

浸泡处理对大米淀粉糊化特性及流变特性的影响

李棒棒¹, 路源², 于吉斌³, 闵照永¹, 李留柱¹, 师玉忠^{1,*}

(1.河南科技学院食品学院,粮食资源深度利用河南省工程实验室,河南新乡 453003;

2.河南科技学院新科学院,河南新乡 453003;

3.河南米多奇食品有限公司,河南新乡 453003)

摘要:为了研究大米的浸泡处理对大米淀粉性质的影响,本文采用快速粘度分析仪(RVA)及流变仪研究了不同浸泡时间对大米淀粉的糊化特性和流变特性的影响。RVA曲线表明,随着浸泡时间的延长,大米米粉的峰值黏度和崩解值都有显著提高($p < 0.05$),最终黏度和回生值先上升后下降,糊化温度有所降低。流变实验表明,经过浸泡处理的大米淀粉的屈服应力、剪切应力及表观黏度均高于未经处理的大米淀粉;随着浸泡时间的延长,大米淀粉悬浊液的 $G'_{\max}$ 、 $G'_{95\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 、 $G'_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 、 $\tan\delta_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 和 K'_G 都呈现减小趋势,表明浸泡处理可以显著影响大米淀粉凝胶强度,提高其稳定性。

关键词:浸泡,大米淀粉,凝胶,糊化特性,流变学性质

Effect of Soaking Treatment on the Gelation Properties of Rice Starch

LI Bang-bang¹, LU Yuan², YU Ji-bin³, MIN Zhao-yong¹, LI Liu-zhu¹, SHI Yu-zhong^{1,*}

(1.Henan Provincial Engineering Laboratory of Advanced Utilization of Grain Resource, School of

Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

2.Xinke College, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

3.Henan Miduoqi Food Co., Ltd., Xinxiang 453003, China)

Abstract: In order to study the effect of soaking treatment on the gelation properties of rice starch, the effects of different soaking times on the gelatinization and rheological properties of rice starch were investigated by means of rapid viscosity analyzer(RVA) and rheometer. The RVA curves showed that the peak viscosity and the breakdown of rice flour increased significantly with the soaking time ($p < 0.05$), and the final viscosity and setback first increased and then decreased, and the gelatinization temperature decreased. Rheological experiments showed that the yield stress, shear stress and apparent viscosity of rice starch after soaking treatment were higher than those of untreated rice starch. With the prolongation of soaking time, the $G'_{\max}$, $G'_{95\text{ }^{\circ}\text{C}}$, $G'_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}$, $\tan\delta_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}$ and K'_G showed a decreasing trend, which indicated that soaking treatment could significantly affect the strength of rice starch gel, and improve the stability of the gel.

Key words: soaking; rice starch; gelatin; gelatinization properties; rheological properties

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)18-0050-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.18.010

引文格式: 李棒棒, 路源, 于吉斌, 等. 浸泡处理对大米淀粉糊化特性及流变特性的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(18): 50-54, 59.

大米是我国最主要的食粮之一,有三分之二以上的人口以大米为主食。近年来,大米制品的研究开发也越来越受到人们的关注^[1]。精制大米主要是由淀粉、蛋白质、脂质和纤维素组成,其中淀粉含量为60%~70%^[2],是大米最主要的成分,其形成凝胶的特性将决定大米制品的食用品质。

大米的淀粉分子以淀粉颗粒形式存在,其形状大多呈不规则的多角形^[3]。淀粉在水中被加热时,随

着温度的升高,淀粉结晶区胶束中较弱的氢键断裂,出现缝隙,使水分子进入胶束内部与一部分淀粉分子以氢键结合,淀粉分子吸水膨胀,继续吸热,淀粉的结晶胶束全部崩解,形成黏性糊状溶液的现象称为淀粉的糊化^[4]。淀粉的糊化特性可以充分体现大米产品的性能。此外,淀粉的性质还可以通过流变性来表现,淀粉的流变特性能够准确预测、解释其凝胶的强度、稳定性以及黏弹性等多方面性质^[5]。近年

