

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20180128

耐酸性 α -淀粉酶在酸面团面包抗老化中的应用

王俊英¹, 任璐¹, 王强², 李玉¹, 李文钊², 路福平¹

(1. 天津科技大学生物工程学院, 天津 300457;

2. 食品营养与安全国家重点实验室, 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457)

摘要: 以商业 α -淀粉酶及不加酶的样品为对比, 考察一种新的耐酸性 α -淀粉酶 AmyE 在酸面团面包抗老化方面的作用. 测定了面团的 pH、总酸度及还原糖含量, 分析了 7 d 储藏过程中面包心的质构、水分含量及回生焓的变化. 与添加商业 α -淀粉酶的样品和对照样品相比, 补充 AmyE 的样品面团中还原糖含量更高, 其储藏过程中的质构变化更优, 即具有较小的硬度和咀嚼度, 较大的弹性. 加入耐酸性 α -淀粉酶后, 面包心在贮存期间水分的散失明显减缓, 回生焓上升趋势减慢, 其中添加 AmyE 15 U/g 的效果最好, 并且优于添加等量商业 α -淀粉酶. 这表明耐酸性 α -淀粉酶 AmyE 在延缓酸面团面包老化方面效果显著.

关键词: 耐酸性 α -淀粉酶; 酸面团面包; 抗老化; 质构; 回生焓

中图分类号: Q814.9

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2019)04-0009-07

Application of Acid Resistant α -Amylase in Anti-aging of Sourdough Bread

WANG Junying¹, REN Lu¹, WANG Qiang², LI Yu¹, LI Wenzhao², LU Fuping¹

(1. College of Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. State Key Laboratory of Food Nutrition and Safety, College of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the anti-aging effect of a new acid resistant, α -amylase AmyE, in sourdough bread, in comparison with the commercial α -amylase and also with the control without any enzymes. The pH value, total titratable acidity and reducing sugar content of the dough were measured. Texture, moisture content and retrogradation enthalpy of bread crumb during 7 days of storage were analyzed. Compared with the commercial α -amylase supplemented dough and the control, the reducing sugar content of the AmyE supplemented dough was higher, its texture was better during storage, and it had smaller hardness and chewiness but greater elasticity. After adding α -amylase, the moisture loss of bread crumb obviously slowed down and the trend of enthalpy increase was slower during storage. In three different concentrations of AmyE, 15 U/g flour exhibited the best effect and was superior to the commercial α -amylase of the same concentration. The results showed that acid resistant α -amylase AmyE has some significant effect on the aging of sourdough bread.

Key words: acid resistant α -amylase; sourdough bread; anti-aging; texture; retrogradation enthalpy

新制作的面包具有较好的口感、较松软的组织结构且富有弹性, 但是在贮藏期间, 面包会出现由软变硬、组织结构松散粗糙、口感变差以及特有风味消失的老化现象^[1]. 目前, 在世界范围内, 由于老化而造

成了食品的大量浪费, 因此如何延长食品的货架期就成为科研人员关心的话题. 采用酸面团可以延缓老化现象, 酸面团是由水和面粉经由酵母和乳酸菌发酵而成的混合体系^[2-3]. 酸面团可以提高面包的质量和

收稿日期: 2018-04-27; 修回日期: 2018-06-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31671806)

作者简介: 王俊英(1981—), 女, 河南人, 讲师, 博士研究生; 通信作者: 路福平, 教授, lfp@tust.edu.cn

营养,由酸面团发酵而制作的面包具有很多优势,如赋予面包浓郁的香味、提高面包的感官品质、延缓面包的老化、防止面包因染菌而引起的腐败、延长货架期^[4-6]。研究^[7-9]表明,酶制剂的使用也可以延缓面包的老化,其中 α -淀粉酶是最常用的酶制剂。但由于细菌 α -淀粉酶容易导致面包心发黏的问题^[10],因此真菌 α -淀粉酶更适合于面包的生产。

目前,用于小麦面包的商业真菌 α -淀粉酶大多来源于曲霉属^[11],最适 pH 为 5.5~6.0。采用酸面团发酵面包通常会使面团 pH 更低,显然,大多数 α -淀粉酶在此环境下将迅速失活,必然限制了 α -淀粉酶在酸面团面包的应用。到目前为止,很少有适合于应用到酸面团面包的耐酸性 α -淀粉酶的报道^[12]。本实验室通过前期研究^[13]发现,黑曲霉来源的 α -淀粉酶 AmyE 在 pH 4.5 具有最好活性,且 pH 在 4.0~5.0 稳定。本文以不添加淀粉酶的样品作为对照,比较商业 α -淀粉酶与新型 AmyE 对酸面团面包老化的影响。

