

杂粮面包预拌粉的烘焙品质改良

Study on baking quality improvement of multi-grain pre-blent bread flour

陈 昊^{1,2}胡蒙蒙^{1,2}李赤翎^{1,2}刘永乐^{1,2}CHEN Hao^{1,2}HU Meng-meng^{1,2}LI Chi-ling^{1,2}LIU Yong-le^{1,2}王发祥^{1,2}吴金鸿³俞 健^{1,2}李向红^{1,2}WANG Fa-xiang^{1,2}WU Jin-hong³YU Jian^{1,2}LI Xiang-hong^{1,2}

(1. 长沙理工大学食品与生物工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 湖南省水生资源食品加工工程技术研究中心, 湖南 长沙 410114; 3. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240)

(1. School of Food and Biological Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 2. Hunan Provincial Engineering Technology Research Center of Aquatic Food Resources Processing, Changsha, Hunan 410114, China; 3. College of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

摘要:目的:改良杂粮面包预拌粉的烘焙品质。方法:在前期研究以燕麦粉、鹰嘴豆粉和小麦粉为主要原料制备的低血糖指数杂粮面包预拌粉的基础上,通过单因素和响应面法优化杂粮面包预拌粉的配方。结果:黄原胶添加量 0.78 g/100 g、谷朊粉添加量 3.42 g/100 g、麦芽糖淀粉酶添加量 200.00 mg/kg、抗坏血酸添加量 171.70 mg/kg 时,所制得的面包比容为 (2.26 ± 0.16) mL/g,面包的实际硬度为 (15.97 ± 0.69) N,与纯小麦粉面包接近;感官评定结果显示,杂粮预拌粉面包的气味、内部结构、口感和整体接受度均优于纯小麦粉面包。结论:研究优化的杂粮面包预拌粉的改良剂配方可用于实际操作中。

关键词:燕麦;鹰嘴豆;烘焙品质;改良

Abstract: Objective: Improvement of the baking quality of the multi-grain pre-blent bread flour. **Methods:** On the basis of the previous study on the preparation of low glycemic index multi-grain pre-blent bread flour with oat flour, chickpea flour and wheat flour as the main raw materials, this study employed single factor experiment and response surface methodology to optimize the formula of the pre-blent bread flour. **Results:** The optimal concentration of xanthan gum, gluten, maltose amylase and ascorbic acid were 0.78 g/100 g, 3.42 g/100 g, 200.00 mg/kg and

171.70 mg/kg, respectively. The specific volume and hardness of the prepared bread were (2.21 ± 0.03) mL/g and (15.97 ± 0.69) N, respectively, which were closed to the bread made with pure wheat flour. The sensory evaluation results (including odor, internal structure, taste and overall acceptability) of the bread prepared from the multi-grain pre-blend flour were better than that of bread made from pure wheat flour. **Conclusion:** The formula of multi-grain pre-blent bread flour optimized by this study can be used in industrialization.

Keywords: oats; chickpea; baking quality; optimization

课题组^[1]前期系统研究了燕麦粉和鹰嘴豆粉的添加对杂粮面包预拌粉的烘焙品质、抗氧化性能和体外淀粉消化性能的影响,结果显示 $m_{\text{燕麦粉}} : m_{\text{鹰嘴豆粉}}$ 为 1 : 2 (总杂粮添加量 20%) 时,预拌粉的淀粉水解率较低且抗氧化性较强。然而,由于燕麦和鹰嘴豆中缺少面筋蛋白,难以形成面筋网络结构,所以,前期获得的杂粮面包预拌粉的烘焙品质较差。

Collar 等^[2]研究表明淀粉酶和谷氨酰胺转氨酶可以改善面团和面包的烘焙品质,对面包感官评价和质构特性具有显著改良效果;Motta Romero 等^[3]发现黄原胶可以改善小米面团品质;Tebben 等^[4]提出同类型和不同类型改良剂混合使用可对面团产生影响,但具体效果有待进一步深入研究,虽然目前改良剂改善面团或者产品品质有一些报道,但是杂粮面包预拌粉焙烤品质的改良目前较为鲜见。

研究针对杂粮加入造成面包预拌粉烘焙品质变差的问题,通过单因素试验和响应面试验研究复合添加剂对

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:32072262);湖南省自然科学基金项目(编号:2022JJ30588);湖南省教育厅重点项目(编号:19A027);“科技兴蒙”行动重点专项(编号:NMKJXM202209-2)

作者简介:陈昊,男,长沙理工大学在读硕士研究生。

通信作者:李向红(1979—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: xianghongli@csust.edu.cn

收稿日期:2022-09-02 **改回日期:**2022-11-28

面包预拌粉烘焙品质(面包比容、质构、感官和老化特性)的改良作用,确定复合添加剂的最佳配方,以期杂粮面包预拌粉的工业化生产提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

谷朊粉、黄原胶:封丘县华丰粉业有限公司;

抗坏血酸:食品级,石药集团维生药业(石家庄)有限公司;

麦芽糖淀粉酶:诺维信(中国)生物技术有限公司。

1.2 主要仪器与设备

电子分析天平:AUY120 型,日本岛津公司;

和面机:HMJ-A50N1 型,小熊电器股份有限公司;

醒发箱:YH-13 型,珠海家宝德科技有限公司;

烤箱:F150 型,广州三鼎金属制品有限公司;

物性测定仪:TA.XT.Plus 型,英国 Stable Micro System 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 面包制备 白面包的制备参照何宏等^[5]的方法。制作杂粮面包时,以高筋小麦粉和杂粮粉的质量合计为 100%,向原料中加入 $m_{\text{燕麦粉}}:m_{\text{鹰嘴豆粉}}$ 为 1:2 的燕麦粉和鹰嘴豆粉的混合粉,制作步骤和白面包相同。

1.3.2 单因素试验设计 在前期研究的基础上,以高筋小麦粉和杂粮粉的质量合计为 100%,加入杂粮粉 20% ($m_{\text{燕麦粉}}:m_{\text{鹰嘴豆粉}}$ 为 1:2),白砂糖、盐、干酵母分别为 20%,1%,2%,然后加水 80 mL。研究分别添加黄原胶(0.0,0.2,0.4,0.6,0.8,1.0 g/100 g)、谷朊粉(0.2,4,6,8,10 g/100 g)、麦芽糖淀粉酶(0.50,100,150,200,250 mg/kg)及抗坏血酸(0.40,80,120,160,200 mg/kg)中的一种添加剂时对所制备杂粮面包烘焙品质(面包质构、面包比容和面包的感官评价)和老化特性(面包芯硬度变化、面包保水性、面包的感官评分)的影响。

1.3.3 杂粮面包预拌粉复合添加剂配方优化 在单因素试验的基础上,选取较优的试验结果进行响应面试验设计,以面包质构分析中的硬度作为评价指标,确定复合添加剂的最佳配方。

1.3.4 面包质构的测定 参照 Zhang 等^[6]的方法进行测定。将新鲜出炉的面包在室温下冷却 2 h 后,切成厚度为 2.5 cm 的面包片,在参数为:测前速度 1.00 mm/s,测试速度 1.70 mm/s,测后速度 10.00 mm/s,压缩程度为 60%,感应力为 0.049 N,2 次压缩的间隔时间为 2 s 的质构分析仪上进行测试。每个样品进行 6 次平行试验。

