

天然酵母发酵对面包老化的影响

王志军^{1,3}, 蔡金鑫^{2,3}, 虞桢芳³, 钱海峰³, 张 晖³,
李 言³, 吴港城³, 齐希光³, 王 立³

(1.中粮塔原红花(新疆)有限公司,新疆 塔城 834700;2. 福建盼盼食品集团有限公司,福建 晋江 362261;
3. 江南大学食品学院,江苏 无锡 214122)

摘要:以梨和脐橙两种水果为培养基质,得到两种水果天然酵母,研究了两种水果天然酵母对储藏期间面包的硬度、水分含量、水分活度和老化焓值的影响,并通过分析不同分离菌株对面包老化特性的影响,探究优势微生物对面包老化的影响机理。结果表明,天然酵母发酵能够减缓面包在储藏期间水分的损失,降低淀粉的回生焓值,其中梨组天然酵母面包(PSB)的淀粉回生焓值为对照组面包(CB)的 76.01%,脐橙组天然酵母面包(OSB)的淀粉回生焓值为 CB 的 80.66%。此外,乳酸菌发酵对减缓水分损失和抑制淀粉回生焓值的生长有积极影响。

关键词:天然酵母;面包;老化;乳酸菌;酵母菌

中图分类号:TS 213.2 文献标志码:A 文章编号:1673—1689(2018)09—0924—07

Effects of Sourdough Fermentation on Bread Staling

WANG Zhijun^{1,3}, CAI Jinxin^{2,3}, YU Yafang³, QIAN Haifeng³, ZHANG Hui³,
LI Yan³, WU Gangcheng³, QI Xiguang³, WANG Li³

(1. COFCO Tayuan safflower (Xinjiang) Co. Ltd, Tacheng 834700, China; 2. Fujian PanPan Foods Group Co., Ltd., Jinjiang 362261, China; 3. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The effects of spontaneous sourdoughs started with pear and navel orange fermentations on the staling of breads, including the hardness, moisture, water activity and starch retrogradation enthalpy. The influence of the isolates on the staling characteristics of the bread was also investigated, and the mechanism of the dominant microorganisms on the bread staling was explored. The results indicated that sourdough fermentation slowed the rate of moisture loss of the bread and inhibited the retrogradation of starch during storage. The starch retrogradation enthalpy of pear sourdough bread (PSB) was 76.01% of that of control (CB), and navel orange sourdough bread (OSB) was 80.66%. In addition, LAB had a positive effect on the reduction of moisture loss and the inhibition of starch retrogradation.

Keywords: sourdough, bread, staling, lactic acid bacterium, yeast

收稿日期: 2016-01-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(31471617)。

作者简介: 王志军(1975—),男,吉林白城人,工学学士,助理工程师,主要从事天然产物相关产品开发方面的研究。

E-mail: wang-zhijun@cofco.com

* 通信作者: 王 立(1978—),男,江苏溧阳人,工学博士,教授,博士研究生导师,主要从事谷物功能因子及健康食品方面的研究。

E-mail: wl0519@163.com

引用本文: 王志军,蔡金鑫,虞桢芳,等.天然酵母发酵对面包老化的影响[J].食品与生物技术学报,2018,37(09):924-930.

全世界许多国家都将面包作为日常主食。随着全球消费者越来越关注健康问题,被认为是天然和健康的天然酵母面包^[1-2]的需求迅速增加。天然酵母是利用培养基表面附着的野生酵母和乳酸菌培养起始菌种,加入面粉和水混合,经长时间发酵制成的发酵剂^[3]。谷物、水果或啤酒花都可以成为制备天然酵母的原料。天然酵母是发酵食品技术中最古老的方法之一,被用于生产发酵烘焙食品已超过 5 000 年^[3]。酵母菌和乳酸菌构成了天然酵母的微生物菌群,在面团发酵中产生各种有机酸和特殊风味成分,如醇、醛和酯等,能够赋予发酵面包独特的风味^[4]。此外,大量研究表明,天然酵母用于面团发酵可改善面包质构^[5],延长保质期^[6-7],提高营养特性^[8]。天然酵母可以提高无麸质面包的品质^[9],对霉菌有一定抑制作用,可用作生物防腐剂^[10]。

