

藜麦粉对冷冻面团特性及其面包品质的影响

钟雅云¹, 吴磊燕¹, 周锦枫¹, 涂瑾¹, 董武辉², 罗登²

(1. 江西农业大学食品科学与工程学院, 江西南昌 330000) (2. 广东佳焙食品股份有限公司, 广东东莞 523000)

摘要: 将藜麦和小麦粉按一定比例混合, 用快速粘度分析法测定混合粉糊化特性, 流变仪测定了冻藏过程中小麦-藜麦冷冻面团的流变学特性, 核磁共振法测定面团中水分迁移, 并测定其发酵体积变化, 最后分析了冷冻面团组织状态与产品品质的关系。结果表明: 藜麦粉对冷冻面团及面包的品质均有改善。藜麦粉降低了混合粉体系的糊化粘度和崩解值。冻藏后, 冷冻面团的弹性模量和粘性模量增加, 小麦粉冷冻面团损耗角正切值增加了 4.73%, 添加量为 5% 时冷冻面团损耗角正切值仅增加 0.41%; 小麦冷冻面团自由水上升了 3.90%, 藜麦添加后仅上升 2.40%, 可见藜麦粉能冷冻面团降低水分迁移程度; 同时, 添加藜麦粉能维持面团面筋网络结构的完整性, 发酵体积由 26.42 mL/h 增大到 29.17 mL/h。不同添加量的藜麦粉对面团及面包的品质改善程度不同, 最适添加量为 10%, 烘烤后面包比容为 3.08 mL/g, 硬度为 2803.48 g。本研究可为开发藜麦冷冻面团提供理论基础, 在藜麦新产品开发方面具有重要的指导意义。

关键词: 藜麦; 冷冻面团; 流变特性; 核磁共振光谱; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2019)12-112-12

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.015

Effect of Quinoa on the Behavior and Bread Quality of Frozen Dough

ZHONG Ya-yun¹, WU Lei-yan¹, ZHOU Jin-feng¹, TU Jin¹, DONG Wu-hui², LUO Deng²

(1. School of Food Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330000, China)

(2. Guangdong Jiabei Food Stock Corporation, Dongguan 523000, China)

Abstract: The quinoa and wheat flour were mixed in a certain proportion. The gelatinization characteristics of the mixed powder were evaluated by rapid viscosity analysis. The rheological properties of the wheat-quinoa frozen dough during the frozen storage were determined by rheometer. The moisture, water migration and fermentation volume of the dough during were detected by nuclear magnetic resonance. The relationship between the characteristics of the frozen dough and their product quality was analyzed. The results showed that quinoa flour can improve the quality of wheat flour, dough and bread. The quinoa flour can reduce the gelatinization viscosity and disintegration value of the mixed powder system. When added 5% quinoa, after frozen storage, the elastic modulus and viscous modulus of the frozen dough increased, the loss tangent value of the frozen dough of wheat flour increased by 4.73%, and the loss tangent of the frozen dough increased by only 0.41%. The free water content of wheat frozen dough increased by 3.90% after frozen storage, but that of wheat-quinoa frozen dough only increased by 2.40%. It can be seen that the quinoa flour can reduce the degree of water migration of the dough. The addition of quinoa flour can also maintain the integrity of the dough gluten network structure, and the fermentation volume increased from 26.42 mL/h to 29.17 mL/h. Different amounts of quinoa flour have different quality improvement on dough and bread. The optimum addition amount was 10%. After baking, the specific volume of bread was 3.08 mL/g and the hardness was 2803.48 g. This study could provide a theoretical basis for the development of quinoa frozen dough and had important guiding significance in the development of new products for quinoa.

Key words: quinoa; frozen dough; rheological behavior; nuclear magnetic resonance; microstructure

色香味俱佳的新鲜烘焙食品一直深受消费者的青睐, 由于受到运输、加工条件的限制, 门店都以“前店后厂”的方式加工, 限制了烘焙产品的种类及生产能力。为解决这些问题, 冷冻面团技术应运而生^[1,2]。但经过冷冻后, 冷冻面团水分发生迁移^[3], 面筋网络结

构弱化, 面团的产气和持气性能都下降, 导致最终产品口感差风味不足^[4,5]。因此, 解决冷冻过程对面团的伤害成为该技术的核心^[6]。

研究发现, 谷物类杂粮粉的添加能改善冷冻面团品质。毛瑞^[7]研究了添加荞麦粉对面制品的粉质、糊化和面团特性的影响。刘海燕^[8]研究发现添加糯麦粉能降低冷冻面团中可冻结水的含量, 改善面团的面筋结构。Camilla Ohgren^[9]等人指出添加黑麦粉到未发酵冷冻面团和预发酵冷冻面团中, 可以显著提高面包体

投稿日期: 2019-11-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31660481)

作者简介: 钟雅云 (1994-), 女, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全

通讯作者: 吴磊燕 (1973-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 蛋白界面

积和面包柔软度。Mahsa Majzoobi^[10]研究了燕麦对预烤冷冻面包的影响,发现添加10%燕麦粉,能降低冷冻后面包的烘烤失重,提高产品的产出率。

藜麦是一种可提供人体全部必需氨基酸的植物性食物^[11],营养价值极高,同时具有抗氧化、抗炎、减肥等生理功能^[12]。藜麦蛋白溶解性好,易于吸收,藜麦淀粉主要以单独形式和球形聚合物形式存在,支链淀粉含量高^[13],冻融稳定性好^[14]。也有学者研究藜麦粉对无麸质面包和常温面包营养成分和面包品质的影响^[15,16],Stikic^[17]指出添加藜麦面包的蛋白质、脂质和膳食纤维含量均有提高,面包中的微量元素也显著提高,藜麦含有表面活性成分泡沫稳定性好,能有效提高无麸质面包体积^[16]。但鲜见研究藜麦粉对冷冻面团影响的报道。

在冻藏过程中水分迁移是引起面团品质劣变的重要原因之一^[3]。利用核磁共振光谱和核磁共振成像能在不破坏面团结构的前提下,测定其水分分布状态及水分迁移情况。

本文拟将藜麦粉与小麦粉混合,利用核磁共振技术研究藜麦粉对冷冻过程中面团水分状态,及其对面团流变及发酵力的影响,探讨这些因素与最终产品品质的关系。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

金象牌面包用小麦粉(蛋白质13.70%、水分13.18%),蛇口南顺面粉有限公司;藜麦(蛋白质11.00%、水分8.24%)经除杂清洗,烘干后粉碎过80目筛备用,产地山西忻州;高活性干酵母,安琪酵母股份有限公司;快速粘度仪,瑞典波通仪器公司;MicroMR-25核磁共振成像分析仪,上海纽迈电子科技有限公司;JSM-6490LV扫描电子显微镜,日本JEOL公司;TA-XT Plus质构分析仪,英国Stable Micro Systems公司;Discovery HR-1型流变仪,美国TA仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 小麦-藜麦冷冻面团的制备

