

亲水胶体对米糠混合物凝胶及热行为的影响

杨晓清¹, 白晓霞¹, 徐茹¹, 王丽丽²

(1.内蒙古农业大学 食品科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;

2.兴安职业技术学院, 内蒙古 乌兰浩特 137400)

摘要: **目的** 研究海藻酸钠、果胶、菊粉和魔芋胶等4种亲水胶体对米糠-小麦粉混合体系凝胶化过程及体系水分蒸发造成的水合稳定性影响, 以改善因添加米糠而造成米糠-小麦混粉面食品质稳定的问题。**方法** 将4种亲水胶体以一定配比与米糠-小麦粉形成混合体系, 动态粘弹性曲线能反映弹性模量、黏性模量和损耗因子的变化, 分析混合体系凝胶化的过程, 同时从混合体系的热重曲线(TG)和质量损失随时间变化的一阶导数曲线(DTG)中分析体系质量损失随温度的变化情况。**结果** 海藻酸钠、果胶、菊粉和魔芋胶各亲水胶体的加入与淀粉体系形成了更多的三维网络结构, 4种亲水胶体-米糠-小麦共混体系中的弹性模量均大于黏性模量, 4种亲水胶体的加入均不同程度减弱了混合体系加热过程中水分的迁移速率。**结论** 亲水胶体可提前米糠-小麦粉混合物的凝胶点时间, 对米糠-小麦粉共混体系中水分蒸发迁移的改善能力由强到弱的顺序为海藻酸钠>果胶>魔芋胶>菊粉。

关键词: 混合米糠; 亲水胶体; 凝胶化; 水分迁移

中图分类号: TS209 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)13-0105-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.13.014

Effect of Hydrophilic Colloid on Gel and Thermal Behavior of Rice Bran Mixture

YANG Xiao-qing¹, BAI Xiao-xia¹, XU Ru¹, WANG Li-li²

(1.College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2.Xing'an Vocational and Technical College, Ulanhot 137400, China)

ABSTRACT: The effect of hydrophilic colloids, such as sodium alginate, pectin, inulin and konjac gum, on the both gelatinization and hydration stability of rice bran-wheat flour blending system was investigated to improve the quality of bran-wheat flour food. The 4 hydrocolloids were mixed with rice bran-wheat flour in a certain ratio. This experiment was carried out to investigate gelling process through changes of both elastic modulus viscous modulus and loss factor. Meanwhile, water evaporation during gelatinization was analyzed by means of both TG and DTG thermogravimetric curves of blending system. The results showed that the gelation process was changed and the gel points of blending system with the hydrophilic colloids were almost appeared earlier than that of system without hydrophilic colloids, and the addition of four hydrophilic colloids weakened the water migration rate in the heating process of the mixed system to varying degrees. In addition, the order of improvement effect from strong to weak was sodium alginate > pectin > konjac gum > inulin with the same addition amount.

KEY WORDS: blended rice-bran; hydrophilic colloids; gelatinization; moisture migration

收稿日期: 2020-12-11

基金项目: 国家自然科学基金(32060582)

