

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.02.016

吕锐, 张依, 张晓頔, 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.

LV 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.

石家庄地区 10 个小麦品种理化特性及其面条品质研究

吕锐^{1,2}, 张依^{1,2}, 张晓頔², 刘敬科², 生庆海^{1,3,4}✉

1. 河北经贸大学 生物科学与工程学院, 河北 石家庄 050061;
2. 河北省农林科学院生物技术与食品科学研究所, 河北 石家庄 050051;
3. 河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定 071001;
4. 河北省膳食组分互动与精准营养重点实验室 河北 保定 071001)

摘要: 以石家庄地区种植的 10 个小麦品种为研究对象, 通过测定小麦粉物化指标和面条品质指标并进行相关性分析, 以探究其物化品质及其对面条品质的影响和相关性。结果表明, 冀麦 U80、冀麦 2018、冀麦 765 及中麦 886 四种小麦粉品质较好, 其制作的面条具有较好的质地和口感。通过相关性分析可知, 蛋白质含量与湿面筋含量呈显著正相关 ($P < 0.05$), 小麦粉持水力、吸水率与面条吸水率呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 面团形成时间、稳定时间与面条质构指标及感官评价呈显著或极显著正相关, 弱化度与面条品质呈显著负相关 ($P > 0.05$), 面条感官评价与峰值粘度、衰减值, 面条硬度、内聚性、咀嚼性, L^* 值、 a^* 值、白度呈显著或极显著正相关。该研究可为石家庄地区小麦加工利用提供一定的理论参考。

关键词: 石家庄地区小麦品种; 小麦粉品质; 面条品质; 物化特性; 相关性

中图分类号: TS210.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2025)02-0111-09

网络首发时间: 2025-03-03 16:38:20

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20250303.1134.002>

Study on Physicochemical Characteristics and Noodle Quality of 10 Wheat Varieties in Shijiazhuang Area

LV Rui^{1,2}, ZHANG Yi^{1,2}, ZHANG Xiao-di², LIU Jing-ke², SHENG Qing-hai^{1,3,4}✉

- (1. College of Biological Science and Engineering, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang, Hebei 050061, China; 2. Institute of Biotechnology and Food Science, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050051, China; 3. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China; 4. Hebei Key Laboratory of Dietary Component Interaction and Precision Nutrition, Baoding, Hebei 071001, China)

收稿日期: 2024-08-12; 修回日期: 2024-09-11; 录用日期: 2024-09-13

基金项目: 河北省农林科学院科技创新人才队伍建设项目“超声技术对小米面团物化特性及加工品质的影响”(C23R1305)

Supported by: Hebei Academy of Agriculture and Forestry Science and Technology Innovation Talent Team Construction Project "Effects of Ultrasonic Technology on Physicochemical Characteristics and Processing Quality of Millet Dough" (No. C23R1305)

第一作者: 吕锐, 女, 1999 年出生, 在读硕士生, 研究方向为粮油产品加工, E-mail: lvru0604@163.com

通信作者: 生庆海, 男, 1970 年出生, 博士, 教授, 研究方向为功能食品开发, E-mail: 1951037151@qq.com

Abstract: The study investigated the physicochemical properties of wheat flour and noodle quality indices of 10 wheat varieties planted in Shijiazhuang area. Measurement of these indices were performed and the correlation analysis was carried out to explore their physicochemical qualities and their effects on noodle quality and correlation. The results showed that Jimai U80, Gaoyou 2018, Jimai 765 and Zhongmai 886 were of better quality, producing noodles with better texture and taste. Correlation analysis showed that protein content was positively correlated with wet gluten content ($P < 0.05$), water retention and water absorption of wheat flour were positively correlated with water absorption of noodles ($P < 0.01$), dough formation time and stability time were significantly or extremely significantly positively correlated with noodle texture indexes and sensory evaluation. The weakening degree was negatively correlated with noodle quality ($P > 0.05$), and the sensory evaluation of noodles was significantly or extremely significantly positively correlated with peak viscosity, breakdown value, hardness, cohesiveness, chewability, L^* value, a^* value and whiteness. This study provides some theoretical reference for wheat flour processing in Shijiazhuang area.

Key words: wheat varieties in Shijiazhuang area; wheat flour quality; noodle quality; physicochemical characteristics; correlation

受栽培模式、生态环境及品种等因素影响,不同品种小麦的组分含量有较大差异,使得小麦粉具有不同特点和不同用途,例如制作面条、馒头、饺子、面包、饼干及蛋糕需要不同筋度的小麦粉。因此,为了满足人们对不同类型小麦制品的需求,培育和种植不同品种小麦至关重要。

面条是中国传统的小麦类食品,通常作为主食食用。事实上,它们也受到世界各地消费者的追捧,尤其是在其他亚洲国家,在亚洲,大约有 40% 的小麦用于生产面条^[1]。因其具有制作和食用方便、风味独特、口感优越等特点,深受消费者喜爱。生鲜面的品质与小麦粉品质特性息息相关,小麦粉的组成成分、理化特性、流变学特性、粉质特性及糊化特性等在一定程度上对生鲜面品质起决定作用^[2]。目前,虽然已有部分研究者对不同品种小麦粉物化特性、面条品质及其之间的相关性进行研究,但研究内容不够全面。秦博闻等^[3]对淮海经济区 30 种小麦面团的品质特性进行研究发现,其中 5 个品种的小麦面团粘弹性优于其他小麦品种。而王天姣等^[4]对黄淮海区主栽小麦品种的蛋白质特性与烩面质构关系进行研究,提高稳定时间和谷蛋白大聚体含量,可改善烩面的弹性并获得较高的感官评分。雍雅萍等^[5]对河套地区不同小麦粉与面条品质关系研究表明,小麦粉形成时间、稳定时间与质构硬度、咀

