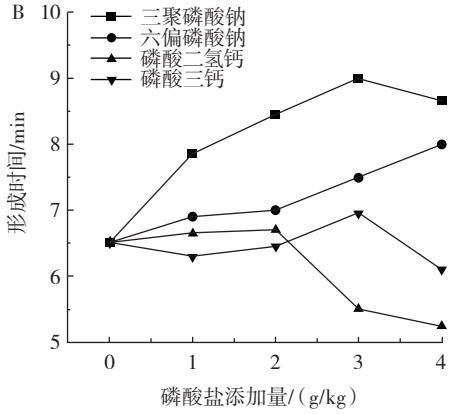
2.1　磷酸盐添加量对面团流变学特性的影响

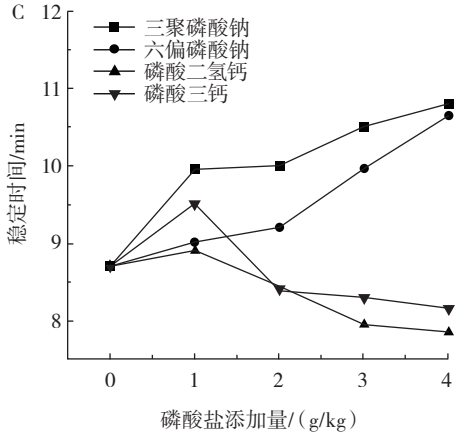
2.1.1　不同磷酸盐添加量对面团粉质参数的影响

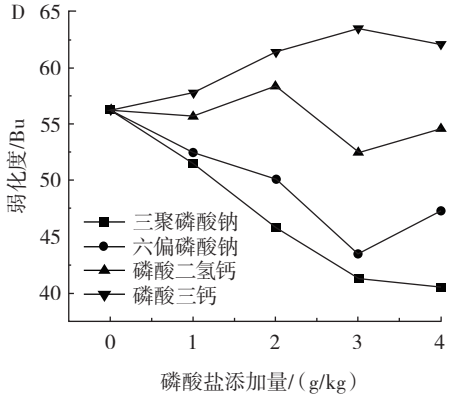
不同磷酸盐添加量面团的粉质参数如图 1 所示。

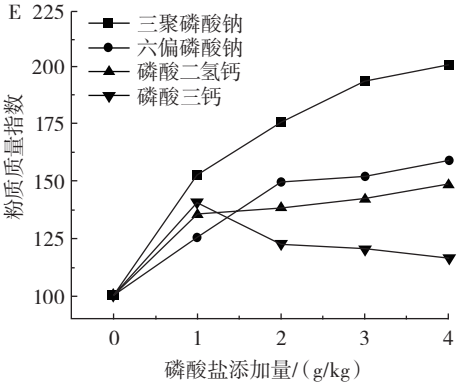
由图 1A 可知，随着三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和磷酸二氢钙添加量的增加，面团的吸水率明显提高，并与添加量呈正相关。磷酸三钙添加量增加时，面团吸水率呈现先增加后降低的趋势，磷酸三钙添加量为 2 g/kg 时达到最高值。在磷酸盐添加量低于 3 g/kg 时，各磷酸盐对面团吸水率调控效能依次为三聚磷酸钠>磷酸二氢钙>六偏磷酸钠>磷酸三钙。




A. 吸水率；B. 形成时间；C. 稳定时间；D. 弱化度；E. 粉质质量指数。

**图 1　不同磷酸盐添加量面团的粉质参数**

**Fig.1　Farinographical properties of dough with different phosphate addition levels**

由图 1B 可知，三聚磷酸钠和六偏磷酸钠的添加明显延长了面团的形成时间，其中三聚磷酸钠的效果优于六偏磷酸钠。在磷酸二氢钙添加量低于 2 g/kg 时，对形成时间的影响不明显，超过 2 g/kg 后明显缩短形成时间。磷酸三钙对形成时间的影响呈先延长后缩短的趋势。

由图 1C 可知，随着三聚磷酸钠和六偏磷酸钠添加量的增加，面团的稳定时间呈逐渐延长的趋势，其中三聚磷酸钠的增幅大于六偏磷酸钠。磷酸二氢钙和磷酸三钙的添加量增加时，面团稳定时间呈先延长后缩短的趋势，在添加量为 1 g/kg 时稳定时间明显延长，随后稳定时间逐渐缩短。

由图 1D 可知，三聚磷酸钠和六偏磷酸钠的添加可以降低面团的弱化度，其中添加三聚磷酸钠时，面团弱化度与添加量呈反比，而六偏磷酸钠添加量为 3 g/kg 时，面团弱化度降至最低值后略有回升。磷酸二氢钙的添加对面团弱化度的影响较小，呈波动趋势，而磷酸三钙则会增加面团弱化度。

