

# 降解魔芋胶调控面团的加工性能及馒头品质

陈致君, 李斌, 李晶

(华中农业大学食品科学技术学院, 湖北武汉 430070)

**摘要:** 为提升主食馒头中膳食纤维的添加量, 但同时不影响加工性能和馒头品质, 本文采用湿热降解程度不同的魔芋胶添加于面团并用于制作馒头, 考察对面团特性及馒头品质的影响。结果表明, 轻度降解魔芋胶(KGM-1, 420 ku)相对未降解魔芋胶(654 ku)对面团关键粉质特性、拉伸特性、流变特性、微观结构等影响更小, 对加工难度和效率影响不大; 当添加KGM时, 馒头比容最大, 从2.32 mL/g(空白组)增大至2.55 mL/g。KGM-1对馒头的质构特性影响最大, 弹性增加至0.97, 硬度与咀嚼性分别降低为878.55 g和660.33, 与空白组相比差异显著( $p < 0.05$ ), 抑制馒头老化的效果也得以显著增强。综合对比, 轻度降解的魔芋胶(KGM-1), 无论是相对原魔芋胶, 还是相对降解程度更大的魔芋胶(190 ku、104 ku、56 ku), 均更加有利于馒头品质和长期贮藏。轻度湿热降解可提升馒头中魔芋胶添加量的同时, 减少对加工特性影响并提升了馒头初始品质和长期贮藏品质, 这一意外发现为馒头用专用魔芋胶的制备指明了目标。

**关键词:** 魔芋胶; 馒头; 面团; 湿热降解; 老化

文章编号: 1673-9078(2020)09-181-187

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.9.0190

## The Processing Performance of Dough and Steamed Bread Quality Regulated by Degraded KGM

CHEN Zhi-jun, LI Bin, LI Jing

(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** In this study, in order to increase the amount of dietary fiber addition to the steamed bread without affecting the processing performance and its quality, the effects on characteristics of dough and the quality of steamed bread were investigated by hydrothermal degradation konjac glucomannan with different degrees. It was found that the slightly degraded KGM (KGM-1, 420 ku) had less effect on the farinographical properties, tensile properties, rheological properties, and microstructure of dough, compared to the non-degraded KGM (654 ku), and slightly degraded KGM also had less impact on difficulty and efficiency of processing. When the KGM was added, the specific volume of steamed bread was the largest which increased from 2.32 mL/g (Control) to 2.55 mL/g. KGM-1 had the greatest effect on the texture characteristics of steamed bread, the springiness was increased to 0.97, meanwhile, the hardness and chewiness were reduced to 878.55 g and 660.33 respectively, which were significant different ( $p < 0.05$ ) compared with the control, and the effect of suppressing steamed bread retrogradation was also enhanced significantly. To sum up, the slightly degraded KGM (420 ku) was more conducive to the quality and long-term storage of steamed bread, compare with the original KGM (654 ku) and the relatively more degraded KGM (190 ku, 104 ku, 56 ku). The mildly hygrothermal degradation can increase the addition amount of KGM, reduce the effect on processing characteristics and improve the initial quality and long-term storage quality. And this discovery indicated the target for the preparation of dedicated KGM for steamed bread.

**Key words:** KGM; steamed bread; dough; hygrothermal degradation; retrogradation

引文格式:

陈致君, 李斌, 李晶. 降解魔芋胶调控面团的加工性能及馒头品质[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 181-187

CHEN Zhi-jun, LI Bin, LI Jing. The processing performance of dough and steamed bread quality regulated by degraded KGM [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 181-187

馒头作为传统面食是北方的重要主食之一, 在南

收稿日期: 2020-03-01

基金项目: 湖北省技术创新专项重大项目(2017ABA150)

作者简介: 陈致君(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品碳水化合物

通讯作者: 李斌(1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品碳水化合物

方销量也逐年增加<sup>[1]</sup>。膳食纤维在主食中的添加, 可以弥补膳食纤维的摄入不足, 也是应对我国“膳食纤维鸿沟”的有效手段<sup>[2]</sup>。但同时也必须考虑加工便利性及食品品质问题, 才能真正得以工业应用。不溶性膳食纤维的添加通常会降低食品食用品质从而使消费者难

以接受, 而加入可溶性膳食纤维相对容易维持其食用品质, 但常常因为其高粘度、高溶胀能力和高持水性, 影响到其加工性从而增加其加工难度。

魔芋中的魔芋葡甘露聚糖 (Konjac Glucomannan, KGM), 是一种优质膳食纤维<sup>[3]</sup>。国内外学者对其降解技术及产物上已经进行了不少研究<sup>[4,5]</sup>, 但多数研究致力于低聚糖的制备, 涉及 KGM 部分水解物的研究相对较少, 而用于馒头加工制造中鲜见报道。

