

酶制剂对全麦馒头面团水相溶液理化性质的影响

Effects of enzyme on physicochemical properties of dough liquor extracted from whole wheat Mantou dough

江志坚¹ 刘丽娅² 丁岚² 周素梅² 王立¹

JIANG Zhi-jian¹ LIU Li-ya² DING Lan² ZHOU Su-mei² WANG Li¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193)

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

2. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

摘要:从单一戊聚糖酶(Pn)、葡萄糖氧化酶(Gox)以及双酶复合引起的面团水相理化特性变化层面揭示酶制剂对馒头品质的改良机制。结果表明:Pn和Gox均促进了面团水相溶液得率的提高,水相溶液中的蛋白和戊聚糖含量发生了显著的变化,气泡粒径大小和稳定性得到了显著的改善,界面蛋白吸附膜质地更为致密。Pn或Gox引起的面团水相溶液理化性质的变化,尤其是泡沫稳定性的改善,是全麦馒头比容增大、硬度减小、形成更加均匀和细腻的内部结构的重要原因之一。

关键词:全麦馒头;面团水相;戊聚糖酶;葡萄糖氧化酶

Abstract: The improved mechanism of steamed bread quality by pentosanase(Pn), glucose oxidase (Gox) and complex enzymes was revealed according to the changes in physicochemical characteristics of the dough liquor. The results showed that both Pn and Gox promoted the yield of the dough liquor, the contents of protein and pentosan in the dough liquor changed significantly, the foaming stability and particle size were significantly improved, and the adsorption membrane of protein became dense in texture. The change of the physicochemical properties of the dough liquor caused by Pn or Gox, especially the improvement of foaming stability, may be one of the important reasons for the increase of the specific volume, the decrease of hardness, and the formation of a more uniform and delicate internal structure of whole wheat Mantou.

Keywords: whole wheat Mantou; dough liquor; pentosanase; glucose oxidase

阿拉伯木聚糖(AX)是存在于小麦细胞壁中的一种非淀

粉、非纤维多糖,占全麦粉的6%~8%。根据溶解性,AX分为可溶性阿拉伯木聚糖(WEAX)和不可溶阿拉伯木聚糖(WUAX)。前人^[1]研究表明,AX并不是普通的“惰性”纤维基质,它具有高吸水性、高黏弹性以及氧化凝胶等功能特性,对小麦面团、面制品品质有着重要影响。戊聚糖酶(Pn)是一种 β -1,4-D-戊聚糖内切酶,其对面包品质改良作用早在20世纪90年代就得到公认。实践证明,戊聚糖酶具有提高面团机械加工性能,增大面包体积及延缓面包老化等功能^[2]。谢洁等^[3]研究显示在含8%麸皮的全麦馒头中添加Gox能够使馒头结构松软,口感更加细腻,更富有弹性。

质构是发酵面制品最重要的品质特性之一,均一旦细腻的气室结构是衡量其品质优劣的关键因素。大量研究^[4]表明发酵面制品的质构特性,尤其是产品内部气室结构主要与面筋网络的流变学性质相关。此外,面团气体分散相与面筋网络半固态连续相基质之间存在黏弹性薄层液膜结构^[5]。该液膜结构起源于面团水相,富含可溶性蛋白、WEAX等水溶性物质,液膜结构对面团调质时气体的渗透、发酵和醒发期间气泡的膨胀、以及面团焙烤过程中气泡黏弹性具有不同程度的影响。最新的研究^[6]表明,面团水相体系是形成薄层液膜的物质基础,因此将其作为研究液膜性质的理想材料。

面团水相体系中富含WEAX,AX相关酶制剂Pn、Gox能对水相组成及性质产生不同程度的影响。然而,Pn、Gox对面制品改良作用是否与面团水相性质改变有关尚不清楚。本实验室前期研究了Pn和Gox单一或协同作用全麦馒头品质的变化,并从酶制剂对面筋网络结构的调控角度揭示了改良机制。本研究旨在从酶制剂引起的面团水相溶液理化性质变化层面,通过研究全麦面团水相溶液物质组成,面团水相溶液泡沫稳定性、微观形貌等理化特性的变化,进一步补充完善基于AX酶法改性的全麦馒头品质改良机制。

基金项目:国家自然科学基金(编号:31571768,31471679,31471617)

作者简介:江志坚,男,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:王立(1978—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: wl0519@163.com

收稿日期:2017-12-03

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

小麦籽粒:津强,北京古船食品有限公司;

低糖高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;

葡萄糖氧化酶(GLUZYME Mono 10000 BG):
10 000 GODU/g,诺维信生物技术有限公司;

戊聚糖酶(Pentopan Mono BG):2 500 FXU(W)/g,诺维信生物技术有限公司;

其他试剂均为分析纯。

1.1.2 主要仪器设备

旋风磨:CT410型,福斯赛诺分析仪器苏州有限公司;

磨粉机:LRMM 8040-3-D型,布勒粮食检验仪器无锡有限公司;

粉筛:LFS-30型,布勒粮食检验仪器无锡有限公司;

凯氏定氮仪:KJE LTEC2300型,丹麦Foss公司;

紫外可见分光光度计:UV-1201型,北京瑞利分析仪器有限公司;

和面机:KENWOOD(major classic)型,邑隆贸易(上海)有限公司;

面团成型机:JXCZ型,北京东孚久恒仪器技术有限公司;

电蒸锅:ZN28YK807-150型,浙江苏泊尔家电制造有限公司;

质构仪:TA-XT 2i/5型,英国Stable Micro System公司;

