

不同品种绿豆淀粉的功能特性比较研究

张令文^{1,2}, 计红芳¹, 白师师¹, 杨铭铎², 马汉军¹, 江萍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个品种绿豆淀粉为研究对象,研究了绿豆淀粉的化学组成及糊化特性、溶解度、膨胀度和冻融稳定性等功能特性,并分析了直链淀粉含量与功能特性的相关性。结果表明,不同品种绿豆淀粉直链淀粉含量不同,其分布范围为33.10%~44.08%;不同品种淀粉糊化特性参数间有明显差异;潍绿4号和中绿1号绿豆淀粉峰值粘度显著高于其他品种($p < 0.05$),安绿8号具有最低破减值($p < 0.05$),毛绿豆和安绿092具有较低的回生值。绿豆淀粉的溶解度和膨胀度与温度有关,均随温度的增加而增大。不同品种绿豆淀粉糊经一次冻融后析水率均较高,随冻融循环次数的增加,析水率均逐渐增大。相关性分析表明,直链淀粉含量与淀粉糊的最终粘度和回生值之间存在显著正相关($r=0.674$, $r=0.725$; $p < 0.05$),与膨胀度之间具有极显著负相关关系($r=-0.805$, $p < 0.01$)。

关键词: 绿豆; 淀粉; 功能特性; 相关性

文章编号: 1673-9078(2015)6-84-90

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.014

Functional 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, JIANG Ping¹

(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: The chemical composition, pasting properties, solubility, swelling power, and freeze-thaw stability of starch from nine mung bean cultivars was investigated. Correlation between amylose content and functional properties was also analyzed. The results showed that the amylose content of samples tested were different among cultivars, which ranged from 33.10% to 44.08%. The pasting properties of starch from different mung bean cultivars varied significantly; the peak viscosity of starch from Weilv No.4 and Zhonglv No. 1 was significantly higher than that of the other cultivars ($p < 0.05$), the breakdown of Anlv No. 8 was the lowest ($p < 0.05$), and the retrogradation of Maolvdou and Anlv No.092 were significantly lower. The solubility and swelling power of starches increased with an increase in temperature. The syneresis of starch gel was significantly higher after one freeze-thaw cycle and increased with additional cycles. Correlation analysis indicated that amylose content positively correlated with final viscosity and retrogradation ($r=0.674$ and $r=0.725$, respectively; $p < 0.05$), and significantly negatively correlated with swelling power ($r = -0.805$, $p < 0.01$).

Key words: mung bean; starch; functional properties; correlation

绿豆 (*Phaseolus radiatus* L.) 在我国已有两千多年的栽培历史, 种植范围广, 品种达数千种。绿豆作为我国人民喜爱的食用豆之一, 除含有碳水化合物、蛋白质、维生素和多种矿物质等营养成分外, 还具有

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(13IRTSTHN006); 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, 博士生导师, 研究方向为传统食品工业化及技术

抗氧化、抗菌、抗内毒素、抗炎和益生作用等多种生物活性^[1-3]。

绿豆具有很好的加工适应性, 可作为绿豆粉丝、绿豆皮、绿豆凉粉等传统食品加工的主料, 也可作为油炸食品、低脂灌肠制品和膨化食品的配料。绿豆被广泛应用于食品加工中, 与其含有的重要成分-淀粉的独特糊化性质、溶解度、膨胀度和冻融稳定性等功能特性有关。绿豆淀粉的功能特性引起了国内外学者的广泛关注。与马铃薯和玉米淀粉相比, 绿豆淀粉的溶解度低于马铃薯淀粉, 高于玉米淀粉; 78℃以上, 绿豆淀粉的膨胀度高于玉米淀粉^[4]。与菱角淀粉相比, 当温度低于70℃时, 绿豆淀粉的溶解度大于菱角淀粉; 当温度高于80℃后, 绿豆淀粉的溶解度低于菱角

淀粉;当温度高于 85 °C 后,绿豆淀粉的膨胀度与菱角淀粉相近^[5]。与芸豆淀粉相比,绿豆淀粉的膨润力、溶解度开始上升的温度较芸豆淀粉的早,并且在任意相同温度下都略高于芸豆淀粉^[6]。与鹰嘴豆、饭豆淀粉相比,绿豆淀粉的膨胀度和溶解度均高于同温下的鹰嘴豆和饭豆淀粉^[7]。绿豆淀粉的透光度高于小白芸豆、麻豌豆和玉米淀粉,低于马铃薯淀粉^[5]。与小麦淀粉糊、玉米淀粉糊、豌豆淀粉糊和山芋淀粉糊相比,绿豆淀粉糊制作的油炸食品口感酥脆度最好、食品外壳表面光洁度最优^[8]。尽管国内外学者在绿豆淀粉的提取分离和理化性质等方面开展了大量的研究工作^[9-10],但对不同品种绿豆淀粉功能性质进行的系统研究鲜见文献报道,这不利于充分利用优良的绿豆品种,一定程度上也造成了绿豆原料的浪费。