收稿日期: 2018-01-02

作者简介: 李棒棒(1993-),男,硕士研究生,研究方向:粮食、油脂及之植物蛋白工程, E-mail: 1966006521@qq.com。

* 通讯作者: 师玉忠(1965-),男,博士,副教授,研究方向:粮食、油脂及之植物蛋白工程, E-mail: syz6511@126.com。

基金项目: 河南省产学研合作项目(142107000091)。

来,通过流变学性质反映凝胶特性已经成为广大学者的研究热点之一^[6]。将大米在自然条件下浸泡是工业生产米饼、米粉等产品的关键步骤。

本文通过对大米浸泡不同时间后其淀粉的糊化特性和流变特性的测定,研究浸泡处理对大米淀粉性质影响,以期在实际生产提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

金满园东北大米 新乡市世纪华联超市;氢氧化钠、碘化钾、碘 分析纯,天津市光复科技发展有限公司;冰乙酸、甲醇、石油醚 分析纯,天津市德恩化学试剂有限公司。

CHRIST 冷冻干燥机 德国 CHRIST 冻干机有限公司;7200 可见分光光度计 上海尤尼柯仪器有限公司;L550 台式低速离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;SHP-160 型生化培养箱 上海三发科学仪器有限公司;RVA Super 4 型快速黏度分析仪 澳大利亚 New-port Scientific 仪器公司;ARES 动态流变仪 美国 TA 公司;HJ-4 联磁力加热搅拌器 金坛华峰仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 大米粉的制备 称取 6 份 150 g 大米于 500 mL 的洁净烧杯中,加入 450 mL 蒸馏水,放入 30 ℃ 恒温培养箱中。每隔 6 h 取 1 次大米,用自来水冲洗 1 次,蒸馏水冲洗 3 次。然后用打浆机打浆 1 min,在室温条件下,3000 r/min 离心 5 min,弃去上清液,将沉淀物冷冻干燥 72 h,样品过 100 目筛后用自封袋标记,放入 -18 ℃ 冰箱中备用。同时取 150 g 大米加水打浆,作为空白对照样品^[7]。

1.2.2 直链淀粉含量测定 直链淀粉含量依据 GB/T 15683-2008《大米 直链淀粉含量的测定》测定^[8]。

1.2.3 蛋白质含量的测定 蛋白质含量依据 GB/T 5009.5-2010《食品中蛋白质的测定》测定^[9]。

1.2.4 破损淀粉含量测定 破损淀粉含量依据 GB/T 9826-2008《粮油检验 小麦粉破损淀粉测定 α-淀粉酶法》测定^[10]。

1.2.5 pH 的测定 取适量浸泡大米时的上清液,用校准后的 pH 计测定其 pH。

1.2.6 大米淀粉的提取 取 1.2.1 制备的大米粉 20 g,加 200 mL 石油醚浸泡 24 h 脱脂,加 150 mL 蒸馏水浸泡米粉,用玻璃棒搅拌均匀后,然后于室温下静置 12 h,在室温条件下,3000 r/min 离心 20 min,将沉淀物冷冻干燥后取出研磨并倒入 400 mL 4 g/L NaOH 溶液,在室温下用磁力搅拌器搅拌 18 h,加入 10 mL 80% 乙醇沉淀淀粉,然后在室温条件下,3000 r/min 离心 20 min,去除上层及底部残渣。加入适量蒸馏水,用玻璃棒搅拌均匀,滴加 1 mol/L 盐酸中和溶液。在室温条件下,3000 r/min 离心 20 min,沉淀物冷冻干燥 48 h,粉碎过 100 目筛,装入自封袋中备用^[11]。