作者简介: 杨晓清(1966—), 女, 博士, 内蒙古农业大学教授, 主要研究方向为食品加工与营养安全。

通信作者: 王丽丽(1977—), 女, 副教授, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

米糠是稻谷加工过程中的主要副产物, 2017 年我国稻谷播种面积为 3074.7 万 hm^2 , 产量为 21 267.7 万 $\text{t}^{[1]}$, 按照米糠占稻谷质量的 6%来推算, 每年可产 1200 万 t , 米糠集中了稻谷约 64%的营养成分, 除富含丰富的膳食纤维、淀粉、脂肪、蛋白质外, 还含有大量的 γ -谷维素、多酚、维生素 E 等生理活性物质^[2]。目前, 大量研究主要集中于米糠的储存、米糠油制取和营养物提取等方面, 在我国直接添加的生产应用基本局限于动物饲料等粗加工制品^[3-5], 在食品行业的应用十分有限。米糠中直链淀粉含量高, 直链淀粉是淀粉基食品食用品质的主要影响因子, 一般直链淀粉含量高, 胶稠度也较硬, 胶质冷却后流动慢且距离短。将米糠直接添加到淀粉基制品中, 在赋予食品多种营养素的同时, 在食品加工过程中会出现老化、回生以及货架期和品质变化等问题^[6]。大量研究表明, 亲水胶体具有增稠性、凝胶性等特点, 应用于食品体系中具有减缓淀粉类食品回生速度、控制水分流动、起到稳定产品性状等作用^[7-10]。淀粉基食品加工过程中淀粉体系分解、淀粉的降解是一个复杂的过程。热重法 (Thermal Gravity, TG) 在程序温控下可精密检测样品质量变化与温度或时间的关系^[11], 因此可通过热重分析来检测体系中的水分蒸发迁移。DTG (Derivative Thermal gravity, DTG) 曲线是 TG 曲线中质量损失随时间变化的一阶导数, DTG 曲线上的特征峰可以代表不同迁移速率的物质移动情况, 如水分蒸发、淀粉分解等^[12-13]。现阶段关于为增强米糠膳食纤维及其他营养素功效而将米糠添加至小麦粉中出现的混粉面食品回生、水分蒸发迁移等问题尚没有深入研究。文中选用海藻酸钠、果胶、菊粉和魔芋胶等 4 种亲水胶体, 通过动态流变行为分析和热重分析技术研究上述亲水胶体对米糠-小麦粉共混体系的凝胶化过程及水分蒸发迁移为主的热行为的影响, 为深入研究亲水胶体与淀粉基混合体系的相互作用以及实际生产应用提供理论依据。

1 实验

1.1 试剂

主要试剂: 米糠原料, 由内蒙古龙鼎农业股份有限公司提供, 新鲜产出, 过 80 目筛, 真空包装冷藏保存; 小麦粉, 恒丰多用途面粉, 超市购置; 亲水胶体、菊粉、果胶、魔芋胶、海藻酸钠, 购于贝博生物, 均为食品级。

1.2 仪器

主要仪器: STA-409-PC 热重分析仪, 德国 NETZSCH 公司; HAAKE Rheo Stress 6000 旋转流变

仪, Thermo Fisher 公司; DGX-9143BC-1 型电热鼓风干燥箱, 上海福玛实验设备有限公司; HJ-6 磁力搅拌器, 金坛市杰瑞尔电器有限公司; DZ-300N 型真空包装机, 上海青葩包装机械有限公司; SQP 电子天平, 赛多利斯科学仪器有限公司; HH-2 恒温水浴锅, 上海福玛实验设备有限公司。

1.3 处理方法

1.3.1 亲水胶体对米糠-小麦粉共混体系凝胶化过程的影响

定量称取果胶、海藻酸钠、菊粉、魔芋胶于烧杯中, 分别加入蒸馏水并定容, 采用磁力搅拌器充分混合, 直至配制成质量分数为 5% (以干基计) 的 4 种胶体溶液。将米糠与小麦粉混合, 混合物中米糠和小麦粉的质量分数分别为 20%和 80%。称量 4 份混合物, 且每份为 3 g, 分别加入容量为 6.7 mL 的 4 种亲水胶体溶液中, 使样品总质量分数为 33%。采用磁力搅拌器混合均匀, 并于室温下平衡 24 h, 形成不同胶体与米糠-小麦粉共混体系的待测样品。

分别称取上述所制得的样品 2 mL, 通过动态流变分析仪对 4 种共混体系进行频率扫描, 选择 P60 Ti 型转子。流变仪工作程序: 在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下稳定 8 min, 以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率从 25 $^{\circ}\text{C}$ 加热到 95 $^{\circ}\text{C}$ 。得到弹性模量、黏性模量和损耗因子在升温过程中的动态粘弹性曲线, 研究在升温条件下各亲水胶体与米糠-小麦粉共混体系的凝胶化过程, 记录凝胶的机械光谱, 并确定凝胶点。