多重光散射稳定分析仪(Turbiscan Lab):Thermo型,法国Formulaction公司;

超高速冷冻离心机:CP100WX型,日本HITACHI公司;

激光共聚焦显微镜:LSM 710/780 NLO型,德国卡尔蔡司有限公司;

原子力显微镜:Park NX10型,美国斯坦福Park Systems公司;

图像分析仪(C-Cell):DYT260型,英国Calibre公司;

LB(Langmuir-Blodgett)膜分析仪:RWYE6型,瑞典Biolin公司。

1.2 方法

1.2.1 全麦粉的制备 小麦籽粒经磨制得麸皮和白面粉。麸皮经130℃烘箱2h,去除内源酶的影响。热处理后的麸皮经旋风磨粉碎制得80目细麸,按原始比例回添至面粉中制得全麦粉。全麦粉中粗纤维、粗蛋白和戊聚糖含量的测定分别按GB/T 5009.10—2003、GB/T 5009.5—2010、NY/T 2335—2013执行,测定值依次为(2.10±0.01)%、(13.80±0.09)%、(9.58±0.12)%。

1.2.2 全麦馒头的制备 参考文献[7]并作适当修改。250g全麦粉和1%酵母加入和面机中,加入适量的酶制剂后混合均匀,缓慢加入70%的蒸馏水,加水过程中用筷子搅

拌至絮状。开启和面机最小档搅拌约1min使絮状面粉形成面团,再开启和面机至“1”档,连续和面10min。将制备好的全麦面团放置到相对湿度85%、温度34℃的发酵箱中发酵40min。发酵完成的面团分割成4份,每份约70g,利用面团成型机压片20次后手工搓圆成5cm高的面团,再将制成的面团放置到相对湿度85%、温度34℃发酵箱中醒发18min。醒发完成的面团放置到煮沸的电蒸锅上蒸煮20min,取出馒头放置室温冷却1h,测定其品质特性。酶制剂Pn、Gox添加量分别为60μg/g(Pn60)和40μg/g(Gox40),以及2种添加量的复合(Pn60+Gox40),并以不添加酶制剂的全麦面团为空白对照组(Control)。

1.2.3 全麦馒头比容及质构的测定 比容测定参考邓路璐^[8]的方法,采用菜籽置换法测定全麦馒头的体积。准确称取馒头的质量,将馒头置于圆柱型容器中用菜籽掩埋并压实,铺平表面记录体积,拿出馒头后记录此时体积,按式(1)计算比容。

$$c = \frac{V_1 - V_2}{m}, \quad (1)$$

式中:

c ——比容,cm³/g;

V_1 ——圆柱型容器体积,cm³;

V_2 ——拿出馒头后菜籽总体积,cm³;

m ——馒头的质量,g。

质构测定参考杨炜等^[7]的方法。使用电动面包刀切割全麦馒头成20mm的薄片,质构仪进行TPA测试。测试参数:探头P/36R,测前、测试、测后速度均1.00mm/s,测试距离50%,触发类型Auto,间隔时间5s,起点感应力5g。多次重复试验,扣除异常数据,取平均值。

1.2.4 全麦馒头气孔数的测定 参考白凯旭^[9]28-29的方法,采用C-Cell图像分析仪对全麦馒头的气孔数量及结构进行测定。采用电动面包刀将全麦馒头切片(约10mm),取中间2片放置C-Cell图像分析仪样品盒中进行拍照测定。

1.2.5 全麦面团水相的制备 按照全麦馒头制备过程制备出全麦面团,参考Salt等^[10]的方法,采用超高速离心分离得到面团水相。取一定量的面团装满10mL PA离心管中,转子选用P40st号,离心力为180 000×g,温度25℃,离心90min。离心后的第2层液体为面团水相,第1层为油脂漂浮在水相上,吸取第2层的面团水相并弃去上层的油脂及下层的淀粉筋等。

1.2.6 面团水相成分的测定 水相中蛋白及戊聚糖含量的测定分别按GB/T 5009.5—2010、NY/T 2335—2013执行。

1.2.7 面团水相起泡性质的测定 面团水相泡沫粒径的测定参考Christian等^[11]的方法,利用Turbiscan Lab稳定分析仪来测定。稀释面团水相8倍,准确移取8mL的稀释面团水相置于分析仪配备的测试玻璃瓶中,高速分散器(10 000 r/min)均质1min后迅速送入分析仪中进行测定。分析仪测定的参数为:多次扫描模式,扫描时间30min,扫描间隔15s,样品室温度为25,60℃,样品重复试验2次。

面团水相泡沫稳定性的测定参考Duan等^[12]的方法并

略微修改。样品前处理与泡沫粒径测定相同,将高速分散器均质后的稀释面团水相迅速转移到 25 mL 的量筒中,读取体积 V_1 ,在 20 °C 下放置 30 min 后读取体积 V_2 ,按式(2)计算面团水相泡沫稳定性。

$$W = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

W ——泡沫稳定性, %;

V_1 ——水相均质后的体积, cm^3/g ;

V_2 ——均质水相放置 30 min 后的体积, cm^3/g 。

1.2.8 面团水相 Langmuir-Blodgett(LB)膜的制备 参考李雯露^[13]的方法并略微改动,采用 Langmuir-Blodgett 膜分析仪制备面团水相的 LB 膜。亚相为蒸馏水,分析仪每次使用前都用无水乙醇清洗完再用超纯水冲洗 2 次。用微量注射器吸取 120 μL 稀释 120 倍的面团水相滴加到水面上,控制挡板压膜的速度为 10 mm/min, Wilhelmy 吊片式天平监测膜的表面压,测量精度 0.1 mN/m,以 20 mm/min 的速度使用垂直提膜法将单分子膜转移到新云母基片上。

