

木薯变性淀粉对猪肉肌原纤维蛋白凝胶 质构、流变及热力学特性的影响

伍梦婷¹ 郭娟娟^{1,*} 许雄¹ 徐云强¹ 汪兰² 吴文锦² 熊光权² 孙卫青^{1,*}

(1.长江大学生命科学学院 湖北荆州 434023;

2.湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所 湖北武汉 430064)

摘要: 本实验研究了不同比例的木薯变性淀粉对猪肉肌原纤维蛋白(MP)凝胶特性的影响。分析了凝胶质构、静态流变和热力学特性的变化。结果显示:添加10%的木薯变性淀粉增加了蛋白凝胶的弹性,而凝胶的硬度、强度、内聚性、咀嚼性和胶黏性相对适中,从而改善凝胶的质构特性;通过差示扫描量热仪(Differential scanning calorimetry, DSC)分析发现木薯变性淀粉添加量为10%时,降低了蛋白的热相变温度和焓值,促进蛋白变性;另外,木薯变性淀粉的添加也改变了凝胶的表观粘度及触变环面积。当木薯淀粉添加量为10%时,凝胶的表观粘度和触变环面积最小,改善了凝胶的塑性能力及流变稳定性。

关键词: 木薯变性淀粉 肌原纤维蛋白凝胶 质构 静态流变 热力学分析

Effect of Cassava Modified Starch on the Gel Textural, Rheological and Thermodynamic Properties of Pork Myofibrillar Protein

WU Meng-ting¹, GUO Juan-juan^{1,*}, XU Xiong¹, XU Yun-qiang¹,
WANG Lan², WU Wen-jin², XIONG Guang-quan², SUN Wei-qing^{1,*}

(1.College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434023, China;

2.Institute for Farm Products Processing and Nuclear-Agricultural
Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China)

Abstract: The effect of cassava modified starch on the gel properties of pork myofibrillar protein (MP) was investigated. The changes in gel texture, rheological properties and thermodynamic properties were analyzed. The results showed that the addition of 10% cassava modified starch increased the gel springiness and cohesiveness, reduced the hardness, strength, chewiness and gumminess of the gel, and improved the texture properties of the gel. Differential scanning calorimetry (DSC) analysis found that the addition of 10% cassava modified starch reduced the thermal phase transition temperature and enthalpy of the protein and promoted protein denaturation. In addition, the addition of cassava modified starch also altered the apparent viscosity of the gel and the area of the thixotropic ring. Static rheological analysis showed that the apparent viscosity and thixotropic ring area of the gel were smallest with addition of 10% of cassava modified starch, which declared the plasticity and rheological stability of the gel was improved.

Key words: cassava modified starch; myofibrillar protein gel; texture; static rheology; differential scanning calorimetry (DSC)

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)08-0049-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.08.009

引文格式: 伍梦婷, 郭娟娟, 许雄, 等. 木薯变性淀粉对猪肉肌原纤维蛋白凝胶质构、流变及热力学特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(8): 49-53, 60.

随着生活水平的提高,消费者对饮食健康的要求也越来越高。肉制品是多数消费者饮食结构中必不可少的一部分,低脂低热量肉制品目前备受关注。但由于脂肪减少后会丧失肉品原有的质地和口感,大大降低消费者对肉制品的接受性,故需要通过合

适的替代物来保证产品质量的同时降低脂肪含量^[1]。

合适的脂肪替代物应具有用量少、稳定性好、热量低、无毒副作用和兼备部分营养强化剂的功能等特点^[2]。目前,变性淀粉在开发低脂肉制品中占有重要位置,因为其可以改善产品的感官,保证产品质量

收稿日期: 2018-07-23 + 并列第一作者

作者简介: 伍梦婷(1993-),女,硕士研究生,研究方向: 肉品加工与综合利用, E-mail: 397251064@qq.com。

郭娟娟(1991-),女,硕士研究生,研究方向: 肉品加工与综合利用, E-mail: 1957939581@qq.com。

* 通讯作者: 孙卫青(1971-),女,博士,教授,研究方向: 肉品加工与质量控制, E-mail: sun_weiqing@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金(31771993, 31271903)。

