

不同糯性谷物淀粉性质的比较研究

张正茂¹, 阚玲², 王丽¹

(1. 湖北工程学院生命科学技术学院, 湖北省植物功能成分利用工程技术研究中心, 湖北孝感 432000)

(2. 湖北工程学院图书馆, 湖北孝感 432000)

摘要: 本研究选取圆糯米、血糯米、糯小麦、糯玉米、糯小米(糜子)、糯高粱和糯薏米为原料提取淀粉, 比较研究了7种糯性谷物淀粉的性质, 为其应用提供一定的参考。结果表明: 透光率以糯玉米和糯高粱淀粉最大, 为20%左右; 糯薏米和糯小麦淀粉较易凝沉; 50℃下圆糯米、血糯米和糯玉米淀粉的膨胀势较大; 圆糯米淀粉的冻融稳定性最差, 而糯小麦、糯玉米、糯小米(糜子)和糯高粱淀粉的较好; 糊化温度以糯小米(糜子)淀粉最大, 为67.8℃, 而圆糯米、血糯米和糯玉米淀粉的糊化温度最小, 均为60℃; 7种糯性谷物淀粉的峰值粘度、保持粘度和最终粘度以糯小麦、糯高粱和糯薏米淀粉的最大, 糯玉米淀粉的最小; 由回升值/峰值粘度的大小可知, 糯玉米淀粉最不易老化, 糯薏米淀粉最易老化; 糯高粱、糯小麦和糯薏米淀粉的抗剪切作用较弱, 而血糯米和糯玉米淀粉在剪切过后有变稠的趋势。

关键词: 糯性谷物淀粉; 冻融稳定性; 糊化特性; 流变特性

文章编号: 1673-9078(2019)01-51-57

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.1.008

Comparative Studies on the Properties of Starches from Different Waxy / Glutinous Cereals

ZHANG Zheng-mao¹, KAN Ling², WANG Li¹

(1. College of Life Science and Technology of Hubei Engineering University, Hubei Province Research Center of Engineering Technology for Utilization of Botanical Functional Ingredients, Xiaogan 432000, China)

(2. Library of Hubei Engineering University, Xiaogan 432000, China)

Abstract: In this study, starches were extracted from different raw materials (round waxy rice, blood waxy rice, waxy wheat, waxy corn, waxy proso millet, waxy sorghum and waxy coix seed) for comparative studies to provide a reference for their applications. The results showed that the light transmittance of waxy corn starch and waxy sorghum starch was the greatest (about 20%). Waxy coix seed starch and waxy wheat starch tended to aggregate and precipitate. At 50℃, the swelling power of round waxy rice starch, blood waxy rice starch and waxy corn starch was greater. The round waxy rice starch had the worst freeze-thaw stability, while the waxy wheat starch, waxy cornstarch, waxy proso millet starch and waxy sorghum starch had better freeze-thaw stability. The gelatinization temperature of the waxy proso millet starch was the highest (67.8℃), with the round waxy rice starch, blood waxy rice starch and waxy corn starch having the lowest (60℃). Among the 7 waxy grain starches, the peak viscosity, hold viscosity and final viscosity were the highest for the waxy wheat starch, waxy sorghum starch and waxy coix seed starch but the lowest for the waxy corn starch. Based on the value of setback viscosity / peak viscosity, the waxy corn starch was the least susceptible to aging, whilst the waxy coix seed starch was the most susceptible to aging. The anti-shear capacity of waxy sorghum starch, waxy wheat starch and waxy coix seed starch was relatively weak, and the starch of blood waxy rice and waxy corn starch exhibited shear-thickening behaviors.

Key words: waxy grain starch; freeze-thaw stability; pasting properties; rheological properties

谷物中富含淀粉, 约占谷物的60%~70%, 一般淀粉由70%~80%的支链淀粉和20%~30%的直链淀粉构成^[1]。日常生活中常见的谷物有大米、小麦、玉米、高粱、糜子、薏米等, 根据其含直链淀粉的多少可分为糯性和非糯性谷物。其中糯性谷物淀粉几乎不含直链淀粉^[2,3], 因此其在性质上与非糯性谷物淀粉存在较大差异, 常被用于修饰淀粉类食品。例如, 糯小麦因其直链淀粉含量低, 可以用来修饰淀粉类食品, 调整直链淀粉的含量, 提高面食质量, 改变居民的膳食结

收稿日期: 2018-08-16

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究项目(B2015030); 湖北工程学院科学研究项目(201502)

作者简介: 张正茂(1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 粮食深加工与淀粉特性

成^[1]。日常生活中常见的谷物有大米、小麦、玉米、高粱、糜子、薏米等, 根据其含直链淀粉的多少可分为糯性和非糯性谷物。其中糯性谷物淀粉几乎不含直链淀粉^[2,3], 因此其在性质上与非糯性谷物淀粉存在较大差异, 常被用于修饰淀粉类食品。例如, 糯小麦因其直链淀粉含量低, 可以用来修饰淀粉类食品, 调整直链淀粉的含量, 提高面食质量, 改变居民的膳食结

