

不同品种绿豆淀粉微观结构和热力学特性的比较

张令文^{1,2}, 计红芳¹, 白师师¹, 杨铭铎², 马汉军¹, 胡鹏丽¹

(1. 河南科技学院食品学院, 河南新乡 453003)

(2. 哈尔滨商业大学中式快餐研发中心博士后科研基地, 黑龙江哈尔滨 150076)

摘要:以9个品种绿豆的淀粉为研究对象, 利用扫描电镜分析、激光粒度分析、差示扫描量热分析和x-射线衍射分析等现代仪器分析方法, 研究了绿豆淀粉的颗粒形貌、结晶结构和热力学性质。SEM分析表明, 绿豆淀粉颗粒形状有肾形、椭圆形、凸圆形和小球形等, 其颗粒形态在不同品种间没有明显差别。激光粒度分析表明, 绿豆淀粉粒径大小在不同品种间有明显差异, 其粒径范围为18.46~26.81 μm , 粒径总平均值为20.71 μm 。不同品种绿豆淀粉均具有典型的C型衍射图谱, 但其相对结晶度在不同品种间存在明显差别, 相对结晶度范围为16.23%~42.39%。DSC测定结果表明, 绿豆淀粉的胶凝温度(T_0 、 T_p 和 T_c)和热焓值(ΔH)在不同品种间存在较大差异, 且部分品种间差异显著($p < 0.05$); T_0 、 T_p 、 T_c 和 ΔH 范围分别为: 51.02~63.03 $^{\circ}\text{C}$, 64.81~73.04 $^{\circ}\text{C}$, 70.04~79.44 $^{\circ}\text{C}$ 和1.09~1.97 J/g。

关键词: 绿豆; 淀粉; 颗粒形貌; 结晶度; 热力学特性; 品种

文章编号: 1673-9078(2015)7-80-85

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.014

Comparison of Microstructure and Thermal Properties of Starch from Nine Mung Bean Cultivars

ZHANG Ling-wen^{1,2}, JI Hong-fang¹, BAI Shi-shi¹, YANG Ming-duo², MA Han-jun¹, HU Peng-li¹

(1.School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China) (2.Postdoctoral Research Base of The Chinese Fast Food Research and Development Center, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China)

Abstract: Starch was extracted from nine different mung bean cultivars and their morphological characteristics, crystal structure, and thermal properties were studied by scanning electron microscopy (SEM), laser particle-size analysis, differential scanning calorimetry (DSC), and X-ray diffractometry (XRD). SEM results showed that the mung bean starch particles were kidney-shaped, elliptical, dome-shaped, and small spherical, with no significant morphological differences between different cultivars. Laser particle-size analysis indicated significant differences in the size of starch granules between different cultivars, varying from 18.46 to 26.81 μm , with an average of 20.71 μm . Starch extracted from all nine cultivars had a typical C-type X-ray diffraction pattern, but their relative crystallinity was significantly different, lying between 16.23% and 42.39%. DSC analysis demonstrated that gelation temperatures (T_0 , T_p , and T_c) and enthalpy (ΔH) varied greatly, ranging from 51.02 $^{\circ}\text{C}$ to 63.03 $^{\circ}\text{C}$, 64.81 $^{\circ}\text{C}$ to 73.04 $^{\circ}\text{C}$, 70.04 $^{\circ}\text{C}$ to 79.44 $^{\circ}\text{C}$, and 1.09 to 1.97 J/g, respectively, where the differences were statistically significant ($p < 0.05$) among some cultivars.

