

文章编号 :1009 - 038X( 2001 )03 - 0275 - 05

# 面包制作过程中戊聚糖酶的作用机理

周素梅 , 王 璋 , 许时婴

( 无锡轻工大学食品学院 ,江苏无锡 214036 )

**摘 要 :**研究了戊聚糖酶对面包品质的影响.加酶面包的体积明显增加,在适宜加酶量下,面包综合品质较佳.加酶面团中可溶性戊聚糖含量显著增加,但加酶过量可导致面团中水可提取的阿拉伯木聚糖(WEAX)降解程度加剧.未加酶面团较原料面粉中的可溶性戊聚糖含量略有增加,WEAX亦有部分降解,但作用程度远低于加酶样品.适量戊聚糖酶对面包品质的改良作用的关键在于产生大量的相对分子质量适宜的 WEAX.

**关键词 :**戊聚糖酶 ;面团 ;面包 ;水可提取的阿拉伯木聚糖(WEAX)

中图分类号 :TS213.21

文献标识码 :A

## The Mechanism of Pentosanase in Bread-making

ZHOU Su-mei , WANG Zhang , XU Shi-ying

( School of Food Science and Technology , Wuxi University of Light Industry , Wuxi 214036 , China )

**Abstract :** The effects of pentosanase were studied on the bread-making quality and water-extractable arabinoxylan ( WEAX ) of doughs at three levels of addition ( 0 , 60  $\mu\text{g/g}$  , 120  $\mu\text{g/g}$  ). The enzyme increased the bread volume , and the overall bread quality was the best at the optimal level of addition ( 60  $\mu\text{g/g}$  ). The amount of soluble pentosan of the doughs apparently increased with added enzyme , and was similar at the optimal and excessive levels of enzyme addition ( 120  $\mu\text{g/g}$  ) , but the WEAX from the latter doughs was degraded to a greater degree. The amount of soluble pentosan of control doughs was a little more than that of the flour , and WEAX from control doughs was partly degraded. Its average molecular weight was higher than that of the WEAX from the enzyme-treated doughs. The improvement effect of pentosanase on bread quality at the optimal level of addition therefore appeared to be related to the amount and size of WEAX.

**Key words :** pentosanase ; dough ; bread ; water-extractable arabinoxylan ( WEAX )

阿拉伯木聚糖( Arabinoxylan ,简称 AX )是小麦面粉中主要的非淀粉多糖,约占面粉的 1.5% ~ 3.0% ,其中 20% ~ 30% 为水可提取的( Water-extractable Arabinoxylan ,简称 WEAX ) ,70% ~ 80% 为水不可提取的( Water-unextractable Arabinoxylan ,

简称 WUAX )<sup>[1]</sup>.因阿拉伯木聚糖主要由五碳糖构成,过去习惯上又称为戊聚糖.虽然 AX 对面团和面包品质的影响已有共识,但不同类型的 AX 在面包品质影响上的差异性则观点则不尽相同<sup>[2~4]</sup>,一般认为,WEAX 有积极作用,而 WUAX 则有消极作

收稿日期 2000 - 10 - 31 ;修订日期 2001 - 04 - 18.

作者简介 :周素梅( 1971 - ) ,女 ,河南商丘人 ,食品科学博士研究生.

万方数据

用.实践中也证实面包制作过程中添加适量的戊聚糖酶,可增加面团中 WEAX 的含量,改善面团的调理性能,增大面包体积,改善面包心质构<sup>[5-6]</sup>.戊聚糖酶因其对面包品质的显著改良作用及公认的安全性,目前已成为面包改良剂中的一种重要成分<sup>[7]</sup>,但有关戊聚糖酶的作用机理至今仍不是十分清楚.作者曾对直接从面粉中提取的 WEAX 和 WUAX 的模拟体系做过酶解性质的研究<sup>[8-9]</sup>,得知在较简单的反应体系中,戊聚糖酶可将 WEAX 降解到很低的聚合度;对 WUAX 的酶解作用则是先将其降解为相对分子质量较大的 WEAX(与面粉中天然的 WEAX 相比),之后随着反应时间的延长,再将 WEAX 进一步降解.从简单模拟体系可直观反映出酶的作用能力和阿拉伯木聚糖的酶解性质,但仅此还不足以充分说明酶在面团中的实际作用情况,因为面粉中大量存在的淀粉、蛋白质会干扰戊聚糖酶的作用,因此,若要了解戊聚糖酶的作用机理,还应以真实体系为研究对象.作者以国产小麦粉为原料,研究了在面包制作过程中不同阶段戊聚糖酶的作用机理.

