

五种谷物原料物性的对比研究

孟岳成, 陆冉, 李延华, 李杏, 陈杰, 吴勤

(浙江工商大学 食品与生物工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:选取小麦粉、大米粉、玉米粉、荞麦粉和豌豆粉作为样品, 对其糊化特性、热力学特性以及流变特性进行研究。RVA 结果显示小麦粉和大米粉糊化温度最高, 玉米粉抗老化能力最弱, 荞麦热稳定性良好, 豌豆粉抗老化能力强, 热稳定性较好, 黏度较大; 热力学特性分析表明玉米粉糊化回生值显著高于小麦粉、大米粉、荞麦粉和豌豆粉 ($P < 0.05$), 说明玉米粉易于回生凝沉; 流变学参数结果表明五种样品糊均表现为典型的假塑性流体, 具有剪切稀化现象和触变性; 动态粘弹性结果表明五种样品表现为弱凝胶粘弹体特征; 蠕变恢复和应力松弛结果显示荞麦粉凝胶初始弹性最大, 大米粉凝胶初始黏度低, 弹性弱, 豌豆粉凝胶的初始黏度最大, 并表现出较强的抗变形能力。

关键词:谷物原料; 糊化特性; 热力学特性; 流变特性

中图分类号:TS 210.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2016)02-0006-06

Comparative study on physical properties of five grain materials

MENG Yue - cheng, LU Ran, LI Yan - hua, LI Xing, CHEN Jie, WU Qin

(College of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou Zhejiang 310018)

Abstract: The gelatinization property, thermodynamic properties and rheological characteristics were analyzed with wheat flour, rice flour, corn flour, buckwheat flour and pea flour as samples. The results of RVA showed that wheat flour and rice flour had the highest pasting temperature; corn flour showed bad anti - aging ability; buckwheat had good thermal stability; pea flour showed good anti - aging ability and thermal stability and also higher viscosity. The results of DSC showed corn gel had a distinct higher pasting temperature than that of wheat, rice, buckwheat and pea flour ($P < 0.05$), which indicated that corn flour was easy to resuscitation. Rheological parameter displayed that all of these grains had the shear - thinning and thixotropic phenomenon, which revealed they were typical pseudoplastic fluids. Dynamic viscoelastic results showed that five grains had weak gel viscoelastic characteristic. Creep recovery and stress relaxation results showed that buckwheat had the largest initial elastic. Rice gel had lower initial viscosity and weak elasticity. Peas gel had the maximum initial viscosity and stronger resistance against deformation.

Key words: grain material; pasting; thermodynamic properties; rheological properties

营养学认为平衡膳食是最好的饮食习惯, 而平衡膳食的主要原则就是食物尽量多样化, 粮食也一样, 适当摄入粗杂粮才符合营养的要求。粗杂粮的某些组分, 如铁、镁、锌、硒、钾、钙、维生素 E、叶酸、生物类黄酮的含量比细粮丰富, 并且粗杂粮富含膳食纤维, 能促进肠道消化, 除此之外许多杂粮中还含有大量不饱和脂肪酸, 能降低胆固醇、预防心血管疾病

病等。因此五谷杂粮可以说是营养比较全面的食物, 开发富含粗杂粮的谷物食品是十分必要。本实验选取现代食品工业中常见的五种谷物(小麦粉、大米粉、玉米粉、荞麦粉和豌豆粉)进行相关研究, 这些原料中淀粉含量高达 60%~70% (豌豆粉除外), 因此研究不同谷物原料之间淀粉性质的差异可以为生产应用提供依据。

淀粉颗粒在有水分存在的条件下加热到一定温度, 会经历一个不可逆的无序化转变, 形成半透明粘稠淀粉糊, 这一过程称为糊化。糊化过程中可观察

收稿日期: 2015-10-23

基金项目: 食品科学与工程浙江省重中之重一级学科开放基金项目 (JYTsp20141091)