Key words: mung bean; starch; granule morphology; crystallinity; thermal properties; cultivars

绿豆 (*Phaseolus radiatus* L.), 别名植豆、青小豆、吉豆, 在我国已有两千多年的栽培历史, 被广泛种植在黄河、淮河流域及东北地区。其中, 吉林、安

收稿日期: 2015-01-27

基金项目: 河南省科技厅科技攻关项目(142102110040); 河南省高校科技创新团队支持计划项目(131RTSTHN006); 黑龙江省青年科学基金项目(QC2011C093); 国家级大学生创新训练计划项目(201310467039); 河南省高等学校重点科研项目(15A550014)

作者简介: 张令文(1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为传统食品技术机理

通讯作者: 杨铭铎(1956-), 男, 教授, 研究方向为传统食品工业化及技术

徽、河南、山西、内蒙古、黑龙江等省(区)种植较多, 辽宁、江苏、湖北、河北等地区种植面积也较大。我国绿豆的产量和出口量均居世界首位^[1]。绿豆作为我国药食两用的植物之一, 具有抗氧化、抗菌、抗炎、抗内毒素、益生作用等多种生理功能, 享有“食中佳品, 济世长谷”的美称^[2-4]。绿豆的营养价值及药用功能被人们广泛认可, 其制品的市场需求每年以270%的速度递增^[5]。然而, 不同品种的绿豆在生产加工时常被混合使用, 这不仅有害优良品种的绿豆被充分利用, 一定程度上也造成了绿豆原料的极大浪费。尽管国内外学者在绿豆的营养成分、生理功能、农艺性状及其

改良等方面开展了大量的研究工作^[6-8],但对不同品种绿豆的加工特性进行的系统研究鲜见文献报道。

绿豆籽粒的最主要成分是淀粉,其淀粉作为一种天然淀粉,具有直链淀粉含量高、结晶度高、易成型、溶胀度小、热糊黏度稳定等理化性质^[8-10]。研究表明,不同品种的绿豆淀粉含量和组成差异较大,这导致了不同品种绿豆的糊化特性和加工性能的差异性显著^[7-8]。目前国内外学者在不同品种绿豆淀粉的加工特性、品种间的结构与功能特性的相关性研究方面开展的工作较少;在分子水平上对绿豆淀粉颗粒的结构进行解析的研究尚不够深入。

本文以我国中部地区广泛种植的9个绿豆栽培品种为研究对象,对绿豆淀粉的颗粒形貌,相对结晶度和热力学特性等进行了研究,旨在为绿豆品质特性分析和加工适宜性研究提供一定的理论依据和技术资料,为具体应用领域绿豆淀粉的选择和绿豆品质育种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

绿珍珠2号、毛绿豆、极早熟1号、潍绿4号、南绿2号、中绿1号等6个绿豆栽培品种,购于驻马店市蔬菜种子繁育基地,安绿072号、安绿092号、安绿8号等3个绿豆栽培品种,由安阳市农业科学院提供;其他试剂,均为国产分析纯。

1.2 主要仪器设备

101-2A 电热鼓风干燥箱,天津市通利信达仪器厂;BSA124S 电子天平,赛多利斯科学仪器有限公司;LS13 320 激光粒度分析仪,美国 Surplus Lab Inc.;Quanta 200 型扫描电镜,美国 FEI 公司;D8 Advance X-射线衍射仪,德国 Bruker 公司;STA449C 示差扫描量热仪,德国 NETZSCH 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 绿豆淀粉的制备

采用 Liu & Shen 的方法并稍作修改^[9]。提取步骤简述如下:

绿豆→除杂,清洗→去离子水(1:3, m/V) 30 °C 浸泡 18h→30 倍去离子水磨浆→过 100 目筛→滤液静置 2h, 去上清液→去离子水重悬浮沉淀(1:8, m/V)→离心(4000 r/min, 15 min)→收集沉淀→去离子水继续重悬浮沉淀(1:8, m/V)→离心(4000 r/min, 15 min)→收集沉淀→40 °C 干燥→粉碎→过 100 目筛,筛下物即为绿豆淀粉

1.3.2 颗粒形态观察

采用 Quanta 200 型扫描电镜进行颗粒形貌观察。把双面胶固定在样品台上,取稍许淀粉均匀地洒在双面胶上,然后喷金处理。将样品保存于干燥器中,经短暂干燥后,在 15 kV 操作电压下观察淀粉的形态,并拍摄代表性的淀粉颗粒形貌照片。

