

# 奶白花芸豆淀粉颗粒结构及理化特性研究

韩春然, 姚珊珊, 许鑫

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江省高校食品科学与工程重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150076)

**摘要:** 研究奶白花芸豆淀粉的颗粒结构及基本理化性质。结果表明: 奶白花芸豆中直链淀粉含量较高, 为 37.1%; 芸豆淀粉-碘的最大吸收光谱在波长 617nm 附近; 芸豆淀粉颗粒较大的呈现卵形, 颗粒大小分布较均匀。X 射线衍射分析表明, 该芸豆淀粉属于 A 型结晶结构; 芸豆淀粉的粒度均呈光滑单峰型, 分布曲线为正态分布, 高峰出现在 21.12~23.51  $\mu\text{m}$  处。芸豆淀粉颗粒偏光十字极其明显。芸豆淀粉糊凝沉性质表明该淀粉容易老化; 芸豆淀粉糊的透光率在 0~12h 内没有显著变化, 12~24h 内透明度呈显著下降趋势, 24~48h 内没有显著变化。在质量浓度为 2g/100mL 时, 析水率最高, 冻融稳定性最差; 差示扫描量热仪(DSC)分析结果表明, 起始糊化温度为 61.3℃, 2 个糊化峰值温度分别为 73℃和 74.6℃, 糊化结束温度为 83.4℃, 糊化所需焓值为 50.55J/g。淀粉糊质量浓度对其黏度具有显著影响, 4g/100mL 为该芸豆淀粉成糊临界质量浓度。

**关键词:** 奶白花芸豆; 颗粒形貌; 理化特性

## Granule Structure and Physico-chemical Properties of Light Speckled Kidney Bean Starch

HAN Chun-ran, YAO Shan-shan, XU Xin

(Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Food Science and Engineering, College of Food Engineering,  
Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

**Abstract:** The granule structure and basic physico-chemical properties of starch from light speckled kidney bean grown in Heilongjiang province were studied. The amylose content of light speckled kidney bean starch was 37.1%. The starch showed maximum absorbance at 617 nm after complexing with iodine. The starch granules were large and oval in shape and showed an uniform size distribution. The crystal structure of the starch, as indicated by X-ray analysis, belonged to type A. The granularity distribution showed a single smooth peak at 21.12—23.51  $\mu\text{m}$  and was in a normal manner. The birefringence cross of starch granules was very obvious and the starch revealed an obvious retrogradation property. In addition, the transparency of the starch gel had no significant change during 0—12 h and 24—48 h, while a significant change was observed during 12—24 h. The freeze-thaw stability was the weakest at the concentration of 2%. DSC results showed that the original pasting temperature was 61.3 °C and that the pasting peak temperatures were 73 °C and 74.6 °C, respectively. The complete pasting temperature was 83.4 °C and the enthalpy required for complete pasting was 50.55 J/g. The concentration of the starch had a significant effect on viscosity. The critical concentration for the pasting of the starch was 4%.

**Key words:** light speckled kidney bean; granule morphology; physico-chemical properties

中图分类号: TS235.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)03-0063-05

芸豆(*Phaseolus vulgaris*)学名菜豆, 豆科<sup>[1]</sup>。每 100g 芸豆含蛋白质 23.1g、脂肪 1.3g、碳水化合物 56.9g、钙 76mg 及丰富的 B 族维生素<sup>[2]</sup>, 芸豆是我国主要小杂粮之一<sup>[3]</sup>, 芸豆中的主要化学成分是淀粉, 淀粉性质直接决定着芸豆制品的加工特性。豆科植物是淀粉的四大来源之一<sup>[4]</sup>, 目前对豆类淀粉的研究多集中在绿豆、红豆和豌豆, 对芸豆淀粉性质的研究较少, 到目前为止, 仅有红芸豆<sup>[1]</sup>和花芸豆<sup>[5]</sup>两种芸豆淀粉性质的研究报告。奶白花为黑龙江地区主要芸豆品种之一, 种植

面积大, 产量高。本实验对奶白花芸豆淀粉的基本理化性质进行研究, 旨在为开发芸豆淀粉综合利用提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