按0%、5%、10%、15%、20%的比例添加藜麦粉,制得小麦-藜麦混合粉。面团基本配方:小麦-藜麦混合粉100g、高活性干酵母1g、白砂糖20g、食盐1g、黄油10g、蒸馏水51g。揉面机低速揉出面团后,置于5℃冰箱中松弛30min,将面团分切成30g/个,-80℃速冻20min,再冻藏于-17℃冰箱中备用。称

取4g面团置于10mL玻璃样品瓶中,冻藏于-17℃冰箱中用于核磁共振扫描。

1.2.2 小麦-藜麦混合粉糊化曲线的测定

参照袁晓丽^[18]的方法,量取25mL去离子水,根据小麦-藜麦混合粉的水分含量加入一定量混合粉,充分搅拌后进行糊化曲线测量。搅拌速率:前10s为960r/min,之后为160r/min。温度设定:50℃恒温1min,升温3.75min至95℃,95℃恒温2.5min,降温3.75min至50℃,50℃恒温2min。

1.2.3 小麦-藜麦冷冻面团动态流变特性测定

取冷冻面团于5℃冰箱中解冻1h,称取3g解冻面团于平板上。根据Buresova^[19]测定面团流变的方法并稍作修改,采用直径40mm的夹具平板,实验狭缝间距1.5mm,温度25℃,等待时间3min(平衡应力及面团温度)。首先进行应变扫描以确定面团的线性粘弹区,扫描频率1Hz,应变0.01%~100%。再进行频率扫描,应变0.1%,扫描频率0.1~10.0Hz。

1.2.4 小麦-藜麦冷冻面团水分迁移特性测定

取样品于4℃条件下解冻后,置于永久磁场中心进行低场核磁共振扫描实验。采用Q-FID试验调节共振中心频率,Q-CPMG脉冲序列测试样品的横向弛豫时间(T_2),SIRT方法进行反演运算。实验参数:90°脉冲射频脉宽 $P1=7\mu s$,信号采样点数 $TD=156492$,采样次数 $NS=64$,重复采样等待时间 $Tw=1500ms$,回波个数 $NECH=5000$;反演参数:弛豫时间最小值:0.01ms,弛豫时间最大值:10000ms,迭代次数:100000。

核磁共振成像实验采用多层自旋回波序列MSE,通过调整序列中的选层梯度、相位编码梯度和频率编码梯度获取样品侧视质子密度图像(灰度图),再通过MATLAB编程得到伪彩图^[20]。主要实验参数:重复时间 $TR=1000ms$,矩阵 128×128 ,采样次数 $NS=4$,信号接收带宽 $SW=40KHz$ 。

1.2.5 小麦-藜麦冷冻面团微观结构分析

取冻藏1周和4周的小麦-藜麦冷冻面团,经冷冻干燥后,切取中心面团,采用导电双面胶进行样品固定,喷金40s后利用扫描电镜观察。扫描电镜加速电压15kV,图像放大倍数为3000倍。

1.2.6 小麦-藜麦冷冻面团发酵体积测定

采用“垂直法”^[21]测定单位时间内冷冻面团的发酵体积,取30g面团于5℃冰箱中解冻1h后放置于内壁涂有向日葵油的量筒(250mL)中,操作过程中避免气泡产生。发酵温度37℃,湿度70%,发酵时间2h。

1.2.7 小麦-藜麦冷冻面团面包质量分析

1.2.7.1 冷冻面团面包切面图片分析

参照王沛^[22]和 Christian R^[23]的方法,在面包中心部位进行切片,利用 Perfection V330 Photo 扫描仪进行面包切面扫描。截取面包扫描图片中心大小 4 cm×4 cm,利用 Image J 分析软件进行分析。

1.2.7.2 小麦-藜麦冷冻面团面包比容测定

对冷却至室温的面包质量 M (g) 及体积 V (mL) 测量(采用油菜籽置换法),面包比容 SV (mL/g) 计算公式: $SV=V/M$ 。

1.2.7.3 小麦-藜麦冷冻面团面包硬度测定

将面团解冻,发酵,在底火和面火为 200 °C 条件下烘烤 9 min,冷却至室温后,取面包中心 2 cm 厚面包片,利用质构仪测定面包硬度。质构仪采用 P/36R 探头,测前速度为 5 mm/s,测中速度和测后速度为 2 mm/s,感应力为 5 g,下压距离为 1 cm。

1.3 数据处理和分析

采用 IBM SPSS Statistics 20 软件进行数据处理, Origin 8.5 软件整理数据和作图。

2 结果与讨论

2.1 小麦-藜麦混合粉的糊化粘度特性分析

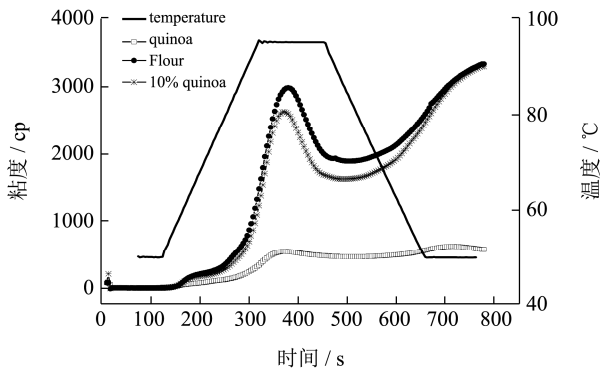


图 1 小麦-藜麦混合粉糊化特性曲线

Fig.1 The pasting properties curve of wheat-quinoa mixing powder

表 1 小麦-藜麦混合粉的糊化粘度特性

Table 1 Pasting properties of wheat-quinoa mixing powder

藜麦粉添加量	峰值粘度/cp	低谷粘度/cp	崩解值/cp	最终粘度/cp	回复值/cp
0	2987.67±12.42 ^a	1897.33±16.29 ^a	1090.33±4.04 ^a	3327.33±15.57 ^{ab}	1430.00±7.81 ^c
5%	2847.67±16.50 ^b	1777.67±31.79 ^b	1070.00±15.59 ^a	3344.67±24.19 ^a	1567.00±12.29 ^d
10%	2616.33±12.66 ^c	1623.00±2.65 ^c	993.33±10.02 ^b	3294.33±0.58 ^b	1671.33±3.21 ^c
15%	2513.67±38.18 ^d	1572.00±19.05 ^d	941.67±19.76 ^c	3325.00±32.05 ^{ab}	1753.00±13.00 ^b
20%	2362.33±28.71 ^e	1482.67±21.50 ^e	879.67±9.29 ^d	3307.33±37.63 ^{ab}	1824.67±16.26 ^a
100%	549.00±2.65 ^f	470.67±2.89 ^f	78.33±0.58 ^e	582.33±3.21 ^c	111.67±0.58 ^f

