

木聚糖酶对戊聚糖及面团品质的影响

许真¹, 王显伦^{2,*}

(1. 鹤壁职业技术学院食品工程学院, 河南 鹤壁 458030; 2. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 研究添加不同质量浓度(0、50、100、150 mg/kg)木聚糖酶对面团中戊聚糖吸水率、内黏度、平均相对分子质量及面团品质的影响, 探讨木聚糖酶对面团影响的作用机理。结果表明: 木聚糖酶添加量在0~150 mg/kg范围时, 戊聚糖吸水能力降低、内黏度下降、平均相对分子质量变小; 当添加量为150 mg/kg时, 戊聚糖吸水能力最低(水溶性戊聚糖为4.28 g/g, 水不溶性戊聚糖为7.56 g/g)、内黏度最小(水溶性戊聚糖为35 mL/g, 水不溶性戊聚糖为4 035 mL/g)、平均相对分子质量最小(水溶性戊聚糖为360 298, 水不溶性戊聚糖为1 002 309)。木聚糖酶的添加造成面团的吸水率降低、形成时间及稳定时间缩短、弱化度提高、抗拉伸阻力降低、延展性提高, 从而改善面团的加工性能。

关键词: 木聚糖酶; 面团品质; 戊聚糖; 吸水能力; 内黏度; 分子质量

Effect of Xylanase on Arabinoxylan and Dough Quality

XU Zhen¹, WANG Xianlun^{2,*}

(1. School of Food Engineering, Hebi College of Vocation and Technology, Hebi 458030, China;
2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In this study, we investigated the water absorption capacity, viscosity and molecular weight of arabinoxylan (AX) in dough after xylanase treatment (0、50、100、150 mg/kg), as well as its mechanism of action on dough. We found that when xylanase was added in the range of 0-150 mg/kg, the water absorption capacity and viscosity of AX were decreased, while molecular weight was reduced after this treatment. When the dosage was 150 mg/kg, the water absorption capacity of AX was the lowest (water extractable arabinoxylan (WEAX) was 4.28 g/g, water unextractable arabinoxylan (WUAX) was 7.56 g/g), viscosity was least (WEAX was 35 mL/g, WUAX was 4 035 mL/g), relative molecular weight was minimum (WEAX was 360 298, WUAX was 1 002 309). The addition of xylanase reduced water absorption capacity, shortened dough development and stability times, increased weakening degree, reduced resistance to extension and enhanced extensibility, consequently improving dough processability.

Key words: xylanase; dough quality; arabinoxylan; water absorption capacity; viscosity; molecular weight

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715032

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 15-0196-05

引文格式:

许真, 王显伦. 木聚糖酶对戊聚糖及面团品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 196-200. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715032. <http://www.spkx.net.cn>

XU Zhen, WANG Xianlun. Effect of xylanase on arabinoxylan and dough quality[J]. Food Science, 2017, 38(15): 196-200. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201715032. <http://www.spkx.net.cn>

随着生物技术的发展、酶制剂研究的不断深入, 木聚糖酶对面制品的品质改良作用日益受到人们的关注^[1]。添加适量的木聚糖酶能显著改善面团的加工性质、提高面制品品质^[2-3]。任顺成等^[4]研究发现木聚糖酶能显著提高速冻馒头色泽值 L^* , 降低失水率。Burkitt等^[5]发现, 生产饼干时木聚糖酶能提高面团的柔软度和拉力, 从而降

低饼干硬度、提高伸展度。加工面包时添加木聚糖酶, 可使面包比容增加40%~60%, 从而改善面包的结构、质地、柔软度和延长货架期^[6-7]。李秀婷等^[8]研究表明, 添加适量木聚糖酶的面包, 其品质得到显著改善, 老化速率常数相比对照组下降达48%。