奶白花芸豆购自黑龙江省农业科学院。

碘、碘化钾、无水乙醇、丙三醇 天津市天新精细化工开发中心。

收稿日期: 2011-07-23

作者简介: 韩春然(1970—), 女, 副教授, 硕士, 研究方向为食品基础原料开发。E-mail: hanchr@hrbcu.edu.cn

## 1.2 仪器与设备

DK-98-1 电控恒温水浴锅 天津泰斯特仪器公司; DHG-9123A 电热恒温鼓风干燥箱 上海一恒科技有限公司; FDM-Z100 浆渣自分离磨浆机 镇江新区天马五金厂; 722 分光光度计 上海精密科学仪器公司; S-3400N 扫描电子显微镜 日本日立公司; BT-9300 型激光粒度分布仪 丹东市百特仪器有限公司; DSC200F3 差示量热扫描仪 美国 PerkinElmer 公司; 质构仪 英国 Stable Micro System 公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 芸豆淀粉的制备

将 100g 芸豆浸泡于 400mL、40℃ 水中, 20h 后用水洗涤, 加 500mL 水两次磨浆后收集豆浆且过 100 目筛, 离心, 取下沉的淀粉, 在沉降的淀粉中加入 100mL 酸浆水后调节 pH 值为 6.0~6.5 用蒸馏水清洗 3 次后静置 5h, 即得粗淀粉<sup>[6]</sup>。用乙醚除脂肪后置真空干燥箱中于 40℃ 烘干过夜, 过 100 目筛, 筛下部分即为芸豆淀粉半成品。取 10g 芸豆淀粉半成品加水 10mL 配制成的淀粉乳, 加入 72mL 乙醇于三角瓶中在 40℃、130r/min 的摇床中振荡 45min 后取出, 离心, 沉淀中加入水洗涤 2~3 次后置真空干燥箱中于 40℃ 烘干过夜, 白色粉末即为芸豆淀粉样品。

### 1.3.2 直链淀粉含量及淀粉-碘复合物蓝值测定

#### 1.3.2.1 直链淀粉含量测定

参考文献[7]绘制直链淀粉标准曲线, 并进行直链淀粉含量的测定。

#### 1.3.2.2 淀粉-碘复合物最大吸收光谱测定

碘储备溶液的配制: 准确称取碘 2.5g、碘化钾 5.0g, 先用少量蒸馏水溶解, 然后用蒸馏水定容至 25mL, 转入棕色试剂瓶中保存, 放置于冰箱中备用。取 1mL 碘储备液, 用水定容至 5mL, 混匀即为碘显色溶液, 限当日使用。

吸取 10mL 蒸馏水, 加入 0.2mL 碘显色液, 用蒸馏水定容至 25mL, 即为碘空白溶液, 待测。精确称取 25mg 的脱脂淀粉样品, 用少量蒸馏水溶解, 加入 0.2mL 碘显色液, 用蒸馏水定容至 25mL, 在 400~800nm 波长范围内对已配制的溶液进行光谱扫描<sup>[8]</sup>。

### 1.3.3 芸豆淀粉颗粒结构研究

#### 1.3.3.1 芸豆淀粉颗粒形态扫描

将已真空干燥过的芸豆淀粉颗粒样品镀金(金 60%, 铂 40%), 然后在扫描电镜(加速电压 20kV)下分别观察放大 500 倍和 1000 倍时芸豆淀粉的颗粒形态。

#### 1.3.3.2 芸豆淀粉 X 射线衍射分析

称取样品 2g, 用无水乙醇洗涤后在 40℃ 干燥 10h, 研磨后用自动 X 射线衍射仪分析。测定条件: 粉末法, 特征射线 Cu K $\alpha$ , 管压 40kV, 电流 30mA, 扫描范围 10~80°, 扫描速度 10°/min<sup>[9-10]</sup>。

#### 1.3.3.3 芸豆淀粉颗粒粒度分析

采用 BT-9300 型粒度分布仪测定芸豆淀粉的粒度分布。称 1.0g 淀粉, 置于带帽试管中, 加入 10mL 乙醇, 用超声波振荡, 使淀粉颗粒分布均匀。使用蒸馏水为分散剂, 遮光度为 17%, 颗粒折射率为 1.53, 颗粒吸收率为 0.01。测定粒径范围: 0.1~340 $\mu$ m。

#### 1.3.3.4 芸豆淀粉颗粒光学性质

以甘油、水按体积比 1:1 配制成溶剂, 将芸豆淀粉配成 2g/100mL 的淀粉乳, 滴于载玻片上在偏光显微镜下于 100 倍观察淀粉颗粒的双折射性质<sup>[11]</sup>。

