山西不同品种谷子淀粉的理化特性研究

杨斌[1]，张喜文[1]，张国权[2]，李萍[1]，张文兴[1]，张艾英[1]，姜龙波[1]，杜文娟[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：从谷子主产区山西省选取 8 个具有代表性的谷子栽培品种作为供试材料，分析研究了其淀粉的颗粒形态及粒径大小、直链淀粉含量、碘蓝值与淀粉糊的透光率、冻融稳定性、糊化特性、溶解度与膨胀度及凝沉特性等理化性状。结果表明：小米淀粉颗粒均为单粒，外形规整，多数为多角形，少数为卵圆形，具有清晰可见的偏光十字，不同品种间淀粉颗粒形态差异明显。小米淀粉小颗粒的粒径为 0.42~2.25 μm，大颗粒的粒径为 3.42~29.26 μm，小米淀粉的粒径分布特征呈现出“三峰”型。8 个品种的直链淀粉含量变幅为 2.22~17.96%，碘蓝值变幅为 0.586~0.872，透光率变幅为 2.4~29.2%，析水率变幅为 3.67~49.85%，糊化温度变幅为 67.6~78.8 ℃，各品种间具有显著差异。此外，各品种淀粉的糊化特性、溶解度、膨胀势及淀粉糊的凝沉特性也有着明显的差异。因此，应根据不同的加工目的采用相适宜的品种。

关键词：小米；淀粉；粒径；糊化特性；理化性质
文章篇号：1673-9078(2013)12-2901-2908

Physical and Chemical Properties of the Different Millet Starches in Shanxi

YANG Bin[1], ZHANG Xi-wen[1], ZHANG Guo-quan[2], LI Ping[1], ZHANG Wen-xing[1], ZHANG Ai-ying[1], JIANG Long-bo[1], DU Wen-juan[1]
(1. Institute of Millet, Shanxi Academy of Agricultural Science, Changzhi 046011, China)
(2.College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: To further understand the physical and chemical properties of the millet starches in Shanxi province, eight typical species of millet were chosen and the particle morphology, size, amylose content, iodine blue value, light transmittance, freeze-thaw stability, gelatinization characteristics, solubility, swelling power, retrogradation curve and other physicochemical characterizations were evaluated. Results showed that the millet starch granules were all single particle with regular shape, and most of the millet starch particles were polygonal while few were ovoid. All the particles had clear polarizing cross, and the morphological differences of starch grain particles were evident between varieties. Moreover, on the basis of particle size, the eight millet cultivars were clearly classified as two categories which ranged from 0.42 to 2.25 μm and 3.42 to 29.26 μm, respectively. The amylose content, iodine blue value, light transmittance, water segregation rate, and gelatinization temperature were in the range of 2.22~17.96%, 0.586~0.872, 2.4~29.2%, 3.67~49.85% and 67.6~78.8 ℃, respectively, indicating that the differences between different varieties were significant. All of these results suggested that the different millet varieties should be chosen according to the different processing purposes.

Key words: millet; starch; particle size; gelatinization property; physicochemical properties

谷子（*Setaria italica Beauv.*）又名粟，禾本科狗尾草属植物，起源于我国黄河流域[1]，谷子的种植历史距今已有 7000 余年，是世界上最古老的农作物之一。我国谷子分布面积较广，主产区为华北、西北、东北地区。其中山西省由于地形复杂、气候多样化，特殊的生态环境造就了山西不仅是谷子的主产区，也是拥有沁州黄等多个知名谷子品种的优质产区。

谷子脱壳后称为小米，小米营养丰富，含有蛋白质、糖类、脂肪、多种维生素与硒、铁等多种人体所必需的营养物质。小米的主要成分是淀粉，含量在 60~70%之间，淀粉的理化特性对食品加工与品质具有重要的影响。我国谷子种质资源非常丰富，不同品种

收稿日期：2013-08-29
基金项目：国家现代农业产业技术体系建设专项资金资助（nycytx-13）
作者简介：杨斌（1983-），男，博士，助理研究员，主要从事谷子精深加工研究
通讯作者：张喜文（1954-），男，研究员，主要从事谷子精深加工及谷子育种研究

间淀粉理化特性具有较大的差异，进而直接影响其在不同类型产品中的应用。因此，对不同品种小米淀粉理化特性进行系统研究，筛选出适宜于不同加工工艺的特用品种，对于指导小米食品加工具有重要的意义。但目前国内外关于不同品种间小米淀粉理化特性的系统性研究较少，现有报道主要是针对单一品种小米淀粉的多项理化指标或对多个品种小米淀粉的少数几项理化指标进行分析研究，其研究结果对于指导实际生产具有一定的局限性[2]。本研究通过对谷子主产区山西省的 8 个具有代表性小米品种的颗粒形态及粒径大小、直链淀粉含量、碘蓝值与淀粉糊的透光率、冻融稳定性、糊化特性、溶解度与膨胀度及凝沉特性等多个指标进行系统的测定分析，旨在深入研究不同品种间小米淀粉理化特性的差异，为不同加工目的筛选出特用品种，并为小米食品加工提供技术指导与数据支撑。