作者简介: 孟岳成, 1963 年生, 男, 教授级高工, 博士生导师。

通讯作者: 李延华, 1979 年生, 女, 讲师, 博士。

到淀粉颗粒膨胀、吸水、失去结晶性以及沥出直链淀粉^[1]。糊化后的淀粉冷却后形成淀粉凝胶。淀粉之间的性质差异主要由直链淀粉和支链淀粉比例不同以及它们在颗粒内部的排列顺序不同引起^[2],直链淀粉和支链淀粉不同的结构以及分子量导致不同的性质,如糊化特性、热力学特性、流变性质以及凝胶力学特征^[3]。研究这些性质常用的技术手段有快速黏度分析仪(RVA)^[4-5]、差示扫描热分析(DSC)^[6]和动态流变仪等^[7]。其中,RVA记录的曲线反映了黏度上升、下降和回升的过程,可以衡量淀粉热稳定性的高低以及抗老化能力的强弱等;DSC是测试物质热特性的一种工具,通过测定淀粉糊化的参数,表征淀粉在水溶液中加热糊化的难易程度;通过对流变性质的研究,不仅能够了解食品组织结构的变化情况,而且还可以找出与加工过程相关的力学性质的变化规律,从而控制产品的质量,并为工艺和设备设计提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

小麦粉:益海嘉里(昆山)食品工业有限公司;大米粉:浙江五芳斋农业发展有限公司;玉米粉:深圳市瑞利来实业有限公司;荞麦粉:山西朔州山老汉纯荞面;豌豆粉:山西朔州山老汉纯豆面。

1.2 仪器与设备

AL104 电子精密天平:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;PL2002 电子分析天平:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;HHS 数显恒温水浴锅:上海博迅实业有限公司医疗设备厂;RVA-Ezi 快速黏度测定仪:瑞典 Perten 仪器公司;AR-G2 旋转流变仪:美国 TA 仪器公司;C80 DSC 量热仪:法国 SETARAM 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 糊化特性测定

糊化特性测定参照 GB/T 24853—2010 标准,样品含水量以 12% 为基准,样品(3.00 ± 0.01)g,蒸馏水(25.0 ± 0.1)mL。实验重复三次。

测试程序为:前 10 s 搅拌桨转速为 960 r/s,而后保持 160 r/s。50 ℃ 下保持 1 min,然后在 4 min,42 s 内升温至 95 ℃,保持 2 min,30 s。然后经 3 min,48 s 匀速降温至 50 ℃,保持 60 s。采用 RVA 配套软件 TCW 3 得到基本数据和特征参数。

1.3.2 热力学特性分析

精确称取样品 5 g,按 1:3 的比例加入蒸馏水

15 g,搅拌均匀,取 5 mL 放入样品池中,空白管为参照。扫描温度从 20 ℃ 到 95 ℃,升温速率为 0.2 K/min。实验重复三次。

1.3.3 流变性质测定

1.3.3.1 稳态剪切

按照 1.3.1 方法使用 RVA 制得的谷物样品凝胶,测定五谷原料在不同剪切速率下剪切应力的变化。采用 40 mm, 2° 的椎板,取少量样品于流变仪测试平台上,探头下降至测试距离,刮去多余部分,测试前平衡 2 min,以卸去残存应力。测量温度 25 ℃,采用稳态流动模式,对数取点,以剪切速率为变量,从 0.01 ~ 100 s⁻¹ 递增,再从 100 ~ 0.01 s⁻¹ 递减。采用 Power law 流变模型对稳态剪切数据进行拟合^[8],决定系数 R² 表示方程的拟合精度,并用 origin 8.0 处理上行曲线和下行曲线围成的面积,获得回滞圈面积。

1.3.3.2 凝胶粘弹性

按照 1.3.1 的方法使用 RVA 制得的谷物样品凝胶,测定不同谷物原料的凝胶粘弹性。采用 40 mm, 2° 椎板,设置间隙 55 mm,测定温度 25 ℃,扫描应变 1% (线性黏弹区内),扫描频率设定在 0.1~10 Hz 内,得到贮能模量(storage modulus, G')、损耗模量(loss modulus, G'')以及损耗角正切值(tanδ = G''/G')随角频率的变化。样品在测试前平衡 2 min,以卸去残存应力。

1.3.4 凝胶力学模型分析

1.3.4.1 蠕变恢复测试

按照 1.3.1 的方法使用 RVA 制得的谷物样品凝胶,测定五种谷物原料的凝胶蠕变-恢复特性。采用 40 mm, 2° 椎板,creep-recovery 模式,测试温度 25 ℃,施加 10 Pa 的恒定应力持续 120 s,然后撤去应力 180 s,记录应变恢复数据。样品测试前平衡 2 min,以卸去残存应力。

