

## 煮制时间对绿豆中淀粉性质的影响及相关性分析

刘紫薇<sup>a</sup>, 李欣<sup>a</sup>, 高菲<sup>a</sup>, 崔素萍<sup>a</sup>, 曹龙奎<sup>a,b</sup>, 张洪微<sup>a</sup>

(黑龙江八一农垦大学 a.食品学院 b.国家杂粮工程技术研究中心, 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:** **目的** 探究绿豆煮制过程中淀粉含量及理化性质的变化规律, 从而根据不同目的选用最优煮制时间, 且为绿豆煮制加工提供科学数据。**方法** 以明绿豆为主要原料, 采用传统煮制方法, 以 10 min 为间隔时间采样, 进行淀粉含量和淀粉性质测定及相关性分析。**结果** 随着煮制时间的延长, 绿豆中总淀粉含量和直/支链淀粉含量均呈下降趋势。溶解度在煮制 30 min 后呈上升趋势, 在 60 min 时达最大; 膨胀力呈下降趋势, 煮制 50 min 后趋于稳定; 糊透明度在煮制 40 min 后明显增大, 在 60 min 时达最大; 凝沉稳定性在煮制 40 min 后逐渐增强。由相关性分析结果可知, 煮制时间与溶解度呈极显著正相关, 与绿豆中总淀粉含量和膨胀力呈极显著负相关, 与透光率呈显著正相关, 与直/支链淀粉含量和凝沉体积呈显著负相关。**结论** 煮制时间是影响绿豆中淀粉含量和性质的主要因素, 而淀粉含量则可以直接影响绿豆的膨胀力、透明度等理化性质。在绿豆食品加工过程中, 可根据加工目的选择不同的煮制时间。

**关键词:** 煮制时间; 绿豆淀粉; 相关性分析

**中图分类号:** S522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)13-0093-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.13.012

## Effect of Cooking Time on Starch Properties of Mung Bean and Correlation Analysis

LIU Zi-wei<sup>a</sup>, LI Xin<sup>a</sup>, GAO Fei<sup>a</sup>, CUI Su-ping<sup>a</sup>, CAO Long-kui<sup>a, b</sup>, ZHANG Hong-wei<sup>a</sup>

(a.College of Food Science and Engineering b.National Engineering and Technical Research Center for Coarse Grain, Bayi Agriculture University, Daqing 163319, China)

**ABSTRACT:** In order to explore the changes of starch content and physical chemistry properties of mung bean during cooking, optimize the cooking time of mung bean, and provide theoretical basis for mung bean cooking processing. Taking mung bean as the main raw material, the starch content and starch properties were determined and analyzed by traditional cooking method and sampling at 10 min interval. The results showed that the total starch content and amylose/amylopectin content in mung bean decreased with the extension of cooking time; the solubility increased after 30 min of cooking, and the solubility reached the maximum at 60 min; the swelling power decreased and tended to be stable after 50 min; the paste transparency increased significantly after 40 min of cooking and reached the maximum at 60 min; the coagulation stability increased gradually after 40 min. The results of correlation analysis showed that cooking time was significantly positively correlated with solubility, negatively correlated with total starch content and swelling power, positively correlated with transmittance, and negatively correlated with amylose and amylopectin content and coagulation volume. The cooking time is the main factor affecting starch content and properties of mung bean, and starch content directly affects the swelling power, transparency and other physical and chemical properties of mung bean. In the process of

收稿日期: 2020-12-02

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0401203)

作者简介: 刘紫薇 (1998—), 女, 黑龙江八一农垦大学硕士生, 主攻农产品加工。

通信作者: 张洪微 (1971—), 女, 黑龙江八一农垦大学副教授, 主要研究方向为农产品加工。

mung bean food processing, different cooking time can be selected according to the processing purpose.

**KEY WORDS:** cooking time; mung bean starch; correlation analysis

绿豆是我国主要的食用豆类之一,具有营养价值高、可药食兼用等特点<sup>[1]</sup>。绿豆中淀粉含量丰富,绿豆淀粉的物理和化学性质都对绿豆产品的品质及生产工艺有着较大影响<sup>[2]</sup>,因此,近几年对绿豆淀粉的提取和理化性质研究已成为热点<sup>[3-5]</sup>。

