

孙航航, 王建立, 关二旗, 等. 黄淮冬麦区主栽小麦品种白盐面条加工适宜性研究 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(9): 331-341. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050209

SUN Hanghang, WANG Jianli, GUAN Erqi, et al. Suitability Assessment of Major Huang-Huai Winter Wheat Varieties for Processing White Salt Noodle[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(9): 331-341. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050209

· 分析检测 ·

# 黄淮冬麦区主栽小麦品种白盐面条加工适宜性研究

孙航航<sup>1</sup>, 王建立<sup>1</sup>, 关二旗<sup>1,2,\*</sup>, 张影全<sup>3</sup>

(1. 河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001;

2. 河南工业大学粮油食品学院省部级科研平台, 河南郑州 450001;

3. 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)

**摘要:** 为系统探究黄淮冬麦区不同品种小麦制作白盐面条的适宜性, 本研究选取 23 个品种小麦, 运用相关性分析、主成分分析和聚类分析等统计学方法, 对籽粒品质、面粉理化特性、糊化特性和混合特性以及白盐面条食用品质进行了综合评估。结果表明, 不同品种小麦在硬度指数、湿面筋含量、破损淀粉含量、黏度、衰减值、稳定时间和弱化度等方面存在显著差异, 且各品质指标的变异系数亦呈现明显的差异。通过相关性分析可知, 籽粒硬度、面粉蛋白质含量、湿面筋含量和吸水率与白盐面条感官品质呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。主成分分析结果显示, 小麦籽粒品质评价指标可由 5 个主成分因子进行降维, 累计方差贡献率为 75.097%, 能够用来解释原始变量的大部分信息, 其中第 1 主成分 (反映面粉品质和混合特性) 和第 2 主成分 (反映小麦籽粒品质和糊化特性) 在小麦品种品质评价方面占据着主要作用。结合聚类分析结果, 可将 23 个小麦品种划分为 4 个类别, 其中第二类小麦品种制得白盐面条的硬度、咀嚼性和胶凝性适中的同时具有较低的蒸煮损失率而且感官评分最高, 更适宜于白盐面条的制作。第二类小麦品种具体包括: 郑育麦 16、周麦 36、伟隆 169、郑麦 179、郑麦 103、豫保一号和开麦 21, 其品种指标阈值如下: 面粉蛋白含量 10.85%~12.93%、峰值黏度 2262.00~2748.00 cP、最低黏度 1406.00~2021.00 cP、稳定时间 1.5~4.7 min、硬度 2812.00~4012.00 g、咀嚼性 1878~2588 g、蒸煮损失率 3.31%~5.36%。

**关键词:** 黄淮冬麦区, 小麦品种, 流变特性, 主成分分析, 聚类分析, 品质评价

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2026)09-0331-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025050209



本文网刊:

## Suitability Assessment of Major Huang-Huai Winter Wheat Varieties for Processing White Salt Noodle

SUN Hanghang<sup>1</sup>, WANG Jianli<sup>1</sup>, GUAN Erqi<sup>1,2,\*</sup>, ZHANG Yingquan<sup>3</sup>

(1. School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. Key Laboratory of Henan Province, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

3. Institute of Food Science and Technology CAAS, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In order to systematically explore the slated noodle-making suitability of various wheat varieties, twenty-three varieties of wheat predominantly cultivated in Huang-Huai winter wheat region were selected and their grain qualities, flour physicochemical properties, pasting and mixing properties, as well as the resultant white-salt noodles quality were comprehensively evaluated using the multiple statistical methods like correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis. The results showed that there were significant differences in hardness index, wet gluten contents and

收稿日期: 2025-05-22

基金项目: 河南小麦产业技术体系构建项目 (HARS-22-01-G7)。

作者简介: 孙航航 (1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 小麦加工理论与应用, E-mail: 1316451247@qq.com。

\* 通信作者: 关二旗 (1982-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 谷物科学技术及农产品质量与食品安全, E-mail: guanerqi@163.com。

damaged starch contents, viscosity and breakdown value, and the corresponding dough's stabilization time and weakening degree among different varieties of wheat. Likewise, the variation coefficients among these quality indexes also showed obvious differences. Correlation analysis indicated that kernel hardness, flour protein contents, wet gluten contents, and water absorption exhibited significant positive correlations ( $P < 0.05$ ) with the sensory quality of white salt noodles. Principal component analysis showed that the evaluation index of wheat grain quality could be dimensionally reduced by five principal component factors, with a cumulative contribution rate of 75.097%, which could be used to explain most information of original variables, among which the first principal component (reflecting flour quality and mixing characteristics) and the second principal component (reflecting wheat grain quality and gelatinization characteristics) played a major role in wheat variety evaluation. Combined with the results of cluster analysis, 23 wheat varieties could be divided into 4 categories. Among these, the white salt noodles made by the second wheat variety had moderate hardness, chewiness, and gumminess, the lowest cooking loss rate and the highest sensory score, underscoring its suitability for making white salt noodles. The second type of wheat varieties specifically included: Zhengyumai 16, Zhoumai 36, Weilong 169, Zhengmai 179, Zhengmai 103, Yubao No.1 and Kaimai 21, and their variety index thresholds were as follows: protein content 10.85%~12.93%, peak viscosity 2262.00~2748.00 cP, minimum viscosity 1406.00~2021.00 cP, stability time 1.5~4.7 min, hardness 2812.00~4012.00 g, chewiness 1878~2588 g and cooking loss rate 3.31%~5.36%.

**Key words:** Huang-Huai winter wheat region; wheat varieties; rheological characteristics; principal component analysis; cluster analysis; quality evaluation

黄淮冬麦区(山东省、河南省、河北省中南部、陕西省关中平原、山西省南部、甘肃省天水市、江苏省北部和安徽省淮河以北)作为我国重要的小麦主产区,其种植面积约占全国小麦总面积的40%,产量约占小麦年产量的60%<sup>[1-2]</sup>。此外,该地区还是全国小麦加工的核心区域,小麦加工转化率超过75%,主食产业化率达60%以上,在保障我国主食原料安全稳定供应方面具有举足轻重的地位<sup>[3-4]</sup>。根据农业农村部发布的《中国小麦品质区划分方案(试行)》,黄淮冬麦区北部被划为强、中筋小麦产区,南部则以生产中筋小麦为主;此外,不同地区根据自身的生态条件又逐步形成弱筋小麦产区。然而,由于地理位置与气候环境的制约,黄淮冬麦区长期存在“强筋不强,弱筋不弱”的结构矛盾,严重影响了小麦的后续加工和面制品的食用品质<sup>[5-7]</sup>。随着人民生活水平的提高、食品工业的发展以及消费者对食品品质高质量的需求,面制品加工企业对小麦原粮品质及其加工适宜性的关注日益增加。已有的研究表明,不同面制品对小麦籽粒特性的要求不尽相同:面包制作需要强筋小麦,馒头和面条大多选用中筋小麦,而饼干和糕点则多选用弱筋小麦<sup>[8-10]</sup>。小麦容重、湿面筋含量和吸水率,以及面团的稳定时间是评估小麦品种品质的重要指标<sup>[11]</sup>。因此,要提升不同小麦品种在面制品制作中的适宜性,不仅需要了解小麦品种籽粒质量及其食品制作的适宜性,还需要深入分析不同面制品对小麦籽粒和面粉质量的具体要求。

面条作为我国传统面制主食之一,约消耗全国小麦年产量的40%<sup>[12-13]</sup>。在过去十年里,中国面条生产设备和水平得到快速提升,面条产业已初具现代食品工业特征,尤其是干面条产业,创下连续15年年产量快速增长的良好发展趋势<sup>[14-15]</sup>。然而,我国面条行业正面临“高产低质”的挑战,市场上超过90%的面条产品在弹性和爽口感方面表现不理想<sup>[16-17]</sup>。

其原因是多方面的,其中最关键的是小麦品种的籽粒特性和面粉加工品质存在较大差异。由于小麦品种繁多且更新换代快,导致面条制品的黏弹性、爽口感、耐泡性以及耐冷藏性等现代食品制造业重点关注的品质质量极不稳定。如何从众多品种小麦中筛选出适合制作工业化面条的小麦,以满足工业化面条专用粉的生产需求、稳定小麦粉及面条制品品质,一直是行业关心的核心问题,也是育种方向的重要理论依据<sup>[18]</sup>。

因此,本研究选用黄淮冬麦区种植面积>50万公顷的23个主栽小麦品种籽粒作为原料,测定分析小麦品种籽粒性状、面粉理化指标及流变学特性,对不同品种小麦制成白盐面条的质构特性及感官品质进行综合评估。通过统计分析,明确小麦籽粒性状、面粉品质特性与面条质地和感官品质之间的相关性,筛选适宜制作白盐面条的小麦品种,以期为黄淮冬麦区小麦育种工作及高品质白盐面条的工业化生产提供理论依据和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

23个小麦品种(2023年采集和2024年测定):新麦45、新麦58 新乡市农业科学院小麦研究所;绵麦902、绵麦907 绵阳市农业科学院小麦研究所;伟隆169 陕西杨凌伟隆农业科技有限公司;扬麦15、扬麦24、扬辐麦8号 江苏金土地种业有限公司;扬麦30 江苏润扬种业股份有限公司;郑麦103、郑育麦16 河南豫研种子科技有限公司;谷神麦19、谷神麦28 安徽谷神种业有限公司;金诚麦19 河南金苑种业股份有限公司;开麦21 河南九圣禾新科种业有限公司;宁麦13 江苏中禾种业有限公司;森科093、郑麦179 河南金梦种业有限公司;郑麦369 河南省立黍种业科技有限公司;苏科麦1号 江苏苏乐种业科技有限公司;扬麦29 江

苏省大华种业集团有限公司;豫保一号 焦作市博农种子有限责任公司;周麦 36 河南周园种业有限公司;硼酸、碘化钾、氯化钠 分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司。

