

桂林米粉品质评价体系的研究及分析

黄菊, 李圣胜, 彭诗泳, 罗鏊欣, 毛瑞丰*

(广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530000)

摘要: 为筛选桂林米粉品质评价的指标及建立桂林米粉品质评价体系, 选取6种具有代表性的桂林米粉样品进行指标的测定及分析。结果表明, 在桂林米粉中, 主要成分指标的变异系数范围为2.97%~24.41%, 质构特性为24.04%~65.85%, 糊化程度为69.58%~97.23%, 老化程度为6.23%~23.16%; 经过烫热后, 主要成分指标的变异系数范围为1.34%~25.49%, 质构特性为23.84%~53.61%; 经过吸味后, 滋味品质指标的变异系数范围为4.75%~61.74%, 风味品质为1.06%~33.83%, 感官评价为1.31%~6.10%。将指标进行分析筛选得到水分质量分数、蛋白质质量分数等19个具备代表性指标, 并进行主成分分析得到前4个主成分的贡献率总计为95.509%, 提取4个主成分建立了品质评价体系。通过分析6种桂林米粉的品质指标, 筛选出19个评价指标建立了评价体系, 该评价体系涵盖了成品、烫热、吸味三种状态的桂林米粉, 可以用来评价从成品到食用的不同品质桂林米粉。

关键词: 桂林米粉; 品质评价; 主成分分析

文章编号: 1673-9078(2025)02-282-291

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.2.0105

Research and Analysis of the Quality Evaluation System of Guilin Rice Noodles

HUANG Ju, LI Shengsheng, PENG Shiyong, LUO Liuxin, MAO Ruifeng*

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530000, China)

Abstract: In order to screen the quality evaluation indexes of Guilin rice noodles and establish the quality evaluation system for Guilin rice noodles, six representative samples of Guilin rice noodle were selected for the determination and analysis of indexes. The results showed that for Guilin rice noodles, the coefficients of index variation were 2.97%~24.41% for main components, 24.04%~65.85% for textural characteristics, 69.58%~97.23% for gelatinization degree and 6.23%~23.16% for aging degree. After heat cooking, the coefficients of index variation were 1.34%~25.49% for main components, and 23.84%~53.61% for textural characteristics. After flavor absorption, the coefficients of index variation were 4.75%~61.74% for taste quality, 1.06%~33.83% for flavor quality, and 1.31%~6.10% for sensory scoring. The indexes were analyzed and screened to obtain 19 representative indexes, such as water mass fraction and protein mass fraction. Principal component analysis revealed that the total contribution rate of the first 4 principal components was 95.509%, and the four principal components were extracted to establish a quality evaluation system. By analyzing the quality indexes of six kinds of Guilin rice noodles, 19 evaluation indexes were screened out and an evaluation system was established. The

引文格式:

黄菊, 李圣胜, 彭诗泳, 等. 桂林米粉品质评价体系的研究及分析[J]. 现代食品科技, 2025, 41(2): 282-291.

HUANG Ju, LI Shengsheng, PENG Shiyong, et al. Research and analysis of the quality evaluation system of guilin rice noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(2): 282-291.

收稿日期: 2024-01-23

作者简介: 黄菊 (1997-) 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1050072552@qq.com

通讯作者: 毛瑞丰 (1964-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 微生物学, E-mail: rf.mao@gxu.edu.cn

evaluation system covers three states of Guilin rice noodles: raw finished product, heat cooking and flavor absorption, and can be used to evaluate different qualities of Guilin rice noodles from raw finished product to consumption.

Key words: Guilin rice noodles; quality evaluation; principal component analysis

桂林米粉以大米为主要原料, 经过清洗、发酵、磨浆、糊化、成型、老化、包装、杀菌等工艺制备而成, 是鲜湿米粉制品之一^[1]。桂林米粉由口感顺滑的粗圆米粉下入开水中烫热后沥干, 再和地方特色卤汁、配菜等搭配组成, 其独特品质和风味深受消费者喜爱。随着桂林米粉的发展, 即食桂林米粉和方便桂林米粉销售和生产上都不再局限于桂林地区, 但目前尚未有关于桂林米粉品质评价体系的研究。

关于米粉的品质评价研究, 谢洁^[2]总结了米粉品质评价方法主要分为主观评价和客观评价。在主观评价方面, 郭利利等^[3]根据国标筛选出米粉感官品质评价指标, 提出的评价方法中有一级指标和二级指标, 各项指标分别设置 3~4 个等级, 该方法评价指标全面。在客观评价方面, 郭翎菲^[4]通过微生物指标、断条率、吐浆值、质构特性等指标对比米粉品质的优劣; 白娟等^[5]过电子舌和电子鼻对不同发酵时间的鲜肉粉进行品质评价; 肖正午等^[6]认为米粉蒸煮品质、质构品质均与感官品质显著相关, 可将二者结合, 共同评价米粉品质。

