

# 蛋白酶对韧性饼干品质的改良作用

## Study on the effect of protease on the quality of biscuits

姚晓丹<sup>1</sup> 徐学明<sup>1,2</sup> 吴凤凤<sup>1</sup> 周星<sup>1</sup>

YAO Xiao-dan<sup>1</sup> XU Xue-ming<sup>1,2</sup> WU Feng-feng<sup>1</sup> ZHOU Xing<sup>1</sup>

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

**摘要:**在低筋粉中分别添加不同比例的木瓜蛋白酶(PAP)、中性蛋白酶(NEP)、菠萝蛋白酶(BRP)制作饼干,以添加焦亚硫酸钠(SMS)和半胱氨酸(CYS)的饼干为对照,将比容、质构、色度作为评价指标,研究不同蛋白酶对饼干品质的改良作用及差异。试验结果表明,3种蛋白酶均能增大饼干比容、改良饼干质构,且PAP的效果最优。当添加量相同时,PAP对饼干品质的提升效果优于SMS与CYS,NEP与BRP效果弱于SMS对照组,但优于CYS对照组。面团流变、面粉溶剂保留率、面筋蛋白分子量分布研究表明蛋白酶添加改良饼干品质的主要原因是酶有效降低了面筋蛋白中谷蛋白大分子聚合体的含量,从而弱化了面筋,与SMS或CYS弱化面筋的方式存在本质差异。

**关键词:**饼干;蛋白酶;品质改良;面筋蛋白

**Abstract:** The effect of Papaya protease(PAP), Neutral protease (NEP) and Bromelain protease(BRP) on the qualities of biscuit with different dosages were studied on specific volume, texture and color of hard biscuit compared with the addition of Sodium metabisulfite (SMS) and cysteine(CYS), respectively. The results showed that all the 3 proteases could improve the specific volume, texture of biscuit. With the same amount of addition, PAP has the best effect of improving the qualities of biscuit than SMS and CYS. NEP and BRP were weaker than SMS, but better than CYS. It was found that degradation of glutenin macromolecule polymer in gluten was the major factor to weaken the gluten and improve the quality of biscuit for the proteases' addition after the parameters of dough rheology, flour solvent retention capacity(SRC) and gluten protein molecular weight

distribution. were determined. Essential differences between the proteases and the chemical additives in the way to weaken the gluten were found.

**Keywords:** biscuit; protease; quality improvement; gluten

韧性饼干的糖油含量约占面粉量的40%,产品形状多样,表面平整光滑,口感较松脆、耐咀嚼。由于中国使用的低筋粉筋力较强,易使饼干变形,口感坚硬,高品质的饼干通常难以制作<sup>[1]</sup>,因此饼干企业会在加工过程中使用焦亚硫酸钠(SMS)、半胱氨酸(CYS)和蛋白酶等添加剂弱化面筋,改善饼干品质<sup>[2]</sup>。焦亚硫酸钠与半胱氨酸具有还原性,在饼干中的应用已有较长历史,两者都存在明显缺陷。焦亚硫酸钠会破坏饼干中的B族维生素,抑制褐变反应,使得产品颜色发白影响美观。此外,焦亚硫酸钠还存在健康隐患,研究<sup>[2]</sup>发现焦亚硫酸钠会诱发人体哮喘、过敏反应且残留的SO<sub>2</sub>与癌症的发生有相关性。而半胱氨酸相比焦亚硫酸钠,虽然没有副作用,但价格昂贵,会大幅提高企业成本。酶制剂相比前两者,价格适中,无副作用,符合市场清洁标签的健康趋势,具有明显优势。

关于酶制剂在饼干中的应用研究已有多年历史,Kara等<sup>[3]</sup>曾发现蛋白酶可以提高曲奇饼干的延展性,减小其密度。陆晓滨等<sup>[4]</sup>发现中性蛋白酶可以降低韧性饼干的断裂率。但目前针对不同酶制剂对饼干品质影响的对比研究以及机理探究较少。毛永甫等<sup>[5]</sup>曾探究过菠萝蛋白酶与SMS对韧性面团的作用差异,发现蛋白酶在提升饼干的膨松度及折损强度方面的效果更优于焦亚硫酸钠,但未对菠萝蛋白酶与SMS改善饼干品质的机理进行比较研究。本试验拟研究不同蛋白酶与SMS、CYS对饼干品质的影响差异,并通过测定面团流变特性、面筋蛋白分子量分布探究蛋白酶与化学添加剂改善饼干品质的机理,为酶制剂的应用推广提供理论依据。

**基金项目:**“十三五”国家重点研发计划子课题(编号:2016YFD0400701);国家重点基础研究发展计划(973计划)(编号:201513003)

**作者简介:**姚晓丹,女,江南大学在读硕士研究生。

**通信作者:**徐学明(1968—),男,江南大学教授,博士生导师,博士。

E-mail: xmxubest@126.com

**收稿日期:**2017-11-28

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

低筋粉:益海嘉里有限责任公司;