构和组成^[4]。糯米淀粉糊不易老化,呈光滑的、奶油状的、可延伸的凝胶结构,具有类似脂肪细腻柔软的口感,可作为非常有效的脂肪替代物与其他食品混合^[5]。就淀粉的性质而言,天然淀粉的可利用性主要取决于淀粉粒的特性和淀粉糊的特性^[6]。目前对于糯性谷物淀粉的研究主要集中在对糯性和非糯性淀粉特性的比较^[7-13],或者相同糯性谷物的不同品种的比较^[14],对不同糯性谷物淀粉的比较研究还未见报道。研究发现,糯性谷物淀粉相对于普通淀粉而言具有低糊化温度、高透明度、高保水性、较强的抗老化和冻融稳定性等特点^[2,15],能在食品中得到广泛的应用。

虽然糯性谷物淀粉具有很多优点,具有较好的应用前景,但不同来源的糯性谷物淀粉的性质存在一定的差异,因此研究不同来源的糯性谷物的特性对指导糯性谷物淀粉的引用具有十分重要的意义。本文选取圆糯米、血糯米、糯小麦、糯玉米、糯小米(糜子)、糯高粱和糯薏米7种糯性谷物为原料提取淀粉,比较研究7种淀粉的物化特性、糊化特性和流变特性,为其应用提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料与仪器

1.1.1 实验材料

圆糯米,血糯米,糯小麦,糯玉米,糯小米(糜子)、糯高粱、糯薏米购于市场。

1.1.2 实验仪器

0.001 g 电子天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;DHR-2 流变仪,美国TA公司;高速台式离心机,北京时代北利离心机有限公司;紫外可见分光光度仪,上海元析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的制备

参考文献^[16]的方法并做相应的修改。以浓度为0.20%的NaOH溶液浸泡糯性谷物样品24 h(碱液量与样品量质量比为3:1),弃去浸泡液后加NaOH溶液进行磨浆,并过100目滤网,静置12 h后,除去上清液后加NaOH溶液补充到原来体积,共4次。用0.5 mol/L的HCl溶液中和至pH 7.0,水洗5次,每次除去上清液。离心取下层,再水洗离心两次。下层淀粉于45 °C干燥12 h,粉碎过100目筛得到糯性淀粉样品。

1.2.2 糯性谷物淀粉直链淀粉含量的测定

参考国标 GB/T 15683-2008/ISO 6647-1: 2007 的

方法^[17]测定糯性谷物中直链淀粉的含量。分别称取7种糯性谷物淀粉(100±5) mg于50 mL比色管中,向比色管中加入1 mL无水乙醇,充分湿润样品,再加入9.0 mL 1.0 mol/L氢氧化钠溶液,边加边剧烈摇动,随后将比色管在沸水浴中加热10 min,使淀粉充分糊化。冷却至室温后加蒸馏水定容,搅匀即为样品母液。将4.0 mL母液(或标准溶液),20 mL蒸馏水和1 mL乙酸溶液依次加100 mL容量瓶中,混匀后,再添加2.0 mL碘试剂,加水至刻度线,混匀后,静置10 min。以4.0 mL母液换成0.09 mol/L的氢氧化钠作为空白溶液。在720 nm处以空白溶液作为对照测定系列样品溶液的吸光度,每个样品做三个平行,根据标准曲线求得直链淀粉含量。

标准曲线为:直链淀粉含量=(吸光度-0.0481)/0.0133

1.2.3 糯性谷物淀粉理化性质的测定

透光率:称取淀粉样品,配制40 g质量分数为1%的淀粉乳(淀粉按绝干重计),于95 °C水浴中加热30 min糊化后,冷却至室温。用1 cm比色皿在650 nm波长下以蒸馏水作参比,测定淀粉糊的透光率,每个样品做三个平行^[18]。

凝沉性:称取淀粉样品,配制40 g质量分数为1%的淀粉乳(淀粉按绝干重计),于95 °C水浴中糊化30 min后,冷却至25 °C即室温。移入15 mL的刻度试管中,静置。每隔一定的时间记录淀粉糊层的变化,用上清液体积占糊总体积的百分比随时间的变化情况来表示糊的凝沉性质^[19],每个样品做三个平行。

膨胀势和溶解度:称取淀粉样品,配制40 g质量分数为2%的淀粉乳(淀粉按绝干重计),在50 °C温度下水浴加热搅拌30 min后取出,以3000 r/min的速度离心20 min,上层清液于105 °C下4 h烘干至恒重,称量,得到溶解淀粉量,计算其溶解率;取离心管中的膨胀淀粉重量计算其膨胀势,每个样品做三个平行。