1.3.3 粒度测定

采用 LS13 320 激光粒度分析仪进行测定。准确称取 0.02 绿豆淀粉,加入 2 mL 去离子水,配置成均匀的淀粉混悬液后迅速转移至激光粒度分析仪样品池中进行测定。由仪器专用软件记录实验数据,并由软件自动分析得出平均粒度等主要参数。参数设置:样品粒度测定范围 0.375~2000 μm , 样品形状 irregular, 水的折射率为 1.33, 样品折射率为 1.81。

1.3.4 结晶结构测定

采用德国 Bruker 公司 X-射线衍射仪(XRD)进行测定。测定条件:测试电压 40 kV, 测试电流 40 mA, 扫描速率为 3 °/min, 扫描 2 θ 范围为 4~70 °, 步长为 0.02。相对结晶度采用 Cheetham & Tao 的方法进行计算^[11]。

1.3.5 热力学特性测定

采用 STA449C 差示扫描量热仪进行测定。准确称取 2.5 mg 淀粉样品(干基)加入到铝制密封坩埚中,放入 25 μL 去离子水在密封磨具中用其配套铝盖密封后,室温平衡 12 h。升温起始温度为 25 °C, 终止温度为 125 °C, 升温速率为 5 °C/min, 记录升温过程的 DSC 曲线。保护气为氮气, 流速为 60 mL/min。每个样品平行 3 次, 取平均值。同时记录胶凝起始温度(T_o)、峰值温度(T_p)、终止温度(T_c)和焓变(ΔH)。

1.3.6 数据处理

采用 Excel 计算整理数据, SPSS 13.0 进行统计分析, 差异显著性分析采用 LSD 检验法, 数据结果以平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与讨论

2.1 不同品种绿豆淀粉的颗粒形貌与粒径大小

小

在颗粒形态上,绿豆淀粉在不同品种间没有明显差别(图 1)。绿豆淀粉颗粒形状有肾形、椭圆形、凸圆形和小球形等,其中较大颗粒呈肾形,较小颗粒呈球形。淀粉颗粒大小差异明显(图 1)。上述结果与文献报道一致^[10,12]。淀粉颗粒的形态主要受植物来源、生长环境因子、成熟度等因素的影响。

