

桂林米粉入味性质评价模型及预测模型的建立

李圣胜, 罗鏐欣, 陆华瑜, 毛瑞丰*

(广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)

摘要: 测定了桂林米粉的吸盐率、吸油率、色差值、孔隙率、卤水吸收率、卤水风味相似度、感官评价等 7 个入味性评价指标。其中各组样品吸盐率为 1.05%~1.80%, 吸油率 0.4%~1.0%, 卤水吸收率 1.69%~3.93%, 孔隙率 13.56%~34.56%, 色差值 20.42~31.61, 风味物质相似度 25.49~32.59, 感官评价结果为 41.71~49.75 分, 对这些指标进行主成分分析, 前两个主成分累计贡献率达 89.08%, 确定主成分与米粉入味性质指标的线性关系表达式, 从而建立桂林米粉入味性质评价模型。再测定桂林米粉的断条率、水分含量、吐浆值、糊汤度、碘蓝值、复水率及质构指标等品质评价指标, 以桂林米粉入味评价综合得分为因变量, 桂林米粉的品质评价指标为自变量, 利用逐步回归分析对影响桂林米粉入味性质的桂林米粉品质指标进行筛选并建立起了桂林米粉入味性质预测模型, 预测模型以硬度、断条率、弹性、咀嚼性为参考指标。两组模型分别从消费者和生产加工角度出发, 为桂林米粉评价体系完善及品质提升提供参考。

关键词: 桂林米粉; 入味; 评价模型

文章编号: 1673-9078(2025)09-305-317

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.9.0919

Establishment of Evaluation Model and Prediction Model for Flavor Characteristics of Guilin Rice Noodles

LI Shengsheng, LUO Liuxin, LU Huayu, MAO Ruifeng*

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: Seven taste evaluation indexes of Guilin rice noodle, including salt absorption rate, oil absorption rate, color difference value, porosity, brine absorption rate, brine flavor similarity, and sensory score, were determined. The salt absorption rate of each group of samples was 1.05%~1.80%, oil absorption rate was 0.4%~1.0%, brine absorption rate was 1.69%~3.93%, porosity was 13.56%~34.56%, color difference value was 20.42~31.61, flavor substance similarity was 25.49~32.59, and sensory evaluation result was 41.71~49.75 points. Through principal component analysis of these indicators, the cumulative contribution rate of the first two principal components was 89.08%, and a linear relationship between the principal components and Rice noodle's flavor property indicators was confirmed, thereby an evaluation model of Guilin rice noodle's flavor properties was established. Then, the quality evaluation indexes of Guilin rice noodle, such as breakage rate, moisture content, cooking loss value, paste degree, iodine blue value, rehydration rate and texture index were measured. With the comprehensive score of Guilin rice noodle as the dependent variable, and the quality evaluation index of Guilin rice noodle as the independent variable, stepwise regression analysis was used to screen the quality indexes of Guilin

引文格式:

李圣胜,罗鏐欣,陆华瑜,等.桂林米粉入味性质评价模型及预测模型的建立[J].现代食品科技,2025,41(9):305-317.

LI Shengsheng, LUO Liuxin, LU Huayu, et al. Establishment of evaluation model and prediction model for flavor characteristics of Guilin rice noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(9): 305-317.

收稿日期: 2024-07-01; 修回日期: 2024-09-20; 接受日期: 2024-09-29

作者简介: 李圣胜 (2000-), 男, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: 1393412455@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

rice noodle that affected noodle's flavor properties, and establish a prediction model for Guilin rice noodle's flavor properties. The prediction model took hardness, breakage rate, elasticity, and chewiness as the reference indexes. The two sets of models provide references for the improvement of Guilin rice noodle evaluation system and quality improvement from both consumer and production and processing perspectives.

Key words: Guilin rice noodles; tasty; evaluation model

桂林米粉是广西桂林极具地方特色的传统食品,也是广西壮族自治区区级非物质文化遗产。其口感软糯,卤水和各式各样的配料具有特色香味,以独特风味远近闻名。尽管目前已经建立了对于桂林米粉的相关地方标准^[1],但标准中的指标要求主要是米粉自身理化指标、微生物指标以及相关制作工艺要求上的^[2],而对于桂林米粉自身最重要的食品风味性质,即入味性质相关的内容,依然存在着一定的缺失,入味性质可以认为是米粉对于调味料附着与吸收能力的一种体现,作为消费者食用桂林米粉时的印象来源,米粉的入味程度是影响消费者选择和认可的重要因素^[3],因此有必要对桂林米粉的入味程度进行一定的量化评价以确定其食用性质的优劣。

目前普遍利用电子鼻、电子舌^[4]等方式对米粉风味进行定量化测定,这些方式虽然在一定程度上确实可以准确测定出桂林米粉的入味程度,但样品的制备时间较长,所需设备较复杂,对于实际生产加工的帮助有限,并与消费者食用桂林米粉的实际情况存在一定差距,难以充分反映消费者的选择倾向和认可程度。

桂林米粉中米粉的入味程度主要取决于米粉浸泡在卤水中的渗透作用^[5],米粉卤水的品质对桂林米粉的质量和口感有着至关重要的影响,桂林米粉卤水是以液体为主的,而食用盐以及其他鲜味物质等大多溶于桂林米粉卤水之中,因此桂林米粉经过卤水渗透后米粉中食用盐的含量水平则可以被视为反映桂林米粉入味性质的重要指标^[6]。并且利用桂林米粉的吸水性性质优劣也可以在一定程度上反映出食用盐以及其他鲜味物质在米粉中的入味情况,在桂林米粉卤水中存在着一定量的动植物油脂成分^[7],这些油脂成分并不溶于水,因此还需要通过米粉中吸油量的测定,在一定程度上反映米粉的吸附入味能力^[8]。桂林米粉卤水的一大特点是颜色较深,对米粉具有一定的着色能力。在面条类食品的感官评价中,调味品对面条的着色程度被用作评价入味程度的指标^[9],同理测定米粉入味后的颜色变化也能

够反映其入味程度。

基于此,本论文选择 10 种桂林米粉样品,进行桂林米粉煮制入味后较易测得的各类型入味指标的测定及分析,尝试建立入味性质综合得分计算公式和入味性质评价模型,并且对桂林米粉品质指标进行测定,利用逐步回归分析对影响桂林米粉入味性质的桂林米粉品质指标进行筛选并建立桂林米粉入味性质预测模型。对规范桂林米粉的生产和加工,保证桂林米粉风味品质,具有一定的意义和价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

目前市售的桂林米粉线下销售主要以鲜食类型为主,线上销售主要以保鲜米粉类型为主,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,选择了不同产地不同类型的各种类桂林米粉作为实验样品,尽可能覆盖了消费者的桂林米粉选择类型,桂林米粉样品的最佳入味时间来自于厂家说明推荐以及线下沟通获知,桂林米粉样品选择来源及编号设定如表 1。

桂林米粉样品入味所使用的卤水选择某市售桂林米粉卤水产品品牌卤水。

试剂:亚铁氰化钾、乙酸锌、乙酸、硝酸银、铬酸钾、盐酸、乙醇、石油醚、碘、碘化钾,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。

1.2 主要仪器与设备

TA.TX2.plus 质构仪,英国 STABLE 公司;YP10002 电子天平,上海衡际科学仪器有限公司;T25DS25 粉碎机,德国 IKA 公司;Alphal-4LDPlus 冷冻干燥机,德国 MartinChrist 公司;Phenom 扫描电镜,复纳科学仪器有限责任公司;FlavourSpec® 食品风味分析仪含 CTC 自动顶空进样器,德国 GAS 公司;DHG-9070A 电热鼓风干燥箱,山东欧莱博仪器有限公司;UltrascanPRO 色差仪,美国