溶解度: $S\% = (A/W) \times 100\%$

膨胀势: $B\% = \{P \times 100 / [W \times (100 - S)]\} \times 100\%$

其中:A:上清液烘干至恒重后的残留物重量(g);W:样品干基重量(g);P:沉淀物的重量(g)。

冻融稳定性:称取淀粉样品,配制40 g质量分数为6%的淀粉乳(淀粉按绝干重计),于95 °C水浴中糊化,冷却至室温后,移入50 mL的离心管中,置于冰箱冷冻室冷冻,24 h后取出,自然解冻后,观察是否析水,记录出现析水时的冻融次数并观察糊液的状态,用来确定其冻融稳定性,每个样品做三个平行^[19]。

1.2.4 糯性谷物淀粉流变特性的测定

糊化过程测定采用张正茂等^[20]的方法:配置浓度

为6%和8%淀粉乳液，搅拌均匀后倒入测量容器中。在一定条件下，利用流变仪测定在不同浓度下7种糯性谷物淀粉的糊化过程。

流变特性的测定参考文献^[21]和^[22]的方法：当糊化淀粉冷却至25℃后，利用流变仪测定在不同浓度下7种糯性谷物淀粉的剪切速率扫描曲线，然后计算滞后面积并比较分析。

1.2.5 数据统计分析

采用Microsoft Excel 2007求取3次平行试验的平均值和标准偏差；并采用SASv8.1软件，用ANOVA进行方差分析，显著性检验方法为Duncan，检测限为0.05。

2 结果与分析

2.1 不同糯性谷物直链淀粉含量的比较

7种糯性谷物淀粉的直链淀粉含量测定结果如表1所示。

表1 7种糯性谷物淀粉的直链淀粉含量

Table 1 Amylose content of 7 glutinous grain starches

品种	直链淀粉含量/%
圆糯米	0.65±0.06 ^b
血糯米	0.71±0.11 ^b
糯小麦	1.13±0.05 ^a
糯玉米	0.63±0.11 ^b
糯小米(糜子)	0.76±0.05 ^b
糯高粱	0.61±0.10 ^b
糯薏米	1.19±0.12 ^a

注：同一列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

从表1中可以看出，总体而言，7种糯性谷物淀粉的直链淀粉含量均较小，其中以糯薏米淀粉和糯小麦淀粉的较高(1.13%~1.19%)，其他糯性谷物淀粉的较低，在0.61%~0.76%之间，差异不明显 ($p > 0.05$)，说明本文选取的糯性谷物纯度较高。

2.2 不同糯性谷物淀粉理化性质分析

2.2.1 不同糯性谷物淀粉糊透光率的比较

淀粉经过糊化后所形成淀粉糊液的透光率与淀粉的老化有很大的关系^[23]，而淀粉的老化则与淀粉中的直链淀粉与支链淀粉比例及结构、蛋白、水分以及糖类、脂类、盐等有关^[23]。由于糯性谷物淀粉中的直链淀粉含量极少，经过提纯后的淀粉其它成分含量极少，相同浓度下糊透光率仅与支链淀粉的结构有关，支链淀粉的链长越长，淀粉越容易老化^[18]。7种糯性谷物淀粉糊透光率如图1所示。

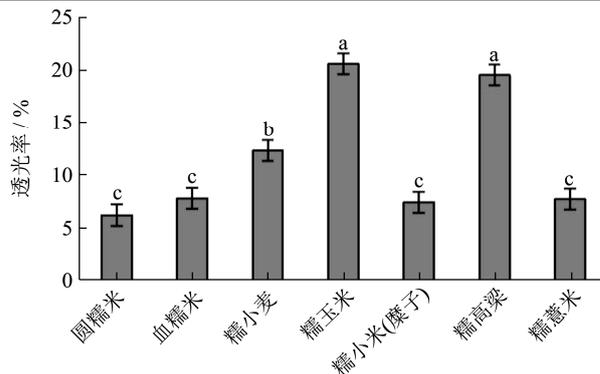


图1 7种糯性谷物淀粉糊的透光率

Fig.1 Starch paste transmittance of 7 glutinous grain starches

由图1可知，糯玉米淀粉和糯高粱淀粉的透光率最大，达到20%左右，显著高于 ($p < 0.05$) 其它5种糯性谷物淀粉；圆糯米淀粉、血糯米淀粉、糯小米(糜子)淀粉和糯薏米淀粉的透光率较小，仅为6%~8%左右，四者差异不显著 ($p > 0.05$)；糯小麦淀粉的透光率处于中等水平(12.5%)。据文献报道糯玉米淀粉、糯高粱淀粉、糯米淀粉、糯性糜子淀粉和糯小麦淀粉的糊透光率分别为15.6%、47.8%、5.7%、9.2%、8.8%^[12,24,25]，其结果也显示糯玉米淀粉和糯高粱淀粉的糊透光率较大，可能的原因是这两种淀粉中支链淀粉链长比较短，不易老化，而其它淀粉的支链淀粉链长较长，易老化。这一方面需在今后的工作中对7种糯性谷物淀粉的支链淀粉结构作进一步研究。