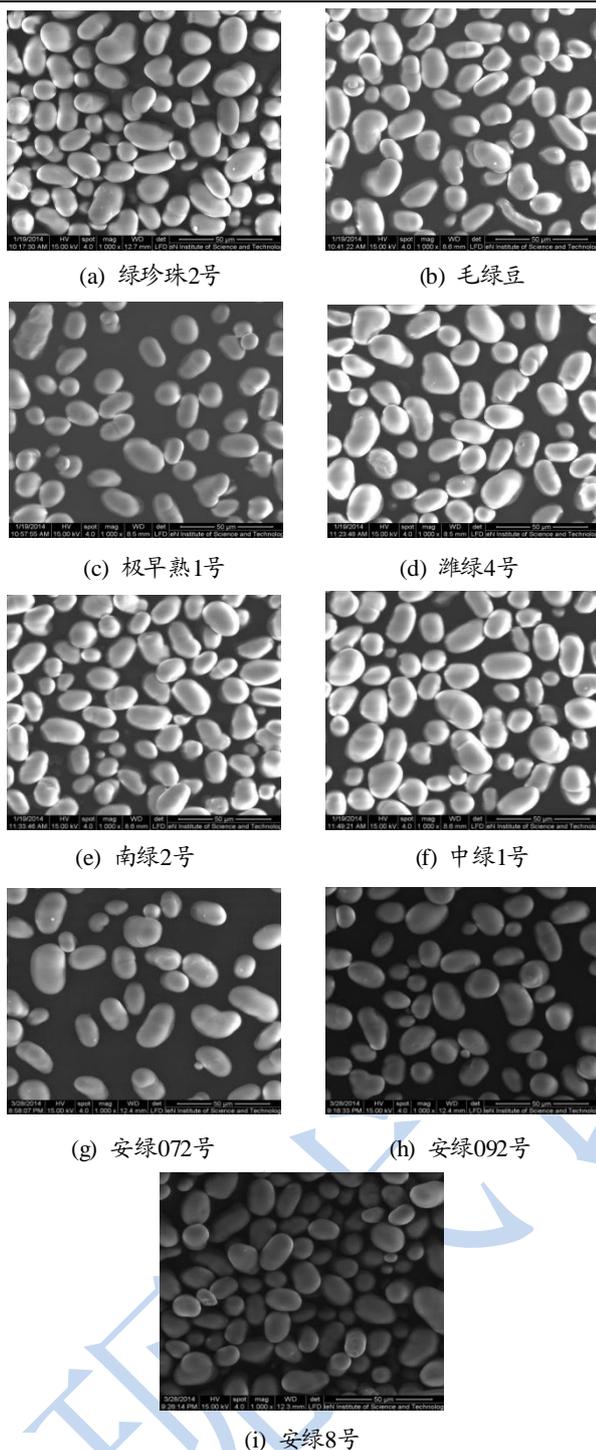


图1 不同品种绿豆淀粉的扫描电镜图

Fig.1 SEM of starch from different mung bean cultivars

不同品种绿豆淀粉的颗粒大小分布趋势略有差异(图2)。供试品种的绿豆淀粉平均粒径如表1所示。南绿2号具有最大的平均粒径,其值为26.81 μm;其次是潍绿4号;安绿072号和安绿092号的平均粒径具有较大的平均粒径,其值均大于20 μm;中绿1号、绿珍珠2号和毛绿豆的平均粒径较小;极早熟1号的平均粒径最小,其值仅为18.46 μm。所测试的9个品种的绿豆淀粉粒径分布范围为18.46~26.81 μm,

粒径总平均值为20.71 μm,这一结果与Liu & Shen所报道的结果(20.28±0.64 μm)类似^[9]。

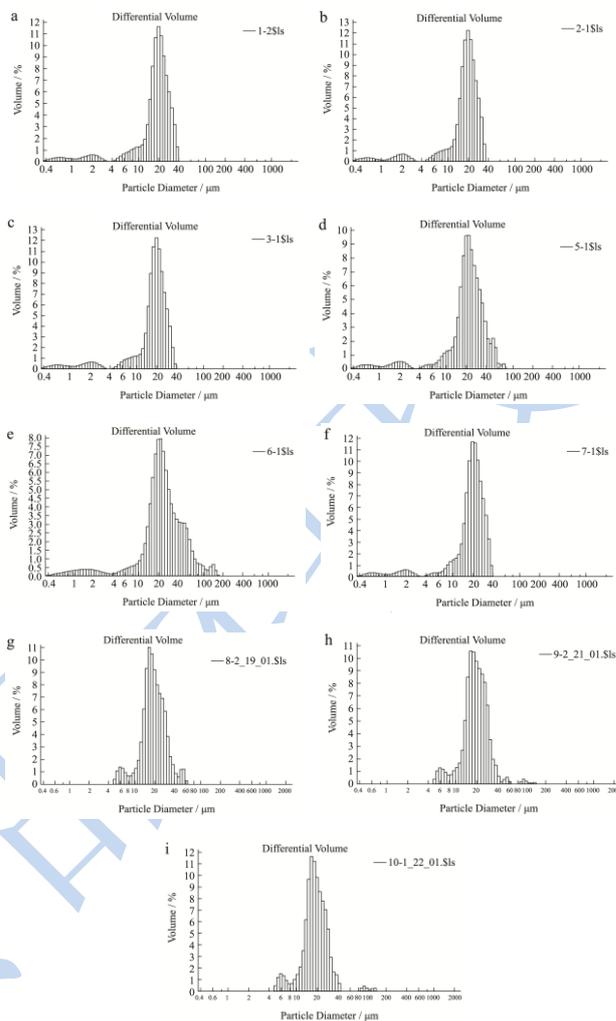


图2 不同品种绿豆淀粉的颗粒大小分布

Fig.2 Granule size distribution curves of starch from different mung bean cultivars