注: 英文字母上标不同代表均值之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。表 3 同。

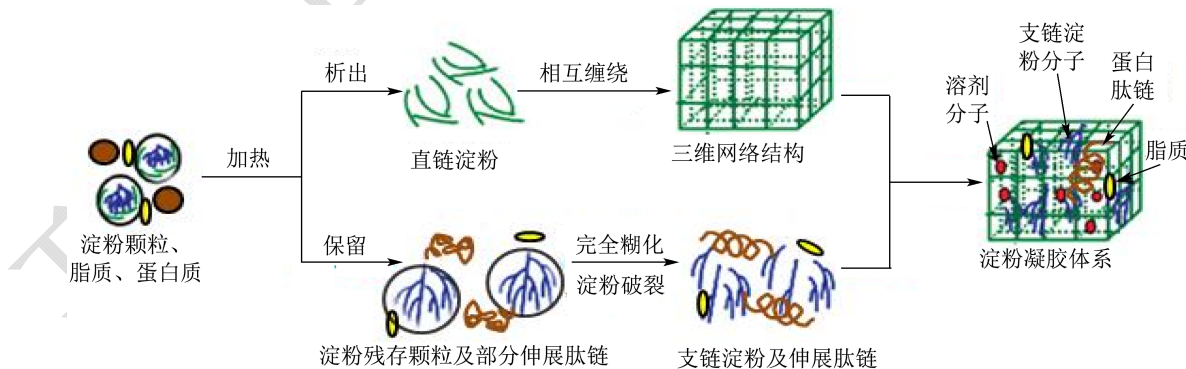


图 2 小麦-藜麦混合粉凝胶的形成过程示意图

Fig.2 Schematic diagram of the formation process of wheat-quinoa mixed powder gel

图 1 是小麦粉和藜麦粉的糊化特性曲线,从图中可看出小麦粉和藜麦粉的糊化特性曲线差异明显,小麦粉糊化特性曲线有较高的峰值粘度(2987.67 cp)、低谷粘度(1897.33 cp)和最终粘度(3327.33 cp),而纯藜麦粉在糊化过程中峰值粘度较低(549.00 cp),且粘度达到峰值后几乎不变。直链淀粉含量高的 A 型大

颗粒小麦淀粉(25~35 μm)占小麦淀粉干重的 93.12%^[24],其吸水膨胀后峰值粘度大,在一定温度下易裂解,粘度值下降较大^[25]。藜麦淀粉颗粒小(1.1~5.0 μm)^[26],支链淀粉含量高达 90%,且多为短链,属于典型的 B 型小颗粒淀粉^[27],具有更低的焓^[28],糊化时具有较低的峰值粘度^[29,30],达到峰值粘度后粘度变化

较小(如图1所示)。添加藜麦粉降低混合粉体系糊化粘度和崩解值,该趋势与荞麦粉对小麦粉糊化特性相反,可能与荞麦粉中淀粉结构和颗粒大小有关。蛋白、脂类、多糖等其他组分的存在也影响淀粉糊化特性^[31],淀粉粒表面会被藜麦蛋白或卵磷脂吸附,高温处理后淀粉溶胀破裂后,蛋白通过共价键或非共价键与淀粉相互作用,使峰值粘度、低谷粘度、最终粘度、回复值均下降(见表1)。

两种淀粉粒的热糊浆粘度相似,但与A型淀粉粒相比,B型淀粉粒的热糊浆稳定性较低,并能产生较低粘度的冷糊浆^[32]。理论上,小麦-藜麦混合粉的最终粘度也应下降,但结果显示,混合粉与小麦粉的最终粘度无显著差异,这与B型淀粉粒会引起凝胶硬度增加有关^[33]。完全糊化时,淀粉颗粒破裂,藜麦支链淀粉、蛋白及其它成分以不同形式相互作用充填在直链淀粉形成三维网络主结构中,形成了新的直链淀粉-支链淀粉-蛋白凝胶网络结构,维持凝胶强度(如图2)形成凝胶^[34,35],使最终粘度不会发生明显变化。

2.2 添加藜麦粉对冷冻面团流变学特性的影响

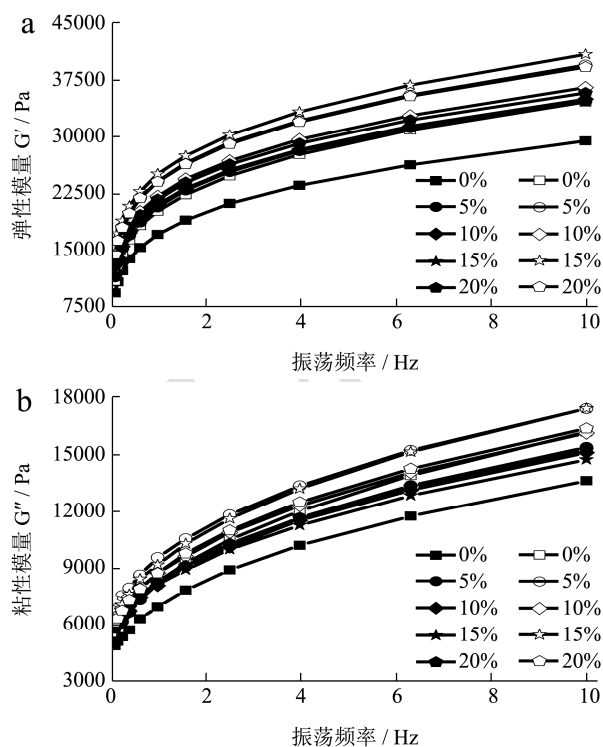


图3 冻藏过程中藜麦粉对冷冻面团弹性模量 G' 和粘性模量 G'' 的影响

Fig.3 Effect of quinoa on elastic modulus G' and viscous modulus G'' of frozen dough during storage

注: 图中损耗角正切值为扫描频率 1 Hz 条件下的值。

面团的延展性和弹性对后续产品的质地影响较大^[36],由图3可知,面团的弹性模量和粘性模量随着藜麦粉量增加及冷冻时间的延长而增加。面筋蛋白主要由谷蛋白和醇溶蛋白组成,它们通过分子间二硫键相互交联,形成面筋网络结构,赋予面团粘弹性^[31]。藜麦粉中不含面筋蛋白,但支链淀粉含量高、粒径小能填充在面筋网络结构孔隙中,使得面筋网络结构更加完整有序,增加面团弹性模量,支链淀粉在面筋网络结构中的几何空间阻碍大,粘性模量也有所增加^[37]。另外,藜麦中的清蛋白和球蛋白、膳食纤维通过共价键、亲水作用与面筋蛋白及小麦粉中其他成分相互作用^[31,38],也使得面团的粘弹性有所增加。冻藏过程中,面团中水分发生迁移^[3],面筋弱化,导致面团的弹性模量和粘性模量增加,Meziani^[39]等人的研究结果也证实了这一点。一定范围内损耗角正切值与面包体积呈负相关^[40]。图4中显示随着冻藏时间的增加,小麦粉冷冻面团的损耗角正切值增加了4.73%,添加藜麦粉的冷冻面团,其损耗角正切值的增加量分别为0.41%、1.68%、-3.84%和-4.88%,可见,添加适量的藜麦粉能有效保持面团的粘弹性。

