

葡萄糖氧化酶对全麦面团 及全麦馒头品质改良的影响

黎芳^{1,2}, 刘佳¹, 王冉冉^{1,2}, 易若琨¹, 赵欣^{1,*}

(1.重庆第二师范学院, 重庆市功能性食品协同创新中心,
重庆市功能性食品工程技术研究中心, 功能性食品研发重庆市工程实验室, 重庆 400067;
2.重庆第二师范学院生物与化学工程学院, 重庆 400067)

摘要: 将葡萄糖氧化酶(glucose oxidase, GOD)应用于全麦馒头的制作,通过测定面团的流变、热机械、吹泡特性以及全麦馒头品质的相关指标,研究该酶对全麦面团及馒头品质的影响。实验结果表明,随着 GOD 添加量的增加(小于 300 U/kg),全麦面团的稳定时间增加,但对全麦粉吸水率没有显著改变;峰值粘度(C3)、保持粘度(C4)增加,表示面团的糊化稳定性越好,面团稳定性增加;当 GOD 的添加量为 300 U/kg 时,全麦面团的弹性模量、粘性模量最大, $\tan\delta$ 值最低,全麦面团固体特性增强,机械强度增大;面团 P 值、L 值、W 值增加,改善了面团的韧劲、延展性和持气性。与空白组对照可知,随着 GOD 添加量的增大(小于 300 U/kg),馒头的比容呈现增加趋势并且硬度、咀嚼性以及黏附显著降低,品质得到改善,但是过量的 GOD(500 U/kg)反而对其品质有负面的影响。因此添加 GOD 300 U/kg 时,可改善面团的网络结构,改良全麦馒头的品质。

关键词: 葡萄糖氧化酶, 面团, 全麦馒头, 稳定性, 品质改良

Effect of Glucose Oxidase on Quality of Whole Wheat Dough and Whole Wheat Steamed Bread

LI Fang^{1,2}, LIU Jia¹, WANG Ran-ran^{1,2}, YI Ruo-kun¹, ZHAO Xin^{1,*}

(1.Chongqing University of Education, Chongqing Collaborative Innovation Center for Functional Food,
Chongqing Engineering Research Center of Functional Food, Chongqing Engineering Laboratory
for Research and Development of Functional Food, Chongqing 400067, China;

2.School of Biological and Chemical Engineering, Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China)

Abstract: Glucose oxidase(GOD) was applied to the production of whole wheat steamed bread. The effects of glucose oxidase on qualities whole wheat steamed bread and its dough were studied by measuring the rheological properties, thermomechanical properties, alveograph properties and the quality indicators of whole wheat steamed bread. The results showed that the stability time of whole wheat dough increased with the increasing of GOD content(less than 300 U/kg), but there was no significant change in the water absorption and dough development time. Peak viscosity(C3) and retention viscosity(C4) increased, indicating the stability of the dough was stronger. When the amount of GOD addition was 300 U/kg, the elastic modulus and viscous modulus of the whole wheat dough the largest, the $\tan\delta$ value was the lowest, the solid characteristics of the whole wheat dough are enhanced, and the mechanical strength increased. 300 U/kg GOD addition increased the P value, L value and W value of the dough, improved the toughness, ductility and gas holding capacity of the dough. The quality parameters of whole wheat steamed bread showed that, with the addition of GOD increasing(less than 300 U/kg), the specific volume increased, while hardness, chewiness and adhesion of steamed bread significantly reduced, and the quality was improved, but excessive GOD(500 U/kg) had a negative impact on its quality. In summary, when GOD 300 U/kg is added, the network structure of the dough and the quality of the whole wheat steamed bread can be improved.

Key words: glucose oxidase; dough; whole wheat steamed bread; stability; quality improvement

中图分类号: TS210.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)14-0078-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.013

引文格式: 黎芳, 刘佳, 王冉冉, 等. 葡萄糖氧化酶对全麦面团及全麦馒头品质改良的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 78-82, 88.

收稿日期: 2018-10-30

作者简介: 黎芳(1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品化学与营养学, E-mail: 760961021@qq.com。

* 通讯作者: 赵欣(1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品化学与营养学, E-mail: zhaoxin@cque.edu.cn。

基金项目: 重庆高校创新团队建设计划资助项目(CXTDX201601040)。

馒头是我国的传统发酵主食,在居民膳食结构中占据很大比例。然而精面馒头所用原料小麦在加工过程中大部分麸皮和胚芽都被去掉,其中所含的大多数纤维素和部分烟酸及钾、锰、铁、锌等对人体有帮助的营养成分也随之流失^[1-2]。若以全麦粉代替精面粉,不仅可以改善居民的营养健康水平,还可以增加我国粮食利用率,减少小麦麸皮的浪费。但全麦粉颜色灰黑,筋力不足,粒度粗糙,导致全麦制品体积小,口感、质构差,保质期短,在市场上的推广受到了一定的阻碍^[3-4]。