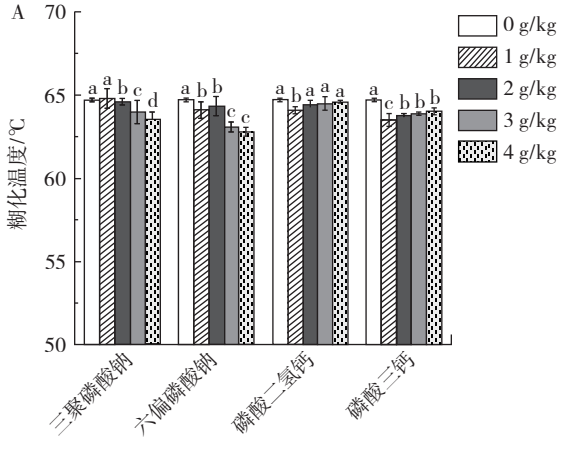
由图 1E 可知，添加三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和磷酸二氢钙可以提高粉质质量指数，其中三聚磷酸钠的提升效果最为明显，且与添加量成正比。随着磷酸三钙添加量的增加，粉质质量指数呈先增加后降低的趋势，添加量为 1 g/kg 时达到最大值。磷酸盐种类对粉质质量指数的影响顺序为三聚磷酸钠>六偏磷酸钠>磷酸二氢钙>磷酸三钙。

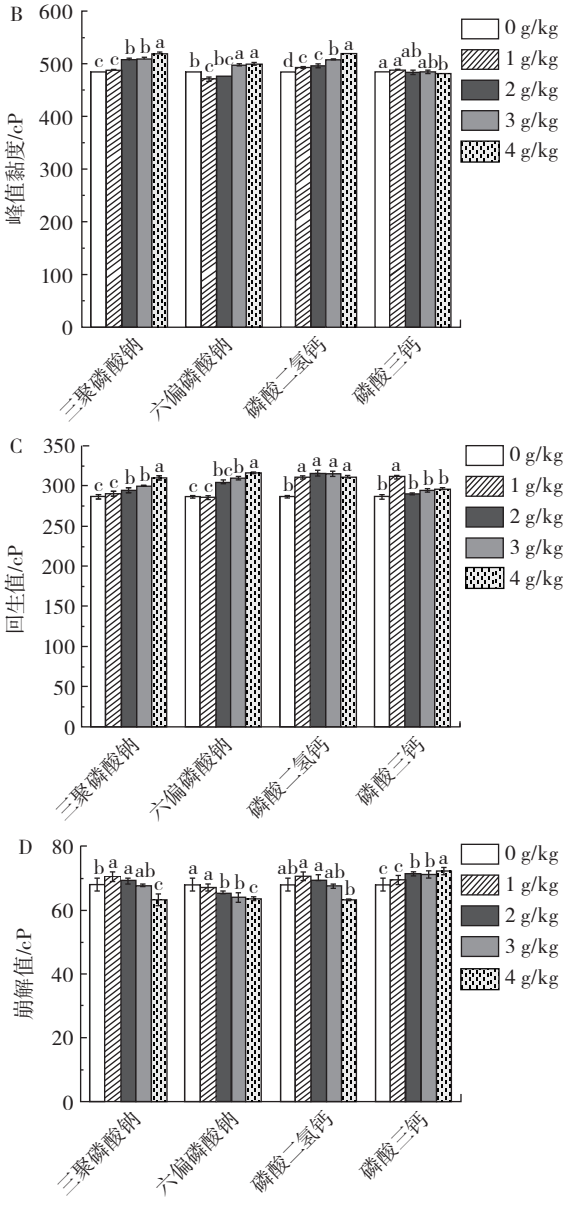
2.1.2　不同磷酸盐添加量对面团黏度特性的影响

不同磷酸盐添加量面团的黏度特性如图 2 所示。

由图 2A 可知，添加量大于 1 g/kg 时，三聚磷酸钠、六偏磷酸钠能显著降低糊化温度（$P<0.05$）。磷酸二氢钙、磷酸三钙对糊化温度的影响较小，随添加量的增加呈现先下降后上升的趋势，在添加量为 1 g/kg 时下降到最低值而后又逐渐升高。

由图 2B 可知，添加三聚磷酸钠、磷酸二氢钙后峰值黏度明显提高。六偏磷酸钠对于峰值黏度的影响整体随添加量的增加呈现先下降后上升的趋势。磷酸三钙对峰值黏度的影响不明显，在添加量为 1 g/kg 时略微上升而后整体呈下降趋势。




A. 糊化温度；B. 峰值黏度；C. 回生值；D. 崩解值。不同小写字母表示同一磷酸盐不同添加量存在显著性差异，$P<0.05$。

**图 2　不同磷酸盐添加量面团的黏度特性**

**Fig.2　Viscosity properties of dough with different phosphate addition levels**

由图 2C 可知，三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和磷酸二氢钙的添加整体上会提升面制品的回生值。其中，三聚磷酸钠的添加量与回生值呈正比。磷酸三钙的添加对回生值的影响则整体呈现先上升后下降再趋于平缓的趋势。

