

菊芋全粉对米发糕贮藏品质特性的影响

陈辉凡¹, 吴卫国¹, 任贤龙², 廖卢艳^{1*}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 长沙 410128; 2. 湖南角山米业有限责任公司, 衡阳 421200)

摘要: **目的** 探究菊芋全粉添加量与米发糕品质特性之间的相关性。**方法** 在米发糕中添加不同比例(5%、10%、15%、20%、25%)的菊芋全粉, 测定其贮藏过程(0、1、3、5、7 d)中感官品质、质构特性和体外消化特性等指标, 探究菊芋全粉与米发糕品质指标之间的相关性。**结果** 与未添加菊芋全粉的米发糕相比, 菊芋全粉的添加降低了米发糕的硬度、粘性和咀嚼性, 感官评分从 81.91 下降到 70.91, 而米发糕抗性淀粉从 26.02% 增加至 34.59%。菊芋全粉的添加能有效减缓米发糕在贮藏期间质构的劣变, 贮藏第 7 d 时, 添加 15% 菊芋全粉的米发糕感官评分(80.83)高于对照组(66.57), 且添加 10% 菊芋全粉的米发糕抗性淀粉高达 42.23%。通过相关性分析, 回复值、弹性和粘聚性是影响米发糕感官品质的主要因素, 其中弹性与米发糕感官评分呈极显著负相关($P < 0.01$)。**结论** 添加菊芋全粉可有效提升米发糕的感官品质及抗消化特性, 并能有效减缓米发糕在贮藏期间的质构劣变, 同时也丰富了米发糕品种多样性, 可为菊芋资源的开发和高值化利用、发糕制品的深度研究提供理论参考。

关键词: 菊芋全粉; 米发糕; 感官评价; 质构特性; 体外消化; 相关性分析

Study on correlation between total powder content of jerusalem artichoke and storage quality of rice steamed Chinese sponge cake

CHEN Hui-Fan¹, WU Wei-Guo¹, REN Xian-Long², LIAO Lu-Yan^{1*}

(1. School of Hunan Agricultural University Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Hunan Jiaoshan Rice Industry Co., Ltd., Hengyang 421200, China)

ABSTRACT: Objective To explore the correlation between the quality characteristics of rice steamed Chinese sponge cake and the total powder content of jerusalem artichoke powder. **Methods** Different proportions of jerusalem artichoke powder (5%, 10%, 15%, 20%, 25%) were added to rice steamed Chinese sponge cake, and its sensory quality, texture quality and *in vitro* digestion characteristics during storage (0, 1, 3, 5, 7 d) were measured to explore the correlation between jerusalem artichoke powder and rice steamed Chinese sponge cake quality. **Results** Compared with rice steamed Chinese sponge cake without jerusalem artichoke powder, adding jerusalem artichoke powder reduced the hardness, stickiness and chewability of rice steamed Chinese sponge cake, the sensory score decreased from 81.91 to 70.91, and the resistant starch increased from 26.02% to 34.59%. On the 7th day of storage, the sensory scores of rice steamed Chinese sponge cake (80.83) supplemented with 15% jerusalem artichoke

基金项目: 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)、湖南省重点领域研发计划项目(2019NK2131)

Fund: Supported by the 2022 Hunan Enterprise Science and Technology Innovation and Entrepreneurship Team Project (Hunan Jiaoshan Rice Industry Science and Technology Venture Team), and the Hunan Province Key Areas Research and Development Plan Project (2019NK2131)

***通信作者:** 廖卢艳, 博士, 副教授, 主要研究方向为粮油食品深加工及碳水化合物资源开发与利用。E-mail: 120425073@qq.com

***Corresponding author:** LIAO Lu-Yan, Ph.D, Associate Professor, College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, No.1, Nongda Road, Furong District, Changsha 410128, China. E-mail: 120425073@qq.com

powder were higher than those of control group (66.57), and the resistant starch of rice steamed Chinese sponge cake supplemented with 10% jerusalem artichoke powder was 42.23%. Through correlation analysis, the recovery value, elasticity and cohesiveness were the main factors affecting the sensory quality of rice steamed Chinese sponge cake, and the elasticity was significantly negatively correlated with the sensory score of rice steamed Chinese sponge cake ($P<0.01$). **Conclusion** Adding jerusalem artichoke powder to rice steamed Chinese sponge cake can improve the sensory quality and anti-digestion properties of rice steamed Chinese sponge cake, effectively reduce the deterioration of the texture of rice steamed Chinese sponge cake during storage, and enrich the variety of the variety diversity of rice steamed Chinese sponge cake, which can provide theoretical reference for the development and high-value utilization of jerusalem artichoke resources and the in-depth research of steamed Chinese sponge cake products.

KEY WORDS: jerusalem artichoke powder; rice steamed Chinese sponge cake; sensory evaluation; texture property; *in vitro* digestibility; correlation analysis

0 引言

菊芋(*Helianthus tuberosus* L.)是菊科(*Compositae*)向日葵属(*Helianthus*)多年生的植物,原产于美国中北部^[1-2]。菊芋在我国种植面积广泛,适宜种植菊芋的边际土地面积为 1760 万 hm^2 ,其平均亩产可达 1740 kg,并且种植规模每年以 20~30 万亩的速度递增^[3-5],成为一种开发潜力较大的农业作物。菊芋块茎是主要食用部位,其含有丰富的菊糖,菊糖低热量,具有改善肠道环境、降低血糖等多种功效^[6],通常作为食品添加剂代替糖、脂肪应用到食品加工中^[7-8],目前对菊芋的研究主要集中在从菊芋块茎中提取菊糖^[9-10],而菊芋块茎经干燥粉碎后得到的菊芋全粉(菊糖>50%)能保留更多的营养物质^[11],具有更广泛的应用空间和利用价值。研究显示,明胶和菊芋全粉复配后产生的凝胶效果要优于加入菊糖所得的效果^[12],菊芋全粉在持油性方面优于菊糖^[13]。有研究将热风干燥制得的菊芋全粉加入饼干后,饼干具有良好的慢消化特性,而且其抗氧化活性和菊芋全粉的添加量呈正比^[8]。此外,菊芋全粉螯合钙能有效改善骨质疏松,在保健食品开发方面也具有很大的潜力^[13]。