1.2.7 RVA 黏度快速测定 取 2.4 g 大米淀粉于 RVA 黏度快速测定仪专用铝盒内,加入 25 mL 蒸馏水,充分搅拌使混合物混合均匀。铝盒内的温度变

化 50 ℃ 保持 1 min,以 12 ℃/min 的速度升温至 95 ℃,95 ℃ 保持 3.75 min,然后以 12 ℃/min 的速度降温至 50 ℃,最后 50 ℃ 保持 3.75 min。搅拌器在前 10 s 内的转速为 960 r/min,之后的糊化过程中转速一直保持在 160 r/min^[7]。测定大米淀粉的峰值黏度、谷值黏度、崩解值、最终黏度、回生值。

1.2.8 流动模式下的流变行为 取 8 g 大米淀粉加入 100 mL 蒸馏水配制成淀粉粉浆,充分搅拌后在沸水浴中加热糊化 10 min。将以上制备的米糊放入流变仪的测试平台。选择直径为 60 mm 的平板模具和流动模式,设置间隙 1.000 mm,刮去平板外多余样品,在恒定 25 ℃ 下,剪切速率从 0~800 s⁻¹,测定剪切速率提高过程中大米糊的表观黏度和剪切应力的变化^[10]。

1.2.9 振荡模式下的流变行为 取 10 g 大米淀粉,在室温条件下加 3 倍质量的蒸馏水制成悬浊液,选择直径为 60 mm 的平板模具和振荡模式,设置间隙 1.000 mm,角频率 1 Hz,应力 5.000 Pa,将淀粉悬浊液放在测定平台上,压下盖板,刮去盖板外多余的悬浊液,并在盖板边缘涂上一层硅油,防止水分蒸发。在 25 ℃ 下平衡 1 min,从 25~95 ℃ 程序升温,然后从 95~25 ℃ 程序降温,升降温速度为 3 ℃/min,使大米粉充分糊化。在 25 ℃ 下保持 1 min,然后用 5.000 Pa 的应力进行 0.1~20 Hz 的频率扫描。测定大米粉糊在升温过程中的储能模量 (G')、耗能模量 (G'') 和损耗因子 ($\tan\delta$) 的变化^[12],频率扫描的数据代入方程 (1):

$$\log G' = K_G \times \log f \quad \text{式(1)}$$

注: G' 表示储能模量 (Pa), f 表示频率 (Hz), K_G 表示斜率。

1.3 数据分析

本实验中所有数据均是 3 次相同水平重复实验数据的平均值,采用 SPSS 19.0 中的单因素方差分析进行显著性差异分析,以 $p < 0.05$ 表示显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同浸泡时间的大米的化学成分分析

由表 1 可以看出,随着浸泡时间的增长,大米的直链淀粉和蛋白质含量逐渐减少,同时破损淀粉含量以及浸泡液的 pH 明显降低。由表 1 可以看出,随着浸泡时间的增长,大米的直链淀粉和蛋白质含量逐渐减少,同时破损淀粉含量以及浸泡液的 pH 明显降低。这可能是由于在浸泡过程中,大米的淀粉颗粒吸水膨胀同时微生物大量生长繁殖,使淀粉颗粒的结构遭到破坏,淀粉颗粒内部的直链淀粉游离,导致大米的直链淀粉含量减少^[13-14];蛋白质含量的降低可能是由于蛋白质作为微生物生长繁殖的碳源和氮源,在浸泡过程中被消耗;同时由于微生物的生长繁殖产生大量有机酸,故浸泡液的 pH 降低;大米在浸泡过程中吸水膨胀,组织结构疏松,在制粉过程中所受到的机械应力减少,淀粉颗粒所受到的机械破坏减少,故破损淀粉含量降低。

