

5 种杂豆粉的理化性质及凝胶特性

Study on physicochemical and gel properties of five kinds of minor bean flours

朴升虎 袁洁瑶 徐 丽 刘艳兰 易翠平

PIAO Shenghu YUAN Jieyao XU Li LIU Yanlan YI Cui ping

(长沙理工大学食品与生物工程学院, 湖南 长沙 410114)

(School of Food Science and Bioengineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:目的:探究杂豆作为淀粉凝胶类食品配料的潜力。方法:分析了绿豆、豌豆、白芸豆、赤小豆、鹰嘴豆 5 种杂豆粉的基本成分、水合特性、糊化特性、凝胶特性等。结果:绿豆粉的吸水性指数(WAI)在 90 °C 和水溶性指数(WSI)在 40 °C 时最高,吸水性较好;糊化结果中,绿豆粉的回生值最高,表现出良好的凝胶性;凝胶特性结果中,绿豆凝胶的硬度、咀嚼度显著高于其他杂豆粉,凝胶有一定弹性,咀嚼性较强;且绿豆凝胶无气泡、表面均匀、光滑度好,拉伸距离最长。结论:绿豆是 5 种杂豆中最适于做凝胶类食品配料的原料。

关键词:杂豆;理化性质;凝胶特性

Abstract: Objective: To explore the potential of minor beans as ingredients for starch gel foods. **Methods:** The basic compositions were analyzed, as well as the hydration, pasting, and gel properties of five kinds of minor bean flours, including mung beans, peas, white kidney beans, red beans, and chickpeas. **Results:** The water absorption index (WAI) of Mung bean powder at 90 °C and the water solubility index (WSI) at 40 °C, the water absorption was better. In gelatinization results, mung bean powder had the highest recovery value, and showed good gelatinability. The results showed that the hardness and chewability of mung bean gel were significantly higher than those of other mixed bean powder, and the gel had certain elasticity and strong chewability. Mung bean gel has no bubbles, uniform surface, good smoothness and longest stretching distance. **Conclusion:** Mung beans may be the most suitable raw material among the five kinds of minor beans as gel-based food

ingredients.

Keywords: minor beans; physicochemical properties; gel properties

杂豆指除大豆之外的其他小宗食用豆,包括绿豆、鹰嘴豆、芸豆、豇豆、蚕豆、豌豆、小扁豆等^[1]。杂豆因其高蛋白、中淀粉、低脂肪和低 GI 值等特点^[2],近年来受到广泛关注。杂豆的营养健康功能使其成为凝胶类食品配料领域的热点。影响杂豆凝胶特性的因素较多,其中杂豆的种类、加工条件等是凝胶差异的主要影响因素,表现在杂豆凝胶的质构属性、凝胶特性及糊化特性等方面^[3],而杂豆的种类及其基本成分对凝胶性质起决定性作用。淀粉和蛋白质是杂豆中最主要的两类营养物质。关于杂豆淀粉的相关研究发现,红小豆淀粉对比玉米淀粉糊化温度低,黏度高,冷热稳定性差,易老化^[3];豌豆淀粉在高淀粉乳浓度、中性 pH 值下凝胶性质可以增强^[4];绿豆淀粉直链淀粉含量较高,直链淀粉含量与其凝胶值呈高度正相关,其淀粉糊具有良好的透明度、较强的凝胶性、高的热稳定性^[5]。关于杂豆蛋白质的相关研究发现,将绿豆蛋白、红豆蛋白、黑豆蛋白、大豆蛋白与荞麦淀粉混合可制备凝胶性能良好的荞麦面团^[6];将豌豆蛋白通过水力空化技术添加到大豆分离蛋白中,时间的延长使得维持凝胶的二硫键含量不断增大,改善了凝胶的微观结构^[7]。然而,杂豆粉是一个包含淀粉、蛋白质、维生素等各种物质的多分子复合体系,其凝胶行为可能是众多因素共同作用的结果,现有研究多集中在探究杂豆淀粉或蛋白质等单一组分的凝胶行为,关于杂豆全粉凝胶性质的研究较少。研究拟对绿豆、豌豆、鹰嘴豆、白芸豆、赤小豆 5 种常见杂豆粉的理化性质与凝胶特性进行分析比较,以期后续杂豆食品的研究与开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