大豆油、绵白糖:无锡欧尚超市;

木瓜蛋白酶:2 600 U/mg,重庆骄王天然产物股份有限公司;

菠萝蛋白酶:240 U/mg,重庆骄王天然产物股份有限公司;

中性蛋白酶 Neutrase 1.5 MG:150 U/mg,诺维信中国生物技术有限公司;

焦亚硫酸钠:博宇化工有限公司;

半胱氨酸:广州恩轩朗邦化工有限公司;

十二烷基硫酸钠(SDS)、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠:分析纯,国药化学试剂上海有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

压面机:JMTD168型,北京东孚久恒仪器技术公司;

物性分析仪:TA.XTPlus型,英国SMS公司;

烤箱:BOD-102型,新麦机械(无锡)有限公司;

流变仪:DHR-3型,美国沃特世公司;

高效液相色谱仪:LC-20AT型,日本岛津公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 饼干配方与制作方法

(1) 饼干配方:饼干配料见表1。

表1 饼干配料表

Table 1 Biscuits' Ingredients list g

低筋粉	水	大豆油	绵白糖	小苏打	碳酸氢铵	食盐
100.0	20.0	20.0	20.0	0.5	0.7	1.0

(2) 饼干制作方法:称取适量豆油、绵白糖、食盐、小苏打、碳酸氢铵、蛋白酶或化学添加剂(以粉基计)加入50℃温水中,搅拌至完全溶解,加入面粉,和面1~2 min至揉匀成团,静置30 min。依次调节延压距离辊至4,3,2 mm,将面团压至2 mm的面片,压模,放入烤箱烘烤10 min。烤箱温度为上火200℃,下火190℃。

1.2.2 酶处理小麦粉的制备 分别称取20 mg蛋白酶或化学添加剂至50℃的40 mL水中,混合均匀,再加入100 g面粉,揉成面团,静置30 min后,冷冻干燥,磨成粉过100目筛备用。

1.2.3 饼干中二氧化硫残留量的测定 按GB 5009.34—2016《食品中二氧化硫的测定》中第一法执行。

#### 1.2.4 饼干特性的测定

(1) 饼干比容的测定:根据李娟<sup>[6]</sup>的方法修改如下,将饼干冷却至室温后,整齐叠加5片饼干,利用游标卡尺对高度、宽度、长度进行测量,测量3次取平均值,测出其体积。按式(1)计算比容。

$$SV = \frac{V}{M}, \quad (1)$$

式中:

SV——比容,cm<sup>3</sup>/g;

V——体积,cm<sup>3</sup>;

M——质量,g。

(2) 饼干质构的测定:根据贾瑜<sup>[7]</sup>的方法修改如下,将饼干冷却至室温后,用质构仪测定饼干硬度、脆性、酥性的变化。测定条件:TA探头型号P/2;测试前、中、后速率分别为5.00,2.00,5.00 mm/s;感应力5 g。每个样品至少重复3次取平均值。

1.2.5 饼干色度的测定 饼干烤制后在室温下冷却2 h,使用高精度分光测色仪测定。测定光源D65,色空间选用L\*、a\*、b\*。每个样品平行测定3次,结果取平均值。

1.2.6 面团流变特性的测定 分别取不同酶处理的面粉加水揉成面团备用。测试条件:探头为P20 mm;板间距2 mm;应变0.1%;扫描频率0.1~10.0 Hz。

1.2.7 小麦粉溶剂保留率(Solvent Retention Capacity, SRC)的测定 按AACCI(56-11.02,2010)执行。

1.2.8 面筋蛋白分子量分布测定 取10 mg冻干面团样品溶于1 mL 2% SDS的PBS缓冲液(0.05 mol/L,pH 6.8)中,萃取3 h后离心(5 000×g,4℃,5 min)取上清液。色谱条件:分析柱为Shodex Protein KW-804,流动相为0.2% SDS的PBS缓冲液。上样量20 μL,柱温30℃,流速0.7 mL/min,检测器为紫外检测器,检测波长214 nm<sup>[8]</sup>。

### 1.3 数据处理

差异显著性分析用SPSS 18.0软件,图形使用Origin 8.5软件分析,显著性分析取P<0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 蛋白酶对韧性饼干比容的影响