HunterLab 公司；C21-WK2102 电磁炉，广东美的生活电器制造有限公司。

表 1 样品的选择及设定
Table 1 Selection and setting of samples

样品 序号	样品分类	产地	来源	最佳煮制 时间/s	保质 期/d
1	鲜食桂林米粉	南宁	南宁某连锁 餐饮店	60	2
2	鲜食桂林米粉	南宁	南宁某连锁 餐饮店	60	2
3	鲜食桂林米粉	桂林	桂林某个体 餐饮店	60	2
4	保鲜桂林米粉	柳州	广西某食品 公司	300	180
5	保鲜桂林米粉	桂林	广西某食品 公司	180	90
6	保鲜桂林米粉	湖南	湖南某食品 公司	180	180
7	保鲜桂林米粉	桂林	广西某食品 公司	120	90
8	保鲜桂林米粉	桂林	广西某食品 公司	180	180
9	保鲜桂林米粉	上海	上海某食品 公司	180	180
10	鲜食桂林米粉	南宁	南宁某个体 餐饮店	30	2

1.3 测定桂林米粉入味指标

1.3.1 吸盐量的测定

对不同桂林米粉样品进行相应时间加热煮制后浸泡在卤水中入味 1 min，入味结束后将桂林米粉进行沥干，沥干至无明显附着水分，按照 GB 5009.44-2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》测定入味后桂林米粉中氯化物的含量，以加热煮制后未进行入味的样品空白组，测定结果减去空白桂林米粉氯化物含量数据后，即得到入味后桂林米粉的吸盐率数值。

1.3.2 吸油量的测定

对不同桂林米粉样品进行相应时间加热煮制后浸泡在卤水中入味 1 min，入味结束后将桂林米粉进行沥干，按 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》测定入味后桂林米粉中脂肪的含量，测定结果减去空白桂林米粉脂肪含量数据后，即得到入味后桂林米粉的吸油量数值。

1.3.3 卤水吸收率的测定

对不同桂林米粉样品进行相应时间加热煮制

后，将桂林米粉进行沥干，沥干至无明显附着水分，称量桂林米粉加热煮制后质量，再将桂林米粉浸泡在卤水中入味 1 min，入味结束后再次将桂林米粉进行沥干，称量桂林米粉进行入味后质量，计算两次称量质量差与桂林米粉加热煮制后质量之比，得出桂林米粉卤水吸收率的数值。

1.3.4 孔洞观察及孔隙率测定

米粉中普遍存在着空洞和孔隙的结构^[10]，使用扫描电子显微镜对不同桂林米粉样品在正常可食用的形态下进行特征形态和结构特征观测，利用空洞和孔隙对桂林米粉卤水的吸附效果来反映桂林米粉的入味性质，对各样品进行 10~15 组桂林米粉的截面电镜图片拍摄，并截取桂林米粉截面图片，利用 ImageJ 图像处理软件，根据米粉截面中空洞部分颜色较深的特点，通过孔洞部分深色面积占桂林米粉截面面积比值测量桂林米粉孔隙率。

1.3.5 色差值

使用色差仪测定米粉的颜色系数，米粉煮制后浸泡在卤水中入味，米粉沥干水分后，使用分光光度仪测定其亮度 (L^*)、红绿值 (a^*)、黄蓝值 (b^*)。记录 L^* 值 (亮度)、 a^* 值 (红绿值) 和 b^* 值 (黄蓝值)。参考葛秀秀等^[11]的方法计算粉条的色差值 (w)：

$$w=L^*-a^*-b^* \tag{1}$$

以色差值作为米粉上色程度表示，颜色越深说明入味性越好。

1.3.6 入味性感官评价

参考黄菊等^[12]的桂林米粉感官评分细则，根据评分细则相关内容，修改为对米粉吸收卤水后入味后的评价指标进行感官评价。取适量入味后桂林米粉由 15 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 2，结果取平均值。

1.3.7 风味物质相似度

对入味后的桂林米粉样品以及进行入味所使用的桂林米粉卤水进行气相色谱-离子迁移谱 (GC-IMS) 联用技术检测，对各风味物质进行选择分析，通过归一化法通过峰面积进行风味物质的相对含量计算，并使用分析仪自带的 LAV 软件中的 matching analytics 插件利用风味物质峰体积面积在不同样品中相对含量进行相似度分析，比较入味后米粉样品与原卤水样品之间风味相似度，作为入味程度中吸附风味物质情况的定量指标。

表 2 桂林米粉感官评分细则
Table 2 Criteria for sensory evaluation of Guilin rice noodles

一级 指标	二级 指标	具体特性描述	分值
色泽	颜色	米粉条表面的褐色颜色均匀	8~10 分
		米粉条褐色较浅，能看到米粉白色相间	5~7 分
		米粉条上褐色颜色较浅	0~4 分
吸附能力	米粉形态	米粉吸附能力好，与卤水拌匀后，筷子夹起时米粉表面的卤水不浮起不滑落	8~10 分
		米粉吸附能力一般，与卤水拌匀后，筷子夹起时卤水浮在米粉表面	5~7 分
		米粉吸附能力差，与卤水拌匀后，筷子夹起时卤水明显滑落	0~4 分
糊汤度	卤汁形态	米粉吸附汤汁后，碗底无残留汤汁	8~10 分
		米粉吸附汤汁较少，碗底残留汤汁较少	5~7 分
		碗底残留汤汁较多	0~4 分
气味	风味	大米香味与卤水风味和谐	8~10 分
		大米香味较淡，卤水风味较浅或较浓	5~7 分
		无大米香味，也无卤水风味	0~4 分
滋味	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	8~10 分
		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	5~7 分
		咀嚼时无米香味、卤水味	0~4 分
口感	质构	咀嚼时米粉硬度、黏度适中，有较好的咀嚼口感	8~10 分
		咀嚼时米粉硬度、黏度、咀嚼口感度一般	5~7 分
		咀嚼时米粉硬度、黏度、咀嚼口感较差	0~4 分

1.4 测定桂林米粉品质指标

1.4.1 断条率

参照 GB/T 23587-2009《粉条》中断条率测定方法并稍作修改。选择 20 cm 左右的桂林米粉样品 10 g 左右，置于装有 900 mL 沸水的烧杯中，煮沸保持 1 min，加冷水冷却。沥干水分后将称量长度不足 10 cm 的桂林米粉质量 (W_1) 和桂林米粉总质量 (W)，如式 (2) 计算各桂林米粉样品断条率。

$$X = \frac{W_1}{W} \times 100\%$$

式中：

X ——桂林米粉断条率，%；

W_1 ——长度不足 10 cm 的桂林米粉质量，g；

W ——桂林米粉总质量，g。

1.4.2 水分含量测定

参照 GB 5009.3-2016 标准，直接干燥法，称取 5~10 g 左右未加热煮制的桂林米粉样品于干燥过的玻璃皿中，置于 105 ℃ 的恒温干燥箱中干燥，取出后放入干燥器中冷却到室温后称量。然后再将装有样品的玻璃皿放入 105 ℃ 的干燥箱中干燥取出后置于干燥器中冷却至室温，称量。重复以上操作直到前后两次质量差小于 2 mg。