并且降低生产成本,获得更好的经济效益^[3-4]。近年来,栗俊广等^[5]和吴满刚等^[6]对木薯淀粉在肌原纤维蛋白(MP)凝胶中的功能特性方面做了一些研究,发现木薯淀粉的添加可以显著改善肌原纤维蛋白热诱导凝胶的质构性。然而,天然淀粉也有许多缺点,例如,水溶性差、稳定性不好等。而变性淀粉能够弥补天然淀粉的不足,从而满足市场需求^[7]。例如,畅阳^[8]研究发现木薯变性淀粉相比原淀粉具有耐高温、耐酸性、耐高剪切力及稳定性等性能。李丹辰等^[9]也发现添加木薯变性淀粉鱼糜凝胶强度高于木薯淀粉。目前,研究比较多的是天然淀粉对猪肉肌原纤维蛋白凝胶特性影响^[5-6],或者是木薯变性淀粉对鸭肉、鱼肉等蛋白凝胶的影响^[7-9],而木薯变性淀粉对猪肉肌原纤维蛋白凝胶特性的作用机理研究相对较少。

为此,本研究以猪肉肌原纤维蛋白为研究对象,分别添加不同浓度的乙酰化磷酸化木薯变性淀粉,研究变性淀粉对肌原纤维蛋白凝胶、流变特性以及热力学特性的作用规律,旨在为变性淀粉改善凝胶类肉制品品质提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪肉里脊肉 长白猪,6个月,购自湖北省荆州市中百仓储;木薯变性淀粉(乙酰化磷酸化木薯双淀粉) 天和生物科技有限公司;三羟甲基氨基甲烷(Tris)、乙二胺四乙酸(EDTA)、氯化钾、氯化钠、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、氯化镁、乙二醇双(2-氨基乙基醚)四乙酸(EGTA)、叠氮化钠(NaN₃)、牛血清白蛋白(BSA)等 均为分析纯,购自于国药集团药业股份有限公司。

PL303型电子分析天平 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;FSH型高速电动匀浆器 江苏金坛市环宇科学仪器厂;高速冷冻离心机 美国贝克曼库尔特有限公司;H-H-4数显恒温水浴锅 江苏金坛市杰瑞尔电器有限公司;PHS-3C数字PH计 天津市盛邦科学仪器技术公司;TU-1900双光束紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;DSC差示扫描量热仪 费尔伯恩实业发展(上海)有限公司;TMS-PRO质构仪 美国FTC公司。

1.2 实验方法

1.2.1 肌原纤维蛋白的提取 猪肉里脊肉中肌原纤维蛋白的提取参考Doersch等^[10]的方法并略微调整,取鲜嫩猪里脊肉500g,去除脂肪和结缔组织,切成小的方块,放入绞肉机中,绞碎达到均一后称重。然后将100g肉放入1000mL的大烧杯中,加入4倍体积的磷酸缓冲液(0.1mol/L NaCl,10mmol/L KH₂PO₄/K₂HPO₄,2mmol/L MgCl₂,1mmol/L EGTA,pH=7.0)用匀浆机于冰水浴中匀浆,时间不宜太长。用两层纱布过滤到1000mL的大烧杯中,取过滤液在4℃,2500×g离心15min,取沉淀再分散在4倍体积pH6.0磷酸盐缓冲溶液(20mmol/L,KH₂PO₄/K₂HPO₄) ;再在4℃,2500×g离心15min,并收集离心管底部沉淀,重复此操作两次。最后在所得沉淀

中加入4倍体积0.1mol/L NaCl溶液,在离心机(4℃,2500×g)中离心15min,得到的沉淀即为粗肌原纤维蛋白,蛋白质浓度用双缩脲法测定^[11],使用牛血清白蛋白(Bovine serum albumin,BSA)作为标准蛋白,提取的肌原纤维蛋白放置在4℃冰箱里并在24h内用完。

1.2.2 肌原纤维蛋白凝胶的制备 参考畅阳^[8]方法并加以改进,用一定量的磷酸盐缓冲溶液(0.6mol/L NaCl,50mmol/L K₂HPO₄/KH₂PO₄,pH6.0)使肌原纤维蛋白稀释至40mg/mL,再加入MP含量的0%、5%、10%、15%、20%的木薯变性淀粉,利用涡旋机将其充分混合均匀,取5mL蛋白溶液于10mL的离心管中,然后将其放置于恒温的水浴锅中,使温度从20℃线性升温到72℃(2℃/min),并在72℃水浴锅中保温20min,之后将其放置于冰水中,使其能够快速冷却,待恢复室温后将其置于0~4℃的冰箱中24h,待用。