### 1.3.4 芸豆淀粉基本理化特性研究

#### 1.3.4.1 芸豆淀粉糊凝沉性质

配制 1g/100mL 的芸豆淀粉乳, 沸水浴糊化 20min 后, 冷却至室温, 将淀粉乳倒入 100mL 量筒中, 在室温下分别放置 0、12、24、36、48h 后记录上清液体积。

#### 1.3.4.2 芸豆淀粉糊透明度

芸豆淀粉样品加水配成 1g/100mL 的淀粉乳, 取 50mL 放入烧杯中, 置于沸水浴中加热搅拌 20min, 在 620nm 波长处分别测放置 0、12、24、36、48h 后的透光率, 以蒸馏水作为空白, 设蒸馏水的透光率为 100%<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.4.3 芸豆淀粉糊冻融稳定性

将塑料离心管进行编号并称其质量。分别配制质量浓度为 2、4、6、8、10g/100mL 淀粉乳, 在 100℃ 水浴中糊化 20min 后置于塑料离心管中, 冷却至室温后, 再称取其质量, 并放 -18℃ 冰箱中冷却 20h 后取出, 让其自然解冻 8h, 以 1000  $\times$  g 离心 20min, 倒出上清液后称量沉淀物质量, 计算析水率<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.4.4 芸豆淀粉糊质构分析

将芸豆淀粉配制成质量浓度 10g/100mL 淀粉乳并在 100℃ 的水浴中糊化 20min, 冷却 1h 左右以后以质构仪进行 TPA 测定, 参数为前压速率 4mm/s、测定速率 1mm/s、后压速率 1mm/s, 探头为 P0.5, 高度 10mm<sup>[13]</sup>。

#### 1.3.4.5 芸豆淀粉糊热学性质

精密称取 10mg 淀粉溶于 30mg 去离子水混合并封盖, 样品平衡 1h 后 DSC 分析, 温度扫描范围 30~130℃, 以 10℃/min 的速度扫描样品, 以空白盘为参数对照, 记录起始温度( $t_0$ )、峰值温度( $t_p$ )、终止温度( $t_c$ ), 用流动水冷却至室温<sup>[14-15]</sup>。

#### 1.3.4.6 芸豆淀粉糊质量浓度对黏度的影响

配制质量浓度为 2、4、6、8、10g/100mL 的芸豆淀粉乳, 测定其黏度曲线。设定快速黏度分析仪参数: 采用升温-降温循环: 50℃ 保持 1min; 3.75min 内加热到 95℃; 在 95℃ 保持 2.5min, 在 3.75min 内降到 50℃; 然后在 50℃ 保持 2min。测得淀粉糊黏度曲线, 分析峰

值黏度、谷值黏度、最终黏度、破损值、回生值、出峰时间及成糊温度。

#### 1.4 数据分析

数据采用 SPSS17.0 进行统计分析,数据间的差异性采用单向方差分析(one-way ANOVA)进行多重比较,显著水平设为 0.05。所有实验重复 3 次进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 芸豆淀粉颗粒结构研究

#### 2.1.1 直链淀粉含量测定

植物品种、品种栽培条件及储藏条件的差异,均会导致直链淀粉含量的不同。一般而言,豆类淀粉中直链淀粉含量在 30%~40%<sup>[16]</sup>。本研究测得芸豆淀粉中直链淀粉含量为 37.1%,与陈振家等<sup>[1]</sup>报道的红芸豆淀粉中直链淀粉含量是 36.54% 基本一致。

#### 2.1.2 淀粉-碘复合物最大吸收光谱测定

向芸豆淀粉中加入碘显色液后,经过紫外-可见光谱扫描发现,芸豆淀粉-碘的最大吸收光谱在波长 617nm 附近,与黄智慧等<sup>[5]</sup>报道的花芸豆淀粉-碘最大吸收光谱在波长 620nm 基本一致。碘与淀粉所形成的复合物颜色深浅与分子特性有关,直链淀粉的链越长,越显蓝色,颜色越深。天然淀粉的显色与直链淀粉含量有关,直链淀粉含量较高者蓝色较深。芸豆淀粉的碘复合物吸收光谱如图 1 所示。

