

夏谷区主栽谷子品种淀粉理化特性研究

杨 斌¹, 张喜文^{1,*}, 张国权², 李 萍¹, 张文兴¹, 张艾英¹, 杜文娟¹, 姜龙波¹

(1. 山西省农业科学院谷子研究所, 山西 长治 046011; 2. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 从夏谷区主栽品种中选取 9 个谷子品种作为供试材料, 对其淀粉的颗粒形态及大小、化学组成、碘蓝值、透光率、冻融稳定性、糊化特性、溶解度与膨胀势及凝沉特性等理化性质进行系统研究。结果表明: 小米淀粉颗粒均为单粒, 由 0.48~2.25 μm 与 3.50~29.32 μm 两种不同粒径范围的颗粒组成, 多呈多角形, 少数呈卵圆形, 具有清晰可见的偏光十字, 品种间淀粉颗粒形态差异明显。直链淀粉含量为 2.91%~15.80%, 碘蓝值为 0.601~0.809, 透光率为 4.4%~22.3%, 析水率为 0.77%~62.23%, 品种间差异显著。不同品种小米淀粉的糊化特性、溶解度与膨胀势及淀粉糊的凝沉特性也有着明显的差异。因此, 可根据不同的加工目的选择不同的谷子品种。

关键词: 小米; 淀粉; 粒径; 糊化特性; 理化性质

Physical and Chemical Properties of Starch from Major Summer Millet Cultivars in China

YANG Bin¹, ZHANG Xi-wen^{1,*}, ZHANG Guo-quan², LI Ping¹, ZHANG Wen-xing¹,
ZHANG Ai-ying¹, DU Wen-juan¹, JIANG Long-bo¹

(1. Millet Research Institute, Shaanxi Academy of Agricultural Science, Changzhi 046011, China ;

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

Abstract : In order to offer theoretical references for the application of millet starch and the screening of cultivars with good processing suitability, 9 major summer millet cultivars in China were selected to systematically study the granule morphology and size, chemical composition, iodine blue value, light transmittance, freeze-thaw stability, pasting properties, solubility and swelling power, retrogradation properties and other physicochemical properties of starches from these cultivars. The results showed that starch granules from each millet cultivar were single granules with a particle size in the range of 0.48—2.25 μm and 3.50—29.32 μm . Starch granules were mostly polygonal though sometimes oval in shape, and displayed clear polarization cross. The different millet cultivars showed an obvious difference in the morphology of starch. The amylose content, iodine blue value, light transmittance, and syneresis rate of the tested millet cultivars were in the range of 2.91%—15.80%, 0.601—0.809, 4.4%—22.3% and 0.77%—62.23%, respectively, with significant differences among these millet cultivars. Moreover, significant differences in starch pasting properties, solubility and swelling power and retrogradation properties were also observed. Therefore, different millet cultivars are specifically suitable for different processing purposes.

Key words: millet; starch; size; pasting property; physico-chemical property

中图分类号: TS235.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)17-0058-06

谷子又名粟, 禾本科狗尾草属植物, 是世界上古老的农作物之一。谷子起源于我国黄河流域, 全世界的 80% 谷子产于我国^[1]。谷子脱壳后称小米, 小米营养丰富, 含有蛋白质、糖类、脂肪、多种维生素及硒、铁等多种人体所必需的营养物质。据《本草纲目》记载: 小米能养肾气、去脾胃中热、益气、治胃热消渴、利小便^[1]。另据报道^[2-3], 小米中含有丰富的膳

食纤维, 对降低肠癌发病率、防止动脉硬化能起到一定作用。特别是谷子还是抗旱作物, 发展谷子生产, 对于抵御未来的干旱有着非常积极的意义。

小米的主要成分是淀粉, 含量在 60%~70% 之间, 其理化特性对食品加工有着直接的影响。但目前国内关于小米淀粉理化特性方面的系统研究较少, 已有研究主要是对单一品种小米淀粉的多项理化指标进行测定^[4-6]或

收稿日期: 2011-07-13

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(nycytx-13)

