

# 甘肃主要杂豆淀粉理化特性分析

郭神旺, 王 充, 单玉琳, 罗勤贵, 张国权\*

(西北农林科技大学食品学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘 要:** 以甘肃产三角豌豆、白豌豆、小白芸豆、麻豌豆为材料, 采用湿磨法提取淀粉, 以玉米、马铃薯及绿豆淀粉为对照, 对杂豆淀粉的理化特性进行分析。结果表明: 参试杂豆淀粉颗粒多呈卵圆形, 偏光十字较明显, 多呈“X”形和斜十字形, 部分淀粉颗粒呈现明显多脐点现象, 平均粒径为 21~29  $\mu\text{m}$ , 其中三角豌豆淀粉的粒径最大而麻豌豆淀粉颗粒最小; 淀粉颗粒的结晶类型与绿豆淀粉相同, 为 C 型。其直链淀粉含量远高于玉米淀粉和马铃薯淀粉, 且麻豌豆 > 小白芸豆 > 白豌豆 > 三角豌豆淀粉。杂豆淀粉属限制型膨胀淀粉, 起糊温度为 72.6~78.8  $^{\circ}\text{C}$ , 且具有较好的热糊和冷糊稳定性, 淀粉糊的透明度较高, 但凝沉速度均极快, 冻融稳定性也都较差。4 种杂豆淀粉的理化特性与绿豆淀粉相近, 可耐受高温处理, 但不宜用于冷冻类食品的生产。

**关键词:** 杂豆; 淀粉; 颗粒特性; 淀粉糊特性

## Physical and Chemical Properties of Starch from Major Legume Species in Gansu

GUO Shen-wang, WANG Chong, SHAN Yu-lin, LUO Qin-gui, ZHANG Guo-quan\*

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In this work, physical and chemical properties of starches extracted by wet-grinding method from four major species of legume in Gansu province including pea (*Pisum sativum* L.), colored pea (*Pisum sativum* L.), white bean (*Phaseolus vulgaris* L.), *Lathyrum hirsatava* (*Lathyrus sativus* L.) were analyzed and compared with those of corn, potato and mung bean starches. Starch granules from these legume species under investigation were kidney-shaped with obvious birefringence in X-shape and cross-shape. Meanwhile, some starch granules revealed obvious umbilical points. The average size of starch particles was 21–29  $\mu\text{m}$ , and *Lathyrum hirsatava* starch particles revealed the largest size, but colored pea revealed the smallest size. The crystal type of legume starch granules was type C, so was mung bean starch. Compared with corn starch and potato starch, the contents of amylose in starches from the four legume species showed a considerable increase, and were ranked in descending order as follows: colored pea starch, white bean starch, pea starch and *Lathyrum hirsatava* starch. These legume starches displayed increases in swelling capacity and solubility with increasing temperature, which belonged to restricted type expansion starch. Their starting pasting temperature varied in the range of 72.6–78.8  $^{\circ}\text{C}$ . Moreover, good hot paste and cold paste stability and high paste transparency were observed, while the retrogradation rate was fast and the freeze-thaw stability was poor. In conclusion, the properties of these legume starches were similar to those of mung bean starch. The legume starches tested in this study could tolerate heat treatment, but was not suitable for the production of frozen foods.

**Key words:** legume; starch; starch granule properties; starch paste properties

中图分类号: TS235.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)15-0127-06

杂豆在黄土高原旱作农区作物生产中居主体地位, 至今陕西、甘肃、山西、内蒙古等地仍为杂豆主产区<sup>[1]</sup>。三角豌豆(*Lathyrus sativus* L.)又名马牙豆、山黧豆、山棱豆、牙豌豆等, 属豆科山黧豆属, 其碳水化合物含量高达 61%, 是一种粮、菜、绿肥、饲料兼用的豆

科作物; 白豌豆(*Pisum sativum* L.), 属蚕豆族豌豆属, 为优良饲用作物; 小白芸豆(*Phaseolus vulgaris* L.)又名珍珠豆、玉华豆, 属菜豆族菜豆属, 是一种传统滋补食疗佳品; 麻豌豆(*Pisum sativum* L.), 属豌豆系列, 是一种较为普遍的粮用豌豆<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2011-07-04

作者简介: 郭神旺(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为粮食油脂与植物蛋白工程。E-mail: guo87052450@126.com