比容是评价饼干品质的重要指标。比容大,质地疏松,内部气孔分布均匀是优质饼干的主要特征。由表2可知,随着添加量的增加,各组饼干的比容都呈增大趋势。在SMS与CYS对照组中,添加150 mg/kg SMS组的饼干比容值最大,相比空白组提高了32.5%。与化学添加剂的对照组相比,添加50 mg/kg的木瓜蛋白酶后,饼干比容即可达到2.22,相比空白提高了48.2%,超过添加SMS与CYS组的最大值。而在菠萝蛋白酶组中,当添加量为250 mg/kg时,比容值不再发生明显变化,为2.28,小于木瓜蛋白酶组,但优于化学添加剂的对照组。中性蛋白酶组的比容在350 mg/kg添加量以前小于SMS组与CYS组,当添加量达到350 mg/kg时,比容增大至2.20且大于SMS与CYS组。木瓜蛋白酶对于饼干比容的提升效果最明显,达到与化学添加剂组相同比容时所需剂量更小,仅为SMS的1/3。基于SMS在饼干中的添加量存在限制,根据方法1.2.3测定饼干中的SO<sub>2</sub>残留量发现,SMS添加量为350 mg/kg时,饼干中SO<sub>2</sub>残留量超过GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》的限定值,但为了探究酶制剂改良饼干的最佳添加量,仍保留350 mg/kg的SMS对照组,此剂量仅为试验参考所需。

表 2 蛋白酶和化学添加剂剂量对饼干比容的影响<sup>†</sup>

Table 2 Effect of protease and chemical additives on specific volume with different dosages respectively

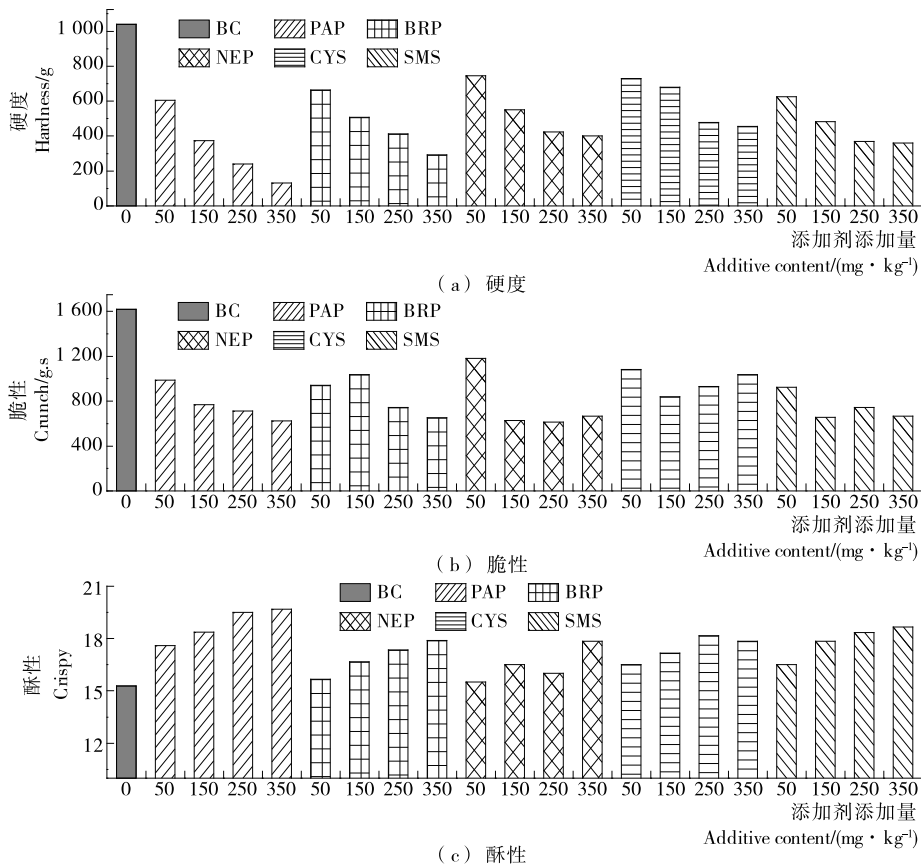
添加量/(mg · kg <sup>-1</sup> )	PAP	BRP	NEP	CYS	SMS
0	1.66 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.66 ± 0.03 <sup>a</sup>
50	2.22 ± 0.09 <sup>b</sup>	2.00 ± 0.11 <sup>b</sup>	1.67 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.74 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.16 ± 0.04 <sup>b</sup>
150	2.43 ± 0.04 <sup>c</sup>	2.12 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.74 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.87 ± 0.03 <sup>c</sup>	2.20 ± 0.07 <sup>b</sup>
250	2.46 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.27 ± 0.07 <sup>c</sup>	2.19 ± 0.02 <sup>c</sup>	2.20 ± 0.01 <sup>d</sup>	2.17 ± 0.06 <sup>b</sup>
350	2.46 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.28 ± 0.05 <sup>c</sup>	2.20 ± 0.01 <sup>c</sup>	2.16 ± 0.01 <sup>e</sup>	2.18 ± 0.03 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> SMS 表示添加焦亚硫酸钠的韧性饼干;CYS 表示添加半胱氨酸的韧性饼干;PAP 表示添加木瓜蛋白酶的韧性饼干;BRP 表示添加菠萝蛋白酶的韧性饼干;NEP 表示添加中性蛋白酶的韧性饼干;同列不同字母表示组间存在显著性差异(P<0.05)。