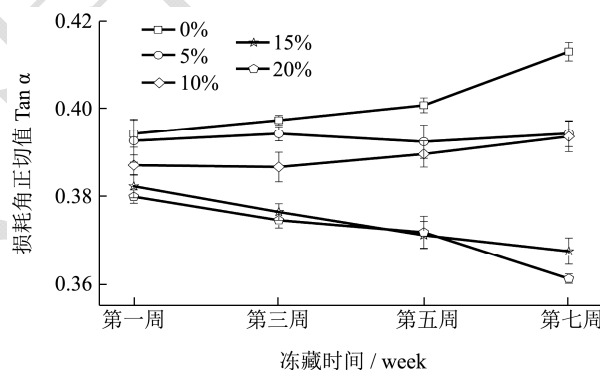


图4 冻藏过程中藜麦粉对冷冻面团损耗角正切值 $\tan \delta$ 的影响

Fig.4 Effect of quinoa on the $\tan \delta$ of frozen dough during storage

2.3 添加藜麦粉对冷冻面团水分迁移的影响

面团的水分含量及分布对保持冷冻面团产品的质量也有至关重要的影响。图5是冷冻面团T2图谱,该图谱反映水分在面团中与亲水物质的结合程度,峰的弛豫时间越短,水分与面筋蛋白或淀粉结合越紧密。冻藏过程中面筋网络结构弱化,淀粉吸水能力降低,引起面团中水分降低及重新分布。结合表2可知,随着藜麦粉添加量的增加,冷冻面团横向弛豫时间向右偏移,结合水逐渐降低,半结合水和自由水逐渐增加。这是因为结合水主要与蛋白质中氨基和羧基以氢键相缔合^[41],藜麦蛋白主要由亲水氨基酸含量较高的清蛋白和谷蛋白组成,其分子量远低于面筋蛋白聚合物,

与水分子结合后对质子的束缚能力弱^[31,41]。随着冻藏时间的增加,小麦粉冷冻面团横向弛豫时间向右偏移,小麦粉冷冻面团的结合水降低了 3.60%,半结合水降低了 0.20%,自由水上升了 4.60%,而添加藜麦粉的面团水分迁移程度较低,其中 10%藜麦粉的面团,结合水几乎维持不变,仅 2.70%的半结合水转化为自由水。龚维^[3]等人指出刺槐豆胶能有效的延缓了面团中深层次结合水的转化,冻藏8周后,结合水降低 1.80%,自由水上升 2.70%,对比可见,添加 10%藜麦粉对冷冻面团持水保水性能与添加刺槐豆胶效果相当。这归因于藜麦淀粉对吸附的水分控制能力强,水分不容易再次析出,具有良好的冻融稳定性^[42],其次藜麦膳食纤维主要由果胶多糖和木聚糖组成,具有较强的亲水性^[38],减少自由水的形成。

图 6 是冷冻面团低场核磁共振成像的伪彩图,随着氢质子信号增强依次出现蓝色、绿色、红色和黑色。冻藏初期小麦面团水分分布均匀,时间延长,红色区域逐渐扩大,黑色斑点逐渐增多,这可能是在冻藏过程中面筋被破坏,自由水增多的缘故,与 Chen Xin^[43]

等人报道相符。添加藜麦粉的面团图像颜色分布较不均匀,这是因为淀粉结晶区主要由支链淀粉分支的螺旋结构堆积而成,水分子较难进入淀粉结构内部^[44]。冻藏 2 周后,水分与面团中藜麦淀粉最大程度结合,图像颜色分布趋于均匀,这也可解释表 2 藜麦面团在冻藏第 3 周结合水略有上升的现象。

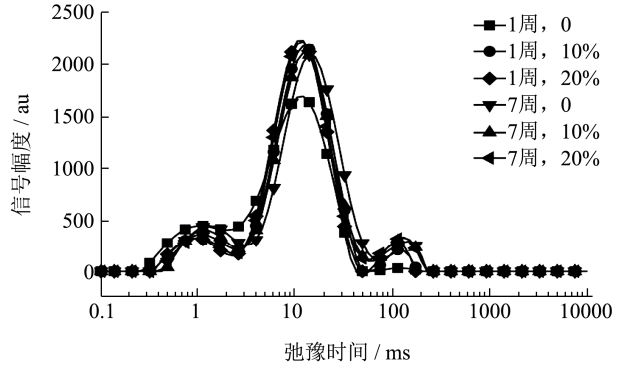


图 5 不同冻藏时间小麦-藜麦冷冻面团 T2 谱图

Fig.5 wheat-quinoa frozen dough T2 spectrum with different storage time

表 2 不同冻藏时间内藜麦粉对冷冻面团三种状态水相相对百分含量的影响

Table 2 Effect of quinoa addition in different store time on the contents of three forms of moisture in frozen dough

藜麦粉添加量	周期	三种状态水相相对百分含量		
		A21	A22	A23
0	第 1 周	19.20±0.40 ^a	80.10±0.60 ^{hi}	0.70±0.80 ⁱ
5%		14.60±0.60 ^{de}	82.50±0.80 ^e	2.90±0.20 ^h
10%		12.90±0.60 ^{gh}	83.60±0.10 ^{cd}	3.40±0.60 ^{gh}
15%		12.00±0.20 ⁱ	84.80±0.80 ^{ab}	3.20±0.70 ^{gh}
20%		10.60±0.50 ^j	85.40±0.30 ^a	4.00±0.20 ^{fg}
0	第 3 周	17.40±0.20 ^b	79.10±0.20 ^j	3.60±0.50 ^g
5%		15.10±0.10 ^{cd}	80.30±0.20 ^{hi}	4.50±0.20 ^{ef}
10%		13.70±0.20 ^f	81.70±0.00 ^{efg}	4.60±0.10 ^{ef}
15%		12.40±0.10 ^{hi}	82.40±0.40 ^e	5.10±0.40 ^{cde}
20%		10.50±0.20 ^j	84.30±0.40 ^{bc}	5.20±0.50 ^{bcd}
0	第 5 周	17.10±0.30 ^b	78.60±0.30 ^j	5.00±0.80 ^{def}
5%		15.00±0.40 ^{cde}	80.00±0.60 ⁱ	5.30±0.50 ^{bcd}
10%		13.50±0.20 ^{fg}	81.40±0.10 ^{fg}	5.10±0.30 ^{cde}
15%		12.40±0.20 ^{hi}	82.20±0.50 ^e	5.40±0.40 ^{bcd}
20%		10.40±0.60 ^j	83.50±0.30 ^{cd}	5.80±0.60 ^{abd}
0	第 7 周	15.60±0.10 ^c	79.90±0.60 ⁱ	4.60±0.80 ^{ef}
5%		14.40±0.50 ^e	80.30±0.40 ^{hi}	5.30±0.80 ^{bcd}
10%		12.90±0.10 ^{gh}	80.90±0.20 ^{gh}	6.10±0.20 ^{abc}
15%		12.10±0.40 ⁱ	81.80±0.50 ^{ef}	6.20±0.90 ^{ab}
20%		10.00±2.50 ^j	83.30±1.90 ^d	6.70±1.40 ^a

