

常用辅料淀粉及大豆分离蛋白的功能性指标评价

王涛^{1,2}, 钱承敬¹, 焦驼文^{3*}, 翟晨^{1*}, 王亮²

(1. 中粮营养健康研究院, 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209;
2. 新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046; 3. 中粮肉食投资有限公司, 北京 100020)

摘要: 目的 测定可以表征不同大豆分离蛋白/淀粉的功能性指标参数, 包括吸水性、吸油性、乳化性、凝胶性等, 并评价其优劣。**方法** 分别测定淀粉黏度、溶解性、透明度以及冻融稳定性, 测定大豆分离蛋白氮溶解指数、乳化活性以及红外光谱信息, 根据测试结果初步判断淀粉以及大豆分离蛋白的生产性能。

结果 木薯乙酰化二淀粉磷酸酯的糊化温度、峰粘度、谷粘度、回凝度、溶胀(膨胀)度以及溶解度均优于玉米乙酰化二淀粉磷酸酯, 其中木薯淀粉的糊化温度为 69.83 °C、溶解度为 14.16%, 而玉米淀粉糊化温度为 72.19 °C、溶解度为 8.44%; SL-906P 的氮溶解指数、乳化活性指数以及红外光谱信息(α -螺旋特征谱带积分面积)均优于 SUPRO590 和杜邦, 其中 SL-906P 的氮溶解指数为 74%、乳化活性指数为 37.79 m²/g、 α -螺旋特征谱带积分面积为 6.52, 均高于其他蛋白。**结论** 淀粉中木薯乙酰化二淀粉磷酸酯、大豆分离蛋白中 SL-906P 的性能最优。

关键词: 大豆分离蛋白; 乙酰化二淀粉磷酸酯; 性能指标; 肉制品; 加工辅料

Evaluation of functional indexes of common excipients starch and soy protein isolate

WANG Tao^{1,2}, QIAN Cheng-Jing¹, JIAO Tuo-Wen^{3*}, ZHAI Chen^{1*}, WANG Liang²

(1. Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, Beijing 102209, China; 2. College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. COFCO Meat Investment Co., Ltd., Beijing 100020, China)

ABSTRACT: Objective To determine the functional index parameters of different soy protein isolates/starches, such as water absorption, oil absorption, emulsification, gelation, etc., and to evaluate their advantages and disadvantages. **Methods** The viscosity, solubility, transparency and freeze-thaw stability of starch were measured respectively, the nitrogen solubility index, emulsification activity and infrared spectrum information of soybean protein isolate were measured, and the production performance of starch and soybean protein isolate was preliminarily judged based on the test results. **Results** The gelatinization temperature, peak viscosity, grain

基金项目: 食品基体标准物质/标准样品制备共性关键技术研究与国际互认(2019YFC1604800)

Fund: Supported by the Research and International Mutual Recognition of Common Key Technologies for Preparation of Standard Substances/Standard Samples of Food Matrix (2019YFC1604800)

*通信作者: 焦驼文, 硕士, 工程师, 主要研究方向为肉类研发。E-mail: tuowenjiao238@163.com

翟晨, 博士, 工程师, 主要研究方向为食品检测技术开发。E-mail: zhachen@cofco.com

*Corresponding author: JIAO Tuo-Wen, Master, Engineer, COFCO Meat Investment Co. Ltd, 8 Chaoyangmen South Dajie, Chaoyang District, Beijing 100020, China. E-mail: tuowenjiao238@163.com

ZHAI Chen, Ph.D, Engineer, Nutrition & Health Research Institute, COFCO Corporation, South District of Future Science City, Beiqijia Town, Changping District, Beijing 102209, China. E-mail: zhachen@cofco.com

viscosity, backsetting degree, swelling degree and solubility of cassava starch phosphate were better than those of corn starch phosphate. The gelatinization temperature of cassava starch was 69.83 °C and the solubility was 14.16%, while the gelatinization temperature of corn starch was 72.19 °C and the solubility was 8.44%. The nitrogen solubility index, emulsification activity index and infrared spectrum information (integrated area of α -helical characteristic band) of SL-906P were better than those of SUPRO590 and DuPont. Among them, the nitrogen solubility index of SL-906P was 74% and the emulsification activity index was 37.79 m²/g, the integrated area of α -helical characteristic band was 6.52, which were higher than those of other proteins. **Conclusion** Among the starches, cassava acetylated distarch phosphate and SL-906P in soy protein isolate have the best performance.