1 材料与方法

1.1 供试品种和样品制备

谷子品种晋谷 21、晋谷 41 由山西省农科院经济作物研究所提供；晋谷 36 由山西省农科院作物研究所提供；晋谷 38 由山西省农科院高粱研究所提供；大同 29 由山西省农科院高寒研究所提供；A1、A2、A3 由本单位育成，其中 A2 为糯性品种。试验于 2010 年于山西省农科院谷子研究所试验地进行，5 月 16 日播种，10 月 3 日收获 ，谷子脱壳后籽粒参照文献[2]进行淀粉的提取。

1.2 主要仪器设备

FW100 高速万能粉碎机，天津泰斯特仪器有限公司；Mastersizer2000 激光粒度仪，英国马尔文公司；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，麦克奥迪实业集团中国有限公司；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 试验方法

1.3.1 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，做好标记并用离子溅射镀膜仪进行喷金固定，采用扫描电子显微镜观察，并选取具有代表性的视野进行拍摄，放大倍数为 1500 倍[3]。

1.3.2 淀粉颗粒的偏光十字观察

淀粉颗粒的偏光十字观察参考文献[3]方法。

1.3.3 淀粉颗粒的粒度分布分析

采用 Mastersizer2000 型激光粒度仪测定淀粉颗粒的粒度分布：称取 0.3 g 左右淀粉样品，置于装有去离子水的样品池中，超声波振荡 30 s，使淀粉颗粒均匀分布，当遮光率达到 10~15%时进行测定，重复 3 次，取平均值；测试条件：遮光率：10~15%；转速：3000 r/min[2]。

1.3.4 直链淀粉含量的测定

采用 GB/T 15683-1995 中稻米直链淀粉含量的测定方法。

1.3.5 淀粉糊黏度、溶解度与膨胀势

淀粉糊黏度、溶解度与膨胀势测定参考文献[3]方法，并略做改进。

1.3.6 淀粉糊的透明度

将淀粉样品配制成 10 g/L 的淀粉乳，在沸水浴上加热搅拌 30 min，使淀粉糊彻底糊化。之后冷却至室温，以蒸馏水为参比，用分光光度计在 620 nm 处测定淀粉糊的透光率[4]。

1.3.7 碘蓝值、淀粉糊的冻融稳定性与凝沉曲线的绘制

碘蓝值、淀粉糊的冻融稳定性测定与凝沉曲线的绘制参考文献[5]方法。

1.4 数据处理

使用 DPS 6.50 软件对数据进行分析处理。

2 结果与讨论

2.1 淀粉颗粒的形态

从图 1 可看出，各品种小米淀粉颗粒均为单粒，多数为呈棱角分明的多角形，少数为卵圆形，其中又以小多角形、小卵圆形居多，这与 Kumari 等[6, 7]的研究结果类似。不同品种间淀粉颗粒大小和形态具有明显差异：晋谷 21、晋谷 36 和 A3 淀粉中大多角形颗粒数量较多，A2 淀粉中小多角形颗粒数量较多；A1 淀粉中小卵圆形颗粒数量较多。大多数淀粉颗粒表面光滑、粒型完整，各品种淀粉颗粒具有不同数量、不同程度的凹陷的孔状结构，这是因为蛋白质的挤压而形成的[8]，不同品种的蛋白质含量与分子大小具有差异，故凹陷的程度也不同，部分淀粉颗粒出现破碎，是因为淀粉提取过程中碱或机械损伤等理化因素对淀粉分子的结构具有较大影响[9-11]。各品种的小米淀粉颗粒破损程度也差异明显，其中 A2 淀粉颗粒破碎最多，晋谷 36、A1 与 A3 淀粉颗粒破碎较少，说明不同品种

