

谷氨酰胺转氨酶对藜麦-小麦面团及面包品质的影响

夏明敬

(吉林工程职业学院 粮油食品学院, 吉林 四平 136001)

摘要:为开发烘焙品质较好的藜麦-小麦粉面包,利用谷氨酰胺转氨酶对其进行改良。从藜麦-小麦粉的粉质参数、糊化特性、面团质构、面包烘焙品质及老化特性等方面研究谷氨酰胺转氨酶(transglutaminase, TGase)对藜麦-小麦粉品质的影响,综合评价 TGase 对藜麦-小麦粉面团、面包品质的影响。结果表明, TGase 增大混粉体系的吸水率、延长稳定时间。增大混合粉体系的糊化黏度、抑制体系的老化及回生。随着 TGase 的添加量的增大,面团硬度、弹性、黏聚性增大,当超过 1.0% 时,变化不显著($p>0.05$)。面包品质结果表明, TGase 的加入改善面包的持气能力,增大比容、感官评分、弹性及黏聚性,降低了面包的硬度,但是高剂量的 TGase (>1.0%)会导致交联过度,面包品质降低。老化特性结果表明, TGase 的加入使得面包老化程度降低,抑制面包老化。

关键词:藜麦-小麦粉;质构特性;比容;老化特性

Effects of Glutamine Aminotransferase on Quinoa-wheat Dough and Bread Quality

XIA Ming-jing

(Grain, Oil and Food College, Jilin Engineering Vocational College, Siping 136001, Jilin, China)

Abstract: In order to develop quinoa-wheat flour bread with better baking quality, glutamine aminotransferase was used to improve it. Study the effects of transglutaminase (TGase) on the quality of quinoa-wheat flour from the aspects of quinoa-wheat flour's powder parameters, gelatinization characteristics, dough texture, bread baking quality and aging characteristics, etc. The results showed that TGase increased the water absorption of the mixed powder system and prolonged the stabilization time. The gelatinization viscosity of the mixed powder system was increased, and the aging and regeneration of the system were suppressed. With the increased of the amount of TGase, the hardness, springness and cohesiveness of the dough increased. When it exceeded 1.0%, the change was not significant ($p>0.05$). Bread quality results showed that the addition of TGase improved the bread gas holding capacity, increased specific volume, sensory score, elasticity and cohesiveness, and reduced the hardness of bread, but high doses of TGase (>1.0%) would cause cross over-linking, reducing the quality of bread. The results of aging characteristics showed that the addition of TGase reduced the degree of aging of bread and suppressed the aging of bread.

Key words: quinoa-wheat flour; texture characteristics; bread specific volume; bread aging characteristics

引文格式:

夏明敬. 谷氨酰胺转氨酶对藜麦-小麦面团及面包品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(14):132-136

XIA Mingjing. Effects of Glutamine Aminotransferase on Quinoa-wheat Dough and Bread Quality[J]. Food Research and Development, 2020, 41(14):132-136

近年来,随着杂粮制品的营养价值被揭露,杂粮制品越来越受到消费者的青睐,杂粮制品虽然营养价值较高,但是由于杂粮缺乏面筋蛋白,无法很好地制作成品质良好的杂粮制品,因此往往利用小麦粉进行复配,赋予其较好的加工品质,并利用添加剂对其成品品质进行改良。谷氨酰胺转氨酶(transglutaminase, TGase)是一种研究较多,作用机理较明确的食物改良剂, TGase 能够催化蛋白质和肽键中赖氨酸残基上的 ϵ -氨基和谷氨酰胺残基上的 γ -羟酰氨基发生聚合反应,形成蛋白质分子内和分子间的 ϵ -(γ -谷氨酰基)赖氨酸异肽键^[1],从而改善蛋白质的结构和功能性质。众多研究均表明了TGase 能够增强荞麦粉、糙米粉、玉米粉及燕麦粉的面团特性改善其烘焙品质。本研究利用TGase 对藜麦-小麦粉品质进行改良以获得烘焙品质较好的藜麦面包。