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,对绿豆淀粉的直链淀粉含量及糊化性质、热力学性质、溶解度、膨胀度、冻融稳定性等功能特性进行了系统研究,同时还分析了直链淀粉含量、功能特性间的相关性,旨在为绿豆淀粉的精深加工和品质控制提供理论依据和技术支持。

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、淮绿 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;马铃薯直链淀粉,分析纯 Sigma,马铃薯支链淀粉分析纯 Fluka,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,天津市通力信达仪器厂;BSA124S 电子天平,赛多利斯科学仪器有限公司;DL-5-8 离心机,上海安亭科学仪器厂;HH-4 数显恒温水浴锅,金坛市城东光芒仪器厂;KQ-200VDV 超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司;Lambda 35 紫外/可见分光光度计,美国珀金埃尔默公司;Super 3 快速粘度分析仪,澳大利亚新港科技公司。

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 18

h→30 倍去离子水磨浆→过 100 目筛→滤液静置 2 h,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 绿豆淀粉化学成分的测定

水分测定:采用 AACC 推荐的方法 44-15A^[11]。灰分测定:采用 GB/T 5009.4 2003 的方法。蛋白质含量:根据 AACC 推荐的方法 46-12A^[11]进行测定,蛋白质换算系数为 6.25。总淀粉含量测定:采用 GB/T 20378-2006 的方法。直链淀粉含量测定:采用 AACC 推荐的方法 61-03^[11]。

1.3.3 绿豆淀粉的糊化特性测定

采用 Super 3 快速粘度分析仪(RVA)按照 Angioloni & Collar^[12]的方法进行测定。准确称取 2.0 g 淀粉样品(湿基,14%水分)与 25 mL 去离子水混合于 RVA 专用铝盒内,测定程序为:搅拌桨在 1 min 内转速由 960 r/min 降至 160 r/min 并稳定;从 50 °C 开始升温,升温速率 6 °C/min,在 95 °C 保持 5 min;接着以 6 °C/min 降至 50 °C,在 50 °C 保持 2 min。记录峰值粘度(Peak viscosity, PV)、破损值(Breakdown, BD)、峰谷粘度(Trough viscosity, TV)、最终粘度(Final viscosity, FV)、回生值(Setback, SB)、糊化温度(Pasting temperature, GT)、峰值时间(Peak time, PT)等主要参数。

1.3.4 绿豆淀粉的溶解度和膨胀度测定

采用 McCormick et al.^[13]与 Liu & Shen^[9]的方法并稍作修改。准确称取 0.50 g 淀粉,放入 50 mL 离心管中加入 30 mL 去离子水,分别在 55、65、75、85、95 °C 下振荡 20 min 后,取出静置 5 min,在 4800 r/min 下离心 30 min,把上清液倒入已干燥恒重的称量皿中,在 105 °C 恒温干燥箱中干燥直至恒重,称量质量表示为 m_1 ;把去除上清液的离心管倒置在滤纸上沥干,离心管中膨胀淀粉质量表示为 m_2 , m 为样品的干重。样品的溶解度(S)和膨胀度(P)分别按下式计算: $S(\%) = 100 m_1/m$; $P(\%) = 100 m_2/[m(100-S)]$ 。每个样品平行 3 次,取平均值。

1.3.5 绿豆淀粉的冻融稳定性测定

采用 Hoover 报道的方法并稍作修改^[14]。准确称取 1 g 淀粉样品(干基),转移至 250 mL 的烧杯中,加入 100 mL 蒸馏水并搅拌均匀后放入沸水浴中,加热糊化并保温 20 min(前 5 min 应不断搅拌,以防结块)。淀粉糊化完全后,取出烧杯并冷却至室温。分别取 10 mL 淀粉糊转移至已知质量 m_1 塑料离心管中,并称量 m_2 ,放入 -18 °C 冰箱冷冻 24 h。将样品取出置于室温自然解冻 6 h,取其中 1 管在 4000 r/min 条件下

离心 20 min, 弃去上层液体, 称重 m_3 , 其余离心管再冷冻-解冻, 直至 5 管全做完。按下式计算淀粉糊析水率: 析水率(%)=[$(m_2-m_3)/(m_2-m_1)$] $\times 100$, 式中: m_1 为空离心管质量/g; m_2 为离心管和淀粉糊的质量/g; m_3 为离心后离心管与淀粉糊沉淀质量/g。每个样品平行 3 次, 取平均值。