嚼性呈显著正相关 ($P < 0.05$)。王育红等^[6]对小麦粉糊化特性与冷冻熟制面条品质相关性进行研究,发现小麦粉的峰值粘度、最低粘度、最终粘度和回生值与冷冻熟制面条的感官评分呈极显著正相关。魏益民等^[7]研究也表明,面条感官评分与峰值粘度呈显著正相关 ($P < 0.05$)。本文以在石家庄地区种植的 10 个小麦品种为研究对象,测定小麦粉基本成分、水合特性、糊化特性、粉质特性,面团流变学特性、水分分布。测定生鲜面条的质构特性、蒸煮特性、感官评价及挥发性物质。对不同品种小麦粉品质特性及其面条品质特性进行全面系统的分析,评价石家庄地区小麦粉品质与面条品质之间的关系,为该地区小麦粉加工提供一定理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小麦粉冀麦 U80、衡 S29、轮选 45、藁优 2018、冀麦 765、石新 828、石 4366、石麦 29、中麦 886 和石优 17: 石家庄市农林科学研究院; 葡萄糖标品, 色谱纯: Sigma (中国) 有限公司; 石油醚、盐酸、硼酸、硫酸钾, 分析纯: 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

ME104E 电子天平: 梅特勒-托利多仪器 (上

海)有限公司;DK-98-1型电热恒温水浴锅、220-00台式电热恒温干燥箱:天津市泰斯特仪器有限公司;KDN-520全自动凯氏定氮仪:杭州绿博仪器有限公司;Multifuge3SR+台式高速离心机、TRACE1310-ISQ7000气相色谱-质谱联用仪:美国赛默飞世尔科技有限公司;TechMaster RVA粘度仪:波通瑞华科技仪器有限公司;Mixolab2面团混合试验仪:法国肖邦公司;DHR-10流变仪:美国TA仪器Waters公司;MESOMR23-060H-1核磁共振成像分析仪:苏州纽迈分析仪器股份有限公司;TMS-Pro质构仪:美国FTC公司。

1.3 实验方法

1.3.1 小麦粉基本成分的测定

小麦粉蛋白质含量根据GB5009.5—2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》进行测定;水分含量根据GB5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》进行测定;淀粉含量根据GB 5009.9—2016《食品安全国家标准食品中淀粉的测定》进行测定;脂肪含量测定根据GB 5009.6—2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》进行测定;灰分含量测定根据GB 5009.4—2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》进行测定;湿面筋含量根据GB/T 5506.2—2008《小麦和小麦粉面筋含量第2部分:仪器法测定湿面筋》进行测定。

1.3.2 小麦粉水合特性的测定

小麦粉的水合特性参照孙晓晓等^[8]的方法,取0.75 g样品,加蒸馏水7 mL混匀,在70 °C下水浴加热30 min,然后4 000 r/min离心20 min,取上清液,105 °C烘干至恒重,同时称量沉淀物质量,每样品分别测定3次,按照以下公式计算。

$$WHC = \frac{A_3}{A_1} \quad \text{式(1)}$$

$$WSI = \frac{A_2}{A_1} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

$$SP = \frac{A_3}{A_1 - A_2} \quad \text{式(3)}$$

式中:WHC为持水力, g/g; WSI为水溶性指数, %; SP为膨润力, g/g; A_1 为小麦粉干物质质量, g; A_2 为小麦粉上清液质量, g; A_3 为小麦粉沉淀

物质量, g。

1.3.3 小麦粉糊化特性的测定

参照LIN等^[9]的方法,利用粘度分析仪,选取standard程序,将3.25 g小麦粉和25 mL蒸馏水混合;在50 °C下保持60 s后,温度以6 °C/min的速度上升;在温度95 °C保持5 min,然后每分钟下降6 °C;最后2 min,温度保持在50 °C。在不同温度下测量样品的粘度。

1.3.4 小麦粉粉质特性的测定

利用Mixolab混合仪,采用Chopin S标准测试法进行测定^[10]。加水至面团最大扭矩达到(1.10±0.05) Nm,选择程序为Chopin S标准测试法,水分基数为实际水分,按照达到最大扭矩($C1=1.1±0.05$ Nm)的要求加入一定量的水,和面温度30 °C,搅拌速率80 r/min。

1.3.5 面团流变学特性的测定

参照INGLETT等^[11]的方法稍作修改,取10 g利用Mixolab混合仪制备的面团测定面团动态流变学特性。流变测定参数设置:振荡频率模式;温度25 °C;应变1%;角频率1~100 rad/s。夹具参数设置:平板夹具直径40 mm;测试间隙1 mm;加样间隙45 mm。

1.3.6 小麦面团水分分布测定

参照Wang等^[12]的方法,将小麦面团置于低场核磁共振检测管中,采用多层-回波脉冲序列进行扫描,参数设定为:主频率(MHz)=21,采样频率(KHz)=250,回波时间(ms)=0.200 00,回波个数=8 000,重复扫描次数(NS)=12,弛豫时间点=100,获得样品水分子衰减信号曲线,再通过瞬时重建迭代技术对衰减曲线进行反演,得到横向弛豫时间图谱。

1.3.7 面条的制备

称取100 g小麦粉,加入32%的水(以小麦粉质量计),用和面机和面7 min,面絮熟化20 min后使用压面机对面片压延15次,再将面片切为2.2 mm的圆面条。