米发糕是一种将粳米浸泡磨浆发酵后通过蒸汽汽蒸糊化成型的具有民族特色的传统发酵风味食品^[14],深受我国南方地区人们喜爱。发糕产品表面光滑,内部疏松多孔呈蜂窝状,口感细腻绵软^[15],热量低^[16],有独特的发酵风味,具有滋补身体的保健功效^[17]。传统发糕一般由大米自然发酵或者加入“老浆”进行人工发酵制备而成^[18],但营养成分单一、消化率高且易老化。GADAGA 等^[19]采用酵母与乳酸杆菌混合发酵制备发糕,提高了米发糕营养品质。菊芋全粉具有良好的发酵性,菊芋全粉可以有效替代培养基中的葡萄糖并且能够降低生产成本^[20],这为菊芋全粉的利用提供了新的开发和研究方向。目前,菊芋全粉添加量

对发糕品质影响的研究较少,故本研究通过探究菊芋全粉添加量对米发糕加工及贮藏品质的影响,探讨将菊芋全粉添加至米发糕中的可行性,以期开发出一款具有菊芋风味的新型米发糕,为菊芋全粉的综合利用以及米发糕品质改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

鲜菊芋(湖南省长沙市芙蓉区农大路 2 号);三象牌水磨粘米粉(泰国初兴米粉厂有限公司);燕子即发酵母(内蒙古佰惠生生物科技有限公司);酸奶发酵菌粉(青岛凯麦食品科技有限公司);糖粉、 α -淀粉酶、胃蛋白酶(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);葡萄糖苷酶(分析纯,汕头市西陇化工厂有限公司)。

1.2 仪器与设备

GFL-230 恒温干燥箱(天津市莱玻特瑞仪器设备有限公司);XTP-500A 高速多功能粉碎机(永康市太阳红机电有限公司);FJ12H 醒发箱(广东顺德亿高电器有限公司);SYS28-22 美的中式电蒸锅(广东美的生活电器制造有限公司);AEY-200 电子分析天平(感量 0.1 mg,湘仪天平仪器设备有限公司);SFY-60 快速水分测定仪(深圳市冠亚技术科技有限公司);RST-100RB 热泵烘干除湿箱(天津市泰斯特仪器有限公司);LD5-2A 离心机(湖南赫西仪器装备有限公司);SYWF-50 水浴恒温振荡培养箱(天津市泰斯特联创生物技术有限公司);TA-XT2i Plus 质构仪(SMS 公司);UV-1800 紫外分光光度计[翱艺仪器(上海)有限公司]。

1.3 方法

1.3.1 菊芋全粉的制备

洗净菊芋块茎,切成 2~3 mm 厚的菊芋切片,取 1000 g 菊芋切片,平铺在 90 cm×90 cm 医用纱布上,置于热泵干燥

的托盘中, 避免堆积重叠。40℃热泵干燥至恒重, 时间约为 48 h, 于多功能高速粉碎机粉碎, 过 100 目筛, 得菊芋全粉。

1.3.2 菊芋米发糕制作工艺

参考梁言^[21]的方法制备米发糕, 采用酵母与乳酸杆菌混合发酵, 以菊芋全粉(添加量为 0%、5%、10%、15%、20%、25%)和粘米粉总质量 100 g 为基准, 酵母菌与乳酸杆菌添加量 4 g (3:1), 100 g 清水溶解搅匀, 置于醒发箱醒发 2 h, 添加 20%糖粉复发酵 15 min, 放入电蒸锅汽蒸 15 min, 自然冷却脱模, 制成成品, 测定感官品质、质构品质、体外消化特性。

1.3.3 菊芋米发糕贮藏品质研究

将菊芋全粉添加量 0%、5%、10%、15%、20%、25% 制成的米发糕在 4℃冰箱中分别储存 0、1、3、5、7 d, 测定感官品质、质构品质、体外消化特性。

1.3.4 质构品质测定

将菊芋米发糕沿竖直方向切成 15 mm 立方体, 取中间 4 片, 用 TA-XT2i Plus 质构仪进行全质构分析。测定参数: 探头 P36R, TPA 模式, 测前速度 3 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测后速度 1 mm/s, 压缩比 50%, 测试力 0.05 N, 两次压缩间隔 3 s, 数据采集速度 250 pps^[22]。每个样品平行测定 4 次, 观察数据偏差, 对实验数据进行适当的取舍。

1.3.5 感官品质测定

招募 10 名食品专业人员(年龄 20~30 周岁, 男女比例 1:1)组成感官评价小组, 对米发糕的硬度、粘性、咀嚼性、香气、完好性进行感官评分^[23], 评价标准见表 1。评定米发糕的贮藏品质时, 将冷藏 1~7 d 的米发糕进行复蒸(上汽蒸 2 h)、冷却 1 h 后再评定。

1.3.6 体外消化特性测定

参照 ENGLYST 等^[24]体外测定法, 测定米发糕中快消

化淀粉(ready digestible starch, RDS)、慢消化淀粉(slowly digestible starch, SDS)和抗性淀粉(resistant starch, RS) 3 种消化淀粉的含量, 准确称取 10 mg 冻干粉碎后的米发糕粉样品于 25 mL 离心管中, 加入 pH=5.2 的乙酸钠缓冲液 2 mL, 沸水浴 15 min, 冷却后加入 5 mL 缓冲液, 另取两支离心管, 分别加入适量混合酶液(0.24 g/100 mL α-淀粉酶、0.02 g/100 mL 葡萄糖苷酶)与胃蛋白酶(1 g/100 mL), 与样品同时置于 37℃恒温水浴锅中 10 min。加入 1 mL 胃蛋白酶液, 孵育 10 min 后加入 1 mL 混合酶液, 定容到 10 mL。将样品离心管置于 37℃恒温水浴下振荡并准确计时, 水解 20 min 和 120 min 后分别取出 1 mL 水解液, 加入装有 4 mL 的 0.4 mol/L 的 NaOH 溶液的比色管中, 加入 2 mL DNS 试剂, 沸水浴 5 min, 冷却后定容至 25 mL。在 540 nm 波长处测定样品吸光度, 根据其吸光值和葡萄糖标准曲线, 按照公式(1)~(3)分别计算 RDS、SDS 和 RS 含量:

$$RDS = 0.9 \times \frac{G_{20} - FG}{TS} \times 100\% \tag{1}$$

$$SDS = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0.9}{TS} \times 100\% \tag{2}$$

$$RS = \frac{TS - (RDS + SDS)}{TS} \times 100\% \tag{3}$$

式中: G_{20} 和 G_{120} 分别为酶水解 20 min 和 120 min 后样品的葡萄糖含量, mg; FG 为酶水解前样品的葡萄糖含量(以 0 计); TS 为总淀粉含量, mg/g, 按照 GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中酸水解法进行测定。