1.3.4.2 应力松弛测试

按照 1.3.1 的方法使用 RVA 制得的谷物样品凝胶,测定五种谷物原料的凝胶应力松弛特性。采用 40 mm, 2° 椎板,应力松弛模式,测试温度 25 ℃,恒定形变量设定为 30%,持续 3 min。样品测试前平衡 2 min,以卸去残存应力。

1.3.5 统计分析

采用 Origin 8.0 作图,样品进行 3 次重复试验,最后结果以均值 ± 标准方差表示。采用 SPSS 17.0 软件对数据进行统计学分析,采用 Duncan 新复极差

分析,显著性水平 $P < 0.05$,用于比较不同指标间的差异。

2 结果与分析

2.1 五种谷物原料的糊化特性

糊化温度因直链淀粉含量、结晶度和支链淀粉结构等因素的不同而存在差异。一般来说,直链含量高、结晶度高、支链外链较长的淀粉晶体结构紧密,晶体溶解所需热量大,导致糊化温度较高^[9]。图1为五谷原料糊化特征曲线,表1为五谷原料RVA谱特征值。由表1可知小麦粉和大米粉的糊化温度最高,达到了88℃,显著高于其他谷物粉($P < 0.05$),其次为玉米粉和豌豆粉,荞麦粉最低。糊化温度高与淀粉内部直链淀粉含量较高,分子结构更加紧密有关^[10]。直链淀粉含量高,氢键作用强,破坏这些氢键所需能量较大,糊化温度高,糊化

较难。峰值时间代表了样品糊化的难易程度,时间越长说明样品在加热过程中达到糊化条件越难^[11]。研究发现:豌豆粉峰值时间最长,依次递减为荞麦粉、大米粉、小麦粉和玉米粉。回生值可以衡量谷物粉冷糊的稳定性和老化趋势,与直链淀粉的聚合度和支链淀粉的结构有关,直链淀粉聚合度高,支链淀粉外链长的淀粉易于老化,冷糊稳定性差。玉米粉回生值达到了2 352 cP,显著高于其他四种谷物($P < 0.05$),说明玉米粉易于回生凝沉,而豌豆粉回生值最低,说明其抗老化能力强。衰减值反映谷物热糊的稳定性,即耐热和抗剪切能力。荞麦粉和豌豆粉的衰减值较低,说明此两种谷物的淀粉颗粒强度越大,不容易溶胀破裂,具有较好的热稳定性。大米粉和玉米粉的峰值黏度最高,其次为小麦粉和荞麦粉,豌豆粉最低且黏度变化幅度小。

表1 五种谷物原料RVA谱特征值

样品	峰值黏度/cP	最低黏度/cP	衰减值/cP	最终黏度/cP	回生值/cP	峰值时间/min	糊化温度/℃
小麦粉	1582 ± 29c	1089 ± 16d	493 ± 18c	2133 ± 30d	1044 ± 25d	6.09 ± 0.04d	88.02 ± 0.06a
大米粉	2283 ± 12a	1450 ± 16a	833 ± 14b	2926 ± 21b	1476 ± 14b	6.40 ± 0.00c	88.03 ± 0.61a
玉米粉	2133 ± 24b	1246 ± 20c	887 ± 23a	3598 ± 25a	2352 ± 21a	5.73 ± 0.07e	84.22 ± 0.80b
荞麦粉	1376 ± 26d	1327 ± 28b	49 ± 7d	2414 ± 21c	1087 ± 26c	6.67 ± 0.05b	74.25 ± 0.32d
豌豆粉	462 ± 23e	453 ± 14e	9 ± 4e	709 ± 17e	256 ± 15e	7.00 ± 0.01a	80.75 ± 0.69c

