

基于多元统计分析方法构建鲜湿米粉专用粉评价体系

吴森源, 廖卢艳, 任贤龙, 刘操, 吴卫国

Development of an Advanced Quality Assessment System for Specialized Flour for Fresh Rice Noodles Employing Multivariate Statistical Techniques

WU Miaoyuan, LIAO Luyan, REN Xianlong, LIU Cao, and WU Weiguo

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024060249>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

小麦水溶性阿拉伯木聚糖对大米粉加工特性及鲜湿米粉食用品质的影响

Effects of Wheat Water-extractable Arabinoxylanon on the Processing Properties of Rice Flour and Eating Quality of Fresh Rice Noodles

食品工业科技. 2025, 46(5): 56–62 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024030133>

基于HS-SPME-GC-MS和多元统计分析三种红茶特征挥发性成分

Analysis of Characteristic Volatile Components of Three Kinds of Black Tea Based on HS-SPME-GC-MS and Multivariate Statistics

食品工业科技. 2023, 44(17): 342–350 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110267>

基于多元统计分析的不同品种和嫩度大叶种茶树新梢主要滋味物质的比较

Comparison on Main Flavoring Substances in New Shoots of Large Leaf Tea Cultivars with Different Varieties and Tenderness Based on Multivariate Statistical Analysis

食品工业科技. 2022, 43(24): 81–92 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022030222>

基于多元统计分析的曹妃甸区24份盐地碱蓬成分指标综合评价

Comprehensive Evaluation of Component Indexes of 24 Samples of *Suaeda salsa* in Caofeidian District Based on Multivariate Statistical Analysis

食品工业科技. 2021, 42(15): 78–84 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120135>

基于多元统计的米饭品质评价研究

Study on Rice Quality Evaluation Based on Multivariate Statistics

食品工业科技. 2022, 43(10): 8–15 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021120265>

不同品种紫薯粉鲜湿面条的品质特性及主成分分析

Quality Characteristics and Principal Component Analysis of Fresh Noodles with Purple Sweet Potato Flour of Different Varieties

食品工业科技. 2020, 41(1): 79–85,124 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.01.014>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

吴森源, 廖卢艳, 任贤龙, 等. 基于多元统计分析方法构建鲜湿米粉专用粉评价体系 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(9): 307–316. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060249

WU Miaoyuan, LIAO Luyan, REN Xianlong, et al. Development of an Advanced Quality Assessment System for Specialized Flour for Fresh Rice Noodles Employing Multivariate Statistical Techniques[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(9): 307–316. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060249

· 分析检测 ·

基于多元统计分析方法构建鲜湿米粉 专用粉评价体系

吴森源¹, 廖卢艳¹, 任贤龙², 刘操³, 吴卫国^{1,*}

(1.湖南农业大学食品科学技术学院,湖南长沙 410128;

2.湖南角山米业有限责任公司,湖南衡阳 421200;

3.桃源县兴隆米业科技开发有限公司,湖南常德 415705)

摘要:为了探究不同大米粉质与鲜湿米粉品质指标的关系,筛选鲜湿米粉专用粉的特征指标及阈值区间。本研究以桂朝米为原料,通过不同制粉方法(干法、湿法、半干法)、磨粉粒度(60、80、100、120目)制备了28种大米粉,测定了大米粉的直链淀粉含量、粗蛋白含量、破损淀粉含量、粒径D₅₀、水合特性、糊化特性,以及鲜湿米粉的质构特性、蒸煮特性、模糊感官评分等指标。通过描述性分析、相关性分析、主成分分析、逐步回归和聚类分析等多元统计方法,系统评估了大米粉质指标与鲜湿米粉品质之间的关系,建立了鲜湿米粉专用粉的理论评价模型,确定了适用于鲜湿米粉加工的大米粉特征指标及其阈值区间。结果表明,不同制粉工艺制备大米粉的直链淀粉、粗蛋白无显著差异;相同粒度条件下,湿磨粉的综合得分高于干磨粉和半干磨粉,制成鲜湿米粉的感官品质更佳;相同制粉方法下,100~120目时的综合得分和感官得分最高;鲜湿米粉专用粉综合评价模型为Y=-28.141-0.06X₄+1.035X₅+0.05X₈ ($R^2=0.937$, $P<0.01$) ;适宜加工鲜湿米粉的特征指标阈值区间为:半干磨粉D₅₀在88.65~146.21 μm之间,湿磨粉D₅₀在10.34~47.36 μm之间;大米粉的吸水性大于10.15 g/g、峰值粘度大于3235.00 cP。本研究有助于企业开发鲜湿米粉专用粉,建立线上配粉系统,对鲜湿米粉专用粉的标准化、工业化生产具有重要意义。

关键词:多元统计分析方法,鲜湿米粉专用粉,评价体系,制粉工艺,磨粉粒度,品质控制

中图分类号:TS212.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2025)09-0307-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024060249

本文网刊:



Development of an Advanced Quality Assessment System for Specialized Flour for Fresh Rice Noodles Employing Multivariate Statistical Techniques

WU Miaoyuan¹, LIAO Luyan¹, REN Xianlong², LIU Cao³, WU Weiguo^{1,*}

(1. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Hunan Jiaoshan Rice Co., Ltd., Hengyang 421200, China;

3. Taoyuan Xinglong Rice Technology Development Co., Ltd., Changde 415705, China)

Abstract: This study aimed to elucidate the complicated relationship between diverse characteristics of rice flour and the quality indicators of fresh rice noodles, while at the same time as figuring out key parameters and threshold ranges for flour for fresh rice noodles production. Gui Chao rice was used as the foremost uncooked material. Rice flour underwent processing through a range of milling methods (dry, wet, and semi-dry) and grinding sizes (60, 80, 100, and 120 mesh),

收稿日期: 2024-06-17

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2024JJ7289);湖南重点领域研发计划项目(2019NK2131);湖南省研究生创新基金(QL20230178);湖南省农科院创新基金项目(2023CX88);2022年度湖南省企业科技创新创业团队项目(湖南角山米业稻米科技创业团队)。

作者简介: 吴森源(1999-),男,硕士研究生,研究方向:粮食深加工,E-mail: 1206824395@qq.com。

*通信作者: 吴卫国(1968-),男,博士,教授,研究方向:粮油加工,E-mail: 1061051403@qq.com。

yielding 28 unique rice flour samples. The rice flours had been comprehensively with the aid of assessing a variety of imperative parameters, together with amylose content, crude protein levels, damaged starch proportion, particle dimension distribution (D_{50}), water absorption properties, and pasting behavior. Furthermore, the quality of the fresh rice noodles was meticulously assessed via texture profile analysis, cooking quality attributes, and sensory assessment scores. An exhaustive and systematic evaluation was once conducted to elucidate the tricky relationship between rice flour traits and the quality of fresh rice noodles, involving an array of state-of-the-art multivariate statistical methods, which included descriptive statistics, correlation analysis, principal component analysis, stepwise regression, and cluster analysis. A tailored theoretical assessment model specifically designed for the specialized flour for fresh rice noodles was once developed, and the results characteristic indicators alongside with their corresponding threshold degrees were identified and delineated. The results indicated no statistically significant differences in amylose content and crude protein levels amongst rice flours produced using a variety of milling methods. Under identical grinding size conditions, wet-milled rice flour achieved superior overall scores in comparison to dry and semi-dry milled flours, resulting in accelerated sensory satisfactory in fresh rice noodles. Among the number of grinding sizes, flours with a mesh dimension of 100~120 demonstrated the highest basic and sensory scores. The evaluation model for the specialized flour intended for fresh rice noodles was represented by the equation $Y = -28.141 - 0.06X_4 + 1.035X_5 + 0.05X_8$ ($R^2 = 0.937$, $P < 0.01$). The most reliable threshold values for characteristic indicators in the processing of fresh rice noodles were as follows: Semi-dry milled flour needed to have a D_{50} ranging from 88.65 to 146.21 μm , whereas wet-milled flour had a D_{50} ranging from 10.34 to 47.36 μm . Additionally, rice flour should demonstrate a water absorption exceeding 10.15 g/g and a peak viscosity surpassing 3235.00 cP. This learn about appreciably contributes to the advancement of flour for fresh rice noodles, enables the development of on-line flour blending systems, and has substantial implications for the standardization and industrial production of flour used in fresh rice noodles.