1.3.5 面包比容的测定 参照孙银凤等^[7]的方法进行测定,取冷却好的面包,称其质量,采用油菜籽置换法测定面包体积,按式(1)计算面包比容。

$$v = \frac{V}{m}, \quad (1)$$

式中:

v ——面包比容,mL/g;

V ——面包体积,mL;

m ——面包质量,g。

1.3.6 面包感官评定的测定 参照 Yousif 等^[8]的方法进行测定。采用 9 分嗜好评分法,1~9 分别代表从极度不喜欢到极度喜欢。感官评定指标包括外观、气味、内部结构、口感和整体接受度。烘焙好的面包冷却 2 h 后切成 10 mm 厚的薄片,分别取各样品中间的 3 片面包进行随机编号,并按随机顺序进行感官评分。

感官评价者选择:随机选取 20 名参加过食品感官评价相关培训的志愿者分别对试验中制作的面包进行感官评价。志愿者在评价完每一个样品后漱口,并休息 1 min 后再继续评价下一个样品。

1.3.7 面包老化特性

(1) 面包芯硬度变化:新鲜出炉的面包冷却 2 h 后进行质构测定,每隔 24 h 测一次质构,持续 5 d 测定不同贮藏时间面包的硬度^[9]。

(2) 面包保水性测定:新鲜出炉的面包冷却 2 h,称面包的质量。将样品置于室温条件下,每隔 24 h 称重 1 次,持续 5 d。按式(2)计算保水性^[10-11]。

$$W = \frac{M_1 - M_i}{M_1} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

W ——失水率,%;

M_1 ——新鲜面包出炉冷却后的质量,g;

M_i ——第 i 天测得面包的重量,g。

(3) 面包的感官评分:总共进行 6 次感官评定,新鲜出炉的面包冷却 2 h 后进行感官评定,之后每隔 24 h 测一次,持续 5 d 对贮藏不同时间的面包进行感官评定。

1.4 数据处理与统计分析

采用 Origin 2018 进行数据分析与统计,采用 SPSS 进行单因素方差分析(Tukey's Test),数据以 $\bar{X} \pm SD$ 表示,显著性 $P < 0.05$ 。每个样品重复测 3 次,取其平均值。

2 结果与分析

2.1 黄原胶对杂粮面包预拌粉烘焙性能的影响

2.1.1 对面包质构的影响 由表 1 可知,在试验范围内黄原胶对面包硬度、回复性影响不显著,其中黄原胶添加量为 0.8 g/100 g 时,与白面包相比,制成的燕麦—鹰嘴豆杂粮面包硬度降低,回复性略微升高,主要原因可能是黄原胶具有吸水性,能与水形成黏性凝胶,且亲水性胶体可与淀粉颗粒以及面筋蛋白形成结实的面筋网络结构,增强面团筋强度和持水性,从而改善面包烘焙品质^[12]。何承云等^[13]发现加入黄原胶可以改善馒头质构;也有研究^[14-15]发现亲水胶体可以加强淀粉颗粒与面筋之间的相互作用。

表 1 黄原胶添加量对燕麦—鹰嘴豆杂粮面包品质的影响

Table 1 Effects of concentration of xanthan gum on quality of oat-chickpea multigrain bread

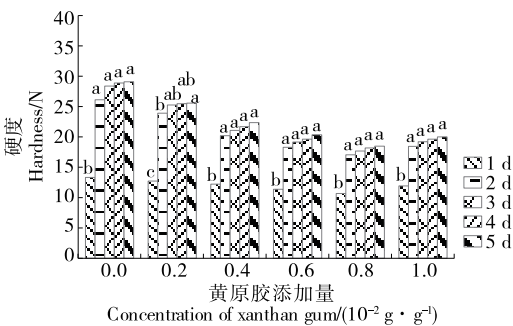
黄原胶添加量/ ($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)	硬度/N	回复性/%	比容/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	感官评分
0.0	13.30 ± 0.70	95.71 ± 0.41	2.42 ± 0.04	7.20 ± 0.40
0.2	12.70 ± 1.40	95.79 ± 0.93	2.38 ± 0.04	7.30 ± 0.30
0.4	12.20 ± 0.90	95.86 ± 0.79	2.39 ± 0.02	7.50 ± 0.10
0.6	11.30 ± 1.20	95.91 ± 0.37	2.46 ± 0.01	7.70 ± 0.20
0.8	10.68 ± 0.55	96.52 ± 0.46	2.48 ± 0.06	7.80 ± 0.20
1.0	11.92 ± 1.49	95.67 ± 0.70	2.39 ± 0.03	7.10 ± 0.20

2.1.2 对面包比容的影响 由表 1 可知,添加黄原胶对面包比容影响不显著($P>0.05$),但当黄原胶添加量超过 0.8 g/100 g 时面包比容变小,可能是因为黄原胶的黏度和增稠性较强,添加较多时面包的内部组织更为紧实。

2.1.3 对面包感官评分的影响 由表 1 可知,试验范围内黄原胶的添加对面包内部结构、口感有所改善,但并不显著,可能是因为其中杂粮粉较多,改善效果不是很好,也说明单一添加剂的改良作用是有限的。

2.2 黄原胶对面包老化特性的影响

2.2.1 对面包芯硬度的影响 有研究^[16]表明,黄原胶具有延缓淀粉老化的作用。由图 1 可知:随着贮藏时间的增加面包硬度随之增加,第 1 天和第 2 天硬度变化程度较大;随着黄原胶添加量的增加,贮藏过程中面包硬度变化有所改善。黄原胶添加量为 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 g/100 g 时,第 5 天面包芯的硬度分别为第 1 天的 2.18, 2.01, 1.83, 1.79, 1.73, 1.68 倍,所以添加黄原胶使面包硬度变化率减小,进一步说明黄原胶能延缓面包老化。这与宋臻善等^[17]研究中得出黄原胶可以延缓蛋糕老化,



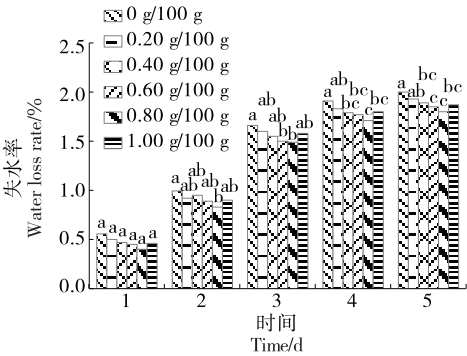
字母不同表示不同贮藏时间之间的差异显著($P<0.05$)

图 1 黄原胶添加量对不同贮藏时间下面包芯硬度的影响

Figure 1 Effects of concentration of xanthan gum on the hardness of bread core during different storage days

