

# 穆子抗性淀粉理化性质及体外消化研究

## Study on physicochemical properties and in vitro digestion of the resistant starch from *Eleusine coracana* (L.) Gaertn

陈家丽<sup>1</sup> 刘婧洁<sup>2</sup> 肖攀飞<sup>1</sup> 王乐<sup>1</sup> 马丽娅<sup>3</sup> 李赤翎<sup>1,3</sup>

CHEN Jia-li<sup>1</sup> LIU Jing-jie<sup>2</sup> XIAO Pan-fei<sup>1</sup> WANG Le<sup>1</sup> MA Li-ya<sup>3</sup> LI Chi-ling<sup>1,3</sup>

(1. 长沙理工大学化学与食品工程学院, 湖南 长沙 410007; 2. 鹿寨县市场监督管理局,

广西 柳州 545600; 3. 内蒙古红太阳食品有限公司, 内蒙古 呼和浩特 010000)

(1. School of Chemistry and Food Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410007, China; 2. Administration for Market Regulation of Luzhai, Liuzhou, Guangxi 545600, China; 3. Inner Mongolia Red Sun Food Co., Ltd., Huhehaote, Inner Mongolia 010000, China)

**摘要:**以穆子淀粉为原料,通过超声—压热法制备穆子抗性淀粉(RS<sub>3</sub>),探讨了穆子RS<sub>3</sub>的理化性质和消化特性。结果表明:与穆子淀粉相比,穆子RS<sub>3</sub>具有较好的溶解度、热稳定性和冻融稳定性;而膨胀度、凝沉性较小,这些特点可以用来改善食品的质地,增加食品的脆度。与普通玉米RS<sub>3</sub>相比,穆子RS<sub>3</sub>具有更好的冻融稳定性和凝沉性。电镜结果显示,穆子RS<sub>3</sub>表面比玉米RS<sub>3</sub>粗糙很多。从体外消化来看,穆子RS<sub>3</sub>具有比玉米RS<sub>3</sub>更强的抗消化能力,可用来开发降血糖功能性食品。

**关键词:**穆子;抗性淀粉;理化性质;体外消化

**Abstract:** The resistant starch (RS<sub>3</sub>) was prepared by ultrasonic and thermal-press processing using the starch from *Eleusine coracana* (L.) Gaertn (finger millet) as a raw material. The physicochemical properties and digestive characteristics of the finger millet RS<sub>3</sub> were characterized. The results showed that compared with the raw starch of finger millet, RS<sub>3</sub> had greater solubility, thermal stability and freeze-thaw stability; while its swelling and settling properties were small, and these characteristics could be used to improve the texture of the food and increase the crispness of the food. Compared with ordinary corn RS<sub>3</sub>, the finger millet RS<sub>3</sub> had better freeze-thaw stability and coagulability. Electron microscopy results showed that the surface of the finger millet RS<sub>3</sub> was much rougher than that of corn RS<sub>3</sub>. From the perspective of *in vitro* digestion, the finger millet RS<sub>3</sub> had stronger digestion resistance than corn RS<sub>3</sub>, and could be used to de-

velop functional foods for lowering blood glucose level.

**Keywords:** *Eleusine coracana* (L.) Gaertn; finger millet; resistant starch; physicochemical properties; *in vitro* digestion

穆子(*Eleusine coracana* Gaertn),是一种耐贮藏、耐旱和耐涝的一年生草本植物,是土壤贫瘠的半干旱热带地区重要的粮食作物。《本草纲目》<sup>[1]</sup>中记载:穆子籽粒体积较小,呈茶褐色,具有补中益气、厚肠胃的作用。与其他杂粮相比,穆子淀粉含量较高,为79.89%;与传统主粮相比,穆子营养价值较高,富含膳食纤维(5.54%)、单宁(1.64 mg/g)、钙(822.4 mg/100 g)和铁(91 mg/100 g)<sup>[2]</sup>。据研究,穆子具有抑制癌细胞和肿瘤细胞生长、抗氧化和抗炎等生理功效<sup>[3]</sup>,还具有良好的降血糖作用<sup>[4]</sup>。穆子降血糖作用的原因,可能是由于其多酚抑制了淀粉酶活性<sup>[5]</sup>,或者是因为穆子中富含膳食纤维<sup>[6]</sup>,但至今未有定论,也未对其抗性淀粉进行分析。抗性淀粉(RS)能够预防结肠癌,降低血脂水平,缓解餐后血糖上升,预防糖尿病等<sup>[7]</sup>。其中RS<sub>3</sub>由于具有较强的抗酶解性,是国内外研究最多的抗性淀粉类型<sup>[8]</sup>。