1.2.9 LB 膜原子力显微镜(AFM)的观测 采用原子力显微镜(AFM)对 LB 膜的形貌学进行观察,参考袁春波等^[14]的方法并略微改动。在室温下进行观测,采用最大扫描线度 0.7 μm 的扫描头,力弹性系数 0.1 N/m,扫描频率 60 Hz。

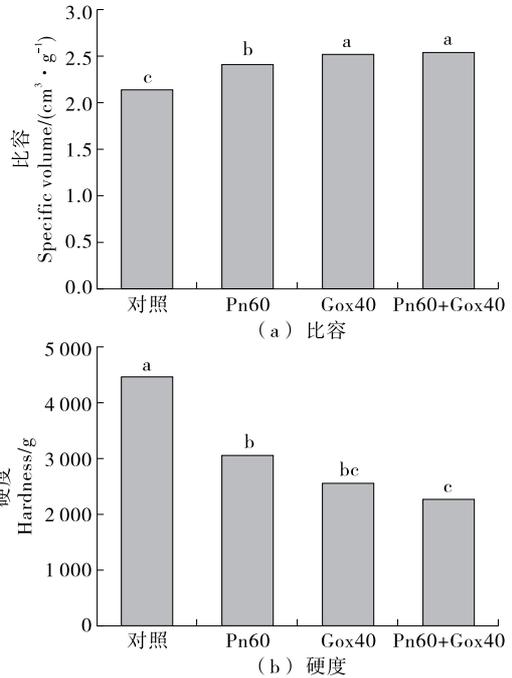
1.2.10 LB 膜激光共聚焦显微镜(CLSM)的观测 采用蔡司激光共聚焦显微镜(CLSM)对 LB 膜内蛋白与多糖的分布进行观测,参考 McCann 等^[15]的方法并略微改动。制备 0.01% 的异硫氰酸(FITC)和 0.01% 的罗丹明 B 染色液分别对多糖和蛋白进行染色。添加 2~3 滴 FITC 和罗丹明 B 染色液到稀释 8 倍的面团水相中,1 h 后进行 LB 膜的提拉,在 20 \times 0.7 的油镜下进行观察, FITC 的激光激发波长为 488 nm,罗丹明 B 的激光激发波长为 543 nm。

1.2.11 数据分析 使用统计软件 Origin 8.0 和 SPSS 21.0 分析数据。单因素方差分析(One-Way ANOVA), $P < 0.05$ 则认为有统计学显著差异。

2 结果与分析

2.1 酶制剂对全麦馒头比容及硬度的影响

Shah 等^[16]研究表明添加 Pn 能增加全麦面包的比容,其硬度、黏性和咀嚼性发生降低,面包的口感大幅度增加。严晓鹏^[17]研究显示添加适量的戊聚糖酶能够增加面团的延展性,面包的体积也得到显著增大,面包质构得到改善,面包心更加均匀。刘燕琪等^[18]研究表明添加葡萄糖氧化酶(Gox)能增强面团的网络结构,面团的持气性、韧性和弹性都显著增加。Si^[19]研究发现面团的乳化效果在添加 Gox 后显著增强,面团的持气性和面包体积都有所增加,能延缓面包的老化。图 1 显示了添加 Pn、Gox 及 Pn-Gox 复合下对全麦馒头比容及硬度的影响,发现添加 60 $\mu\text{g}/\text{g}$ Pn(Pn60)全麦馒头的比容增加 13.4%,且硬度降低 31.7%;添加 40 $\mu\text{g}/\text{g}$ Gox(Gox40)全麦馒头的比容增加 18.5%,硬度降低 42.5%;在复合添加(60 $\mu\text{g}/\text{g}$ Pn60+40 $\mu\text{g}/\text{g}$ Gox40, Pn60+Gox40)情况下全麦馒头的比容增加 19.1%,硬度降低 48.7%。



不同字母表示有显著差异($P < 0.05$)

图 1 酶对全麦馒头比容和硬度的影响

Figure 1 Effect of enzymes on the specific volume and hardness of whole wheat Mantou

2.2 酶制剂对全麦馒头气孔结构的影响

表 1 是 C-Cell 图像分析仪对馒头切片的图像处理和分析得到的关于馒头内部气孔数量及结构等信息。图 2 是利用 C-Cell 图像分析仪拍下的全麦馒头内部气孔结构截面图,能够更加清楚地观察到馒头内部气孔的分布情况。切片面积与比容的大小呈正比,表 1 结果显示 Gox、Pn 的添加都显著增加了切片面积,且复合添加增加最大,这与比容的变化结果一致。孔壁厚度是表征发酵制品细腻程度的重要指标,孔壁厚度越低,发酵制品细腻程度越高^{[9][31]},表 1 结果显示,添加 Pn 和 Gox 均能显著降低全麦馒头气孔的孔壁厚度,表明 Pn 和 Gox 的添加均能显著性提升馒头的细腻程度,且 Gox 的提升效果更强。从表 1 中还看出,添加 Pn 和 Gox 均能使馒头内部气孔数量增加,气孔的直径都显著降低,且复合添加气孔数量增加最多达到 53.8%,气孔直径降低最大达到 31.7%。

