

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.05.017

热压活化麸皮对馒头冷藏期间水分分布及质构影响的研究

吴立根¹, 王岸娜¹, 屈凌波^{2,3}✉

- (1. 河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001;
2. 河南工业大学 小麦和玉米深加工国家工程实验室, 河南 郑州 450001;
3. 郑州大学, 河南 郑州 450001)

摘要: 通过添加热压处理麸皮到馒头粉中研究其对面粉吸水性能的影响, 并考察热压处理麸皮添加量对冷藏包装馒头水分及水分分布的影响。结果表明, 添加热压处理麸皮使面粉吸水性能改善显著, 且面粉的吸水性及与热压处理麸皮的添加量具有极好的相关性, 其线性回归方程 $y=32.525x+44.207$, $R^2=0.9969$ 。热压处理麸皮的添加增加了馒头的含水量, 可减弱水分的迁移流失。添加麸皮使得馒头的强结合水和弱结合水都显著增加。添加麸皮使得馒头屈服值增加, 馒头硬度和胶着性值增加, 回复性和粘聚性值减小。随着麸皮含量的增加, 馒头屈服值增加。

关键词: 热压处理麸皮; 馒头; 水分分布; 低场核磁; 质构

中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)05-0117-08

Study on the Effect of Fine Bran Processed by Heating and Pressuring on the Water Distribution and Structure of the Steamed Bread in Cool Storage

WU Li-gen¹, WANG An-na¹, QU Ling-bo^{2,3}✉

- (1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China;
2. National Engineering Laboratory for Wheat & Corn Further Processing, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China; 3. Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: In this paper, the fine bran processed by heating and pressuring was added into the flour for the steamed bread. The moisture, TPA, water distribution and so on of steamed bread was evaluated during the storage in cool. The results showed that there was a certain correlation between the dosage of the fine bran and the water absorption of the flour, the regression equation is $y=32.525x+44.207$, $R^2=0.9969$. The additive of the fine bran led to an increase of water content of steamed bread. The water migration of the steam bread weakened in cold storage, with the strong and weak binding water of steamed bread increased. The hardness and adhesion of the steamed bread strengthened, the reactivity and adhesion decreased for the addition of fine bran. Moreover, the yield value of steamed bread increased with the increase of bran content.

Key words: steamed bread; water distribution; fine bran processed by heating and pressuring; LF-NMR; structure

收稿日期: 2019-10-02

基金项目: 河南省基础与前沿技术研究项目 (152300410077); 粮食公益性行业科研专项 (201313011); 国家自然科学基金项目 (31201294); 河南工业大学省属高校基本科研业务费专项资金项目 (2014YW JC05)

作者简介: 吴立根, 男, 1969 年出生, 硕士, 研究方向为粮食质量安全与品质控制技术。

通讯作者: 屈凌波, 男, 1963 年出生, 博士, 教授, 研究方向为粮食质量安全与品质控制技术。

馒头经过加工、储藏、运输和销售多个环节,此过程中馒头将出现品质的劣化^[1],包括老化^[2-3]和防腐。减压包装改变馒头的微环境^[4],防止馒头变质^[5-6],在一定程度上减少脂质的氧化;冷藏^[7-8]可最大限度的保持馒头原有的品质,而且冷藏降低馒头脂质酸败^[9]的进程。

关于馒头的品质控制国内外研究较多^[10],集中在研究馒头老化,质构,比容等方面,如:FAN^[11]等研究发现红茶提取物中的没食子酸对馒头的色度,口感及质构有一定的变化,这种变化在一定范围内与添加量成正比例关系,Jhong-Tai Fu^[12]等将纤维添加到小麦中发现馒头的硬度随添加量增加而增大,馒头的凝聚性,体积及弹性下降,添加量在 3%~6%条件下制作的馒头,口感良好且对人体有一定的营养保健功能^[13]。秦鹏等^[14]在小麦中添加糯小麦粉,对馒头的外观、质构、色泽、弹性、粘度及馒头的综合评分都有一定的影响。糯小麦粉添加量在 10%~25%之间,馒头在-18℃条件下贮藏,硬度随着添加量的增加而降低。S.Y.^[15]在面粉中添加海藻酸盐(ALG),添加量为 0.2%可以降低馒头比容的变化。

馒头在储藏过程中,馒头水分的变化也是影响其品质的一个极其重要的因素,然而,研究馒头水分及分布的报道很少,因此,本文将馒头按照馒头芯、馒头皮下 1 cm、馒头皮三个部位不同层次,研究热压活化麸皮对馒头在储藏期间水分含量的影响,利用低场 NMR^[16]研究麸皮影响馒头储藏期间水分分布迁移情况,为全面控制馒头在储藏过程中品质变化提供基础数据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

紫麦:河南漯河金龙粮油公司;高活性酵母:安琪酵母有限公司;小米:市售。

1.2 实验仪器

5KSM150 和面机:美国厨宝公司;MJP150III 醒发箱:上海树立仪器仪表有限公司;FD-1A-50 冷冻干燥机:北京博医实验仪器有限公司;VS-600A 减压包装机:上海祥正机械有限公司;HD-3A 智能水分活度测定仪:无锡市华科仪器仪表有限公司;MicroMR-CL-I 低场核磁共振仪:苏