KEY WORDS: soy protein isolate; acetylated distarch phosphate ester; performance indicators; meat product; processing aids

0 引 言

为使肉制品具有较好的品质,除选用较好的肉质外,还常添加辅料如淀粉、大豆分离蛋白。这些添加成分对改善肉制品的结构、质地、保水性等功能特性有重要的意义,还能降低生产成本^[1]。

淀粉可增强凝胶强度,改善组织结构,增强保水性,提高出品率,降低生产成本,淀粉的乳化性质可以防止肉制品出现渗油渗水现象,改善产品质量^[2-4]。目前肉制品加工中多加入变性淀粉,如乙酰化二淀粉磷酸酯,相比淀粉其增稠、悬浮、保水和稳定能力更优,使食品具有令人满意的感官品质和食用品质^[5-6]。在肉制品加工中添加适度的淀粉磷酸酯,可明显改善成品质地、口感细腻且在冷热温度变化过程中,不易析水回生,颜色变化小,延长了货架期,解决了天然淀粉在应用时的缺陷^[7-8]。

大豆分离蛋白是一种完全蛋白质,含有人体所必需的各种氨基酸,是较为理想的蛋白源。加入大豆分离蛋白,可强化肉制品的营养成分^[9]。大豆分离蛋白可以改善肉制品的质构、风味和加工特性,降低生产成本。在肉制品中添加大豆分离蛋白后使得蒸煮时间缩短,降低了蒸煮损耗,改善了组织结构,提高了产品质量^[10-12]。而在此前的研究中鲜少有对多种大豆分离蛋白性能指标的研究对比。

因此本研究选取 2 种淀粉(木薯乙酰化二淀粉磷酸酯以及玉米乙酰化二淀粉磷酸酯),5 种大豆分离蛋白(杜邦、蓝山、SL-906P、SUPRO590 以及 WilproI220)进行性能指标测试,其中对淀粉产品的糊化温度、峰黏度、谷黏度、终黏度、回凝度、溶胀度、溶解度、透明度以及冻融稳定性进行比较,对大豆分离蛋白的粗蛋白含量、氮溶解指数、乳化活性指数、乳化稳定性指数、红外光谱信息进行比较,并找出性能最优的加工辅料,为提高食品产业加工效益提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

木薯乙酰化二淀粉磷酸酯、玉米乙酰化二淀粉磷酸酯(吉林省正豪改性淀粉科技开发有限公司);杜邦大豆分离蛋白(杜邦双汇漯河食品有限公司);蓝山大豆分离蛋白、大豆分离蛋白 SL-906P、大豆分离蛋白 SUPRO590、大豆分离蛋白 WilproI220(山东省高唐蓝山集团总公司)。

1.2 仪 器

Milli-Q 超纯水系统(美国 Millipore 公司);TechMaster RVA 快速粘度分析仪(波通瑞华科学仪器有限公司);Thermo ST16R 高速离心机(德国 Eppendorf 公司);U-3900 紫外分光光度计(日本 Hitachi 公司);11-102-49SH 磁力搅拌器(德国 IKA 公司);BJ-15 型粉末压片机(天津博君科技有限公司);NICOLET IS50 红外光谱仪[赛默飞世尔科技(中国)有限公司]。