## 1 材料与方法

### 1.1 主要材料

小麦特一粉 无锡茂新面粉厂生产;戊聚糖酶 丹麦 NOVO 公司产品;活性干酵母 法国燕牌产品.

### 1.2 主要设备

和面机 上海早苗食品有限公司生产;发酵柜 301 A 上海实验仪器总厂生产;烤炉 美国民族制造公司生产;面包体积测量仪 美国民族制造公司生产;真空冷冻干燥机 美国 Consol 公司生产;中空纤维超滤器 天津纺织工学院生产;高效液相系统 Waters209 系列,美国 Waters 公司生产;配备 R401 差示折光检测器.

### 1.3 方法

#### 1.3.1 面包制作工艺

采用一次发酵法<sup>[10]</sup>.基本配方(%):面粉,100;水,56;酵母,1.5;蔗糖,3;氢化油,3;盐,1.5;戊聚糖酶添加质量分数为 0、60、120  $\mu\text{g/g}$  共 3 个水平.

制作工艺 和面(18',中速)→发酵(30℃)→整形→醒发(40℃,相对湿度 80%)→焙烤(230℃,14')→面包.

1.3.2 面包体积和比容的测定 菜籽排重法测面包体积,比容为面包体积( $\text{cm}^3$ )与质量( $\text{g}$ )之比.

1.3.3 面团取样和处理 分别在和面结束(阶段 I)、发酵结束(阶段 II)、醒发结束(阶段 III)、焙烤中期(阶段 IV)取面团样品,立即放入冰柜(-30℃)中,完全冻结后冷冻干燥.冻干样品粉碎、过 60 目筛,得到面团面粉样品.

1.3.4 从原料面粉及面团面粉中提取 WEAX 参见文献[8].

1.3.5 地衣酚-盐酸法测定原料面粉及面团面粉中可溶性戊聚糖含量 参见文献[8].

1.3.6 WEAX 的基本组成及性质分析 戊聚糖含量 地衣酚-盐酸法;蛋白质含量 Lowry 法;阿魏酸含量 分光光度法<sup>[11]</sup>;粘度 乌氏粘度计,40℃<sup>[8]</sup>;平均相对分子质量 HPLC 法,流动相 0.1 mol/L  $\text{NaNO}_3$  溶液,流速 0.9 mL/min,柱温 45℃,池温 37℃,进样量 20  $\mu\text{L}$ ,经标准糖校正,该色谱柱保留时间( $R_T$ )与相对分子质量( $M_W$ )的关系式为  $\lg M_W = -0.4757 R_T + 13.332$ ,  $R^2 = 0.9979$ .

## 2 结果与讨论

### 2.1 面包焙烤试验

面包的品质主要由面包的体积和比容来反映,综合考虑面包心的质构.

由表 1 可看出,与对照组相比,添加戊聚糖酶确可增大面包体积.不同加酶量得到的面包体积是相近的,但在面包制作过程中,加酶过量的面团变得稀软、粘手,增加了操作的难度,且最终产品内部有较多不均匀的孔洞.因此,在本试验条件下,加酶量为 60  $\mu\text{g/g}$  对于改善面团及面包的综合品质是最适宜的.

表 1 不同添加量的戊聚糖酶对面包品质的影响  
Tab.1 Effect of different levels of added pentosanase on bread quality

戊聚糖酶添加质量分数/ ( $\mu\text{g/g}$ )	体积/ $\text{cm}^3$	比容/( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
0	496 ± 24	3.63 ± 0.09
60	527 ± 13	4.04 ± 0.16
120	526 ± 7	3.78 ± 0.06

### 2.2 不同加酶量下面团面粉中可溶性戊聚糖含量的变化

在戊聚糖酶的 3 种不同添加水平下,从面包制作的 4 个阶段得到的面团面粉中可溶性戊聚糖含量的变化情况见表 2.