2.2 蛋白酶对韧性饼干质构的影响

饼干烘烤受热时,添加的碳酸氢铵、小苏打会受热分解产生二氧化碳气体,面筋形成的网络结构能够包裹这些气体,使得饼干体积增大,高度增高<sup>[9]</sup>。然而面粉的筋力过强会导致面团过于紧实,限制饼干的膨胀,造成饼干体积过小,口感硬实。高品质的韧性饼干应具有较小的硬度以及酥松的口感<sup>[10]</sup>。选取硬度、脆性和酥性来表征饼干的质构参数<sup>[7]</sup>。不同剂量蛋白酶对饼干质构的影响见图 1。图 1 表明,添加 3 种蛋白酶与化学添加剂后,随着剂量的增加,饼干的硬度和脆性都呈明显下降趋势。一般来说,饼干的硬度越低,脆性越低,两者具有相关性<sup>[7]</sup>。当添加量相同时,5 组饼干的硬度从小到大分别是:PAP 组<SMS 组<BRP 组<NEP 组<CYS 组。由此可得:相同添加量下,3 种蛋白酶对

于降低饼干硬度的效果均优于 CYS,PAP 的效果强于 SMS 组,而 BRP 组与 NEP 组效果则弱于 SMS 组。在 50~350 mg/kg 时,3 组添加蛋白酶的饼干脆性都小于 CYS 组。PAP 的脆性小于 SMS 组,BRP 与 NEP 的脆性大于 SMS 组。因此,PAP 对于改善饼干的硬度与脆性效果最显著。酥性也是评价饼干品质的重要指标之一。由图 1 可知,随着 3 种蛋白酶添加量的增加,饼干的酥性都得到提升,其中,达到相同水平的酥性值时,PAP 的添加量最小。当添加量为 350 mg/kg 时,PAP 组的酥性大于 CYS 组与 SMS 组,BRP 组与 NEP 组的酥性略小于 CYS 组与 SMS 组。综合质构数据可得,PAP 是 5 种饼干改良剂中效果最佳的添加剂,当其添加量为 350 mg/kg 时,饼干的硬度相对空白下降 87.3%,脆性下降 61.4%,酥性提升 17.0%。



BC 表示空白对照的韧性饼干;SMS 表示添加焦亚硫酸钠的韧性饼干;CYS 表示添加半胱氨酸的韧性饼干;PAP 表示添加木瓜蛋白酶的韧性饼干;BRP 表示添加菠萝蛋白酶的韧性饼干;NEP 表示添加中性蛋白酶的韧性饼干

图 1 蛋白酶和化学添加剂剂量对饼干质构的影响

Figure 1 Effect of protease and chemical additives on texture with different dosages respectively

2.3 蛋白酶对饼干色度的影响

表3是蛋白酶与化学添加剂对饼干色度的影响,  $L^*$  为亮度(0为黑色, 100为白色),  $+a^*$  为红,  $-a^*$  为绿,  $+b^*$  为黄,  $-b^*$  为蓝<sup>[11]</sup>。在试验所用添加量下, 添加 SMS 后饼干的亮度与空白样品无明显差异。添加 200 mg/kg NEP 的亮度略高于其他试验组。蛋白酶对饼干的红绿值没有明显影响。添加了酶制剂与化学添加剂后, 饼干的黄度都出现略微下降, 添加 BRP 的试验组黄度下降最多。总体上看, 蛋白酶对饼干颜色的影响较小。

表3 蛋白酶与化学添加剂对饼干色度的影响<sup>†</sup>

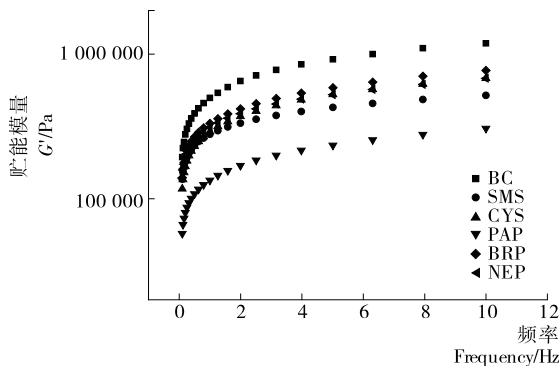
Table 3 Effect of protease and chemical additives on chroma of cookies