1.3.6 数据处理

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

2 结果与讨论

2.1 不同品种绿豆淀粉的化学组成

不同品种绿豆的淀粉主要化学组分测定结果见表 1。试验结果表明, 9 个绿豆品种淀粉中总淀粉含量均高于 85% 以上。毛绿豆淀粉的总淀粉含量高达 93.56% ($p < 0.05$), 南绿 2 号、极早熟 1 号和绿珍珠 2 号的总淀粉含量也较高, 安绿 8 号淀粉的总淀粉含量最低 (仅为 85.88%)。

表 1 不同品种绿豆的淀粉组成分析

Table 1 Chemical composition of starch from different mung bean cultivars

绿豆品种	水分/%	总淀粉/%	直链淀粉/%	粗蛋白/%	灰分/%
绿珍珠 2 号	5.51 \pm 0.08 ^d	90.74 \pm 0.28 ^b	40.07 \pm 0.20 ^d	0.019 \pm 0.00 ^e	0.33 \pm 0.04 ^a
毛绿豆	5.68 \pm 0.15 ^d	93.56 \pm 0.35 ^a	33.10 \pm 0.12 ^b	0.022 \pm 0.00 ^d	0.29 \pm 0.07 ^a
极早熟 1 号	7.92 \pm 0.11 ^b	90.94 \pm 0.44 ^b	35.80 \pm 0.23 ^e	0.21 \pm 0.02 ^a	0.15 \pm 0.06 ^{bc}
潍绿 4 号	3.54 \pm 0.07 ^f	87.32 \pm 0.23 ^d	41.03 \pm 0.22 ^c	0.15 \pm 0.02 ^b	0.32 \pm 0.05 ^a
南绿 2 号	4.63 \pm 0.06 ^c	91.22 \pm 0.47 ^b	41.93 \pm 0.36 ^b	0.14 \pm 0.01 ^b	0.17 \pm 0.04 ^b
中绿 1 号	4.51 \pm 0.10 ^e	88.48 \pm 0.27 ^c	38.22 \pm 0.16 ^f	0.11 \pm 0.03 ^{bc}	0.06 \pm 0.00 ^d
安绿 072 号	8.78 \pm 0.09 ^a	88.51 \pm 0.31 ^c	39.31 \pm 0.31 ^e	0.12 \pm 0.03 ^{bc}	0.12 \pm 0.03 ^{bc}
安绿 092 号	7.46 \pm 0.22 ^c	85.90 \pm 0.27 ^e	40.91 \pm 0.18 ^e	0.10 \pm 0.02 ^c	0.10 \pm 0.02 ^c
安绿 8 号	7.74 \pm 0.10 ^{bc}	85.88 \pm 0.40 ^e	44.08 \pm 0.38 ^a	0.08 \pm 0.03 ^c	0.10 \pm 0.02 ^c

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 ($p < 0.05$); 下表同。

安绿 072、中绿 1 号、极早熟 1 号和毛绿豆等 4 个品种绿豆淀粉的直链淀粉含量均低于 40%, 其余 5 个品种绿豆淀粉的直链淀粉含量均高于 40%。安绿 8 号的直链淀粉含量最高 (其值为 44.08%) ($p < 0.05$), 其次是南绿 2 号, 毛绿豆淀粉的直链淀粉含量最低 (仅为 33.10%) ($p < 0.05$)。本研究中绿豆淀粉直链淀粉

的含量与李文浩等^[15]、Hoover et al.^[14]等报道的数据接近, 但高于 Liu & Shen^[16], 林伟静等^[17]报道的数据, 这可能与淀粉的品种、栽培条件和淀粉分离方法的不同而略有差别^[18,19]。

