

脚板薯淀粉理化特性研究

Study on physicochemical properties of the starch from *Dioscorea alata* L.

何海霞^{1,2} 黎冬明^{1,2} 吴莹莹^{1,2}

HE Hai-xia^{1,2} LI Dong-ming^{1,2} WU Ying-ying^{1,2}

李桥妹^{1,2} 肖建辉^{1,2} 涂瑾^{1,2}

LI Qiao-mei^{1,2} XIAO Jian-hui^{1,2} TU Jin^{1,2}

(1. 江西农业大学食品科学与工程学院, 江西 南昌 330045;

2. 江西省发改委农产品加工与安全控制工程实验室, 江西 南昌 330045)

(1. College of Food and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China;

2. Engineering Laboratory for Agro-processing and Safety Control of Jiangxi Development and Reform Commission, Nanchang, Jiangxi 330045, China)

摘要:采用碱法工艺提取脚板薯淀粉,并对其组成、透明度、冻融稳定性、凝沉性、持水性、溶解度、膨胀度、糊化和黏度特性等理化性质进行了分析。结果表明:脚板薯直链淀粉含量为 27.05%,淀粉透明度、凝沉性、持水力、热稳定性较好,但冻融稳定性差,不易糊化,脚板薯淀粉的溶解力和膨润力随着温度的升高而增大,与水之间的相互作用较强。

关键词:脚板薯;淀粉;理化性质

Abstract: Alkaline process was used to extract the starch from *Dioscorea alata* L., and the composition, transparency, freeze-thaw stability, settling property, water holding capacity, solubility, swelling, gelatinization and viscosity characteristics of the extracted starch were analyzed. The results showed that the content of amylose in legume *Dioscorea alata* L. was 27.05%. Compared with the starch from wheat, mung bean, and potato, the transparency, settling ability, water retention, and thermal stability of legume potatoes were found best. However, the freeze-thaw stability was poor, and it was difficult to gelatinize. The dissolving power and swelling power of the starch from legume potato increased with temperature, showing stronger interaction with water.

Keywords: *Dioscorea alata* L.; starch; physicochemical property

脚板薯学名毛薯,又名参薯、薯蓣、黎洞薯等,属薯蓣

科薯蓣属一年或多年生双子叶植物,生长周期短、产量高^[1],因其块茎呈不规则的扁块形,型如脚板而得名。主要分布在非洲、南美及东南亚热带和亚热带地区^[2]。作为一种具有极大开发价值的药食同源类食物,脚板薯不仅含有大量的淀粉,还含有大量如黏性多糖、皂苷、微量元素、维生素、蛋白质等对人体有益的物质^[3]。

目前,对脚板薯的研究主要集中于色素、皂苷等方面,有关其淀粉的提取纯化和理化性质的研究较少^[3-4]。淀粉提取纯化方法主要有稀碱法、生物酶法、微观结构分析法、胶体化学理论法以及捣碎过滤法^[5]。试验拟以脚板薯为原料,采用碱液浸泡的方法提取淀粉,并研究其理化性质,以期为提高脚板薯产业的开发以及脚板薯淀粉的应用研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

脚板薯:江西省赣州市;

绿豆淀粉、小麦淀粉、马铃薯淀粉:河南恩苗食品有限公司;

氢氧化钠:天津市永大化学试剂有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

高速离心机:GL-23M 型,湖南湘仪离心机仪器有限公司;

快速黏度仪:TEL-MASTER 型,上海瑞盼国际贸易有限公司;

紫外—可见分光光度计:U-T6 型,屹谱仪器制造有限公司;

基金项目:国家自然科学基金地区基金项目(编号:31860444)

作者简介:何海霞,女,江西农业大学在读硕士研究生。

通信作者:黎冬明(1978—),男,江西农业大学副教授,硕士。

E-mail: lidongming@jxau.edu.cn

收稿日期:2020-03-13

数显水浴锅:WHY-2型,常州国宇仪器制造有限公司;

粉碎机:AUX-PB936型,佛山市海迅电器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 淀粉的制备 参照陶华蕾^[3]的方法并加以改进。将新鲜的脚板薯洗净、去皮、切片,粉碎,按料液比1:6(g/mL)用0.1 mg/mL的氢氧化钠溶液浸泡1.5 h,过滤,滤液静置沉降1 h,离心,反复沉降、洗涤、离心至溶液不再浑浊,弃上清液,沉降物于40℃烘箱中干燥48 h,用粉碎机粉碎,过筛,得脚板薯淀粉。