州纽迈电子科技有限公司;TA-XT plus 质构仪:Stable Micro System;LRMM-8040-3D 实验磨粉机:无锡布勒机械制造有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 馒头制作

1.3.1.1 面粉制备和热压麸皮的处理 紫色小麦,经过清理除杂、25℃下润麦 24 h,入磨水分 16%^[17-18],利用实验磨粉机得到 3 皮 3 芯六路粉,将麸皮进行热压处理后(压力值 1.0 MPa 时间 3 min)超微粉碎,按照表 1 配成所得面粉分别为对照、样品 A、样品 B、样品 C 四组面粉样品,组分 B 为皮,组分 M 为芯,对应原料的出粉率分别为 67%、70%、80%、90%。

表 1 样品配比表 %

组分	对照组	试样 A	试样 B	试样 C
热压活化麸皮	0	4.74	16.66	25.91
1B	8.07	7.69	6.73	5.98
2B	10.37	9.88	8.64	7.68
3B	1.96	1.86	1.63	1.45
1M	43.74	41.67	36.46	32.41
2M	32.95	31.38	27.46	24.41
3M	2.91	2.77	2.42	2.15

1.3.1.2 面粉水分 添加量根据粉质吸水率指标,计算出面粉和面的加水量。

1.3.1.3 馒头蒸制 将适量的温水(38℃)和 38℃下活化 10 min 的酵母液(面粉:酵母粉=1:0.07)倒入面粉中,搅拌 5 min,置入发酵箱中醒发(温度:38℃;相对湿度:85%;时间:50 min),醒发完成后,压片,成型,相同条件二次醒发 10 min。第二次醒发完成后,蒸制 30 min,5 min 取出馒头,冷却 1 h,减压包装,冷藏。

1.3.1.4 馒头包装及冷藏 冷却的馒头样品,置入 PET+PE 复合包装袋,减压至袋内压力为 80 kPa,封口后,将馒头放入 6℃冰箱中储藏。冷藏时间为 0(新鲜馒头,不进行包装储藏)、1、2、4、6、8、10、15、20 d。

1.3.2 馒头储藏期间比容的测定

用小米置换法测定其体积^[19],经分析天平测得馒头质量(精确到 0.01 g)后,体积与质量的比值即为馒头的比容。每个样品重复测定 3 次。

比容: $SV=V/M$

式中: SV—比容, mL/g; V—馒头体积, mL; M—馒头质量, g。

1.3.3 馒头水分含量的测定

取馒头皮、馒头皮下 1 cm 处、馒头芯分别参照水分测量方法 GB 50093—2010 测定水分。

1.3.4 馒头水分迁移情况的测定

参考^[20]方法, 将馒头切成均匀细条, 称取 (5±0.005) g 放入核磁试管中, 采用保鲜膜封口, 再分别置于恒温 (35 °C) 核磁永久磁场中心位置的射频线圈中心, 利用 CPMG 脉冲序列测量样品。CPMG 实验采用的参数: 采样点数 TD=22 290、重复扫描次数 NS=32、回波个数 C₀NH=1 000、弛豫衰减时间 D₀=1 s。

1.3.5 馒头质构 (TPA) 的测定

将馒头切成 25 mm 厚片状。TPA 探头为: Pasta Firmness/Stickiness Rig (HDP/PFS) 探头。实验参数: 测前速度: 1.0 mm/s; 测中速度: 0.5 mm/s; 测后速度: 10.0 mm/s; 压缩率: 65%; 起点感应力: 5 g; 两次压缩时间间隔: 2 s。样品重复 3 次^[20-22]。

1.3.6 数据统计与分析

实验测得的数据采用 Excel 2013 进行整理, SPSS20.0 进行统计分析, OriginLab2015 进行制图。

2 结果与分析

2.1 麸皮添加量对面粉吸水量的影响

麸皮添加量与面粉吸收水量关系如图 1 所示, 麸皮的添加量与面粉的吸水量呈显著的线性相关, 线性回归方程 $y=32.525x+44.207$, $R^2=0.9969$, 据此实际操作中可以根据麸皮的添加量计算出制作馒头时的加水量, 膳食纤维含有较多的亲水集

