

紫米粉圆感官评价及质构特性的相关性分析

Correlation analysis of sensory evaluation and texture characteristics of purple rice Fenyuan

陈炜璇

庄婉娴

吴迁迁

何恒涛

CHEN Wei-xuan ZHUANG Wan-xian WU Qian-qian HE Heng-tao

胡海茵

孙若欣

宋贤良

HU Hai-yin SUN Ruo-xin SONG Xian-liang

(华南农业大学食品学院, 广东 广州 510640)

(Food College, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510640, China)

摘要:目的:开发一种新型的紫米粉圆并评价其品质。方法:探究 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 对粉圆吸水率、蒸煮特性、质构特性及感官品质等指标的影响,采用 pearson 相关性分析法研究紫米粉圆质构特性与感官指标之间的相关性。结果:当 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1 : 8 时,紫米粉圆吸水率为 154.71%,蒸煮损失为 16.45%,常温和冰饮条件下,感官评分分别为 84.6, 79.0 分。对不同紫米粉添加量的粉圆进行主成分分析,得到 2 个主成分,累计方差贡献率为 91.035%。以紫米粉圆的感官指标为因变量,质构指标为自变量,建立了紫米粉圆感官特性的 5 个预测模型,说明感官指标受质构指标中弹性、硬度、咀嚼性和黏结性的影响。结论:紫米粉圆的质构特性与感官指标之间存在一定的相关性。

关键词:紫米;粉圆;感官指标;质构特性;主成分;预测模型

Abstract: Objective: This study aimed to develop a new type of purple rice Fenyuan and evaluate its quality. **Methods:** The effects of the mass ratio of purple rice flour and cassava starch on the water absorption, cooking characteristics, texture characteristics and sensory quality of the Fenyuan were explored. The correlation between texture characteristics and sensory evaluation of purple rice Fenyuan was studied by Pearson correlation analysis. **Results:** When the mass ratio of purple rice flour to cassava starch was 1 : 8, the water absorption rate of purple rice

Fenyuan was 154.71%, and the cooking loss was 16.45%. Under the control of normal temperature and cold storage conditions, the sensory scores were 84.6 and 79.0, respectively. Principal component analysis was carried out on the Fenyuan with different purple rice flour addition ratios, and two principal components were obtained, and the cumulative variance contribution rate was 91.035%. Taking sensory indexes of purple rice Fenyuan as the dependent variable and texture indexes as independent variables, five prediction models of sensory characteristics of purple rice Fenyuan were established, which showed that sensory indexes were affected by elasticity, hardness, chewiness and cohesiveness in texture indexes. **Conclusion:** There was a certain correlation between the texture characteristics and sensory evaluation of purple rice Fenyuan.

Keywords: purple rice; Fenyuan; sensory indexes; texture characteristics; principal component analysis; prediction models

紫米是一种天然的集功能、营养、效益于一身的珍稀谷类,是中国消费量最大的功能型有色稻米。紫米中的花青素是一种溶于水的天然花色苷,属黄酮类多酚化合物,具有抗氧化、抗炎、抑菌、降血糖、降血脂、改善视力等功能^[1-2]。

粉圆具有烹煮容易、保质时间长、口感滑润等特点,可与多种休闲食品或饮料搭配,并且可依据添加配料的种类不同而具有不同的色彩与营养价值。王德萍等^[3]以番茄红素作为粉圆的芯材原料制作了番茄红素珍珠粉圆;丁兴华^[4]以红豆沙配以香精调味,制成了类似元宵的特色粉圆;谷绒等^[5]以桂圆为主料制作了桂圆珍珠粉圆。研究拟将一定比例的紫米粉添加到以木薯淀粉为主料的粉圆中,并用黄原胶和瓜尔豆胶作为增稠剂,对粉圆的吸水率、蒸煮损失率、质构和感官指标进行测定,分析质构

基金项目:广东省自然科学基金(编号:2022A1515011756);大学生创新训练项目(编号:X202110564028)

作者简介:陈炜璇,女,华南农业大学在读本科生。

通信作者:宋贤良(1969—),男,华南农业大学教授,博士。

E-mail: songxl2000@163.com

收稿日期:2022-07-15 **改回日期:**2022-10-18

指标之间以及质构与感官指标之间的相关性,并建立质构指标与感官指标间的预测模型,为新型紫米粉圆的开发及其科学评价体系的建立提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

木薯淀粉:泰华股份有限公司;
紫米粉:微丰农业食品有限公司;
黄原胶:新疆梅花氨基酸有限公司;
瓜尔豆胶:北京瓜尔润科科技股份有限公司。

1.1.2 试验仪器

质构仪:TA-36 型,日本岛津有限公司;
粉碎机:800C 型,东莞市房太电器有限公司;
多功能电磁炉:C21-RK210S 型,广东美的生活电器制造有限公司;
滚圆机(见图 1):自制。