1 材料与方法

1.1 实验原料与仪器

植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*),天津科技大学乳制品微生物保藏中心;活性干酵母,安琪酵母有限公司;商业 α -淀粉酶(CA,米曲霉来源),上海源叶生物技术有限公司;耐酸性 α -淀粉酶 AmyE,本实验室制备;商业小麦高筋粉(基本成分:水分 13.2%、脂肪 2%、蛋白质 23%、灰分 0.7%、总膳食纤维 2.6%),新良粮油加工有限责任公司;盐、白砂糖、葵花籽油为市售食品级。

HM740 型多功能厨师机,青岛汉尚电器有限公司;CF-3500 型家用发酵箱,中山卡士电器有限公司;CRWF32KE 型烤箱,佛山市伟仕达电器实业有限公司;BVM6630 型面包体积测定仪,瑞典波通公司;TA.XT. Plus 型质构仪,英国高德明科技有限公司;S20K 型 pH 计,梅特勒仪器有限公司;722N 型分光光度计,北京谱析通用仪器有限责任公司;60 Plus/60 A 型差示扫描量热仪,日本岛津公司。

1.2 酸面团面包的生产工艺

1.2.1 工艺流程

植物乳杆菌的活化与培养→酸面团的制备→发酵→面包面团的制备→醒发→分割做型→烘焙→包装→储藏

1.2.2 操作要点

植物乳杆菌的活化与培养:取活化的植物乳杆菌

置于 MRS 肉汤培养基中 30℃ 增殖培养 12~16 h 至对数生长期(菌体浓度达到 10^8 mL⁻¹),5 000 r/min 离心 20 min,收集乳杆菌细胞,冲洗 2 次,用灭菌的 0.15 mol/L 的氯化钠溶液重悬(菌体浓度达到 10^9 mL⁻¹),用于面团接种。

乳酸菌酸面团的制备:100 g 小麦高筋面粉、100 mL 去离子水^[14]、10 mL 的标准化植物乳杆菌悬液制备酸面团,将酸面团放入恒温恒湿培养箱中 30℃ 发酵 16 h^[15]。

面包面团的制备与醒发:称取小麦高筋粉(100%计)、活性干酵母(1.5%)、乳酸菌酸面团(20%),盐(1%)、白砂糖(6%)、葵花籽油(3%)、商业 α -淀粉酶(15 U/g)或耐酸性 α -淀粉酶 AmyE(0、10、15、20 U/g)、纯净水(60%),使用 HM740 型多功能厨师机搅拌 10 min,混合好的面团置于醒发箱中 38℃、65%相对湿度醒发 1 h 后成为酸面包面团。空白对照为不加任何淀粉酶的面团,其他条件相同。

面包的制备:醒发好的面团统一分割成每个 80 g,做型。将烤箱温度设定为上层 185℃、下层 180℃,放入面团烘焙 30 min。烘焙结束后,将面包从模具中取出,放在货架上室温冷却 90 min,装入聚乙烯食品袋包装^[16]。

面包的储藏:将完成包装的面包于室温(25℃)放置 7 d,分别在 0、1、3、5、7 d 取样检测。每组样品作 6 个平行取平均值。

1.3 应用分析

1.3.1 pH、总酸度与还原糖含量的测定

取 10 g 面包面团或面包样品,放入 90 mL 无菌蒸馏水均质。用 pH 计测定溶液的 pH;面团的总滴定酸度采用滴定法测量,使用 0.1 mol/L 的 NaOH 溶液中和均质液直到 pH 达到 8.1。总滴定酸度(TTA)用消耗的 NaOH 溶液的体积(mL)表示。所有的测定至少重复 3 次取平均值。

称取 10 g 面包面团或面包样品,加入 90 mL 的蒸馏水,放在磁力搅拌器上,调节温度达到 50℃,搅拌 30 min 使溶液充分搅匀。5 000 r/min 离心 5 min。使用改良的 DNS 法对上清液中的还原糖含量进行测定^[17]。

1.3.2 面包的感官评定

请 20 名人员对面包进行感官评定,结果取平均值,感官评定的标准^[18]见表 1。

1.3.3 面包的质构特性

每个面包选取面包心,切成 2 cm × 2 cm × 2 cm 大小,使用 TA.XT. Plus 质构仪进行全质构分析。选

用 P36R 探头, 采用 TPA 检测模式, 测试速度为 1.0 mm/s, 压缩到原始高度的 50%, 第 1 次和第 2 次压缩之间的松弛时间为 5 s^[19]. 每个样品测 5 次并取平均值.