2.3 酶制剂对全麦面团水相得率及成分的影响

Gan 等^[20]提出面团气体分散相和面筋-淀粉网络间存在薄层液膜结构,Pauly 等^[21]指出液膜结构对面筋网络的持气性和延展性具有很强的修饰作用,在维持面团气室稳定中发挥重要作用。最新的研究^[22]表明,面团水相体系是形成薄层液膜的物质基础,因此将其作为研究液膜性质的理想材料,并认为面团水相主要由可溶性蛋白、戊聚糖等水溶性物质组成。其中水是构成水相的基体,蛋白等表面活性物质亲水亲油基团在溶剂中的定向排列是成膜的关键,戊聚糖等水溶性组分对确保膜的强度和提膜的渗透性具有重要作用。表 2 总结了酶制剂对面团水相得率及其中水溶性蛋白、WEAX

表1 酶制剂对全麦馒头气孔数量及结构的影响[†]

Table 1 Effect of enzymes on the structure and quantity of pore in whole wheat Mantou

样品	切片面积/cm ²	气孔数量	气孔直径/mm	孔壁厚度/mm
对照	26.09±0.28 ^c	1 525.50±38.89 ^d	2.84±0.14 ^a	0.463±0.001 ^a
Pn60	27.44±0.11 ^b	1 813.00±83.44 ^c	2.34±0.03 ^b	0.439±0.016 ^b
Gox40	27.85±0.25 ^{ab}	2 275.50±20.51 ^b	1.99±0.12 ^c	0.409±0.006 ^c
Pn60+Gox40	28.25±0.07 ^a	2 346.50±36.06 ^a	1.94±0.05 ^c	0.409±0.009 ^c

[†] 同列标注不同字母表示有显著差异(P<0.05)。

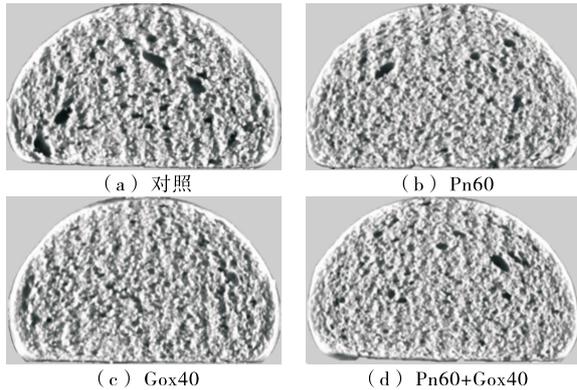


图2 全麦馒头切片气孔结构截面图

Figure 2 The cross section of pore on whole wheat Mantou slice

表2 酶制剂对全麦面团水相得率及成分的影响[†]

Table 2 Effect of enzymes on the composition and yield of whole wheat dough liquor

样品	得率/%	蛋白/ (10 ⁻² g · mL ⁻¹)	WEAX/ (10 ⁻² g · mL ⁻¹)
对照	10.90±0.44 ^c	2.49±0.10 ^b	2.51±0.06 ^b
Pn60	12.20±0.62 ^b	2.18±0.11 ^c	3.00±0.00 ^a
Gox40	12.96±0.26 ^{ab}	3.18±0.11 ^a	2.36±0.06 ^b
Pn60+Gox40	13.30±0.16 ^a	2.53±0.04 ^b	2.42±0.06 ^b

[†] 同列标注不同字母表示有显著差异(P<0.05)。

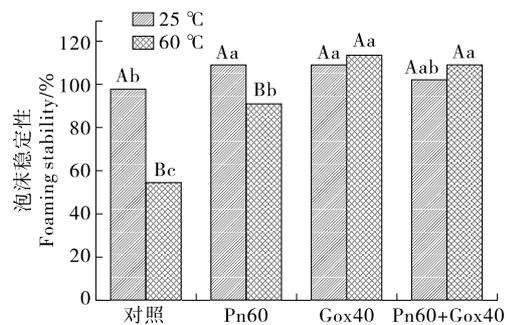
含量的影响,结果表明添加 Pn、Gox 均能增加面团水相的得率,且 2 种酶复合时水相得率最高,增加了 22.0%。添加 Pn 增加水相得率 11.9%,这与 AX 的持水性有关,研究^[23]表明 Pn 能分解 WUAX 产生小分子 WEAX。Pn60 的 WEAX 含量与空白相比增加了 19.5%,水相的持水性更强。添加 Gox 使水相得率增加 18.9%,可能是 Gox 促使了 WEAX 的氧化凝胶,研究^[24]表明 WEAX 凝胶后的吸水性能提高 10~100 倍。添加 Pn 的水相蛋白含量降低了 12.4%,这是水相得率增加导致的;添加 Gox 的水相蛋白含量增高了 27.7%,这是因为 Gox 的氧化作用促使蛋白分子间相互作用形成了大分子量的蛋白。