1.4 数据处理

各组实验重复 3 次, 使用 Excel 2010 进行实验数据整理与分析, 并进行制图, 使用 IBM SPSS Statistics 19 对数据进行显著性分析及相关性分析。

表 1 米发糕的感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria of rice steamed Chinese sponge cake

评价指标	分值/分	评分标准		
		好	中	差
硬度	20	软硬适中	稍软或稍硬	过软或过硬
		16~20分	9~15分	9分以下
粘性	20	不粘牙	稍粘牙	较粘牙
		16~20分	9~15分	9分以下
咀嚼性	20	咀嚼时间适中	咀嚼时间稍长	咀嚼时间过长
		16~20分	9~15分	9分以下
发糕风味	30	有香气, 甜度适中	香气不足, 稍甜或甜度稍低	无明显香气, 过甜或者不甜
		21~30分	10~20分	10分以下
完好性	10	结构均匀细腻, 不掉屑, 无塌陷	结构较均匀, 稍掉屑或塌陷	结构不均匀, 掉屑或塌陷严重
		8~10分	5~7分	5分以下
整体评分	100	完全接受	一般接受	不可接受
		81~100分	61~80分	40~60分

2 结果与分析

2.1 菊芋全粉添加量对米发糕的品质影响

2.1.1 菊芋全粉添加量对米发糕的质构品质和感官品质的影响

由表 2 可知, 菊芋全粉的添加会改变米发糕的质构特性。与未添加菊芋全粉的米发糕相比, 菊芋全粉的添加可降低米发糕的硬度、粘性、咀嚼性; 随着添加量的增加, 米发糕的回复值、弹性、粘聚性呈现先上升后下降的趋势。当添加量为 5% 时, 米发糕的硬度、粘性、咀嚼性达到最大值, 分别为 2985.20 g、1999.38 g、1863.40 g, 感官评分最高为 81.91; 当添加量超过 10% 时, 硬度、粘性、咀嚼性出现显著下降($P<0.05$), 感官评分也有所下降。粘米粉中高含量的直链淀粉之间的氢键相互交联, 可形成一定强度的凝胶结构, 而较高添加量的菊芋全粉破坏了粘米粉中原有淀粉结构, 阻碍直链淀粉间形成双螺旋结构^[25], 使得硬度、粘性、咀嚼性大幅下降。此外, 菊芋全粉含有一定量的苦素和苦肽^[26], 乳酸菌发酵利用菊芋全粉中的菊糖、蛋白质等^[27], 也会影响米发糕的口感和风味接受程度。值得注意的是, 添加量为 25% 时, 米发糕的回

复值和弹性最小, 可能原因是高含量的菊芋全粉使粘米粉中直链淀粉未充分暴露出来, 淀粉凝胶结构松散, 对米发糕内部的气孔保留率降低^[28]。菊芋全粉中膳食纤维、菊糖等物质的存在也会影响米发糕结构形成。因此, 向米发糕中适量添加菊芋全粉可以起到改善质构特性、强化淀粉凝胶的作用。

2.1.2 菊芋全粉添加量对米发糕体外消化特性的影响

根据水解的速率, 淀粉可以分为 RDS、SDS 和 RS。通常, RDS 进入人体后, 会迅速分解成葡萄糖, 为身体提供能量。SDS 则在小肠中缓慢水解成葡萄糖。而 RS 未被消化酶水解, 在小肠中被微生物分解转化为短链脂肪酸。由表 3 可知, RDS 含量随着菊芋全粉添加量的增加而减少, 从 68.76% 减少至 47.62%。随着菊芋全粉的添加, SDS 与 RS 含量分别从 11.59% 和 19.66% 增加至 17.79% 和 34.59%, 这与人研究中 RS 含量与 RDS 含量呈负相关的结论一致^[29]。原因可能是由于菊芋全粉中的菊糖对淀粉有一定的包裹作用, 限制了消化酶的可及性, 从而使酶解变得缓慢^[30]。RS 含量提高的同时, RDS 含量下降, 也是控制血糖的一种有效途径^[31]。因此, 从消化特性来看, 菊芋全粉添加量越多, 米发糕的抗消化性能越好。

表 2 菊芋全粉添加量对米发糕的质构特性和感官品质的影响
Table 2 Effects of the amount of jerusalem artichoke powder on texture characteristics and sensory quality of rice steamed Chinese sponge cake

菊芋全粉 添加量/%	硬度/g	粘性/g	咀嚼性/g	回复值	弹性	粘聚性	感官评分
0	2777.99±835.31 ^a	1850.89±520.20 ^a	1787.42±514.95 ^a	0.44±0.02 ^a	0.96±0.02 ^a	0.67±0.03 ^b	78.27±11.75 ^{ab}
5	2985.20±699.77 ^a	1999.38±382.92 ^a	1863.40±348.62 ^a	0.43±0.03 ^a	0.93±0.02 ^{bc}	0.68±0.04 ^b	81.91±7.44 ^a
10	2569.52±945.89 ^a	1764.10±574.33 ^a	1696.52±532.47 ^a	0.44±0.02 ^a	0.96±0.02 ^a	0.70±0.03 ^{ab}	79.55±9.62 ^{ab}
15	1741.47±250.99 ^b	1242.95±164.07 ^b	1176.18±156.53 ^b	0.45±0.01 ^a	0.95±0.02 ^{abc}	0.72±0.01 ^a	75.82±11.89 ^{ab}
20	1538.49±275.18 ^b	1096.45±182.60 ^b	1044.63±179.51 ^b	0.43±0.01 ^a	0.95±0.02 ^{ab}	0.71±0.01 ^a	73.64±12.93 ^{ab}
25	1725.76±261.34 ^b	1153.50±150.70 ^b	1070.20±138.52 ^b	0.39±0.01 ^b	0.93±0.02 ^{bc}	0.67±0.02 ^b	70.91±13.55 ^b