1.2.3 凝胶质构测定 参考任云霞等^[7]的方法,对肌原纤维蛋白凝胶的网络结构强度、硬度值、胶黏性、弹性、咀嚼性、内聚性进行测定。将冰箱内4℃冷藏的凝胶样品拿出并放于室温下静置1h,然后待其温度降为室温后,将样品统一切为直径为30mm,高度为20mm的圆柱体,将切好的样品放置在质构仪载体平台上,结构参数设定为:探头的选择是P/36R,预试验、测中、测后速度都是1.0mm/s,样品变形程度为60%,二次压缩中都要停顿5s,每次试验重复3次。

1.2.4 凝胶的DSC分析 参考李爽等^[12]的方法,通过电子分析天平称取25mg的蛋白样品,将称取好的样品放置于铝坩埚中,并要求在密封以及氮气条件下,将坩埚置于差示扫描量热仪(DSC)中,以10℃/min的升温速率,从室温开始,直到温度上升至180℃,氮气流速设定为40mL/min,从而得到肌原纤维蛋白凝胶的DSC谱图。

1.2.5 凝胶的静态流变特性分析 参考Guo等^[13]的方法,使用具有0.105mm间隙的锥形传感器(C50⁻¹,直径为35mm,角度2°)和测量板盖(MPC35;222-1549)测量剪切应力/剪切速率旋转斜坡测试。将样品放置在流变仪板上并在25℃平衡10min。在1~500s⁻¹的剪切速率下测量MP凝胶的流变特性,一式三份。剪切速率由0.1s⁻¹增大到500s⁻¹(曲线上行部分),再由500s⁻¹降低到0.1s⁻¹(曲线下行部分),测定剪切速率变化过程中,凝胶剪切应力和表观黏度的变化。其中,上行和下行曲线结合可以判断淀粉糊的触变性。

1.3 数据处理

每个实验重复三次。使用Statistix软件9.0和单向方差分析(ANOVA)进行结果的统计分析。采用Fisher's LSD方法进行均数间的显著性差异分析($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 蛋白质标准曲线

以牛血清白蛋白做标准蛋白,采用紫外分光光度法进行测定。其中以测定吸光值为纵坐标,牛血

清蛋白浓度作为横坐标进行标准曲线的测定,测定标准曲线时波长为 540 nm。肌原纤维蛋白浓度测定的标准曲线的公式为 $y = 0.5262x + 0.0053$, $R^2 = 0.9995$ 。

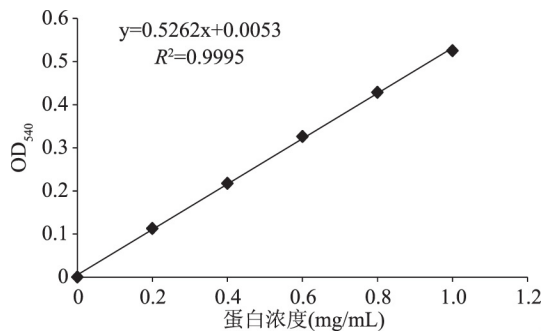


图1 蛋白质的标准曲线图

Fig.1 Protein standard curve

2.2 变性淀粉对肌原纤维蛋白凝胶质构特性的影响

不同比例的木薯变性淀粉对肌原纤维蛋白凝胶质构特性的影响结果如图2所示。硬度值可表征凝胶网络结构的强度,即凝胶可以抵抗外力的强弱。随着添加量的增加,凝胶硬度、强度值、咀嚼性显著下降,均低于空白组,原因可能是当体系加热温度为 70 ℃ 时,淀粉颗粒未能充分吸水膨胀,不能起到对凝胶基质施加压力的作用,导致形成弱凝胶,从而使其强度、硬度值下降。

凝胶弹性表示其受到外力压缩,撤去外力后凝胶的回弹能力。如图2,随着添加量的增加,弹性值呈现先增加后降低的趋势,整体上处理组均大于空白组。这可能是因为淀粉糊化能形成富有弹性的胶体,从而增加蛋白凝胶的弹性,但随着添加量的增加,体系游离水分减少,凝胶呈现过硬过韧的现象,从而导致弹性下降^[14]。因此,添加适量的淀粉(10%)可对凝胶弹性的提升起到正面作用。而当淀粉添加过量时,过多淀粉的存在则可能会阻碍蛋白自身凝胶的形成,从而降低体系的凝胶弹性。Seetapan 等^[15]研究表明木薯淀粉在凝胶中颗粒可浸出的成分较多,这些成分可在凝胶中充当黏合剂的作用,提高凝胶的弹性,并使其在受到压缩时不会提前破裂,从而改善凝胶的质构。