1.4.3 吐浆率

参照 Cham 等^[13]的方法，在测定桂林米粉样品水分含量 (W) 的同时，称取 20 g 左右的米粉样品 (M_0)，在 500 mL 沸水中煮制 2 min，冷却后将汤汁定容至 500 mL，移取 50 mL 至已恒重的器皿 (M_1) 中，再将其放置在 (105±2) ℃ 条件下干燥至恒重 (M_2)，如式 (3) 计算吐浆率。

$$X = \frac{M_2 - M_1}{M_0(1 - W)} \times 100\%$$

式中：

X ——桂林米粉吐浆率，%；

W ——桂林米粉样品水分含量，%；

M_0 ——桂林米粉样品质量，g；

M_1 ——已恒重的器皿质量，g；

M_2 ——干燥至恒重质量 (含器皿)，g。

1.4.4 糊汤度

参照卫攀杰等^[14]的方法并进行调整，称取 5 g 桂林米粉样品，置于 200 mL 沸水中，使其煮沸保持 8 min。将桂林米粉捞出用蒸馏水冲洗表面并沥干水分，收集冷却后的汤汁定容至 250 mL，用分光光度计在 675 nm 处测定其透光率，以蒸馏水为参比样，测定得透光率为桂林米粉糊汤度数。

1.4.5 碘蓝值

参照曹世阳等^[15]的方法，称取 5 g 桂林米粉于烧杯，在 100 mL 沸水中煮沸 5 min，快速将米粉捞出，粉汤冷却至室温，取上清液 5 mL 加入到预先加入大约 50 mL 蒸馏水的 100 mL 容量瓶中，加 1.0 mL 1 mol/L 的乙酸溶液，摇匀，再加入 2 mL 碘试剂，加水至刻度，摇匀，静置 10 min，空白溶液调零，用分光光度计在 620 nm 处测定吸光度值即为桂林米粉样品碘蓝值。

1.4.6 质构特性

参照雷婉莹等^[16]的方法，从每组桂林米粉样品中随机选择若干根粗细均匀、无弯曲且无裂纹的样品于沸水中煮制 1 min，将米粉捞出后用沥干水分备用，测试前将米粉表面的水分吸干，取若干根直径均匀，长约 5 cm 样品进行质构特性测定。探头选择 P/36，测试速度 2 mm/s，进行两次压缩，间隔时间 2 s，触发力 0.05 g，压缩比 40%。测定桂林米粉样品硬度、内聚性、弹性、黏性、咀嚼性等质构特性指标，取平均值为结果。

1.4.7 复水率

测定桂林米粉加热煮制前后的水分质量分数，由加热煮制后的水分质量分数减去加热煮制前的水分质量分数可得。

1.5 数据分析

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

2 结果和分析

2.1 不同桂林米粉入味指标

2.1.1 吸盐率、吸油率、卤水吸收率及感官评价指标

吸盐率、吸油率、卤水吸收率等定量化的指标，可以作为桂林米粉入味性的定量化评价指标。从表 3 可以看出，各桂林米粉样品的吸油率的变异系数为 33.38%，是桂林米粉各入味性评价指标中变异系数最大的，而各样品的吸油率和卤水吸收率的变异系数分别为 17.05% 和 23.73%，变异系数的范围也较大，说明各桂林米粉样品的定量化入味性评价指标差别较大。而各桂林米粉样品的感官评价指标变异系数为 5.52%，数据的离散程度相较另外三组指标之间也较小，说明桂林米粉样品的感官评价差异不明显，桂林米粉的定量化入味性评价指标反映在感官评价方面并不显著，即在数值上差异较大，但感官上差异不明显。这可能与桂林米粉卤水的特征以及个人的食用习惯有关^[5]，而吸盐率和吸油率测定数值范围与张建初等的入味性质实验结果也较为接近^[6]，因此结合定量化入味性评价指标可以说明所选各样品的入味性评价指标的差异较大，具有一定的代表性。

表 3 桂林米粉吸盐率、吸油率、卤水吸收率和感官评价的结果及描述性分析

Table 3 Results and descriptive analysis of salt absorption rate, oil absorption, brine absorption rate and sensory evaluation of Guilin rice noodles

样品序号	吸盐率/%	吸油率/%	卤水吸收率/%	感官评价
1	1.38 ± 0.04 ^d	0.54 ± 0.08 ^{cd}	2.77 ± 0.24 ^{cd}	49.71 ^a
2	1.55 ± 0.01 ^b	0.60 ± 0.09 ^{bc}	3.93 ± 0.33 ^a	49.75 ^a
3	1.25 ± 0.02 ^e	0.69 ± 0.11 ^b	2.69 ± 0.18 ^{de}	45.31 ^b
4	1.09 ± 0.04 ^f	0.40 ± 0.06 ^d	1.69 ± 0.19 ^g	41.71 ^c
5	1.80 ± 0.03 ^a	1.00 ± 0.12 ^a	3.17 ± 0.38 ^{bc}	45.50 ^b
6	1.49 ± 0.05 ^c	0.73 ± 0.07 ^b	2.81 ± 0.29 ^{cd}	46.12 ^b
7	1.25 ± 0.02 ^e	0.43 ± 0.06 ^d	2.59 ± 0.37 ^{de}	45.37 ^b
8	1.05 ± 0.01 ^g	0.42 ± 0.04 ^d	2.24 ± 0.28 ^{ef}	45.31 ^b
9	1.22 ± 0.03 ^e	0.68 ± 0.09 ^b	2.10 ± 0.37 ^{fg}	48.59 ^a
10	1.54 ± 0.04 ^{bc}	0.99 ± 0.08 ^a	3.41 ± 0.24 ^b	49.06 ^a
标准差	0.23	0.22	0.07	2.57
平均值	1.36	0.65	2.74	46.64
变异系数/%	17.05	33.37	23.73	5.52

注：同列不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。

2.1.2 孔隙率、色差值

孔隙率和色差值等指标需通过仪器对桂林米粉自身特质进行测定，可以认为是以间接形式反映桂林米粉入味性的指标。图 1 为部分桂林米粉样品的截面孔隙图。

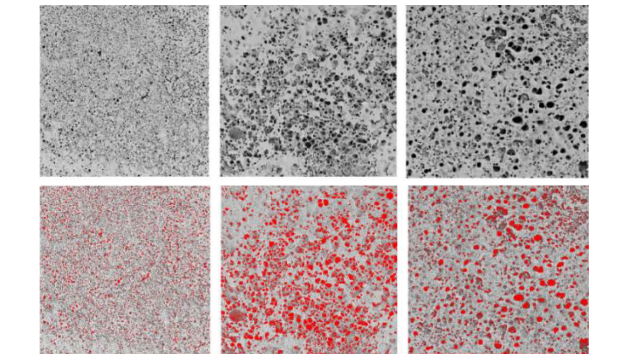


图 1 部分样品的孔隙率测定结果

Fig.1 Porosity measurement results of some samples

从表 4 可以看出，各桂林米粉样品的截面孔隙率测定结果的变异系数范围从 9.93% 到 27.59%，其相较于其他入味性评价指标的变异系数偏大，说明各类桂林米粉样品的微观结构差别较大，这与米粉的加工工艺和原料选择关系较大^[17]，就算是同种米

粉样品也可能存在着微观结构的差别^[18]，因此微观结构的观察和测量需要通过多组平行样品的测定才能较好的反映样品的实际平均微观指标结果。

表 4 桂林米粉截面孔隙率测定结果及描述性分析
Table 4 Measurement results and descriptive analysis of surface porosity of Guilin rice noodles

样品序号	平均孔隙率/%	最大值/%	最小值/%	标准差	变异系数/%
1	26.38	29.54	23.53	0.03	9.93
2	31.83	36.64	26.90	0.04	11.47
3	28.52	34.60	15.30	0.06	22.72
4	13.56	16.94	11.46	0.02	17.86
5	25.35	28.15	19.40	0.03	12.24
6	25.28	33.12	15.10	0.07	27.59
7	19.15	22.70	15.41	0.03	14.31
8	15.62	18.92	11.80	0.02	16.70
9	20.31	25.42	10.07	0.05	22.84
10	34.56	43.32	27.93	0.05	14.58