JYD-100×40 型小麦硬度指数测定仪 布勒粮食检验仪器无锡有限公司;HGT-1000A 型容重器 上海东方衡器有限公司;MLU-202 型实验磨粉机 瑞士 Buhler 公司;IM9500 型近红外谷物品质分析仪、RVA-TecMaster 快速粘度分析仪、Mixolab2 型混合试验仪 瑞典波通仪器公司;SD-matic 破损淀粉仪 法国肖邦仪器有限公司;JHMA-200 型针式和面机 北京四环科学仪器有限公司;JM TD-168/140 型试验面条机 北京东孚久恒仪器技术有限公司;DHG-9246A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海精宏实验设备有限公司;TA-XT Plus 质构仪 英国 SMS 公司。

## 1.2 实验方法

1.2.1 小麦籽粒品质性状测定 小麦籽粒硬度根据国标 GB/T 21304-2007《小麦硬度测定 硬度指数法》进行测定;千粒重根据国标 GB/T 5519-2018《谷物与豆类 千粒重的测定》进行测定;容重根据国标 GB/T 5498-2013《粮油检验 容重测定》进行测定;籽粒蛋白含量根据国标 GB/T 24898-2010 采用近红外谷物品质分析仪进行测定。

### 1.2.2 小麦粉品质特性测定

1.2.2.1 小麦制粉 小麦籽粒参照标准 NY/T 1094.1-2006《小麦实验制粉 第 1 部分:设备、样品制备和润麦》进行润麦以及采用实验磨粉机进行磨粉,同时把筛下物 1B、2B、3B、1M、2M、3M 和筛上物粗麸、细麸的质量分别命名为  $M_{1B}$ 、 $M_{2B}$ 、 $M_{3B}$ 、 $M_{1M}$ 、 $M_{2M}$ 、 $M_{3M}$ 、 $M_{Bc}$ 、 $M_{Bf}$ ,出粉率的计算如公式(1)所示:

$$\text{出粉率}(\%) = \frac{M_{1B} + M_{2B} + M_{3B} + M_{1M} + M_{2M} + M_{3M}}{M_{1B} + M_{2B} + M_{3B} + M_{1M} + M_{2M} + M_{3M} + M_{Bc} + M_{Bf}} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

1.2.2.2 灰分和面粉蛋白质含量测定 灰分含量参照国标 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》进行测定;面粉蛋白含量根据国标 GB/T 24898-2010 采用近红外谷物品质分析仪进行测定。

1.2.2.3 湿面筋含量测定 湿面筋含量参照国标 GB/T 5506.1-2008《小麦和小麦粉 面筋含量 第 1 部分:手洗法测定湿面筋》进行测定。

1.2.2.4 破损淀粉含量测定 破损淀粉含量参照国标 GB/T 31577-2015《粮油检验 小麦粉损伤淀粉测定 安培计法》进行测定。

1.2.2.5 糊化特性测定 采用快速粘度仪(RVA),参照国标 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》对面粉的糊化特性进行测定。

1.2.2.6 混合特性测定 采用混合试验仪,参照国标 GB/T 37511-2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 混合试验仪法》对面粉的混合特性进行测定。

### 1.2.3 白盐面条品质特性测定

1.2.3.1 白盐面条制作与熟制 面条制作:参照 GB/T 35875-2018《粮油检验 小麦粉面条加工品质评价》制作白盐面条。具体流程为:准确称取 100.0 g 面粉,加入适量的蒸馏水,使得面团的最终水分含量为 35%(2 g 食盐),采用针式和面机和面 7 min,将面絮于恒温恒湿箱(35 °C、湿度 85%)中醒发 30 min;醒发结束后的面絮,依次通过轧距为 4.0、3.0、2.0、1.25 mm 的试验面条机进行压延、切条。

面条熟制:将 21 根(长×宽×高:20 cm×2 mm×1.25 mm)面条在 500 mL 的沸水中煮制并开始计时。从 4 min 开始每隔 10 s 取出面条,观察其内部有无白芯,白芯消失的时间为面条的最佳蒸煮时间。

1.2.3.2 质构特性 参照轩毫毫等<sup>[17]</sup>的方法并适当修改。将煮至最佳蒸煮时间的面条捞出后,放在冷水中冷却 30 s,然后用湿纱布吸干其表面的水分,取 3 根面条平行放在载物台上。测定参数:HDP/PFS 探头;测前速度:2.0 mm/s;测试速度:0.8 mm/s;测后速度:2 mm/s;压缩比例:75%,每组数据做 7 次平行。

1.2.3.3 蒸煮特性 参照王贝贝等<sup>[18]</sup>的方法对鲜湿面条吸水率和蒸煮损失率进行测定,并略作修改。吸水率测定:将 21 根鲜湿面条放在沸水中煮制最佳蒸煮时间后捞出,然后放入 400 mL 蒸馏水中冷却 30 s,用滤纸吸干水分称重,此时记为  $m_1$ ,吸水率的计算如公式(2)所示:

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式中: $m_0$  为 21 根生鲜面条的质量(g), $m_1$  为熟面条的质量(g)。

蒸煮损失率测定:将测完吸水率后的剩余面汤加热蒸发掉大部分的水分,然后把烧杯放入 105 °C 的烘箱中烘干,直到烧杯的质量不再发生改变,此时称重并计算出面汤中的干物质的质量  $m_2$ ,蒸煮损失率的计算如公式(3)所示:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{m_2}{m_0} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

1.2.3.4 感官评价 由 12 名(男、女各 6 名,年龄组成为 20~30 岁)经过专业培训后的人员对 23 种白盐面条进行感官评分,面条感官评分标准参考来思彤等<sup>[19]</sup>的方法并稍作修改,见表 1。

## 1.3 数据处理

本实验中的数据除特别标注外均采用 3 次平行实验的均值。采用 Microsoft Excel 2019 进行数据统计分析,包括平均值、极差、变异系数和变幅等;SPSS 软件进行相关性分析、主成分分析以及聚类分析。

表1 面条感官评价标准

Table 1 Noodle sensory evaluation criteria

评价指标	评价标准	分值(分)
色泽	面条的颜色和亮度:光亮为8~10分;亮度一般为4~7分;颜色发暗、发灰,亮度差为1~3分。	10
外观状态	面条表面光滑和膨胀程度:表面结构细密,光滑为8~10分;一般为4~7分;表面粗糙,变形严重为1~3分。	10
坚实度	用牙咬断一根所需力的大小:力度适中为16~20分;偏硬或偏软11~15分;太硬或太软1~10分。	20
弹性	面条咀嚼时,咬劲和弹力的大小:有咬劲、富有弹性为21~25分;一般为16~20分;咬劲差、弹性不足为1~15分。	25
黏性	咀嚼过程中,面条粘牙程度:咀嚼时爽口、不粘牙为21~25分;一般为16~20分;不爽口、粘牙为1~15分。	25
光滑性	品尝面条时口感的光滑程度:光滑为4.5~5分;一般为3~4.4分;光滑程度差为1~2.9分。	5
食味	具有麦香的味道为4.4~5分;基本无异味为3~4.3分;有异味为1~2.9分。	5

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦品种籽粒性状分析

黄淮冬麦区的23个主栽小麦品种的数据结果如表2所示。根据国标GB 1351-2023以容重作为分级标准,可将该区小麦品种划分为不同等级。其中,绵麦902、绵麦907、郑麦103、扬麦15、开麦21这5个品种(占总数的5/23)被判定为二级小麦,其余品种均符合一级小麦标准。变异系数能够反映小麦籽粒性状的波动程度,但其受到小麦品种的遗传特性、生长环境以及储藏条件等因素的综合影响<sup>[20]</sup>。通过进一步分析不同品种的硬度指数可知,其均值

表2 小麦品种籽粒性状

Table 2 Grain characters of wheat varieties

品种	硬度指数(%)	千粒重(g)	容重(g/L)	籽粒蛋白含量(%)
森科093	55.46±0.18 <sup>ghi</sup>	53.34±0.16 <sup>g</sup>	833.00±0.00 <sup>cd</sup>	11.77±0.15 <sup>t</sup>
伟隆169	74.58±0.12 <sup>a</sup>	43.84±0.56 <sup>hij</sup>	838.67±2.08 <sup>bc</sup>	11.33±0.06 <sup>l</sup>
绵麦902	46.15±0.38 <sup>j</sup>	50.44±0.51 <sup>b</sup>	726.33±0.58 <sup>n</sup>	11.03±0.06 <sup>lm</sup>
豫保一号	66.27±0.38 <sup>de</sup>	46.59±0.04 <sup>f</sup>	808.67±2.31 <sup>gh</sup>	14.57±0.21 <sup>b</sup>
扬辐麦8号	54.47±0.14 <sup>hij</sup>	42.45±0.21 <sup>kl</sup>	833.00±1.00 <sup>cd</sup>	11.87±0.15 <sup>jk</sup>
绵麦907	63.09±0.42 <sup>fg</sup>	53.83±0.55 <sup>a</sup>	764.00±3.46 <sup>m</sup>	11.90±0.10 <sup>jk</sup>
郑麦103	70.25±0.16 <sup>abc</sup>	48.08±0.18 <sup>cd</sup>	786.00±0.94 <sup>k</sup>	12.97±0.06 <sup>e</sup>
郑育麦16	56.22±0.53 <sup>gh</sup>	53.44±0.06 <sup>g</sup>	821.67±2.31 <sup>ef</sup>	14.10±0.17 <sup>c</sup>
郑麦179	65.95±0.28 <sup>de</sup>	42.29±1.01 <sup>l</sup>	850.33±0.58 <sup>a</sup>	12.20±0.10 <sup>ij</sup>
周麦36	63.80±0.27 <sup>ef</sup>	44.18±0.13 <sup>ghi</sup>	814.00±0.00 <sup>fg</sup>	13.40±0.10 <sup>ef</sup>
扬麦30	67.86±0.10 <sup>bcd</sup>	50.45±0.11 <sup>b</sup>	813.67±1.53 <sup>fg</sup>	11.20±0.10 <sup>lm</sup>
宁麦13	69.75±0.11 <sup>bc</sup>	38.83±0.10 <sup>o</sup>	853.33±4.04 <sup>a</sup>	12.33±0.06 <sup>h</sup>
扬麦15	50.79±0.20 <sup>ij</sup>	46.80±0.50 <sup>ef</sup>	770.00±0.00 <sup>l</sup>	12.27±0.12 <sup>ij</sup>
开麦21	65.93±0.12 <sup>de</sup>	47.66±0.17 <sup>de</sup>	761.67±2.08 <sup>m</sup>	13.60±0.17 <sup>de</sup>
苏科麦1号	64.62±0.28 <sup>de</sup>	43.10±0.09 <sup>kl</sup>	795.67±2.52 <sup>ij</sup>	13.20±0.17 <sup>fg</sup>
扬麦24	58.15±0.41 <sup>g</sup>	40.34±0.48 <sup>m</sup>	842.00±0.00 <sup>b</sup>	12.30±0.10 <sup>hi</sup>
谷神麦28	71.09±0.18 <sup>ab</sup>	45.10±0.18 <sup>f</sup>	836.33±1.15 <sup>bc</sup>	12.27±0.06 <sup>ij</sup>
扬麦29	69.35±0.05 <sup>bcd</sup>	42.54±0.55 <sup>kl</sup>	802.67±4.62 <sup>hi</sup>	10.90±0.00 <sup>m</sup>
郑麦369	70.47±0.23 <sup>abc</sup>	48.68±0.05 <sup>e</sup>	827.67±2.08 <sup>de</sup>	13.90±0.10 <sup>cd</sup>
新麦58	67.86±0.16 <sup>bcd</sup>	43.33±0.08 <sup>ijk</sup>	792.00±2.00 <sup>jk</sup>	12.60±0.00 <sup>h</sup>
金诚麦19号	68.01±0.90 <sup>bcd</sup>	44.63±0.08 <sup>gh</sup>	849.67±2.08 <sup>a</sup>	13.83±0.06 <sup>cd</sup>
新麦45	69.35±0.24 <sup>bcd</sup>	43.93±0.48 <sup>hij</sup>	806.33±1.96 <sup>gh</sup>	15.17±0.12 <sup>a</sup>
谷神麦19	70.53±0.33 <sup>ab</sup>	41.08±0.13 <sup>m</sup>	811.00±0.00 <sup>gh</sup>	15.13±0.46 <sup>a</sup>
均值AVG	66.51±6.97	47.63±4.29	820.59±29.75	12.78±1.26
极差R	28.43	15.00	127.00	4.27
变异系数CV(%)	10.48	9.00	3.63	9.87