白芸豆、鹰嘴豆、绿豆、豌豆、赤小豆:购自云南省昆

基金项目:湖南省企业创新团队项目(2018 年);长沙市自然科学基金(编号:kq2202191)

作者简介:朴升虎,男,长沙理工大学在读硕士研究生。

通信作者:易翠平(1973—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: yicp963@csust.edu.cn

收稿日期:2024-01-29

改回日期:2024-05-10

明市;

直链淀粉和支链淀粉标样:德国 Sigma 公司;
试验所用试剂均为分析纯。

1.2 仪器及设备

多功能粉碎机:YB-2500A 型,永康市速锋工贸有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-2A 型,天津泰斯特仪器有限公司;

电子分析天平:AVY120 型,北京赛多利斯天平有限公司;

恒温水浴振荡器:SHA-B 型,上海力辰邦西仪器科技有限公司;

快速黏度测定仪:Perten RVA 4500 型,澳大利亚 Newport Scientific 公司;

质构仪:TA-XT plus 型,英国 Stable Micro Systems 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备 将绿豆、豌豆、白芸豆、赤小豆和鹰嘴豆 5 种原料,加水浸泡 8 h,手工去皮,烘干,磨粉,过 100 目筛,放入干燥器中备用。

1.3.2 基本成分分析

(1) 总淀粉含量:根据 GB 5009.9—2016 测定。

(2) 直链淀粉及支链淀粉含量:采用双波长法^[8]测定。

(3) 蛋白质含量:根据 GB 5009.5—2016 测定。

(4) 粗脂肪含量:根据 GB 5009.6—2016 测定。

(5) 粗灰分含量:根据 GB 5009.4—2016 测定。

1.3.3 水合特性分析 参考刘璐等^[9]的方法,称取约 2.5 g 杂豆粉混入 30 mL 蒸馏水中,添加到经过称量的离心管内,使用玻璃棒搅动 1 min,形成豆粉悬浮液。然后将豆粉悬浮液分别放置在 40、50、60、70、80、90 °C 的水浴中振荡 30 min,迅速冷却至室温,3 800 r/min 离心 20 min,将上层清液倒入恒重蒸发皿内,于 105 °C 下烘至恒重。分别按式(1)和式(2)计算溶出物质量、沉淀物质量。

$$C_{WAI} = \frac{M_2}{M_3 - M_1}, \quad (1)$$

$$C_{WSI} = \frac{M_1}{M_3} \times 100, \quad (2)$$

式中:

C_{WAI} ——吸水性指数, g/g;

C_{WSI} ——水溶性指数, %;

M_1 ——溶出物质量, g;

M_2 ——沉淀物质量, g;

M_3 ——称量重量, g。

1.3.4 糊化特性分析 参考陈凤莲等^[10]的方法,取约 3 g 杂豆粉,根据已测得样品水分含量计算加水量,并加

入蒸馏水。以 7.5 °C/min 的速率,将样品从 30 °C 升高到 95 °C,并在 95 °C 下维持 5 min,再以 7.5 °C/min 的速率将样品冷却至 50 °C,保温 5 min,测量转速为 250 r/min。

1.3.5 凝胶特性分析

(1) 最小凝胶浓度:参考杨红丹^[2]的方法,将豆粉悬浮液分别配制成为 4、6、8、10、12、14、16、18、20 g/100 mL 的质量浓度,然后将其放入离心管中,沸水浴 1 h,迅速冷却到室温,再置于 4 °C 下冷却 12 h。将离心管翻转,观察并记录凝胶流动情况,以凝胶不流动的最小质量浓度即为该豆粉的最小凝胶浓度。