水溶性膳食纤维对小麦面团或馒头影响的研究已经被大量报道, 黄原胶、瓜尔豆胶、刺槐豆胶、高甲氧基果胶、 $\kappa$ -卡拉胶、羧甲基纤维素、车前子壳粉等常用水溶性膳食纤维先后都被研究<sup>[6,7]</sup>。但研究的视角几乎未涉及到有限降解的可溶性膳食纤维是否会相对原膳食纤维具有更好的加工性能和产品食用品质。基于本团队长期对魔芋的研究, 假设轻度降解处理不至于影响到 KGM 的健康益处, 但由于适度的降低分子量可大幅影响到其自身的溶胀能力、持水性, 并因为适度减小的分子量带来的分子运动性加强, 从而影响 KGM 与面团组分的相互作用, 并因此在馒头老化中影响到淀粉的重排。因此本文采取简单高效的湿热降解方法, 制备了 KGM 分子量为 56~654 ku 的系列降解产物, 比较其对小麦面团粉质特性、拉伸特性、流变特性、微观结构以及成品馒头比容和质构特性及其老化的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

多用途麦芯小麦粉, 益海嘉里(昆山)食品工业有限公司; 魔芋胶, 湖北森强魔芋科技有限公司; 高活性干酵母, 安琪酵母股份有限公司; 分析纯 NaCl, 国药集团化学试剂有限公司; 本实验用水均为蒸馏水。

### 1.2 仪器与设备

BL310 电子天平, 德国 Sartorius 公司; JJ-1 精密电动搅拌机, 国华仪器有限公司; 高压灭菌锅, 上海东亚压力容器制造有限公司; DAWN HELEOS II 18 角度激光光散射凝胶色谱, 美国怀雅特公司; CF-7000 发酵箱, 中山卡士电器有限公司; BC/BD-190S 冰箱, 青岛海尔特种电冰箱有限公司; DHR2 流变仪, 美国 TA 公司; LGJ-10 冷冻干燥机, 北京松源华兴科技发展有限公司; JSM-6390LV 扫描电子显微镜, 日本 NTC 公司; 粉质仪, 德国 Brabender 公司; 拉伸仪, 德国 Brabender 公司; TAXTplus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 湿热降解魔芋胶的制备

称取一定量的魔芋胶装入 250 mL 锥形瓶中, 然后将其放入高压灭菌锅中, 于 121 °C 处理不同时间, 将 KGM 降解产物取出, 干燥, 过筛, 然后在 4 °C 的冰箱中保存, 经激光光散射凝胶色谱测定分子量后, 选取 KGM-1、KGM-2、KGM-3 和 KGM-4 (重均分子量分别为 420、190、104 和 56 ku) 部分降解魔芋胶作为样品, 其处理时间分别为 20、60、80 和 120 min, 而原始魔芋胶 (654 ku) 标记为 KGM。

#### 1.3.2 面团的制备

以小麦粉的质量为 100%, 称取魔芋胶及降解产物 1%, 水 54%。将小麦粉与魔芋样品混合均匀, 在混合面粉中加入水, 和面至面团表面光滑不黏手, 内部无生粉, 空白对照组则为小麦粉、水按相同比例进行混合。

#### 1.3.3 馒头的制备

参照刘宣伯<sup>[8]</sup>的制作方法根据实际情况进行适当调整。以小麦粉的质量为 100%, 称取魔芋及降解产物 1%, 高活性干酵母 1%, 水 54%。先将小麦粉与魔芋样品混合均匀, 酵母用 37 °C 的水进行活化, 再将溶解好的酵母加入混合面粉中, 和面至面团表面光滑不黏手, 内部无生粉, 空白对照组则为小麦粉、水、高活性干酵母按相同比例进行混合。随后放入醒发箱中 (38 °C, RH 80%) 发酵 60 min 后进行揉压, 排除面团内空气, 切割成 50 g 的小面团, 搓圆成型, 再次醒发 20 min, 取出后在沸水蒸锅中蒸 15 min, 冷却 1 h 后测定。

#### 1.3.4 粉质特性的测定

在小麦粉中加入魔芋样品, 混匀后参照 GB/T 14614-2006 测定。

#### 1.3.5 拉伸特性的测定

在小麦粉中加入魔芋样品和 6% NaCl, 混匀后参照 GB/T 14615-2006 测定。

#### 1.3.6 面团流变特性的测定

小幅振荡频率扫描模式, 采用直径 40 mm 的钢板, 设定测量间距为 1 mm, 温度 25 °C, 扫描频率为 0.1~80 Hz, 通过应变扫描确定应力为 0.1%。