1.3.2 脚板薯淀粉基本成分测定

(1) 淀粉含量:按GB 5009.9—2016执行。

(2) 水分含量:按GB 5009.3—2016执行。

(3) 蛋白质含量:按GB 5009.5—2016执行。

(4) 灰分含量:按GB/T 22427.1—2008执行。

1.3.3 直链、支链淀粉含量测定 根据张升晖等^[5]的方法修改如下:称取50 mg淀粉于容量瓶中,加少量无水乙醇及10 mL 0.5 mol/L NaOH溶液,沸水浴中加热10 min,冷却,用蒸馏水定容至50 mL,混匀。吸取2.5 mL样品溶液于50 mL容量瓶中,加20 mL蒸馏水,用0.1 mol/L HCl溶液调pH值至3,加入0.5 mL碘试剂,定容后放置10 min,测定650 nm处光密度。根据回归方程计算样品中直链、支链淀粉含量。

1.3.4 淀粉透明度的测定 称取脚板薯淀粉、小麦淀粉、绿豆淀粉、马铃薯淀粉各1 g,加入100 mL蒸馏水,混匀,沸水浴加热搅拌20 min使淀粉完全糊化,糊化过程中用蒸馏水调整淀粉糊至原体积,然后快速冷却,将淀粉糊装入比色皿用分光光度计测定650 nm处各淀粉糊的透光率,用蒸馏水作对照。

1.3.5 淀粉冻融稳定性测定 将脚板薯淀粉、小麦淀粉、绿豆淀粉、马铃薯淀粉配成6 g/100 mL的淀粉乳,沸水浴加热搅拌20 min直至淀粉完全糊化。冷却,倒入离心管,冷冻24 h,室温自然解冻后,观察并记录各淀粉的胶冻状态,再冻藏,重复多次,直至有水析出。

1.3.6 淀粉凝沉稳定性测定 称取脚板薯淀粉、小麦淀粉、绿豆淀粉、马铃薯淀粉各6 g,加入94 mL蒸馏水,混匀,沸水浴加热搅拌20 min直至淀粉完全糊化,冷却,将各淀粉糊放入100 mL带塞量筒,室温静置,分别记录0, 6, 12, 24, 48 h和6 d后上清液体积及淀粉糊总体积,按式(1)计算淀粉的凝沉稳定性。

$$N = \frac{h}{H} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

N ——凝沉性,%;

h ——上清液体积,mL;

H ——淀粉糊总体积,mL。

1.3.7 淀粉持水力测定 准确称取脚板薯淀粉、小麦淀粉、绿豆淀粉、马铃薯淀粉各2.0 g,加入30 mL蒸馏水,沸水浴搅拌加热20 min,冷却,3 000 r/min离心15 min,沥干水分,倒置30 min,称取沉淀物与离心管质量。按式(2)计算持水力。

$$C = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

C ——持水力,%;

ω_1 ——沥干水分后沉淀物和离心管总质量,g;

ω_2 ——干样品质量,g。

1.3.8 淀粉溶解度和膨润力测定 称取0.75 g样品于干燥离心管中,加入25 mL蒸馏水,分别于55, 65, 75, 85, 95℃水浴加热并搅拌20 min,于冰水中快速冷却至室温,3 000 r/min离心20 min,上清液于105℃烘干至恒重,将去除上清液后的离心管倒置于滤纸上沥干,称重,分别按式(3)、(4)计算溶解度和膨润力。

$$R = \frac{W_2}{W_1} \times 100\%, \quad (3)$$

$$P = \frac{W_3}{W_1 \times (1 - R)} \times 100\%, \quad (4)$$

式中:

R ——溶解度,%;

P ——膨润力,%;

W_1 ——干样品质量,g;

W_2 ——上清液恒重后质量,g;

W_3 ——沉淀物质量,g。

1.3.9 淀粉的糊化特征及黏度曲线测定 称取2.4 g脚板薯淀粉于25 mL测量杯中,加入25 mL水,调制成分数为6%的混合体系,搅拌均匀,根据RVA标准程序进行测试,用黏度分析仪获得脚板薯淀粉的黏度曲线,并用峰值、终值黏度、衰减值等表示脚板薯淀粉的糊化特征。