藜麦,是一种产自南美洲安第斯山区的古老作物,被誉为“黄金谷物”^[2]。藜麦营养价值很高,富含高质量蛋白质、矿物质和维生素,与传统谷物相比,藜麦中氨基酸组成平衡,尤其赖氨酸可达传统谷物的2倍,除此以外,藜麦还是一种功能性谷物,富含黄酮、多酚等抗氧化物质,被联合国粮农组织正式推荐为适宜人类的全营养食物。然而,藜麦中缺乏面筋蛋白,使得藜麦无法直接用于面包生产。因此,将藜麦粉与小麦粉复配获得加工较好的藜麦-小麦粉是目前众多学者的研究的重点内容,据以往研究内容报道藜麦粉添加量为10%~25%^[3-4]左右时,藜麦-小麦粉面团品质、成品品质最佳。因此,本研究用藜麦粉与小麦粉2:8(质量比)的比例混合制成面团,并尝试利用谷氨酰胺转氨酶对藜麦-小麦粉面团进行改良,以期改善其面团品质及烘焙品质。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

藜麦粉:山西静乐县;谷氨酰胺转氨酶(TGase 50 U/g):泰兴市一鸣生物制品有限公司;小麦粉、酵母、砂糖、盐、黄油:市售。

1.2 仪器

HWS-080 醒发箱:上海精宏实验设备有限公司;KM086 厨师机:上海德龙电器有限公司;TA.XT PLUS物性测定仪:英国 Stable Micro systems 公司。

1.3 方法

1.3.1 藜麦-小麦粉制备

将研磨通过80目筛网的藜麦粉与市售小麦粉按照2:8(质量比)进行混合得到藜麦-小麦粉,在4℃下

保存,试验前取出恢复至室温(25℃)使用。

1.3.2 面包制作工艺

参考 GB/T 14611-2008《粮油检验 小麦粉面包烘焙品质试验 直接发酵法》略作修改进行藜麦-小麦粉面包的制作,具体如下:

1)称样:称取200g藜麦-小麦粉及1.5%酵母、9%糖、1.5%盐、10%黄油,加水量65%,TGase 添加量分别为0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%。

2)和面:将糖、盐预先溶解在水中加入厨师机,随后加入制备好的面粉及其他配料,启动厨师机开始揉面,直至面团达到面筋充分扩展状态(约揉面30min~40min)。

3)发酵:将揉好的面团分成两等份,用手搓圆,使其光面向上,置于温度为(30±1)℃,湿度为85%的醒发箱中发酵90min,分别在发酵55min与80min时用压面机滚压面团一次,排除气泡。

4)成型:将发酵好的面团用压面机压两次,成长片后用模板进行成型,应尽可能压实排除气体。

5)醒发:成型后送入(30±1)℃,湿度为85%的醒发箱醒发45min。

6)烘烤:醒发结束立即送入烤箱烘烤,温度一般为215℃,时间约为25min。

7)测定:面包出烤箱之后放置20min进行比容的测定,在保鲜袋中保存24h后进行其他指标的测定。

1.3.3 面粉糊化特性的测定

参考 Comejo 等^[5]的方法略作修改,根据3.5g样品,14%水分基及样品的含水量计算结果称取样品与水,将样品与水在快速黏度分析仪(rapid visco analyser, RVA)专用铝盒中混合,用搅拌桨搅拌均匀之后放入仪器中测定,每个样品重复测定3次,分析其特征值。

1.3.4 面团质构特性的测定

参考彭飞^[6]的方法略作修改,将100g藜麦-小麦粉分别与0%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%的TGase混合,加65%水用厨师机揉制5min成面团,用保鲜膜包裹放置在(30±1)℃醒发箱中醒发30min,将醒发后的面团用模具塑形成高40mm、直径38mm的圆柱形,使用物性测定仪对面团进行全质构分析(texture profile analysis, TPA)。TPA测定参数如下:使用P/36R探头,测前速度1.00mm/s,测中速度1.00mm/s,测后速度1.00mm/s,压缩比50%,触发力5g。将面团放置在测试台上测定面团的硬度、黏附性及黏聚性,每个样品测定5次~7次。

1.3.5 面包比容的测定

参考马洁^[7]的方法利用菜籽置换法测定面包的体积,比容按下式计算:

$$\text{比容}/(\text{g/mL}) = \frac{\text{质量}(\text{g})}{\text{体积}(\text{mL})} \quad (1)$$