木聚糖酶是一种典型的内切酶, 可以随机作用于木

收稿日期: 2017-03-22

作者简介: 许真(1982—), 女, 讲师, 硕士, 主要从事生物技术应用研究。E-mail: 42160427@qq.com

*通信作者: 王显伦(1963—), 男, 教授, 博士, 主要从事面食品品质研究。E-mail: wangxianlun1001@163.com

聚糖主链,降解戊聚糖。面粉中戊聚糖含量为2%~3%,因其吸水量大,对面团及面制品品质影响显著^[9]。研究发现,添加适量的木聚糖酶对面团品质改良作用的关键在于生成适量的、相对分子质量适宜的水溶性戊聚糖^[10-12],还能特异地降解水不溶性戊聚糖,将其转变为水溶性戊聚糖及小分子物质,减少戊聚糖的交联程度并释放水分,改变面团中水分分布,改善面团品质^[13-14],然而从分子水平上解释木聚糖酶的作用机理至今还鲜见报道。本研究提取面团中经过酶作用后的水溶性戊聚糖和水不溶性戊聚糖,模拟在面团中的情况,研究其吸水率、内黏度、平均相对分子质量的变化对面团品质的影响,从分子水平上探讨木聚糖酶的作用机理,以期为木聚糖酶在面制品生产中的作用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

特一粉 郑州神像面粉有限公司;木聚糖酶(BG 2 500 U/g)、 α -淀粉酶(BG 12 500 U/g) 诺维信生物技术公司;高活性干酵母 上海乐斯福管理有限公司;地衣酚(化学纯)、D-木糖(纯度99%) 美国Sigma公司;FeCl₃(化学纯) 上海金山化工厂。

1.2 仪器与设备

T722型分光光度计 上海雷磁仪器厂;粉质仪、拉伸仪 德国布拉克公司;LABCONO-195冷冻干燥机 美国Labcon公司;600高效液相色谱仪 美国Waters公司;NDJ-8S型黏度计 北京天创尚邦仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 戊聚糖含量测定

1.3.1.1 取样和处理

将经过和面、静置、发酵、蒸制后的面团样品立即放入冰箱,待完全冻结后冷冻干燥48 h,冷冻干燥机的真空度为1 500 Pa,温度为-90 ℃。干燥后粉碎,过100目筛,取筛下物,待用。

1.3.1.2 木糖标准曲线绘制

分别取0.0、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mL 100 μ g/mL木糖标准溶液于20 mL具塞试管中,加蒸馏水至总体积为2 mL,依次加入3 mL 1 g/100 mL地衣酚-醇溶液(无水乙醇)和3 mL 0.1 g/100 mL的FeCl₃-酸溶液(浓盐酸),用振荡器混合均匀后,置于沸水浴显色30 min,取出后用自来水冲洗迅速冷却,补加蒸馏水至10 mL。分别在670、580 nm波长处测其吸光度,以木糖质量浓度为横坐标,以二者吸光度之差为纵坐标绘制标准曲线^[15-16]。

1.3.1.3 戊聚糖含量测定

准确称取1.3.1.1节中处理好的样品100 mg(精确至0.000 1 g),置于50 mL离心管,加入10 mL 1 mol/L的

盐酸溶液,密封,沸水浴加热2 h,冷却后加入20 mL蒸馏水,充分摇匀,于3 500 r/min离心20 min。移取混合液1.0 mL,依次加入2 mL蒸馏水、3 mL 0.1 g/100 mL的FeCl₃-酸溶液、0.3 mL 1 g/100 mL的地衣酚-醇溶液,涡旋振荡,置于沸水浴中显色0.5 h后取出,于水流下迅速冷却^[15-17],补加蒸馏水至10 mL,在670、580 nm波长处测其吸光度,按式(1)计算戊聚糖含量^[15]。

$$\text{含量}/\% = \frac{\rho \times 0.88 \times 10}{m(1-w)} \times n \times 100 \quad (1)$$

式中: ρ 为根据标准曲线求得的木糖质量浓度(μ g/mL);0.88为戊聚糖与木糖的质量换算系数; m 为样品质量/mg; w 为样品水分含量/%; n 为稀释倍数。