组别	$L^*$	$a^*$	$b^*$
BC组	85.85±0.50 <sup>ac</sup>	9.50±0.50 <sup>a</sup>	36.60±0.22 <sup>a</sup>
200 mg/kg PAP	84.71±0.61 <sup>b</sup>	9.59±0.63 <sup>a</sup>	34.98±0.13 <sup>b</sup>
200 mg/kg BRP	86.44±0.43 <sup>c</sup>	9.14±0.45 <sup>a</sup>	35.48±0.27 <sup>c</sup>
200 mg/kg NEP	87.76±0.10 <sup>d</sup>	8.93±0.78 <sup>a</sup>	34.90±0.23 <sup>b</sup>
200 mg/kg SMS	85.15±0.62 <sup>ab</sup>	9.20±0.48 <sup>a</sup>	35.02±0.10 <sup>b</sup>
200 mg/kg CYS	84.27±0.31 <sup>b</sup>	9.22±0.52 <sup>a</sup>	34.59±0.43 <sup>b</sup>

† BC表示空白对照的韧性饼干; SMS表示添加焦亚硫酸钠的韧性饼干; CYS表示添加半胱氨酸的韧性饼干; PAP表示添加木瓜蛋白酶的韧性饼干; BRP表示添加菠萝蛋白酶的韧性饼干; NEP表示添加中性蛋白酶的韧性饼干; 同列不同字母表示组间存在显著性差异( $P<0.05$ )。

2.4 蛋白酶对面团流变特性的影响

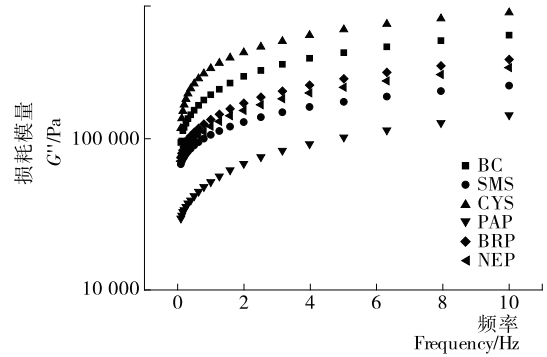
面团的流变性能可在一定程度上决定产品的最终品质<sup>[12]</sup>。图2、3描述了添加不同蛋白酶和化学添加剂后面团的  $G'$  和  $G''$  随振荡频率变化关系图。储能模量( $G'$ )和损耗模量( $G''$ )为流变仪的2个主要参数值。 $G'$ 是指储存在物质中的或经过一个震动周期的正弦形变后所恢复的能量, 它代表物质的弹性本质。面团流变试验结果表明, 添加了3种蛋白



BC表示空白对照的韧性饼干; SMS表示添加焦亚硫酸钠的韧性饼干; CYS表示添加半胱氨酸的韧性饼干; PAP表示添加木瓜蛋白酶的韧性饼干; BRP表示添加菠萝蛋白酶的韧性饼干; NEP表示添加中性蛋白酶的韧性饼干

图2 不同添加剂对面团  $G'$  值的影响

Figure 2 Effect of different additives on  $G'$  in dough rheological properties



BC表示空白对照的韧性饼干; SMS表示添加焦亚硫酸钠的韧性饼干; CYS表示添加半胱氨酸的韧性饼干; PAP表示添加木瓜蛋白酶的韧性饼干; BRP表示添加菠萝蛋白酶的韧性饼干; NEP表示添加中性蛋白酶的韧性饼干

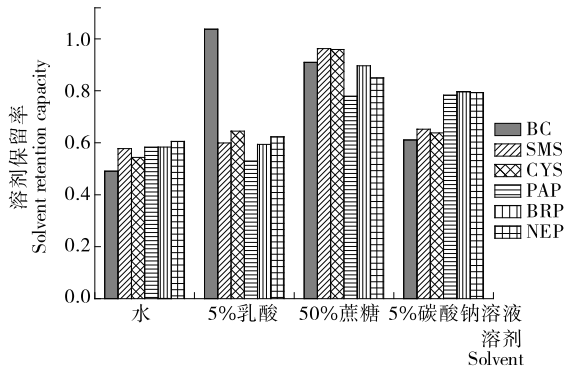
图3 不同添加剂对面团  $G''$  值的影响

Figure 3 Effect of different additives on  $G''$  in dough rheological properties

酶后面团的  $G'$  出现明显下降, 说明面团的弹性减小, 面筋筋力弱化。而5组曲线中, 添加 PAP 的面团值  $G'$  最小, 说明其弱化的程度最大。面团的筋力是影响饼干品质的重要因素, 在一定范围内, 面团的筋力越小, 对应饼干的比容越大, 硬度和脆性越小, 酥性越大, 所得饼干的品质越好。Lefebvre等<sup>[13]</sup>认为面团的弹性与面筋蛋白中谷蛋白聚合体的含量存在正相关性, 聚合度越高的谷蛋白其  $G'$  也越高。添加蛋白酶后面团  $G'$  值下降, 说明面团中的谷蛋白聚合体含量下降。 $G''$  是指每个周期的正弦形变所消耗或损失的能量, 它代表的是物质的黏性本质, 故也称黏性模量。 $G' > G''$ , 物体表现为固体性质;  $G' < G''$  则表明物体表现为流体性质<sup>[14]</sup>。随着蛋白酶的添加, 面团的  $G'$  与  $G''$  差值变小, 说明其弹性减小, 黏性增强<sup>[15]</sup>。