2.2.2 不同糯性谷物淀粉凝沉性的比较

糯性谷物淀粉的凝沉性与淀粉糊在存放过程中的老化有较大的关系，淀粉凝沉性主要与直链淀粉含量、链长及支链淀粉链长有关，直链淀粉含量越高及链长越短、支链淀粉链长越长，凝沉越快^[18]，除此之外，淀粉糊的凝沉性也与淀粉糊的粘度有关，粘度越大，淀粉分子沉降越慢。7种糯性谷物淀粉的凝沉性如图2所示。

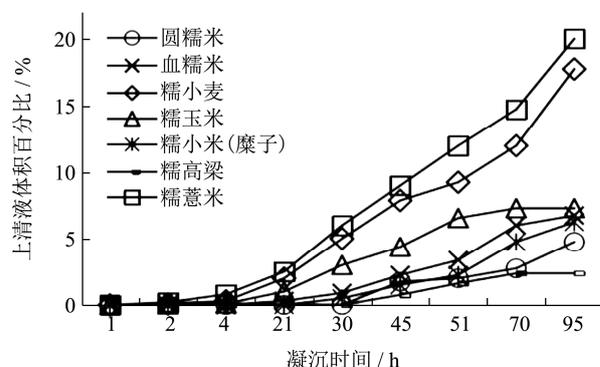


图2 7种糯性谷物淀粉的凝沉性

Fig.2 Coagulation of 7 glutinous grain starches

由图2可知，沉降最快的是糯薏米淀粉和糯小麦淀粉，其次是糯玉米淀粉，30h时上清液体积分数已

达到 6%、5% 和 3%，其它 4 种淀粉上清液体积分数在 1% 以下。特别是糯薏米淀粉和糯小麦淀粉在 70 h 后，上清液体积增长更快，说明这两种淀粉后期的凝沉更快，与直链淀粉含量较大有关。凝沉最慢及最小的是糯高粱淀粉和圆糯米淀粉，特别是糯高粱淀粉，在 95 h 后其上清液体积分数仅为 2.4% 左右，说明糯高粱淀粉和圆糯米淀粉的抗凝沉作用最强，这与这两种淀粉的直链淀粉含量较小有关。糯玉米凝沉性也较大可能与其淀粉糊粘度较低有关（见 2.3 流变特性）。

分析糊透光率和凝沉性的结果发现，直链淀粉含量的微小差异对凝沉性影响较大，而对糊透过率影响较小，糊透过率可能与支链淀粉外链长短关系更大，这一方面需要进一步的研究来证实。

2.2.3 不同糯性谷物淀粉膨胀势和溶解率分析

淀粉的膨胀势能说明淀粉在一定温度下吸水膨胀的能力。由于在高于糊化温度下（如 90 °C），淀粉均糊化且离心得不到上清液和沉淀，故只采用 50 °C 测定膨胀势和溶解率。7 种糯性谷物淀粉 50 °C 下膨胀势如图 3，溶解率如图 4 所示。