胶黏性是指将半固体样品破裂成吞咽时的稳定状态所需的能量,除了反映凝胶网络的强度外也可反映凝胶的内部结合程度,而内聚性则表示凝胶内部的结合能力。添加 20% 淀粉可明显提高凝胶的内聚性,降低其胶黏性,但并不是线性的。从总体上看,添加量为 10% 时凝胶的硬度、强度、咀嚼性、胶黏性、内聚性相对其他组而言比较适中,且其弹性最好,从而改善其质构特性。

2.3 变性淀粉对肌原纤维蛋白凝胶 DSC 的影响

变性淀粉对肌原纤维蛋白凝胶 DSC 的影响结果见图3和表1。

由图3和表1看出,起始热相变温度大小顺序为: 10% < 15% < 20% < 0 < 5%, 添加量为 5% 时,变性温度增大,可能是因为添加少量变性淀粉时,其溶

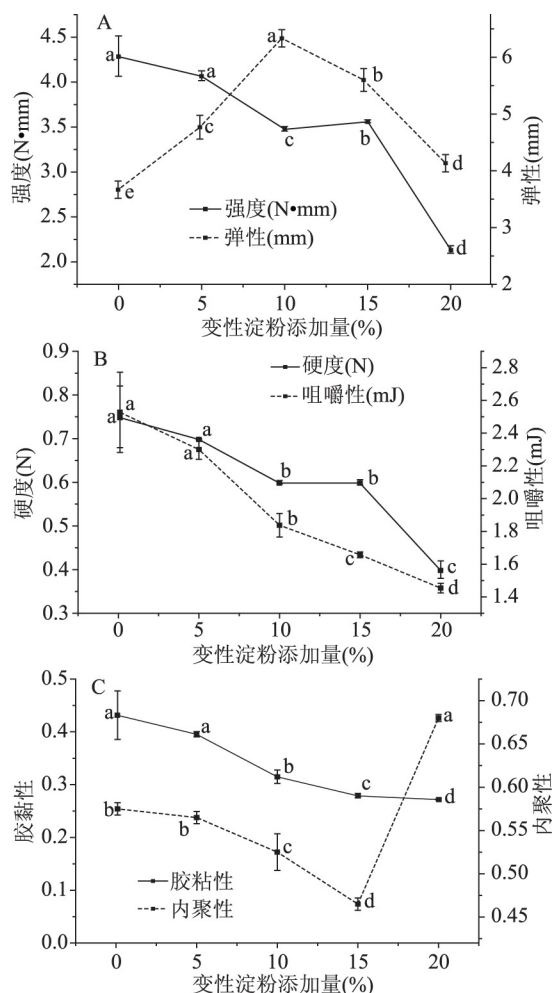


图2 木薯变性淀粉的添加对肌原纤维蛋白凝胶质构特性的影响

Fig.2 Cassava modified starch addition on texture of myofibrillar protein gel

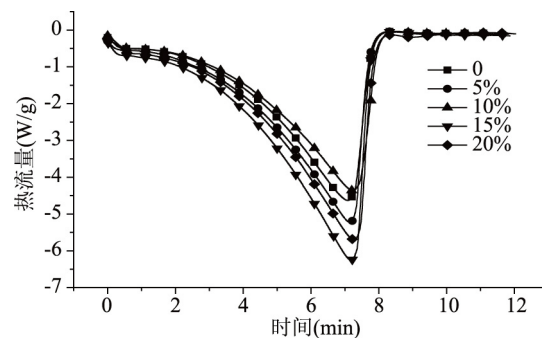


图3 木薯变性淀粉对肌原纤维蛋白差示热量扫描的效应

Fig.3 Effect of cassava modified starch on DSC profiles of myofibrillar protein

解的较快,能较充分的填充到空隙中,增大了凝胶形成的温度。而随着变性淀粉添加量进一步增加导致蛋白浓度的减小,变性温度提前,尤其是 10% 时最低,可能是因为变性淀粉部分填充到凝胶网络中去,剩下的淀粉颗粒促进了蛋白的变性的结果。李爽^[12]也发现马铃薯淀粉的添加降低了蛋白的变性温度,与本文研究结果相似。从整体上焓值随着变性淀粉的添加而增加,且焓值越大,其热改性产物聚集卷曲