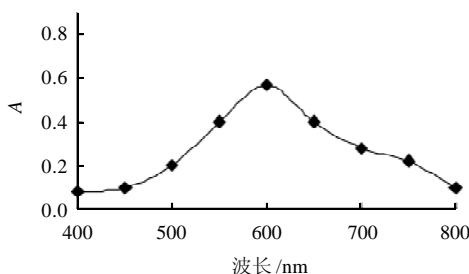
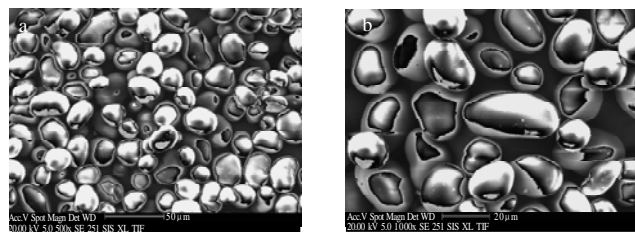


图 1 芸豆淀粉与碘复合物最大吸收光谱图

Fig.1 Maximum absorbance of light speckled kidney bean starch-iodine complex

#### 2.1.3 芸豆淀粉颗粒形态扫描



a.  $\times 500$ ; b.  $\times 1000$ 。

图 2 芸豆淀粉颗粒形态扫描图

Fig.2 Transmission electron microscopic images of light speckled kidney bean starch granules

由图 2 可知,芸豆淀粉颗粒较大的呈现卵形,表层光滑见有受到外力损伤的迹象,颗粒大小分布较均匀。

#### 2.1.4 芸豆淀粉 X 射线衍射分析

淀粉粒由结晶部分和非结晶部分组成,通过 X 射线粉末衍射法分析可获得明显的淀粉结晶图谱。原淀粉颗粒主要产生 A、B、C 3 种不同类型的 X 射线衍射图谱。谷物淀粉大多属于 A 型,根茎和球状根茎类的淀粉大多属于 B 型,而豆类的淀粉大多数属于 C 型<sup>[17]</sup>。衍射图中的峰高(衍射强度)和半峰宽(衍射角)与颗粒内部结晶区的晶粒大小有关,晶粒越大,衍射峰越高,半峰宽越小,背景高度主要来自非结晶区。本实验采用 X 射线衍射法测定芸豆淀粉的结晶结构和分子结构。芸豆淀粉晶体结构的 X 射线衍射图分别如图 3 所示。

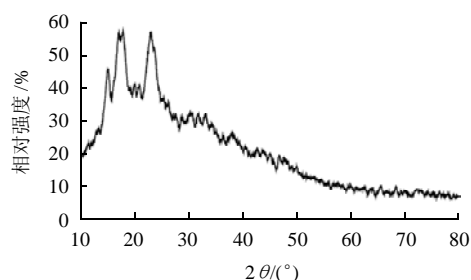


图 3 芸豆淀粉 X 射线谱图

Fig.3 X-ray pattern of light speckled kidney bean starch granules

由图 3 可知,芸豆淀粉在  $2\theta$  角为  $15.26^\circ$ 、 $17.14^\circ$ 、 $18.20^\circ$ 、 $23.10^\circ$  分别有强吸收峰出现,在此衍射角下对应的峰的积分面积分别是 48、62、52、70,可以看出芸豆淀粉属于 A 型结晶结构,这与黄智慧等<sup>[5]</sup>报道的一致。

#### 2.1.5 芸豆淀粉颗粒粒度分析

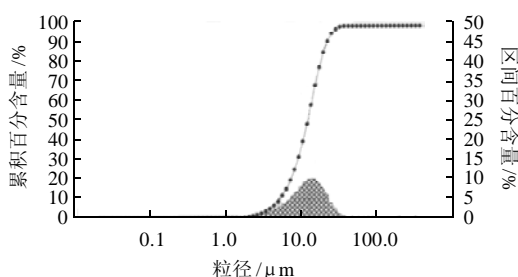


图 4 淀粉颗粒粒度分布扫描图

Fig.4 Granularity distribution curve of light speckled kidney bean starch

由图 4 可知,芸豆淀粉的粒度均呈光滑单峰型,分布曲线为正态分布,高峰出现在  $21.12\sim 23.51\mu\text{m}$  处。淀粉颗粒大小的比表面积、个数平均径、长度平均径、面积平均径、重量平均径见表 1。从淀粉的粒径分布情况看,芸豆淀粉直径处在  $21.12\sim 23.51\mu\text{m}$  的占到 10.14%。