目前国内外关于天然酵母的研究大部分为谷物基质,而关于水果基质的天然酵母研究较少,而且从微生物角度分析天然酵母发酵对面包老化的影响相关报道较为少见。作者以梨和脐橙两种水果为培养基质,得到两种水果天然酵母,以普通酵母面包为对照,研究了两种水果天然酵母对储藏期间面包的硬度、水分质量分数、水分活度和老化焓值的影响。本课题组前期研究^[11]中已分离鉴定了两种自然发酵天然酵母中的主要微生物种类和数量,作者通过分析不同分离菌株单独发酵对面包老化特性的影响,探究梨组和脐橙组天然酵母中优势微生物对面包老化进程的作用,以期天然酵母的进一步研究应用提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料

小麦粉:上海商委商务发展有限公司;梨、脐橙、白砂糖、盐、牛奶:市售;即发性干酵母:安琪酵母股份有限公司;黄油和脱脂乳粉:恒天然商贸(上海)有限公司;植物乳杆菌、短乳杆菌、罗氏乳杆菌、

酿酒酵母菌:作者所在实验室前期研究^[11]分离得到。

1.2 设备

电热烤炉 BOD-102:上海早苗公司电热厂;电热可调温鼓风干燥箱:上海一恒科学仪器有限公司;面包搅拌机 SM50、单门醒发箱 SM-32S、切片机 SINMAG:新麦机械(无锡)有限公司;物性测试仪 TA·XT2i:英国 SMS 公司;水分活度仪 FA-ST:法国 GBX 公司;差示扫描量热仪 Q2000:美国 TA 仪器公司。

1.3 天然酵母的制备

1.3.1 自然发酵天然酵母 自然发酵天然酵母的制备方法参照作者所在课题组前期研究^[11]。

1.3.2 单菌种天然酵母 参照何晓赞^[12]的方法,并作适当修改。将前期在梨组和脐橙组天然酵母中分离得到的三株优势乳酸菌和一株酵母菌分别置于(37±1)℃和(28±1)℃下冻融回复,分别接种到 MRS 和 YPD 中过夜活化。将过夜活化后的菌液接种于 100 mL 灭菌液体培养基中,接种体积分数 2%,扩大培养 12 h。将扩培后的菌液于 5 000 r/min、4℃下离心 10 min,收集菌体。去上清液后用无菌水洗涤两次,并离心。去掉上清液,重悬。将上述菌液用无菌水稀释至相同浓度,再将其分别接种至面团,使得面团中的菌量保持在 10⁷~10⁹ cfu/g,将面团放置在 25℃下培养 12 h,得到单菌种天然酵母。

1.4 面包的制备

按照表 1 的配方进行面包的制备,和面工序为将奶油以外的成分低速搅动 3 min,高速搅动 4~5 min,转为低速,加入奶油,低速搅动 1~2 min,转为高速搅动 1~2 min。和面完成后,将面团表面整理光滑,室温下发酵 110 min。然后将面团分割成 75 g/份,分成 12 等份,搓圆整型,静置 30 min 后进行两次擀卷整型,放入土司模具盒。在温度 38℃,湿度 80%的醒发箱中醒发 80 min。烤箱 180℃预热 30 min,最后面包的焙烤温度为上火 180℃,下火 200℃,时间 28 min。

表 1 面包配方表

Table 1 Ingredients of breads

组别	面粉质量/g	水质量/g	酵母质量/g	牛奶质量/g	糖质量/g	盐质量/g	奶油质量/g
对照组	620	340	5 (市售酵母)	30	24	10	20
天然酵母组	500	220	240 (天然酵母)	30	24	10	20