Key words: multivariate statistical techniques; specialized flour for fresh rice noodles; assessment system; milling process; flour particle size; quality manipulate

鲜湿米粉是一种由米浆制成的特色美食,因其制作简便、口感柔滑、烹饪方式多样,深受消费者喜爱^[1]。然而,传统鲜湿米粉的制作工艺繁琐,包括大米除杂、浸泡、磨浆、过筛、糊化、冷却、切条等多道生产工序,存在步骤过多、效率较低等问题,难以满足市场扩张的需求^[2]。而利用鲜湿米粉专用粉可以省去大米预处理环节,具有环保、简单、高效等优点。目前,鲜湿米粉专用粉的生产方法主要有干法、半干法和湿法 3 种,不同制粉工艺会导致大米粉的理化性质、粒度分布、破损淀粉含量等有显著差异,进而影响鲜湿米粉品质^[3]。然而,目前大部分企业仅凭经验进行生产,无法保证鲜湿米粉专用粉的稳定性^[4]。因此,建立鲜湿米粉专用粉综合评价体系,筛选特征指标及其阈值区间对提升鲜湿米粉的质量管理水平具有重要意义。张聪男等^[5]探讨了大米原料特性对鲜湿米粉品质的影响,指出大米直链淀粉含量、支链淀粉含量、最终粘度、回生值等是影响鲜湿米粉品质的重要指标。周显青等^[6]、雷婉莹等^[7]通过多元统计方法确定了适宜加工鲜湿米粉的早籼稻/大米关键指标及阈值区间。上述研究反映了大米原料特性对鲜湿米粉品质的影响。然而,大米原料特性并不是唯一的影响因素,制粉工艺也对鲜湿米粉的品质具有显著影响。卫萍等^[8]研究表明,低温润米粉碎可降低大米淀粉破损程度,减少破损淀粉含量,其大米粉具有良好的糊化与凝胶特性。宋喜雅^[9]通过对不同制粉方法发现,干法制得的大米粉质较差,制成鲜湿米粉的硬度、蒸煮损失、断条率较高,而半干法与湿法制得的大米粉质接近,制成鲜湿米粉的蒸煮品

质较好。吴娜娜等^[10]、梁钦梅等^[11]指出,不同制粉工艺通过调节大米粉的粒度和破损淀粉含量,能够显著改变其水合特性和糊化特性,进而对鲜湿米粉的蒸煮特性、质构特性及感官品质产生重要影响。综上所述,以上研究尚未系统分析大米粉质与鲜湿米粉品质的关系,且缺少有效的鲜湿米粉专用粉评价体系和关键性指标范围,难以有效指导鲜湿米粉专用粉的标准化生产。

因此,本研究以桂朝米为原料,通过不同制粉工艺(干法、湿法、半干法)、磨粉粒度(60、80、100、120 目)制备了 28 种大米粉样品,并测定其理化性质(直链淀粉含量、粗蛋白含量、破损淀粉含量、 D_{50})、水合特性(吸水性、水溶性、溶胀性)、糊化特性(峰值粘度、谷值粘度、衰减值、最终粘度、回生值),与鲜湿米粉的质构特性(硬度、黏附性、弹性、内聚性、咀嚼性)、蒸煮特性(断条率、吐浆值)、模糊感官评分 20 个指标。通过描述性分析和相关性分析,探究了大米粉质与鲜湿米粉品质指标之间的变异情况和相关关系,利用主成分分析法和逐步回归法构建鲜湿米粉专用粉理论评价模型,结合聚类分析法确定鲜湿米粉加工用大米粉的特征指标及阈值区间,为鲜湿米粉专用粉的标准化、工业化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

桂朝米(水分含量 10.66%, 2022 年 7 月生产, 2023 年 12 月加工) 益阳市新强米业有限公司; Megazyme 破损淀粉试剂盒 爱尔兰 Megazyme 公

司; 盐酸 上海正云化工有限公司; 氢氧化钠 河南化工有限公司; 碘化钾 广东光华科技股份有限公司; 碘 天津市科密欧化学试剂有限公司; 硼酸、硫酸、硫酸铜、硫酸钾、硫代硫酸钠 国药集团化学试剂有限公司; 以上试剂均为分析纯。

AE2204 电子分析天平 长沙新开发区湘仪天平仪器设备有限公司; TQ-1000Y 高速多功能粉碎机

永康市天祺盛世工贸有限公司; SY601 商用破壁料理机 佛山市喜莱电器有限公司; GFL-230 电热鼓风干燥箱 天津市莱玻特瑞仪器设备有限公司; K9840 自动凯氏定氮仪 山东海能科学仪器有限公司; RAV-3D 快速粘度分析仪 澳大利亚 Newport 科学仪器公司; TDZ5 台式低速离心机 湖南赫西仪器装备有限公司; Malvern2000 马尔文粒度分析仪 英国马尔文仪器有限责任公司; TA-XT2i Plus 质构仪 英国 Stable Micro Systems 公司; SYWF-50 水浴恒温振荡器 常州恒睿仪器设备制造有限公司; MZ-SYS28-2B 美的中式电蒸锅 广东美的生活电器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 干磨粉制备: 大米经除杂、磨粉后, 于 40 ℃ 烘干水分至 10% 以下, 过 60、80、100、120 目筛网, 备用; 湿磨粉制备: 室温下(25 ℃), 按米水比为 1:1、1:2、1:3 浸泡大米 5 h 后进行磨浆, 于 40 ℃ 烘干水分至 10% 以下, 过 60、80、100、120 目筛网, 备用; 半干磨粉制备: 设置目标大米水分别为 20%、24%、28%, 取适量大米于密封袋, 按式(1)加入相应的蒸馏水, 待充分混匀后, 于室温下润米 5 h, 再磨粉过 60、80、100、120 目筛网, 于 40 ℃ 烘干水分至 10% 以下, 备用。

$$\text{加水量}(\text{mL}) = \frac{m \times (w_1 - w_2)}{1 - w_1} \quad \text{式 (1)}$$

式中: m 表示大米重量, g; w₁ 表示目标水分, %; w₂ 表示原始水分, %。

1.2.2 鲜湿米粉制作工艺流程 大米粉→加水搅拌(粉水比为 1:1.5)→蒸粉(100 ℃, 95 s)→冷却(5 min)→老化(25 min)→切条→成品。

1.2.3 理化性质测定 直链淀粉含量测定: 参照 GB/T 15683-2008 标准; 粗蛋白含量测定: 参照 GB 5009.5-2016 标准, 凯氏定氮法。破损淀粉测定: 采用 Megazyme 试剂盒法; 粒度大小测定: 使用激光粒度分布仪测定, 选择 D₅₀ 作为代表值。

1.2.4 水合性质测定 参考 Heo 等^[12] 方法, 略作改动。精准称量 0.1±0.001 g 大米粉, 加入 20 mL 蒸馏水充分摇匀, 在 90 ℃ 水浴恒温振荡箱中振动 30 min, 冷却后 5000 r/min 离心 30 min。将上清液倒入已恒重的铝盒中, 于 105 ℃ 干燥至恒重, 测定湿沉淀重量。计算得到吸水性、水溶性和溶胀性, 见式(2)~(4):

$$\text{吸水性}(\text{g/g}) = \frac{m_2}{m} \quad \text{式 (2)}$$

$$\text{水溶性}(\%) = \frac{m_1}{m} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

$$\text{溶胀性}(\text{g/g}) = \frac{m_2}{m \times (1 - \text{水溶性})} \quad \text{式 (4)}$$

式中: m 表示大米粉样品的重量, g; m₁ 表示上清液干燥至恒重的重量, g; m₂ 表示湿沉淀重量, g。

1.2.5 糊化性质测定 参照 Shi 等^[13] 方法进行 RVA 测定。测定样品含水量输入 TCW 测定程序, 称量相应的样品质量放入专用铝盒中, 加入 25 mL 蒸馏水, 使用配套搅拌桨混合均匀后, 放入 RVA 仪进行测试。