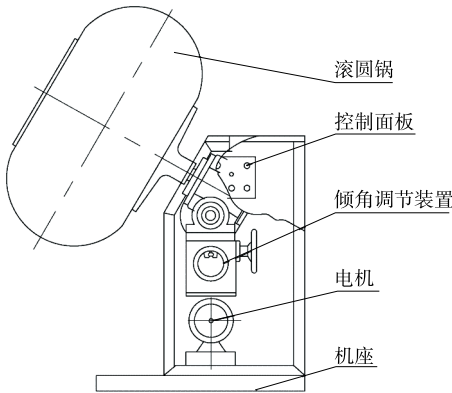


图 1 滚圆机结构图

Figure 1 Structure diagram of rounder

1.2 方法

1.2.1 紫米粉圆的制备 称取黄原胶 2 g,瓜尔豆胶 1 g,按紫米粉和木薯淀粉质量比($m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$)为 1:6,1:8,1:10,1:12,1:14,分别称取总量为 200 g 的紫米粉和木薯淀粉,并加 71 g 水搅拌均匀,高速打粉、过筛,采用滚圆机滚圆成型得到紫米粉圆。

1.2.2 紫米粉圆的煮制 将 40 颗大小均匀、形状良好、无破损的粉圆置于蒸锅中,并加入 1 000 mL 蒸馏水,电磁炉火力 1 200 W,蒸煮 40 min,焖 40 min,过冷水后冷却至常温,取半数粉圆于 4 ℃冷藏 1 h,测定其感官品质和质构特性;其余粉圆立即测定吸水率、蒸煮损失率、感官品质和质构特性。

1.2.3 吸水率和蒸煮损失测定 参照施建斌等^[6]的方法并修改,取一定量生粉圆放入 500 mL 蒸馏水中煮制 40 min,焖 40 min,用 50 mL 冷水浸泡 2 min,于滤网上盖上纱布静置 2 min,称重。待烹饪水冷却至室温后转入容

量瓶中,用蒸馏水定容至 500 mL,取 50 mL 于 105 ℃干燥至恒重。重复 3 次,取平均值。分别按式(1)、式(2)计算粉圆吸水率和干物质损失率。

$$w = \frac{m - m_1}{m_1} \times 100\%, \quad (1)$$

$$C = \frac{10 \times (m_3 - m_2)}{m_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

w ——吸水率,%;

C ——干物质损失率,%;

m_1 ——生粉圆质量,g;

m_2 ——铝盒质量,g;

m_3 ——干燥至恒重后铝盒质量,g。

1.2.4 感官评定 由 8 位经过培训有经验的品评人员对煮制后的紫米粉圆按表 1 进行感官评定。

1.2.5 质构测定 选用平底柱形探头,测试条件:探头下

表 1 紫米粉圆感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for purple rice Fenyuan

感官指标	评分细则	评分
色泽 (15 分)	色泽均匀,无色差,紫色明显	11~15
	色泽较均匀,少有色差,紫色较明显	6~10
	色泽不均匀,色差严重,紫色不明显	0~5
组织状态 (15 分)	表面光滑、圆润饱满,大小均匀	11~15
	表面光滑、不够圆润饱满,大小稍不均匀	6~10
	表面粗糙、形状软塌,大小不均匀	0~5
滋味 (20 分)	味感协调,紫米香味明显,无其他异味	14~20
	味感较协调,紫米香味较明显,少有其他异味	7~13
	味感不协调,紫米香味不明显,其他异味严重	0~6
弹性 (10 分)	齿间压迫时,复形速度快且程度大	8~10
	齿间压迫时,复形速度和程度适中	5~7
	齿间压迫时,复形速度慢且程度小	0~4
硬度 (10 分)	咬断粉圆的力较小	8~10
	咬断粉圆的力适中	5~7
	咬断粉圆的力较大	0~4
咀嚼性 (10 分)	咀嚼适口,较柔软,易下咽	8~10
	软硬适中	5~7
	咀嚼干硬	0~4
内聚性 (10 分)	变形量较小,易断裂	8~10
	变形量适中	5~7
	变形量较大,不易断裂	0~4
黏结性 (10 分)	咬断时粘牙程度较小	8~10
	咬断时粘牙程度适中	5~7
	咬断时粘牙程度较大	0~4

降速度 1.0 m/s,测试速度 1.0 m/s,返回速度 1.0 m/s,压缩距离 5 mm,返回距离 15 mm,形变力 30%。单次测试模式,每个样品测定 5 次取平均值。

1.2.6 数据分析 使用 WPS Office 软件进行数据处理,使用 IBM SPSS Statistics 25 进行数据分析, $P<0.05$ 表示显著性差异,并用 origin 2018 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 对粉圆吸水率的影响