以及翟力等^[18-19]研究中得出添加适量黄原胶可延缓面包老化的结论相一致,其原因可能是它能改善面团持水性,且能阻碍淀粉发生重结晶作用。

2.2.2 对面包保水性的影响 由图 2 可知,添加黄原胶后,面包失水率较低、失水较缓慢。面包贮藏至第 5 天,加入 0.8 g/100 g 黄原胶显著提高了面包贮藏过程中保水性,其失水率比未加黄原胶的面包降低了 10%。



字母不同表示不同黄原胶添加量之间的差异显著($P<0.05$)

图 2 不同黄原胶添加量下面包失水率随贮藏时间的影响

Figure 2 Effects of concentration of xanthan gum on water loss rate of bread with storage time

加入黄原胶可以延缓面包在贮藏过程中发生老化,保持面包柔软,富有弹性。结合以上各指标的分析,以面包的烘焙品质为参考,得到黄原胶的最佳添加量为 0.8 g/100 g。

2.3 谷朊粉对杂粮面包预拌粉烘焙性能的影响

2.3.1 对面包质构的影响 由表 2 可知,随着谷朊粉的增加,燕麦—鹰嘴豆杂粮面包硬度先降低后升高,回复性先升高后降低。当谷朊粉添加量为 4 g/100 g 时,面包硬度达到最小值(10.64 ± 0.70) N,回复性最高为(96.82 ± 0.67)%,可能是因为添加谷朊粉可以使杂粮预拌粉中面筋蛋白质含量增加,吸水使面团内部保持大量水分而提高面团持水性^[20],并且有研究^[21]表明谷朊粉的添加使面团中巯基和二硫键含量增加,构成更牢固的面团支撑“骨架”,其中含有的谷氨酰胺还可间接增加氢键含量使面团弹性和强度提高,降低面包硬度;但过量添加谷朊粉会使面团中巯基和二硫键含量减少影响面筋网络结构的形成^[22],还会影响面团的延伸性并阻碍面筋的形成而降低面团持气性^[23],故最终面包硬度反而升高,并且对回复性产生不利影响。

2.3.2 对面包比容的影响 由表 2 可知,随着谷朊粉添加量的增加,比容呈先增大后减小的趋势,但变化并不显著($P>0.05$),当谷朊粉添加量为 4 g/100 g 时,面包比容较大为(2.54 ± 0.06) mL/g。谷朊粉作为一种面团改良剂含有大量面筋蛋白,这种蛋白可以形成面筋网络结构使

表 2 谷朥粉添加量对燕麦—鹰嘴豆杂粮
面包品质的影响[†]

Table 2 Effects of concentration of gluten on quality of
oat-chickpea multigrain bread

谷朥粉添加/ ($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)	硬度/N	回复性/%	比容/ ($\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$)	感官评分
0	13.32±0.70	95.71±0.41 ^{ab}	2.42±0.11	7.20±0.40
2	12.82±0.10	95.88±0.65 ^{ab}	2.46±0.05	7.30±0.20
4	10.66±0.70	96.82±0.67 ^a	2.51±0.09	7.80±0.10
6	11.35±1.75	95.78±0.61 ^{ab}	2.43±0.08	7.70±0.20
8	11.93±1.18	94.44±0.71 ^{ab}	2.46±0.02	7.40±0.30
10	12.46±1.53	93.21±0.63 ^b	2.45±0.04	7.30±0.20

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

持气性增强^[24],比容增大,而增幅不大可能是因为加入的杂粮粉较多;继续添加谷朥粉使面团中巯基和二硫键含量减少,面团面筋结构支撑不足导致持气性变差,使面包体积变小^[20]。

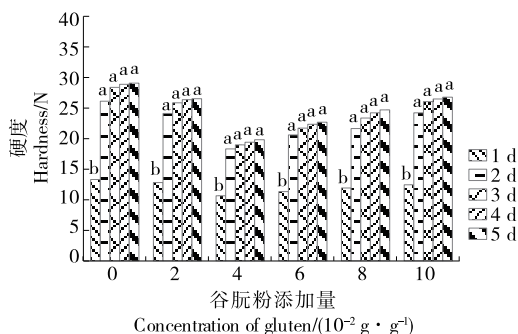
2.3.3 对面包感官评分的影响 由表 2 可知,通过对面包进行感官评定,发现谷朥粉的加入对面包外观和气味基本无影响,对内部结构和口感有所改善。

2.4 谷朥粉对面包老化特性的影响

2.4.1 对面包芯硬度的影响 由图 3 可知,随着贮藏时间延长,面包硬度增大,加入一定量谷朥粉对面包硬度有所改善,但不显著,主要是因为适量添加谷朥粉能增强面筋结构,使面团持气性和持水能力增强,但过量添加会导致面筋网络结构被破坏,使面包硬度增加,与谷朥粉添加量对面包烘焙性质的结果一致。

2.4.2 对面包保水性的影响 由图 4 可知,谷朥粉的加入对面包保水性影响并不大,但加入过多会使面筋结构被破坏,面包保水能力下降,失水率更高。

谷朥粉的加入明显改善了面包的品质。结合以上各指标的分析,主要以面包的烘烤品质为参考指标,得到谷



字母不同表示不同贮藏时间之间的差异显著($P<0.05$)

图 3 谷朥粉添加量对不同贮藏时间下
面包芯硬度的影响

Figure 3 Effects of concentration of gluten on hardness
of bread core during different storage days

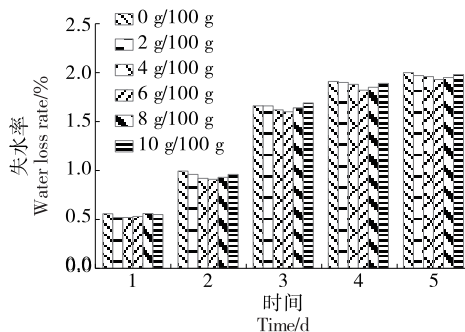


图 4 不同谷朥粉添加量下面包失水率随
贮藏时间的变化

Figure 4 Effects of concentration of gluten on water loss
rate of bread with storage time

朥粉的最佳添加量为 4 g/100 g。

2.5 麦芽糖淀粉酶对杂粮面包预拌粉烘焙性能的影响

2.5.1 对面包质构的影响 由表 3 可知,随着麦芽糖淀粉酶的添加,面包硬度发生显著性变化($P<0.05$),呈先降低后升高的趋势,其中加入麦芽糖淀粉酶的量 150 mg/kg 时面包硬度最低,为(11.85±0.79) N,继续加入麦芽糖淀粉酶,面包硬度会升高;回复性变化不显著($P>0.05$)。其可能是麦芽糖淀粉酶的添加使面团中淀粉之间形成的网状结构发生变化,并且麦芽糖淀粉酶本身也是一种 α -淀粉酶,这种酶能水解支链淀粉生成小分子糖类,而小分子糖类代谢也会提高面包持水性使面包松软可口,口感更佳^[25]。目前也有研究^[26-27]表明, α -淀粉酶能激活酵母活性使酵母产气量增加;并且由于其热稳定性高,在面包烘烤期间仍然保持催化作用使面团进一步发酵,这些作用均对面包烘焙性质起到改良作用。但是,麦芽糖淀粉酶加入过多会使面包硬度升高,影响酵母发酵,并且烘烤出来的面包芯发黏发硬。