在理化性质研究过程中,人们发现不同加工方法对绿豆淀粉的理化性质也存在着影响<sup>[6-8]</sup>,尤其是生产和生活中最常见的蒸制和煮制的加工方法。2010年,李文浩等<sup>[9]</sup>研究了蒸煮工艺参数对绿豆糊化特性的影响,发现绿豆在蒸制中,硬度会降低,糊化度会升高,糊化度和硬度有强相关性,且糊化度与 RVA 特征值(峰值粘度、低谷粘度、最终粘度和回生值)都有极显著的线性相关性。2017年,Chetan 等<sup>[10]</sup>通过探究用绿豆粉代替米粉制作膨化食品的工艺,得出了当糊化温度升高(84~93 °C),峰值粘度、保持粘度、破裂、回缩、终粘度都会随着绿豆粉添加量的增加而降低的结论。2019年,Hilka 等<sup>[11]</sup>研究用绿豆粉代替西米粉来制作西米粉面条,发现了绿豆粉虽然降低了西米粉面条的硬度、粘着性和伸长率,但增加了其蒸煮损失,通过实验可以调整其蒸煮损失,达到替代的作用。2019年,孙军涛等<sup>[12]</sup>采用了高温高压和常压 2 种工艺对绿豆进行蒸煮处理,探究绿豆糊化度与这 2 种加工方式的关系,并深入探究了其蒸煮性质。实验结果显示,绿豆要达到熟化程度需在高温高压条件下处理 10 min 后进行干燥处理,置于沸水煮 15 min 再焖 5 min;常压蒸煮处理 30 min 即可达到熟化程度。在对绿豆进行预处理中发现,想要达到熟化的程度,且绿豆糊化度控制在 $\geq 40\%$ ,需将绿豆在沸水中煮 15 min 再焖 5 min。将高温高压工艺与常压蒸煮工艺进行比较可知,高温高压工艺具有不需要浸泡、糊化均匀、处理时间短等优点,由此可见,高温高压工艺是绿豆预糊化加工处理的一种较优工艺。以上加工主要采用了浸泡和蒸煮的工艺,研究了蒸煮过程绿豆淀粉糊化特性的变化规律,然而煮制时间对绿豆中淀粉糊性质影响的相关研究并不详细,且为不同加工目的提供煮制时间参考的研究也不详细,就家庭煮制而言,绿豆的熟制过程约为 60 min,熟化程度取决于绿豆最终口感的软硬程度。

目前,煮制加工对绿豆中淀粉理化性质影响的相关报道较少。文中采用常压煮制方法处理绿豆,探讨不同煮制时间对绿豆中淀粉含量和淀粉理化性质的影响,并对其进行相关性分析,以期为绿豆在煮制过程中产生的淀粉作用机理,加工工艺的优化及改进,提高相关制品的生产效率等方面提供借鉴和参考。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料:绿丰五号明绿豆,二级,黑龙江省北大荒;无水乙醇、无水乙醚、石油醚、乙酸铅、甲基红指示剂(分析纯),天津市大茂化学试剂厂;碘试剂、6 mol/L 盐酸溶液、体积分数为 20%的乙酸铅溶液、体积分数为 10%的硫酸钠溶液、氢氧化钠,湖北鑫润德化工有限公司。

主要仪器:TD5A 离心机,常州良友仪器制造有限公司;TS-2000A 多用脱色摇床,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;752S 紫外分光光度计,上海棱光仪器制造有限公司;回流装置,天长市天沪分析仪器有限公司;HH-2Y 水浴锅,上海化科实验器材有限公司;101-0 型烘干箱,河南奥菲达仪器设备有限公司。

### 1.2 处理方法

#### 1.2.1 样品制备

##### 1.2.1.1 煮制工艺流程

绿豆煮制工艺流程:绿豆→加蒸馏水→煮制→不同时间分别取样→烘干(45 °C)→粉碎→过筛→绿豆粉→测定。

##### 1.2.1.2 工艺要点

取足量无病变的绿豆,用蒸馏水清洗 3 次,按 1:10 的料液比(g/mL)加入蒸馏水进行煮制,从煮制开始时计时并取第 1 个样品,之后每间隔 10 min 取样 1 次,在绿豆皮完全破损分离前取样,共取样 8 次(取样时采用滤水筛网尽量混匀),将样品置于 45 °C 的鼓风干燥箱中烘干 10 h,粉碎机粉碎后过 60 目筛,将制得样品放入自封袋密封干燥保存,待测。

#### 1.2.2 检测方法

##### 1.2.2.1 总淀粉含量的测定

按照 GB/T 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》中的酸水解法对淀粉含量进行测定<sup>[13]</sup>。