1.3 实验方法

1.3.1 乙酰化二淀粉磷酸酯的性能指标分析

(1)糊化温度、粘度、回凝值

称取 3.0 g 淀粉样品与 25.0 g 蒸馏水混合于粘度计样品钵中,搅拌均匀,于粘度计中测定粘度。采用如下程序升温循环:50°C 维持 1 min,于 7.5 min 内升温至 95 °C,在 95 °C 下保持 5 min,然后在 8.5 min 内冷却到 50 °C,在 50 °C 下保持 3 min。样品放入粘度计中的前 10 s 内以 960 r/min 的速度搅拌,之后的整个过程中搅拌速率为 160 r/min^[13-15]。

(2)溶胀(膨胀)度和溶解度

溶胀度(swelling degree, SD)采用如下方法测定:精确称取制备好的交联淀粉样品 0.500 g(已知水分含量)放置于 100 mL 烧杯中,加入 25 mL 的蒸馏水溶解原淀粉,配制成质量分数为 2%的淀粉乳液,然后放置于 84 °C 恒定温度的水浴锅中,稍加搅拌后保持溶胀 2 min(准确计时),取出后用冷却水迅速冷却至室温,分别加入到 4 支 10 mL 玻璃离心管中 10 mL,装入离心机中,4000 r/min 离心 2 min 取出离心

管, 将上清液倒入一个培养皿中置于干燥箱中 105 °C 烘干 2~4 h, 冷却至室温, 称得沉积物质量^[16-17]。

溶胀度和溶解度可根据公式(1)和(2):

$$\text{溶解度} = \frac{\text{水溶性淀粉质量}}{\text{样品质量(绝干)}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{溶胀度} = \frac{\text{膨胀淀粉质量}}{\text{淀粉样品重} \times (100 - \text{溶解度})} \times 100\% \quad (2)$$

(3) 糊透明度

精确称取一定量的淀粉样品, 放置于 100 mL 烧杯中, 用蒸馏水配制成质量分数 1% 淀粉乳液。将烧杯置于 95 °C 恒温水浴锅中加热并不断搅拌 15 min, 加热过程中要保持原有体积。淀粉糊化结束后冷却至室温, 用分光光度计法在 620 nm 波长下用 1 cm 比色皿测定其透光率, 以蒸馏水的透光率为 100%, 同一样品测定 3 次, 取平均值^[18]。

(4) 冻融稳定性

取一定质量的变性淀粉, 加入去离子水配成 6% 的淀粉悬浊液, 加入转子, 表面覆以封口膜进行密封, 放入磁力搅拌器中加热同时搅拌, 并在 90 °C 下糊化 30 min。取出淀粉糊将其冷却到室温后取一定质量的淀粉糊倒入 50 mL 离心管中, 加盖放入冰箱中在 -18 °C 下冷冻 24 h, 取出后在室温下自然解冻 6 h。最后在 3000 r/min 的转速下离心 20 min。倒掉上清液进行称重, 计算析水率^[18]。

1.3.2 大豆分离蛋白的性能指标分析

(1) 氮溶解指数

称取 1 g 样品溶于 50 mL 纯水中, 在磁力搅拌器中缓慢搅拌 30 min 后在 4000 r/min 转速下离心, 取上清液 5 mL。凯氏定氮法测定可溶性蛋白质含量, 然后计算氮溶解指数 (nitrogen soluble index, NSI)^[19], 计算公式(3):

$$\text{NSI}(\%) = (\text{可溶性氮} / \text{总氮量}) \times 100\% \quad (3)$$

(2) 乳化活性

将 10 mL 大豆油与 30 mL 的 1% 蛋白质溶液混合。使

用高速分散机以 10000 r/min 均质该混合物 2 min。分别在均质后 0 min 和静置 10 min 时从容器底部吸取相同质量的乳液(50 μL), 并与 5 mL 0.1% SDS 溶液混合。使用分光光度计在 500 nm 处测定稀释溶液的吸光度。测得的 0 min 的吸光度(A₀)和 10 min 的吸光度(A₁₀), 用于计算乳化活性指数(emulsifying activity index, EAI)和乳化稳定性指数(emulsion stability index, ESI)^[20-22]。