2.5.2 对面包比容的影响 由表 3 可知,麦芽糖淀粉酶的加入对面包比容产生显著影响,与对照组相比,随着麦芽糖淀粉酶的增加,比容有变大的趋势,但随着麦芽糖淀粉酶进一步的添加,比容降低。麦芽糖淀粉酶添加量为 150 mg/kg 时,面包比容最大,与对照组相比,增加了 11.57%,可能是因为麦芽糖淀粉酶水解支链淀粉会产生麦芽糖、葡萄糖和小分子糊精,在一定条件下,这些小分子糖类有利于酵母发酵,面团发酵速度加快,产生大量 CO_2 ,从而增加面团的体积使烘烤出的面包比容增大^[28];但是,麦芽糖淀粉酶添加过多会导致面包比容变小、面包芯变黏,可能是由于麦芽糖淀粉酶在水解支链淀粉过程中使面团的渗透压变大,从而影响面团发酵使面包比容减小^[29],而淀粉酶因为自身高热稳定性,所以在烘焙过程中若加入过多容易出现面包黏芯的现象^[30]。

2.5.3 对面包感官评分的影响 由表 3 可知,添加麦芽糖淀粉酶 150 mg/kg 时的杂粮面包品质更优。有研究^[31]

表 3 麦芽糖淀粉酶添加量对燕麦—鹰嘴豆杂粮面包品质的影响[†]

Table 3 Effects of concentration of maltose amylase on quality of oat-chickpea multigrain bread

麦芽糖淀粉酶添加量/(mg · kg ⁻¹)	硬度/N	回复性/%	比容/(mL · g ⁻¹)	感官评分
0	13.32±0.70 ^{ab}	95.71±0.41	2.42±0.04 ^b	7.20±0.40
50	13.16±0.49 ^{ab}	95.44±0.97	2.53±0.05 ^{ab}	7.30±0.20
100	12.95±0.36 ^{ab}	95.69±0.32	2.61±0.06 ^{ab}	7.40±0.10
150	11.86±0.79 ^b	96.12±0.46	2.70±0.04 ^a	7.40±0.30
200	15.13±0.96 ^{ab}	95.33±0.37	2.57±0.03 ^{ab}	7.10±0.10
250	15.43±1.57 ^a	95.44±0.48	2.46±0.03 ^{ab}	6.90±0.30

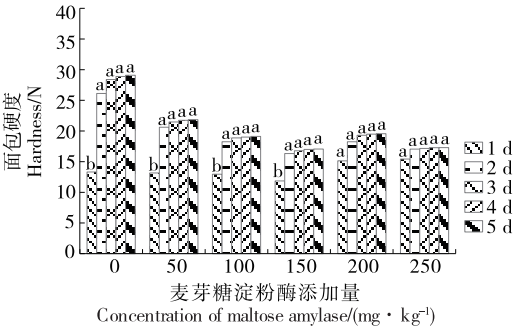
[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

也表明,加入一定量的麦芽糖淀粉酶会改善面包品质,使其更柔软、具有弹性。

2.6 麦芽糖淀粉酶对面包老化特性的影响

2.6.1 对面包芯硬度的影响 由图 5 可知,贮藏第 1 天与第 2 天各样品的硬度变化较大且贮藏时间越长,面包硬度越大。不加麦芽糖淀粉酶时面包硬度随贮藏时间的延长显著增加($P<0.05$),而酶加得越多硬度变化越小,贮藏第 5 天,麦芽糖淀粉酶为 0, 50, 100, 150, 200, 250 mg/kg 时面包的硬度分别是其贮藏第 1 天时的 2.18, 1.66, 1.48, 1.44, 1.29, 1.12 倍,说明麦芽糖淀粉酶能改善贮藏期间面包的品质劣变,延缓面包老化。这主要是因为麦芽糖淀粉酶能将淀粉分子水解成一定数量的麦芽糖、寡糖和小分子糊精,这些物质会干扰淀粉的重结晶与蛋白质的缠绕作用,而面包的老化是淀粉从非结晶状态到结晶状态转变的过程,所以麦芽糖淀粉酶能阻碍淀粉老化作用的发生,使面包保持弹性,延长贮藏时间^[31-32]。

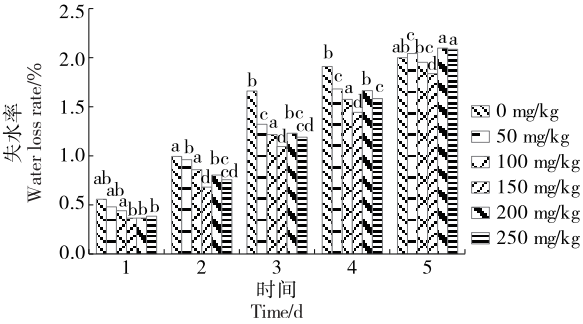
2.6.2 对面包保水性的影响 由图 6 可知,随着麦芽糖淀粉酶的添加,面包保水性也显著增加($P<0.05$),添加麦芽糖淀粉酶 150 mg/kg 能够明显减小水分损失,说明麦芽糖淀粉酶能防止老化。



字母不同表示不同贮藏时间之间的差异显著($P<0.05$)

图 5 麦芽糖淀粉酶添加量对不同贮藏时间下面包芯硬度的影响

Figure 5 Effects of concentration of maltose amylase on hardness of bread core during different storage days



字母不同表示不同麦芽糖淀粉酶添加量之间的差异显著($P<0.05$)

图 6 贮藏期不同麦芽糖淀粉酶添加量下面包失水率的比较

Figure 6 Comparison of water loss rate of bread with different concentration of maltose amylase during storage period

加入麦芽糖淀粉酶后,面包硬度变化减小,水分损失减少,说明麦芽糖淀粉酶的加入有利于面包弹性的保持。结合以上各指标的分析,主要以面包的烘焙品质为参考指标,得到麦芽糖淀粉酶的最佳添加量为 150 mg/kg。

2.7 抗坏血酸对杂粮面包预拌粉烘焙性能的影响

2.7.1 对面包质构的影响 由表 4 可知,抗坏血酸添加量对面包烘焙性能影响不显著,抗坏血酸添加量为 120 mg/kg 时,面包硬度相对较低、回复性相对较好,此时,面包硬度为 (12.43 ± 1.22) N,回复性为 $(96.84 \pm 0.58)\%$ 。有研究表明,抗坏血酸可用作面粉的改良剂^[33],主要是因为加入抗坏血酸使面团弹性和体积增大,持气性也增加,面包内部气孔变大、结构疏松,使硬度随抗坏血酸的增加而降低^[34-35];另有研究表明,抗坏血酸能增强面团的面筋网络结构,其机理是:抗坏血酸转变成脱氢抗坏血酸后会将面团中的游离巯基氧化成为二硫键^[36],所以会增强面团筋力,改善结构,但是抗坏血酸过量时会破坏二硫键,使面团网络结构受损^[37]。但是,在试验中抗坏血酸的改良效果并不显著,可能是因为加入了多种杂粮粉,且加入杂粮粉的量较高,效果不明显。