1.2.6 质构特性测定 参考舒星琦等^[14] 的方法, 略作改动。将鲜湿米粉切条成长 5 cm、宽 1 cm 的米粉条, 在沸水中煮熟 1 min 后, 置于蒸馏水中静置 60 s, 将样品叠放成两层进行后续测定。选择 TPA 模式, 探头型号 P/36R, 设置测前、测后速度 2 mm/s, 测中速度 1 mm/s, 压缩比 50%, 触发力 5 N。

1.2.7 蒸煮特性测定 断条率测定: 参考罗文波等^[15] 的方法, 制备 20 根 20 cm 的米粉条, 于 500 mL 沸水中煮沸 1 min 后, 将其置于蒸馏水中冷却, 捞出沥干水分, 记录超过 10 cm 的米粉条数。按式(5)计算断条率。

$$\text{断条率}(\%) = \frac{20 - X}{20} \times 100 \quad \text{式 (5)}$$

式中: X 表示超过 10 cm 的米粉条数。

吐浆值测定: 参考 Supawadee 等^[16] 的方法, 先测定鲜湿米粉水分含量, 称取约 20 g 的米粉条, 放入盛有 500 mL 沸水的烧杯中煮沸 2 min, 冷却至室温后用蒸馏水定容至 500 mL, 取出 50 mL 的汤汁样品于已恒重的器皿中, 将其置于 105 ℃ 干燥至恒重。按式(6)计算吐浆值。

$$\text{吐浆值}(\%) = \frac{10 \times (m_2 - m_1)}{m_0 \times (1 - W)} \times 100 \quad \text{式 (6)}$$

式中: W 表示鲜湿米粉水分含量, %; m₀ 表示鲜湿米粉的重量, g; m₁ 表示恒重后器皿的重量, g; m₂ 表示取出汤汁并干燥至恒重的重量, g。

1.2.8 模糊感官评价 将 1.2.1 中的大米粉依次记作样品 1~样品 28, 再按 1.2.2 的方法依次制成鲜湿米粉。参考 T/HNAGS 021-2023《湖南米粉 鲜湿米粉》标准和龚雪等^[17] 方法建立鲜湿米粉模糊数学感官评定标准, 见表 1。选择 10 名食品专业的研究生或教师(5 男, 5 女; 年龄在 20~60 岁之间), 根据表 1 进行评分, 去掉最高分和最低分, 取平均值。开始评定前 60 min 内, 不沾烟酒等刺激性强的食品, 且两样品之间用清水漱口。根据刘士伟等^[18] 方法, 确定评定论域 U={u₁, u₂, u₃, u₄}={气味, 外观结构, 质地特性, 滋味}; 评语论域 V={v₁, v₂, v₃, v₄}={优, 良, 中, 差}={90, 80, 70, 60}; 确定权重集 A={a₁, a₂, a₃, a₄}={

表1 鲜湿米粉模糊数学感官评定标准
Table 1 Fuzzy mathematical sensory assessment criteria of fresh rice noodles

一级指标	二级指标	具体特征描述	等级
气味(15分)	米香味(15分)	具有纯正、浓郁米香味,无其他异味	优、良、中、差
	色泽(10分)	具有白润色泽,有光泽且无可见杂质	
外观结构(25分)	结构(15分)	粉条结构紧密,无并条、碎粉和断条	优、良、中、差
	黏度(10分)	口感爽滑,不粘牙,不夹生	
口感(35分)	硬度(13分)	软硬适中,不碜牙	优、良、中、差
	弹性(12分)	弹性、韧性适中	
滋味(25分)	味道(25分)	有嚼劲且咀嚼时有米香味,无异味	优、良、中、差

注:优为90~100分,良为80~89分,中为70~79分,差为60~69分。

{0.15, 0.25, 0.35, 0.25}; 模糊综合评判集 $X = A \cdot R$, 其中 R 为模糊矩阵, 感官评分 $Y = V \cdot X$ 。

1.3 数据处理

选用 SPSS Statistics 26.0 软件对各指标进行描述性分析、相关性分析、主成分分析、逐步回归、聚类分析, 使用 Origin 2021 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 鲜湿米粉的模糊数学感官评价

2.1.1 模糊感官评分统计 由 10 人组成评价小组对 1.2.8 中的鲜湿米粉进行感官评价。以样品 1 制备的鲜湿米粉感官评分为例, 见表 2。

表2 鲜湿米粉模糊感官评分统计

Table 2 Statistics of fuzzy sensory scores of fresh rice noodles

指标	优 V_1	良 V_2	中 V_3	差 V_4
气味 u_1	7	2	1	0
外观结构 u_2	0	2	2	6
质地特性 u_3	7	1	1	1
滋味 u_4	6	1	2	1

2.1.2 模糊矩阵 根据样本 1 的感官评价结果, 建立鲜湿米粉的模糊数学矩阵 R_1 。

$$R_1 = \begin{bmatrix} 7/10 & 2/10 & 1/10 & 0/10 \\ 0/10 & 2/10 & 2/10 & 6/10 \\ 7/10 & 1/10 & 1/10 & 1/10 \\ 6/10 & 1/10 & 2/10 & 1/10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix}$$

2.1.3 模糊综合评判集 根据矩阵计算得到模糊综合评价集合 X_1 。同理, 可得到 $X_2 \sim X_{28}$ 的模糊综合评价集合。由表 3 可知, 在相同粒度条件下, 湿法制备的鲜湿米粉被评为“优”或“良”的人数较多, 而干法制备的鲜湿米粉则相对较少, 半干法制备的鲜湿米粉介于两者之间。这一现象可能与不同制粉工艺过程中大米的水分含量有关。湿法制粉由于在磨粉前大米经过充分浸泡, 使得大米的水分含量较高。因此, 在磨粉过程中, 淀粉的热损伤较少、破损程度较低, 从而改善了鲜湿米粉的食用品质^[19]; 在相同制粉方法

下, 随着大米粉粒度的减小, 被评为“中”或“差”的样品数逐渐减少。这是因为较小粒度的粉末有利于大米粉的充分糊化, 从而形成更加紧密的凝胶网络结构, 减少了蒸煮过程中鲜湿米粉的断条率和蒸煮损失^[2]。上述结果表明, 评价小组的打分较为客观, 具有较高的参考价值, 这有助于后续模糊感官得分的计算。

$$X_1 = A \times R_1 = (0.15, 0.25, 0.35, 0.25) \times$$

$$\begin{bmatrix} 0.7 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.7 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.1 & 0.2 & 0.1 \end{bmatrix} = (0.50, 0.14, 0.15, 0.21)$$

表3 模糊数学感官综合评价

Table 3 Comprehensive sensory evaluation of fuzzy mathematics

样品编号	制粉方法	磨粉粒度(目)	模糊综合评价集合 X				模糊感官得分 Y (分)
			优	良	中	差	
1	干法	60	0.50	0.14	0.15	0.21	77.80
2		80	0.51	0.18	0.14	0.20	81.48
3		100	0.68	0.19	0.04	0.13	86.25
4		120	0.81	0.09	0.03	0.09	87.75
5	湿法=1:1	60	0.66	0.16	0.06	0.19	87.48
6		80	0.81	0.06	0.00	0.18	88.33
7		100	0.71	0.25	0.04	0.07	90.38
8		120	0.95	0.05	0.00	0.02	90.07
9	湿法=1:2	60	0.63	0.15	0.13	0.19	88.85
10		80	0.71	0.22	0.04	0.09	89.40
11		100	0.94	0.10	0.00	0.00	92.05
12		120	0.91	0.09	0.03	0.00	90.15
13	湿法=1:3	60	0.66	0.14	0.19	0.10	89.43
14		80	0.68	0.16	0.18	0.06	89.93
15		100	0.75	0.13	0.19	0.00	90.62
16		120	0.76	0.12	0.18	0.01	90.37
17	半干法=20%	60	0.53	0.22	0.06	0.24	83.77
18		80	0.58	0.13	0.15	0.21	85.45
19		100	0.63	0.20	0.13	0.15	90.45
20		120	0.68	0.20	0.14	0.05	89.63
21	半干法=24%	60	0.54	0.26	0.09	0.13	83.65
22		80	0.59	0.29	0.05	0.11	85.73
23		100	0.69	0.25	0.07	0.07	90.45
24		120	0.63	0.30	0.09	0.06	89.92
25	半干法=28%	60	0.61	0.18	0.09	0.14	84.13
26		80	0.68	0.24	0.05	0.04	86.47
27		100	0.74	0.25	0.07	0.00	90.87
28		120	0.72	0.23	0.09	0.00	89.52