1.4 数据处理

使用Excel和Origin 9.0软件进行数据分析,试验结果为3次平行测定后取平均值。

2 结果与分析

2.1 脚板薯淀粉组成

采用氢氧化钠溶液浸泡提取制备的脚板薯淀粉中淀粉含量较高,为83.72%,水分含量为11.33%,脂肪含量为0.45%,蛋白质含量为1.28%,灰分含量为0.36%。此淀粉中蛋白质、脂肪含量较低,说明采用氢氧化钠溶液浸泡提取的脚板薯淀粉没有过多杂质。

2.2 不同淀粉直链、支链淀粉含量

淀粉由直链淀粉和支链淀粉组成,直链淀粉含量是淀粉理化性质的最主要影响因素之一^[6]。由表1可知,4种淀粉的直链淀粉含量差异显著,脚板薯淀粉的直链淀

表 1 不同淀粉直链、支链淀粉含量

Table 1 Amylose and amylopectin contents in starches

种类	直链淀粉	支链淀粉
脚板薯淀粉	27.05±0.12	72.95±0.12
小麦淀粉	37.71±0.06	62.29±0.06
绿豆淀粉	35.28±0.08	64.72±0.08
马铃薯淀粉	17.98±0.06	82.02±0.06

粉含量低于小麦淀粉和绿豆淀粉,但明显高于马铃薯淀粉。

2.3 透明度

由表 2 可知,脚板薯淀粉的透明度小于马铃薯淀粉,但大于绿豆淀粉和小麦淀粉,可能是由于脚板薯淀粉直链淀粉含量高于马铃薯淀粉,且低于小麦淀粉,与 Cliff 等^[7]的结果一致。

表 2 不同淀粉的透明度

Table 2 The diaphaneity of the amylum paste %

种类	透明度
脚板薯淀粉	27.68±0.12
小麦淀粉	9.18±0.32
绿豆淀粉	13.49±0.36
马铃薯淀粉	33.74±0.41

2.4 冻融稳定性

淀粉的冻融稳定性可用来评价其在冷冻类食品中是否有利的主要指标之一。由表 3 可知,脚板薯淀粉从第 2 次冻融开始析水,马铃薯淀粉和小麦淀粉从第 3 次冻融开始析水,绿豆淀粉从第 4 次冻融开始析水,表明脚板薯淀粉冻融稳定性最低。冻融稳定性差的淀粉,其直链淀粉含量较高,容易老化^[8]。说明脚板薯淀粉不适宜应用于冷冻类食品。

2.5 凝沉稳定性

由图 1 可知,当凝沉时间为 0~6 h 时,大多数淀粉的淀粉糊上清液体积快速增长;当凝沉时间为 6~48 h 时,除马铃薯淀粉外,其他淀粉的淀粉糊上清液体积大大减小,凝沉速率上升缓慢,沉降体积大小为马铃薯淀粉>小

表 3 不同淀粉糊的冻融稳定性

Table 3 Freeze-thaw stability of starches from different species

种类	冻融次数	胶冻状态
脚板薯淀粉	2	稍有水析出
小麦淀粉	3	稍有水析出
绿豆淀粉	4	稍有水析出
马铃薯淀粉	3	稍有水析出

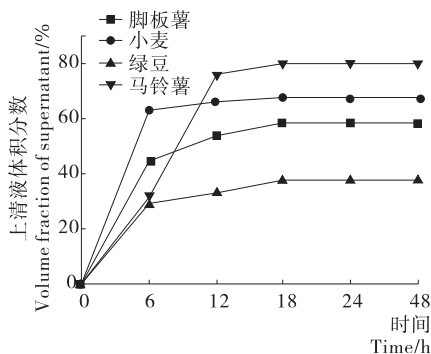


图 1 不同淀粉的凝沉稳定性

Figure 1 Retrogradation of starch

麦淀粉>脚板薯淀粉>绿豆淀粉。马铃薯淀粉凝沉稳定性最差,形成凝胶的能力最弱,绿豆淀粉凝沉性最强;脚板薯淀粉的凝沉性稍低于绿豆淀粉,形成凝胶能力强于小麦淀粉和马铃薯淀粉。支链淀粉减少,直链淀粉增加,分子之间形成颗粒、束状等结构后,淀粉发生凝沉,从而出现老化,不利于其加工应用^[9-10]。而脚板薯淀粉这种较强的凝沉稳定性有利于其在淀粉及富含淀粉的产品中的加工与应用。