作者简介: 杨斌(1983—), 男, 助理研究员, 硕士研究生, 研究方向为谷子精深加工。E-mail: markyoung1983@sina.com

* 通信作者: 张喜文(1954—), 男, 研究员, 学士, 研究方向为谷子精深加工及谷子育种。E-mail: gzsxw1@163.com

对多个品种小米淀粉的少数几项理化指标进行测定^[7-10], 其研究结果具有一定的局限性。滞后的基础理论研究制约着小米加工业的兴起, 已成为谷子产业生产发展的瓶颈。本研究通过对夏谷区 9 个主栽小米品种的淀粉颗粒形态、粒径大小、直链淀粉含量、碘蓝值、糊化特性、溶解度与膨胀势及凝沉特性等多个指标进行系统分析, 旨在深入了解小米淀粉的理化特性, 为小米食品加工及新产品的开发提供技术指导与数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

谷子品种鲁谷 10、济谷 11、济谷 13 由山东省农科院提供; 安 4738、豫谷 1、豫谷 9 由河南省农业科学院提供; 夏 1、冀谷 20、冀谷 21 由河北省农业科学院提供。

1.2 仪器与设备

FW100 高速万能粉碎机 天津泰斯特仪器有限公司; JEOL JFC-1600 离子溅射镀膜仪、JEOL JEM-6490 LV 扫描电子显微镜 日本电子公司; B3-223PHK 型偏光显微镜 麦克奥迪实业集团有限公司; Mastersizer 2000 激光粒度仪 英国马尔文公司; UV1700 紫外-可见分光光度计 捷森科技发展有限公司; Brabender 微型黏度糊化仪 德国布拉本德公司。

1.3 方法

1.3.1 小米淀粉的制备

小米籽粒粉碎后过 0.25mm 筛。取适量小米粉, 按料液比 1:3(m/V) 浸于乙醚中, 重复脱脂 2 次, 每次 2h, 期间搅拌数次; 脱脂后的样品按料液比 1:3 浸于 60% 乙醇溶液中重复脱糖 2 次, 每次 2h, 期间搅拌数次。将脱脂脱糖后的样品于 4000r/min 离心 10min, 用蒸馏水洗涤 3 次, 调节 pH 值至 10.0。加入 0.03% 的碱性蛋白酶 (10000U/g), 在 45℃ 条件下搅拌水解 6h, 4000r/min 离心 10min, 用蒸馏水洗涤 3 次。沉淀分为 3 层, 剔除上层后于烘箱中 45℃ 烘干, 粉碎过 0.15mm 筛, 装入干燥容器中备用。

1.3.2 淀粉颗粒的扫描电镜观察

将淀粉颗粒均匀的涂抹在贴有双面胶的样品台上, 并做标记, 然后用 JEOL JFC-1600 离子溅射镀膜仪进行喷金固定, 用 JEOL JEM-6490 LV 扫描电子显微镜观察, 放大倍数 1500 倍。

1.3.3 淀粉颗粒的偏光十字观察

参考文献[11]方法进行淀粉颗粒的偏光十字观察。

1.3.4 淀粉颗粒的粒度分布分析

称取 0.3g 左右淀粉, 置于装有蒸馏水的样品池中, 用超声波振荡 30s, 使淀粉颗粒分布均匀, 当遮光率达

到 10%~15% 时开始测定, 重复 3 次。测试条件: 遮光率: 10%~15%; 转速: 3000r/min。

1.3.5 直链淀粉含量的测定

采用 GB/T 15683—1995《稻米直链淀粉含量的测定》中稻米直链淀粉含量的测定方法。

1.3.6 淀粉糊黏度

使用布拉本德微型黏度糊化仪分析, 称取适量的淀粉与蒸馏水, 配制成质量浓度为 0.08kg/L 的淀粉乳。测定参数设定为: 从 30℃ 开始升温, 升温速率为 7.5℃/min, 至 93℃ 保温 5min, 以相同速率将温度降至 50℃, 保温 1min。测量转速为 250r/min, 黏度单位为 BU。

