

# 壳聚糖对小麦面团流变学特性的影响

沈海斌<sup>1</sup> 杨航<sup>1</sup> 王月慧<sup>1\*</sup> 刘丽<sup>2</sup>

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院 教育部大宗粮油精深加工重点实验室 湖北武汉 430023;

2. 深圳南海粮食工业有限公司 广东深圳 518054)

**摘要:** 研究壳聚糖添加量 0、0.4%、0.8%、1.2%、1.6% (w/w) 对小麦面团筋含量、粉质特性、拉伸特性、动态流变特性、质构特性及巯基含量的影响。结果表明, 面团流变学各项指标与壳聚糖的添加量有关。随着壳聚糖的添加量增加, 湿面筋含量、干面筋含量、面筋持水率增加, 而面筋指数下降。同时, 面团的形成时间、稳定时间、弹性模量和粘性模量增加。质构仪 (TPA) 结果表明, 面团硬度、咀嚼性增大。当壳聚糖添加量为 0.8% 时, 面团拉伸特性最佳, 继续添加反而使拉伸特性降低。巯基含量随壳聚糖添加量增加无显著差异, 说明壳聚糖对巯基氧化所需的化学环境并没有造成影响。面团流变学特性变化的原因在于壳聚糖的高持水性和粘附性提升了面团的耐搅拌性, 对面筋网络结构有破坏作用。

**关键词:** 面团 壳聚糖 流变学特性 质构特性 巯基含量

## Effect of Chitosan on the Rheological Properties of Wheat Flour Dough

SHEN Hai-bin<sup>1</sup>, YANG Hang<sup>1</sup>, WANG Yue-hui<sup>1\*</sup>, LIU Li<sup>2</sup>

(1. Ministry of Education Key Grain and Oil Deep Processing Key Laboratory, College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. Shenzhen Nanhai Grain Industry Co., Ltd., Shenzhen 518054, China)

**Abstract:** The effects of chitosan addition 0, 0.4%, 0.8%, 1.2% and 1.6% (w/w) on wheat flour gluten characteristics, farinographical properties, tensile properties, dynamic rheological properties, textural properties and sulfhydryl content were studied. The results showed that, the rheological properties of dough were related to the content of chitosan. With the increasing of chitosan, the wet gluten content, dry gluten content and gluten moisture rate increased, while the gluten index decreased. In the meantime, dough formation time, stability time, modulus elasticity and viscous modulus increased. TPA test suggested that hardness and chewiness increased significantly. The addition of 0.8% chitosan resulted the tensile properties had the best effect, and the tensile properties were decreased with a higher additive amount of chitosan. There was no significant difference in the amount of sulfhydryl content with the addition of chitosan, indicating that chitosan had no effect on the chemical environment for the oxidation of mercapto. The reasons for the change of rheological properties of dough was attribute to the water binding capacity and adhesivity of chitosan ascended the dough mixing characteristics, but it would destroy the gluten network structure.

**Key words:** dough; chitosan; rheological properties; textural properties; sulfhydryl content

中图分类号: TS211.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)20-0030-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.20.006

引文格式: 沈海斌, 杨航, 王月慧, 等. 壳聚糖对小麦面团流变学特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 30-34, 40.

小麦是全世界第一大粮食作物, 在我国小麦的种植面积仅次于水稻, 但大部分小麦品种的品质与国外优质小麦相比差距较大, 主要在于蛋白质的含量低, 面筋强度弱, 面团流变学特性和加工品质较差等方面<sup>[1]</sup>。为了有效拓宽我国自产小麦的应用领域, 开发有效的小麦粉添加剂对我国面粉工业有十分重要的意义。近几年来, 国内学者通过添加膳食纤维、酶制剂、食用胶等改善小麦面团流变特性的相关报

道较多<sup>[2-6]</sup>。

壳聚糖 (Chitosan, CTS) 是自然界中存在的唯一一种碱性多糖, 结构与纤维素极其相似, 无毒、无害, 具有良好的生物相容性、可生物降解性、生物粘附性等性能。研究证实, 壳聚糖还具有降低胆固醇、抑制脂肪吸收、提高机体免疫、改进小肠代谢功能、保护人体组织器官等诸多生理活性功能<sup>[7]</sup>。

目前, 壳聚糖在食品工业中的应用主要包括抗

收稿日期: 2018-01-16

作者简介: 沈海斌 (1992-) 男, 硕士研究生, 研究方向: 谷物科学与工程, E-mail: 13006146417@163.com。

\* 通讯作者: 王月慧 (1971-) 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 谷物科学与工程, E-mail: 1426025086@qq.com。

基金项目: 湖北省自然科学基金项目 (2016CFC728)。

菌、涂膜保鲜和果汁澄清 3 个方面<sup>[8]</sup>,而对小麦面团品质影响的相关报道较少。本文研究不同添加量壳聚糖对小麦面团流变学特性的影响,以期拓宽壳聚糖的应用范围及改良小麦粉品质提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