2.1.4 模糊感官得分 同理, 根据 $Y_1=V \times X_1=(90, 80, 70, 60) \times (0.50, 0.14, 0.15, 0.21)$ 计算可得到 $Y_2 \sim Y_{28}$ 模糊感官得分。从表 3 可以看出, 随着粒度的减小, 湿磨粉和半干磨粉制备鲜湿米粉的感官得分呈现出先上升后下降的趋势, 在 100 目时达到最大值。这可能是由于较小粒度的大米粉在磨粉过程中产生了更多的破损淀粉, 导致糊化冷却后形成的凝胶网络结构稳定性较差, 进而影响了鲜湿米粉的整体品质^[20]; 在相同粒度条件下, 鲜湿米粉的感官得分排名为: 湿法>半干法>干法, 这与模糊综合评价集合的结论一致。以上结果表明, 模糊数学感官评价能够较为准确地反映鲜湿米粉的感官品质及相关性能, 具有较高的可信度。

2.2 大米粉与鲜湿米粉品质指标分析

对 2.1 中大米粉进行粉质特性测定, 见表 4。结果表明, 在理化性质方面, 直链淀粉和粗蛋白的变异系数较小, 分别为 0.88%、1.86%, 数据分布较为集中, 这表明不同大米粉基本理化成分较为接近, 这一结果与陈凤莲等^[21]的研究结论相符; 相反, 破损淀粉和 D_{50} 的变异系数较大, 分别为 47.04% 和 77.16%, 数据分布范围较广, 这可能是由于大米加工过程中受到的机械作用力和热损伤不同所导致^[22]。水合特性是衡量大米淀粉中结合水与蛋白质能力的关键指标^[23]。其中吸水性、溶胀性的变异系数较小, 而水溶性变异系数则较大, 这可能与大米粉的粒径大小和破损淀粉含量有关。粒径较小的大米粉具有较高的孔隙率, 这有助于加速水分的渗透并扩大与水的接触面积, 从而改善大米粉的吸水性和溶胀性。然而, 粒度过小也会导致磨粉过程产生更多的破损淀粉, 破损淀粉在水解后会生成更多的可溶性分子, 从而使其溶解能力增加^[24]。大米糊化特性反映了淀粉分子在水和热共同作用下, 淀粉微晶束熔解的过程^[25]。其指标的变异系数较小, 数据离散度较低。综上所述, 不同大米粉质指标间存在不同差异, 这可能是由于大米制粉方法、工艺流程及加工强度不同所导致^[26]。

表 4 不同大米粉质特性描述性分析

Table 4 Descriptive analysis of the qualitative properties of different rice flour

	指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数(%)
理化性质	直链淀粉(%)	22.02	22.88	22.41	0.20	0.88
	粗蛋白(%)	8.13	8.88	8.58	0.16	1.86
	破损淀粉(%)	1.68	9.80	4.61	2.17	47.04
水合特性	$D_{50}(\mu\text{m})$	10.34	218.00	90.23	69.63	77.16
	吸水性(g/g)	9.40	12.18	10.75	0.57	5.33
	水溶性(%)	7.80	15.20	10.79	1.90	17.56
糊化特性	溶胀性(g/g)	10.98	13.32	12.04	0.55	4.59
	峰值粘度(cP)	2916.00	3688.00	3419.10	167.13	4.89
	谷值粘度(cP)	2338.00	2974.00	2733.95	140.31	5.13
	衰减值(cP)	422.00	969.00	673.71	102.65	15.24
	最终粘度(cP)	4444.00	5001.00	4688.93	139.34	2.97
	回生值(cP)	1709.00	2216.00	1956.17	112.96	5.77

对 1.2.8 中鲜湿米粉分别进行质构特性、蒸煮特性、模糊感官测定, 见表 5。结果表明, 在鲜湿米粉的质构特性方面, 弹性、内聚性的变异系数较小, 而咀嚼性、硬度、黏附性变异系数较大。在蒸煮特性方面, 断条率和吐浆值的变异系数均超过 35%, 说明不同制粉方法制备鲜湿米粉的蒸煮品质存在明显差异。其中, 断条率变异系数最大, 为 154.44%, 说明指标间数据离散程度大; 模糊感官评分的变异系数为 3.80%。综上所述, 各样本测定值离群点较少, 说明制备的样品具有一定代表性。然而, 由于大米粉质与其鲜湿米粉品质指标间贡献程度不同, 需要进一步分析上述指标间的相关关系。

表 5 鲜湿米粉品质指标描述分析
Table 5 Description and analysis of the quality indicators of fresh rice noodles

	指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数(%)
质构特性	硬度(g)	5931.98	9986.62	7702.76	1005.99	13.06
	黏附性(g·s)	71.64	199.27	110.97	28.67	25.83
	弹性	0.86	0.95	0.90	0.02	2.13
蒸煮特性	内聚性	0.57	0.74	0.67	0.05	6.75
	咀嚼性	4001.23	5911.33	4799.43	492.12	10.25
	断条率(%)	0.00	0.50	0.08	0.12	154.44
模糊感官	吐浆值(%)	1.12	4.81	2.40	0.93	38.90
	感官得分(分)	76.35	92.45	87.87	3.34	3.80

2.3 相关性分析

对 2.2 中大米粉的理化性质、水合特性与鲜湿米粉品质指标进行相关性分析, 见图 1。结果表明, 在理化性质方面, 直链淀粉与黏附性、断条率、吐浆值呈显著正相关($P<0.05$), 与弹性、内聚性呈显著负相关($P<0.05$)。这是因为直链淀粉在糊化和凝胶形成的过程中发挥关键作用, 能够直接影响鲜湿米粉的蒸煮品质和质构特性^[27]; 粗蛋白与断条率、吐浆值呈极显著正相关($P<0.01$), 与内聚性、感官评分呈显著负相关($P<0.05$)。这是因为蛋白质与淀粉的相互作用可以改善鲜湿米粉的结构及口感, 但过高的含量可能会干扰淀粉在糊化过程中的凝胶网络结构, 导致断条率增加和汤汁浑浊^[28]。破损淀粉是大米淀粉加工过程中, 因剪切、撞击、碰撞、摩擦等多种机械作用力下所产生的淀粉颗粒, 通常破损淀粉含量越多, 鲜湿米粉蒸煮特性、食用品质越差^[29]。其与硬度、黏附性、断条率、吐浆值、咀嚼性呈显著正相关($P<0.05$), 与内聚性、感官评分呈极显著负相关($P<0.01$); D_{50} 也被称为平均粒径, 其与硬度、黏附性、咀嚼性、断条率、吐浆值呈极显著正相关($P<0.01$), 与弹性、内聚性、感官评分呈极显著负相关($P<0.01$)。这是因为粒度较大的大米粉在加热过程中无法完全糊化, 导致冷却后形成的凝胶强度较小, 最终制成的鲜湿米粉表现出结构松散、米粉条易断裂及汤汁较为浑浊的现象^[21]; 吸水性与内聚性、感官评分呈极显著正相关($P<0.01$), 与硬度、黏附性、咀嚼性、断条率、吐浆值

呈极显著负相关($P<0.01$)。这是因为吸水性较高的大米粉在糊化过程中能够与水充分接触,形成均匀且稳定的凝胶结构,从而提升鲜湿米粉的抗剪切能力,降低断条率、硬度和咀嚼性,改善整体口感^[30];此外,水溶性、溶胀性与鲜湿米粉的蒸煮品质密切相关^[31]。其中,水溶性与硬度、黏附性、断条率、吐浆值呈极显著正相关($P<0.01$),与内聚性和感官评分呈极显著负相关($P<0.01$);溶胀性与内聚性、感官评分呈显著正相关($P<0.05$),与硬度、咀嚼性、断条率、吐浆值呈极显著负相关($P<0.01$)。综上所述,直链淀粉、粗蛋白与鲜湿米粉品质的相关性较弱,而破损淀粉、D₅₀、水合特性更能反映鲜湿米粉的品质特性。