注:表中数据为均值±标准差;同列字母不同表示存在显著差异, $P<0.05$ ,表3~表5同。

为66.51%,变化范围为46.15%~74.58%,变异系数为10.48%。在23个品种中,仅有11个品种的千粒重达到或超过45g<sup>[16]</sup>;籽粒蛋白含量的均值为12.78%,变化范围为10.90%~15.17%,变异系数为9.87%。当小麦籽粒蛋白含量和硬度指数的变异系数接近或者在10%以上时<sup>[21]</sup>,表明23个主栽小麦品种质量性状差异较大,样品具有较好的代表性。

### 2.2 小麦品种磨制面粉品质特性分析

不同品种间小麦粉的品质特性如表3所示。小麦粉出粉率均值为71.16%±3.67%,极差9.98,变异系数3.75%;灰分均值0.59%±0.04%,极差0.18,变异系数7.54%,其中绵麦902灰分含量最低,为0.50%;粗蛋白均值11.80%±1.39%,极差4.97,变异系数11.75%,谷神麦19粗蛋白含量最高,为14.60%,而扬麦30的粗蛋白含量最低,为9.63%;湿面筋均值28.56%±4.81%,极差17.40,变异系数16.83%,豫保一号湿面筋含量最高,为36.40%,伟隆169最低,为19.00%;破损淀粉均值22.54±3.90UCDc,极差13.75,变异系数17.32%,郑麦369破损淀粉含量最高,为28.90UCDc,扬麦15则最低,为15.15UCDc。综合来看,不同品种间小麦粉在面粉蛋白含量、湿面筋含量、破损淀粉含量这三项指标上,其变异系数均大于10%,这表明黄淮冬麦区主栽小麦品种间的品质特性存在显著性差异。

### 2.3 小麦品种面粉糊化特性和混合特性分析

不同小麦品种间小麦粉的糊化特性和混合特性如表4所示。不同品种小麦粉的峰值黏度变化范围为1019(绵麦907)~3280cP(扬辐麦8号),变异系数为20.20%,这可能是蛋白质和淀粉在有限的水分子中相互作用的结果;最低黏度的变化范围为409~2226cP,变异系数为24.91%。衰减是指膨胀的淀粉颗粒应对热和剪切作用的阻力,其值越高表明淀粉糊的热稳定性越强<sup>[22]</sup>。衰减值的变化范围为263~1067cP,变异系数高达33.91%;扬麦30的衰减最高,郑麦369最低,这表明扬麦30淀粉颗粒糊化后膨胀程度最高,郑麦369淀粉颗粒糊化后强度最高,不易破裂。回生值的高低反映了淀粉糊老化程度的难易,其值越高,表明淀粉越容易老化。回生值的变化范围为594~1583cP,扬辐麦8号回生值最高,绵麦907淀粉最不易老化。不同品种小麦粉的形成时

表 3 不同小麦品种面粉的品质特性

Table 3 Quality characteristics of flour from different wheat varieties

品种	出粉率(%)	灰分含量(%)	面粉蛋白含量(%)	湿面筋含量(%)	破损淀粉含量(UCDc)
森科093	69.66	0.57±0.01 <sup>gh</sup>	10.83±0.06 <sup>k</sup>	27.80±0.30 <sup>gh</sup>	21.00±0.00 <sup>k</sup>
伟隆169	72.09	0.63±0.01 <sup>bcd</sup>	10.85±0.05 <sup>k</sup>	19.00±0.00 <sup>j</sup>	25.80±0.00 <sup>e</sup>
绵麦902	65.98	0.50±0.01 <sup>j</sup>	9.70±0.00 <sup>n</sup>	20.25±1.75 <sup>j</sup>	20.15±0.35 <sup>lm</sup>
豫保一号	73.90	0.59±0.01 <sup>efg</sup>	13.57±0.06 <sup>c</sup>	36.40±0.40 <sup>a</sup>	20.00±0.10 <sup>m</sup>
扬辐麦8号	69.39	0.52±0.04 <sup>ij</sup>	10.30±0.10 <sup>l</sup>	24.55±0.55 <sup>i</sup>	18.45±0.15 <sup>n</sup>
绵麦907	73.36	0.64±0.01 <sup>bc</sup>	10.83±0.06 <sup>k</sup>	26.35±0.15 <sup>h</sup>	22.65±0.05 <sup>h</sup>
郑麦103	73.67	0.60±0.01 <sup>cdef</sup>	12.17±0.06 <sup>g</sup>	30.75±0.25 <sup>cd</sup>	22.10±0.20 <sup>i</sup>
郑育麦16	70.10	0.55±0.02 <sup>hi</sup>	12.93±0.06 <sup>e</sup>	35.25±0.45 <sup>a</sup>	18.45±0.15 <sup>n</sup>
郑麦179	74.08	0.56±0.01 <sup>ghi</sup>	11.43±0.06 <sup>i</sup>	29.70±1.30 <sup>def</sup>	22.80±0.20 <sup>h</sup>
周麦36	67.65	0.55±0.00 <sup>hi</sup>	12.60±0.10 <sup>f</sup>	31.95±0.95 <sup>bc</sup>	21.75±0.25 <sup>ij</sup>
扬麦30	70.58	0.57±0.02 <sup>gh</sup>	9.63±0.06 <sup>n</sup>	20.20±0.66 <sup>j</sup>	16.35±0.05 <sup>o</sup>
宁麦13	69.69	0.57±0.01 <sup>gh</sup>	11.40±0.05 <sup>i</sup>	28.25±0.55 <sup>fg</sup>	23.95±0.05 <sup>g</sup>
扬麦15	70.53	0.53±0.01 <sup>ij</sup>	10.90±0.06 <sup>k</sup>	27.20±0.20 <sup>gh</sup>	15.15±0.05 <sup>p</sup>
开麦21	72.22	0.61±0.03 <sup>bcd</sup>	12.63±0.06 <sup>f</sup>	30.00±0.40 <sup>de</sup>	20.40±0.20 <sup>l</sup>
苏科麦1号	69.21	0.59±0.02 <sup>efg</sup>	11.20±0.06 <sup>j</sup>	28.10±0.26 <sup>fg</sup>	21.60±0.00 <sup>j</sup>
扬麦24	71.61	0.56±0.00 <sup>ghi</sup>	10.00±0.00 <sup>m</sup>	23.45±0.15 <sup>i</sup>	18.10±0.00 <sup>n</sup>
谷神麦28	73.67	0.63±0.01 <sup>bcd</sup>	11.83±0.06 <sup>h</sup>	26.30±0.10 <sup>h</sup>	27.05±0.25 <sup>d</sup>
扬麦29	74.31	0.63±0.01 <sup>bcd</sup>	11.40±0.06 <sup>i</sup>	28.57±0.81 <sup>efg</sup>	27.45±0.05 <sup>c</sup>
郑麦369	64.33	0.60±0.00 <sup>cdef</sup>	12.90±0.10 <sup>e</sup>	32.90±0.00 <sup>b</sup>	28.90±0.00 <sup>a</sup>
新麦58	71.13	0.62±0.00 <sup>bcd</sup>	12.10±0.06 <sup>g</sup>	31.00±0.66 <sup>cd</sup>	25.85±0.05 <sup>e</sup>
金诚麦19号	73.65	0.60±0.01 <sup>cdef</sup>	13.20±0.06 <sup>d</sup>	30.75±0.65 <sup>cd</sup>	25.25±0.25 <sup>f</sup>
新麦45	71.07	0.65±0.00 <sup>ab</sup>	14.30±0.00 <sup>b</sup>	35.87±0.81 <sup>a</sup>	27.30±0.20 <sup>cd</sup>
谷神麦19	69.87	0.68±0.02 <sup>a</sup>	14.60±0.06 <sup>a</sup>	32.35±0.25 <sup>bc</sup>	28.00±0.10 <sup>b</sup>
均值AVG	71.16±3.67	0.59±0.04	11.80±1.39	28.56±4.81	22.54±3.90
极差R	9.98	0.18	4.97	17.40	13.75
变异系数CV(%)	3.75	7.54	11.75	16.83	17.32

表 4 不同品种间小麦粉的糊化特性和混合特性

Table 4 Pasting characteristics and mixing characteristics of different varieties of wheat flour