2.4 酶制剂对全麦面团水相泡沫稳定性的影响

发酵面团属于特殊“泡沫体系”,面团水相蛋白在薄层液膜气/液界面上的吸附行为对液膜自身以及面团气室的稳定性均起到至关重要的作用^[21]。根据食品泡沫体系的研究理

论,在气泡形成过程中,具有界面活性的蛋白质分子克服界面压力和静电力的作用吸附在两相界面上形成蛋白吸附层,降低体系的界面张力,维护体系稳定^[25]。为探究馒头在蒸煮过程中升温对气室稳定性的影响,研究了在 25,60 °C 2 种温度下,添加 Pn、Gox 以及 2 种酶复合对面团水相泡沫稳定性的影响,结果见图 3。比较图 3 相同温度下不同样品间泡沫稳定性的差异可知,添加 Pn、Gox 及 2 种酶复合均能提高面团水相的稳定性,且 60 °C 时加酶对稳定性的提升效果更显著。添加 Pn 水相泡沫稳定性增加了 63.5%,这是因为 WEAX 的增加形成更多 WEAX-蛋白复合物,研究^[25]表明蛋白与多糖能通过氧化凝胶、美拉德反应等化学反应形成蛋白-多糖共价接枝物,以复合物形式吸附于界面。复合物的蛋白质部分可以有效地吸附于界面上降低界面张力,多糖分子链在吸附膜的周围形成立体网状结构增加膜厚度和机械强度,有利于提高泡沫稳定性;添加 Gox 水相泡沫稳定性增加了 111.5%,这是由于 WEAX 的氧化凝胶以及蛋白间通过二硫键共价交联在液体界面形成连续黏弹性类似于凝胶的膜^[25]。比较图 3 同一样品不同温度下泡沫稳定性的差异可知,温度的增加能降低空白和添加 Pn 的水相泡沫稳定性,可能是随温度的升高,膜强度降低,液膜排液速率加快,造成泡沫稳定性下降^[26];对添加 Gox 和 Pn-Gox 复合组水相泡沫稳定性有所提升,但不显著,这是由于添加 Gox 面团水相黏度的增加^[27]使液膜排液速率减慢,稳定性略微增加。

图 4 显示了在 25,60 °C 2 种温度下,添加 Pn、Gox 以及 2 种酶复合对面团水相泡沫粒径的影响。研究^[6]表明面团液相起泡后,起泡粒径越大、越不均匀,泡沫稳定性显著降低,粒径越大,稳定性越低。由图 4 可知,在 25 °C 添加 Pn-



不同小写字母表示相同温度下不同样品间有显著差异(P<0.05);不同大写字母表示同一样品不同温度有显著差异(P<0.05)

图3 酶对全麦面团水相泡沫稳定性的影响

Figure 3 Effect of enzymes on the foaming stability of whole wheat dough liquor

Gox 复合酶泡沫粒径最小,而在 60 °C 时添加 Pn、Gox 和 Pn-Gox 复合酶均能降低水相泡沫粒径,且添加 Gox 的粒径最小,这一结果与泡沫稳定性的变化一致。面团水相泡沫稳定性的增加和粒径的降低使馒头内部气孔直径降低,气孔数量增加,使馒头更加细腻。

2.5 全麦面团水相 LB 膜表面形貌的观察

Langmuir-Blodgett(LB)膜技术是一种方便稳定的单分子膜制备技术,能把两亲性分子在亚相表面迅速铺展开形成气液界面,在气液界面施加一定的横向力,分子能在界面上有序排列,形成一层分子排列有序的单分子膜^[28]。将新鲜制备面团水相溶液通过 Langmuir-Blodgett 技术铺膜,建立薄层液膜气/液界面模拟体系,通过原子力显微镜(AFM)能对气/液界面膜形貌进行观察。从图 5 中可以发现,与空白

相比添加了酶的面团水相 LB 膜表面分子显著性增多,分子也显著性增大,且添加 Gox 的膜表面分子大小和簇集程度显著大于其他组,这一结果也证明了水相中大分子蛋白的形成。前文推测添加 Pn 的面团提取的水相可能有蛋白-多糖复合物的形成,从图 5(b)可以看出膜表面分子较空白组略微增加,该结果能间接证明前文的推测。添加 Pn60+Gox40 复合酶提取的面团水相 LB 膜表面分子大小及数量较 Pn60 有所增加,但少于 Gox40,这是多糖对蛋白竞争性吸附,使蛋白分子间相互连接较少导致。

2.6 全麦面团水相 LB 膜内蛋白多糖分布的观察

激光共聚焦扫描显微镜(CLSM)可以从单波长或多波长模式下对多种荧光染组织进行共聚焦荧光数据采集和定量分析,能清楚地形成荧光标记结构的总体图像,以显示出

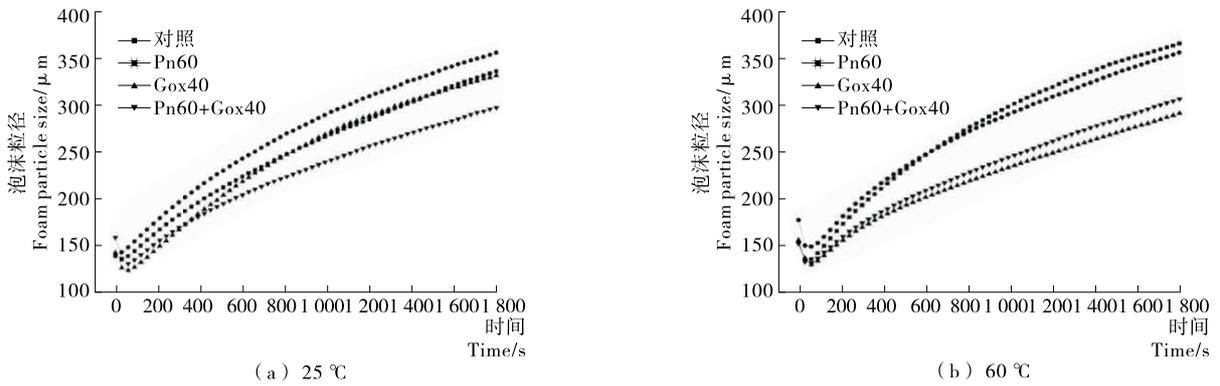


图 4 酶对全麦面团水相泡沫粒径的影响
Figure 4 Effect of enzymes on the foaming particle size of whole wheat dough liquor