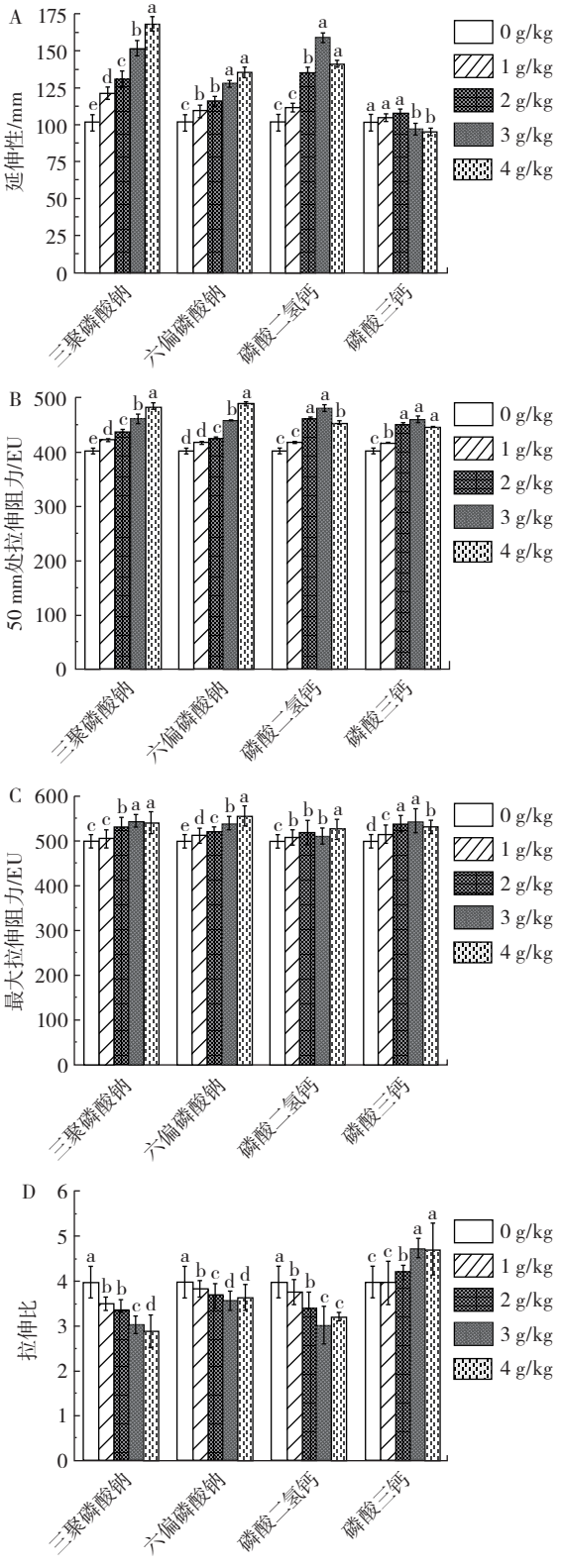
崩解值表征淀粉的耐剪切性能，是最终黏度与保持黏度之间的差值，越大则耐剪切性越差。由图 2D 可知，磷酸三钙的添加会提高面团的崩解值，并且与添加量呈正比。磷酸二氢钙和三聚磷酸钠的添加对于崩

解值的影响随添加量增加呈现先上升后下降的趋势，在添加量超过 1 g/kg 时，随添加量的增加面团崩解值降低。六偏磷酸钠的添加与崩解值呈负相关。

2.1.3　不同磷酸盐添加量对面团拉伸特性的影响

不同磷酸盐添加量面团的拉伸特性如图 3 所示。

由图 3 可知，4 种磷酸盐均能增大面团 50 mm 处的拉伸阻力与最大拉伸阻力，提高面团的弹性和韧性。三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和磷酸二氢钙添加量≥2 g/kg 时，面团的延伸性、50 mm 处拉伸阻力和最大拉伸阻力均较未添加磷酸盐组显著增加（$P<0.05$）。其中，三聚磷酸钠和六偏磷酸钠在 4 g/kg、磷酸二氢钙在 3 g/kg 时，面团延伸性和 50 mm 处拉伸阻力均达到最大值，延伸性从 101.68 mm 分别增至 168.49、135.51 mm 和 159.32 mm。磷酸二氢钙的最大拉伸阻力和拉伸能量随添加量增大时显著提高，4 g/kg 时达到峰值。磷酸三钙的添加对面团拉伸特性的影响有所不同：在添加量为 1 g/kg 时，面团 50 mm 处拉伸阻力与其他浓度之间差异显著（$P<0.05$）；添加量为 4 g/kg 时，50 mm 处拉伸阻力从 403.05 EU 增加至 452.47 EU，且拉伸比显著增加至 4.24。当磷酸三钙添加量大于 2 g/kg 时，延伸性降低，说明磷酸三钙浓度过高时，会对面团的延展性产生抑制作用。