1.3.1.4 水溶性戊聚糖含量测定

将100 mg(精确至0.000 1 g)处理好的样品放于30 mL离心管中,加入10 mL蒸馏水,置于30 ℃恒温振荡水浴箱中2 h,然后3 500 r/min离心20 min,移取2.0 mL上清液于另一离心管中,并加入2 mol/L HCl溶液2 mL,密封,沸水浴中加热2 h。冷却后再移取混合液1.0 mL(对照样品则移取1 mL蒸馏水),依次加入2 mL蒸馏水、0.3 mL 1 g/100 mL的地衣酚-醇溶液、3 mL 0.1 g/100 mL的FeCl₃-酸溶液,涡旋振荡后,置于沸水浴中显色0.5 h后取出,流水下迅速冷却^[15-17],补加蒸馏水至10 mL,在670、580 nm波长处测其吸光度,按式(1)计算水溶性木聚糖含量。

1.3.2 面团中戊聚糖提取

1.3.2.1 水溶性戊聚糖提取工艺流程

水溶性戊聚糖的提取采用水提醇沉法^[15,18-19]称面团质量 \rightarrow 灭酶 \rightarrow 水浸提 \rightarrow α -淀粉酶处理 \rightarrow 过滤 \rightarrow 乙醇沉淀 \rightarrow 离心 \rightarrow 洗涤沉淀 \rightarrow 重分散于水 \rightarrow 去蛋白 \rightarrow 透析 \rightarrow 醇溶 \rightarrow 离心 \rightarrow 干燥 \rightarrow 水溶性戊聚糖。

1.3.2.2 水不溶性戊聚糖提取工艺流程

水不溶性戊聚糖的提取采用碱提法^[20-21]。在碱提之前,先用湿筛法^[22]除去蛋白质,过湿筛前,重复离心7~10次,以使水溶物全部除去。

面团加5倍质量的水,磁力搅拌10 min \rightarrow 离心(8 000 r/min, 20 min),取上层沉淀与冷水混合 \rightarrow 离心(8 000 r/min, 30 min) \rightarrow 沉淀过37 μ m湿筛 \rightarrow 水洗筛上物,离心(8 000 r/min, 30 min) \rightarrow α -淀粉酶消化处理(0.2 g/100 g淀粉, 37 ℃、48 h、pH 5.0) \rightarrow 水浴加热10 min \rightarrow 透析悬浮液(4 ℃, 48 h) \rightarrow 冷冻干燥 \rightarrow 得到面粉除去蛋白和淀粉后的水不溶物 \rightarrow Ba(OH)₂饱和溶液提取(料液比1:100 (m/V)) \rightarrow 离心(8 000 r/min, 30 min),上清液调pH值至5.0 \rightarrow 去离子水透析 \rightarrow 冷冻干燥 \rightarrow 水不溶性戊聚糖。

由于实际面团体系非常复杂,直接对面团品质进行

分析很难对最终结果做出合理、准确的解释,所以本实验将水溶性戊聚糖和水不溶性戊聚糖提取后,按它们在面团中的比例进行混合,模拟在面团中的情况,测定戊聚糖吸水能力、内黏度和平均相对分子质量分布变化。

1.3.3 面团中水溶和水不溶性戊聚糖吸水能力测定

取发酵好的面团100 g,分别按0、50、100、150 mg/kg添加木聚糖酶,按照1.3.2节的工艺提取水溶和水不溶性戊聚糖,进行吸水能力测定^[23-24]。

1.3.4 面团中水溶和水不溶性戊聚糖内黏度测定

取发酵好的面团100 g,分别按0、50、100、150 mg/kg添加木聚糖酶,按照1.3.2节的工艺提取水溶和水不溶性戊聚糖。分别以水溶和水不溶性戊聚糖为溶质,0.2 g/100 mL NaCl溶液为溶剂,按照料液比1:100 (m/V)混合,利用毛细管黏度计,在25 °C条件下测水溶和水不溶性戊聚糖溶液的流动时间。溶液的流动时间除以溶剂的流动时间为相对黏度;相对黏度减去1为比黏度;比黏度除以水溶和水不溶性戊聚糖溶液的质量浓度为对比黏度。以水溶和水不溶性戊聚糖溶液的质量浓度为横坐标,对比黏度为纵坐标做曲线,并用Matin方程求出水溶和水不溶性戊聚糖溶液质量浓度为0 g/L时的对比黏度即为内黏度^[25]。

