

糯麦粉及转谷氨酰胺酶(TGase)在 冷冻糯性糕团中的应用

王 凤¹, 黄卫宁^{1,*}, 堵国成², 张思佳¹, 姚 远³, 郑风平⁴, 李越华⁵

(1.江南大学 食品科学与技术国家重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2.江南大学 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 3.无锡麦吉贝可生物食品有限公司, 江苏 无锡 214131; 4.江苏楚龙面粉有限公司, 江苏 兴化 225700; 5.广东开兰面粉有限公司, 广东 开平 529300)

摘 要:以糯米粉和含10%(以粉质量计)糯麦粉的糯米-糯麦组合粉为研究对象,在研究不同添加量(0、0.5%、1%,以粉质量计)转谷氨酰胺酶(TGase)对其糊化特性影响的基础上,探讨TGase对这2种不同体系制得的糯性糕团样品所产生的影响,并对含TGase的糕团样品的冻藏特性进行研究。结果表明:与糯米粉相比,添加10%糯麦粉会使得组合粉的峰值黏度、低谷黏度和最终黏度相对降低。而经TGase处理后,组合粉的峰值黏度和最终黏度分别增加了15.19%和15.23%。在糯米粉中混入糯麦粉可降低糯性糕团的硬度,延缓样品老化。而添加TGase,可明显降低糯米粉和糯米-糯麦组合粉制作的糕团的塌陷度。此外,在用糯麦-糯米组合粉制作的糯性糕团中添加1% TGase,可使冻藏6周的糯性糕团仍保持90%的表面完好率。因此,通过糯麦粉和TGase的应用可制得抗老化的、弹性大且冻藏稳定性好的糯性糕团产品。

关键词:糯麦粉; 转谷氨酰胺酶; 糊化特性; 冷冻糕团; 塌陷度; 老化

Effect of Waxy Wheat Flour and Transglutaminase (TGase) on the Quality and Frozen Stability of Waxy Flour Dough

WANG Feng¹, HUANG Wei-ning^{1,*}, DU Guo-cheng², ZHANG Si-jia¹, YAO Yuan³, ZHENG Feng-ping⁴, LI Yue-hua⁵

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. The Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 3. Magibake International Co. Ltd., Wuxi 214131, China; 4. Jiangsu Chulong Flour Co. Ltd., Xinghua 225700, China; 5. Guangdong Kailan Flour Co. Ltd., Kaiping 529300, China)

Abstract: Waxy rice flour and composite flour consisting of 10% (*m/m*, based on the total weight of flour) waxy wheat flour and 90% waxy rice flour were used in this study to investigate the effect of TGase (at levels of 0, 0.5% and 1%, *m/m*, based on the total weight of flour) on the pasting properties of both systems. For waxy flour dough made from these two kinds of flour, the quality improvement and frozen stability of the products after TGase treatment were also evaluated. Results showed that the addition of 10% waxy wheat flour to waxy rice flour decreased the viscosity of paste, while after TGase treatment, the peak viscosity and final viscosity of composite flour increased by 15.19% and 15.23%, respectively. The mixture of waxy wheat flour with waxy rice flour could induce a decrease in the hardness of waxy flour dough and delayed staling of the resulting product. TGase addition reduced the collapse degree to 0 and 0.01 cm for the waxy flour dough made from waxy rice flour and composite flour, respectively. Waxy composite flour dough containing 10% waxy wheat flour and 1% TGase could keep a surface integrity up to 90% after storage at -18°C for six weeks. In conclusion, waxy wheat flour and TGase have the potential to improve the quality and frozen stability of waxy flour dough.