1.3.7 溶解度与膨胀势

参考文献[11]方法测定淀粉的溶解度与膨胀势, 将原方法中测定 25℃ 时的溶解度与膨胀势改进为测定 50、60、70、80、90℃ 时的溶解度与膨胀势, 以便绘制不同温度下淀粉糊的溶解与膨胀曲线。

1.3.8 淀粉糊的透明度

将淀粉样品配制成 10g/L 的淀粉乳, 于沸水浴上加热搅拌 30min, 使之充分糊化。冷却至室温, 以蒸馏水为参比, 用分光光度计在 620nm 波长处测定淀粉糊的透光率。

1.3.9 淀粉糊的冻融稳定性和凝沉曲线

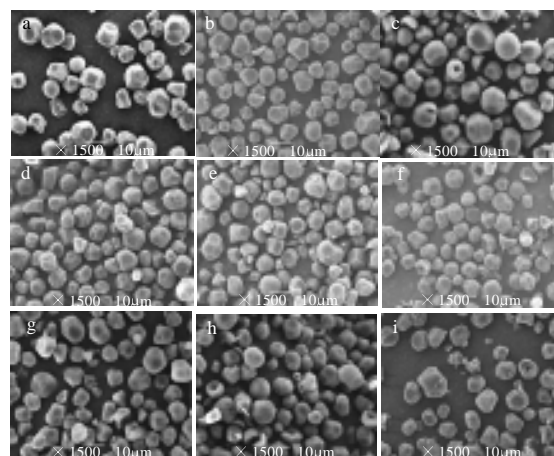
参考文献[12]方法测定淀粉糊的冻融稳定性以及绘制淀粉糊的凝沉曲线。

1.4 数据处理

使用 DPS6.50 软件对数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 淀粉颗粒的形态



a. 鲁谷 10; b. 济谷 11; c. 济谷 13; d. 安 4738; e. 豫谷 1; f. 豫谷 9; g. 夏 1; h. 冀谷 20; i. 冀谷 21。下同。

图 1 小米淀粉颗粒的扫描电镜图片

Fig.1 Scanning electron micrographs of millet starch granules

从图1可看出,小米淀粉颗粒均为单粒,多呈棱角分明的多角形,少数为卵圆形,这与陈正宏等^[6]的研究结果相似。不同品种小米淀粉颗粒大小和形态差异明显。如济谷13淀粉中大颗粒淀粉含量较高,夏1淀粉中小颗粒淀粉含量较高;济谷11淀粉中卵圆形颗粒数量较多,冀谷21淀粉中多角形颗粒数量较多。多数淀粉颗粒粒型较为规整,表面光滑,部分淀粉颗粒上具有凹陷的孔状结构,说明本研究采用的淀粉提取方法能将淀粉颗粒结合的蛋白质有效地去除。部分淀粉颗粒有破碎、裂痕,这可能是因为淀粉提取过程中碱对淀粉分子的结构有较大影响^[13],不同品种的小米淀粉颗粒破损程度有明显区别,说明其对碱的耐受性也有一定差异性。

2.2 淀粉颗粒的偏光十字特性

由于淀粉颗粒微晶结构的存在,利用偏光显微镜可以观察到淀粉颗粒脐点处有交叉的偏光十字。如图2所示,9种小米淀粉均具有清晰可见的偏光十字,其脐点位置在颗粒的中央,不同品种偏光十字的形状有明显差异,多数呈“X”型,少数接近“十”形。

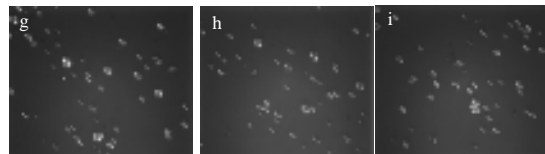
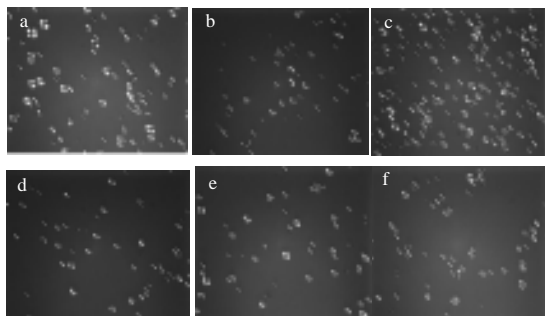