\*通信作者: 张国权(1968—), 男, 教授, 博士, 研究方向为谷物品质评价及淀粉工程技术。E-mail: zhanggq98@126.com

杂豆具有高蛋白、低脂肪、中淀粉的组成特点<sup>[3]</sup>,在粮食组成和传统饮食中占有重要地位。杂豆籽粒中淀粉含量一般在40%~60%,因种属和栽培环境条件等的不同,其淀粉的理化特性有较大差异<sup>[4]</sup>。淀粉理化特性对原料加工和食品最终品质有重要影响,近年来,杂豆淀粉理化特性如淀粉粒颗粒形态<sup>[5-12]</sup>、淀粉糊黏度特性<sup>[5,8-11]</sup>、凝沉特性<sup>[5,8-11]</sup>等的研究已有一定报道,并且部分杂豆淀粉如绿豆淀粉、蚕豆淀粉、鹰嘴豆淀粉等在工业上也有较广泛的应用<sup>[8,13]</sup>。然而杂豆种类繁多,对不同杂豆淀粉以及它们与禾谷类、薯类淀粉间的差异的研究报道较少或缺乏全面认识。本研究旨在比较不同杂豆间淀粉理化特性的差异,并期望归纳出杂豆区别于谷类及薯类淀粉的独特性质,为杂豆资源的开发利用提供依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

三角豌豆、小白芸豆、白豌豆、麻豌豆均于2010年采自甘肃环县,杂豆淀粉采用湿法提取。对照均为市售商品淀粉,其中绿豆淀粉购于河北衡水福桥淀粉公司,马铃薯淀粉购于陕北新田源淀粉公司,玉米淀粉购于西安下店淀粉厂。

无水硫酸钠、碘、碘化钾均为分析纯 西安三浦化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Kjeltec2100 半自动凯氏定氮仪 瑞典富斯-特卡托公司; Micro-Visco-Amylo-Graph 布拉本德微型糊化黏度仪 德国 Brabender OHG 公司; Model D/max-2551/PC X 射线衍射仪 日本理学公司; Mastersizer 2000 激光粒度分析仪 英国马尔文公司; JSM-6360LV 扫描电子显微镜 日本电子公司; 紫外-可见分光光度计 日本岛津公司; DMBA400 数码显微镜 麦克奥迪实业集团中国有限公司; FW100 高速万能粉碎机 天津泰斯特仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 杂豆淀粉湿法提取

称取一定量杂豆,先用自来水漂洗去除杂质,沥干水后。浸泡条件为0.3%~0.5%亚硫酸钠液,料液比1:5,室温浸泡36~48h(用手恰可搓掉豆皮为宜),期间换水两次。用打浆机打浆并过100目筛,去除皮渣。滤后浆液静置3~4h后,倾去上清液,用蒸馏水冲洗并去除沉淀表层带颜色杂质,再用适量蒸馏水浸泡混匀后,在3000r/min离心10min,刮去表面浅色蛋白,并反复用水冲洗,剩余的底层白色沉淀物在45℃的烘箱中干燥,即得杂豆淀粉。

#### 1.3.2 杂豆淀粉组成分析

水分测定:参照GB 5009.3—1985《食品中水分的测定方法》。粗蛋白测定:半微量凯氏定氮法,参照GB 5511—1985《粮食、油料检验 粗蛋白质测定法》。淀粉测定:参照GB 5514—1985《粮食、油料检验淀粉测定法》。粗油脂测定:参照GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪含量测定》。粗灰分测定:参照GB/T 22510—2008《谷物、豆类及副产品灰分含量的测定》。

#### 1.3.3 杂豆淀粉颗粒特性

##### 1.3.3.1 杂豆淀粉颗粒的扫描电镜和偏光十字观察

淀粉颗粒的扫描电镜观察参照杜双奎等<sup>[10]</sup>的方法;偏光十字观察参照张国权等<sup>[14]</sup>的方法。

##### 1.3.3.2 杂豆淀粉颗粒粒径大小

淀粉样品悬浮于水中,超声波分散后进样,根据激光衍射法进行自动分析,经计算机软件自动处理分析结果,可得到样品的粒径分布数据(分散剂为蒸馏水)。

##### 1.3.3.3 杂豆淀粉颗粒晶体类型、直支链淀粉比和碘蓝值测定

淀粉颗粒晶体类型测定参照张国权等<sup>[14]</sup>的方法,用Jade 5.0 拟合分峰计算结晶度。直支链淀粉比测定参考采用GB/T 15683—1995《稻米直链淀粉含量的测定》方法。淀粉颗粒碘蓝值测定参照程学勋<sup>[15]</sup>的方法。