1.3.8 面条色度的测定

使用高精度分光测色仪测定小麦面片的色泽,将小麦面片遮住测量孔,运行程序,计算机程序自动计算三色值, L^* (亮度值), a^* (红绿值),

b^* (蓝黄值), 每样品分别测定 3 次, 按以下公式计算燕麦粉的白度 (Whiteness, W)^[13]。

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{式 (4)}$$

1.3.9 面条质构特性的测定

参照 Li 等^[14]的方法稍作修改, 将 3 根熟面条平行摆放在载物台上, 选用 25 N 的力量感应元和型号为 TA/100 的压盘式探头, 设置形变百分量 45%、检测速度为 60 mm/min、起始力为 0.1 N、放置时间 5 s、探头回升到样品表面高度为 10 mm, 对面条质构特性进行测定。

1.3.10 面条蒸煮特性的测定

面条蒸煮特性参照吕佳琪等^[10]的方法稍作修改进行测定。在称量好重量的烧杯中倒入 1 000 mL 水, 取 20 根 20 cm 的面条, 准确称量生面条重量, 放入沸水中煮至最佳蒸煮时间, 记录段条数, 捞出后于自来水下冲洗 10 s, 以防面条粘连, 用滤纸吸干表面水分后称量熟面条重

量, 将烧杯放在电炉上加热至烧杯中大部分面汤蒸发, 再放入 105 °C 烘箱中烘至恒重, 称量烘干后烧杯重量。

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad \text{式 (5)}$$

$$D = \frac{n}{20} \times 100 \quad \text{式 (6)}$$

$$Z = \frac{m - m_0}{m_3} \times 100 \quad \text{式 (7)}$$

式中, X 为吸水率, %; D 为断条率, %; Z 为蒸煮损失率, %; m 为烘干后烧杯和面汤干物质质量, g; m_0 为烧杯质量, g; m_1 为生面条质量, g; m_2 为熟面条质量, g; m_3 为生面条干物质质量, g; n 为面条断条数。

1.3.11 面条感官评价

由 10 名经过感官评价培训的食品专业学生根据表 1 对 10 种生鲜面进行感官评价。

表 1 面条感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of noodles

| 项目 | 分值 | 评分标准 |
|------|------|--|
| 色泽 | 15 分 | 面条颜色均一且有光泽为 10~15 分; 一般为 5~10 分; 颜色不均匀、无光泽为 0~5 分。 |
| 外观状态 | 15 分 | 面条结构紧密、表面光滑为 10~15 分; 一般为 5~10 分; 粗糙、褶皱为 0~5 分。 |
| 食味 | 20 分 | 面条香味愉悦为 14~20 分; 基本无异味为 7~14 分; 有异味为 0~7 分。 |
| 适口性 | 15 分 | 适口性较好为 10~15 分; 一般为 5~10 分; 过硬或过软为 0~5 分。 |
| 韧性 | 20 分 | 有嚼劲和弹性为 14~20 分; 一般为 7~14 分; 嚼劲不足、弹性差为 0~7 分。 |
| 黏性 | 15 分 | 光滑、不黏牙为 10~15 分; 一般为 5~10 分; 黏牙为 0~5 分。 |

1.3.12 面条挥发性物质的测定

参照任国宝等^[15]的方法稍作修改, 称取 1 g 生鲜面并加入 3 g 纯净水混匀, 再加入 5 μ L 质量浓度为 10 ppm 的庚酸甲酯作为内标于顶空瓶内。60 °C 水浴 40 min, 萃取吸附 40 min, 在温度为 250 °C 的进样口解析 5 min 后进行 GC-MS 分析。

GC 条件: 色谱柱为 AGILENT HP-5MS 毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm, 膜厚 0.25 μ m); 程序升温: 柱温 40 °C 保持 4 min 后以 6 °C/min 升温至 230 °C, 保持 12 min; 进样口温度为 250 °C; 载气为高纯氦气, 流速为 1.0 mL/min; 进样方式: 不分流模式。

MS 条件: 离子源温度 230 °C, 传输线温度

280 °C; 电离方式 EI; 电子能量 70 eV, 质子扫描范围 33~650 m/z, 全扫描采集数据。

1.4 数据处理

实验利用 Excel 进行数据处理, 利用 SPSS 26.0 进行显著性分析, 利用 origin 2022 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同品种小麦粉及其面条的品质指标统计分析

图 1 为不同品种小麦粉外观图。由表 2 可知, 小麦粉的灰分含量、湿面筋含量、粉质特性、水溶性指数、衰减值, 面条质构特性和蒸煮特性的变异系数较大, 表明样品之间具有一定的差异性, 所选样品具有代表性。小麦粉灰分含量均低于

0.70%，湿面筋含量均超过 22.0%，吸水率大于等于 60.0%，达到国家标准的质量要求。粉质指标可决定小麦粉的加工特性，形成时间、稳定时间及弱化度的变异系数分别为 34.13%、51.84%、178.89%，其中衡 S29 的形成时间和稳定时间最短，弱化度最大，石优 17 和冀麦 U80 的形成时间和稳定时间较长，说明在所有样品中衡 S29 粉质特性较差。回生值用于表征淀粉分子的老化程度，而衡 S29 的回生值最低，说明衡 S29 制作的面制品不易老化。面条质构指标中硬度、咀嚼性的变异系数分别为 18.27%、25.44%，其中冀麦 U80、冀优 2018、冀麦 765 及石 4366 面条具有较好的质构特性。面条蒸煮损失率的变幅为 4.11%~6.90%，且 10 种面条在煮制过程中均无断条现象，表明本研究所选品种小麦面条具有良好的蒸煮特性。