壳聚糖 济南海德贝海洋生物工程有限公司(具体参数见表1);小麦粉(含水量13%,蛋白质含量11%) 武汉益康面粉厂有限公司(无任何添加剂);三羟甲基氨基甲烷(Tris)、甘氨酸(Glycine)、乙二胺四乙酸(EDTA)、盐酸胍、5,5'-二硫代(2-硝基苯甲酸)(DTNB) 广州赛国生物科技有限公司;尿素、HCl 国药集团化学试剂有限公司。

表1 壳聚糖原料参数

Table 1 Component content of chitosan

脱乙酰度 (%)	粒度 (目)	粘度 (mpa·s)	水分 (%)	灰分 (%)	相对分子质量 (u)
86.4	40	400	7.8	0.65	$3.217 \times 10^5$

面筋测定仪 瑞典 Perten 公司; Farinograph-E 粉质仪(揉面钵 300 g) 德国 brabender 公司; Extensograph-E 拉伸仪 德国 brabender 公司; DHR-2 动态流变仪 美国 TA 公司; T6 新世纪紫外-分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 样品的制备 分别称取 1.2、2.4、3.6、4.8 g 壳聚糖添加到适量小麦粉中,使总质量为 297.5 g。随后倒入自封袋中,鼓入空气,上下摇晃 20 次,得到分散均匀混合粉,放入 4℃ 冰箱中备用。

面团制作:将混合粉倒入粉质仪的揉面钵中,加入适量蒸馏水。当面团达到最大稠度,且稠度在(500±20) FU 之间时,取出面团,称取(100±0.1) g 用塑料膜密封,30℃ 静置保温 30 min 备用。

1.2.2 面筋含量的测定 参照 GB/T 5506.2-2008 方法。

1.2.3 粉质特性的测定 参照 GB/T 14614-2006 方法。

1.2.4 拉伸特性的测定 参照 GB/T 14615-2006 方法。

1.2.5 动态流变特性的测定 称取 5 g 上述制备好的面团,立即放在流变仪的测试台上,进行动态流变测试。具体操作条件:直径 40 mm 平板,狭缝距离 1 mm,采用振荡模式下的频率扫描测试<sup>[9]</sup>,应变 0.1%,扫描频率 0.1~10 Hz;温度 25℃。面团在两板

之间再静置 5 min,以松弛残余应力。

1.2.6 质构特性的测定(TPA) 取上述制备好的面团,用剪刀制作成边长为 25 mm 的正方体。测试条件<sup>[10]</sup>:实验使用的探头为 P/100 型;测试的操作模式为:压力测定;操作类型:TPA;压缩率 50.0%;测试前、中、后速率分别为 2、1、1 mm/s;触发类型设置为:Auto;起点感应力:5 g;数据采集速率:200 pps;两次压缩之间的间隔为 5.0 s。

1.2.7 巯基含量的测定 主要试剂的配制:Tris-Gly 缓冲液(pH8.0):称取 10.4 g Tris,6.9 g 甘氨酸,1.2 g EDTA,加蒸馏水定容至 1000 mL,用 0.1 mol/L 的 HCl 调 pH 至 8.0;8 mol/L Urea 溶液:在 Tris-Gly 缓冲液中加入 480.48 g 尿素;Ellman's 试剂(4 mg/mL):称量 400 mg DTNB(5,5'-二硫双-2-硝基苯甲酸),加 Tris-Gly 缓冲液定容至 100 mL。

测定方法<sup>[11]</sup>:取上述制备好的面团放入-70℃ 冰箱。4 h 后取出,撕掉表面的塑料膜,在冷冻干燥机中冷冻干燥 36 h,磨粉、过筛后在 4℃ 下保存备用。称取 150 mg 过筛样品,用 1 mL Tris-Gly 缓冲溶液混匀后加 4.7 g 盐酸胍,用缓冲溶液定容至 10 mL,室温下在摇床中振荡 30 min。吸取 1 mL 样品液,加入 5 mL 8 mol/L Urea 溶液,再加入 0.04 mL Ellman's 试剂,迅速混合后在 25℃ 下保温避光反应 30 min,用分光光度计测定在 412 nm 下吸光度值( $A_{412}$ ),同时测定空白值(以蒸馏水代替样品测定)。每个样品测定 3 组,取平均值为最终结果。

巯基含量计算公式如下。

$$\text{SH 含量}(\mu\text{mol/g}) = 73.53 A_{412} \times D/C$$

式中, $A_{412}$ 为 $\lambda=412$  nm 下吸光度值;D 为稀释系数,这里 D=6.04;C 为样品的最终浓度,mg/mL。

### 1.3 数据处理

数据应用 SPSS 18.0 和 ORIGIN 8.5 软件进行统计分析。其中,显著性分析采用 Duncan 检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 壳聚糖对面团面筋含量的影响