注: 显著性为同一列进行比较, 英文字母上标不同代表均值之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

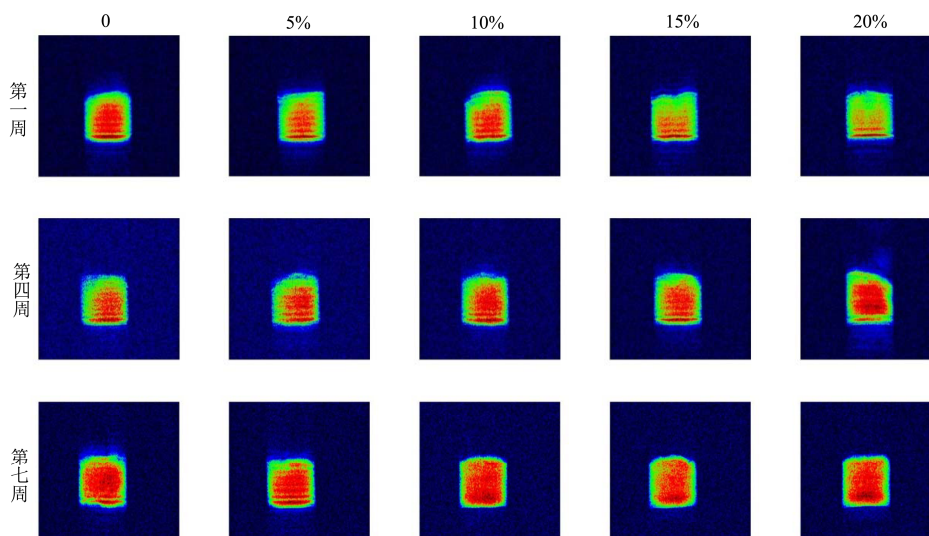


图6 不同冻藏时间下冷冻面团低场核磁共振成像

Fig.6 NMR image of frozen dough during storing

2.4 小麦-藜麦冷冻面团微观结构表征

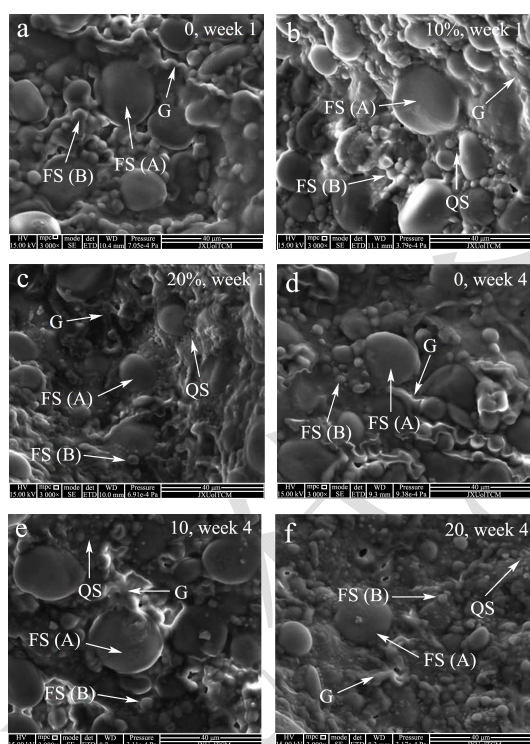


图7 冻藏过程中藜麦粉对冷冻面团微观结构的影响

Fig.7 Effect of quinoa on the microstructure of frozen dough during storage

注: G 表示面筋蛋白, FS (A) 表示 A 型小麦淀粉, FS (B) 表示 B 型小麦淀粉, QS 表示藜麦淀粉。

图7是面团在冻藏过程中的微观结构图。冻藏初期,谷蛋白和醇溶蛋白主要以二硫键相互作用连接成网络结构,小麦粉面团的面筋网络结构完整,面团中粒径较大的小麦淀粉 FS (A) 和粒径较小的小麦淀粉 FS (B) 分布均匀,淀粉颗粒完整饱满。添加 10% 藜

麦粉后,面团面筋网络结构依旧完整,但藜麦粉添加量增加到 20% 时,面筋蛋白含量不足以形成致密稳定的面筋网络结构,导致少量的小麦淀粉和藜麦淀粉 (QS) 暴露在面筋网络结构之外。冻藏后,二硫键断裂,面筋蛋白解聚,面筋网络结构不再连续完整^[45],各面团的面筋网络结构均被破坏,淀粉颗粒出现不同程度的裸露,降低了面团品质。添加 10% 的藜麦粉改变了面团水分分布,且小粒径的藜麦淀粉能填充在面筋网络结构的缝隙中,使得自由水在面筋网络结构中主要以小冰晶的形式存在,有助于维持良好的面筋网络结构。

2.5 添加藜麦粉对冷冻面团发酵体积的影响

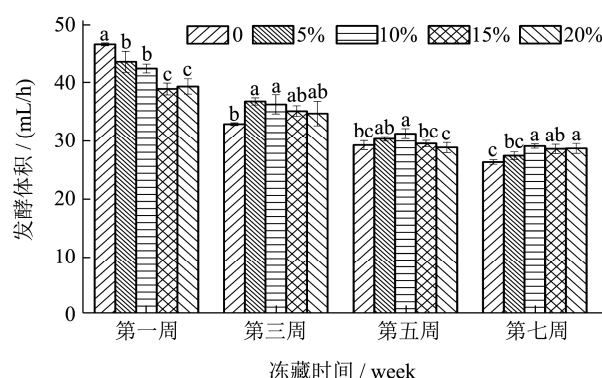


图8 不同冻藏时间内藜麦粉对冷冻面团发酵体积的影响

Fig.8 Effects of quinoa on the fermentation volume of frozen dough under different freezing time

注: 图中显著性为同一冻藏时间相比较,英文字母上标不同代表均值之间存在显著性差异 ($p < 0.05$)。

面团发酵体积反应了面团在发酵时酵母产气能力和面筋持气能力的好坏。由图8可知,冻藏初期的小麦粉面团具有较大的发酵体积,但藜麦粉添加量的增

加使面团的发酵体积逐渐变小。这与藜麦粉的加入使面团体系形成较弱的面筋网络结构有关。随着冻藏时间的增加,面团的发酵体积都呈下降趋势,小麦粉冷冻面团发酵体积下降高达 43.49%,而小麦-藜麦冷冻面团发酵体积下降分别为 37.14%、31.51%、26.65%和 27.2%。但可以看出,添加藜麦对面团发酵体积有积极作用,藜麦粉添加量 $\geq 10\%$ 的小麦-藜麦冷冻面团