1.3.5 面团中水溶和水不溶性戊聚糖平均相对分子质量分布测定

取发酵好的面团100 g,分别按0、50、100、150 mg/kg添加木聚糖酶,按照1.3.2节的工艺提取水溶和水不溶性戊聚糖。采用高效凝胶过滤色谱(high performance liquid chromatography, HPGFC)法通过高效液相色谱仪(配2410示差折光检测器和Empower工作站)测定水溶性和水不溶性戊聚糖的平均相对分子质量分布。平均相对分子质量校正曲线所用标准品平均相对分子质量为2 000 000、133 800、41 100、21 400、4 600、180。色谱条件为:色谱柱: Ultrahydrogel Linear (300 mm×7.8 mm, 8 μm); 流动相: 0.1 mol/L NaNO₃溶液; 流速: 0.9 mL/min; 柱温: 45 °C。

1.3.6 面团粉质特性测定

称取100 g面粉,分别按0、50、100、150 mg/kg添加木聚糖酶,充分混匀,按照GB/T 14614—2006《小麦粉 面团的物理特性 吸水量和流变学特性的测定 粉质仪法》^[26]测定面团吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度,结果取3次实验的平均值。

1.3.7 面团拉伸特性测定

称取100 g面粉,分别按0、50、100、150 mg/kg添加木聚糖酶,充分混匀,按照GB/T 14615—2006《小麦粉 面团的物理特性 流变学特性的测定 拉伸仪法》^[27]测定,结果取3次实验的平均值。

2 结果与分析

2.1 木聚糖酶对水溶性戊聚糖含量的影响

实验得出木糖标准曲线线性方程为: $y=0.023\ 1x-0.002\ 9$, 相关系数为0.999 7, 说明方程能较好地反映ΔA和木糖含量之间的关系。

由于面粉中只含有水溶性戊聚糖和水不溶性戊聚糖,所以测定戊聚糖和水溶性戊聚糖含量就能反映出水不溶性戊聚糖含量。本实验中面粉的品种不变,且无外源戊聚糖的引入,所以只需测定面粉中水溶性戊聚糖含量,各工艺阶段可溶性戊聚糖含量变化见表1。

表1 各工艺阶段水溶性戊聚糖含量变化
Table 1 Change in water-extractable arabinoxylan (WEAX) content in the process of making steamed buns

酶添加量/ (mg/kg)	水溶性戊聚糖含量/%			
	和面	静置	发酵	蒸制
0	0.89±0.26 ^d	0.98±0.06 ^d	1.01±0.17 ^d	0.97±0.05 ^d
50	0.91±0.02 ^c	1.18±0.21 ^c	1.19±0.11 ^c	1.23±0.05 ^c
100	0.94±0.10 ^b	1.21±0.17 ^b	1.25±0.17 ^b	1.26±0.06 ^b
150	0.96±0.07 ^a	1.25±0.14 ^a	1.27±0.63 ^a	1.28±0.21 ^a

注:表中数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示;同列肩标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

原料面粉中水溶性戊聚糖的含量为0.65%,戊聚糖的含量为1.97%。由表1可知,未添加木聚糖酶的样品在和面、静置、发酵、蒸制阶段水溶性戊聚糖含量有所增加,说明面粉本身含有一定量的木聚糖酶,添加木聚糖酶后,和面、静置、发酵、蒸制各阶段水溶性戊聚糖含量均显著高于未添加木聚糖酶的样品($P<0.05$),说明添加的木聚糖酶发挥作用。随着木聚糖酶添加量的增加,同加工阶段的水溶性戊聚糖含量增加,但添加量100 mg/kg以上时,各阶段水溶性戊聚糖含量增幅减小,可能是由于底物不足,水解效率降低。

2.2 木聚糖酶对面团中水溶和水不溶性戊聚糖吸水能力的影响

表2 木聚糖酶对面团中水溶和水不溶性戊聚糖吸水能力的影响
Table 2 Effect of xylanase on water absorption capacity of WEAX and water-unextractable arabinoxylan (WUAX)

