

魔芋胶对甘薯淀粉流变学特性及粉条品质的影响

龙明秀¹, 吴凤玉², 田竹希¹, 刘敏³, 何扬波¹, 李咏富¹, 石彬¹, 梁倩¹

(1. 贵州省农业科学院现代农业发展研究所, 贵州贵阳 550006) (2. 北京工商大学食品学院, 北京 100048)

(3. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 研究多糖胶对淀粉糊化特性、老化特性、流变学特性及粉条食用品质的影响, 为改善粉条品质提供理论指导。该文选择甘薯淀粉为原料, 加入不同比例的魔芋胶, 通过快速粘度仪 (RVA) 测定淀粉与魔芋胶复配体系粘度的变化来考察体系的糊化特性; 用 X 衍射仪测定结晶度, 评价体系的长期回生情况; 通过流变仪考察魔芋胶对淀粉凝胶体系粘弹性的影响; 最后评价魔芋胶对粉条食用品质的改善效果。结果表明: 魔芋胶能够显著降低甘薯淀粉的糊化温度, 提高粘度、崩解值和回生值, 显著抑制淀粉的长期回生。甘薯淀粉/魔芋胶复配体系为屈服-假塑性流体, 并且随着魔芋胶添加量的增加, 屈服应力 τ_0 、稠度系数 K 增加, 流体指数 n 减小, 复配体系有更好的粘弹性。甘薯淀粉和魔芋胶按质量比为 8.5:1.5 制备的粉条食用品质最佳。

关键词: 魔芋胶; 甘薯淀粉; 糊化特性; 老化特性; 流变学特性; 粉条品质

文章编号: 1673-9078(2018)12-26-33

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.12.005

Effect of Konjac Gum on Rheological Properties of Sweet Potato Starch and Qualities of Starch Noodles

LONG Ming-xiu¹, WU Feng-yu², TIAN Zhu-xi¹, LIU Min³, HE Yang-bo¹, LI Yong-fu¹, SHI Bin¹, LIANG Qian¹

(1. Guizhou Research Institute of Modern Agricultural Development, Guiyang 550006, China)

(2. School of Food and Chemical Engineering, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

(3. School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: To provide theoretical guidance for improving the qualities of starch noodles, the effect of konjac gum (KGM) on the pasting, retrogradation, rheological properties of sweet potato starch (SPS) and the qualities of sweet potato starch noodles were investigated. The viscosity of the mixture of SPS and KGM was assayed by rapid viscosity analysis (RVA) so as to analyse the pasting properties of the mixture system. The crystallinity was measured by X-ray diffractometer to evaluate the long-term retrogradation of the system. The effect of KGM on the viscoelasticity of the system was investigated by rheometer. The effect of KGM on the qualities of starch noodles was evaluated. The results showed that KGM reduced the pasting temperature, increased the viscosity, breakdown and setback, and inhibited the long-term retrogradation of starch significantly. The complex SPS/KGM was yield-pseudoplasticity system with better viscoelasticity, with the increasing of the proportion of KGM, the yield stress and consistency coefficient increased, while the flow behavior index decreased. Overall, a mixture of sweet potato starch and konjac gum (8.5:1.5 g/g) proved to be the most optimal proportion.

Key words: konjac gum; sweet potato starch; pasting properties; retrogradation properties; rheological properties; qualities of starch noodles

甘薯淀粉因其分子结构及直、支链淀粉含量与绿

收稿日期: 2018-08-07

基金项目: 贵州省科研机构服务企业行动计划项目 (黔科合平台人才 [2016]5712 号), 贵州省科技支撑计划项目 (黔科合支撑 [2018]2307), 贵州省星火计划项目 (黔科合成转字 [2015]5330-1), 贵州省工程技术研究中心建设项目 (2016GZ67305)

作者简介: 龙明秀 (1987-), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向: 农产品加工与贮藏保鲜。

通讯作者: 李咏富 (1985-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品质量与食品安全

豆淀粉相比存在巨大差异, 导致以甘薯淀粉为原料生产的粉条品质与绿豆粉条相差甚远。因此, 在传统甘薯粉条生产中通过加入明矾 $[KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O]$ 来改善粉丝品质以提高消费者可接受性。但铝的过量摄入对人体健康存在潜在危害, 如老年痴呆等疾病。为减少明矾对人体的危害, 同时达到改善甘薯粉条食用品质的目的, 寻找明矾替代物意义重大。

魔芋胶 (魔芋葡甘聚糖) 是一种非离子型高分子多糖, 主要由 D-葡萄糖和 D-甘露聚糖以 β -(1-4)糖苷键按 1:1.6 的比例聚合而成, 结构高度紧密, 是一种