2.2 不同品种绿豆淀粉的糊化性质

表 2 不同品种绿豆淀粉的糊化性质

Table 2 Pasting properties of starch from different mung bean cultivars

绿豆品种	PV ^a	TV	BD	FV	SB	PT	GT
绿珍珠 2 号	2445 \pm 18 ^d	1752 \pm 24 ^e	694 \pm 20 ^d	2929 \pm 24 ^c	1178 \pm 16 ^d	4.60 \pm 0.04 ^b	76.90 \pm 0.03 ^b
毛绿豆	2576 \pm 20 ^c	1822 \pm 11 ^c	754 \pm 18 ^c	2736 \pm 13 ^e	914 \pm 11 ^e	4.24 \pm 0.07 ^e	73.63 \pm 0.01 ^h
极早熟 1 号	2256 \pm 28 ^e	1691 \pm 11 ^f	565 \pm 15 ^f	2749 \pm 15 ^e	1058 \pm 17 ^e	4.54 \pm 0.01 ^c	75.95 \pm 0.03 ^d
潍绿 4 号	2789 \pm 32 ^a	1962 \pm 15 ^{ab}	828 \pm 10 ^a	3166 \pm 34 ^b	1205 \pm 14 ^{cd}	4.36 \pm 0.02 ^d	73.70 \pm 0.04 ^e
南绿 2 号	2638 \pm 22 ^b	1980 \pm 19 ^a	658 \pm 11 ^e	3283 \pm 22 ^a	1304 \pm 16 ^b	4.60 \pm 0.03 ^b	75.60 \pm 0.04 ^c
中绿 1 号	2730 \pm 30 ^a	1938 \pm 14 ^b	792 \pm 14 ^b	3136 \pm 20 ^b	1228 \pm 21 ^c	4.47 \pm 0.01 ^c	74.85 \pm 0.05 ^f
安绿 072 号	2263 \pm 33 ^e	1837 \pm 20 ^c	426 \pm 13 ^g	3134 \pm 23 ^b	1298 \pm 15 ^b	4.76 \pm 0.04 ^a	77.70 \pm 0.05 ^a
安绿 092 号	2252 \pm 14 ^f	1808 \pm 14 ^{cd}	445 \pm 21 ^g	2793 \pm 18 ^d	986 \pm 25 ^f	4.66 \pm 0.03 ^b	76.95 \pm 0.04 ^b
安绿 8 号	2175 \pm 21 ^g	1794 \pm 12 ^d	382 \pm 13 ^h	3147 \pm 19 ^b	1354 \pm 26 ^a	4.64 \pm 0.02 ^b	76.52 \pm 0.02 ^c

注: ^aPV, 峰值粘度; TV, 峰谷粘度; BD, 破损值; FV, 最终粘度; SB, 回生值; PT, 峰值时间; GT, 糊化温度。

糊化特性是淀粉的重要流变学特性之一, 直接影响淀粉的加工特性及其制品的质量。不同品种绿豆淀

粉的糊化特性参数见表 2, 代表性的糊化曲线见图 1。不同品种绿豆淀粉糊化特性参数间有明显差异, 部分

绿豆品种之间存在显著差异 ($p < 0.05$)。绿豆淀粉的峰值粘度分布范围为 2175~2789 cP, 峰谷粘度在 1691~1980 cP 之间, 破损值在 382~828 cP 之间, 最终粘度在 2736~3283 cP 之间, 回生值在 914~1354 cP 之间, 峰值时间在 4.24~4.76 min 之间, 糊化温度在 73.63~77.70 °C 之间 (表 2)。潍绿 4 号和中绿 1 号绿豆淀粉的峰值粘度显著高于其他品种 ($p < 0.05$), 表明了这两个品种绿豆的淀粉颗粒内部结合较松散。安绿 8 号具有最低的破损值 ($p < 0.05$), 反映该品种绿豆淀粉的糊具有很好的热稳定性。毛绿豆和安绿 092 具有较低的回生值, 表明老化程度低, 具有较好的加工适宜性。淀粉糊化特性在不同植物或同一植物的不同品种间的差异性可能与淀粉粒的形状、大小、直链淀粉含量等因素有关^[20-22]。可以看出, 人们可根据具体应用领域对淀粉粘度的要求, 选择专用的绿豆品种。

2.3 不同品种绿豆淀粉的溶解度和膨胀度

表3 不同品种绿豆淀粉在不同温度下条件的溶解度

Table 3 Solubility of starch from different mung bean cultivars

绿豆品种	溶解度/%				
	55 °C	65 °C	75 °C	85 °C	95 °C
绿珍珠 2 号	1.20±0.04 ^c	2.35±0.04 ^d	7.35±0.09 ^c	15.28±0.08 ^c	19.30±0.14 ^d
毛绿豆	0.94±0.02 ^e	1.94±0.05 ^e	5.94±0.06 ^e	13.33±0.06 ^e	16.40±0.15 ^f
极早熟 1 号	1.15±0.04 ^{cd}	2.76±0.08 ^c	6.76±0.10 ^d	14.38±0.12 ^d	18.76±0.22 ^e
潍绿 4 号	1.39±0.03 ^b	3.73±0.06 ^b	7.73±0.06 ^b	18.08±0.17 ^a	20.59±0.17 ^b
南绿 2 号	1.09±0.03 ^d	2.66±0.02 ^c	6.66±0.05 ^d	17.62±0.09 ^b	20.15±0.12 ^c
中绿 1 号	1.55±0.02 ^a	4.05±0.05 ^a	8.05±0.17 ^a	18.27±0.24 ^a	21.56±0.27 ^a
安绿 07-2 号	0.84±0.03 ^f	1.2±0.04 ^g	3.70±0.06 ^h	11.29±0.07 ^g	15.08±0.11 ^h
安绿 09-2 号	0.68±0.04 ^g	1.14±0.04 ^g	5.14±0.08 ^g	10.10±0.07 ^h	14.45±0.21 ⁱ
安绿 8 号	0.95±0.01 ^e	1.5±0.07 ^f	5.5±0.14 ^f	11.65±0.15 ^f	15.35±0.08 ^g