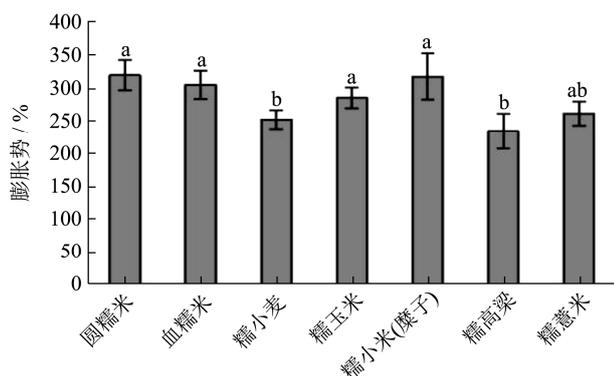


图 3 7 种糯性谷物淀粉 50 °C 下膨胀势

Fig.3 Swelling power of 7 glutinous grain starches at 50 °C

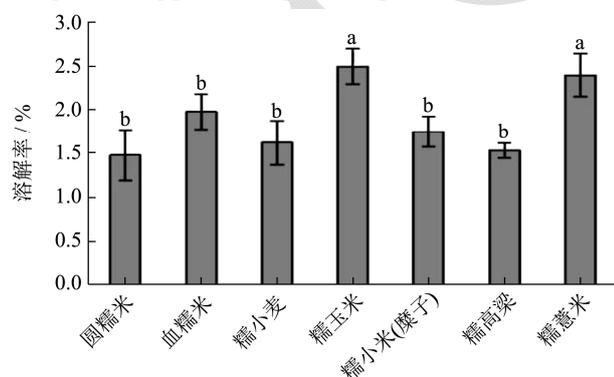


图 4 7 种糯性谷物淀粉 50 °C 下溶解度

Fig.4 Solubility of 7 glutinous grain starches at 50 °C

由图 3 可知，在 50 °C 条件下，圆糯米淀粉、血糯米淀粉、糯玉米淀粉和糯小米淀粉的膨胀势较大，在 286%~320% 之间，各淀粉之间差异不显著 ($p>0.05$)，而糯小麦淀粉淀粉、糯高粱和糯薏米淀粉

的膨胀势较小，在 249%~263% 之间。说明糯性谷物淀粉 50 °C 下膨胀势差异不大。由图 4 可知，在 50 °C 温度下，不同糯性谷物淀粉溶解度均较小，大小在 1.5%~2.5% 之间，其中以糯玉米淀粉和糯薏米淀粉的较大，其它 5 种淀粉的较小。

2.2.4 不同糯性谷物淀粉冻融稳定性分析

7 种糯性谷物淀粉冻融后初次析水时间如表 2 所示。

表 2 7 种糯性谷物淀粉冻融特性表

Table 2 Freeze-thaw characteristics of 7 glutinous grain starches

品种	初从析水冻融次数	出现析水时淀粉糊的状态
圆糯米	1	海绵状
血糯米	2	海绵状
糯小麦	4	糊状
糯玉米	4	糊状
糯小米(糜子)	4	成絮状
糯高粱	4	糊状
糯薏米	2	海绵状

由表 2 可知：冻融稳定性最差的是圆糯米淀粉，再者为血糯米淀粉和糯薏米淀粉，并且这三种淀粉在冻融 4 次后形成海绵状的结构，说明抗冻性较差。糯小麦淀粉、糯玉米淀粉、糯小米（糜子）淀粉和糯高粱淀粉在 4 次后才出现析水现象，且糯小米（糜子）淀粉形成絮状，其它三种仍然为糊状，说明糯小麦淀粉、糯玉米淀粉和糯高粱淀粉的抗冻性较好。其结果与糊透光率相似，说明冻融稳定性与淀粉的老化也有较大关系。糊化后的淀粉在冻结过程中发生老化，水合能力减弱，导致解冻后析出水分。7 种糯性淀粉冻融稳定性产生差异的原因可能是糯小麦淀粉、糯玉米淀粉和糯高粱淀粉三种淀粉中支链淀粉链长比较短，不易老化，而其它淀粉的支链淀粉链长较长，易老化。

2.3 不同糯性谷物淀粉流变特性分析

2.3.1 不同糯性谷物淀粉糊化过程图谱分析

7 种糯性谷物淀粉在 6% 和 8% 的浓度下测得的糊化曲线如图 5、图 6 所示。

由图 5、图 6 可知，淀粉的粘度值随着时间的延长呈现先增大后减小再增大的趋势，相同条件下，质量分数越大，粘度值越大。将糊化曲线进行分析得到糊化特征值如表 3 所示。

由表 3 可知，7 种糯性谷物淀粉在两浓度下得到的糊化温度基本相同，因此说明糊化温度与淀粉的浓度关系不大，也可以说明 RVA 测定方法测得的糊化温

度较为稳定。相同浓度条件下，以糯小米淀粉的糊化温度最高（67.7℃），糯薏米淀粉的次之（66.7℃），糯高粱淀粉和糯玉米淀粉处于中间水平，分别为65.6℃和64.7℃，糊化温度最小的淀粉为圆糯米淀粉、血糯米淀粉和糯小麦淀粉，均为60℃左右。糯性谷物淀粉的糊化温度除糯高粱淀粉高于普通高粱淀粉以外，其它均低于其对应的非糯性淀粉的糊化温度[12,16,26-28]，即糯性谷物淀粉易糊化。

不同糯性谷物淀粉的峰值粘度、保持粘度、最终粘度都随浓度的升高而增大，在相同淀粉浓度下，糯小麦淀粉、糯高粱淀粉和糯薏米淀粉的粘度值大于其它四种淀粉，说明这三种淀粉在高温下吸水膨胀后颗粒较大，形成的摩擦力较大。7种糯性谷物淀粉中，糯玉米淀粉的峰值粘度最小，说明糯玉米淀粉颗粒不易吸水膨胀。