1.5 面包硬度的测定

面包的全质构参数测定参考 AACC 74-09 (1999) 标准测试方法^[13]。将面包用切片机进行均匀切片, 每片厚度为 12.5 mm, 取中间两片测定全质构, 每组样品重复测定 6 次。测定参数为: P/36R 柱塞式探头, 测定速率 1.5 mm/s, 应变力 5 g, 应变程度 50%, 两次压缩间隔 5 s。

1.6 水分质量分数的测定

将面包样品密封保存在 4℃ 下, 保存 1、3、5、7 d 后取面包芯, 面包表皮和皮下 1 cm 处的面包按照国标 GB/T 5009.3—2016 的方法直接干燥法测定水分质量分数, 每组重复测定 3 次。

1.7 水分活度的测定

水分活度是利用水分活度仪 FA-ST 进行测定, 每组重复测定 3 次。

1.8 老化焓值的测定

参照 Torrieri 等人^[14]的方法, 将面包样品储藏在 4℃ 下, 保存 1、7 d 后取面包芯 10 mg, 利用 DSC 量热仪进行面包老化焓值的分析。温度范围为 20~120℃, 以 10℃/min 的速率升温。用 TA 软件分析面包的老化焓值, 每组重复测定 2 次。

1.9 数据处理

结果的表达采用平均值±标准偏差。数据采用 SPSS 22.0 软件和 Excel 进行统计分析, 采用 origin 8.0 软件进行绘图, 显著性水平设定在 5%。

2 结果与讨论

2.1 天然酵母发酵对面包储藏期间硬度变化的影响

从图 1 天然酵母对储藏期间面包硬度的影响可以看到, 3 组面包样品随着储藏时间的加长, 面包芯硬度均逐渐加大。造成这个现象的一部分原因是在储藏期间, 面包中的水分有所损失。另一方面则是面包中的淀粉随着时间的流逝逐渐老化回生, 使得面包硬度逐渐增大。对照组面包(CB)在储藏 3 d 后的硬度比 1 d 的硬度增长了 64.14%, 而梨组天然酵母面包(PSB)和脐橙组天然酵母面包(OSB)分别增加了 6.40% 和 10.12%。这表明在储藏初期, 两组天然酵母的使用均显著延缓了面包的硬度增长($p < 0.05$)。PSB 和 OSB 硬度增长幅度最大的时间段为储藏 3~5 d, 在这时间段内 PSB 的硬度增长了 25.38%, OSB 的硬度增长了 28.44%。储藏 7 d 后,

CB 的硬度增长为储藏前的两倍, 而 PSB 和 OSB 分别增长了 56.16% 和 47.66%。这个增长趋势与张薇^[15]的研究结果一致, 表明天然酵母发酵能延缓面包硬度的增长趋势。

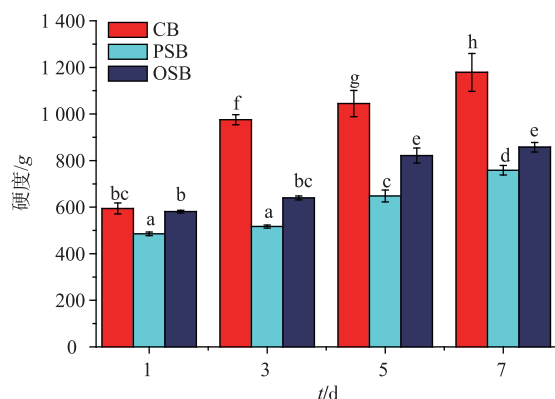


图 1 天然酵母对储藏期间面包硬度的影响

Fig. 1 Influences of sourdough on the hardness of breads during storage

2.2 天然酵母发酵对面包储藏期间水分质量分数变化的影响

面包从进烤箱开始到储存过程中一直在发生水分的迁移进程, 特别是储存过程的水分迁移与面包的老化息息相关。在烘烤过程中, 面包的表皮最先接触高温, 使得水分因高温气化而损失, 表皮到面包芯的温度呈梯度降低, 水分质量分数则呈梯度上升。水分由高梯度的面包芯逐渐往低梯度的面包外皮转移。烘烤结束后冷却过程, 随着外界温度的降低, 这个迁移过程进入了一个缓冲期。储存期间, 虽然水分的迁移速率得到减缓, 但由于梯度效应的存在使得水分迁移过程仍在继续。