1.3.6 面包质构特性的测定

参考周晓聪等^[9]的测定方法,用切片机将面包切割成 12 mm,选取中间的位置进行 TPA 测试,测定参数如下:使用 P/50 探头,测前速度 2.00 mm/s,测中速度 1.00 mm/s,测后速度 1.00 mm/s,压缩比 50%,触发力 5g。试验主要测试面包的硬度、黏聚性、弹性,每个样品 5 次~7 次重复测定。

1.3.7 面包感官特性评价

面包品质感官评分方法,由 10 人组成评定小组,对藜麦面包的感官品质进行评分,具体评分标准见表 1。

表 1 杂粮面包感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria for quinoa coarse cereal bread

指标名称	评分标准	分值
面包体积	(V-360)/12	0~45
表皮色泽	均匀,金黄色	0~5
表皮质地与面包形状	外形均整,光亮,没有破裂	0~5
面包芯色泽	颜色为浅黄色,有光泽	0~5
平滑度	平滑细腻较柔软	0~7
纹理结构	延展性好,气孔膜薄,组织均匀	0~20
弹柔性	柔软而富有弹性,按下很快复原	0~8
口感	柔软,不酸,不黏,不牙碜	0~5

注:体积评分参考 GB/T 14611-2008《粮油检验 小麦粉面包烘焙品质试验 直接发酵法》,体积为 360 mL 得 0 分,体积大于 360 mL,每增加 12 mL 得分增加 1 分。

1.3.8 面包老化特性测定

面包储存 1、2、3、4 d 时,采用差示扫描量热仪对面包老化特性进行测定,参考盛夏璐^[9]的方法进行测定,将面包冻干后用万能粉碎机粉碎,过 40 目筛。精确称取 3.0 mg 冻干面包粉置于空铝盒中,加入 9.0 μL 纯水,在 4 $^{\circ}\text{C}$ 下平衡 12 h 后进行,差示扫描量热法(differential scanning calorimetry, DSC)检测。参数如下:扫描温度 25 $^{\circ}\text{C}$ ~100 $^{\circ}\text{C}$,升温速率 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。得到起始糊化温度(T_0)、峰值温度(T_p)、糊化终止温度(T_c)、焓值(ΔH)。

1.4 数据处理

用 Origin 软件绘图,使用 Minitab18.0 软件对数

据进行方差和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 TGase 对面团粉质特性的影响

通过粉质仪可以测定面团的粉质特性,进而反应藜麦-小麦粉的面筋品质。不同添加量 TGase 对藜麦-小麦粉粉质特性的影响见表 2。

表 2 TGase 对藜麦-小麦粉粉质特性的影响

Table 2 Effect of TGase on quinoa-wheat flour quality

添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/Fu
0	67.8 \pm 0.2 ^a	4.0 \pm 0.2 ^d	5.6 \pm 0.1 ^d	65 \pm 2 ^a
0.5	67.1 \pm 0.1 ^b	4.7 \pm 0.2 ^c	6.8 \pm 0.2 ^c	60 \pm 3 ^a
1.0	66.7 \pm 0.2 ^c	5.3 \pm 0.1 ^b	7.6 \pm 0.2 ^b	54 \pm 2 ^b
1.5	65.3 \pm 0.1 ^d	5.7 \pm 0.1 ^b	9.3 \pm 0.1 ^a	46 \pm 2 ^c
2.0	64.9 \pm 0.1 ^e	6.1 \pm 0.2 ^a	9.9 \pm 0.2 ^a	39 \pm 1 ^d

注:不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

由表 2 可知,向藜麦-小麦粉中添加 TGase,面团的吸水率会显著降低,这一结果与 Huang 等^[10]、Niu 等^[11]的研究结果一致,他们认为这是由于 TGase 作用于蛋白质使得蛋白质之间相互交联,氨基酸亲水性残基数量显著降低,使得面团的吸水率显著降低。Chanvriat 等^[12]与 Jia 等^[13]的研究表明面筋蛋白水合的过程中,水分子会与氨基酸残基等亲水基团结合,因此氨基酸残基的含量降低会影响到面团吸水率的下降。结果表明, TGase 的加入使面团的形成时间、稳定时间显著延长,弱化度显著降低,与空白组面团相比,2.0% TGase 面团稳定时间延长了 89%,弱化度降低了 40%,这与大多数学者的研究结果相似,孔晓雪等^[14]发现向麦麸-小麦粉面团中添加 TGase 能够显著延长面团的稳定时间,降低面团的弱化度。

