

发芽糙米复合粉制备无麸质面包的研究

吴昊桐, 杜佳阳, 李东红, 周大宇, 杨立娜, 马涛*

(渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁锦州 121013)

摘要:以发芽糙米粉与适量的大豆粉和玉米淀粉形成的复合粉为原料制备无麸质面包,采用混合试验仪和质构仪研究添加谷氨酰胺转氨酶(glutamine transaminase, TG酶)、L-半胱氨酸和大米蛋白对发芽糙米复合粉无麸质面包品质的影响。通过单因素试验和正交试验,并结合感官评分法确定各组分的最佳添加量。试验结果表明:发芽糙米粉、大豆粉和玉米淀粉质量比为5:2:3时组成的复合粉最为适宜制作面包。以此复合粉为基础添加TG酶0.8%、L-半胱氨酸1.0%、大米蛋白2.0%,制备的面包感官品质达到最佳。

关键词:发芽糙米复合粉;无麸质面包;正交试验;复配改良剂;感官评定

Studies on Gluten-free Bread Preparation Using Germinated Brown Rice Compound Powder

WU Hao-tong, DU Jia-yang, LI Dong-hong, ZHOU Da-yu, YANG Li-na, MA Tao*

(College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning, China)

Abstract: Gluten-free bread is prepared from a composite powder consisting of germinated brown rice flour, and appropriate amounts of soybean flour and corn starch. A mixing tester and texture analyzer were used to study the effects on germination of adding transglutaminase, L-cysteine, and rice protein. The effects of brown rice compound powder on gluten-free bread quality were then studied. Single factor and orthogonal testing, together with sensory scoring were used to determine the most appropriate amount of each component. The optimized compound powder for making bread contained germinated brown rice flour, soybean flour, and corn starch, with a mass ratio of 5:2:3. Using this composite powder, 0.8% TGase, 1.0% L-cysteine, and 2.0% rice protein were added to optimize the sensory qualities of the prepared bread.

Key words: germinated brown rice compound powder; gluten-free bread; orthogonal test; compound improvement; sensory evaluation

引文格式:

吴昊桐, 杜佳阳, 李东红, 等. 发芽糙米复合粉制备无麸质面包的研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 132-137.

WU Haotong, DU Jiayang, LI Donghong, et al. Studies on Gluten-free Bread Preparation Using Germinated Brown Rice Compound Powder[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15): 132-137.

麸质又名麦麸,即面筋蛋白,主要由醇溶蛋白和谷蛋白组成^[1],在面团的发酵过程中相互交联形成网状结构,使发酵食品保持良好的体积形态。对大多数人来说,麸质是很普通的蛋白质,容易被人体消化吸收,但对小部分人来说,摄入麸质会引发一种吸收障碍性疾病即乳糜泻^[2],因此食用无麸质食品对这类人群来说尤为重要。

面包是人们喜爱的食品之一。发芽糙米不仅具有糙米的全部营养价值,同时发芽糙米中所含的生理活性物质更丰富^[3-5],大豆蛋白具有优良的乳化性和发泡性,玉米淀粉具有良好的糊化特性^[6-7]。因此本试验选用发芽糙米粉、大豆粉和玉米淀粉为原料合理配比,并通过添加适量改良剂制造一款具有小麦口感的无麸质面包,以满足特殊人群的需求。

基金项目:辽宁省科学技术计划项目(2020JH5/10400086)

作者简介:吴昊桐(1991—),男(汉),硕士,研究方向:全谷物食品营养与加工综合利用。

*通信作者:马涛(1962—),男(汉),教授,博士,研究方向:全谷物食品营养与加工综合利用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

发芽糙米粉(蛋白质9.6%,脂肪2.9%,碳水化合物72.1%,水分12%)、大米蛋白(蛋白含量80%);辽宁

寨香生态农业有限股份公司;生黄豆粉(蛋白质26.2%,脂肪6.0%,碳水化合物41.2%,水分11.0%);山东美乐嘉食品有限公司;玉米淀粉(蛋白质0%,脂肪0%,碳水化合物28%,水分12.5%);上海枫未实业有限公司;干酵母;安琪酵母股份有限公司;谷氨酰胺转氨酶(酶活力100 U/g);广东科隆生物科技有限公司;L-半胱氨酸:河北华阳生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