(3) 红外光谱测试

样品粉末与 KBr 按 1:100(m:m)比例混合后充分研磨, 接着在 27 mPa 条件下压 2 min, 每个样品压 3~5 个, 压好的片放进红外光谱仪, 密闭条件下扫描得样品红外光谱图。扫描范围为 4000~400 cm⁻¹, 分辨率 4 cm⁻¹, 累计 32 次, 以空气为背景, 每个样品扫描前扣除背景。

2 结果与分析

2.1 乙酰化二淀粉磷酸酯的性能指标分析

2.1.1 糊化温度、粘度、回凝值

实践证明, 糊化温度低、峰值粘度高的变性淀粉在肉制品中具有较好的使用效果和开发前景^[14]。糊化温度、粘度和回凝值测试结果如表 1 所示, 木薯乙酰化二淀粉磷酸酯和玉米乙酰化二淀粉磷酸酯的糊化温度分别为 69.83 °C 和 72.19 °C, 木薯乙酰化二淀粉磷酸酯较低, 糊化温度降低意味着淀粉易吸水膨胀。对 2 种淀粉的峰粘度、谷粘度与终粘度进行比较, 木薯的峰粘度、谷粘度相比较, 终粘度基本一致。说明木薯淀粉糊液的粘度更高。回凝值表示淀粉糊在冷却过程中的粘度稳定性, 回凝值高说明在冷却过程中, 糊液不稳定, 易形成凝胶。相比之下, 木薯的回凝值较大, 说明在冷却过程中抗老化回生能力较高。综合比较下, 木薯乙酰化二淀粉磷酸酯具有较好的生产性能。

表 1 2 种淀粉的糊化温度、粘度及回凝值的比较

Table 1 Comparison of gelatinization temperature, viscosity and backsetting value of 2 kinds of starches

样品	样品号	糊化温度/°C	峰粘度/RVU	谷粘度/RVU	终粘度/RVU	回凝值/RVU
木薯乙酰化二淀粉磷酸酯	样品 1	69.9	4138	1707	2686	979
	样品 2	69.9	4216	1704	2718	1014
	样品 3	69.7	4186	1709	2736	996
	平均值	69.83	4180	1706.67	2713.3	996.33
	标准偏差	0.09	32.12	2.05	20.68	14.29
玉米乙酰化二淀粉磷酸酯	样品 1	72.3	3040	1331	2737	1406
	样品 2	71.85	3161	1371	2810	1439
	样品 3	72.41	3096	1384	2799	1440
	平均值	72.19	3099	1362	2782	1428.33
	标准偏差	0.24	49.44	22.55	32.14	15.8

2.1.2 溶胀(膨胀)度和溶解度

溶胀度和溶解度反应淀粉与水之间相互作用的大小, 溶解度为淀粉分子的溶解质量比例, 溶胀度指干淀粉吸水的质量数, 反应淀粉加工性能^[17]。溶胀度和溶解度测试结果如表 2 所示, 较高的溶胀度和溶解度可以提高淀粉的保水力及乳化力。木薯乙酰化二淀粉磷酸酯相比玉米乙酰化二淀粉磷酸酯, 具有较高的溶胀度和溶解度, 说明肉制品在加工过程中, 加入木薯乙酰化二淀粉磷酸酯的肉制品的保水性和保油性效果更好。

表 2 2 种淀粉溶胀度和溶解度的比较
Table 2 Comparison of swelling degree and solubility of 2 kinds of starches

样品	样品号	溶胀度/%	溶解度/%
木薯乙酰化二淀粉磷酸酯	样品 1	9.31	14.03
	样品 2	8.63	14.16
	样品 3	9.06	14.29
	平均	9.00	14.16
	标准偏差	0.28	0.11
玉米乙酰化二淀粉磷酸酯	样品 1	4.18	8.35
	样品 2	3.68	8.46
	样品 3	3.98	8.52
	平均	3.95	8.44
	标准偏差	0.21	0.07