淀粉颗粒受理化因素影响的程度也存在差异，与本课题组之前的研究结果一致[2]。

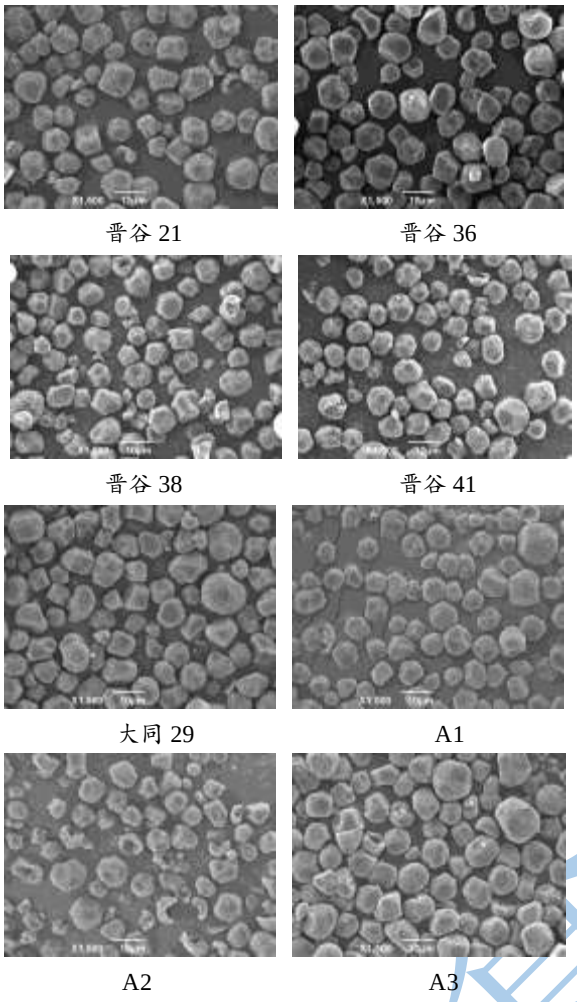


图 1 小米淀粉颗粒的扫描电镜图片

Fig.1 Scanning electron micrographs of millet strarches

2.2 淀粉颗粒的偏光十字

由于淀粉颗粒微晶结构的存在，借助偏光显微镜可以观察到偏光十字。如图 2 所示，8 种小米淀粉在偏光显微镜下均可观察到清晰的偏光十字，其脐点位于颗粒中央附近，各品种偏光十字的夹角大小也具有明显差异，即以“X”型居多，部分呈正“十字”形，与姚亚平等[5]对糜子淀粉的研究结果相似。

2.3 淀粉颗粒的粒度分布分析

结合表 1 和图 3 可知，8 个品种小米淀粉颗粒均由 0.42~2.25 μm 与 3.42~29.26 μm 两种不同粒径范围的颗粒组成。各品种淀粉粒度分布均呈现出“三峰”型，集中分布于 0.4~2.5 μm、4.5~12.0 μm 与 13~21 μm 三个区间，不同品种在第一区间的分布特征差异不明显，而在后两个区间分布特征具有较大的差异。

Kumari 等人[6~7,11]研究结果表明小米粒径范围为 0.8~11.96 μm，与本研究结果差异较大，这是由于测定方法的不同造成的。

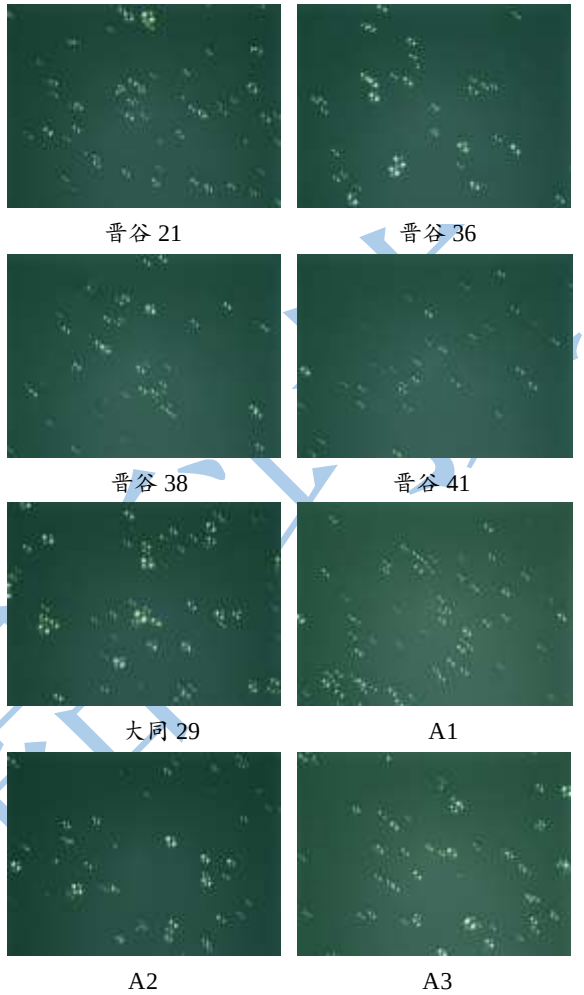


图 2 小米淀粉颗粒的偏光显微镜图片

Fig.2 Polarizing micrographs of millet strarches

8 个品种的体积平均粒径变幅为 7.90~10.31 μm，变异系数为 0.1060，其中 A1 的体积平均粒径极显著小于其他各品种；A3 的体积平均粒径极显著大于其他各品种。多数品种间体积平均粒径差异呈显著或极显著。根据 Lindeboom 等[12]对淀粉颗粒直径的划分进行分类，其结果如表 1 所示：8 个品种的淀粉颗粒粒径主要集中于 5~20 μm 之间。多数品种之间极小粒淀粉（<5 μm）、小粒淀粉（5~10 μm）和中粒淀粉（10~20 μm）的含量均呈显著或极显著差异，其中晋谷 41 的极小粒淀粉含量最高，为 15.32%；A1 的小粒淀粉含量最高，为 61.26%；大同 29 的中粒淀粉含量最高，为 53.10%；仅有晋谷 21 与 A3 分别具有 0.26%和 0.39%的大颗粒淀粉。现有关于淀粉大小颗粒分布的研究结果表明：淀粉大小颗粒分布影响直链淀粉含量、糊化特性、流变学特性、烘培品质、凝沉特性等理化性质，