##### 1.2.2.2 双波长法测定直支链淀粉含量

制备直链淀粉标准液:准确称量标准品 0.1000 g,加入无水乙醇使直链淀粉标准品完全润湿,再加入 10 mL 浓度为 0.5 mol/L 的 KOH,在温度为 80 °C 时水浴溶解,样液定容至 100 mL,即得质量浓度为 1 mg/mL 的直链淀粉标准溶液。取标准溶液 1 mL 作为空白样待用,再分别取标准溶液 0, 0.3, 0.6, 0.9,

1.2, 1.5, 1.8 mL 于 50 mL 容量瓶中, 空白样加蒸馏水 30 mL, 后标准液分别加水 20~30 mL, 以上溶液皆用 0.1 mol/L 的 HCL 溶液将 pH 值调为 3.0, 再加入碘试剂 0.5 mL, 定容摇匀静置 20 min。除空白样外, 其他溶液即质量浓度为 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36  $\mu\text{g/mL}$  的标准溶液。用 400~960 nm 光谱的紫外可见分光光度计, 扫描并绘制出直链淀粉的吸收曲线。

制备支链淀粉标准液: 准确称量 0.1000 g 标准品制成 1 mg/mL 标准溶液。取 3 mL 标准溶液于 50 mL 容量瓶中, 以下操作同直链淀粉。配标准溶液梯度浓度时分别取标准溶液 0, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 mL, 即得到梯度浓度为 0, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100  $\mu\text{g/mL}$  的标准溶液<sup>[14]</sup>。

样品处理及样品溶液制备: 将玻璃制扁形称量器在 105  $^{\circ}\text{C}$  的恒温鼓风干燥箱中烘干 1 h, 干燥器内冷却 0.5 h, 重复 2 次至称量器质量差  $\leq 2$  mg 即为质量恒定。取粉 1.000 g 平铺称量, 置于温度为 105  $^{\circ}\text{C}$  的干燥箱 4 h, 冷却 0.5 h, 称量, 烘干 1 h, 再冷却 0.5 h, 称量, 重复 2 次至质量差  $\leq 2$  mg 即代表绿豆粉已质量恒定, 计算绿豆粉的水分含量。

在 5.000 g 绿豆粉中加入过量无水乙醇, 脱色摇床振荡 5 min, 以 3000 r/min 离心 10 min, 去上清液, 重复 3 次后, 加入石油醚, 再重复上述操作 3 次, 将样品在温度为 40  $^{\circ}\text{C}$  的恒温鼓风干燥箱内进行烘干, 得到的 3 组数据即为 3 组平行样。

为了得到样品溶液进行吸光度测定, 现精确称取样品 0.1000 g, 除溶液定容体积改为 50 mL, 其余步骤同直链淀粉标准液。

分别以蒸馏水、加入 0.1 mol/L 的 HCL 和碘试剂的蒸馏水作为空白对照, 使用光径为 1 cm 的比色杯测定其吸光度值。用回归方程计算样品溶液的直链淀粉浓度  $Y_{\text{直}}(\mu\text{g/mL})$  和支链淀粉浓度  $Y_{\text{支}}(\mu\text{g/mL})$ , 进而计算淀粉中直、支链淀粉的质量分数 (%)。

$$W(\text{直链淀粉}) = \frac{Y_{\text{直}} \times 50 \times 50 \times (1 - W_1 - W_2) \times 100}{2.5} \times 0.1000 \times 10^6 \quad (1)$$

$$W(\text{支链淀粉}) = \frac{Y_{\text{支}} \times 50 \times 50 \times (1 - W_1 - W_2) \times 100}{2.5} \times 0.1000 \times 10^6 \quad (2)$$

式中: 50, 50 分别表示 2 次定容的体积 (mL); 2.5 表示吸取滤液的体积 (mL); 0.1000 表示称取已脱脂脱糖样品的质量 (g);  $W_1$  表示在 60  $^{\circ}\text{C}$  下的含水量 (质量分数 %);  $W_2$  表示脂肪和糖的含量 (质量分数, %)。

#### 1.2.2.3 溶解度与膨胀力的测定

称取 3 g 绿豆粉, 将其配制为质量分数为 3% 的绿豆粉乳, 放入 90  $^{\circ}\text{C}$  的恒温水浴锅中加热 15 min 并搅拌, 取出后在 3000 r/min 的条件下离心 20 min, 弃上清液, 留下层沉淀物质, 下层离心得到的沉淀物质