MFF-13型恒温恒湿箱:广东圣恒家用电器有限公司;JY5002电子天平:上海舜宇恒平科学仪器有限公司;ZBS-RQKX-2X型烤箱:深圳市凯度电器有限公司;CHOPIN肖邦Mixolab2混合实验仪:法国肖邦公司;TA-XT2i Texture Analyser:英国 Stable Micro System 有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 发芽糙米复合粉的制备

复合粉制备参照 Mohammadi 等^[8]和 Ferreira 等^[9]方法加以改进和优化,在大豆粉和玉米淀粉为原料的基础上加入发芽糙米粉,以面包专用粉作为对照^[10],通过混合实验仪得出适宜制作无麸质面包的复合粉最优比组合为:发芽糙米粉:大豆粉:玉米淀粉质量比为5:2:3。

1.3.2 复合粉粉质特性测定

混合实验仪是一种可记录式的揉面钵,可以测量在搅拌和温度双重因素下的面团流变学特性。主要是实时测量面团搅拌时两个双揉面刀(搅拌臂)的扭矩变化。试验主要是基于在第一阶段面团水合后形成一个达到目标稠度且重量固定的面团^[11-12]。各指标所表示的特性见表1。

表1 各指标所表示的特性
Table 1 Characteristics of the indicators

参数	参数释义
C1	用于确定面粉的吸水率
C2	检测在搅拌力和温度作用下的蛋白质弱化
C3	检测淀粉糊化特性
C4	检测淀粉热糊化热胶稳定性
C5	检测冷却阶段糊化淀粉的回生特性
吸水率/%	在初始恒温阶段,面粉吸水后达到目标稠度所需加水量
C1时间/min	面团形成时间;面粉筋力越强,C1时间越长
稳定时间/min	面团耐揉性;稳定时间越长,面团筋力越强
C1-C2/(N·m)	在加热作用下蛋白网络弱化的速度
C3-C2/(N·m)	淀粉糊化速度
C3-C4/(N·m)	淀粉酶水解淀粉的速度
C5-C4/(N·m)	淀粉回生速度

1.3.3 单因素试验

本试验选用了谷氨酰胺转氨酶(glutamine transaminase, TG酶)、L-半胱氨酸和大米蛋白。用量分别为TG酶(质量分数0.02%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%)、L-半胱氨酸(质量分数0.02%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%)、大米蛋白(质量分数0.20%、4.0%、6.0%、8.0%、10.0%)进行单因素试验。复配添加剂添加量参考GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》。

1.3.4 正交试验

通过分析影响无麸质面包面团品质的单因素试验,选取TG酶、L-半胱氨酸和大米蛋白这3个因素安排 $L_9(3^4)$ 正交试验,正交试验因素与水平见表2。

表2 复配添加剂配方优化正交试验因素与水平
Table 2 Factors and levels of orthogonal experiment for compound additive formula optimization

水平	A TG酶/%	B L-半胱氨酸/%	C 大米蛋白/%
1	0.6	0.6	2.0
2	0.8	0.8	4.0
3	1.0	1.0	6.0

1.3.5 发芽糙米复合粉面包制备

取50g复合粉倒入和面钵中。准确称取0.5g酵母和32g水,倒入面钵中搅拌至成团。置于温度28℃,湿度为75%的醒发箱中发酵1.5h。

研究TG酶对面团品质的影响时需将TG酶(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%)用50℃水溶解,并先置于46℃发酵箱中发酵1h;研究L-半胱氨酸对面团品质影响时需加入L-半胱氨酸(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%);研究大米蛋白对面团品质的影响需加入大米蛋白(2.0%、4.0%、6.0%、8.0%、10.0%)。试验中总质量不变,改良剂添加量为占全粉的百分比。

取发酵后的面团置于烤箱中烘烤。上火180℃下火190℃,烘烤时间12min。出炉后待面包冷却一段时间达到32℃即可。

1.3.6 全质构分析(texture profile analysis, TPA)

用刀将无麸质面包面团切成长宽高均为2.5cm的立方体,采用质构仪进行质构分析^[13]测试,测试采用P36探头,5次试验取平均值。参数设定为测试前速率:1.00mm/s,测试速率:1.00mm/s;测试后速率:2.00mm/s,下压程度:10.00%;距离:35.000mm,测试力:5.0g。