品种	峰值黏度(cP)	最低黏度(cP)	衰减值(cP)	回生值(cP)	糊化温度(°C)	吸水率(%)	形成时间(min)	稳定时间(min)	弱化度(FU)
森科093	2692±35 <sup>de</sup>	2163±14 <sup>abc</sup>	529±6 <sup>h</sup>	1262±8 <sup>f</sup>	87.3±0.1 <sup>a</sup>	58.0	1.8±0.0 <sup>ij</sup>	1.5±0.0 <sup>l</sup>	113±0 <sup>b</sup>
伟隆169	2621±53 <sup>de</sup>	1977±35 <sup>ef</sup>	644±18 <sup>f</sup>	1399±4 <sup>cde</sup>	67.7±0.0 <sup>fg</sup>	58.5	1.7±0.1 <sup>ij</sup>	9.0±0.1 <sup>e</sup>	104±0 <sup>c</sup>
绵麦902	1454±22 <sup>l</sup>	755±1 <sup>k</sup>	699±23 <sup>e</sup>	945±44 <sup>g</sup>	84.0±0.5 <sup>d</sup>	52.5	1.7±0.1 <sup>ij</sup>	2.4±0.4 <sup>kl</sup>	97±7 <sup>e</sup>
豫保一号	2545±285 <sup>def</sup>	1497±152 <sup>j</sup>	1048±8 <sup>a</sup>	1274±66 <sup>f</sup>	67.8±0.0 <sup>fg</sup>	56.6	3.0±0.2 <sup>g</sup>	1.5±0.3 <sup>l</sup>	114±6 <sup>b</sup>
扬辐麦8号	3280±13 <sup>a</sup>	2222±12 <sup>ab</sup>	1058±1 <sup>a</sup>	1583±3 <sup>a</sup>	84.8±0.5 <sup>c</sup>	55.7	3.0±0.4 <sup>g</sup>	3.5±0.1 <sup>ij</sup>	79±3 <sup>efg</sup>
绵麦907	1019±6 <sup>j</sup>	409±2 <sup>l</sup>	610±2 <sup>fg</sup>	594±3 <sup>h</sup>	69.3±0.1 <sup>de</sup>	56.8	3.4±0.1 <sup>g</sup>	3.8±0.1 <sup>hi</sup>	91±1 <sup>d</sup>
郑麦103	2432±42 <sup>ef</sup>	1689±19 <sup>j</sup>	743±23 <sup>d</sup>	1244±54 <sup>f</sup>	69.3±0.3 <sup>de</sup>	57.5	3.0±0.2 <sup>g</sup>	1.5±0.0 <sup>l</sup>	122±1 <sup>a</sup>
郑育麦16	2601±35 <sup>de</sup>	2119±30 <sup>abcd</sup>	482±6 <sup>ij</sup>	1513±30 <sup>b</sup>	86.4±0.0 <sup>b</sup>	57.5	3.3±0.5 <sup>g</sup>	1.5±0.0 <sup>l</sup>	122±4 <sup>a</sup>
郑麦179	2429±117 <sup>fg</sup>	1846±73 <sup>gh</sup>	583±45 <sup>fg</sup>	1370±43 <sup>e</sup>	67.7±0.1 <sup>fg</sup>	58.7	4.1±0.1 <sup>f</sup>	1.6±0.1 <sup>l</sup>	120±6 <sup>a</sup>
周麦36	2748±171 <sup>d</sup>	1821±124 <sup>gh</sup>	727±47 <sup>e</sup>	1391±41 <sup>cde</sup>	67.0±0.1 <sup>gh</sup>	57.6	4.8±0.1 <sup>e</sup>	2.9±0.2 <sup>jk</sup>	101±3 <sup>c</sup>
扬麦30	2864±5 <sup>c</sup>	1797±0 <sup>hi</sup>	1067±5 <sup>a</sup>	1440±15 <sup>bcd</sup>	69.4±0.5 <sup>d</sup>	52.4	1.6±0.1 <sup>j</sup>	3.2±0.6 <sup>ijk</sup>	84±3 <sup>def</sup>
宁麦13	3081±59 <sup>bc</sup>	2138±30 <sup>abc</sup>	943±29 <sup>b</sup>	1367±4 <sup>e</sup>	66.9±0.1 <sup>gh</sup>	62.6	5.1±0.1 <sup>de</sup>	3.7±0.0 <sup>ij</sup>	85±7 <sup>def</sup>
扬麦15	3020±68 <sup>bc</sup>	2078±23 <sup>bcd</sup>	942±45 <sup>b</sup>	1380±9 <sup>de</sup>	84.7±0.1 <sup>c</sup>	53.8	2.4±0.1 <sup>h</sup>	4.6±0.3 <sup>gh</sup>	76±3 <sup>gh</sup>
开麦21	2262±1 <sup>g</sup>	1406±7 <sup>l</sup>	856±6 <sup>d</sup>	1253±13 <sup>f</sup>	67.7±0.0 <sup>fg</sup>	57.4	5.6±0.4 <sup>c</sup>	4.7±0.3 <sup>gh</sup>	77±3 <sup>gh</sup>
苏科麦1号	3150±4 <sup>ab</sup>	2225±1 <sup>a</sup>	925±4 <sup>c</sup>	1381±2 <sup>cde</sup>	68.5±0.1 <sup>ef</sup>	60.6	4.9±0.1 <sup>c</sup>	4.9±0.0 <sup>gh</sup>	89±1 <sup>de</sup>
扬麦24	2967±29 <sup>bc</sup>	2007±38 <sup>cdef</sup>	960±9 <sup>b</sup>	1473±16 <sup>bc</sup>	84.8±0.1 <sup>c</sup>	53.6	2.1±0.0 <sup>hij</sup>	4.9±0.7 <sup>gh</sup>	70±4 <sup>h</sup>
谷神麦28	2226±8 <sup>gh</sup>	1686±23 <sup>i</sup>	540±15 <sup>h</sup>	1258±16 <sup>f</sup>	65.2±0.0 <sup>j</sup>	63.0	5.5±0.2 <sup>cd</sup>	8.1±0.0 <sup>f</sup>	56±4 <sup>i</sup>
扬麦29	2495±7 <sup>def</sup>	1922±1 <sup>fg</sup>	573±2 <sup>gh</sup>	1391±4 <sup>cde</sup>	66.1±0.1 <sup>hi</sup>	61.6	2.2±0.0 <sup>hi</sup>	10.6±0.0 <sup>d</sup>	40±4 <sup>j</sup>
郑麦369	2100±37 <sup>h</sup>	1837±17 <sup>fg</sup>	263±20 <sup>m</sup>	1263±27 <sup>f</sup>	87.3±0.5 <sup>a</sup>	69.2	8.0±0.1 <sup>a</sup>	9.8±0.1 <sup>c</sup>	36±4 <sup>j</sup>
新麦58	2729±74 <sup>d</sup>	2226±113 <sup>a</sup>	503±40 <sup>hi</sup>	1196±66 <sup>f</sup>	67.7±0.1 <sup>fg</sup>	63.0	3.4±0.3 <sup>g</sup>	11.8±0.1 <sup>c</sup>	50±1 <sup>i</sup>
金诚麦19号	2573±13 <sup>de</sup>	2105±4 <sup>bcd</sup>	468±9 <sup>jk</sup>	1276±2 <sup>f</sup>	68.6±0.1 <sup>ef</sup>	62.7	7.0±0.2 <sup>b</sup>	16.0±0.7 <sup>b</sup>	12±2 <sup>j</sup>
新麦45	2382±24 <sup>fg</sup>	1986±8 <sup>def</sup>	396±16 <sup>l</sup>	1287±30 <sup>f</sup>	67.0±0.7 <sup>gh</sup>	67.5	6.0±0.1 <sup>c</sup>	16.8±0.1 <sup>b</sup>	4±1 <sup>m</sup>

续表 4

品种	峰值黏度(cP)	最低黏度(cP)	衰减值(cP)	回生值(cP)	糊化温度(°C)	吸水率(%)	形成时间(min)	稳定时间(min)	弱化度(FU)
谷神麦19	2565±100 <sup>def</sup>	2111±61 <sup>abcd</sup>	454±40 <sup>kl</sup>	1512±81 <sup>b</sup>	66.1±0.0 <sup>hi</sup>	66.5	4.20±0.6 <sup>f</sup>	23.4±1.3 <sup>a</sup>	24±2.8 <sup>k</sup>
均值AVG	2532±512	1836±457	696±236	1307±204	73.1±8.6	59.3±4.6	3.80±1.80	6.59±2.41	75±36
极差R	2261	1817	804	989	21.2	16.8	6.4	21.90	129
变异系数CV(%)	20.20	24.91	33.91	15.60	11.70	7.82	46.91	88.46	48.06

间、稳定时间和弱化度的变异系数分别为 46.91%、88.46% 和 48.06%。其中新麦 45 的弱化度最低为 4 FU; 对于稳定时间来讲, 其均值为 6.59±2.41 min, 变异系数最高为 88.46%, 其中森科 093、豫保一号、郑麦 103 和郑育麦 16 的稳定时间最短为 1.50 min, 而谷神麦 19 的稳定时间最长为 23.40 min。稳定时间是衡量小麦粉筋力的关键指标, 反映了面团的耐搅拌能力, 时间越长, 说明面团的耐搅拌能力和筋力越强<sup>[23-25]</sup>。根据 GB 17320-2013, 以稳定时间作为划分依据, 黄淮麦区的小麦品种中, 稳定时间≥8.00 min 的强筋小麦品种占比为 8/23; 而中筋小麦品种中, 稳定时间≥3.00 min 且<8.00 min 的样品占比同样为 8/23。总体来看, 峰值黏度、最低黏度、衰减值、形成时间、稳定时间和弱化度等指标的变异系数较大, 这表明不同小麦品质性状间的差异比较大, 样品具有较