Key words: waxy wheat flour; transglutaminase (TGase); pasting properties; frozen dough; collapse degree; staling

中图分类号: TS201.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)05-0110-05

收稿日期: 2012-01-19

基金项目: 广东省教育部产学研结合项目(2011B090400592; 2010B090400292); 江苏省科技支撑计划项目(BE2011380); 国家自然科学基金项目(31071595; 20576046; 30770055); 国家农业科技成果转化资金项目(2009GB23600520; 2011GB2C100017)

作者简介: 王凤(1983—), 女, 硕士研究生, 研究方向为烘焙科学、功能配料和食品添加剂。E-mail: wangfeng11028@163.com

*通信作者: 黄卫宁(1963—), 男, 教授, 博士, 研究方向为烘焙科学与发酵技术、谷物食品化学。E-mail: wnhuang@jiangnan.edu.cn

中国传统特色糕团产品如青团、麻薯和冰皮月饼等多采用冷加工技术进行生产,将糯米粉等原料经过预先熟化、冷却、成型、包装等工艺后进行冷藏或冻藏^[1]。这样不但可以很好地保持原料原有的色、香、味、形和营养成分,并可有效延缓产品老化、保持产品品质^[1]。此类产品品种多样,口感独特,且有着低油脂、低热量的营养优势,因而广受消费者喜欢。但是在储藏过程中产品易老化,破坏口感,同时失水使得产品变硬龟裂,导致内陷散开无法成型,产品品质下降。此外,以糯米粉等为原料的食品中蛋白质含量低,特别是缺乏人体必需氨基酸之一的赖氨酸^[2]。

糯米粉在某些特性方面与糯米粉相似,其淀粉组成主要为支链淀粉^[3-4]。从营养方面来看,糯米粉的营养价值更胜一筹,因其有着更为丰富的蛋白组分。目前糯米粉主要应用在面条、面包、馒头等的制作中^[5-8]。但是关于糯米粉在糕团类产品中应用的研究尚未见报道。

转谷氨酰胺酶TGase是一种交联酶制剂,可催化多种蛋白质间的交联,达到提高其弹性,持水性和其他功能特性的目的^[9-10]。但蛋白质的来源是关键因素,它决定了酶对蛋白质的作用^[11]。已有研究报道^[12-15],大米蛋白、乳清蛋白、大豆蛋白、面筋蛋白、燕麦蛋白等都是TGase较好的作用底物。

在糯米粉中加入部分糯米粉来制作糯性糕团,不但可以增加产品中赖氨酸含量,改善营养特性,而且通过研究糯米粉对糯性糕团品质及冻藏特性的影响,还可为进一步拓展糯米粉的综合应用提供理论依据。由前期预实验结果发现,在糯米粉中加入10%(以粉质量计)的糯米粉可制作出品质较好的糯性糕团,因此本实验以糯米粉和含10%糯米粉的糯米-糯米组合粉为研究对象,研究TGase对其糊化特性的影响,并用两种粉制作糯性糕团,研究TGase在两种不同体系中的作用及其对糯性糕团产品品质产生的影响,并对含TGase的糕团产品的冻藏特性进行研究。这对于促进我国传统特色糕团类食品的工业化生产实践以及扩展糯米资源的利用都具有非常重要的意义。

1 材料与方法

1.1 材料

水磨糯米粉购自无锡市当地超市;糯米粉 江苏楚龙面粉有限公司;转谷氨酰胺酶(TGase, 100U/g) 泰州一鸣精细化工有限公司。

1.2 仪器与设备

快速黏度分析仪(RVA) 澳大利亚Newport Scientific公司;TA-XT2i质构仪 英国Stable Micro Systems公司;Kitchen Aid搅拌机 美国惠而浦公司;便携式水分活度测定仪 瑞士Novasina公司。

1.3 方法

1.3.1 组分测定

糯米粉和糯米-糯米组合粉的水分、灰分、蛋白质、总淀粉以及直链淀粉含量分别依据AACCI方法进行测定^[16]。

1.3.2 糊化特性的测定

参照AACCI 61—02方法,采用快速黏度分析仪对糯米粉和糯米-糯米组合粉的糊化特性进行分析^[16]。将称好的样品和水一并加入样品桶,然后将样品筒放入RVA测定仪中进行测定。测定过程中温度变化为:先50℃保温2min,然后在6min内升温至95℃,保温6min后,经4min降温至50℃,然后再保温4min,每个样品测定3次,结果显示为3次实验的平均值。

1.3.3 糯性糕团的制作

取糯米粉或混合了10%糯米粉的糯米-糯米组合粉500g、白砂糖160g、水90%(以粉质量计),以及TGase(0、0.5%、1%,以粉质量计)混合均匀成面团。将面团转入不锈钢容器中,在室温条件下静置30min,然后将其放在沸水蒸笼中蒸制20min。取蒸好的面团加入搅拌缸中,高速搅打5min后,放置在室温松弛30min。然后对其进行分割(30g/个),并搓圆成球状,室温冷却1h。