A. 延伸性；B. 50 mm 处面团拉伸阻力；C. 最大拉伸阻力；D. 拉伸比；E. 拉伸能量。不同小写字母表示同一磷酸盐不同添加量存在显著性差异，$P<0.05$。

**图 3　不同磷酸盐添加量面团的拉伸特性**

**Fig.3　Stretching properties of dough with different phosphate addition levels**

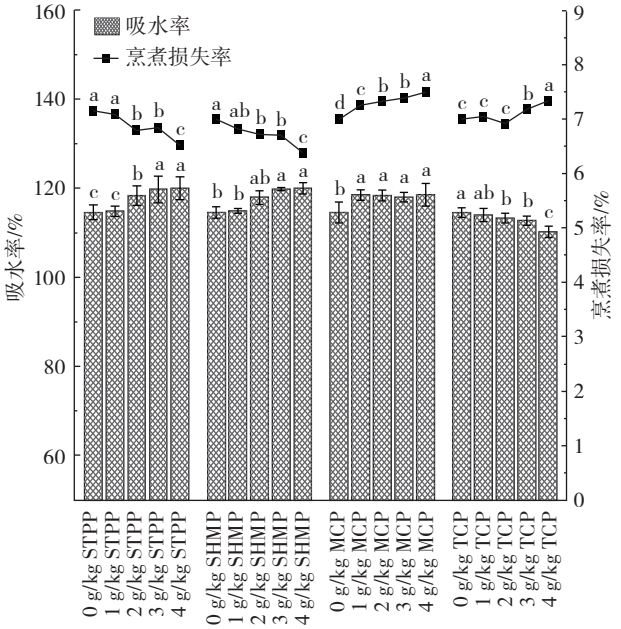
2.2　磷酸盐添加量对鲜湿面品质特性的影响

2.2.1　不同磷酸盐添加量对鲜湿面烹煮特性的影响

不同磷酸盐添加量鲜湿面的烹煮特性如图 4 所示。

由图 4 可知，随着三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和磷酸二氢钙添加量的增加，鲜湿面吸水率明显提升；随着磷酸三钙添加量的增加，鲜湿面吸水率降低。随着三聚磷酸钠、六偏磷酸钠添加量的增加，烹煮损失率降低；随着磷酸二氢钙添加量的增加，鲜湿面烹煮损失率增加；磷酸三钙对于鲜湿面烹煮损失率的影响则呈现先降低后上升的趋势，在添加量为 4 g/kg 时烹煮损失率最高。

综上，在相同磷酸盐添加量下，不同种磷酸盐鲜湿面的吸水率和烹煮损失率存在明显差异。三聚磷酸钠




STPP 表示三聚磷酸钠，SHMP 表示六偏磷酸钠，MCP 表示磷酸二氢钙，TCP 表示磷酸三钙。不同小写字母表示同一磷酸盐不同添加量存在显著性差异，$P<0.05$。

**图 4 不同磷酸盐添加量对鲜湿面烹煮特性的影响**

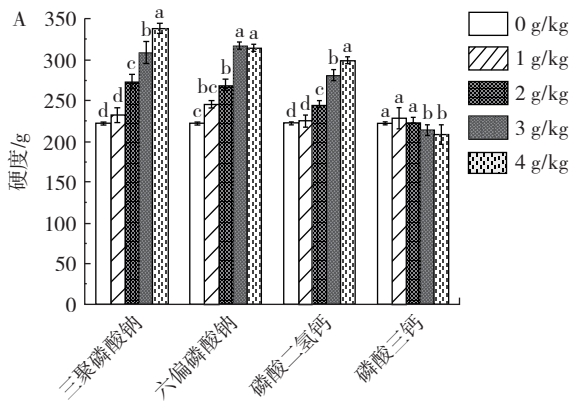
**Fig.4 Effects of different phosphate addition levels on cooking properties of fresh wet noodles**

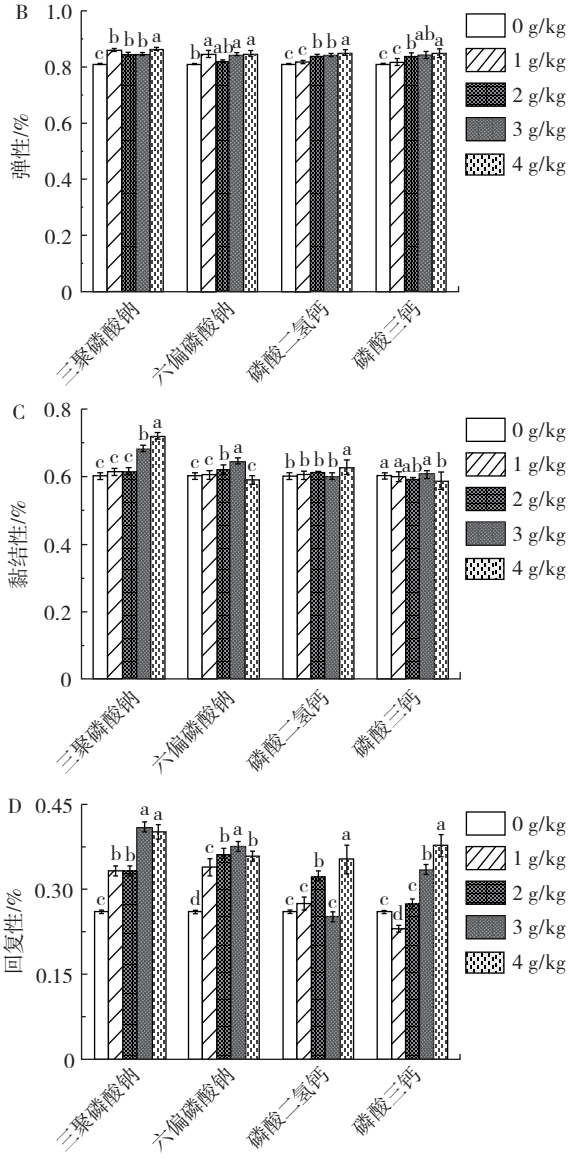
和六偏磷酸钠在较高添加量下可以显著增加鲜湿面的吸水率且降低烹煮损失率，而磷酸三钙则在低添加量下表现出较高的吸水率和较低的烹煮损失率。