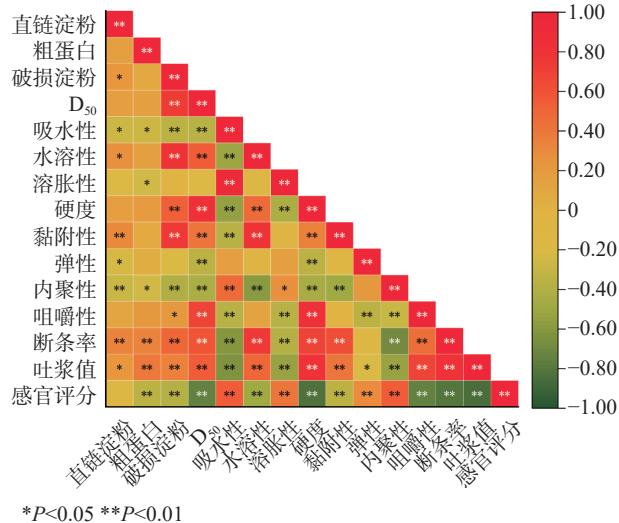


图 1 大米粉理化性质、水合特性与鲜湿米粉品质的相关性
Fig.1 Correlation between the physical and chemical properties and hydration characteristics of rice noodles and the quality of fresh rice noodles

对 2.2 中大米粉的糊化特性与鲜湿米粉品质进行相关性分析,见图 2。结果表明,峰值粘度与弹性、内聚性、感官评分呈极显著正相关($P<0.01$),与硬度、咀嚼性、断条率、吐浆值呈极显著负相关($P<0.01$)。这是因为较高的峰值粘度有助于淀粉颗粒在糊化过程中充分吸水并膨胀,从而形成富有弹性的凝胶结构,显著提升了鲜湿米粉的质构品质、蒸煮性能及食用口感^[32];谷值粘度反映淀粉在高温下的耐剪切能力^[33]。其与弹性、内聚性、感官评分呈极显著正相关($P<0.01$),与硬度、黏附性、咀嚼性、断条率、吐浆值呈极显著负相关($P<0.01$);衰减值反映淀粉热糊稳定性^[34]。其与内聚性、感官评分呈显著正相关($P<0.05$),与硬度、咀嚼性、断条率、吐浆值呈极显著负相关($P<0.01$);最终粘度与大米粉形成凝胶的能力密切相关^[35]。其与弹性、感官评分呈极显著正相关($P<0.01$),与硬度、咀嚼性、断条率、吐浆值呈极显著负相关($P<0.01$);回生值与黏附性、断条率呈极显著正相关($P<0.01$),与内聚性、感官评分呈显著负相关($P<0.05$)。较高的回生值表明淀粉在冷却后经历了较为严重的老化回生现象,这会导致鲜湿米粉质地松

软,从而降低其蒸煮品质和整体食用口感^[36]。进一步分析显示,峰值粘度、谷值粘度、衰减值、最终粘度与鲜湿米粉品质的相关性较强,这些指标更能反映鲜湿米粉的整体品质。综上所述,大米粉质与鲜湿米粉品质指标间存在密切相关关系,但直接利用这些指标进行分析会产生大量的信息重叠。因此,需要消除变量之间的相关性,从中筛选出具有代表性的评价指标,进一步分析大米粉质与鲜湿米粉品质指标间的关系^[37]。

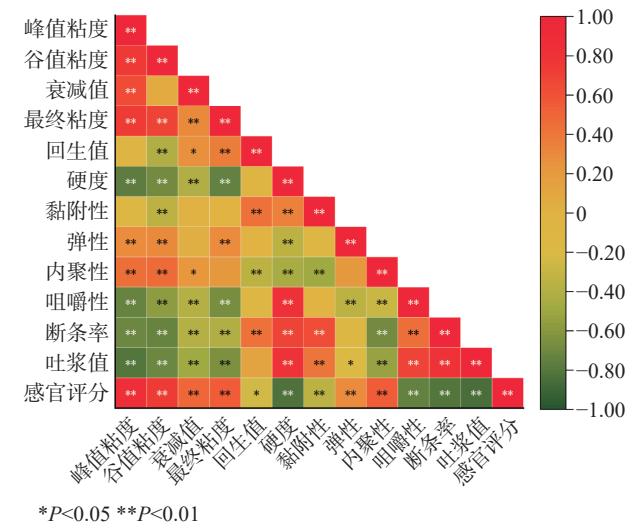


图 2 大米粉糊化特性与鲜湿米粉品质的相关性
Fig.2 Correlation between the gelatinization characteristics of rice noodles and the quality of fresh rice noodles

2.4 主成分分析

从描述性分析、相关性分析结果看,大米粉质与鲜湿米粉的指标数量较多、差异性较大、相关关联密切,而应用主成分分析可以对指标体系进行降维处理,将多个指标简化为少量综合指标,解决了多指标评价的问题^[38]。此外,由于各指标间存在不同的数据量纲,因此需要进行标准化处理^[39]。据相关报道,鲜湿米粉的硬度、咀嚼性、断条率、吐浆值越小,鲜湿米粉品质越高^[7],因此对这 4 项指标进行正向化处理,以消除不同指标间方向不确定性的影响,提高主成分综合得分的准确性^[40]。

对 2.2 中大米粉质和鲜湿米粉品质指标标准化后进行主成分分析。为确保主成分分析的结果具有实际意义和较强的解释能力,根据碎石图(图 3)和总方差解释(表 6)共提取了前 7 个主成分。从表 6 可知,前 7 个主成分的特征值分别 9.013、2.864、1.623、1.300、1.118、0.860、0.775,特征值贡献率分别为 45.063%、14.320%、8.114%、6.502%、5.590%、4.300%、3.874%,累积贡献率达到 87.763%,说明信息损失较少,可以反映大米粉质与鲜湿米粉品质指标大部分原始信息。此外,载荷图反映了不同大米粉质和鲜湿米粉指标对各主成分的影响程度^[41]。本研究选择了前 3 个方差贡献率较大的主成分进行载荷分析,见图 4。在 PC1 中,吸水性、峰值粘度、谷值粘度、最终粘度

度、硬度、内聚性、咀嚼性、断条率、吐浆值、感官评分的载荷值均大于 0.6, 表明对其影响程度较大; 此外, PC2 中破损淀粉、水溶性、回生值、黏附性影响较大, PC3 中 D_{50} 、溶胀性影响较大。综上可知, 主成分分析可以反映原始数据中的关键信息及各主成分中影响较大的指标, 但为了更全面了解这些指标间的关系, 仍需进行定量研究。

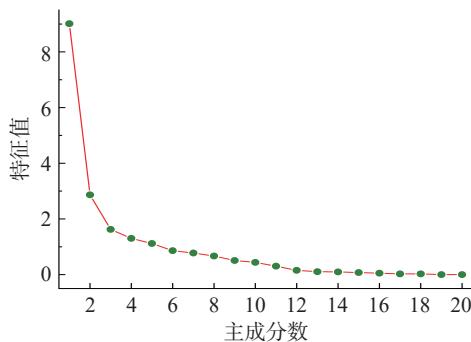


图 3 碎石图
Fig.3 Scree plot

表 6 总方差解释
Table 6 Total variance interpretation

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差百分比	累积(%)	特征值	方差百分比	累积(%)
1	9.013	45.063	45.063	9.013	45.063	45.063
2	2.864	14.320	59.383	2.864	14.320	59.383
3	1.623	8.114	67.497	1.623	8.114	67.497
4	1.300	6.502	74.000	1.300	6.502	74.000
5	1.118	5.590	79.589	1.118	5.590	79.589
6	0.860	4.300	83.890	0.860	4.300	83.890
7	0.775	3.874	87.763	0.775	3.874	87.763