进而影响淀粉的加工品质与用途[13~15]。

表 1 小米淀粉颗粒的粒度分布特征

Table 1 Characteristic figures of particle size distribution of millet starches

样品	粒径范围/μm	体积平均粒径/μm	D(<5)/%	D(5~10)/%	D(10~25)/%	D(>25)/%
晋谷 21	0.42~2.25 3.54~29.26	9.82±0.02 ^{cC}	12.71±0.02 ^{dC}	41.81±0.10 ^{eE}	45.22±0.10 ^{cC}	0.26±0.03
晋谷 36	0.42~2.25 4.10~22.36	9.12±0.01 ^{dD}	10.58±0.04 ^{fE}	49.00±0.14 ^{dD}	40.42±0.10 ^{dD}	0.00
晋谷 38	0.48~1.92 3.44~21.82	8.29±0.02 ^{eE}	13.74±0.03 ^{bcB}	55.98±0.21 ^{cC}	30.28±0.24 ^{eE}	0.00
晋谷 41	0.42~1.94 3.16~25.34	8.10±0.01 ^{fF}	15.32±0.01 ^{aA}	56.94±0.09 ^{bcBC}	27.74±0.09 ^{fF}	0.00
大同 29	0.48~2.25 4.64~22.32	10.14±0.10 ^{bB}	9.98±0.03 ^{gF}	36.92±1.21 ^{gF}	53.10±1.24 ^{aA}	0.00
A1	0.42~2.02 3.42~21.74	7.90±0.03 ^{gG}	14.12±0.67 ^{bB}	61.26±1.48 ^{aA}	24.62±0.82 ^{gG}	0.00
A2	0.48~2.25 3.48~21.46	8.15±0.00 ^{fEF}	13.57±0.03 ^{cB}	58.34±0.13 ^{bB}	28.09±0.10 ^{fF}	0.00
A3	0.42~2.25 4.06~29.14	10.31±0.15 ^{aA}	11.33±0.17 ^{eD}	38.54±1.35 ^{fF}	49.74±1.49 ^{bB}	0.39±0.03
CV	-	0.1060	0.1476	0.1934	0.2969	1.9004

注：D（<5）表示极小粒淀粉占淀粉总体积的百分比；D（5~10）表示小粒淀粉占淀粉总体积的百分比；D（10~25）表示中粒淀粉占淀粉总体积的百分比；D（>25）表示大颗粒淀粉占淀粉总体积的百分比。