表 2 戊聚糖酶不同添加水平下各阶段面团面粉中可溶性戊聚糖含量

Tab.2 Contents of soluble pentosans of doughs with different levels of added pentosanase

戊聚糖酶添加质量分数/ ( $\mu\text{g/g}$ )	可溶性戊聚糖质量分数 <sup>*</sup> / $\%$			
	I	II	III	IV
0	$0.51 \pm 0.03$	$0.72 \pm 0.02$	$0.82 \pm 0.04$	$0.79 \pm 0.02$
60	$1.20 \pm 0.02$	$1.25 \pm 0.01$	$1.49 \pm 0.07$	$1.49 \pm 0.02$
120	$1.18 \pm 0.05$	$1.32 \pm 0.05$	$1.44 \pm 0.08$	$1.43 \pm 0.10$
原料面粉	$0.48 \pm 0.02$			

注 戊聚糖含量以木糖计 ,以物料干基为基准 ,各数值至少取 6 次试验平均值 .

原料面粉中可溶性戊聚糖质量分数为 0.48%( 总戊聚糖质量分数 1.74% ) ,添加戊聚糖酶的面团面粉中可溶性戊聚糖含量显著上升 .尤其是经过第 I 阶段 ,可溶性戊聚糖质量分数由 0.48% 增至 1.20% 左右 ,在第 III 阶段达到最大值( 1.49% ) ;第 IV 阶段基本无变化 .

和面( 阶段 I )过程中 ,在强烈的机械搅拌作用下 ,面团中各组分得以充分混匀 ,酶与底物接触机会多 ,机械功的输入使得面团温度升高( 40 ℃ 左右 ) 加快了酶的作用 ,所以在酶源充足的情况下 ,面团中的水不可提取阿拉伯木聚糖( WUAX )被很快降解溶 .醒发( 阶段 III )过程中温度较高( 40 ℃ ) 湿度大( 80% ) ,酶较前阶段也更为活跃 .经过 3 h 左右的面包面团阶段 ,戊聚糖酶对 WUAX 的降解作用已接近完全 .在焙烤阶段( 阶段 IV ) ,一方面 ,高温下酶很快失活 ;另外 ,可被酶作用的 WUAX 已经很少 ,因此 ,阶段 IV 中面团面粉中可溶性戊聚糖的量与前阶段相比基本没有变化 .而不加酶的对照样品 ,经历了面包制作的各阶段 ,面团面粉中可溶性戊聚糖含量也略有增加 .分析原因可能是面粉中天然存在的戊聚糖水解酶在起作用<sup>[12]</sup> ,但此类酶一般量很少 ,又常处于被保护状态 ,需要一个释放过程 .因而 ,未加酶面团经过第 I 阶段后可溶性戊聚糖的增加不明显 ,至第 III 阶段才有较明显的增加 ,不过仍远低于加酶面团 .添加过量的酶并未使得面团中可溶性戊聚糖的含量有更多增加 ,而且还会带来面团过粘等不良影响 .

2.3 从各阶段面团面粉中提取所得 WEAX 的基本性质

从原料面粉及各面团面粉中提取 WEAX ,方法同前<sup>[8]</sup> .先将面粉灭酶 ,然后经过水提取、超滤、乙醇沉淀等步骤得到较纯的 WEAX .表 3 可见 ,从面团面粉中提取 WEAX 的纯度较从原料面粉中提取的高 ,后者蛋白质含量明显偏高 .分析原因可能是在和面过程中 ,面粉中的蛋白质与蛋白质或蛋白质

表 3 面粉及各面团面粉中提取所得 WEAX 的基本成分<sup>\*</sup>

Tab.3 Compositions of WEAX extracted from flour and doughs

WEAX 来源	面团制作阶段	WEAX		
		戊聚糖质量分数/ $\%$	蛋白质/( $\text{mg/g}$ )	阿魏酸/( $\text{mg/g}$ )
面粉		$73.73 \pm 2.95$	90.04	1.05
对照样	I	$92.29 \pm 4.15$	16.64	1.31
	II	$94.96 \pm 3.13$	22.64	1.17
	III	$92.28 \pm 3.32$	22.64	1.00
	IV	$87.06 \pm 3.65$	24.80	1.10
加酶量为 60 $\mu\text{g/g}$	I	$91.48 \pm 4.48$	11.33	0.88
	II	$94.44 \pm 4.63$	14.99	0.82
	III	$92.23 \pm 3.87$	31.36	0.72
	IV	$86.98 \pm 3.91$	25.02	1.06
加酶量为 120 $\mu\text{g/g}$	I	$89.54 \pm 2.42$	13.79	0.99
	II	$86.26 \pm 3.36$	38.41	1.10
	III	$84.20 \pm 3.11$	51.88	0.92
	IV	$82.06 \pm 1.80$	45.08	1.13

注 戊聚糖含量以木糖计 ,以物料干基为基准 ;蛋白质和阿魏酸含量以戊聚糖为基准 .