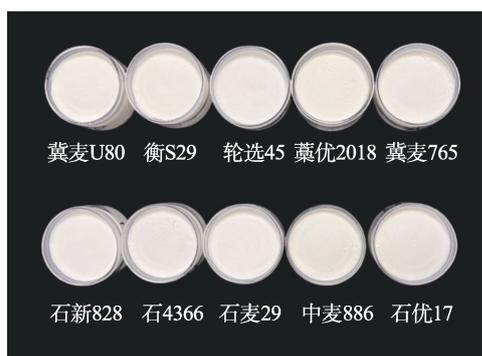


图 1 不同品种小麦粉

Fig.1 Different varieties of wheat flour

2.2 不同品种小麦粉面团的流变学特性

由图 2a 和 2b 可知，在频率测定范围内，10 种小麦粉面团粘弹性模量变化趋势一致，弹性模量 (G') 始终高于粘性模量 (G'')，呈现弹性大于粘性的流体特性。Tan $\delta < 1$ 时，样品的性质类似于固体，Tan $\delta > 1$ 时，样品性质类似于流体或粘性系统，Tan δ 值越小，样品组分之间凝聚力越高，反之则越低^[16]。由图 2c 可知，10 种小麦粉面团的 Tan $\delta < 1$ ，面团属于具有粘弹性的固体。在所选小麦品种中，冀麦 U80、中麦 886 及冀优 2018 的弹性模量 (G') 和粘性模量 (G'') 较高，Tan δ 值较低；衡 S29、石麦 29 及石新 828 的弹性模量 (G') 和粘性模量 (G'') 较低，Tan δ 值较高，说明冀麦

U80、中麦 886 及冀优 2018 面团的粘弹性和聚合度优于其他品种小麦粉。

表 2 不同品种小麦粉和面条品质指标统计值
 Table 2 Statistical values of wheat flour and noodle quality indexes of different varieties

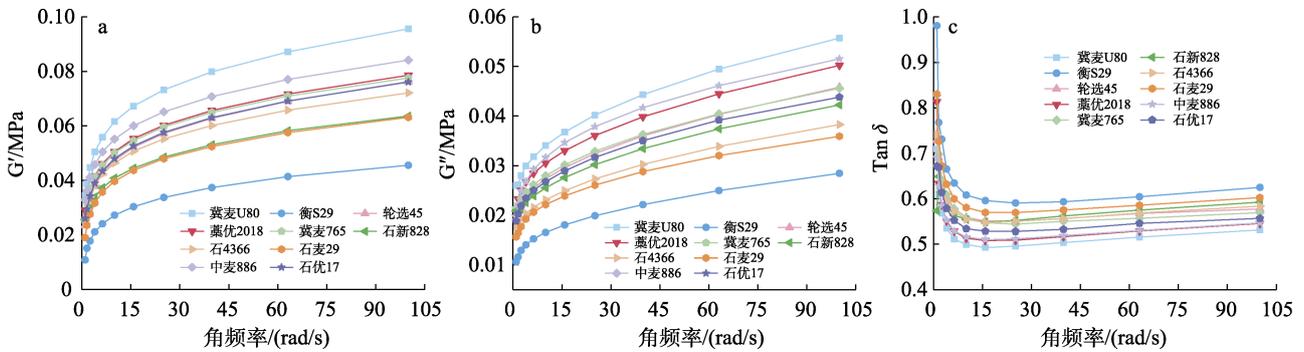
| | 指标 | 变幅 | 变异系数 (%) | |
|------|-------------|-----------------|-----------|-------|
| 基本成分 | 蛋白质 (%) | 11.61~13.78 | 6.10 | |
| | 水分 (%) | 12.53~12.90 | 1.36 | |
| | 淀粉 (%) | 68.43~73.49 | 2.46 | |
| | 脂肪 (%) | 2.67~3.33 | 6.93 | |
| | 灰分 (%) | 0.30~0.59 | 17.95 | |
| | 湿面筋 (%) | 27.57~36.50 | 9.50 | |
| | 吸水率 (%) | 60.0~64.9 | 2.38 | |
| 粉质特性 | 形成时间 (min) | 2.33~7.00 | 34.13 | |
| | 稳定时间 (min) | 2.00~31.83 | 51.84 | |
| | 弱化度 (FU) | 0.00~110.67 | 178.89 | |
| | 持水力 (g/g) | 5.40~6.12 | 4.01 | |
| | 水溶性指数 (%) | 5.80~10.41 | 20.13 | |
| 水合特性 | 膨润力 (g/g) | 5.07~5.67 | 3.66 | |
| | 峰值粘度 (cp) | 2 420~3 138 | 8.61 | |
| | 最低粘度 (cp) | 1 633~1 940 | 4.63 | |
| | 糊化特性 | 衰减 (cp) | 679~1 267 | 18.52 |
| | 最终粘度 (cp) | 3 237~3 926 | 5.43 | |
| | 回生值 (cp) | 1 576~1 986 | 6.89 | |
| | 糊化温度 (°C) | 66.80~69.40 | 1.26 | |
| 色度 | L^* | 92.325~92.688 | 0.12 | |
| | a^* | 2.043 1~1.828 0 | 3.69 | |
| | b^* | 12.994~15.889 | 6.06 | |
| | 白度 | 82.260~84.957 | 0.95 | |
| | 硬度 (N) | 2.55~4.40 | 18.27 | |
| 质构特性 | 内聚性 (Ratio) | 0.50~0.70 | 10.06 | |
| | 弹性 (mm) | 0.47~0.56 | 7.35 | |
| 蒸煮特性 | 咀嚼性 (mJ) | 0.70~1.60 | 25.44 | |
| | 面条吸水率 (%) | 105.74~144.05 | 10.18 | |
| | 蒸煮损失率 (%) | 4.11~6.90 | 14.30 | |