蒸煮吸水率小,粉圆易硬芯、糊化慢、不易煮熟;蒸煮吸水率高,粉圆口感较佳,且蒸煮时间无需过长。由图 2 可知,当 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1 : 8 时,粉圆蒸煮吸水率最高为 154.71%。随着紫米粉添加量的减少,粉圆蒸煮吸水率先增加后逐渐减少,说明紫米粉添加量过高或过低均会对粉圆的吸水率产生较大影响。

2.2 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 对粉圆蒸煮损失率的影响

紫米中含有的花青素为水溶性成分,蒸煮损失率过高,会导致紫米粉圆的营养价值损失较大^[7]。由图 3 可

知,随着紫米粉添加量的降低,粉圆蒸煮损失率先升高后下降,当 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1 : 14 时,蒸煮损失率骤降,可能原因是随着紫米粉添加量的增加,粉圆中破损淀粉含量增加,而随着破损淀粉含量的增加,粉圆蒸煮损失率呈上升趋势^[8],但由于木薯淀粉中直链淀粉含量较高^[9],而紫米淀粉为糯性淀粉,其支链淀粉含量高,黏度大^[10],随着紫米粉添加比例的不断增大,木薯淀粉含量逐渐减小,紫米粉圆中的直链淀粉含量逐渐减少,支链淀粉含量增大,紫米粉圆黏度逐渐增大,破损淀粉吸附率增加,当紫米粉所占比例增加到一定程度时,支链淀粉的作用逐渐显现,此时蒸煮损失率开始减少。

2.3 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 对粉圆质构特性的影响

弹性越高,粉圆越有嚼劲;硬度和咀嚼性越小,粉圆越软糯,口感越佳。由表 2 可知,当 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1 : 8 时,粉圆弹性最大,硬度最小,随着紫米粉添加量的减少,其弹性逐渐升高,硬度和咀嚼性逐渐降低。与常温放置的粉圆相比,冰饮 1h 后紫米粉圆的弹性减小,硬度

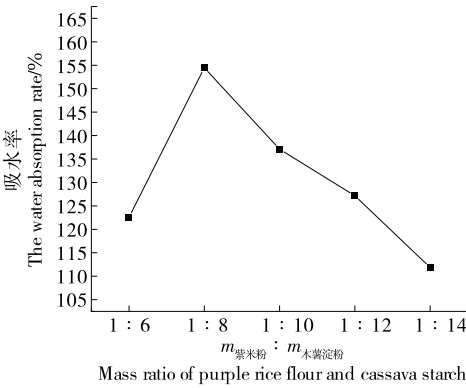


图 2 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 对粉圆吸水率的影响

Figure 2 Effects of the mass ratio of purple rice flour and cassava starch on water absorption of Fen Yuan

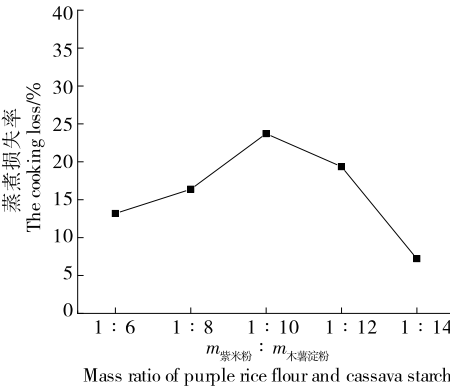


图 3 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 对粉圆蒸煮损失率的影响

Figure 3 Effects of the mass ratio of purple rice flour and cassava starch on cooking loss rate of Fen Yuan

表 2 不同贮藏条件下 $m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$ 对粉圆质构特性的影响[†]

Table 2 Effects of the mass ratio of purple rice flour and cassava starch on texture properties of Fen Yuan under different storage conditions

贮藏条件	$m_{\text{紫米粉}} : m_{\text{木薯淀粉}}$	弹性	硬度/N	咀嚼性/N	内聚性	黏结性/(N·mm)
常温	1 : 6	0.42±0.03 ^c	7.89±0.90 ^a	4.03±0.37 ^{ab}	0.57±0.02 ^b	14.37±1.07 ^b
	1 : 8	0.68±0.05 ^b	12.12±1.15 ^b	4.12±0.33 ^b	0.63±0.03 ^b	13.12±0.29 ^a
	1 : 10	0.61±0.04 ^c	14.14±1.57 ^c	5.18±0.08 ^{bc}	0.60±0.02 ^b	14.09±0.64 ^a
	1 : 12	0.58±0.02 ^b	17.12±2.20 ^a	5.64±0.14 ^{ab}	0.57±0.03 ^b	15.09±0.49 ^a
	1 : 14	0.55±0.06 ^b	24.55±6.92 ^b	8.09±1.38 ^b	0.64±0.01 ^b	18.98±3.22 ^a
冰饮	1 : 6	0.50±0.07 ^b	15.41±3.49 ^a	3.74±0.27 ^a	0.50±0.07 ^a	13.24±0.02 ^{ab}
	1 : 8	0.63±0.01 ^b	12.32±0.64 ^b	4.19±0.16 ^b	0.46±0.04 ^b	13.51±0.75 ^a
	1 : 10	0.63±0.02 ^c	13.38±1.29 ^b	4.33±0.11 ^b	0.60±0.05 ^a	12.54±1.36 ^a
	1 : 12	0.61±0.03 ^{bc}	12.86±1.41 ^c	5.29±0.03 ^{ab}	0.63±0.01 ^a	13.89±0.60 ^a
	1 : 14	0.58±0.08 ^b	22.67±7.63 ^{ab}	5.43±0.36 ^b	0.63±0.05 ^{ab}	15.26±1.32 ^a

