

文章编号 :1009-038X(2002)06-0613-04

# 谷氨酰胺转氨酶对面粉品质的改良作用

倪新华, 江波, 王璋

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214036)

**摘要:**应用单一酶制剂谷氨酰胺转氨酶对面粉进行了品质改良研究,结果表明,谷氨酰胺转氨酶可以催化面筋蛋白形成  $\epsilon$ -( $\gamma$ -谷氨酰基)赖氨酸共价键,从而明显改善面团的粉质特性,使面团的形成时间、稳定时间、断裂时间增加,面团的弱化度降低。在拉伸曲线中可以看出加酶的面团抗延伸阻力增加,面团的延伸性下降,粉力增加到 2~3 倍后逐渐稳定。应用 AR-1000 流变仪根据时间扫描动态测量模式考察了面团的贮能模量随酶反应时间的变化情况,与对照相比,添加质量分数为 0.25% 和 0.5% 的谷氨酰胺转氨酶可使面团的贮能模量显著增加,0.5% 的加酶量使贮能模量增加更快。此外,加酶面团的持水性增大,面团的表面黏性下降。

**关键词:**谷氨酰胺转氨酶;面粉;面团;共价交联

中图分类号:TS 211.4<sup>+</sup>3

文献标识码:A

## Effects of Transglutaminase Treatment on the Quality of Wheat Flour

NI Xin-hua, JIANG Bo, WANG Zhang

(School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

**Abstract:** The effects of transglutaminase on the quality of wheat flour were studied. Transglutaminase (TGase) can create new covalent intermolecular cross-links between proteins in gluten. This modification can improve the farinographic properties of dough. Dough development time, dough stability and break down time increased, and dough weak value decreased. In extensogram of dough with transglutaminase, there was a large increase in resistance to stretching and a decrease in extensibility. The energy value increased by two times, then reached a platform. Dynamic oscillation was performed on a AR-1000 rheometer using time-sweep program. The storage modulus of dough with transglutaminase increased greatly compared with control, and the storage modulus increased faster with an addition of 0.5% than that of 0.25%. The water-holding capacity of dough with transglutaminase was also increased.

**Key words:** transglutaminase; wheat flour; dough; cross-link

小麦是我国主要的粮食作物,约占全国粮食总产量的 1/4,但我国的小麦受品种、气候、土壤等因素的影响,大多属于中低筋小麦,难以生产出优质面粉。因此,企业在面粉和面制品生产中,常常加入

氧化剂来增强面粉的筋力,改善面团的流变学特性和机械加工性能,使生产出的面制品具有较好的质构和口感。常用的面粉强筋剂有溴酸钾、抗坏血酸、碘酸钾和偶氮甲酰胺等,溴酸钾由于具有特殊、高

收稿日期 2002-04-20; 修订日期 2002-06-28.

作者简介:倪新华(1977-)男,浙江绍兴人,食品科学与工程硕士研究生。

万方数据

效的改良效果而受到面粉生产厂家的青睐。但近年来,溴酸钾毒性和致癌性已被广泛证实,世界卫生组织(WHO)已通报了溴酸钾是致癌物质<sup>[1]</sup>,许多国家已经禁止使用,我国也将采取相应措施,因此许多国家都在研制溴酸钾的替代品。目前,国际上的研究热点是应用生物技术,采用新型酶制剂和其它安全、天然的配料,开发高效的面粉品质改良剂。酶制剂在面粉工业中的使用为人们寻找溴酸钾代用品开辟了一条新路。葡萄糖氧化酶、脂肪酶、淀粉酶和戊聚糖酶等对面粉的改良作用已为国内食品专家所关注,而谷氨酰胺转胺酶对面粉品质的改良作用在国内尚未见报道,但在日本,谷氨酰胺转胺酶已广泛应用于面制品中<sup>[2]</sup>。