即代表该绿豆粉的膨胀部分, 对膨胀部分的质量进行准确称量, 并根据式 (3) 计算绿豆粉的膨胀力。绿豆粉的膨胀物质 (下层离心的沉淀物质) 在 105  $^{\circ}\text{C}$  的恒温鼓风干燥箱内烘干至质量恒定, 准确称量质量恒定后的物质, 该质量即代表式 (4) 中的水溶液淀粉质量, 进而根据式 (4) 计算绿豆粉的溶解度<sup>[15]</sup>。

$$\text{膨胀力} = \frac{\text{膨胀淀粉质量}}{\text{淀粉样品质量} \times (100 - \text{溶解度})} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{溶解度} = \frac{\text{水溶液淀粉质量}}{\text{淀粉样品干质量}} \times 100\% \quad (4)$$

#### 1.2.2.4 透明度的测定<sup>[16]</sup>

配制体积分数为 1% 的绿豆粉乳, 在 95  $^{\circ}\text{C}$  的水浴锅内保温 20 min, 取出冷却至 25  $^{\circ}\text{C}$ , 用 620 nm 光谱下的紫外分光光度计对其透光率进行测定。透光率为淀粉颗粒在水中的分散程度, 淀粉颗粒分散程度越高, 即该粉乳质地越均匀; 光线透过量越高, 该粉乳越透明。

#### 1.2.2.5 凝沉稳定性的测定<sup>[17]</sup>

称取 2 g 绿豆粉, 配制为体积分数为 2% 的绿豆粉乳, 置于沸水水浴 15 min, 取出冷却至室温, 用蒸馏水加至原体积, 将淀粉糊移入 100 L 具塞量筒, 室温下静置, 计算 24 h 后沉淀部分的体积。

### 1.3 数据统计分析

每个样品均平行提取 3 次进行测定, 结果以平均数  $\pm$  标准差表示。采用 SPSS 19.0 软件对实验数据进行统计分析, 采用 Excel 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 煮制时间对总淀粉含量的影响

煮制 10~70 min, 绿豆总淀粉含量呈现下降趋势; 煮制 10~20 min 和 50~60 min 时, 淀粉含量下降幅度最大; 煮制 60~70 min, 总淀粉含量趋近于平稳, 见图 1。观察煮制过程中绿豆的状态发现, 随着煮制时

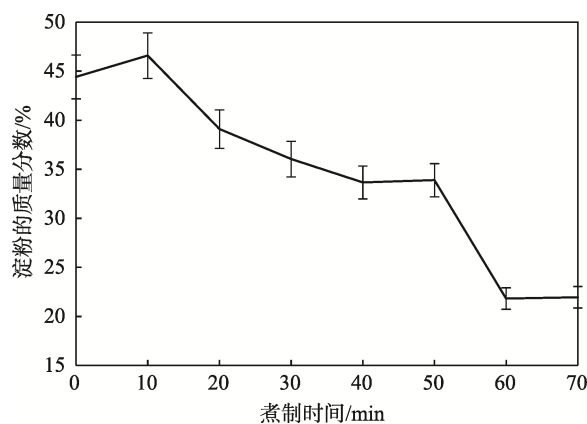


图 1 煮制时间对总淀粉含量的影响  
Fig.1 Effect of cooking time on total starch content

间的延长,绿豆粒吸水后体积逐渐胀大,煮制 50 min 后,大部分绿豆表皮破裂,颗粒已不再完整。综上所述,随着煮制时间延长,绿豆中的总淀粉含量呈下降趋势,主要是由于热加工导致绿豆中的淀粉发生了糊化,且随着温度的升高和时间的延长,绿豆颗粒表皮破裂,糊化程度进而加深,淀粉颗粒溶出,溶入绿豆汤中,进而导致绿豆颗粒中的淀粉含量明显降低。

## 2.2 煮制时间对直支链淀粉含量的影响

支链淀粉含量随煮制时间的延长而降低,且趋势明显,煮制 10~20 min 和 50~60 min 时,支链淀粉含量下降较明显,煮制 60 min 后有异常上升现象;直链淀粉含量总体也随着煮制时间的延长而降低,但趋势变化较缓慢,不如支链淀粉变化明显,见图 2。这一变化的主要原因是热加工导致绿豆中的淀粉发生糊化,而支链淀粉较直链淀粉更易糊化,且煮制 10 min 后支链淀粉先吸水膨胀,含量变化明显,而煮制 50 min 时,绿豆皮破裂,支链淀粉先溶出,所以在这 2 个时间段支链淀粉变化较直链淀粉更为明显。随着煮制时间延长,绿豆皮破裂,部分淀粉溶入绿豆汤,导致绿豆颗粒中 2 种淀粉含量的下降;支链淀粉含量在煮制 60 min 后异常增加,可能是在取样时绿豆颗粒与淀粉分离不彻底,有部分绿豆被绿豆汤中的淀粉糊黏附进而导致的误差。