1.3.2 亲水胶体对米糠-小麦粉共混体系水分迁移的影响

将制成的 4 种亲水胶体 (1.3.1 节) 与米糠-小麦粉共混体系的待测样品用 80 $^{\circ}\text{C}$ 热风干燥 72 h。取出, 置干燥器中室温放置 30 min, 精密称量达到质量恒定为止。采用 STA-409PC 型热重分析仪在氮气气氛下根据温度连续测量样品的质量, 并将空坩埚作为参比样。取研磨后的样品 7 mg 置于陶瓷坩埚进行热重分析。在特定热解情况下, 使用 35 mL/min 的氮气气流, 以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的加热速率将室温升至 600 $^{\circ}\text{C}$ 完成非氧化性气氛, 并获得样品热重曲线 (TG), 从而确定每个阶段发生的温度及质量损失, 并分析质量损失随温度变化的一阶导数, 获得 DTG 曲线。

1.3.3 数据统计与分析

凝胶化过程数据采用 HAAKE Rheo Stress 6000 旋转流变仪自带软件进行数据分析。热重数据分析通过 STA-409-PC 热重分析仪中自带的软件对 DTG 曲线进行数据分析。所有实验重复 3 次, 实验图形的绘制及数据的处理采用 Origin 8.0 进行作图和方差分析, 并通过 spss 9.1 进行相关性及显著性分析。

2 结果与分析

2.1 米糠-小麦粉共混体系凝胶化过程的变化

为探究菊粉、魔芋胶、海藻酸钠和果胶对米糠-小麦粉共混体系凝胶化过程的影响,实验测定在加热过程中淀粉糊化时弹性模量和黏性模量变化的动态流变温度曲线,见图 1。

由图 1a 可知,开始加热时,弹性模量和黏性模量均很小,且数值几乎相等,此时凝胶尚未形成。随加热时间至 823 s 之后,弹性模量和黏性模量迅速增大,表明弹性和黏性均急剧增加,开始形成热诱导凝胶,这与汤晓智等^[14]的研究相吻合。对比图 1b,即在小麦粉中添加米糠之后,随着加热的进行,混合体系的弹性模量和黏性模量曲线较早出现转折,即较早出现热诱导凝胶,说明图 1b 中米糠-小麦混粉由于支链和直链淀粉比例的改变以及米糠不溶性膳食纤维

的加入,干扰了体系中蛋白质的聚集,凝胶状态呈现整体均匀分散的特征。由图 1c—f 可知,加入菊粉、魔芋胶、海藻酸钠和果胶后共混体系的动态流变温度曲线变动很大,弹性模量和黏性模量的变化趋势大致可分为 2 个阶段。第 1 阶段为升温开始阶段,米糠-小麦粉共混体系的弹性模量和黏性模量均随温度升高而降低,黏性模量总是大于弹性模量,此时整个胶体体系以黏性为主,呈液态。第 2 阶段,弹性模量和黏性模量开始急剧增大,且弹性模量增速逐渐超过黏性模量,表现出逐渐呈现固体的行为。当弹性模量曲线斜率达到最大时,表明体系的凝聚速率最快,此时为起始凝胶点,各胶体系列开始凝胶化^[15-17],4 种亲水胶体均改变了米糠-小麦粉混合体系的凝胶过程。其中,果胶、菊粉和魔芋胶系列的凝胶点依次出现,出现范围基本在 65~70 °C,与图 1 a—b 相比,这 3 种亲水胶体进一步改变了米糠-小麦粉混合体系的凝胶行为,提前了混合体系的凝胶点。