由于各种糯性谷物淀粉的峰值粘度差异较大，故采用回升值/峰值粘度的大小来描述淀粉的老化更加合理[28]。以质量分数8%下为例，7种糯性谷物淀粉中，回升值/峰值粘度以圆糯米淀粉和糯薏米淀粉的最大，为0.177和0.178，糯小米淀粉、糯小麦淀粉和血糯米淀粉次之，分别为0.163、0.156和0.153，而糯玉米淀粉和糯高粱淀粉的最小，分别为0.102和0.126。这一结果与糊透光率是一致的，即糯玉米淀粉和糯高粱淀粉不易老化，从而其淀粉糊透光率较大。

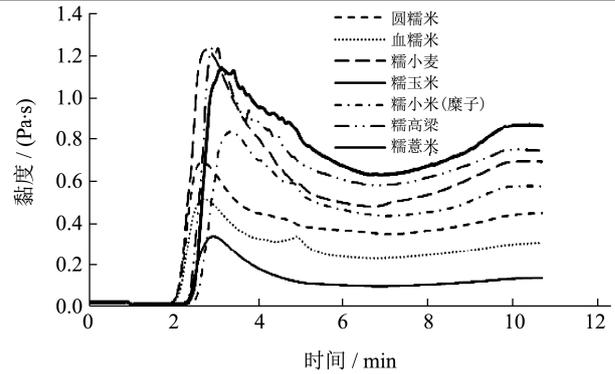


图5 质量分数6%下7种糯性谷物淀粉的糊化曲线

Fig.5 Pasting curve of 7 glutinous grain starches at 6% concentration

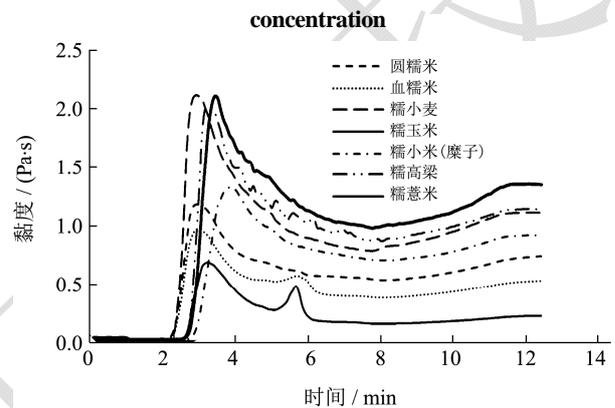


图6 质量分数8%下7种糯性谷物淀粉的糊化曲线

Fig.6 Pasting curve of 7 glutinous grain starches at 8% concentration

表3 7种糯性谷物淀粉糊化特性表

Table 3 Pasting characteristics of 7 glutinous grain starches

质量分数	品种	糊化温度/℃	峰值粘度	保持粘度	最终粘度	降落值	回升值	回升值/峰值粘度
6%	圆糯米	60.0	0.701	0.353	0.462	0.346	0.109	0.155
	血糯米	60.1	0.526	0.235	0.314	0.291	0.079	0.150
	糯小麦	60.1	1.250	0.512	0.703	0.738	0.191	0.153
	糯玉米	64.7	0.345	0.097	0.138	0.249	0.041	0.120
	糯小米(糜子)	67.8	0.846	0.441	0.584	0.406	0.144	0.170
	糯高粱	65.6	1.263	0.591	0.759	0.672	0.168	0.133
	糯薏米	66.7	1.159	0.643	0.882	0.517	0.239	0.206
8%	圆糯米	60.0	1.165	0.526	0.733	0.639	0.207	0.178
	血糯米	59.1	0.965	0.378	0.526	0.587	0.148	0.153
	糯小麦	60.2	2.099	0.781	1.109	1.317	0.327	0.156
	糯玉米	64.6	0.676	0.148	0.216	0.528	0.069	0.102
	糯小米(糜子)	67.7	1.326	0.701	0.917	0.625	0.216	0.163
	糯高粱	65.6	2.017	0.885	1.139	1.132	0.253	0.126
	糯薏米	66.7	2.120	0.975	1.350	1.145	0.375	0.177