高的多样性和代表性, 这与姜兰芳等<sup>[26]</sup>的研究结果相一致。

### 2.4 白盐面条品质特性分析

TPA 质构分析采用两次压缩模式来模拟人类咀嚼过程, 以此测定样品的硬度、弹性、内聚性及咀嚼性等质地参数。由表 5 可知, 白盐面条的硬度、胶凝性、咀嚼性具有较高的变异系数, 分别为 26.41%、25.23% 和 24.63%。硬度是指面条在压缩过程中发生的最大力, 其与断裂强度相关。硬度变化范围为 1899~5400 g, 其中新麦 45 和谷神麦 19 的硬度最高, 森科 093、宁麦 13 和扬麦 15 的硬度最低; 胶凝性的变化范围为 1564~4097 g。咀嚼性是反映面条在咀嚼过程中表现出的韧性、弹性和持续抵抗性的综合指标, 其变化范围为 1427~3490 g; 谷神麦的咀嚼性最高为 3490 g, 扬麦 15 的咀嚼性最低为 1427 g。

表 5 不同品种小麦粉制得面条质构特性和感官评分

Table 5 Texture characteristics and sensory score of noodles prepared from different wheat cultivar flours

品种	硬度(g)	弹性(mm)	内聚性	胶凝性(g)	咀嚼性(g)	回复性	吸水率(%)	蒸煮损失率(%)	感官评分
森科093	2322±206 <sup>m</sup>	0.91±0.01 <sup>cde</sup>	0.79±0.01 <sup>bcd</sup>	1827±237 <sup>jk</sup>	1669±83 <sup>kl</sup>	0.50±0.01 <sup>cde</sup>	109±2 <sup>hi</sup>	5.81±0.02 <sup>b</sup>	79±3 <sup>fe</sup>
伟隆169	3532±194 <sup>ij</sup>	0.92±0.01 <sup>abcd</sup>	0.73±0.01 <sup>hi</sup>	2596±200 <sup>gh</sup>	2395±217 <sup>fg</sup>	0.46±0.04 <sup>efgh</sup>	113±1 <sup>gh</sup>	5.72±0.05 <sup>bc</sup>	88±2 <sup>ab</sup>
绵麦902	3881±44 <sup>gh</sup>	0.91±0.02 <sup>cde</sup>	0.68±0.01 <sup>i</sup>	2642±141 <sup>fg</sup>	2413±213 <sup>fg</sup>	0.40±0.01 <sup>k</sup>	105±1 <sup>j</sup>	5.37±0.04 <sup>d</sup>	75±2 <sup>ij</sup>
豫保一号	2812±191 <sup>k</sup>	0.90±0.01 <sup>de</sup>	0.74±0.02 <sup>gh</sup>	2085±264 <sup>ij</sup>	1878±226 <sup>jk</sup>	0.47±0.02 <sup>defg</sup>	105±4 <sup>j</sup>	5.36±0.09 <sup>d</sup>	85±3 <sup>cd</sup>
扬辐麦8号	4318±275 <sup>def</sup>	0.92±0.01 <sup>abcd</sup>	0.80±0.02 <sup>abc</sup>	3446±188 <sup>c</sup>	3170±247 <sup>cd</sup>	0.52±0.01 <sup>abc</sup>	115±1 <sup>g</sup>	5.52±0.04 <sup>cd</sup>	81±2 <sup>ef</sup>
绵麦907	4901±179 <sup>bc</sup>	0.92±0.01 <sup>abcd</sup>	0.71±0.01 <sup>kl</sup>	3463±15 <sup>c</sup>	3190±68 <sup>c</sup>	0.44±0.02 <sup>ijk</sup>	111±1 <sup>hi</sup>	6.13±0.05 <sup>a</sup>	75±3 <sup>ij</sup>
郑麦103	3758±114 <sup>hi</sup>	0.92±0.02 <sup>abcd</sup>	0.72±0.02 <sup>ij</sup>	2695±92 <sup>fg</sup>	2478±73 <sup>fg</sup>	0.44±0.01 <sup>ijk</sup>	108±3 <sup>ij</sup>	6.14±0.13 <sup>a</sup>	86±2 <sup>bcd</sup>
郑育麦16	3782±368 <sup>hi</sup>	0.89±0.00 <sup>e</sup>	0.77±0.01 <sup>fg</sup>	2900±383 <sup>ef</sup>	2571±208 <sup>ef</sup>	0.48±0.01 <sup>def</sup>	133±2 <sup>a</sup>	4.32±0.03 <sup>e</sup>	78±2 <sup>gh</sup>
郑麦179	3224±165 <sup>jk</sup>	0.90±0.02 <sup>de</sup>	0.73±0.01 <sup>hi</sup>	2347±97 <sup>gh</sup>	2112±118 <sup>hi</sup>	0.45±0.02 <sup>hij</sup>	128±1 <sup>bc</sup>	4.17±0.04 <sup>gh</sup>	89±1 <sup>ab</sup>
周麦36	3554±227 <sup>ij</sup>	0.89±0.01 <sup>e</sup>	0.74±0.00 <sup>gh</sup>	2623±71 <sup>fg</sup>	2347±88 <sup>fg</sup>	0.46±0.00 <sup>efgh</sup>	133±5 <sup>a</sup>	3.31±0.11 <sup>i</sup>	87±2 <sup>abc</sup>
扬麦30	3826±314 <sup>ghi</sup>	0.91±0.00 <sup>cde</sup>	0.82±0.01 <sup>a</sup>	3111±78 <sup>de</sup>	2828±200 <sup>de</sup>	0.53±0.01 <sup>a</sup>	122±3 <sup>de</sup>	4.02±0.03 <sup>b</sup>	74±1 <sup>ij</sup>
宁麦13	2111±224 <sup>m</sup>	0.92±0.01 <sup>abcd</sup>	0.80±0.01 <sup>abc</sup>	1676±129 <sup>k</sup>	1538±137 <sup>l</sup>	0.50±0.01 <sup>cde</sup>	125±1 <sup>cd</sup>	4.04±0.14 <sup>b</sup>	75±2 <sup>ij</sup>
扬麦15	1899±109 <sup>m</sup>	0.91±0.00 <sup>cde</sup>	0.82±0.01 <sup>a</sup>	1564±244 <sup>k</sup>	1427±165 <sup>l</sup>	0.53±0.02 <sup>a</sup>	123±1 <sup>de</sup>	4.22±0.04 <sup>e</sup>	75±1 <sup>ij</sup>
开麦21	4012±138 <sup>fgh</sup>	0.89±0.02 <sup>e</sup>	0.72±0.02 <sup>ij</sup>	2896±175 <sup>ef</sup>	2588±216 <sup>ef</sup>	0.45±0.03 <sup>hij</sup>	131±3 <sup>ab</sup>	4.13±0.01 <sup>gh</sup>	85±2 <sup>cd</sup>
苏科麦1号	2620±169 <sup>l</sup>	0.91±0.01 <sup>cde</sup>	0.81±0.02 <sup>ab</sup>	2112±103 <sup>ij</sup>	1916±88 <sup>ij</sup>	0.53±0.01 <sup>a</sup>	122±5 <sup>de</sup>	5.11±0.11 <sup>e</sup>	73±2 <sup>l</sup>
扬麦24	4200±120 <sup>efg</sup>	0.89±0.01 <sup>e</sup>	0.70±0.01 <sup>kl</sup>	2926±132 <sup>ef</sup>	2616±61 <sup>ef</sup>	0.42±0.01 <sup>jk</sup>	124±6 <sup>de</sup>	5.11±0.04 <sup>e</sup>	79±2 <sup>fg</sup>
谷神麦28	4484±188 <sup>de</sup>	0.93±0.01 <sup>ab</sup>	0.77±0.01 <sup>fg</sup>	3462±69 <sup>c</sup>	3230±92 <sup>bc</sup>	0.50±0.01 <sup>cde</sup>	121±7 <sup>ef</sup>	4.57±0.09 <sup>f</sup>	87±2 <sup>abc</sup>
扬麦29	3186±108 <sup>jk</sup>	0.94±0.00 <sup>a</sup>	0.76±0.01 <sup>fgh</sup>	2427±140 <sup>gh</sup>	2288±169 <sup>gh</sup>	0.50±0.02 <sup>cde</sup>	123±2 <sup>de</sup>	4.97±0.06 <sup>e</sup>	82±2 <sup>de</sup>
郑麦369	4639±327 <sup>cd</sup>	0.94±0.00 <sup>a</sup>	0.73±0.00 <sup>hi</sup>	3387±217 <sup>cd</sup>	3180±190 <sup>cd</sup>	0.53±0.02 <sup>a</sup>	122±2 <sup>de</sup>	4.64±0.25 <sup>f</sup>	90±2 <sup>a</sup>
新麦58	4974±13 <sup>b</sup>	0.91±0.01 <sup>cde</sup>	0.73±0.01 <sup>hi</sup>	3652±77 <sup>c</sup>	3337±165 <sup>bc</sup>	0.47±0.01 <sup>defg</sup>	111±1 <sup>hi</sup>	4.12±0.00 <sup>gh</sup>	82±2 <sup>de</sup>
金诚麦19号	2910±66 <sup>k</sup>	0.91±0.02 <sup>cde</sup>	0.78±0.01 <sup>cde</sup>	2270±92 <sup>hi</sup>	2075±57 <sup>hij</sup>	0.49±0.01 <sup>def</sup>	115±2 <sup>g</sup>	4.73±0.30 <sup>f</sup>	80±1 <sup>ef</sup>
新麦45	5231±116 <sup>a</sup>	0.88±0.01 <sup>e</sup>	0.75±0.01 <sup>gh</sup>	3921±10 <sup>b</sup>	3455±64 <sup>ab</sup>	0.48±0.01 <sup>def</sup>	114±5 <sup>g</sup>	4.69±0.30 <sup>f</sup>	80±1 <sup>ef</sup>
谷神麦19	5400±114 <sup>a</sup>	0.85±0.02 <sup>f</sup>	0.76±0.01 <sup>fgh</sup>	4097±98 <sup>a</sup>	3490±231 <sup>a</sup>	0.50±0.01 <sup>cde</sup>	121±3 <sup>ef</sup>	4.72±0.10 <sup>f</sup>	81±2 <sup>ef</sup>
均值AVG	3721±985	0.91±0.02	0.75±0.04	2788±704	2530±623	0.48±0.04	119±2	4.82±0.08	81.13±5.22
极差R	3501.00	0.09	0.14	2533.00	2063.00	0.13	28.00	2.83	16.00
变异系数CV(%)	26.41	2.21	5.12	25.23	24.63	7.56	7.60	14.45	6.44