表 1 酸面团面包感官评分标准

Tab. 1 Sensory evaluation standards of sourdough bread

项目	评分标准	分值
形态	完整, 丰满, 无明显焦斑	16 ~ 20
	完整, 略有斑点	10 ~ 15
	有缺陷, 裂痕明显	5 ~ 9
表面色泽	金黄色, 色泽均匀	16 ~ 20
	淡黄色, 色泽不均匀	10 ~ 15
	表面烤焦或发白	5 ~ 9
组织	细腻, 有弹性, 气孔均匀, 切片后不断裂	16 ~ 20
	气孔不均匀, 切片后不断裂	10 ~ 15
	有明显大空洞, 切片断裂	5 ~ 9
气味	具有发酵和烘焙后面包的浓郁香味	16 ~ 20
	面包香味较淡	10 ~ 15
	无面包香味或有异味	5 ~ 9
口感	松软适口, 不粘牙, 无异味	16 ~ 20
	松软, 略有牙碜	10 ~ 15
	口感粗糙, 粘牙	5 ~ 9

1.3.4 面包中心的水分含量

面包中心水分含量按 GB/T 5009.3—2016^[20]方法进行测定.

1.3.5 面包的回生焓检测

面包的回生焓采用 60 Plus/60 A 差示扫描量热仪 (DSC) 进行测定. 称取 5 mg (干基) 的面包冻干粉末放入 DSC 盘, 加入蒸馏水, 使水与面包的质量比为 3 : 1, DSC 盘密封后, 室温下平衡过夜, 以 10 °C/min 的速率加热 DSC 盘, 使温度从 25 °C 升温到 120 °C, 同时以空的 DSC 盘作为对照.

1.4 数据统计分析

使用 SPSS 19.0 软件计算分析, 数据结果以“平均值 $\pm$ 标准差”表示.

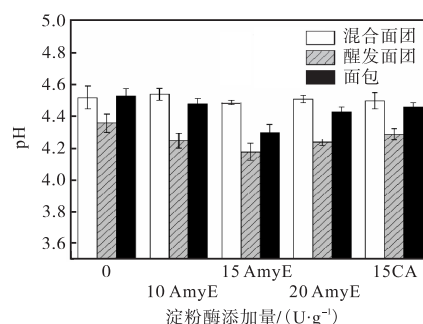
2 结果与讨论

2.1 面团及其面包的 pH、TTA 和还原糖含量

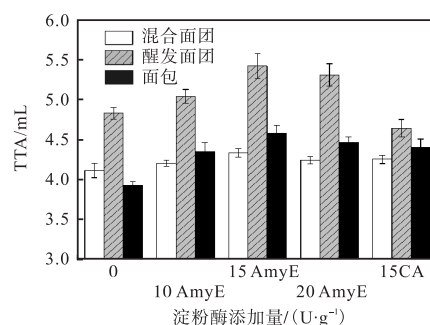
刚混合好的面包面团 (醒发前)、醒后面团以及面包的 pH、TTA 和还原糖含量的测定结果如图 1 所示.

随着面团醒发的进行, 面团的 pH 总体呈下降趋势. 在发酵初期, 面团含有大量的空气, 酵母主要通过有氧呼吸作用进行繁殖和代谢. 随着氧气逐渐被消耗, 酵母开始进入无氧发酵阶段, 产生二氧化碳的

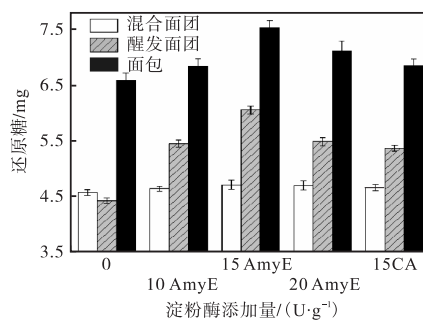
过程中会产生乳酸, 导致面团 pH 大幅降低 (图 1(a)). 与对照相比, 在同一时期, 加酶的样品具有较低的 pH 和较高的 TTA (图 1(b)), 并且 AmyE 比 CA 的作用更加明显. α -淀粉酶是一种糖苷水解酶, 催化淀粉中的 α -(1, 4)-糖苷键产生葡萄糖、麦芽糖和糊精等^[21]. 植物乳杆菌通常利用一些糖类如葡萄糖、麦芽糖、果糖作为能源, 用于维持细胞生存和繁殖^[22]. 由图 1(a)可以看出, 混合面团的 pH 在 4.48 ~ 4.53 范围内, 而醒后面团的 pH 在 4.17 ~ 4.35 范围内. α -淀粉酶的活性与 pH 有关. CA 最适 pH 范围是 5.0 ~ 5.5, 而 AmyE 最适 pH 范围是 4.0 ~ 5.0, 且在 pH 4.5 时活性最强^[13]. 因此混合面团中的 pH 环境非常有利于 AmyE 发挥作用.