其发酵体积显著优于小麦粉冷冻面团。结合面团水分分布分析,藜麦粉能改善面团水分迁移情况,与部分在冻藏过程中析出的自由水结合,减缓在冻藏过程中的结晶增大速率,对面筋网络结构和酵母起到保护作用,从而维持面团较大的发酵体积。

2.6 添加藜麦粉对冷冻面团面包品质的影响

表 3 不同冻藏时间内藜麦粉对冷冻面团面包品质影响的图片分析

Table 3 Picture analysis of the effect of quinoa on the quality of frozen dough bread under different freezing time

添加量	孔隙率/%		气孔密度/(个/cm ²)		气孔均面积/mm ²	
	第一周	第七周	第一周	第七周	第一周	第七周
0	21.18 $\pm$ 3.87 ^{abcd}	17.30 $\pm$ 1.34 ^d	58.67 $\pm$ 7.5 ^{bc}	63.67 $\pm$ 5.03 ^{bc}	0.31 $\pm$ 0.07 ^{abc}	0.36 $\pm$ 0.03 ^{ab}
5%	21.86 $\pm$ 3.09 ^{abcd}	18.51 $\pm$ 1.73 ^{cd}	64.67 $\pm$ 6.46 ^b	55.67 $\pm$ 4.04 ^{cd}	0.28 $\pm$ 0.02 ^{bc}	0.30 $\pm$ 0.00 ^{abc}
10%	20.91 $\pm$ 0.92 ^{abcd}	20.05 $\pm$ 1.52 ^{bcd}	73.85 $\pm$ 4.13 ^a	55.33 $\pm$ 1.15 ^c	0.26 $\pm$ 0.03 ^c	0.28 $\pm$ 0.02 ^{bc}
15%	25.72 $\pm$ 2.69 ^a	21.77 $\pm$ 3.85 ^{abcd}	65.70 $\pm$ 3.78 ^{ab}	66.67 $\pm$ 6.51 ^{ab}	0.33 $\pm$ 0.05 ^{abc}	0.33 $\pm$ 0.04 ^{abc}
20%	25.10 $\pm$ 3.23 ^{ab}	23.7 $\pm$ 3.65 ^{abc}	67.3 $\pm$ 3.28 ^{ab}	66.33 $\pm$ 1.53 ^{ab}	0.35 $\pm$ 0.08 ^{ab}	0.38 $\pm$ 0.02 ^a

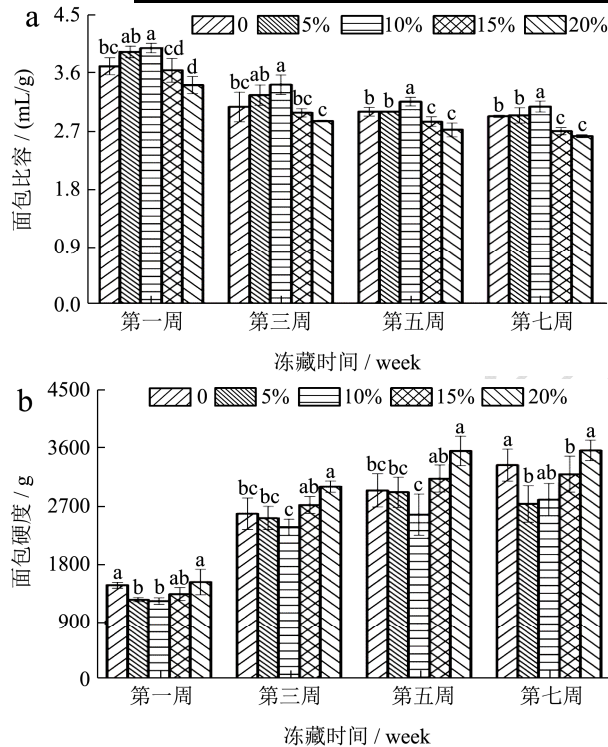


图 9 不同冻藏时间内藜麦粉对冷冻面团面包比容和硬度的影响

Fig.9 Effects of quinoa on the specific volume and hardness of frozen dough under different freezing time

注: 图中显著性为同一冻藏时间相比较, 英文字母上标不同代表均值之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。

品质优良的面包具有比容大、质地松软和均匀的内部纹理结构等特征。图 9 显示, 随着冻藏时间的增加, 添加不同组分的面包比容逐渐变小, 硬度逐渐增大。在相同的冻藏时间内, 添加 10%藜麦粉的面包具有更好的比容和硬度, 与空白组相比比容增大了

7.66% (第一周)、和 5.10% (第七周), 硬度降低了 16.68% (第一周)、和 16.00% (第七周)。Chunli Jia^[4]等人研究表明, 加入 10%蜡质小麦淀粉的冷冻面团面包比容比空白组大 3.23%, 相较而言, 添加 10%藜麦粉维持冷冻面团稳定性更好, 这是因为藜麦粉中还含有蛋白和脂质。从面包切面纹理分析, 结构均一的面包具有较大的孔隙率、气孔密度和较小的气孔均面积。随着藜麦添加量的增加, 孔隙率无明显差异, 气孔密度先增大后降低, 气孔均面积先减小后增大; 冻藏过程会使面包品质出现不同程度的降低, 在面包切面图中可看到冻藏 7 周后面孔变得更加致密, 均一性差。添加 10%的藜麦粉能保持较好的面团品质, 降低面包气孔均面积, 增大孔隙率和气孔密度, 最终得到质地松软的面包。

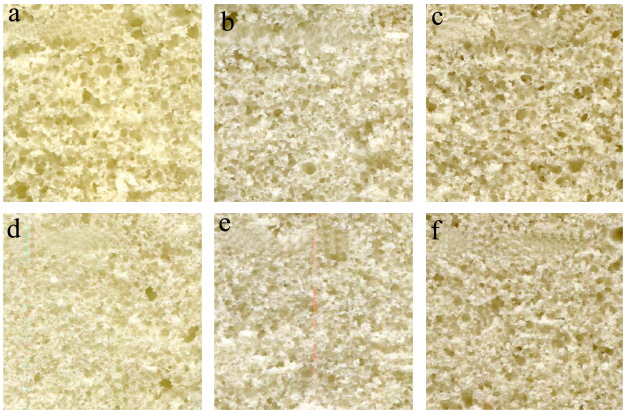


图 10 小麦-藜麦冷冻面团面包切面纹理图
Fig.10 The surface texture illustration of wheat-quinoa frozen dough bread

注: a: 0, week 1; b: 10%, week 1; c: 20%, week 1; d: 0, week 7; e: 10%, week 7; f: 20%, week 7。

3 结论

纯小麦粉和藜麦粉的糊化曲线差异较大,添加藜麦粉后,峰值粘度、低谷粘度和崩解值都比纯小麦粉的相应值低,但最终粘度无明显差异。随着冻藏时间的延长,混合粉冷冻面团的弹性模量、粘性模量增加,损耗角正切值降低。面团中的结合水向自由水、半自由水转换,但混合粉面团的结合水迁移的量要少。混合粉面团中面筋网络结构比较完整,持气性能较好,发酵体积较大。冻藏使面包比容降低,硬度增加,但添加藜麦粉的面包在后期变化较小,且纹理结构均一。因此,添加藜麦改变了混合粉的糊化特性,改善面团的水分分布、流变性质和网络结构,进而改善面团的持气能力和最终面包产品的品质。不同的藜麦添加量对品质改善效果不同,其中,添加10%藜麦的面团的面筋网络结构完整,损耗角正切值增加1.68%,2.70%半结合水发生迁移,面包内部纹理结构好,质地柔软。