#### 1.3.7 面团的扫描电镜观测

按 1.3.2 制作好小麦面团后, 分割成小块倒入液氮速冻, 冷冻干燥 48 h, 再将样品固定、喷金, 观察样品 SEM 微观结构。

#### 1.3.8 馒头比容的测定

待馒头冷却 1 h 后, 采用小米置换法<sup>[9]</sup>测量馒头的

比容。先称取馒头质量  $W(g)$ , 取大小适宜的烧杯装满小米, 将与空气的接触面抹平, 然后倒出部分小米, 放入已称质量的馒头, 再将倒出的小米重新倒入烧杯, 余下小米用量筒测量体积  $V(mL)$ , 即为馒头体积。按公式(1)计算馒头比容。平行测定三次, 取平均值。

$$P(mL/g) = V/W \quad (1)$$

### 1.3.9 馒头质构的测定

馒头冷却 1 h 后, 将其装入自封袋于 4 °C 冰箱储藏, 储藏的第 0、12、36 和 48 h 取出样品, 取其中心部分切成 4 个 2 cm×2 cm×2 cm 的立方体, 进行 TPA 测试。选用 P36R 型探头, 测试参数为: 样品压缩 60%, 两次压缩之间间隔 5.0 s, 测试前速度为 2.0 mm/s, 测试速度为 1.0 mm/s, 测试后速度为 1.0 mm/s, 起点感应力为 5 g。

### 1.4 数据统计分析

使用 SPSS 25 软件进行数据的分析与处理, 运用单因素 ANOVA 检验进行显著性分析, 使用 Origin 2016 进行图形绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 部分降解魔芋胶对混合粉粉质特性的影响

部分降解魔芋胶的添加使得面团形成时间 (Dough development time, DDT) 和面团稳定时间 (Stability) 随之增加, 但与原魔芋胶 (KGM, 654 ku) 面团形成时间的 10.20 min 和稳定时间的 11.07 min 相

比, 即使是轻度降解魔芋胶 (KGM-1, 420 ku) 的面团形成时间和稳定时间也分别降至 5.20 min 和 6.00 min, 约为原魔芋胶的 50%, 面团稳定时间甚至更接近未添加魔芋的空白对照样品 (5.17 min)。弱化度 (Mixing tolerance index, MTI) 反映的则是面团在形成过程中的耐剪切能力<sup>[10]</sup>。由表 1 可知, 添加魔芋后, 弱化度也得到增强, 从空白对照组的 43.33 FU 增加至 77.67 FU (KGM-3), 表明其在一定程度上可以使面团在大于 500 FU 的稠度上维持较长时间并在一定程度上增强了耐机械搅拌承受能力, 这可能是由于魔芋胶的添加, 会增大面团本身的峰值稠度, 则搅拌之后的稠度较峰值稠度会下降更多, 从而导致更加严重的面团塌陷变形。但弱化度随魔芋胶降解程度的增大而逐渐, 这可能是因为原魔芋胶存在的大量羟基通过氢键进行水合作用, 从而阻碍了面筋的水化, 面团因此不易达到最大稠度, 弱化度也因此小于部分降解魔芋胶的弱化度。而从吸水率 (Water absorption) 来说, 原魔芋胶及部分降解魔芋胶的添加均有所提高, 添加原魔芋胶后甚至增加至 71.20%, 但分子量 104 ku 的魔芋胶 (KGM-3) 吸水率为 63.70%, 与空白对照组的 64.46% 相比已经接近甚至略低。混合粉粉质特性随魔芋胶分子量的增加而变化的趋势与周韵研究中随 KGM 添加量增大的变化趋势大体相同<sup>[11]</sup>。以上结果表明, 即使是部分降解亦可能显著减小对魔芋胶对粉质特性的过大影响, 使其更加接近原小麦粉的面粉粉质, 从而有利于加工中保证加工效率。

表 1 不同分子量魔芋葡甘聚糖对小麦面粉粉质特性的影响

Table 1 Effects of different molecular weight konjac glucomannan on flour quality of wheat flour

No.	DDT/min	Stability/min	Water absorption/%	MTI/FU
Control	2.73±0.12 <sup>d</sup>	5.17±0.25 <sup>c</sup>	64.46±0.87 <sup>c</sup>	43.33±2.08 <sup>c</sup>
KGM	10.20±0.10 <sup>a</sup>	11.07±0.31 <sup>a</sup>	71.20±0.79 <sup>a</sup>	64.67±1.53 <sup>b</sup>
KGM-1	5.20±0.26 <sup>b</sup>	6.00±0.36 <sup>b</sup>	66.03±0.47 <sup>b</sup>	67.00±2.65 <sup>b</sup>
KGM-3	3.73±0.06 <sup>c</sup>	5.30±0.20 <sup>c</sup>	63.70±0.46 <sup>c</sup>	77.67±2.31 <sup>a</sup>

注: 采用单因素 ANOVA 检验进行显著性分析, 同列数据右肩不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ), 下同。

### 2.2 部分降解魔芋胶对混合粉拉伸特性的影响

图 1 为不同分子量魔芋胶对小麦面团拉伸特性的影响, 在面团醒发 45、90 和 135 min 时分别进行拉伸测试。结果显示, 面团醒发 45 min 时空白面团样品的拉伸曲线面积 (Area)、拉伸阻力 (Resistance)、拉伸比例 (Ratio) 均大于加入原魔芋胶的样品, 分别为 53 cm<sup>2</sup>、213 BU 和 1.5 (空白组), 但随着魔芋胶降解程度的增加, 面团的拉伸曲线面积、拉伸阻力、拉伸比例均呈现明显的上升趋势, 分别从原魔芋胶的 33 cm<sup>2</sup>、