注：以上表中糊化温度的单位为℃，粘度的单位均为Pa·s。

2.3.2 不同糯性谷物淀粉剪切速率扫描图谱分析

以6%淀粉浓度，采用转速扫描对7种糯性谷物

淀粉的流变学特性进行研究，得到剪切速率和剪切应力的关系如图7所示。

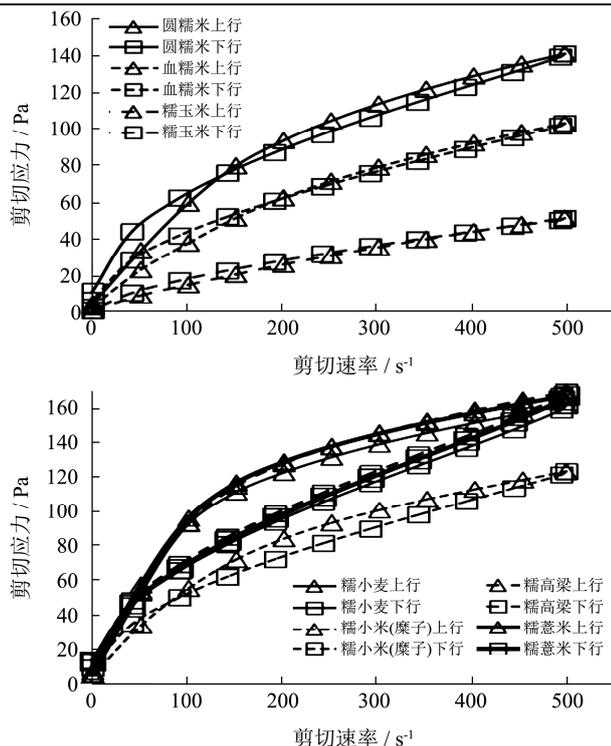


图7 7种糯性谷物淀粉剪切速率扫描

Fig.7 Shear rate scanning of 7 glutinous grain starches

表4 淀粉的剪切速率扫描曲线滞后面积

Table 4 Lag area of Shear rate scanning curve of starches

品种	滞后面积 (Pa·s ⁻¹)
圆糯米	432.09±20.12 ^d
血糯米	-365.51±14.23 ^e
糯玉米	-689.58±47.29 ^f
糯小麦	8024.69±302.30 ^b
糯小米(糜子)	639.63±20.12 ^c
糯高粱	7863.19±110.34 ^b
糯薏米	9291.29±239.13 ^a

注：同一列不同小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

将图谱中间围成的面积计算得到滞后面积，如表4所示。

淀粉糊在剪切速率增大的过程中，形成的淀粉凝胶内部结构被剪切破坏，在剪切速率减小后很难恢复，从而形成滞后现象，说明淀粉具有触变性。所形成的滞后面积大小表示淀粉体系的屈服应力，可以用来确定淀粉糊的网络结构被打破所需的能量^[29,30]。由剪切速率扫描图谱(图7)可知，7种淀粉均存在滞后面积，均表现有触变性。由滞后面积数据表4可知：血糯米淀粉和糯玉米淀粉滞后面积变小且为负数，说明血糯米淀粉和糯玉米淀粉在经过高速剪切后，回到较小剪切速率时，其剪切应力有所变大，有变稠的趋势，形成了更稳定的结构。其它5种淀粉均变现为剪切后稀化即结构破坏趋势，其中以糯薏米淀粉最为明显。

3 结论

7种糯性谷物的直链淀粉含量均在1.2%以下，不同糯性谷物淀粉糊的凝沉性有一定的差异，以糯薏米淀粉和糯小麦淀粉最易凝沉；糊透光率以糯玉米淀粉和糯高粱淀粉的较大；7种糯性谷物淀粉的膨胀势、溶解率和冻融稳定性相差不大；7种糯性谷物淀粉的糊化温度均较低；7种淀粉的峰值粘度、保持粘度和最终粘度等粘度值相差较大，以糯小麦淀粉、糯高粱淀粉和糯薏米淀粉的各粘度值大于圆糯米淀粉、血糯米淀粉、糯玉米淀粉和糯小米(糜子)淀粉的粘度值，且前三者的抗剪切力作用弱于后四者；糯玉米淀粉的粘度值最小，但其最不易老化，且剪切过程中有变稠趋势。

参考文献

[1] 陈新民. 糯小麦(Waxy Wheat)研究进展[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(3): 82-85
CHEN Xin-min. The research progress on waxy wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2000, 20(3): 82-85

[2] 欧巧明, 倪建福, 叶春雷. 糯性小麦及 Wx 基因研究进展[J]. 河南农业科学, 2006, 35(1): 23-28
OU Qiao-ming, NI Jian-fu, YE Chun-lei. Research progress in waxy wheat and Wx genes [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2006, 35(1): 23-28

[3] 潘伟明. 糯玉米生产现状及其产品开发进展[J]. 广东农业科学, 2010, 37(6): 155-157
PAN Wei-ming. Planting of waxy corn and its products' developing progress [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010, 37(6): 155-157

[4] 张焕新, 张伟, 徐春仲. 糯小麦粉添加量对配粉流变学特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 80-84
ZHANG Huan-xin, ZHANG Wei, XU Chun-zhong. Effect of waxy wheat flour on rheological properties of flour blending and steamed bread quality [J]. Food Science, 2014, 35(3): 80-84

[5] 周原, 丁文平. 糯米淀粉质低脂冰淇淋的品质研究[J]. 食品科技, 2011, 36(2): 79-82
ZHOU Yuan, DING Wen-ping. Effect of fat replacers from glutinous rice starch on the quality of low ice cream [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(2): 79-82

[6] 袁蕊, 敖宗华, 丁海发. 不同品种高粱糊化特性研究[J]. 粮食与油脂, 2011, 8: 26-27
YUAN Rui, AO Zong-hu, DING Hai-long. Study on gelatinization characteristics of various sorghum sources [J].