参考文献

- [1] Jacob O Omedi, Weining Huang, Binle Zhang, et al. Advances in present-day frozen dough technology and its improver and novel biotech ingredients development trends: A review [J]. Cereal Chemistry, 2019, 1(96): 34-56
- [2] Huang S, Miskelly D. Chapter 8-frozen steamed products and frozen doughs [J]. Steamed Breads, 2016, 101-107
- [3] 龚维,吴磊燕,钟雅云,等.刺槐豆胶对冷冻面团水分分布及面包品质的影响[J].现代食品科技, 2018,34(12):73-79
GONG Wei, WU Lei-yan, ZHONG Ya-yun, et al. Effect of locust bean gum on water distribution and bread quality of frozen dough [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(12): 73-79
- [4] Jia C, Yang W, Yang Z, et al. Study of the mechanism of improvement due to waxy wheat flour addition on the quality of frozen dough bread [J]. Journal of Cereal Science, 2017, 75: 10-16
- [5] Chen X, Wu J H, Li L, et al. The cryoprotective effects of antifreeze peptides from pigskin collagen on texture properties and water mobility of frozen dough subjected to freeze-thaw cycles [J]. European Food Research and Technology, 2016, 243(7): 1149-1156
- [6] Dalvi-Isfahan M, Jha P K, Tavakoli J, et al. Review on identification, underlying mechanisms and evaluation of freezing damage [J]. Journal of Food Engineering, 2019, 255: 50-60
- [7] 毛瑞.荞麦馒头制作特性的研究[D].郑州:河南工业大学, 2013
- [8] 刘海燕.糯麦粉对冷冻面团发酵流变学和面包烘焙特性的影响[D].无锡:江南大学,2012
- [9] LIU Hai-yan. Effect of waxy wheat flour on rheofermntometer rheological and baking properties of frozen dough and bread [D]. Wuxi: Jiangnan Univesity, 2012
- [9] Ohgren, Camilla, Fabregat N, Langton M. Quality of bread baked from frozen dough-effects of rye, and sugar content, kneading time and proofing profile [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 626-633
- [10] Majzoobi M, Raissjalali A, Jamalian J, et al. Effect of white wheat flour substitution with whole oat flour on physical properties of part-baked frozen bread [J]. Journal of Texture Studies, 2015, 46(6): 411-419
- [11] Jan K N, Panesar P S, Singh S. Optimization of antioxidant activity, textural and sensory characteristics of gluten-free cookies made from whole indian quinoa flour [J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 93: 573-582
- [12] 魏爱春,杨修仕,么杨,等.藜麦营养成分及生物活性研究进展[J].食品科学,2015,15(36):272-276
WEI Ai-chun, YANG Xiu-shi, YAO Yang, et al. Progress in research on nutritional and functional components and bioactivity of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. Food Science, 2015, 15(36): 272-276
- [13] 翟娅菲,刘秀妨,张华,等.藜麦淀粉理化特性研究[J].食品工业科技,2017,24(38):48-52
ZHAI Ya-fei, LIU Xiu-fang, ZHANG Hua, et al. Study on the physicochemical properties of quinoa starch [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 24(38): 48-52
- [14] Jasim A, Linu T, Ali A Y, et al. Rheological, structural and functional properties of high-pressure treated quinoa starch in dispersions [J]. Carbohydr Polym, 2018, 19: 649-657
- [15] Elgeti D, Nordlohne S D, Foste M, et al. Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour [J]. Journal of Cereal Science, 2014, 1(59): 41-47
- [16] Ballester-Sánchez J, Gil J V, Haros C M, et al. Effect of incorporating white, red or black quinoa flours on free and bound polyphenol content, antioxidant activity and colour of bread [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2019, 2(74): 185-191
- [17] Stikic R, Glamoclija D, Demin M, et al. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa*

- Willd.) as an ingredient in bread formulations [J]. Journal of Cereal Science, 2012, 2(55): 132-138
- [18] 袁晓丽. 藜麦淀粉的提取及改性后理化性质的分析[D]. 天津: 天津科技大学, 2017
- YUAN Xiao-li. Extraction of quinoa starch and analysis of physicochemical properties after modification [D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2017
- [19] Buresova Iva, Kubínek Roman. The behavior of amaranth, chickpea, millet, corn, quinoa, buckwheat and rice doughs under shear oscillatory and uniaxial elongational tests simulating proving and baking [J]. Journal of Texture Studies, 2016, 5(47): 423-431
- [20] Ding X, Zhang H, Wang L, et al. Effect of barley antifreeze protein on thermal properties and water state of dough during freezing and freeze-thaw cycles [J]. Food Hydrocolloids, 2015, 47: 32-40
- [21] Chevallier S, Rubén Zúñiga, Le-Bail A. Assessment of bread dough expansion during fermentation [J]. Food and Bioprocess Technology, 2010, 2(5): 609-617
- [22] 王沛. 冷冻面团中小麦面筋蛋白质劣变机理及改良研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016
- WANG Pei. Gluten deterioration in frozen dough: mechanism and improvement study [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016
- [23] Encina-Zelada C R, Vasco C, Fernando M, et al. Combined effect of xanthan gum and water content on physicochemical and textural properties of gluten-free batter and bread [J]. Food Res Int, 2018, 111: 544-555
- [24] 郑学玲, 尚加英. 小麦淀粉特性、生产方法及产品应用[J]. 农业机械, 2011, 5: 88-90
- ZHENG Xue-ling, SHANG Jia-ying. Wheat starch characteristics, production methods and product application [J]. Farm Machinery, 2011, 5: 88-90
- [25] Tao H, Wang P, Wu F, et al. Particle size distribution of wheat starch granules in relation to baking properties of frozen dough [J]. Carbohydr Polym, 2016, 137: 147-153
- [26] 肖志刚, 时超, 杨柳, 等. 疏水改性藜麦淀粉的制备及其 Pickering 乳液乳化性研究[J]. 现代食品科技, 2018, 12(34): 19-25
- XIAO Zhi-gang, SHI Chao, YANG Liu, et al. Preparation of hydrophobic modified quinoa starch granules and study on emulsifying properties of Pickering emulsion [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 12(34): 19-25
- [27] 申瑞玲, 张文杰, 董吉林, 等. 藜麦的主要营养成分、矿物元素及植物化学物质含量测定[J]. 轻工学报, 2015, 5, 6(30): 17-21
- SHEN Rui-ling, ZHANG Wen-jie, DONG Ji-lin, et al. Determination of main nutritional component, mineral element and phytochemical in *Chenopodium quinoa* Willd [J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry (Natural Science), 2015, 5, 6(30): 17-21
- [28] Tester R F, Morrison W R. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids [J]. Cereal Chemistry, 1990, 67: 551-557
- [29] 单玉琳, 张国权, 罗勤贵, 等. 小麦淀粉的粒度分布、组分及糊化特性对氮硫肥的响应[J]. 麦类作物学报, 2012, 1(32): 60-67
- SHAN Yu-lin, ZHANG Guo-quan, LUO Qin-gui, et al. Effect of nitrogen and sulfur fertilizer on granule size distribution, composition and pasting properties of wheat starch [J]. Journal of Triticeae Crops, 2012, 1(32): 60-67.
- [30] 马冬云, 郭天财, 王晨阳, 等. 施氮水平对小麦籽粒淀粉粒度分布及淀粉粒糊化特性的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 11(19): 43-47
- MA Dong-yun, GUO Tian-cai, WANG Chen-yang, et al. Effects of nitrogen fertilizer application rate on starch granule size distribution and starch pasting properties in wheat (*Triticum aestivum* L.) grain [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 11(19): 43-47
- [31] 王晓龙. 和面过程蛋白质行为对小麦品种面团流变学特性的影响[D]. 咸宁: 西北农林科技大学, 2017
- WANG Xiao-long. Effects of protein behaviors on dough rheological properties of wheat varieties in flour mixing [D]. Xianning: Northwest A&F University, 2017
- [32] Kulp K. Physicochemical properties of wheat starch as related to bread [J]. Bakers Digest, 1973
- [33] Karlsson R, Ölered R, Eliasson A C. Changes in starch granule size distribution and starch gelatinization properties during development and maturation of wheat, barley and rye [J]. Starch-Stärke, 1983, 35(10): 335-340
- [34] 韩文凤, 邱浚, 孙庆杰, 等. 淀粉凝胶研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2006, 7: 26-27
- HAN Wen-feng, QIU Po, SUN Qin-jie, et al. Advance of research on starch gelatinization [J]. Cereal & Feed Industry, 2006, 7: 26-27
- [35] 黄峻榕, 唐晓东, 蒲华寅. 淀粉凝胶的微观结构、质构及稳定性研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 7(36): 673-679
- HUANG Jun-rong, TANG Xiao-dong, PU Hua-yin. Research progress on micro-structure, texture property and stability of starch gel [J]. Food Science and Biotechnology, 2017, 7(36):