谷氨酰胺转胺酶(Transglutaminase, EC 2.3.2.13, 简称 TGase)是一种催化酰基转移反应的转移酶,它可催化蛋白质以及肽键中谷氨酰胺残基的 $\gamma$ -羧酰胺基和赖氨酸残基的 $\epsilon$ -氨基相连,形成 $\epsilon$ ( $\gamma$ -谷氨酰基)赖氨酸共价键,从而改变蛋白质的结构和功能性质,赋予食品蛋白质特有的质构和口感<sup>[3,4]</sup>。TGase 已广泛应用于水产加工、畜肉加工、乳品加工以及豆制品加工中<sup>[5~6]</sup>。小麦粉中的蛋白质主要是面筋蛋白,含有大量的谷氨酰胺残基,是谷氨酰胺转胺酶较好的反应底物。本实验主要研究了 TGase 催化面筋蛋白发生 $\epsilon$ ( $\gamma$ -谷氨酰基)赖氨酸共价交联对面粉品质的影响,为 TGase 在面粉及面制品中的使用进行初步探讨。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

面条专用粉:江苏海悦实业有限公司生产;高

筋特筋粉:无锡市锡山面粉厂生产;超级粉:江苏丹阳江南面粉厂生产;谷氨酰胺转胺酶:泰兴市一鸣精细化工有限公司提供,其酶粉活力为 100 U/g;粉质仪(Farinograph)、拉伸仪(Extensograph)和积分仪均由德国 Brabender 公司生产;AR-1000 流变仪:英国 TA Instrument 公司制造。

### 1.2 方法和步骤

1.2.1 粉质试验 采用 GB/T14614-93 方法,分别测定 TGase 添加量质量分数为 0、0.5、1.0% 时的面条专用粉、高筋特筋粉和超级粉 3 种面粉的粉质曲线,同时添加等量的酪蛋白酸钠于高筋特筋粉中作对照。

1.2.2 拉伸试验 采用 GB/T14615-93 方法,分别测定 TGase 添加量质量分数为 0、0.25、0.5、1.0% 时的面条专用粉和高筋特筋粉的拉伸曲线。

1.2.3 振荡测量法 20 g 面粉加水(加水量由粉质仪确定)揉制成面团,切取一小块放在 AR-1000 流变仪平台上,降下平板,达到设定间距,切去多余面团,加矿物油密封(防止水分蒸发),以振荡模式下的时间扫描程序研究 TGase 对面团流变性质(储能模量  $G'$ )的影响。流变仪条件:4 cm 平行板,平行板间距 1 mm,应变(% strain)为 1%,频率为 10 Hz,温度为 30 °C。

## 2 结果与讨论

### 2.1 粉质试验结果

粉质仪是测定面团揉合特性的主要仪器,通过粉质仪测定可以计算面粉的吸水率、面团揉制时的稳定性和其它多种特性。粉质试验结果见表 1。

表 1 TGase 对面团粉质特性的影响

Tab.1 Effect of TGase on the farinographic properties of dough

面粉种类	加酶量质量分数/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	公差指数/FU	断裂时间/min	弱化度/FU	评价值
面条专用粉	0	56.8	2.5	3.5	115	4.5	121	48
	0.5	56.2	2.5	4.2	82	5.6	102	53
	1.0	55.7	2.7	4.5	61	5.9	98	55
特精高筋粉	0	56.6	2.0	3.6	65	4.6	102	51
	0.5	55.7	2.0	5.1	45	6.4	85	56
	1.0	55.4	2.1	5.8	38	6.7	78	57
超级粉	0	57.1	2.1	4.6	50	6.2	72	57
	0.5	56.6	2.2	4.9	46	6.3	69	59
	1.0	56.7	2.2	5.1	40	6.7	69	61