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

和咀嚼性有增大趋势。紫米属于籼米,口感较软糯,添加适量的紫米粉可使粉圆结构更紧密,同时紫米中含有的蛋白质和花青素会起到延缓淀粉在低温时的老化^[11]。因此,最适 $m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1:8。

2.4 $m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$ 对粉圆感官品质的影响

由表 3 可知,在常温与冰饮两种不同贮藏条件下,紫米粉圆的弹性、硬度、咀嚼性、内聚性、黏结性的感官评分均随紫米粉添加量的增加呈先增大后减小的趋势。当

$m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1:8 时,弹性、硬度、咀嚼性、内聚性、黏结性显著增大($P<0.05$),感官评分最高,口感最好;当 $m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1:10,1:14 时,粉圆的弹性、硬度、咀嚼性、内聚性、黏结性的感官评分显著降低($P<0.05$);当 $m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1:12 时,虽相对于 $m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1:10 的各项感官评分都较高,但仍低于 $m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1:8 的。因此, $m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$ 为 1:8 的紫米粉圆口感最好。

表 3 不同贮藏条件下紫米粉圆的感官品质评定结果[†]

Table 3 Sensory evaluation results of purple rice Fen Yuan under different storage conditions

贮藏条件	$m_{\text{紫米粉}}:m_{\text{木薯淀粉}}$	弹性	硬度	咀嚼性	内聚性	黏结性	总分
常温	1:6	4.8±0.84 ^c	5.4±0.55 ^d	5.0±0.71 ^b	5.6±0.55 ^b	5.2±0.45 ^c	78.0±6.89 ^b
	1:8	8.8±0.45 ^c	8.4±0.55 ^a	8.4±0.55 ^b	8.4±0.55 ^b	9.0±0.00 ^c	84.6±2.88 ^a
	1:10	6.4±1.14 ^d	6.6±0.55 ^c	6.4±0.55 ^c	6.4±0.55 ^b	6.8±0.45 ^d	79.0±4.12 ^b
	1:12	7.0±0.71 ^d	7.4±0.55 ^b	7.4±0.55 ^c	7.6±0.55 ^b	7.4±0.55 ^{cd}	80.2±2.95 ^{ab}
	1:14	5.2±0.45 ^d	4.8±0.84 ^d	5.2±0.84 ^c	6.0±0.00 ^b	5.4±0.55 ^d	77.8±5.93 ^b
冰饮	1:6	6.0±0.71 ^b	7.0±0.71 ^b	6.6±0.55 ^a	7.0±0.71 ^c	7.2±0.45 ^c	76.2±1.48 ^b
	1:8	7.6±0.55 ^b	8.0±1.00 ^a	7.9±0.45 ^{ab}	8.0±0.71 ^c	7.8±0.45 ^c	79.0±3.16 ^a
	1:10	7.2±0.45 ^b	7.2±0.45 ^b	6.8±0.84 ^b	7.2±0.84 ^c	7.0±1.00 ^c	76.4±2.97 ^b
	1:12	5.0±0.71 ^{bc}	5.8±0.45 ^c	5.8±0.45 ^{ab}	6.2±0.45 ^{cd}	6.0±0.71 ^d	76.2±4.32 ^b
	1:14	4.6±0.55 ^a	5.4±0.55 ^c	5.6±0.55 ^a	5.6±0.55 ^b	5.8±0.45 ^b	74.6±6.88 ^c

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.5 紫米粉圆质构指标间的相关性

由表 4 可知,弹性与硬度、咀嚼性、黏结性呈负相关,与内聚性呈正相关,可能是因为弹性越大,紫米粉圆的抗形变程度越高,硬度越小,粉圆越软糯,咀嚼时所做的功越小^[12];硬度与咀嚼性和黏结性呈正相关,与内聚性之间的相关性越小,可能是因为紫米粉圆硬度越大,使其形变时所需要的力也越大,咀嚼时所做的功越高,而与粉圆破裂时的形变量无关^[13];咀嚼性与黏结性呈正相关,与内聚性呈较弱的正相关性,可能是因为咀嚼时所用的功越高,对紫米粉圆所施加的力也越大,同时紫米粉圆给予的反向作用力也越大,接触越紧密,因此黏结性越高^[14];内聚性与黏结性无相关性,可能是因为形变程度取决于施加的力大小,而与黏结性无直接关系。