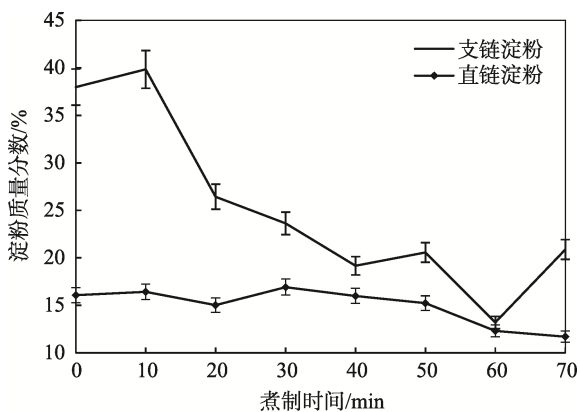


图 2 煮制时间对直支链淀粉含量的影响  
Fig.2 Effect of cooking time on amylopectin content

## 2.3 煮制时间对溶解度与膨胀力的影响

绿豆的溶解度随煮制时间的延长总体呈上升趋势,从煮制开始至煮制 30 min,溶解度变化不明显,只是略有波动,这与绿豆皮的包裹作用有关,绿豆种皮细胞壁较致密,短时间内水分无法大量进入,淀粉颗粒依然保持完整致密的状态,所以溶解度变化不明显,见图 3。从煮制 30 min 开始,溶解度明显增大,60 min 后溶解度变化趋缓。这一变化趋势与绿豆中淀粉的糊化和蛋白质的变性有直接关系,煮制 30 min 后,绿豆皮细胞壁开始被破坏,绿豆中淀粉颗粒开始

大量吸水溶胀,糊化速度加快,淀粉颗粒解体,从而暴露了更多的羟基,使其溶解度增大。另外,绿豆中可溶性蛋白质逐渐溶解、蛋白质的适度变性,释放了更多的亲水性基团,也是溶解度明显增大的主要原因之一。从溶解度变化上看,煮制时间超过 60 min 不利于绿豆食品加工。

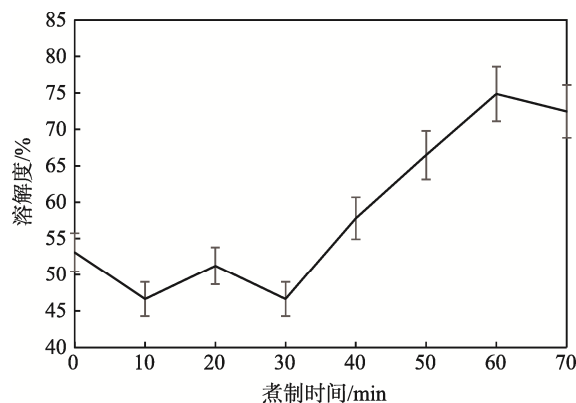


图 3 煮制时间对溶解度的影响  
Fig.3 Effect of cooking time on the solubility

绿豆的膨胀力整体呈下降趋势,煮制 50 min 后膨胀力趋于稳定,见图 4。绿豆膨胀力的降低与绿豆中淀粉的变化有直接关系,随着煮制时间的延长,绿豆中的淀粉颗粒逐渐解体,支链淀粉的分枝结构发生部分断裂、长直链淀粉断裂成较短直链,直链淀粉分子之间的作用开始加强,水合作用减弱,所以绿豆的膨胀力逐渐下降。另外膨胀力同样也与绿豆中蛋白质的状态有关,蛋白质结构的变化影响其膨胀力,尤其蛋白质变性的影响较明显,煮制时间延长,蛋白质的过度变性使蛋白质的水合能力降低,从而也降低了膨胀力。