酶添加量/ (mg/kg)	吸水能力/(g/g)	
	水溶性戊聚糖	水不溶性戊聚糖
0	4.92±0.00 ^a	8.12±0.23 ^a
50	4.56±0.01 ^b	8.03±0.17 ^a
100	4.34±0.02 ^c	7.85±0.19 ^b
150	4.28±0.00 ^c	7.56±0.07 ^c

木聚糖酶水解戊聚糖,对面团吸水能力有较大影响。由表2可知,水不溶性戊聚糖的吸水能力大于水溶性戊聚糖,这是因为水不溶性戊聚糖分子质量大,分子支链多,分子之间相互作用强,形成大的网络结构,导致水不溶性戊聚糖的吸水量比水溶性戊聚糖大。随着木聚糖酶添加量增加,水溶性戊聚糖和水不溶性戊聚糖的吸水能力均下降。这是因为水溶性戊聚糖自身分子质量小,加入木聚糖酶后会被降解为更小的物质,导致网络

结构不致密,吸水量减小;水不溶性戊聚糖被木聚糖酶降解成小分子物质,网络结构变松散,吸水能力下降^[28],木聚糖酶添加量越高,水解度越大,水溶性戊聚糖及小分子物质越多,戊聚糖吸水能力越低。

2.3 木聚糖酶对面团中水溶和水不溶性戊聚糖内黏度的影响

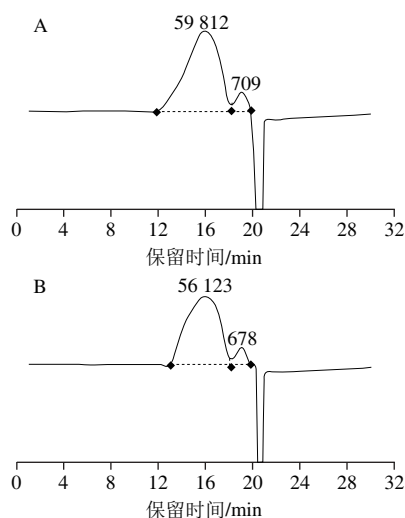
表3 木聚糖酶对面团中水溶和水不溶性戊聚糖内黏度的影响
Table 3 Effect of xylanase on viscosity of WEAX and WUAX

酶添加量/ (mg/kg)	内黏度/(mL/g)	
	水溶性戊聚糖	水不溶性戊聚糖
0	410±4 ^a	9 739±8 ^a
50	217±5 ^b	9 125±6 ^b
100	104±4 ^c	7 108±3 ^c
150	35±1 ^d	4 035±7 ^d

由表3可知,随着木聚糖酶添加量的增加,水溶性戊聚糖和水不溶性戊聚糖内黏度均下降,且水溶性戊聚糖比水不溶性戊聚糖内黏度下降快。这是因为戊聚糖分子之间以及戊聚糖与蛋白质之间相互交联,形成大分子网状结构,使溶液呈现出较高黏度;木聚糖酶降解戊聚糖,破坏了戊聚糖的大分子网状结构,导致内黏度下降。又因为水溶性戊聚糖具有可溶性,水解更容易,所以内黏度下降较快。

2.4 木聚糖酶对面团中水溶和水不溶性戊聚糖平均相对分子质量的影响

采用HPGFC得到的标准曲线方程为 $\lg y=0.512 4x+14.1$ ($R^2=0.998 7$),式中: y 为平均相对分子质量; x 为保留时间/min。图1、2分别是木聚糖酶添加量为0 mg/kg和100 mg/kg的面团中提取出的水溶性戊聚糖和水不溶性戊聚糖的平均相对分子质量分布情况。



A~B. 分别为木聚糖酶添加量0、100 mg/kg;

图中数值为平均相对分子质量,图2同。

图1 面团水溶性戊聚糖平均相对分子质量分布

Fig. 1 Relative molecular mass distribution of WEAX in dough with 100 mg/kg xylanase added