注: 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 下同。

表 3 菊芋全粉添加量对米发糕的消化品质影响
Table 3 Effects of the amount of jerusalem artichoke powder on digestive quality of rice steamed Chinese sponge cake

菊芋全粉添加量/%	RDS/%	SDS/%	RS/%
0	68.76±8.29 ^a	11.59±7.65 ^{bc}	19.66±12.33 ^a
5	64.54±4.27 ^{ab}	9.44±10.91 ^c	26.02±7.97 ^a
10	68.47±9.79 ^a	16.64±3.74 ^{abc}	14.89±13.5 ^a
15	43.69±4.36 ^c	30.78±8.41 ^a	25.53±8.05 ^a
20	51.58±9.47 ^{bc}	27.94±12.99 ^{ab}	20.48±11.27 ^a
25	47.62±2.24 ^c	17.79±5.9 ^{abc}	34.59±4.94 ^a

2.1.3 菊芋米发糕感官品质、质构品质及消化品质之间相关性分析

由表 4 可知, 在不同菊芋全粉添加量下, 米发糕的硬度与感官评分显著正相关($P<0.05$), 粘性、咀嚼性与感官评分极显著正相关($P<0.01$); RDS 含量和 SDS 含量与硬度、粘性、咀嚼性质构品质指标均呈显著相关($P<0.05$); RS 含量与弹性极显著负相关($P<0.01$)。同时, 该结果也说明可以通过测定质构品质指标中的硬度、粘性、咀嚼性和弹性来评判不同菊芋全粉添加量的米发糕感官品质和体外消化特性。

2.2 贮藏时间对菊芋米发糕品质的影响

2.2.1 菊芋米发糕贮藏过程中质构特性和感官评分的变化

米发糕的品质与弹性、粘性、硬度等指标密切相关, 硬度较低的米发糕具有松软的口感, 更受消费者喜爱。米发糕在贮藏过程中的质构变化可以客观地反映出米糕的贮藏品质变化^[32]。由表 5 可知, 随着贮藏时间的延长, 米发糕的硬度出现显著上升($P<0.05$), 而添加菊芋全粉的米发糕的硬度总体上均低于对照组米发糕。这是因为贮藏前淀粉分子糊化后重新排序成有序的结晶^[33], 贮藏期间复热后的米发糕短期内直链淀粉迅速回生, 导致硬度增加^[34], 表明菊芋全粉的添加可有效延缓贮藏期间米发糕硬度的增加, 袁翊榕等^[11]研究也发现添加菊芋全粉改善了糙米糕的质构特性。米发糕的粘性、咀嚼性、回复值、弹性和粘聚性均随贮藏时间的延长呈现减小的趋势, 贮藏第 7 d 时, 添加菊芋全粉的米发糕粘性和咀嚼性均低于对照组, 而感官评分均高于对照组。由此可见, 菊芋全粉的添加减缓了米发糕在贮藏期间的质构劣变, 且添加 15%菊芋全粉使米发糕内部结构更蓬松、口感更佳。

2.2.2 菊芋米发糕贮藏过程中消化特性的变化

由表 6 可知, 整个贮藏过程中, 未添加菊芋全粉的米发糕 RS 含量从 19.66%增加至 33.59%。在贮藏期第 5 d 时, 添加 0%~20%菊芋全粉的发糕 RS 含量均达到了最高值, 其中菊芋全粉添加量为 20%时, RS 含量高达 56.54%, 这与人研究马铃薯馒头的贮藏特性变化一致^[35]。这可能是由于贮藏过程中淀粉发生老化, 且低温贮藏可提高淀粉制品中 RS 含量^[36-37], 但随着贮藏时间的继续延长, 发糕内的淀粉逐渐糖化, 故 RS 含量又出现下降^[38]。菊芋全粉的添加对贮藏过程中米发糕消化特性存在不同程度的影响, 其中添加 10%菊芋全粉的发糕的 RDS 含量从 68.47%减至 36.19%, 下降 47.14%, RS 含量从 14.89%增加至 42.23%, 升高 183.61%, 远高于未添加菊芋全粉的米发糕中的 RDS 含量下降程度(26.09%)和 RS 含量升高程度(70.85%)。因此, 与未添加菊芋全粉的米发糕相比, 菊芋全粉可增加米发糕在贮藏期间的抗消化特性。

2.2.3 贮藏过程中菊芋米发糕品质之间相关性分析

由表 7 可知, 米发糕的回复值、粘聚性与感官评分呈显著负相关($P<0.05$), 弹性与感官评分呈极显著负相关($P<0.01$), 表明弹性对菊芋米发糕感官评分的影响最大, 相关系数为-0.488, 以往研究亦表明质构品质变化与感官评分具有相关性^[39]; 消化特性与感官品质及质构品质并不具有明显的相关性, 表明贮藏过程中米发糕 RDS、SDS 和 RS 含量变化不影响感官评分及质构指标。因此, 弹性、粘聚性和回复值可作为预测和控制菊芋米发糕品质的重要指标。米发糕质构特性和感官评分随贮藏时间的变化主要由于淀粉糊化老化、菊芋全粉添加量等诸多因素。

表 4 米发糕感官评分、质构品质和消化特性之间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between sensory score, texture quality and digestive characteristics of rice steamed Chinese sponge cake										
指标	感官评分	硬度/g	粘性/g	咀嚼性/g	回复值	弹性	粘聚性	RDS/%	SDS/%	RS/%
感官评分	1									
硬度/g	0.890*	1								
粘性/g	0.920**	0.997**	1							
咀嚼性/g	0.918**	0.993**	0.998**	1						
回复值	0.644	0.331	0.394	0.425	1					
弹性	0.319	0.235	0.271	0.333	0.689	1				
粘聚性	-0.164	-0.585	-0.522	-0.504	0.502	0.259	1			
RDS/%	0.771	0.891*	0.892*	0.910*	0.345	0.533	-0.476	1		
SDS/%	-0.569	-0.868*	-0.830*	-0.815*	0.164	0.036	0.884*	-0.792	1	
RS/%	-0.54	-0.358	-0.408	-0.456	-0.772	-0.918**	-0.342	-0.633	0.028	1