目前,国内外对穆子的研究主要集中在其种皮多酚物质上<sup>[9-10]</sup>,而对其抗性淀粉的研究鲜有报道。试验拟通过超声—压热法制备穆子RS<sub>3</sub>,重点研究其理化性质和消化特性,旨在为进一步揭示穆子降血糖的原因和深度开发穆子功能性产品提供参考和依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

穆子:购于广西玉林;

普通玉米:市售;

耐高温 $\alpha$ -淀粉酶:酶活30 U/mg,上海麦克林生化科

基金项目:湖南省教育厅重点项目(编号:20A026)

作者简介:陈家丽,女,长沙理工大学在读硕士研究生。

通信作者:李赤翎(1966—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: baiweili2005@163.com

收稿日期:2020-10-09

技术有限公司;

胃蛋白酶: 酶活 500 U/mg, 西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司;

胰蛋白酶: 酶活 2 000 U/g, 河南圣斯德实业有限公司;

葡萄糖淀粉酶: 酶活  $1 \times 10^5$  U/mL, 上海麦克林生化科技有限公司;

抗性淀粉检测试剂盒: 爱尔兰 Megazyme 公司;

氢氧化钠、氢氧化钾、马来酸、磷酸氢二钠、柠檬酸、冰醋酸、乙醇、液体石蜡等: 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

## 1.2 主要仪器与设备

磨粉机: JYS-M01 型, 九阳股份有限公司;

超声波微波组合反应系统: XO-SM200 型, 南京先欧仪器制造公司;

立式压力蒸汽灭菌器: BXM-30R 型, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂;

台式低速离心机: L550 型, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

扫描电子显微镜: FEI Quanta-200 型, 美国 FEI 公司;

差示扫描量热仪: DSC214 Polym 型, 德国耐驰公司;

水浴恒温振荡器: LKTC-BI-T 型, 金坛市良友仪器有限公司;

可见分光光度计: S22pc 型, 宁波日诺泰科技有限公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 RS<sub>3</sub> 的制备流程

原材料→粉碎过筛→原粉→石油醚脱脂→碱法脱蛋白→淀粉→配制定粉乳(浓度为 45%)→超声处理(300 W, 55 min)→压热处理(115 °C, 15 min)→冷藏(5 °C, 7 d)→干燥(80 °C)→粉碎过筛(100 目)→RS<sub>3</sub>。

1.3.2 RS<sub>3</sub> 的纯化 根据文献[11], 修改如下: 称取 40 g 上述 RS<sub>3</sub>, 加入 pH 为 6.0 的磷酸氢二钠-柠檬酸缓冲液, 配制成 10% 的淀粉乳, 以 5 U/g RS<sub>3</sub> 的量加入耐高温  $\alpha$ -淀粉酶, 90 °C 水浴振荡 30 min, 取出冷却至室温, 调 pH 为 4.5, 然后以 5 U/g RS<sub>3</sub> 的量加入葡萄糖淀粉酶, 60 °C

水浴振荡 30 min, 取出冷却至室温, 3 500 r/min 离心 15 min, 弃上清液, 沉淀水洗 3 次后收集, 80 °C 干燥, 粉碎, 过筛, 105 °C 干燥样品粉末至恒重, 即得 RS<sub>3</sub> 纯品。

### 1.3.3 理化性质的测定

(1) 溶解度和膨胀度: 根据文献[12]。

(2) 析水率和凝沉性: 根据文献[13]。

(3) 扫描电镜: 根据文献[14-15]并修改。双面胶带贴于扫描镜的圆形载物台上, 蘸取少量的样品涂于双面胶上, 并使其分布均匀, 置于喷金机上, 真空条件下进行镀金处理, 然后固定在载物台上, 在 20 kV 测试电压下, 观察样品微观形态。