2.2 大米浸泡处理后其淀粉的糊化特性

图 1 是不同浸泡时间的大米淀粉的黏度的变化

表1 不同浸泡时间的大米米粉的化学成分

Table 1 The chemical composition of rice in different soaking times

样品	直链淀粉含量(%)	蛋白质含量(%)	破损淀粉含量(%)	pH
0 h	22.90 ± 0.94 ^c	5.20 ± 0.1 ^c	4.140 ± 0.04 ^c	6.69 ± 0.1 ^f
6 h	21.96 ± 0.81 ^c	4.50 ± 0.2 ^d	2.295 ± 0.24 ^b	6.56 ± 0.1 ^e
12 h	20.63 ± 0.65 ^b	4.20 ± 0.1 ^c	2.025 ± 0.328 ^{ab}	5.58 ± 0.2 ^d
18 h	19.77 ± 0.79 ^{ab}	4.10 ± 0.1 ^b	1.935 ± 0.19 ^{ab}	5.09 ± 0.1 ^c
24 h	19.30 ± 0.55 ^{ab}	4.00 ± 0.1 ^a	1.755 ± 0.11 ^a	4.33 ± 0.2 ^b
30 h	19.01 ± 0.61 ^a	4.00 ± 0.3 ^a	1.665 ± 0.144 ^a	3.71 ± 0.1 ^a

注:表中数值为平均值 ± 标准差。同列字母肩标不同,表示差异显著($p < 0.05$),表2同。

表2 不同浸泡时间的大米淀粉的糊化特性

Table 2 Pasting properties of rice flour with different immersion time

样品	峰值黏度(cp)	谷值黏度(cp)	崩解值(cp)	最终黏度(cp)	回生值(cp)	糊化温度(℃)
0 h	1620 ± 23.2 ^a	1223 ± 16.0 ^a	387 ± 3 ^a	2207 ± 56.7 ^a	974 ± 32.2 ^{ab}	91.65 ± 0.15 ^d
6 h	2684 ± 44.3 ^b	1753 ± 23.3 ^b	931 ± 14 ^d	3043 ± 78.4 ^c	1290 ± 43.2 ^d	86.35 ± 0.1 ^a
12 h	2839 ± 53.1 ^c	2002 ± 28.2 ^c	837 ± 13.3 ^{bc}	3268 ± 65.5 ^d	1266 ± 39.4 ^d	86.75 ± 0.05 ^b
18 h	2854 ± 49.6 ^c	2023 ± 20.2 ^c	831 ± 20.2 ^{bc}	3218 ± 84.1 ^d	1195 ± 41.5 ^c	86.6 ± 0.15 ^b
24 h	2814 ± 38.3 ^c	2008 ± 10.4 ^c	806 ± 10.2 ^b	3092 ± 63.8 ^c	1084 ± 31.8 ^b	87.5 ± 0.1 ^c
30 h	2776 ± 34.2 ^c	1681 ± 26.3 ^b	1095 ± 26 ^e	2663 ± 48.3 ^b	982 ± 22.6 ^a	86.65 ± 0.15 ^b

趋势。其黏度的变化趋势基本一致,在加热过程中,随着温度的升高,黏度也开始增大;当黏度升高到最大值后,随温度的升高开始降低。在冷却过程中,黏度随温度的下降而升高。这是因为淀粉溶液受热,颗粒之间的氢键强度减弱,淀粉颗粒吸水膨胀,故黏度增大^[15],直至达到峰值粘度;继续受热,淀粉颗粒持续膨胀至破裂,导致直链淀粉溶出,黏度下降^[16]。冷却过程中,随着温度降低,直链淀粉回生,其间氢键重新形成,黏度增大^[15]。