表 5 桂林米粉入味后色差值测定结果
Table 5 Determination of color difference value of Guilin rice noodles after taste

样品序号	<i>L</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	色差值
1	62.32	5.62	26.68	30.02
2	55.39	4.31	22.95	28.13
3	62.18	4.48	23.19	34.51
4	50.92	4.48	22.74	23.70
5	59.79	6.42	24.89	28.48
6	55.75	6.63	24.33	24.80
7	55.54	8.92	26.19	20.42
8	55.60	4.75	19.24	31.61
9	53.18	5.74	21.91	25.53
10	58.10	7.78	24.07	26.25

由表 5 可看出，各桂林米粉样品的 *L** 值较高，范围从 50.92 到 62.32，而 *b** 值较低，范围从 19.24 到 26.68，*a** 值的数值最低，范围从 4.31 到 8.92，*L** 值较高主要是由于桂林米粉原本自身底色就为白色，各样品的 *L** 值基数就偏高导致的^[19]，而 *a** 值为红绿值，*b** 值为蓝黄值，桂林米粉卤水本身偏黄

棕褐色^[20]，桂林米粉通过吸收卤水，使得卤水成分中显色成分附着在米粉表面和内部，导致自身的 *L** 值下降，*a** 值和 *b** 值向相应色调方向偏移。同时对比孔隙率测定的结果，将色差值与孔隙率之间显著性关系进行检验，相关性系数 $P<0.05$ ，可以入味二者之间存在相关性，大米蛋白能与淀粉发生相互作用，形成网状结构，这种桂林米粉的结构性质可能对着色以及入味程度有着一定的影响^[21]。

2.1.3 风味物质

通过利用气相色谱-质谱联用仪（GC-IMS）对桂林米粉卤水进行挥发性风味物质的定性检测，从桂林米粉卤水样品中鉴定出了 46 种挥发性有机化合物，其中有 10 种酯类物质、9 种醇类物质、6 种醛类物质、7 种酮类物质以及其他类型物质等。其中有 11 种挥发性有机化合物则是以二聚体的形式存在，其余挥发性有机化合物则以单体形式存在，这些挥发性风味物质主要来自于桂林米粉卤水加工过程中的变化和其他香料物质的加入^[22,23]。

通过表 6 卤水中定性的挥发性风味物质在桂林米粉样品中的出现情况，卤水中部分的挥发性风味物质也与其他桂林米粉卤水研究中物质相符合^[20]，均是以酮类、醛类、酯类物质为主，由于含量计算是通过归一化法进行的相对含量计算，因此卤水样品与米粉样品之间各风味物质相对含量的数值存在一定差异。图 2 为卤水样品和桂林米粉样品的 GC-IMS 二维谱图比较，在图谱中的横坐标是挥发性组分的迁移时间，而纵坐标则是挥发性组分的保留时间，图谱中的不规则形状点则代表了某一种挥发性组分，点的颜色越红则代表该种挥发性组分在被测样品中的含量越高，色偏向于蓝白色时则说明该挥发性风味物质的浓度较低，通过对比可看出桂林米粉入味后所能吸附的挥发性风味物质主要集中在谱图的下方。

从图 3 的样品 GC-IMS 挥发性风味物质指纹图谱中观察，以卤水样品为基准，可直观的观察出其他十组桂林米粉样品入味后吸附挥发性风味物质的具体情况，各组桂林米粉样品相比较存在着一定的差异，但是从总体的指纹图谱来看，还是存在着一定的一致性，而各组桂林米粉样品之间尽管也存在着共同存在的挥发性风味物质，但是从指纹图谱中也可观察出含量上存在的差异。

表 6 桂林米粉卤水中定性风味物质表

Table 6 Qualitative flavor substances in Guilin rice noodle brine																
序 号	风味物质	分子量	保留指数	保留时间 /s	相对迁移 移时间	相对含量/%										
						卤水样品	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	样品 6	样品 7	样品 8	样品 9	样品 10
1	叶醇	100.20	1 371.60	1 558.18	1.23	8.31	4.94	5.06	1.05	0.69	0.75	0.58	0.63	0.54	0.72	0.62
2	顺式-4-庚烯醛	112.20	1 249.80	1 310.95	1.16	1.13	0.30	0.26	0.28	0.25	0.24	0.23	0.27	0.55	0.27	0.51
3	β -蒎烯	136.20	1 075.70	957.57	1.32	0.31	0.09	0.08	0.08	0.09	0.10	0.07	0.07	0.09	0.08	0.10
4	仲丁醇	74.10	1 044.90	896.82	1.15	0.94	0.79	0.49	0.52	0.46	0.50	0.33	0.45	0.37	0.38	0.24
5	醋酸异丁酯	116.20	981.80	788.21	1.62	0.03	0.07	0.08	0.09	0.10	0.09	0.08	0.09	0.10	0.10	0.10
6	异丙醇	60.10	973.70	776.25	1.22	0.18	0.10	0.12	0.10	0.10	0.09	0.08	0.06	0.07	0.08	0.09
7	正戊醛	86.10	973.00	775.32	1.19	0.03	0.15	0.17	0.16	0.21	0.21	0.19	0.19	0.21	0.21	0.21
8	异丙醇-d8	60.10	936.10	723.68	1.22	0.20	0.09	0.13	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.07	0.08	0.11
9	己醛	100.20	775.60	474.80	1.56	0.04	0.61	0.37	0.16	0.32	0.23	0.41	0.55	0.40	0.21	1.06
10	2-己醇	102.20	775.00	473.87	1.27	0.16	0.19	0.40	0.31	0.45	0.4	0.35	0.37	0.47	0.44	0.37
11	2,3-戊二酮	100.10	716.80	397.96	1.22	0.35	0.52	0.24	0.22	0.21	0.20	0.25	0.19	0.19	0.19	0.46
12	乙酸乙酯	88.10	549.40	293.35	1.34	0.70	0.27	0.22	0.43	0.25	0.28	0.16	0.36	0.11	0.13	0.57
13	甲酸乙酯	74.10	805.70	522.01	1.22	0.19	0.15	0.15	0.13	0.14	0.14	0.12	0.11	0.13	0.12	0.14
14	2-乙基呋喃	96.10	676.10	360.93	1.30	0.10	0.25	0.95	0.66	1.06	0.54	0.56	1.27	0.75	0.50	0.85
15	苯乙烯	104.20	903.50	678.20	1.42	0.16	0.55	0.41	0.67	0.40	0.33	0.21	0.33	0.20	0.35	0.23
16	2-庚酮	114.20	897.20	668.91	1.72	0.49	0.31	0.24	0.32	0.26	0.28	0.24	0.28	0.27	0.30	0.30
17	3-庚醇	116.20	888.60	656.10	1.66	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.06	0.06	0.09
18	异戊醇	88.10	1 182.40	1 174.08	1.24	0.26	0.77	0.13	0.11	0.12	0.12	0.10	0.12	0.13	0.13	0.14
19	甲基丙烯醛	70.10	888.30	655.54	1.22	0.12	0.05	0.08	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.07
20	异戊酸	102.10	870.60	628.11	1.21	0.46	0.15	0.21	0.19	0.21	0.18	0.15	0.15	0.14	0.19	0.20
21	甲酸乙酯	74.10	853.40	600.33	1.22	0.12	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.04	0.04	0.06	0.07
22	丙酸丙酯	116.20	789.70	496.48	1.22	0.40	0.62	0.42	0.48	0.33	0.33	0.24	0.28	0.13	0.23	0.28
23	丙酮	58.10	826.10	555.59	1.12	0.79	0.93	0.71	1.32	0.87	0.87	0.27	1.05	0.25	0.57	0.28
24	乙酸乙酯 (D)	88.10	882.30	646.44	1.35	0.06	0.19	0.46	0.33	0.55	0.67	0.72	0.57	0.71	0.57	1.54
25	丙醇	60.10	567.70	302.00	1.24	0.31	0.13	0.11	0.15	0.11	0.11	0.18	0.11	0.09	0.07	0.20
26	异戊烯醛	84.10	781.60	483.93	1.37	0.25	0.28	0.31	0.37	0.27	0.24	0.18	0.37	0.12	0.13	0.26
27	α -蒎烯	136.20	911.70	689.79	1.30	0.79	0.34	0.24	0.39	0.25	0.22	0.17	0.25	0.98	0.18	0.44
28	乙酸异戊酯	130.20	890.90	659.53	1.30	0.87	0.22	0.22	0.39	0.30	0.28	0.15	0.36	0.11	0.25	0.23
29	2-己酮	100.20	773.80	472.11	1.50	0.05	0.06	0.23	0.12	0.22	0.16	0.23	0.32	0.25	0.16	0.71
30	D-2-甲基丁酸甲酯	116.20	774.10	472.51	1.53	0.03	0.04	0.21	0.10	0.17	0.13	0.18	0.21	0.19	0.12	0.41