(4) 热力学性能: 根据文献[16-17]并修改。样品质量 2.5 mg; 去离子水体积 5  $\mu$ L; 测定温度范围 25 ~ 220 °C; 升温速率 10 °C/min。加热结束后用氮气降温。

1.3.4 体外消化特性 根据文献[18], 修改如下: 称取适量样品, 加入蒸馏水和玻璃珠以模拟口腔咀嚼, 用涡旋振荡器使其分散, 然后加入  $\alpha$ -淀粉酶模拟唾液, 37 °C 水浴振荡消化 90 s; 接着加入盐酸和胃蛋白酶模拟胃部消化 1 h; 1 h 后加入 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 调 pH 6.8, 将胃蛋白酶灭活, 再加入 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>-NaOH 缓冲溶液、胰蛋白酶和葡萄糖淀粉酶模拟小肠消化, 用 DNS 法测 0, 20, 120 min 时的葡萄糖含量, 计算消化淀粉, 并进一步将消化的淀粉分为 20 min 内消化的易消化淀粉(RDS), 20~120 min 内消化的缓慢消化淀粉(SDS)以及 120 min 内未消化的抗性淀粉(RS)。

### 1.4 数据分析

采用 Excel、Origin 8.0 和 SPSS Statistics 24.0 等软件进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 溶解度、膨胀度、析水率和凝沉性

由表 1 可知, 穆子 RS<sub>3</sub> 的溶解度为 14.87%, 显著大于原粉和淀粉, 与余世锋等<sup>[19]</sup>的研究结果类似。在 95 °C 的热水中, 直链淀粉的溶解度比支链淀粉高<sup>[19]</sup>, RS<sub>3</sub> 由大量直链淀粉聚合而成, 在加热溶解过程中, RS<sub>3</sub> 解离并扩散成小分子物质, 所以溶解度更大, 但比玉米 RS<sub>3</sub> 的小。穆子 RS<sub>3</sub> 的膨胀度为 6.84%, 其颗粒内部结构较为紧密, 难以吸水导致膨胀度较小, 并且小于玉米 RS<sub>3</sub> 的。

表 1 不同样品的溶解度、膨胀度、析水率和凝沉性<sup>†</sup>

Table 1 Solubility, swelling degree, water release rate and coagulability of different samples %

样品	溶解度	膨胀度	析水率	凝沉值
穆子原粉	7.72±0.21 <sup>a</sup>	10.13±1.94 <sup>a</sup>	26.44±0.45 <sup>a</sup>	0.27±0.01 <sup>a</sup>
穆子淀粉	5.08±0.95 <sup>b</sup>	12.19±0.27 <sup>b</sup>	87.14±0.14 <sup>b</sup>	58.50±0.27 <sup>b</sup>
穆子 RS <sub>3</sub>	14.87±0.43 <sup>c</sup>	6.84±0.33 <sup>c</sup>	72.31±1.02 <sup>c</sup>	15.50±0.91 <sup>c</sup>
玉米 RS <sub>3</sub>	18.25±0.10 <sup>d</sup>	11.04±0.09 <sup>ab</sup>	74.25±0.08 <sup>d</sup>	9.51±0.17 <sup>d</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

穆子 RS<sub>3</sub> 的析水率比穆子原粉的大, 但比穆子淀粉的小。穆子 RS<sub>3</sub> 中基本无蛋白质、脂肪等其他组分, 水分较原粉容易析出; 在制备穆子 RS<sub>3</sub> 的过程中, 高温高压处理使淀粉重组为结构紧密的晶体, 导致析水率降低, 从而穆子 RS<sub>3</sub> 的冻融稳定性高于穆子淀粉的; 而且, 穆子 RS<sub>3</sub> 的冻融稳定性比玉米 RS<sub>3</sub> 的好, 更适合添加到冷冻食品中。穆子淀粉制备成 RS<sub>3</sub> 后, 增加了短小直链淀粉含量, 分子间较难结合沉淀, 导致 RS<sub>3</sub> 凝沉值显著降低; 但穆子 RS<sub>3</sub> 的凝沉值远大于玉米 RS<sub>3</sub> 的, 如果添加到果冻和软糖中, 将有利于快速形成凝胶<sup>[20]</sup>。