2.7.2 对面包比容的影响 由表 4 可知,在燕麦—鹰嘴豆杂粮预拌粉中加入抗坏血酸对制作出的面包比容影响不显著($P>0.05$),与质构变化一致,可能与加入的杂粮种类有关。有研究^[37]表明,添加适量抗坏血酸会增大面包的体积,但高剂量的抗坏血酸会使面包比容减小,因为高剂量的抗坏血酸会破坏面团的面筋结构使其持气性降低。

表 4 抗坏血酸添加量对燕麦—鹰嘴豆杂粮面包品质的影响

Table 4 Effects of concentration of ascorbic acid on quality of oat-chickpea multigrain bread

抗坏血酸添加量/ (mg · kg ⁻¹)	硬度/N	回复性/%	比容/ (mL · g ⁻¹)	感官评分
0	13.32±0.70	95.71±0.41	2.42±0.04	7.20±0.40
40	13.21±0.97	96.31±0.45	2.44±0.04	7.40±0.10
80	12.76±0.86	96.43±0.58	2.45±0.03	7.30±0.10
120	12.44±1.22	96.84±0.58	2.47±0.02	7.40±0.30
160	12.75±0.67	96.64±0.38	2.43±0.02	7.20±0.20
200	13.31±0.88	96.45±0.37	2.44±0.03	7.10±0.20

2.7.3 对面包感官评分的影响 由表 4 可知,添加抗坏血酸对面包外观、色泽、气味、面包质地、结构和口感的影响均不显著($P>0.05$),与齐琳娟等^[38]的研究结果一致。

2.8 抗坏血酸对面包老化特性的影响

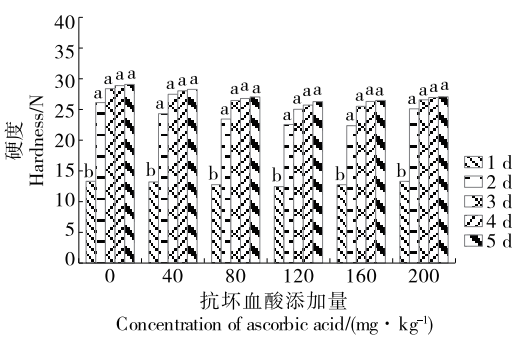
2.8.1 对面包芯硬度的影响 由图 7 可知,无论是否添加抗坏血酸,面包的硬度均会随贮藏时间的延长而升高,但相比未添加抗坏血酸的面包,加入抗坏血酸后面包硬度的变化无显著差异($P>0.05$),表明抗坏血酸不能改善贮藏期间的面包品质。

2.8.2 对面包保水性的影响 由图 8 可知,贮藏时间越长面包失水率越高,但是抗坏血酸的加入并未对面包的失水率产生显著影响,抗坏血酸较多时,面包失水率有所升高。

加入一定量的抗坏血酸对面包品质具有一定的改良作用。结合以上各指标的分析,主要以面包的烘烤品质为参考指标,得到抗坏血酸的最佳添加量为 120 mg/kg。

2.9 杂粮面包预拌粉复合添加剂配方优化

2.9.1 试验设计及结果 综合上述 4 种添加剂对面包烘



字母不同表示不同贮藏时间之间的差异显著($P<0.05$)

图 7 抗坏血酸添加量对不同贮藏时间下面包芯硬度的影响

Figure 7 Effects of concentration of ascorbic acid on hardness of bread core during different storage days

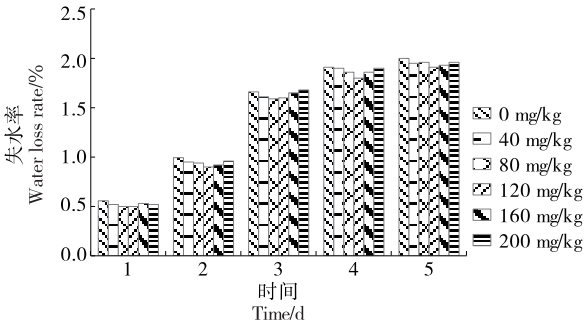


图 8 不同贮藏时间下抗坏血酸添加量对面包失水率的影响

Figure 8 Effects of concentration of ascorbic acid on water loss rate of bread during different storage days

焙品质及贮藏老化特性的影响,按表 5 中因素水平设计进行响应面试验,结果见表 6。

试验以质构特性中的硬度(E)为响应值,通过 Design-Expert 12 对表 6 中的试验数据进行拟合得出对应的回归方程:

$$E = +1\,753.39 + 1.34A + 14.28B - 0.45C - 4.07D - 37AB - 49.79AC + 10.84AD + 16.55BC - 19.48BD + 7.96CD + 66.12A^2 + 37.33B^2 + 5.32C^2 + 73.91D^2. \quad (3)$$

回归方程的显著性分析和模型的可信度结果见表 7。模型的 R^2 为 0.900 2,说明二次回归模型拟合较好且具有

表 5 响应面试验设计表

Table 5 Response surface experiment design

水平	A 抗坏血酸添加量/ (mg · kg ⁻¹)	B 谷朊粉添加量/ (10 ⁻² g · g ⁻¹)	C 麦芽糖淀粉酶 添加量/(mg · kg ⁻¹)	D 黄原胶添加量/ (10 ⁻² g · g ⁻¹)
-1	80	2	100	0.6
0	120	4	150	0.8
1	160	6	200	1.0

表 6 响应面法试验设计及结果

Table 6 Response surface method experimental design and results

试验号	A	B	C	D	硬度/N	试验号	A	B	C	D	硬度/N
1	-1	-1	0	0	17.85±1.83	16	0	1	1	0	17.81±0.81
2	1	-1	0	0	18.25±1.93	17	-1	0	-1	0	17.01±1.81
3	-1	1	0	0	18.86±1.75	18	1	0	-1	0	18.40±1.14
4	1	1	0	0	17.80±1.60	19	-1	0	1	0	18.45±0.70
5	0	0	-1	-1	18.05±1.16	20	1	0	1	0	17.89±1.08
6	0	0	1	-1	17.74±1.73	21	0	-1	0	-1	18.16±0.99
7	0	0	-1	1	18.01±1.93	22	0	1	0	-1	18.68±1.68
8	0	0	1	1	18.02±1.15	23	0	-1	0	1	18.36±1.29
9	-1	0	0	-1	18.76±2.05	24	0	1	0	1	18.12±1.75
10	1	0	0	-1	18.54±1.50	25	0	0	0	0	17.15±1.30
11	-1	0	0	1	18.37±1.71	26	0	0	0	0	17.43±1.45
12	1	0	0	1	18.54±1.47	27	0	0	0	0	17.23±1.63
13	0	-1	-1	0	17.73±1.55	28	0	0	0	0	17.21±1.34
14	0	1	-1	0	17.82±2.09	29	0	0	0	0	16.98±1.00
15	0	-1	1	0	17.07±1.26						

较好相关性;模型的 $P<0.001$,表明模型非常显著;其中失拟项为 $0.1611>0.05$,不显著。4个变量对响应值影响程度的大小顺序为 $B>D>A>C$,即谷朥粉添加量>黄原胶添加量>抗坏血酸添加量>麦芽糖淀粉酶添加量。