不同壳聚糖添加量的混合粉面筋特性测定结果如表 2 所示。由表 2 可知,随壳聚糖添加量的增加,混合粉的湿面筋含量、干面筋含量呈升高趋势。在壳聚糖添加量为 1.6% 时,分别增加 5.66%、1.46%,面筋指数下降 25.94%。湿面筋含量的增加原因在于,壳聚糖与面筋结合较为紧密,在洗面筋过程中,壳聚糖能够保留在面筋网络结构中,干面筋含量的增加进一步证实了这一点。面筋指数降低,表明面

表2 壳聚糖对面团面筋含量的影响

Table 2 Effect of chitosan on gluten content of dough

壳聚糖添加量(%)	湿面筋含量(%)	干面筋含量(%)	面筋指数	面筋持水率(%)
0	28.80 ± 0.26 <sup>a</sup>	9.30 ± 0.05 <sup>a</sup>	65.40 ± 0.85 <sup>d</sup>	67.7 ± 0.01 <sup>a</sup>
0.4	30.36 ± 0.52 <sup>b</sup>	9.56 ± 0.14 <sup>b</sup>	54.16 ± 0.34 <sup>c</sup>	68.5 ± 0.02 <sup>a</sup>
0.8	32.10 ± 0.35 <sup>c</sup>	9.86 ± 0.33 <sup>c</sup>	44.33 ± 0.04 <sup>b</sup>	68.5 ± 0.00 <sup>a</sup>
1.2	31.80 ± 0.45 <sup>c</sup>	9.83 ± 0.67 <sup>c</sup>	35.16 ± 0.09 <sup>a</sup>	68.7 ± 0.01 <sup>a</sup>
1.6	34.46 ± 0.43 <sup>d</sup>	10.76 ± 0.67 <sup>d</sup>	39.46 ± 0.07 <sup>ab</sup>	68.2 ± 0.01 <sup>a</sup>