2.6 紫米粉圆 TPA 指标的主成分分析

若主成分特征值 <1 ,则说明引用该主成分对紫米粉

圆进行描述不如采用原始变量来得准确^[15],因此将特征值 >1 的作为主要成分。由表 5 可知,主成分 F_1 的特征值为 2.925, F_2 的特征值为 1.626,主成分 1 和主成分 2 的累计方差贡献率为 91.035%,因此可提取前两个主成分代替原来的 5 个质构指标,作为对紫米粉圆质构特性的评定,反映紫米粉圆的整体信息。

2.7 紫米粉圆 TPA 指标的主成分载荷矩阵和载荷图

主成分载荷矩阵表示提取成分对原始变量的影响程度^[16]。原始变量经主成分提取后共获得两个主成分因素 F_1 和 F_2 ,其对应的主成分贡献率大小如表 6 所示,对应的载荷图如图 4 所示。

由表 6 和图 4 可知,对于主成分 F_1 而言,各指标对其影响大小为黏结性 $>$ 硬度 $>$ 咀嚼性 $>$ 弹性 $>$ 内聚性,而

表 5 紫米粉圆 TPA 分析的各成分特征值与方差贡献率
Table 5 Characteristic value and variance contribution rate of each component in TPA analysis of purple rice Fen Yuan

主成分	特征值	方差贡献率/%	累计方差贡献率/%
F_1	2.925	58.507	58.507
F_2	1.626	32.528	91.035
F_3	0.329	6.586	97.621
F_4	0.066	1.328	98.949
F_5	0.053	1.051	100.000

表 4 紫米粉圆质构指标间的相关性
Table 4 Correlation between texture indexes of purple rice Fen Yuan

指标	弹性	硬度	咀嚼性	内聚性	黏结性
弹性	1.000	-0.550	-0.086	0.540	-0.287
硬度		1.000	0.808	0.088	0.894
咀嚼性			1.000	0.351	0.910
内聚性				1.000	0.249
黏结性					1.000

表 6 主成分载荷矩阵

Table 6 The component matrix of PCA

主成分	黏结性	硬度	咀嚼性	弹性	内聚性
F ₁	0.974	0.946	0.938	-0.335	0.290
F ₂	0.007	-0.251	0.192	0.882	0.870

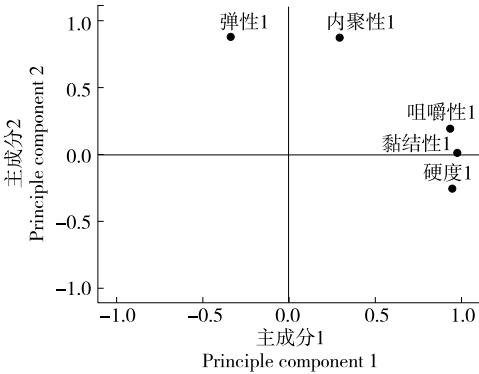


图 4 主成分载荷图

Figure 4 Biplot of principal component analysis

黏结性、硬度和咀嚼性的载荷量较大,分别为 0.974, 0.946,0.938,说明主成分 F₁主要反映了咀嚼性、黏结性和硬度 3 个指标;对于主成分 F₂而言,各指标对其影响大小为弹性>内聚性>硬度>咀嚼性>黏结性,而弹性和内聚性的载荷量较大,分别为 0.882,0.870,说明主成分 F₂主要反映了弹性和内聚性两个指标;而且咀嚼性、黏结性和硬度 3 个指标之间的相关性更高。

2.8 紫米粉圆主成分特征向量

为更直观地反映紫米粉添加量对粉圆质构的影响,采用正交旋转法对紫米粉圆质构数据的主成分因子进行旋转,并计算每个指标的特征向量系数,再运用最大方差法将旋转后的主成分进行转换,得到系数矩阵,结果见表 7。

根据表 7 建立主成分和紫米粉圆 TPA 质构指标之间的表达式,得:

$$F_1 = -0.098X_1 + 0.32X_2 + 0.326X_3 + 0.116X_4 + 0.334X_5, \quad (3)$$

$$F_2 = 0.534X_1 - 0.135X_2 + 0.136X_3 + 0.539X_4 + 0.024X_5, \quad (4)$$

式中:

表 7 主成分特征向量和系数矩阵

Table 7 Eigenvectors for principal components and coefficient matrix

主成分	X ₁ 弹性	X ₂ 硬度	X ₃ 咀嚼性	X ₄ 内聚性	X ₅ 黏结性	系数
F ₁	-0.098	0.320	0.326	0.116	0.334	0.997
F ₂	0.534	-0.135	0.136	0.539	0.024	-0.072