(a) pH



(b) TTA



(c) 还原糖

图 1 混合面团、醒发面团和面包的 pH、TTA 和还原糖
Fig. 1 pH value, TTA and reducing sugar of mixed dough, proofed dough and bread

与对照相比,添加 AmyE 使基质中还原糖的水平也随之增加(图 1(c)). 还原糖含量的提高,对酵母和乳酸菌的生长和新陈代谢都会产生积极的影响. 酸面团面包具有很多优点,如改善面包的风味和较强的抗菌性能,这些都与乳酸菌的新陈代谢密切相关^[2,23]. 另一方面,增强了酵母的代谢活动,使之释放出更多的二氧化碳,从而使面包比容增大及具有较柔软的质地.

2.2 新鲜面包的感官评定

不同酸面团面包的感官评定结果见表 2. 新鲜面包的总体得分都在 85 分以上,基本达到正常面包应有的品质. 与对照相比,加入 α -淀粉酶后,面包表面色泽金黄,切片具有多而均匀的气孔结构,面包香味更加浓郁,口感更加松软. 其主要原因是添加 α -淀粉酶增加了面团中的还原糖含量,从而增强了酵母的代谢活动,产生更多的二氧化碳气体,使面包的体积增大,口感更加松软^[24]. 同时,还原糖在面包烘焙过程中还可参与美拉德反应,有助于增加面包的外表色泽.

表 2 不同酸面团面包的感官评定结果(分)

Tab. 2 Sensory evaluation of different bread samples

感官指标	对照	10 U/g AmyE	15 U/g AmyE	20 U/g AmyE	15 U/g CA
形态	16.2	17.5	19.7	17.4	16.9
色泽	15.7	17.3	19.6	19.4	16.5
组织	17.8	18.9	19.2	19.3	18.7
气味	16.9	17.4	19.8	19.6	18.5
口感	18.6	19.3	19.9	19.2	18.3
总分	85.2	90.4	98.2	94.9	88.9

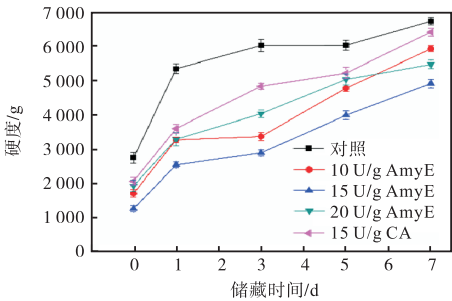
2.3 面包储藏过程中的质构变化

质构分析已被证明与相关的感官评定密切相关,并且可以用这些指标评估面包的质量^[25]. 不同面包样品在储藏过程中质构的变化如图 2 所示.

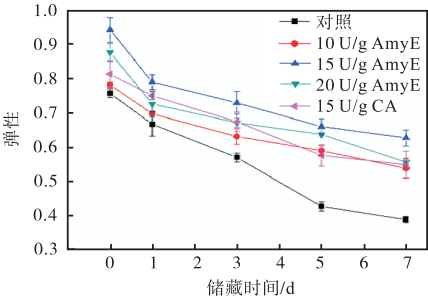
面包在储藏期间,随着时间的延长,面包心的硬度和咀嚼度逐渐上升,弹性逐渐下降. 因此,这些变化的速度决定了面包的质量. 添加不同种类及不同浓度的 α -淀粉酶对面包心质构的影响较大. 与空白对照相比,添加 AmyE 后可以显著降低面包心的硬度和咀嚼度,增加其弹性. 其中,添加量为 15 U/g 效果最好,并且优于等量的 CA. 不同类型的面包心样本在内聚性方面显示出无显著差异.