注: a: 绿珍珠2号, b: 毛绿豆; c: 极早熟1号, d: 潍绿4号; e: 南绿2, f: 中绿1号, g: 安绿072, h: 安绿092, i: 安绿8号。

本研究结果显示,绿豆品种不同,其淀粉颗粒大小有较明显差异(表1)。Champagne^[13]、赵思明等^[14]研究了稻米淀粉的粒径大小,结果表明,稻米品种不同其淀粉颗粒大小差异明显。一般来说,粳米淀粉粒径最小,籼米淀粉粒径较大,糯米淀粉粒径最大。梁丽松等对板栗淀粉的形态结构和粒径大小的研究时发现,板栗淀粉粒径在2~40 μm之间,大部分颗粒在5~20 μm之间,品种群之间存在明显差异^[15]。因此,人们可以根据具体领域的应用需要,选择平均粒径大或平均粒径小的淀粉品种。

表 1 不同品种绿豆淀粉的颗粒大小

Table 1 Granule size of starch from different mung bean cultivars

绿豆品种	平均粒径/ μm	中位粒径/ μm	d_{10}	d_{90}
绿珍珠 2 号	19.05±0.09 ^f	19.46±0.03 ^c	7.14±0.03 ^h	29.34±0.04 ^f
毛绿豆	18.67±0.03 ^e	19.22±0.08 ^f	7.28±0.02 ^e	28.24±0.03 ^h
极早熟 1 号	18.46±0.04 ^h	19.04±0.02 ^g	6.92±0.04 ⁱ	27.99±0.04 ⁱ
潍绿 4 号	22.76±0.08 ^b	21.56±0.07 ^b	8.85±0.06 ^e	37.26±0.06 ^b
南绿 2 号	26.81±0.06 ^a	22.20±0.09 ^a	9.62±0.13 ^c	49.70±0.05 ^a
中绿 1 号	19.64±0.04 ^c	20.20±0.05 ^c	8.26±0.09 ^f	29.41±0.05 ^f
安绿 072 号	20.44±0.05 ^c	18.64±0.11 ^h	11.48±0.04 ^a	30.9±0.05 ^d
安绿 092 号	20.77±0.12 ^c	19.22±0.05 ^f	11.45±0.06 ^a	29.97±0.03 ^c
安绿 8 号	19.85±0.06 ^d	18.33±0.13 ⁱ	11.2±0.07 ^b	28.9±0.03 ^e
平均值	20.71	19.76	9.13	32.41

注：同列间相比，有相同字母者差异不显著 ($p>0.05$)，反之差异显著 ($p<0.05$)；表 3 同此。

2.2 不同品种绿豆淀粉的 X-射线衍射图谱及相对结晶度

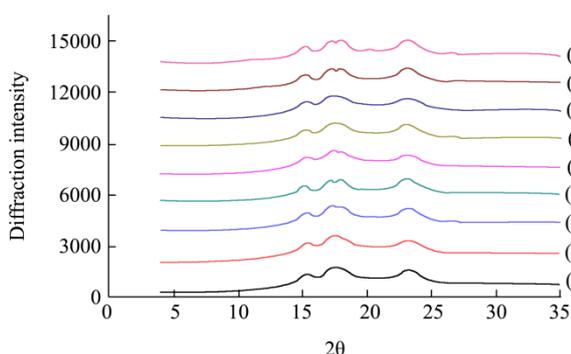


图 3 不同品种绿豆淀粉的 X-射线衍射图谱

Fig.3 XRD patterns of starch from different mung bean cultivars

注：(a)绿珍珠 2 号；(b)毛绿豆；(c)极早熟 1 号；(d)安绿 072 号；(e)潍绿 4 号；(f)南绿 2 号；(g)中绿 1 号；(h)安绿 092 号；(i)安绿 8 号。