2.2 TGase 对藜麦-小麦粉糊化特性的影响

糊化特性在一定程度上反映制品的品质,这对于面包品质有一定的参考价值,虽然 TGase 不能直接作用于淀粉影响糊化特性,但是 TGase 通过影响蛋白质及蛋白质与淀粉之间的相互作用,造成糊化特性的改变。TGase 对藜麦-小麦粉的影响如表 3 所示。

表 3 TGase 对藜麦-小麦粉糊化特性的影响

Table 3 Effect of TGase on gelatinization characteristics of quinoa-wheat flour

添加量/%	峰值黏度/cP	低谷黏度/cP	衰减值/cP	最终黏度/cP	回生值/cP	糊化温度/ $^{\circ}\text{C}$
0	2792 \pm 1 ^d	2014 \pm 8 ^c	777 \pm 6 ^d	4056 \pm 13 ^a	2041 \pm 5 ^a	71.8 \pm 0.6 ^b
0.5	2829 \pm 9 ^c	2044 \pm 1 ^d	785 \pm 9 ^c	4034 \pm 3 ^{ab}	1990 \pm 2 ^b	72.5 \pm 0.1 ^a
1.0	2858 \pm 5 ^{bc}	2065 \pm 4 ^c	793 \pm 10 ^b	4025 \pm 4 ^{bc}	1960 \pm 1 ^c	72.6 \pm 0.3 ^a
1.5	2886 \pm 6 ^{ab}	2081 \pm 1 ^b	805 \pm 5 ^{ab}	4004 \pm 6 ^c	1923 \pm 6 ^d	72.6 \pm 0.0 ^a
2.0	2910 \pm 14 ^a	2098 \pm 10 ^a	812 \pm 7 ^a	3990 \pm 4 ^d	1892 \pm 3 ^e	72.8 \pm 0.4 ^a

注:不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

从表 3 中可以看出,随着 TGase 添加量的增加,峰值黏度、低谷黏度及崩解值增大,这与王凤等^[15]和 Huang 等^[16]的研究结果相似,这是由于, TGase 的加入使得面筋蛋白水合程度增大,增强了面筋对水分的竞争,使得组合粉体系的黏度增大, Huang 等认为由于面粉蛋白质形成新的交联截留淀粉颗粒破坏了内部的淀粉-蛋白质相互作用平衡导致了较高的崩解值。另外,随着 TGase 添加量的增大,混合体系的最终黏度和回生值降低,这表明 TGase 对藜麦-小麦粉的老化有一定程度的抑制。

2.3 TGase 对面团质构特性的影响

面团的质构特性反应面团的流变特性,直接反应面团的加工质量, TGase 对藜麦-小麦面团质构特性的影响如表 4 所示。

表 4 TGase 对藜麦-小麦面团质构特性的影响

Table 4 Effect of TGase on texture properties of quinoa-wheat dough

添加量/%	硬度/g	弹性	黏聚性
0	2490±20 ^d	0.753±0.003 ^d	0.109±0.006 ^c
0.5	2600±30 ^c	0.761±0.002 ^c	0.137±0.004 ^b
1.0	2732±18 ^b	0.773±0.014 ^b	0.160±0.006 ^a
1.5	2820±11 ^a	0.775±0.012 ^b	0.170±0.002 ^a
2.0	2830±15 ^a	0.796±0.013 ^a	0.173±0.002 ^a

注:不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

随着 TGase 添加量的增大,面团的硬度、弹性及黏聚性均呈增大趋势,当 TGase 添加量超过 1%~1.5% 时,硬度、弹性及黏聚性的变化不再显著。与吴娜娜等^[17]及孔晓雪等^[14]的研究结果相似,这是由于 TGase 的作用,使得面团游离巯基含量降低,面团吸水率降低,面团中游离水分增大,醒发过程中游离水分的失去使得面团硬度增大^[6],而蛋白质之间的聚合使得面团网络结构增强,使得弹性、黏聚性增大。当增大 TGase 剂量,面团质构特性的变化不显著,这是由于 TGase 的作用以谷蛋白^[17]和赖氨酸^[18]为底物, TGase 交联反应会受到谷蛋白或赖氨酸含量的限制。