2.1.3 糊透明度

淀粉糊液透明度越高, 淀粉糊液色泽越好, 制品色泽越鲜亮^[18]。测试结果如表 3 所示, 玉米乙酰化二淀粉磷酸酯的糊透光率较好, 采用玉米乙酰化二淀粉磷酸酯制作的肉制品可能比木薯的颜色更鲜亮。

2.1.4 冻融稳定性

淀粉的冻融稳定性反映了淀粉糊在低温(-18 °C)下淀粉颗粒结构和理化性质的变化, 直接影响产品低温贮藏的感官与质构特性^[18]。冻融稳定性测试结果如表 4 所示, 木薯乙酰化二淀粉磷酸酯的析水率较高, 说明其冻融稳定性相对较差, 所生产的产品容易析出水分, 造成不好的品质和口感, 对于低温肉制品需要特别关注该指标。

2.2 大豆分离蛋白的性能指标分析

2.2.1 氮溶解指数

氮溶解指数主要用来评价蛋白质在水中的溶解性及其所含功能性大豆蛋白含量, 蛋白质的溶解度与其凝胶性、乳化性和持水性等功能特性密切相关, 溶解度越高蛋白质的功能特性越好^[19]。氮溶解指数测定结果如表 5 所示, 氮溶解指数主要用来评价蛋白质在水中的溶解性, 型号为 SL-906P 的大豆分离蛋白氮溶解指数最高, 可以达到 74%, 说明该型号的大豆分离蛋白溶解度最高。

表 3 2 种淀粉的糊透明度的比较
Table 3 Comparison of paste transparency of 2 kinds of starches

样品	样品号	糊透明度/%
木薯乙酰化二淀粉磷酸酯	样品 1	2.07
	样品 2	2.10
	样品 3	2.13
	平均	2.1
	标准偏差	0.02
玉米乙酰化二淀粉磷酸酯	样品 1	2.53
	样品 2	2.63
	样品 3	2.69
	平均	2.62
	标准偏差	0.07

表 4 2 种淀粉析水率的比较
Table 4 Comparison of water extraction rate of 2 kinds of starches

样品	样品号	析水率/%
木薯乙酰化二淀粉磷酸酯	样品 1	77.52
	样品 2	76.77
	样品 3	77.21
	平均	77.17
	标准偏差	0.31
玉米乙酰化二淀粉磷酸酯	样品 1	72.52
	样品 2	72.48
	样品 3	71.98
	平均	72.33
	标准偏差	0.25

表 5 5 种大豆分离蛋白粗蛋白含量和氮溶解指数
Table 5 Crude protein content and nitrogen solubility index of 5 soybean protein isolates

项目	SL-906P	SUPRO590	WilproI220	杜邦	蓝山
粗蛋白含量/%	84.8	89.5	88.1	89.4	83.5
氮溶解指数/%	74	18	35	16	59

SUPRO590>杜邦>WilproI220>SL-906P>蓝山
SL-906P>蓝山>WilproI220>SUPRO590>杜邦

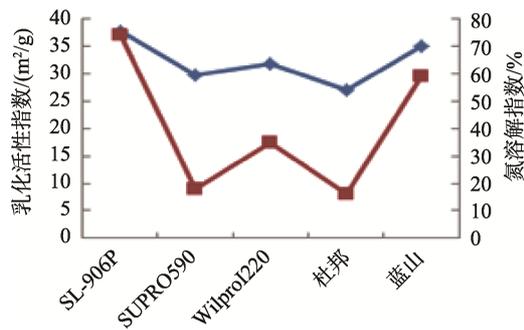
2.2.2 乳化活性

乳化液中的脂肪和水是不稳定的,因为由界面张力产生的自由能大于零,大豆分离蛋白在体系中的作用就是降低界面能,阻止脂肪球的聚集,起到乳化的作用,进而保证产品的稳定性,防止油脂分离析出^[20]。