性能优异的亲水性胶体^[1]。研究表明,魔芋胶具备良好的持水性、增稠性和乳化性,在凝胶食品体系中能促进魔芋葡甘聚糖大分子重建三维网络结构^[2]。

国内外有关亲水性胶体对淀粉理化性质的影响以及二者之间相互作用的研究报道较多,如柳艳梅^[3]等研究了果胶、阿拉伯胶、卡拉胶对大米淀粉流变性质与回生的影响,发现卡拉胶和果胶显著增大了大米淀粉的峰值粘度和谷值粘度,所有胶体均降低了淀粉的最终粘度和回生值,提高了大米淀粉凝胶在冷藏条件下的稳定性;Kim^[4]等研究了瓜尔豆胶、刺槐豆胶对橡籽淀粉糊化特性和老化特性的影响,研究发现胶体的加入增大了淀粉凝胶的粘弹性;唐敏敏^[5]等就黄原胶对绿豆淀粉的糊化特性和流变性质的影响进行了研究,该报道指出黄原胶/绿豆淀粉体系的崩解值和回生值有所下降,储能模量和损耗模量增加,滞后环面积减小,黄原胶能够有效提高体系的稳定性和流动性。目前,大多数研究集中于亲水性胶体对玉米淀粉、小麦淀粉和马铃薯淀粉性质的影响,而亲水性胶体对甘薯淀粉理化性质、甘薯粉条品质的系统性研究较少。因此,本文以甘薯淀粉为原料,通过快速粘度仪、X衍射仪、流变仪、质构仪等来探究不同比例魔芋胶的添加对复配体系热特性、流变学特性的影响,以及不同配比制备的粉条品质变化,以期为实际生产中甘薯粉条品质的改善提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

甘薯淀粉,水分含量 12.7%,由成都杨天食品有限责任公司生产;魔芋胶,食品级,水分含量 10.5%,由淄博中轩生化有限公司生产。

1.2 试验设备

BSA323S 电子分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;RVA-TecMaster 快速粘度仪,瑞典波通仪器公司;DHR-1 流变仪,美国 TA 仪器公司;X'Pert3 Powder10300 X 射线衍射仪,荷兰帕纳特有限公司;CT3 质构仪,美国 Brookfield 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

将甘薯淀粉(SPS, sweet potato starch)与魔芋胶(KGM, konjac gum)按以下比例混合(质量比 10:0, 9.5:0.5, 9.0:1.0, 8.5:1.5, 8.0:2.0),准确称取各配比下的甘薯淀粉、魔芋胶于烧杯中加入去离子水充分混合,

配制成质量分数为 8%的均一悬浮液(以干基计),于沸水浴中搅拌、加热糊化 15 min。除糊化特性外,老化特性、流变学特性的测定均采用该方法制备样品。

1.3.2 糊化特性

参照 AACC 76-21.01 方法进行测定,测试中淀粉和魔芋胶的质量比为 10:0, 9.5:0.5, 9.0:1.0, 8.5:1.5, 8.0:2.0。准确称量后转移到样品筒中,测试开始前通过搅拌桨搅动样品使其充分分散、混合。

测试程序为:快速搅拌 10 s (960 r/min)使样品充分分散,而后以 160 r/min 的速率进行粘度测定。样品在 50 °C 保温 1 min,然后在 7.5 min 内匀速加热到 95 °C,保温 5 min,保温阶段结束后在 7.5 min 内匀速降温到 50 °C,最后 50 °C 保温 2 min。得到糊化温度、峰值粘度、最终粘度、崩解值和回生值。

1.3.3 老化特性

按照 1.3.1 制得样品后于 4 °C 冰箱中老化 24 h,迅速使用液氮处理后经冷冻干燥机冻干,研磨成粉末后过 200 目筛作为测试样品。样品的老化度(结晶度)采用广角 X 衍射仪来测定,测试条件为:温度 25 °C,电压 40 kV,电流 40 mA,扫描速度 2°/min,衍射角 2θ 范围为 4°~40°,步长 0.02°。测试结果用 Jade 5.0 软件进行处理分析,相对结晶度(%)按照结晶区面积/总面积×100 计算^[6]。

1.3.4 流变学特性

1.3.4.1 动态流变学特性

参照 Ronda^[7]的方法稍做改动,按照 1.3.1 制备样品,取适量样品放置在动态流变仪平台上,选择平板(40 mm)模具,测试平台间距为 1 mm,用塑料板刮掉过多样品,然后用适量的二甲基硅油在模具边缘涂抹均匀,防止水分蒸发。静止 2 min,以充分消除应力。先用动态流变仪在 0.01%~500%范围内进行应变扫描,确定样品的线性粘弹区,再进行动态频率扫描,测定其动态粘弹性。动态振荡测试的条件为:平板直径 40 mm,间距 1 mm,应变 1.0%,温度 25 °C,频率扫描范围 0.1~20 Hz。检测结果有弹性模量(G'),粘性模量(G'')和损耗角正切值($\tan\delta$)。

1.3.4.2 稳态流变学特性

样品制备方法如 1.3.1,平板直径 40 mm,间距 1 mm,温度为 40 °C,测量剪切速率($\dot{\gamma}$)从 0~300 s⁻¹(上行线)递增、300~0 s⁻¹(下行线)递减范围内样品的粘度变化情况。利用 Herschel-Bulkley 方程对上行线的数据点进行拟合,复相关系数 R^2 表示方程的拟合精度^[8]。 $\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n$ (1), τ (Pa) 和 $\dot{\gamma}$ (s⁻¹) 分别表示应力和剪切速率, τ_0 表示屈服应力 (Pa), n 是流体指数(无量纲), K 表示稠度系数 (Pa sⁿ)^[9]。稳态剪切