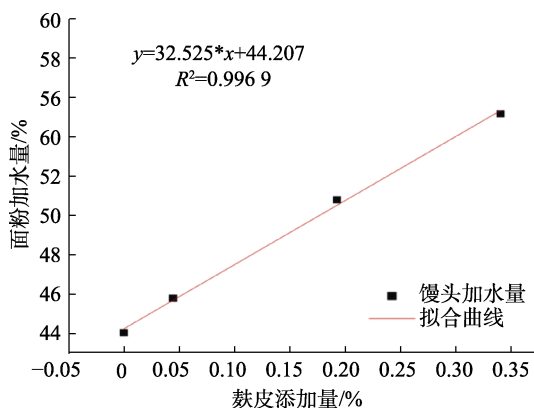


图 1 麸皮添加量对面粉吸水量的影响

团, 提高了面粉的吸水量, 此外热压活化处理麸皮的可溶性膳食纤维含量提高, 持水能力、结合能力和膨胀能力有不同程度的变化^[23-24]。

2.2 麸皮添加量对馒头冷藏期间比容的影响

四种不同麸皮添加量的馒头经过减压包装储藏在 6 °C 下, 分别于 0、1、2、4、6、8、10、15、20 d 测定其比容, 比容的变化如图 2 所示, 少量麸皮的添加 (试样 A) 使得馒头比容比对照组增大, 少量麸皮的添加 (试样 A) 使得馒头比容比对照组增大, 原因是少量的活化膳食纤维具有较强的吸水能力, 并且能够适当增加馒头面团的水量和酵母产气能力, 因此增大了馒头的比容, 此外活化的膳食纤维与面筋蛋白结合可形成大分子网状结构, 对面筋蛋白-淀粉复合凝胶体系有一定充填作用, 使面筋网络结构更加稳定, 维持冷藏期间馒头比容^[24]。试样 B 和试样 C 的馒头比容低于对照馒头, 是因为活化麸皮添加量过大时, 麸皮的过量添加相对减少面团中面筋的含量^[25], 导致馒头体积变小, 因此, 麸皮的添加需要控制在合理范围内。在馒头储藏期间, 4 种馒头的比容均在前 2 d 呈现下降趋势, 可能是因为馒头的老化使得淀粉重结晶造成馒头的体积变小; 在储藏第 2 d 以后, 馒头的比容基本不变, 说明在储藏第 2 d 以后, 馒头内部环境相对稳定。

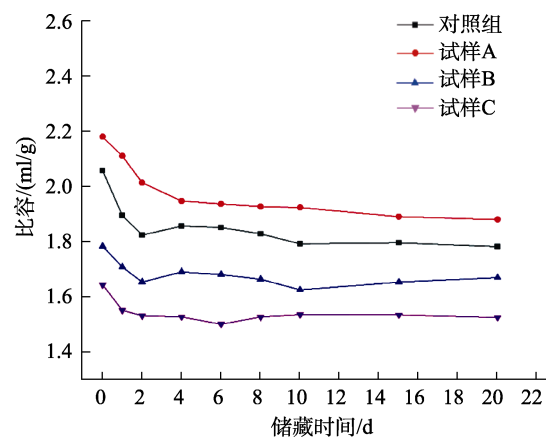


图 2 麸皮添加量对馒头储藏期间比容的影响

2.3 麸皮添加量对馒头冷藏期间水分含量的影响

6 °C 下, 减压包装不同的麸皮添加量馒头储藏 20 d, 分别在于 0、1、2、4、6、8、10、15、20 d 取样品的馒头皮、馒头皮下 1 cm 和馒头芯进行水分含量测量, 结果如图 3~6 所示。