注:同一列中所带字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

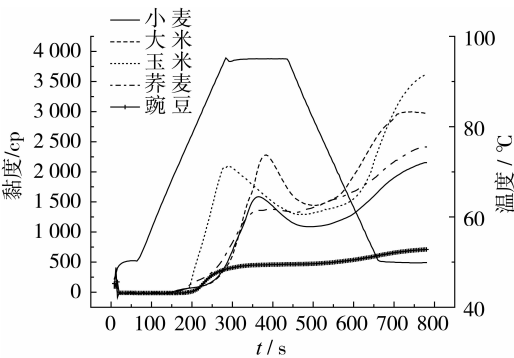


图1 五种谷物原料糊化特征曲线

2.2 热力学特性分析

表2为五种五谷原料的糊化热力学参数。从中可以看出小麦粉、大米粉、玉米粉、荞麦粉和豌豆粉的起始糊化温度分别为59.54、58.73、68.21、63.93和67.61℃,小麦粉和大米粉的起始糊化温度差异不显著($P > 0.05$),并与玉米粉、荞麦粉、豌豆粉差异显著($P < 0.05$)。采用差式扫描量热分析测定的峰值糊化温度分别为67.55、68.61、73.30、68.79、75.18℃,均比RVA测得的糊化温度偏低,分析原因为RVA探测的是淀粉糊化开始急剧上升时的温度,同时两者的淀粉悬浮液样品浓度有所差异。 ΔH 主要代表淀粉糊化过程中双螺旋结构的解聚及

淀粉颗粒溶胀崩解所需的能量。从表2可知,玉米糊的热焓最大,说明玉米粉糊化最难,所需能量最大。

表2 五种谷物原料糊化热力学参数

样品	起始糊化温度 T_0 /℃	峰值糊化温度 T_p /℃	终点糊化温度 T_c /℃	糊化焓变 ΔH / (J/g)
小麦粉	59.54 ± 0.47c	67.55 ± 0.31d	63.66 ± 0.15d	0.32 ± 0.01d
大米粉	58.73 ± 0.20c	68.61 ± 0.31c	63.40 ± 0.18e	0.20 ± 0.04e
玉米粉	68.21 ± 0.61a	73.30 ± 0.17b	77.93 ± 0.06b	0.94 ± 0.02a
荞麦粉	63.93 ± 0.28b	68.79 ± 0.03c	73.94 ± 0.05c	0.81 ± 0.03b
豌豆粉	67.61 ± 0.60a	75.18 ± 0.04a	81.52 ± 0.04a	0.53 ± 0.02c

注:同一列中所带字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 五种谷物原料流变特性分析

2.3.1 稳态流动模式

图2为五种谷物稳态剪切流变曲线。采用Power-law模型对稳态流变曲线进行拟合,各项拟合参数见表3。结果显示所有样品的上行和下行曲线的流体特征指数n都小于0.5,表现为典型的假塑性流体。稠度系数K反映了淀粉糊的黏稠性,下行曲线的稠度系数K(13.146 4~87.287 1)远低于上行曲线的稠度系数K(4.084 0~18.774 3),说明了谷物凝胶剪切致稀现象。采用Power-law模型对谷物凝胶体系具有较高的拟合精度,决定系数 R^2

均达到 0.9 以上,其中下行曲线的决定系数 R^2 达到 0.96 以上。

剪切应力的上行曲线与下行曲线趋势相似,但并不重合,出现滞后现象,这是因为谷物凝胶的结构受到破坏后不能恢复平衡而产生的现象。升速曲线和降速曲线形成触变环,表明样品具有触变性,这是触变性流体典型的特征^[11]。触变环面积的大小表示触变性的强弱,面积越大触变性越大,反之越小。由触变环面积可知谷物凝胶触变性大小:玉米粉>大米粉>小麦粉>豌豆粉>荞麦粉,说明玉米凝胶体系经外力作用后,其粘度变化大,外力撤出后,此体系恢复到未经力作用的体系状态所需的时间最长。