测试中的上行线与下行线所围成图形的面积 Dt (s^{-1} Pa·s) 表示样品的触变性。

1.3.5 粉条的制备

甘薯淀粉与魔芋胶按比例混合 (质量比 10:0, 9.5:0.5, 9.0:1.0, 8.5:1.5, 8.0:2.0) 得到淀粉、魔芋胶的混合粉, 按照以下制作工艺制备粉条。

27 g 混合粉→加 50 mL 水溶解、搅拌→倾注于糊化盘→沸水浴中糊化 1 min→冷却→揭皮→切皮→烘箱 (50 °C) 干燥 4 h→成品

操作要点: (1) 预先在糊化盘表面轻涂一层植物油, 便于糊化定型后的粉皮从盘中揭下; (2) 淀粉浆倾注于糊化盘后, 轻拨盘子, 使淀粉浆在盘内均匀摊开, 以保证成型后的粉皮厚度均一。

1.3.6 粉条的品质

1.3.6.1 粉条的蒸煮特性

参照 Wandee^[10]等人的方法, 称取 10 g 粉条 (干基, m), 每根长度约为 5 cm, 放入盛有 200 mL 沸水的烧杯中, 用电炉加热使水保持沸腾状态, 烧杯上方加盖以防止水分的大量蒸发。煮制 10 min 后, 捞出粉条, 沥干水分后称重 (m_1), 然后将粉条置于 105 °C 烘箱中烘干至恒重 (m_2), 按下列公式计算蒸煮损失和膨润度:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = (m - m_2) / m \times 100 \quad (2)$$

表 1 粉条感官评分表

Table 1 The standard of sense value of starch noodles

得分	评价标准					
	色泽	适口性 (硬度)	弹性	粘性	风味	可接受性
0~2	颜色不均匀有明显杂色, 透明度较差	很硬/软烂	很差	明显有粘牙感	很差	很差
2~4	颜色不均匀有杂色, 透明度较差	较硬/软	较差	较粘牙	较差	较差
4~6	颜色均匀有少许杂色, 透明度差	稍硬/软	一般	稍粘牙	一般	一般
6~8	颜色较均匀无杂色, 透明度好	一般	较好	不粘牙、较爽滑	较好	较好
8~10	颜色均匀无杂色, 透明度较好	软硬恰好	很好	明显不粘牙、很爽滑	很好	很好

表 2 甘薯淀粉/魔芋胶复配体系的糊化特征值

Table 2 Pasting parameters of sweet potato starch/konjac gum mixed system

甘薯淀粉:魔芋胶	糊化温度/°C	峰值粘度/cP	崩解值/cP	最终粘度/cP	回生值/cP
10:0	72.31±0.38 ^a	4345±46 ^e	1566±344 ^e	3273±52 ^e	494±61 ^d
9.5:0.5	71.07±0.38 ^a	5145±88 ^d	2304±36 ^d	3377±176 ^d	536±48 ^c
9.0:1.0	60.80±0.49 ^b	6297±29 ^c	2675±41 ^c	4177±19 ^c	555±58 ^b
8.5:1.5	58.73±0.14 ^c	6751±96 ^b	2947±222 ^b	4849±30 ^b	905±37 ^{ab}
8.0:2.0	55.25±1.20 ^d	7915±74 ^a	3300±224 ^a	5551±200 ^a	936±184 ^a

注: 同列中的不同小写字母表示有显著性差异 ($p < 0.05$), 下同。

2 结果与分析

2.1 糊化特性

$$\text{膨润度}(\%) = m_1 / m_2 \times 100 \quad (3)$$

1.3.6.2 粉条的质构特性

取 30 根粉条在沸水中煮制 10 min, 捞出后置于滤网上沥干水分, 然后用保鲜膜覆盖防止水分的挥发。将煮制后的粉条放置于测试台的中心位置, 选用质构仪 (CT-3) 的 TPA 模式, 测量参数为: 形变目标值 45%, 触发点负载 4 g, 测试速度 1.00 mm/s, 探头 TA 4-1000, 循环两次, 每个样品平行测定 6 次。测试后选择硬度、弹性、内聚性及咀嚼性对煮后粉条的质构特性进行评价^[11]。

1.3.6.3 粉条的感官评价

粉条的感官评定参照 Wei^[12]等人的方法, 略作修改。评分小组由 20 名感官评价员组成, 其中男性 8 名, 女性 12 名, 年龄为 22~30 岁, 感官评价员在评定前经过市售粉条感官评定的培训, 对感官评定方法有一定的认识。根据色泽、适口性、弹韧性、粘性和风味来评估粉条的消费者可接受性, 具体评价标准见表 1。

1.4 数据分析

数据采用 Excel 2003 软件进行统计处理, 结果以平均值±标准差的形式表示; 使用 SPSS17.0 进行显著性分析; 应用 Origin 8.0 制图。

甘薯淀粉与魔芋胶复配体系的糊化特征值见表 2, 糊化温度能够反映淀粉糊化所需要的能量; 峰值粘度、最终粘度反映体系的表现粘度, 该值越大说明体系的粘稠度越大; 崩解值越小, 表明体系的热稳定性