续表 6

序 号	风味物质	分子量	保留指数	保留时间 /s	相对迁 移时间	相对含量/%										
						卤水样品	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	样品 6	样品 7	样品 8	样品 9	样品 10
31	异丁酸乙酯	116.20	731.00	414.22	1.56	0.55	0.03	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.06
32	甲酸丁酯	102.10	710.80	391.64	1.52	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02
33	2-乙基呋喃	96.10	707.90	388.68	1.31	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
34	2-戊酮	86.10	675.40	360.36	1.37	0.14	0.06	0.17	0.12	0.18	0.09	0.33	0.18	0.31	0.10	0.70
35	2-壬酮	142.20	1 085.10	976.65	1.41	0.28	0.29	0.39	0.44	0.50	0.49	0.47	0.42	0.50	0.49	0.67
36	辛醇	130.20	1 083.40	973.11	1.88	0.03	0.07	0.09	0.08	0.10	0.10	0.08	0.09	0.10	0.09	0.11
37	仲丁醇 (D)	74.10	981.40	787.62	1.34	0.12	0.30	0.10	0.09	0.09	0.12	0.10	0.09	0.18	0.11	0.18
38	甲酸乙酯 (D)	74.10	834.70	569.68	1.21	0.34	0.41	0.33	0.31	0.27	0.32	0.45	0.26	0.26	0.27	0.62
39	四氢噻吩	88.20	790.20	497.37	1.30	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.02	0.03	0.03	0.04
40	2-甲基丁醛	86.10	676.70	361.35	1.40	0.02	0.02	0.09	0.05	0.08	0.03	0.13	0.10	0.10	0.04	0.42
41	2-乙基呋喃 (D)	96.10	715.80	396.93	1.30	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04
42	丙酸丙酯 (D)	116.20	751.40	440.21	1.21	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
43	吡啶	79.10	744.20	430.65	1.25	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
44	1,2-丙二醇	76.10	731.90	415.34	1.27	0.12	0.19	0.07	0.12	0.07	0.06	0.03	0.06	0.04	0.05	0.22
45	丙酸	74.10	705.40	386.17	1.27	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02
46	丁醛	72.10	591.00	313.00	1.29	0.20	0.43	0.46	0.54	0.57	0.57	0.82	0.54	0.30	0.47	0.58
47	异丁醛 (D)	72.10	560.60	298.65	1.29	0.26	0.05	0.04	0.08	0.04	0.05	0.55	0.06	0.18	0.02	0.03
48	丙酮 (D)	58.10	482.60	261.83	1.12	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.08	0.13	0.11	0.16	0.16	0.21
49	甲基叔丁基醚	88.10	687.50	369.91	1.13	0.69	0.22	0.25	0.33	0.34	0.43	0.15	0.37	0.21	0.29	0.17
50	醋酸	60.10	629.10	331.65	1.14	0.17	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.27	0.38	0.32	0.42	0.28
51	异丁醛 (D)	72.10	555.60	296.26	1.10	0.12	0.56	0.54	0.73	0.58	0.60	0.89	0.60	1.02	0.34	0.23
52	异戊烯醛 (D)	84.10	725.90	408.17	1.09	0.53	1.42	1.43	1.38	1.35	1.34	0.81	1.04	0.82	1.33	0.79
53	乙缩醛二乙醇	118.20	725.50	407.69	1.13	0.50	0.22	0.21	0.31	0.26	0.31	0.08	0.21	0.09	0.13	0.07
54	丙酸 (D)	74.10	696.30	377.56	1.09	0.92	0.31	0.31	0.32	0.33	0.35	0.20	0.29	0.22	0.34	0.67
55	2-丁酮	72.10	926.00	709.84	1.25	0.05	0.08	0.15	0.18	0.23	0.18	0.38	0.38	0.20	0.33	2.02
56	2-庚酮 (D)	114.20	878.60	640.71	1.26	0.38	0.16	0.28	0.25	0.27	0.37	0.42	0.40	0.37	0.39	1.32
57	苯酚	94.10	998.60	814.37	1.07	0.47	1.31	1.11	0.98	1.12	1.13	0.77	0.81	0.92	0.88	0.51