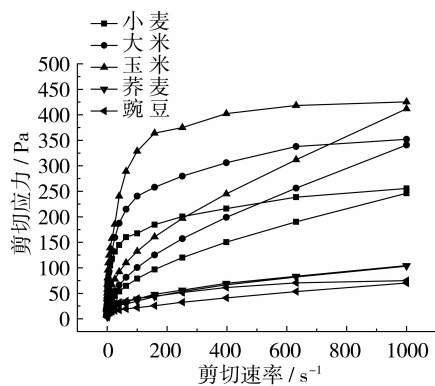


图 2 五种谷物原料凝胶稳态剪切流变曲线

表 3 五种谷物原料凝胶稳态剪切流变曲线拟合参数

样品	上行曲线				下行曲线				变环面积 /(Pa·s ⁻¹)
	$\eta_a, 1000$ /(Pa·s)	K/ (Pa·sn)	n	R^2	$\eta_a, 1000$ /(Pa·s)	K/ (Pa·sn)	n	R^2	
1	0.27	70.43	0.19	0.99	0.25	9.98	0.46	0.10	56 375
2	0.38	63.55	0.26	0.98	0.35	10.64	0.50	0.99	87 283
3	0.46	87.29	0.25	0.96	0.41	18.77	0.44	0.10	121 502
4	0.10	13.15	0.28	0.93	0.10	5.82	0.41	0.99	2 493
5	0.049	17.00	0.21	0.96	0.034	4.08	0.40	0.97	15 652

注:其中样品编号 1~5 分别为小米粉、大米粉、玉米粉、荞麦粉、豌豆粉; $\eta_a, 1000$ 为剪切速率为 1000 s^{-1} 时的表观黏度;K 为稠度系数;n 为流体特征指数。

图 3 为五谷原料凝胶表观黏度随剪切速率变化曲线。由图 3 可知,五种谷物的表观黏度随着剪切速率的增大急剧下降,分析原因为剪切破坏了淀粉凝胶的结构,氢键部分断裂,内部分子间发生解旋作用,直链淀粉和支链淀粉的分子力作用变小^[12]。当剪切速率为 6 s^{-1} 时,各五谷原料的黏度均已基本下降至最低,黏度趋于平缓,同时也说明谷物凝胶存在剪切稀化现象。图 4 为剪切速率 $0\sim 1\text{ s}^{-1}$ 的表观黏度放大图,可以看出起始阶段五种谷物原料的表观黏度大小顺序为豌豆>小麦>荞麦>玉米>大米。

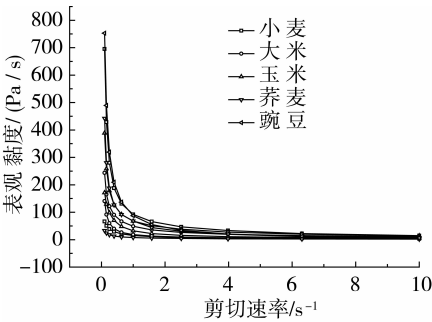


图 3 五种谷物原料凝胶表观黏度随剪切速率变化曲线

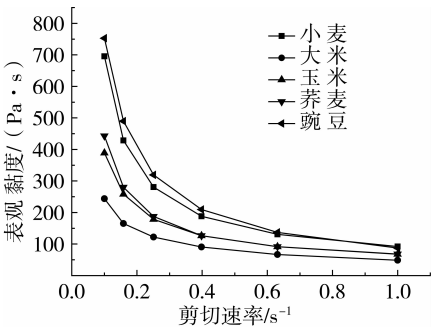
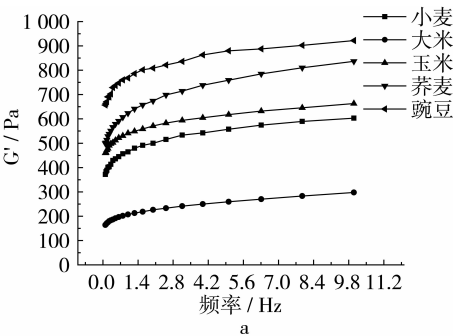


图 4 五种谷物原料凝胶表观黏度随剪切速率变化放大曲线

2.3.2 谷物凝胶粘弹性分析

图 5 为五谷原料凝胶随着角频率的递增贮能模量 (G')、损耗模量 (G'')、损耗角正切值 ($\tan\delta$) 以及复合黏度 (η^*) 的变化曲线。从图 5 可以看出,所测谷物凝胶的 G' 均高于 G'' , $\tan\delta$ 均小于 1, η^* 随频率增加急剧下降, G' 和 G'' 随频率增加而缓慢上升,呈现频率依赖性,表现为弱凝胶粘弹体特征^[13]。除荞麦粉凝胶外,其余四种谷物的 G' 和 G'' 频率依赖性较低,即随着频率的升高, G' 和 G'' 变化较小,表明这些谷物凝胶体系具有较高的稳定性。表 4 给出了谷物凝胶在 1 Hz 频率下的黏弹性参数。经统计分析,五种谷物的 G' 和 G'' 差异性显著 ($P < 0.05$),其中荞麦和豌豆的 G' 和 G'' 较大,说明这两种谷物凝胶体系的分子链段间的缠结点多,三维网络结构较强。五种谷物在 1 Hz 频率下的 $\tan\delta$ 在 $0.115\sim 0.209$ 之间,说明谷物凝胶的弹性本质远大于黏性本质。