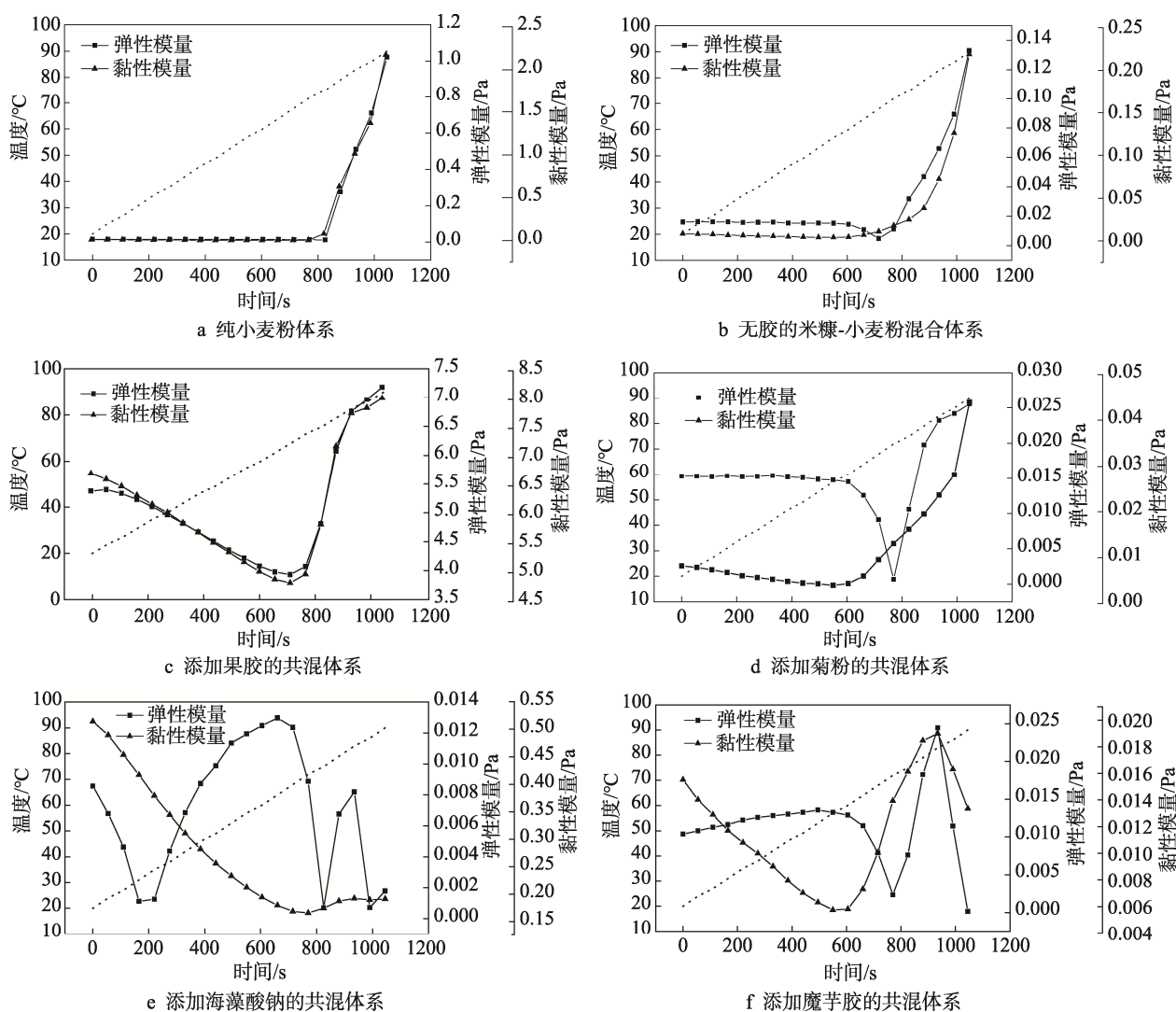


图 1 亲水胶体与米糠-小麦粉共混体系的弹性模量和黏性模量曲线

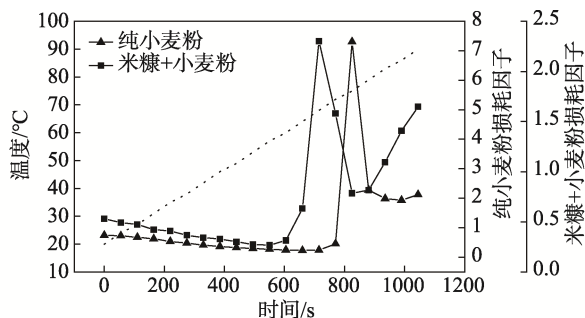
Fig.1 Elastic modulus and viscosity modulus curves of the system of hydrocolloid and rice bran-wheat flour