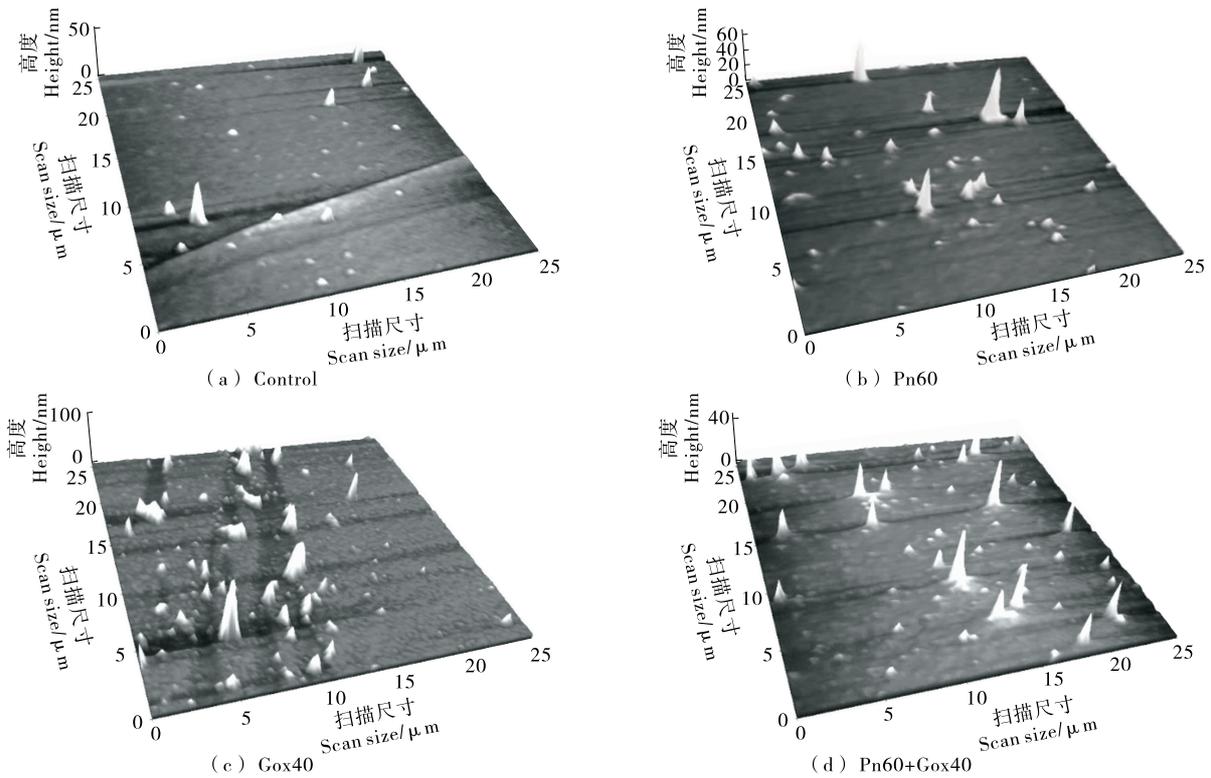
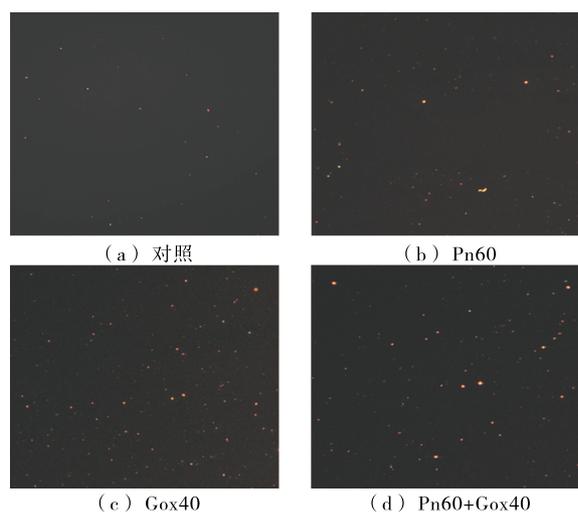


图 5 原子力显微镜(AFM)对面团水相 LB 膜表面形貌观察图
Figure 5 The surface morphology observation of dough liquor LB film with AFM

目标物质在形态结构上的精确定位。图6是利用激光共聚焦显微镜对全麦面团LB膜内蛋白多糖分布的观察图。从图6(a)可以看出蛋白吸附的界面,密度低,尺寸小。从图6(b)可以看出LB膜以蛋白为主的界面吸附层,密度有所提高,同时可以看出界面上有较多且大的黄点形成,表明存在多糖-蛋白结合物的形成,且试验结果显示Pn促使水相中WEAX含量显著提高,推测这种多糖-蛋白复合物主要以WEAX-蛋白为主。而有研究^[29]表明,添加Pn处理的面团水相中没有复合物的形成,二者通过非共价作用交联。Gox及其复合酶形成的蛋白-多糖复合物且尺寸更大,密度更高,证实了Gox和AX的氧化交联能形成更为致密的界面吸附层。



红点表示蛋白的分布情况;绿点表示多糖的分布;黄点为红点与绿点的重合,是蛋白与多糖结合形成的

图6 激光共聚焦(CLSM)对面团水相LB膜内多糖蛋白分布观察图

Figure 6 The observation of the polysaccharide and protein distributed in dough liquor LB film with CLSM