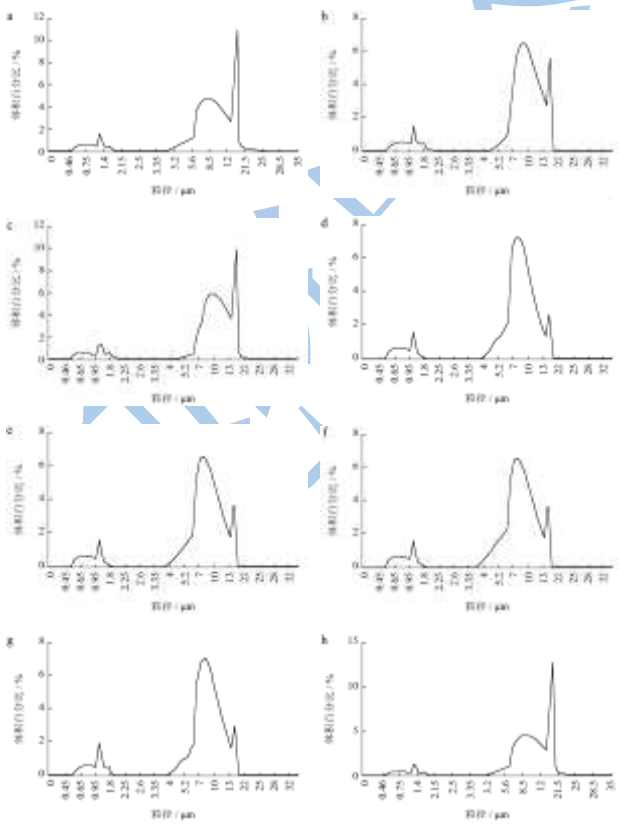


图 3 小米淀粉颗粒的粒度分布特性

Fig.3 Particle size distribution of millet starches

注：a：晋谷 21，b：晋谷 36，c：大同 29，d：A1，e：晋谷 38，f：晋谷 41，g：A2，h：A3。

2.4 小米淀粉的直链淀粉含量、碘蓝值、透明度与冻融稳定性

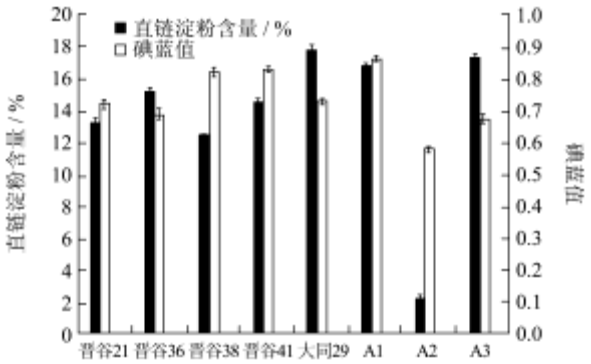


图 4 小米淀粉的直链淀粉含量与碘蓝值

Fig4. The amylase content and iodine blue value of millet starches

直链淀粉含量的高低对淀粉的老化、回生以及糊化时的吸水性能具有直接作用[16]，是影响食用品质的重要因素。由图 3 可知，8 个品种的直链淀粉含量在 2.22~17.96%之间，变异系数为 0.3663，其中 A2 直链淀粉含量最低，仅为 2.22%；大同 29 直链淀粉含量最高，为 17.96%。Liu 等[17]测定了 10 个北方广泛种植的谷子品种，发现其直链淀粉含量在 11.15~25.21%之间，其中晋谷 21 含量为 15.78%，略高于本研究测定

的 13.28%; Fujita 等[11]对 53 个非糯性的河北谷子品种进行了测定，其直链淀粉变幅为 11.4~27.1%。由于供试品种、种植地点以及测定方法的不同，使得二者研究结果与本文具有一定偏差。

从图 4 可看出，8 个品种的碘蓝值变幅为 0.586~0.872，变异系数为 0.1277。淀粉遇碘呈蓝色反应，碘蓝值的大小与直链淀粉的含量密切相关，一般来说，直链淀粉含量越高碘蓝值越大[3]。但本研究中发现直链淀粉含量与碘蓝值之间并非简单的线性关系，如大同 29 的直链淀粉含量高于晋谷 41，但其碘蓝值低于晋谷 41，说明并非直链淀粉越高碘蓝值越大，这是因为支链淀粉中部分长侧链也可以与碘络合造成碘蓝值的升高[18]，而不同品种支链淀粉中所含有的能与碘络合的长侧链数量也具有差异。

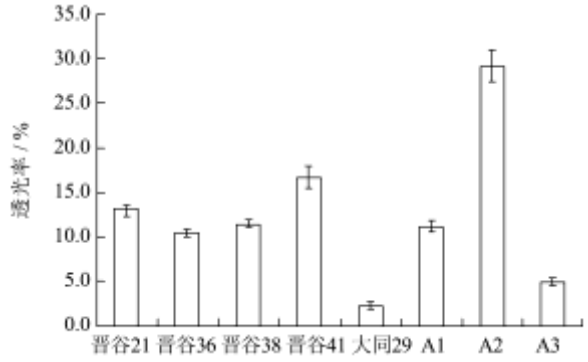


图 5 小米淀粉的透光率

Fig.5 The light transmittance of millet starches

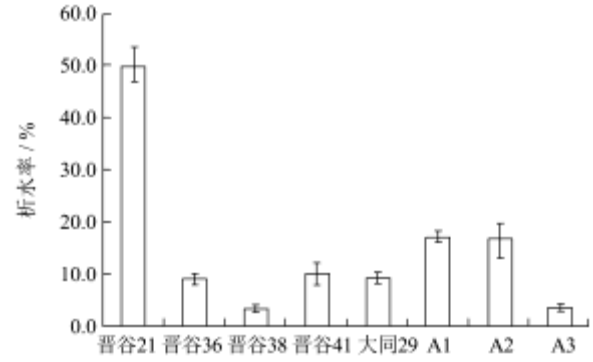


图 6 小米淀粉的冻融析水率

Fig.6 The water segregation rate after freeze-thawing of millet starches

淀粉糊的透光率是影响产品的外观和用途的重要指标。从图 5 可看出，8 个品种小米淀粉糊的透光率具有较大差异，其变幅为 2.4~29.2%，变异系数为 0.6870。A2 的淀粉糊透光率最高，为 29.2%；大同 29 最低，仅为 2.4%，这是由于淀粉糊化后分子会进行重新排列，而直链淀粉较支链淀粉更易发生相互缔合，从而减弱光的透射[19]，因此，直链淀粉含量越高，淀粉糊的透明度越低。多数品种的透光率低于 15%，说明除糯性品种 A2 之外，大部分小米淀粉糊的透明度较差。

淀粉糊在冷冻和解冻的过程中会发生脱水收缩，形成海绵状结构，析出的水分越多说明冻融稳定性越差[20]。从图 6 可以看出，各品种小米淀粉糊的析水率在 3.67~49.85%之间，变异系数为 1.0026，不各品种之间淀粉糊的冻融稳定性具有明显差别。晋谷 21 的析水率最高，为 49.85%，说明其冻融稳定性比其他品种差；晋谷 38 和 A3 的析水率分别为 3.67%和 3.83%，说明其具有较好的冻融稳定性，更适宜用于冷冻食品的加工。