##### 1.3.3.4 杂豆淀粉溶解度与膨胀势

取30mL 20g/L 淀粉乳于50、60、70、80、90℃恒温振荡器中振荡30min后,迅速冷却至室温,于3000r/min离心10min,上清液倾入恒质量铝盒( $m_1$ )中,称取离心管及沉淀( $m_0$ ),105℃鼓风干燥烘箱内烘3h至恒质量,再冷却至室温,称质量 $m_2$ ,同时烘干离心管,冷却至室温,称质量 $m_3$ ,以 $m$ 表示淀粉干基质量。

$$\text{膨胀势} = \frac{m_0 - m_3}{m - (m_2 - m_1)} \quad (1)$$

$$\text{溶解度}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m} \times 100 \quad (2)$$

#### 1.3.4 杂豆淀粉糊特性

##### 1.3.4.1 淀粉糊黏度和凝沉特性测定

参照张国权等<sup>[14]</sup>的方法。

##### 1.3.4.2 淀粉糊透光度

参考张国权等<sup>[14]</sup>的方法,配制质量浓度1g/100mL的淀粉乳,将刻度管置于沸水浴加热30min,并不断振荡,使其充分糊化,取出后冷却30min,测样液在640nm波长处的透光度。

1.3.4.3 冻融稳定性

参考 Arunyanart 等<sup>[16]</sup>的方法, 并作改进, 配制质量浓度为 0.06kg/L 淀粉乳, 在恒定振荡下, 快速加热到 95℃, 保持 30min, 冷却到 25℃后, -18℃下冷冻 22h, 25℃条件下融化 2h, 再在 -18℃条件下冷冻, 循环 3 次。每次循环后, 3000r/min 离心 20min, 去掉上清液, 并称取沉淀物质量, 计算冻融析水率。

$$\text{冻融析水率} / \% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

式中:  $m_1$  为淀粉糊质量/g;  $m_2$  为沉淀物质量/g。

2 结果与分析

2.1 杂豆淀粉品质评价

表 1 湿法提取后杂豆淀粉的组成

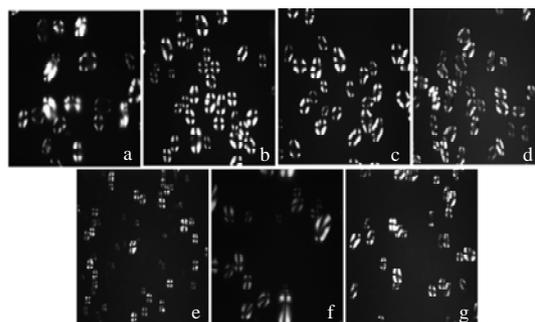
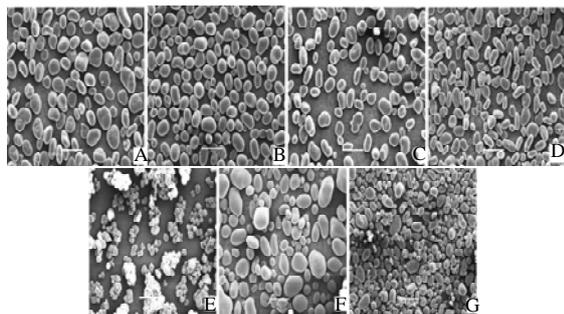
Table 1 Chemical composition of starches extracted from four species of legume by wet-grinding method

淀粉来源	淀粉含量/%	粗蛋白含量/%	灰分含量/%	油脂含量/%
三角豌豆	93.28 ± 3.21	0.524 ± 0.014	0.02 ± 0.01	< 0.1
小白芸豆	95.95 ± 5.80	0.418 ± 0.002	0.06 ± 0.02	< 0.1
白豌豆	95.38 ± 1.92	0.387 ± 0.011	0.10 ± 0.01	< 0.1
麻豌豆	96.32 ± 4.30	0.411 ± 0.006	0.12 ± 0.01	< 0.1

由表 1 可知, 经湿法提取, 4 种杂豆淀粉的蛋白残留都小于 0.8%, 淀粉含量高于 85%, 脂肪含量均低于 0.1%, 符合淀粉测定要求<sup>[10]</sup>。

2.2 杂豆淀粉颗粒特性

2.2.1 淀粉颗粒光学形貌



A~G. 三角豌豆淀粉、小白芸豆淀粉、白豌豆淀粉、麻豌豆淀粉、玉米淀粉、马铃薯淀粉、绿豆淀粉的颗粒形貌; a~g. 三角豌豆淀粉、小白芸豆淀粉、白豌豆淀粉、麻豌豆淀粉、玉米淀粉、马铃薯淀粉、绿豆淀粉的偏光十字照片。

图 1 杂豆及对照淀粉的颗粒形貌和偏光十字照片(×400)  
Fig.1 Shape and polarization cross photographs of starch granules from different sources (×400)