图2 小米淀粉颗粒的偏光显微镜图片
Fig.2 Polarization micrographs of millet starch granules

2.3 淀粉颗粒的粒度分布分析

已有研究表明,淀粉颗粒大小会影响淀粉的离心沉降速度、流变学特性、淀粉糊的透光率及膨胀能力等,从而影响淀粉提取和加工^[14-16]。因此研究小米淀粉颗粒的粒度分布对于正确理解小米淀粉的性质具有重要的意义。由表1可知,小米淀粉颗粒由 $0.48\sim 2.25\mu\text{m}$ 与 $3.50\sim 29.32\mu\text{m}$ 两种不同粒径范围的颗粒组成,不同品种间淀粉颗粒粒径范围差异较大,如豫谷9最大淀粉颗粒为 $29.32\mu\text{m}$,而济谷11、安4738、夏1和冀谷21最大淀粉颗粒分别为 22.16 、 22.22 、 $22.62\mu\text{m}$ 和 $22.20\mu\text{m}$ 。各品种小米淀粉体积平均粒径在 $8.59\sim 9.74\mu\text{m}$ 之间,变异系数为 0.0478 ,虽然整体差异不明显,但部分品种之间差异达到极显著。 $D_{0.1}$ 表示粒径小于该直径的颗粒占 10% , $D_{0.5}$ 表示粒径小于该直径的颗粒占 50% , $D_{0.9}$ 表示粒径小于该直径的颗粒占 90% ;其中 $D_{0.1}$ 变异系数为 0.4706 ,且整体差异与各品种间差异均较为明显。济谷13、夏1、冀谷20和冀谷21这4个品种的淀粉粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的颗粒占 10% ,说明这4个品种的小颗粒淀粉含量相对较多。

表1 小米淀粉颗粒的粒度分布特征

Table 1 Characteristics of particle size distribution for millet starch granules

样品	粒径范围/ μm	体积平均粒径/ μm	$D_{0.1}/\mu\text{m}$	$D_{0.5}/\mu\text{m}$	$D_{0.9}/\mu\text{m}$
鲁谷10	$0.48\sim 2.25$	$9.74\pm 0.01^{\text{aA}}$	$5.23\pm 0.03^{\text{aA}}$	$9.96\pm 0.01^{\text{aA}}$	$14.25\pm 0.02^{\text{bB}}$
	$4.20\sim 25.12$				
济谷11	$0.48\sim 2.10$	$8.69\pm 0.01^{\text{cD}}$	$4.14\pm 0.09^{\text{bB}}$	$8.76\pm 0.08^{\text{cE}}$	$13.16\pm 0.30^{\text{dCD}}$
	$3.80\sim 22.16$				
济谷13	$0.48\sim 2.25$	$9.61\pm 0.01^{\text{bA}}$	$1.95\pm 0.00^{\text{dD}}$	$9.64\pm 0.01^{\text{bB}}$	$14.86\pm 0.03^{\text{aA}}$
	$4.00\sim 25.08$				
安4738	$0.48\sim 2.25$	$8.59\pm 0.02^{\text{cD}}$	$4.07\pm 0.02^{\text{cB}}$	$8.77\pm 0.02^{\text{cE}}$	$12.59\pm 0.03^{\text{cE}}$
	$4.00\sim 22.22$				
豫谷1	$0.48\sim 2.25$	$8.92\pm 0.11^{\text{dC}}$	$2.01\pm 0.00^{\text{dD}}$	$8.99\pm 0.07^{\text{dD}}$	$13.58\pm 0.38^{\text{cC}}$
	$3.80\sim 25.10$				
豫谷9	$0.48\sim 2.25$	$9.26\pm 0.01^{\text{cB}}$	$3.94\pm 0.00^{\text{dC}}$	$9.04\pm 0.00^{\text{dCD}}$	$14.92\pm 0.02^{\text{aA}}$
	$3.50\sim 29.32$				
夏1	$0.48\sim 2.25$	$8.71\pm 0.10^{\text{eD}}$	$1.77\pm 0.00^{\text{eE}}$	$8.74\pm 0.11^{\text{cE}}$	$13.49\pm 0.16^{\text{cCD}}$
	$3.50\sim 22.62$				
冀谷20	$0.48\sim 2.25$	$9.00\pm 0.09^{\text{dC}}$	$1.77\pm 0.00^{\text{eE}}$	$9.15\pm 0.10^{\text{cC}}$	$13.60\pm 0.13^{\text{cC}}$
	$4.00\sim 23.10$				
冀谷21	$0.48\sim 2.25$	$8.62\pm 0.01^{\text{cD}}$	$1.60\pm 0.00^{\text{eF}}$	$8.49\pm 0.02^{\text{eF}}$	$13.10\pm 0.04^{\text{dD}}$
	$3.80\sim 22.20$				
变异系数		0.0478	0.4706	0.0518	0.0581