越好; 回生值越小, 表明体系越不容易发生短期老化。

由表 2 可以看出, 随魔芋胶添加量递增, 体系的糊化温度降低, 峰值粘度、最终粘度、崩解值、回生值显著增加, 该结果与刘敏^[13]等对魔芋胶与莲藕淀粉复配体系粘度的研究结果类似。由此推断, 随温度升高, 淀粉中的直链淀粉与从支链淀粉破裂溢出的直链分子发生聚合, 悬浮液呈溶胶态, 体系粘度逐渐上升。在此过程中, 魔芋胶吸水膨胀加之与溶出的直链淀粉及低分子质量的支链淀粉形成氢键使得体系表现粘度急剧增加, 因此糊化起始温度降低, 这种相互作用也会导致淀粉短期回生程度提高。

2.2 老化特性

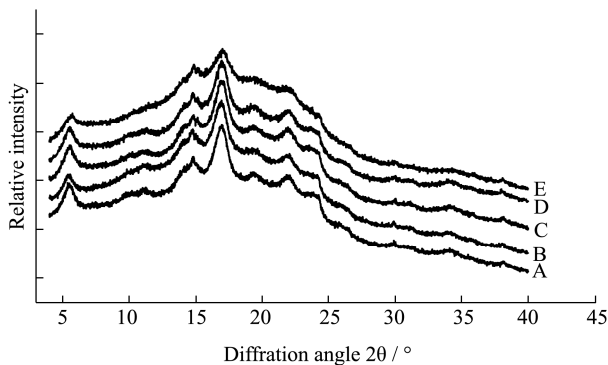


图 1 甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶体系的 X 衍射图谱

Fig.1 X-ray diffraction pattern of sweet potato starch/konjac gum mixed system

注: A~E 分别代表甘薯淀粉/魔芋胶质量比为 10:0, 9.5:0.5, 9.0:1.0, 8.5:1.5, 8.0:2.0。

通过计算甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶体系结晶度来表征其老化度, 能够反映淀粉/魔芋胶体系的长期老化情况, X 衍射图谱及结晶度见图 1 和表 3。可以看出, 添加不同比例魔芋胶的体系其 X 衍射图谱与原淀粉相似, 而随着魔芋胶添加比例的增大, 结晶度显著降低, 说明魔芋胶对甘薯淀粉的长期回生具有一定的抑制作用。淀粉的回生主要是由直链淀粉分子的凝胶有序化排列和脱水结晶作用引起的, 由此推断, 魔芋胶与直链淀粉分子通过氢键或相互缠绕作用形成网状结构体而有效延缓凝胶有序化排列, 抑制淀粉的长期回生。该结果与 Funami^[14]等的研究结果基本一致, 该研究指出魔芋胶能够抑制小麦淀粉的老化作用, 多糖分子通过与渗漏出的直链淀粉或支链淀粉分子相互作用, 形成氢键, 使淀粉的长期老化程度降低。

淀粉的回生分为短期回生和长期回生两个阶段。短期回生要是由直链淀粉的胶凝有序和结晶所引起, 发生在淀粉回生的前期, 该过程在糊化后较短的时间内完成; 而长期的回生(以天计)则主要是由支链淀粉

外侧短链的重结晶所引起, 该过程是一个缓慢长期的过程, 一般发生在极端条件下, 如温度很高或冰点温度时, 支链淀粉侧链间才会结合。淀粉回生作用与淀粉的种类、直链淀粉与支链淀粉含量的比例、支链淀粉侧链的链长、分子量、糊化淀粉冷却储藏温度、水分等因素有关。

表 3 甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶体系的结晶度

Table 3 Crystallinity degree of sweet potato starch/konjac gum mixed system

甘薯淀粉:魔芋胶	结晶度/%
10:0	17.58±0.69 ^a
9.5:0.5	16.28±1.06 ^b
9.0:1.0	14.75±0.92 ^c
8.5:1.5	11.81±0.90 ^d
8.0:2.0	11.03±2.01 ^d

2.3 流变学特性

2.3.1 动态流变学特性

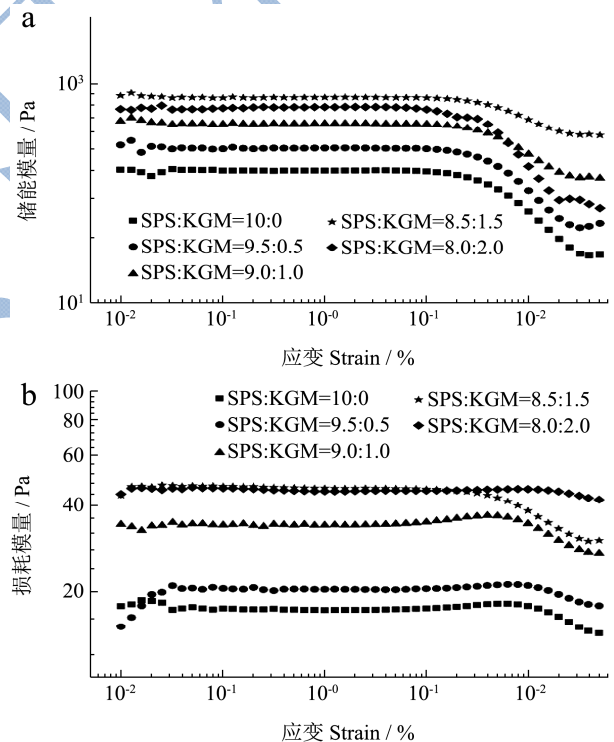


图 2 甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶体系的应变扫描

Fig.2 Strain dependence of sweet potato starch/konjac gum mixed system

对甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶体系进行应变扫描, 以确定其线性粘弹区, 结果如图 2 所示。应变能够反映体系在应力作用下的变形程度。随应变增加, 体系的储能模量 (G' , 图 2-a)、损耗模量 (G'' , 图 2-b) 在 0.01%~500% 的应变范围内表现出不同的变化趋势。可以发现, 在应变较高时储能模量呈下降趋势,