2.5 蛋白酶对小麦粉溶剂保留率(SRC)的影响

SRC值是指面粉的溶剂保留率, 通过测定 SRC 值, 可以有效地预测面粉的流变特性和产品品质特性<sup>[16]</sup>。由图4可知, 添加3种蛋白酶后面粉的水 SRC 值、碳酸钠溶液 SRC 值都略微上升, 蔗糖溶液 SRC 值下降, 乳酸 SRC 值明显下降。4种不同溶剂的 SRC 值中, 乳酸 SRC 值的试验组与空白组的差距最大。这是因为乳酸的 SRC 值与面粉中麦谷蛋白的特性有关, 谷蛋白含量越小, 乳酸 SRC 值越小<sup>[17]</sup>。蛋白酶加入弱化了面筋结构, 减少了面粉中谷蛋白聚合体的含量, 导致乳酸的 SRC 值出现明显下降。PAP 组的乳酸 SRC 值最小, 表明 PAP 酶解后小麦粉中的谷蛋白聚合体含量最小, 该发现与前面流变试验的趋势一致。因此 PAP 弱化面筋的效果最明显。碳酸钠溶液 SRC 值与破损淀粉含量存在正相关, 3组蛋白酶的碳酸钠 SRC 值均出现上升, 推测原因可能是蛋白酶破坏了淀粉表面的颗粒结合蛋白, 使淀粉更容易损伤, 导致碳酸钠 SRC 值上升<sup>[18]</sup>。3组蛋白酶的水 SRC 值上升也能说明这一现象。水的 SRC 值代表面粉的吸水力, SRC 值上升说明面粉吸水力变强。酶解小麦粉后, 面粉中的谷蛋白聚合体含量下降, 吸水力应减弱<sup>[19]</sup>。但面粉中淀粉表面的



BC 表示空白对照的韧性饼干;SMS 表示添加焦亚硫酸钠的韧性饼干;CYS 表示添加半胱氨酸的韧性饼干;PAP 表示添加木瓜蛋白酶的韧性饼干;BRP 表示添加菠萝蛋白酶的韧性饼干;NEP 表示添加中性蛋白酶的韧性饼干

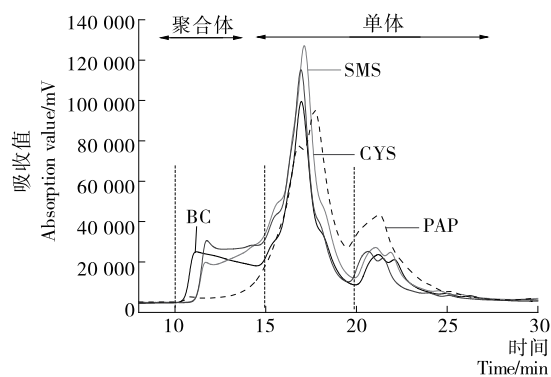
图 4 添加剂对面粉溶剂保留率的影响

Figure 4 Effect of different additives on flour solvent retention rate

颗粒结合蛋白被破坏后会导致淀粉的吸水性增强<sup>[20]</sup>,因此宏观表现为吸水力变强,面粉的水 SRC 值增大。

### 2.6 蛋白酶对面筋蛋白分子量分布的影响

分子排阻色谱从分子量分布角度进一步说明了蛋白酶与化学添加剂对面筋蛋白的不同影响。分子排阻色谱能够将面筋蛋白大致分为 3 个峰区,按分子量大小分别为谷蛋白聚合物( $M_w$  为 91 000~688 000)、单体谷蛋白与醇溶蛋白( $M_w$  为 16 000~91 000)和肽链及氨基酸( $M_w < 10 000$ )<sup>[21]</sup>。由图 5 可以看出,添加了 SMS 与 CYS 的面团中,谷蛋白聚合体的含量较空白变化不明显。而经过 PAP 酶解处理后的面团中,谷蛋白聚合物处的峰几乎消失,肽链及氨基酸峰明显增高,即面团中谷蛋白大分子聚合体的含量显著减小,肽链及氨基酸等小分子含量增加。说明蛋白酶将面团中的谷蛋白大分子降解成为了分子量更小的肽链或氨基酸,从而降低了面团的弹性,使饼干不会收缩。而 SMS 与 CYS 的降解更可能是谷蛋白与醇溶蛋白之间的二硫键,对