2.3 不同小麦品种的面团水分分布

小麦粉中的淀粉、蛋白质等成分与水之间的相互作用对面团的加工特性有显著影响，与面团的结构特性密切相关。弛豫时间的长短能够反映小麦粉中水分与淀粉及蛋白质等物质的结合强度，影响着小麦制品的品质和稳定性^[17]。由图 3 所示，利用低场核磁共振仪检测出小麦面团中的水分状态主要有结合水、弱结合水和自由水，峰值 T_{21} 、 T_{22} 及 T_{23} 分别是横向弛豫时间。由水分分布图可知，小麦面团中的水分主要以弱结合水

的形式存在，且出现结合水和弱结合水弛豫峰合并现象。中麦 886、冀麦 U80 及石优 17 的总体峰面积较大，而衡 S29 及石麦 29 的总体峰面积较小，说明中麦 886、冀麦 U80 及石优 17 面团

中水与大分子结合紧密，结合水和半结合水较多。在所选择的 10 个品种小麦粉中，各样品面团结合水和弱结合水含量差异较为明显，而自由水含量差异较小。



注：a 为 G' 、b 为 G'' 、c 为 $\text{Tan } \delta$ 。
Note: a, G' ; b, G'' ; c, $\text{Tan } \delta$.

图 2 不同品种小麦粉面团的流变学特性

Fig.2 Rheological properties of wheat flour dough of different varieties

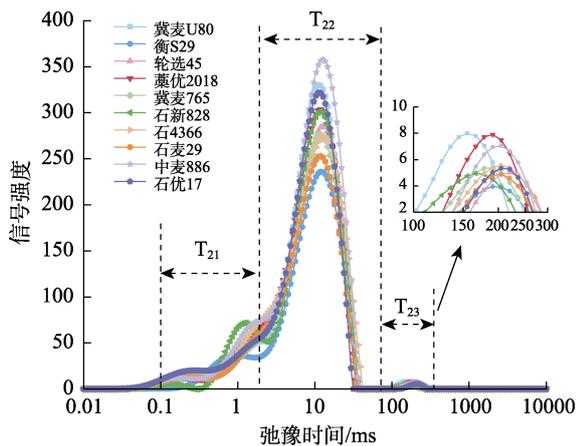


图 3 不同品种小麦面团水分分布结果

Fig.3 Water distribution results of wheat dough of different varieties

2.4 不同小麦品种的面条感官评价

对小麦面条的表观状态、色泽、韧性、黏性、食味及适口性 6 个指标进行感官评价，由图 4 可知，感官评分的变幅为 79.89 分~85.05 分，变异系数为 1.95%，其中冀麦 U80、冀优 2018 及中麦 886 的感官评分较高，而衡 S29 和石麦 29 的感官评分较低，其余品种小麦面条的感官评分差异不显著，因此，感官评分变异系数较小。通过感官评价发现 10 个品种小麦面条的感官食用品质均较好。

2.5 不同小麦品种的面条挥发性物质

由图 5 可知，从 10 种小麦面条中共检测出

30 种挥发性物质，包括酯类（6 种）、醛类（8 种）、醇类（4 种）、酮类（8 种）、烃类（3 种）、和杂环类（1 种）。正己醛、正庚醛、壬醛、癸醛、正戊醇、正己醇、2-乙基己醇、2-庚酮、十四烷为 10 种小麦面条共有且含量较高的挥发性物质。正己醛具有甜味、青草味、油脂味和水果味^[18]，冀优 2018（56.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）中正己醛含量最高。壬醛具有脂肪味、柑橘味、青草味、玫瑰味和蜡味^[19]，冀麦 U80（52.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）和衡 S29（49.35 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）中壬醛含量较高。正戊醇具有水果味和甜味^[18]，冀麦 U80（45.52 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）、冀麦 765（41.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）中正戊醇含量较高。10 个品种小麦面条中，石新 828 挥发性物质含量相对较低，主要挥发性物质为正己醛（10.39 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）、正庚醛（7.61 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）、壬醛（12.72 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）、正戊醇（12.53 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）、2-乙基己醇（4.55 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ）。综上所述，本研究选择的 10 个品种小麦面条挥发性物质含量具有差异，小麦面条中的特征挥发性物质主要是醛类、醇类和酮类。

2.6 不同品种小麦粉及面条品质相关性分析

对小麦粉品质指标和面条品质指标进行相关性分析。由图 6 可知，小麦粉蛋白质含量与湿面筋含量呈显著正相关（ $P < 0.05$ ），而湿面筋含量与面条品质指标并无显著相关性。灰分含量与小麦