而损耗模量先上升再下降,当储能模量和损耗模量不再随应变发生改变时,说明体系在该应变时处于线性粘弹区间。最终选择应变为 1.0%进行动态频率扫描。

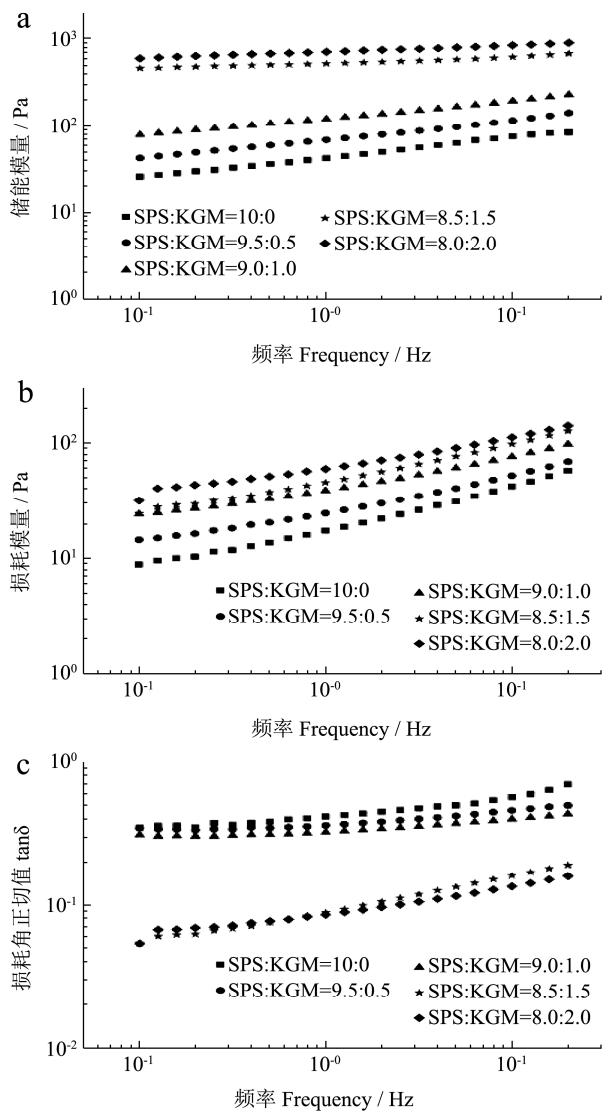


图3 甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶体系的动态流变学特性随频率变化曲线

Fig.3 Dynamic rheological properties of sweet potato starch/konjac gum system

图3为甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶的储能模量 G' (图3-a)、损耗模量 G'' (图3-b)和损耗角正切值(图3-c)随频率的变化关系。由图可见,在同一频率下,所有凝胶体系的储能模量始终大于损耗模量,损耗角正切值均小于1,说明复配体系均属于弹性高于粘性的粘弹体,表现为典型的弱凝胶体系。储能模量、损耗模量和损耗角正切值均随频率的增加而呈现不同程度的增大,表明样品的模量值和损失因子具有一定的频率依赖性。

可以看出,随着魔芋胶比例的增加,体系的储能模量 G' 和损耗模量 G'' 均随之增加。Kim^[4]等对瓜尔胶、

槐豆胶与橡籽淀粉之间的相互作用开展了大量研究,研究指出,淀粉凝胶体系可看作是由两相体系构成的三维网络结构,溶胀的淀粉颗粒作为分散相嵌入以直链淀粉为主的流动相。胶体的添加,提高了淀粉凝胶的粘弹性,原因可能是:亲水性胶体与溶出的直链淀粉通过范德华力或氢键作用,形成比原淀粉凝胶更强的网络结构体。