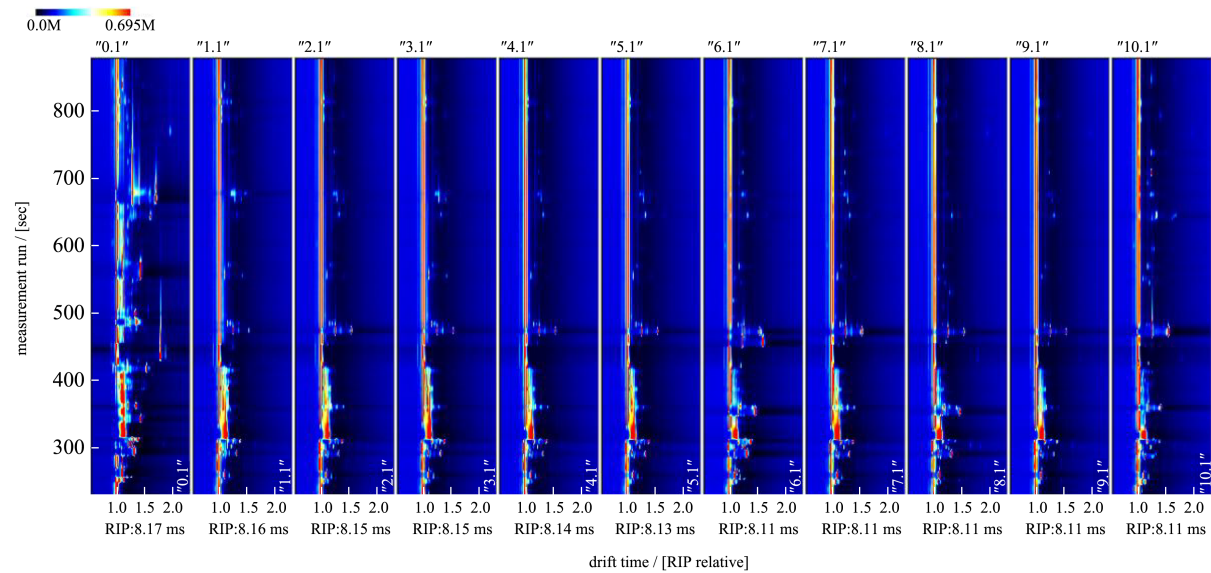


图 2 样品的 GC-IMS 二维谱图比较

Fig.2 Comparison of gc-ims two-dimensional spectra of samples

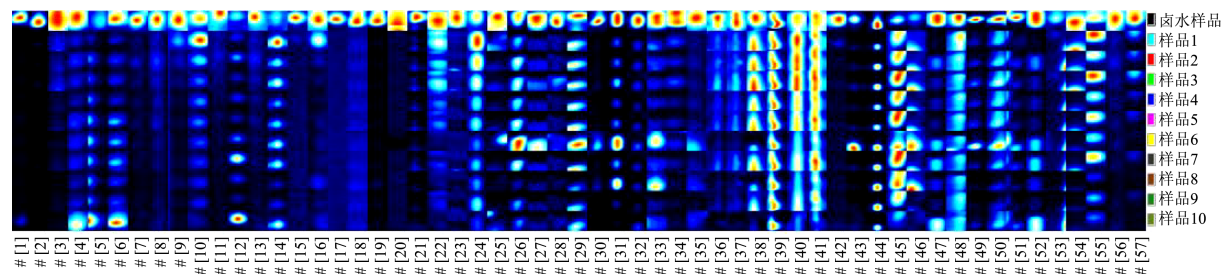


图 3 样品挥发性风味物质指纹图谱

Fig.3 Fingerprint of volatile flavor compounds in the sample

表 7 桂林米粉入味后风味物质相似度结果

Table 7 Similarity analysis of flavor compounds in Guilin rice noodles										
样品序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
相似度	31.80	30.64	32.42	28.57	27.41	32.59	30.29	26.43	25.49	27.33

通过使用分析仪自带的 LAV 软件中的 matching analytics 插件进行相似度分析，比较挥发性风味物质的峰体积面积在不同样品中相对含量，进行入味后米粉样品与原卤水样品之间风味相似度分析，得到表 7 结果，可以看出桂林米粉与卤水之间的挥发性风味物质相似度范围在 25.49 至 32.59 之间，样品与样品间的相似程度也有一定的差距，这不仅与桂林米粉自身结构导致的入味程度强弱有关，由于相似度是通过峰体积面积的占比计算出的，因此也可能与桂林米粉自身所携带的挥发性风味物质成分有关。

2.2 桂林米粉入味性质评价模型的建立

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权数，以计算综合评价值，有效解决了多指标评价参数的问题。为消除不同变量的量纲影响，让它们在 同一尺度上进行比较和分析，在进行主成分分析之前利用 SPSS 20.0 将各个品质指标数据进行标准化，标准化公式如下：

$$ZX_{\text{吸盐率}} = (X_{\text{吸盐率}} - 0.013\ 660\ 91) / 0.002\ 329\ 69$$
$$ZX_{\text{吸油率}} = (X_{\text{吸油率}} - 0.006\ 525\ 889) / 0.002\ 178\ 144$$
$$ZX_{\text{色差值}} = (X_{\text{色差值}} - 27.344) / 4.091\ 636\ 169$$
$$ZX_{\text{孔隙率}} = (X_{\text{孔隙率}} - 0.240\ 555\ 79) / 0.068\ 209\ 695$$
$$ZX_{\text{卤水吸收率}} = (X_{\text{卤水吸收率}} - 0.027\ 452\ 388) / 0.006\ 154\ 422$$
$$ZX_{\text{卤水风味相似度}} = (X_{\text{卤水风味相似度}} - 29.296) / 2.587\ 560\ 305$$
$$ZX_{\text{感官评价}} = (X_{\text{感官评价}} - 41.718\ 75) / 2.576\ 290\ 814\ 263\ 55$$

(4)

式中:

$X_{\text{吸盐率}}$ ——吸盐率测定值;

$X_{\text{吸油率}}$ ——吸油率测定值;

$X_{\text{色差值}}$ ——色差值计算值;

$X_{\text{孔隙率}}$ ——孔隙率测定值;

$X_{\text{卤水吸收率}}$ ——卤水吸收率测定值;

$X_{\text{卤水风味相似度}}$ ——卤水风味相似度结果;

$X_{\text{感官评价}}$ ——感官评价结果。

以上均为原始数据, 计算后各原始数据得到对应的标准化数据 ZX 。将原始变量标准化后, 对 10 个各类桂林米粉样品的 7 个入味性质指标进行主成分分析, 根据提取的主成分累计方差解释率达到 90% 左右的标准, 确定提取的前两个主成分的特征值、贡献率和累积贡献率见表 8; 各个品质指标的特征向量见表 9。

表 8 主成分的特征值及贡献率

Table 8 Eigenvalues and contribution rate of principal components

成分	特征值	方差解释率/%	累积方差解释率/%
1	5.39	77.13	77.14
2	0.84	11.94	89.08
3	0.36	5.19	94.26
4	0.23	3.35	97.62
5	0.13	1.87	99.48
6	0.02	0.33	99.81
7	0.01	0.19	100

表 9 主要指标的特征向量

Table 9 Eigenvectors of main indicators

指标	主成分 1	主成分 2
吸盐率	0.91	-0.33
吸油率	0.77	-0.48
色差值	0.96	0.12
孔隙率	0.91	0.13
卤水吸收率	0.93	0.16
卤水风味相似度	0.93	-0.17
感官评价	0.70	0.64

从表 8 可以看出, 前两个公因子的累计方差贡献率达到 89.076%, 说明前两个主成分基本综合了米粉入味性质的信息。从表 9 中各指标的特征向量值可以看出, 第一个主成分代表的是米粉的吸盐率、吸油率、色差值、孔隙率、卤水吸收率、卤水风味相似度、感官评价, 即几乎反映了所有的入味性评

价指标; 第二个主成分代表的是色差值、孔隙率、卤水吸收率、感官评价等间接反映入味性程度的评价指标。根据主成分对应的特征向量, 可以确定主成分 ($F1$ 、 $F2$) 与米粉入味性质指标之间的线性关系表达式, 中具体如式 (5) 及式 (6):

$$F1=0.618\times ZX_{\text{吸盐率}}+0.143\times ZX_{\text{吸油率}}+0.178\times ZX_{\text{色差值}}+0.169\times ZX_{\text{孔隙率}}+0.172\times ZX_{\text{卤水吸收率}}+0.173\times ZX_{\text{卤水风味相似度}}+0.13\times ZX_{\text{感官评价}} \tag{5}$$

$$F2=0.398\times ZX_{\text{吸盐率}}-0.575\times ZX_{\text{吸油率}}+0.144\times ZX_{\text{色差值}}+0.156\times ZX_{\text{孔隙率}}+0.194\times ZX_{\text{卤水吸收率}}+0.203\times ZX_{\text{卤水风味相似度}}+0.764\times ZX_{\text{感官评价}} \tag{6}$$

式中 $ZX_{\text{吸盐率}}$ 、 $ZX_{\text{吸油率}}$ 、 $ZX_{\text{色差值}}$ 、 $ZX_{\text{孔隙率}}$ 、 $ZX_{\text{卤水吸收率}}$ 、 $ZX_{\text{卤水风味相似度}}$ 、 $ZX_{\text{感官评价}}$ 为上式 (4) 中各原始变量标准化后的结果。