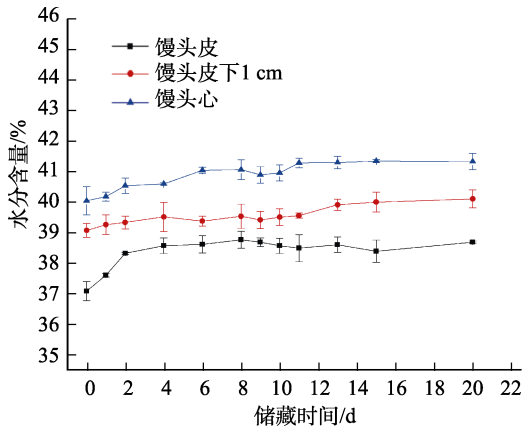


图 3 对照组馒头储藏期间水分含量变化

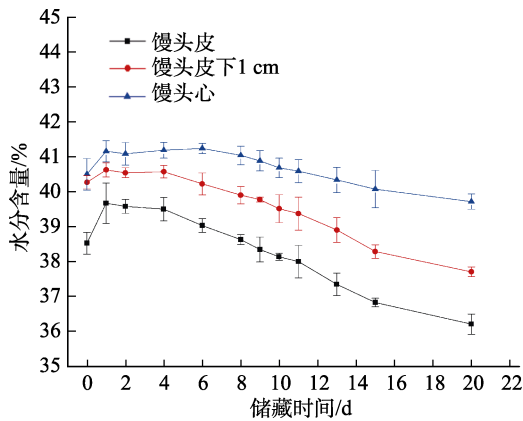


图 4 试样 A 馒头储藏期间水分含量变化

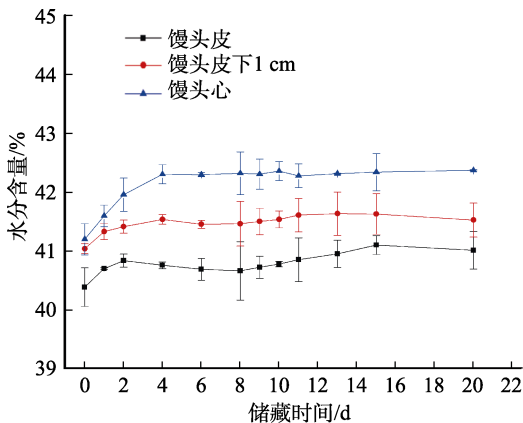


图 5 试样 B 馒头储藏期间水分含量变化

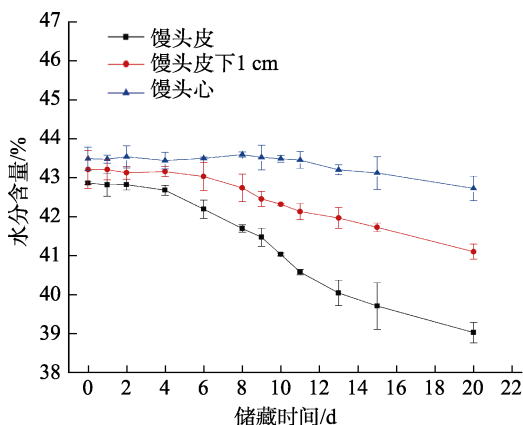


图 6 试样 C 馒头储藏期间水分含量变化

随着麸皮含量的增加,馒头水分含量增加,主要是由于麸皮具有很好的吸水性和持水性^[24],增加了馒头的持水性能。储藏期间四种馒头的芯水分含量维持稳定,可能与减压冷藏处理有关,减压冷藏降低馒头的老化速度^[26]。然而,样品 C 的馒头皮水分随储藏时间的延长水分降低幅度比较大,可能是因为 C 样品的麸皮添加量达到 25.91%,相对于对照组馒头添加过量麸皮的 C 样品馒头中,面筋蛋白质含量^[26]减少,从而在储藏过程中样品 C 馒头对水分的持有能力变弱,导致水分的流失。

2.4 麸皮添加量对馒头冷藏期间水分迁移的影响

对照组、试样 B 馒头在储藏期间馒头芯、馒头皮下 1 cm、馒头皮的水分迁移变化情况如图 7~12 所示。低场核磁共振 (LF-NMR) 的 T_{21} 指的是强结合水, T_{22} 表示弱结合水, T_{23} 表示吸附水, T_{24} 为自由水^[27-28]。由图 7~12 可以看出,4 种面粉制作的馒头从馒头芯到馒头皮下 1 cm,再到馒头皮, T_{21} 、 T_{22} 弛豫时间依次变小,弛豫时间 T_2 反映的是在质子移动范围内具有自旋-自旋弛豫时间的水分子的数量,这说明馒头芯到馒头皮下 1 cm,再到馒头皮的水分运动情况依次减弱。 T_{21} 代表与大分子结合紧密的一部分水,对照组馒头三个部位前 6 d 持续下降,说明水分有较明显的迁移,但试样 B 馒头的 T_{21} 只有前两天有明显的下降,而且试样 B 馒头的 T_{21} 值小于对照组馒头,说明麸皮具有较强的持水性,能在一定程度上减弱水分的迁移流失。随着储藏的增加,对照组、试样 A 馒头的 T_{21} 基本保持不变,说明在储藏的后期,有可能是馒头内部的网络结构遭到了破坏,导致水分被释放。这与淀粉长期老化研究相似^[29],淀粉食品的长期回生通常是由于支链淀粉在储藏时期发生了重结晶,导致糊化后的淀粉分子重新结合形成有序化的晶体,从而面包的网络结构遭到破坏,网络骨架中紧密结合的水被释放出来,馒头的品质遭到破坏,馒头储藏后期的质构结果呈现相似的趋势。对照组、试样 A 馒头 T_{22} 均在前 6 d 呈现下降趋势说明储藏前 6 d 均有明显水分迁移变化,麸皮对弱结合水的持水能力要小于强结合水。