桂林米粉需经过烫热处理及吸收卤水调味后入口, 其口感和风味是消费者食用时的印象来源, 也是影响消费者选择和认可的重要因素, 所以其品质评价应需加上烫热后、吸味后的指标。基于此, 本论文选择 6 种桂林米粉样品, 进行桂林米粉及烫热后、吸味后的品质评价指标的测定及分析, 筛选可以代表桂林米粉品质评价的指标, 建立适用于桂林米粉品质评价的评价体系, 以期完善消费者对桂林米粉品质的印象, 从而促进桂林米粉的消费。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料: 为了确保样品的代表性以及评价指标结果的广泛性和概括性, 桂林米粉选择来源及编号设定如表 1, 其中桂林米粉在桂林产家较多, 所以 1、2 两组方便桂林米粉样品来源于桂林; 3、4 两组样品分别选择于其他产地的方便桂林米粉, 5、6 两组桂林米粉分别来源于不同餐饮店的即食桂林米粉, 一家为连锁餐饮店、一家为个体餐饮店。

试剂: 盐酸、氢氧化钠、乙酸铅、硫酸钠、石油醚、无水乙醇、甲基红、D- 无水葡萄糖、甲醇、95% 乙醇、十二烷基苯磺酸钠、亚硫酸钠、乙酸、碘、碘化钾、硫酸铜、硫酸钾、硫酸, 均为分析纯, 主要来源于南京联特化工有限公司和国药集团化学试剂有限公司; 直链淀粉标准品, 阿拉丁试剂(上海)有限公司。

1.2 主要仪器与设备

LIJXN-26 离心机, 贝克曼库尔特商贸有限公司; V10S 卡尔·费休水分测定仪, 瑞士 Mettler Toledo 公司; TA.TX2.plus 质构仪, 英国 STABLE 公司; KDN-1 凯氏定氮仪, 上海沛欧分析仪器有限公司; SA-402B 电子舌, 日本 INSENT 智能传感器有限公司; PEN-3 电子鼻, 德国 Airsense 公司; RVA-Tec Master 型快速黏度分析仪, 波通瑞华科学仪器(北京)有限公司; DSC3 差示扫描量热仪, 瑞士梅特勒-托利多公司; YP10002 电子天平, 上海衡际科学仪器有限公司; T25 D S25 粉碎机, 德国 IKA 公司; Alpha-4 LD Plus 冷冻干燥机, 德国 Martin Christ 公司。

表 1 样品的选择及设定

Table 1 Sample selection and setting

样品序号	样品分类	产地	产家	最佳烫热时间/s	保质期/d
1	方便桂林米粉	桂林	桂林某大品牌公司	180	180
2	方便桂林米粉	桂林	桂林某小品牌公司	180	180
3	方便桂林米粉	广东	广东某食品公司	180	90
4	方便桂林米粉	上海	上海某食品公司	120	180
5	即食桂林米粉	广西	南宁粉之都连锁店	60	2
6	即食桂林米粉	广西	南宁某个体餐饮店	10	2

1.3 实验方法

1.3.1 桂林米粉样品

桂林米粉组样品：六种桂林米粉样品取适量进行测定；烫热桂林米粉组样品：取适量样品按最佳烫热时间进行烫热并沥干后进行测定；吸味桂林米粉组样品：取适量烫热沥干后的米粉加适量卤水干拌吸味 20 s 后进行测定。

冻干桂林米粉样品：将桂林米粉组样品取适量进行冻干磨碎，过 80 目筛，封袋保存以备使用。

1.3.2 桂林米粉主要成分的测定

水分质量分数通过水分测定仪进行测定，蛋白质质量分数根据《GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定》进行测定，淀粉质量分数根据《GB 5009.9-2016 食品中淀粉的测定》进行测定，直链淀粉质量分数根据《GB/T 15683-2008 大米 直链淀粉的测定》进行测定。

1.3.3 桂林米粉质构特性的测定

参照 Xu 等^[7]方法作适当修改。将桂林米粉、烫热桂林米粉样品平铺放置在仪器台上。测定条件：采用全质构（TPA）模式进行测定，其中探头选择 P/35，压缩比 75%，触碰力 5 g，测试速度 1 mm/s。

1.3.4 桂林米粉复水特性的测定

复水率：由水分测定仪测定桂林米粉烫热前后的水分质量分数，由烫热后的水分质量分数减去烫热前的水分质量分数可得，如式（1）：

$$F = W_2 - W_1 \quad (1)$$

式中：

F ——桂林米粉的复水率，%；

W_1 ——桂林米粉的水分质量分数，%；

W_2 ——烫热桂林米粉的水分质量分数，%。

提取液吸光度：参照卫攀杰等^[8]方法并作适当修改。准确量取烫热过桂林米粉的清液 2 mL，并于 620 nm 比色，空白采用蒸馏水。

蒸煮损失率：参照邓茹月等^[9]方法并作适当修改，大约称取桂林米粉 30 g 质量记为 m_1 ，放于 100 mL 开水中并按最佳时间烫热，捞出桂林米粉，将烫煮清液先放于电磁炉上将大部分水煮干，剩余大约 10 mL 清液置于烘箱中烘至恒重，称量剩余的固形物质量记为 m_2 ，按式（2）计算米粉蒸煮损失率：

$$X = \frac{m_2}{m_1(1-W)} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

X ——桂林米粉的蒸煮损失率，%；

m_1 ——桂林米粉质量，g；

m_2 ——清液置于烘箱中烘至恒重质量，g；

W ——桂林米粉的水分质量分数，%。

1.3.5 桂林米粉糊化程度的测定

参照 Liu 等^[10]方法作适当修改。取 3.5 g 冻干桂林米粉粉末样品（14% mb 标准湿度）与 25 mL 去离子水混合形成浆液。浆液由快速黏度分析仪以 960 r/min 的速度搅拌 10 s，然后以 160 r/min 的速度进行剩余的测试。浆液以最初的温度 50 °C 保持 1 min，然后以 12 °C/min 保持 3.75 min 加热到 95 °C。在 95 °C 维持 2.5 min，浆液被冷却到 50 °C，速率为 12 °C/min 保持 3.75 min，然后在 50 °C 保持 2 min。