1.3.7 产品感官评定

发芽糙米无麸质面包感官评分标准参照GB/T 35869—2018《粮油检验 小麦粉面包烘焙品质评价 快速烘焙法》^[14]见表3。

表3 面包感官评分标准
Table 3 Bread sensory scoring criteria

项目	分值	评分标准
面包体积	45	面包体积<360 mL得0分;大于900 mL得满分45分;体积在360 mL~900 mL之间每增加12 mL得分增加1分
面包外观	5	面包表皮色泽正常,光洁平滑无斑点得5分;表皮色泽不正常、塌陷、不光洁、不平滑或有斑点每项扣1分
面包芯色泽	5	洁白、乳白并有丝样光泽得5分;洁白、乳白但无丝样光泽得4分;黑、暗灰得最低1分;介于二者之间,色泽由白-黄-灰-黑,分数依次降低
面包芯质地	10	包芯细腻平滑,柔软而富有弹性,得10分;包芯粗糙紧实,弹性差,按压不复原或难复原得2分;介于二者之间得3分~9分
面包芯 纹理结构	35	包芯气孔细腻,均匀呈长型,孔壁薄呈海绵状得35分;包芯气孔极不均匀,坚实部分连成大片得最低8分;介于二者之间得9分~34分

面包体积也可按下式计算体积得分。

$$S_v = \frac{V - 360}{12}$$

式中: S_v 为面包体积得分; V 为面包体积测定值,mL;

360为得分为0分的面包体积测定值,mL。

挑选10名食品专业人员组成感官评鉴小组对10组产品进行感官评价,其中1号~9号试验组为正交试验组面团烘烤后的面包,10号为未添加改良剂的

发芽糙米面包。

1.3.8 数据分析

数据统计采用Excel2010、SPSS 16.0进行处理分析。

2 结果与讨论

2.1 TG酶对发芽糙米无麸质面包面团粉质特性的影响

TG酶对发芽糙米面团粉质特性影响如表4所示。

与空白组相比,随着TG酶添加量的增多,面团的

表4 TG酶对发芽糙米面团粉质特性影响
Table 4 Influence of TGase on the flour properties of germinated brown rice dough

TG酶添加量/%	形成时间/min	稳定时间/min	C1/(N·m)	C2/(N·m)	C3/(N·m)	C4/(N·m)	C5/(N·m)	C1-C2(蛋白弱化特性)/(N·m)	C3-C2(淀粉糊化特性)/(N·m)	C3-C4(淀粉糊化热稳定性)/(N·m)	C5-C4(淀粉回生特性)/(N·m)
0	1.82	8.20	1.13	0.37	1.47	1.00	1.24	0.76	1.10	0.69	0.24
0.2	2.57	8.50	1.15	0.51	1.68	0.99	1.18	0.64	1.17	0.69	0.19
0.4	3.13	8.30	1.14	0.44	1.69	0.93	1.14	0.70	1.25	0.76	0.21
0.6	4.05	8.30	1.15	0.68	1.68	0.99	1.18	0.47	1.00	0.69	0.19
0.8	4.15	8.30	1.15	0.75	1.72	0.94	1.16	0.40	0.97	0.78	0.22
1.0	3.18	8.40	1.16	0.90	1.77	0.99	1.18	0.26	0.87	0.78	0.19

形成时间呈现先上升后下降的趋势,蛋白弱化特性下降。这表明随着TG酶的增多,蛋白分子之间形成交联构成蛋白网状结构,增加了面团的黏弹性使其更耐揉,赋予面团更加稳定的形态。其中糊化的淀粉颗粒充分填充于蛋白网状结构中,使面团回生值降低,有利于面包储藏期品质的稳定。但过量添加会导致蛋白交联过度,使面团内部结构变弱,不利于面团的成型。Basman等^[15]研究表明TG酶促进蛋白交联程度的同时减少了亲水性氨基酸,亲水键减少降低了面团

的吸水率,从而降低了面团“筋力”。随着TG酶的添加淀粉的糊化特性淀粉的热稳定性和回升特性变化不大,综合分析TG酶添加量为0.2%~0.8%时面团粉质特性较好,这与路飞等^[16]结果相一致。