BC 表示空白对照的韧性饼干;SMS 表示添加焦亚硫酸钠的韧性饼干;CYS 表示添加半胱氨酸的韧性饼干;PAP 表示添加木瓜蛋白酶的韧性饼干

图 5 添加剂对面筋蛋白分子量分布的影响

Figure 5 Effect of different additives on the molecular weight distribution of gluten protein

团中谷蛋白聚合体的含量没有明显影响,与蛋白酶弱化面筋的方式存在本质差异<sup>[22]</sup>。

### 3 结论

蛋白酶 PAP、BRP、NEP 均能增大饼干比容、降低饼干的硬度与脆性,提高饼干的酥性,改善其质构,但对于饼干的颜色则无显著影响。当达到相同水平的比容大小与质构时,PAP 的添加量为 3 种蛋白酶中最小,且小于 SMS 与 CYS 2 种化学添加剂。面团流变、面粉 SRC 值以及面筋蛋白分子量试验发现蛋白酶与化学添加剂均使得面团的弹性下降,但蛋白酶使得面团中谷蛋白大分子聚合体的含量显著减少,化学添加剂对其含量则无明显影响,两者弱化面筋的方式存在本质差异。本研究仅在蛋白分子分布角度对蛋白酶改善韧性饼干品质的机理做了探究,未来还可对其做进一步探讨,例如研究谷蛋白大分子的具体含量与饼干品质的相关性。

### 参考文献

- [1] MA Feng-yun, BAIK B K. Soft wheat quality characteristics required for making baking powder biscuits[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 127-133.
- [2] 邢静亚. 蚕豆粉-小麦粉面团流变特性分析及其韧性饼干配方优化[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016: 5-6.
- [3] KARA M, SIVRI D, KÖKSEL H. Effects of high protease-activity flours and commercial proteases on cookie quality[J]. Food Research International, 2005, 38(5): 479-486.
- [4] 陆晓滨, 耿建华, 李敬龙. 中性蛋白酶对抑制韧性饼干自然断裂的影响[J]. 食品工业科技, 2003(3): 19-21.
- [5] 毛永甫. 饼干制造中蛋白酶的利用[J]. 食品工业, 1991(2): 29.
- [6] 李娟. 全麦苏打饼干烘焙品质改良以及水分迁移机制的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 16-17.
- [7] 贾瑜. 韧性饼干力学特性及质地评价的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2010: 28-32.
- [8] LAGRAIN B, BRIJS K, VERAVERBEKE W S, et al. The impact of heating and cooling on the physico-chemical properties of wheat gluten-water suspensions[J]. Journal of Cereal Science, 2005, 42(3): 327-333.
- [9] MOORE T S B. Basic cracker technology: Ingredients and formulation[J]. American Institute of Baking, 2008, 2 008a(4): 1-9.
- [10] 黄婷玉. 焙烤食品组分与面筋质构的关系及应用[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015: 36-38.
- [11] BAJAJ S, UROOJ A, PRABHASANKAR P. Effect of Incorporation of Mint on Texture, Colour and Sensory Parameters of Biscuits[J]. International Journal of Food Properties, 2006, 9(4): 691-700.
- [12] 王沛. 冷冻面团中小麦面筋蛋白品质劣变机理及改良研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 1-52.
- [13] LEFEBVRE J, MAHMOUDI N. The pattern of the linear viscoelastic behaviour of wheat flour dough as delineated from the effects of water content and high molecular weight glutenin subunits composition[J]. Journal of Cereal Science, 2007, 45(1): 49-58.

(下转第 48 页)

酸荧光强度均有下降,表明均有蛋白质的氧化情况发生。其中紫苏油和橄榄油乳状液发生了大幅度的下降,棕榈油下降程度较小,而葵花籽油的变化程度介于紫苏油和橄榄油之间。上述不同体系的蛋白氧化结果与图 5、6 中脂肪氧化结果相一致,表明乳状液中蛋白质氧化和脂质氧化之间具有相关性。这一结论与仇超颖<sup>[10]</sup><sup>34-35</sup>在脱酰胺醇溶蛋白乳状液的氧化稳定性研究结果相近。

### 3 结论

本试验制备了以 4 种植物油(葵花籽油、紫苏油、橄榄油、棕榈油)为油相的乳化体系,探究不同植物油乳状体系的性质。结果发现,紫苏油乳状液的  $D_{4.3}$  最小, $\zeta$ -电位绝对值最高,呈现良好的物理稳定性;但由于油相中有较高的不饱和脂肪酸,乳液氧化稳定性最差。棕榈油含有较多的饱和脂肪酸,体系表现出良好的氧化稳定性,但其  $D_{4.3}$  在 4 种乳状液中最大, $\zeta$ -电位绝对值最低,导致其物理稳定性较差。通过对贮存过程中乳状液油脂氧化程度和蛋白氧化程度的分析,发现二者存在着一定的相关性,一般来说,体系油脂氧化程度越高,其相应的蛋白氧化程度也越显著。