1.3.6 桂林米粉老化程度的测定

参照 Huang 等^[11]方法作适当修改。将 2 mg 冻干桂林米粉粉末样品准确称量到铝坩锅中，用微管加去离子水 6 μ L，使水与样品的比例为 3:1。样品锅密封，在差示扫描量热仪分析前在 4 °C 下平衡过夜，然后按照确定的温度程序（30~100 °C，10 °C/min）加热，空锅作为参考。

1.3.7 桂林米粉滋味品质的测定

参照李月等^[12]方法并作适当修改。取三组桂林米粉样品各 30 g，用蒸馏水按照料液比 1:3（g/mL）浸泡，搅拌机搅拌 30 s，置于离心机以 3 000 r/min 离心 20 min，取上清液进行测定。

表 2 电子鼻各传感器的编号及响应特性

Table 2 Number and response characteristics of each sensor of electronic nose

编号	名称	传感器响应特性
1	W1C	对芳香族化合物敏感
2	W5S	对氮氧化物敏感
3	W3C	对氨类、芳香族化合物敏感
4	W6S	对氢气敏感
5	W5C	对烷烃、芳香族化合物敏感
6	W1S	对甲烷敏感
7	W1W	对硫化物和萜烯类敏感
8	W2S	对醇类和部分芳香族化合物敏感
9	W2W	对有机硫化物和芳香族化合物敏感
10	W3S	对烷烃敏感

表 3 桂林米粉感官评分细则
Table 3 Criteria for sensory evaluation of Guilin rice noodles

一级指标	二级指标	具体特性描述	分值/分
色泽	颜色	米粉条表面的褐色颜色均匀	11~15
		米粉条褐色较浅, 能看到米粉白色相间	6~10
		米粉条上褐色颜色较浅	0~5
吸附能力	米粉形态	米粉吸收能力好, 筷子夹起时米粉表面的卤水不浮起不滑落	11~15
		米粉吸收能力一般, 筷子夹起时卤水浮在米粉表面	6~10
		米粉吸收能力差, 筷子夹起时卤水明显滑落	0~5
	卤水形态	米粉吸收卤水后, 卤水附着于米粉表面, 碗底无残留卤水	11~15
		米粉吸收卤水较少, 卤水可以较好附着于米粉表面, 碗底残留卤水较少	6~10
		卤水较少附着于米粉表面, 碗底残留卤水较多	0~5
气味	风味	大米香味与卤水风味和谐	11~15
		大米香味较淡, 卤水风味较浅或较浓	6~10
		无大米香味, 也无卤水风味	0~5
口感	食味	咀嚼时有较浓郁的米香味且卤水味道适中, 米粉咸淡适宜, 有醇厚的卤水回味	11~15
		咀嚼时有较淡的米香味, 卤水味道较浅或较浓, 米粉较淡或较咸, 有较浅的卤水回味	6~10
	质构	咀嚼时无米香味、卤水味	0~5
		咀嚼时米粉硬度、黏度适中, 有较好的咀嚼口感	11~15
		咀嚼时米粉硬度、黏度、咀嚼口感度一般	6~10
		咀嚼时米粉硬度、黏度、咀嚼口感较差	0~5

1.3.8 桂林米粉风味品质的测定

参照易翠平等^[13]方法并作适当修改。称取三组桂林米粉各 5 g 于顶空进样瓶中, 轻微震荡, 使样品在瓶底铺平, 4 ℃密封 1 h, 25 ℃平衡 30 min 后进行测定。参数设置为: 样品准备时间 5 s, 采样间隔 1 s, 传感器自动清洗时间 120 s, 传感器归零时间 5 s, 进样流量 600 mL/min, 测定时间 60 s。每个样品平行测定 3 次。电子鼻传感器编号及响应特性如表 2。

1.3.9 桂林米粉感官评价的测定

参照龚雪等^[14]方法并作适当修改。取适量吸味桂林米粉由 12 名专业人员组成感官评定小组进行评分, 感官评分细则如表 3, 结果取平均值。

1.4 数据分析

采用 Excel、SPSS、Origin 对数据进行描述性分析、相关性分析、主成分分析及绘图。

2 结果与分析

2.1 桂林米粉的品质评价指标的筛选

2.1.1 桂林米粉品质指标描述性分析

变异系数是标准差与平均值的比值, 可以消除指标测量尺度差异大、量纲不同带来的不良影响, 客观比较数据离散程度的大小^[15]。表 4 中数据表明, 6 种桂林米粉各指标的变异系数最大值和最小值差别较大, 说明所选指标及米粉样品之间的差异较大, 指标和样品具有一定的代表性。