1.3.4 糯性糕团塌陷度测定

蒸制冷却后的面团,经定型,放置在室温条件下冷却1h。以两块三角板相互垂直来测定糯性糕团冷却前后的高度 h_1 和 h_2 ,塌陷度以 $\Delta h=h_1-h_2$ 表示。

1.3.5 糯性糕团的冷冻贮藏

将冷却后的糯性糕团置于-38℃的冰柜内快速冷冻0.5h,然后放入-18℃的冰箱内进行冷冻储存,冻藏期设定为6周,在这6周之内每周取出样品自然解冻,然后对不同冻藏周期下糯性糕团进行相关质量参数的测定。

1.3.6 糯性糕团表面完好率的测定

将在-18℃冻藏不同周期(0、1、2、3、4、5、6周)的糯性糕团样品取出,并观察其表面状态,以不产生表面裂纹为完好状态,计算得到表面完好率^[1]。

$$\text{完好率}/\% = \frac{\text{表面无裂纹的糕团数}}{\text{总的糕团数}} \times 100$$

1.3.7 水分活度的测定

取糯性糕团中心部位样品并切成小粒,并用水分活度仪进行测定。同一样品平行测定3次后取平均值。每个样品在测定前均需使其温度恢复到室温(25℃)。

1.3.8 糯性糕团硬度和弹性的测定

采用TA-XT2i质构仪对糯性糕团的硬度和弹性进行测定^[17]。参数设定:测试前探头下降速率为1mm/s,测试速率为2mm/s,测试后探头回程速率为5mm/s,测试距离为2mm,触发力为5g,探头类型为P/25。探头压缩部位为糯性糕团的中心部位,每组样品进行5次平行测定后取平均值。每个样品在测定前均需使其温度恢复到室温状态下。

1.4 数据处理

实验数据采用SAS8.0数据处理系统进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 糯米粉和糯麦粉的基本成分

表1 糯米粉和糯麦粉基本成分分析

类别	水分/%	灰分/%	蛋白质/%	淀粉/%	直链淀粉/%
糯米粉	12.5	0.3	8.8	77.8	0.83
糯麦粉	13.2	0.8	11.8	73.2	3.46

表1显示了糯米粉和糯麦粉这两种不同原料的基本成分,可以看出,同糯米粉一样,糯麦粉中的直链淀粉含量很低,但是糯麦粉的蛋白质含量要高于糯米粉。

2.2 添加TGase对糯米粉和糯米-糯麦组合粉糊化特性的影响

糯麦粉与糯米粉在糊化特性方面有很多相似之处,例如有较低的回值,较高的衰减值,能更快地到达黏度高峰等,这些可能与其淀粉组成主要为支链淀粉有关^[18-19]。

表2 TGase对糯米粉及含10%糯麦粉的糯米组合粉糊化特性的影响

糯米粉添加量/%	TGase添加量/%	峰值黏度/RVU	低谷黏度/RVU	衰减值/RVU	最终黏度/RVU	回值/RVU	峰值黏度时间/min
0	0.0	130.42	86.80	43.63	128.58	-1.84	3.635
	0.5	132.52	88.72	43.80	132.17	-0.35	3.625
	1.0	133.25	87.96	45.29	132.24	-1.01	3.647
10	0.0	122.59	77.38	45.21	113.50	-9.09	3.565
	0.5	129.63	83.65	45.98	121.30	-8.33	3.548
	1.0	141.21	87.25	53.96	130.79	-10.42	3.561

在本研究中,通过RVA测定冷热循环中面团黏度的变化,从而获得糯麦粉对糯米粉以及TGase对糯米粉和糯米-糯麦组合粉糊化特性的影响。如表2所示,与糯米粉相比,含10%糯麦粉的组合粉样品有着相对较低的峰值黏度、低谷黏度和最终黏度。这可能是由于糯麦粉含有较高的蛋白质含量,稀释了体系中淀粉的浓度。Marco等^[11]研究者也发现,当米粉中加入其他外源蛋白时会降低米粉的峰值黏度。在糯米粉中添加10%的糯麦粉,还会使得体系回值显著降低。因此,在糯米粉中加入部分糯麦粉可在一定程度上延缓产品的老化。