X_i——标准化数据。

建立紫米粉圆与两个主成分之间的表达式为:

$$F = 0.997F_1 - 0.072F_2. \quad (5)$$

2.9 紫米粉圆质构与感官指标之间的相关性

由表 8 可知,质构硬度与感官中弹性、硬度、咀嚼性、内聚性和黏结性等指标以及质构黏结性和感官内聚性呈负相关性,其余指标之间均呈正相关性。质构硬度和感官硬度呈负相关性,说明质构指标与感官指标不一致。感官指标与质构指标之间的相关性减弱可能是由样品高度塌陷引起的,由于煮制过程中粉圆的蒸煮损失,导致其失去原有光滑的外表,粉圆表面出现坍塌,煮制完成后粉圆浸泡于冷水中,不同粉圆间测试存在时间误差,浸泡时间不同,使得粉圆吸水膨胀率不同,粉圆之间形状存在差异,且口感改变。

表 8 TPA 分析和感官品质指标之间的皮尔逊相关系数

Table 8 Person correlation coefficients between TPA analysis and sensory evaluation

感官指标	弹性	硬度	咀嚼性	内聚性	黏结性
弹性	0.414	-0.104	0.282	0.042	0.173
硬度	0.427	-0.144	0.256	0.311	0.068
咀嚼性	0.421	-0.198	0.264	0.119	0.031
内聚性	0.487	-0.292	0.070	0.016	-0.136
黏结性	0.347	-0.130	0.274	0.024	0.078

2.10 紫米粉圆感官指标对 TPA 指标的逐步回归分析预测模型

进一步对紫米粉圆的质构特性进行预测和评价,以紫米粉圆的感官评价指标为因变量,以其质构指标为自变量,进行线性逐步回归分析。由表 9 可知,感官指标的弹性、硬度、咀嚼性和内聚性经逐步线性回归后得到的模型均无显著性,其中弹性、咀嚼性、黏结性的 R²>0.5,模型拟合效果较好。由模型预测结果可知,紫米粉圆的感官指标受质构指标的弹性、硬度、咀嚼性、内聚性和黏结性影响较小,但仍存在一定影响。在咀嚼期间评估黏性,其评估结果与 TPA 无显著相关性。结合质构指标的主成分分析及相关性分析,确定弹性、咀嚼性和黏结性对紫米粉圆的质构起决定性作用。

3 结论

试验表明,紫米添加量对粉圆的结构品质有较大影响,当 m_{紫米粉}:m_{木薯淀粉} 为 1:8 时,其吸水率为 154.71%,蒸煮损失为 16.45%,此时常温及冰饮条件下的感官评定结果最高。使用主成分分析法对紫米粉圆的质构特性进行分析表明,紫米粉圆可用提取出来的两个主成分近似表示。结合感官评定和质构指标,以紫米粉圆的感官评

表 9 感官指标对 TPA 仪器分析指标的逐步回归分析预测模型[†]

Table 9 Predictive equations for TPA parameters as functions of sensory attributes by stepwise regressions

感官指标	复相关 系数 R	决定系数 R^2	校正决定 系数 R_{adj}^2	P 值	预测模型
弹性	0.746	0.557	0.311	0.136	$Y_1 = 10.981 + 6.523X_1 - 0.004X_2 + 0.008X_3 - 23.585X_4 + 0.006X_5$
硬度	0.657	0.431	0.115	0.322	$Y_2 = 6.281 - 3.162X_1 - 0.003X_2 + 0.10X_3 + 4.276X_4$
咀嚼性	0.792	0.628	0.421	0.071	$Y_3 = 13.681 - 3.674X_1 - 0.004X_2 + 0.16X_3 - 7.391X_4 - 0.001X_5$
内聚性	0.68	0.463	0.164	0.267	$Y_4 = 13.373 + 6.002X_1 - 0.001X_2 + 0.008X_3 - 15.173X_4 - 0.002X_5$
黏结性	0.726	0.527	0.264	0.172	$Y_5 = 15.639 - 0.951X_1 - 0.004X_2 + 0.014X_3 - 14.657X_4$

[†] 感官指标: Y_1 表示弹性, Y_2 表示硬度, Y_3 表示咀嚼性, Y_4 表示内聚性, Y_5 表示黏结性; 质构指标: X_1 表示弹性, X_2 表示硬度, X_3 表示咀嚼性, X_4 表示内聚性, X_5 表示黏结性。

定指标作为因变量,质构指标作为自变量,通过 TPA 参数建立了具有统计学意义的紫米粉圆感官特性预测模型,结果证明弹性、硬度、咀嚼性和黏结性对紫米粉圆感官指标的预测具有重要意义。粉圆制作配方采用的增稠剂可能与紫米相互作用导致紫米粉圆口感与市面销售粉圆口感相比不软糯,进而影响感官指标与质构指标之间的显著相关性,后续将通过改进紫米粉圆配方继续开展相关研究来验证相关性模型。

参考文献

[1] 程琤,刘超,贺炜,等.紫甘薯花青素的稳定性及抗氧化性研究[J].营养学报,2011,33(3):291-296.
CHENG H, LIU C, HE W, et al. Study on the stability and antioxidation of anthocyanin from purple sweet potato[J]. Journal of Nutrition, 2011, 33(3): 291-296.