表 1 淀粉粒度分析数据

Table 1 Granularity distribution analysis of light speckled kidney bean starch

淀粉种类	比表面积/ ( $\text{m}^2/\text{kg}$ )	个数平均 径/ $\mu\text{m}$	长度平均 径/ $\mu\text{m}$	面积平均 径/ $\mu\text{m}$	质量平均 径/ $\mu\text{m}$
芸豆淀粉	$442.38 \pm 12.2$	$8.71 \pm 0.23$	$11.97 \pm 0.66$	$15.95 \pm 0.79$	$19.85 \pm 0.88$



## 2.1.6 芸豆淀粉颗粒光学性质

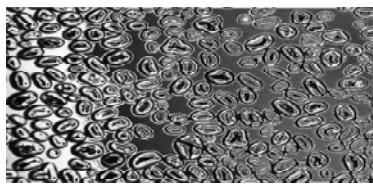


图5 淀粉颗粒马耳他十字扫描图

Fig.5 Maltese cross scanning of light speckled kidney bean starch granules

由图5可知,芸豆淀粉颗粒较大呈现卵形或椭圆形,偏光十字及其明显而且大多数位于颗粒中央,较小颗粒的脐心处呈现“一”字型而较大,颗粒脐心处呈现“X”型或“十”字型或“T”字型。

## 2.2 芸豆淀粉糊化特性研究

## 2.2.1 芸豆淀粉糊凝沉性质

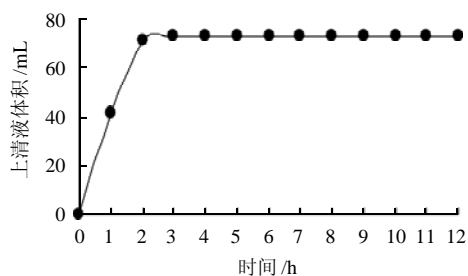


图6 芸豆淀粉在不同时间的凝沉性质变化图

Fig.6 Retrogradation curve of light speckled kidney bean starch

淀粉的凝沉性与淀粉的老化具有相关性,选取淀粉凝沉性作为淀粉老化的考察指标,同时凝沉性又是淀粉糊性能测定的一项重要指标。当水合并分散的淀粉分子重新缔合时就产生胶凝现象,并且含直链淀粉多的淀粉生成凝胶的过程极为迅速,因为主要是直链淀粉聚合发生凝沉作用,即直链淀粉含量越高凝沉性越强越易发生老化。图6表明随着时间的增加,芸豆淀粉糊上清液的高度逐渐增加。在0~2h范围内,芸豆淀粉糊的上清液体积显著( $P < 0.05$ )增加,3~12h芸豆淀粉糊的沉降体积稳定,上清液体积无变化,说明芸豆淀粉较易发生老化,这与其直链淀粉含量测定的实验结果相一致。

## 2.2.2 芸豆淀粉糊透明度

由图7可知,芸豆淀粉透明度随测定时间延长总体呈现缓慢下降的趋势。淀粉糊的透明度与淀粉老化具有相关性,透明度越差的淀粉糊其老化速度越快。芸豆淀粉的透光率在0~12h内没有显著变化,12~24h内透明度呈显著下降趋势( $P < 0.05$ ),24~48h内没有显著( $P < 0.05$ )变化。

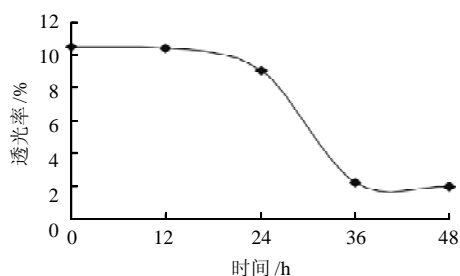


图7 芸豆淀粉在不同时间的透明度变化图

Fig.7 Transparency curve of light speckled kidney bean starch gel

## 2.2.3 芸豆淀粉糊冻融稳定性

淀粉糊的冻融稳定性是反映淀粉冻融后析出水多少的考察指标,在冷冻食品中应用的淀粉要求具有良好的冻融稳定性以确保食品具有良好的质构状态。

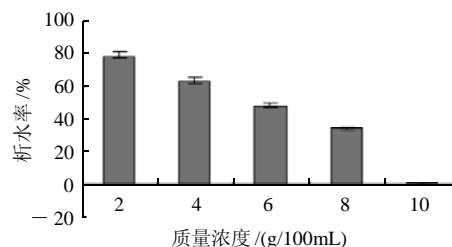


图8 不同质量浓度芸豆淀粉冻融稳定性变化图

Fig.8 Freeze-thaw stability of light speckled kidney bean starch gel with concentration