2.2.2 不同磷酸盐添加量对鲜湿面质构特性的影响

不同磷酸盐添加量鲜湿面的质构特性如图 5 所示。

由图 5A 可知，同一磷酸盐在不同添加量下的鲜湿面硬度具有明显差异，添加三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和磷酸二氢钙后，鲜湿面硬度均有所上升，硬度提升效果的顺序为三聚磷酸钠>六偏磷酸钠>磷酸二氢钙。而磷酸三钙则与其他 3 类磷酸盐不同，在添加量为 1 g/kg 时硬度略微提升，此后随着磷酸三钙添加量继续增加硬度逐渐下降，在添加量为 4 g/kg 时达到最低值。




A. 硬度；B. 弹性；C. 黏结性；D. 回复性。不同小写字母表示同一磷酸盐不同添加量存在显著性差异，$P<0.05$。

**图 5 不同磷酸盐添加量对鲜湿面质构特性的影响**

**Fig.5 Effects of different phosphate addition levels on textural properties of fresh wet noodles**

由图 5B 可知，4 种磷酸盐均能提升鲜湿面的弹性。其中，磷酸二氢钙、磷酸三钙添加量与鲜湿面弹性的增加成正比，而三聚磷酸钠、六偏磷酸钠的添加对于鲜湿面弹性的影响则整体呈现先上升而后下降再上升的波动趋势，在添加量为 4 g/kg 时鲜湿面弹性较高，表明较高添加量下的磷酸盐使鲜湿面更具延展性和弹性。

由图 5C 可知，三聚磷酸钠添加量≤2 g/kg 时，对于鲜湿面黏结性的提升没有显著性影响（$P>0.05$），三聚磷酸钠添加量超过 2 g/kg 后黏结性显著提升。六偏磷酸钠的添加对于黏结性的影响呈现先上升后下降的趋势，在 3 g/kg 时达到最大值。磷酸二氢钙添加量为 0~

3 g/kg 时，鲜湿面黏结性无明显提升，4 g/kg 时黏结性显著提升（$P$<0.05）。磷酸三钙的添加对于黏结性的影响较为平缓，随着磷酸三钙添加量的增加黏结性整体降低，表示较低浓度的磷酸三钙能有效增加面团的黏附性。

由图 5D 可知，三聚磷酸钠、六偏磷酸钠能显著提升鲜湿面的回复性，在添加量为 3 g/kg 时回复性达到最大值。磷酸二氢钙的添加对于回复性的影响呈现波动变化趋势，在添加量为 4 g/kg 时回复性最大。磷酸三钙则呈先下降后上升的趋势，在添加量为 1 g/kg 时鲜湿面回复性最低；随后提高磷酸三钙添加量，鲜湿面回复性显著提升（$P$<0.05）。

综上，三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和磷酸二氢钙在较高添加量时，普遍增强了鲜湿面的硬度、弹性、回复性和黏附性，表明这些磷酸盐能够有效改善鲜湿面的质构特性，增强其加工性能。而磷酸三钙对于硬度、黏结性等质构指标的改善作用不如其余 3 种磷酸盐明显。

## 3 讨论

### 3.1 不同种类磷酸盐对面团流变学特性的影响规律及机制

适量添加三聚磷酸钠和六偏磷酸钠有助于促进面粉中蛋白质网络结构和面筋网络的形成，增强分子间的相互作用[18]，并通过与金属离子螯合形成“桥架”，促进支链淀粉碳链增长，提高面筋蛋白黏弹性，从而提升面团的韧性和弹性[19]。本研究结果表明，与不添加磷酸盐相比，添加三聚磷酸钠和六偏磷酸钠明显提高了面团的吸水率，延长了形成时间和稳定时间，其中三聚磷酸钠的效果优于六偏磷酸钠，而磷酸三钙对形成时间的影响不明显。三聚磷酸钠、六偏磷酸钠降低面团的弱化度，二者提升面团筋力的效果强于磷酸二氢钙和磷酸三钙。粉质质量指数一定程度上受形成时间的影响，粉质质量指数越高，面团的稳定性越好，筋力也越强。三聚磷酸钠、六偏磷酸钠、磷酸二氢钙会明显增加粉质质量指数，且与添加量呈正相关。这种促进作用可能源于磷酸盐能够增加淀粉分子的内外渗透压，从而促使水分能更有效地渗入颗粒内部，增强面粉的水分吸收能力[20]。作为保水剂，磷酸盐通过竞争性结合小麦蛋白中的水分子结合位点，削弱蛋白质分子间氢键网络，诱导疏水基团空间重排。该过程强化了面筋蛋白的疏水缔合作用，促使蛋白质展开并暴露更多亲水性结合位点，最终形成致密连续的水化层结构[21]。磷酸盐与麦谷蛋白和麦醇溶蛋白发生静电相互作用及配位键合相互作用，促进面筋蛋白的交联聚合，显著增强了面筋网络结构，面团的耐搅拌能力和稳定性增强，因此其稳定时间延长、弱化度降低[22-23]。