2.5 淀粉的糊化特性

从表 3 可看出，不同类型小米淀粉的起始糊化温度差异明显，即糯性品种 A2 的起始糊化温度明显低于非糯性品种；相同类型不同品种间淀粉糊的起始糊化温度也具有一定差异，7 个非糯性品种淀粉糊的糊化温度降序排列为：晋谷 38>A3>晋谷 21>晋谷 36>晋谷 41>大同 29>A1。峰值粘度是由于淀粉粒在充分吸水膨胀后相互摩擦，使得糊液粘度增大，其值的大小反映了淀粉的膨胀能力[21]。8 个品种小米淀粉的糊化峰值黏度在 222.00~455.33 BU 之间，A2 的峰值黏度最高，为 455.33 BU；A1 的峰值粘度最低，为 222.00 BU。峰值黏度低意味着加工过程中的能耗较低，对降低食品加工所用成本有着十分重要的意义。

淀粉糊的崩解值与回冷值分别反映了淀粉糊的热粘度稳定性与冷粘度稳定性，即崩解值越低，表明淀粉糊的热稳定性越好；回冷值越低，表明淀粉糊的冷稳定性越好。从表 3 可知，大同 29 的崩解值最低，为 44.00 BU；回冷值较低，为 12.67 BU。说明在 8 个供试品种中，大同 29 淀粉糊具有很好的冷、热稳定性。8 个品种淀粉糊的回升值变幅为 69.00~244.33 BU，其中 A2 淀粉糊回升值最低，说明在 8 个供试品种中，A2 淀粉糊最不易老化。

2.6 淀粉的溶解度与膨胀势

如图 7 所示，8 个品种均呈现出随着温度上升淀粉溶解度增加的趋势。在 50~90 ℃整个升温过程中，8 个小米淀粉的溶解度从 0.07~2.55 g/100 mL 增加到 6.86~92.61 g/100 mL。这是由于在加热的过程中，淀粉中的极性基团暴露出来与水形成氢键结合，淀粉开始溶解，随着温度继续升高，淀粉团粒发生崩解，直、支链淀粉游离出来，即溶解度随温度的上升而增加[22]。糯性品种 A2 在 60~80 ℃之间淀粉溶解度迅速增大，其余 7 个非糯性品种在 50~80 ℃升温过程中淀粉

溶解度差异较小。

表 3 不同品种小米淀粉的糊化特性

Table 3 Gelatinization characteristics of millet starches

样品	糊化温度/℃	峰值黏度/BU	起始恒温糊化黏度/BU	起始降温糊化黏度/BU	降温结束糊化黏度/BU	恒温结束糊化黏度/BU	崩解值/BU	回升值/BU	回冷值/BU
晋谷 21	76.4±0.78	287.67±1.15	283.33±3.21	156.67±5.51	398.00±5.20	420.00±5.36	131.00	241.33	22.00
晋谷 36	75.2±0.70	273.33±9.07	271.67±3.51	160.67±4.51	396.67±9.29	416.67±17.62	112.67	236.00	20.00
晋谷 38	78.8±0.62	320.33±1.53	320.6±13.87	200.33±9.71	400.33±12.42	426.00±2.65	120.00	200.00	25.67
晋谷 41	74.7±0.53	241.00±5.29	240.33±6.11	149.33±5.86	369.67±3.21	391.33±4.93	91.67	220.33	21.67
大同 29	74.2±1.39	251.33±6.66	249.67±2.89	207.33±5.03	451.67±4.16	464.33±12.22	44.00	244.33	12.67
A1	73.8±0.52	222.00±4.36	219.33±3.06	148.67±8.14	360.67±3.51	393.33±18.56	73.33	212.00	32.67
A2	67.6±0.80	455.33±19.60	189.33±13.43	145.33±12.58	214.33±11.59	220.67±5.86	310.00	69.00	6.33
A3	76.5±0.49	227.67±3.06	215.33±6.11	152.67±5.77	367.67±15.14	394.33±3.06	75.00	215.00	26.67
CV	0.0437	0.2678	0.1698	0.1480	0.1868	0.1863	0.6849	0.2783	0.3939