主要成分方面, 水分质量分数数值的标准差最大, 为 7.23; 蛋白质质量分数的变异系数最大, 为 24.41%, 说明样品之间的水分质量分数、蛋白质质量分数有较大差异。其中, 水分质量分数的差异可能因为, 方便桂林米粉的水分质量分数较低从而保质期较长, 即食桂林米粉水分质量分数较高可以达

到缩短烫热时间快速出餐目的。蛋白质质量分数的差异可能因为样品的选择产地广泛而使用的大米原料不同,汤鹏宇等^[16]研究发现不同产地大米的蛋白质含量变异系数大,且与米粉品质有显著相关性。

质构特性方面,硬度的标准差最大,为19.28,内聚性、胶粘性、咀嚼性变异系数均超过了40%,说明样品的质构特性有较大差异。复水特性方面,复水率的变异系数最大,为61.34%。淀粉质量分数、蛋白质质量分数、复水特性、质构特性等最大值、最小值结果范围与Wang等^[17]所研究的桂林米粉组的品质数值结果相接近。

糊化程度方面,糊化温度、峰值黏度、谷值黏度的变异系数相对较大,分别为89.10%、97.23%、86.37%。老化程度方面,结束温度、比热焓的变异系数相对较大,为23.16%和10.22%。

2.1.2 桂林米粉品质指标相关性分析

对上述22个指标进行相关性分析和热图绘制得到图1,发现各品质指标间存在相关性($P < 0.05$),

并非各自独立。图1表明,硬度与弹性、咀嚼性呈显著正相关($P < 0.05$),咀嚼性与硬度、弹性、胶粘性呈显著正相关。复水率、提取液吸光度、蒸煮损失率三者呈显著正相关($P < 0.05$)。王东坤等^[18]也认为鲜湿米粉应具有较低的蒸煮损失和较高的复水率,所以将复水率、蒸煮损失率作为复水特性的代表性指标。

糊化程度的6个指标相互呈显著正相关($P < 0.05$),有研究报道降落值是峰值黏度数值减去谷值黏度数值得到,回生值是最终黏度数值减去谷值黏度数值得到^[19],综合指标的变异系数分析可以将糊化温度、峰值黏度、谷值黏度作为糊化程度的代表性指标。比热焓与蛋白质、峰值温度呈显著正相关($P < 0.05$),而变异系数分析中是结束温度、比热焓的变异系数相对较大,所以可将比热焓、结束温度作为代表老化程度的指标,其中比热焓可以衡量桂林米粉的老化程度,比热焓越大,说明淀粉结晶程度越大,淀粉老化越严重;结束温度表示淀粉结构中稳定性较高的结晶区域的熔融温度^[20]。

表4 桂林米粉品质指标描述性分析

Table 4 Descriptive analysis of different quality indexes of Guilin rice noodles

指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	偏度	峰度
水分质量分数/%	50.54	71.03	60.80	7.23	11.90	0.06	-0.33
淀粉质量分数/%	78.11	84.61	81.23	2.42	2.97	-0.03	-0.89
直链淀粉质量分数/%	20.83	25.83	23.84	1.70	7.12	-1.08	2.14
蛋白质质量分数/%	4.32	8.89	6.38	1.56	24.41	0.54	0.76
硬度/g	23.02	71.99	51.25	19.28	37.62	-0.38	-1.42
内聚性	0.11	0.57	0.28	0.18	65.85	0.70	-0.85
弹性	0.35	0.71	0.53	0.13	24.04	0.01	-0.38
胶粘性	8.03	21.03	11.66	5.15	44.14	1.58	1.92
咀嚼性/MJ	3.11	9.78	5.73	2.62	45.67	0.70	-0.91
复水率/%	1.27	11.72	6.39	3.92	61.34	0.26	-1.07
提取液吸光度	0.08	0.21	0.14	0.05	36.26	-0.21	-1.61
蒸煮损失率/%	2.34	3.99	3.09	0.66	21.51	0.20	-1.75
糊化温度/°C	6.00	729.00	350.22	312.05	89.10	0.04	-2.67
峰值黏度/(mPa·s)	27.00	1 831.00	918.81	893.33	97.23	0.01	-3.19
谷值黏度/(mPa·s)	68.30	2 098.00	1 072.88	926.63	86.37	0.02	-3.01
降落值/(mPa·s)	68.75	3 263.00	1 567.63	1 294.71	82.59	0.06	-2.01
最终黏度/(mPa·s)	70.00	4 698.00	2 527.83	1 758.76	69.58	-0.05	-1.18
回生值/(mPa·s)	67.60	4 084.00	2 183.43	1 569.02	71.86	-0.02	-1.58
峰值温度 T_0 /°C	39.40	48.80	42.40	3.48	8.21	1.55	2.33
起始温度 T_p /°C	26.50	31.10	29.02	1.81	6.23	-0.53	-1.49
结束温度 T_c /°C	26.50	59.00	48.68	11.27	23.16	-2.03	4.75
比热焓 ΔH /(J/g)	11.53	15.15	13.16	1.34	10.22	0.56	-0.82