注: *和**分别表示在 $P<0.05$ 水平(双侧)显著相关和 $P<0.01$ 水平(双侧)极显著相关, 表 7 同。

表 5 贮藏过程中菊芋全粉添加量对米发糕质地特性和感官评分影响
Table 5 Effects of the addition amount of Jerusalem artichoke powder on the texture characteristics and sensory scores of rice steamed Chinese sponge cake during storage

指标	贮藏时间/d	菊芋全粉添加量/%					
		0	5	10	15	20	25
硬度/g	0	2966.15±778.87 ^b	2985.20±699.77 ^a	2753.79±887.92 ^b	1752.63±265.92 ^c	1538.49±275.18 ^b	1725.75±261.34 ^b
	1	3043.77±650.91 ^b	3539.43±390.76 ^a	3420.81±616.90 ^{ab}	3334.26±289.46 ^b	2922.19±356.34 ^a	2451.89±617.34 ^{ab}
	3	4865.35±861.72 ^{ab}	4134.26±1294.53 ^a	3493.79±158.03 ^{ab}	4062.32±1237.72 ^{ab}	3127.20±483.16 ^a	2620.32±373.85 ^a
	5	5195.54±1954.74 ^a	4532.39±1632.88 ^a	4229.53±640.30 ^a	4260.24±854.85 ^{ab}	3199.41±136.87 ^a	2684.38±22.91 ^a
	7	6464.76±2209.58 ^a	4954.52±3480.87 ^a	4427.39±289.40 ^a	5031.47±2869.25 ^a	3360.08±295.76 ^a	3051.39±287.74 ^a
粘性/g	0	1961.71±496.14 ^a	1999.38±382.92 ^a	1880.60±530.85 ^a	1250.86±173.56 ^{ab}	1096.45±182.60 ^a	1153.50±150.67 ^a
	1	888.27±236.74 ^b	1142.32±183.41 ^b	1327.62±197.30 ^b	1389.43±190.69 ^a	1160.65±197.19 ^a	977.82±231.69 ^{ab}
	3	1114.80±246.74 ^b	967.73±424.21 ^{bc}	914.61±187.78 ^b	1147.06±245.33 ^{ab}	1090.80±448.93 ^a	764.95±123.96 ^{bc}
	5	1233.04±455.78 ^b	1025.27±423.28 ^{bc}	1136.35±306.93 ^b	899.22±310.53 ^{bc}	601.40±39.36 ^b	639.09±7.40 ^c
	7	1344.89±282.68 ^b	462.23±19.06 ^c	1024.10±243.38 ^b	713.22±41.05 ^c	957.89±143.96 ^{ab}	814.66±133.84 ^{bc}
咀嚼性/g	0	1890.33±502.04 ^a	1863.40±348.62 ^a	1810.02±481.70 ^a	1189.53±161.77 ^a	1044.63±179.51 ^a	1070.20±138.52 ^a
	1	733.58±195.74 ^b	938.10±131.54 ^b	1211.14±186.34 ^b	1192.44±193.32 ^a	965.75±184.22 ^a	797.76±193.91 ^{ab}
	3	830.41±114.39 ^b	787.62±387.38 ^{bc}	725.04±162.36 ^b	890.71±210.08 ^{ab}	880.16±416.28 ^a	609.32±109.45 ^{bc}
	5	888.32±276.67 ^b	791.72±370.47 ^{bc}	846.03±253.95 ^b	657.90±220.31 ^b	416.45±60.03 ^b	427.39±25.10 ^c
	7	1067.05±325.93 ^b	346.94±28.00 ^c	791.19±252.59 ^b	589.14±3.67 ^b	793.58±122.12 ^{ab}	636.99±142.06 ^{bc}
回复值	0	0.44±0.02 ^a	0.43±0.03 ^a	0.45±0.02 ^a	0.45±0.01 ^a	0.43±0.01 ^a	0.39±0.01 ^a
	1	0.17±0.03 ^b	0.19±0.02 ^b	0.22±0.03 ^b	0.23±0.021 ^b	0.20±0.017 ^b	0.21±0.02 ^b
	3	0.15±0.01 ^{bc}	0.14±0.02 ^c	0.17±0.02 ^c	0.17±0.021 ^c	0.18±0.07 ^{bc}	0.16±0.01 ^c
	5	0.15±0.02 ^{bc}	0.15±0.02 ^c	0.15±0.02 ^c	0.12±0.02 ^d	0.13±0.01 ^c	0.13±0.00 ^c
	7	0.14±0.01 ^c	0.13±0.01 ^c	0.17±0.00 ^c	0.16±0.00 ^c	0.17±0.00 ^{bc}	0.15±0.02 ^c
弹性	0	0.96±0.02 ^a	0.93±0.02 ^a	0.96±0.03 ^a	0.95±0.01 ^a	0.95±0.02 ^a	0.93±0.02 ^a
	1	0.83±0.04 ^b	0.82±0.05 ^b	0.88±0.04 ^b	0.86±0.03 ^b	0.83±0.06 ^b	0.82±0.07 ^b
	3	0.76±0.11 ^b	0.81±0.06 ^b	0.79±0.03 ^c	0.77±0.04 ^c	0.80±0.05 ^b	0.80±0.03 ^b
	5	0.74±0.06 ^b	0.76±0.07 ^b	0.74±0.04 ^c	0.73±0.05 ^c	0.69±0.06 ^c	0.68±0.04 ^c
	7	0.79±0.08 ^b	0.75±0.03 ^b	0.77±0.07 ^c	0.83±0.04 ^b	0.83±0.00 ^b	0.78±0.05 ^b
粘聚性	0	0.66±0.03 ^a	0.68±0.04 ^a	0.70±0.03 ^a	0.72±0.01 ^a	0.71±0.01 ^a	0.67±0.02 ^a
	1	0.29±0.03 ^b	0.32±0.04 ^b	0.39±0.05 ^b	0.42±0.04 ^b	0.38±0.03 ^b	0.40±0.04 ^b
	3	0.22±0.04 ^c	0.23±0.05 ^c	0.29±0.03 ^c	0.29±0.04 ^c	0.33±0.09 ^{bc}	0.29±0.02 ^c
	5	0.24±0.04 ^{bc}	0.22±0.03 ^c	0.25±0.04 ^c	0.21±0.04 ^d	0.24±0.01 ^d	0.24±0.01 ^d
	7	0.21±0.03 ^c	0.19±0.01 ^c	0.28±0.02 ^c	0.26±0.01 ^{cd}	0.28±0.02 ^{cd}	0.27±0.02 ^{cd}
感官评分	0	76.90±11.42 ^a	82.40±7.44 ^a	80.40±9.69 ^a	77.30±11.41 ^a	75.00±12.77 ^a	72.80±12.67 ^a
	1	72.00±11.98 ^a	71.50±9.55 ^a	77.00±4.14 ^a	79.43±9.91 ^a	78.86±8.84 ^a	71.71±8.86 ^a
	3	69.43±7.14 ^a	72.00±6.93 ^a	76.57±3.16 ^a	79.17±7.86 ^a	81.17±4.88 ^a	76.50±3.39 ^a
	5	68.71±4.15 ^a	73.29±8.66 ^a	74.43±6.90 ^a	80.50±6.12 ^a	77.83±4.88 ^a	77.33±8.14 ^a
	7	66.57±6.53 ^a	73.71±8.66 ^a	73.14±9.30 ^a	80.83±6.56 ^a	77.00±4.86 ^a	74.83±6.46 ^a