2.2 扫描电镜

如图 1 所示, 不同样品的颗粒大小、形态等存在明显差异。穆子原粉经简单的粉碎过筛, 淀粉颗粒结构并未遭到破坏, 如图 1(a) 所示, 众多的淀粉颗粒经蛋白粘在一起; 脱脂脱蛋白后, 颗粒结构被破坏, 得到如图 1(b) 所示的穆子淀粉, 其呈大小不一的小颗粒珍珠状, 表面相对光滑; 穆子 RS<sub>3</sub> 颗粒粒径较大, 结构较为紧密, 呈不规则碎石片状, 表面粗糙且凹凸不平。超声和压热处理使淀粉颗粒形态发生明显变化, 由原来的球状结晶变为片状结晶, 可归因于 RS<sub>3</sub> 中高含量的直链淀粉, 其不利于球晶的形成<sup>[21]</sup>; RS<sub>3</sub> 表面凹凸不平, 可能是在冷藏过程中, 淀粉分子遇冷, 外表面压力大于分子内部, 从而导致颗粒外表面塌陷<sup>[22]</sup>。电镜下可看到 RS<sub>3</sub> 具有更紧密的结构, 更有利于抵抗酶水解。比较图 1(c) 和 (d) 可知, 玉米 RS<sub>3</sub> 颗粒形貌与穆子 RS<sub>3</sub> 存在明显差异, 玉米 RS<sub>3</sub> 表面相对较光滑, 结构较为疏松。

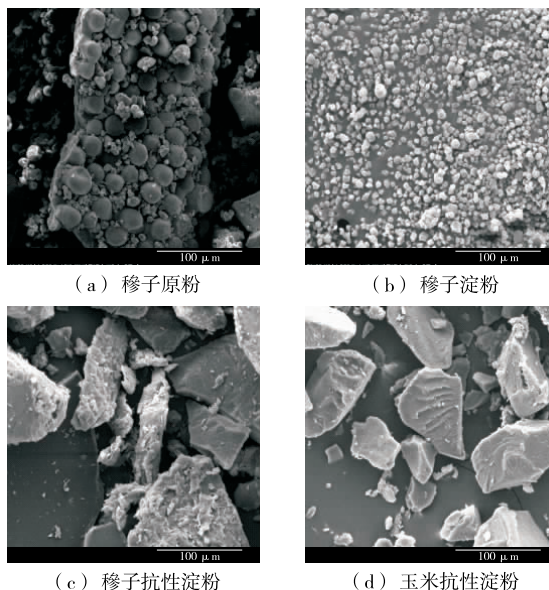


图 1 不同样品的电镜扫描图

Figure 1 Electron microscopy scans of different samples (×1 000)

2.3 热力学特性

如表 2 所示, 穆子 RS<sub>3</sub> 的糊化峰值温度 ( $T_p$ )、糊化终止温度 ( $T_c$ ) 和糊化焓 ( $\Delta H$ ) 均显著高于原粉和淀粉。在超声—压热—回生过程中, 穆子 RS<sub>3</sub> 分子重新排列, 分子间的相互作用加强, 从而糊化需要的温度升高, 热稳定性增加。穆子 RS<sub>3</sub> 的热稳定性还显著高于玉米 RS<sub>3</sub> 的, 说明穆子 RS<sub>3</sub> 较适合添加到油炸、烘焙等食品中。