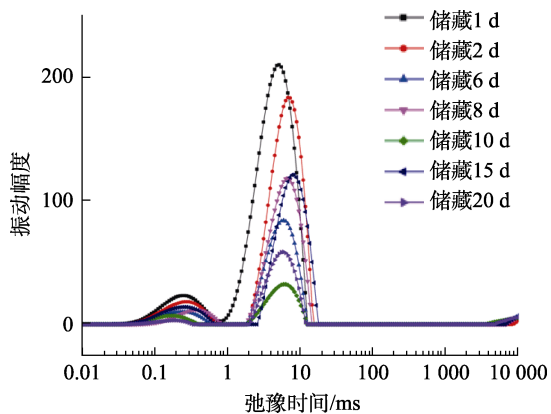


图 7 对照组馒头储藏期间馒头皮水分迁移情况

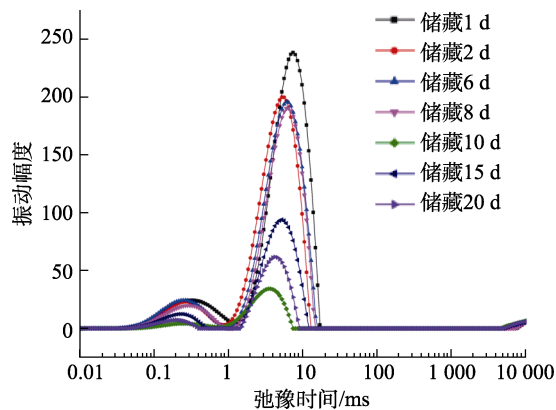


图 10 试样 B 馒头储藏期间馒头皮水分迁移情况

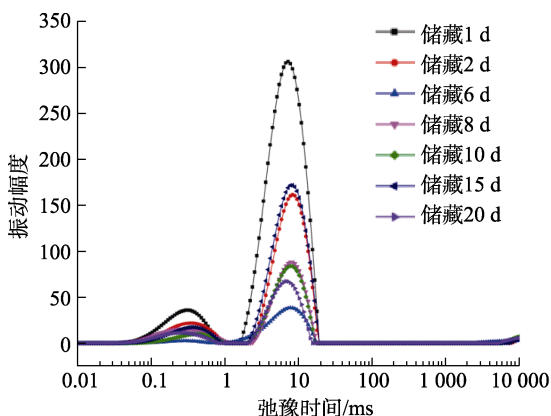


图 8 对照组馒头储藏期间馒头皮下 1 cm 水分迁移情况

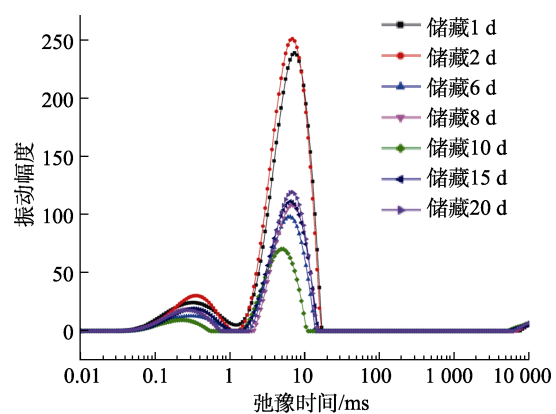


图 11 试样 B 馒头储藏期间馒头皮下 1 cm 水分迁移情况

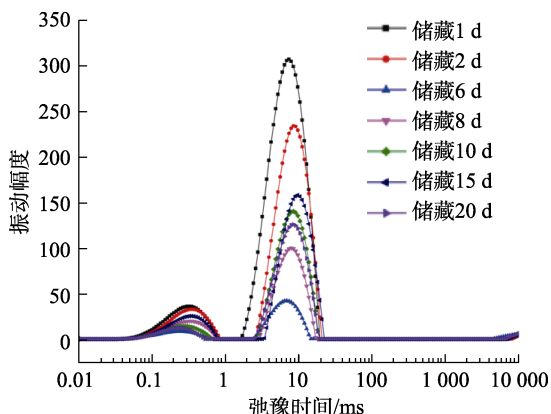


图 9 对照组馒头储藏期间馒头芯水分迁移情况

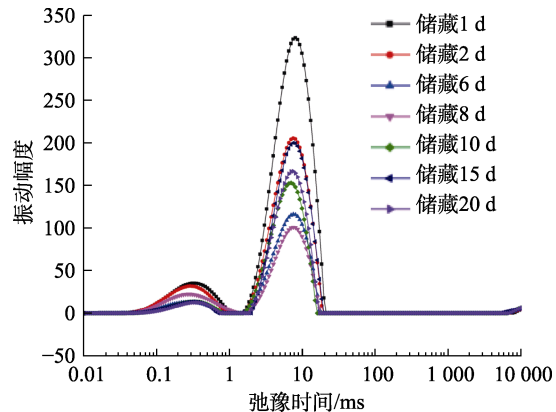


图 12 试样 B 馒头储藏期间馒头芯水分迁移情况

2.5 麸皮添加量对馒头冷藏期间质构 (TPA) 的影响

2.5.1 麸皮添加量对馒头冷藏期间硬度的影响

由表 2 可知,随着麸皮含量的增加,馒头的硬度依次上升;在馒头储藏期间,4 种不同麸皮添加量的馒头在前 2 d 硬度值均呈现上升,上升趋势一致,并且都在第 2 d 达到最大值。相比较刚蒸制出来的新鲜馒头的硬度值,对照组、试样 A、试样 B、试样 C 在第 2 d 的硬度值分别是储藏

开始时的 5.87 倍、4.21 倍、4.08 倍、3.51 倍。在储藏的第 4 d,各个麸皮添加量馒头的硬度均呈现一定程度的下降,并在之后储藏期间基本保持不变。馒头储藏期间硬度的变化,主要是由于麸皮稀释了面筋^[30],破坏了面筋网络结构的形成^[31],所以随着麸皮添加量的增加,馒头体积变小,相对密度增大,馒头的硬度上升并且呈正相关。馒头硬度在前两天一直上升且在第 2 d 达到峰值,可能是因为馒头在储藏前两天水分分布变化最快,馒头老化速率最快,第 2 d 之后馒头硬度大致不变。

表 2 馒头储藏期间硬度变化

储藏时间/d	对照组	试样 A	试样 B	试样 C
0	1 740.44±12.31	2 331.78±45.36	4 520.48±12.24	6 532.11±51.19
1	7 834.38±13.17	8 144.15±53.01	10 910.09±30.03	15 572.82±12.00
2	9 815.63±19.24	10 218.40±27.10	16 021.93±67.44	19 951.85±53.57
4	8 154.26±12.33	9 229.36±59.58	15 385.41±1.09	19 190.90±54.43
6	8 502.57±29.65	10 113.44±93.87	15 322.74±95.84	18 644.63±12.70
8	8 884.43±37.32	10 825.09±53.93	14 799.20±85.65	17 434.36±71.48
10	9 950.61±34.98	10 137.93±5.65	14 541.64±63.33	17 095.64±12.65
15	9 718.29±32.58	11 056.39±8.26	15 050.24±6.63	18 567.84±37.70