乳化活性测定结果如表 6 所示,从表 6 和图 1 可见,SL-906P 的乳化活性指数最高,并且与氮溶解指数相比较,5 种大豆分离蛋白的高低趋势是一致的,氮溶解指数较高的样品,其乳化活性一般较高。乳化稳定性杜邦较高,SL-906P 其次。

表 6 5 种大豆分离蛋白乳化活性指数和稳定性指数数值
Table 6 Emulsification activity index and stability index of 5 kinds of soybean protein isolates

项目	SL-906P	SUPRO590	WilproI220	杜邦	蓝山
乳化活性指数/(m ² /g)	37.79	29.80	31.83	27.01	34.97
	SL-906P>蓝山>WilproI220>SUPRO590>杜邦				
乳化稳定性指数/%	69	64	62	72	60
	杜邦>SL-906P>SUPRO590>WilproI220>蓝山				



注:上方曲线为乳化活性指数,下方曲线为氮溶解指数。

图 1 5 种大豆分离蛋白乳化活性指数和氮溶解指数的趋势比较

Fig.1 Comparison of trends in emulsification activity index and nitrogen solubility index of 5 kinds of soybean protein isolates

2.2.3 红外光谱测试

大豆蛋白质的 α -螺旋结构含量与溶解性能存在正比

关系。红外光谱测试结果如表 7 所示: α -螺旋结构含量依次为: SL-906P > 蓝山 > WilproI220 > 杜邦 > SUPRO590,与溶解度的趋势基本一致。

2.3 辅料性能测试总结

对 2 种淀粉及 5 种大豆分离蛋白的与肉制品加工相关的性能指标进行了测试,总结如表 8 和表 9 所示,通过初步的比较,淀粉中木薯乙酰化二淀粉磷酸酯、大豆分离蛋白中 SL-906P 的性能最优。下一步需用小试/中试生产线进行实际产品生产验证,根据产品的感官、得率、水分/脂肪流失率等指标判断产品的优劣,与大豆分离蛋白/淀粉的功能性评价参数建立联系,从而判断测试评价方法的可靠性,形成功能性辅料实验室评价方法。

表 7 5 种大豆分离蛋白 α -螺旋特征谱带积分面积
Table 7 Integral area of α -helix characteristic bands of 5 kinds of soybean protein isolates

项目	SL-906P	SUPRO590	WilproI220	杜邦	蓝山
红外光谱信息(α -螺旋特征谱带积分面积)	6.52	4.98	5.52	5.51	6.24
	SL-906P>蓝山>WilproI220>杜邦>SUPRO590				

表 8 2 种淀粉的性能比较
Table 8 Comparison of properties of 2 kinds of starches

项目	性能	范围	最优淀粉型号
糊化温度/°C	是否易吸水膨胀	69.83~72.19	木薯乙酰化二淀粉磷酸酯
峰粘度、谷粘度与终粘度/RVU	淀粉粘度	3099~4180	木薯乙酰化二淀粉磷酸酯
回凝度/RVU	抗老化再生能力	996.33~1428.33	木薯乙酰化二淀粉磷酸酯
溶胀(膨胀)度/%	与样品的弹性及持水力相关	3.95~9.00	木薯乙酰化二淀粉磷酸酯
溶解度/%	溶解度	8.44~14.16	木薯乙酰化二淀粉磷酸酯
透明度/%	样品色泽	2.1~2.62	玉米乙酰化二淀粉磷酸酯
冻融稳定性/%	低温贮藏的感官与质构特性	72.33~77.17	玉米乙酰化二淀粉磷酸酯

表 9 5 种大豆分离蛋白的性能比较
Table 9 Performance comparison of 5 kinds of soybean protein isolates

项目	性能	范围	最优大豆蛋白型号
粗蛋白含量/%	蛋白含量	83.50~89.50	SUPRO590
氮溶解指数/%	水中溶解性	16~74	SL-906P
乳化活性指数/(m ² /g)	乳化能力	27.01~37.79	SL-906P
乳化稳定性指数/%	乳化持久度	60~72	杜邦
红外光谱信息(α -螺旋特征谱带积分面积)	分子结构表征溶解度	4.98~6.52	SL-906P