(2) 质构特性:参考汪周俊等^[11]的方法,将杂豆粉配制成为 16 g/100 mL 的悬浮液,95 °C 下加热 15 min,冷却至 50 °C,保温 15 min,冷却,保鲜膜密封并于 4 °C 下放置 12 h,使其形成凝胶。使用 P/36R 探头测量杂豆凝胶的质构特性。其他参数:测量速度 3 mm/s,挤压时间 5 s。重复测定 6 次取平均值。

(3) 拉伸性能:杂豆粉加水调制体系含水量为 50% (每 50 g 加 25 mL 水),和粉,滚揉,摊平蒸片(6 min),滚揉,摊平复蒸(6 min),水洗,切片。从杂豆蒸片中截取 15 cm 的长度,将其放在刻度尺上方,用左手轻轻地将蒸片一端固定在刻度尺的零点,然后用均匀的力轻轻拉扯蒸片,直到断裂,记录蒸片断裂时的长度距离^[12]。经过 10 次重复测试,最终得出的结果是平均值。

1.3.6 数据处理 采用 Origin 2018 分析并绘图,运用 SPSS 24 进行数据差异显著性分析。最终呈现的结果为平均值±标准偏差。

2 结果与分析

2.1 基本成分

杂豆的基本成分分析见表 1。结果表明,蛋白质和淀粉是 5 种杂豆的主要化学组成。其中,杂豆的蛋白质含量在 23.14%~28.42%,鹰嘴豆和绿豆的蛋白质含量显著高于其他 3 种杂豆。研究^[13]报道,杂豆中的蛋白质氨基酸种类齐全,必需氨基酸含量丰富、占总氨基酸总量的 50% 左右;有助于食品的低血糖化,并可用于部分代替动物蛋白。5 种杂豆的总淀粉含量均超过 42%,直链淀粉含量在 27.87%~35.93%,这是杂豆作为主食配方和凝胶类食品加工的主要物质基础。杂豆淀粉的高直链淀粉则使其具有优异的凝胶特性和较强的抗剪切能力,这为食品加工提供了可行的替代淀粉来源^[14]。

2.2 水合特性

杂豆粉的水合特性结果见图 1。结果显示,当温度升高时,5 种杂豆粉的吸水性指数(WAI)也会上升。然而,水溶性指数(WSI)却相反,随着温度的增加呈下降趋势。研究发现,由于加热导致蛋白质变性、淀粉颗粒破坏及糊化等,WAI 会相应增大^[15];随着 WAI 的提升,杂豆粉的大分子亲水性和成胶能力也会显著改善^[16]。5 种杂豆的

表 1 杂豆基本成分[†]

Table 1 Basic compositions of minor beans

%

杂豆	总淀粉	蛋白质	脂肪	灰分	直链淀粉
绿豆	47.32±0.12 ^b	28.19±0.18 ^a	0.67±0.16 ^e	3.20±0.06 ^b	34.23±0.81 ^a
豌豆	50.48±0.23 ^a	23.14±0.12 ^e	1.89±0.14 ^b	3.23±0.15 ^b	27.87±3.11 ^c
白芸豆	47.11±0.07 ^b	23.72±0.09 ^c	1.09±0.05 ^c	4.52±0.07 ^a	35.93±2.20 ^a
赤小豆	49.75±0.05 ^a	24.42±0.46 ^b	0.86±0.10 ^d	4.11±0.14 ^a	28.32±2.39 ^c
鹰嘴豆	42.26±0.09 ^c	28.42±0.50 ^a	5.15±0.11 ^a	2.96±0.08 ^c	31.74±1.42 ^b