注:不同字母表示同列数据差异显著( $p < 0.05$ )。

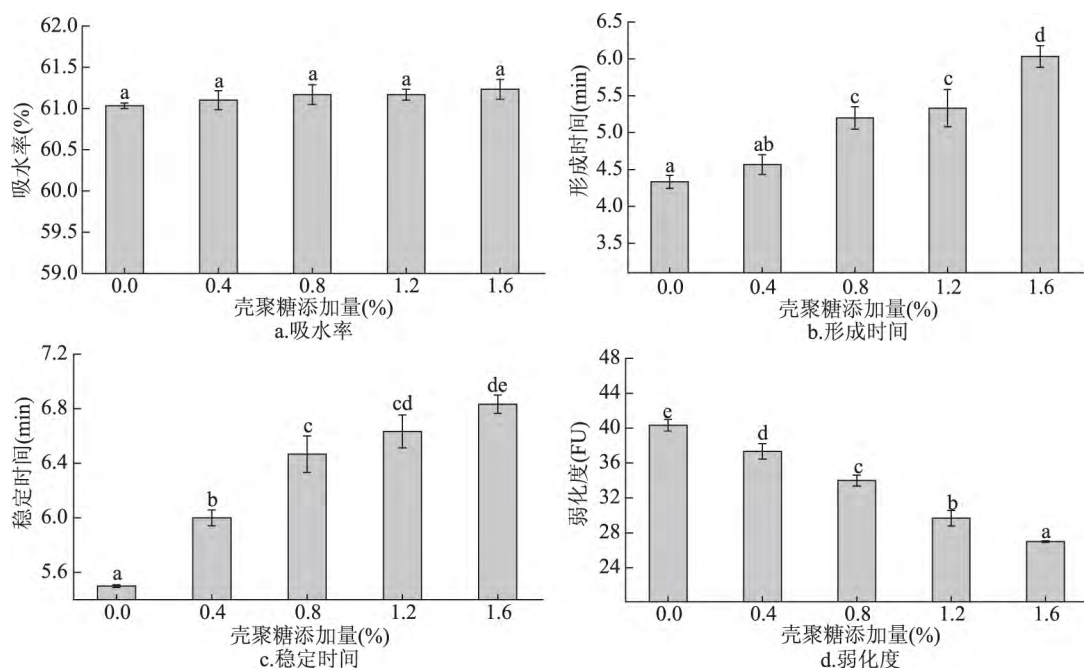


图1 壳聚糖对小麦面团粉质特性的影响

Fig.1 Effect of chitosan on farinograph properties of dough

注: 不同字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

筋筋力变弱,说明壳聚糖的添加对面筋网络结构有一定的破坏作用。

## 2.2 壳聚糖对面团粉质特性的影响

如图1所示,壳聚糖添加量在0~1.6%范围内,小麦面团吸水率变化不显著。随着壳聚糖添加量的增大,面团形成时间逐渐增加,在添加量为1.6%时,较对照组增加1.7 min,相比增长45%。面团稳定时间反映的是面团耐受机械搅拌的能力,面团的稳定时间长,说明面团的筋力强。根据GB/T 17892-1999,一等强筋小麦的面团稳定时间 $\geq 10$  min,二等强筋小麦的面团稳定时间 $\geq 7$  min,当添加1.6%的壳聚糖时,面团稳定时间为6.8 min,即接近二等强筋粉的指标。面团弱化度在0~1.6%添加量时逐渐降低,在添加量为1.6%时,相比对照组减少13 FU,说明面团筋强度增加,与面筋特性测定结果相反。Ahmed等<sup>[12]</sup>研究表明,添加不溶性膳食纤维会使面团混合特性和稳定性提高,与本文粉质结果相似。这是由于壳聚糖具有较强的吸湿性,导致面筋的吸水速度减慢,延长了面筋网络结构的形成时间,且添加量越大,形成时间越长;弱化度的降低原因在于,壳聚糖在面团中同样起到吸附淀粉的作用,且不易被机械搅拌破坏其结构,进而延长了面团的稳定时间,而非增强了面筋强度。张佩芳等<sup>[13]</sup>研究发现,壳聚糖在酸性条件下能够快速凝结淀粉颗粒,表明壳聚糖在面团中吸附淀粉颗粒的作用是确实存在的。

## 2.3 壳聚糖对面团拉伸特性的影响

将各小麦粉面团经45、90、135 min醒发后,其拉伸特性的测定结果见图2所示。

与未添加壳聚糖的对照组相比,相同的醒发时间下,随着壳聚糖添加量的增加,拉伸阻力呈先增后减的趋势,在壳聚糖添加量为0.8%时,拉伸阻力达

到最大,分别为339、422、449 BU。在醒发时间为45、90 min时,最大拉伸阻力随壳聚糖添加量增大,呈明显的先增后减的趋势,同样在添加量为0.8%时达到最大,分别为428、528 BU;但在135 min时,随壳聚糖添加量的变化无明显差别,原因可能在于,醒发90 min时,适量的壳聚糖在面团中充分吸水膨胀,填充在面筋网络结构中,使面团更加牢固,但壳聚糖添加量过多时,反而对面筋有破坏作用。Rubel等<sup>[14]</sup>认为,将纤维素添加到面粉中会对淀粉-谷蛋白结合物造成破坏,由此使面团拉伸阻力和最大拉伸阻力下降,与本文结果一致。醒发135 min时,醒发对面团的影响超过壳聚糖对面团的影响,面筋网络结构充分形成,因此最大拉伸阻力受壳聚糖添加量影响不大。相同醒发时间时,壳聚糖添加量在0~1.6%范围内,延伸度逐渐降低。拉伸曲线面积在醒发45 min时,随壳聚糖添加量增大,呈先升后降的趋势,最大为86 cm<sup>2</sup>。面团拉伸曲线面积越大,表明面筋筋力越强;醒发90、135 min时,面团拉伸曲线面积随壳聚糖添加量增大,呈微弱的降低趋势,说明过量的壳聚糖依然对面筋形成造成不利的影响,但醒发时间对面团拉伸面积的影响更大。

## 2.4 壳聚糖对面团动态流变特性的影响

动态流变仪可以测定物质的粘弹性质,频率扫描是在恒定温度条件下改变频率的动态流变学测量,可获得物质的弹性模量( $G'$ )和粘性模量( $G''$ )随振荡频率的变化情况,能提供某些材料分子结构方面的信息。由图3可以看出,随着壳聚糖添加量的增加,面团的 $G'$ 和 $G''$ 均逐渐升高,说明壳聚糖的加入使得面团的粘弹性增加,面团的机械强度增大,与粉质结果相同。损耗角正切 $\tan\delta = G''/G'$ ,当 $\tan\delta < 1$ 时,材料的性质类似于固体;反之,当 $\tan\delta > 1$ 时,材