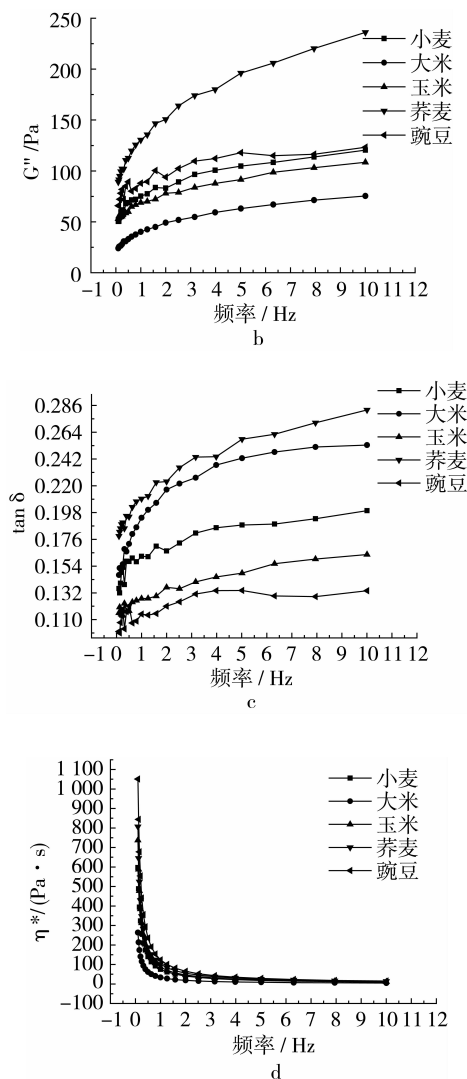


图 5 五种谷物原料凝胶在不同频率下 G' 、 G'' 、 $\tan\delta$ 和 η^* 参数曲线

η^* 随频率增加急剧下降,1 Hz 频率时,大米凝胶黏度已降至 33.6 Pa·s,豌豆凝胶降至 123 Pa·s,这也说明了谷物凝胶的黏度存在不稳定性。

表 4 五种谷物原料凝胶在 1 Hz 频率下黏弹性参数

样品	G'/Pa	G''/Pa	$\tan\delta$	$\eta^*/(\text{Pa}\cdot\text{s})$
小麦粉	$464.40\pm13.16\text{d}$	$75.23\pm2.40\text{c}$	$0.16\pm0.004\text{c}$	$74.90\pm1.90\text{d}$
大米粉	$207.40\pm10.78\text{e}$	$40.17\pm1.90\text{e}$	$0.19\pm0.003\text{b}$	$33.60\pm1.64\text{e}$
玉米粉	$541.00\pm16.46\text{c}$	$68.87\pm1.80\text{d}$	$0.13\pm0.003\text{d}$	$86.80\pm2.62\text{c}$
荞麦粉	$623.10\pm10.27\text{b}$	$130.40\pm2.16\text{a}$	$0.21\pm0.006\text{a}$	$101.27\pm1.36\text{b}$
豌豆粉	$767.90\pm15.66\text{a}$	$87.90\pm2.44\text{b}$	$0.12\pm0.005\text{e}$	$123.00\pm2.65\text{a}$

注:同一列中所带字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)

2.4 凝胶力学模型分析

2.4.1 蠕变恢复测试

图 6 为五谷原料凝胶蠕变恢复曲线。由图 6 可知,当施加恒定压力 10 Pa 时,立刻发生 σ/E_1 应变,这是由 E_1 的胡克模型产生的瞬间响应。之后形变