- Cereals & Oils, 2011, 8: 26-27
- [7] YANG Q, QI L, LUO Z, et al. Effect of microwave irradiation on internal molecular structure and physical properties of waxy maize starch [J]. Food Hydrocolloids, 2017, 69: 473-482
- [8] LI W, GAO J, WU G, et al. Physicochemical and structural properties of A- and B-starch isolated from normal and waxy wheat: Effects of lipids removal [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 60: 364-373
- [9] 晁桂梅, 周瑜, 高金锋, 等. 粳性和糯性糜子淀粉的理化性质 [J]. 中国粮油学报, 2016, 31(11): 13-19
- CHAO Gui-mei, ZHOU Yu, GAO Jin-feng, et al. Physicochemical properties of starch from non-waxy proso millet and waxy proso millet [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(11): 13-19
- [10] YOO S H, JANE J L. Structural and physical characteristics of waxy and other wheat starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2002, 49(3): 297-305
- [11] YANG Q, ZHANG P, QU Y, et al. Comparison of physicochemical properties and cooking edibility of waxy and non-waxy proso millet (*Panicum miliaceum* L.) [J]. Food Chemistry, 2018, 257(15): 271-278
- [12] 田晓红, 谭斌, 谭洪卓, 等. 20 种高粱淀粉特性 [J]. 食品科学, 2010, 31(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, 31(15): 13-20
- [13] WANG S, LI P, YU J, et al. Multi-scale structures and functional properties of starches from Indica hybrid, japonica and waxy rice [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 102(7): 136-143
- [14] WANG S, WANG J, CAI W, et al. Molecular order and functional properties of starches from three waxy wheat varieties grown in China [J]. Food Chemistry, 2015, 181(15): 43-50
- [15] 叶佳琪, 吴正奇, 李露, 等. 糯性淀粉凝胶冻融特性及品质改良的研究进展 [J]. 食品科技, 2018, 43(1): 252-257
- YE Jia-qi, WU Zheng-qi, LI Lu, et al. Research progress on freeze-thawing characteristic and improved methods of waxy starch gel [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(1): 252-257
- [16] ZHANG Z, ZHAO S, XIONG S. Morphology and physicochemical properties of mechanically activated rice starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 79(2): 341-348
- [17] GB/T15683-1995, 大米直链淀粉含量测定法 [S]
- GB/T15683-1995, Determination of Amylose Content in Rice [S]
- [18] Craig S A S, Maningat C C, Seib P, et al. Starch paste clarity [J]. Cereal Chemistry, 1989, 66(3): 173-182
- [19] 吴雪辉, 张加明. 板栗淀粉糊特性的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2001, 28(6): 46-48
- WU Xue-hui, ZHANG Jia-ming. Pastes properties of chestnut starch [J]. Food and Fermentation Industries, 2001, 28(6): 46-48
- [20] 张正茂, 王志华, 颜永斌, 等. 马铃薯淀粉和豌豆淀粉复配体系的流变与凝胶特性研究 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 170-173
- ZHANG Zheng-mao, WANG Zhi-hua, YAN Yong-bin, et al. Rheological and gel properties of potato starch and pea starch blends [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(6): 170-173
- [21] 张正茂, 王志华, 颜永斌. 壳聚糖-辛烯基琥珀酸淀粉酯共混体系的流变特性研究 [J]. 中国食品添加剂, 2016, 3: 59-65
- ZHANG Zheng-mao, WANG Zhi-hua, YAN Yong-bin. Rheological properties of chitosan and octenyl succinic anhydride starch ester blend [J]. China Food Additives, 2016, 3: 59-65
- [22] 周睿, 曹龙奎, 鹿保鑫. 黄米淀粉的制备及流变学特性的研究 [J]. 食品科技, 2011, 2: 93-98
- ZHOU Rui, CAO Long-kui, LU Bao-xing. Rheological property and preparation of proso millet starch [J]. Food Science and Technology, 2011, 2: 93-98
- [23] 周显青, 邓峰, 陈志芳, 等. 糯米淀粉的老化及其调控技术研究进展 [J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(2): 98-104
- ZHOU Xian-qing, DENG Feng, CHEN Zhi-Fang, et al. Research progress on retrogradation of glutinous rice starch and control technique [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 35(2): 98-104
- [24] 张晓, 高德荣, 吕国锋, 等. 糯小麦与其它作物淀粉特性的比较研究 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(11): 2183-2190
- ZHANG Xiao, GAO De-rong, LYU Guo-feng, et al. Comparison of the starches properties of waxy wheat and other crops [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(11): 2183-2190

(下转第 43 页)