面粉改良剂能在一定程度上改善全麦面粉及其全麦面制品的品质,其作用主要表现在改善全麦面团的黏弹性、延展性,增加全麦制品体积和改善制品内部组织结构等方面^[5-6]。葡萄糖氧化酶(glucose oxidase, GOD)作为一种新型的面粉品质改良剂,可以催化面粉中的葡萄糖氧化生成葡萄糖酸内酯和 H_2O_2 ,将面筋蛋白中的-SH氧化为-S-S-,使面筋蛋白之间形成网络结构,增强面团的筋力,改善面团的加工性能。Renzetti等^[7]研究发现葡萄糖氧化酶可以增加面团的黏弹性,增大面包的体积,在一定程度上使得面包结构组织更加的柔软。Liu等^[8]添加GOD到全麦粉中,结果表明添加GOD使游离巯基含量减少,谷蛋白大分子(GMP)含量增加,形成了稳定的二硫键,同时GOD处理过的面团筋力更强,产生更连续和高密度的面筋网络。

全麦粉是全谷物产品重要产品之一,全麦粉中富含多种抗氧化功效成分,具有多种特殊的生理功能,对保持或改善多种慢性疾病具有重要作用。针对全麦馒头加工过程中存在比容减小、色泽发暗、内部结构紧密不均匀以及食用品质变差等现实问题,本文利用GOD对全麦馒头品质进行改良,通过对全麦面团以及制品品质的分析,旨在探索改善全麦粉及其制品品质的优化条件,满足消费者的需求。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

小麦 河南农科院提供;商业活性干酵母 15 g/袋,安琪酵母股份有限公司;葡萄糖氧化酶(GOD, 10 kU/kg) 索莱宝科技有限公司。

Mixolab 2 混合试验仪、Alveolab 全自动吹泡仪 法国肖邦技术公司;TMS-PRO 食物物性分析仪(质构仪) 美国FTC公司;DHR-1 动态流变仪 美国TA公司。

1.2 实验方法

1.2.1 全麦粉的制备 全麦粉的制备参考郝春明^[9]的研究方法,具体步骤如下:将小麦润麦处理分别收集麸皮、面粉两部分。将麸皮置于130℃烘箱中烘2 h,目的是灭酶稳定化处理,然后用超微粉碎机将麸皮粉碎(80目),严格按照实际出粉率回填至面粉中,充分混匀,制成全麦粉,储存于4℃冰箱中。

1.2.2 全麦面团的制备 全麦面团的制作配方:面粉100 g,商业活性酵母1 g,加去离子水70 g,加入一定量的葡萄糖氧化酶(0、100、200、300 U/kg),和面

时间10 min(不加酶的全麦面团为空白组),获得不同GOD含量的全麦面团。

1.2.3 全麦面团热机械特性的测定 参照王晓艳等^[10]研究方法,采用混合试验仪测定葡萄糖氧化酶添加量对小麦粉加水混合形成面团、面团加热糊化以及冷却过程中热机械特性。测定小麦粉制作成食品整个过程中面团特性,反应面团从生到熟的整个过程。实验采用Chopin+标准实验模式,温度升降程序设定分为三个阶段:第一阶段:8 min保持30℃恒温阶段;第二阶段:加温阶段,15 min内以4℃/min速度升温到90℃并保持高温7 min;第三阶段:降温阶段,10 min内以4℃/min速度降温到50℃并保持5 min,整个过程共计45 min。测定过程中,实时记录搅拌刀对全麦面团扭矩的变化情况,并绘制温度随时间变化的混合曲线。

1.2.4 全麦面团流变性质的测定 参照Tang等^[11]的方法稍加修改,取适量1.2.2制备的含不同加酶量的全麦面团及空白对照样品置于流变仪样品平台上,振幅扫描以确定黏弹性线性范围,最后频率扫描获得面团的流变学特性(弹性模量 G' 、损耗模量 G'' 、损耗正切值 $\tan\delta = G''/G'$)。振幅扫描测量参数:1 Hz条件下,应力范围为0.1%~10.0%。频率扫描测量参数为:40 mm平板,平板间距为2 mm,扫描温度25℃,应变0.5%,扫描频率0.1~10.0 Hz。

1.2.5 吹泡特性的测定 使用吹泡仪测定面团拉伸性能,模拟面团发酵的压片、搓圆、成型、产生二氧化碳使面团产生形变的过程。将1.2.2制备的全麦面团放置于仪器专用辊压槽内,用配套辊子反复在样品表面循环滚压6次,以使样品表面平整。然后用配套的圆形切割模具从所取面团上顺次切下若干个圆形面片备用。取一个面片,放置于吹泡仪测试平台上,匀速旋转压盖上的摇柄,使样品变得严实平整。取下压盖,启动吹泡程序将面片吹起膨胀直至破裂,仪器自动记录数据。换其他样品进行平行实验,每个样品测定3次,取平均值。得到吹泡曲线的测量指标:全麦面团韧性P值、全麦面团延展性L值、小麦粉的“烘焙力”W值。P/L代表着面团韧性和延展性之间的关系, $P/L > 1$ 表示面团的韧性太强大,缺乏可扩展性。太小的 $P/L < 0.3$ 表明延展性太强^[12]。G值是面团破裂时,其中的空气体积的平方根,由破裂点横坐标值L换算,与吹泡L值的表示具有很大相似性,都是对面团延展性的一种表达^[13]。