表 2 不同样品的热力学特性参数<sup>†</sup>

Table 2 Thermodynamic characteristics parameters of different samples

样品	糊化起始温度 $T_0/^\circ\text{C}$	糊化峰值温度 $T_p/^\circ\text{C}$	糊化终止温度 $T_c/^\circ\text{C}$	糊化焓 $\Delta H/(\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$
穆子原粉	79.62 ± 0.31 <sup>a</sup>	81.12 ± 0.02 <sup>a</sup>	89.21 ± 0.04 <sup>a</sup>	41.26 ± 0.02 <sup>a</sup>
穆子淀粉	56.97 ± 0.12 <sup>b</sup>	69.91 ± 0.03 <sup>b</sup>	95.83 ± 0.05 <sup>b</sup>	29.98 ± 0.03 <sup>b</sup>
穆子 RS <sub>3</sub>	59.52 ± 0.11 <sup>c</sup>	87.83 ± 0.04 <sup>c</sup>	139.51 ± 0.47 <sup>c</sup>	52.60 ± 0.20 <sup>c</sup>
玉米 RS <sub>3</sub>	63.27 ± 0.29 <sup>d</sup>	73.34 ± 0.08 <sup>d</sup>	86.56 ± 0.36 <sup>d</sup>	11.14 ± 0.20 <sup>d</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.4 淀粉消化特性

淀粉经过超声—压热处理后, 分子重排, 形成较为紧密的 RS<sub>3</sub> 结构而难以消化, 但通过大肠发酵后, 会产生类似膳食纤维的作用。如表 3 所示, 不同来源的淀粉消化特性差异较大, 穆子淀粉的 SDS 和 RS 远远大于玉米淀粉的, 表明其具有更强的体外抗消化作用, 因此, 可以利用穆子开发出调节血糖的食品。

超声—压热处理制备得到的 RS<sub>3</sub>, RS 含量显著增加, 但仍有部分被水解。其原因可能与 RS<sub>3</sub> 的纯度及制备方式有关; 也可能是消化过程中 RS<sub>3</sub> 分子再一次重排, 导致

部分 RS<sub>3</sub> 水解成葡萄糖。

表 3 不同样品的淀粉消化特性<sup>†</sup>

Table 3 Starch digestibility of different samples %

样品	RDS	SDS	RS
穆子淀粉	42.69 ± 0.11 <sup>a</sup>	32.52 ± 0.50 <sup>a</sup>	24.79 ± 0.55 <sup>a</sup>
玉米淀粉	84.52 ± 0.45 <sup>b</sup>	13.37 ± 0.21 <sup>b</sup>	2.11 ± 0.25 <sup>b</sup>
穆子 RS <sub>3</sub>	18.18 ± 0.13 <sup>c</sup>	0.95 ± 0.08 <sup>c</sup>	80.27 ± 0.13 <sup>c</sup>
玉米 RS <sub>3</sub>	28.50 ± 0.18 <sup>d</sup>	5.60 ± 0.17 <sup>d</sup>	65.90 ± 0.03 <sup>d</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

### 3 结论

研究采用超声—压热处理对穆子淀粉进行改性, 制得穆子 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉, 其溶解度、冻融稳定性、抗凝沉性和热稳定性增加, 而膨胀度降低, 使其更适合添加到冷冻、油炸和烘焙等食品中, 进一步改善品质。电镜扫描发现, 与玉米 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉相比, 穆子 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉表面较粗糙, 结构较紧密。通过热力学分析发现穆子 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉的热稳定性比玉米 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉的高, 且淀粉颗粒结构较紧密, 这可能是导致其溶解度、膨胀度和析水率较小的原因。

无论是穆子 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉还是玉米 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉, 与其各自的淀粉相比, 抗性淀粉显著增加, 不过仍然有部分 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉被消化成葡萄糖。分析其原因: ① RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉中可能存在少量未被彻底除去的蛋白质, 妨碍淀粉酶的水解作用, 在胃蛋白酶的作用下, 蛋白质水解, 淀粉才能够与淀粉酶作用水解成葡萄糖; ② 在胃酸的强酸性作用下, 使部分原来包裹在 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉结晶区内的无定形区暴露出来, 这一部分淀粉被降解成葡萄糖; 其具体原因还有待进一步探究。通过比较玉米和穆子的 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉的抗消化值, 也说明不同来源的 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉, 体外抗消化特性有所差异。穆子淀粉表现出较高的抗消化性, 应该也是穆子具有明显降低血糖作用的重要原因。