2.5.2 麸皮添加量对馒头冷藏期间粘着性的影响

由表 3 可知,随着麸皮含量的增加,馒头的粘着性依次降低,且与麸皮添加量呈现一定的负相关;在储藏期间,馒头粘着性变化不大,但在储藏的第 1 d,粘着性下降,第 2 d 回升,并在之后的储藏期间,粘着性基本保持不变。馒头储藏期间粘着性的变化,主要是由于麸皮具有良好的吸水性和持水性,所以随着麸皮含量的添加,馒头粘着性增大;在馒头储藏期间,前两天水分变化较快,黏着性增大并达到最大值。第 2 d 后,水分含量变化较为缓慢,所以粘着性基本保持不变。

表 3 馒头储藏期间粘着性变化

储藏时间/d	对照组	试样 A	试样 B	试样 C
0	-1.72±0.13	-1.55±0.12	-3.42±0.23	-4.93±0.30
1	-4.68±0.50	-5.65±0.25	-8.27±0.65	-8.70±0.40
2	-0.23±0.02	-2.08±0.37	-4.46±0.34	-5.05±0.28
4	-0.13±0.01	-2.32±0.43	-3.88±0.26	-4.19±0.81
6	-0.63±0.01	-1.93±0.19	-3.24±0.40	-3.50±0.35
8	-0.54±0.05	-1.81±0.06	-2.98±0.19	-3.46±0.25
10	-0.57±0.03	-2.24±0.38	-3.28±0.34	-3.97±0.33
15	-0.61±0.01	-1.83±0.17	-4.11±0.39	-4.24±0.36

2.5.3 麸皮添加量对馒头冷藏期间回复性的影响

由表 4 可知,随着麸皮含量的增加,馒头的回复性差别不大;在储藏期间,不同麸皮添加量馒头回复性的变化一致。在馒头储藏的第 1 d 回复性发生显著变化,相比较刚蒸制出来的新鲜馒头的回复性值,对照组、试样 A、试样 B、试样 C 在第 1 d 回复性值分别是储藏开始时的 39.95%、36.32%、40.59%、49.93%,但是在第 1 d 之后,回复性基本保持不变。减压包装馒头储藏期间回复性的变化,说明馒头在第 1 d 储藏过程中,面筋结构发生显著变化,在之后的储藏过程中,变化不明显。

表 4 馒头储藏期间回复性变化 %

储藏时间/d	对照组	试样 A	试样 B	试样 C
0	45.95±0.60	47.43±0.19	44.83±0.33	43.37±0.03
1	18.36±2.18	17.23±1.24	18.20±2.41	21.66±3.32
2	16.38±2.76	17.69±2.55	19.64±0.81	20.51±0.40
4	16.59±1.58	19.52±0.43	16.44±1.66	18.80±1.76
6	16.65±1.59	18.33±1.39	16.71±1.30	19.89±1.11
8	16.22±2.87	18.31±0.28	15.89±0.45	17.36±2.60
10	16.42±0.61	14.94±1.95	16.85±3.68	16.43±1.75
15	17.54±1.52	15.95±2.76	15.29±0.38	18.42±2.60

2.5.4 麸皮添加量对馒头冷藏期间粘聚性的影响

由表 5 可知,随着麸皮含量的增加,馒头的粘聚性有所差别,但差别不大。在储藏期间,不同麸皮添加量馒头的粘聚性在第 1 d 发生显著变化,相比较刚蒸制出来的新鲜馒头的粘聚性值,对照组、试样 A、试样 B、试样 C 在第 1 d 的粘聚性值分别是储藏开始时的 55.37%、52.40%、54.04%、59.29%。但是在第 2 d 之后粘聚性基本保持不变,说明馒头储藏过程中在第 1 d 面筋结构发生显著变化后保持结构稳定。

表 5 馒头储藏期间粘聚性变化 %

储藏时间/d	对照组	试样 A	试样 B	试样 C
0	0.82±0.00	0.80±0.00	0.77±0.00	0.78±0.00
1	0.46±0.01	0.42±0.05	0.42±0.06	0.46±0.06
2	0.37±0.06	0.40±0.04	0.40±0.01	0.40±0.01
4	0.33±0.01	0.35±0.01	0.35±0.03	0.38±0.03
6	0.37±0.03	0.42±0.02	0.35±0.03	0.41±0.03
8	0.38±0.06	0.41±0.02	0.33±0.01	0.36±0.05
10	0.39±0.02	0.34±0.03	0.36±0.07	0.34±0.03
15	0.38±0.03	0.34±0.06	0.32±0.00	0.36±0.05

2.5.5 麸皮添加量对馒头冷藏期间弹性的影响

由表 6 可知,随着麸皮含量的增加,馒头的弹性依次变小,但变化不显著。在储藏期间,不同麸皮添加量馒头的弹性前 6 d 呈现下降趋势,

特别是第 1 d 下降最为明显, 相比较刚蒸制出来的新鲜馒头的弹性值, 对照组、试样 A、试样 B、试样 C 在第 1 d 的弹性值分别是储藏开始时的 94.97%、90.60%、70.10%、79.15%。在第 6 d 之后, 馒头弹性有所回升并基本保持不变, 且此时仍没达到刚蒸制出来的新鲜馒头的弹性, 之后的储藏过程中, 弹性虽有下降趋势, 但变化不明显。馒头储藏期间弹性的变化, 说明馒头在储藏的前 6 d, 其面筋弹性一直呈现变弱趋势, 且前 2 d 最快。第 6 d 以后, 馒头弹性的上升可能是馒头内部结构基本稳定。