此外,弹性、内聚性、回复性和感官评分的变异系数均低于 10%,表明这些指标受到小麦品种品质变化的影响相对较小。白盐面条的蒸煮特性显示,吸水率的变化范围为 105%~133%;蒸煮损失率的变化范围为 3.31%~6.14%,其中绵麦 907 和郑麦 103 的蒸煮损失率最高,但面条在熟制过程中几乎无断条现象,这表明所选小麦品种制作而成的面条具有良好的蒸煮特性。感官评价显示,23 份白盐面条样品的综合得分介于 73~90 分,平均值为 81.13,变异系数为 6.44%。其中 14 份(占 60.9%)达到“良好面条”标准(80~90 分)<sup>[26-27]</sup>,表明这些品种在制作白盐面条方面具有较强的应用潜力。

## 2.5 不同小麦品种品质指标与白盐面条的相关性分析

不同品种间小麦粉的理化指标与白盐面条之间的皮尔逊相关系数如表 6 所示。通过对数据进行分析可知,硬度、破损淀粉、灰分、面粉蛋白含量以及湿面筋含量均会显著影响白盐面条的感官评分;面粉蛋白含量与面条吸水率呈显著正相关,但与蒸煮损失率呈显著负相关( $P<0.05$ );峰值黏度和最低黏度与白盐面条的内聚性和回复性呈极显著正相关( $P<0.01$ );衰减值与硬度、感官评分呈负相关;回生值与内聚性、回复性呈正相关;稳定时间与白盐面条的硬度、咀嚼性、胶凝性呈正相关,而弱化度则相反,这与索婷等<sup>[28]</sup>的研究结果一致。综上所述,小麦粉品质指标与白盐面条质构特性、蒸煮特性和感官评分均具有明显的相关性。小麦粉中破损淀粉和面粉蛋白含量的升高会增加鲜湿面条吸水率,使得面筋蛋白在充分吸收水分子后与淀粉之间形成更加致密的蛋白-淀粉复合网络结构,进而提升白盐面条的食用品质。衰

减值反映了淀粉在糊化过程中的破碎程度,是预测食品加工品质的一个关键指标,其与白盐面条的感官评分呈负相关,而吕锐等<sup>[29]</sup>的研究指出衰减值的减小与面条的感官评分呈正相关,这表明适中的衰减值有助于形成良好的质构,而过高或过低都可能带来品质劣变(如发黏、回生快等)。稳定时间延长反映面团韧性增强、面筋网络强度提升,从而赋予面团更优的加工适宜性;弱化度则反映了面团的耐机械力破坏的程度,其值越大表明面粉的筋力越弱<sup>[30]</sup>,因此可以看出弱化度与白盐的面条质构特性和感官评价呈负相关。相关性分析结果阐明了小麦粉的理化特性与白盐面条的质地和感官品质间的关系,为选择适宜的小麦品种制作面条提供了理论依据。

## 2.6 主成分分析

主成分分析是一种多变量降维统计方法,通过线性变换将具有相关性的多个变量压缩为少数独立的综合指标,在最大限度保留原始信息的前提下实现数据可视化<sup>[31-33]</sup>。小麦粉指标各因素间信息互相重叠导致相关系数不能完全真实反映指标与结果之间的相关性,故采用主成分分析法对小麦粉各指标进行主成分提取,进而对白盐面条品质特性进行研究。23 个小麦品种的主成分分析结果如表 7 所示,前 5 个主成分的方差百分比为 30.682%、20.124%、9.637%、7.954% 和 6.700%,累计贡献率达到 75.097%,基本能够反映不同小麦品种指标所具有的信息,故提取 5 个主成分对原有的 27 个指标进行降维。

第 1 主成分的特征值  $\lambda_1=8.284$ ,对小麦粉品质贡献率最大,达到 30.682%,所对应的特征向量中(表 8),特征值较高的指标性状依次是吸水率、破损

表 6 小麦品质指标与白盐面条品质间的相关性

Table 6 Correlation between quality indexes of wheat and quality of white salt noodles

品质指标	硬度	弹性	内聚性	胶凝性	咀嚼性	回复性	吸水率	蒸煮损失率	感官评分	
籽粒指标	硬度	0.242	0.086	-0.022	0.269	0.279	0.085	0.078	-0.111	0.519*
	千粒重	0.018	0.147	-0.110	-0.008	0.013	-0.174	-0.227	0.285	-0.288
	容重	-0.154	0.054	0.344	-0.084	-0.083	0.278	0.270	-0.165	0.347
面粉指标	籽粒蛋白含量	0.279	-0.609	-0.011	0.296	0.236	0.005	0.140	-0.123	0.269
	出粉率	-0.087	0.031	-0.028	-0.088	-0.086	0.089	-0.105	0.203	0.175
	破损淀粉	0.422*	0.106	-0.200	0.417*	0.431*	-0.101	0.501*	0.022	0.641**
	灰分	0.481*	-0.141	-0.125	0.493*	0.482*	0.058	-0.104	0.133	-0.486*
	面粉蛋白含量	0.291	-0.473	-0.052	0.308	0.260	0.014	0.504*	-0.532*	0.484*
糊化特性	湿面筋	0.099	-0.307	-0.032	0.100	0.067	0.006	0.158	-0.254	0.425*
	峰值黏度	-0.415*	0.124	0.661**	-0.308	-0.333	0.630**	0.316	-0.323	-0.097
	最低黏度	-0.245	-0.147	0.598**	-0.138	-0.163	0.578**	0.309	-0.326	0.192
	衰减值	-0.431*	-0.017	0.295	-0.402	-0.411	0.254	0.023	0.007	-0.602**
	回生值	-0.192	-0.259	0.498*	-0.089	-0.125	0.491*	0.485*	-0.380	0.216
混合特性	糊化温度	-0.127	0.251	-0.013	-0.154	-0.130	-0.145	-0.035	0.195	-0.204
	吸水率	0.348	-0.019	0.056	0.383	0.380	0.113	0.066	-0.162	0.587**
	形成时间	0.203	-0.015	0.042	0.222	0.226	-0.005	0.300	-0.363	0.299
	稳定时间	0.493*	-0.367	0.050	0.538**	0.501*	0.173	-0.047	-0.510*	0.390
弱化度	-0.426*	0.087	-0.101	-0.473*	-0.469*	-0.194	-0.014	0.208	-0.280	

注: \*、\*\*分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。

表7 主成分的特征值与方差贡献率

Table 7 Eigenvalue and contribution rate of principal components

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值 (λ)	方差百分比 (%)	累计 (%)	特征值 (λ)	方差百分比 (%)	累计 (%)
1	8.284	30.682	30.682	8.284	30.682	30.682
2	5.434	20.124	50.806	5.434	20.124	50.806
3	2.602	9.637	60.444	2.602	9.637	60.444
4	2.148	7.954	68.398	2.148	7.954	68.398
5	1.809	6.700	75.097	1.809	6.700	75.097
6	1.615	5.980	81.077	1.615	5.980	81.077

表8 主成分载荷矩阵

Table 8 Principal component load matrix

指标	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5
硬度	0.682	0.133	-0.568	-0.088	-0.125
千粒重	-0.323	-0.532	0.273	-0.237	0.212
容重	0.229	0.602	-0.261	0.131	0.170
籽粒蛋白含量	0.654	0.179	0.528	-0.404	-0.498
出粉率	0.086	0.001	-0.624	-0.240	-0.498
灰分	0.787	-0.158	0.401	-0.052	-0.173
面粉蛋白含量	0.793	0.134	-0.248	-0.444	-0.120
湿面筋	0.572	0.188	-0.349	-0.583	-0.031
破损淀粉	0.833	-0.129	0.346	-0.010	0.310
峰值黏度	-0.144	0.913	0.003	0.212	-0.125
最低黏度	0.159	0.892	0.144	0.194	0.097
衰减值	-0.678	0.281	0.079	0.079	-0.455
回生值	0.057	0.838	-0.134	0.302	-0.131
糊化温度	-0.454	-0.058	-0.556	0.230	0.484
吸水率	0.888	0.190	-0.028	-0.082	0.358
形成时间	0.672	0.146	-0.170	-0.293	0.312
稳定时间	0.831	0.089	-0.070	0.158	0.024
弱化度	-0.704	-0.092	0.004	-0.274	-0.198
硬度	0.616	-0.506	-0.224	0.488	-0.206
弹性	-0.275	-0.136	0.547	0.053	0.615
内聚性	-0.147	0.762	0.078	0.049	0.190
胶凝性	0.638	-0.386	-0.215	0.541	-0.195
咀嚼性	0.618	-0.416	-0.166	0.559	-0.137
回复性	-0.023	0.712	0.165	0.125	0.053
面条吸水率	0.096	0.507	-0.308	0.017	-0.113
蒸煮损失率	-0.201	-0.510	0.352	0.023	0.104
感官评分	0.684	-0.006	-0.151	0.130	0.071

淀粉、稳定时间、面粉蛋白含量和灰分等；主成分1主要反映了面粉品质和混合特性。第2主成分的特征值 $\lambda_2=5.434$ ,对总体的贡献率为20.124%,该因子主要与峰值黏度、最低黏度、回生值、内聚性、回复性、容重、千粒重、面条吸水率和蒸煮损失率等相关；主成分2主要反映了小麦籽粒品质和糊化特性。第3主成分的特征值 $\lambda_3=2.602$ ,对总体的贡献率为9.637%,其主要与出粉率和糊化温度相关；第4主成分的特征值 $\lambda_4=2.148$ ,对总体的贡献率为7.954%,其与湿面筋含量呈负相关；第5主成分特征值为1.809,对总体的贡献率为6.700%,其与面条的弹性呈正相关。主成分1和2包含了绝大部分指标,其可在白盐面条加工适宜性品质筛选工作中作为重要参考依据。

2.7 聚类分析

根据主成分分析结果,采用Ward法对小麦品种进行系统聚类分析,结果如图1和表9所示。当类间距设定为10时,23种小麦样品被划分为4类,其中第一类包括宁麦13、苏科麦1号、森科093、扬麦15、扬辐麦8号、扬麦30和扬麦24;第二类涵盖了郑育麦16、周麦36、伟隆169、郑麦179、郑麦103、豫保一号、开麦21、绵麦902、绵麦907、新麦45、谷神麦19、谷神麦28、新麦58、扬麦29、金城麦19和郑麦369