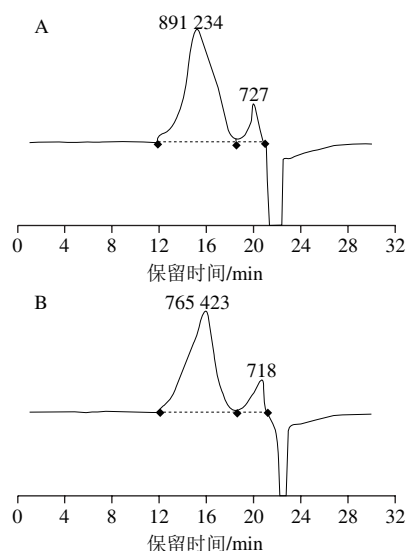


图2 面团水不溶性戊聚糖平均相对分子质量分布

Fig. 2 Relative molecular mass distribution of WUAX in dough with 100 mg/kg xylanase added

由标准曲线方程计算得到的水溶性戊聚糖和水不溶性戊聚糖平均相对分子质量如表4所示。

表4 木聚糖酶添加量对水溶和水不溶性戊聚糖平均相对分子质量的影响
Table 4 Effect of xylanase on the average molecular mass of WEAX and WUAX

酶添加量/(mg/kg)	水溶性戊聚糖	水不溶性戊聚糖
0	388 935 ^a	1 134 587 ^a
50	375 913 ^b	1 130 874 ^b
100	365 513 ^c	1 116 231 ^c
150	360 298 ^d	1 002 309 ^d

从表4可以看出,经过酶解后,水溶和水不溶性戊聚糖平均相对分子质量均显著减小,说明木聚糖酶不仅降解水不溶性戊聚糖,同时也对水溶性戊聚糖进行了水解;随着木聚糖酶添加量的增加,水溶性戊聚糖平均相对分子质量减小放缓,水不溶性戊聚糖平均相对分子质量减小加快。这是因为木聚糖酶是主要以内切方式对主链木糖苷键加以水解,水不溶性戊聚糖分子大,水解点位多,平均相对分子质量减小相对较快;而水溶性戊聚糖分子较小,水解点位少,平均相对分子质量减小放缓。

2.5 木聚糖酶对面团粉质特性的影响

表5 木聚糖酶对面团粉质特性的影响
Table 5 Effect of xylanase level on farinograph characteristics of wheat flour

酶添加量/(mg/kg)	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/BU
0	58.3 ^a	1.7 ^a	5.5 ^a	59 ^c
50	56.8 ^b	1.5 ^{ab}	4.2 ^b	62 ^c
100	55.2 ^c	1.4 ^{ab}	2.9 ^c	68 ^b
150	53.7 ^d	1.2 ^b	1.7 ^d	79 ^a

由表5可知,木聚糖酶的引入,对面团吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度均有显著影响。添加量为

150 mg/kg时, 小麦粉的吸水率、形成时间、稳定时间降幅分别为7.89%、29.41%、69.09%, 弱化度增幅为33.89%, 一定程度上劣化了面团品质^[29]。木聚糖酶对面团品质的影响主要是水不溶性戊聚糖的降解使面团生成平均相对分子质量较小的水溶性戊聚糖及其他小分子物质, 释放水分, 造成面团中自由水含量升高, 又因面团持水能力降低, 面团弱化, 形成时间缩短^[29]。

2.6 木聚糖酶对面团拉伸特性的影响

表6 木聚糖酶对面团拉伸特性的影响
Table 6 Effect of xylanase on tensile properties of dough

酶添加量/ (mg/kg)	保温45 min			保温90 min			保温135 min		
	E/mm	Rm/BU	A/cm ²	E/mm	Rm/BU	A/cm ²	E/mm	Rm/BU	A/cm ²
0	142 ^c	361 ^a	91 ^a	132 ^b	441 ^a	76 ^a	125 ^d	417 ^a	67 ^a
50	147 ^c	323 ^b	87 ^{ab}	137 ^b	357 ^b	72 ^{ab}	131 ^{bc}	390 ^b	64 ^{ab}
100	153 ^b	312 ^c	83 ^b	145 ^a	337 ^c	67 ^{bc}	139 ^b	376 ^c	59 ^{bc}
150	160 ^a	297 ^d	75 ^c	151 ^a	317 ^d	63 ^c	145 ^a	345 ^d	55 ^c