表1 木薯变性淀粉对肌原纤维蛋白的起始热相变温度(T_{eo})及焓值(H)的影响

Table 1 Effect of cassava modified starch on the initial thermal transition temperatures(T_{eo}) and enthalpies(H) of myofibrillar protein

变性淀粉 添加量(%)	T_{eo} ($^{\circ}\text{C}$)	H (J/g)
0	74.7 ± 0.85	45.2 ± 6.72
5	75.2 ± 3.01	48.3 ± 9.98
10	72.6 ± 2.41	43.4 ± 5.21
15	72.7 ± 2.47	48.9 ± 9.61
20	73.9 ± 3.71	49.9 ± 7.05

程度越大,热稳定性越好,结果说明变性淀粉的添加增加了蛋白的稳定性,而在10%时,焓值最小,且低于空白组,进一步说明其促进蛋白变性。Wolz等^[16]的研究中提到高浓度的蛋白分子间碰撞机会增大,促进蛋白聚集使蛋白变性速度加快,而本实验中随着蛋白浓度的减小(淀粉浓度增加)变性温度却提前,这可能是变性淀粉的添加促进蛋白的变性。Feng等^[17]也得到与本文相似的结果。

2.4 变性淀粉对肌原纤维蛋白凝胶静态流变性的影响

2.4.1 表观粘度 MP凝胶在添加不同的变性淀粉下的表观粘度曲线如图4所示。纯蛋白和添加变性淀粉的表观粘度显然不是恒定的,当剪切应力增加时,表观粘度下降。这意味着,随着剪切速率的增加,凝胶的内部结构被破坏或重组,导致表观粘度降低,这可以通过结构分解来解释。剪切力足以破坏将颗粒保持在一起的次级键,即使在非常低的剪切速率下也会导致变形,断裂簇或聚集,这最终导致表观粘度急剧降低^[18]。此外,当剪切速率增加到特定值时,表观粘度趋于恒定值。因此,纯的和添加变性淀粉的蛋白凝胶是假塑性流体。对于假塑性流体,Liu等^[19]提出分子纠缠和剪切粘度对剪切速率斜率的下降导致聚合物溶液的剪切稀化行为。另外,添加淀粉并未改变凝胶的流体类型。

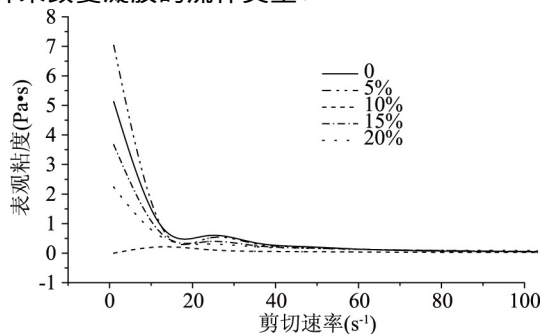


图4 木薯变性淀粉的添加对肌原纤维蛋白凝胶表观粘度的影响

Fig.4 Effect of cassava modified starch addition on apparent viscosity of myofibrillar protein gel

添加量为5%时,凝胶的表观粘度明显增大,表明抗剪切能力和剪切稀化程度也增强。这是由于添加少量变性淀粉时,其溶解的较快,能较充分的填充

到空隙中,增大了其对于凝胶沿流动方向运动的阻碍。但当添加量增加到10%时,只有部分填充到凝胶网络中去,剩下的淀粉颗粒不足以对凝胶沿流动方向运动造成阻碍,从而使其表观粘度减小。另外,与10%添加量相比,添加量15%和20%的凝胶表观粘度增加,但低于空白组。可能是因为只有部分淀粉填充到凝胶网络中去,过多颗粒的聚集增大了其对凝胶沿流动方向运动的阻碍,从而导致表观粘度增加。Pang等^[20]分析发现表观粘度越低,其凝胶的塑性能力越好。李爽^[12]认为淀粉含量越高蛋白受淀粉颗粒的影响越大,蛋白分子链相对较短,在较小的剪切速率蛋白分子就可以得到有效的伸展。而李艳芳^[21]发现经过乙酰化的马铃薯淀粉在糊化后有更高的表观粘度及抗剪切能力,本实验结果有所不同,可能是添加淀粉品种不同,从而导致结果不同。