[2] 冯小诺,薛博.紫薯原花青素的功效及应用[J].食品安全导刊,2018(15):51.
FENG X N, XUE B. The efficacy and application of Proanthocyanidins from purple sweet potato[J]. Food Safety Guide, 2018(15): 51.

[3] 王德萍,王为兰,陈开旭,等.番茄红素珍珠粉圆苏打水的研制[J].食品科技,2021,46(3):69-73.
WANG D P, WANG W L, CHEN K X, et al. Preparation of lycopene tapioca pearls soda water [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(3): 69-73.

[4] 丁兴华.红豆包芯珍珠粉圆的最佳制作工艺[J].贵州农业科学,2012,40(12):181-183.
DING X H. The best recipe of red beans cored pearl rice balls[J]. Guizhou Agricultural Science, 2012, 40(12): 181-183.

[5] 谷绒,董道顺.桂圆珍珠粉圆的研制[J].农产品加工(学刊),2014(22):7-9.
GU R, DONG D S. The development of longan pearl powder[J]. Agricultural Products Processing (Journal), 2014(22): 7-9.

[6] 施建斌,隋勇,蔡沙,等.不同粒度麦麸对面条蒸煮特性和质构特性的影响[J].食品研究与开发,2022,43(1):1-6.
SHI J B, SUI Y, CAI S, et al. Effect of Wheat bran particle size on

texture and cooking behavior of Chinese white dry noodles[J]. Food Research and Development, 2022, 43(1): 1-6.

[7] AINSA A, HONRADO A, MARQUINA P L, et al. Innovative development of pasta with the addition of fish by-products from two species[J]. Foods, 2021, 10(8): 1 889.

[8] 蔺泽雪.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,2021:77.
LIN Z X. Effect of particle size and broken starch on the properties of glutinous rice flour and quality of dumplings based on semi-dry milling[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2021: 77.

[9] 何洁,闫飞燕,黄芳,等.双波长法测定薯芋类农产品中直链淀粉和支链淀粉的含量[J].食品工业科技,2022,43(7):303-309.
HE J, YAN F Y, HUANG F, et al. Determination of amylose and amylopectin contents in yam and taros by dual-wavelength spectrophotometry[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(7): 303-309.

[10] TANGSRIANUGUL N, WONGSAGONSUP R, SUPHANTHARIKA M. Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 137: 666-675.

[11] 赵俊,黄永春,张昆明,等.壳聚糖对米粉条质构特性的影响[J].中国调味品,2022,47(2):46-49,54.
ZHAO J, HUANG Y C, ZHANG K M, et al. Effect of chitosan on the texture properties of rice flour noodles[J]. China Seasoning, 2022, 47(2): 46-49, 54.

[12] 王丹,姜启兴,许艳顺,等.鱼糕质构的仪器分析与感官评定间的相关性[J].食品与机械,2016,32(4):24-27,210.
WANG D, JIANG Q X, XU Y S, et al. Correlation between sensory evaluation and instrumental analysis of kamabokos texture [J]. Food & Machinery, 2016, 32(4): 24-27, 210.

[13] 李丽娜,赵武奇,曾祥源,等.苹果的质构与感官评定相关性研究[J].食品与机械,2017,33(6):37-41,45.
LI L N, ZHAO W Q, ZENG X Y, et al. Correlation between texture and sensory evaluation of apple[J]. Food & Machinery, 2017, 33(6): 37-41, 45.

(下转第 22 页)