注: E为延伸度; Rm为抗拉伸阻力; A为拉伸曲线面积。

由表6可知, 木聚糖酶的引入显著提高了面团的延展性, 而抗拉伸阻力显著下降 ($P < 0.05$)。一是因为加入木聚糖酶后, 戊聚糖被降解成了水溶性戊聚糖及小分子物质, 戊聚糖吸收的水分被释放, 面团中存在较多的自由水, 改变了面团中水分分布, 使面团变软, 抗拉伸阻力下降^[29]; 二是水不溶性戊聚糖降解生成平均分子质量较小的水溶性戊聚糖及其他小分子物质, 这些物质溶于水并与蛋白质、淀粉等结合, 黏附于面筋网络中, 改善面筋网络结构, 提高面筋网络的致密性, 持水、持气性, 增强面团延展性^[30]。

3 结论

木聚糖酶可将不溶性戊聚糖降解为可溶性戊聚糖, 酶添加量越高, 水解度越大。水解后不溶性戊聚糖和可溶性戊聚糖的吸水能力均显著下降, 水溶性戊聚糖的吸水能力低于水不溶性戊聚糖。木聚糖酶降解后的水溶和水不溶性戊聚糖的内黏度均显著下降, 水溶性戊聚糖内黏度下降较快。HPGFC测得的水溶和水不溶性戊聚糖的平均相对分子质量随木聚糖酶添加量的增加均显著下降。粉质实验和拉伸实验表明, 木聚糖酶能降低面团的吸水率、缩短面团的形成时间和稳定时间、降低抗拉伸阻力、提高弱化度、改善面团延展性。

参考文献:

- [1] 孙兆远. 酶制剂对速冻水饺冻痕率影响的研究[J]. 食品科技, 2009(4): 138-141. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2009.04.032.
- [2] PETIT-BENVEGNIEN M D, SAULNIER L, ROUAU X. Solubilization of arabinoxylans from isolated water-unextractable pentosans and wheat flour doughs by cell-wall-degrading enzymes[J]. Cereal Chemistry, 1998, 75(4): 551-556. DOI:10.1094/CCHEM.1998.75.4.551.
- [3] ROUAU X, MOREAU D. Modification of some physicochemical properties of wheat flour pentosans by an enzyme complex recommended for baking[J]. Cereal Chemistry, 1993, 70(6): 626-632.
- [4] 任顺成, 李绍虹, 范永超, 等. 酶制剂对冷冻面团品质影响的研究[J]. 粮食科技与经济, 2010, 35(2): 49-53. DOI:10.3969/j.issn.1007-1458.2010.02.018.