磷酸盐的添加对面团的黏度特性产生了明显影响，峰值黏度、低谷黏度和最终黏度与添加量呈正相关，而崩解值和回生值随三聚磷酸钠和六偏磷酸钠添加量的增加略有减少，表明二者提高了面粉的糊化程度，并增强了制品加工过程中的凝胶稳定性和抗老化性能[24-25]。磷酸盐的添加强化了淀粉水合能力，渗透压的增加使水分更容易渗透到淀粉内部[26]。添加磷酸盐能够降低糊化温度，并抑制面粉糊的回生和衰减，进一步促进淀粉分子的糊化，减缓面制品在储存过程中的老化。

三聚磷酸钠、六偏磷酸钠、磷酸二氢钙均能提高拉伸阻力，主要是通过直接或间接地将面筋蛋白中的巯基氧化成二硫键，从而促进面团中更强的蛋白质网络形成[5]。磷酸盐也会参与面筋蛋白的巯基二硫交换，从而调节面团中的流变蛋白网络，使更多的淀粉颗粒与面筋蛋白牢固地结合起来形成稳定的复合体[27]，加固并稳定了蛋白质三维网络结构，进一步增强面团筋力[28]。因此，适量添加 4 种磷酸盐有利于提高面团的延展性。

### 3.2 不同种类磷酸盐对鲜湿面烹煮特性及质构特性的影响规律及机制

面条烹煮过程主要受淀粉糊化和蛋白质水化两者的共同影响[29]。磷酸盐促进或阻碍蛋白质聚集完全取决于它的种类和添加量。高温会使蛋白质网络结构破坏，导致鲜湿面内部的固体颗粒浸出量增加，同时促使淀粉发生糊化[30]。再加上面粉与磷酸盐的混合可实现淀粉分子的磷酸化，从而降低淀粉的糊化温度，使其更易达到糊化条件[31]，进而大量吸水膨胀，导致吸水率明显增加。其次，三聚磷酸钠和六偏磷酸钠分别持有 6 个和 3 个磷酸根，而其余两者只含有两个磷酸根。数量众多的磷酸基团和 $Na^+$会调节溶液 pH 值偏离等电点[32]，阻碍蛋白质凝胶的形成，避免蛋白质疏水基团因排斥力降低而相互聚集后聚合沉淀。同时偏离等电点也有利于避免形成疏水中心增大蛋白质与水分子的接触，增加持水性[33]。

添加三聚磷酸钠、六偏磷酸钠和磷酸二氢钙的鲜湿面黏结性整体上均高于未添加磷酸盐的鲜湿面，可以推测这 3 种磷酸盐促进了直链淀粉的聚合，而回复性的增加可能是面筋网络增强的缘故[33-34]。三聚磷酸钠和六偏磷酸钠与淀粉分子的结合更有利于促进二硫键的形成，磷酸基团和 $Na^+$会与淀粉分子和蛋白质网络结构发生静电相互作用和离子相互作用，磷酸盐与淀粉-蛋白质复合体结合更紧密，增加短链分子链长，阻止直链淀粉浸出[15]。此外，磷酸盐能够通过增加直链淀粉和支链淀粉的电荷促进分子的延伸和连接，增强面筋网络的稳定性，从而提高面制品的硬度和黏结性。内聚性与淀粉中直链淀粉部分的聚合程度密切相关[35]。不同磷酸盐单体对鲜湿面品质的调控机制仍有

待进一步深入研究和探析。

## 4 结论

三聚磷酸钠、六偏磷酸钠添加量达到3、4 g/kg时能明显提升面团吸水率，延长形成时间与稳定时间。添加三聚磷酸钠和六偏磷酸钠能降低面团的糊化温度，增加面团回生值，磷酸三钙对黏度特性影响较小。三聚磷酸钠和六偏磷酸钠在添加量为2~4 g/kg时显著提高面团的延伸性、50 mm处拉伸阻力和最大拉伸阻力，进而增强面团的韧性和弹性。磷酸三钙添加量为1、2 g/kg时对拉伸特性有较大提升，高添加量时效果减弱。三聚磷酸钠、六偏磷酸钠能提高鲜湿面的吸水率，降低烹煮损失率，改善硬度和弹性，添加量为4 g/kg时效果最佳。磷酸三钙在整体上会使鲜湿面硬度和吸水率下降、增加烹煮损失率。磷酸二氢钙和磷酸三钙会使烹煮损失率整体增加。

## 参考文献：


[1] 魏益民 . 中华面制品分类探讨[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(1): 71-79.
WEI Yimin. Discussion on the classification of Chinese flour products[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(1): 71-79.