3 结 论

本研究选取 2 种淀粉(木薯乙酰化二淀粉磷酸酯以及玉米乙酰化二淀粉磷酸酯), 5 种大豆分离蛋白(杜邦、蓝山、SL-906P、SUPRO590 以及 WilproI220)进行性能指标测试, 结果表明木薯乙酰化二淀粉磷酸酯的糊化温度、峰粘度、谷粘度、回凝度、溶胀(膨胀)度以及溶解度均优于玉米乙酰化二淀粉磷酸酯, 其中木薯淀粉的糊化温度为 69.83 °C、溶解度为 14.16%, 而玉米淀粉糊化温度为 72.19 °C、溶解度为 8.44%; SL-906P 的氮溶解指数、乳化活性指数以及红外光谱信息(α -螺旋特征谱带积分面积)均优于 SUPRO590 和杜邦, 其中 SL-906P 的氮溶解指数为 74%、乳化活性指数为 37.79 m²/g、 α -螺旋特征谱带积分面积为 6.52, 均高于其他蛋白。即淀粉中木薯乙酰化二淀粉磷酸酯、大豆分离蛋白中 SL-906P 的性能最优。

参考文献

- [1] 廖卢艳, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 332-338.
LIAO LY, WU WG. Relationship between starch gelatinization and gelation properties and vermicelli quality [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2014, 30(15): 332-338.
- [2] WHISTLER RL, DANIEL JR. Starch [Z]. Kirk-othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2000.
- [3] KAUR B, ARIFFIN F, BHAT R, *et al.* Progress in starch modification in the last decade [J]. Food Hydrocoll, 2012, 26(2): 398-404.
- [4] COPELAND L, BLAZEK J, SALMAN H, *et al.* Form and functionality of starch [J]. Food Hydrocoll, 2009, 23(6): 1527-1534.
- [5] 朱平, 孔祥礼, 包劲松. 抗性淀粉在食品中的应用及功效研究进展[J]. 核农学报, 2015, 29(2): 327-336.
ZHU P, KONG XL, BAO JS. Research progress on application and efficacy of resistant starch in food [J]. Acta Agric Nucl Sin, 2015, 29(2): 327-336.
- [6] 李翠翠, 魏姜勉, 李永丽. 蜡质玉米淀粉改性研究进展[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(10): 1-2.
LI CC, WEI JM, LI YL. Research progress on modification of waxy corn starch [J]. Grain Fats, 2020, 33(10): 1-2.
- [7] 高丹阳, 胡荣柳, 胡艳灵. 变性淀粉在红糖发糕中的应用[J]. 江苏调味副食品, 2020, (3): 30-32.
GAO DY, HU RL, HU YL. Application of modified starch in brown sugar cake [J]. Jiangsu Flavour Non-Staple Food, 2020, (3): 30-32.
- [8] 徐微, 刘玉兵, 张丝瑶, 等. 变性淀粉的制备方法及应用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(9): 8-11.
XU W, LIU YB, ZHANG SY, *et al.* Research progress in preparation and application of modified starch [J]. J Cere Oils, 2020, 33(9): 8-11.
- [9] 刘志同, 李晓炼, 叶光, 等. 功能性大豆分离蛋白的制备[J]. 中国粮油学报, 1999, (3): 3-5.
LIU ZT, LI XL, YE G, *et al.* Preparation of functional soybean protein isolates [J]. Chin J Cere Oils, 1999, (3): 3-5.
- [10] 许晶, 齐宝坤, 赵青山, 等. 大豆分离蛋白结构特性与表面疏水性关系[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(8): 32-36, 41.
XU J, QI BK, ZHAO QS, *et al.* Relationship between structural properties and surface hydrophobicity of soybean protein isolates [J]. Chin J Cere Oils, 2015, 30(8): 32-36, 41.
- [11] 宋旸, 刘影. 微波辅助糖基化对大豆分离蛋白乳化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(6): 82-88.
SONG Y, LIU Y. Effects of microwave-assisted glycosylation on emulsification of soybean protein isolates [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(6): 82-88.
- [12] 金丽丽, 朱秀清, 赵兴明, 等. 磷酸化修饰对大豆分离蛋白酶解液溶解性的影响[J]. 食品工业, 2014, 35(8): 98-103.
JIN LL, ZHU XQ, ZHAO XM, *et al.* Effect of phosphorylation modification on solubility of soybean protease hydrolysate [J]. Food Ferment Ind, 2014, 35(8): 98-103.
- [13] 杨公尚, 马德敏, 鲁鹏, 等. 胶联羧甲基羟丙基改性淀粉研究及应用[J]. 河南化工, 2020, 37(11): 39-42.
YANG GS, MA DM, LU P, *et al.* Study and application of modified starch with colloidal carboxymethyl hydroxypropyl [J]. Henan Chem, 2020, 37(11): 39-42.
- [14] ABD-KARIM A, NORZIAH MH, SEOW CC. Methods for the study of starch retrogradation [J]. Food Chem, 2000, 71(1): 9-36.
- [15] WANG S, LI C, COPELAND L, *et al.* Starch retrogradation: A comprehensive review [J]. Comprehens Rev Food Sci Food Saf, 2015, 14(5): 568-585.
- [16] 杨世雄, 高飞虎, 张雪梅, 等. 复合改性淀粉的研究进展[J]. 农产品加工, 2020, (19): 69-71, 76.
YANG SX, GAO FH, ZHANG XM, *et al.* Research progress of compound modified starch [J]. Process Agric Prod, 2020, (19): 69-71, 76.
- [17] RATNAYAKE WS, JACKSON DS. Starch gelatinization [J]. J Appl Polymer Sci, 1975, 19(2): 221-268.