2.4.2 触变环面积 从图5中看到,在剪切应力与剪切速率之间的流动曲线中可以看到滞后环。这是因为逐渐增强的剪切应力使凝胶的内部结构逐渐被破坏,当剪切应力减小时,凝胶的结构开始逐渐恢复,但其恢复的速度与其被破坏的速度有所差异造成滞后环的出现^[21]。另外,滞后环是顺时针的,也就是说在剪切速率增加过程(正向)中剪切应力大于减小过程(向后)中的剪切应力^[19]。根据Liang等^[22]的研究,顺时针方向的滞后回路被认为是剪切或形成新结构的原因导致本身结构遭到破坏。滞后环面积可以表征样品触变性的强弱,滞后环面积越大,流体的触变性越强,滞后环面积越小,流体的触变性越弱^[21, 23]。

从图5中看到添加量为5%时触变环面积增加,原因可能是70 $^{\circ}\text{C}$ 时,淀粉颗粒开始发生变性致使肌原纤维蛋白凝胶网络开始松动,从而使其三维网络结构和淀粉颗粒的链接出现空隙,当添加少量变性淀粉时,其溶解的较快,能较充分的填充到空隙中,导致分子间距离变的更近,形成更多的氢键,使剪切作用破坏其结构变得困难,凝胶结构恢复速度也更慢,所以导致滞后环面积增大;但当添加量增加到10%时,只有部分填充到凝胶网络中去,剩下的少许淀粉颗粒不足以破坏其结构,从而使其触变环面积最小。随着添加量的进一步增加,触变环面积增大。可能原因是变性淀粉添加量增大时,有过量颗粒的聚集阻碍了剪切作用破坏其结构,凝胶结构恢复也比较慢,故使其滞后环面积增加^[21]。流体的触变性越大,表示撤掉外力时,体系恢复到原来状态的时间更长,流体流动过程中需要克服的阻力也越大,故触变性越大,流体的剪切稳定性越差^[24]。故结果表明当添加量为10%时,其触变环面积最小,流变稳定性最好。

3 结论

添加木薯变性淀粉能够改善肌原纤维蛋白凝胶的弹性和内聚性,降低了凝胶的强度,咀嚼性和胶黏性。当木薯变性淀粉添加量为10%时,凝胶的弹性达到最大。与空白组相比,木薯变性淀粉的添加整体上降低了蛋白的热相变温度和增加了蛋白焓值,导致蛋白热稳定性增加;在添加变性淀粉10%的条