[2] 李维, 范佳利, 张亚娟, 等 . 食品级磷酸盐的应用研究进展及趋势[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(34): 95-96, 153.
LI Wei, FAN Jiali, ZHANG Yajuan, et al. The status quo and development trend of applied research on food-grade phosphates[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(34): 95-96, 153.

[3] 郭祉含, 王嵬, 贾志慧, 等 . 磷酸盐保水机理及其对水产品保水作用的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(3): 708-714.
GUO Zhihan, WANG Wei, JIA Zhihui, et al. Research progress on water retention mechanism of phosphate and its effect on water retention of aquatic products[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(3): 708-714.

[4] 郭倩, 刘会阁, 张俊杰 . 食品级磷酸盐在食品加工中的基础应用研究[J]. 粮食加工, 2024, 49(4): 71-75.
GUO Qian, LIU Huige, ZHANG Junjie. Basic application study of food - grade phosphate in food processing[J]. Grain Processing, 2024, 49(4): 71-75.

[5] WAN M, BAI Y P, GUO X N, et al. Insights into the enhancement mechanism of immersion resistance of cooked noodles induced by wheat flour post-ripening: The view from protein cross-linking[J]. Food Chemistry, 2024, 445: 138775.

[6] LIANG Z X, GAO J H, YU P X, et al. History, mechanism of action, and toxicity: A review of commonly used dough rheology improvers[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(7): 947-963.

[7] 沈涛, 朱洪亮, 曾晓瑶, 等 . 离子色谱法测定肉制品中多聚磷酸盐研究[J]. 中国测试, 2014, 40(3): 61-63, 97.
SHEN Tao, ZHU Hongliang, ZENG Xiaoyao, et al. Determination of polyphosphates in meat products by ion chromatography[J]. China Measurement & Test, 2014, 40(3): 61-63, 97.

[8] SUN J, CHEN M, HOU X X, et al. Effect of phosphate salts on the gluten network structure and quality of wheat noodles[J]. Food Chemistry, 2021, 358: 129895.

[9] LI J K, SHI Y N, QI Y J, et al. Demarcating quality improvement mechanisms in fresh yellow alkaline noodles: Insights into water-solid interaction, gluten network development, and starch properties during noodles resting[J]. Journal of Cereal Science, 2024, 117: 103935.

[10] ZHANG M L, ZHANG L T, LI M, et al. Inhibitory effects of sorbitol on the collapse and deterioration of gluten network in fresh noodles during storage[J]. Food Chemistry, 2021, 344: 128638.

[11] ZHAO T T, GUO X N, ZHU K X. Effect of phosphate salts on the shelf-life and quality characteristics of semi-dried noodles[J]. Food Chemistry, 2022, 384: 132481.

[12] 曹佳兴, 张国治 . 冷冻改良剂在速冻面条中的应用现状及其研究进展[J]. 粮食加工, 2021, 46(4): 19-24.
CAO Jiaxing, ZHANG Guozhi. Application status and research progress of freezing improver in quick-frozen noodles[J]. Grain Processing, 2021, 46(4): 19-24.

[13] 吴雪辉, 李琳 . 复合磷酸盐对面条改良作用的研究[J]. 粮食与饲料工业, 1998(12): 43-44.
WU Xuehui, LI Lin. Improving effects of compound phosphate on noodle quality[J]. Cereal & Feed Industry, 1998(12): 43-44.

[14] LYU K, GUO X N, ZHU K X. Effects of water content and resting on rheology and the gluten network formation of Chinese traditional handmade hollow dried noodle dough[J]. Journal of Cereal Science, 2023, 114: 103804.

[15] 怀丽华, 王显伦, 余伦理, 等 . 磷酸盐对面条品质影响研究[J]. 郑州工程学院学报, 2003, 24(4): 49-51.
HUAI Lihua, WANG Xianlun, YU Lunli, et al. Effects of phosphate on noodle quality[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Technology, 2003, 24(4): 49-51.

[16] 邢亚楠, 张影全, 刘锐, 等 . 无机盐对小麦粉面团流变学特性的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(9): 77-86.
XING Yanan, ZHANG Yingquan, LIU Rui, et al. The effect of inorganic salts on rheological properties of wheat flour doughs[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16 (9): 77-86.

[17] 付徐芳, 邓源喜, 杨宁宁, 等 . 复合磷酸盐在食品工业中的应用进展[J]. 现代面粉工业, 2020, 34(5): 18-22.
FU Xufang, DENG Yuanxi, YANG Ningning, et al. Application progress of composite phosphate in food industry[J]. Modern Flour Milling Industry, 2020, 34(5): 18-22.