表4 不同品种绿豆淀粉在不同温度下条件的膨胀度

Table 4 Swelling power of starch from different mung bean cultivars

绿豆品种	膨胀度/%				
	55 °C	65 °C	75 °C	85 °C	95 °C
绿珍珠 2 号	1.94±0.06 ^{bc}	4.66±0.05 ^e	7.68±0.07 ^d	12.61±0.08 ^d	16.19±0.09 ^d
毛绿豆	2.11±0.03 ^a	6.31±0.09 ^a	11.3±0.11 ^a	17.23±0.21 ^a	19.29±0.15 ^a
极早熟 1 号	2.09±0.02 ^a	5.24±0.07 ^c	7.46±0.10 ^e	12.76±0.11 ^d	16.92±0.05 ^c
潍绿 4 号	1.92±0.03 ^c	4.97±0.05 ^d	8.23±0.09 ^c	13.74±0.17 ^c	17.11±0.20 ^c
南绿 2 号	1.88±0.03 ^c	3.18±0.05 ⁱ	6.93±0.08 ^g	10.63±0.04 ^h	14.48±0.05 ^f
中绿 1 号	2.02±0.04 ^b	5.52±0.08 ^b	9.34±0.13 ^b	14.25±0.20 ^b	18.36±0.13 ^b
安绿 07-2 号	1.78±0.03 ^d	3.42±0.04 ^h	6.15±0.03 ⁱ	11.36±0.07 ^e	13.58±0.12 ^g
安绿 09-2 号	1.76±0.04 ^d	4.40±0.06 ^f	7.23±0.06 ^f	11.04±0.09 ^f	14.74±0.14 ^e
安绿 8 号	1.75±0.02 ^d	4.24±0.03 ^g	6.3±0.08 ^h	10.78±0.05 ^g	13.73±0.12 ^g

淀粉的溶解度和膨胀度与温度有关, 随着温度的增加, 任一品种绿豆淀粉的溶解度和膨胀度均增大。

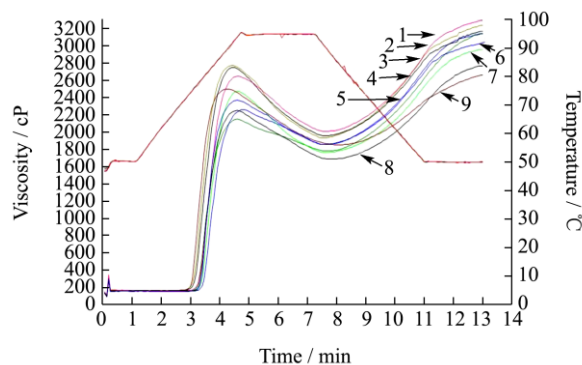


图 1 不同品种绿豆淀粉的糊化曲线

Fig.1 Pasting profiles of starch from different mung bean cultivars

注: (1)南绿2号, (2)潍绿4号, (3)中绿1号, (4)安绿072号, (5)安绿8号, (6)安绿092号, (7)绿珍珠2号, (8)极早熟1号和(9)毛绿豆。

中绿1号淀粉均具有最高的溶解度, 安绿092号淀粉具有较低的溶解度。在95°C时, 9个品种绿豆淀粉的溶解

度和膨胀度分布范围分别为14.45%~21.56%和13.58%~19.29% (表3和4)。在测试温度范围内,毛绿豆淀粉均具有最高的膨胀度,而安绿8号均具有较低的膨胀度(表4)。淀粉的溶解度和膨胀度反映了淀粉颗粒内部的结晶区与非结晶区的相互作用,结晶区氢键的强弱及非结晶区淀粉分子间相互作用。淀粉的溶解度和膨胀度与淀粉颗粒形态、粒径大小、直链淀粉含量、直链/支链淀粉比值以及颗粒内部非淀粉成分有关^[23]。供试各绿豆品种间淀粉具有不同的溶解度和膨胀度,可能与遗传因素和淀粉颗粒结构等有关。