131 BU 和 0.9 增长至 50 cm<sup>2</sup>、164 BU 和 1.0 (KGM-3), 且与添加原魔芋胶导致的大幅下降相比, 降解后魔芋胶的添加明显减弱了该现象, 在一定程度上回复了纯小麦粉的拉伸特性, 面团醒发 90 min 和 135 min 时具有相同现象。而在延伸度 (Extensibility) 上, 其值越小则表明面团的筋力较强, 由图可知, 添加魔芋的组别延伸度均大于空白组, 这可能是因为魔芋胶的吸湿性更强, 导致面团在醒发之后, 魔芋胶吸收了大部分的水分子, 形成了溶胶, 使面筋蛋白分子之间的相互缠绕受到阻碍, 减弱了面团醒发后的筋力。整体来看,

轻度降解的 KGM-1 (420 ku) 的综合拉伸特性较好。

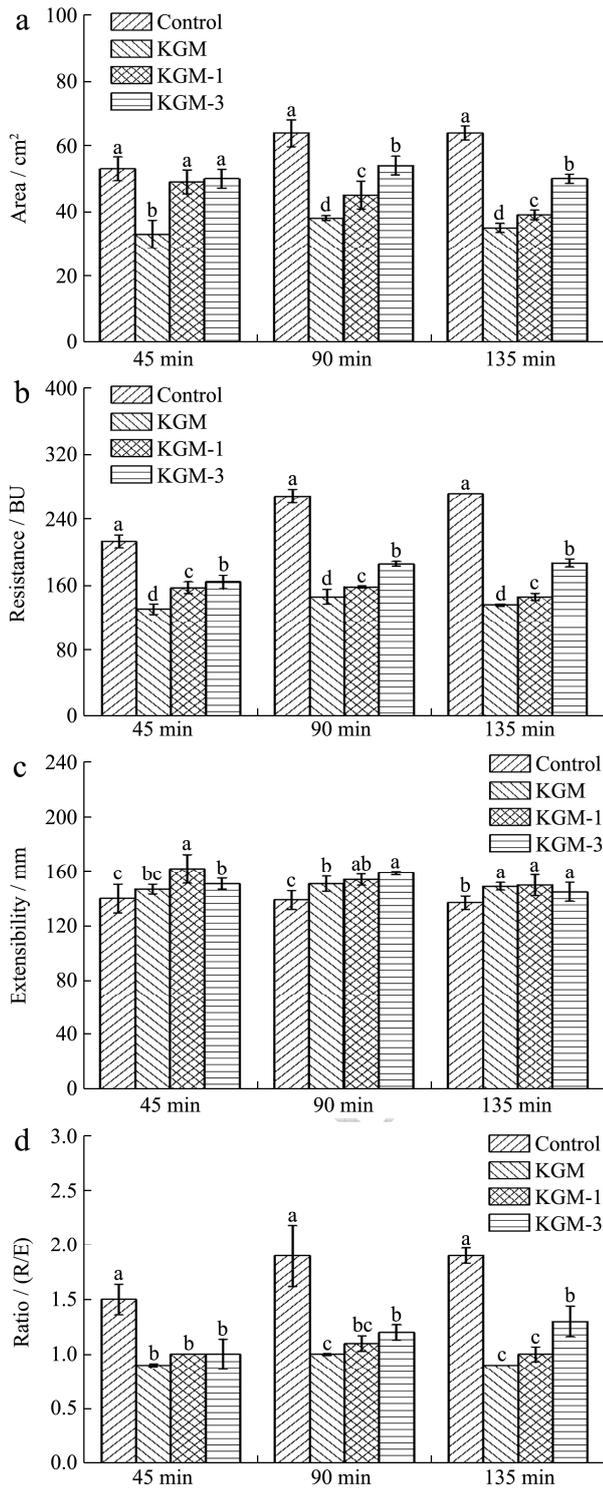


图1 不同分子量魔芋葡甘聚糖对小麦面团拉伸特性的影响

Fig.1 Effects of different molecular weight konjac glucomannan on extensigraph characteristics of wheat dough