1.2.6 馒头的制作及其评价方法

1.2.6.1 馒头的制作 将1.2.2全麦面团取出分割为100 g/个面块,成型,醒发30 min(38℃,80%相对湿度),汽蒸25 min,焖5 min出锅。室温冷却1 h,然后进行各项指标的评价,进行3次平行实验。

1.2.6.2 馒头比容的测定 小米替代法^[14]测馒头体积,分析天平称质量,体积与质量之比即为馒头的比容。

1.2.6.3 馒头芯质构特性的测定 取馒头芯统一大小的正方形(3 cm × 3 cm × 2 cm),用质构仪进行平行实验。选择模式TPA:直径38 mm的圆柱形探头,测试速度60 mm/min,测试后速度120 mm/min,引发力

1 N, 压缩程度 50%。

1.3 数据处理

各组实验数据都使用平均值 \pm 标准差的形式表示, 每组数据重复三次测定。数据处理使用 Microsoft Office Excel 2013 和 SPSS 16.0 分析软件进行数据统计分析。利用 Origin 8.0 进行图形制作。

2 结果与分析

2.1 葡萄糖氧化酶对全麦面团热机械特性的影响

通过 Mixolab 混合实验仪分析了全麦面团在受到机械剪切作用和温度约束时, 体系中蛋白质和淀粉的性质变化。整个测试过程分为 3 个阶段, 第一阶段对面团吸水率、形成时间、稳定时间进行测定分析; 第二阶段测定分析 C1、C2(表征蛋白的弱化); 第三阶段对 C3(表征淀粉糊化特性)、C4(表征加热过程中淀粉糊稳定性)、C5(表征淀粉老化特性)^[15-16] 进行分析。其中, 不同阶段的曲线变化斜率、峰值等参数分别反应了全麦面团不同品质, 如图 1 所示。

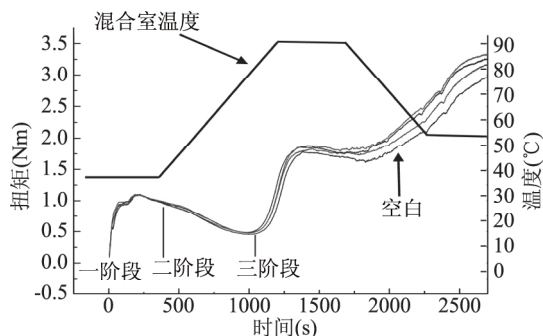


图 1 典型 mixolab 混合实验仪分析图谱

Fig.1 Typical analysis curve from mixolab

注: 随箭头方向从下到上分别表示: 葡萄糖氧化酶 (GOD) 添加量为 0、100、300、500 U/kg。

在面团恒温揉混阶段(一阶段): 从表 1 可以看出, 添加葡萄糖氧化酶后, 全麦馒头的热机械特性发生改变。随着 GOD 添加量的增加(小于 300 U/kg), 全麦面团的稳定时间增加, 稳定时间反映了面团对抗性的抵抗力, 与面团的筋力有关, 面团的筋力越强, 稳定时间越长。这可能与蛋白质分子间交联以及蛋白质、戊聚糖分子间的相互作用有关^[8]。但是葡萄糖氧化酶对面团的吸水率没有显著性影响。

在温度上升面筋弱化阶段(二阶段): 8 min 恒温搅拌结束后, 随着温度的增加, 面团中的面筋网络迅速弱化, 由表 1 结果可以看出, 添加了 GOD 后, 处理组的 C2 值高于空白对照, 这说明 GOD 的加入让蛋

白质的弱化速度降低。

在淀粉糊化及糊化后冷却阶段(三阶段): 从表 1 的数据可以看到, 加入 GOD 后, 面团的糊化峰值粘度 C3 增加, 随着酶含量的增加峰值粘度逐渐增加。糊化后的保持粘度 C4 随酶含量的增加逐渐增加, 表示面团的糊化稳定性越好, 而 C5-C4 值的增加, 意味着淀粉回生作用也有所增强。结果表明, GOD 对全麦面团中的淀粉性质有显著影响($p < 0.05$), 该作用可能与阿拉伯木聚糖的存在有关。GOD 的添加使阿拉伯木聚糖分子结构改变, 影响了阿拉伯木聚糖氧化凝胶及与淀粉间的相互作用, 全麦面团中的淀粉特性也随之发生变化, 且阿拉伯木聚糖的水解、氧化反应也会影响面团中自由水分布, 从而对淀粉糊化、老化过程有影响^[17-18]。