万方数据

从表 1 可知, TGase 对面团的粉质特性影响明显。

**2.1.1 吸水率** 随着 TGase 添加量的增大, 3 种面粉的吸水率都略有下降, 这可能是由 TGase 酶制剂中的酪蛋白酸钠引起的。因为酶制剂中只含 10% 的 TGase, 其余为酪蛋白酸钠等填充剂, 在面粉中添加等量的酪蛋白酸钠, 发现面团的吸水率随之下下降, 且下降的幅度相似(数据未列出), 故初步断定吸水率的下降是由酪蛋白酸钠引起的。面团的吸水分两个阶段完成, 第一阶段为面粉的表面水化, 第二阶段主要靠面筋蛋白胶团内外的渗透压差吸水, 酪蛋白酸钠的存在使胶团的外部渗透压增大, 阻碍了面团的吸水, 从而使吸水率降低。

**2.1.2 形成时间** 随着 TGase 的加入, 面条专用粉、特精高精粉、超级粉这 3 种面粉的形成时间都有所增加, 但增幅不明显, 说明 TGase 在搅拌起始阶段催化面筋蛋白形成的交联很少。

**2.1.3 稳定时间** 由于 TGase 的加入, 3 种面粉的稳定时间都有增加, 且随着 TGase 添加量的增大, 稳定时间越长。稳定时间的增加, 反映了加酶后面

团有更好的耐揉性, 即对剪切降解有更好的抵抗力, 说明 TGase 催化面筋蛋白发生了分子间或分子内交联反应, 使面筋网络结构更加牢固。

**2.1.4 弱化度** 弱化度表明面团在搅拌过程中的破坏速率。由表 1 可知, 3 种面粉的弱化度随 TGase 的添加而降低, 表明面筋网络结构随 TGase 的添加而增强, 从而对机械搅拌的承受能力增大。

**2.1.5 评价值** 评价值是从曲线最高处开始下降算起并在 12 min 处所测量到的数值, 它综合了面团的形成时间和弱化度等, 是全面衡量面团性质的一个综合指标, 评价值越高, 面粉筋力越好。由评价值来看, 添加 TGase 均可改善 3 种面粉的品质。

从总体上看, 通过添加 TGase, 面粉的面团形成时间、稳定时间、弱化度、评价值、公差指数和断裂时间均得到改善。

## 2.2 拉伸试验结果

拉伸仪是测定面团荷载变形的重要仪器, 根据拉伸曲线可以分析粉力、抗延伸阻力、延伸性及拉力比数指标。面条专用粉和高筋特筋粉的拉伸结果见表 2。

表 2 TGase 对面团拉伸特性的影响

Tab.2 Effect of TGase on extensogram properties of dough

醒面时间/min	指 标	面条专用粉 + TGase				特精高筋粉 + TGase			
		0%	0.25%	0.5%	1.0%	0%	0.25%	0.5%	1.0%
45	抗拉阻力/EU	120	220	293	543	228	337	448	542
	延伸性/mm	154	131	115	92	139	119	108	94
	拉力比数	0.78	1.68	2.55	5.90	1.64	2.83	4.15	5.76
	粉力/cm <sup>2</sup>	28	43	54	76	43	56	70	75
90	抗拉阻力/EU	150	315	559	878	252	504	723	838
	延伸性/mm	142	126	102	73	138	11.4	96	75
	拉力比数	1.06	2.50	5.48	12.03	1.83	4.42	7.53	11.2
	粉力/cm <sup>2</sup>	32	59	82	83	48	78	94	73
135	抗拉阻力/EU	162	463	726	913	282	558	827	894
	延伸性/mm	147	118	86	70	134	98	77	66
	拉力比数	1.10	3.92	8.44	13.04	2.10	5.69	10.7	13.5
	粉力/cm <sup>2</sup>	34	77	89	86	46	82	80	74

从表 2 看出: 不加酶时, 面条专用粉的抗拉伸阻力及粉力比特筋高筋粉的要低许多, 而延伸性略大, 说明面条专用粉的筋力比特筋高筋粉差, 但两者均为弱力粉; 经 TGase 作用后, 两者的拉伸特性均得到明显改善, 粉力都可达到 80 cm<sup>2</sup> 以上, 这是 TGase 催化面筋蛋白发生共价交联使其筋力增加的