由图 1e 可知,海藻酸钠体系变动较大,出现了 2 个谷值点,整个体系出现了 2 个凝胶点,发生了 2 次凝胶化,这可能是由于海藻酸钠属于离子胶,在开始加热的第 1 阶段,受热后体系内的结构性大分子先与海藻酸钠的分子结构内部发生连接形成了网络结构,随着温度的持续增加,分子运动性增强后连接断开,直至加热温度到 75 °C 左右时,体系由第 1 阶段进入第 2 阶段,即弹性模量和黏性模量急剧增加且弹性模量逐渐超过黏性模量,形成了凝胶点。此外,图 1e 和图 1f 中海藻酸钠和魔芋胶系列在加热第 2 阶段开始后,随温度升高而弹性模量和黏性模量又呈下降趋势,这可能是由于高温促使分子加速运动,从而使海藻酸钠和魔芋胶分子与淀粉中的大分子充分接触,形成了更多的氢键,胶体分子与淀粉体系混合物形成了更多的三维网络结构,但同时由于高温下氢键作用力弱,形成的三维网络结构不是很稳定^[18-19]。4 种胶体体系中的弹性模量均大于黏性模量,但不能将各胶体系列淀粉糊样品定义为强凝胶,且各自在弹性模量和黏性模量之间具有相对较大的差异,当持续加热至 95 °C 时,弹性模量和黏性模量最终下降是因为分子链中保留的氢键被破坏断裂,三维网络结构崩塌。

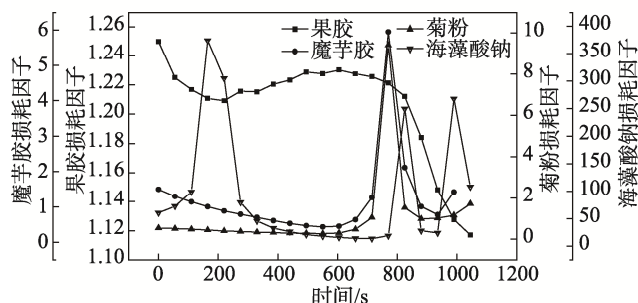
4 种亲水胶体系列中损耗因子随温度的变化曲线见图 2,损耗因子反映了加热过程中体系的整体网络结构类型^[15]。由图 2a 可知,纯小麦粉体系和无胶的米糠-小麦粉混合体系的损耗因子均会随着温度的变化而发生明显变化。由图 2b 可知,亲水胶体的加入可使淀粉体系的结构发生改变,可能是多糖与体系中蛋白相互作用的影响,在一定程度上改善了体系的流动状态。在开始加热时,魔芋胶和菊粉系列的损耗因子相对保持平缓下降,说明该体系整体结构未发生结构性改变,表现出黏性行为。加入海藻酸钠后损耗因子增加,说明其微观结构发生了改变,随着温度持续上升,除果胶系列的损耗因子上升相对较缓,其他各胶体系列的损耗因子均急速上升,这表示体系出现了高度联结的三维网络结构,而果胶具有相对较好的稳定性。Hoseney 等^[20-21]认为,当温度超过 80 °C 左右时,体系中的蛋白质流变学特性不再变化,主要是淀粉变化。各亲水胶体混合系列达到峰值模量后,复合黏度的损耗因子依然降低,说明其微观结构在持续发生变化,这可能与高温下蛋白质潜在键有关。在连续升温过程中,果胶显示出了较好的稳定性,魔芋胶和菊粉对体系的影响相对较为平稳,而海藻酸钠对整个淀粉体系的影响较为复杂多变,在实际应用过程中会有不可控因素,不是理想的选择。