X-射线衍射技术可以用来揭示淀粉颗粒中结晶结构的存在及其特征^[11]。根据 X-射线衍射图谱的不同，研究者将淀粉分为三种主要结晶类型即 A 型、B 型和 C 型。A 型淀粉主要源自谷物，在 15°、17°、18° 和 23° 等 2θ 角附近处有较强的衍射峰；B 型淀粉主要源自块茎和高直链淀粉的植物，在 17° 附近有强衍射峰，另外在 20°、22° 和 24° 2θ 角附近有较强的衍射峰；C 型淀粉主要源自豆类，根类和一些水果类植物^[9]。与 A 型衍射图谱相比，C 型在 5.6° 处出现有衍射峰；与 B 型衍射图谱相比，C 型在 23° 处只有一个衍射峰。9 种不同品种绿豆淀粉的 X-射线衍射图谱如图 3 所示。

不同品种绿豆淀粉的 X-射线衍射图谱峰型无显著差异，均具有典型的 C-型淀粉衍射图谱，均在 2θ 为 15.36°、17.30°、23.10° 附近出现了强衍射峰，其中在 23.10° 附近处是一个较强的衍射单峰，只是品种不同衍射强度及位置略有差异。这一结果与 Li et al.^[16]，Chang et al.^[17] 和 Hoover et al.^[18] 的研究结果一致；但与 Liu & Shen^[9] 报道的结果不同，这些学者研究所测试的绿豆淀粉属于 A 型淀粉。

表 2 不同品种绿豆淀粉的热力学性质及相对结晶度

Table 2 Thermal properties and relative crystallinity of starch from different mung bean cultivars

绿豆品种	$T_o/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J/g})$	相对结晶度/%
绿珍珠 2 号	58.30±0.12 ^c	70.33±0.09 ^b	75.92±0.04 ^d	1.58±0.03 ^c	18.85
毛绿豆	51.02±0.04 ⁱ	65.04±0.05 ^f	71.22±0.03 ^e	1.09±0.01 ^f	18.08
极早熟 1 号	59.81±0.07 ^d	69.51±0.08 ^c	73.10±0.06 ^e	1.96±0.01 ^a	16.23
潍绿 4 号	55.62±0.14 ^f	65.83±0.08 ^d	78.14±0.09 ^e	1.97±0.02 ^a	26.34
南绿 2 号	55.00±0.07 ^h	65.41±0.07 ^c	71.52±0.00 ^f	1.78±0.02 ^b	36.11
中绿 1 号	55.22±0.06 ^g	64.81±0.04 ^e	70.04±0.03 ^h	1.80±0.01 ^b	22.94
安绿 072 号	63.03±0.24 ^a	73.01±0.22 ^a	79.44±0.03 ^a	1.46±0.01 ^d	27.55
安绿 092 号	62.31±0.18 ^b	73.04±0.13 ^a	79.03±0.13 ^b	1.38±0.01 ^e	42.39
安绿 8 号	61.90±0.09 ^c	72.82±0.11 ^a	78.90±0.07 ^b	1.35±0.02 ^e	30.44

绿豆淀粉的相对结晶度在不同品种间存在明显差别(见表2)。9个品种绿豆淀粉的相对结晶度在16.23%~42.39%之间,极早熟1号绿豆淀粉具有最低的相对结晶度,毛绿豆和绿珍珠2号具有较低的相对结晶度,安绿8号和南绿2号具有较高的相对结晶度,安绿092号绿豆淀粉具有最高的相对结晶度。本研究测定的绿豆淀粉结晶度数据与Li et al.^[16]报道的结果稍有差异。淀粉的相对结晶度除与植物来源有关外,淀粉的水分含量、分析测试手段和结晶度计算方法等均会影响淀粉的结晶度。