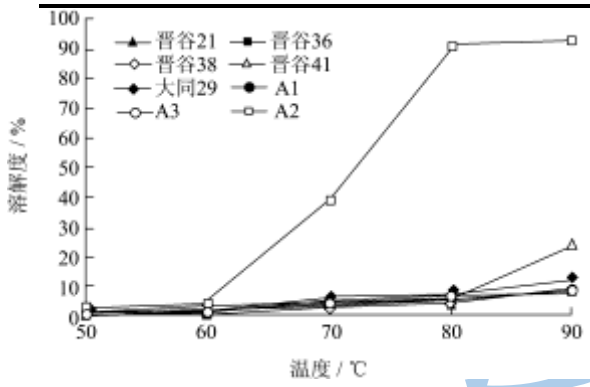


图 7 小米淀粉在不同温度下的溶解度

Fig.7 The solubility of millet starches under different temperatures

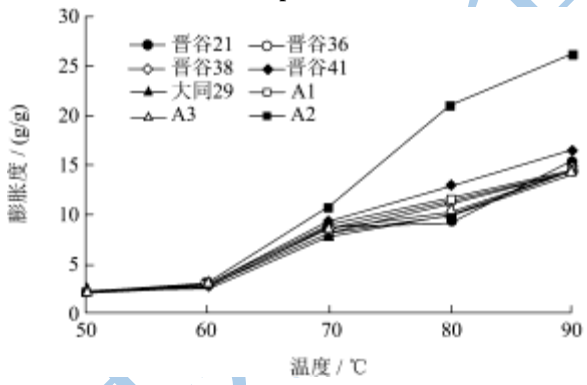


图 8 小米淀粉在不同温度下的膨胀度

Fig.8 The swelling power of millet starches under different temperatures

如图 8 所示，在 50 到 90 ℃的升温过程中，膨胀度的变化表现出随着温度的升高而增大的趋势，8 个品种淀粉的膨胀度从 2.09~2.33 g/g 增加到 14.27~26.30 g/g。在 50~60 ℃升温阶段膨胀体积变化较小，是初始膨胀阶段；60~90 ℃升温阶段膨胀体积变化较大，是迅速膨胀阶段，显示出典型的二段膨胀过程，属限制型膨胀淀粉[23]。

2.7 淀粉的凝沉特性

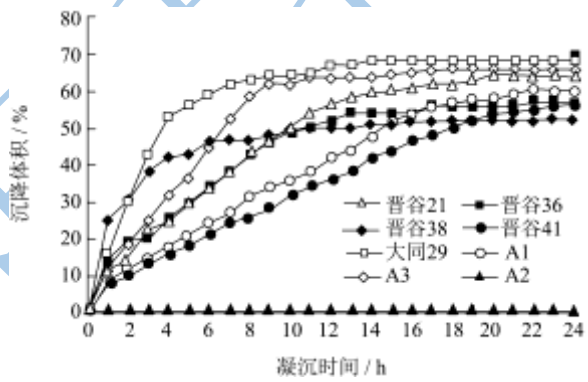


图 9 小米淀粉的凝沉曲线

Fig.9 Retrogradation curve of millet starches

直链淀粉分子间会发生相互结合形成大的颗粒或束状结构，当达到一定程度时便发生沉降[24]。从图 9 可知，除糯性品种 A2 淀粉糊在 24 h 内未发生沉降之外，其余 7 个非糯性品种淀粉糊均呈现随着时间的延长凝沉体积增加的趋势，各品种间凝沉特性具有明显差异。其中大同 29 淀粉糊发生沉降最快，4 h 以内有 50%以上体积发生沉降；A2 淀粉糊在 24 h 时内未发生沉降。这是由于直链淀粉含量是影响淀粉糊发生沉降的主要因素之一，直链淀粉含量越高，沉降速度越快；直链淀粉含量越低，沉降速度越慢。

3 结论

3.1 淀粉是小米的主要成分，其理化性质决定了小米的加工工艺与用途。而种植地点与品种的差异对小米淀粉理化特性具有直接影响。本研究通过将供试的 8 个谷子品种在同一地点进行种植，在消除了环境因素影响的基础上对山西省 8 个谷子品种淀粉理化特性的差异进行了探讨。结果表明：小米淀粉颗粒为单粒，

颗粒表面较为规整，颗粒形态多呈多角形，少数呈卵圆形，不同品种间淀粉颗粒形态与偏光十字形状具有明显差异。小米淀粉是由大、小两种不同粒径范围的颗粒组成，淀粉颗粒分布呈现出“三峰”型。8 个品种的淀粉颗粒粒径主要集中于 5~20 μm 之间，不同品种间淀粉颗粒的粒级组成差别较大。

3.2 8 个品种的直链淀粉含量变幅为 2.22~17.96%之间，碘蓝值变幅为 0.586~0.872。各品种间小米淀粉糊的透光率变幅在 2.4~29.2%之间，具有明显差异。8 个品种的析水率在 3.67~49.85%之间，品种晋谷 38 和 A3 的析水率较低，适宜于用作加工冷冻食品。各品种淀粉糊的起始糊化温度变幅为 67.6~78.8 ℃，糊化峰值黏度在 222.00~455.33 BU 之间，回升值变幅为 69.00~244.33 BU 之间。小米淀粉的溶解度与膨胀度均呈现出随着温度的升高而增大的趋势。除糯性品种 A2 之外，其余各品种淀粉糊稳定性呈现出随着时间的延长凝沉体积增加的趋势，但各品种淀粉糊的 24 h 凝沉曲线具有较大差异。A2 淀粉糊在 24 h 内未发生沉降，稳定性较好，适用于小米饮料的加工。

3.3 不同品种小米淀粉理化特性尤其是糯性品种与非糯性品种之间具有较大差异，因此，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
Xue Yue-yuan, Li Peng, Lin Qin-bao. Research Evolution on Chemical Component and Physical Character of Foxtail Millet [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23(3): 199-203