注: 同列小写字母不同表示不同品种间差异显著($P < 0.05$); 大写字母不同则表示差异极显著($P < 0.01$)。

2.4 小米淀粉的淀粉组成及碘蓝值、透明度与冻融稳定性

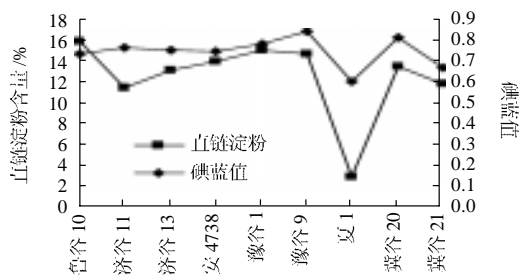


图3 小米淀粉的直链淀粉含量与碘蓝值

Fig.3 Amylose content and iodine blue value of millet starch

由于直链淀粉分子呈直链状结构,空间阻碍小,易于回生;支链淀粉分子呈树枝状结构,分支较多,空间阻碍较大,不宜回生^[7]。因此,直链淀粉含量影响着淀粉的老化与回生^[17],是影响食用品质的重要因素。由图3可知,9个品种的直链淀粉含量在2.91%~15.80%之间,变异系数为0.3095。除夏1为糯性品种,直链淀粉含量较低之外,其余各品种直链淀粉含量均高于10%,说明小米淀粉较易回生。刘辉等^[8]对27个小米品种进行直链淀粉含量的测定,发现其直链淀粉含量在14.84%~42.35%之间,刘成等^[10]测定了河北9个谷子品种直链淀粉含量,结果为11.69%~21.58%,二者结果与本研究差异较大,这可能与品种差异和产地差异有关。

从图3可看出,9个品种的碘蓝值为0.601~0.809之间,变异系数为0.0977,整体差异较小。淀粉遇碘呈蓝色反应,碘蓝值的大小与直链淀粉的含量有关,直链淀粉含量越高碘蓝值越大^[11]。糯性品种夏1直链淀粉含量最低但碘蓝值较高,这可能是由于其支链淀粉具有较多的长侧链,这些长侧链能够与碘络合^[18]。

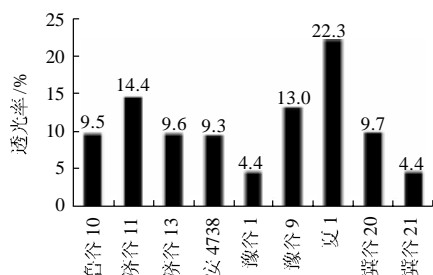


图4 小米淀粉的透光率

Fig.4 Light transmittance of millet starch

淀粉糊的透光率直接影响到产品的外观和用途,该值的大小反映了淀粉与水的互溶能力以及膨胀溶解能力的好坏,与淀粉中直、支链比例有关,直链淀粉含量越高,透明度越低^[19-20]。从图4看出,9个品种小米淀粉