为由 η_1 阻尼体在速度 σ/η_1 下的运动与开尔文模型弹性滞后运动的叠加。如果 $t\rightarrow\infty$ 而压力不变,开尔文模型变形停止,曲线最终将逐渐平行于 η_1 的变形曲线。这是一条牛顿流动曲线,变形不会停止。但当 $t_1=120\text{ s}$ 去掉载荷时,模型将发生蠕变恢复。首先是 E_1 胡克体瞬间恢复到原来长度,开尔文模型也会在 $t\rightarrow\infty$ 时完全恢复,但 η_1 阻尼体流动的距离却无法恢复,所以整个模型将会发生残余变形,残余变形的大小为 $\sigma\cdot t_1/\eta_1$ 。 E_1 是普弹形变,这是由于外力作用下分子键长、键角变化引起的,能瞬时响应。 E_2 是高弹形变,由分子链构象变化产生的黏弹形变,不能瞬时响应。这两项形变在外力去除后均可恢复。 η_1 阻尼体为不可逆的塑性流动,由淀粉分子链间缠绕及相互滑移形成,形变不能恢复。

表 5 为五谷原料凝胶蠕变试验拟合参数。表 5 结果显示荞麦的瞬间响应值 E_1 最大,说明荞麦凝胶初始弹性最大。豌豆凝胶的阻尼体黏度 η_1 最大,大米最小,说明豌豆凝胶的初始黏度最大,大米凝胶初始黏度低,这与稳态剪切中表观黏度得出的结果具有一致性。此外,经过 180 s 恢复阶段后,五种谷物形变恢复率从大到小依次为:玉米粉>豌豆粉>小麦粉>荞麦粉>大米粉。

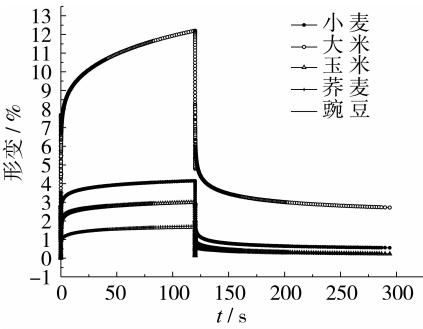


图 6 五种谷物原料凝胶蠕变恢复曲线

表 5 五种谷物原料凝胶蠕变试验拟合参数

样品	E_1/Pa	E_2/Pa	τ_K/s	$\eta_1/(\text{Pa}\cdot\text{s})$	R^2	$\varepsilon'(\infty)/(s-1)$	恢复率/%
小麦粉	4.23 ± 0.03	9.07 ± 0.05	1.36 ± 0.01	1333.33 ± 2.89	0.867	0.008	76.40
大米粉	1.70 ± 0.08	3.13 ± 0.05	2.12 ± 0.02	315.96 ± 2.08	0.945	0.032	53.76
玉米粉	5.44 ± 0.04	15.86 ± 0.03	1.99 ± 0.00	1821.49 ± 1.56	0.780	0.005	87.58
荞麦粉	11.87 ± 0.07	19.79 ± 0.02	3.41 ± 0.01	2624.67 ± 2.17	0.966	0.004	72.05
豌豆粉	9.87 ± 0.06	30.21 ± 0.04	3.57 ± 0.01	3802.28 ± 1.68	0.843	0.003	76.42

2.4.2 应力松弛测试

图 7 为五谷原料凝胶应力松弛测试曲线。从图 7 可以看出,在恒定形变量 30% 的条件下,不同谷物凝胶的应力松弛行为产生明显的差异,豌豆凝胶表

现出最大的应力,递减依次为小麦、玉米、荞麦、大米。应力越大说明内部网络结构牢固及强抗变形能力。表6为通过四要素模型对应力松弛数据拟合得到五谷原料凝胶应力松弛参数。结果显示,大米表现出较小的 E_1 、 τ_1 、 E_2 、 τ_2 值,说明大米凝胶从初始峰到拐点时间短,分子链中链角、链长的变化引起的普通形变小,初始黏度低,弹性弱,后期开尔文模型产生的黏弹形变,相当于链段引起的高弹形变变化幅度小,而豌豆凝胶反之。小麦的 E_1 、 τ_1 仅次于大米, E_2 、 τ_2 值大,说明小麦凝胶发生形变引起的变化幅度小,变化缓慢,而压缩后期变化幅度大,变化快。