与多糖之间产生结合形成了容易去除的不溶物 ,减少了蛋白质的干扰 .比较各阶段面团面粉中提取的 WEAX 的基本组成 ,前三阶段面团中 WEAX 的戊聚糖含量较第 IV 阶段的高 ,而蛋白质含量差别并不明显 ,可能在焙烤阶段 ,因高温作用 ,有部分淀粉糊化变成可溶性多糖 ,在 WEAX 的提取过程中很难除去 ,从而降低了 WEAX 的纯度 .值得一提的是 ,WEAX 中含有的蛋白质并不全是外来污染 ,在 WEAX 的结构组成中 ,除了木糖与阿拉伯糖外 ,还含有蛋白质和阿魏酸 ,而且这两种组分在 WEAX 独特的功能性质——氧化胶凝性质上具有重要作用<sup>[3]</sup> .由分光光度法测定阿魏酸含量得到的是未发生氧化反应的阿魏酸活性基团的数量 ,由表 3 可见 ,第 III 阶段面团中提取的 WEAX 中阿魏酸含量最

低,推测是在此阶段 WEAX 之间发生了较多的氧化交联反应.

由粘度计法测量并推导出的表现特性粘度 $[\eta]_{app}$ 能够直接反映高聚物的聚合度,与 HPLC 法测得的结果相比,两种方法有良好的相关性( $R^2 = 0.9469$ ).由表 4 可见,直接从面粉中提取 WEAX 的平均相对分子质量最大( $4.6 \times 10^5$ ),从面团面粉中提取的 WEAX,随着戊聚糖酶用量的提高,面团中 WEAX 的聚合度大幅下降(从平均相对分子质量  $4.6 \times 10^5$  到  $3.0 \times 10^4$  左右),即使是未加酶样品,由于面粉中内源酶和机械搅拌作用,WEAX 的平均相对分子质量也有下降.从不同阶段的面团提取的 WEAX 的相对分子质量又有不同,总的看来,加酶样品阶段 II 的最高,其次是阶段 III 的,阶段 I、IV 的更低.结合表 2,对戊聚糖酶在面包制作过程中的作用情况可作一推测:在面包制作的和面阶段,由于强烈的机械搅拌作用,面团温度较高,在外加戊聚糖酶充足的情况下,面团中的 WUAX 被很快降解变得可溶(可溶性戊聚糖含量增加 150%,见表 2),WEAX 的降解作用也进行的相当快( $[\eta]_{app}$  下降了 3 倍左右,平均相对分子质量下降近一个数量级).从和面结束得到面团的品质来看,加酶过量的面团非常粘(似有水分析出),弹性下降,延伸性增加,这与戊聚糖的过度降解有关.在面团发酵阶段添加酶的情况下,因和面阶段已将大部分的 WUAX 变成 WEAX,所以增溶作用较前阶段小,但因有充分的作用时间,一些在和面阶段未被作用的高聚合度的 WUAX 继续被降解释放出较大相对分子质量的 WEAX,使整体 WEAX 的平均聚合度又上升.从面团的表现来看,加酶面团表面粘手的现象有所改观.至醒发阶段,WUAX 的增溶及 WEAX 的降解作用亦同时存在,但因为没有足够的相对分子质量较大的 WEAX 溶出,表现为 WEAX 平均相对分子质量的下降.在焙烤阶段,可溶性戊聚糖含量不再变化,高温作用下酶的作用主要表现为对 WEAX 的降解,过多的酶只会造成对 WEAX 的过度降解及面团品质的劣化.因此,对于改良面包品质而言,首先,面团中 WEAX 的量要充足;其次,WEAX 不能被过度降解.

参考文献：

[ 1 ] FINCHER G B, STONE B A. Advances in Cereal Science and Technology[ M ]. Minnesota **St Paul**, 1986.  
[ 2 ] JELECA S L, HLYNKA I. Effect of Wheat-Flour Pentosans in Dough, Gluten and Bread[ J ]. **Cereal Chem**, 1972, 49 :489 ~ 495.  
[ 3 ] HOSENEY R C. Functional Properties of Pentosans in Baked Foods[ J ]. **Food Technology**, 1984, 1 :114 ~ 117.