2.2 L-半胱氨酸对发芽糙米无麸质面包面团粉质特性的影响

L-半胱氨酸对发芽糙米无麸质面团粉质特性影响如表5所示。

与空白组相比随着L-半胱氨酸添加量的增多,面

表5 L-半胱氨酸对发芽糙米无麸质面团粉质特性影响
Table 5 Effect of cysteine on the silty characteristics of germinated brown rice without gluten

L-半胱氨酸添加量/%	形成时间/min	稳定时间/min	C1/(N·m)	C2/(N·m)	C3/(N·m)	C4/(N·m)	C5/(N·m)	C1-C2(蛋白弱化特性)/(N·m)	C3-C2(淀粉糊化特性)/(N·m)	C3-C4(淀粉糊化热稳定性)/(N·m)	C5-C4(淀粉回生特性)/(N·m)
0	1.82	8.20	1.13	0.37	1.47	1.00	1.24	0.76	1.10	0.69	0.24
0.2	2.18	4.20	1.12	0.31	1.56	0.88	1.07	0.81	1.25	0.68	0.19
0.4	2.03	3.40	1.13	0.28	1.55	0.84	1.00	0.85	1.27	0.71	0.16
0.6	1.90	3.30	1.12	0.28	1.51	0.81	1.00	0.84	1.23	0.70	0.19
0.8	1.97	3.30	1.12	0.29	1.51	0.81	1.00	0.83	1.22	0.70	0.19
1.0	2.00	3.10	1.12	0.29	1.52	0.78	0.93	0.83	1.23	0.74	0.15

团的形成时间、稳定时间均呈现降低的趋势。这是因为L-半胱氨酸作为一种还原剂,一方面它可以促进面筋的形成,减少面团混合所需的时间需要用的能量,使面团具有更好的延展性^[17];另一方面两个L-半胱氨酸断裂硫基形成双硫键的胱氨酸。Jazaeri等^[18]表明在面团形成过程中强筋粉和弱筋粉形成蛋白网络结构的区别为在筋力较强的面团中易发生二硫键交联,而筋力较弱的面团主要是疏水相互作用,因此胱氨酸具有维持蛋白质网状结构构型的作用。面团的弱化特性稍有降低,这可能L-半胱氨酸添加量的增多面团的

延展性强于面团的黏弹性,使面团耐揉性改变。此外面团的淀粉糊化特性和糊化热稳定性无明显变化但面团的淀粉回生特性稍有改善,这有利于焙烤后产品的储藏。综合分析L-半胱氨酸添加量为1.0%时面团粉质特性较好。

2.3 大米蛋白对发芽糙米无麸质面包面团粉质特性的影响

大米蛋白对发芽糙米无麸质面团粉质特性影响如表6所示。

与空白组相比,随着大米蛋白添加量的增多,面

表6 大米蛋白对发芽糙米无麸质面团粉质特性影响

Table 6 Effect of rice protein on the flour properties of germinated brown rice without gluten

大米蛋白添加量/%	形成时间/min	稳定时间/min	C1/(N·m)	C2/(N·m)	C3/(N·m)	C4/(N·m)	C5/(N·m)	C1-C2(蛋白弱化特性)/(N·m)	C3-C2(淀粉糊化特性)/(N·m)	C3-C4(淀粉糊化热稳定性)/(N·m)	C5-C4(淀粉回生特性)/(N·m)
0	1.82	8.20	1.13	0.37	1.47	1.00	1.24	0.76	1.10	0.69	0.24
2.0	2.25	8.20	1.15	0.44	1.62	0.98	1.24	0.71	1.18	0.64	0.26
4.0	2.05	8.00	1.14	0.36	1.52	0.86	1.04	0.78	1.16	0.66	0.18
6.0	2.28	7.50	1.14	0.39	1.58	0.93	1.14	0.75	1.19	0.65	0.21
8.0	1.18	6.90	1.15	0.41	1.59	0.98	1.19	0.74	1.18	0.61	0.21
10.0	1.75	7.40	1.15	0.44	1.62	0.82	1.04	0.71	1.18	0.68	0.22