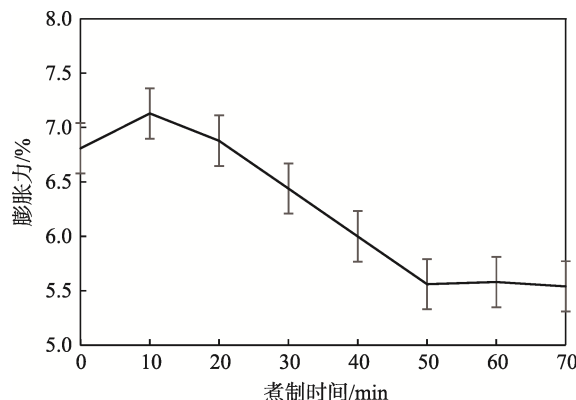


图 4 煮制时间对膨胀力的影响  
Fig.4 Effect of cooking time on swelling force

## 2.4 煮制时间对透明度的影响

从煮制开始到 40 min,绿豆的透明度呈波动趋势,煮制 40~60 min 后透明度明显增大,煮制 60 min

后透明度略有下降,见图 5。绿豆皮的结构、绿豆中淀粉的糊化程度、蛋白质结构变化都对绿豆的透明度有着直接影响。煮制前 40 min,绿豆皮细胞壁的完整结构使绿豆透明度一直没有明显变化,且淀粉颗粒及蛋白质的吸水溶胀,对透明度的影响也不明显;煮制 40 min 后,绿豆皮破裂,淀粉粒糊化度提高,淀粉颗粒结构崩塌,蛋白质变性,暴露的亲水性基团与水分子的相互作用增加了透明度,但煮制 60 min 后,蛋白质的进一步聚集使得透明度变差。另外,煮制前期透明度的波动变化也可能与绿豆皮粉碎程度和悬浮状态有关。

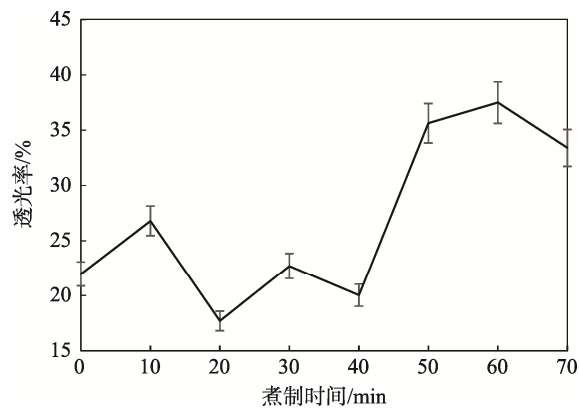


图 5 煮制时间对透明度的影响  
Fig.5 Effect of cooking time on the transparency

2.5 煮制时间对凝沉稳定性的影响

煮制前 40 min,绿豆的凝沉体积变化不明显,随着煮制时间的延长,凝沉体积略有提高,凝沉稳定性变化不大,见图 6。煮制 40 min 后,绿豆的凝沉体积开始下降;煮制 50 min 后,凝沉体积明显减小。一般来说,凝沉性与淀粉有着直接关系,淀粉糊的凝沉体积越小,凝沉稳定性越好,凝胶能力越强,越不容

易发生回生现象。随着煮制时间的延长,淀粉吸水糊化,支链淀粉含量降低,直链淀粉含量略有增大,凝沉体积略有升高,而随着煮制程度的加深,淀粉粒解体,淀粉含量降低,糊化后的淀粉分子亲水性增强,凝沉体积就会明显减小。

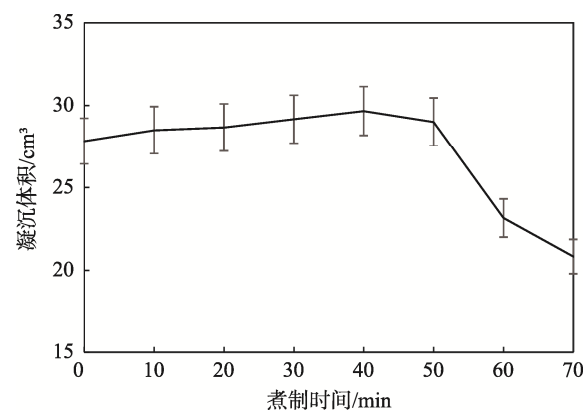


图 6 煮制时间对凝沉稳定性的影响  
Fig.6 Effect of cooking time on the coagulation and sedimentation characteristics

2.6 相关性分析

煮制时间与绿豆粉总淀粉含量、支链淀粉含量、直链淀粉含量、溶解度、透光率、膨胀力和凝沉体积都有相关关系,见表 1。煮制时间与溶解度呈极显著正相关关系,与绿豆中总淀粉含量和膨胀力呈极显著负相关关系,与透光率呈显著正相关关系,与直链和支链淀粉含量和凝沉体积呈显著负相关关系。随着凝沉体积越大,凝沉稳定性越弱,此时煮制时间与凝沉稳定性呈显著正相关关系。