2.6 持水力

持水力可反映淀粉与水的结合度,淀粉与水混合后,淀粉分子链之间互相结合形成氢键,从而改变淀粉持水力^[11]。由表 4 可知,4 种淀粉的持水力为 468.39%~1 313.72%,由大到小依次为脚板薯淀粉>绿豆淀粉>小麦淀粉>马铃薯淀粉。说明脚板薯淀粉颗粒中水结合位点的可利用度高,可应用于水分含量高的产品中。该结论也从侧面说明了脚板薯淀粉的透明度较好。

表 4 不同淀粉持水力

Table 4 Water-holding capacity of starches from different species %

种类	持水力
脚板薯淀粉	1 313.72±1.87
小麦淀粉	722.50±2.13
绿豆淀粉	852.88±1.22
马铃薯淀粉	468.39±1.41

2.7 溶解度与膨润力

吸水性是淀粉的重要特性之一,淀粉与水之间相互作用的大小可以通过溶解度和膨润力大小判断^[12]。由图 2 可知,4 种淀粉的溶解度随温度的升高逐渐增大,其大小顺序为马铃薯淀粉>脚板薯淀粉>绿豆淀粉>小麦淀粉。说明脚板薯淀粉与水之间的相互作用较大,而影响淀粉溶解度的主要原因为游离直链淀粉易溶于水^[13],脚板薯淀粉的溶解度大说明其游离的直链淀粉含量较多,与脚板薯淀粉持水力高相吻合。

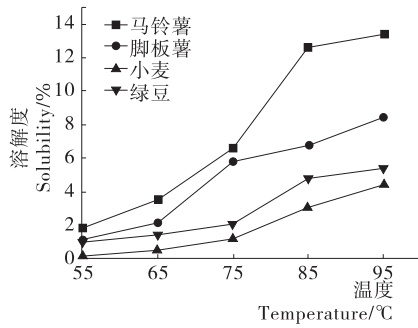


图2 不同淀粉的溶解度

Figure 2 Solubility power of starch

由图3可知,随着温度的升高,膨润力依次为马铃薯淀粉>脚板薯淀粉>绿豆淀粉>小麦淀粉,说明各淀粉的膨润力随温度的变化而变化,可能是由于各淀粉糊化程度不同^[14];相同温度下,不同品种淀粉的膨润力也不同,可能是因为直链淀粉充当了稀释剂和肿胀抑制剂^[15],不同品种淀粉的直链淀粉含量不同,与2.2中直链淀粉含量测定结果相符合。膨润力能反映淀粉与水之间的相互作用大小,故小麦淀粉与水之间的相互作用最弱,马铃薯淀粉和脚板薯淀粉的较强。这种与水之间的较强相互作用力有利于脚板薯在产品加工中的应用,加工产品时可以根据脚板薯不同的糊化程度选择不同的加热温度。

2.8 糊化特性及黏度曲线

由图4可知,脚板薯淀粉峰值黏度为2150 cp,衰减值为453 cp,糊化温度为77.45 °C。脚板薯淀粉的峰值黏度小于小麦淀粉和绿豆淀粉^[16]的,可能是因为持水力以及淀粉分子的膨润力会影响淀粉的峰值黏度。衰减值大小为脚板薯淀粉<小麦淀粉<绿豆淀粉,说明脚板薯淀粉的热稳定性最好;糊化温度大小为脚板薯淀粉>绿豆淀粉>小麦淀粉,说明脚板薯淀粉糊化温度较高,不易糊化。各淀粉糊化温度不同可能是在糊化过程中淀粉颗粒分解以及淀粉结构的弱化程度不同造成的^[17]。综上,脚板薯淀粉适用于对温度要求较高的产品中。