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权重, 得到桂林米粉入味性质评价模型综合得分 (F) 计算公式如式 (7):

$$F=(0.771/0.891)\times F1+(0.119/0.891)\times F2 \tag{7}$$

将标准化后的数据代入上述公式, 计算不同桂林米粉样品入味后的主成分得分以及综合得分, 结果见表 10。可以看出, 各类样品的得分在 -1.47~1.31 范围之内, 结合样品来源等情况来看, 不同来源不同类型的桂林米粉之间入味性质上也有所差别。

表 10 各桂林米粉样品的主成分得分值及综合得分

Table 10 Main component scores and comprehensive scores of Guilin rice noodle samples

样品序号	综合得分	主成分 1	主成分 2	排名
2	1.31	1.30	1.36	1
10	1.03	1.20	-0.12	2
5	0.64	1.04	-1.95	3
1	0.39	0.27	1.11	4
3	0.14	0.26	-0.66	5
6	-0.19	-0.17	-0.32	6
9	-0.29	-0.43	0.56	7
7	-0.59	-0.74	0.38	8
8	-0.96	-1.19	0.54	9
4	-1.47	-1.56	-0.89	10

2.3 桂林米粉品质指标

桂林米粉样品部分品质指标结果如表 11 所示, 大部分桂林米粉样品的断条率均在 20% 至 40% 的范围之间, 基本属于可接受的断条率范围内, 部分

样品断条率过高可能与淀粉添加量有关，过高添加量会改变米粉自身结果，易造成断条率的升高^[24,25]。桂林米粉样品的水分含量范围在 50%~70% 之间，符合市面上各类米粉标准的要求，且水分含量结果变异系数为 9.62%，说明各类样品水分含量结果方面较为一致。从反映桂林米粉蒸煮品质的吐浆值、糊汤度以及碘蓝值等指标可以看出，各样品间的这些指标存在一定关联性，当一个样品的吐浆值较高时，糊汤度和碘蓝值也相对较高，可以认为是有关联性的一组指标^[26]，这种关联性反映出不同样品在加工工艺方面的相似性，原料配比、糊化温度和时

间、老化温度和时间等都会对这些指标产生影响。米粉被认为应当应具有较低的蒸煮损失和较高的复水率^[27]，从测定结果也可发现蒸煮品质的指标与复水率之间存在一定的负相关性。

由表 12 可知，质构指标的硬度、弹性、咀嚼性分别代表了牙齿挤压样品的力量，样品恢复形变的比率，咀嚼样品所需要的能量，其中硬度、内聚性和咀嚼性的变异系数较高，分别为 35.59%、36.19%、37.25%，而弹性和胶粘性变异系数则偏小，但总体上仍可认为选取的样品在品质指标上差异较大，具有一定的代表性。

表 11 桂林米粉样品品质指标（部分指标）测定结果

Table 11 Determination results of quality indexes (partial indexes) of Guilin rice noodle samples						
样品序号	断条率/%	水分含量/%	吐浆值	糊汤度	碘蓝值	复水率/%
1	31.32 ± 0.23 ^{ab}	63.56 ± 0.34 ^{bc}	0.07 ± 0.01 ^{ab}	0.14 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.08 ^{bcd}	18.81 ± 0.09 ^{cd}
2	21.81 ± 0.36 ^c	68.88 ± 0.25 ^a	0.06 ± 0.01 ^{bc}	0.01 ± 0.01 ^c	0.30 ± 0.06 ^{bcd}	20.62 ± 0.12 ^{bcd}
3	31.42 ± 0.15 ^{ab}	51.19 ± 0.31 ^d	0.07 ± 0.01 ^{abc}	0.02 ± 0.01 ^c	0.36 ± 0.07 ^{bcd}	19.71 ± 0.16 ^{cd}
4	36.24 ± 0.26 ^a	53.38 ± 0.27 ^d	0.07 ± 0.01 ^{ab}	0.14 ± 0.01 ^a	0.55 ± 0.06 ^{ab}	15.63 ± 0.18 ^{de}
5	22.76 ± 0.42 ^c	67.23 ± 0.36 ^a	0.06 ± 0.01 ^{bc}	0.01 ± 0.01 ^c	0.11 ± 0.04 ^d	30.84 ± 0.19 ^a
6	27.51 ± 0.27 ^{bc}	65.59 ± 0.55 ^{ab}	0.06 ± 0.01 ^{abc}	0.01 ± 0.01 ^c	0.29 ± 0.03 ^{cd}	21.86 ± 0.27 ^b
7	40.57 ± 0.34 ^a	61.17 ± 0.33 ^c	0.07 ± 0.01 ^{abc}	0.05 ± 0.01 ^c	0.55 ± 0.06 ^{bc}	15.09 ± 0.17 ^{cde}
8	35.52 ± 0.61 ^a	62.67 ± 0.67 ^c	0.09 ± 0.02 ^{ab}	0.15 ± 0.02 ^b	0.84 ± 0.15 ^a	12.18 ± 0.23 ^c
9	36.97 ± 0.37 ^a	63.08 ± 0.34 ^c	0.07 ± 0.02 ^a	0.02 ± 0.01 ^{bc}	0.43 ± 0.14 ^{ab}	18.64 ± 0.26 ^{de}
10	23.8 ± 0.14 ^{bc}	68.74 ± 0.47 ^{ab}	0.06 ± 0.01 ^c	0.01 ± 0.01 ^c	0.27 ± 0.09 ^{bcd}	24.62 ± 0.30 ^{bc}

表 12 桂林米粉样品品质指标（质构指标）测定结果

Table 12 Determination results of quality indexes (texture indexes) of Guilin rice noodles					
样品序号	硬度/N	内聚性	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mj
1	2.91 ± 0.12 ^{bcd}	0.71 ± 0.09 ^{ab}	1.15 ± 0.15 ^a	2.08 ± 0.16 ^b	2.41 ± 0.13 ^{bc}
2	3.79 ± 0.19 ^b	0.66 ± 0.07 ^{ab}	1.14 ± 0.14 ^a	2.48 ± 0.24 ^b	2.84 ± 0.19 ^b
3	2.53 ± 0.24 ^{bcd}	0.71 ± 0.06 ^{ab}	1.04 ± 0.19 ^a	1.81 ± 0.09 ^{bc}	1.89 ± 0.15 ^{bcd}
4	2.00 ± 0.27 ^d	0.68 ± 0.06 ^{ab}	0.93 ± 0.04 ^a	1.36 ± 0.07 ^c	1.27 ± 0.17 ^d
5	2.28 ± 0.11 ^{cd}	0.66 ± 0.03 ^{ab}	0.99 ± 0.07 ^a	1.50 ± 0.16 ^{bc}	1.48 ± 0.13 ^{cd}
6	3.01 ± 0.18 ^{bcd}	0.68 ± 0.07 ^{ab}	1.04 ± 0.16 ^a	2.04 ± 0.17 ^b	2.12 ± 0.09 ^{bcd}
7	3.57 ± 0.09 ^{bc}	0.62 ± 0.11 ^b	1.13 ± 0.14 ^a	2.28 ± 0.13 ^b	2.61 ± 0.16 ^{bc}
8	2.51 ± 0.15 ^{bcd}	0.70 ± 0.01 ^{ab}	0.87 ± 0.09 ^a	1.74 ± 0.10 ^b	1.53 ± 0.18 ^{bcd}
9	4.01 ± 0.31 ^b	0.74 ± 0.04 ^{ab}	1.10 ± 0.10 ^a	2.98 ± 0.09 ^b	3.28 ± 0.27 ^b
10	5.97 ± 0.28 ^a	0.71 ± 0.02 ^{ab}	1.05 ± 0.08 ^a	4.21 ± 0.17 ^a	4.45 ± 0.29 ^a
最大值	5.97	5.53	0.74	1.15	4.21
最小值	2.00	1.81	0.62	0.87	1.36
平均值	3.26	3.01	0.69	1.04	2.25
标准差	1.16	1.09	0.04	0.09	0.84
变异系数	35.59%	36.19%	5.12%	8.79%	37.25%