表 6 馒头储藏期间弹性变化

储藏时间/d	对照组	试样 A	试样 B	试样 C
0	96.04±0.19	96.83±0.28	95.41±0.00	92.41±0.63
1	91.21±0.61	88.73±0.94	85.88±0.63	82.51±0.99
2	81.72±0.52	79.13±0.49	78.46±2.98	78.66±0.86
4	78.74±1.15	76.85±1.02	75.07±1.15	74.16±1.41
6	75.47±1.05	75.19±0.75	75.52±1.87	74.39±1.97
8	86.66±1.13	83.14±1.05	82.68±0.66	76.98±0.44
10	86.94±1.45	83.77±2.68	81.14±1.24	76.02±1.10
15	86.06±1.56	81.52±0.45	80.41±0.23	75.48±1.91

2.5.6 麸皮添加量对馒头冷藏期间胶着性的影响

由表 7 可知, 随着麸皮含量的增加, 馒头的胶着性依次变大, 且与麸皮添加量具有一定的关系。在储藏期间, 不同麸皮添加量馒头弹性前 2 d 变化最快, 并在第 2 d 达到最大值, 相比较刚蒸制出来的新鲜馒头的弹性值, 对照组、试样 A、试样 B、试样 C 在第 2 d 的胶着性值分别是储藏开始时的 262.76%、210.08%、150.21%、144.05%。在之后的储藏过程中基本不变, 但都比刚蒸制出

来的新鲜馒头胶着性大。馒头储藏期间胶着性的变化, 由其定义的计算公式可知胶着性是由馒头硬度和粘聚性决定的, 由此可知, 馒头胶着性的变化也是因为由于麸皮的添加, 稀释了面筋, 且在储藏过程中, 面筋结构发生了一定的变化导致。

表 7 馒头储藏期间胶着性变化

储藏时间/d	对照组	试样 A	试样 B	试样 C
0	1 434.99±0.22	1 866.59±0.10	3 471.73±0.71	5 062.39±0.82
1	3 416.47±2.19	3 576.40±7.68	5 027.69±9.20	7 155.71±8.75
2	3 770.59±4.31	3 921.34±1.21	5 214.83±1.78	7 292.21±6.84
4	3 434.25±9.75	3 847.10±7.56	5 172.05±0.04	7 130.68±2.17
6	3 554.08±5.50	3 777.37±6.65	5 393.60±4.99	6 851.07±2.62
8	3 411.62±2.22	4 081.59±6.01	5 321.69±4.56	6 302.52±8.37
10	3 398.13±6.16	3 963.93±0.20	5 191.36±5.03	6 238.16±3.90
15	3 426.70±1.95	4 020.23±0.46	5 128.05±0.03	6 221.29±9.09

2.5.7 麸皮添加量对馒头冷藏期间咀嚼性的影响

由表 8 可知, 随着麸皮含量的增加, 馒头的咀嚼性依次变大, 且与麸皮添加量具有一定的关系。在储藏期间, 不同麸皮添加量馒头咀嚼性前 2 d 馒头咀嚼性呈现上升趋势, 并在第 2 d 达到最大值, 相比较刚蒸制出来新鲜馒头的咀嚼性值, 对照组、试样 A、试样 B、试样 C 在第 2 d 的咀嚼性值分别是储藏开始时的 223.58%、163.01%、184.58%、154.55%。并在之后的储藏过程中基本不变, 但都比刚蒸制出来的新鲜馒头的咀嚼性大。馒头储藏期间咀嚼性的变化是由馒头硬度、粘聚性和弹性决定的, 由此可知, 馒头咀嚼性的变化也是因为由于麸皮的添加, 稀释了面筋, 且在储藏过程中, 面筋结构发生了一定的变化导致。

表 8 馒头储藏期间咀嚼性变化

储藏时间/d	对照组	试样 A	试样 B	试样 C
0	137 819.90±0.04	180 744.08±0.03	301 247.71±0.00	467 830.53±0.52
1	299 728.61±1.35	326 208.47±7.23	352 816.19±4.89	523 429.63±8.58
2	294 626.30±2.25	308 136.23±0.59	411 430.33±5.29	563 031.99±4.51
4	258 410.93±3.25	294 821.93±8.13	396 958.19±0.04	544 836.14±5.89
6	267 246.82±5.75	295 096.44±5.01	388 758.91±9.34	516 434.74±5.89
8	295 644.28±2.51	342 576.74±2.30	419 978.69±3.00	485 177.59±3.67
10	295 891.87±2.22	358 248.99±0.52	420 979.76±6.09	467 143.34±5.99
15	314 829.26±4.98	367 941.45±0.21	412 644.17±0.01	482 798.78±3.81


3 结论

热压处理麸皮的添加使面粉吸水性能改善显

著, 而且面粉的吸水性与热压处理麸皮的添加量具有极好的相关性, 其线性相关度 $R^2=0.996 9$ 。

热压处理麸皮的添加显著增加了馒头的含水量, 特别在储藏的初期水分含量高出对照样品 1%~2%。低场 NMR 测定结果显示麸皮良好的吸水性和持水性在一定程度上减弱水分的迁移流失。麸皮的添加使得馒头的强结合水和弱结合水都显著增加, 麸皮对弱结合水的持水能力要小于强结合水。适量的热压处理麸皮添加可以促进馒头对水分的保持, 有利于减缓馒头冷藏过程的老化。热压处理麸皮的添加使得馒头屈服值增加, 馒头硬度和胶着性值增加, 回复性和粘聚性值减小。考虑消费者口感的要求, 热压处理麸皮的添加量需要适当控制在合理范围。