注: 采用单因素 ANOVA 检验进行显著性分析, 图中显著性为同一静置时间进行比较, 不同字母表示差异显著 (p < 0.05), 图5同

### 2.3 部分降解魔芋胶对小麦面团流变特性的影响

通过频率扫描来测定部分降解魔芋胶对小麦面团粘弹性的影响 (图2), 在频率扫描过程中, 储能模量 G' 和损耗模量 G'' 都随着频率的增加而增大, 并且储能模量 G' 要显著高于损耗模量 G'', 且经计算, 小麦面团的损耗因子 (tan δ = G''/G') 均位于 0-1 之间, 表明其显示出典型的半固体行为。添加了魔芋胶样品的储能模量 G' 和损耗模量 G'' 均比空白组大, 表明 KGM 的添加增加了面团的粘弹性。郭金英等<sup>[12]</sup>研究表明, KGM 作为非离子型胶体, 可以通过氢键及疏水键与面团中的面筋蛋白发生作用, 且位于支链上的官能团凝胶后可形成糖网络, 从而强化了面筋蛋白的网络结构, 这一结论阐明了上述现象产生的原因。以上结果表明, 相对于原魔芋胶, 部分降解的魔芋胶更能显示出与空白小麦面团接近的流变特性。

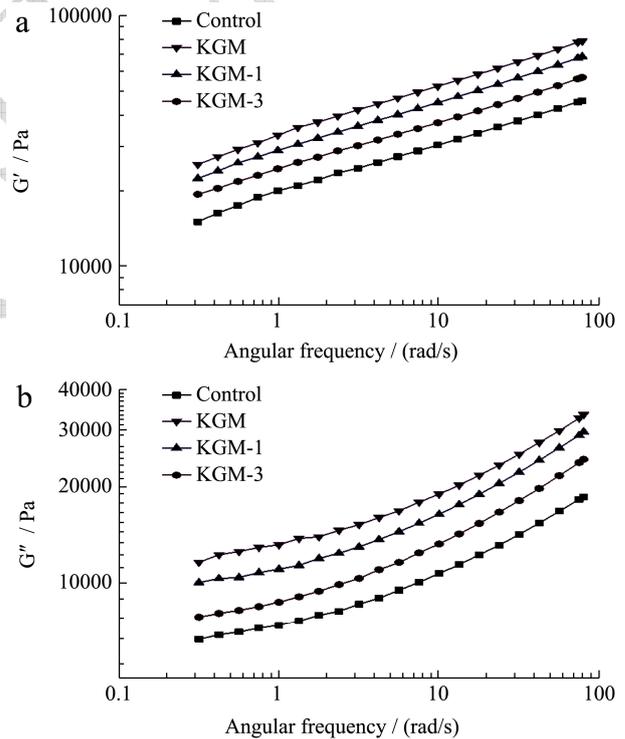


图2 不同分子量魔芋葡甘聚糖对小麦面团频率扫描的影响

Fig.2 Effects of different molecular weight konjac glucomannan on frequency scan of wheat dough

### 2.4 面团扫描电镜观察

通过 SEM 的观察 (图3), 面团由淀粉颗粒及面筋网络组成。与空白组相比较, 添加了魔芋胶的面团

微观结构发生了显著变化,由面筋蛋白与KGM分子堆砌的网络得到了加强。原魔芋的添加使淀粉颗粒表面膜的堆砌效果更强,而添加降解后的魔芋胶显示出更少的淀粉表面膜,同时淀粉颗粒间的离隙显著变小,微观结构特征也更加接近于空白的小麦粉面团。推测当魔芋胶的分子量更大时,其与面筋蛋白的相容性下降,且拥有更好的成膜性,从而能更多的以自身构成氢键网络的形势存在于湿面团中,而降解后的魔芋胶则更多的以面筋蛋白一起,较少以自身聚集的方式存在,这也可能对糊化后面团中的淀粉在老化阶段减少其重新组装带来益处。