2.4 不同品种绿豆淀粉的冻融稳定性

冷冻和解冻会使淀粉糊出现收缩脱水的现象,不同品种绿豆淀粉的冻融稳定性不同;供试9个品种绿豆淀粉糊经一次冻融后析水率均较高,随冻融循环次数的增加,析水率均逐渐增大(表5)。经1次冻融循环处理后,极早熟1号的析水率最小(58.52%);安绿072、安绿092和南绿2号的析水率均较高,分别为66.62%、66.22%和64.38%;安绿8号的析水率最大(66.79%)。经过5次冻融循环处理后,安绿8号的析水率最大(76.42%),安绿092次之,极早熟1号的析水率最低(66.04%)。

表5 不同品种绿豆淀粉在不同冻融循环次数下的析水率

Table 5 Syneresis of starch gels from different mung bean cultivars

绿豆品种	循环次数				
	1	2	3	4	5
绿珍珠2号	63.78±1.00 ^b	65.47±1.66 ^{cde}	66.65±1.38 ^{cde}	68.38±1.15 ^{bc}	69.03±1.10 ^{cd}
毛绿豆	62.38±1.34 ^{bc}	64.35±1.04 ^{de}	65.51±1.06 ^{de}	67.96±1.05 ^{bc}	68.28±1.33 ^{de}
极早熟1号	58.52±1.55 ^d	61.06±1.23 ^f	63.07±1.24 ^f	65.18±1.10 ^d	66.04±1.17 ^e
淮绿4号	60.66±1.22 ^{cd}	63.16±1.13 ^{ef}	64.35±1.10 ^{ef}	66.97±1.07 ^{cd}	68.57±1.00 ^d
南绿2号	64.38±1.45 ^{ab}	66.38±1.02 ^{cd}	67.76±1.01 ^c	70.08±1.36 ^b	71.98±1.18 ^b
中绿1号	63.54±1.00 ^b	65.13±1.11 ^c	67.07±1.21 ^{cd}	69.55±1.08 ^b	70.82±1.05 ^{bc}
安绿07-2号	66.22±1.06 ^a	66.99±1.36 ^{bc}	70.15±1.22 ^b	74.55±1.22 ^a	74.53±1.31 ^a
安绿09-2号	66.62±1.80 ^a	68.68±1.22 ^b	73.26±1.69 ^a	75.04±1.43 ^a	76.37±1.57 ^a
安绿8号	66.79±1.67 ^a	72.25±2.00 ^a	74.11±2.12 ^a	76.14±1.89 ^a	76.42±2.00 ^a

2.5 绿豆淀粉直链淀粉含量与功能特性间的相关性

表6 不同品种绿豆淀粉直链淀粉含量与功能特性的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of properties of starch from different mung bean cultivars

	AM ^a	PV	TV	BD	FV	SB	GT	SL	SW
PV	-0.157								
TV	0.294	0.774*							
BD	-0.388	0.929**	0.485						
FV	0.674*	0.358	0.739*	0.062					
SB	0.725*	0.017	0.388	-0.204	0.906**				
GT	0.415	-0.783*	-0.470	-0.807**	0.021	0.318			
SL	-0.026	0.868**	0.615	0.840**	0.455	0.254	-0.602		
SW	-0.805**	0.520	0.031	0.700*	-0.429	-0.592	-0.768*	0.280	
SNS	0.661	-0.474	0.117	-0.723*	0.335	0.381	0.570	-0.586	-0.645

注: *在0.05水平上达到显著性相关, **在0.01水平上达到显著性相关。^aAM, 直链淀粉含量; SL, 溶解度(85℃时的溶解度); SW, 膨胀度(85℃时的膨胀度); SNS, 析水率(第5次冻融循环)。

不同品种绿豆淀粉的直链淀粉含量与功能性质的相关性分析结果见表6。直链淀粉含量与淀粉糊的最终粘度和回生值之间存在显著正相关, 相关系数分别为0.674和0.725 (p<0.05) (表6)。钟葵等研究发现, 不

同品种绿豆淀粉的直链淀粉含量与糊化最终粘度和回生值之间均具有显著正相关, 相关系数分别为0.46和0.44 (p<0.05); 这与本研究结果类似^[24]。对不同水稻品种的直链淀粉含量、RVA 谱和米饭质地的研究发