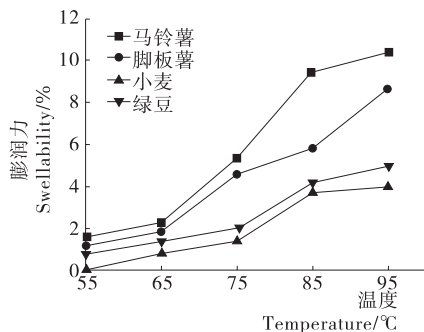


图3 不同淀粉的膨润力

Figure 3 Swelling power of starch

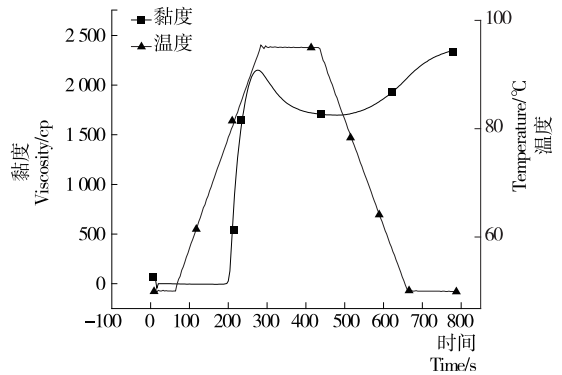


图4 不同淀粉的RVA图谱

Figure 4 RVA viscosograms of starch

3 结论

以脚板薯为原料,利用碱液浸泡的方法提取其淀粉,并对所得淀粉的理化性质进行了对比研究。结果表明,不同种类的淀粉的支链、直链淀粉含量存在差异,直链淀粉含量为17.98%~37.71%,脚板薯淀粉的直链淀粉含量低于小麦淀粉和绿豆淀粉;脚板薯淀粉的透明度、凝沉性、持水力、热稳定性较好,但冻融稳定性较差,不适用于冷冻类产品;不同种类淀粉溶解度、膨润力大小顺序均为马铃薯淀粉>脚板薯淀粉>绿豆淀粉>小麦淀粉,且均随温度的升高而增大;脚板薯淀粉糊化温度为77.45 °C,难以成糊,但热稳定性较好。后续可更深层次、更全面研究脚板薯淀粉的理化性质。

参考文献

- [1] 詹太华. 紫脚板薯色素的提取、理化性质及体外抗氧化活性的研究[J]. 南昌: 南昌大学, 2008: 1-2.
- [2] 刘媛洁, 余俏, 张良. 脚板薯的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013(24): 9 951-9 953.
- [3] 陶华雷. 紫脚板薯淀粉的提取工艺及综合利用研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2011: 1-5.
- [4] 沈钟苏, 陈全斌, 湛志华, 等. 脚板薯淀粉的理化性质研究[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2005, 23(2): 77-80.
- [5] 张升晖, 覃海兵, 洪雁. 蕨根淀粉理化性质研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 115-117.
- [6] 张攀峰. 不同品种马铃薯淀粉结构与性质的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 2.
- [7] CLIFF R, WHEATLEY A O, PERCEVAL S, et al. Physicochemical properties of low amylose yam starch (*Dioscorea* sp.) and its impact on alpha amylase degradation in vitro[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2014, 3(5): 458-464.
- [8] 王丽霞, 王敬臻, 张金玲, 等. 长山山药淀粉的制备及性能[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 156-161.

(下转第38页)

- [4] 蔡旭冉, 顾正彪, 洪雁, 等. 盐对马铃薯淀粉及马铃薯淀粉—黄原胶复配体系特性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 1-5.
- [5] 陈学玲, 关键, 梅新, 等. 氯化钠、蔗糖和碳酸钠对芡实淀粉糊化特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(17): 60-65.
- [6] 程东, 洪雁, 顾正彪, 等. 柠檬酸和 NaCl 对变性淀粉糊化性质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(10): 1 047-1 053.
- [7] 薛婷. pH、盐、糖、酸对马铃薯淀粉黏度特性的影响[D]. 西安: 陕西科技大学, 2014: 37-38.
- [8] 李莎. 盐糖复合对淀粉功能性质的影响[D]. 天津: 天津科技大学, 2017: 16-17.
- [9] LUO Jia-qiang, CAI Wei-xi, WU Tong, et al. Phytochemical distribution in hull and cotyledon of adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.), and their contribution to antioxidant, anti-inflammatory and anti-diabetic activities[J]. Food Chemistry, 2016, 201: 350-360.
- [10] ZHANG Du-qin, MU Tai-hua, SUN Hong-nan. Effects of starch from five different botanical sources on the rheological and structural properties of starch-gluten model doughs[J]. Food Research International, 2018, 103: 156-162.
- [11] CRAIG A S, MANINGAT C C, SEIB P A, et al. Starch paste clarity[J]. Cereal Chemistry, 1989, 66(3): 173-182.
- [12] LIU Ming, WU Na-na, YU Guo-ping, et al. Physicochemical, structural properties and in vitro digestibility of pea starch treated with high hydrostatic pressure[J]. Starch-Strke, 2017, DOI: 10.1002/star.201700082.
- [13] 王立东, 肖志刚, 齐鹏志. 气流粉碎对高直链玉米淀粉颗粒形态及性质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2017, 48(12): 221-228.
- [14] NARA S, KOMIYA T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch[J]. Starch-Stärke, 1983, 35(12): 407-410.
- [15] 袁美兰, 鲁战会, 程永强, 等. 自然发酵对米粉 RVA 黏度性质及米粉拉伸性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(1): 6-9.
- [16] 罗舜菁, 李燕, 杨榕, 等. 氨基酸对大米淀粉糊化和流变性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 178-182.
- [17] TENG L Y, CHIN N L, YUSOFY A. Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starch-sugar gels II; Comparisons with other starch sources and reheating effects[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 31(2): 156-165.
- [18] 吕振磊, 李国强, 陈海华. 马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 22-27.
- [19] 葛云飞, 康子悦, 沈蒙, 等. 高粱自然发酵对淀粉分子结构及老化性质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 35-40.
- [20] 刘佳男, 于雷, 王婷, 等. 微波处理对高粱淀粉理化特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 186-190.
- [21] 王志伟, 闫凤霞, 徐嘉良, 等. 3 种高粱品种淀粉特性和酿造黄酒的风味品质分析[J]. 食品科学, 2019, 40(13): 45-51.
- [22] 张涛, 缪铭, 江波. 不同品种鹰嘴豆淀粉糊与凝胶特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2007(9): 6-10.
- [23] 葛云飞, 康子悦, 沈蒙, 等. 自然发酵对高粱淀粉理化性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2018(7): 51-56.
- [24] 刘淑婷, 王颖, 余铁军, 等. 黑龙江地区不同品种芸豆淀粉的物化特性研究[J]. 农产品加工, 2018(19): 16-19, 22.