- 673-679
- [36] Hamed A, Ragaei S, Ellogayed M, et al. Effect of beta-glucan-rich barley flour fraction on rheology and quality of frozen yeasted dough [J]. Food Science, 2014, 12(79): 2470-2479
- [37] 张园园. 藜麦-小麦混粉面团流变学特性及藜麦面包工艺优化[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2017
- ZHANG Yuan-yuan. Quinoa-wheat mixed flour dough rheological properties and the process optimization of quinoa bread [D]. Huhehaote: InnerMongolia University, 2017
- [38] 张华, 李银丽, 李佳乐, 等. 竹笋膳食纤维对冷冻面团流变学特性、水分分布和微观结构的影响[J]. 食品科学, 2018, 1(39): 53-57
- ZHANG Hua, LI Yin-li, LI Jia-le, et al. Effect of bamboo shoot dietary fiber on rheological properties, moisture distribution and microstructure of frozen dough [J]. Food Science, 2018, 1(39): 53-57
- [39] Meziani S, Jasniewski J, Gaiani C, et al. Effects of freezing treatments on viscoelastic and structural behavior of frozen sweet dough [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 3-4(107): 358-365
- [40] Kenny S, Wehrle K, Dennehy T, et al. Correlations between empirical and fundamental rheology measurements and baking performance of frozen bread dough [J]. Cereal Chemistry, 1999, 3(76): 421-425
- [41] 林向阳. 核磁共振及成像技术在面包制品加工与储藏过程中的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2006
- LIN Xiang-yang. Study of bread during processing and storage using NMR and MRI techniques [D]. Nanchang: Nanchang University, 2006
- [42] 王隼. 藜麦蛋白和淀粉的分离提取及性质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018
- WANG Fei. Study on the extraction and properties of quinoa protein and starch [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018
- [43] Xin C, Nie L, Chen H, et al. Effect of degree of substitution of carboxymethyl cellulose sodium on the state of water, rheological and baking performance of frozen bread dough [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 80: 8-14
- [44] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008
- HAN Jian-quan. Food Chemistry [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2008
- [45] Wang P, Tao H, Zheng Y J, et al. Impact of water extractable arabinoxylan from rye bran on the frozen steamed bread dough quality [J]. Food Chemistry, 2016, 200: 117-124

(上接第 181 页)

- [11] 赵三娥, 吴清平, 张菊梅, 等. 放线菌 PY_C_21 菌株鉴定及其活性产物的结构分析[J]. 现代食品科技, 2016, 3: 36-41
- ZHAO San-e, WU Qing-ping, ZHANG Ju-mei, et al. Identification of *Actinomycetes* PY_C_21 and structural analysis of its active products [J]. Modern food Science and Technology, 2016, 3: 36-41
- [12] Selvin J, Shanmugapriya S, Gandhimathi R, et al. Optimization and production of novel antimicrobial agents from sponge associated marine *Actinomycetes Nocardiopsis dassonvillei* MAD08 [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2009, 83(3): 435
- [13] 韩玉竹, 邓钊, 张宝, 等. 解淀粉芽孢杆菌 H15 产抗菌肽的发酵条件优化和提取方法比较研究[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 135-141
- HAN Yu-zhu, DENG Zhao, ZHANG Bao, et al. Optimization of fermentation conditions and comparison of extraction methods of antimicrobial peptides produced by *Bacillus starch hydrolyzae* H15 [J]. Food Science, 2015, 36(15): 135-141
- [14] Liu J, Li G, Sui Y. Optimization of culture medium enhances viable biomass production and biocontrol efficacy of the antagonistic yeast, *Candida diversa* [J]. Frontiers in Microbiology, 2017, 8: 2021
- [15] 吉玉玉, 黄慧, 肖洋, 等. 拮抗菌巨大芽孢杆菌 L2 发酵条件的响应面优化[J]. 中国酿造, 2018, 37(8): 107-112
- JI Yu-yu, HUANG Hui, XIAO Yang, et al. Response surface optimization of fermentation conditions of *Bacillus macrosporum* L2 [J]. China Brewing, 2018, 37(8): 107-112
- [16] 方翔, 徐伟芳, 牛娜, 等. 一株桑树内生拮抗菌的分离、鉴定及发酵条件优化[J]. 微生物学报, 2018, 58(12): 2147-2160
- FANG Xiang, XU Wei-fang, NIU Na, et al. Isolation, identification and optimization of fermentation conditions of endogenous antagonistic bacteria from a mulberry [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2018, 58(12): 2147-2160