2.2 米糠-小麦粉共混体系水分迁移的变化

果胶、海藻酸钠、魔芋胶、菊粉和米糠-小麦粉共混体系在氮气环境下的 TG 曲线见图 3。4 种亲水胶体系列中的 TG 曲线走势相似,具体分为 3 个阶段:



a 纯小麦粉体系与无胶的米糠-小麦粉混合体系损耗因子



b 添加亲水胶体的共混体系损耗因子

图 2 亲水胶体与米糠-小麦粉共混体系的损耗因子随温度的变化曲线

Fig.2 Changing curves of loss factor with temperature in the system of hydrocolloid and rice bran-wheat flour

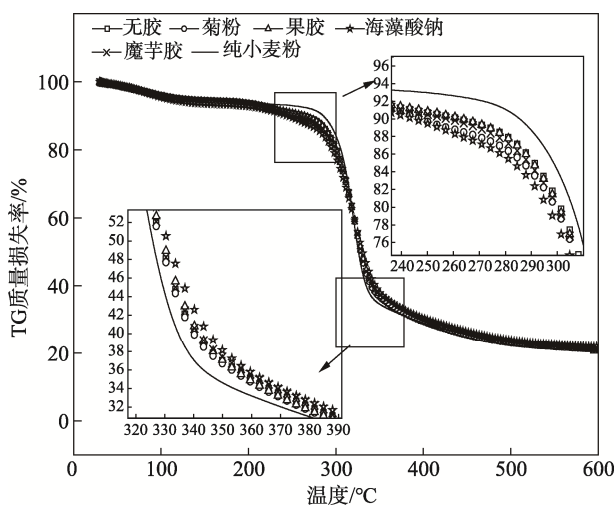


图 3 亲水胶体与米糠-小麦粉共混体系的 TG 曲线
Fig.3 TG curves of the mixture of hydrocolloid and rice bran-wheat flour

第 1 阶段为各胶体系列的米糠-小麦粉共混体系的干燥阶段,当温度刚刚升高时干燥立即开始,在大约 200 °C 时结束干燥并开始进入下个阶段,此阶段的质量损失率取决于各胶体系列米糠-小麦粉共混体系样品的水分含量;第 2 阶段是各胶体系列米糠-小麦粉共混体系的主要降解阶段,在此阶段各曲线急速下降,最终大约在 400 °C 时开始变平缓,淀粉在这一步骤中的热解会释放出大量的水、二氧化碳、一氧化碳等,热分解也通常被认为是与淀粉降解机理相关的重

要过程, 在此步骤中发生了直链淀粉和支链淀粉的降解; 第 3 阶段是在 400~600 °C 发生降解形成炭黑的过程^[22]。

DTG 曲线显示出各胶体共混体系样品在温度升高过程中的多个峰, 见图 4。其中, 有研究人员将峰值温度定义为淀粉体系网络紧密结合水的能力, 体系在峰值温度时, 结合水迅速蒸发, 可以体现出各胶体共混体系样品中水的分配情况。DTG 曲线的第 1 阶段在 0~250 °C, 在此阶段各胶体系列中米糠-小麦粉共混体系的 DTG 曲线较为平缓, 处于干燥阶段。第 2 阶段温度范围大约在 250~300 °C, 在这个温度范围内, 峰面积越大, 水的蒸发量大, 胶体体系与混合淀粉体系中的糖类、蛋白质等大分子和水分子之间的相互作用越弱, 反之, 峰值温度较低, 峰面积较小, 这种情况下结合水分子很容易从混合淀粉体系中脱离, 说明各亲水胶体与淀粉基质和水分子三者之间作用不够强。综上所述, 可以推测出各亲水胶体与米糠-小麦粉共混凝胶体系内部的糖类、蛋白质等大分子与水三者之间结合的情况, 各亲水胶体系列共混体系中水分迁移改善的能力由强到弱的顺序为海藻酸钠 > 果胶 > 魔芋胶 > 菊粉。与各亲水胶体系列共混体系相比, 纯小麦粉系列中水分蒸发迁移最明显, 而米糠-小麦粉无胶体系中较纯小麦粉体系的水分迁移减弱一些, 这可能是由于米糠中的大分子蛋白质、小麦粉和水进行了有效的结合, 在一定程度上减缓了水分的散失。第 3 阶段为 400 °C 之后, 曲线变平缓, 各亲水胶体系列中米糠-小麦粉共混体系的淀粉开始碳化降解。