从表 7 还可以看出,AB、AC、 A^2 、 B^2 、 D^2 的 P 值均小于 0.05,进一步验证了各因素对硬度都存在一定的影响,

各因素之间对面硬度的相互作用见图 9。

2.9.2 最佳工艺条件的确定及验证 使用 Design-Expert 12 对杂粮面包预拌粉配方进行优化得出添加剂的最佳添加量为黄原胶 0.78 g/100 g、谷朥粉 3.42 g/100 g、麦芽糖淀粉酶 200.00 mg/kg、抗坏血酸 171.69 mg/kg,在此条件下,制备面包的理论硬度值为 (17.11 ± 0.99) N,考虑实际

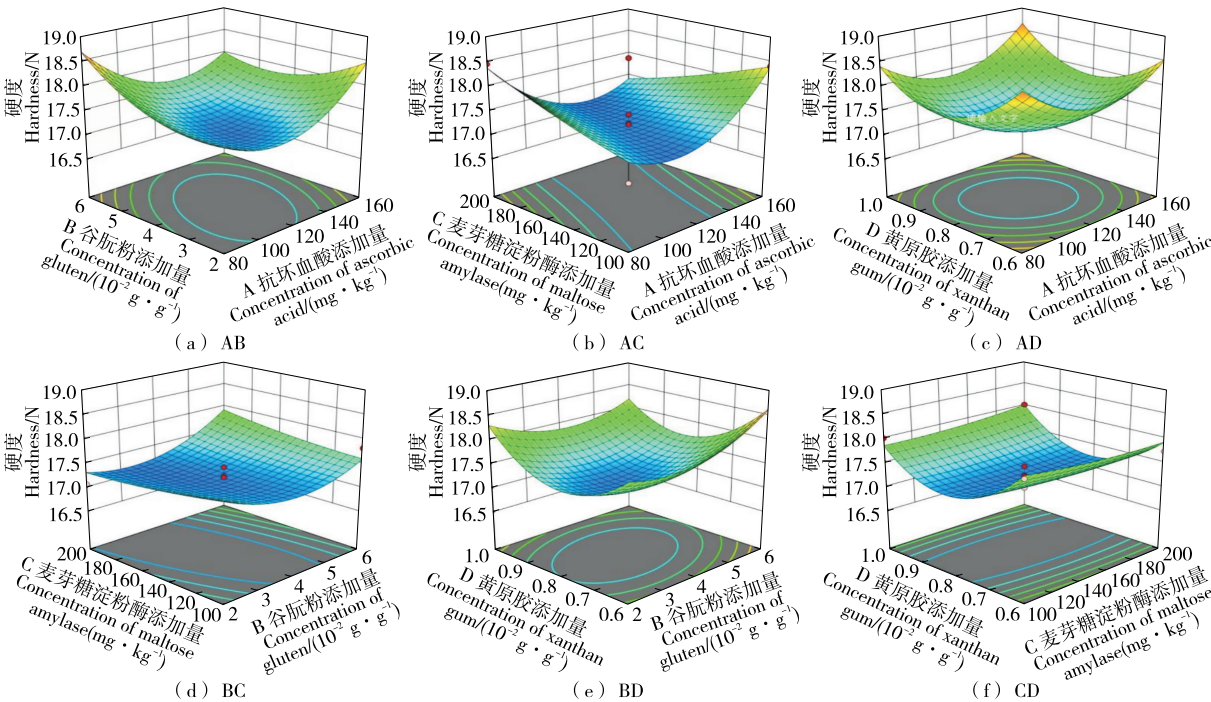


图 9 各因素对面硬度的交互作用响应曲面图

Figure 9 Interaction response surface diagram of various factors on bread hardness

表 7 回归方程方差分析结果
Table 7 Analysis of variance results of regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	79 230.88	14	5 659.35	9.01	<0.000 1
A	21.71	1	21.71	0.04	0.855 2
B	2 445.59	1	2 445.59	3.89	0.068 6
C	2.39	1	2.39	3.81E-03	0.951 6
D	198.37	1	198.37	0.32	0.583 1
AB	5 476.74	1	5 476.74	8.72	0.010 5
AC	9 917.17	1	9 917.17	15.79	0.001 4
AD	470.02	1	470.02	0.75	0.401 6
BC	1 094.95	1	1 094.95	1.74	0.208 0
BD	1 517.88	1	1 517.88	2.42	0.142 4
CD	253.61	1	253.61	0.40	0.535 4
A ²	28 357.90	1	28 357.90	45.14	<0.000 1
B ²	9 038.46	1	9 038.46	14.39	0.002 0
C ²	183.58	1	183.58	0.29	0.597 3
D ²	35 437.17	1	35 437.17	56.41	<0.000 1
残差	8 795.54	14	628.25		
失拟项	7 718.09	10	771.81	2.87	0.161 1
纯误差	1 077.45	4	269.36		
总变异	88 026.43	28			

操作,将条件修正为:黄原胶 0.78 g/100 g、谷朊粉 3.42 g/100 g、麦芽糖淀粉酶 200.00 mg/kg、抗坏血酸 171.70 mg/kg,在该条件下进行 3 次验证实验,测得面包的实际硬度为(15.97±0.69) N,接近理论预测值;面包比容为(2.26±0.16) mL/g。因此,经响应面试验优化的杂粮面包预拌粉的改良剂配方可用于实际操作中。

3 结论

研究通过单因素试验和响应面试验设计,以面包硬度为指标,确定了杂粮面包预拌粉中改良剂的最优添加量为:黄原胶 0.78 g/100 g、谷朊粉 3.42 g/100 g、麦芽糖淀粉酶 200.00 mg/kg、抗坏血酸 171.70 mg/kg,该条件下面包硬度为(15.97±0.69) N。

试验着重研究了复合改良剂对杂粮(面包)预拌粉烘焙品质的影响,而复合改良剂对预拌粉的淀粉消化性能等功能性的影响及对贮藏期间粉贮藏稳定性的影响有待进一步研究。

参考文献

[1] 胡蒙蒙, 廖梓康, 黎琼, 等. 两种杂粮对面包预拌粉烘烤性能和淀粉消化性的影响[J/OL]. 食品与发酵工业. (2022-05-13)[2022-07-05]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.030774>.

HU M M, LIAO Z K, LI Q, et al. Effects of two kinds of coarse cereals on baking properties and in vitro starch digestibility of pre-blent multigrain bread flour [J/OL]. Food and Fermentation Industries. (2022-05-13) [2022-07-05]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.030774>.

[2] COLLAR C, BOLLAÍN C, ANGIOLONI A. Significance of microbialtransglutaminase on the sensory, mechanical and crumb grain pattern of enzyme supplemented fresh Pan breads[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70(4): 479-488.

[3] MOTTA ROMERO H, SANTRA D, ROSE D, et al. Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on proso millet flour[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 74: 238-243.

[4] TEBBEN L, SHEN Y T, LI Y H. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 81: 10-24.

[5] 何宏, 鲁绯. 无麦高粱面包的试制[J]. 食品科技, 2000(2): 20-21. HE H, LU F. Trial production of wheat-free sorghum bread[J]. Food Science and Technology, 2000(2): 20-21.