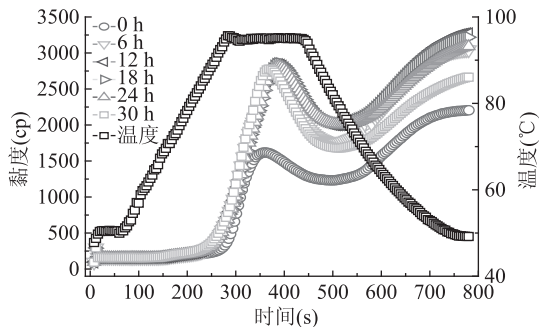


图1 不同浸泡时间的大米淀粉的黏度随时间变化曲线

Fig.1 Viscosity-temp curves of ice flour with different immersion time

由表2可知,经过浸泡之后大米淀粉的峰值黏度和崩解值都有显著提高($p < 0.05$),糊化温度有一定程度的降低;而最终黏度和回生值则随着浸泡时间的增长先上升后下降。经过浸泡的大米淀粉的崩解值均明显高于未浸泡的大米,大米在浸泡过程中由于自身的酶解和微生物的作用使淀粉颗粒的通透性增强,淀粉颗粒更容易吸水膨胀,使其破裂,故经过浸泡的大米淀粉的崩解值较大^[17],根据以往的研究^[18],直链淀粉的含量和分子结构对淀粉的峰值黏度有显著影响,随着温度升高淀粉颗粒吸热膨胀,淀粉颗粒的膨胀会使黏度增大,而直链淀粉的存在能

够阻止淀粉颗粒的膨胀,故直链淀粉含量越高,淀粉的峰值黏度就越低^[18]。大米经过浸泡之后,峰值黏度显著提高($p < 0.05$),这可能是大米在浸泡过程中直链淀粉游离,使大米淀粉中直链淀粉含量降低的缘故^[19];同时在浸泡过程中,由于微生物活动以及酶解作用,包裹淀粉颗粒的蛋白质碱膜被分解,淀粉颗粒更易于吸水膨胀,使得峰值黏度上升。经过浸泡的大米糊化温度均低于未浸泡的大米,这可能是由于经过浸泡处理之后,以结合力较强的氢键相互结合的直链淀粉含量减少,系统熵值降低,故直链淀粉含量低的淀粉易于糊化,糊化温度较低^[20]。

2.3 大米浸泡处理后淀粉的流动特征

根据以往的研究可知,大米淀粉属于假塑性、非牛顿流体^[21-22]。从图2可以看出,不同浸泡时间的大米淀粉都有剪切稀化的现象,这是假塑性流体所特有的现象,即随着剪切速率的增加,流体的表观黏度降低。在剪切速率增加的过程中,表观黏度起初降低较快,当表观黏度降低到一定值后开始趋于稳定。在相同的剪切速率下,未经浸泡的大米淀粉的表观黏度最小,这可能是由于大米浸泡之后,直链淀粉含量降低,所以,聚合度更大的支链淀粉比例升高,对凝胶的流动行为产生更大的阻力,致使其表观黏度更大。

如图3所示,在剪切速率不断增加的过程中,剪切应力也逐渐增大。剪切应力曲线不经过原点,是因为大米淀粉和经过浸泡处理后的大米淀粉皆有屈服应力,即流体开始流动时需要的应力。经过浸泡之后的大米淀粉的屈服应力较大,这说明浸泡之后的大米淀粉的黏度高,粘稠性强^[15]。且在相同剪切速率下,经过浸泡的大米淀粉的剪切应力较大,表明其具有更高的结构稳定性^[23]。