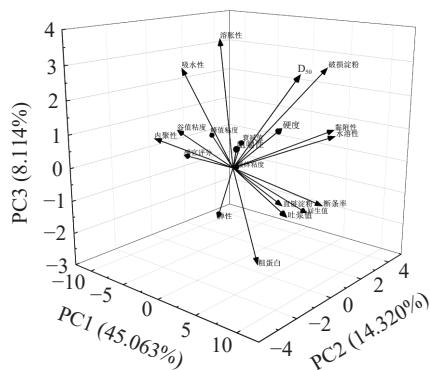


图 4 载荷图
Fig.4 Load diagram

将直链淀粉、粗蛋白、破损淀粉、 D_{50} 、吸水性、水溶性、溶胀性、峰值粘度、谷值粘度、衰减值、最终粘度、回生值、硬度、黏附性、弹性、内聚性、咀嚼性、断条率、吐浆值、感官评分依次记作 $X_1 \sim X_{20}$ 。根据表 7 中各指标特征向量构建 7 个主成分得分函数表达式, 见式(7)~(13):

$$F_1 = -0.108X_1 - 0.115X_2 + \dots + 0.297X_{19} + 0.301X_{20} \quad (7)$$

$$F_2 = 0.168X_1 + 0.001X_3 + \dots - 0.086X_{19} + 0.070X_{20} \quad (8)$$

$$F_3 = -0.164X_1 - 0.350X_2 + \dots - 0.094X_{19} - 0.024X_{20} \quad (9)$$

$$F_4 = -0.356X_1 + 0.2240X_2 + \dots + 0.106X_{19} - 0.132X_{20} \quad (10)$$

$$F_5 = -0.384X_1 + 0.241X_2 + \dots + 0.114X_{19} - 0.143X_{20} \quad (11)$$

$$F_6 = -0.657X_1 - 0.020X_2 + \dots - 0.008X_{19} - 0.084X_{20} \quad (12)$$

$$F_7 = 0.241X_1 + 0.742X_2 + \dots - 0.164X_{18} + 0.072X_{20} \quad (13)$$

将方差百分比与累积贡献率之比作为权重, 通过式(14)计算得到大米粉粉质综合得分 F 。

$$F = 0.513F_1 + 0.163F_2 + 0.092F_3 + 0.074F_4 + 0.064F_5 + 0.049F_6 + 0.044F_7 \quad (14)$$

根据表 8 可知, 感官排名与综合得分排名基本一致, 表明所建立的理论模型可靠, 能够客观反映大米粉与鲜湿米粉的综合品质。其中, 样品 11、样品 12、样品 15 和样品 16 的综合品质最佳, 综合得分均超过 1.7, 且这 4 个样品均为湿磨粉。随着磨粉目数的增加, 综合得分呈上升趋势, 在 100 目或 120 目时达到最高值, 这与 Yu 等^[42]的研究结论一致; 相反,

表 7 各主成分的特征向量
Table 7 Eigenvectors of each principal component

指标	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5	PCA6	PCA7
直链淀粉	-0.108	0.168	-0.164	-0.356	-0.384	-0.657	0.241
粗蛋白	-0.115	0.001	-0.350	0.224	0.241	-0.020	0.742
破损淀粉	-0.188	0.330	0.351	0.018	0.020	0.054	0.264
D_{50}	-0.260	0.035	0.372	-0.019	-0.021	0.149	0.170
吸水性	0.243	-0.002	0.339	0.155	0.167	-0.096	0.005
水溶性	-0.220	0.349	0.094	0.154	0.166	-0.023	-0.007
溶胀性	0.182	0.155	0.440	0.246	0.266	-0.125	0.002
峰值粘度	0.283	0.217	0.044	-0.111	-0.120	0.046	0.194
谷值粘度	0.275	0.001	0.095	0.263	0.284	-0.262	0.115
衰减值	0.142	0.245	0.032	-0.524	-0.565	0.433	0.217
最终粘度	0.221	0.315	-0.110	0.180	0.194	-0.084	-0.056
回生值	-0.076	0.393	-0.258	-0.092	-0.099	0.237	-0.248
硬度	0.297	-0.126	0.222	-0.011	-0.012	0.070	0.090
黏附性	-0.171	0.423	0.097	0.059	0.063	-0.037	-0.020
弹性	0.115	0.051	-0.239	0.496	0.534	0.366	0.158
内聚性	0.218	-0.190	0.108	-0.103	-0.111	0.218	0.215
咀嚼性	0.239	-0.292	0.179	-0.061	-0.066	0.040	0.139
断条率	0.294	0.149	-0.114	0.161	0.173	-0.026	-0.164
吐浆值	0.297	-0.086	-0.094	0.106	0.114	-0.008	0.000
感官评分	0.301	0.070	-0.024	-0.132	-0.143	-0.084	0.072

样品1和样品2的综合品质最差,综合得分低于-2.9,这2个样品均为干磨粉。此外,干磨粉粒度在60~80目时,综合得分和模糊感官排名最低,这表明粒度较大的干磨粉不适合用于鲜湿米粉的生产。在相同粒度条件下,随着磨粉目数的增加,综合得分逐渐提高,在100~120目时达到最大值。此外,湿磨粉和半干磨粉也呈现出相同的趋势。这表明粒度较小的湿磨粉和干磨粉有助于提升鲜湿米粉的品质,这一结论与前述模糊感官得分的结果一致。综上所述,当磨粉目数相同时,湿磨粉的综合评分普遍高于干磨粉和半干磨粉,其感官品质更优;当制粉方法相同时,综合得分随着大米粉目数的增加而增加,在100~120目时综合品质最佳。

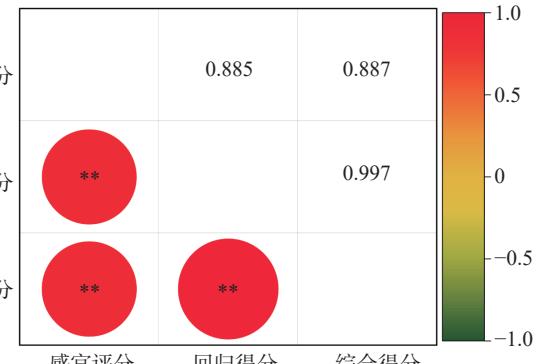
表8 主成分综合得分及其鲜湿米粉感官评分排名
Table 8 Comprehensive scores of principal components and sensory scores for fresh rice noodles

样品编号	制粉方法	磨粉粒度(目)	综合得分F	综合得分排名	模糊感官排名
1	干法	60	-4.003	28	28
2		80	-2.980	27	27
3		100	-1.887	25	21
4		120	-0.303	19	18
5	湿法=1:1	60	-1.043	21	19
6		80	0.023	15	17
7		100	0.863	9	6
8		120	1.210	6	9
9		60	-0.287	18	16
10		80	0.373	12	15
11		100	2.500	1	1
12		120	2.373	2	8
13	湿法=1:2	60	-0.013	16	14
14		80	0.347	13	10
15		100	1.767	4	3
16		120	2.057	3	7
17	湿法=1:3	60	-1.897	26	25
18		80	-1.080	22	23
19		100	0.207	14	4
20		120	0.853	10	12
21	半干法=20%	60	-1.627	24	26
22		80	-0.313	20	22
23		100	0.817	11	4
24		120	1.233	5	11
25	半干法=24%	60	-1.207	23	24
26		80	-0.173	17	20
27		100	1.027	8	2
28		120	1.163	7	13

2.5 评价理论模型的建立与特征指标的筛选

选择2.3中与鲜湿米粉品质相关性较大的大米粉质指标(破损淀粉、D₅₀、吸水性、水溶性、膨胀性、峰值粘度、谷值粘度、衰减值、最终粘度)作为自变量,以主成分综合得分为因变量进行逐步线性回归,得到鲜湿米粉专用粉理论评价模型:Y=-28.141-0.06X₄+1.035X₅+0.05X₈(R²=0.937,P<0.01),模型拟合程度高,其中X₄、X₅、X₈分别为D₅₀、吸水性、峰值粘度。将2.2中28个样品的D₅₀、吸水性和峰值粘度代入模型后,得到大米粉的模型回归得分。并将