团的形成时间、稳定时间和蛋白弱化特性先上升后下降。这可能是由于一方面少量大米蛋白的增加,面团中蛋白含量增多,从而加强了面团中蛋白与蛋白之间的聚集程度^[19],强化了面团内部结构^[20],使面团更耐揉,另一方面由于大米蛋白难溶于水且吸附在淀粉表面从而抑制水分子进入内部,这会使面团内部网状结构强度降低^[21]。此外 Debet 等^[22]研究表明淀粉颗粒填充在蛋白网状结构中,在糊化过程中淀粉颗粒得到了保护提高了面团的热稳定性,而淀粉糊化特性和回生特性均无明显变化。综合考虑大米蛋白添加量为2.0%~4.0%时面团粉质特性较好。

2.4 添加剂复合配方优化

试验以形成时间、稳定时间和蛋白弱化特性为指标,面团形成时间、面团稳定时间和蛋白弱化特性的权重分别为0.4、0.4和0.2^[23]。复配添加剂对面团 Mixolab 参数影响的正交试验结果如表7所示。

3种添加剂对面团的粉质特性影响主次为B>A>C,即L-半胱氨酸>TG酶>大米蛋白,且最优方案为B₃A₂C₁,即添加量为TG酶0.8%、L-半胱氨酸1.0%、大米蛋白2.0%。

2.5 面团质构测定结果

不同配方面团质构测定结果见表8。

由表8可知,6号试验结果与其他组相比较较好。其中面团的硬度、胶着性和咀嚼性明显优于其他组,但

表7 复配添加剂配方优化正交试验结果与分析

Table 7 Results and analysis of orthogonal experiment for compound additive formula optimization

试验号	A TG酶	B L-半胱氨酸	C 大米蛋白	形成时间/min	稳定时间/min	C1-C2(蛋白弱化特性)/(N·m)	综合得分
1	1	1	1	1.58	6.10	0.74	0.38
2	1	2	2	2.33	3.40	0.67	0.38
3	1	3	3	2.22	8.20	0.60	0.64
4	2	1	2	2.43	7.30	0.57	0.62
5	2	2	3	1.90	6.80	0.56	0.43
6	2	3	1	3.00	9.30	0.34	0.80
7	3	1	3	2.40	5.90	0.61	0.54
8	3	2	1	1.92	7.40	0.53	0.46
9	3	3	2	2.12	6.80	0.48	0.47
T ₁	1.40	1.54	1.64				
T ₂	1.84	1.27	1.47				
T ₃	1.47	1.91	1.61				
K ₁	0.47	0.51	0.55				
K ₂	0.61	0.42	0.49				
K ₃	0.49	0.64	0.54				
R	0.15	0.21	0.06				
因素							
主次						B>A>C	
最优							B ₃ A ₂ C ₁
方案							

弹性、黏聚性和回复性和其他组相比无明显差别;随着TG酶的增多,面团硬度、胶着性和咀嚼性明显提高^[24],

表8 不同配方面团质构测定结果

Table 8 TPA detection results of bread dough with different formula

试验号	硬度/(g/kg)	弹性	黏聚性	胶着性	咀嚼性	回复性
1	1 270.06±26.57 ^a	0.93±0.04 ^a	0.79±0 ^b	1 016.77±22.48 ^a	1 037.52±23.87 ^a	0.42±0 ^b
2	1 137.95±22.22 ^{cd}	0.94±0.01 ^a	0.82±0.02 ^a	934.92±46.66 ^b	890.61±46.98 ^b	0.43±0.01 ^{ab}
3	1 060.04±99.32 ^d	0.92±0.02 ^a	0.79±0.01 ^b	839.13±78.67 ^c	779.80±80.16 ^c	0.43±0.01 ^{ab}
4	12 16.65±78.39 ^{bc}	0.93±0.01 ^a	0.78±0.01 ^b	955.61±51.57 ^b	891.05±44.95 ^b	0.42±0.01 ^b
5	1 231.59±79.48 ^{bc}	0.92±0 ^a	0.78±0.01 ^b	971.12±54.59 ^b	899.90±52.16 ^b	0.43±0.01 ^{ab}
6	1 034.68±27.54 ^{cd}	0.93±0.01 ^a	0.79±0.01 ^b	823.63±29.63 ^c	772.66±6.71 ^c	0.44±0.01 ^a
7	1 410.85±81.37 ^a	0.94±0.01 ^a	0.79±0.01 ^b	1 119.55±55.2 ^a	1 058.60±39.62 ^a	0.44±0.01 ^{ab}
8	1 384.04±33.21 ^a	0.94±0.01 ^a	0.80±0.01 ^b	1 109.28±31.3 ^a	1 044.34±45.45 ^a	0.44±0.01 ^{ab}
9	1 324.93±32.38 ^{ab}	0.94±0.01 ^a	0.80±0.01 ^a	1 063.88±16.62 ^{ab}	1 005.37±2.26 ^a	0.44±0.01 ^a