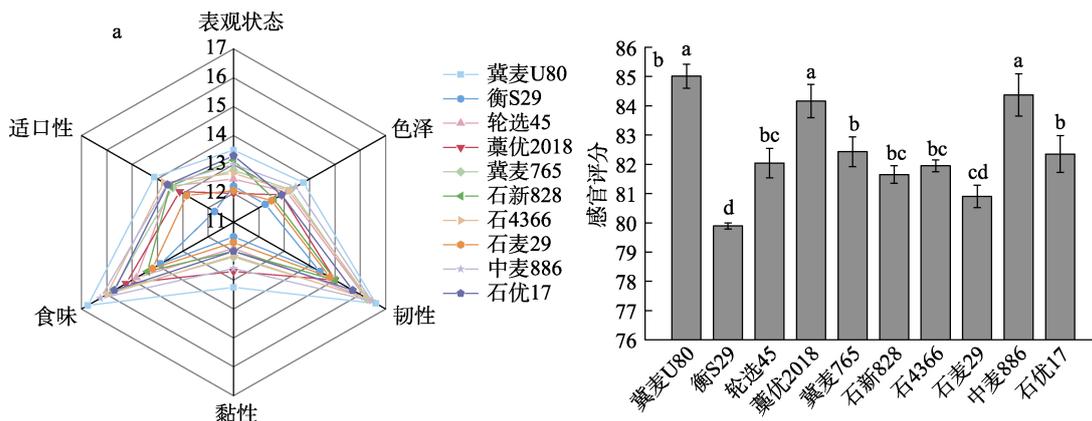


图 4 不同品种小麦面条感官评价测定结果

Fig.4 Results of sensory evaluation of different varieties of wheat noodles

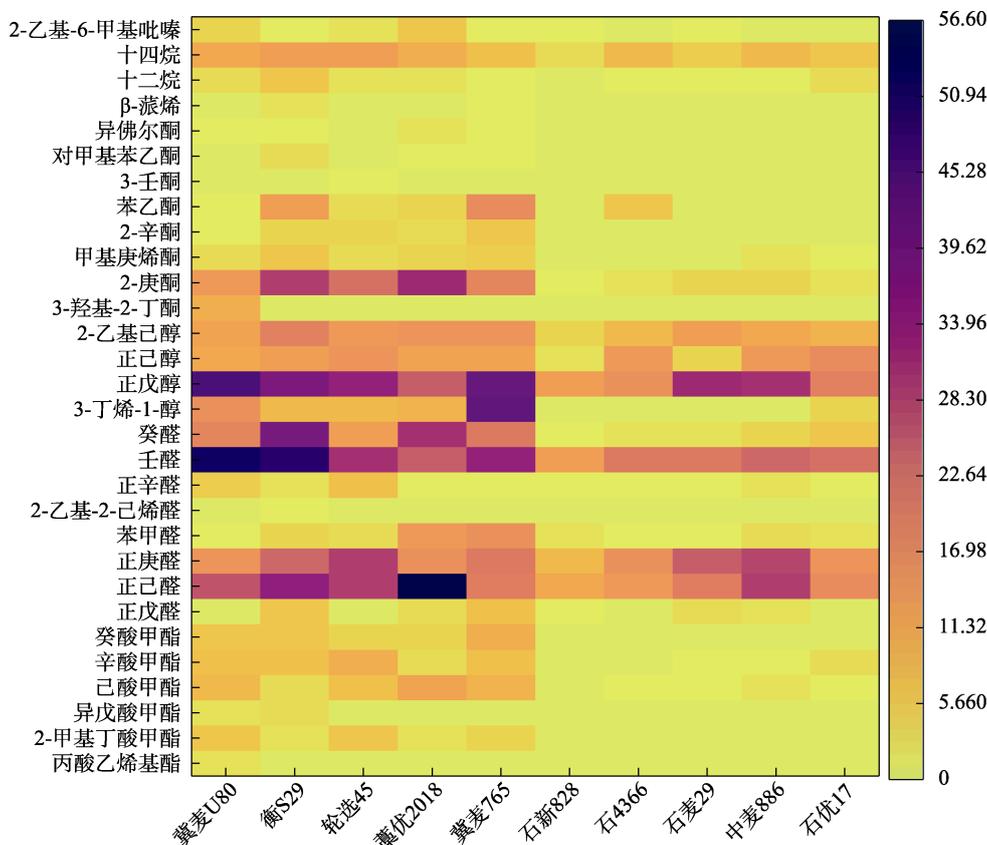


图 5 不同品种小麦面条挥发性物质测定结果

Fig.5 Determination results of volatile substances in wheat noodles of different varieties

粉吸水率、持水力及面条吸水率呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与小麦粉膨润力呈显著正相关 ($P < 0.05$)。形成时间与稳定时间、 L^* 值、白度及感官评价呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与峰值粘度、衰减值、内聚性及咀嚼性呈显著正相关 ($P < 0.05$), 稳定时间与内聚性呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与硬度呈显著正相关 ($P < 0.05$), 索婷等^[20]研究表明小麦粉稳定时间与面条咀嚼性呈显著正相关。弱化度

与形成时间、稳定时间、硬度、内聚性、 L^* 值、白度及感官评价呈显著负相关 ($P > 0.05$), 与面条咀嚼性呈极显著负相关 ($P > 0.01$)。水溶性指数与面条蒸煮损失率呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。峰值粘度与衰减值、最终粘度呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与最低粘度、回生值、 L^* 值、白度及感官评价呈显著正相关 ($P < 0.05$), 糊化温度与最终粘度、回生值呈极显著负相关 ($P > 0.01$),

与最低粘度呈显著负相关 ($P>0.05$)。面条咀嚼性与硬度、内聚性、弹性呈极显著正相关 ($P<0.01$)，与感官评价呈显著正相关 ($P<0.05$)。综上所述，小麦粉品质指标与面条品质指标具有相关性。小麦粉的持水力、吸水率越高，面条煮制过程中吸水率也越高。面团形成时间与稳定时间越长，说明面团韧性越好，面筋强度越大，面团的加工性

越好，对面条品质产生积极影响，与面条质构指标及感官评分呈正相关；面团的弱化度越大，说明面粉筋力越弱，因此，弱化度与面条的质构指标及感官评价呈负相关^[21]。小麦粉峰值粘度和衰减值越大，说明在糊化过程中淀粉的破碎程度越大，赋予小麦面条更好的口感，因此峰值粘度和衰减值与小麦面条感官评分呈正相关。