[6] ZHANG J, LI M Q, LI C R, et al. Effect of wheat bran insoluble dietary fiber with different particle size on the texture properties, protein secondary structure, and microstructure of noodles[J]. Grain & Oil Science and Technology, 2019, 2(4): 97-102.

[7] 孙银凤, 徐岩, 黄卫宁, 等. 不同发酵基质的酸面团对酵母面团体系面包烘焙及老化特性的影响[J]. 食品科学, 2015, 36 (13): 37-42.

SUN Y F, XU Y, HUANG W N, et al. Impacts of sourdoughs made from different media on bread baking and staling properties of yeast dough system[J]. Food Science, 2015, 36(13): 37-42.

[8] YOUSIF A, NHEPERA D, JOHNSON S. Influence of sorghum flour addition on flat bread in vitro starch digestibility, antioxidant capacity and consumer acceptability[J]. Food Chemistry, 2012, 134 (2): 880-887.

[9] 徐小娟. 营养面包的开发及其品质提升的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 13-14.

XU X J. Study on the development and quality improvement of nutritional bread [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019: 13-14.

[10] 于雷, 越皓, 刘洋, 等. 红参多糖对面包品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 332-333, 338.

YU L, YUE H, LIU Y, et al. Effect of red ginseng polysaccharide on bread quality [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(24): 332-333, 338.

[11] 田海娟, 朱珠, 张传智, 等. 紫苏叶超微粉对面团特性及面包品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 188-191.

TIAN H J, ZHU Z, ZHANG C Z, et al. Influence of Perilla leaf superfine powders on dough properties and bread quality[J]. Food & Machinery, 2016, 32(1): 188-191.

[12] 王黎, 孙兆远, 侯会绒, 等. 增稠剂对速冻水饺冻痕率影响的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2018(2): 25-28.

WANG L, SUN Z Y, HOU H R, et al. Effect of thickening agents

- on the crack ratio of froze dumpling[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2018(2): 25-28.
- [13] 何承云, 林向阳, 张永生. 黄原胶对馒头质构影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(5): 313-315.
- HE C Y, LIN X Y, ZHANG Y S. Effect of xanthan gum on texture of steamed bread[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(5): 313-315.
- [14] COLLAR C, ANDREU P, MARTINEZ J C, et al. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: A response surface methodology study[J]. *Food Hydrocolloids*, 1999(3): 467-475.
- [15] 陈海华, 许时婴, 王璋, 等. 亚麻籽胶对面团流变性质的影响及其在面条加工中的应用[J]. *农业工程学报*, 2007, 22(4): 166-169.
- CHEN H H, XU S Y, WANG Z, et al. Effect of flaxseed gum on the rheology of dough and its application to noodle processing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 22(4): 166-169.
- [16] 张玉荣, 高佳敏, 周显青, 等. 改良剂延缓糯米淀粉制品老化特性的研究[J]. *粮油食品科技*, 2015, 23(5): 1-6.
- ZHANG Y R, GAO J M, ZHOU X Q, et al. Study on delaying the aging properties of glutinous rice starch products by additives[J]. *Science and Technology of Grains, Oils and Foods*, 2015, 23(5): 1-6.
- [17] 宋臻善, 李嘉瑜, 周雪松. 亲水胶体对海绵蛋糕品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(9): 2 206-2 210.
- SONG Z S, LI J Y, ZHOU X S. Effect of hydrophilic colloid on the quality of sponge cake[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2013, 29(9): 2 206-2 210.
- [18] 瞿力, 徐梁, 刘志金. 黄原胶延缓面包陈化的研究[J]. *现代面粉工业*, 2010, 24(1): 47-50.
- QU L, XU L, LIU Z J. Study on delaying aging of bread by Xanthan gum[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2010, 24(1): 47-50.
- [19] 冯美琴, 孙健, 徐幸莲. 卡拉胶、黄原胶、海藻酸钠、瓜尔豆胶及转谷氨酰胺酶对鸡肉肠出品率和硬度的影响[J]. *食品科学*, 2007, 28(10): 118-121.
- FENG M Q, SUN J, XU X L. Effects of κ -carrageenan, xanthan, sodium alginate, guar gum and transglutaminase on yield and hardness of chicken sausage [J]. *Food Science*, 2007, 28(10): 118-121.
- [20] 张滢滢, 候忍忍, 陈海华, 等. 谷朊粉对面包基础粉品质特性的影响[J]. *粮油食品科技*, 2014, 22(2): 85-88.
- ZHANG Y Y, HOU R R, CHEN H H, et al. Effects of wheat gluten on quality of foundational flour for bread [J]. *Science and Technology of Grains, Oils and Foods*, 2014, 22(2): 85-88.
- [21] SHEWRY E R, HALTORDN J, TATHMM A S. High-molecular-weight subunits of wheat glutenin[J]. *Cereal Sci*, 1992, 15: 105-120.
- [22] 马涛, 周佳, 张辰辰. 谷朊粉在面团中作用机理的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(15): 124-126.
- MA T, ZHOU J, ZHANG L C. Effects of wheat gluten on quality of foundational flour for bread[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(15): 124-126.
- [23] 魏本军. 谷朊粉在面包专用粉中应用研究[J]. *粮食与油脂*, 2002(6): 7-9.
- WEI B J. Study on the application of wheat gluten in bread special powder[J]. *Cereals & Oils*, 2002(6): 7-9.
- [24] 胡新中, 杨元丽, 杜双奎, 等. 沙蒿籽粉和谷朊粉对燕麦全粉食品加工品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2006(10): 230-232.
- HU X Z, YANG Y L, DU S K, et al. Effect of *Artemisia Sphaerocephala* Kraschen seed powder and vital gluten on the processing quality of oat whole meal [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006(10): 230-232.
- [25] 王强. 复配酶制剂在面包抗老化方面的应用研究[D]. 厦门: 集美大学, 2014: 4-5.
- WANG Q. Effect of complex enzymes on antistaling of bread[D]. Xiamen: Jimei University, 2014: 4-5.
- [26] 张帅, 刘永, 黄广磊. α -淀粉酶对面包品质的改良[J]. *中国酿造*, 2008(8): 42-43.
- ZHANG S, LIU Y, HUANG G L. Study on improvement of α -amylase on bread quality[J]. *China Brewing*, 2008(8): 42-43.
- [27] 李守宏, 徐清, 于卉. 麦芽糖淀粉酶对面团流变学特性的影响[J]. *现代面粉工业*, 2018(32): 28-31.
- LI S H, XU Q, YU H. Effect of maltose amylase on rheological properties of dough[J]. *Modern Flour Milling Industry*, 2018(32): 28-31.
- [28] 豆康宁, 石晓, 靳亚静, 等. 几种酶制剂对面包面团发酵体积的影响研究[J]. *粮食加工*, 2018, 43(3): 67-69.
- DOU K N, SHI X, JIN Y J, et al. Study on effects of several enzymes on fermentation volume of bread dough [J]. *Food Processing*, 2018, 43(3): 67-69.
- [29] 丁寅寅, 刘艳芳, 廖洪梅, 等. 麦芽糖淀粉酶在全麦面包保鲜中的应用[J]. *兰州文理学院学报(自然科学版)*, 2019, 33(6): 53-57.
- DING Y Y, LIU Y F, LIAO H M, et al. Application of maltose amylase in preservation of whole white bread [J]. *Journal of Lanzhou University of Arts and Science (Natural Sciences Edition)*, 2019, 33(6): 53-57.
- [30] 徐梁. α -淀粉酶添加量对面包品质的影响[J]. *现代面粉工业*, 2014, 28(2): 20-21.
- XU L. Study on effect of α -amylase addition on bread quality[J]. *Modern Flour Industry*, 2014, 28(2): 20-21.
- [31] GOMES-RUFFI C R, DA CUNHA R H, ALMEIDA E L, et al. Effect of the emulsifier sodium stearoyl lactylate and of the enzyme maltogenic amylase on the quality of pan bread during storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2012, 49(1): 96-101.
- [32] 吴昌术, 刘双. 面包老化的机理及控制途径[J]. *安徽农学通报*, 2017, 23(5): 100-102.
- WU C S, LIU S. Mechanism and controlling methods of the bread staling[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2017, 23(5): 100-102.