现, 回生值与直链淀粉含量呈极显著正相关(相关系数0.552, $p < 0.01$)^[25]。这些均表明淀粉糊在冷却过程中粘度的升高主要是分散的直链淀粉分子重新聚集的结果。直链淀粉含量与淀粉膨胀度之间具有极显著负相关, 相关系数为-0.805 ($p < 0.01$)。Sasaki & Matsuki研究了12个品种小麦淀粉的膨胀度与直链淀粉含量的关系, 发现小麦直链淀粉含量与小麦淀粉的膨胀度呈极显著负相关($r = -0.924$) ($p < 0.01$)^[26]; Wang研究17个品种的玉米淀粉直链淀粉含量与膨胀度的关系时, 也得到了类似的结论^[27]。周文超对21种小米淀粉的性质研究表明, 直链淀粉含量与析水率间呈显著正相关^[28], 类似结论在本研究中尚未被发现。

供试9个不同品种绿豆淀粉的糊化参数之间存在多种相关关系。淀粉的峰值粘度与峰谷粘度和破损值之间存在正相关, 相关系数分别为0.774 ($p < 0.05$)和0.929 ($p < 0.01$)。最终粘度与峰谷粘度和回生值之间具有正相关关系, 相关系数分别为0.739 ($p < 0.05$)和0.906 ($p < 0.01$)。候汉学等研究了10个玉米品种淀粉的理化性质及其相关性, 结果表明淀粉的峰值粘度与破损值呈极显著正相关($r = 0.948$, $p < 0.01$), 淀粉的最终粘度与回生值间存在极显著正相关($r = 0.968$, $p < 0.01$)^[29], 这与本研究结果一致。Singh et al.在研究大米淀粉的理化特性、热力学和流变学间的相关关系时, 也报道了淀粉的峰值粘度与峰谷粘度之间存在类似的相关性^[25]。

试验结果还表明, 淀粉的溶解度与淀粉糊的峰值粘度和破损值均呈极显著正相关($p < 0.01$)。淀粉的膨胀度与淀粉的糊化温度均呈显著负相关, 相关系数为-0.768 ($p < 0.05$)。此外, 淀粉糊的析水率(冻融稳定性)与淀粉糊的破损值呈显著负相关($r = -0.723$, $p < 0.01$)。

3 结论

3.1 不同品种绿豆淀粉糊化特性参数间有明显差异。绿豆淀粉的峰值粘度分布范围为2175~2789 cP, 峰谷粘度在1691~1980 cP之间, 破损值在382~828 cP之间, 最终粘度在2736~3283 cP之间, 回生值在914~1354 cP之间, 峰值时间在4.24~4.76 min之间, 糊化温度在73.63~77.70 °C之间。

3.2 在试验范围内, 随温度增加, 绿豆淀粉的溶解度和膨胀度均增大。中绿1号淀粉具有最高溶解度, 安绿092号淀粉具有较低的溶解度。毛绿豆淀粉具有最高的膨胀度, 而安绿8号具有较低的膨胀度。

3.3 随冻融循环次数的增加, 供试品种绿豆淀粉析水率均逐渐增大。经过5次冻融循环后, 安绿8号的析

水率最大, 极早熟1号的析水率最低。

3.4 绿豆淀粉的直链淀粉含量与功能性质之间确实存在多种相关性。可根据淀粉不同性质指标间的相关性, 通过一种性质推测其另一种性质, 或者从大量的理化性质测定中找出淀粉的特征性质指标进行测定, 从而预测终产品的品质。

参考文献

- [1] 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
- [2] 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
- [3] Lai F, Wen Q, Li L, et al. Antioxidant activities of water-soluble polysaccharide extracted from mung bean (*Vigna radiata* L.) hull with ultrasonic assisted treatment [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 81(2): 323-329
- [4] 高群玉, 周俊侠, 张力田, 等. 绿豆淀粉颗粒性质的研究[J]. 食品工业科技, 1997, 5: 36-37
- [5] GAO Qun-yu, ZHOU Jun-xia, ZHANG Li-tian, et al. Study on the granular properties of mung bean starch [J]. Science and Technology of Food Industry, 1997, 5: 36-37
- [6] 邹铁, 赵庆, 赵春梅, 等. 菱角淀粉与绿豆淀粉的糊化及老化性质共性与区别[J]. 食品科技, 2011, 36(9): 288-291, 295
- [7] ZOU Tie, ZHAO Qing, ZHAO Chun-mei, et al. Sameness and difference of the thermal properties and the retrogradation between water caltrop starch and mung bean starch [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(9): 288-291, 295
- [8] 许鑫, 韩春然, 袁美娟, 等. 绿豆淀粉和芸豆淀粉理化性质比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(17): 173-176
- [9] XU Xin, HAN Chun-ran, YUAN Mei-jua, et al. Comparative study of physico-chemical properties of kidney bean and mung bean starches [J]. Food Science, 2010, 31(17): 173-176
- [10] 任顺成, 李翠翠, 邓颖颖. 鹰嘴豆 饭豆 绿豆淀粉性质的比较[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(1): 61-64
- [11] REN Shun-cheng, LI Cui-cui, DENG Ying-ying. Comparison of starch properties of chickpea, mung bean and rice bean [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(1): 61-64
- [12] 吴东和. 在挂糊工艺中淀粉的应用规律研究[J]. 扬州大学烹饪学报, 2005, 22(3): 42-45
- [13] WU Dong-he. Study of the application regularity of starch in