2.4 桂林米粉入味性质预测模型的建立

逐步回归分析不仅能解决变量之间存在的多重共线性,而且能在回归方程中保留最为重要的变量。利用逐步回归分析对可能影响桂林米粉入味性质的桂林米粉品质指标进行筛选并建立桂林米粉入味性质预测模型。通过逐步回归分析筛选出了硬度、断条率、弹性及咀嚼性四组预测模型可用品质指标,以主成分分析的桂林米粉样品入味后综合得分为因变量,筛选出的桂林米粉品质指标为自变量,建立逐步回归方程,得到的方程如式(8):

$$Y = -2.334 + 0.811 \times X_{\text{硬度}} - 11.496 \times X_{\text{断条率}} + 6.498 \times X_{\text{弹性}} - 1.49 \times X_{\text{咀嚼性}} \quad (R^2 = 0.974) \quad (8)$$

式中:

$X_{\text{硬度}}$ ——样品测得硬度值, N;

$X_{\text{断条率}}$ ——样品测得断条率结果, %;

$X_{\text{弹性}}$ ——样品测得弹性结果, mm;

$X_{\text{咀嚼性}}$ ——样品测得咀嚼性结果, mj;

Y ——样品入味性结果预测得分。

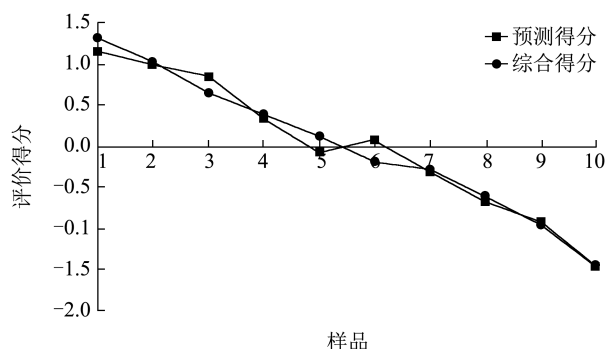


图4 入味性质综合得分-入味性质预测得分对比

Fig.4 Comparison between comprehensive score of taste properties and predicted score of taste properties

图4为入味性质综合得分与入味性质预测得分的对比。通过逐步回归方程筛选出桂林米粉硬度、断条率、弹性、咀嚼性等指标对桂林米粉样品入味后综合得分影响最大,因此,硬度、断条率、弹性、咀嚼性等指标可能是影响桂林米粉入味性质以及加工工艺的关键性指标。

3 结论

对桂林米粉样品的吸盐率、吸油率、色差值、孔隙率、卤水吸收率、卤水风味相似度、感官评价等7个入味性评价指标进行测定,其中吸盐率范围在1.05%~1.8%之间、吸油率在0.4%~1.0%之间、卤水吸收率在1.69%~3.93%之间,孔隙率在

13.56%~34.56%之间,色差值在20.42~31.61之间,风味物质相似度在25.49~32.59之间,感官评价结果在41.71~49.75分之间,并对以上结果进行主成分分析,确定提取的前两个主成分的累计贡献率为89.076%,根据主成分对应的特征向量,确定了主成分(F1、F2)与米粉入味性质指标之间的线性关系表达式,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权重,得到米粉入味性质综合得分计算公式,建立了桂林米粉入味性质评价模型。

再通过测定桂林米粉的品质评价指标,以主成分分析的桂林米粉入味评价综合得分为因变量,桂林米粉的品质评价指标为自变量,利用逐步回归分析对影响桂林米粉入味性质的桂林米粉品质指标进行筛选并建立起了桂林米粉入味性质预测模型。

两组模型分别从消费者角度和生产加工角度出发,以桂林米粉入味性质评价模型为桂林米粉的评价体系完善提供了入味性质角度的参考,通过桂林米粉入味性质预测模型为桂林米粉在生产方向提高桂林米粉品质特别是入味性质品质提供了生产加工工艺优化方面的帮助,下一步研究计划通过两组模型对桂林米粉生产加工工艺进行优化,探究能达到更优入味效果的桂林米粉加工工艺,并期望通过模型的研究,为同类型的其他米粉入味性质研究提供参考。

参考文献

- [1] 广西壮族自治区卫生和计划生育委员会.DBS45/042-2017食品安全地方标准 桂林米粉[S].南宁,2017.
- [2] 桂林市市场监督管理局.DB4503/T 0004-2020桂林卤菜粉制作技术规程[S].桂林,2020.
- [3] 彭志兵,郭利利,周显青,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] 王承明,白娟,张瑶,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.
- [5] 刘杰梅,莫美莲,王敬涵,等.传统桂林米粉卤水的特征解析及改善探讨[J].现代食品,2019,17:85-88.
- [6] 张建初,肖仲望,周建中.改善方便米粉入味特性的工艺研究[J].粮食科技与经济,2011,36(2):34-35.
- [7] 刘政芳,王鸿,张彦,等.反复煮制对卤水全料包制备卤汤风味物质的影响及其补味研究[J].中国调味品,2023,48(9):104-110,130.
- [8] 莫斯敏,孟陆丽,程谦伟,等.油酸对米粉食味品质的影响研究[J].中国粮油学报,2022,37(2):14-18,31.
- [9] 胡燕,朱云龙,何志贵.正交试验结合模糊数学评价优化豆

- 角焖面的工艺研究[J].中国调味品,2023,48:111-116.
- [10] RUAN R R, LONG Z, SONG A, et al. Determination of the glass transition temperature of food polymers using low field NMR [J]. LWT-Food Science and Technology, 1998, 31(6): 516-521.
- [11] 葛秀秀,何中虎.中国面条颜色及其影响因素研究[D].北京:中国农业科学院,2007.
- [12] 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.
- [13] CHAM S, SUWANNAPORN P. Effect of hydrothermal treatment of rice flour on various rice noodles quality [J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(3): 284-291.
- [14] 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.
- [15] 曹世阳,李宏升,尹秀华.淀粉凝胶老化工艺对鲜湿米粉断条率的影响[J].粮食与油脂,2017,30(4):46-50.
- [16] 雷婉莹,张喻.鲜湿米粉配米原料选择及加工工艺研究[D].长沙:湖南农业大学,2019.
- [17] 卿明义,林莹.半干型调制方便米粉生产工艺的研究[D].南宁:广西大学,2018.
- [18] 周游,吕庆云.糙米米线食用品质影响关键因素、改善及机理研究[D].武汉:武汉轻工大学,2023.
- [19] 龙欣康,刘春.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,2024.
- [20] 陆有兵,韦保耀.桂林卤水指纹图谱的建立及质量评价体系研究[D].南宁:广西大学,2014.
- [21] 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.
- [22] 艾有伟,侯温甫,张洁,等.香辛料主效成分在酱卤制品卤制过程中变化规律研究[J].食品工业,2018,39(8):191-194.
- [23] XU L, LIU Y, ZHANG X, et al. *Scopulibacillus daqui* sp. nov., a thermophilic bacterium isolated from high temperature daqu [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2016, 66(11): 4723-4728.
- [24] LI C. A systematic review of rice noodles: Raw Material, processing method and quality improvement [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 107(1): 389-400.
- [25] 潘丽凤,吴依云,刘容,等.不同淀粉添加和老化时间对干米粉品质的影响[J].食品研究与开发,2024,45(9):62-66,133.
- [26] 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.
- [27] 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.