注: 同列不同小写字母表示相同指标不同贮藏时间样品之间品质差异显著(P<0.05), 表 6 同。

表 6 贮藏过程中菊芋全粉添加量对米发糕消化特性的影响
Table 6 Effects of the addition amount of jerusalem artichoke powder on digestive quality of rice steamed Chinese sponge cake during storage

指标	贮藏时间/d	菊芋全粉添加量/%					
		0	5	10	15	20	25
RDS/%	0	68.76±8.29 ^a	64.54±4.27 ^a	68.47±9.79 ^a	43.69±4.36 ^{ab}	51.58±9.47 ^a	46.34±0.38 ^{ab}
	1	36.50±6.05 ^{ab}	34.11±3.05 ^{bc}	35.95±2.97 ^{bc}	42.32±2.04 ^{ab}	41.71±3.06 ^a	34.36±2.58 ^b
	3	34.78±21.49 ^b	39.31±1.46 ^{bc}	49.62±16.11 ^{ab}	27.83±1.51 ^c	38.21±20.73 ^a	48.36±20.17 ^{ab}
	5	28.07±7.68 ^b	24.43±7.72 ^c	19.13±6.09 ^c	38.85±8.84 ^b	34.43±12.62 ^a	36.40±12.66 ^b
	7	50.82±25.87 ^{ab}	57.38±21.53 ^{ab}	36.19±16.84 ^{bc}	50.93±2.50 ^a	44.99±7.60 ^a	69.53±8.30 ^a
SDS/%	0	11.59±7.65 ^a	9.44±10.91 ^b	16.64±3.74 ^b	30.78±8.41 ^a	27.94±12.99 ^a	29.03±27.09 ^a
	1	21.33±5.98 ^a	33.07±5.04 ^a	38.29±1.35 ^a	36.24±4.43 ^a	21.74±9.28 ^{ab}	28.52±10.45 ^a
	3	22.52±6.32 ^a	16.71±12.33 ^{ab}	17.92±4.32 ^b	22.12±19.56 ^a	21.42±8.56 ^{ab}	19.55±11.04 ^a
	5	18.64±1.66 ^a	22.47±4.26 ^{ab}	31.80±1.77 ^a	12.92±6.79 ^a	9.03±7.81 ^b	28.47±5.90 ^a
	7	15.59±10.11 ^a	17.65±5.99 ^{ab}	21.57±7.58 ^b	23.86±18.79 ^a	34.80±0.96 ^a	17.56±3.72 ^a
RS/%	0	19.66±12.33 ^b	26.02±7.97 ^b	14.89±13.5 ^b	25.53±8.05 ^{ab}	20.48±11.27 ^b	39.15±13.88 ^a
	1	42.17±11.54 ^{ab}	32.81±4.09 ^{ab}	25.76±2.14 ^{ab}	21.43±3.64 ^b	36.55±7.03 ^{ab}	37.13±8.50 ^a
	3	46.34±20.84 ^{ab}	37.02±5.12 ^{ab}	32.45±18.29 ^{ab}	42.07±18.08 ^{ab}	40.38±15.44 ^{ab}	20.60±6.37 ^{ab}
	5	53.28±9.33 ^a	53.10±11.8 ^a	49.83±10.19 ^a	48.24±2.05 ^a	56.54±9.21 ^a	35.14±7.35 ^a
	7	33.59±21.79 ^{ab}	24.97±23.06 ^b	42.23±9.39 ^a	25.20±16.44 ^{ab}	20.21±6.83 ^b	12.91±6.98 ^b

表 7 贮藏过程中米发糕感官评分、质构品质和消化特性之间相关性分析
Table 7 Correlation analysis between sensory score, texture quality and digestive characteristics of rice steamed Chinese sponge cake during storage

指标	感官评分	硬度/g	粘性/g	咀嚼性/g	回复值	弹性	粘聚性	RDS/%	SDS/%	RS/%
感官评分	1									
硬度/g	0.222	1								
粘性/g	-0.252	-0.139	1							
咀嚼性/g	-0.324	-0.259	0.982**	1						
回复值	-0.450*	-0.620**	0.713**	0.811**	1					
弹性	-0.488**	-0.548**	0.693**	0.801**	0.911**	1				
粘聚性	-0.418*	-0.699**	0.678**	0.779**	0.989**	0.912**	1			
RDS/%	0.285	-0.032	0.136	0.131	0.139	0.114	0.145	1		
SDS/%	-0.079	0.315	-0.156	-0.189	-0.356	-0.213	-0.353	-0.398*	1	
RS/%	-0.31	-0.148	-0.043	-0.011	0.103	0	0.083	-0.795**	-0.155	1