由图 1 可知, 不同来源的淀粉, 其颗粒形貌不同。玉米淀粉颗粒呈多角形或球形; 马铃薯淀粉颗粒较大, 为卵圆形和球形。参试杂豆淀粉颗粒表面光滑且多为卵圆形或肾形, 少数小颗粒为球形, 这与 Hoover 等<sup>[6,12]</sup>对兵豆淀粉、芸豆淀粉的报道结果一致。淀粉颗粒偏光十字的位置、形状、明显程度与淀粉粒的来源密切相关<sup>[17]</sup>。玉米淀粉的偏光十字多呈斜十字形、少部分呈垂直十字交叉形, 马铃薯淀粉偏光十字最明显, 十字交叉位于颗粒的一端, 呈典型的“X”形。与对照相比, 杂豆淀粉的偏光十字都较明显, 且十字交叉点都接近于颗粒中心位置, 但偏光十字的形状存在较大差异。其中三角豌豆淀粉、麻豌豆淀粉的偏光十字多呈“X”形, 小白芸豆、白豌豆及对照绿豆淀粉颗粒多呈斜十字形, 少数为“X”形。此外, 杂豆淀粉颗粒的多呈现明显不规则的多十字交叉点现象, 这种多脐点的特征可能与淀粉种属来源有关。

2.2.2 杂豆淀粉颗粒组成特性、粒径大小与结晶类型

由表 2 可知, 参试杂豆淀粉颗粒内部的直链淀粉含量较高, 直支链淀粉比远高于对照玉米淀粉、马铃薯淀粉及绿豆淀粉, 麻豌豆淀粉的直支链淀粉比最高。碘

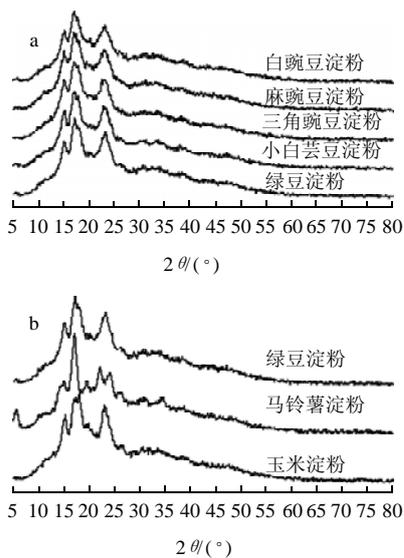
表 2 杂豆及对照淀粉颗粒的组成特性、粒径大小及晶体结构

Table 2 Composition characteristics, particle size and crystal structure of different starch granules

淀粉来源	直支链淀粉比	碘蓝值	体积平均粒径/μm	体积分数/%			淀粉粒结晶类型	淀粉粒结晶度/%
				小颗粒(<10μm)	中颗粒(10~30μm)	大颗粒(>30μm)		
三角豌豆	0.54 ± 0.02	0.49 ± 0.01	29.81 ± 0.05	6.39 ± 0.01	90.92 ± 0.07	2.68 ± 0.07	C	36.27
小白芸豆	0.60 ± 0.01	0.51 ± 0.00	26.96 ± 0.66	6.03 ± 0.00	95.20 ± 3.13	0.77 ± 0.34	C	34.97
白豌豆	0.56 ± 0.02	0.53 ± 0.01	25.44 ± 0.14	6.83 ± 0.08	92.30 ± 0.38	0.87 ± 0.30	C	35.81
麻豌豆	0.63 ± 0.03	0.53 ± 0.00	21.63 ± 0.28	8.49 ± 0.34	91.47 ± 0.36	0.04 ± 0.02	C	36.36
玉米	0.26 ± 0.01	0.31 ± 0.00	13.62 ± 0.04	40.01 ± 0.30	59.99 ± 0.31	0.00 ± 0.00	A	33.44
马铃薯	0.33 ± 0.01	0.42 ± 0.00	32.51 ± 0.02	5.45 ± 0.66	84.31 ± 0.61	10.23 ± 0.06	B	37.29
绿豆	0.51 ± 0.02	0.47 ± 0.01	20.50 ± 0.33	16.62 ± 0.00	83.05 ± 0.04	0.32 ± 0.05	C	37.31

蓝值反映淀粉吸附碘能力的大小,与直链淀粉含量、分子大小以及支链淀粉侧支链的长短有关<sup>[15]</sup>。杂豆淀粉的碘蓝值均高于玉米淀粉和马铃薯淀粉,这与其直链淀粉含量高的结果相一致。但白豌豆淀粉的直链淀粉含量较低,碘蓝值却高于小白芸豆淀粉,这可能是由于白豌豆淀粉颗粒中支链淀粉的侧链较长<sup>[14]</sup>。