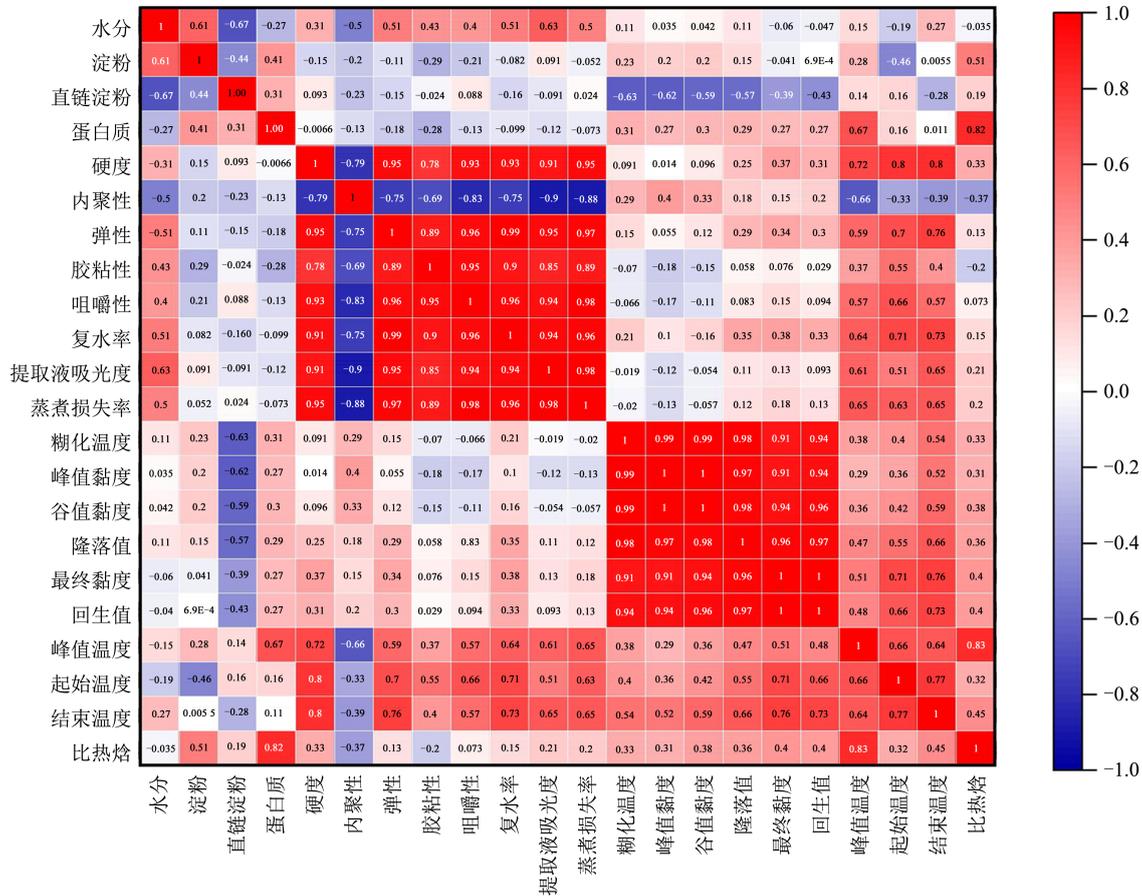


图 1 桂林米粉品质指标相关性分析

Fig.1 Correlation analysis of different quality indexes of Guilin rice noodles

表 5 烫热桂林米粉品质指标描述性分析

Table 5 Descriptive analysis of different quality indexes of cooked Guilin rice noodles

指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	偏度	峰度
水分质量分数/%	61.00	72.00	67.05	4.83	7.21	-0.36	-1.71
淀粉质量分数/%	70.38	72.40	71.55	0.96	1.34	-0.53	-2.26
直链淀粉质量分数/%	17.78	21.80	19.62	1.45	7.39	0.44	-0.51
蛋白质质量分数/%	4.03	7.58	5.50	1.40	25.49	0.44	-1.36
硬度/g	15.45	35.80	25.89	8.60	33.23	0.07	-2.34
内聚性	0.26	0.51	0.38	0.09	23.84	0.20	-0.40
弹性	0.20	0.72	0.42	0.18	42.01	0.73	1.04
胶粘性	4.71	14.89	11.34	3.74	32.99	-1.28	1.51
咀嚼性/MJ	1.07	6.87	4.22	2.26	53.61	-0.31	-1.34

2.2 烫热桂林米粉品质评价指标的筛选

从表 5 可以看出，经过烫热后的桂林米粉水分质量分数标准差变小，说明方便桂林米粉经过烫热后的水分质量分数有所增加，并与即食桂林米粉的相接近。蛋白质质量分数的变异系数仍最高，为 25.49%。质构特性方面，硬度的标准差相对较大，为 8.60，弹性、咀嚼性的变异系数相对较大，分别

为 42.01% 和 53.61%，说明经过烫热后的桂林米粉在硬度、弹性、咀嚼性上有较为明显的差别。

综合分析，可以将水分质量分数、蛋白质质量分数作为主要成分的代表性指标，将硬度、弹性、咀嚼性作为质构特性的代表性指标，卫萍等^[21]也认为硬度、弹性、咀嚼性这三个指标对米粉质构品质影响较大。