3 讨论与结论

本研究结果表明,添加菊芋全粉可降低米发糕的硬度、粘性和咀嚼性;但菊芋全粉添加量超过 10%时,感官评分下降,而米发糕的抗消化性随着菊芋全粉的添加而有所增强。菊芋全粉的添加能有效减缓米发糕在贮藏期间质构的劣变,添加 15%菊芋全粉的米发糕贮藏复热后结构更蓬松、口感更佳,贮藏第 7 d 时添加菊芋全粉的米发糕的感官评分均高于对照组,且添加 10%菊芋全粉的米发糕抗性淀粉达到 42.23%,提升了米发糕的抗消化性。根据相关性分析结果,回复值、弹性和粘聚性是影响米发糕感官品质的主要因

素,其中弹性与米发糕感官评分呈极显著负相关,可通过弹性来评判不同菊芋全粉添加量下米发糕感官品质。由此可知,添加菊芋全粉在改善米发糕感官品质的基础上,还能提升米发糕的抗消化特性,并能在一定程度上有效减缓米发糕在贮藏期间质构的劣变。另外,菊芋全粉米发糕作为一种新型米发糕,丰富了米发糕的品种,拓宽了肥胖者、糖尿病患者等喜爱米质食品的消费人群对发糕的选择空间。本研究为菊芋资源的开发和高值化利用提供一种新途径,也为新型米发糕产品的开发提供参考依据。值得注意的是,本研究发现发糕品质在贮藏过程中有所下降,未来将进一步研究保鲜保质工艺,以期延长特色发糕货架期。

参考文献

- [1] BEDZO OKK, RENSBURG E, GÖRGENS JF. Investigating the effect of different inulin-rich substrate preparations from *Jerusalem artichoke* (L.) tubers on efficient inulooligo saccharides production [J]. Prep Biochem Biotechnol, 2021, 51(5): 440–449.
- [2] WANG Y, ZHAO Y, XUE F, *et al.* Nutritional value, bioactivity, and application potential of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a neotype feed resource [J]. Anim Nutr, 2020, 6(4): 429–437.
- [3] LI XF, HOU SL, SU M, *et al.* Major energy plants and their potential for bioenergy development in China [J]. Environ Manage, 2010, 46(4): 79–89.
- [4] 王彦靖, 刘鹏, 高海, 等. 吉林省能源植物菊芋的综合利用现状及前景展望[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(21): 75–76, 112.
WANG YJ, LIU P, GAO H, *et al.* Present situation and prospect of comprehensive utilization of energy plants *Helianthus tuberosus* L. in Jilin Province [J]. J Anhui Agric Sci, 2017, 45(21): 75–76, 112.
- [5] 李杰. 菊芋乙醇发酵工艺的初步研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
LI J. Preliminary study of ethanol fermentation process from jerusalem artichoke [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [6] 罗登林, 武延辉, 徐宝成, 等. 菊粉在面制品中的应用现状及展望[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 253–258.
LUO DL, WU YH, XU BC, *et al.* Applications and prospects of inulin in flour products: A review [J]. Food Sci, 2014, 35(3): 253–258.
- [7] 汪名春, 刁苏晨, 朱培蕾, 等. 菊糖米糕的工艺及感官质构评定[J]. 食品工业科技, 2015, 36(11): 251–256.
WANG MC, DIAO SC, ZHU PL, *et al.* Study on production technology and sensory texture evaluation of inulin rice-cakes [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(11): 251–256.
- [8] 吴泽河. 菊芋饼干加工工艺及品质分析[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2018.
WU ZH. Processing technology and quality analysis of Jerusalem artichoke biscuit [D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2018.
- [9] BRENNAN CS, KURI V, TUDORICA CM. Inulin-enriched pasta: Effects on textural properties and starch degradation [J]. Food Chem, 2004, 86(2): 189–193.
- [10] 庞基赛. 菊芋低聚果糖抗运动疲劳作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(2): 599–604.
PANG JS. Effects of resisting movement fatigue activity of oligosaccharides from Jerusalem artichoke [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(2): 599–604.
- [11] 袁翊榕, 肖宁, 徐倩倩, 等. 乳酸菌发酵菊芋全粉对糙米面团及米糕品质的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(11): 256–267.
YUAN YR, XIAO N, XU QQ, *et al.* Effect of fermented Jerusalem artichoke on the quality of brown rice batter and steamed bread [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2022, 22(11): 256–267.
- [12] 李新华, 王琳, 于济洋, 等. 明胶对菊芋全粉凝胶特性的强化作用及影响因素[J]. 食品工业, 2013, 34(11): 126–129.
LI XH, WANG L, YU JY, *et al.* Gelatin strengthen the gel properties of jerusalem artichoke powder and Influence factors [J]. Food Ind, 2013, 34(11): 126–129.
- [13] 于济洋. 菊芋全粉特性及功能强化机理与作用研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014.
YU JY. Study on the characteristics, functional strengthening mechanism and effect of inulin granules [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2014.
- [14] MENG LW, KIM SM, ZHANG DJ, *et al.* Effects of different starter cultures on the quality characteristics and shelf-life of fermented rice cake [J]. Food Sci Biol Technol, 2020, 29: 1483–1490.
- [15] ZHAO JW, CHEN J, HU WX, *et al.* Effect of polyphenolic compounds on starch retrogradation and *in vitro* starch digestibility of rice cakes under different storage temperatures [J]. Food Biophys, 2022, 17: 26–37.
- [16] LEE ES, SONG HG, CHOI I, *et al.* Effects of mung bean starch/guar gum-based edible emulsion coatings on the staling and safety of rice cakes [J]. Carbohydr Polym, 2020, 247: 116696.
- [17] 杨韵. 发酵米糕加工工艺及贮藏期间品质变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
YANG Y. Studies on the process technology and changes of the during storage period of fermented rice cake [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [18] 仰思颖. 发酵糙米糕工艺研究及品质改良[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
YANG SY. Study on the process and quality improvement of fermented brown rice steam sponge cake [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [19] GADAGA H, VILJOEN BC, NARVHUS JA, *et al.* Volatile organic compounds in naturally fermented milk and milk fermented using yeasts, lactic acid bacteria and their combinations As starter cultures [J]. Food Technol Biotechnol, 2007, 45(2): 195–200.
- [20] 秦宁, 李新华, 于济洋, 等. 菊芋全粉对嗜热链球菌发酵性实验及发酵条件优化[J]. 食品科技, 2013, 38(12): 23–27.
QIN N, LI XH, YU JY, *et al.* The experiment and optimization of *Streptococcus thermophilus* fermentation condition with inulin granules medium by response surface analysis methodology [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(12): 23–27.
- [21] 梁言. 乳杆菌与酵母发酵糯米粉浆及制备米发糕的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
LIANG Y. Study on *Lactobacillus* and yeast fermentation of indica rice powder and preparation of rice steamed Chinese sponge cake [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [22] 金鑫. 南方馒头品质评价、原料选择及工艺研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
JIN X. Study on quality evaluation, wheat flour selection and processing of southern-style steamed bread [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020.
- [23] 严小琴, 胡新平, 丁文平, 等. 生产工艺对米发糕品质的影响研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2023, 42(2): 103–107.
YAN XQ, HU XP, DING WP, *et al.* Effects of production processes on the properties of rice cake [J]. J Wuhan Polytech Univ, 2023, 42(2): 103–107.
- [24] ENGLYST HNN, KINGMAN SMM, CUMMINGS JHH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. Eur J Clin Nutr, 1992, 46(Suppl 2): S33–S50.
- [25] 李萌, 徐一涵, 张建华. 乳酸菌发酵对淀粉类食品品质的影响[J]. 中国酿造, 2020, 39(2): 13–18.
LI M, XU YH, ZHANG JH. Effect of lactic acid bacteria fermentation on the quality of starchy foods [J]. Chin Brew, 2020, 39(2): 13–18.
- [26] 孙传祝, 王相友, 魏忠彩. 不同温度条件下玉米穗红干干燥试验研究[J]. 粮食与饲料工业, 2015, (4): 20–23.