(下转第240页)

- YUAN H H, WANG X Y, CHEN T G, et al. Research progress on astringency of red wine[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(13): 269-274.
- [47] 刘朝霞, 刘青, 李荷, 等. 葡萄酒中单宁含量调查与口感关系的分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(7): 226-230.
- LIU C X, LIU Q, LI X, et al. Investigation of tannin content in wine and analysis of the relationship between tannin content and taste[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2014, 5(7): 226-230.
- [48] LI L, LI Z, WEI Z, et al. Effect of tannin addition on chromatic characteristics, sensory qualities and antioxidant activities of red wines[J]. RSC Advances, 2020, 10: 7108-7117.
- [49] VILLAMOR R R, EVANS M A, MARTINSON D S, et al. Effects of ethanol, tannin and fructose on the headspace concentration and potential sensory significance of odorants in a model wine[J]. Food Research International, 2013, 50(1): 38-45.
- [50] YANG H, HUA J L, WANG C. Anti-oxidation and anti-aging activity of polysaccharide from *Malus micromalus* Makino fruit wine[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 121: 203-212.
- [51] 信思悦, 唐玲, 盛怀宇, 等. 陈酿方式对无花果果酒理化特性及体外抗氧化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(5): 121-126.
- XIN S Y, TANG L, SHENG H Y, et al. Effects of aging methods on physicochemical properties and in vitro antioxidant activity of fig wine[J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 45(5): 121-126.
- [52] ZHANG A H, ZENG L W, BO H J, et al. Sulphite-corrected, non-phenolic and phenolic antioxidant capacities of fruit wines profiled by differential Folin-Ciocalteu assay[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 57(2): 473-476.
- [53] HUBNER A, SOBREIRA F, NETO A V, et al. The Synergistic behavior of antioxidant phenolic compounds obtained from winemaking waste's valorization, increased the efficacy of a sunscreen system[J]. Antioxidants, 2019, 8(11): 530-533.
- [54] 许立伟, 王炳宇, 杨馨悦, 等. 5 种浆果果酒抗氧化活性差异及综合评价[J]. 中国酿造, 2021, 40(9): 200-205.
- XU L W, WANG B Y, YANG X Y, et al. Difference and comprehensive evaluation of antioxidant activity of five berry fruit wines[J]. Brewed in China, 2021, 40(9): 200-205.
- [55] KONG J, XIE Y, YU H, et al. Synergistic antifungal mechanism of thymol and salicylic acid on *Fusarium solani* [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 140(10): 110787.
- [56] K TENIOUDAKI A, O'DONNELL C P, EMOND J P, et al. Blueberry supply chain: Critical steps impacting fruit quality and application of a boosted regression tree model to predict weight loss [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 179(4): 111590.
- [57] WANG X F, ZHU Z D, HAO T T, et al. Alopecines A-E, five chloro-containing matrine-type alkaloids with immunosuppressive activities from the seeds of *Sophora alopecuroides*[J]. Bioorganic Chemistry, 2020, 99: 3227-3232.
- [58] 王东伟, 黄燕芬, 肖默艳, 等. 猕猴桃果酒发酵条件优化及其抗氧化特性研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(6): 1619-1625.
- WANG D W, HUANG Y F, XIAO M Y, et al. Optimization of fermentation conditions and antioxidant properties of kiwi fruit wine[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2019, 10(6): 1619-1625.
- [59] 谢克英, 姜芳慧, 袁贵英, 等. 添加酵母可同化氮对桑葚酒功能成分及抗氧化活性的影响[J]. 中国酿造, 2022, 41(3): 140-145.
- XIE K Y, LOU F H, YUAN G Y, et al. Effect of yeast assimilable nitrogen on functional components and antioxidant activity of mulberry wine[J]. China Brewing, 2022, 41(3): 140-145.
- [60] 朱明明, 彭泽宇, 郭鑫哲, 等. 蓝莓添加对柿子果酒抗氧化及风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(4): 211-217, 228.
- ZHU M M, PENG Z Y, GUO X Z, et al. Effect of blueberry addition on antioxidant and flavor substances of persimmon fruit wine[J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(4): 211-217, 228.
- (上接第 203 页)
- [33] 李美琴. L-抗坏血酸在面粉改良中的应用[J]. 商业科技开发, 1995(1): 9-11.
- LI M Q. Application of L-ascorbic acid in flour improvement[J]. Commercial Technology Development, 1995(1): 9-11.
- [34] 裴艳花, 刘长虹, 黄松伟, 等. 维生素 C 对馒头品质影响的研究[J]. 粮食科技与经济, 2010, 35(6): 43-44.
- CHANG Y H, LIU C H, HUANG S W, et al. Study on the effect of vitamin C on steamed bread quality [J]. Grain Science and Technology and Economy, 2010, 35(6): 43-44.
- [35] 何雅蕾, 马铁明, 刘钟栋, 等. 复合维生素对面团流变学特性和馒头品质的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2009(6): 59-66.
- HE Y Q, MA T M, LIU Z D, et al. A study on the influences of compound vitamins to dough rheological property and the quality of the steamed bread[J]. China Food Additives, 2009(6): 59-66.
- [36] CHAMBERLAIN N. The use of ascorbic acid in bread making[M]. London: Applied Science Publisher, 1981: 87-104.
- [37] 张敏. 抗坏血酸对荞麦—小麦粉面团及面包品质改良研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(4): 67-72.
- ZHANG M. Study on the improvement of buckwheat-wheat dough and bread qualities by ascorbic acid[J]. Storage and Process, 2021, 21(4): 67-72.
- [38] 齐琳娟, 陶海腾, 王步军, 等. 维生素 C 对面包烘焙品质及面团特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(5): 955-959.
- QI L J, TAO H T, WANG B J, et al. Effect of adding V_C on baking quality and dough properties of wheat flour[J]. Journal of Triticeae Crops, 2012, 32(5): 955-959.