虽然米粉的糊化特性主要与淀粉组分相关,但某些因素对蛋白质结构的改变也会对糊化特性产生影响^[12]。经TGase处理后,表征糯米粉糊化特性的各参数无明显变化,仅衰减值有所增加。而对于含10%糯麦粉的组合粉,其峰值黏度和最终黏度在添加TGase后都增加了,当添加量达到1%时,峰值黏度和最终黏度分别增加了15.19%和15.23%。这种差异可能是由于TGase对两个体

系中蛋白质的不同作用而产生的。而TGase对糯麦粉中面筋蛋白的作用增加了面筋蛋白对水分的竞争,使得组合粉体系的黏度增加了^[20]。TGase使得糯米-糯麦组合粉的衰减值由45.2RVU增大到53.9RVU,而回值却在一定程度上有所降低。

无论在糯麦粉面团中还是糯米-糯麦组合粉面团中添加TGase,对体系达到峰值黏度的时间无显著影响。

2.3 TGase对糯性糕团塌陷度的影响

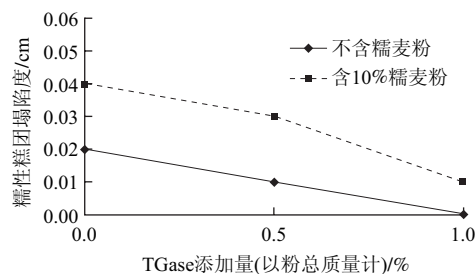


图1 TGase对糯性糕团塌陷度的影响

Fig.1 Effect of TGase on the collapse degree of waxy flour dough

整型后的糯性糕团放置在室温条件下冷却时,由于糯性糕团质地柔软,往往会出现塌架的现象,从而影响产品的外观品质^[1]。而这种现象在加入10%糯麦粉后更加明显。由图1可知,分别在用糯米粉和用糯米-糯麦组合粉制作的糯性糕团中添加0.5%和1%的TGase,可很好地降低产品的塌陷度,且随着TGase添加量的增加效果更明显。Gujral等^[12]研究发现, TGase可作用于大米蛋白,从而改善米粉面团的黏弹特性。而关于TGase对小麦蛋白的作用的文献报道就更多了^[21-22]。通过对流变学特性的影响, TGase可使得筋力较弱的面筋筋力变强^[23]。因此可以推测,正是因为TGase对大米蛋白和小麦蛋白的交联作用,降低了糯性糕团产品的塌陷度。

2.4 TGase对冷冻糯性糕团表面完好率的影响

表面完好率是糯性糕团产品的一个重要品质特性。冷冻糯性糕团冻藏后表面开裂,主要是由于糕团内凝胶冷冻后产生的脱水收缩引起的。冻藏过程中,由于温度波动,常常会导致水分重结晶现象,由此产生热应力,使得产品出现“低温断裂”现象。而另一方面,在橡胶态下产生的微观裂缝也为晶核的生长提供了自由容积和很高的表面能。因此,长期的冷冻贮藏更容易加速这个过程^[24]。

将速冻好的糯性糕团保存在-18℃条件下,样品随着时间的延长而出现不同程度的表面龟裂甚至开裂现象。从表3可以看出,用含10%糯麦粉的糯米-糯麦组合粉制得的糯性糕团的表面完好率与用糯米粉制得的无显著差异。而在两种糯性糕团中添加TGase,对样品表面完好率的影响不同。在糯米粉糕团中, TGase对其表面完好性的改善作用不显著,但在含有10%糯麦粉的糯性糕团

中, TGase使得表面完好率增加。当添加1% TGase时, 冻藏6周的组合粉糯性糕团的表面完好率依旧能够保持在90%。在糯米粉或糯米-糯麦组合粉两个体系中, 有着不同来源的蛋白质组成, 因而导致了TGase对这两个体系的不同作用表现。

表3 TGase对冻藏不同周期的糯性糕团的表面完好率的影响
Table 3 Effect of TGase on the surface integrity of frozen waxy flour dough stored for different weeks