2.2 葡萄糖氧化酶对全麦面团流变特性的影响

食品的动态流变学特性关系到产品的可加工性及最后成品的品质, 在生产制作中十分重要。在动态流变学中, 储能模量(G') 又称为弹性模量, 是每次剪切变形中可恢复的能量, 代表面团通过熵弹形变储存能量的能力; 损耗模量(G'') 又称粘性模量, 是每次剪切变形中消耗掉的能量, 反应面团受力时阻碍其流动的性质。在评价面团时, G' 值越大弹性越强, G'' 越大粘性越强。 $\tan(\delta)$ 是 G'' 与 G' 的比值, 表征面团黏弹性, 可显示出面团中高聚物的比例^[19]。黏弹性的网络结构在面团的机械加工和馒头的质构特性方面都起到主导作用, 加热条件下馒头烘焙特性的改变是通过面糊的黏弹性改变来体现的。

由图 2 可知, 在 0.1~10 Hz 范围内, G' 远大于 G'' , 并且黏弹性模量是与频率相关的, 说明在测定的范围内全麦面团主要表现出弹性性质, 损耗角正切值 $\tan\delta$ 小于 1, 即弹性强度高于黏性强度, 更多表现出固体特征, 即弹性性质。加入 GOD 后, G' 和 G'' 的值均有不同程度的变化。如图 2a、图 2b 所示, 在线性黏弹性范围内, 当 GOD 的添加量为 300 U/kg 时, 全麦面团的弹性模量和粘性模量达到最大值, GOD 的添加量为 500 U/kg 时, 面团的黏弹性反而降低, 说明过量的 GOD 并不能增加面团的黏弹性, 反而会面团的网络结构有破坏作用。可能是因为过量的 GOD 产生了大量的过氧化氢气体, 破坏了全麦面团的稳定的结构^[20]。此外, GOD 还可以作用于面团中的水溶性木聚糖, 由于过氧化氢酶的存在从而使生产的过氧化氢氧化生成自由基, 进而使得水溶性木聚糖和蛋白质等大分子物质交联, 形成蛋白多糖复合物大分子, 增加水溶性部分的相对粘度, 促进水溶性木

表 1 葡萄糖氧化酶对全麦粉热机械特性的影响

Table 1 Effects of GOD on thermomechanical properties of whole wheat flour

酶添加量 (U/kg)	吸水率 (%)	C1 稠度 最大值 (Nm)	C2 稠度 最小值 (Nm)	C3 峰值 粘度 (Nm)	C4 保持粘度 (Nm)	C5 回生 终点粘度 (Nm)	C5-C4 回生值	稳定时间 (s)	形成时间 (s)
0	62.5 \pm 0.1 ^a	1.11 \pm 0.09 ^b	0.46 \pm 0.03 ^a	1.79 \pm 0.1 ^a	1.61 \pm 0.08 ^a	2.94 \pm 0.06 ^a	1.33 \pm 0.06 ^a	4.92 \pm 0.04 ^a	3.68 \pm 0.01 ^c
100	62.5 \pm 0.0 ^a	1.10 \pm 0.02 ^{ab}	0.48 \pm 0.06 ^b	1.83 \pm 0.01 ^b	1.73 \pm 0.03 ^b	3.15 \pm 0.01 ^b	1.42 \pm 0.03 ^b	5.52 \pm 0.01 ^b	3.13 \pm 0.02 ^a
300	62.5 \pm 0.0 ^a	1.10 \pm 0.00 ^{ab}	0.48 \pm 0.07 ^{ab}	1.86 \pm 0.03 ^c	1.76 \pm 0.01 ^c	3.25 \pm 0.03 ^c	1.49 \pm 0.02 ^c	5.52 \pm 0.01 ^b	3.57 \pm 0.01 ^b
500	62.5 \pm 0.0 ^a	1.09 \pm 0.01 ^a	0.48 \pm 0.01 ^b	1.88 \pm 0.01 ^c	1.80 \pm 0.00 ^d	3.32 \pm 0.03 ^d	1.52 \pm 0.03 ^d	6.08 \pm 0.02 ^c	3.60 \pm 0.01 ^d

注: 同列不同字母表示存在显著差异($p < 0.05$); 表 2~表 4 同。

表2 葡萄糖氧化酶对全麦面团吹泡特性的影响

Table 2 Effects of GOD on the alveograph properties of whole wheat dough

酶添加量 (U/kg)	P (mmH ₂ O)	L (mm)	G (mL)	W (mJ)	P/L
0	104 ± 2 ^a	53 ± 1 ^b	16.2 ± 0.2 ^c	202 ± 4 ^a	1.98 ± 0.03 ^a
100	104 ± 3 ^a	56 ± 2 ^c	16.6 ± 0.5 ^d	215 ± 3 ^b	1.93 ± 0.04 ^a
300	123 ± 1 ^b	55 ± 1 ^c	15.7 ± 0.5 ^b	230 ± 2 ^d	2.24 ± 0.1 ^b
500	131 ± 2 ^c	46 ± 1 ^a	15.1 ± 0.9 ^a	225 ± 3 ^c	2.85 ± 0.11 ^c