图 2 为储藏期间天然酵母面包各部分的水分质量分数图。从图中可知, 面包表皮的水分质量分数随着储存时间的延长而逐渐上升, 1~3 d 内面包表皮的水分质量分数增长速率和表皮 1 cm 处的水分减少速率较快, 面包芯的水分质量分数降低速率较慢。这是因为表皮 1 cm 处和面包外皮的水分梯度大且距离近, 故水分迁移较快, 而面包芯和表皮 1 cm 处的水分质量分数差距相对较小, 迁移速率较为缓慢。孙银凤等^[16]也对酸面团面包老化过程中的水分迁移提出了相似的推测。随着时间的延长, 面包表皮和表皮 1 cm 处的水分梯度减小, 而面包芯与表皮 1 cm 处的水分梯度加大, 面包表皮的水分增

长进展减缓,而面包芯的水分降低速率加快。与CB相比,两组天然酵母面包中各处水分质量分数的变化速率均相对缓慢,这与图1中面包硬度变化趋势形成对应。这个现象表明,天然酵母对抑制面包内的水分重新分布有积极作用^[17],因此天然酵母的使用可延缓面包芯在储藏期间的水分质量分数损失。此外,有研究表明,天然酵母中乳酸菌的代谢物(有机酸和胞外多糖)对水分和面包之间的相互作用也会有所影响^[19]。