表 4 面粉及各面团中提取所得 WEAX 的 $[\eta]_{app}$ 和平均相对分子质量变化\*

Tab.4  $[\eta]_{app}$  and the average molecular weight of WEAX extracted from flour and doughs

WEAX 来源	面团阶段	WEAX	
		$[\eta]_{app}/(mL/g)$	平均相对分子质量
面粉		251	$4.6 \times 10^5$
对照样	I	190	$3.3 \times 10^5$
	II	186	$3.5 \times 10^5$
	III	153	$2.2 \times 10^5$
	IV	223	$3.6 \times 10^5$
加酶量为 60 $\mu g/g$	I	96	$5.8 \times 10^4$
	II	125	$1.0 \times 10^4$
	III	106	$7.3 \times 10^4$
	IV	93	$4.3 \times 10^4$
加酶量为 120 $\mu g/g$	I	82	$4.4 \times 10^4$
	II	116	$8.3 \times 10^4$
	III	108	$4.3 \times 10^4$
	IV	78	$2.8 \times 10^4$

注 粘度测定在 40℃ 下进行,平均相对分子质量由 HPLC 法测定.

3 结 论

以“特一粉”为原料,研究在戊聚糖酶的不同添加水平下面包的焙烤品质及面团中 WEAX 性质的变化.在适宜的加酶量下,面包的体积大,内部质构较细腻,焙烤品质较佳;加酶过量,尽管面包体积也较大,但会造成面团过粘而影响操作.戊聚糖酶使面团中可溶性戊聚糖含量显著增加,增幅最大的是在面包制作的和面阶段.两种加酶水平下可溶性戊聚糖含量的增加程度相当. WEAX 的降解作用在和面阶段进行得最快,酶用量越高,WEAX 的平均相对分子质量越小.发酵结束后,面团中 WEAX 的平均相对分子质量有所上升,面团的调理性能有所改善.推测在面粉中存在内源戊聚糖水解酶,使得未加酶面团中可溶性戊聚糖含量也有少量增加,WEAX 有部分降解.

- [ 4 ] JAMES W , PENCE , PALEK M. Some Effects of Soluble Flour Components on Baking Behavior[ J ]. **Cereal Chem** , 1951 , 27 : 95 ~ 104.
- [ 5 ] KRISHNARAU L , HOSENEY R C. Enzymes Increase Loaf Volume of Bread Supplemented with Starch Tailing and Insoluble Pentosan[ J ]. **J Food Sci** , 1994 , 59 : 1251 ~ 1254.
- [ 6 ] ROUAU X. MOREAU D. Effect of an Enzyme Preparation Containing Pentosanases on the Bread-making Quality of Flours in Relation to Changes in Pentosan Properties[ J ]. **J Cereal Sci** , 1994 , 19 : 259 ~ 272.
- [ 7 ] QISI J. Synergistic Effects of Enzymes for Bread-making[ J ]. **Cereal Foods World** , 1997 , 42 : 802 ~ 807.
- [ 8 ] 周素梅 , 王璋 , 许时婴. 小麦面粉中阿拉伯木聚糖酶解性质的研究( I ) [ J ]. 中国粮油学报 , 2000 , 15( 3 ) : 13 ~ 17.
- [ 9 ] 周素梅 , 王璋 , 许时婴. 小麦面粉中阿拉伯木聚糖酶解性质的研究( II ) [ J ]. 中国粮油学报 , 2000 , 15( 5 ) : 27 ~ 32.
- [ 10 ] 柯惠玲 , 李庆龙. 谷物品质分析 [ M ]. 武汉 : 湖北科学出版社 , 1989.
- [ 11 ] IZYDORCZYK M S. BILIADERIS C G , BUSHUK W. Oxidative Gelation Studies of Water-soluble Pentosans from Wheat [ J ]. **J Cereal Sci** , 1990 , 11 : 153 ~ 169.
- [ 12 ] CLEEMPUT G , BLEUKX W. Evidence for the Presence of Arabinoxylan Hydrolysing Enzymes in European Wheat Flours[ J ]. **J Cereal Sci** , 1995 , 22 : 139 ~ 145.

( 责任编辑 : 朱 明 )