3 结论

本试验研究了添加戊聚糖酶(Pn)、葡萄糖氧化酶(Gox)以及2种酶复合对全麦馒头的改善效果,并且从面团水相层面揭示了Pn和Gox改善馒头品质的可能原因。发现添加Pn和Gox均能够使全麦馒头比容增大,硬度减小,馒头内部气孔数量增多,气孔直径变小,馒头更加细腻,且双酶复合改善效果最好。证实从面团水相理化性质的变化来看,Pn和Gox单一或者协同作用影响了全麦面团体系中的水分分布,面团水相溶液的得率提高,水相溶液中的蛋白和戊聚糖含量发生了显著的变化,气泡粒径大小和稳定性得到了显著改善,界面蛋白吸附膜质地更为致密。这意味着所形成的气泡结构在发酵或蒸制过程中抵抗外界应力的能力增加,从而形成较好的内部气室结构。因此,酶制剂对全麦面团水相溶液性质的调控可能是其改善全麦馒头品质的重要因素之一。

参考文献

[1] IZYDORCZYK M S, BILIADERIS C G. Cereal arabinoxylans:

advances in structure and physicochemical properties[J]. Carbohydrate Polymers, 1995, 28(1): 33-48.

[2] 周素梅. 阿拉伯木聚糖在焙烤制品中的功能性质的研究[D]. 无锡: 无锡轻工业大学, 2000: 25-28.

[3] 谢洁, 陈宁春, 张斌. 真菌 α -淀粉酶和葡萄糖氧化酶对全麦面粉品质的改良[J]. 南方农业学报, 2012, 43(6): 843-846.

[4] SROAN B S, BEAN S R, MACRITCHIE F. Mechanism of gas cell stabilization in bread making I: The primary gluten-starch matrix [J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(1): 32-40.

[5] SROAN B S, MACRITCHIE F. Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking II: The secondary liquid lamellae [J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(1): 41-46.

[6] TURBIN-ORGER A, VALLE G D, DOUBLIER J L, et al. Foaming and rheological properties of the liquid phase extracted from wheat flour dough[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43: 114-124.

[7] 杨炜, 蔺艳君, 刘丽娅, 等. 小麦馒头品质评价方法优化[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(2): 31-38.

[8] 邓璐璐. 全麦粉对沙琪玛品质及含油率的影响研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 18-19.

[9] 白凯旭. 燕麦预混合馒头粉的研发[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014.

[10] SALT L J, WILDE P J, GEORGET D, et al. Composition and surface properties of dough liquor [J]. Journal of Cereal Science, 2006, 43(3): 284-292.

[11] CELIA C, TRAPASSO E, COSCO D, et al. Turbiscan lab expert analysis of the stability of ethosomes and ultradeformable liposomes containing a bilayer fluidizing agent[J]. Colloids Surf B Biointerfaces, 2009, 72(1): 155-160.

[12] DUAN Xiang, LI Jun-yi, ZHANG Qin-jun, et al. Effect of a multiple freeze-thaw process on structural and foaming properties of individual egg white proteins[J]. Food Chem, 2017, 228: 243-248.

[13] 李雯露. LB膜模拟离子交换层析界面研究食用胶原蛋白肽吸附作用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016: 16-18.

[14] 袁春波, 付德刚, 丁德胜, 等. 磷脂酸 Langmuir-Blodgett 膜分子结构的原子力显微术研究: 分子排列有序性, 分子间氢键作用, 超分子结构以及晶格结构转变[J]. 中国科学 B 辑, 1997, 27(2): 152-157.

[15] MCCANN T H, DAY L. Effect of sodium chloride on gluten network formation, dough microstructure and rheology in relation to breadmaking[J]. Journal of Cereal Science, 2013, 57(3): 444-452.

[16] SHAH A R, SHAH R K, MADAMWAR D. Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus* [J]. Bioresource Technology, 2006, 97(16): 2047-2053.

[17] 严晓鹏. 麸皮面包改良剂的研制[D]. 无锡: 江南大学, 2007: 24-27.

[18] 刘燕琪, 李梦琴, 周玉瑾, 等. 葡萄糖氧化酶对面团水分状态及蛋白质结构的影响[J]. 现代食品科技, 2014(10): 126-133.

[19] SI Jun-qiang. Synergistic effect of enzymes for breadbaking[J]. Cereal Foods World, 1997, 42(1): 15-21.

(下转第53页)

使是最内层的分级粉其风味也比较浓郁。结合图 3 中工厂熟制青稞糌粑粉的总峰面积最大,表 3 中工厂熟制青稞糌粑粉分级粉Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ的风味评分大于藏青 320 和藏青 2000,由此可得出工厂熟制青稞的糌粑粉成品效果好,香气比较浓郁。

另外,表 3、4 显示了勾芒糌粑分级粉 I 的峰面积值为 4 种糌粑分级粉中的最大值。有研究^[7]表明紫皮青稞的粗脂肪、粗纤维含量均大于黄青稞,勾芒属于紫皮青稞,而工厂熟制青稞、藏青 320 和藏青 2000 均属于黄皮品种青稞。在炒制过程中,皮层脂肪酸发生氧化分解反应,产生大量的风味物质^[20]。因此,紫皮品种青稞比黄皮品种青稞的糌粑粉皮层风味大可能与其脂肪含量的差异有关。