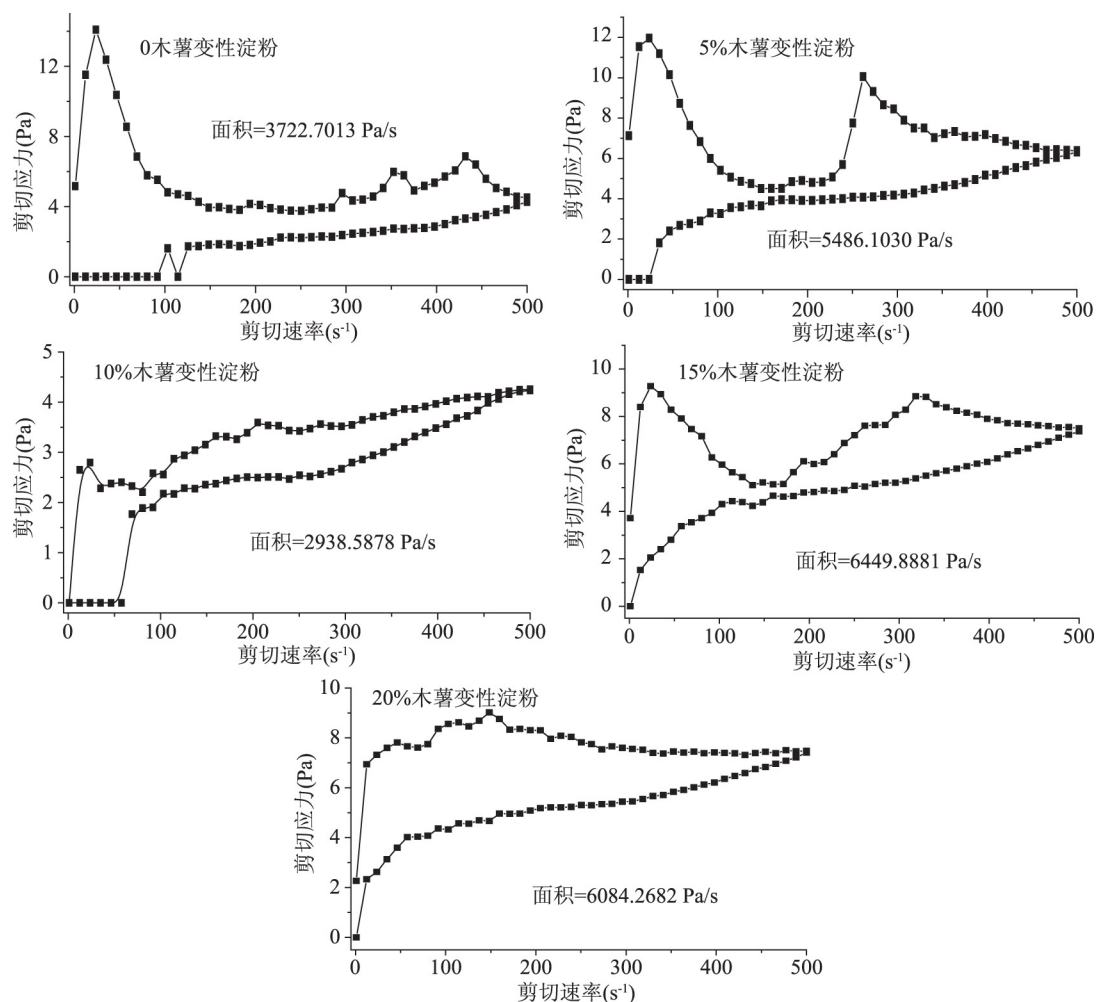


图5 变性淀粉的添加对肌原纤维蛋白凝胶触变性的影响

Fig.5 Effect of cassava modified starch addition on thixotropy of myofibrillar protein gel

件下,热相变温度和焓值均最低,表明其促进了蛋白变性。凝胶的表现粘度随着剪切应力增加呈下降的趋势,表明其是假塑性流体,且添加变性淀粉并未改变其流体类型。静态流变分析表明添加10%木薯变性淀粉,肌原纤维蛋白凝胶的表现粘度和触变环面积最小,改善了凝胶的塑性能力及流变稳定性。

参考文献

- [1]代佳佳.卡拉胶、魔芋胶和变性淀粉对鸡肉匀浆物凝胶特性的影响及应用[D].南京:南京农业大学,2009.
- [2]宫艳艳.脂肪替代物的分类及在食品中的应用[J].中国食品添加剂,2009(2):67-71.
- [3]Jimenez-Colmenero F, Cofrades S, Herrero A M, et al. Konjac gel for use as potential fat analogue for healthier meat product development: Effect of chilled and frozen storage [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1): 351-357.
- [4]李月双.玉米抗性淀粉与超高压对肌球蛋白凝胶特性的影响[D].合肥:合肥工业大学,2016.
- [5]栗俊广,蒋爱民,白艳红,等.木薯淀粉对猪肉盐溶蛋白凝胶特性的影响[J].现代食品科技,2016,32:123-127.
- [6]吴满刚,熊幼翎,陈洁.不同淀粉对肌纤维蛋白流变学性质和凝胶持水性的影响[J].食品工业科技,2010,31:92-94.
- [7]任云霞,李亚楠,张坤生.超高压对添加变性淀粉的鸭肉