- SHENG Z J. Extraction of rice starch and preparation and characterization of rice porous starch [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010: 7-19.
- [8] 李莹, 王泽南, 邓伟, 等. 酶法、酸法制备碎米多孔淀粉工艺研究及其比较[J]. 食品科学, 2010, 31(22): 64-68.
- LI Y, WANG Z N, DENG W, et al. Study on the preparation of porous starch of broken rice by enzymatic and acid methods and its comparison[J]. Food Science, 2010, 31(22): 64-68.
- [9] 李玥, 牟伯中, 罗昌荣, 等. 不同分离方法对大米淀粉理化性质的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(25): 15 796-15 798, 15 827.
- LI Y, MOU B Z, LUO C R, et al. Effect of different separation methods on the physicochemical properties of rice starch[J]. Anhui Agricultural Science, 2011, 39(25): 15 796-15 798, 15 827.
- [10] 张美, 李庆, 李一林, 等. 米渣营养成分测定及其蛋白质提取工艺优化[J]. 食品科学技术学报, 2015, 33(6): 65-71.
- ZHANG M, LI Q, LI Y L, et al. Determination of nutrient composition of rice pomace and optimization of its protein extraction process[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 33(6): 65-71.
- [11] ZAVAREZE E, STORCK C R, CASTRO L, et al. Effect of heat-moisture treatment on rice starch of varying amylose content[J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 358-365.
- [12] 芦鑫, 张晖, 姚惠源. 不同提取方法对粳米淀粉结构的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 102-106.
- LU X, ZHANG H, YAO H. Effect of different extraction methods on the structure of japonica rice starch[J]. Food Science, 2008, 29(1): 102-106.
- [13] ZHONG Y Y, QU J Z, LI Z H, et al. Rice starch multi-level structure and functional relationships[J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 275(1): 118777.
- [14] QI X G, CHENG L L, LI X J, et al. Effect of cooking methods on solubility and nutrition quality of brown rice powder[J]. Food Chemistry, 2018, 274: 444-451.
- [15] BALET S, GUELPA A, FOX G, et al. Rapid visco analyser (RVA) as a tool for measuring starch-related physicochemical properties in cereals: A review[J]. Food Analytical Methods, 2019, 12(10): 2 344-2 360.
- [16] 马晓丽, 常婧瑶, 殷永超, 等. 乙醇-热处理制备冷水溶胀小麦淀粉及其结构和功能特性的研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(6): 18-24.
- MA X L, CHANG J Y, YIN Y C, et al. Preparation of cold water-swollen wheat starch by ethanol-heat treatment and its structural and functional properties [J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(6): 18-24.
- [17] 孙宇, 徐文, 余平, 等. 加工精度对大米理化特性、糊化特性以及食用品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(8): 29-33.
- SUN Y, XU W, YU P, et al. Effects of processing accuracy on physical and chemical properties, pasting characteristics and eating quality of rice[J]. Grain and Oil, 2021, 34(8): 29-33.
- [18] GOVINDARAJU I, ZHUO G Y, CHAKRABORTY I, et al. Investigation of structural and physico-chemical properties of rice starch with varied amylose content: A combined microscopy, spectroscopy, and thermal study [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 122: 107093.
- [19] FREI M, SIDDHURAJU P, BECKER K. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines[J]. Food Chemistry, 2003, 83(3): 395-402.
- [20] FAN D M, MA W R, WANG L Y, et al. Determination of structural changes in microwaved rice starch using Fourier transform infrared and Raman spectroscopy[J]. Starch-Starke, 2012, 64(8): 598-606.
- [21] 周海宇, 任瑞林, 包亚莉, 等. 高静压酯化木薯淀粉结构及其理化性质的研究[J]. 现代食品科技, 2016(2): 107-112.
- ZHOU H Y, REN R L, BAO Y L, et al. Study on the structure of high hydrostatic pressure esterified tapioca starch and its physicochemical properties [J]. Modern Food Science and Technology, 2016(2): 107-112.
- [22] 李蟠莹, 戴涛涛, 陈军, 等. 原花青素对大米淀粉老化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 6-11.
- LI B Y, DAI T T, CHEN J, et al. Effect of proanthocyanidins on the aging properties of rice starch[J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(18): 6-11.
- [23] 李江涛, 周巧, 林亲录, 等. 不同糊化度籼米淀粉的结构及理化性质研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(4): 76-82.
- LI J T, ZHOU Q, LIN Q L, et al. Structural and physicochemical properties of indica rice starch with different pasting degrees[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2022, 37(4): 76-82.

(上接第 16 页)

- [14] 徐坤华, 赵巧灵, 廖明涛, 等. 金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 190-197.
- XU K H, ZHAO Q L, LIAO M T, et al. Research of relationship between texture and sensory evaluation of tuna[J]. Chinese Journal of Food, 2014, 14(12): 190-197.
- [15] 李雪琴, 张芳芳, 党献民, 等. SPASS 主成分分析法在速冻水饺皮质构品质评价中的应用[J]. 农业机械, 2012(36): 67-69.
- LI X Q, ZHANG F F, DANG X M, et al. Application of SPASS

principal component analysis in the evaluation of cortical composition quality of quick-frozen dumplings [J]. Agricultural Machinery, 2012(36): 67-69.

[16] 何新益, 汪姣, 任小青, 等. 花色馒头的制备及质构特性主成分分析[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(7): 108-112.

HE X Y, WANG J, REN X Q, et al. Preparation and principal component analysis of texture profile properties of colorful steamed bread[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2011, 26(7): 108-112.