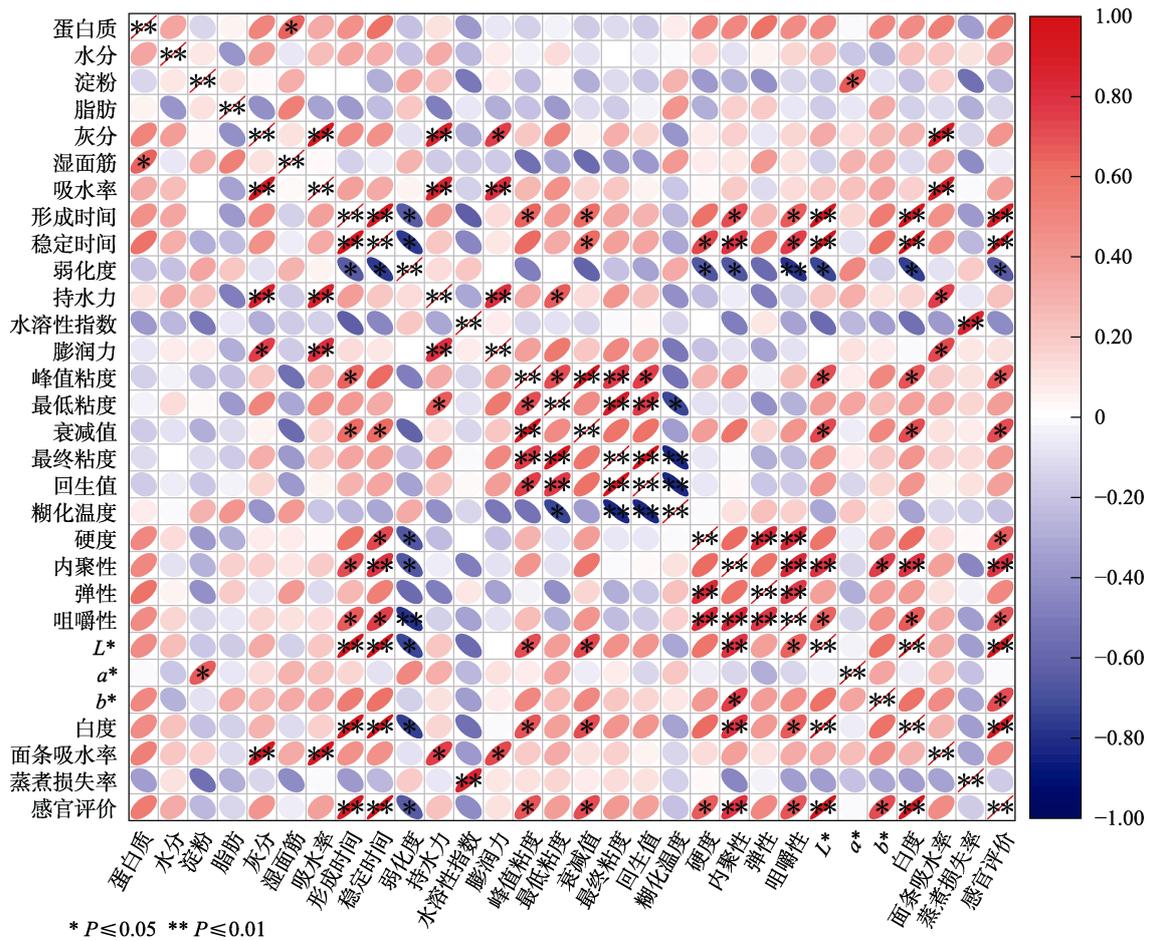


图 6 小麦粉及面条品质相关性分析
Fig.6 Correlation analysis of wheat flour and noodle quality

3 结论

本研究对石家庄地区 10 种小麦粉及面条的品质指标进行统计分析发现，大部分小麦粉和面条的品质指标变异系数较大，具有较好的代表性。小麦粉灰分含量均低于 0.70%，湿面筋含量均超过 22.0%，吸水率大于等于 60.0%，10 个品种小麦粉均达到国家标准的质量要求。冀麦 U80、中麦 886 及藁优 2018 面团的粘弹性和聚合度优于其他品种小麦粉，中麦 886、冀麦 U80 及石优 17 面

团中结合水和半结合水较多。小麦面条中的特征挥发性物质主要是醛类、醇类和酮类，冀麦 U80、藁优 2018、冀麦 765 及衡 S29 中含有的特征挥发性物质含量较高。综合各项指标分析，冀麦 U80、藁优 2018、冀麦 765 及中麦 886 四种小麦粉品质较好，其制作的面条也具有较好的质地和口感。

此外，对小麦粉品质指标及面条品质指标进行相关性分析发现，小麦粉持水力、膨润力、吸水率及面条吸水率之间呈显著或极显著正相关，

水溶性指数与面条蒸煮损失率呈极显著正相关。面团形成时间、稳定时间与面条质构指标和感官评价呈显著或极显著正相关,弱化度与面条质构指标及感官评价呈显著或极显著负相关。面条感官评价与峰值粘度、衰减值,面条硬度、内聚性、咀嚼性, L^* 值、 a^* 值、白度呈显著或极显著正相关。综上所述,小麦粉的品质指标及面条品质指标之间具有相关性,说明小麦粉的各项品质指标在一定程度可用于预测小麦面条的品质。此研究可为石家庄地区小麦粉及面条加工提供部分基础数据及理论参考。

参考文献:

- [1] ZHANG Y Y, ZHOU H W, ZHAO H Y, et al. Dynamic behaviors of protein and water associated with fresh noodle quality during processing based on different HMW-GSs at Glu-D1[J]. *Food Chemistry*, 2024, 453139598.
- [2] 温娅晴, 林顺顺, 张剑, 等. 小麦粉的品质特性与生鲜面品质关系[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(10): 39-45.
WEN Y Q, LIN S S, ZHANG J, et al. Relationship between characteristics of wheat flour and quality of fresh wet noodles[J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(10): 39-45
- [3] 秦博闻, 王红玲, 熊文飞, 等. 淮海经济区不同品种小麦面团品质特性比较分析[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(1): 13-20.
QIN B W, WANG H L, XIONG W F, et al. Comparative analysis of dough quality characteristics of different wheat varieties in Huaihai economic zone[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(1): 13-20.
- [4] 王天姣, 杨玉玲, 关二旗, 等. 黄淮麦区主栽小麦品种蛋白质品质特性与烩面质构关系的研究 [J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(4): 56-60+65.
WANG T J, YANG Y L, GUAN E Q, et al. Study on the relationship between Protein quality and texture of stewed surface of main wheat cultivars in Huanghuai wheat region [J]. *Cereals & Oils*, 2023, 36(4): 56-60+65.
- [5] 雍雅萍, 王吉力特, 李云玲, 等. 河套地区不同小麦粉品质特性对其面条品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(16): 226-232.
YONG Y P, WANG J L T, LI Y L, et al. Effects of different quality wheat flour on noodle quality in Hetao area[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(16): 226-232.
- [6] 王育红, 远兵强, 潘治利. 小麦粉糊化特性与冷冻熟制面条品质相关性研究 [J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(1): 43-47.
WANG Y H, YUAN B Q, PAN Z L. Study on the correlation between gelatinization characteristics of wheat flour and quality of frozen cooked noodles[J]. *Cereals & Oils*, 2023, 36(1): 43-47.
- [7] 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 suitability of fresh wheat flour noodles in Guanzhong plain[J]. *Journal of Triticum Crops*, 2023, 43(5): 600-608.
- [8] 孙晓晓, 刘敬科, 赵巍, 等. 球磨改性对小米全粉理化特性及其面条品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2023, 44(9): 39-46.
SUN X X, LIU J K, ZHAO W, et al. Effects of ball milling modification on physicochemical properties of millet flour and noodle quality characteristics[J]. *Food Science*, 2023, 44(9): 39-46.
- [9] LIN X J, ZHANG X Y, DU B, et al. Morphological, structural, thermal, pasting, and digestive properties of starches isolated from different varieties of rice: a systematic comparative study[J]. *Foods*, 2023, 12(24).
- [10] 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.
LV J Q. Effect of gluten on dough characteristics and noodle quality of five kinds of multi-grain[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Economics and Business, 2021.
- [11] INGLETT, CHEN D J, LIU S X. Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth-oat composites[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(1): 214-220.
- [12] WANG H C, GANG C, LIN W, et al. Combination of LF-NMR and BP-ANN to monitor the moisture content of rice during hot-air drying[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2022, 45(9).
- [13] 李少辉, 赵巍, 闪光, 等. 谷子面粉添加量对馒头色度变化的影响[J]. *食品工业*, 2020, 41(10): 127-131.
LI S H, ZHAO W, MIN G, et al. Effect of grain flour addition on color change of steamed bread [J]. *Food Industry*, 2020, 41(10): 127-131.
- [14] LI L Y, ZHOU W H, WU A Q, et al. Effect of ginkgo biloba powder on the physicochemical properties and quality characteristics of wheat dough and fresh wet noodles[J]. *Foods*, 2022, 11(5): 698.
- [15] 任国宝, 任晨刚, 曾维鹏, 等. 全麦粉品质及其挥发性物质研究[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(10): 8-15.
REN G B, REN C G, ZENG W P, et al. Study on quality and volatile substances of whole wheat flour[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(10): 8-15.
- [16] 刘炳莉, 樊红秀, 邵添, 等. 银耳多糖抑制鲜湿面水分迁移及改善黏连的作用[J]. *食品科学*, 2023, 44(2): 79-86.
LIU B L, FAN H X, SHAO T, et al. Tremella fuciformis polysaccharides inhibited water migration and adhesion in fresh wet noodles[J]. *Food Science*, 2023, 44(2): 79-86.
- [17] 苏安祥, 杨琴, 李文, 等. 阿魏酸对全麦面团热机械特性及全麦馒头质构品质的改善作用[J]. *食品科学*, 2024, 45(5): 24-30.
SU A X, YANG Q, LI W, et al. Effects of ferulic acid on thermo-mechanical properties of whole wheat dough and structural quality of whole wheat steamed bread[J]. *Food Science*, 2024, 45(5): 24-30.
- [18] 朱寅, 滕健. 小麦制品中挥发性成分的研究综述[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(2): 436-444.
ZHU Y, TENG J. Study on volatile components in wheat products[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(2): 436-444.
- [19] 许柠, 张国治, 刘艳香, 等. 全麦挂面特征风味化合物分析 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2020, 41(6): 47-54.
XU N, ZHANG G Z, LIU Y X, et al. Analysis of characteristic flavor compounds in whole wheat noodle[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2020, 41(6): 47-54.
- [20] 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 the relationship between wheat flour characteristics and wet surface quality[J]. *Journal of Food and Biotechnology*, 2024, 43(3): 54-65.
- [21] 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. Relationship between wheat quality and fresh and wet flour quality[J]. *Food & Machinery*, 2017, 33(12): 6-11. 

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://llyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。