淀粉来源不同,其淀粉颗粒的粒径大小差异较大。参试杂豆淀粉中,三角豌豆淀粉的平均粒径最大,麻豌豆淀粉粒径最小,平均粒径为21~29 μm,均小于马铃薯淀粉颗粒的平均粒径而大于绿豆淀粉和玉米淀粉。包括对照淀粉在内,淀粉粒径处于10~30 μm间的颗粒所占体积分数均最高,但对照玉米淀粉的小颗粒淀粉含量高,马铃薯淀粉的大颗粒淀粉含量高。与绿豆淀粉相比,参试杂豆淀粉的小颗粒淀粉含量较低,这可能与淀粉提取工艺不同有关。



a. 杂豆淀粉; b. 对照淀粉。下同。

图2 杂豆及对照淀粉的X射线衍射图谱

Fig. 2 X-ray diffraction pattern of legume starches

已知的天然淀粉主要有A、B、C 3种结晶类型,其中玉米淀粉为A型、马铃薯淀粉为B型、绿豆淀粉为C型<sup>[17]</sup>。由图2可知,4种杂豆淀粉颗粒的X射线衍射图谱与绿豆淀粉相似,即都在 $2\theta$ 为 $15.35^\circ$ 、 $17.35^\circ$ 、 $18.5^\circ$ 、 $23.4^\circ$ 附近出现了强衍射峰,并且不同杂豆淀粉间的衍射强度及位置略有差异。由此可见,杂豆淀粉颗粒的微晶结构与绿豆淀粉颗粒相同,属于C型结晶,这与Hoover<sup>[12]</sup>、Ratnayake<sup>[18]</sup>等的研究结果基本一致,其结晶度为34%~37%。

### 2.2.3 杂豆淀粉膨胀势与溶解度

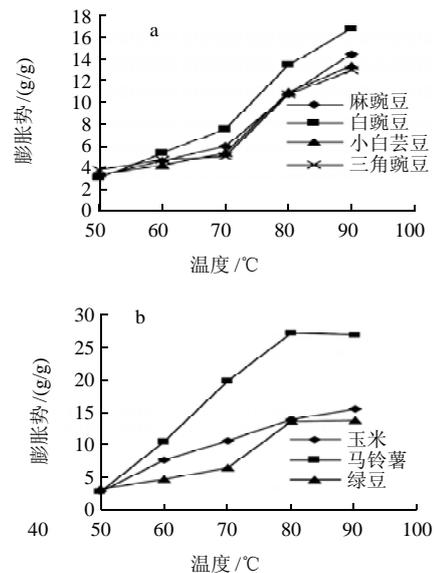


图3 杂豆及对照淀粉的膨胀势

Fig. 3 Swelling capacity of legume starches

淀粉在过量的水中受热,水分不断攻击淀粉颗粒,使其吸水膨胀,同时造成颗粒无定形区部分直链淀粉溶出和结晶区的不断裂解<sup>[19]</sup>。膨胀势用淀粉颗粒在膨胀过程中的吸水能力来表示,反映了淀粉颗粒内键的结合程度<sup>[17]</sup>。由图3可知,随着温度的升高,淀粉颗粒膨胀能力均增强,马铃薯淀粉颗粒的膨胀能力始终最强,参试杂豆淀粉中白豌豆淀粉颗粒的膨胀能力较强而其他3种相差不大。对照淀粉中,达到80°C以后,马铃薯淀粉、绿豆淀粉及玉米淀粉的膨胀势已经基本趋于稳定。