- [5] BURKITT D, WALKER A, PAINTER N S. Effect of dietary fibre on stools and transit-times, and its role in the causation of disease[J]. The Lancet, 1972, 300: 1408-1411. DOI:10.1016/S0140-6736(72)92974-1.
- [6] 岳晓禹, 贺小营, 牛天贵, 等. Effect of dietary fibre on stools and transit-times, and its role in the causation of disease[J]. 酿酒科技, 2007(4): 113-115. DOI:10.3969/j.issn.1001-9286.2007.04.032.
- [7] 张勤良, 王璋, 许时婴. 中性木聚糖酶在面包制作中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(7): 21-25. DOI:10.3321/j.issn:0253-990X.2004.07.005.
- [8] 李秀婷, 李里特, 江正强, 等. 耐热木聚糖酶对面包老化作用探讨[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(1): 23-27. DOI:10.3321/j.issn:0253-990X.2006.01.006.
- [9] FENGLER A I, MARQUARDT R R. Water-soluble pentosans from rye: II. effects on rate of dialysis and on the retention of nutrients by the chick[J]. Cereal Chemistry, 1988, 65: 298-302.
- [10] CLEEMPUT G, ROELS S, OORT M V, et al. Heterogeneity in the structure of water-soluble arabinoxylans in European wheat flours of variable bread-making quality[J]. Cereal Chemistry (USA), 1993, 70: 324-329.
- [11] PINCKARD R N, FARR R S, HANAHAN D J. Physicochemical and functional identity of rabbit platelet-activating factor (PAF) released *in vivo* during IgE anaphylaxis with PAF released *in vitro* from IgE sensitized basophils[J]. The Journal of Immunology, 1979, 123(4): 1847-1857.
- [12] PRIMO-MARTIN C, WANG M, LICHTENDONK W J, et al. An explanation for the combined effect of xylanase-glucose oxidase in dough systems[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(7): 1186-1196. DOI:10.1002/jsfa.2107.
- [13] COURTIN C, GELDERS G, DELCOUR J. Use of two endoxylanases with different substrate selectivity for understanding arabinoxylan functionality in wheat flour breadmaking[J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(5): 564-571. DOI:10.1094/CCHEM.2001.78.5.564.
- [14] HANDA N, YANAGI K. Studies on water-extractable carbohydrates of the particulate matter from the northwest Pacific Ocean[J]. Marine Biology, 1969, 4: 197-207.
- [15] 马瑞萍. 木聚糖酶对冷冻面团品质改良及作用机理研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 52-58. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2009.04.032.
- [16] 崔文礼, 张平治, 张文明, 等. “郑麦 9405/皖麦 19” F2 植株籽粒中水溶性和非水溶性戊聚糖含量的分布[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(2): 241-245.
- [17] 冯焱, 佟建明. 地衣酚: 盐酸测定小麦中戊聚糖含量的研究[J]. 社科新视野, 2004(7): 44-45. DOI:10.3969/j.issn.1003-6202.2004.07.020.
- [18] 宋晓庆, 董海洲. 黑麦水溶性阿拉伯木聚糖提取工艺的研究[J]. 西部粮油科技, 2004, 28(5): 22-24. DOI:10.3969/j.issn.1007-6395.2003.05.006.
- [19] 马福敏, 刘燕, 王璋, 等. 全麦粉中阿拉伯木聚糖氧化交联性质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(9): 20-26. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2008.09.007.
- [20] 郑学玲, 姚惠源. 小麦皮中戊聚糖的制备、分级及组成分析[J]. 郑州工程学院学报, 2002, 23(1): 28-32. DOI:10.16433/j.cnki.issn1673-2383.2002.01.006.
- [21] 孙元琳, 李文多, 张生万, 等. 黑小麦麸皮戊聚糖的提取、纯化与组成分析[J]. 中国食品学报, 2010, 10(5): 54-59. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2010.05.008.
- [22] GRUPPEN H, MARSEILLE J, VORAGEN A, et al. On the large-scale isolation of water-insoluble cell wall material from wheat flour[J]. Cereal Chemistry, 1990, 67: 512-514.
- [23] LARRAURI J. New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products[J]. Trends in Food Science & Technology, 1999, 10: 3-8. DOI:10.1016/S0924-2244(99)00016-3.
- [24] STEPHEN A M, CUMMINGS J. Water-holding by dietary fibre *in vitro* and its relationship to faecal output in man[J]. Gut, 1979, 20: 722-729.
- [25] 王明伟. 小麦水溶性戊聚糖对面筋形成及品质影响的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2002(10): 36-38. DOI:10.3969/j.issn.1003-6202.2002.10.017.
- [26] 全国粮油标准化技术委员会. 小麦粉面团的物理特性吸水率和流变学特性的测定 粉质仪法: GB/T 14614—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 9.
- [27] 全国粮油标准化技术委员会. 小麦粉面团的物理特性流变学特性的测定 拉伸仪法: GB/T 14614—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 9.
- [28] 郑学玲, 蒋清民, 李秀梅, 等. 小麦麸皮戊聚糖理化性质研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2006, 27(6): 15-19. DOI:10.3969/j.issn.1673-2383.2006.06.004.
- [29] 王显伦, 任顺成, 潘思轶, 等. 木聚糖酶对冷冻馒头老化特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(5): 29-32. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201505006.
- [30] 王霞, 朱科学, 钱海峰, 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.