2.4 大米浸泡处理后淀粉的黏弹特征

动态流变学是以温度或频率作为变化因子,在

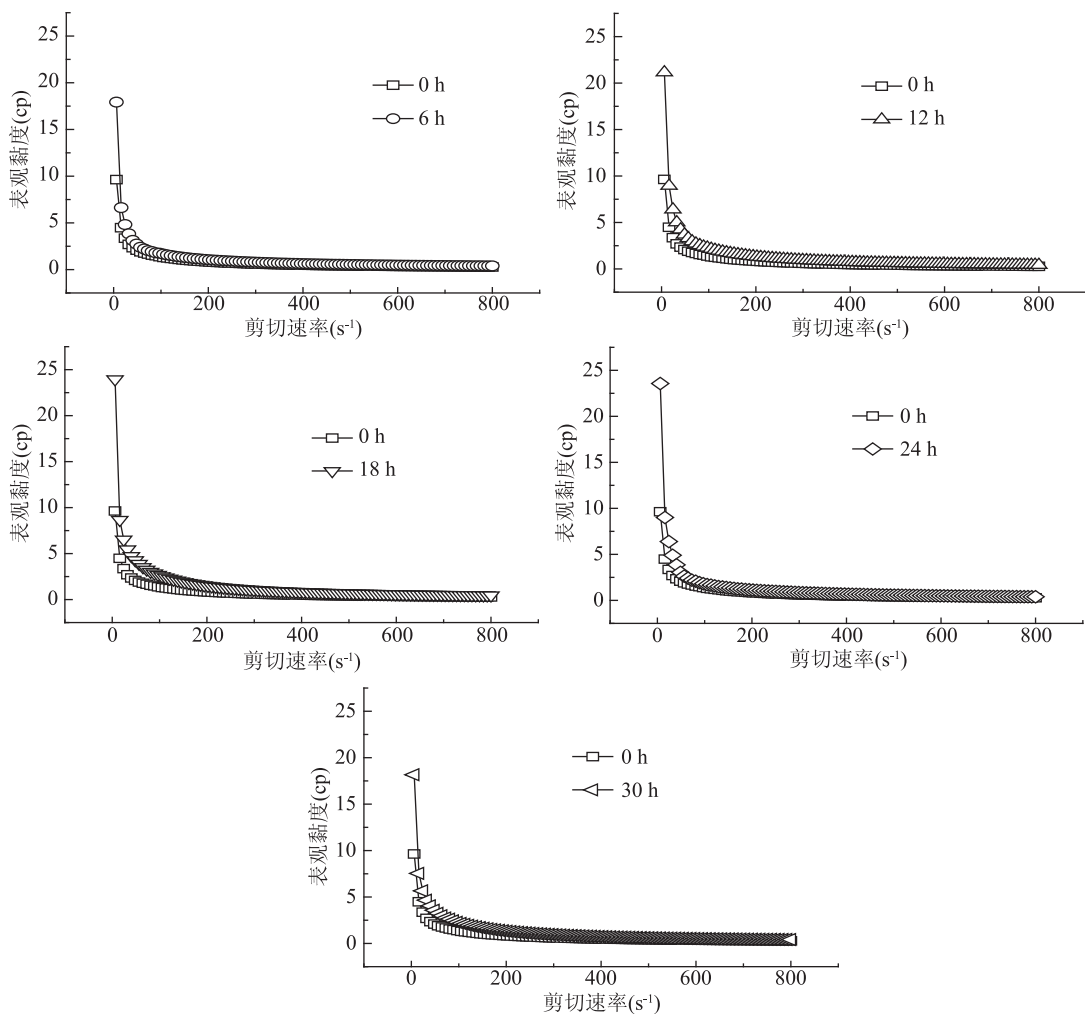


图2 大米淀粉和不同浸泡时间的大米淀粉的表观黏度随剪切速率的变化曲线

Fig.2 Apparent viscosity of rice starch and different soaking time with the shear rate curve

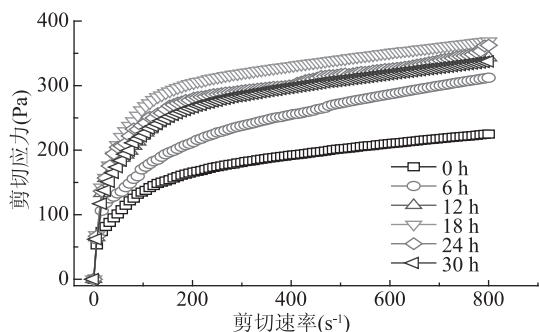


图3 大米淀粉和不同浸泡时间的大米淀粉的剪切应力随剪切速率的变化曲线

Fig.3 Curve of shear stress of rice starch

and different starch soaking time with shear rate

非破坏性区域内通过研究储能模量 (G') 和耗能模量 (G'') 的变化来探究淀粉体系结构信息^[24]。其中 G' 是反映流变特性的最主要的动态流变参数,用来表征大米淀粉糊的弹性特征。大米淀粉的凝胶强度和硬度的变化都可以通过 G' 的变化反映出来, G' 值越大,说明大米淀粉凝胶的强度越大^[25]。

由图4可知,以恒定的速率 ($3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$) 加热,大米淀粉的 G' 值变化。在加热过程中,大米淀粉的储能模量 G' 值起初几乎不变;当温度上升到 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右