注:同列中不同字母表示显著差异 $p < 0.05$; 相同字母表示无显著差异性 $p > 0.05$ 。

但在加入 L-半胱氨酸后 3 个指标明显改善,由此也可以印证 L-半胱氨酸对面团的粉质特性的影响大于 TG 酶。综合而言,6 号试验面团品质最好,最优添加量为 TG 酶 0.8%、L-半胱氨酸 1.0% 和大米蛋白 2.0%, 结果与 Mixolab 正交试验结果相一致。

2.6 产品感官评定结果

不同配方发芽糙米无麸质面包成品感官评分见表 9。

表9 不同配方发芽糙米无麸质面包成品感官评分

Table 9 sensory scores of different recipes of germinated brown rice gluten-free bread

试验号	得分	试验号	得分
1	60	6	80
2	61	7	70
3	74	8	64
4	75	9	65
5	67	10	20

感官评分可以得出,6 号试验组评分最高,且 1 号~9 号评分均明显高于未添加改良剂的发芽糙米面包。说明添加复配改良剂后能显著提升发芽糙米无麸质面包的品质。结果与 Mixolab 正交试验结果一致。

3 结论

复配改良剂能显著提升发芽糙米复合粉无麸质面团的粉质特性。通过试验得出:当发芽糙米粉、大豆粉和玉米淀粉质量比为 5:2:3 时组成的复合粉最为适宜制作面包。以此复合粉为基础添加 TG 酶 0.8%、L-半胱氨酸 1.0%、大米蛋白 2.0%, 制备的面包体积较大、外观光洁平滑无塌陷且质地细腻平滑富有弹性,其感官品质达到最佳。

参考文献:

- [1] 于明玉,胡朝辉,尹志欣,等.无麸质小米面包复合改良剂优化研究[J].食品工业,2015(4):168-171.
YU Mingyu, HU Zhaohui, YIN Zhixin, et al. Optimization of compound improve for gluten-free millet bread[J]. The Food Industry, 2015(4):168-171.
- [2] 刘津,蒲民,李芳,等.一种主要食品致敏原成分——麸质的标识管理[J].粮食与饲料工业,2009(8):44-46.
LIU Jin, PU Min, LI Fang, et al. Labeling management of gluten as a major food allergen ingredient[J]. Cereal & Feed Industry, 2009(8): 44-46.
- [3] KIM H Y, HWANG I G, KIM T M, et al. Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination[J]. Food Chemistry, 2012, 134(1):288-293
- [4] 周婷.糙米发芽过程中营养成分变化规律及新产品开发[D].长沙:中南林业科技大学,2014.
ZHOU Ting. Changes of untrients in the germination of brown rice and development of new product[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2014.
- [5] 刘丽萍,李雨露.糙米发芽前后营养成分的变化及功能特性[J].粮油加工,2008(11):81-83.
LIU Liping, LI Yulu. Changes and functional characteristics before and after the nutritional content of brown rice germination[J]. Cereals and Oils Processing, 2008(11): 81-83.
- [6] OKADA T, SUGISHITA T, MURAKAMI T, et al. Effect of the De-fatted rice germ enriched with GABA for sleeplessness, depression, autonomic disorder by oral administration[J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2000, 47(8):596-603
- [7] 胡强,孟岳成.淀粉糊化和回生的研究[J].食品研究与开发,2004,25(5):63-66.
HU Qiang, MENG Yuecheng. A review on the gelatinization of rice starch and aging[J]. Food Research and Development, 2004, 25(5): 63-66.
- [8] MOHAMMADI M, AZIZI M H, NEYESTANI T R, et al. Develop-