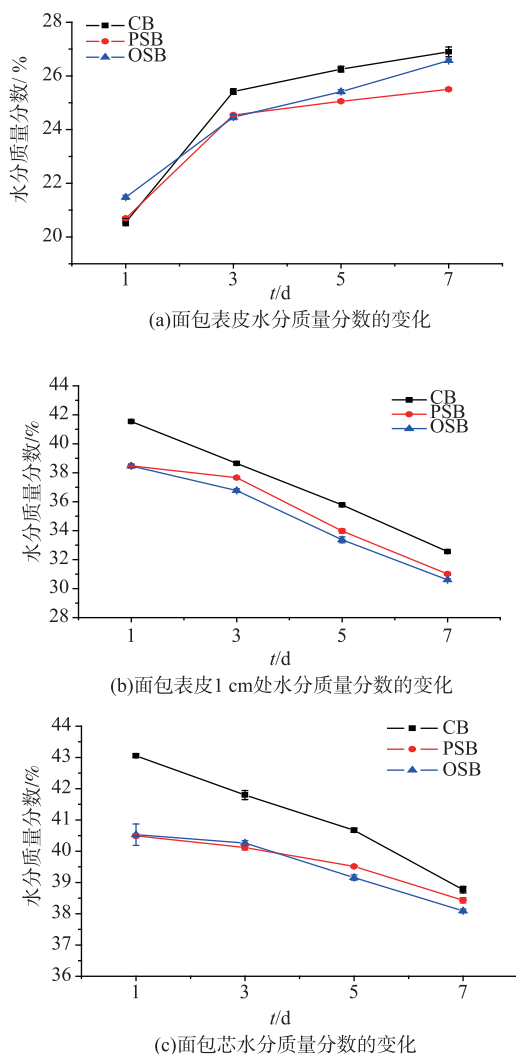


图2 储藏期间天然酵母面包各部分的水分质量分数

Fig. 2 Moisture of breads during storage

2.3 天然酵母发酵对面包储藏期间水分活度变化的影响

面包在焙烤过后的销售期间发生老化,使得面包硬化,感官品质变差,是造成企业经济损失的重

要因素之一。众所周知,水分活度(A_w)测定的是自由水。淀粉回生是指淀粉分子从杂乱无序的状态重新恢复到井然有序的状态^[18]。在淀粉回生过程中,淀粉分子与水分子发生结合,一部分自由水变成结合水,因此体系内的 A_w 会发生变化。从图3可知,CB的 A_w 在储藏过程中随着天数的增加而降低,与PSB和OSB相比,变化趋势较为显著。这个现象说明CB在储存期间一部分自由水与淀粉发生结合,淀粉回生。天然酵母面包的 A_w 则基本保持稳定或略有减少,说明天然酵母对面包的老化具有一定的延缓作用。这个现象与万晶晶^[19]得到的水活变化趋势相似。

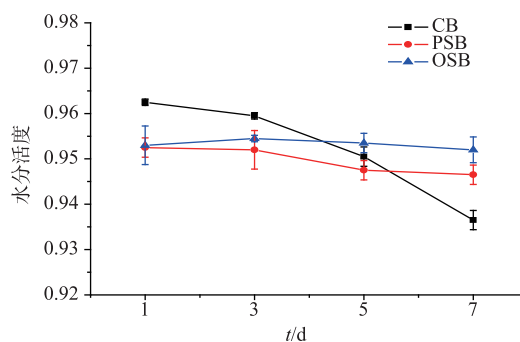


图3 储藏期间天然酵母面包的水分活度

Fig. 3 Water activity of breads during storage

2.4 天然酵母发酵对面包储藏期间老化焓值的影响

图4为三组面包样品在4℃下储藏1 d和7 d后的老化焓值。淀粉回生是导致面包硬化的主要影响因素^[20]。储藏1 d后CB的老化焓值为1.091 0 J/g, PSB的老化焓值比CB降低了27.27%, OSB降低了20.03%。储藏7 d后,CB的老化焓值增长到2.300 5 J/g,而PSB的老化焓值仅为CB的76.01%, OSB的老化焓值仅为CB的80.66%。天然酵母对面包老化的延缓作用,是因为天然酵母的酸性环境,较低的pH会抑制淀粉的回生过程。另外文献^[21]认为,天然酵母中的乳酸菌可以分泌胞外淀粉酶,淀粉酶可将大分子淀粉水解成小分子糊精,糊精可阻碍淀粉和水结合,对淀粉的回生过程有抑制作用。乳酸菌在新陈代谢中分泌的天然胶体——胞外多糖,对面包的老化也有影响^[22]。Katina等^[23]通过研究麸皮制备天然酵母发酵对面包老化的影响,发现天然酵母对高纤维面包的老化焓值增长具有弱化作用。

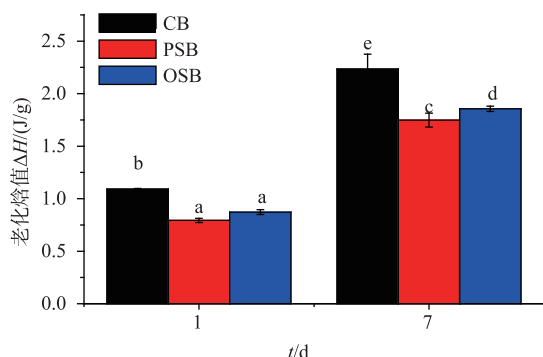


图4 储藏期间面包的淀粉回生焓值

Fig. 4 Starch retrogradation enthalpy changes of bread during storage

2.5 不同菌种发酵对面包老化特性的影响

两组天然酵母的使用显著延缓了面包的老化进程,猜测天然酵母中的乳酸菌对延缓效果有显著作用。因此通过分析不同分离菌株发酵条件下面包在储藏期间水分迁移和老化焓值变化,研究乳酸菌和酵母菌单独发酵对面包老化品质的影响。

2.5.1 水分迁移 图5显示了储藏期间不同菌种面包的水分质量分数。从图5(a)~(c)中可看到,面包表皮的水分质量分数随着储藏时间的延长而不断增长,储藏7 d后,五组样品的面包表皮的水分质量分数分别增长了30.91%、17.92%、16.56%、16.31%和15.50%,且增长速率最大的时间段均为