聚糖氧化酶凝^[21-22] ,从而改善了面团特性和提高面制品的质量^[23]。

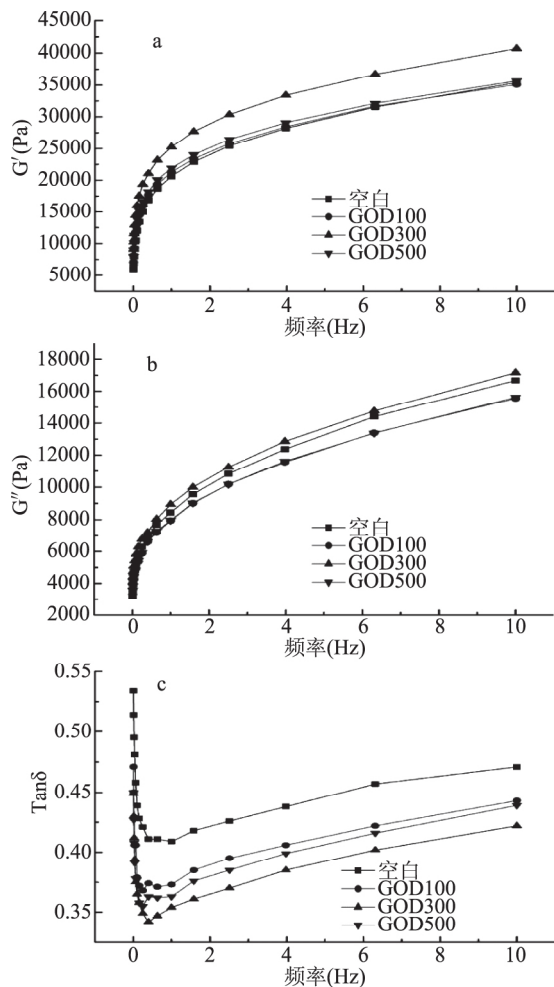


图2 葡萄糖氧化酶对全麦面团流变特性的影响

Fig.2 Effects of GOD on rheological properties of whole wheat dough

注: (a) 弹性模量; (b) 粘性模量; (c) 损耗正切值。

2.3 葡萄糖氧化酶对全麦面团吹泡特性的影响

葡萄糖氧化酶对全麦面团吹泡特性如表2所示。与空白组比较,添加GOD的面团的P值逐渐增加,即面团韧性增强,面筋强度增强。当GOD的使用量为100 U/kg, L、W和G比空白组增加了,说明面团的延展性和气体容量得到改善。继续增加GOD的量至500 U/kg, 拉伸阻力(柔韧性, P值)和拉伸比(P/L值)逐渐上升,面团的延展性略微降低,证明过量添加GOD对面筋网络具有一定的弱化作用。当GOD添加量为300 U/kg时,全麦粉粉P值比空白增加了19 mmH₂O, P/L值增加了0.26, W值增加了

28 mJ, 葡萄糖氧化酶添加量大于300 U/kg, L值、G值、W值均有不同程度的降低,说明面团的筋力降低,全麦粉的烘焙品质逐渐下降。蔺艳君^[3]研究了添加GOD的面团P值增大,面筋韧性增强,同时GOD的添加,也显著提高了L、W、G值,表明面团的延展性和持气能力得到改善,该结果与本实验的研究结果是一致的。除此之外,也有大量研究表明,普通小麦粉的吹泡仪参数L值与面包体积的相关性显著;面包的体积、质地也与W值有很强的相关性^[24]。

2.4 葡萄糖氧化酶对全麦馒头比容的影响

GOD对全麦馒头比容的影响结果如表3所示。结果表明,与空白组相比,葡萄糖氧化酶添加量为100 U/kg时,全麦馒头的比容没有显著性变化,葡萄糖氧化酶添加量为300 U/kg时,全麦馒头的比容达到3.18 mL/g,其比容增加了9.28%。当添加葡萄糖氧化酶500 U/kg时,全麦馒头的比容反而降低,说明适量的GOD可以增加全麦馒头的比容,过量的GOD反而对其比容有负面影响。王雨生等^[25]研究发现随着葡萄糖氧化酶的添加,面包的比容逐渐增加,但当葡萄糖氧化酶的添加量超过30 μL/kg面粉时,面包比容明显减小、硬度增大,与本实验结果相近。有学者研究发现,添加GOD对面包体积有不同的影响,这些影响取决于使用的剂量^[26-27]。