该得分与主成分分析得到的综合得分、模糊感官评分进行相关性分析。如图5可知,3个指标间均呈极显著正相关(P<0.01),说明该模型可靠。综上所述,选择D₅₀、吸水性、峰值粘度作为鲜湿米粉加工用大米粉的特征指标。



*P<0.05 **P<0.01

图5 综合得分、回归得分、感官评分相关性分析
Fig.5 Correlation analysis of comprehensive scores, regression scores, and sensory scores

2.6 聚类分析

在主成分分析的基础上,选择了前7个特征值贡献率较大的主成分得分(F₁~F₇)进行聚类分析,色块颜色的深浅反映样品的综合得分情况。如图6所示,将28种大米粉(1.2.1)被划分为3类:第一类包含了样品5~样品16,样品占有率为42.86%。该类样品的色块总体呈红色,且均显示为湿磨粉,这表明其综合得分较高,品质较优;第二类包含了样品19、样品20、样品23、样品24、样品27、样品28,样品占有率为21.43%。这类样品的色块总体偏黄,表明其综合品质一般;第三类包含了样品1、样品2、样品3、样品4、样品17、样品18、样品21、样品22、样品25、样品26,样品占有率为35.71%。该类样品的色块总体呈绿色,表明其综合品质较差,不适合用于生产鲜湿米粉。根据聚类分析结果,采集综合得分较高的第一类、第二类作为鲜湿米粉专用粉特征指标的阈值范围。结果表明,半干磨粉D₅₀在88.65~146.21 μm范围,湿磨粉D₅₀在10.34~47.36 μm范

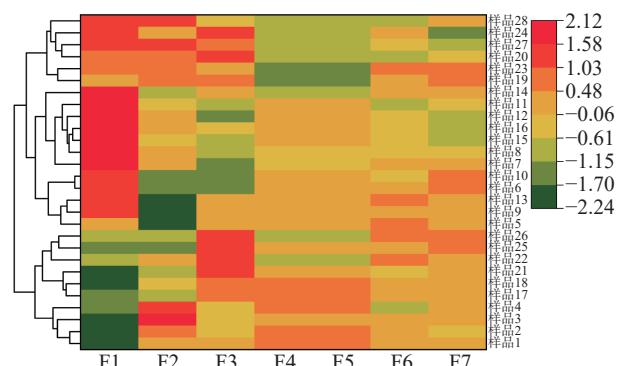


图6 各主成分得分的聚类分析热图

Fig.6 Heatmap of the cluster analysis of the scores of each principal component

围; 大米粉吸水性大于 10.15 g/g、峰值粘度大于 3235.00 cP。此外, $F_1 \sim F_3$ 的红色色块较多, 这表明前 3 个主成分对样品的综合品质影响较大。根据 2.4 的载荷图结果, 这 3 个主成分中, 吸水性、峰值粘度、谷值粘度、最终粘度、破损淀粉、水溶性、回生值、 D_{50} 、溶胀性等粉质指标对鲜湿米粉的品质影响较大, 这与 2.3 的相关性分析结果一致, 表明聚类分析具有较高可信度。

3 结论

本研究基于多元统计分析方法, 对 28 种大米粉的粉质特性及其鲜湿米粉品质指标进行了系统评估。结果表明, 不同制粉工艺制备大米粉的直链淀粉、粗蛋白差异性较小, 表明大米加工对其基本理化成分影响较小; 不同大米粉质与鲜湿米粉品质指标相关性较好, 表明大米粉质指标可以有效反映鲜湿米粉的品质; 相同粒度条件下, 湿磨粉的综合得分高于干磨粉和半干磨粉, 制成鲜湿米粉的感官品质更佳; 相同制粉方法下, 磨粉粒度为 100~120 目时, 综合得分和感官得分最高。这表明 100~120 目的湿磨粉或半干磨粉有助于鲜湿米粉的品质保障; 鲜湿米粉专用粉综合评价模型: $Y = -28.141 - 0.06X_4 + 1.035X_5 + 0.05X_8$ ($R^2 = 0.937$, $P < 0.01$), 模型具有较强的解释能力; 鲜湿米粉专用粉特征指标的阈值区间为: 半干磨粉 D_{50} 在 88.65~146.21 μm 范围, 湿磨粉 D_{50} 在 10.34~47.36 μm 范围; 大米粉的吸水性大于 10.15 g/g、峰值粘度大于 3235.00 cP。当前, 鲜湿米粉的工业化生产涉及多个关键环节, 包括原料选取、大米加工、产品制备、防腐保鲜、仓储运输等多个环节, 每个环节都对最终产品的质量和稳定性起着重要作用。然而, 现有的评价体系和特征指标筛选大多集中于大米原料特性, 对大米加工环节的评估相对不足。本研究从不同制粉方法、磨粉粒度的角度出发, 建立了鲜湿米粉专用粉的评价体系, 确定了关键指标的阈值区间, 以期为鲜湿米粉专用粉的标准化、工业化生产提供理论依据。

© The Author(s) 2025. 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] XIAO Zhengwu, HUANG Min. Fresh rice noodle quality and influencing factors[J]. China Rice, 2022, 28(3): 34.
- [2] LI C, YOU Y, CHEN D, et al. A systematic review of rice noodles: Raw material, processing method and quality improvement [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 107: 389~400.
- [3] ZHANG H, WU F, XU D, et al. Effects of milling methods on the properties of glutinous rice flour and sweet dumplings[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58: 1848~1857.
- [4] 郭云霞, 杨喆, 徐志明, 等. 不同品种早籼稻制备的鲜湿米粉的品质差异[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(5): 619~625. [GUO Yunxia, YANG Zhe, XU Zhiming, et al. Differences in the quality of fresh and wet rice flour prepared from different varieties of early indica rice[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Science edition), 2022, 48(5): 619~625.]
- [5] 张聪男, 薛薇, 冯晓宇, 等. 鲜湿米粉原料加工适应性及配米技术研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(11): 1~7. [ZHANG Congnan, XUE Wei, FENG Xiaoyu, et al. Research on the processing adaptability of raw materials and rice blending technology of fresh and wet rice flour[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2021, 36(11): 1~7.]
- [6] 周显青, 彭超, 张玉荣, 等. 早籼稻的品质分析与其压榨型鲜湿米粉加工适应性[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 36~43. [ZHOU Xianqing, PENG Chao, ZHANG Yurong, et al. Quality analysis of early indica rice and its processing adaptability of pressed fresh and wet rice flour[J]. Food Science, 2018, 39(19): 36~43.]
- [7] 雷婉莹, 吴卫国, 廖卢艳, 等. 鲜湿米粉品质评价及原料选择[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 74~79. [LEI Wanying, WU Weiguo, LIAO Luyan, et al. Quality evaluation and raw material selection of fresh and wet rice noodles[J]. Food Science, 2020, 41(1): 74~79.]
- [8] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 不同破碎方法对大米品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 10~14. [WEI Ping, YOU Xiangrong, ZHANG Yayuan, et al. Effect of different crushing methods on rice quality[J]. Food Industry Technology, 2018, 39(7): 10~14.]
- [9] 宋喜雅. 大米半干法制粉工艺研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023. [SONG Xiya. Study on the milling technology of semi-dry rice[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023.]
- [10] 吴娜娜, 彭国泰, 谭斌, 等. 干法、半干法和湿法磨粉对糙米粉性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(1): 137~142. [WU Nana, PENG Guotai, TAN Bin, et al. The effect of dry, semi-dry and wet milling on the properties of brown rice flour[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2020, 35(1): 137~142.]
- [11] 梁钦梅, 程子良, 王福, 等. 不同磨粉工艺对大米粉及鲜湿米粉品质的影响[J]. 食品工业, 2024, 45(3): 30~34. [LIANG Qinmei, CHENG Ziliang, WANG Fu, et al. The influence of different milling techniques on the quality of large rice noodles and fresh and wet rice flour[J]. Food Industry, 2024, 45(3): 30~34.]
- [12] HEO S, JEON S, LEE S. Utilization of *Lentinus edodes* mushroom β -glucan to enhance the functional properties of gluten-free rice noodles[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(2): 627~631.
- [13] SHI S, WANG E, LI C, et al. Use of protein content, amylose content, and RVA parameters to evaluate the taste quality of rice[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 8: 758547.
- [14] 舒星琦, 李波轮, 任传顺, 等. 过热蒸汽处理大米对方便米粉品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(6): 45~52. [SHU Xingqi, LI Baolun, REN Chuanshun, et al. Effect of superheated steam treatment of rice on the quality of convenient rice flour[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science edition), 2022, 43(6): 45~52.]
- [15] 罗文波, 林亲录, 黄亮, 等. 不同品种籼米生产的鲜湿米粉理化特性与感官品质[J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 7~12, 48. [LUO Wenbo, LIN Qinlu, HUANG Liang, et al. Physical and chemical characteristics and sensory quality of fresh and wet rice noodles produced by different varieties of indica rice[J]. Food and Machinery, 2011, 27(3): 7~12, 48.]
- [16] SUPAWADEE C, PRISANA S. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(3): 284~291.
- [17] 龚雪, 解松峰, 夏曾润, 等. 魔芋精粉对鲜湿米粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2023, 39(7): 186~192. [GONG Xue, XIE Songfeng, XIA Zengrun, et al. Effect of konjac refined powder on the quality of fresh and wet rice flour[J]. Food and Machinery, 2023, 39(7): 186~192.]
- [18] 刘士伟, 王成祥, 段盛林, 等. 基于模糊数学感官评价的杂粮