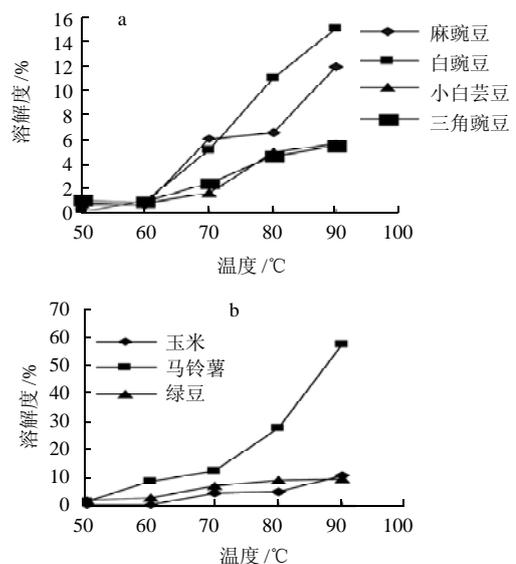


图4 杂豆及对照淀粉的溶解度

Fig. 4 Solubility of legume starches

由图4可知,随着温度的升高(50~90℃),参试淀粉的溶解度都有所增加,马铃薯淀粉的溶解度始终远高于其他淀粉,麻豌豆淀粉和白豌豆淀粉的溶解度要高于小白芸豆淀粉和三角豌豆淀粉。此外,在温度处于50~60℃时,除马铃薯淀粉外,参试淀粉的溶解度变化均不明显;而当温度处于70~90℃时,所有淀粉的溶解度都快速增加,70℃之后淀粉颗粒迅速吸水膨胀。这与淀粉颗粒膨胀势曲线基本相符,说明参试淀粉颗粒均存在一个初始膨胀阶段和迅速膨胀阶段,为典型的二段膨胀过程,属限制型膨胀淀粉<sup>[11]</sup>。

### 2.3 杂豆淀粉糊特性

#### 2.3.1 淀粉糊黏度特性及其透光度

表3 杂豆及对照淀粉糊的黏度特性及其透光度

Table 3 Viscosity characteristics and transmittance of different legume starch pastes

淀粉来源	A/℃	B/BU	C-B/BU	D-C/BU	E-D/BU	F-E/BU	透光度/%
三角豌豆	78.8	324	7	1	165	151	37.38 ± 0.16
小白芸豆	76.2	414	10	9	207	48	12.97 ± 0.01
白豌豆	72.6	259	38	37	118	30	22.05 ± 0.86
麻豌豆	74.9	201	35	35	68	23	12.05 ± 1.02
玉米	78.3	267	8	64	163	56	15.87 ± 0.95
马铃薯	66.6	1314	572	258	208	291	62.13 ± 2.81
绿豆	72.2	471	36	28	251	36	21.65 ± 0.68

注: A.起始糊化温度; B.峰值黏度; C-B.保温起始黏度与峰值黏度的差值,表示糊化难易; D-C.破损值; E-D.回生值; F-E.降温至50℃时,保温起始与终止时的黏度差,淀粉糊的冷黏度稳定性。

由表3可知,马铃薯淀粉的起始糊化温度最低,除三角豌豆淀粉的起始糊化温度稍高于玉米淀粉外,小白芸豆淀粉、麻豌豆淀粉、白豌豆淀粉的起始糊化温度均介于马铃薯淀粉和玉米淀粉之间,但都高于绿豆淀粉。杂豆淀粉的起始糊化温度范围为72.6~78.8℃。

白豌豆和麻豌豆淀粉的峰值黏度低于玉米淀粉,三角豌豆和小白芸豆淀粉的峰值黏度介于玉米淀粉和绿豆淀粉之间,杂豆淀粉的峰值黏度远低于马铃薯淀粉。马铃薯淀粉最易糊化,玉米淀粉最难糊化。参试4种杂豆中,三角豌豆淀粉最难糊化,小白芸豆淀粉比绿豆淀粉难糊化,而麻豌豆淀粉、白豌豆淀粉与绿豆淀粉的糊化难易程度相持平。

D-C反映淀粉糊的热稳定性,反映了淀粉糊在高温时的抗剪切能力。相对于热稳定性差马铃薯淀粉,三角豌豆淀粉、小白芸豆淀粉的热稳定性最好,麻豌豆淀粉、白豌豆淀粉的热稳定性较好,介于绿豆淀粉和玉米淀粉之间。这说明杂豆淀粉普遍具有较好的耐高温和高抗剪切能力,这可能与直链淀粉含量高有关<sup>[13]</sup>。

E-D反映淀粉糊冷却而形成凝胶的能力。对照淀粉中绿豆淀粉和马铃薯淀粉的凝胶形成能力强,玉米淀粉的凝胶形成能力较弱。麻豌豆淀粉、白豌豆淀粉的凝胶形成能力低于玉米淀粉,三角豌豆淀粉与玉米淀粉持平,小白芸豆淀粉的凝胶形成能力与马铃薯淀粉基本持平。