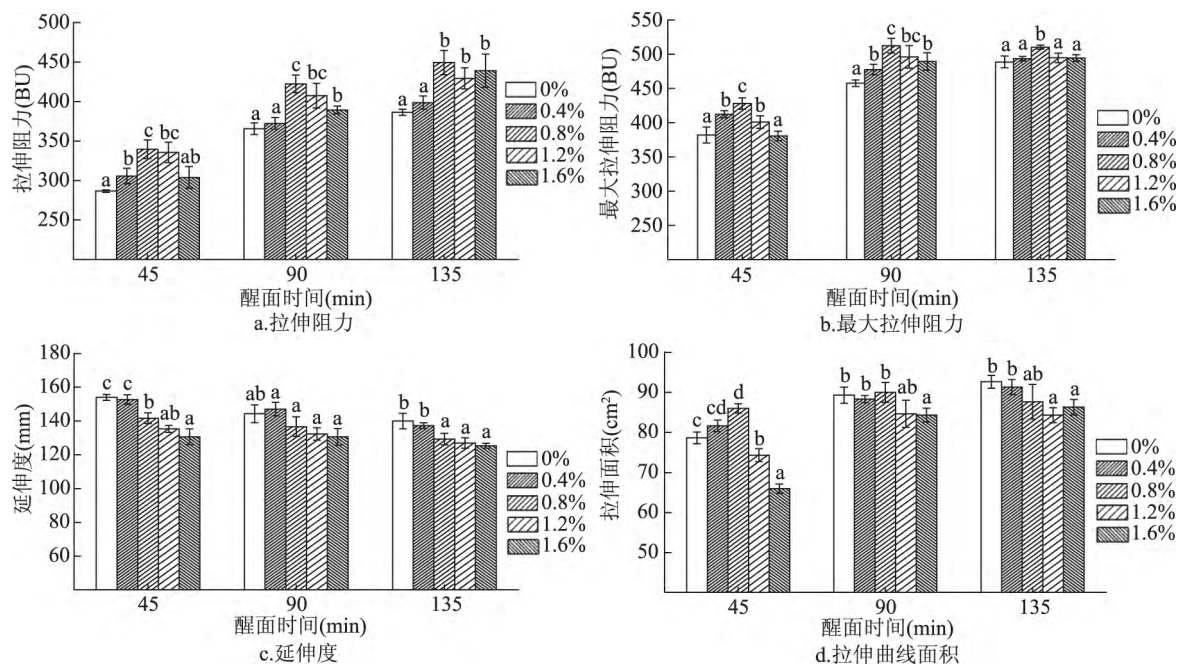


图2 壳聚糖对小麦面团拉伸特性的影响

Fig.2 Effect of chitosan on extensibility properties of dough

注: 图中不同小写字母表示相同醒发时间条件下差异显著 ( $p < 0.05$ )。

料性质类似于流体或粘性系统。 $\tan\delta$  值越小, 表明样品组分中高聚物的数量越多或聚合度越大, 反之则聚合度低的分子占的比例高, 因此可从  $\tan\delta$  值的变化大致推断出样品组分中高聚物组成的变化<sup>[15]</sup>。由图3可知, 加入壳聚糖后, 面团的弹性模量和粘性模量变化趋势与对照组一致, 均随着振动频率的增加而增大, 且随壳聚糖添加量的增加而增加, 说明壳聚糖的加入使面团的粘弹性增加。 $\tan\delta$  均小于1, 说明面团的弹性比粘性更大, 具有类似固体的性质, 且  $\tan\delta$  随壳聚糖添加量的增加而降低, 说明面团中的聚合物含量增加。Bonnandducasse 等<sup>[16]</sup> 研究表明, 添加水不溶性膳食纤维会使面团的粘弹性提高。除此之外, 在面团形成过程中, 壳聚糖与面团中的蛋白质、淀粉可能存在复杂的相互作用, 导致面团粘弹性增加。壳聚糖还有一定的溶胀能力, 能够增强面团的持水性, Nirmala 等<sup>[17]</sup> 和 Sonar 等<sup>[18]</sup> 认为, 物质持水性的增强有助于其粘弹性的提高, 因此壳聚糖的添加能够使面团的粘弹性增加。

## 2.5 壳聚糖对面团质构特性的影响

硬度和咀嚼性是衡量面制品品质的两个重要指标, 在一定范围内, 硬度和咀嚼性越小, 面团越柔软, 面筋形成程度和弹性越差。由表3可知, 与对照组相比, 随着壳聚糖添加量的增加, 面团的硬度和咀嚼性增大, 面团弹性增大, 与动态流变实验结果一致。另一方面, 硬度和咀嚼性增加意味着面筋形成程度增加, 与粉质实验结果一致, 但结合2.1中, 面筋指数下降, 又说明添加壳聚糖会破坏面筋形成, 原因归咎于壳聚糖本身的粘附性和持水性。面团本身是一个弱酸性的环境, pH 在5.2~5.6之间, 适量的壳聚糖在面团中会发生氨基质子化反应, 形成粘稠、滑腻的形态, 具备一定的增稠性质<sup>[19]</sup>。