时, G' 值开始急速上升,这表明随着温度升高淀粉开始糊化,悬浊液开始转化为溶胶状态,可能是由于直链淀粉从膨胀的淀粉颗粒中析出^[26],同时膨胀的淀粉颗粒与析出的直链淀粉缠绕形成密集的三维网络结构^[27],一些膨胀的淀粉颗粒填充其中,故 G' 值迅速增加;当温度上升到 $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之后, G' 值开始有所下降,表明长时间的加热导致淀粉的凝胶结构被破坏,这可能是因为膨胀的淀粉颗粒中的剩余结晶区融化,淀粉颗粒变得松散;或者是由于淀粉颗粒中的支链淀粉解缠,使淀粉颗粒变软^[28-30],也可能是由于系统熵值达到最大,三维网状结构遭到破坏,随着氢键断裂和大量淀粉颗粒的破裂,系统强度降低, G' 值开始降低^[31]。

由表3可知,在升温过程, G'_{max} 和 $G'_{95\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 均随着浸泡时间的延长而减小,这可能是因为随着浸泡时间的延长,大米淀粉中所含有的直链淀粉减少,故在持续升温时浸泡时间短的大米淀粉析出的直链淀粉更多,其与膨胀的淀粉颗粒缠绕,形成的三维网络结构的强度也越大^[32],这与朱帆等^[28] 的结论一致。在降温过程中, G' 值的变化趋势与升温过程相同, $G'_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 随着浸泡时间的延长而减小;并且可以看出 $\tan\delta_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}$ 值总体呈减小趋势,故随着浸泡时间的增长,大米淀粉溶液在糊化后其凝胶更趋向于流体性行为。动态频

表3 大米淀粉悬浊液的动态流变特性

Table 3 Rice starch solution of the dynamic rheological properties

样品	升温过程		降温过程		频率扫描		
	$G'_{\max}(\text{Pa})$	$G'_{95\text{ }^{\circ}\text{C}}(\text{Pa})$	$G'_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}(\text{Pa})$	$\tan\delta_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}$	$G'_{20\text{ Hz}}(\text{Pa})$	K'_G	R^2
0 h	10919.2	5863.007	8118.585	17.2	12202.85	17.59	0.99
6 h	9793.42	5212.024	7763.521	18.4	10780.44	14.56	0.98
12 h	7609.92	4620.081	7473.223	11.3	9606.828	16.19	0.98
18 h	7466.89	4326.135	7226.548	12.2	9180.475	11.89	0.98
24 h	7430.96	3785.74	6246.526	14.1	8886.201	12.51	0.98
30 h	6054.46	3618.142	6142.655	10.3	8068.856	8.40	0.98

注: $G'_{\max}(\text{Pa})$,升温过程中储能模量的最大值; $G'_{95\text{ }^{\circ}\text{C}}(\text{Pa})$,在升温过程中95℃时的储能模量; $G'_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}(\text{Pa})$,在降温过程中25℃时储能模量; $\tan\delta_{25\text{ }^{\circ}\text{C}}$,在降温过程中25℃时的损耗正切值; $G'_{20\text{ Hz}}(\text{Pa})$,在频率扫描过程中20 Hz时的储能模量^[12]; K'_G ,由方程(1)计算得来; R^2 ,决定系数。

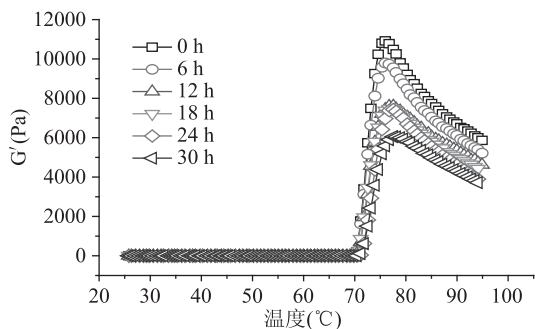


图4 大米淀粉悬浊液在升温过程中的动态振荡流变图

Fig.4 Dynamic oscillatory rheological diagram of rice starch solution during heating process