糊的透光率差异显著,其范围在4.4%~22.3%之间,变异系数0.5087。品种夏1透光率最高,为22.3%;豫谷1与冀谷21最低,仅为4.4%,大部分品种透光率在10%以下,说明多数小米品种不适宜于光泽度要求高的产品。刘成等^[10]对河北产区9个谷子品种淀粉透光率进行研究,发现其透光率为5.20%~6.25%,由于品种不同,与本研究具有差异。

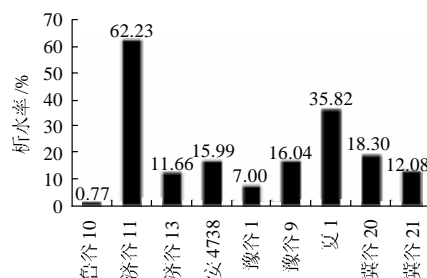


图5 小米淀粉的冻融析水率

Fig.5 Syneresis rate after freeze-thaw treatment of millet starch

冷冻和解冻会使淀粉糊脱水收缩,其中的水分被挤出,形成海绵状结构,析水率越大说明冻融稳定性越差。从图5可以看出,各品种小米淀粉糊的析水率在0.77%~62.23%之间,变异系数为0.9258,冻融稳定性差异显著。其中鲁谷10的析水率仅为0.77%,而济谷11、夏1的析水率分别为62.23%与35.82%,说明9个小米品种中,鲁谷10更适宜用于制作冷冻食品。

2.5 淀粉的糊化特性

糊化是淀粉的重要应用性质,淀粉的糊化温度、峰值黏度、降落值等指标都决定了淀粉的使用范围和用途。从表2可看出,9种小米淀粉糊的起始糊化温度为71.2~78.1℃,整体变异不大,但品种间差异明显。淀粉的糊化温度越高,使其成糊需要的能量越多、加工时间越长、加工难度也就越大^[17]。品种夏1的起始糊化温度仅为71.2℃,说明品种夏1在加工过程中所需的能耗最小。9个品种小米淀粉的糊化峰值黏度在211~438BU之间,其中夏1最高、冀谷21最低,峰值黏度低对食品加工有着十分重要的意义,它可降低机械搅拌动力和便于管道输送等。

淀粉糊的降落值与回冷值分别反映了淀粉糊的热稳定性与冷稳定性,降落值越低,表明其热稳定性越好,从表2可看出,夏1、济谷13、冀谷21及豫谷9的降落值分别为73、79、92BU及96BU,说明这4个品种的淀粉糊的热稳定性较好。9个品种小米淀粉的回生值为128~298BU之间,济谷11最高,说明其相对于另外8个品种最易老化;夏1最低,说明其相对于另外8个品种最不易老化。

表2 不同品种小米淀粉的糊化特性
Table 2 Pasting properties of millet starch

样品	起始糊化温度/℃	峰值黏度/BU	起始糊化阻力/BU	起始糊化阻力/BU	降温结束糊化阻力/BU	降温结束糊化阻力/BU	降落值/BU	回生值/BU	回冷值/BU
鲁谷10	75.6	277	264	159	390	397	105	231	7
济谷11	74.3	322	300	166	464	491	134	298	27
济谷13	76.9	295	260	181	386	409	79	205	23
安4738	76.3	285	278	152	392	411	126	240	19
豫谷1	73.6	281	266	165	386	398	101	221	12
豫谷9	75.1	285	276	180	416	431	96	236	15
夏1	71.2	438	271	198	326	335	73	128	9
冀谷20	75.9	305	296	189	407	446	107	218	39
冀谷21	78.1	211	202	110	263	295	92	153	32
变异系数	0.0268	0.2002	0.1057	0.1552	0.1496	0.1442	0.1952	0.2318	0.5337