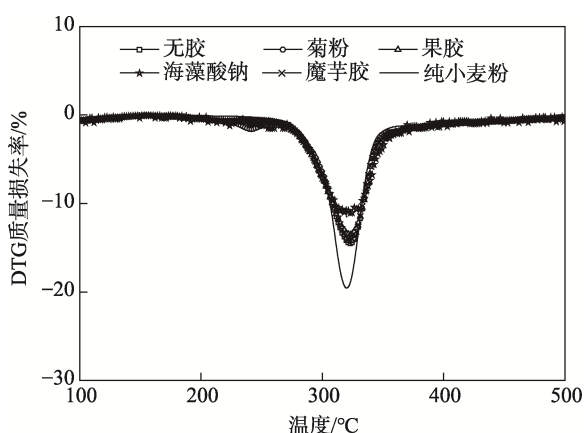


图 4 亲水胶体与米糠-小麦粉共混体系的 DTG 曲线
Fig.4 DTG curves of the system of hydrocolloid and rice bran-wheat flour

3 结语

亲水胶体的加入可使米糠-小麦粉共混体系的凝胶化过程发生改变, 果胶、菊粉和魔芋胶可明显使混合体系的凝胶点提前出现, 且对体系的影响相对平

缓, 而海藻酸钠对整个淀粉体系的影响较为复杂多变, 实际应用过程中会有不可控因素, 在改善凝胶行为方面不是理想的选择; 米糠对小麦粉的水分蒸发迁移有一定改善但效果不显著, 而海藻酸钠、果胶、菊粉和魔芋胶等亲水胶体的加入均可明显改善米糠-小麦粉共混体系的水分蒸发迁移现象, 在同等添加量的条件下, 改善效果由强到弱的顺序为海藻酸钠 > 果胶 > 魔芋胶 > 菊粉。

参考文献:

- [1] 国家粮食和物资储备局. 我国粮食发展报告[R]. 北京: 经济出版社, 2018.
State Bureau of Grain Reserve. Report of grain development in China[R]. Beijing: Economics Press, 2018.
- [2] 邹显成, 鞠兴荣, 何荣, 等. 食品配料米糠的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(7): 123—129.
ZOU Yu-cheng, JU Xing-rong, HE Rong, et al. Research Progress for Rice Bran as a Food Ingredient[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2018, 33(7): 123—129.
- [3] 喻远东, 廖卢艳. 米糠整体利用研究进展[J]. 河北农业科学, 2019, 23(4): 69—76.
YU Yuan-dong, LIAO Lu-yan. Advances in Comprehensive Utilization of Rice Bran[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2019, 23(4): 69—76.
- [4] HUANG Y P, LAI H M. Bioactive Compounds and Anti-Oxidative Activity of Colored Rice Bran [J]. Journal of Food & Drug Analysis, 2016, 24(3): 564—574.
- [5] LIU Y Q, STRAPPE P, ZHOU Z K, et al. Impact on the Nutritional Attributes of Rice Bran Following Various Stabilization Procedures[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2019, 59(15): 2458—2466.
- [6] MARIA IRAKLI, FOTIS KLEISIARIS, AGGELIKI MYGDALIA, et al. Stabilization of Rice Bran and Its Effect on Bioactive Compounds Content, Antioxidant Activity and Storage Stability During Infrared Radiation Heating[J]. Food Weekly News, 2018(80): 135—142.
- [7] 郑明静. 莲子淀粉与亲水性胶体协效性及其作用机理的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2019: 9—13.
ZHENG Ming-jing. Synergistic Effect of Lotus Seed Starch Blended with Different Hydrocolloids and Its Mechanism[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2019: 9—13.
- [8] AGNIESZKA C, JASIOROWSKA A, OSTROWSKA-LIGEZA E, et al. The Influence of the Structure on the Sorption Properties and Phase Transition Temperatures of Freeze-Dried Gels[J]. Journal of Food Engineering, 2019(252): 18—27.
- [9] SEYED M A, RAZAVI A A. Understanding the Physics of Hydrocolloids Interaction Using Rheological,