表 6 桂林米粉滋味品质描述性分析

Table 6 Descriptive analysis of taste quality of Guilin rice noodles

指标	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数/%	偏度	峰度
酸味	-26.31	17.18	-8.79	13.09	61.74	0.50	-0.62
苦味	-10.21	6.44	-0.82	3.86	13.23	-0.50	1.29
涩味	-10.25	11.88	-1.45	4.81	16.85	0.83	2.78
回味 B	-4.00	0.58	-2.08	1.45	5.21	0.48	-1.02
回味 A	-5.26	0.58	-1.30	1.36	4.75	-1.32	3.33
鲜味	-12.73	5.34	-3.24	5.99	22.37	-0.14	-1.35
丰富度	-2.97	10.68	3.76	4.66	13.81	0.29	-1.36
咸味	-19.88	2.60	-8.72	7.39	34.75	0.12	-1.36
甜味	-8.12	16.55	2.58	8.03	24.64	0.35	-1.31

表 7 桂林米粉风味品质描述性分析

Table 7 Descriptive analysis of flavor quality of Guilin rice noodles

传感器名称	传感器对应指标	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数/%	偏度	峰度
W1C	芳香族化合物	0.78	0.92	0.86	0.05	5.59	-0.47	-0.92
W5S	氮氧化合物	1.20	1.34	1.28	0.04	3.40	-0.19	-1.03
W3C	氨类、芳香族化合物	0.91	0.97	0.95	0.02	1.89	-0.83	-0.27
W6S	氢气	0.92	1.07	1.04	0.04	4.20	-2.49	5.16
W5C	烷烃、芳香族化合物	0.97	1.02	1.00	0.02	1.54	-0.92	0.00
W1S	对甲烷敏感	3.17	6.23	4.63	0.95	20.64	0.29	-1.24
W1W	硫化物和萜烯类	2.55	7.70	4.51	1.53	33.83	0.57	-0.19
W2S	醇类和部分芳香族化合物	1.37	2.22	1.77	0.29	16.36	0.40	-1.34
W2W	有机硫化物和芳香族化合物	1.92	3.75	2.62	0.54	20.62	1.01	0.22
W3S	烷烃	1.02	1.06	1.05	0.01	1.06	-0.84	-0.46

表 8 桂林米粉感官评价描述性分析

Table 8 Descriptive analysis of sensory evaluation of Guilin rice noodles

一级指标	二级指标	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数/%	偏度	峰度
色泽	颜色	10.36	10.90	10.60	0.18	1.70	0.67	1.40
吸附能力	米粉形态	8.24	9.75	8.73	0.53	6.10	1.79	3.72
	卤水形态	8.74	9.64	9.09	0.30	3.32	1.30	2.94
气味	风味	8.49	9.00	8.72	0.18	2.02	0.50	0.57
口感	食味	8.48	9.43	8.79	0.34	3.87	1.71	3.24
	质构	9.37	9.71	9.50	0.12	1.31	1.07	1.29

2.3 桂林米粉滋味品质指标的筛选

将三组桂林米粉进行电子舌检测, 其结果进行描述性分析得到表 6。从表可以看出酸味、鲜味、咸味、甜味四个指标的响应结果数值的变异系数较大, 分别为 61.74%、22.37%、34.75%、24.64%, 说明三

组桂林米粉滋味上在这四个指标上差异较大。这与胡子斌等^[22]研究的鲜湿米粉滋味在酸味、苦味、鲜味等指标上有较大的差异的结果相似, 且咸味可以代表桂林米粉吸味程度, 所以将酸味、鲜味、咸味三个指标作为桂林米粉滋味品质的代表性指标。

2.4 桂林米粉风味品质指标的筛选

将三组桂林米粉进行电子鼻检测，其结果进行描述性分析得到表 7。从表可以看出 W1S、W1W、W2S、W2W 四个传感器的响应结果数值的变异系数较大，分别为 20.64%、33.83%、16.36%、20.62%，说明三组桂林米粉风味上在这四个指标上差异较大，表明桂林米粉在甲烷类、硫化物和萜烯类、醇类芳香族化合物类等风味物质上有差异^[23]。说明可以将硫化物和萜烯类（W1W）、有机硫化物和芳香族化合物（W2W）作为风味品质的代表性指标。

2.5 桂林米粉感官评价品质指标的筛选

对桂林米粉进行感官评价后进行数据处理得到表 8。从表 8 可以看出，在二级指标中，是米粉形态指标、卤水形态指标及食味指标的变异系数较大，分别为 6.10%、3.32%、3.87%，说明桂林米粉在吸附能力及食味上差异较大，表明样品在口腔内被咀嚼后味觉器官的感觉差异较大^[3]。在前文分析中桂林米粉的质构特性变异系数较大，与二级指标质构相对应，且有研究表明质构特性与口感总评分之间均存在显著正相关性^[24]，所以将一级指标吸附能力、口感确定为感官评价的指标。

2.6 桂林米粉综合评价体系的建立

2.6.1 桂林米粉品质评价指标的确定

总结上文的分析，桂林米粉品质评价指标筛选为：主要成分是水质量分数、蛋白质质量分数；质构特性是硬度、弹性、咀嚼性；复水特性是复水率、蒸煮损失率；糊化程度是糊化温度、峰值黏度、谷值黏度；老化程度是比热焓、结束温度；滋味品质是酸味、鲜味、咸味；风味品质是硫化物和萜烯类（W1W）、有机硫化物和芳香族化合物（W2W）；感官评价是吸附能力、口感。

表 9 桂林米粉品质主成分的特征值及贡献率

Table 9 Eigenvalues and variance contribution rates of Guilin rice noodles quality