2.3.2 稳态流变学特性

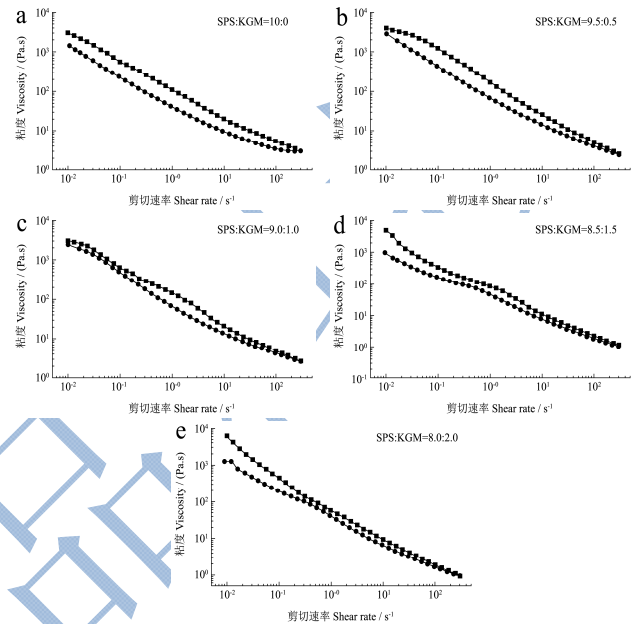


图4 甘薯淀粉/魔芋胶复配体系的稳态流变曲线

Fig.4 Rheological properties of sweet potato starch/konjac gum mixed system

注:上行线;下行线。

甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶的表观粘度随剪切速率的变化情况如图4所示,通过Herschel-Bulkley方程拟合得到的参数见表4。由表4可知,决定系数 R^2 均大于等于0.94,表明该模型对稳态流变数据具有较高的拟合精度。流体指数 $n < 1$,屈服应力 $\tau_0 > 0$,由曲线的走势以及方程拟合参数可以判定淀粉/魔芋胶复配凝胶属于屈服-假塑性流体,具有剪切稀化的性质。由图可以看出所有样品均形成滞后环,这是由于体系结构的破坏与重建速度不同导致的,滞后圈表示了该体系内部结构的松弛特征^[15]。

与单独的甘薯淀粉相比,添加魔芋胶后复配体系的表观粘度均有所上升,稠度系数 K 显著提高,与糊化特性中最终粘度的变化趋势相同,说明体系的粘稠性增大。屈服应力 τ_0 显著增大,流动性指数 n 略有下降,上行线与下行线所形成的滞后环面积 Dt 显著降低。这是由于魔芋胶与甘薯淀粉分子链间相互缠绕形成网状结构体,从而产生强烈的协调增效作用,导致体系稠度增加、流动性下降,屈服应力增大,即体系

达到流动状态所需的机械能增加。可以看出,添加魔芋胶的甘薯淀粉凝胶体系均表现出剪切稀化的性质,这是由于在高速剪切作用下,淀粉分子在连续相中的

流向发生重新取向,缠结的分子被拉直、摆顺,魔芋胶分子链与淀粉分子链间的相互作用使流体的链节顺向性有所增加^[3]。

表4 甘薯淀粉/魔芋胶复配体系的稳态流变学拟合参数

Table 4 Fitting parameters of sweet potato starch/konjac gum mixed system

甘薯淀粉:魔芋胶	τ_0/Pa	$K/(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n	$Dt/(\text{s}^{-1}\text{Pa}\cdot\text{s})$	R^2
10:0	29.32±2.86 ^c	32.74±7.74 ^d	0.67±0.12 ^a	1.27±0.18 ^a	0.99
9.5:0.5	35.37±5.2 ^c	51.08±6.13 ^c	0.57±0.04 ^{ab}	1.04±0.25 ^{ab}	0.97
9.0:1.0	50.61±4.61 ^b	69.54±16.15 ^b	0.56±0.02 ^{ab}	0.85±0.04 ^b	0.94
8.5:1.5	61.21±12.38 ^b	71.33±13.75 ^b	0.43±0.07 ^{ab}	0.43±0.06 ^c	0.95
8.0:2.0	99.17±8.90 ^a	145.57±8.13 ^a	0.39±0.04 ^c	0.48±0.01 ^c	0.97

2.4 粉条的品质

2.4.1 粉条的蒸煮特性

表5 粉条的蒸煮品质

Table 5 Cooking qualities of starch noodles

甘薯淀粉:魔芋胶	膨润度/%	煮沸损失/%
10:0	335.99±15.46 ^c	2.04±0.11 ^a
9.5:0.5	341.54±16.26 ^c	1.79±0.18 ^a
9.0:1.0	365.00±13.25 ^b	1.69±0.21 ^{ab}
8.5:1.5	371.97±5.07 ^{ab}	1.32±0.41 ^b
8.0:2.0	378.66±4.79 ^a	1.28±0.38 ^b

粉条的蒸煮品质主要包括膨润度和蒸煮损失,这两项指标是衡量粉条食用品质的重要参数,尤其是蒸煮损失,它反映的是粉条在烹煮过程中结构保持完整性的程度。通常,煮沸损失越大,说明粉条的溶解度

越大,不耐煮,易糊汤,食之粘滞不光滑^[16]。

粉条本质上是由直链淀粉基微晶连接而形成的三维网络结构,经干燥过程淀粉凝胶网络发生皱缩,变成淀粉浓凝胶的干制物^[17]。将粉条置于沸水中烹煮时,凝胶逐渐吸水,非结晶区发生水合作用导致凝胶网络膨胀,随着烹煮时间的延长,凝胶网络逐渐崩解,因此小的凝胶碎片和可溶性成分会随之渗入水中,汤液变浑,导致煮后粉条质量下降^[18]。

不同甘薯淀粉/魔芋胶配比制备的粉条的蒸煮品质见表5,可以看出魔芋胶能够显著增大粉条在复水过程中的膨润度,显著降低煮沸损失,但当甘薯淀粉与魔芋胶的质量比为8.5:1.5时,其作用效果与质量比为8.0:2.0的粉条无显著性差异。因此,在粉条制备过程中,添加适量魔芋胶可有效提高粉条的食用品质。