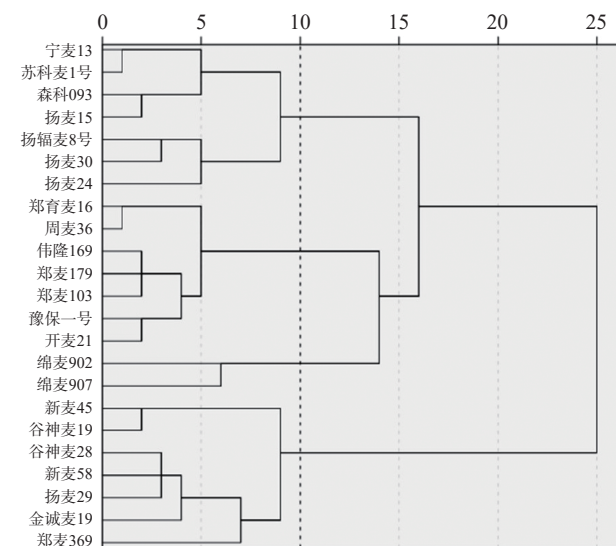


图1 黄淮冬麦区主栽小麦品种聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of main wheat varieties in Huanghuai winter wheat area

表9 聚类分析与白盐面条品质指标统计值

Table 9 Cluster analysis and statistical value of quality index of white salt noodles

指标	第一类	第二类	第三类	第四类
硬度(g)	60.16±7.27 <sup>bc</sup>	66.14±5.66 <sup>ab</sup>	54.26±11.98 <sup>c</sup>	69.51±1.25 <sup>a</sup>
千粒重(g/千粒)	45.04±5.36 <sup>b</sup>	46.58±3.70 <sup>ab</sup>	52.14±2.40 <sup>a</sup>	44.18±2.39 <sup>b</sup>
容重(g/L)	820.10±29.05 <sup>a</sup>	811.57±30.27 <sup>a</sup>	745.17±26.64 <sup>b</sup>	817.95±20.53 <sup>a</sup>
籽粒蛋白含量(%)	12.13±0.62 <sup>ab</sup>	13.17±1.11 <sup>ab</sup>	11.47±0.62 <sup>b</sup>	13.40±1.57 <sup>a</sup>
灰分(%)	0.56±0.02 <sup>b</sup>	0.58±0.03 <sup>ab</sup>	0.57±0.10 <sup>b</sup>	0.63±0.03 <sup>a</sup>
面粉蛋白含量(%)	10.61±0.65 <sup>b</sup>	12.31±0.92 <sup>a</sup>	10.27±0.80 <sup>b</sup>	12.90±1.22 <sup>a</sup>
破损淀粉(UCDc)	19.23±3.11 <sup>b</sup>	21.24±1.70 <sup>b</sup>	21.40±1.77 <sup>b</sup>	27.11±1.24 <sup>a</sup>
峰值黏度(cP)	3007.71±192.30 <sup>a</sup>	2519.71±159.14 <sup>b</sup>	1236.50±30.59 <sup>c</sup>	2438.57±217.79 <sup>b</sup>
最低黏度(cP)	2090.00±150.64 <sup>a</sup>	1793.57±271.76 <sup>a</sup>	582.00±244.65 <sup>b</sup>	1981.85±184.19 <sup>a</sup>

续表 9

指标	第一类	第二类	第三类	第四类
衰减值(cP)	917.71±180.80 <sup>a</sup>	726.14±186.00 <sup>ab</sup>	654.50±62.93 <sup>bc</sup>	456.71±103.23 <sup>c</sup>
回生值(cP)	1412.28±100.21 <sup>a</sup>	1349.14±97.86 <sup>a</sup>	769.50±248.19 <sup>b</sup>	1311.85±105.62 <sup>a</sup>
吸水率(%)	56.67±3.85 <sup>b</sup>	57.68±0.71 <sup>b</sup>	54.65±3.04 <sup>b</sup>	64.78±2.90 <sup>a</sup>
形成时间(min)	2.98±1.44 <sup>ab</sup>	3.64±1.29 <sup>ab</sup>	2.55±1.20 <sup>b</sup>	5.18±2.04 <sup>a</sup>
稳定时间(min)	3.70±1.25 <sup>b</sup>	2.67±1.04 <sup>b</sup>	3.10±1.00 <sup>b</sup>	13.78±5.30 <sup>a</sup>
弱化度(FU)	85.14±13.80 <sup>b</sup>	108.57±16.30 <sup>a</sup>	94.00±4.24 <sup>ab</sup>	32.70±17.07 <sup>c</sup>
硬度(g)	3042.28±737.10 <sup>b</sup>	3525.85±399.45 <sup>ab</sup>	4391.00±721.24 <sup>a</sup>	4403.42±981.32 <sup>a</sup>
内聚性	0.79±0.04 <sup>a</sup>	0.74±0.02 <sup>b</sup>	0.70±0.02 <sup>c</sup>	0.75±0.02 <sup>ab</sup>
胶凝性(g)	2380.28±765.62 <sup>a</sup>	2592.71±293.24 <sup>a</sup>	3053.50±581.06 <sup>a</sup>	3317.21±707.06 <sup>a</sup>
咀嚼性(g)	2166.28±695.07 <sup>b</sup>	2338.42±259.06 <sup>ab</sup>	2802.55±549.42 <sup>ab</sup>	3008.34±579.51 <sup>a</sup>
回复性	0.50±0.04 <sup>a</sup>	0.46±0.01 <sup>bc</sup>	0.42±0.03 <sup>c</sup>	0.48±0.02 <sup>ab</sup>
面条吸水率(%)	120.12±5.83 <sup>ab</sup>	121.57±12.40 <sup>a</sup>	108.25±4.24 <sup>b</sup>	118.14±4.70 <sup>ab</sup>
蒸煮损失率(%)	4.85±0.89 <sup>a</sup>	4.57±1.13 <sup>b</sup>	5.50±0.71 <sup>a</sup>	4.86±0.38 <sup>a</sup>
感官评价	77.57±3.04 <sup>c</sup>	85.14±3.84 <sup>a</sup>	75.00±0.00 <sup>c</sup>	80.42±3.59 <sup>b</sup>

注: 同行字母不同表示存在显著差异,  $P < 0.05$ 。

103、豫保一号和开麦 21; 第三类为绵麦 902 和绵麦 907; 第四类则包括新麦 45、谷神麦 19、谷神麦 28 等 7 个样品。李翠翠等<sup>[34]</sup>的研究指出, 良好的面筋质量能够一定程度上改善面条的食用品质, 但蛋白质含量过高会导致面条外观品质劣化, 感官评分下降。大量的研究指出白盐面条的品质由多个指标共同决定<sup>[35]</sup>, 包括中等蛋白质含量、中等偏高的黏弹性、中等硬度偏上的小麦, 这些因素的共同作用下, 使面条质地适当坚硬、口感爽滑筋道<sup>[36]</sup>。通过对聚类结果的显著性分析可知: 第二类小麦品种在千粒重、面粉蛋白质含量、峰值黏度、硬度及咀嚼性等指标上均处于中等水平, 而且具有较低的蒸煮损失率, 但是其感官评分却显著高于其他类别( $P < 0.05$ ), 表明该组品种在协调多项理化性状的同时, 仍具备最优的食用品质(表 9)。因此, 第二类小麦品种在制作白盐面条方面更为适宜, 具体品种包括: 郑育麦 16、周麦 36、伟隆 169、郑麦 179、郑麦 103、豫保一号和开麦 21。

### 3 结论

本研究对黄淮冬麦区 23 个主栽小麦品种的籽粒特性、理化特性、流变特性及白盐面条品质特性进行了系统的测定与分析。研究结果显示, 不同品种小麦籽粒和面粉在品质指标上存在显著差异, 这表明黄淮麦区小麦品种的遗传多样性比较丰富, 并且所选样品具有较好的代表性。通过相关性分析发现, 籽粒硬度、湿面筋含量和吸水率与白盐面条的食用品质之间存在显著正相关; 面粉蛋白含量和面条吸水率呈显著正相关, 而与蒸煮损失率呈显著负相关; 峰值黏度和最低黏度的增加会增强面条质构特性, 而衰减值的升高则会降低白盐面条的感官评分。为简化数据结构并提取关键信息, 本研究采用主成分分析法对 23 个小麦品种信息进行降维处理, 共提取出 6 个主成分, 累计方差贡献率达到 81.077%, 其中第 1 主成分(面粉品质和混合特性)和第 2 主成分(小麦籽粒品质和糊化特性)在小麦品种评价方面占据着主要作

用。此外, 采用 Ward 法对小麦品种进行系统聚类分析, 可将样品划分为 4 类。其中, 第二类小麦品种在破损淀粉含量、面粉蛋白含量、稳定时间、硬度和咀嚼性等方面表现中等偏上, 且具有较低蒸煮损失率的同时拥有更高的感官评分, 因此更适宜用于制作白盐面条。该类小麦品种包括郑育麦 16、周麦 36、伟隆 169、郑麦 179、郑麦 103、豫保一号和开麦 21, 其品种指标阈值如下: 面粉蛋白含量 10.85%~12.93%、峰值黏度 2262.00~2748.00 cP、最低黏度 1406.00~2021.00 cP、稳定时间 1.5~4.7 min、硬度 2812.00~4012.00 g、咀嚼性 1878~2588 g, 蒸煮损失率 3.31%~5.36%。本研究可为筛选适宜加工优质白盐面条的小麦品种提供理论依据。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [1] 张会芳, 张建红, 刘海礁, 等. 近 20 年黄淮冬麦区南片小麦种质性状演变及其育种价值评价[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(11): 28-41. [ZHANG H F, ZHANG J H, LIU H Q, et al. Evolution of wheat (*Triticum aestivum* L.) germplasm traits and evaluation of breeding value in southern Huang-Huai winter wheat region in recent 20 years[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(11): 28-41.]
- [2] WEI Y F, WU X X, LIU D J, et al. Stem rust resistance and resistance-associated genes in 64 wheat cultivars from Southern Huanghuai, China[J]. Plants, 2024, 13(16): 2286-2286.
- [3] 张勇, 沈业松, 杨子博, 等. 黄淮麦区部分强筋小麦品种的遗传差异分析[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(1): 36-45. [ZHANG Y, SHEN Y S, YANG Z B, et al. Genetic diversity analysis of some strong glutenin wheat cultivars from Huanghuai wheat area[J]. Journal of Triticeae Crops, 2023, 43(1): 36-45.]
- [4] WANG L Y, ZHENG Y S, DUAN L L, et al. Artificial selection trend of wheat varieties released in Huang-Huai-Hai region in China evaluated using DUS testing characteristics[J]. Frontiers in

Plant Science, 2022, 13: 898102–898102.