2.3 不同品种绿豆淀粉的热力学性质

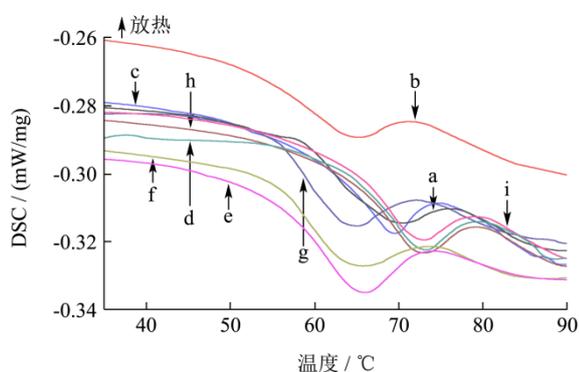


图4 不同品种绿豆淀粉的热力学曲线

Fig.4 DSC patterns of starch from different mung bean cultivars

注: a 绿珍珠2号; b 毛绿豆; c 极早熟1号; d 安绿072号; e 淮绿4号; f 南绿2号; g 中绿1号; h 安绿092号; i 安绿8号。

不同品种绿豆淀粉的热力学参数见表2,代表性的热力学曲线见图4。绿豆淀粉的胶凝温度(T_o 、 T_p 和 T_c)和热焓值(ΔH)在不同品种间存在较大差异,且部分品种之间存在显著差异($p < 0.05$)。供试9个品种绿豆淀粉胶凝起始温度、峰值和最终糊化温度、热焓分布分别为:51.02~63.03 °C, 64.81~73.04 °C, 70.04~79.44 °C和1.09~1.97 J/g。毛绿豆淀粉具有最低的胶凝起始温度($p < 0.05$),而安绿072号具有最高的胶凝起始温度($p < 0.05$);中绿1号淀粉具有最低的胶凝峰值温度($p < 0.05$),安绿092号淀粉具有最高的胶凝峰值温度;毛绿豆具有最低的胶凝焓变($p < 0.05$),而淮绿4号的焓变值最大。淀粉的糊化温度和焓值可以反映其微晶结构及结晶程度;淀粉的糊化温度越高,表明其晶体结构越完整,结晶结构越不易被破坏^[19]。热力学特性受直链淀粉的含量,直链淀粉与支链淀粉的比例、淀粉颗粒内部结晶状况等因素的影响。淀粉的胶凝温度和胶凝焓变不同,导致其对酸水解、酶水解及化学处理的敏感性不同。因此,

可根据淀粉的热力学性质指导具体应用领域的淀粉原料选择。

3 结论

3.1 不同品种绿豆淀粉在颗粒形貌和 X-射线衍射图谱峰型上无明显差别。

较大的绿豆淀粉颗粒呈肾形,较小颗粒呈球形;绿豆淀粉均具有典型的C-型淀粉衍射图谱,均在20为15.36°、17.30°、23.10°附近出现强衍射峰。

3.2 不同品种绿豆淀粉在粒径大小,结晶度和热力学特性方面存在明显差异。

南绿2号具有最大的平均粒径(26.81 μm),极早熟1号的平均粒径最小(仅为18.46 μm);极早熟1号具有最低的相对结晶度(16.23%),安绿092号具有最高的相对结晶度(42.39);毛绿豆淀粉具有最低的胶凝起始温度(51.02 °C)、安绿072号具有最高的胶凝起始温度(63.03 °C),中绿1号淀粉具有最低的胶凝峰值温度(64.81 °C)、安绿092号淀粉具有最高的胶凝峰值温度(73.04 °C),毛绿豆具有最低的胶凝焓变(1.09 J/g)、而淮绿4号的焓变值最大(1.97 J/g)。

3.3 不同性质的绿豆淀粉可以满足不同的加工需求。

人们可根据具体领域的应用需要,选择不同品种的绿豆淀粉。

参考文献

- [1] 曾志红,王强,林伟静,等.绿豆的品质特性及加工利用研究概况[J].作物杂志,2011,4:16-19
ZENG Zhi-hong, WANG Qiang, LIN Wei-jing, et al. Quality Characteristics and Utilization of Mung Bean [J]. Crops, 2011, 4: 16-19
- [2] Zhang X, Fang P, Shang Q, et al. Chemical composition and antioxidative and anti-inflammatory properties of ten commercial mung bean samples [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 54(1): 171-178
- [3] Zhong K, Lin W, Wang Q, et al. Extraction and radicals scavenging activity of polysaccharides with microwave extraction from mung bean hulls [J]. International Journal of