- ment of gluten-free bread using guar gum and transglutaminase[J]. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2015, 21: 1398-1402.
- [9] FERREIRA S M R, DE MELLO A P, DE CALDAS ROSA DOS ANJOS M, et al. Utilization of Sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta[J]. Food Chemistry, 2016, 191: 147-151.
- [10] BASMAN A, KÖKSEL H, NG P K. 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(5): 419-424.
- [11] 张艳, 王彦飞, 陈新民, 等. Mixolab 参数与粉质、拉伸参数及面包烘烤品质的关系[J]. 作物学报, 2009, 35(9): 1738-1743.
- ZHANG Yan, WANG Yanfei, CHEN Xinmin, et al. Relationships of Mixolab parameters with farinograph, extensograph parameters, and bread-making quality [J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(9): 1738-1743.
- [12] 李春晓, 赵志龙, 牛亚飞, 等. 国内面包专用粉工艺解析[J]. 现代食品, 2018(18):129-131.
- LI Chunxiao, ZHAO Zhilong, NIU Yafei, et al. Domestic bread flour process analysis[J]. Modern Food, 2018(18): P.129-131.
- [13] 路飞, 马涛, 任文涛, 等. 几种添加剂对大米面包感官及质构特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(20): 23-26.
- LU Fei, MA Tao, REN Wentao, et al. Effects of several additives on sensory and textural characteristics of rice bread[J]. Food Research and Development, 2014, 35(20): 23-26.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 小麦粉面包烘焙品质评价 快速烘焙法: GB/T 35869—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils—bread-baking quality evaluation of wheat flour—Rapid-baking test: GB/T 35869—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.
- [15] 刘颖, 刘丽宅, 于晓红, 等. 谷氨酰胺转氨酶对燕麦-小麦混合粉面团特性影响的研究[J]. 食品工业, 2016, 37(11):1-4.
- LIU Ying, LIU Lizhai, YU Xiaohong, et al. Effect of transglutaminase on properties of oat-wheat mixed flour dough [J]. The Food Industry, 2016, 37(11):1-4.
- [16] 路飞, 马涛, 李新华, 等. 不同品种大米粉对大米面包感官及质构特性影响的比较[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(20): 72-75.
- LU Fei, MA Tao, LI Xinhua, et al. Sensory and textural characteristics of bread prepared from wheat flour and several kinds of rice flour[J]. Food Research and Development, 2014, 35(20): 72-75.
- [17] 李培圩. 蛋白酶及半胱氨酸对发酵面团改良作用的实验 [J]. 食品工业科技, 2000(6):14.
- LI Peiyu. Experiment on the improvement effect of protease and cysteine on fermented dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2000(6):14.
- [18] JAZAERI S, BOCK J E, BAGAGLI M P, et al. Structural modifications of gluten proteins in strong and weak wheat dough during mixing[J]. Cereal Chemistry, 2015, 92(1): 105-113.
- [19] 路飞, 马涛, 任文涛, 等. 大米粉特性与大米面包感官及质构特性关系的研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(19): 25-28.
- LU Fei, MA Tao, REN Wentao, et al. The relationship between characteristics of rice flour material and sensory and textural characteristics of rice bread[J]. Food Research and Development, 2014, 35(19): 25-28.
- [20] SINGH S, SINGH N, MACRITCHIE F. Relationship of polymeric proteins with pasting, gel dynamic- and dough empirical-rheology in different Indian wheat varieties[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(1): 19-24.
- [21] LIKITWATTANASADE T, HONGSPRABHAS P. Effect of storage proteins on pasting properties and microstructure of Thai rice[J]. Food Research International, 2010, 43(5):1402-1409.
- [22] DEBET M R, GIDLEY M J. Why do gelatinized starch granules not dissolve completely? Roles for amylose, protein, and lipid in granule "ghost" integrity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(12): 4752-4760.
- [23] 胡家勇, 秦先魁, 郑革, 等. 混合试验仪确定冷冻面团馒头复配添加剂最佳配方[J]. 中国酿造, 2014, 33(6): 107-111.
- HU Jiayong, QIN Xiankui, ZHENG Ge, et al. Optimization of complex additive formula frozen steam bread dough by Mixolab[J]. China Brewing, 2014, 33(6): 107-111.
- [24] 陈晓明, 王承. 谷氨酰胺转氨酶对大豆面包品质及加工特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(3): 88-91.
- CHEN Xiaoming, WANG Cheng. Influence of transglutaminase on quality and processing characteristic of the soyprotein strengthened bread[J]. Food Research and Development, 2009, 30(3): 88-91.

加工编辑:张弘

收稿日期:2020-03-20