3~5 d。皮下1 cm 处的水分质量分数略有下降,而面包芯的水分质量分数随着天数的增长而显著下降。五组样品的面包芯水分质量分数分别降低了9.95%、6.06%、6.47%、6.85%和5.43%。五组样品中,植物乳杆菌组的增长幅度和下降幅度均相对较小。这个现象表明菌种类型对储藏期间面包水分质量分数的变化趋势影响不大。从图5(d)中可以看到,乳酸菌和酵母菌单独发酵对面包储藏期间 A_w 的影响存在一定差异。CB 和酿酒酵母 LY4 两组的 A_w 在储藏期间均呈下降趋势,下降了3.48%左右,而三组乳酸菌组的 A_w 则变化趋势不大。表明乳酸菌的存在是影响天然酵母对面包老化的延缓作用的主要因素。这与 Corsetti 等人^[24]的结果保持一致。Jonkuvienė 等人^[10]也报道称乳酸菌发酵是一种可以延缓面包老化和抑制微生物腐败的天然有效的方法。

2.5.2 老化焓值 图6为不同菌种发酵面包在4℃下7 d后的老化焓值。从图中看到,储藏7 d后,CB 的老化焓值为2.3005 J/g,酿酒酵母组为单一酵母菌株发酵,因此该组的老化焓值与CB 的没有显著性差异($p>0.05$)。3种乳酸菌单独发酵对面包的老化焓值均有一定的降低作用,这个现象也说明了天然酵母对面包老化的延缓主要是乳酸菌发酵在发挥作用。罗氏乳杆菌组的老化焓值比CB 组降低了