- 肌原纤维蛋白的影响[J].食品研究与开发,2012,33:10-14.
- [8]畅阳.不同种木薯变性淀粉对肌原纤维蛋白热诱导凝胶特性的影响[D].南京:南京农业大学,2012.
- [9]李丹辰,陈丽娇,梁鹏,等.木薯淀粉与木薯变性淀粉鱼糜加工性质的影响[J].中国粮油学报,2014,29(8):60-64.
- [10]Doerscher D R, Briggs J L, Lonergan S M. Effects of pork collagen on thermal and viscoelastic properties of purified porcine myofibrillar protein gels [J]. Meat Science, 2004, 66(1): 181-188.
- [11]Gornall A G, Bardawill C J, David M M. Determination of serum proteins by means of the biuret reaction [J]. Journal of Biological Chemistry, 1949, 177: 751-766.
- [12]李爽.热处理及淀粉添加对葵花分离蛋白结构与流变学性质的影响[D].齐齐哈尔:齐齐哈尔大学,2016.
- [13]Guo J J, Zhou Y H, Yang K, et al. Effect of low-frequency magnetic field on the gel properties of pork myofibrillar proteins [J]. Food Chemistry, 2019, 274: 775-781.
- [14]翟小波,李洪军,贺稚非.薯类淀粉对兔肉肉糜流变性质和凝胶特性的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(12):49-56.
- [15]Seetapan N, Limparyoon N, Gamonpilas C, et al. Effect of cryogenic freezing on textural properties and microstructure of rice

(下转第60页)

- [14]郭晓强,何钢,姚倩,等.乙酰化银耳多糖的制备及其取代度测定[J].食品工业科技,2013(12):255-257.
- [15]韩威,姜瑞芝,陈英红,等.银耳多糖单糖组成分析的三种色谱方法比较[J].天然产物研究与开发,2012(3):359-361,302.
- [16]刘培勋,高小荣,徐文清,等.银耳碱提多糖抗氧化活性的研究[J].中国生化药物杂志,2005(3):169-170.
- [17]Deng C, Sun Y, Fu H, et al. Antioxidant and immunostimulatory activities of polysaccharides extracted from Tremella aurantial bamyelia [J]. Molecular Medicine Reports, 2016, 14(5):4857.
- [18]张泽生,孙东,徐梦莹,等.银耳多糖抗氧化作用的研究

(上接第53页)

- flour/tapioca starch blend gel [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 151:51-59.
- [16]Wolz M, Kulozik U. Thermal denaturation kinetics of whey proteins at high protein concentrations [J]. International Dairy Journal 2015, 49:95-101.
- [17]Feng X C, Chen L, Lei N, et al. Emulsifying properties of oxidatively stressed myofibrillar protein emulsion gels prepared with (-) - Epigallocatechin-3-gallate and NaCl [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2017, 65:2816-2824.
- [18]Long Z, Zhao M M, Zhao Q Z, et al. Effect of homogenisation and storage time on surface and rheology properties of whipping cream [J]. Food Chemistry 2012, 131:748-753.
- [19]Liu P C, Xu H L, Zhao Y, et al. Rheological properties of soy protein isolate solution for fibers and films [J]. Food Hydrocolloids 2017, 64:149-156.

- [J].食品研究与开发,2014(18):10-15.
- [19]陈英红,姜翔之,罗浩铭,等.柱前衍生化高效液相色谱法分析银耳多糖的单糖组成[J].特产研究,2012(1):37-39,54.
- [20]颜军,徐光域,郭晓强,等.银耳粗多糖的纯化及抗氧化活性研究[J].食品科学,2005(9):169-172.
- [21]申明月,聂少平,谢明勇,等.茶叶多糖的糖醛酸含量测定及抗氧化活性研究[J].天然产物研究与开发,2007(5):830-833.
- [22]王琪.灵芝子实体多糖的分离纯化、硫酸化及生物活性研究[D].南京:南京农业大学,2010.

- [20]Pang X F, Deng B. The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field [J]. Physica B 2008, 403:3571-3577.
- [21]李艳芳.乙酰化马铃薯淀粉流变、凝胶特性及颗粒形貌研究[D].西安:陕西科技大学,2017.
- [22]Liang Q, Zhang J, Xu C, et al. Influence of temperature, pH, and ionic strength on the rheological properties of oviductus ranae hydrogels [J]. African Journal of Biotechnology, 2014, 13(24):2435-2444.
- [23]Sikora M, Adamczyk G, Krystyjan M, et al. Thixotropic properties of normal potato starch depending on the degree of the granules pasting [J]. Carbohydrate Polymers 2015, 121:254-264.
- [24]Chan B, Zhang S, Lei H, et al. Starch-based hydrogel loading with carbendazim for controlled-release and water absorption [J]. Carbohydrate Polymers 2015, 125:376-383.

因本刊已被《中国知网》
(包括“中国知网”优先数字出版库)
独家全文收录,所以所付稿酬中
已包含该网站及光盘应付的稿酬。