- 馒头配方优化及低 GI 验证[J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 375–380. [LIU Shiwei, WANG Chengxiang, DUAN Shenglin, et al. Formula optimization and low GI verification of coarse grain steamed bread based on fuzzy mathematical sensory evaluation[J]. Food Industry Technology, 2022, 43(21): 375–380.]
- [19] WANG Q, LI L, ZHENG X. A review of milling damaged starch: Generation, measurement, functionality and its effect on starch-based food systems[J]. *Food Chemistry*, 2020, 315: 126267.
- [20] 陈凤莲, 孙贵尧, 安然, 等. 不同品种和粒度对米粉糊化特性及米蛋糕品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 75–82. [CHEN Fenglian, SUN Guiyao, AN Ran, et al. The influence of different varieties and grain sizes on the gelatinization characteristics of rice noodles and the quality of rice cakes[J]. Food Industry Technology, 2022, 43(21): 75–82.]
- [21] 陈凤莲, 郭银梅, 李欣洋, 等. 米粉品种和粒度对蛋糕糊力学特性及成品品质的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(4): 262–273. [CHEN Fenglian, GUO Yinmei, LI Xinyang, et al. Effect of variety and particle size of rice flour on mechanical characteristics and finished quality of cake paste[J]. Chinese Journal of Food Science, 2023, 23(4): 262–273.]
- [22] YU X, ZHANG J, WANG L, et al. Changes in physicochemical properties and structural characteristics of rice starch during extrusion processing: The role of glutelin and different extrusion zones[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2022, 82: 103163.
- [23] WU Y, FAN D, GAO Y, et al. Study on water proton distribution and flow status of starch during the hydration process[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 118: 997–1003.
- [24] LIU C, HONG J, ZHENG X. Effect of heat-moisture treatment on morphological, structural and functional characteristics of ball-milled wheat starches[J]. *Starch-Stärke*, 2017, 69(5–6): 1500141.
- [25] WU C, GONG X, ZHANG J, et al. Effect of rice protein on the gelatinization and retrogradation properties of rice starch[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 242: 125061.
- [26] LIN Z, HUANG J, QIN W, et al. Effects of moisture changes on physicochemical properties of rice flour during semidry grinding[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 100: 103254.
- [27] TIAN J, QIN L, ZENG X, et al. The role of amylose in gel forming of rice flour[J]. *Foods*, 2023, 12(6): 1210.
- [28] SALEH M I. Protein-starch matrix microstructure during rice flour pastes formation[J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 74: 183–186.
- [29] 蔡泽雪. 基于半干法磨粉的粒度及破损淀粉对糯米粉性质及汤圆品质的影响[D]. 西安: 陕西科技大学, 2021. [LIN Zexue. Based on the grain size of semi-dry grinding powder and the influence of damaged starch on the properties of glutinous rice flour and the quality of glutinous rice balls[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2021.]
- [30] 宋喜雅, 林江涛, 岳清华, 等. 入磨水分对米粉粉质特性的影响研究[J]. 河南工业大学自然科学杂志版, 2023, 44(4): 35–42. [SONG Xiya, LIN Jiangtao, YUE Qinghua, et al. Study on the effect of grinding water on the powder characteristics of rice flour[J]. Journal of Henan University of Technology Natural Science Edition, 2023, 44(4): 35–42.]
- [31] JIAO A, YANG Y, LI Y, et al. Structural properties of rice flour as affected by the addition of pea starch and its effects on textural properties of extruded rice noodles[J]. *International Journal of Food Properties*, 2020, 23(1): 809–819.
- [32] HUANG J, WANG Z, FAN L, et al. A review of wheat starch analyses: Methods, techniques, structure and function[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, 203: 130–142.
- [33] ZHONG Y, QU J, LI Z, et al. Rice starch multi-level structure and functional relationships[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 275: 118777.
- [34] LU X, ZHAN J, MA R, et al. Structure, thermal stability, and *in vitro* digestibility of rice starch-protein hydrolysate complexes prepared using different hydrothermal treatments[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 230: 123130.
- [35] 周显青, 于子越. 粳糯米的蛋白组分对其糊化特性的影响及机制研究[J]. 河南工业大学自然科学杂志版, 2021, 42(6): 1–9. [ZHOU Xianqing, YU Ziyue. Study on the influence of indica glutinous rice protein components on its gelatinization properties and its mechanism[J]. Journal of Henan University of Technology Natural Science Edition, 2021, 42(6): 1–9.]
- [36] LAI H M. Effects of rice properties and emulsifiers on the quality of rice pasta[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2002, 82(2): 203–216.
- [37] 赵志霞, 邹淑萍, 康峰. 基于主成分与聚类分析的新疆伊犁地区馕特征品质评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(4): 261–266. [ZHAO Zhixia, ZOU Shuping, KANG Feng. Evaluation of Nang characteristic quality in Yili, Xinjiang based on principal component and cluster analysis[J]. Food Industry Science and Technology, 2024, 45(4): 261–266.]
- [38] 徐梦婷, 王强, 郝艳宾, 等. 基于主成分分析的核桃品种油用性状综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(2): 235–242. [XU Mengting, WANG Qiang, HAO Yanbin, et al. Comprehensive evaluation of oil use traits in walnut varieties based on principal component analysis[J]. Food Industry Science and Technology, 2024, 45(2): 235–242.]
- [39] 邓慧清, 吴卫国, 廖卢艳. 基于主成分分析法构建高蛋白重组米品质评价体系[J]. 食品工业科技, 2022, 43(20): 78–86. [DENG Huiqing, WU Weiguo, LIAO Luyan. A quality evaluation system of high protein recombinant rice based on principal component analysis[J]. Food Industry Technology, 2022, 43(20): 78–86.]
- [40] 陈鹏宇. 线性无量纲化方法对比及反向指标正向化方法[J]. 运筹与管理, 2021, 30(10): 95–101. [CHEN Pengyu. Comparison of linear dimensionless dimension method and reverse index forward direction method[J]. Operations Research and Management, 2021, 30(10): 95–101.]
- [41] 张晓绘, 李汴生, 阮征李, 等. 基于主成分分析法综合评价即食米饭品质特性[J]. 中国调味品, 2024, 49(1): 1–7. [ZHANG Xiaohui, LI Biansheng, RUAN Zhengli, et al. Comprehensive evaluation of the quality characteristics of ready-to-eat rice based on the principal component analysis method[J]. Chinese Condiments, 2024, 49(1): 1–7.]
- [42] YU T, JING S, JIAJIN L I, et al. Effects of milling methods on rice flour properties and rice product quality: A review[J]. *Rice Science*, 2024, 31(1): 33–46.