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

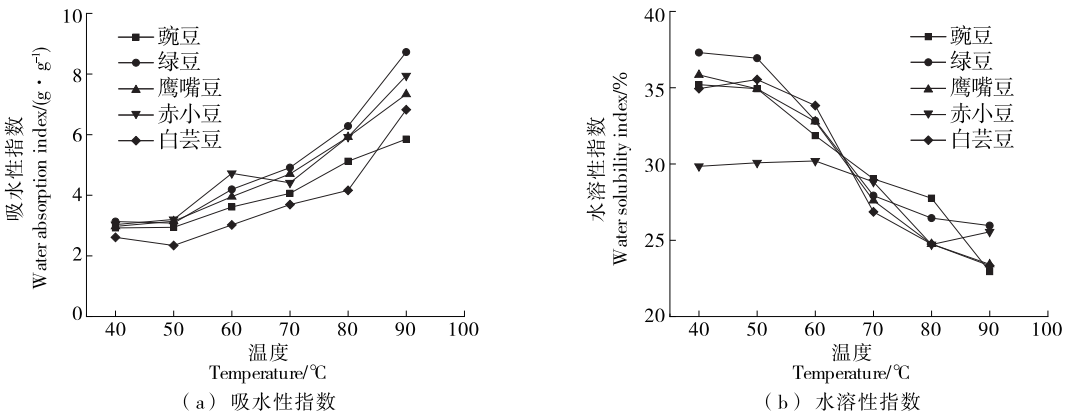


图 1 杂豆粉的水合特性

Figure 1 Hydration properties of minor bean flours

WAI 值介于 2~10,在 90 °C 时绿豆的 WAI 最高,豌豆最低,表明绿豆的亲水性及成胶能力可能最强。一些学者^[17]提出,随着可溶性物质的增多,WSI 值会显著提升;另一些学者^[18]则提出,WSI 值受到疏水蛋白质的浓度、颗粒的形状、加工过程产生的直链淀粉-脂质复合体以及蛋白-淀粉复合物等多种因素的影响。试验中,绿豆粉的 WAI 在 40 °C 和 WSI 在 90 °C 时最高,表现出良好的吸水性,表明绿豆悬浮液中可溶性物质最多。

2.3 杂豆粉的糊化特性

表 2 为杂豆粉的糊化特性数据。结果表明,5 种杂豆粉的糊化温度为 80~85 °C,与大米等禾谷类作物的糊化温度相差不大^[19]。在糊化性质上,崩解值可以用来衡量

淀粉颗粒的破碎状态,从而反映出样品的热稳定性。当崩解值较小时,说明该物质的耐剪切性较强,具有良好的热稳定性^[20]。表 2 显示,鹰嘴豆的崩解值最低,其次为豌豆。有研究^[21]表明,这两种杂豆的抗剪切能力极强,其淀粉颗粒的完整性也十分优异。回生值可以反映出淀粉的短期老化情况^[22],其值越高,则杂豆的凝胶性越强。由表 2 可知,绿豆的回生值最高,豌豆次之,鹰嘴豆最低。

2.4 凝胶特性

凝胶作用是杂豆非常重要的功能特性。杂豆粉形成的凝胶,不仅是水的载体,还是风味剂、糖及其他配合物的载体,在食品加工中起着重要作用。如表 3 所示,5 种杂豆粉凝胶不流动的最小质量浓度为 10~16 g/100 mL,

表 2 杂豆粉的糊化特性[†]

Table 2 Pasting properties of minor bean flours

杂豆	糊化温度/°C	峰值黏度/ (mPa·s)	最低黏度/ (mPa·s)	最终黏度/ (mPa·s)	崩解值/ (mPa·s)	回生值/ (mPa·s)
豌豆	82.70±0.52 ^a	516.00±2.51 ^d	547.00±25.17 ^c	826.00±29.19 ^c	31.00±5.15 ^d	309.00±4.14 ^b
绿豆	82.30±0.15 ^a	585.00±10.15 ^c	526.00±12.87 ^c	950.00±9.28 ^b	59.00±8.19 ^c	424.00±5.15 ^a
白芸豆	81.61±0.12 ^{bc}	503.00±8.00 ^e	440.00±9.00 ^d	600.00±12.00 ^e	73.00±4.19 ^b	160.00±2.00 ^d
赤小豆	81.55±0.08 ^c	1 002.00±12.57 ^a	776.00±16.00 ^a	1 006.00±18.28 ^a	226.00±17.34 ^a	230.00±5.80 ^c
鹰嘴豆	81.85±0.18 ^b	694.00±7.00 ^b	670.00±10.92 ^b	787.00±2.96 ^d	24.00±4.92 ^d	117.00±2.00 ^e