2.4 TGase 面包比容及感官评分

TGase 对面包品质的影响如表 5 所示。

表 5 TGase 对面包比容及感官评分的影响

Table 5 Effect of TGase on bread specific volume and sensory score

添加量/%	比容/(g/mL)	感官评分
0	2.82±0.07 ^c	58.6
0.5	3.32±0.05 ^b	67.5
1.0	3.56±0.13 ^a	68.3

续表 5 TGase 对面包比容及感官评分的影响

Continue table 5 Effect of TGase on bread specific volume and sensory score

添加量/%	比容/(g/mL)	感官评分
1.5	3.42±0.03 ^{ab}	65.0
2.0	3.30±0.12 ^b	60.6

注:不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

随着 TGase 添加量的增大,面包比容及感官评分呈先增大后降低的趋势,当 TGase 添加量为 1.0% 时比容及感官评分达到最大值。高嘉星^[19]利用 TGase 改良面包品质时得到了同样的结果,这是由于 TGase 的添加有利于催化面筋蛋白之间交联,使得面团内部交联程度增大,持气性能增强,面包比容增大,面包外观接受度更好,取得更高的感官评分值。但是,高剂量 TGase 的加入使得面团交联程度过强,阻止了面团发酵膨大,使得面包比容降低,面包的感官评分随之下降。

2.5 TGase 面包质构特性的影响

TGase 对面包质构特性的影响见表 6。

表 6 TGase 对面包质构特性的影响

Table 6 Effect of TGase on bread texture

添加量/%	硬度/g	弹性	黏聚性
0	3520±56 ^c	0.958±0.003 ^c	0.505±0.070 ^c
0.5	3305±97 ^d	0.997±0.002 ^a	0.597±0.039 ^b
1.0	2856±68 ^e	0.998±0.014 ^a	0.667±0.035 ^a
1.5	4111±70 ^b	0.983±0.012 ^{ab}	0.624±0.025 ^{ab}
2.0	5532±80 ^a	0.971±0.013 ^b	0.616±0.030 ^{ab}

注:不同小写字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

从表 6 可以看出 TGase 对面包质构特性的影响,随着 TGase 添加量的增大,面包硬度先降低后增大,这一结果与 Waranit 等^[20]和 Tamara 等^[21]的结果一致,这是由于 TGase 促进了面筋蛋白的交联使得面包持气能力增强,导致面包孔隙率增加,面包变软。从弹性和黏聚性的结果可知,弹性和黏聚性随着 TGase 添加量增大,先增大后降低,表明 TGase 通过促进面筋蛋白的交联赋予产品更好的烘焙品质,但 TGase 最佳添加量不应该超过 1.0%。

2.6 TGase 面包老化特性的影响

与所有淀粉类食品一样,面包从出炉到食用也要经历老化过程,实质上也是淀粉的老化导致面包品质下降的过程。根据以上试验结果,选择 0.1% TGase 组面包,与空白组面包通过对不同储存时间的面包进行 DSC 测定,以反映添加剂有无对面包老化的抑制效果,结果如表 7 所示。

从表 7 可以看出,无论是否添加 TGase,面包在储

表7 TGase 对面包老化特性的影响

Table 7 Effect of TGase on aging characteristics of bread

组别	储存时间/d	T ₀ /°C	T _p /°C	T _c /°C	热焓 ΔH/(J/g)
空白组	0	-	-	-	-
	5	44.5	51.75	61.75	2.23
	10	45.63	49.26	60.09	2.51
	15	46.32	53.21	61.84	2.63
0.1 % TGase 组	0	-	-	-	-
	5	45.19	53.35	61.85	2.17
	10	45.58	52.65	63.65	2.45
	15	47.30	53.16	61.11	2.53

注: -表示未检出。

存 0 d 时,热焓值并未检出,这表明淀粉已经完全被糊化,随着储藏时间的延长淀粉回生,融化淀粉结晶的 T₀、T_p、T_c、ΔH 均在增大,表明淀粉结晶程度增大,淀粉老化程度增大^[9]。另外,从表中可以看出 0.1 %TGase 面包组面包热焓值在不同储存天数下的热焓值均小于空白组面包,这表明 TGase 的添加对面包老化起到了一定的抑制效果。