- SUN CZ, WANG XY, WEI ZC. Corn cob infrared drying experiment under different temperature conditions [J]. Cereal Feed Ind, 2015, (4): 20–23.
- [27] 范洪臣, 茜琳, 丁警驰, 等. 3 种乳酸菌发酵米浆对发糕品质的影响比较研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(18): 260–268.
- FAN HC, QIAN L, SING JC, *et al.* Comparative study on the effects of 3 kinds of lactic acid bacteria fermented rice slurry on the quality of rice cake [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(18): 260–268.
- [28] 张成志. 青稞全粉发糕的制备及其品质评价的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2020.
- ZHANG CZ. Research on preparation and quality evaluation of highland barley steamed sponge cake [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2020.
- [29] 魏香玉, 于鲲, 吴迪, 等. 绿茶粉对高粱挂面品质及消化特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(16): 145–150.
- WEI XY, YU K, WU D, *et al.* Effect of green tea powder on quality and digestibility of sorghum noodles [J]. Food Ferment Ind, 2023, 49(16): 145–150.
- [30] OZGOREN E, ISIK F, YAPAR A. Effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) supplementation on chemical and nutritional properties of crackers [J]. J Food Meas Charact, 2019, 13(4): 2812–2821.
- [31] 祝红, 王芳, 易翠平. 贮藏温度和时间对鲜湿米粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 132–136.
- ZHU H, WANG F, YI CP. Effects of storage temperature and duration on quality properties of fresh rice noodles [J]. Food Mach, 2018, 34(3): 132–136.
- [32] 李志鑫, 徐雪野, 张新振, 等. 绿茶米糕研制及其品质分析[J]. 食品工业科技: 1–17. [2024-01-05]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110296>
- LI ZX, XU XY, ZHANG XZ, *et al.* Preparation and quality analysis of rice cake contained green tea [J]. Sci Technol Food Ind: 1–17. [2024-01-05]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110296>
- [33] 詹冬玲, 任玉雪, 闵伟红, 等. 面包老化机理及其分析技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 353–355, 360.
- ZHAN DL, REN YX, MIN WH, *et al.* Research progress in the bread aging mechanism and analysis techniques [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 34(23): 353–355, 360.
- [34] 纪莹, 周惠明. 米制松糕回生机理的研究[J]. 大连民族学院学报, 2012, 14(5): 449–452.
- JI Y, ZHOU HM. Study on the mechanism of starch retrogradation of Mi Gao [J]. J Dalian Minzu Univ, 2012, 14(5): 449–452.
- [35] 蔡沙, 蔡芳, 施建斌, 等. 马铃薯馒头制作工艺和贮藏、消化特性分析[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 18–22.
- CAI S, CAI F, SHI JB, *et al.* Analysis of the processing technology and storage and digestion characteristics of potato steamed bread [J]. Food Ind, 2021, 42(5): 18–22.
- [36] 田雨, 汤奥星, 姚梦迪, 等. 食品加工对抗性淀粉含量的影响研究进展[C]. 中国食品科学技术学会, 2018.
- TIAN Y, TANG AOX, YAO MD, *et al.* Effects of food cooking style on the resistant starch content within starch-containing food [C]. Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018.
- [37] 徐彭聪, 栾茜玉, 王雨生, 等. 挤压与低温贮藏对玉米淀粉-月桂酸复合物理化及消化性质的影响[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(5): 130–138.
- XU PC, LUAN QY, WANG YS, *et al.* Effect of cool storage on the physicochemical properties and digestibility of extruded common corn starch-lauric acid complex [J]. Sci Technol Cere Oils Foods, 2022, 30(5): 130–138.
- [38] 杨烨. 品种、熟化和贮藏方法对甘薯抗性淀粉含量的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017.
- YANG Y. Effects of variety, cooking and storage methods on resistant starch content of sweet potato [D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2017.
- [39] 张啸峰, 王鑫森, 陈建设, 等. 直链/支链淀粉对鱼丸质构特性及感官品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(3): 57–63.
- ZHANG XF, WANG XM, CHEN JS, *et al.* Effects of amylose/amylopectin on texture and organoleptic qualities of fish balls [J]. J Food Sci Biotechnol, 2023, 42(3): 57–63.

(责任编辑: 郑丽 张晓寒)

作者简介



陈辉凡, 硕士研究生, 主要研究方向为粮食、油脂及植物蛋白加工。
E-mail: 514965240@qq.com



廖卢艳, 博士, 副教授, 主要研究方向为粮油食品深加工及碳水化合物资源开发与利用。
E-mail: 120425073@qq.com