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 杂豆粉的最小凝胶浓度
Table 3 Least gelation concentrations of minor bean flours

质量浓度/ (10 ⁻² g · mL ⁻¹)	豌豆	绿豆	白芸豆	赤小豆	鹰嘴豆
4	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—
10	+	+	—	—	+
12	+	+	—	+	+
14	+	+	—	+	+
16	+	+	+	+	+
18	+	+	+	+	+
20	+	+	+	+	+

其中鹰嘴豆、绿豆、豌豆凝胶不流动的最小质量浓度在 10 g/100 mL。凝胶的形成受溶胶浓度、加热温度、加热时间、冷却情况、pH、有无盐类及巯基化合物等许多因素影响,其中,蛋白质浓度及其组成是杂豆粉凝胶能否形成的决定性因素,有学者^[23]推测蛋白质—多糖复合物的形成也会影响杂豆粉的凝胶性。

5 种杂豆粉制备成凝胶后的外观形貌和放大 50 倍后的微观结构如图 2 所示。白芸豆和鹰嘴豆凝胶中气泡较多、均匀性不好;豌豆和绿豆表面均匀无气泡,且光滑度均较好;赤小豆凝胶有较大的杂质,说明其大分子不易均匀分散,质地不均匀。

对杂豆粉凝胶进行质构分析(图 3),结果发现,5 种杂豆凝胶的硬度、咀嚼度具有显著差异,绿豆凝胶的硬度、咀嚼度显著高于其他 4 组,凝胶有弹性,咀嚼性较好,凝胶内部黏合力较小;赤小豆凝胶质构特性恰好相反,各项指标均比较低;豌豆凝胶的弹性最强。研究^[24]报道,杂豆粉凝胶的形成与糊化淀粉的回生和蛋白质的变性有关,蛋白质凝胶的产生源于蛋白质相互之间的疏水、氢键以及静电相互作用,这些作用导致蛋白质相互之间的内在结构改变,进而维持平衡。此外,巯基蛋白质相互之间的交换作用也会影响蛋白质的凝胶作用^[24],进而影响蛋白质的内在构成。淀粉凝胶的质构特性受淀粉流变学特性、凝胶化淀粉颗粒的刚度、凝胶分散相和连续相之间相互作用等的影响^[25],多种外部条件会对淀粉的结晶度产

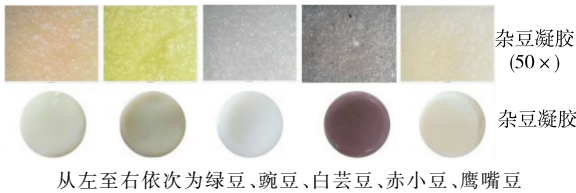
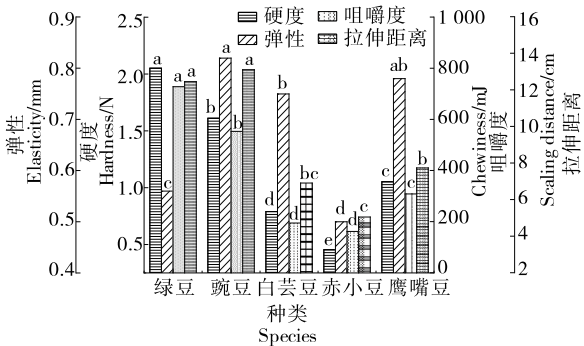


图 2 杂豆粉的凝胶结构

Figure 2 Gel structure of minor bean flours



同一指标字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 3 杂豆凝胶的质构特性

Figure 3 Textural properties of minor bean gels

生重要的影响。豌豆与绿豆凝胶的拉伸距离显著高于其他 3 种杂豆,赤小豆的拉伸距离最短,这与弹性结果一致。拉伸距离可以表示物料的拉伸性能,拉伸性能又可以体现粉丝类制品的拉伸性,因此绿豆和豌豆在食品中经常用来制作粉丝,而赤小豆则常用来制作豆沙馅类食品。