[18] 郭兴凤, 张莹莹, 任聪, 等 . 小麦蛋白质的组成与面筋网络结构、面制品品质关系的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(6): 119-124.
GUO Xingfeng, ZHANG Yingying, REN Cong, et al. Progresses about the relationship between the composition of wheat proteins and gluten network and their correlation with the quality of wheat flour foods[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2018, 39(6): 119-124.

[19] 余向珂, 刘远晓, 王建立, 等 . 小麦蛋白聚集与解聚行为及其对面团流变学特性和面条品质的影响研究进展[J]. 食品工业科技, 2025, 46(13): 431-440.
YU Xiangke, LIU Yuanxiao, WANG Jianli, et al. Wheat protein aggregation and disaggregation behaviors and their effects on dough rheological properties and noodle qualities[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(13): 431-440.

[20] 张磊, 张伟刚 . 三种磷酸盐对面条品质的影响研究[J]. 轻工科技, 2014, 30(7): 26-27.
ZHANG Lei, ZHANG Weigang. Study on the effects of three phosphates on the quality of noodles[J]. Light Industry Science and

Technology, 2014, 30(7): 26-27.

[21] 彭湃 . 小麦高分子量谷蛋白亚基组成影响面团机械—热加工特性和面条品质的机制解析[D]. 西安: 陕西师范大学, 2022.
PENG Pai. Mechanism analysis of wheat HMW glutenin subunit composition affecting the mechanical-thermal processing characteristics of dough and noodle quality[D]. Xi′an: Shaanxi Normal University, 2022.

[22] ZHANG L L, LI M M, GUAN E Q, et al. Interactions between wheat globulin and gluten under alkali or salt condition and its effects on noodle dough rheology and end quality[J]. Food Chemistry, 2022, 382: 132310.

[23] 丁新杰, 余寒, 陈洁, 等 . 着水工艺对蒸制面条品质特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(8): 33-38.
DING Xinjie, YU Han, CHEN Jie, et al. Effect of water immersion technology on the quality properties of steamed noodles[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(8): 33-38.

[24] ZHANG X Y, LIN X J, XU B J. Morphological, physicochemical, and pasting properties of pre-gelatinized starch prepared by high-pressure homogenizer: A comparative study on starches from different resources[J]. Food Research International, 2024, 197: 115294.

[25] 刘瑞莉 . 磷酸盐对面条品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2019.
LIU Ruili. Effects of phosphate on noodle quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2019.

[26] 黄婷婷, 白羽嘉, 付文欠, 等 . 3 种改良剂种类对小麦复配粉粉质特性及面片品质影响的比较分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 270-280, 221.
HUANG Tingting, BAI Yujia, FU Wenqian, et al. Comparative analysis of the effects of three kinds of improver on the characteristics of wheat blended flour and dough quality[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(11): 270-280, 221.

[27] 张雪艳, 刘敬科, 李朋亮, 等 . 食品组分对面筋网络及面团加工品质影响的研究进展[J]. 食品工业科技, 2025, 46(9): 404-413.
ZHANG Xueyan, LIU Jingke, LI Pengliang, et al. Research progress of food components affecting the gluten network and the processing quality of dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(9): 404-413.

[28] 杨晓飞, 李文钊, 张家萍, 等 . 搅拌强度对面团特性及其烘焙品质的影响研究[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(9): 283-289.
YANG Xiaofei, LI Wenzhao, ZHANG Jiaping, et al. S Effect of stirring intensity on dough characteristics and baking quality[ J] . Food and Fermentation Industries, 2025, 51(9): 283-289.

[29] DIAMANTE G, PERESSINI D, SIMONATO M, et al. Effect of continuous cooking on cooking water properties and pasta quality[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(6): 3017-3023.

[30] WANG J S, LIU C, WANG Z C, et al. Impact of rehydration on multi-scale structural transformations and starch digestibility of dried noodles[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 287: 138438.

[31] LING X W, TANG N, ZHAO B, et al. Study on the water state, mobility and textural property of Chinese noodles during boiling[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(4): 1716-1724.

[32] ZHOU Y B, HOU G G. Effects of phosphate salts on the pH values and rapid visco analyser (RVA) pasting parameters of wheat flour suspensions[J]. Cereal Chemistry, 2012, 89(1): 38-43.

[33] 卢黄华, 丁玉琴, 曾端辉, 等 . 面条的质构特性和流变学特性研究进展[J]. 食品工业, 2013, 34(10): 200-203.
LU Huanghua, DING Yuqin, ZENG Duanhui, et al. Research progress of the texture characteristics and rheological properties of noodles[J]. The Food Industry, 2013, 34(10): 200-203.

[34] SISSONS M, SESTILI F, LAFIANDRA D. Effect of Glu-D1 introgression on dough-and Pasta-making quality of durum wheat lines with different glutenin composition and amylose content[J]. Cereal Chemistry, 2019, 96(2): 207-219.

[35] 郭晨 . 面粉面筋和直链淀粉含量对面条消化特性的影响[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2022.
GUO Chen. Effect of gluten and amylose contents of the flour on the digestion of noodles[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2022.

加工编辑:张昱
收稿日期:2025-03-26