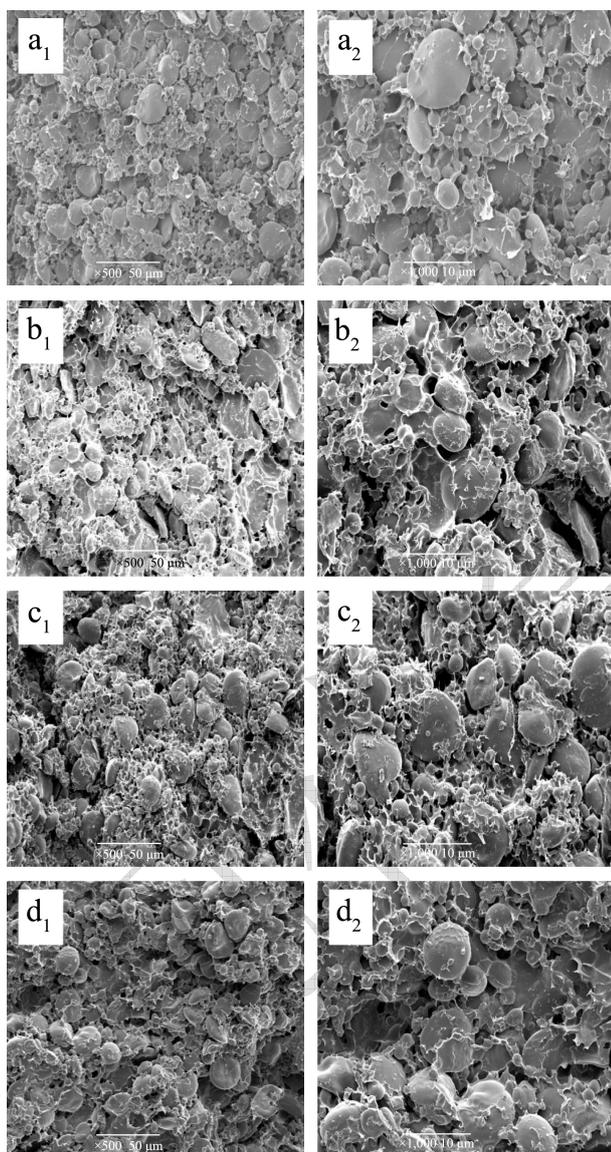


图3 不同分子量魔芋葡甘聚糖对小麦面团微观结构的影响  
Fig.3 Effects of different molecular weight konjac glucomannan on microstructure of wheat dough

注:下标1、2分别为500×、1000×; a-d分别为Control、KGM、KGM-1、KGM-3。

以上涉及面团粉质特性、拉伸特性、流变特性、

微观结构等的研究表明,适度的降解确实可以降低KGM加入对加工性能的影响。为更好的揭示部分降解的程度对馒头食用品质的影响,并筛选出效果更佳的部分降解产物的大致分子量,以下馒头食用品质研究中,除上述KGM(654 ku)、KGM-1(420 ku)、KGM-3(104 ku)外,增加KGM-2(190 ku)和KGM-4(56 ku),形成约400、200、100和50 ku的倍减系列。

### 2.5 部分降解魔芋胶对馒头比容的影响

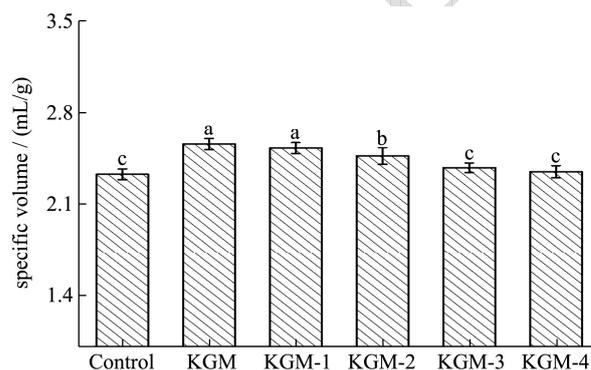


图4 不同分子量魔芋葡甘聚糖对馒头比容的影响  
Fig.4 Effects of different molecular weight konjac glucomannan on specific volume of steamed bread

注:采用单因素ANOVA检验进行显著性分析,图中不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )。

图4为空白组及添加了魔芋胶的馒头比容,魔芋胶的加入,使得样品比容均有所增大,这与报道结果一致<sup>[13]</sup>,适量KGM的添加能增加馒头的比容。但降解度大的魔芋胶(KGM-3和KGM-4),其馒头比容与空白(2.32 mL/g)比较无显著性差异,轻度降解魔芋胶(KGM-1和KGM-2)及原魔芋胶显著的增大了比容,最大比容为2.55 mL/g(KGM)。降解魔芋胶与原魔芋胶相比降低了比容,只有更轻微降解的魔芋胶(KGM-1)与原魔芋胶无显著性的差异,为2.52 mL/g。

### 2.6 部分降解魔芋胶对馒头质构及老化的影响

添加不同降解度魔芋胶对馒头质构的影响如图5所示,第0h时(以冷却1h之后作为第0h重新开始计算时间),添加魔芋胶的馒头硬度(Hardness)、咀嚼性(Chewiness)均低于空白组的1075.93 g(硬度)和752.66(咀嚼性),而弹性(Springiness)高于空白组(0.94),表明馒头的食用品质均有提升。但相对而言,轻度降解魔芋胶无论是对比原魔芋胶,还是降解程度较大的魔芋胶均显示出更低的硬度、咀嚼性和更高的弹性,且皆具有显著性差异,添加KGM-1时,其弹性显著增加为0.97,硬度和咀嚼性也分别降低至878.55 g和660.33。这可能是由于KGM具有较强的

吸水能力,且于凝胶后形成糖网络,改变了面团性质,从而改善了馒头的质构性质。李文钊<sup>[14]</sup>等的研究结果也显示, KGM 能改善馒头硬度、弹性等质构性质。