#### 参考文献

- [1] 李时珍. 本草纲目: 中[M]. 北京: 中国档案出版社, 1999: 1 448.
- [2] OWHERUO J O, IFESAN B O T, KOLAWOLE A O. Physicochemical properties of malted finger millet (*Eleusine coracana*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum*)[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(2): 476-482.
- [3] DIVYA M, KARTHIKEYAN S, RAVI C, et al. Isolation of  $\beta$ -glucan from *Eleusine coracana* and its antibiofilm, antidiabetic, antioxidant, and biocompatible activities[J]. Microbial Pathogenesis, 2020, 140: 103955.
- [4] SHOBANA S, HARSHA M R, PLATEL K, et al. Amelioration of hyperglycaemia and its associated complications by finger millet (*Eleusine coracana* L.) seed coat matter in streptozotocin-induced diabetic rats [J]. British Journal of Nutrition, 2011, 104(12): 1 787-1 795.
- [5] KIM J S, HYUN T K, KIM M J. The inhibitory effects of ethanol extracts from sorghum, foxtail millet and proso millet on  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase activities(Article)[J]. Food Chemistry, 2011, 124(4): 1 647-1 651.
- [6] PRADHAN A, NAG S K, PATIL S K. Dietary management of finger millet (*Eleusine coracana* L. Gaerth) controls diabetes[J]. Current Science, 2010, 98(6): 763-765.
- [7] MA Zhen, BOYE J I. Research advances on structural characterization of resistant starch and its structure-physiological function relationship: A review[J]. Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 2018, 58(7): 1 059.
- [8] 何健, 王韧, 张昊, 等. 改性蜡质玉米淀粉抗消化组分的理化性质及分子结构表征[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 1-4, 10.
- [9] XIANG Jin-le, APEA-BAH F B, NDOLO V U, et al. Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of finger millet varieties[J]. Food Chemistry, 2019, 275: 361-368.
- [10] XIANG Jin-le, LI Wan-hua, NDOLO V U, et al. A comparative study of the phenolic compounds and in vitro antioxidant capacity of finger millets from different growing regions in Malawi[J]. Journal of Cereal Science, 2019, 87: 143-149.
- [11] 张倩, 肖华西, 杨帆, 等. 酶法及压热—酶法制备大米抗性淀粉的理化性质比较[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(10): 23-28.
- [12] WU Tsung-yen, CHANG Chih-ren, CHANG Tsai-ju, et al. Changes in physicochemical properties of corn starch upon modifications by atmospheric pressure plasma jet[J]. Food Chemistry, 2019, 283: 46-51.
- [13] 张伟, 张焕新, 张海涛, 等. 银杏抗性淀粉的微波-酶法制备及性质研究[J]. 食品工业, 2018, 39(10): 5-10.
- [14] MA Zhen, YIN Xiu-xiu, HU Xin-zhong, et al. Structural characterization of resistant starch isolated from Laird lentils (*Lens culinaris*) seeds subjected to different processing treatments[J]. Food Chemistry, 2018, 263: 163-170.
- [15] 吴桂玲, 李文浩, 刘立品, 等. 脂类和颗粒结合蛋白对小麦 A、B 淀粉理化性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(8): 17-23.
- [16] HUNG P V, VIEN N L, LAN PHI N T. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments (Article) [J]. Food Chemistry, 2016, 191: 67-73.
- [17] 王晓培, 陈正行, 李娟, 等. 湿热处理对大米淀粉理化性质及其米线品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 182-187, 210.
- [18] SHARMA B, GUJRAL H S, SOLAH V. Effect of incorporating finger millet in wheat flour on mixolab behavior, chapatti quality and starch digestibility [J]. Food Chemistry, 2017, 231: 156-164.
- [19] 余世锋, 于淼, 孙天颖, 等. 大米 RS<sub>3</sub> 型抗性淀粉的物化性质研究[J]. 食品科技, 2013(4): 154-159.
- [20] 扶熊, 黄强. 食用变性淀粉[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2016: 278.
- [21] CAI Li-ming, SHI Yong-cheng. Self-assembly of short linear chains to A- and B-type starch spherulites and their enzymatic digestibility[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(45): 10 787-10 797.
- [22] 欧阳梦云, 王燕, 赵传文. RS<sub>3</sub> 型糯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.