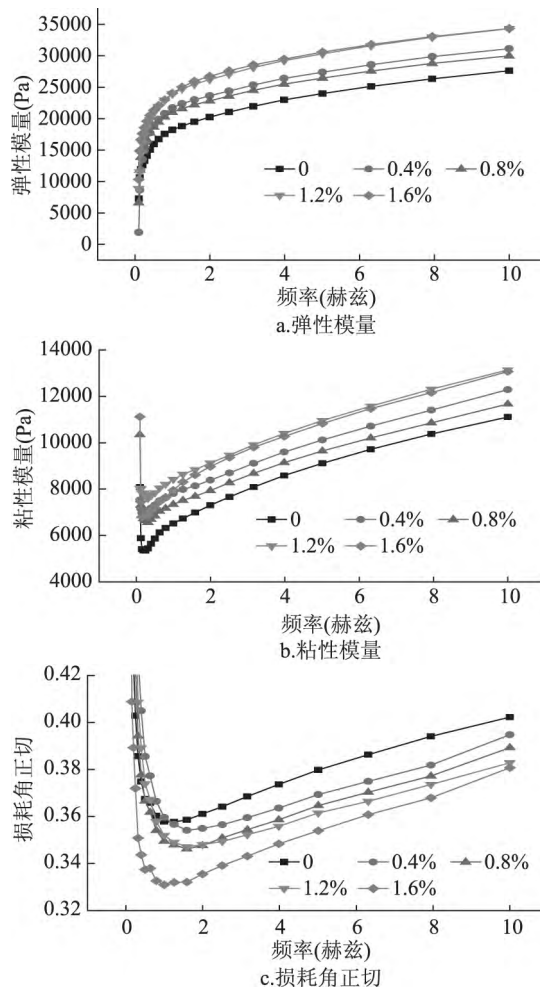


图3 壳聚糖对小麦面团动态流变特性的影响

Fig.3 Effect of chitosan on dynamic rheological properties of dough

表3 壳聚糖对面团质构特性的影响

Table 3 Effect of chitosan on textural properties of dough

参数	壳聚糖添加量(%)				
	0	0.4	0.8	1.2	1.6
硬度(N)	538.43 ± 14.44 <sup>a</sup>	567.51 ± 16.36 <sup>b</sup>	570.31 ± 15.34 <sup>b</sup>	603.45 ± 18.57 <sup>c</sup>	698.85 ± 11.62 <sup>d</sup>
弹性	0.27 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.29 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.35 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.41 ± 0.03 <sup>c</sup>
胶黏性(N)	185.14 ± 5.56 <sup>a</sup>	210.16 ± 4.78 <sup>ab</sup>	197.45 ± 5.34 <sup>ab</sup>	236.74 ± 6.66 <sup>c</sup>	255.61 ± 4.37 <sup>d</sup>
咀嚼性(mJ)	51.07 ± 1.51 <sup>a</sup>	56.67 ± 2.01 <sup>b</sup>	51.95 ± 1.77 <sup>a</sup>	66.32 ± 2.43 <sup>c</sup>	70.20 ± 2.11 <sup>d</sup>
粘附性(mJ)	5.61 ± 0.31 <sup>c</sup>	3.25 ± 0.23 <sup>b</sup>	2.77 ± 0.44 <sup>b</sup>	6.04 ± 0.27 <sup>c</sup>	2.23 ± 0.27 <sup>a</sup>

## 2.6 壳聚糖对面团游离巯基含量的影响

巯基和二硫键在面粉的改良中被认为是影响面筋强度、面粉质量以及面团流变学特性的关键因素。由图4可知,巯基含量随壳聚糖添加量的增加无显著差异( $p > 0.05$ ),说明壳聚糖的加入没有对巯基氧化形成二硫键所需的化学环境产生影响。进一步分析认为,当添加少量壳聚糖时,不溶的壳聚糖能够镶嵌在面筋网络之中,同时部分质子化的壳聚糖又具备一定的增稠能力,能够使面团结构更加稳定。在添加量超过0.8%时,面筋中无法容纳大量的大颗粒壳聚糖,从而对面团稳定性产生负面影响,而物理因素对巯基含量无明显作用。