主成分数	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	8.041	42.323	42.323
2	5.112	26.904	69.227
3	2.771	14.585	83.813
4	2.222	11.696	95.509

2.6.2 桂林米粉的综合评价体系的建立

主成分分析在将原始变量转变为主成分的过程中，同时形成了反映主成分和指标包含信息量的系数，以计算综合评价价值，有效解决了多指标评价参数的问题^[25]。以筛选到的品质评价指标进行 PCA 分析得到表 9。由表 9 可知，前 4 个主成分的贡献率总计为 95.509%，表明这 4 个主成分解释了桂林米粉品质评价指标的信息，因此提取这 4 个主成分作分析。

表 10 桂林米粉品质主要指标的特征向量

Table 10 Eigenvectors of principal components of Guilin rice noodles quality

指标	PC1	PC2	PC3	PC4
水分质量分数	0.126	0.187	0.368	0.040
蛋白质质量分数	0.009	-0.136	-0.344	0.472
硬度	0.317	0.164	-0.130	-0.019
弹性	0.304	0.219	0.038	0.008
咀嚼性	0.253	0.298	-0.071	0.022
复水率	0.296	0.226	0.039	0.097
蒸煮损失率	0.278	0.268	-0.063	0.022
糊化温度	0.150	-0.238	0.240	0.391
峰值黏度	0.134	-0.286	0.242	0.329
谷值黏度	0.162	-0.286	0.209	0.317
比热焓	0.161	-0.179	-0.312	0.240
结束温度	0.345	-0.084	0.039	-0.016
酸味	0.137	-0.364	-0.034	-0.276
鲜味	-0.127	0.373	0.070	0.255
咸味	-0.124	0.329	0.032	0.374
硫化物和萜烯类	-0.130	0.006	0.550	-0.040
有机硫化物和芳香族化合物	-0.302	0.073	0.278	0.081
吸附能力	-0.293	0.116	-0.181	0.207
口感	-0.325	-0.046	-0.198	0.114

各个品质指标的特征向量见表 10，根据主成分对应的特征向量，以特征向量为权重构建 4 个主成分的函数表达式。指标水分质量分数设为 X_1 ，依次按顺序排列，口感为 X_{19} 。可以确定主成分与桂林米粉品质指标之间的线性关系表达式如下：

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 0.126X_1 + 0.009X_2 + 0.317X_3 + 0.304X_4 \cdots \cdots \\
 &\quad - 0.302X_{17} - 0.293X_{18} - 0.325X_{19} \quad (2) \\
 Y_2 &= 0.187X_1 - 0.136X_2 + 0.164X_3 + 0.219X_4 \cdots \cdots
 \end{aligned}$$

$$+0.073X_{17}+0.116X_{18}-0.046X_{19} \quad (3)$$

$$Y_3=0.368X_1-0.344X_2-0.130X_3+0.038X_4\cdots\cdots$$

$$+0.278X_{17}-0.181X_{18}-0.198X_{19} \quad (4)$$

$$Y_4=0.040X_1+0.472X_2-0.019X_3+0.008X_4\cdots\cdots$$

$$+0.081X_{17}+0.207X_{18}+0.114X_{19} \quad (5)$$

以每个主成分所对应的特征值占所提取的主成分特征值之和的比例为系数,得到米粉品质综合得分模型^[26]。

$$Y=0.721X_1+0.001X_2+0.332X_3+0.570X_4+0.502X_5+0.658X_6+0.505X_7+0.544X_8+0.419X_9+0.403X_{10}-0.090X_{11}+0.284X_{12}-0.537X_{13}+0.571X_{14}+0.611X_{15}+0.385X_{16}+0.129X_{17}-0.150X_{18}-0.456X_{19} \quad (6)$$

将品质指标代入模型,建立综合得分的评价体系:

$$\begin{aligned} \text{桂林米粉品质评价体系} = & 0.721 \times \text{水分质量分数} \\ & + 0.001 \times \text{蛋白质质量分数} + 0.332 \times \text{硬度} + 0.570 \times \text{弹性} \\ & + 0.502 \times \text{咀嚼性} + 0.658 \times \text{复水率} + 0.505 \times \text{蒸煮损失率} \\ & + 0.544 \times \text{糊化温度} + 0.419 \times \text{峰值黏度} + 0.403 \times \text{谷值黏度} \\ & - 0.090 \times \text{比热焓} + 0.284 \times \text{结束温度} + 0.537 \times \text{酸味} \\ & + 0.571 \times \text{鲜味} + 0.611 \times \text{咸味} + 0.385 \times \text{硫化物和萜烯类} \\ & + 0.129 \times \text{有机硫化物和芳香族化合物} - 0.150 \times \text{吸附能力} \\ & - 0.456 \times \text{口感} \quad (7) \end{aligned}$$

3 结论

桂林米粉的品质评价指标测定结果表明,水分质量分数、硬度的标准差较大,蛋白质质量分数、弹性、咀嚼性、复水率、糊化温度、峰值黏度、谷值黏度、结束温度、比热焓的变异系数相对较大。经过烫热后,水分质量分数、硬度的标准差数值有所降低,但蛋白质质量分数、弹性、咀嚼性的变异系数仍相对较大。吸味后的桂林米粉在酸味、鲜味、咸味、甜味、W1S、W1W、W2S、W2W及感官评价中吸附能力、口感指标有相对较大的变异系数。因此不同产地和分类的桂林米粉在品质上有较大的差别,且经过烫热后、吸味后的桂林米粉的品质仍有较大的区别,所以对桂林米粉进行品质评价,不仅要对其指标进行分析,也需要对烫热桂林米粉以及吸味桂林米粉的指标进行分析。