#### 参考文献

- [1] FALKEBORG M, GUO Zheng. Dodecyl succinylated alginate (DSA) as a novel dual-function emulsifier for improved fish oil-in-water emulsions[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 46(4): 10-18.
- [2] 余辉, 陈洁, 代衍峰. 大豆油乳状液体系氧化稳定性影响因素的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(2): 43-46.
- [3] 陈先鑫, 马晓宇, 朱雯婷, 等. 乳清蛋白乳液界面性质及其物理稳定性和氧化稳定性的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(4): 155-164.
- [4] 邵云. 大豆蛋白稳定乳状液的物化性质及油脂氧化稳定性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 11-13.
- [5] TANG Chuan-he, CHOI Siu-mei, MA Ching-yun. Study of thermal properties and heat-induced denaturation and aggregation of soy proteins by modulated differential scanning calorimetry[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2007, 40(2): 96-104.
- [6] 李群英, 廖红梅, 方正, 等. 牛至精油-白藜芦醇乳液的制备及抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 110-120.
- [7] PUPPO M C, BEAUMAL V, SPERONI F, et al.  $\beta$ -Conglycinin and glycinin soybean protein emulsions treated by combined temperature-high-pressure treatment[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(18): 389-397.
- [8] WAN Zhi-li, WANG Jin-mei, WANG Li-ying, et al. Complexation of resveratrol with soy protein and its improvement on oxidative stability of corn oil/water emulsions [J]. Food Chemistry, 2014, 161(6): 324-331.
- [9] 程菁菁. WPI 与表面活性剂相互作用对水包核桃油乳液的影响[D]. 西安: 陕西科技大学, 2015: 14-16.
- [10] 仇超颖. 脱酰胺小麦醇溶蛋白结构、界面性质及其乳浊液稳定性的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [11] 沈兰, 王昌盛, 唐传核. 高压微射流处理对大豆分离蛋白构象及功能特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 33(3): 72-76.
- [12] 王金梅, 夏宁, 杨娟, 等. 天然和热处理大豆蛋白稳定乳状液的性质研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(9): 16-20
- [13] 陈振家, 郝利平. pH 值和离子强度对大豆分离蛋白功能特性的影响[J]. 农产品加工·学刊, 2008(4): 8-12.
- [14] SHAO Yun, TANG Chuan-he. Characteristics and oxidative stability of soy protein-stabilized oil-in-water emulsions; Influence of ionic strength and heat pretreatment[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 37(2): 149-158.
- [15] HORN A F, NIELSEN N S, ANDERSEN U, et al. Oxidative stability of 70% fish oil-in-water emulsions: Impact of emulsifiers and pH[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2011, 113(10): 1 243-1 257.
- [16] RAMPON V, LETHUAUT L, MOUHOUS-RIOU N, et al. Interface characterization and aging of bovine serum albumin stabilized oil-in-water emulsions as revealed by front-surface fluorescence[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(26): 4 046-4 051.
- [17] ESTEVEZ M, KYLLI P, PUOLANNE E, et al. Fluorescence spectroscopy as a novel approach for the assessment of myofibrillar protein oxidation in oil-in-water emulsions[J]. Meat Science, 2008, 80(32): 1 290-1 296.
- [18] 吴桂玲. 脂类和颗粒结合蛋白对小麦 A、B 淀粉颗粒结构及理化性能的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015: 1-40.
- [19] WIESER H. Chemistry of gluten proteins[J]. Food Microbiol, 2007, 24(2): 115-119.
- [20] 陶晗. 小麦淀粉在冻藏过程中品质劣变机理及其对面团品质影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 1-18.
- [21] KHATKAR B S, BARAK S, MUDGIL D. Effects of gliadin addition on the rheological, microscopic and thermal characteristics of wheat gluten[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 53(2): 38-41.
- [22] 石林凡, 陈洁, 王远辉. 焦亚硫酸钠对拉面面团延伸性影响的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2015(2): 37-41.

(上接第 43 页)

- [14] SONG Yi-hu, QIANG Zheng-ga. Dynamic rheological properties of wheat flour dough and proteins[J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 18(3): 132-138.
- [15] SINGH S, SINGH N. Relationship of polymeric proteins and empirical dough rheology with dynamic rheology of dough and gluten from different wheat varieties[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33(2): 342-348.
- [16] 张勇, 张晓, 郭杰. 软质小麦溶剂保持力关联分析[J]. 作物学报, 2015(2): 251-258.
- [17] 刘晓菲. 配方面粉和小麦籽粒不同层次面粉理化特性及其饼干加工品质研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014: 1-50.