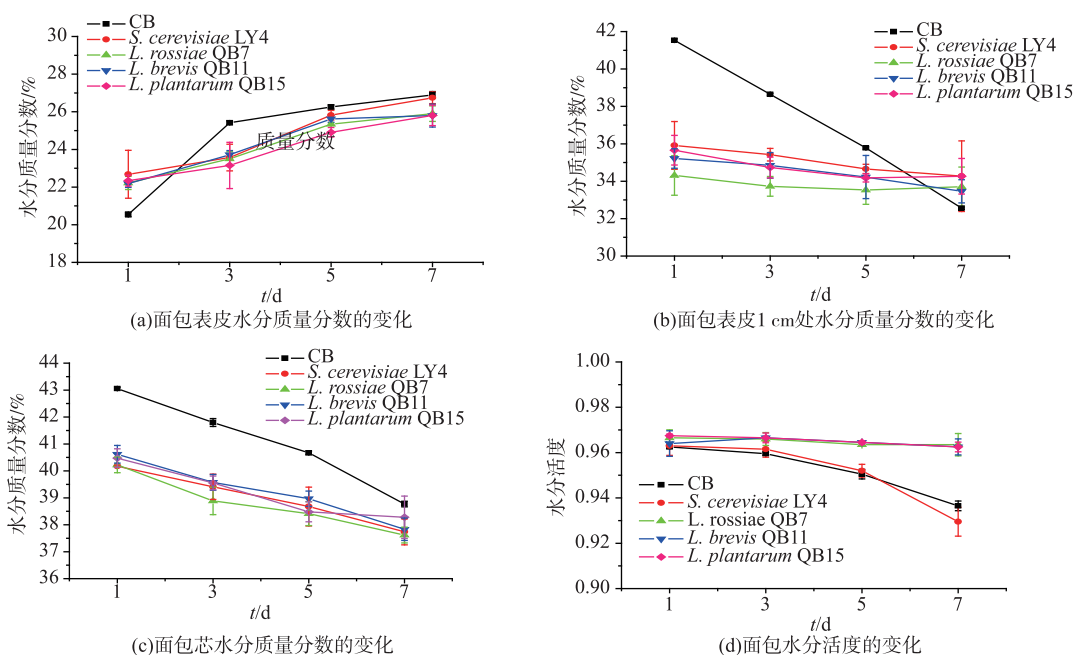


图5 储藏期间不同菌种面包的水分迁移

Fig. 5 Moisture of breads produced with different strains during storage

14.85%,短乳杆菌组和植物乳杆菌组分别降低了29.15%和14.54%。短乳杆菌对面包老化焓值增长的延缓作用更有效。该结果证实了乳酸菌在天然酵母抑制面包老化的过程中有着不可或缺的作用,推测乳酸菌对面包老化的延缓作用是通过酸性环境抑制淀粉回生过程和分泌的胞外多糖的保水作用,乳酸菌分泌的淀粉酶对延缓老化也有一定的影响。张薇等人^[25]也将天然酵母延缓面包老化归因于体系中乳酸菌的存在。

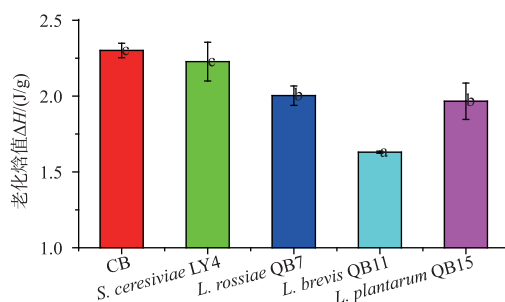


图6 储藏7 d后不同菌种面包的淀粉回生焓值

Fig. 6 Starch retrogradation enthalpy of bread after storage

万晶晶^[21]发现添加乳酸菌天然酵母发酵的燕麦面包对储藏过程中的老化焓值增长有显著的延缓作用。Corsetti等^[26]研究发现,植物乳杆菌和酿酒酵母协同培养的天然酵母发酵对储藏过程中面包的

硬度增长有一定的延缓效果,硬度增长速率比普通酵母面包显著降低,老化焓值的增长也较为缓慢。他们同样推测原因是乳酸菌发酵可通过分泌的活性代谢物延缓面包在贮藏过程中的水分迁移过程,从而抑制面包的老化。乳酸菌发酵创造的酸性环境也会抑制淀粉的重结晶过程。此外,由于pH的降低,面粉的内源性蛋白酶和淀粉酶在合适的pH环境下活性得到了提高,降解蛋白质大聚合体和淀粉分子,改变蛋白质-淀粉结构,生成的小分子糊精对抑制淀粉重结晶也有积极作用。

3 结语

天然酵母发酵能延缓面包硬度的增长趋势,储藏7 d后,CB的硬度增长为原来的两倍,而PSB和OSB分别增长了56.16%和47.66%。天然酵母发酵能够减缓面包在储藏期间水分的损失,降低淀粉的回生焓值,其中储藏7 d后PSB的淀粉回生焓值为CB的76.01%,OSB的淀粉回生焓值为CB的80.66%。乳酸菌发酵对减缓水分损失和抑制淀粉回生焓值的增长有积极影响,其中短乳杆菌单独发酵对延缓面包老化有显著效果。因此,推测本研究所用天然酵母中共存的乳酸菌是其改善面包储藏品质、延缓老化的重要因素,后续还将进一步就天然酵母中的乳酸菌存在情况开展相关研究。

参考文献:

- [1] GOBBETTI M, RIZZELLO C G, DI CANGO R, et al. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods[J]. *Food Microbiology*, 2014, 37(5): 30-40.
- [2] LIU T J, LI Y, CHEN J C, et al. Prevalence and diversity of lactic acid bacteria in Chinese traditional sourdough revealed by culture dependent and pyrosequencing approaches[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 68: 91-97.
- [3] WANG Li, YU Yafang, QIAN Haifeng, et al. Study on sourdough bread [J]. *Food and Machinery*, 2016, 32 (9): 201-208. (in Chinese)
- [4] RIPARI V, CECCHI T, BERARDI E. Microbiological characterisation and volatiles profile of model, ex-novo, and traditional Italian white wheat sourdoughs[J]. *Food Chemistry*, 2016, 205: 297-307.
- [5] MAMHOUD A, NIONELLI L, BOUZAIN T, et al. Selection of lactic acid bacteria isolated from Tunisian cereals and exploitation of the use as starters for sourdough fermentation[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2016, 225: 9-19.
- [6] CEVOLI C, GIANOTTI A, TRONCOSO R, et al. Quality evaluation by physical tests of a traditional Italian flat bread Piadina, during storage and shelf-life improvement with sourdough and enzymes[J]. *European Food Research & Technology*, 2015, 240(6): 1081-1089.
- [7] RIZZELLO C G, CASSONE A, CODA R, et al. Antifungal activity of sourdough fermented wheat germ used as an ingredient for bread making[J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3): 952-959.

- [8] KOPEC A, BORCZAK B, PYSZ M, et al. An addition of sourdough and whey proteins affects the nutritional quality of wholemeal wheat bread[J]. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, 2014, 13(1): 43-54.
- [9] CAMPO E, DEL ARCO L, URTASUN L, et al. Impact of sourdough on sensory properties and consumers' preference of gluten-free breads enriched with teff flour[J]. **Journal of Cereal Science**, 2015, 67: 75-82.
- [10] JONKUVIENE D, VAICIULYTE-FUNK L, SALOMSKIENE J, et al. Potential of *Lactobacillus reuteri* from spontaneous sourdough as a starter additive for improving quality parameters of bread [J]. **Food Technology & Biotechnology**, 2016, 54(3): 342-350.
- [11] YU Y F, WANG L, QIAN H F, et al. Contribution of spontaneously-fermented sourdoughs with pear and navel orange for the bread-making[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2018, 89: 336-343.
- [12] 何晓赟. 乳酸菌发酵类型对老酵馒头风味特性的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 17.
- [13] AACC 74-09, Measurement of Bread Firmness by Universal Testing Machine[S]. 1999.
- [14] TORRIERI E, PEPE O, VENTORINO V, et al. Effect of sourdough at different concentrations on quality and shelf life of bread [J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2014, 56(2): 508-516.
- [15] 张薇. 葡萄自然发酵酸面团菌群结构及发酵面包烘焙品质研究[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 34-35.
- [16] SUN Yinfeng, XU Yan, HUANG Weining, 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. (in Chinese)
- [17] GANZLE M, GOBBETTI M. Handbook on Sourdough Biotechnology[M]. New York: Springer, 2012: 85-285.
- [18] CAO Lisong, LIU Yawei, LIU Jie, et al. Research progress on starch aging measurement technology[J]. **Cereal and Feed Industry**, 2014, 12(3): 30-34. (in Chinese)
- [19] 万晶晶. 乳酸菌发酵影响燕麦酸面团面包烘焙特性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011: 22-24.
- [20] 沙坤. 中国主食馒头老化及其抑制的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007: 29-46.
- [21] ROUZAUD O, MARTINEZ-ANAYA M A. Relationships between biochemical and quality-related characteristics of breads, resulting from the interaction of flour, microbial starter and the type of process[J]. **Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –Forschung A**, 1997, 204(4): 321-326.
- [22] GALLE S, ARENDT E K. Exopolysaccharides from sourdough lactic acid bacteria[J]. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, 2014, 54(7): 891-901.
- [23] KATINA K, SALMENKALLIO-MARTTILA M, Partanen R, et al. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2006, 39(5): 479-491.
- [24] CORSETTI A, GOBBETTI M, BALESTRIERI F, et al. Sourdough lactic acid bacteria effects on bread firmness and staling[J]. **Journal of Food Science**, 1998, 63(2): 347-351.
- [25] ZHUANG Wei, CHENG Xiaoyan, HUANG Weining, et al. Nutritional properties, staling characteristics and volatile flavor compounds of natural yeast sourdough bread[J]. **Food Science**, 2014, 35(23): 33-38. (in Chinese)