- Thermodynamic and Functional Properties: A Case Study on Xanthan Gum-Cress Seed Gum Blend[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020(151): 1139—1153.
- [10] MORREALE F, RAQUL G, CRISTINA M R. Understanding the Role of Hydrocolloids Viscosity and Hydration in Developing Gluten-Free Bread. A Study with Hydroxypropyl Methylcellulose[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018(77): 629—635.
- [11] 顾敏芬, 王昉, 金宜英. 热重分析法在油脂氧化稳定性研究中的应用[J]. *中国油脂*, 2012, 37(9): 85—87.
GU Min-fen, WANG Fang, JIN Yi-ying. Application of Thermogravimetric Analytical Method in the Research on Oxidation Stability of Oils and Fats[J]. *China Oils and Fats*, 2012, 37(9): 85—87.
- [12] WANG Yu-bin, ZHENG Qing-yun, WU Li, et al. Measurement of Free Water in Foods by Secondary Derivative Thermogravimetry[J]. *CYTA-Journal of Food*, 2018, 16(1): 438—443.
- [13] MAGDALENA W, IRENEUSZ M, KRZYSZTOF S. Impact of Enrichment with Egg Constituents on Water Status in Gluten-Free Rice Pasta-Nuclear Magnetic Resonance and Thermogravimetric Approach[J]. *Food Chemistry*, 2020(304): 1—10.
- [14] 汤晓智, 尹方平, 扈战强, 等. 乳清蛋白-大米淀粉混合体系动态流变学特性研究[J]. *中国粮油学报*, 2016, 34(2): 28—32.
TANG Xiao-zhi, YIN Fang-ping, HU Zhan-qiang, et al. Study on Dynamic Rheological Properties of Whey Protein-Rice Starch Hybrid System[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2016, 34(2): 28—32.
- [15] 张翼飞, 周超, 张治国, 等. 生物医用硅橡胶在不同交联条件下的凝胶时间研究[J]. *生物医学工程研究*, 2018, 37(4): 424—429.
ZHANG Yi-fei, ZHOU Chao, ZHANG Zhi-guo, et al. Study on the Gel-Forming rate of Biomedical Grade Silicone Rubber under Different Crosslinking Conditions[J]. *Journal of Biomedical Engineering Research*, 2018, 37(4): 424—429.
- [16] 曹连鹏, 傅玉颖, 李欣, 等. 酸诱导大豆蛋白凝胶动态变化与流变特性[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(11): 36—43.
CAO Lian-peng, FU Yu-ying, LI Xin, et al. Dynamic Behavior of Acid-Induced Soybean Protein Gels and Their Rheological Properties[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(11): 36—43.
- [17] TUHUMURY H.C.D., SMALL D.M., DAY L. The effect of sodium chloride on gluten network formation and rheology[J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(1): 229—237.
- [18] SYED A S, SHAHZAD H, ABDELLATIF A M, et al. Effect of Hydrocolloid Gums on the Pasting, Thermal, Rheological and Textural Properties of Chickpea Starch[J]. *Foods*, 2019, 8(12): 2—20.
- [19] WU Di, YU Si-min, LIANG Hong-shan, et al. The Influence of Deacetylation Degree of Konjac Glucomannan on Rheological and Gel Properties of Konjac Glucomannan/ κ -Carrageenan Mixed System[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 101(4): 1—8.
- [20] HOSENEY R C, ROGERS D E. The Formation and Properties of Wheat Flour Doughs[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1990, 29(2): 73—93.
- [21] 马洁. 添加苦荞麦粉对米粉面团流变学及面包品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 6—39.
MA Jie. The Effects of Adding Tartary Buckwheat Flour on Rice Flour Dough Rheological Properties and Bread Quality[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019: 36—39.
- [22] LIU Ying, YANG Liu-tao, MA Chun-ping, et al. Thermal Behavior of Sweet Potato Starch by Non-Isothermal Thermogravimetric Analysis[J]. *Materials*, 2019(12): 699—710.