2.4.2 粉条的质构特性

表6 粉条的质构特性

Table 6 Textural properties of starch noodles

甘薯淀粉:魔芋胶	硬度/g	弹性/mm	内聚性	咀嚼性/mJ
10:0	562±122 ^d	1.18±0.14 ^a	0.68±0.13 ^b	5.12±0.96 ^d
9.5:0.5	569±120 ^d	1.20±0.14 ^a	0.74±0.15 ^{ab}	5.77±0.81 ^c
9.0:1.0	616±135 ^c	1.23±0.14 ^a	0.79±0.16 ^{ab}	5.83±1.21 ^c
8.5:1.5	623±102 ^b	1.25±0.13 ^a	0.80±0.12 ^{ab}	6.16±1.09 ^b
8.0:2.0	694±138 ^a	1.28±0.10 ^a	0.88±0.14 ^a	6.63±1.14 ^a

质构特性是一项客观评价粉条品质的指标,即利用质构仪来反映烹煮后粉条的口感,主要包括硬度、弹性、内聚性和咀嚼性等。在粉条冷却(老化)初期,直链淀粉在氢键的作用下,可形成具有一定强度、稳定的淀粉凝胶网络结构,正是此网络结构赋予了粉条硬度^[19],硬度反映的是使产品发生形变所需要的力,粉条的硬度越大,说明凝胶结构越紧密^[20]。由表6可知,魔芋胶的添加显著提高了粉条的硬度,甘薯淀粉/魔芋胶质量比为8.5:1.5与8.0:2.0的粉条硬度无显著性差异。弹性指粉条经咀嚼后的恢复性,可以看出魔芋胶对甘薯粉条弹性的影响不显著。内聚性表示凝胶抵

御形变的能力,能够反映凝胶内部联结的紧密度,由表可知,添加魔芋胶的粉条内聚性稍有提高。咀嚼性是指固体或半固体食品经咀嚼达到能够吞咽状态时所做的功,魔芋胶的添加显著提高了粉条的咀嚼性,与硬度的变化趋势相同,粉条更具有嚼劲和劲道感。

粉条在烹煮时吸水膨胀,凝胶结构逐渐恢复,由于魔芋胶与甘薯淀粉在凝胶过程中通过相互作用形成更坚固的网络结构,因此,复水后添加魔芋胶的淀粉凝胶与纯淀粉凝胶相比具有更强的胶体结构,使粉条口感更劲道、不软烂。

2.4.3 粉条的感官评价

尽管国内外一直在探索简单易行、标准化程度较高的客观鉴定方法来表征粉条的品质,但主观评价跟客观评价相结合仍旧是当前甚至未来国内外粉条品质评价的主要方法^[21]。对于食品的品质评价方法,严格的感官评价是一种传统的、具有明确含义的测定手段,其结果具有一定的说服力。由表7的感官评价结果可

知,甘薯淀粉/魔芋胶质量比为8.5:1.5制备的粉条的消费者可接受性最高,当甘薯淀粉/魔芋胶质量比为8.0:2.0时可接受性显著降低,这可能是由于魔芋胶添加量过大,使制品稍带异味、色泽变暗^[22]。因此综合考虑,制备粉条的最佳复配比例为甘薯淀粉:魔芋胶=8.5:1.5。

表7 粉条的感官评价

Table 7 Sensory evaluation of starch noodles

甘薯淀粉:魔芋胶	色泽	适口性	弹韧性	粘性	风味	可接受性
10:0	7.93±0.48	6.30±0.84	6.80±0.52	6.96±0.27	7.30±1.37	7.14±1.00 ^b
9.5:0.5	7.91±0.69	6.61±1.35	7.29±1.09	7.24±0.43	7.34±0.87	7.42±1.02 ^{ab}
9.0:1.0	7.86±0.34	7.25±1.37	7.39±1.27	7.93±0.15	7.64±1.13	7.86±1.15 ^{ab}
8.5:1.5	7.63±1.27	8.03±1.11	7.71±0.86	8.30±0.61	7.29±0.86	8.56±1.10 ^a
8.0:2.0	7.61±1.46	7.18±1.33	8.15±1.15	8.97±0.55	7.05±0.73	7.01±0.84 ^b

3 结论

试验结果表明,与单独的甘薯淀粉体系相比,随魔芋胶的添加量的增加,淀粉/胶复配体系的糊化温度显著降低,峰值粘度、最终粘度、崩解值和回生值显著增加。随着魔芋胶添加比例的增大,甘薯淀粉/魔芋胶复配凝胶体系的结晶度显著降低,魔芋胶对甘薯淀粉的长期回生具有一定的抑制作用。添加魔芋胶增大了凝胶体系的粘弹性;甘薯淀粉与魔芋胶复配凝胶体系是典型的屈服-假塑性流体,具有剪切稀化效应,魔芋胶的添加使体系稠度增大,有较好的稳定性。魔芋胶能够有效改善甘薯粉条的品质,综合考虑复配效果,甘薯淀粉与魔芋胶质量比为8.5:1.5制备的粉条食品品质最佳。对甘薯淀粉、魔芋胶复配体系的糊化特性、老化特性、流变学特性以及粉条品质的研究,可为改善粉条食用品质、明矾替代物的选择提供参考。关于其它多种添加剂如多糖胶等对淀粉凝胶及粉条品质的影响仍有待进一步研究。