总淀粉含量与膨胀力、支链淀粉含量和凝沉体积呈极显著正相关关系,与溶解度呈极显著负相关关系,与直链淀粉含量呈显著正相关关系,与透光

表 1 各个因素的相关性  
Tab.1 Correlation of each factor

| 因素     | 平均值     | 标准差     | 煮制时间      | 总淀粉含量    | 支链淀粉含量  | 直链淀粉含量   | 溶解度       | 透光率      | 膨胀力   | 凝沉体积 |
|--------|---------|---------|-----------|----------|---------|----------|-----------|----------|-------|------|
| 煮制时间   | 40.0000 | 27.3861 | 1         |          |         |          |           |          |       |      |
| 总淀粉含量  | 33.0302 | 9.9081  | -0.964*** | 1        |         |          |           |          |       |      |
| 支链淀粉含量 | 27.0132 | 8.8951  | -0.783*   | 0.838**  | 1       |          |           |          |       |      |
| 直链淀粉含量 | 16.7389 | 2.1261  | -0.708*   | 0.793*   | 0.426   | 1        |           |          |       |      |
| 溶解度    | 0.5957  | 0.1092  | 0.838**   | -0.864** | -0.694* | -0.786*  | 1         |          |       |      |
| 透光率    | 0.2803  | 0.7111  | 0.760*    | -0.708*  | -0.480  | -0.572   | 0.848**   | 1        |       |      |
| 膨胀力    | 0.0619  | 0.0064  | -0.902*** | 0.877**  | 0.838** | 0.556    | -0.904*** | -0.800** | 1     |      |
| 凝沉体积   | 26.2967 | 3.8932  | -0.776*   | 0.831**  | 0.415   | 0.936*** | -0.733*   | -0.643   | 0.578 | 1    |

注: \*表示  $P<0.05$ , \*\*表示  $P<0.01$ , \*\*\*表示  $P<0.001$



率呈显著负相关关系；支链淀粉含量与膨胀力呈极显著正相关关系，与透光率呈显著负相关关系；直链淀粉含量与凝沉体积呈极显著正相关关系，与溶解度呈显著负相关关系；溶解度与透光率呈极显著正相关关系，与膨胀力呈极显著负相关关系，与凝沉体积呈显著负相关关系；透光率与膨胀力呈极显著负相关关系。

综上所述，说明煮制时间是影响绿豆中淀粉含量及其糊化性质的主要因素，且总淀粉含量是影响淀粉糊性质的最主要因素，支链淀粉含量是影响淀粉膨胀力的最主要因素，而直链淀粉含量则直接影响凝沉稳定性。

### 3 结 语

在加热煮制过程中，绿豆中的淀粉含量变化明显，随着煮制时间的延长，尤其是绿豆皮破损后，部分淀粉溶解于绿豆汤中，致使绿豆中总淀粉含量、直/支链淀粉含量逐渐降低；在水中加热绿豆也使得绿豆粒中的淀粉发生糊化，进而绿豆的溶解度、膨胀力、透明度和凝沉稳定性都受到不同程度的影响。绿豆煮制 50 min 后，绿豆的膨胀力和透明度基本保持稳定；煮制 60 min 后，总淀粉含量、直/支链淀粉含量基本保持稳定，同时绿豆的溶解度达到最大；煮制 70 min 时，凝沉体积最小，因此，在绿豆食品的加工过程中，要根据不同加工目的和不同的淀粉理化性质，选择不同的煮制时间，力求达到最优的产品质量。

在煮制过程中，绿豆的总淀粉含量和直/支链淀粉含量的降低，是煮制绿豆理化性质发生变化的直接原因，所以还应该对绿豆的糊化性质变化进行更深入的研究，同时还应综合考察绿豆中蛋白质等成分的影响，以期对绿豆的煮制加工提供更可靠的理论依据。