表3 葡萄糖氧化酶对全麦馒头比容的影响

Table 3 Effects of GOD on specific volume of whole wheat CSB

酶添加量 (U/kg)	体积 (mL)	质量 (g)	比容 (mL/g)
0	305 ± 0.81 ^b	104.85 ± 0.34 ^a	2.91 ± 0.08 ^b
100	304.5 ± 3.42 ^b	105.15 ± 0.52 ^a	2.89 ± 0.04 ^b
300	336.5 ± 8.96 ^c	105.62 ± 1.77 ^a	3.18 ± 0.05 ^c
500	314.5 ± 1.29 ^b	105.48 ± 0.76 ^a	2.98 ± 0.03 ^b

2.5 葡萄糖氧化酶对全麦馒头质构特性的影响

馒头质构特性反应其柔软程度、咀嚼特性等,是馒头品质和可接受度的重要指标。在一定范围内,馒头质构特性中的硬度、胶黏性和咀嚼性与馒头的品质成负相关,值越大馒头的口感越差;内聚性和弹性与馒头的品质成正相关,值越大馒头的口感柔软、不黏牙^[28-29]。

添加GOD后全麦馒头的质构性质如表4所示。由表4可知,添加一定量GOD后,全麦馒头质构结果与空白对比表现出不同程度的改良效果,其中硬度、胶黏性以及咀嚼性明显降低。当GOD添加量300 U/kg,与空白组相比,馒头硬度降低了38%,咀嚼性降低了

表4 葡萄糖氧化酶的全麦馒头质构的影响

Table 4 The effect of glucose oxidase on texture properties of whole wheat CSB

酶添加量 (U/kg)	硬度(N)	黏附性 (N·mm)	内聚性	弹性(mm)	胶黏性(N)	咀嚼性(mJ)
0	12.09 ± 0.47 ^d	0.07 ± 0.01 ^b	0.74 ± 0.07 ^{ab}	8.84 ± 0.24 ^a	9.15 ± 0.29 ^c	80.86 ± 3.84 ^d
100	10.78 ± 0.28 ^c	0.05 ± 0.02 ^{ab}	0.74 ± 0.02 ^a	8.87 ± 0.50 ^a	8.03 ± 0.19 ^b	71.2 ± 3.71 ^c
300	7.48 ± 0.32 ^a	0.03 ± 0.02 ^a	0.75 ± 0.03 ^b	8.65 ± 0.24 ^b	5.63 ± 0.23 ^a	48.57 ± 2.24 ^a
500	10.13 ± 0.60 ^c	0.03 ± 0.04 ^a	0.76 ± 0.05 ^b	8.33 ± 0.36 ^c	7.68 ± 0.44 ^d	69.02 ± 5.35 ^c

40%; 当 GOD 添加量 500 U/kg, 与添加 300 U/kg GOD 馒头的硬度、咀嚼性相比反而有所上升。在面团制作过程中, 发现适当添加 GOD 可使面团干爽并显著改善馒头的品质。然而, 过量添加不仅可以不能改善馒头的品质, 而且还可能使面团变硬和干燥, 并且增加馒头内部孔结构的粗糙度, 与前人研究结果是一致的^[30]。

3 结论

将 GOD 添加到全麦粉中, 会对全麦面团及全麦馒头的品质产生影响。整体来看, GOD (小于 300 U/kg) 的添加增加了全麦面团的稳定时间、峰值粘度、保持粘度, 表示面团的糊化稳定性越好, 同时面团淀粉回生特性(C5-C4)也有所增加, 意味着淀粉回生作用也有所增强, 表明 GOD 的加入在一定程度上改善了面团的热机械学性质。全麦面团的流变特性的研究结果表明, 与空白对照组相比, GOD 的添加量为 300 U/kg 时, 全麦面团的弹性模量和粘性模量达到最大值, 表明 GOD 的添加增强了全麦面团的固体性质, 使面团的机械强度增大, GOD 的添加量为 500 U/kg 时, 全麦面团的弹性模量和粘性模量的值反而降低, 说明适量的葡萄糖氧化酶可以改善全麦面团的流变学特性。全麦面团的吹泡特性研究结果表明适量的 GOD 使面团 P 值、L 值、W 值增加, 当 GOD 的添加量为 300 U/kg 时, 与空白组相比, P 值、L 值、W 值分别增加了 19 mmH₂O、2 mm、28 mJ, 改善了全麦面团的韧性和延展性。全麦馒头质构的结果表明, 当添加量小于 300 U/kg 时, 馒头的比容、硬度、咀嚼性以及黏附都随着 GOD 添加量的增加而显著降低, 品质得到改善, 但是过量的 GOD (500 U/kg) 反而对其品质有负面的影响, 其中 GOD 添加量为 300 U/kg 时, 改良的全麦馒头的比容是最大的, 比容到达 3.18 mL/g, 硬度与空白组相比也降低了 38%。