- starching technology [J]. *Culinary Science Journal of Yangzhou University*, 2005, 22(3): 42-45
- [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] 杨玉玲,张沫,陈银基,等.绿豆淀粉凝胶的质构特性和超微结构研究[J].*中国粮油学报*,2014,29(4):36-41
YANG Yu-ling, ZHANG Mo, CHEN Yin-ji, et al. Textural properties and microstructure of starch gel from mung bean [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2014, 29(4): 36-41
- [11] AACC. Method 44-15A, 46-12A, 61-03 in *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10th Edn. AACC, St. Paul, MN, 2000
- [12] Angioloni A, Collar C. Promoting dough viscoelastic structure in composite cereal matrices by high hydrostatic pressure [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 111: 598-605
- [13] McCormick K M, Panozzo J F, Hong S H. A swelling power test for selecting potential noodle quality wheat [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1991, 42: 317-323
- [14] Hoover R, Li Y X, Hynes G, et al. Physicochemical characterization of mung bean starch [J]. *Food Hydrocolloids*, 1997, 11(4): 401-408
- [15] 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
- [16] 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
- [17] 林伟静,曾志红,钟葵,等.不同品种绿豆的淀粉品质特性研究[J].*中国粮油学报*,2012,27(7):47-51
LIN Wei-jing ZENG Zhi-hong, ZHONG Kui, et al. Study on characteristics of starch from different mung bean cultivars [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2012, 27(7): 47-51
- [18] Simkova D, Lachman J, Hamouz K, et al. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(4): 3827-3880
- [19] Ma H., Zhang X., Wang C. et al. Effect of wx genes on amylose content, physicochemical properties of wheat starch, and the suitability of waxy genotype for producing Chinese crisp sticks [J]. *Journal of Cereal Science*, 2013, 58(1): 140-147
- [20] Kowittaya C, Lumdubwong N. Molecular weight, chain profile of rice amylopectin and starch pasting properties [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 108(8): 216-223
- [21] Cozzolino D, Roumeliotis S, Eglinton J. Relationships between starch pasting properties, free fatty acids and amylose content in barley [J]. *Food Research International*, 2013, 51(2): 444-449
- [22] Uarrotta V G, Amante E R, Demiate I M, et al. Physicochemical, thermal, and pasting properties of flours and starches of eight Brazilian maize landraces (*Zea mays* L.) [J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 30(2): 614-624
- [23] Sandhu K S, Singh N. Some properties of corn starches II: physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties [J]. *Food Chemistry*, 2007, 101: 1499-1507
- [24] 钟葵,佟立涛,刘丽娅,等.绿豆淀粉性质和糊化特性研究[J].*作物杂志*,2013,2:134-138
ZHONG Kui, TONG Li-tao, LIU Li-ya, et al. Starch quality and pasting property analysis of different mung bean cultivars [J]. *Crops*, 2013, 2: 134-138
- [25] Singh N, Kaur L, Sandhu K S, et al. Relationships between physicochemical, morphological, thermal, rheological properties of rice starches [J]. *Food Hydrocolloids*, 2006, 20: 532-542
- [26] Sasaki T, Matsuki J. Effect of wheat starch structure on swelling power [J]. *Cereal Chemistry*, 1998, (75): 525-529
- [27] Wang Y J, White P, Pollak L. Physicochemical properties of starches from mutant genotypes of the inbred line [J]. *Cereal Chemistry*, 1993, 70: 199-203
- [28] 周文超.我国不同地区特色品种小米淀粉理化性质的研究[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2013
ZHOU Wen-chao. Starch properties analysis of different varieties millet from different regions [D]. Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2013
- [29] 侯汉学,董海洲,宋晓庆等.不同品种玉米淀粉的理化性质及相关性研究[J].*中国粮油学报*,2009,24(1):60-64
HOU Han-xue, DONG Hai-zhou, SONG Xiao-qing, et al. Correlations among physico-chemical properties of starches from different maize cultivars [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2009, 24(1): 60-64

现代食品科技