- Biological Macromolecules, 2012, 51(4): 612-617
- [4] Lai F, Wen Q, Li L, et al. Antioxidant activities of water-soluble polysaccharide extracted from mung bean (*Vigna radiate* L.) hull with ultrasonic assisted treatment [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(2): 323-329
- [5] 纪花,陈锦屏,卢大新.绿豆的营养价值及综合利用[J].现代生物医学进展,2006,6(10):143-145
JI Hua, CHEN Jin-ping, LU Da-xin. Nutritional Value and Comprehensive Utilization of Mung Beans [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2006, 6(10): 143-145
- [6] 朱志华,李为喜,张晓芳,等.食用豆类种质资源粗蛋白及粗淀粉含量的评价[J].植物遗传资源学报,2005,6(4):427-430
ZHU Zhi-hua, LI Wei-xi, ZHANG Xiao-fang, et al. Evaluation of Protein and Starch Content in Food Legumes Germplasm [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2005, 6(4): 427-430
- [7] 金彦刚,韩璞,张纪元,等.不同绿豆品种籽粒淀粉含量变化研究[J].安徽农学通报,2013,19(3):40-41,108
JIN Yan-gang, HAN Pu, ZHANG Ji-yuan, et al. The Research of Mung Bean Starch Content Variation in Different Regions [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2013, 19(3): 40-41, 108
- [8] 李文浩,谭斌,刘宏,等.我国 9 个品种绿豆淀粉的理化特性研究[J].中国食品学报,2013,13(4):58-64
LI Wen-hao, TAN Bin, LIU Hong, et al. Physicochemical Properties of Starches Separated from Nine Mung Bean Varieties Grown in China [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(4): 58-64
- [9] Liu W, Shen Q. Studies on the physicochemical properties of mung bean starch from sour liquid processing and centrifugation [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79: 358-363
- [10] Li S, Ward R, Gao Q. Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiatus*) starch [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25: 1702-1709
- [11] Cheetham N W H, Tao L P. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study [J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 36: 277-284
- [12] 王绍清,王琳琳,范文浩,等.扫描电镜法分析常见可食用淀粉颗粒的超微形貌[J].食品科学,2011,32(15):74-79
WANG Shao-qing, WANG Lin-lin, Fan Wen-hao., et al. Morphological Analysis of Common Edible Starch Granules by Scanning Electron Microscopy [J]. Food Science, 2011, 32(15): 74-79
- [13] Champagne E T. Rice starch composition and characteristics [J]. Cereal Foods World, 1996, 41(11): 833
- [14] 赵思明,熊善柏,张声华.稻米淀粉的理化特性研究 I. 不同类型稻米淀粉的理化特性[J].中国粮油学报,2002,17(6):39-42
ZHAO Si-ming, XIONG Shan-bai, ZHANG Sheng-hua. Physicochemical Properties of Rice Starch from Different Rice Categories [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2002, 17 (6): 39-42
- [15] 梁丽松,徐娟,王贵禧,等.板栗淀粉糊化特性与淀粉粒粒径及直链淀粉含量的关系[J].中国农业科学,2009,42(1):251-260
LIANG Li-song, XU Juan, WANG Gui-xi, et al. Relationship Between Starch Pasting, Amylose Content and Starch Granule Size in Different Chinese Chestnut Variety Groups [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(1): 251-260
- [16] Li W, Zhang F, Liu P, et al. Effect of high hydrostatic pressure on physicochemical, thermal and morphological properties of mung bean (*Vigna radiata* L.) starch [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 103: 388-393
- [17] Chang Y H, Lin C L, Chen J C. Characteristics of mung bean starch isolated by using lactic acid fermentation solution as the steeping liquor [J]. Food Chemistry, 2006, 99: 794-802
- [18] Hoover R, Li Y X, Hynes G, et al. Physicochemical characterization of mung bean starch [J]. Food Hydrocolloids, 1997, 11(4): 401-408
- [19] Tester R F, Morrison W R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effect of amylopectin, amylose and lipids [J]. Cereal Chemistry, 1990, 67: 551-557