参考文献:

- [1] 吴立根, 王岸娜, 屈凌波. 真空包装馒头常温储藏品质变化研究[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版), 2015, 3: 11-14.
 - [2] GUO X N, YANG S, ZHU K X. Influences of alkali on the quality and protein polymerization of buckwheat Chinese steamed bread[J]. Food Chemistry, 2019, 283(15): 52-58.
 - [3] GIANNONE V, LAURO M R, SPINA A, et al. A novel alpha-amylase-lipase formulation as anti-staling agent in durum wheat bread [J]. Lwt-Food Science and Technology, 2016, 65: 381-389.
 - [4] KIRUBANANDAN S, HAMID D, SWAMBABU V, et al. Nanocellulose films as air and water vapour barriers: A recyclable and biodegradable alternative to polyolefin packaging[J]. Sustainable Materials and Technologies, 2019, 22: 1-115.
 - [5] IZABELA S. Microbiological aspects of the interaction between food and packaging[M]. Reference Module in Food Science, 2017.
 - [6] 刘道春. 食品真空包装机械发展及其应用趋势[J]. 湖南包装, 2014, 1: 1822-1829.
 - [7] 谢晶, 邱伟强. 我国食品冷藏链的现状与展望[J]. 中国食品学报, 2013, 3: 1-7.
 - [8] 夏全刚. 相变材料应用于冷藏保鲜箱的试验研究[D]. 上海理工大学, 2015.
 - [9] 王璐. 包装材料对储藏小麦粉微生物与品质的影响研究[D]. 南京财经大学, 2011.
 - [10] PACIELLO L, LANDI C, ORILIO P, et al. Bread making with *Saccharomyces cerevisiae* CEN. PK113-5D expressing lipase a from *Bacillus subtilis*: leavening characterisation and aroma enhancement [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2015, 50(9): 2120-2128.
 - [11] ZHU F, SAKULNAK R, WANG S N. Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 1217-1223.
 - [12] FU J Tai, CHANG Y H, SHIAU S Y. Rheological, antioxidative and sensory properties of dough and Mantou (steamed bread) enriched with lemon fiber[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 61: 56-62.
 - [13] MARTINEZ M M, DIAZ A, GOMEZ M. Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 142: 49-56.
 - [14] 秦鹏, 程顺河, 马春喜. 蜡质小麦粉混合粉对馒头品质的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 6(10): 1275-1282.
 - [15] SIM S Y, NOOR AZIAH A A, CHENG L H. Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginates [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 951-957.
 - [16] LI J, KANG J, WANG L, et al. Effect of water migration between arabinoxylans and gluten on baking quality of whole wheat bread detected by magnetic resonance imaging (MRI) [J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2012, 60(26): 6507-6514.
 - [17] 温纪平, 郭林桦, 王华东, 等. 小麦加工调质方法的研究进展[J]. 食品科技, 2015, 40(2): 208-211.
 - [18] 王晓曦, 王绍文, 温钦豪, 等. 调质温度对中筋小麦品质特性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2011, 10: 5-9.
 - [19] 杨双, 郭晓娜, 朱科学. 碳酸氢钠添加对荞麦馒头品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(6): 6-12.
 - [20] 胡亚云. 质构仪在食品研究中的应用现状[J]. 食品研究与开发, 2013, 11: 101-104.
 - [21] 吕萍. 不同种类馒头的软硬度及其测试研究[D]. 河南工业大学, 2011.
 - [22] 王海鸥, 姜松. 质构分析(TPA)及测试条件对面包品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2004, 3: 1-4.
 - [23] 李秀玲, 姜小苓, 于红彩, 等. 核磁共振技术研究膳食纤维对馒头内部水分的影响[J]. 现代面粉工业, 2018, 6: 24-29.
 - [24] 刘伟, 刘成梅, 黎冬明, 等. 瞬时高压作用对麦麸膳食纤维改性的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 82-85.
 - [25] 胡云峰, 王晓彬, 路敏. 高膳食纤维青稞馒头的研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(5): 43-48.
 - [26] 孙敬捧, 王岸娜, 吴立根, 等. 亲水胶体和 α -淀粉酶对馒头冷藏期间品质变化的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2016, 1: 27-30.
 - [27] 何承云. 核磁共振及成像技术在馒头加工与储藏过程中的研究[D]. 南昌大学, 2006.
 - [28] 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]. 南昌大学, 2006.
 - [29] MARIUSZ W, JAROSLAW K, RAFAL Z, et al. Waxy starch as dough component and anti-staling agent in gluten-free bread[J]. LWT, 2019, 99: 476-482.
 - [30] 王华东. 热处理麸皮对麸皮馒头品质的影响[D]. 河南工业大学, 2016.
 - [31] DHINDA F, A J L, PRAKASH J, et al. Effect of ingredients on rheological, nutritional and quality characteristics of high protein, high fibre and low carbohydrate bread [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(8): 2998-3006. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。