3 结论

研究分析了绿豆、豌豆、鹰嘴豆、白芸豆、赤小豆 5 种杂豆粉的理化及凝胶性质,其蛋白质含量远远高于禾谷类,其中绿豆及鹰嘴豆的蛋白质含量较高;绿豆与白芸豆含有较多的直链淀粉,这是杂豆作为主食和凝胶类食品加工的主要物质基础。关于水合特性,加热能使 5 种杂豆粉吸水性指数随温度升高而升高;而水溶性指数呈相反的趋势,其中绿豆的吸水性指数与水溶性指数最高,表现出良好的水合特性。糊化特性数据表明,鹰嘴豆与豌豆的崩解值最低,在糊化过程中淀粉颗粒的完整性较好;而绿豆的回生值最高,即凝胶性最强。杂豆粉凝胶质构特性结果表明,绿豆凝胶的硬度、咀嚼度及拉伸距离显著高于其他杂豆,且其最小凝胶浓度低、凝胶表面光滑,有可能是 5 种杂豆中最适于做凝胶类食品的原料。后续研究可从杂豆的加工条件入手,探究其凝胶性质产生差异的原因。

参考文献

[1] 谭斌, 乔聪聪. 杂豆在可持续膳食发展中的机遇与挑战[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 165-169.
TAN B, QIAO C C. Opportunities and challenges in the development of sustainable diet for minor beans [J]. Food & Machinery, 2019, 35(10): 165-169.
[2] 杨红丹. 杂豆粉及其淀粉理化性质与功能特性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2011: 13.
YANG H D. Study on physicochemical and functional properties of minor bean powder and its starch[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2011: 13.