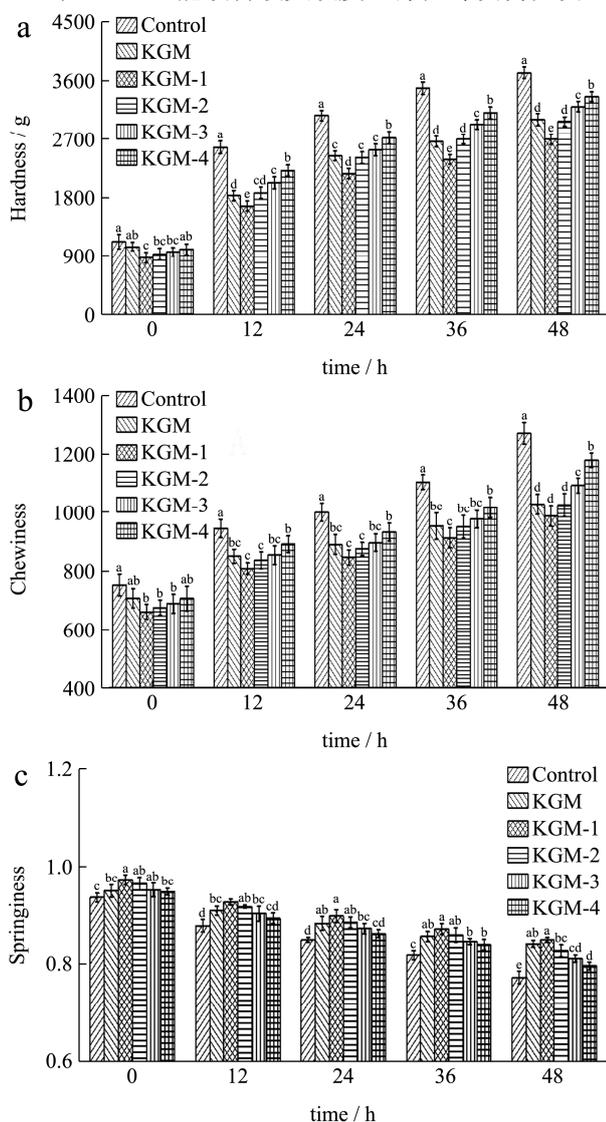


图5 不同分子量魔芋葡甘聚糖对馒头质构的影响

Fig.5 Effects of different molecular weight konjac glucomannan on texture of steamed bread

低温贮藏下的所有样品均随着贮藏时间的增加,其硬度、咀嚼性增加,弹性下降,这是淀粉老化的必然结果<sup>[15]</sup>。但相较于空白组,不同贮藏时间下,所有添加魔芋胶的组别均具有相对更低的硬度、咀嚼性,更高的弹性,表明魔芋胶的加入改善了馒头的抗老化性能。进一步比较,在添加魔芋胶的组别中,轻度降解魔芋胶无论是对比原魔芋胶,还是降解程度较大的魔芋胶始终显示出更低的硬度、咀嚼性和更高的弹性,这表明轻度降解魔芋胶不仅相对更好的改善了馒头的初始食用品质,同样在贮藏中也能够维持相对较好的食用品质,尤其是 KGM-1 相对于其余样品显示了更好的抗老化效果。

进一步在 0~48 h 内,分析不同样品硬度、咀嚼性的增加速率和弹性的变化速率,分别以均值对老化时间作图并进行线性回归,以对长期老化表现进行预测。所有 18 个线性回归方程的  $R^2$  值均大于 0.90, 比较变化速率后发现,空白的三个指标变化速率均最大,48 h 之后,弹性降低了 17.52%,硬度和咀嚼性则分别增加了 234.62%和 69.06%,接下来依次是 KGM-4、KGM-3、KGM-2。罗清楠<sup>[16]</sup>的研究也表明添加 KGM 片段之后,面包的质构性质与空白组相比较为缓慢。而 KGM 与 KGM-1 进行比较,在弹性和咀嚼性上, KGM-1 的变化速率更快,弹性降低了 12.74%,咀嚼性增加了 49.62%,但 KGM 在硬度上变化速率更快,增加了 197.56%。这预示着,尽管降解的魔芋胶总体上可以使馒头品质得到改良并降低老化速度,但轻度降解魔芋胶(KGM-1, 420 ku)可以最佳的平衡馒头初始食用品质和长期贮存食用品质,而降解度较大的魔芋胶不仅无法获得相对最优的初始品质,也不利于馒头长期贮存的食用品质。

### 3 结论

采取湿热降解处理魔芋胶,相对于原魔芋胶,部分降解产物的添加能够更加接近小麦面粉的粉质特性、拉伸特性、流变特性及面团微观结构。并且添加轻度降解魔芋胶(420 ku 和 190 ku)制作出的馒头无论是与原魔芋胶还是降解程度较大的魔芋胶(104 ku 和 56 ku)相比均显示出更低的硬度、咀嚼性和更高的弹性,即拥有更优的初始食用品质。贮藏过程中,所有添加魔芋胶的组别与空白对照相比均具有相对更低的硬度、咀嚼性,更高的弹性,表现出抗老化性能,且轻度降解魔芋胶(420 ku 和 190 ku)在贮藏中始终能够维持相对更佳的品质,从预测食用品质变化速率角度来看,更为轻度降解的魔芋胶(420 ku)可以最佳的平衡初始食用品质和长期贮存食用品质。