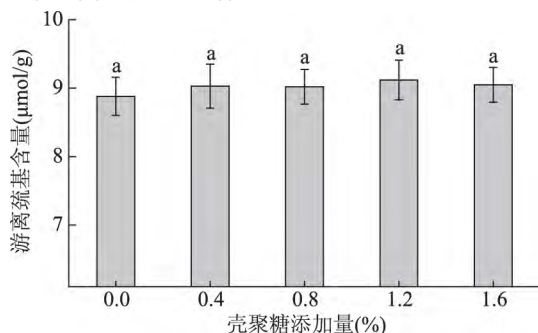


图4 壳聚糖对小麦面团巯基含量的影响

Fig.4 Effect of chitosan on content of SH of middle-gluten dough

## 3 结论

壳聚糖对小麦面团的面筋含量、粉质特性、拉伸特性、动态流变特性、质构特性均有明显的影响,其作用因壳聚糖添加量而异。面筋含量测定结果显示,壳聚糖添加量为1.6%时,面筋指数下降25.94%,湿面筋含量和干面筋含量分别增加5.66%、1.46%,原因在于,大部分壳聚糖颗粒被截留在面筋结构中,阻止面筋形成,从而到达破坏结构的作用。粉质结果显示,添加壳聚可改善面团品质,且随着添加量的增加,面团形成时间、稳定时间不断上升,添加量为1.6%时,分别增加1.7、1.3 min,面团弱化度降低13 FU。原因在于,壳聚糖的高吸湿性导致面筋蛋白吸水速度降低,致使形成时间增加。同时壳聚糖发生氨基质子化反应,具有吸附淀粉颗粒的能力,使面团耐机械搅拌能力增强,进而增加稳定时间,降低弱化度。壳聚糖添加量在0.8%时,面团拉伸特性最佳,继续增加添加壳聚糖,使拉伸特性变差。质构结果显示,面团的硬度和咀嚼性增大,面团弹性增大,与动态流变实验结果一致。巯基含量随壳聚糖添加

量增加无显著差异( $p > 0.05$ )。综合来看,壳聚糖的最适添加量为0.8%。

## 参考文献

- [1]陈孝,王光瑞.我国小麦品质改良的发展方向[J].植物杂志,2000(6):16-17.
- [2]Mudgil D,Barak S,Khatkar B S.Effect of partially hydrolyzed guar gum on pasting,thermo-mechanical and rheological properties of wheat dough[J].International Journal of Biological Macromolecules,2016,93(Pt A):131-135.
- [3]邢亚楠,刘锐,张影全,等.食用胶对小麦粉面团流变学特性的影响[J].麦类作物学报,2015,35(3):413-419.
- [4]钱建亚,丁霖霖.大豆膳食纤维对面团流变性质的影响[J].无锡轻工大学学报,1996(3):199-204.
- [5]苏东民,丁雁鑫,苏东海.不同木聚糖酶对小麦面团流变性质的影响[J].中国农学通报,2013(12):206-211.
- [6]王霞,张天亮,周惠明.微胶囊化葡萄糖氧化酶对面团氧化作用研究[J].中国粮油学报,2012,27(7):17-21.
- [7]王月慧.壳聚糖的生理活性和在食品工业中的应用[J].山东食品发酵,2005(1):13-16.
- [8]苗利军.壳聚糖在食品工业中的应用研究进展[J].农业工程,2014,4(4):89-90.
- [9]王霞,钱海峰,周惠明,等.葡萄糖氧化酶和戊聚糖酶对面团流变学性质的影响[J].中国粮油学报,2009,24(4):17-22.
- [10]崔丽琴,崔素萍,马平,等.豆渣粉对小麦面团、馒头质构特性及馒头品质的影响[J].食品科学,2014,35(5):85-88.
- [11]丁艳芳.小麦胚对面团形成及面制品品质的影响研究[D].郑州:河南工业大学,2013.
- [12]Ahmed J,Almusallam A S,Al-Salman F,et al.Rheological properties of water insoluble date fiber incorporated wheat flour dough[J].LWT-Food Science and Technology,2013,51(2):409-416.
- [13]张佩芳,倪哲明.脱乙酰甲壳质处理含淀粉废水的试验[J].环境污染与防治,1990(3):22-23.
- [14]Rubel I A,Pérez E E,Manrique G D,et al.Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: Effect on dough rheology and bread quality[J].Food Structure,2015,3:21-29.
- [15]黄莲燕,王红娜,张小爽,等.燕麦麸皮添加量对面团流变特性及面筋蛋白结构的影响[J].食品工业科技,2018,39(6):71-76,91.
- [16]Bonnandducasse M,Della V G,Lefebvre J,et al.Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties[J].Journal of Cereal Science,2010,52(2):200-206.

(下转第40页)

加工处理,与未热处理的生南极磷虾虾糜相比,蒸煮南极磷虾虾糜、蒸煮液以及烘炒后的南极磷虾虾糜中三甲胺的挥发性程度均有较大幅度升高,这一结果与电子鼻实验保持一致。

2.2.6 呋喃类化合物的变化 呋喃类化合物,由脂肪酸的氧化作用生成,也可以通过 Heyns 化合物(或 Amadori 化合物)通过 1,2-烯醇化途径产生<sup>[23]</sup>,是肉类食品加工过程中重要的添加剂。一般呈现出甜香、坚果香、焦糖香和水果香,对食品风味的形成有重要贡献,另外含硫呋喃类化合物呈现肉香,呋喃类化合物阈值非常低<sup>[24]</sup>,对烘炒后南极磷虾虾糜的风味形成有重要影响作用。