2.6 淀粉的溶解度与膨胀势

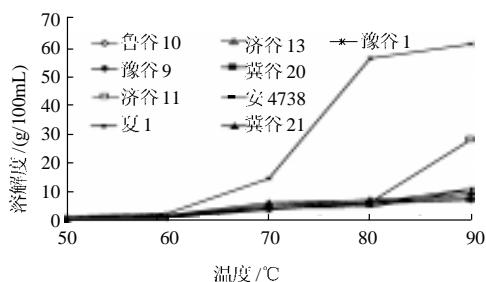


图6 小米淀粉在不同温度下的溶解度

Fig.6 Solubility of millet starch under different temperatures

如图6所示, 9个品种小米淀粉的溶解度具有相似的变化趋势, 即随着温度的上升溶解度增加, 除夏1与济谷11之外, 其余7个品种溶解度曲线基本重合。在50~90℃升温过程中, 9种小米淀粉的溶解度从0.06~0.95g/100mL增加到6.40~57.93g/100mL。50~60℃时溶解度增加较慢, 70~90℃时溶解度增加较快, 其中品种夏1溶解度随温度的变化最为明显, 这可能与淀粉颗粒较小、直链淀粉含量最低有关。

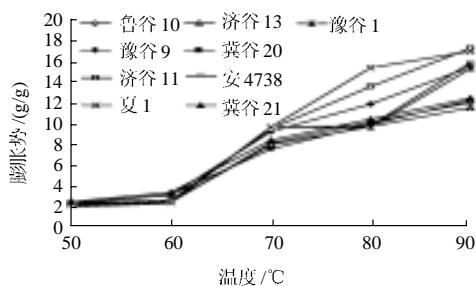


图7 小米淀粉在不同温度下的膨胀势

Fig.7 Swelling power of millet starch under different temperatures

如图7所示, 50~90℃升温过程中, 9种小米淀粉

的膨胀势从2.00~2.49g/g增加到11.55~17.25g/g, 膨胀势的变化与溶解度变化具有类似的趋势, 即随着温度的升高而增大, 在50~60℃时膨胀体积变化较小, 70~90℃时膨胀体积变化较大, 显示出典型的二段膨胀过程, 属限制型膨胀淀粉^[21]。

2.7 淀粉的凝沉特性

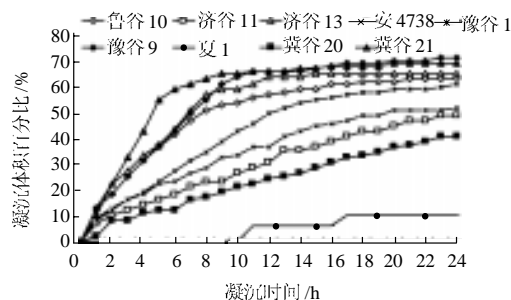


图8 小米淀粉的凝沉曲线

Fig.8 Retrogradation curve of millet starch

凝沉主要是由于直链淀粉分子间相互结合形成大的颗粒或束状结构, 达到一定程度时便发生沉降^[14]。淀粉分子大小和直链淀粉含量是影响凝沉的最主要因素^[20], 淀粉分子越大, 支链淀粉含量越高, 越不易发生沉降^[22-23]。如图8所示, 9个品种小米淀粉糊虽然均呈现随着时间的延长凝沉体积增加的趋势, 但各品种间24h凝沉曲线有着较大差异。其中冀谷21沉降最快, 仅在5h时便有50%以上体积发生沉降; 豫谷9、济谷13、鲁谷10这3个品种的沉降曲线基本吻合; 夏1淀粉糊最为稳定, 前10h内没有发生沉降, 在24h时也仅沉降了10%, 而其余各品种24h内沉降体积均超过了40%, 说明9个小米品种中, 夏1可能更适宜制作小米饮料等对凝沉特性要求较高的产品。

3 结论

小米淀粉颗粒均为单粒, 不同品种小米淀粉颗粒形态差异明显, 多为多角形, 少为卵圆形, 多数淀粉颗粒粒型较为规整, 表面光滑, 部分淀粉颗粒有破碎、裂痕。各品种均具有清晰可见的偏光十字, 脐点位置位于颗粒的中央, 但不同品种偏光十字形状差异明显。小米淀粉颗粒是由0.48~2.25μm与3.50~29.32μm两种不同粒径范围的颗粒组成, 小米淀粉体积平均粒径在8.59~9.74μm之间。