由图8可知,芸豆淀粉冻融稳定性随质量浓度增加析水率总体呈现显著( $P < 0.05$ )下降的趋势。在质量浓度为2g/100mL时,析水率最高,说明此时淀粉稳定性最差;在质量浓度为4g/100mL和6g/100mL时,芸豆淀粉析水率依然维持较高的水平,说明此时芸豆淀粉的稳定性较差。

## 2.2.4 芸豆淀粉糊质构分析

表2 芸豆淀粉TPA测定结果

Table 2 TPA parameters of light speckled kidney bean starch

淀粉种类	硬度/g	弹性	黏附性/(g·s)	咀嚼性/g	回复性
芸豆淀粉	636.474	0.979	534.358	522.869	0.687

芸豆淀粉糊的TPA测定结果如表2所示。淀粉经过糊化后冷却,淀粉分子重新排列以氢键结合,重新组成混合微晶束。直链淀粉的含量直接决定了淀粉的回复速率。淀粉回生程度越高,淀粉凝胶的硬度越大。

## 2.2.5 芸豆淀粉糊热学性质

淀粉作为一种具有结晶结构和无定形结构的高分子聚合物,也具有玻璃化相变,在相变过程中,其热学性质发生了明显的变化。淀粉糊化时伴随的能量变化在

表4 不同质量浓度芸豆淀粉乳黏度变化( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=3$ )Table 4 Change in viscosity of light speckled kidney bean starch with concentration ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=3$ )

淀粉质量浓度/(g/100mL)	峰黏度/RU	谷黏度/RU	破损值	终黏度/RU	回值	出峰时间/min	成糊温度/℃
2	0	0	0	0	0	0	无明显糊化
4	5.25 ± 0.12 <sup>a</sup>	5.25 ± 0.26 <sup>a</sup>	0	11.33 ± 0.78 <sup>a</sup>	6.08 ± 0.69 <sup>a</sup>	7.00 ± 0.76 <sup>b</sup>	79.88 ± 2.45 <sup>b</sup>
6	31.42 ± 3.34 <sup>b</sup>	31.5 ± 2.31 <sup>b</sup>	-0.08 ± 0.0 <sup>a</sup>	44.42 ± 3.43 <sup>b</sup>	12.92 ± 1.45 <sup>b</sup>	6.93 ± 0.47 <sup>b</sup>	79.08 ± 3.67 <sup>a</sup>
8	112.33 ± 15.67 <sup>c</sup>	99.5 ± 8.12 <sup>c</sup>	12.83 ± 1.03 <sup>b</sup>	156.33 ± 14.45 <sup>c</sup>	56.83 ± 8.24 <sup>c</sup>	5.13 ± 0.41 <sup>ab</sup>	78.9 ± 5.23 <sup>a</sup>
10	265.5 ± 25.98 <sup>d</sup>	206.92 ± 12.2 <sup>d</sup>	58.58 ± 3.45 <sup>c</sup>	441.58 ± 25.96 <sup>d</sup>	234.66 ± 18.87 <sup>d</sup>	4.53 ± 0.88 <sup>a</sup>	77.15 ± 2.85 <sup>a</sup>

注: 数据为3次实验结果的平均值±标准差; 同一列数据肩标字母不同, 具有显著差异( $P < 0.05$ )。

差示扫描量热仪(DSC)图谱上表现为吸热峰通过DSC测定后芸豆淀粉的热力学性质数据如表3所示。

表3 芸豆淀粉热分析数据

Table 3 DSC analysis of light speckled kidney bean starch

淀粉种类	$t_0/^\circ\text{C}$	$t_{p1}/^\circ\text{C}$	$t_{p2}/^\circ\text{C}$	$t_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J/g})$
芸豆淀粉	61.3	73.0	74.6	83.4	50.55

由表3可知, 芸豆淀粉的峰值糊化温度有两个峰值, 其原因可能是: 开始是非晶型的淀粉颗粒首先吸水、膨胀, 出现一个峰值, 而具有晶型结构的淀粉颗粒随着温度的升高, 晶体结构开始熔化, 因而出现第二个峰值。糊化程度高低的影响因素较复杂, 包括颗粒大小、直链淀粉含量、水分、碱、脂类等。