3 结论

本试验以外加 TGase 的方法,测定 TGase 对藜麦-小麦粉面团品质及面包品质的影响。结果表明 TGase 能够显著改善藜麦-小麦粉的品质,TGase 的加入使得藜麦-小麦粉吸水率升高、稳定时间延长、弱化度降低。同时,TGase 能够增大藜麦-小麦粉糊化体系的黏度,抑制该体系的回生。适量的 TGase 表现出对藜麦-小麦面团良好的改善作用,增大了面团的弹性和黏聚性,但是高剂量的 TGase 改良效果不再显著。另外,TGase 的加入,使得面包比容增大、感官评分升高、硬度降低、弹性及黏聚性有一定程度的增大,并且表现出了对面包老化的抑制效果。结果表明,TGase 能够很好的应用于藜麦-小麦粉体系,提高其面团、面包品质,且最适添加量不应超过 0.1 %。

参考文献:

- [1] 吴娜娜,杨庭,谭斌,等. 谷氨酰胺转氨酶对挤压糙米粉面团蛋白特性和面条品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(7): 28-32
- [2] 赵红梅,杨艳君,马建华. 藜麦杂粮面包的制备工艺[J]. 山西农业科学, 2019, 47(3): 457-459
- [3] Chauhan G S, Zillman R R, Eskin N A M. Dough mixing and bread-making properties of quinoa-wheat flour blends [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2007, 27(6): 701-705
- [4] 张园园,卢宇,阿荣,等. 藜麦粉对小麦面团流变学特性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(6): 159-163
- [5] Cornejo F, Rosell C M. Physicochemical properties of long rice grain

- varieties in relation to gluten free bread quality[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 62(2): 1203-1210
- [6] 彭飞. 谷氨酰胺转氨酶(TGase)对燕麦面团流变学特性的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016
- [7] 马洁. 添加苦荞麦粉对米粉面团流变学及面包品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019
- [8] 周晓聪,张熙婷,叶金铎,等. 藜麦面包工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(20): 74-79
- [9] 盛夏璐. 常温保鲜馒头淀粉老化研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2016
- [10] 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(4): 934-939
- [11] Niu M, Xiong L C, Zhang B J, et al. Comparative study on protein polymerization in whole-wheat dough modified by transglutaminase and glucose oxidase[J]. LWT, 2018, 90: 323-330
- [12] Chanvrier H, Uthayakumaran S, Lillford P. Rheological properties of wheat flour processed at low levels of hydration: Influence of starch and gluten[J]. Journal of Cereal Science, 2007, 45(3): 263-274
- [13] Jia C L, Huang W N, Rayas-Duarte P, et al. Hydration, polymerization and rheological properties of frozen gluten-water dough as influenced by thermostable ice structuring protein extract from Chinese privet (*Ligustrum vulgare*) leaves[J]. Journal of Cereal Science, 2014, 59(2): 132-136
- [14] 孔晓雪,李蕴涵,李柚,等. 葡萄糖氧化酶和谷氨酰胺转氨酶对发酵麦麸面团加工品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 85-89
- [15] 王凤,黄卫宁,堵国成,等. 糯麦粉及转谷氨酰胺酶(TGase)在冷冻糯性糕团中的应用[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 110-114
- [16] Huang W N, Yuan Y L, Kim Y S, et al. Effects of transglutaminase on rheology, microstructure, and baking properties of frozen dough[J]. Cereal Chemistry Journal, 2008, 85(3): 301-306
- [17] Shiau S Y, Chang Y H. INSTRUMENTAL TEXTURAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF RAW, DRIED, AND COOKED NOODLES WITH TRANSGLUTAMINASE[J]. International Journal of Food Properties, 2013, 16(7/8): 1429-1441
- [18] Han L H, Cheng Y Q, Qiu S, et al. The effects of vital wheat gluten and transglutaminase on the thermomechanical and dynamic rheological properties of buckwheat dough[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(2): 561-569
- [19] 高嘉星. 荞麦粉-小麦粉混粉面团形成机制及荞麦面包烘焙特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017
- [20] Pongjaruvat W, Methacanon P, Seetapan N, et al. Influence of pre-gelatinised tapioca starch and transglutaminase on dough rheology and quality of gluten-free jasmine rice breads[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36: 143-150
- [21] Dapčević Hadnačev T R, Dokič L P, Hadnačev M S, et al. Rheological and breadmaking properties of wheat flours supplemented with octenyl succinic anhydride-modified waxy maize starches[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(1): 235-247

收稿日期: 2020-03-24