(责任编辑: 韩晓红)

- [18] 徐慧敏, 胡荣柳, 张淑芬, 等. 木薯变性淀粉在芋圆制作中的应用研究[J]. 江苏调味副食品, 2020, (4): 11-14.
XU HM, HU RL, ZHANG SF, *et al.* Study on the application of cassava modified starch in the production of taro [J]. Jiangsu Flavour Non-Staple Food, 2020, (4): 11-14.
- [19] 郑荣生, 张波, 童军茂, 等. 三种市售大豆蛋白产品理化特性研究[J]. 大豆科学, 2013, 32(1): 84-88.
ZHENG RS, ZHANG B, TONG JM, *et al.* Study on physicochemical properties of three kinds of commercial soybean protein products [J]. Soybean Sci, 2013, 32(1): 84-88.
- [20] LI R, WANG X, LIU J, *et al.* Relationship between molecular flexibility and emulsifying properties of soy protein isolate-glucose conjugates [J]. J Agr Food Chem, 2019, 67(14): 4089-4097.
- [21] TAHA A, HU T, ZHANG Z, *et al.* Effect of different oils and ultrasound emulsification conditions on the physicochemical properties of emulsions stabilized by soy protein isolate [J]. Ultrason Sonochem, 2018, 49: 283-293.
- [22] 黄行健, 高丽, 章肇敏, 等. 商用大豆分离蛋白乳化活性的优化[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 156-159, 163.
HUANG XJ, GAO L, ZHANG ZM, *et al.* Optimization of emulsifying activity of commercial soybean protein isolates [J]. Food Ind Sci Technol, 2013, 34(23): 156-159, 163.

作者简介



王涛, 硕士, 主要研究方向为食品检测技术开发。

E-mail: wangtao-xju@qq.com



焦驼文, 硕士, 工程师, 主要研究方向为肉类研发。

E-mail: tuowenjiao238@163.com



翟晨, 博士, 工程师, 主要研究方向为食品检测技术开发。

E-mail: zhaichen@cofco.com