将品质评价指标进行分析筛选得到水分质量分数、蛋白质质量分数、硬度、弹性、咀嚼性、复水率、蒸煮损失率、糊化温度、峰值黏度、谷值黏度、比热焓、结束温度、酸味、鲜味、咸味、硫化物和萜烯类(W1W)、有机硫化物和芳香族化合

物(W2W)、吸附能力、口感19个具备代表性指标,以主成分分析得到前4个主成分的贡献率总计为95.509%,提取每个主成分所对应的特征值占所提取的主成分特征值之和的比例为系数,得到桂林米粉评价体系。此评价体系综合了桂林米粉的主要成分、质构特性、复水特性、糊化程度、老化程度;烫热桂林米粉的主要成分、质构特性;吸味桂林米粉的感官评价及三组桂林米粉的滋味品质、风味品质,可以评价从生产、成品、烫热、吸味到入口一系列阶段的不同品质桂林米粉。

参考文献

- [1] 李玲.广西米粉文化传播对策研究[D].南宁:广西大学,2020.
- [2] 谢洁.鲜湿米粉品质评价研究进展[J].粮食与油脂,2018,31(4):4-6.
- [3] 郭利利,周显青,熊宁,等.压榨型鲜湿米粉条感官评价方法的研究[J].现代食品科技,2016,32(2):253-261.
- [4] 郭翎菲.不同处理方式对鲜湿米粉品质的影响[J].粮食与油脂,2021,34(10):19-22.
- [5] 白娟,张瑶,汪雪瑞,等.基于电子舌和电子鼻的鲜肉粉风味分析[J].食品与发酵工业,2019,45(3):270-274.
- [6] 肖正午,黄敏.鲜湿米粉品质及其影响因素[J].中国稻米,2022,28(3):34-41.
- [7] XU H, HU H P, ZHANG C G, et al. Properties of pyrodextrinization corn starch and their inhibitory effect on the retrogradation of fresh rice noodles [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 257(1): 128555.
- [8] 卫攀杰,陈洁,许飞,等.保鲜方式对鲜湿米粉品质的影响[J].食品工业科技,2021,42(11):44-49.
- [9] 邓茹月,朱速松,闫志强,等.大米陈放时间对鲜湿米粉加工品质影响的研究[J].粮食与油脂,2022,35(1):14-17.
- [10] LIU R, YU Z L, SUN Y L, et al. Quality improvement effects of electrolyzed water on rice noodles prepared with semidry-milled rice flours [J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(6): 823-832.
- [11] HUANG S X, CHI C D, LI X X, et al. Understanding the structure, digestibility, texture and flavor attributes of rice noodles complexation with xanthan and dodecyl gallate [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 127: 107538.
- [12] 李月,张笑莹,王永霞,等.沙棘黑全麦生鲜面的配方优化及品质评价[J].粮食与油脂,2022,35(1):96-101.
- [13] 易翠平,任梦影,周素梅,等.纯种发酵对鲜湿米粉品质的影响[J].食品科学,2017,38(4):20-25.
- [14] 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.
- [15] 朱旭浩.米饭的质构特性与其适口性评价及影响因素研

- 究[D].郑州:河南工业大学,2023.
- [16] 汤鹏宇,孟繁博,黄道梅,等.高品质鲜湿米粉加工及保鲜技术[J].农技服务,2023,40(5):91-94.
- [17] WANG A X, YI C P, XIAO T Z, et al. Volatile compounds, bacteria compositions and physicochemical properties of 10 fresh fermented rice noodles from southern China [J]. *Food Research International*, 2021, 150: 110787.
- [18] 王东坤,张佳艳,李才明,等.植物乳杆菌强化发酵对鲜湿米粉品质的影响及作用机理分析[J].食品与发酵工业,2022,48(7):134-139.
- [19] 龙欣康.MTG、GDL及大豆7S蛋白添加对米粉蒸煮食用品质与消化特性的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2023.
- [20] WEN X, DING Y Q, CHENG Y, et al. Understanding the changes in quality of semi-dried rice noodles during storage at room temperature [J]. *Foods*, 2022, 11 (14): 2130.
- [21] 卫萍,张雅媛,游向荣,等.马铃薯-粳米粉特性及其挤压成型品质[J].中国粮油学报,2020,35(4):113-120.
- [22] 胡子斌,杨海涛,袁洁瑶,等.自然发酵液中3株优势菌对鲜湿米粉食味品质的影响[J].食品与机械,2023,39(6):19-25.
- [23] 樊振南,易翠平,祝红,等.植物乳杆菌发酵对鲜湿米粉品质的影响:II.食味品质[J].中国粮油学报,2018,33(1):7-12.
- [24] 高晓旭,佟立涛,钟葵,等.鲜米粉品质评价指标的研究[J].核农学报,2014,28(9):1656-1663.
- [25] 杨喆.不同水稻品种及稻谷储藏期对米粉品质的影响[D].长沙:湖南农业大学,2020.
- [26] 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.