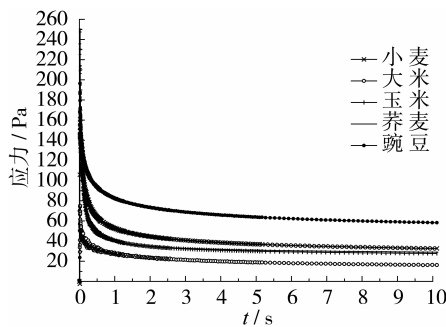


图7 五种谷物原料凝胶应力松弛测试曲线

表6 五种谷物原料凝胶应力松弛参数

样品	E_1 /Pa	τ_1 /s	E_2 /Pa	τ_2 /s	R2
小麦粉	346.66 ± 2.12	0.30 ± 0.03	128.44 ± 1.67	279.92 ± 1.83	0.96
大米粉	108.49 ± 1.54	0.66 ± 0.02	59.86 ± 1.45	284.88 ± 1.56	0.89
玉米粉	376.85 ± 2.45	0.21 ± 0.01	107.34 ± 1.29	358.65 ± 1.65	0.93
荞麦粉	783.35 ± 2.87	0.07 ± 0.04	122.16 ± 1.62	304.04 ± 1.87	0.95
豌豆粉	289.75 ± 1.69	0.50 ± 0.03	207.71 ± 1.79	635.19 ± 1.85	0.88

3 结论

通过研究五种谷物原料的糊化特性、热力学特性以及流变特性,发现五种谷物在物性方面具有不同的性质差异。小麦粉和大米粉的糊化温度最高,大米粉和玉米粉的峰值黏度最高,玉米粉的回生值最高表明其抗老化能力较弱。荞麦具有良好的热稳定性,豌豆粉抗老化能力强,热稳定性较好,黏度较大。研究也表明五种原料凝胶均表现为典型的假塑性流体,具有弱凝胶粘弹体特征。蠕变—恢复实验结果发现荞麦凝胶初始弹性最大,豌豆凝胶初始黏

度最大,大米凝胶初始黏度最低;小麦凝胶形变引起的变化幅度小,变化缓慢,在压缩后期变化幅度大,变化快。这些研究结果充分表明在谷物淀粉的研究和谷物食品的开发过程中,应考虑五谷原料的物性差异,这将有利于提升谷物食品在加工、贮藏以及食用过程中的品质。

参考文献:

[1] Eliasson A C. Starch in food: Structure, function and applications [M]. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2004.

[2] Hizukuri S. Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules [J]. Carbohydrate Research, 1985, 141: 295 – 306.

[3] Leloup V M, Colonna P, Buleon A. Influence of amylase – amylopectin ratio on gel properties [J]. Journal of Cereal Science, 1991, 13 (1): 113.

[4] Zai I S M, Norulaini N A N, Omar A K M, et al. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 69(4): 784 – 791.

[5] Douch J, Bason M, Franceschini F, et al. Structural changes during starch pasting using simultaneous Rapid Visco Analysis and small – angle neutron scattering [J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 88(3): 1061 – 1071.

[6] Navdeep Singh Sodhi, Narpinder Singh. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India [J]. Food Chem., 2003, 80: 99 – 108.

[7] Samutrisi W, Suphantharika M. Effect of salts on pasting, thermal, and rheological properties of rice starch in the presence of non – ionic and ionic hydrocolloids [J]. Carbohydrates Polymers, 2012, 87(2): 1559 – 1568.

[8] Debon J, Prudencio E S, Petrus J C C. Rheological and physico – chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 99(2): 128 – 135.

[9] 缪铭, 江波, 张涛. 淀粉的消化性能与 RVA 曲线特征值的相关性研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(5): 16 – 19.

[10] 李兆丰, 顾正彪, 洪雁. 豌豆淀粉的研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(10): 70 – 74.

[11] 龚加顺, 刘佩瑛, 刘勤晋, 等. 魔芋多糖及其在茶汤中的流变学特性研究 [J]. 食品科学, 2003(4): 150 – 154.

[12] Razavi S, Karazhiyan H. Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: experimental and modeling studies [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3): 908 – 912.

[13] 张雅媛. 玉米淀粉与亲水性胶体协效性和作用机理的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2012.