因此, GOD 的添加量为 300 U/kg 时, 改善面团的网络结构, 增加了全麦面团的黏弹性、持气性, 面团的这些变化可能是全麦馒头品质得到改善的重要原因, 也为今后葡萄糖氧化酶对全麦制品品质的改良方法提供一些依据。

参考文献

- [1] 刘丽娅, 岳颖, 蔺艳君, 等. 复合酶制剂对全麦馒头品质的改良作用[J]. 中国粮油学报, 2019(2): 5.
- [2] 赵吉凯, 王凤成, 付文军, 等. 轻碾脱皮对全麦粉及其馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 158-164.
- [3] 蔺艳君. 复合酶处理对全麦馒头品质的改良作用[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.

[4] 刘姣. 酶法处理小麦麸皮对全麦面条品质的影响研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.

[5] 陈凤莲, 汪洋, 刘琳琳, 等. 酶制剂及谷类添加物对小麦面团流变特性及烘焙制品的影响[J]. 粮食加工, 2016(2): 12-14.

[6] 尚加英, 胡军, 李利民, 等. 小麦粉改良剂对面团流变学特性的影响[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(4): 6-12.

[7] Renzetti S, Courtin C M, Delcour J A, et al. Oxidative and proteolytic enzyme preparations as promising improvers for oat bread formulations: Rheological, biochemical and microstructural background[J]. Food Chemistry, 2010, 119(4): 1465-1473.

[8] Liu L, Yang W, Cui S W, et al. Effects of pentosanase and glucose oxidase on the composition, rheology and microstructure of whole wheat dough[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 84: 545-551.

[9] 郝春明. 全麦粉的制备及其品质特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013.

[10] 王晓艳, 王宏兹, 黄卫宁, 等. 高膳食纤维面团热机械学及面包的烘焙特性[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 78-83.

[11] Tang L, Yang R, Hua X, et al. Preparation of immobilized glucose oxidase and its application in improving breadmaking quality of commercial wheat flour[J]. Food Chemistry, 2014, 161: 1-7.

[12] 马永生, 张煌, 李逸群, 等. 响应面分析压延工艺对面团的吹泡特性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(2): 192-200.

[13] 张强涛, 周玲, 曹阳, 等. 不同类型小麦粉吹泡仪指标与品质指标间相关性分析[J]. 现代面粉工业, 2018, 32(4): 23-27.

[14] 王军, 程晶晶, 杨璐, 等. 糙米超微全粉对馒头品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 219.

[15] Sharma B, Gujral H S, Solah V. Effect of incorporating finger millet in wheat flour on mixolab behavior, chapatti quality and starch digestibility[J]. Food chemistry, 2017, 231: 156-164.

[16] Liu T, Hou G G, Cardin M, et al. Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 77: 1-7.

[17] Amiri A, Shahedi M, Kadivar M. Evaluation of physicochemical properties of gluten modified by glucose oxidase and xylanase[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 71: 37-42.

[18] Mandal A. Review on microbial xylanases and their applications[J]. Cellulose, 2015, 42(2): 45-52.

[19] Peressini D, Pin M, Sensidoni A. Rheology and breadmaking performance of rice-buckwheat batters supplemented with hydrocolloids[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(3): 340-349.

[20] Steffolani M E, Ribotta P D, Pérez G T, et al. Effect of

(下转第 88 页)

649-652.

[4] Gomez M, Lajolo F, Cordenunsi B. Evolution of soluble sugars during ripening of papaya fruit and its relation to sweet taste [J]. Journal of Food Science 2002, 67(1): 442-447.

[5] Teixeira R T, Knorr C, Glimeilius K. Modified sucrose, starch and ATP levels in two alloplasmic male-sterile lines of *B. napus* [J]. Journal of Experimental Botany 2005, 56(414): 1245-1253.

[6] 胡花丽, 王贵禧, 李艳菊. 桃果实风味物质的研究进展 [J]. 农业工程学报 2007, 23(4): 280-287.

[7] Schmitz-Eiberger M A, Blanke M M. Bioactive components in forced sweet cherry fruit (*Prunus avium* L.) - antioxidative capacity and allergenic potential as dependent on cultivation under cover [J]. LWT-Food Science and Technology 2012, 46(2): 388-392.

[8] 赵尊行, 孙衍华, 黄化成. 山东苹果中可溶性糖、有机酸的研究 [J]. 山东农业大学学报, 1995, 26(3): 355-360.

[9] 姚改芳, 张绍铃, 吴俊, 等. 10 个不同系统梨品种的可溶性糖与有机酸组分含量分析 [J]. 南京农业大学学报, 2011, 34(5): 25-31.

[10] 陈美霞, 陈学森, 慈志娟, 等. 杏果实糖酸组分及其不同发育阶段的变化 [J]. 园艺学报 2006, 33(4): 805-808.