[5] 张羽丰, 谢付振, 牛聪聪, 等. 黄淮麦区品种审定情况及品质分析[J]. 中国种业, 2023(4): 47–50. [ZHANG Y F, XIE F Z, NIU C C, et al. Variety approval and quality analysis in Huanghuai wheat region[J]. China Seed Industry, 2023(4): 47–50.]

[6] 张会芳, 齐红志, 孙岩, 等. 黄淮冬麦区不同来源地新育成小麦品种性状多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(3): 719–731. [ZHANG H F, QI H Z, SUN Y, et al. Character diversity analysis of new wheat varieties from different origins in Huang-Huai winter wheat region[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(3): 719–731.]

[7] 温建, 孙成金, 汪松玉, 等. 中国小麦主产区重要品质性状演变分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(19): 75–80. [WEN J, SUN J C, WANG S Y, et al. Evolution analysis of important quality traits in main wheat producing areas of China[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(19): 75–80.]

[8] PARK Y, CHANTG H. Single-Kernel characteristics of soft wheat in relation to milling and end use properties[J]. Food Science and Biotechnology, 2007, 16(6): 918–923.

[9] HU X, HU L J, ZHENG J, et al. Classification, processing procedures, and market demand of Chinese biscuits and the breeding of special wheat for biscuit making[J]. Journal of Food Quality, 2007, 16(6): 918–923.

[10] BYUNGKEE B, THOMAS D. Grain, flour, and batter properties estimating cake baking potential of wheat flour[J]. Cereal Chemistry, 2022, 100(1): 99–108.

[11] 高艳梅, 景茂雅, 陈薇薇, 等. 近20年来中国小麦品种产量和品质性状变化分析[J]. 麦类作物学报, 2024, 44(9): 1152–1160. [GAO Y M, JING M Y, CHEN W W, et al. Analysis of yield and quality traits of wheat cultivars over the past 20 years in China[J]. Journal of Triticeae Crops, 2024, 44(9): 1152–1160.]

[12] HU X Z, WEI Y M, WANG C, et al. Quantitative assessment of protein fractions of Chinese wheat flours and their contribution to white salted noodle quality[J]. Food Research International, 2006, 40(1): 1–6.

[13] ZHAO C, LI M, JIANG J K, et al. The impact of starch composition and gluten content on noodle texture and starch digestibility[J]. Carbohydrate Polymers, 2025, 35(3): 123294.

[14] 孟凡娜, 孙一凡, 刘坡, 等. 蓝靛果多酚提取物对小麦淀粉及面条品质的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(13): 98–105. [MENG F N, SUN Y F, LIU P, et al. Effect of *Lonicera caerulea* berry polyphenol extract on wheat starch and the quality of noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(13): 98–105.]

[15] WANG J, QIAO W, BIAN N, et al. The interaction between starch and gluten and related wheat-based noodles quality, a review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2025, 307(P2): 142001.

[16] 魏益民, 赵博, 严军辉, 等. 关中平原小麦粉鲜面条制作适宜性研究[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(5): 600–608. [WEI Y M, ZHAO B, YAN J H, et al. Study on the making suitability of fresh noodle with wheat flours in Guan Zhong Plain[J]. Journal of Triticeae Crops, 2023, 43(5): 600–608.]

[17] 轩毫毫, 王钰惠, 郑学玲, 等. 不同外源植物淀粉对小麦鲜湿面条品质的影响[J]. 食品科学, 2025, 46(10): 79–87. [XUAN H H, WANG Y H, ZHENG X L, et al. Effect of addition of starches

from different botanical sources on the quality of wet noodles[J]. Food Science, 2025, 46(10): 79–87.]

[18] 王贝贝, 张永顺, 郭洪涛, 等. 亚麻籽粉对面条品质和消化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2024, 45(18): 72–79. [WANG B B, ZHANG Y S, GUO H T, et al. Effects of flaxseed powder on the quality and digestive characteristics of noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(18): 72–79.]

[19] 来思彤, 崔清亮, 王键美, 等. 制粉方式对小麦全麦粉及其面条品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(14): 113–121, 130. [LAI S T, CUI Q L, WANG J M, et al. Effect of milling method on the quality of wheat whole-wheat flour and its noodles[J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(14): 113–121, 130.]

[20] 潘治利, 田萍萍, 黄忠民, 等. 不同品种小麦粉的粉质特性对速冻熟制面条品质的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 307–314. [PAN Z L, TIAN P P, HUANG Z M, et al. Effect of farinograph characteristics of different varieties of wheat flour on the quality of quick-frozen cooked noodles[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(3): 307–314.]

[21] 张影全, 孔雁, 邢亚楠, 等. 小麦籽粒质量性状与兰州拉面感官质量关系研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(7): 14–20.

[ZHANG Y Q, KONG Y, XING Y N, et al. Study on the relationship between wheat grain quality traits and sensory quality of Lanzhou hand-pulled noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(7): 14–20.]

[22] 付丽红, 畅莹莹, 徐润东, 等. 山西运城六种小麦淀粉结构及理化特性分析[J]. 食品工业科技, 2025, 46(9): 286–294. [FU L H, CHANG Y Y, XU R D, et al. Morphological features and physicochemical properties of starches from six wheat varieties in Yuncheng, Shanxi Province[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(9): 286–294.]

[23] 刘通通, 张雯婧, 彭嘉颖, 等. 黄淮麦区优质强筋、中筋小麦粉品质特性与面条性质的相关性分析[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(2): 39–45. [LIU T T, ZAHNG W J, PENG J Y, et al. Correlation analysis between quality characteristics of high-quality strong-gluten and medium-gluten wheat flour and noodle properties in Huanghuai wheat area[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(2): 39–45.]

[24] 黄松, 张天海, 黄岩, 等. 不同小麦品种蛋白质含量与面团稳定时间的相关回归分析[J]. 分子植物育种, 2023, 21(21): 7135–7141. [HUANG S, ZHANG T H, HUANG Y, et al. correlation regression analysis between protein content and dough stabilization time of different wheat varieties[J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(21): 7135–7141.]

[25] JIA F, MA Z, HU X. Controlling dough rheology and structural characteristics of chickpea-wheat composite flour-based noodles with different levels of *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum addition[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 150: 605–616.

[26] 姜兰芳, 王敏, 曹勇, 等. 山西主栽小麦品种蒸煮食品加工性比较[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(11): 1359–1366. [JIANG L F, WANG M, CAO Y, et al. Comparison of processability of steamed and boiled food produce of wheat cultivars in Shanxi Province[J]. Journal of Triticeae Crops, 2022, 42(11): 1359–1366.]

[27] 张国丛, 史占良, 班进福, 等. 河北省主推中筋小麦品种面条加工适应性研究[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(6): 690–697. [ZHANG G C, SHI Z L, BAN J F, et al. Study on the adaptability

- of noodle processing of medium gluten wheat varieties mainly promoted in Hebei Province[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(6): 690–697. ]
- [ 28 ] 索婷,杨书林,林娜,等.小麦粉特性与生湿面品质的关系研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2024, 43(3): 54–65. [ SUO T, YANG S L, LIN N, et al. Study on relationship between wheat flour characteristics and quality of fresh wet noodles[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2024, 43(3): 54–65. ]
- [ 29 ] 吕锐,张依,张晓顿,等.石家庄地区 10 个小麦品种理化特性及其面条品质研究[J]. *粮油食品科技*, 2025, 33(2): 111–119. [ LÜ R, ZHANG Y, ZHANG X D, et al. Study on physicochemical characteristics and noodle quality of 10 wheat varieties in Shijiazhuang area[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2025, 33(2): 111–119. ]
- [ 30 ] 邓航,周文化,李立华.小麦品质与鲜湿面品质的关系[J]. *食品与机械*, 2017, 33(12): 6–11. [ DENG H, ZHOU W H, LI L H, et al. Study on relationship of quality between wheat quality and fresh noodles[J]. *Food & Machinery*, 2017, 33(12): 6–11. ]
- [ 31 ] 杨钊,乔文臣,张影全,等.小麦面粉蛋白质特性和面团流变学特性的关系[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(12): 4075–4082. [ YANG Z, QIAO W C, ZHANG Y Q, et al. Relationship between protein properties of wheat flour and rheological properties of dough[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2020, 11(12): 4075–4082. ]
- [ 32 ] 朱玉萍.小麦面粉对陕西 Biangbiang 面加工品质的影响[D].杨凌:西北农林科技大学, 2018. [ ZHU Y P. The effect of wheat flour on processing quality of shanxi Biangbiang main noodles[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2018. ]
- [ 33 ] YU Y T, LIU T, GONG W, et al. Change in volatile profiles of wheat flour during maturation[J]. *Food Research International*, 2024, 194: 114936–114936.
- [ 34 ] 李翠翠,陆启玉.面筋蛋白对面条品质影响的研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2018, 31(7): 4–5. [ LI C C, LU Q Y. Progress on the effect of gluten protein on noodle quality[J]. *Cereals & Oils*, 2018, 31(7): 4–5. ]
- [ 35 ] 卢朝银,刘远晓,关二旗,等.小麦品种品质特性与烩面品质特性关系研究[J]. *食品科技*, 2023, 48(5): 149–156. [ LU C Y, LIU Y X, GUAN E Q, et al. The relationship between wheat properties and the qualities of stewed noodles[J]. *Food Science and Technology*, 2023, 48(5): 149–156. ]
- [ 36 ] YE Y L, ZHANG Y, YAN J, et al. Effects of flour extraction rate, added water, and salt on color and texture of Chinese white noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2009, 86(4): 477–485.