缘故。

随着 TGase 添加量的增大或醒发时间的延长, 两种粉的顶峰抗拉阻力及拉力比数都呈单调递增趋势, 而延伸性呈单调递减趋势。但是, 抗拉阻力和拉力比数并不是越大越好, 当抗拉阻力与拉力比数过大时, 面团的延伸性太小, 面团表现为干而硬, 很

难拉开,一旦拉开就会断开,并不适合面制品加工<sup>[7]</sup>。因此,实验主要考察了面粉的粉力及拉力比数,在合适的拉力比数下使面团有较大的粉力。

在同一加酶量时考察酶反应时间对粉力及拉力比数的影响,当加酶质量分数在0.25%时,在135 min醒面时间内,两种面粉的粉力和拉力比数均呈良好的递增;当加酶质量分数为0.5%时,在90 min醒面时间内,两种粉的粉力和拉力比数有较好的增加;当醒面时间为135 min时,面条专用粉的粉力虽略有增加,但拉力比数太大,面团易断,面团加工性能反而不好,而高筋特筋粉不但拉力比数太大,而且粉力反而下降;当加酶质量分数为1.0%时,两种面粉的粉力和拉力比数在45 min醒面时间内均得到改善;当醒面时间延长到90 min和135 min时,面团的拉力比数太大,且粉力没有明显变化。据此可知,TGase对面粉品质有良好的改善效果,当加酶量小时,适当延长酶反应时间是有利的,当加酶量较大时,只需相对较短的酶反应时间即可改善面团的拉伸特性,而酶作用时间过长会导致面团过硬而不宜加工。在相同的酶反应时间考察加酶量对粉力及拉力比数的影响时,可得到类似的结果。

在拉伸实验中发现,不加酶的面团在醒面时间段内一直比较软,而且表面粘手,但加酶的面团随醒面时间的延长,面团变得不粘手,当加酶量较大且醒面时间较长时,面团会变得干而硬。用面条专用粉实验,在加酶质量分数为0.5%的水平时,多加质量分数5%的水,醒面时间为135 min时,面团的表面黏性大大改善。这些现象说明面团的持水能力提高,可能的原因有:面筋蛋白因分子间或分子内的 $\epsilon(\gamma\text{-谷氨酰基})$ 赖氨酸共价交联使三维网络结构变得更加紧密,从而面团的持水性上升;TGase可以催化谷氨酰胺残基脱氨基使之成为谷氨酸残基,如果面团中发生了此反应,那么面筋蛋白的亲水性上升,使其有更好的持水性。

### 2.3 振荡测量法

从拉伸实验看出,酶对面团流变性质的影响随时间的延长变化很大,为了观察酶反应的整个过程,在AR-1000流变仪上做了时间扫描实验,其结果见图1。

从图1可知:没加酶的面团随着放置时间的延长,贮能模量( $G'$ )明显下降,说明面团的弹性下降;而加入质量分数为0.25% TGase时,贮能模量( $G'$ )先下降,酶反应约20 min后开始上升,且随反应时

间的增长, $G'$ 呈单调递增趋势;加入质量分数为0.5%的TGase时,一开始 $G'$ 略有下降,大约经酶作用4 min后, $G'$ 开始上升,且上升幅度比加入质量分数为0.25% TGase时大。