[2] 杨斌,张喜文,张国权,等.夏谷区主栽谷子品种淀粉理化特性研究[J].食品科学,2012,17:58-63
Yang Bin, Zhang Xi-wen, Zhang Guo-quan, et al. Physical and Chemical Properties of Starch from Major Summer Millet Cultivars in China [J]. Food Science, 2012, 17: 58-63

[3] 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, 5: 105-113
Zhang Guo quan, Shi Xue wen, Luo Qin gui. Physicochemical prop erties of buckwheat Starch of Shaanxi Province [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat . Sci. Ed.), 2009, 5: 105-113

[4] 杜双奎,于修烛,马静,等.薏米淀粉特性研究[J].中国粮油学报,2008,23(1):61-65
Du Shuang-kui, Yu Xiu-zhu, Ma Jing, et al. Properties of Job's - Tears Starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23(1): 61-65

[5] 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
Yao Ya-ping, Tian Cheng-rui, Zhang Guo-quan, et al. Analysis on Physicochemical Properties of Proso Starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(9): 45-52

[6] Kumari S K, Thayumanavan B. Characterization of Starches of Proso, Foxtail, Barnyard, Kodo, and Little Millets [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 1998, 53(1): 47-56

[7] 陈正宏,乐静,沈爱光.小米淀粉特性的研究[J].郑州粮食学院学报,1993,1:38-43
Chen Zheng-hong, Le Jing, Shen Ai-guang. Study on the Characteristic of Millet Starch [J]. Journal of Zhengzhou Grain College, 1993, 1: 38-43

[8] Wankhede D B, Rathi S S, Gunjal B B, et al. Studies on Isolation and Characterization of Starch from Pearl Millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) Grains [J]. Carbohydrate Polymers, 1990, 13(1): 17-28

[9] 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
Lu Xin, Zhang Hui, Yao Hui-yuan. Effects of Different Extraction Methods on Starch Structure of Japonica Rice [J]. Food Science, 2008, 29(1): 102-106

[10] Afolabi T A, Olu-Owolabi B I, Adebowale K O, et al. Functional and Tableting Properties of Acetylated and Oxidised Finger Millet (*Eleusine coracana*) Starch [J]. Starch-Starke, 2012, 64(4): 326-337

[11] Fujita S, Sugimoto Y, Yamashita Y, et al. Physicochemical Studies of Starch from Foxtail Millet (*Setaria italica Beauv.*) [J]. Food Chemistry, 1996, 55(3): 209-213

[12] Lindeboom 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-Starke, 2004, 56: 89-99

[13] Soulaka A B, Morrison W R. The Amylose and Lipid Contents, Dimensions, and Gelatinization Characteristics of Some Wheat Starches and Their A-granule and B-granule Fractions [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1985, 36(8): 709-718

[14] Whattam J, Cornell H J. Distribution and Composition of the Lipids in Starch Fractions from Wheat Flour [J]. Starch-Starke, 1991, 43(4): 152-156

[15] Peterson D G, Fulcher R G. Variation in Minnesota HRS

Wheats: Starch Granule Size Distribution [J]. Food Research International, 2001, 34(4): 357-363

[16] 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
Liu Gang, Liu Ying, Chen Ji-Wang, et al. Physical-Chemical Properties of Oats Starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2008, 23(3): 86-89

[17] Liu C, Liu P, Yan S, et al. Relationship of Physicochemical, Pasting Properties of Millet Starches and the Texture Properties of Cooked Millet [J]. Journal of Texture Studies, 2011, 42(4): 247-253

[18] Noda T, Takahata Y, Sato T, 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,2002,1:129-131
Du Xian-feng, Xu Shi-ying, Wang Zhang. Starch Paste Clarity and Its Influence Factors [J]. Transactions of the CSAE, 2002, 1: 129-131

[20] 田晓红,谭斌,谭洪卓,等.20 种高粱淀粉特性[J].食品科学,2010,15:13-20
Tian Xiao-hong, Tan Bin, Tan Hong-zhuo, et al. Properties of Sorghum Starches from Twenty Varieties in China [J]. Food Science, 2010, 15: 13-20

[21] 包劲松,徐律平,包志毅,等.淀粉特性与工业应用研究进展[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2002,28(6): 694-702
Bao Jin-song, Xu Lv-ping, Bao Zhi-yi, et al. Starch Properties and Their industrial Applications: A Review [J]. Journal of Zhejiang University (Agric & Life Sci), 2002, 28(6): 694-702

[22] 李忠海,徐廷丽,孙昌波,等.3 种百合淀粉主要理化性质的研究[J].食品与发酵工业,2005,31(5):5-8
Li Zhong hai, Xu Ting li, Sun Chang-bo, et al. Study on the Physicochemical Properties of Three Lily Starches [J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(5): 5-8

[23] Beleia A, Varrianomarston E, Hoseney R C. Characterization of Starch from Pearl Millets [J]. Cereal Chemistry, 1980, 57(5): 300-303

[24] 杜双奎,于修烛,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
Du Shuang kui, Yu Xiu zhu, Yang Wen-wen, et al. Physical and Chemical Properties of Haricot Starch [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 82-86

现代食品科技