9个品种直链淀粉含量在2.91%~15.80%之间, 碘蓝值为0.601~0.809, 各品种间小米淀粉糊的透光率差异显著, 其范围在4.4%~22.3%之间, 析水率在0.77%~62.23%

之间, 冻融稳定性差异显著。淀粉糊的起始糊化温度为 71.2~78.1℃, 糊化峰值黏度在 211~438BU 之间, 回生值为 128~298BU 之间。小米淀粉的溶解度与膨胀势具有相似的变化趋势, 即随着温度的上升溶解度/膨胀势增大。淀粉糊稳定性呈现随着时间的延长凝沉体积增加的趋势, 但各品种淀粉糊的 24h 凝沉曲线有着较大差异。

不同品种小米淀粉特性具有很大差异, 在进行小米的深加工中, 应根据不同的加工目的选用适宜的品种。

参考文献:

- [1] 薛月圆, 李鹏, 林勤保. 小米的化学成分及物理性质的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(3): 199-203.
- [2] 张超, 张晖, 李冀新. 小米的营养以及应用研究进展[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(1): 51-55.
- [3] 毛丽萍, 李凤翔, 杨玲存. 小米的营养价值和深加工[J]. 河北省科学院学报, 1997(2): 14-17.
- [4] 马力, 李新华, 路飞, 等. 小米淀粉与玉米淀粉糊性质比较研究[J]. 粮食与油脂, 2005(2): 22-25.
- [5] 郭晓冬, 李颖. 小米淀粉提取方法的比较[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(5): 26-29.
- [6] 陈江宏, 乐静, 沈爱光. 小米淀粉特性的研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1992(3): 38-43.
- [7] 马金卡. 直链淀粉含量对谷子淀粉糊特性影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 195-198.
- [8] 刘辉, 张敏. 不同品种小米的直链淀粉含量与快速黏度分析仪谱特征值关系研究[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 31-33.
- [9] 石磊, 王世清, 陈海华, 等. 浸泡温度及米水比例对小米淀粉糊化特性的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 31-34.
- [10] 刘成, 张佩丽, 沈群. 河北产区 9 个谷子品种淀粉性质的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 81-84.
- [11] 张国权, 师学文, 罗勤贵. 陕西主要荞麦品种的淀粉理化特性分析[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(5): 105-113.
- [12] 姚亚平, 田呈瑞, 张国权, 等. 糜子淀粉理化性质的分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(9): 45-52.
- [13] 芦鑫, 张晖, 姚惠源. 不同提取方法对粳米淀粉结构的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 102-106.
- [14] 杜双全, 于修焄, 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.
- [15] JANE J L, KASEMSUWAN T, LEAS S, et al. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy[J]. Starch-Stärke, 1994, 46(4): 121-129.
- [16] LINDEBOOMA N, CHANG P R, TYLER R T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review[J]. Starch-Stärke, 2004, 56(3/4): 89-99.
- [17] 刘刚, 刘英, 陈季旺, 等. 燕麦淀粉理化性质的研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(3): 86-89.
- [18] NODA T, TAKAHATA Y, SATO I, et al. Relationships between chain length distribution of amylopectin and gelatinization properties within the same botanical origin for sweet potato and buckwheat[J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 37(2): 153-158.
- [19] 杜双全, 于修焄, 马静, 等. 薏米淀粉特性研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(1): 61-65.
- [20] 于少梅, 李梅青, 杜先锋, 等. 刺苣草根状茎淀粉特性的研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(5): 36-40.
- [21] 缪铭, 江波, 张涛, 等. 不同品种鹰嘴豆淀粉的理化性质研究[J]. 食品科学, 2008, 29(6): 79-82.
- [22] 高群玉, 杨宜功. 影响淀粉糊流变特性因素的研究[J]. 食品工业科技, 1995(4): 10-14.
- [23] 卞希良, 郭应龙, 夏凤清. 淀粉糊凝沉特性的研究[J]. 粮油食品科技, 2005, 13(6): 46-48.