淀粉糊的冷糊稳定性(F-E)强弱依次为麻豌豆淀粉、白豌豆淀粉、绿豆淀粉>小白芸豆淀粉>玉米淀粉>三角豌豆淀粉>马铃薯淀粉,马铃薯淀粉的冷糊稳定性最差。

淀粉糊透光度反映淀粉与水互溶能力以及膨胀程度,是其表现出来的重要的外在特征之一,直接关系到淀粉质产品的外观和用途,进而影响产品的可接受性<sup>[20-21]</sup>。由表3可知,三角豌豆淀粉和白豌豆淀粉糊的透光度介于玉米淀粉和马铃薯淀粉之间,具有较高的透光度,而小白芸豆淀粉和麻豌豆淀粉糊的透光度低于玉米淀粉。这可能是由于有些杂豆淀粉的糊化温度较低,容易糊化,使其淀粉糊透光度较高;或是由于淀粉中直链淀粉含量偏高,淀粉颗粒吸水润胀和受热糊化后,分子重排相互缔合的程度较高,致使淀粉糊透光度变低<sup>[13]</sup>。

#### 2.3.2 杂豆淀粉糊的凝沉特性

糊化后的稀淀粉糊随着放置时间的延长,淀粉分子自然缔合并过渡到天然紧密状态,形成不溶物,使淀粉糊变浑浊或分层沉淀。

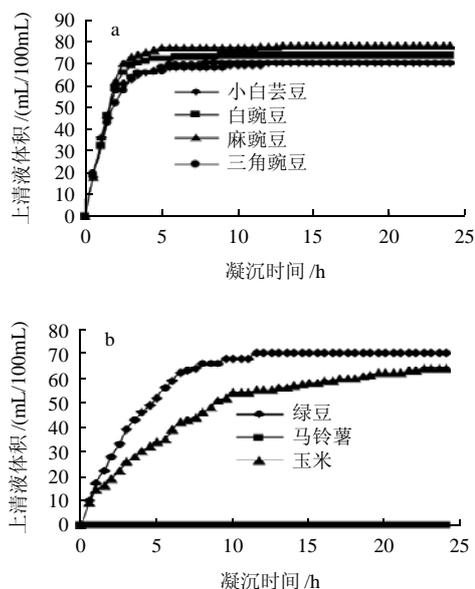


图5 杂豆及对照淀粉糊的凝沉曲线  
Fig. 5 Retrogradation curve of legume starches

由图5可知,与对照淀粉相比,小白芸豆淀粉、三角豌豆淀粉、麻豌豆淀粉、白豌豆淀粉的淀粉糊都

极不稳定,凝沉速度极快,5h内上清液体积就基本趋于稳定,体积为69.8~78mL/100mL。绿豆淀粉糊的凝沉速度稍慢,最终上清液体积为70.2mL/100mL。玉米淀粉糊的凝沉速度低于绿豆淀粉,最终上清液体积为64.2mL/100mL。马铃薯淀粉糊比较稳定,24h内几乎无变化。淀粉糊的凝沉与淀粉中直支链淀粉含量密切相关,直链淀粉的空间位阻较小,分子间裸露的氢键容易重新缔合,形成分子束,容易沉降;而支链淀粉侧支链较多,空间位阻大,可以在一定程度上阻止氢键的缔合,减缓沉降。杂豆淀粉糊的沉降速度较快可能与其直链淀粉含量高有关<sup>[22]</sup>。

### 2.3.3 淀粉糊的冻融稳定性

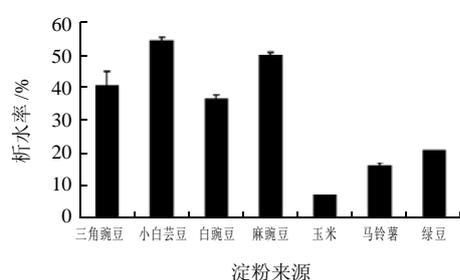


图6 杂豆及对照淀粉的冻融稳定性

Fig. 6 Freeze-thaw stability of legume starches and control samples

冻融稳定性反映淀粉糊耐受冷冻、融解等剧烈物理变化的能力<sup>[16]</sup>。由图6可知,玉米淀粉糊冻融析水率最少,说明其具有较好的冻融稳定性。马铃薯淀粉糊次之,参试杂豆淀粉糊冻融析水率都远高于绿豆淀粉,冻融稳定性较差。其中小白芸豆淀粉糊的冻融析水率最大,冻融稳定性最差。总体讲,参试4种杂豆淀粉糊耐受冷冻、融解等剧烈物理变化的能力较差。

## 3 结论

4种参试淀粉颗粒表面光滑,一般呈卵圆形或菱形,少数小颗粒为球形,其偏光十字都较为明显,三角豌豆、麻豌豆淀粉的偏光十字多呈“X”形;小白芸豆、白豌豆、绿豆淀粉颗粒的多呈斜十字形,少数为“X”形,交叉点一般都位于颗粒中心,但部分淀粉颗粒的偏光十字呈现出明显的多脐点现象。