(上接第 33 页)

- [9] 张喻, 章丽琳, 曾嵘, 等. 凉薯淀粉的理化性质研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(9): 19-22.
- [10] 刘灿灿, 黄群, 孙潇鹏, 等. 槟榔芋淀粉与其球磨酯化淀粉理化性质比较[J]. 食品与机械, 2018, 34(5): 44-48.
- [11] SHEN Xin-yu. Amylopectin fine structure: Mechanism of the long chain function[D]. Indiana: Purdue University, 2010: 3-5.
- [12] HUANG Han-han, JIANG Qian-qian, CHEN Yu-ling, et al. Preparation, physico-chemical characterization and biological activities of two modified starches from Yam (*Dioscorea Opposita* Thunb.)[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 55(9): 244-253.
- [13] 欧阳梦云, 王燕, 赵传文. RS₃ 型籼米抗性淀粉制备方法对其结构和理化性质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(8): 14-18.
- [14] 赵小梅, 李清明, 苏小军, 等. 桂淮系列淮山淀粉性质的测定[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 48-53.
- [15] 吴会琴, 杨秋歌, 黄梦迪, 等. 白芸豆淀粉与小利马豆淀粉理化性质的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(9): 3-4.
- [16] 侯蕾, 韩小贤, 郑学玲, 等. 不同种类淀粉理化性质的比较[J]. 粮食加工, 2015, 40(2): 32-37.
- [17] 赵神彳, 王辉, 康辉, 等. 不同品种来源的大麦淀粉理化和功能特性的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(20): 1-8.

(上接第 19 页)

- sembly of head of bacteriophage-T4[J]. Nature, 1970, 227(5 259): 680-685.
- [19] 严萍, 朱喜梅, 李璐, 等. Mincle 受体蛋白克隆、原核表达与纯化[J]. 现代食品科技, 2015(3): 77-83, 76.
- [20] 杨旭, 谢盈. 茶渣硒蛋白的分离纯化及其性质研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 152-156.
- [21] LEVARSKI Z, ŠOLTÝŠOVA A, KRAHULEC J, et al. High-level expression and purification of recombinant human growth hormone produced in soluble form in *Escherichia coli*[J]. Protein Expression and Purification, 2014, 100: 40-47.
- [22] LIU Yang, REN Li-mei, GE Ling-miao, et al. A strategy for fusion expression and preparation of functional glucagon-like peptide-1 (GLP-1) analogue by introducing an enterokinase cleavage site[J]. Biotechnology Letters, 2014, 36(8): 1 675-1 680.
- [23] 杨宁, 赵凌侠, 唐克轩. 重组人胰岛素类似物蛋白在大肠杆菌中克隆、表达与纯化[J]. 武汉大学学报: 医学版, 2010, 31(3): 281-287.