率扫描测试经常被用来进行生物大分子材料结构的进一步分析^[33],试验在0.1~20 Hz的范围内以分析加热冷却后形成的水凝胶的黏弹性。频率扫描的实验数据代入方程(1)能够被很好地模拟,且具有较高的决定系数($R^2 > 0.98$),由表3可知,随着浸泡时间的增长,大米淀粉凝胶的 $G'_{20\text{ Hz}}$ 随之降低;同时, K'_G 总体也呈减小趋势,表明浸泡时间的延长,大米淀粉凝胶的频率依赖性降低,凝胶的结构更加稳定^[12]。

3 结论

本实验结果表明,浸泡处理对大米淀粉糊化特性和流变学性质有一定程度的影响。随着浸泡时间的延长,大米淀粉的峰值黏度和崩解值显著提高($p < 0.05$),糊化温度有一定程度的降低;最终黏度和回生值则随浸泡时间的增长先上升后下降,其糊化特性发生变化;同时,经过浸泡处理的大米淀粉的凝胶结构更加稳定、黏弹性与未经处理的大米淀粉凝胶相比存在显著性差异。为企业的实际生产提供一定的理论依据。

参考文献

[1]余擎宇,江俊翔.大米加工安全生产与质量控制[J].科技研究,2014.
 [2]顾正彪,李兆丰,洪雁,等.大米淀粉的结构、组成与应用[J].中国粮油学报,2004,19(2):21-27.
 [3]王领军,王立,姚惠源,等.大米淀粉的性质、生产及应用[J].粮食与饲料工业,2004(11):22-25.

[4]阙建全.食品化学[M].北京:中国农业大学出版社,2008.
 [5]谭洪卓,谭斌,刘明,等.淀粉流变学特性的研究进展[J].中国粮油学报,2008,23(4):215-220.
 [6]Doublier J L, Paton D, Llamas G. A rheological investigation of oat starch pastes. [J]. Cereal Chemistry, 1987, 64(1):21-26.
 [7]蒋紫妍.自然发酵对大米理化特性与米粉品质影响的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2016.
 [8]中华人民共和国卫生部.GB/T 15683-2008 大米直链淀粉含量的测定[S].2008.
 [9]中华人民共和国卫生部.GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].2016.
 [10]中华人民共和国卫生部.GB/T 9826-2008 粮油检验 小麦粉破损淀粉测定 α -淀粉酶法[S].2008.
 [11]Zhong Fang, Li Yue, Ibanz AnaMarie, et al. The effect of rice variety and starch isolation method on the pasting and rheological properties of rice starch pastes [J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(2):406-414.
 [12]Zhu F, Wang Y J. Rheological and thermal properties of rice starch and rutin mixtures [J]. Food Research International, 2012, 49(2):757-762.
 [13]王锋,鲁战会,薛文通,等.浸泡发酵大米成分的研究[J].粮食与饲料工业,2003(1):11-14.
 [14]闵伟红,李里特,王朝辉.乳酸菌发酵对大米淀粉物理化学性质的影响[J].食品科学,2004,25(10):73-76.
 [15]林余录,肖华西,李丽辉,等.大米淀粉及其不同取代度磷酸酯淀粉的糊化和流变特性[J].食品科学,2010,31(3):49-54.
 [16]Eliasson A C, Eliasson A C. Starch in food: structure, function and applications [M]. Starch in food: structure, function and applications. CRC Press, Woodhead Pub, 2004:107-133.
 [17]张友松.变性淀粉生产与应用手册[M].北京:中国轻工业出版社,1999:74-91,558-573,628-636.
 [18]Huijbrechts A A M L, Huang J R, Schols H A, et al. 1-Allyloxy-2-hydroxy-propyl-starch: Synthesis and characterization [J]. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2007, 45(13):2734-2744.
 [19]Li J H, Vasanthan T, Hoover R, et al. Starch from hull-less barley. IV. Morphological and structural changes in waxy, normal

(下转第59页)