4种杂豆淀粉的平均粒径大小处于21~29 $\mu\text{m}$ ,介于马铃薯淀粉和玉米淀粉之间,其中三角豌豆淀粉的平均粒径最大,麻豌豆淀粉的最小。其结晶类型为C型结晶。杂豆淀粉中的直链淀粉含量都远高于马铃薯淀粉和玉米淀粉,直链淀粉含量依次为麻豌豆淀粉>小白芸豆淀粉>白豌豆淀粉>三角豌豆淀粉>绿豆淀粉,且均属限制型膨胀淀粉。杂豆淀粉的起始糊化温度处于72.6~78.8 $^{\circ}\text{C}$ 间。除三角豌豆淀粉的起始糊化温度高于玉米淀粉外,其余杂豆淀粉的均介于马铃薯淀粉和玉米淀粉之间。杂豆淀粉均比马铃薯淀粉难糊化,峰值黏度

均低于马铃薯淀粉,均具有较高的冷热糊稳定性。杂豆淀粉糊的透光度均低于马铃薯淀粉,三角豌豆、白豌豆、绿豆淀粉的透光度高于玉米淀粉,而小白芸豆和麻豌豆淀粉糊的透光度低于玉米淀粉。杂豆淀粉糊极不稳定,凝沉速度极快,其中麻豌豆凝沉体积最大,且冻融稳定性都较差。

总之,同属杂豆淀粉,4种参试淀粉的理化特性与绿豆淀粉最为相近,可耐受高温处理,但不宜用于冷冻类食品的生产。

### 参考文献:

- [1] 林汝法,柴岩,廖琴,等.中国小杂粮[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002:13-15;318-368.
- [2] 郑卓杰.中国食用豆类学[M].北京:中国农业出版社,1997:93-103;222-226;302-322.
- [3] 谭斌,任宝忠.杂粮资源深加工技术研究开发现状与趋势[J].中国粮油学报,2006,21(3):229-233.
- [4] 袁美兰,鲁战会,李里特,等.不同植物来源淀粉之间的理化性质的比较[J].食品科学,2009,30(1):122-127.
- [5] 高群玉,黄立新.红豆淀粉的性质[J].无锡轻工业学报,2001,20(5):449-452.
- [6] HOOVER R, RATNAYAKE W S. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada[J]. Food Chemistry, 2002, 78: 489-498.
- [7] ZHOU Y, HOOVER R, LIU Q. Relationship between amylase degradation and the structure and physicochemical properties of legume starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 57: 299-317.
- [8] 张海艳,董树亭,高荣岐.植物淀粉研究进展[J].中国粮油学报,2006,21(1):41-45.
- [9] 陈振家,狄建兵,李玉娥.红芸豆淀粉性质的研究[J].山西农业大学学报,2009,29(5):440-443.
- [10] 杜双奎,于修焯,杨雯雯,等.扁豆淀粉理化特性分析[J].农业机械学报,2007,38(9):82-86.
- [11] 杨红丹,杜双奎,赵佳,等.3种杂豆淀粉理化特性的比较[J].食品科学,2010,31(21):186-190.
- [12] HOOVER R, HUGHES T, CHUNG H J, et al. Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: a review[J]. Food Research International, 2010, 43: 399-413.
- [13] 郝小燕,麻浩.豆类淀粉研究综述[J].粮油食品科技,2007,15(3):11-14.
- [14] 张国权,师学文,罗勤贵.陕西主要养麦品种淀粉理化特性分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009(5):105-113.
- [15] 程学勋.大米淀粉微波效应研究[D].武汉:华中农业大学,2007.
- [16] ARUNYANART T, CHAROENREIN S. Effect of sucrose on the freeze-thaw stability of rice starch gels: correlation with microstructure and freezable water[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74: 514-518.
- [17] 赵凯.淀粉非化学改性技术[M].北京:化学工业出版社,2008:23-26;29-30.
- [18] RATNAYAKE W S, HOOVER R, WARKENTIN T. Pea starch: composition, structure and properties: a review[J]. Starch/Stärke, 2002, 54(6): 217-234.
- [19] SINGH N, SINGH J, KAUR L, et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources[J]. Food Chemistry, 2003, 81(2): 219-231.
- [20] LI Jengyune, YEH A I. Relationship between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 50(3): 141-148.
- [21] 杜先锋,许时婴,王璋.淀粉糊的透明度及其影响因素的研究[J].农业工程学报,2002,18(1):129-131.
- [22] MILES M J, MORRIS V J, ORFORD P D, et al. The roles of amylase and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch[J]. Carbohydrate Research, 1985, 35: 271-281.