糯麦粉 添加量/%	TGase 添加量/%	冻藏时间/周							
		0	1	2	3	4	5	6	%
0	0.0	100	97	93	90	87	87	80	
	0.5	100	100	97	90	90	87	83	
	1.0	100	97	97	93	90	90	80	
10	0.0	100	97	97	90	90	90	83	
	0.5	100	97	97	97	93	90	87	
	1.0	100	100	97	93	93	90	90	

2.5 TGase对冷冻糯性糕团水分活度的影响

表4 不同添加量TGase对冻藏不同周期的糯性糕团水分活度的影响
Table 4 Effect of TGase on the water activity of frozen waxy flour dough stored for different weeks

糯麦粉 添加量/%	TGase 添加量/%	冻藏时间/周							
		0	1	2	3	4	5	6	
0	0.0	0.953 ^a	0.952 ^a	0.949 ^b	0.947 ^b	0.946 ^b	0.948 ^b	0.947 ^b	
	0.5	0.952 ^a	0.954 ^a	0.950 ^{ab}	0.949 ^a	0.950 ^a	0.950 ^a	0.949 ^a	
	1.0	0.954 ^a	0.952 ^a	0.951 ^a	0.950 ^a	0.951 ^a	0.949 ^{ab}	0.949 ^a	
10	0.0	0.951 ^a	0.949 ^a	0.948 ^b	0.945 ^b	0.944 ^b	0.945 ^b	0.943 ^b	
	0.5	0.953 ^a	0.951 ^a	0.950 ^a	0.947 ^{ab}	0.949 ^a	0.946 ^{ab}	0.947 ^a	
	1.0	0.951 ^a	0.952 ^a	0.950 ^a	0.949 ^a	0.948 ^a	0.947 ^a	0.948 ^a	

注: 在不含糯麦粉的糯性糕团或在含10%糯麦粉的糯性糕团中, 同列中不同字母表示存在显著性差异($P \leq 0.05$)。

在淀粉加热糊化过程中, 水分子通过氢键结合到淀粉链上, 形成较为结实的凝胶。但在冷冻时, 随着凝胶的冻结, 淀粉与淀粉之间相互聚结, 迫使水从这一结合体系中挤压出来。因此, 随着冻藏周期延长, 糯性糕团的水分活度降低了。由表4可知, 在糯米粉中混入10%的糯麦粉会使得冻藏的糯性糕团的水分活度有所降低。而对于添加TGase的糯性糕团, 无论是否含有糯麦粉, TGase都在一定程度上使得样品的水分活度增加, 当样品冻藏越久时, 这种增加作用越明显。据报道^[12], TGase对大米蛋白的交联作用可增加面团的持水力。而关于TGase提高小麦面团持水能力的研究结果早在1998年就已报道^[25]。

2.6 TGase对解冻的糯性糕团质构的影响

硬度是反映糯性糕团的老化特性与食用品质的一个重要指标之一。由图2可知, 与用糯米粉制作的糯性糕团相比, 由糯米-糯麦组合粉制得的糯性糕团的硬度明显要小。这可能与糯麦粉使得糯米粉的最终黏度减小有关。将糯性糕团样品冻藏在 -18°C 的低温条件下, 可有效降

低产品的老化速率。但随着冻藏周期的延长, 糯性糕团的硬度都显著增加了。比较未添加TGase的两个糕团样品, 含10%糯麦粉的糯性糕团经历不同的冻藏周期后, 其硬化速率要小于不含糯麦粉的样品, 这说明在糯米粉中添加糯麦粉, 可延缓样品在冻藏过程中的老化。

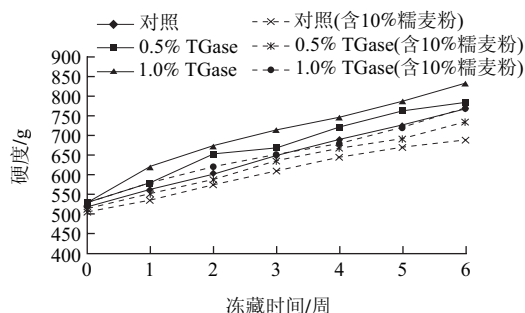


图2 不同量TGase对不同冻藏周期的糯性糕团硬度的影响

Fig.2 Effect of TGase on the hardness of frozen waxy flour dough stored for different weeks