- [3] 翟爱华, 韦智, 王雪纯, 等. 蔗糖对不同品种赤小豆淀粉性能的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 83-89.
- ZHAI A H, WEI Z, WANG X C, et al. Effect of sucrose on starch properties of different varieties of red bean[J]. Food Industry Science and Technology, 2023, 44(2): 83-89.
- [4] 李少辉, 张柳, 生庆海, 等. 湿热处理对杂豆粉营养品质及面团物化特性的影响[J]. 食品科学. (2023-10-20) [2024-02-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20231020.1538.014.html>.
- LI S H, ZHANG L, SHENG Q H, et al. Effects of moisture-heat treatment on nutritional quality and physicochemical properties of minor bean flour[J]. Food Science. (2023-10-20) [2024-02-11]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20231020.1538.014.html>.
- [5] ZHOU D T, MA Z, YIN X X, et al. Structural characteristics and physicochemical properties of field pea starch modified by physical, enzymatic, and acid treatments[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 93: 386-394.
- [6] GIUBERTI G, GALLO A, CERIOLO C, et al. Cooking quality and starch digestibility of gluten free pasta using new bean flour[J]. Food Chemistry, 2015, 175: 43-49.
- [7] DOGRUER I, COBAN B, BASER F, et al. Techno-functional and in vitro digestibility properties of gluten-free cookies made from raw, pre-cooked, and germinated chickpea flours[J]. Foods, 2023, 12(15): 28-29.
- [8] 张国豪, 任飞, 陈虹, 等. 不同直链淀粉含量大米对清香型白酒风味物质的影响[J]. 中国酿造, 2024, 43(1): 99-105.
- ZHANG G H, REN F, CHEN H, et al. Effect of rice with different amylose content on flavor substances of clear flavor liquor[J]. Chinese brewing, 2024, 43(1): 99-105.
- [9] 刘璐, 周素梅, 王爱霞, 等. 杂豆对糙米米粉食用及营养品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(9): 169-176.
- LIU L, ZHOU S M, WANG A X, et al. Effects of minor beans on edible and nutritional quality of brown rice flour[J]. Chinese Journal of Food Science, 2021, 21(9): 169-176.
- [10] 陈凤莲, 孙贵尧, 安然, 等. 不同品种和粒度对米粉糊化特性及米蛋糕品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(21): 75-82.
- CHEN F L, SUN G Y, AN R, et al. Effects of different varieties and particle size on gelatinization characteristics of rice flour and quality of rice cake[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(21): 75-82.
- [11] 汪周俊, 黄亮, 李爱科, 等. 绿豆-小麦混合粉加工特性及其挂面品质研究[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(5): 49-53.
- WANG Z J, HUANG L, LI A K, et al. Study on processing characteristics and quality of mung bean and wheat mixed flour[J]. Grain, Oil and Food Science and Technology, 2016, 24(5): 49-53.
- [12] 易翠平, 罗晨, 徐丽, 等. 提升全谷物扁粉拉伸品质的工艺研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(5): 49-55.
- YI C P, LUO C, XU L, et al. Study on the process of improving the tensile quality of whole grain flat powder[J]. Grain, Oil and Food Science and Technology, 2021, 29(5): 49-55.
- [13] 马占倩, 翟小童, 谭斌. 生物加工与非热加工对谷物及杂豆酚类物质影响的研究进展[J]. 食品与机械, 2022, 38(6): 16-21.
- MA Z Q, ZHAI X T, TAN B, et al. Research progress on effects of bioprocessing and non-thermal processing on phenolic substances in cereals and miscellaneous beans[J]. Food & Machinery, 2022, 38(6): 16-21.
- [14] 卢楹, 雷宇宇, 宋萧萧, 等. 4 种杂豆淀粉结构特征和理化特性比较[J]. 食品科学, 2023, 44(6): 34-40.
- LU Y, LEI N N, SONG X X, et al. Comparison of structure and physicochemical properties of starch from 4 kinds of minor bean[J]. Food Science, 2023, 44(6): 34-40.
- [15] YANG X S, TENG C, ZOU L, et al. Functional ingredients in minor grain crops[J]. Foods, 2023, 12(6): 1 261.
- [16] QIN H B, WU H B, SHEN K, et al. Fermented minor grain foods: Classification, functional components, and probiotic potential[J]. Foods, 2022, 11(20): 3 155.
- [17] TARAH M, ABDOLALIZADEH L, HEDAYATI S. Mung bean protein isolate: Extraction, structure, physicochemical properties, modifications, and food applications[J]. Food Chemistry, 2024, 444: 138626.
- [18] SHANG J C, XIE S Q, YANG S, et al. Steamed multigrain bread prepared from dough fermented with lactic acid bacteria and its effect on type 2 diabetes[J]. Foods, 2023, 12(12): 2 319.
- [19] WU C S, GONG X, ZHANG J, et al. Effect of rice protein on the gelatinization and retrogradation properties of rice starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 242: 125061.
- [20] 冯堃, 秦昭, 王文蜀, 等. 5 种柚皮精油成分及油脂抗氧化和抑菌活性[J]. 食品科技, 2018, 43(11): 255-261.
- FENG K, QIN Z, WANG W S, et al. Antioxidant and antibacterial activities of 5 essential oil components and oil of pomelo peel[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(11): 255-261.
- [21] SUN Y J, LI F, LUAN Y J, et al. Gelatinization, pasting, and rheological properties of pea starch in alcohol solution[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 112: 106331.
- [22] 李星, 王海寰, 沈群. 不同品种小米品质特性研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(7): 248-254.
- LI X, WANG H H, SHEN Q. Study on quality characteristics of different varieties of millet[J]. Chinese Journal of Food Science, 2017, 17(7): 248-254.
- [23] REN M Y, TONG L T, LI X, et al. Effects of hot air treatment on the quality attributes of semidry-milled Indica rice[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 93-97.
- [24] YU S B, WU Y C, LI Z J, et al. Effect of different milling methods on physicochemical and functional properties of mung bean flour[J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 10: 1117385.
- [25] FREEMAN K G, ADAMCZYK J, STRELETZKY K A. Effect of synthesis temperature on size, structure, and volume phase transition of polysaccharide microgels[J]. Macromolecules, 2020, 53(21): 9 244-9 253.