### 2.2.6 芸豆淀粉糊质量浓度对黏度的影响

分别配制成质量浓度为2、4、6、8、10g/100mL芸豆淀粉乳, 测定不同质量浓度的淀粉糊的黏度变化, 结果如表4所示。随着淀粉质量浓度的增加, 峰黏度、谷黏度、终黏度、回值都显著增加( $P < 0.05$ ), 而出峰时间和成糊温度有降低趋势, 淀粉质量浓度越高, 出峰时间越早, 成糊温度越低, 即黏度增加越快。而4g/100mL可视为该芸豆淀粉成糊的一个临界质量浓度。

## 3 结 论

奶白花芸豆中直链淀粉含量较高, 为37.1%; 芸豆淀粉-碘的最大吸收光谱在波长617nm附近; 扫描电镜结果表明, 芸豆淀粉颗粒较大呈现卵形, 表层光滑未见有受到外力损伤的迹象, 颗粒大小分布较均匀。X射线衍射分析表明, 该芸豆淀粉属于A型结晶结构; 芸豆淀粉的粒度均呈光滑单峰型, 分布曲线为正态分布, 高峰出现在21.12~23.51μm处。直径处在21.12~23.51μm的占到10.14%。偏光十字极其明显。芸豆淀粉糊凝沉性质表明该淀粉容易老化, 这与其直链淀粉含量高有关; 芸豆淀粉的透光率在0~12h内没有显著变化, 12~24h内透明度呈显著下降趋势, 24~48h内没有显著变化。在质量浓度为2g/100mL时, 析水率最高, 冻融稳

定性最差; DSC结果表明, 起始糊化温度为61.3℃, 2个糊化峰值温度分别为73℃和74.6℃, 糊化结束温度为83.4℃, 糊化所需焓值为50.55J/g。淀粉糊浓度对其黏度具有显著影响, 4g/100mL为成糊临界质量浓度。

## 参考文献:

- [1] 陈振家, 狄建兵, 李玉娥. 红芸豆淀粉性质研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2009, 29(5): 440-443.
- [2] 王光慈. 食品营养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 232.
- [3] 张根旺, 孙芸. 食用豆类资源的开发利用[J]. 中国商办工业, 2001(1): 48-49.
- [4] 郝晓燕, 麻浩. 豆类淀粉研究综述[J]. 粮油食品科技, 2007, 15(3): 11-14.
- [5] 黄智慧, 黄立新, 吕童. 花芸豆淀粉的性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(8): 35-40.
- [6] 高群玉, 黄立新, 周俊霞. 水磨法提取绿豆淀粉、豌豆淀粉浸泡工艺初探[J]. 郑州粮食学院学报, 1998, 19(4): 54-58.
- [7] McGRANCE S J, CORNELL H J, RIX C J. A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products [J]. Starch, 1998, 50: 158-163.
- [8] 杨光, 丁霄玲. 直链淀粉定量测定方法研究[J]. 食品工业, 2000(4): 40-41.
- [9] JAYAKODY L, HOOVER R, LIU Q, et al. Studies on tuber and root starches. I. Structure and physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka[J]. Food Research International, 2005, 38: 615-629.
- [10] JAYAKODY L, LAN H, HOOVER R, et al. Composition molecular structure and physicochemical properties of starches from two grass pea (*Lathyrus sativus* L.) cultivars grown in Canada[J]. Food Chemistry, 2007, 105: 116-125.
- [11] 高群玉, 黄立新, 张力田. 红豆淀粉性质[J]. 无锡轻工大学学报, 2001, 20(5): 449-452.
- [12] 赵全, 岳晓霞, 张根生, 等. 四种常用淀粉物理性质的比较[J]. 食品科技, 2005(1): 22-24.
- [13] 高卫帅, 张燕萍, 徐海娟. 三种玉米淀粉性质研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(9): 65-68.
- [14] YOO S H, JANE J L. Structural and physical characteristic of waxy and other wheat starch[J]. Carbohydr Polym, 2002, 49: 297-305.
- [15] STEVENSON D G, DOMOTO P A, JANE J L. Structures and functional properties of apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 63: 432-441.
- [16] 赵凯. 淀粉非化学改性技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [17] 叶怀义, 杨素玲, 徐倩. 高压对淀粉粒结晶结构的影响[J]. 中国粮油学报, 2000, 15(6): 24-28.