[11] Liu H F, Wu B H, Fan P G, et al. Sugar and acid concentrations in 98 grape cultivars analyzed by principal component analysis [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture 2006, 86(10): 99-107.

[12] 刘有春, 陶承光, 魏永祥, 等. 越橘果实糖酸含量和不同发育阶段的变化及其与叶片中可溶性糖含量的相关关系 [J]. 中国农业科学 2013, 46(19): 4110-4118.

[13] 张春雨, 李亚东, 刘海广, 等. 越橘糖酸组分及含量分析 [J]. 园艺学报 2010, 37(4): 619-624.

[14] Albertini M V, Carcouet E, Pailly O, et al. Changes in organic acids and sugars during early stages of development of acidic and acidless citrus fruit [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry 2006, 54(21): 8335-8339.

[15] 罗安才. 柑橘果实有机酸代谢生理和奉节脐橙芽变株系 AFLP 分析研究 [D]. 重庆: 西南农业大学 2003.

(上接第 82 页)

glucose oxidase, transglutaminase, and pentosanase on wheat proteins: Relationship with dough properties and bread-making quality [J]. Journal of Cereal Science 2010, 51: 366-373.

[21] Bender D, Nemeth R, Cavazzi G, et al. Characterization of rheological properties of rye arabinoxylans in buckwheat model systems [J]. Food Hydrocolloids 2018, 80: 33-41.

[22] 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.

[23] 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, 30(10): 126-133, 140.

[24] 赵君兰. 全自动吹泡仪及其应用 [J]. 现代面粉工业, 2018, 31(2): 19-23.

[25] 王雨生, 耿欣, 陈海华, 等. 酶制剂对面团流变学特性和面包品质的影响 [J]. 中国食品学报 2012, 12(9): 128-136.

[16] Etienne C, Rothan C, Moing A, et al. Candidate genes and QTLs for sugar and organic acid content in peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] [J]. Theor Appl Genet 2002, 105: 145-159.

[17] 牛景, 赵剑波, 吴本宏, 等. 不同来源桃品种果实糖酸组分含量特点的研究 [J]. 园艺学报 2006, 33(1): 6-11.

[18] 王海波, 陈学森, 辛培刚, 等. 几个早熟苹果品种果实糖酸组分及风味品质的评价 [J]. 果树学报, 2007, 24(4): 513-516.

[19] 鲍江峰, 夏仁学, 邓秀新, 等. 湖北省纽荷尔脐橙果实品质状况的研究 [J]. 植物科学学报 2005, 23(6): 583-587.

[20] 中国标准出版社. 中国国家标准汇编 (569 GB29370-29398) (2012 年制定) (精) [M]. 中国质检出版社, 2013: 446-506.

[21] 张治安, 张美善, 蔚荣. 植物生理学试验指导 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社 2004: 4.

[22] Ruiz-Matute A I, Hernandez-Hernandez O, Rodríguez-Sánchez S, et al. Derivatization of carbohydrates for GC and GC-MS analyses [J]. Journal of Chromatography B 2011, 879(17): 1226-1240.

[23] Schummer C, Delhomme O, Appenzeller B M R, et al. Comparison of MTBSTFA and BSTFA in derivatization reactions of polar compounds prior to GC/MS analysis [J]. Talanta 2009, 77(4): 1473-1482.

[24] Desbrosses G G, Kopka J, Udvardi M K. Lotus japonicus metabolic profiling. Development of gas chromatography-mass spectrometry resources for the study of plant-microbe interactions [J]. Plant Physiology 2005, 137(4): 1302-1318.

[25] Lisec J, Schauer N, Kopka J, et al. Gas chromatography mass spectrometry-based metabolite profiling in plants [J]. Nature protocols 2006, 1(1): 387-396.

[26] 鲁剑巍, 陈防, 王运华, 等. 氮磷钾肥对红壤地区幼龄柑橘生长发育和果实产量及品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报 2004, 10(4): 413-418.

[27] 蔡跃台. 氮磷钾不同配方施肥对柑桔产量及品质的影响 [J]. 北方园艺 2007(8): 25-27.

[26] Altinel B, Ünal S S. The effects of certain enzymes on the rheology of dough and the quality characteristics of bread prepared from wheat meal [J]. Journal of Food Science & Technology, 2017, 54: 1628-1637.

[27] Altinel B, Ünal S S. The effects of amyloglucosidase, glucose oxidase and hemicellulase utilization on the rheological behaviour of dough and quality characteristics of bread [J]. International Journal of Food Engineering 2017, 13(2): 1.

[28] 张纷, 赵亮, 靖卓, 等. 藜麦-小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺研究 [J]. 食品科学 2019: 1-15.

[29] 钟雪婷, 华苗苗, 任元元, 等. 马铃薯全粉对小麦面团及其馒头质构、品质影响的研究 [J]. 食品与发酵科技 2018, 54(5): 32-35.

[30] 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.