在糯米粉制作的糕团中加入TGase, 会使得样品的硬度稍微有所增加, 但对含10%糯麦粉的糯米-糯麦组合粉糕团的硬度影响不显著。Wu Jianping等^[26]发现TGase会使得面条的硬度增加, 而Wang Feng等^[27]在用TGase处理燕麦粉和谷朊粉制作的面条时, 没有观察到显著的差异。本研究中, TGase对用糯米粉和糯米-糯麦组合粉制作的糕团产品的硬度影响不一致, 这可能与TGase在这两个不同体系中的作用差异有关, 包括TGase对粉质糊化特性的影响和对产品持水力的影响, 归根结底是TGase对这两个体系中不同蛋白质底物产生的不同作用。

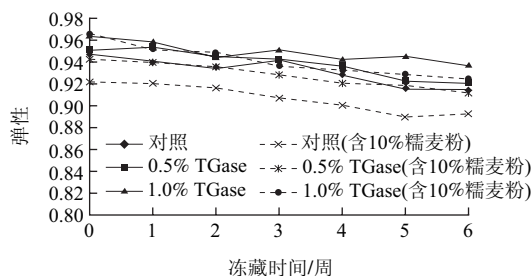


图3 不同量TGase对不同冻藏周期的糯性糕团硬度的影响

Fig.3 Effect of TGase on the springiness of frozen waxy flour dough stored for different weeks

由图3可知, 与不含糯麦粉的糯性糕团相比, 由糯米-糯麦组合粉制得的糯性糕团的弹性要小。这可能与糯米粉和糯麦粉的凝胶特性有关。添加TGase可增加糯性糕团的弹性, 特别是含10%糯麦粉的糯性糕团, 且这种增加效果随着TGase添加量的增大而增大。该结论与Wu Jianping^[26]和Wang Feng^[27]等的研究结果一致, 他们对含有TGase的熟面条进行质构测定, 发现TGase可通过对蛋白质网络结构的强度, 来提高产品的弹性。经过长时间

冻藏,糯性糕团的弹性降低了,含10%糯麦粉的糯性糕团的下降幅度要比不含糯麦粉的大。但TGase处理使得两种糯性糕团在冻藏之后仍能很好地保持较好的弹性。

3 结论

3.1 与糯米粉相比,含10%(以粉质量计)糯麦粉的糯米-糯麦组合粉的峰值黏度、低谷黏度和最终黏度相对降低,且体系的回值也减小了。TGase处理对糯米粉的糊化特性无明显变化,但是却使得组合粉的峰值黏度和最终黏度分别增加15.19%和15.23%。

3.2 加入10%糯麦粉使得糯性糕团的塌陷度有所增加,但对糯性糕团的表面完好率影响不显著。TGase可很好地改善产品的塌陷现象;在含有10%糯麦粉的糯性糕团中添加1%(以粉质量计)TGase,可使冻藏6周的糯性糕团仍保持90%的表面完好率。

3.3 在糯米粉中混入10%的糯麦粉会使得冻藏的糯性糕团的水分活度有所降低。而无论是否含有糯麦粉, TGase都使得产品的水分活度增加了。

3.4 与用糯米粉制作的糯性糕团相比,糯米-糯麦组合粉制得的糯性糕团的硬度和弹性都明显要小。同时,糯麦粉在一定程度上降低了冻藏过程在产品的硬化速率。加入TGase会使得糯性糕团的弹性都有所增加。

本研究为我国传统特色糕团类食品的工业化生产实践提供了一定的基础理论信息和新的技术途径。

参考文献:

- [1] 姚艾东. 糯米糕团及其冷冻制品品质研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2002.
- [2] ROSENBERG H, CULIK R. The improvement of the protein quality of white rice by lysine supplementation[J]. The Journal of Nutrition, 1957: 477-487.
- [3] GRAYBOSCH R A. Waxy wheats: origin, properties, and prospects[J]. Trends in Food Science and Technology, 1998, 10(8): 135-142.
- [4] ABDEL-AAL E S M, HUCL P, CHIBBAR R N, et al. Physico-chemical and structural characteristics of flours and starches from waxy and nonwaxy wheats[J]. Cereal Chemistry, 2002, 79: 458-464.
- [5] GUO G, JACKSON D S, GRAYBOSCH R A, et al. Asian salted noodle quality: impact of amylose content adjustments using waxy wheat flour[J]. Cereal Chemistry, 2003, 80: 437-445.
- [6] LEE M R, SWANSON B G, BAIK B K. Influence of amylose content on properties of wheat starch and breadmaking quality of starch and gluten blends[J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(6): 701-706.
- [7] BAIK B K, LEE M R. Effects of starch amylose content of wheat on textural properties of white salted noodles[J]. Cereal Chemistry, 2003, 80: 304-309.
- [8] 覃鹏. 糯麦粉的理化性质及添加比例对面包、中国干白面条和馒头品质的影响研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2007.

- [9] 黄卫宁. 一种含有转谷氨酰胺酶的多层次冷冻酥性面团及其生产方法: 中国, 200510039231[P]. 2005-10-26.
- [10] 陈坚, 堵国成, 黄卫宁, 等. 一种转谷氨酰胺酶提高冷冻发酵油条酥脆性的方法: 中国, 200910029198[P]. 2009-07-08.
- [11] MARCO C, ROSELL C M. Effect of different protein isolates and transglutaminase on rice flour properties[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 84: 132-139.
- [12] GUJRAL H S, ROSELL C M. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase[J]. Cereal Science, 2004, 39: 225-230.
- [13] TRUON V D G, CLARE D A, CATIGNANI G L, et al. Cross-linking and rheological changes of whey proteins treated with microbial transglutaminase[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52: 1170-1176.
- [14] TANG C H, CHEN Z, LI L, et al. Effects of transglutaminase treatment on the thermal properties of soy protein isolates[J]. Food Research International, 2006, 39: 704-711.
- [15] HUANG W N, LI L L, WANG F, et al. Effects of transglutaminase on the rheological and Mixolab thermomechanical characteristics of oat dough[J]. Food Chemistry, 2010, 121: 934-939.
- [16] American Association of Cereal Chemist (AACC), approved methods of the AACC [M]. 10th ed. St.Paul, MN: the Association, 2000.
- [17] 袁博, 黄卫宁, 邹奇波. 冷冻糯性粉团老化特性及玻璃态相变温度的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(8): 53-57.
- [18] KIRIBUCHI-OTOBE C, YANAGISAWA T, YAMAGUCHI I, et al. Wheat mutant with waxy starch showing stable hot paste viscosity[J]. Cereal Chemistry, 1998, 75(5): 671-672.
- [19] ARAKI E, MIURA H, SAWADA S. Differential effects of the null alleles at the three Wx loci on the starch-pasting properties of wheat[J]. TAG Theoretical and Applied Genetics, 2000, 100(7): 1113-1120.
- [20] MORRIS C E, KING G E, RUBENTHALER G L. Contribution of wheat flour fractions to peak hot pasting viscosity[J]. Cereal Chemistry, 1997, 74: 147-153.
- [21] BASMAN A, KOKSEL H, NG P K W. Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality characteristics of two wheat flours[J]. European Food Research and Technology, 2002, 215: 419-424.
- [22] BASMAN A, KOKSEL H, NG P K W. Effects of transglutaminase on SDS-PAGE patterns of wheat, soy, and barley proteins and their blends[J]. Journal of Food Science, 2002, 67: 2654-2658.
- [23] LARRE C, DENERY P S, POPIUEAU Y, et al. Biochemical analysis and rheological properties of gluten modified by transglutaminase[J]. Cereal Chemistry, 2000, 77: 32-38.
- [24] 孙福来, 鲁茂林, 王华, 等. 速冻糯米粉团品质研究[J]. 粮食与饲料工业, 2001(3): 44-46.
- [25] GERRARD J A, FAYLE S E, WILSON A J, et al. Dough properties and crumb strength of white pan bread as affected by microbial transglutaminase[J]. Journal of Food Science, 1998, 63: 472-475.
- [26] WU Jianping, CORKE H. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(15): 2587-2594.
- [27] WAGN Feng, HUANG Weining, KIM Y S, et al. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin[J]. Journal of Cereal Science, 2011, 54: 53-59.