参考文献

- [1] Yoshimura M, Takaya T, Nishinari K. Rheological studies on mixtures of corn starch and konjac-glucomannan [J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 35(1): 71-79
- [2] 陈运忠,侯章成.魔芋胶(魔芋葡甘聚糖 KGM)在食品添加剂工业中的应用机理和实践[J].食品工业科技,2006,27(1): 155-157
CHEN Yun-zhong, HOU Zhang-cheng. The synergism between konjac gum and other food ingredients or additives and its typical applications [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 27(1): 155-157
- [3] 柳艳梅,左小博,房升,等.亲水性胶体对大米淀粉流变与回

生性的影响[J].食品科学,2017,38(1):47-52

LIU Yan-mei, ZUO Xiao-kang, FANG Sheng, et al. Effect of hydrocolloids on the rheology and retrogradation of rice starch [J]. Food Science, 2017, 38(1): 47-52

- [4] Kim W W, Yoo B. Rheological and thermal effects of galactomannan addition to acorn starch paste [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(3): 759-764
- [5] 唐敏敏,洪雁,顾正彪,等.黄原胶对绿豆淀粉糊化和流变特性的影响[J].食品科学,2013,34(21):42-46
TANG Min-min, HONG Yan, GU Zheng-biao, et al. Effect of xanthan on pasting and rheological properties of mung bean starch [J]. Food Science, 2013,34(21):42-46
- [6] Nara S, Komiya T. Studies on the relationship between water-saturated state and crystallinity by the diffraction method for moistened potato starch [J]. Starch-Starke, 2006, 35(12): 407-410
- [7] Ronda F, Perez-Quirce S, Angioloni Alessandro, et al. Impact of viscous dietary fibres on the viscoelastic behaviour of gluten-free formulated rice doughs: A fundamental and empirical rheological approach [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(2): 252-262
- [8] Temsiripong T, Pongsawatmanit R, Ikeda S, et al. Influence of xyloglucan on gelatinization and retrogradation of tapioca starch [J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19(6): 1054-1063
- [9] Sabanis D, Tzia C. Effect of hydrocolloids on selected properties of gluten-free dough and bread [J]. Food Science and Technology International, 2011, 17(4): 279-291
- [10] Wandee Y, Uttapap D, Punchaarnon S, et al. Quality assessment of noodles made from blends of rice flour and canna starch [J]. Food Chemistry, 2015, 179: 85-93
- [11] Wu G, Morris C F, Murphy K M. Quinoa starch

- characteristics and their correlations with the texture profile analysis (tpa) of cooked quinoa [J]. *Journal of Food Science*, 2017, 82(6): 2387-2395
- [12] Wei F B, Ye F Y, Li S, et al. Layer-by-layer coating of chitosan/pectin effectively improves the hydration capacity, water suspendability and tofu gel compatibility of okara powder [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018
- [13] 刘敏,代曜伊,毕家钰,等.魔芋胶对莲藕淀粉糊化和流变特性的影响[J].*食品与发酵工业*,2017,43(7):109-114
LIU Min, DAI Yao-yi, BI jia-yu, et al. Effect of konjac gum on pasting and rheological properties of lotus root starch [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(7): 109-114
- [14] Funami T, Kataoka Y, Omoto T, et al. Effects of non-ionic polysaccharides on the gelatinization and retrogradation behavior of wheat starch [J]. *Food Hydrocolloids*, 2005, 19(1): 1-13
- [15] 史铁钧.高分子流变学基础[M].化学工业出版社,2009, 28-33
SHI Tie-jun. *Macromolecular rheological basis* [M]. Chemical Industry Press, 2009, 28-33
- [16] Sangpring Y, Fukuoka M, Ratanasumawong S. The effect of sodium chloride on microstructure, water migration, and texture of rice noodle [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 64(2): 1107-1113
- [17] Wang N, Warkentin T D, Vandenberg B, et al. Physicochemical properties of starches from various pea and lentil varieties, and characteristics of their noodles prepared by high temperature extrusion [J]. *Food Research International*, 2014, 55(55): 119-127
- [18] Jenkins S. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources [J]. *Food Chemistry*, 2003, 81(2): 219-231
- [19] Tan H Z, Li Z G, Tan B. Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving [J]. *Food Research International*, 2009, 42(5): 551-576
- [20] 孟亚萍,吴凤凤,徐学明.芭蕉芋淀粉对米粉理化性质及粉丝品质的影响[J].*食品科学*,2015,36(9):33-38
MENG Ya-ping, WU Feng-feng, XU Xue-ming. Effects of *Canna edulis* Ker starch on physicochemical properties of rice flour and quality of rice noodles [J]. *Food Science*, 2015, 36(9): 33-38
- [21] Yousif E I, Gadallah M G E, Sorour A M. Physico-chemical and rheological properties of modified corn starches and its effect on noodle quality [J]. *Annals of Agricultural Sciences*, 2012, 57(1): 19-27
- [22] 谭洪卓,谭斌,刘明,等.甘薯粉丝生产中添加剂对甘薯淀粉回生的影响[J].*食品科学*,2008,29(6):133-138
TAN Hong-zhuo, TAN Bing, LIU Ming, et al. Effect of additives on retrogradation of sweet potato starch in production of its noodles [J]. *Food Science*, 2008, 29(6): 133-138