3 结论

本研究探讨了不同品种糌粑分级粉的 β -葡聚糖含量、黏度特性及风味物质差异。随着糌粑分级粉道次由外层(分级粉 I)至内层(分级粉 VI)变化,藏青 320、藏青 2000、勾芒和工厂熟制青稞最外层糌粑分级粉的 β -葡聚糖含量显著低于最内层的。同时,各分级糌粑粉黏度均随着温度的升高缓慢下降,当温度上升至 55 °C 左右时,黏度呈增加趋势,至 90 °C 左右达到最大值后下降。气相色谱和感官评价的结果表明,工厂熟制糌粑全粉的风味最浓郁,不同品种糌粑分级粉均呈现由外层至内层风味减弱的趋势,且紫皮青稞勾芒糌粑粉的皮层表现出比藏青 320 和藏青 2000 更好的风味特征,说明糌粑粉的风味可能与受热程度和脂肪含量有关。本试验研究的藏青 320、藏青 2000 和勾芒 3 品种青稞的糌粑分级粉之间 β -葡聚糖含量、黏度特性及风味物质的差异,由于青稞品种数量较少,仅可为青稞的加工提供参考。

参考文献

- [1] YANG Ping, LIU Xian-jun, LIU Xin-chun, et al. Diversity analysis of the developed qingke (hullless barley) cultivars representing different growing regions of the Qinghai-Tibet Plateau in China using sequencerelated amplified polymorphism (SRAP) markers[J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(50): 8 530-8 538.
- [2] 甘济升, 贾素贤, 叶坚. 青稞加工工艺研究[J]. 现代食品, 2016(12): 124-126.
- [3] 丁捷, 郑丁菘, 黄益前, 等. 川西产区不同品种青稞全粉基本特性研究[J]. 食品科技, 2016(9): 171-177.
- [4] 拾方坚, 田玉山, 郭孝, 等. 我国裸大麦品种蛋白质、赖氨酸含量的分析[J]. 作物杂志, 1992(2): 36-37.
- [5] 楼惠新. 青藏高原青稞生产发展与对策[J]. 柴达木开发研究, 2000(2): 28-31.
- [6] 朱睦元, 张京. 大麦(青稞)营养分析及其食品加工[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2015: 5.
- [7] 任嘉嘉, 孟少华, 曹永政, 等. 大麦品种籽粒、制粉和黏度特性研究[J]. 粮油加工, 2014(6): 50-56.
- [8] 次顿. 糌粑加工质量控制研究进展[J]. 西藏科技, 2016(6): 3-5.
- [9] 党斌, 杨希娟, 肖明, 等. 青稞加工利用综述[J]. 青海农林科技, 2009(1): 25-27.
- [10] 杨希娟. 青稞糌粑加工工艺研究[J]. 食品工业, 2016(8): 78-81.
- [11] 郑学玲, 张玉玉, 张杰. 青稞淀粉理化特性的研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(4): 30-36.
- [12] 张峰, 杨勇, 赵国华. 青稞 β -葡聚糖研究进展[J]. 粮食与油脂, 2003(12): 3-5.
- [13] 曲良冉. 青稞中非淀粉多糖—— β -葡聚糖研究进展[J]. 粮油加工, 2009(2): 77-81.
- [14] 张峰. 青稞 β -葡聚糖的分离纯化及其理化性质研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005: 25-26.
- [15] 董磊. 青稞 β -葡聚糖理化性质、流变性质以及在化妆品中应用[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2015: 26-38.
- [16] BELOBRAJDIC D P, JOBLING S A, MORELL M K, et al. Wholegrain barley arglucan fermentation does not improve glucose tolerance in rats fed a high-fat diet[J]. Nutrition Research, 2015, 35(2): 162-168.
- [17] 邹弈星, 潘志芬, 邓光兵, 等. 青藏高原青稞的淀粉特性[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(1): 74-79.
- [18] 项惠丹, 许时婴, 王璋. 蛋白质与还原糖美拉德反应产物的抗氧化活性[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 52-57.
- [19] 蔡妙颜, 肖凯军, 袁向华. 美拉德反应与食品工业[J]. 食品工业科技, 2003, 24(7): 90-93.
- [20] 张晓磊, 李春扬, 张世满, 等. 同时蒸馏萃取技术分析酿酒原料青稞中挥发性化合物的研究[J]. 酿酒科技, 2012(7): 115-118.
- [21] GAN Zeng, ANGOLD R E, WILLIAMS M R, et al. The microstructure and gas retention of bread dough[J]. Journal of Cereal Science, 1990, 12(1): 15-24.
- [22] PAULY A, PAREYT B, FIERENS E, et al. Fermentation affects the composition and foaming properties of the aqueous phase of dough from soft wheat flour[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 37(3): 221-228.
- [23] TURBIN-ORGER A, DELLA VALLE G, DOUBLIER J L, et al. Foaming and rheological properties of the liquid phase extracted from wheat flour dough[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43: 114-124.
- [24] COURTIN C M, GELDERS G G, DELCOUR J A. Use of two endoxylanases with different substrate selectivity for understanding arabinoxylan functionality in wheat flour breadmaking[J]. Cereal Chemistry Journal, 2001, 78(5): 564-571.
- [25] 王立, 杨炜, 钱海峰, 等. 麦麸非淀粉多糖对烘焙品质的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 248-255.
- [26] DICKINSON E. Mixed biopolymers at interfaces: Competitive adsorption and multilayer structures[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1 966-1 983.
- [27] 徐冬梅, 蒋晓敏, 韩晓强, 等. 用泡沫扫描分析仪考察泡沫剂的性能[J]. 石油化工, 2010, 39(11): 1 285-1 288.
- [28] VEMULAPALLI V, HOSENEY R C. Glucose oxidase effects on gluten and water solubles[J]. Cereal Chemistry, 1998, 75(6): 859-862.
- [29] 齐平. 叶啉 LB 膜的制备和性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 38-39.
- [30] 杨炜. 酶制剂在全麦馒头品质改良中的应用及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 16-19.

(上接第 43 页)