### 参考文献

[1] 郝晓晶,刘颖.复合改良剂对馒头品质的影响研究[J].现代食品,2017,20:81-87  
HAO Xiao-jing, LIU Ying. Compound improver to affect the quality of steamed bread [J]. Modern Food, 2017, 20: 81-87

[2] 李维颖,马跃洲,丁智永,等.山药魔芋保健型馒头的制作工艺优化[J].食品研究与开发,2017,38(6):69-74  
LI Wei-ying, MA Yue-zhou, DING Zhi-yong, et al. Optimization of production processing of functional steamed bread with yam and konjac [J]. Food Research and Development, 2017, 38(6): 69-74

- [3] Katsuraya K, Okuyama K, Hatanaka K, et al. Constitution of konjac glucomannan: chemical analysis and  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy [J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53(2): 183-189
- [4] LIN Wan-mei, NI Yong-sheng, WANG Lin, et al. Physicochemical properties of degraded konjac glucomannan prepared by laser assisted with hydrogen peroxide [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 129: 78-83
- [5] ZHU Bo, XIN Chen, LI Jing, et al. Ultrasonic degradation of konjac glucomannan and the effect of freezing combined with alkali treatment on their rheological profiles [J]. Molecules, 2019, 24(10): 1860
- [6] Linlaud N, Ferrer E, Puppo M C, et al. Hydrocolloid interaction with water, protein, and starch in wheat dough [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2011, 59(2): 713-719
- [7] Sim S, Aziah A N, Cheng L. Quality and functionality of Chinese steamed bread and dough added with selected non-starch polysaccharides [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1): 303-310
- [8] 刘宣伯,甘晶,非泽悟,等.魔芋葡甘聚糖对馒头品质的影响[J].食品科学,2017,38(21):100-105  
LIU Xuan-bo, GAN Jing, Nirasawa Satoru, et al. Impact of konjac glucomannan on the quality of Chinese steamed bread [J]. Food Science, 2017, 38(21): 100-105
- [9] 杜昆.亲水性胶体在冷冻面团中的应用研究[D].荆州:长江大学,2013  
DU Kun. Studies on the application of hydrocolloid in frozen dough [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2013
- [10] 张帅.魔芋胶和沙蒿胶对小麦面团特性的影响及其作用机制研究[D].重庆:西南大学,2019  
ZHANG Shuai. Effects of konjac gum and *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum on the properties of wheat dough and its mechanism [D]. Chongqing: Southwest University, 2019
- [11] 周韵.魔芋面团形成及热加工过程中的成分相互作用解析与消化性评价[D].北京:中国农业大学,2017  
ZHOU Yun. Macromolecular interactions of konjac dough during dough formation and thermal processing and its digestion [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017
- [12] 郭金英,贺亿杰,韩四海,等.魔芋葡甘聚糖对冷冻小麦面团筋蛋白结构和功能特性的影响[J].食品科学,2019,40(24): 33-39  
GUO Jin-ying, HE Yi-jie, HAN Si-hai, et al. Effects of konjac glucomannan on the structural and functional properties of gluten in frozen wheat dough [J]. Food Science, 2019, 40(24): 33-39
- [13] 陈文平,汪超,蹇美云,等.魔芋葡甘聚糖改善馒头品质的研究[J].食品科学,2011,32(2):324-7  
CHEN Wen-ping, WANG Chao, JIAN Mei-yun, et al. Effect of konjac glucomannan on staling of steamed bread [J]. Food Science, 2011, 32(2): 324-327
- [14] 李文钊,史宗义,杜依登,等.亲水胶体对小麦玉米混合粉及馒头品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(10):63-67,107  
LI Wen-zhao, SHI Zong-yi, DU Yi-deng, et al. Effects of hydrocolloids on the quality of wheat-corn mixed flour and steamed bun [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(10): 63-67, 107
- [15] Sim S, Aziah A N, CHENG L. Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginates or konjac glucomannan [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 951-7
- [16] 罗清楠.魔芋葡甘聚糖片段对面团特性与面包品质的影响[D].福州:福建农林大学,2012  
LUO Qing-nan. The effect of konjac glucomannan fragment for dough properties and bread quality [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012

(上接第 308 页)

- [35] 陈丽,彭南海.全营养混合液渗透压对周围浅静脉血管的影响[C]//全国肠内肠外营养学术会议:2011,42-45  
CHEN Li, PENG Nan-hai. Effect of total nutrient mixture osmotic pressure on peripheral superficial vein vessels [C] //National Conference on Enteral and Parenteral Nutrition: 2011, 42-45
- [36] 陈云云,袁瑾,陈梅,等.不同渗透压营养液对肠内营养患者的耐受性影响和护理策略研究进展[J].医学信息,2017,30(9):18-20  
CHEN Yun-yun, YUAN Jin, CHEN Mei, et al. Research progress of tolerance and nursing strategy of enteral nutrition patients with different osmotic pressure nutrient solution [J]. Medical Information, 2017, 30(9): 18-20