#### 参考文献：

- [1] 张会娟, 胡志超, 吕小莲, 等. 我国绿豆加工利用概况与发展分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 234—236.  
ZHANG Hui-juan, HU Zhi-chao, LYU Xiao-lian, et al. Overview and Development Analysis of Mung Bean Processing and Utilization in China[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(1): 234—236.
- [2] 田茜, 张文兰, 李群, 等. 绿豆的品质特性及综合利用研究进展[J]. 中国农学通报, 2016, 32(9): 77—82.  
TIAN Qian, ZHANG Wen-lan, LI Qun, et al. Research Progress on Quality Characteristics and Comprehensive Utilization of Mung Bean[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(9): 77—82.
- [3] ANIL G, RÉNYOU G, KAO W, et al. Physicochemical Properties of Mung Bean Starches Isolated from Four Varieties Grown in Sri Lanka[J]. Starch, 2018, 70(3): 20—59.
- [4] 张令文, 计红芳, 白师师, 等. 不同品种绿豆淀粉的功能特性比较研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(6): 84—90.  
ZHANG Ling-wen, JI Hong-fang, BAI Shi-shi, et al. Comparative Study on Functional Properties of Different Varieties of Mung Bean Starch[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(6): 84—90.
- [5] 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. Study on Properties and Pasting Properties of Mung Bean Starch[J]. Crop Journal, 2013(2): 134—138.
- [6] LI Wen-hao, GUO Hong-mei, WANG Peng, et al. Physicochemical Characteristics of High Pressure Gelatinized Mung Bean Starch During Recrystallization[J]. Issue Prepublish, 2015(131): 432—438.
- [7] 王立东, 刘婷婷, 张丽达, 等. 机械活化处理对绿豆淀粉理化性质的影响[J]. 中国酿造, 2016, 35(8): 137—141.  
WANG Li-dong, LIU Ting-ting, ZHANG Li-da, et al. Effect of Mechanical Activation Treatment on Physicochemical Properties of Mung Bean Starch[J]. Brewing in China, 2016, 35(8): 137—141.
- [8] 李贵萧. 高压均质对淀粉结构、性质影响及其机械力化学效应研究[D]. 青岛: 山东农业大学, 2017: 5—10.  
LI Gui-xiao. Effect of High Pressure Homogenization on Starch Structure and Properties and Its Mechanochemical Effect[D]. Qingdao: Shandong Agricultural University, 2017: 5—10.
- [9] 李文浩, 舒畅, 闫淑琴, 等. 蒸煮工艺参数对绿豆糊化特性的影响[J]. 食品科技, 2010(3): 164—167.  
LI Wen-hao, SHU Chang, YAN Shu-qin, et al. Effect of Cooking Process Parameters on Pasting Properties of Mung Bean[J]. Food Science and Technology, 2010(3): 164—167.
- [10] CHETAN S, BALJIT S, SYED Z H, et al. Investigation of Process and Product Parameters for Physicochemical Properties of Rice and Mung Bean (Vigna Radiata) Flour Based Extruded Snacks[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(6): 1711—1720.
- [11] HILKA Y, NANCY D Y, SLAMET B. Formulasi Mi Kering Sagu Dengan Substitusi Tepung Kacang Hijau (Formulation of Dry Sago Noodles with Mung Bean Flour Substitution)[J]. Agritech, 2015, 35(4): 15—28.

- [12] 孙军涛, 张智超, 肖付刚, 等. 高温高压和常压蒸煮对绿豆糊化度的影响研究[J]. 食品工业, 2019, 40(5): 103—105.  
SUN Jun-tao, ZHANG Zhi-chao, XIAO Fu-gang, et al. Effect of High Temperature and High Pressure and Atmospheric Pressure Cooking on Gelatinization Degree of Mung Bean[J]. Food Industry, 2019, 40(5): 103—105.
- [13] GB 5009.9—2016, 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定[S].  
GB 5009.9—2016, National Food Safety Standard Determination of Starch in Food[S].
- [14] 刘襄河, 郑丽璇, 郑丽勉, 等. 双波长法测定常用淀粉原料中直链淀粉支链淀粉及总淀粉含量[J]. 广东农业科学, 2013, 40(18): 97—100.  
LIU Xiang-he, ZHENG Li-xuan, ZHENG Li-mian, et al. Determination of Amylose, Amylopectin and Total Starch Content in Common Starch Raw Materials by Dual Wavelength Method[J]. Guangdong Agricultural Science, 2013, 40(18): 97—100.
- [15] 陶丽, 周云飒, 柏韵, 等. 玉米淀粉与马铃薯淀粉复配特性研究[J]. 科技动态, 2017(10): 38—39.  
TAO Li, ZHOU Yun-feng, BAI Yun, et al. Study on the Compound Characteristics of Corn Starch and Potato Starch[J]. Trends in Science and Technology, 2017(10): 38—39.
- [16] 何海霞, 黎冬明, 吴莹莹, 等. 脚板薯淀粉理化特性研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 30—33.  
HE Hai-xia, LI Dong-ming, WU Ying-ying, et al. Physicochemical Characteristics of Tapioca Starch[J]. Food and Machinery, 2020, 36(5): 30—33.
- [17] 何绍凯, 刘文娟, 曹余, 等. 马铃薯氧化羟丙基淀粉的制备及其性能研究[J]. 食品科技, 2017, 42(2): 245—250.  
HE Shao-kai, LIU Wen-juan, CAO Yu, et al. Preparation and Properties of Oxidized Hydroxypro-Pyl Starches from Potato[J]. Food Technology, 2017, 42(2): 245—250.