### 3 结论

南极磷虾虾糜热处理前后挥发性成分组成复杂:主要有醛类、酮类、酯类、醇类、酚类、酸类、呋喃类、含氮化合物、烃类及吡嗪类等。未经热处理的生南极磷虾虾糜直接用于食品的生产加工,会给产品带来令人不悦的风味。经热加工处理后,青草味、肥皂味、脂肪味、刺激性风味骤减,并通过烘炒处理产生烘烤香味和肉香味风味物质。实验认为蒸煮和烘炒等热加工预处理方式在一定程度上可以去除南极磷虾虾糜的不良风味:挤压蒸煮后南极磷虾虾糜的水分得到的样品,可去除青草味、肥皂味、脂肪味、刺激性气味;烘炒蒸熟的南极磷虾虾糜,会产生大量的吡嗪类物质,赋予南极磷虾虾糜浓郁的烘烤香味和肉香味,克服南极磷虾虾糜在加工过程中的不良风味影响。在未来的南极磷虾风味制品加工中,可考虑先将南极磷虾虾糜进行蒸煮并去除水分,再进行烘炒等预处理操作,可以为制品提供烘烤香味、肉香味等风味,改善制品的风味。

### 参考文献

- [1] 燕梦雅,陈雪忠,刘志东,等.南极磷虾来源酶的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(9):368-373.
- [2] 王南平,何兰,曹俊,等.南极磷虾的特性和利用[J].水产科技情报,2012,39(3):128-131.
- [3] 李明杰,姜国良,赫佳明.南极磷虾肽制备工艺优化及抗氧化测定[J].食品工业科技,2012,33(3):279-282.
- [4] Atkinson A, Siegel V, Pakhomov E A, et al. A re-appraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill [J]. Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers, 2009, 56(5):727-740.
- [5] 张晓燕,刘楠,朱兰兰,等.响应面法优化南极磷虾壳中虾青素提取条件的研究[J].食品工业科技,2012,33(23):222-225.

- [6] 孙雷,周德庆,盛晓风.南极磷虾营养评价与安全性研究[J].渔业科学进展,2008,29(2):57-64.
- [7] 丁浩宸,李栋芳,张燕平,等.南极磷虾虾仁与4种海虾虾仁挥发性风味成分对比[J].食品与发酵工业,2013,39(10):57-62.
- [8] 毕丽君,高宏岩.电子鼻(EN)及其在多领域中的应用[J].医学信息,2006,19(7):1283-1286.
- [9] Gliszczynska-Swiglo A, Chmielewski J. Electronic Nose as a tool for monitoring the authenticity of food: a review [J]. Food Analytical Methods, 2016:1-17.
- [10] 李来好,丁丽丽,吴燕燕,等.咸鱼中的挥发性风味成分[J].水产学报,2012,36(6):979-988.
- [11] 许刚,丁浩宸,张燕平,等.南极磷虾头胸部和腹部挥发性风味成分对比[J].食品科学,2014,35(22):146-149.
- [12] Warinda V, Thomas C, Hsieh. Volatile flavor components from boiled crayfish tail meat [J]. Food Science, 1988(53):1966-1969.
- [13] 张迪.美拉德反应改良南极磷虾酶解产物风味的研究[D].湛江:广东海洋大学,2016.
- [14] 张青.淡水鱼鱼肉中气味活性物质的鉴定[D].上海:上海海洋大学,2008.
- [15] 潘见,杨俊杰,朱双杰,等.4种不同品质猪肉香气的差异[J].食品科学,2014,35(6):133-136.
- [16] 丁浩宸,李栋芳,张燕平,等.南极磷虾肉糜对海水鱼糜制品挥发性风味成分的影响[J].食品与发酵工业,2015,41(2):53-62.
- [17] 孙宝国.食用调香术[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [18] 孟绍凤.虾风味的分析和虾风味基料的制备[D].无锡:江南大学,2006.
- [19] Laetitia T, Pascal T, Nathalie K, et al. Analysis of the volatile profile and identification of odour-active compounds in Bayonne ham [J]. Meat Science, 2010, 85(3):453-460.
- [20] Drumm T D, Spanier A M. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1991, 39(2):336-343.
- [21] 陈美花.美拉德反应改良马氏珠母贝酶法提取物风味的研究[D].湛江:广东海洋大学,2010.
- [22] Vejaphan W, Hsieh C Y, Williams S S. Volatile flavor components from boiled Crayfish (*Procambarus clarkii*) tail meat [J]. Journal of Food Science, 1988, 53(6):1666-1670.
- [23] 宋焕禄.食品风味化学[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [24] Shahidi F.肉制品与水产品的风味[M].北京:中国轻工业出版社,2001.

(上接第35页)

- [17] Nirmala C, Bisht M S, Laishram M. Bioactive compounds in bamboo shoots: Health benefits and prospects for developing functional foods [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49(6):1425-1431.
- [18] Sonar N R, Halami P M. Phenotypic identification and

- technological attributes of native lactic acid bacteria present in fermented bamboo shoot products from North-East India [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(12):4143.
- [19] 李星科.壳聚糖的增稠、乳化性质及机制研究[D].江苏:江南大学,2011.