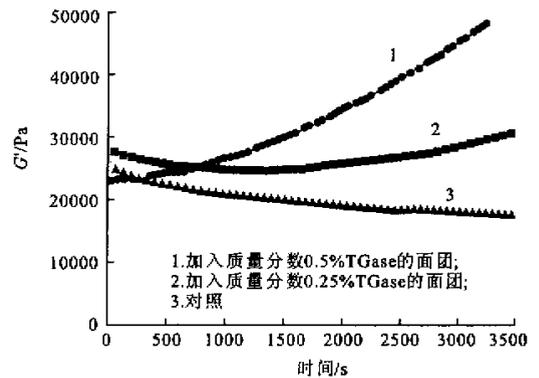


图1 TGase对面团贮能模量( $G'$ )的影响

Fig.1 Effect of TGase on the storage modulus of dough

在面团放置过程中,许多因素会影响面团的流变性质,如和面时导入的应力的松弛、面粉组分的连续水化以及水分的重新分布。此外,在面团放置过程中还会发生巯基-二硫键的交换反应等,这些影响总的结果使面筋蛋白的平均相对分子质量降低<sup>[8]</sup>,而面团的黏弹性性质主要由面筋蛋白连续相决定。因此,放置过程中面团的 $G'$ 随面筋蛋白相对分子质量的降低而降低。但加入TGase后,面筋蛋白发生分子间或分子内的共价交联,使面筋蛋白的平均相对分子质量上升,从而导致面团的 $G'$ 上升。由于TGase的作用,面团的筋网络结构更加致密,有更好的持水能力,面团中的水分流动性变差,使面团的性质更像固体,所以 $G'$ 大幅上升。

## 3 结论

1) TGase可以改善面团形成过程中的流变学特性,提高面团的稳定时间和断裂时间,降低公差指数和弱化值,使面粉的评价值上升。

2) TGase可以改善面团形成后的流变学特性,使面团的抗拉阻力、粉力和贮能模量大大提高。

3) TGase的添加量可大可小,当加酶量大时,可缩短酶反应时间;当添加量小时,可适当延长酶反应时间,另外,控制酶反应温度也是可行的方法。

4) TGase可以提高面团的持水能力,改善面团的表面性质,有利于面制品的加工。

(下转第621页)

## 参考文献:

- [1] CASIMIR C AKOH DAVID B Min. Food Lipids: Chemistry, Nutrition and Biotechnology[M]. England: Sheffield Academic Press Ltd, 1997: 463-493.
- [2] 喻健良, 翟志勇. 分子蒸馏技术的发展及研究现状[J]. 化学工程, 2001, 29(5): 70-74.
- [3] FRANK D. GUNSTONE. Lipid Synthesis and Manufacture[M]. Marcel Dekker Inc, New York, 1998: 39-40.
- [4] 李兆新, 李晓川, 冷凯良等. 鱼油中高度不饱和脂肪酸工业化提取技术的研究[J]. 中国海洋药物, 1999, 7(4): 21-28.

(责任编辑 杨勇)

---

(上接第 616 页)

## 参考文献:

- [1] DOERRY W. Replacement of potassium bromate in white and variety bread[J]. *Am Inst Baking Tech Bull*, 1991, 17(7): 1.
- [2] YAMAZAKI KATSUTOSHI, SOEDA *et al.* Process for obtaining a modified cereal flour[P]. US Patent. 6 106 887, 2000.
- [3] ANDO H, ADACHI M, UMEDA K, *et al.* Purification and characteristics of a novel transglutaminase derived from microorganism[J]. *Agric Biol Chem*, 1989, 53: 2613-2617.
- [4] 江波, 周红霞. 谷氨酰胺转胺酶对大豆 7S 蛋白质及肌球蛋白胶凝性质的影响[J]. 无锡轻工大学学报, 2001, 20(2): 122-127.
- [5] ZHU Y, RINZEMA A, TRAMPER J. Microbial transglutaminase-A review of its production and application to food processing[J]. *Appl Microbial Biotech*, 1995, 44: 277-282.
- [6] 常中义, 江波, 王璋. 微生物谷氨酰胺转胺酶的应用进展[J]. 食品科学, 2000, 21(9): 6-7.
- [7] 王明伟. 谷物质测定与分析[M]. 北京: 中国商业出版社, 1997.
- [8] WEI DONG R C, HOSENEY. Effects of certain breadmaking oxidants and reducing agents on dough rheological properties[J]. *Cereal Chem*, 1995, 72(1): 58-64.

(责任编辑 杨勇)