综上所述,添加 AmyE 的面包样品在储藏过程中的质构变化要优于对照组和同等加酶量的商业 α -淀粉酶组,其主要原因可能是 AmyE 水解淀粉生成较多的还原糖,进而可以增强酵母的代谢活动,软化

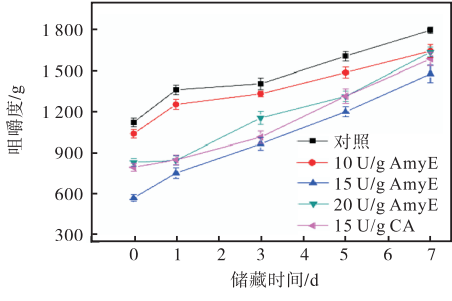
面团,改善面团的特性,因此有效减缓了面包的硬化和老化. 这些结果与 Roy 等^[16]和 Halima 等^[26]使用 α -淀粉酶有效地改善了面包心在储存期间的质构变化、降低了老化速率的研究结果一致.



(a) 硬度



(b) 弹性



(c) 咀嚼度

图 2 不同面包样品在储藏过程中质构的变化

Fig. 2 Texture properties of different bread samples during storage

2.4 面包储藏过程中水分含量的变化

将包装好的面包在室温放置 7 d, 不同面包样品水分含量在储藏过程中的变化结果如图 3 所示.

水分在面包老化中扮演着重要的角色. 在面包储藏过程中,水分会从面包心向面包皮迁移,导致面包心变硬、变干,因此失去了它的弹性和柔软性,使口感和外形变差. 由图 3 可知,所有面包心的水分含量在储藏期间都是持续减少的. 但加入 α -淀粉酶后,面包在贮存期间水分的散失明显减缓,添加 AmyE 的面包样品在储藏 7 d 后水分含量(26.7%)高于添加

CA 的水分含量(23.2%)。其原因可能是 AmyE 水解淀粉生成了具有亲水作用的低聚糖(主要是麦芽糖和麦芽三糖)^[13]。有研究^[27-28]表明小分子质量的低聚麦芽糖,尤其是麦芽三糖和麦芽糖,可以作为保鲜剂,延缓面包的老化。

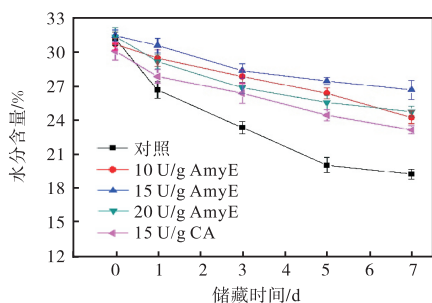


图3 不同面包样品水分含量在储藏过程中的变化

Fig. 3 Variation of moisture content in different bread samples during storage

2.5 面包储藏过程中回生焓的变化

为进一步探究面包老化的原因,差示扫描量热法(DSC)被用来检测面包储藏过程中淀粉的回生,不同面包样品的回生焓变化如图4所示。由图4可以看出:刚烤出的面包检测不到吸热转变;面包储藏过程中,淀粉会出现回生,随着贮存时间的延长,所有样品的回生焓增加;对照组样品的回生焓上升很快,5 d后趋于平衡。添加 α -淀粉酶样品的回生焓上升趋于缓慢,而且不同的 α -淀粉酶种类(如 AmyE 和商业 α -淀粉酶)及不同添加量对回生焓的影响也不同,其中添加 15 U/g AmyE 样品的回生焓上升趋势最缓,在第7天时,回生焓比对照降低了 26.3%。

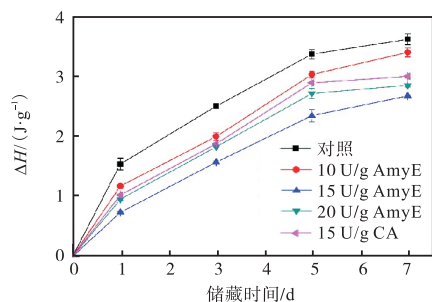


图4 不同面包样品的回生焓在储藏过程中的变化

Fig. 4 Retrogradation enthalpy of different bread crumb samples during storage

面包老化是一个复杂的现象,它受到多种因素的影响。虽然科研人员对其进行了大量研究,但其机制仍然不清楚。推测老化主要涉及几个不同的因素,如淀粉的回生、麦谷蛋白-淀粉的相互作用及水分的再

分配^[29]。其中淀粉回生对面包的老化起着非常重要的作用^[30]。直链淀粉的含量较高及支链淀粉侧链长度较长会加剧淀粉回生的程度。 α -淀粉酶能水解淀粉链上的 α -1,4-葡萄糖苷键,因此能减少直链淀粉的含量,并且使支链淀粉的分枝侧链变短,使之变得小簇^[31],从而减缓淀粉的回生。此外, AmyE 水解淀粉的产物中含有小分子产物,如麦芽低聚糖具有较强的吸水性,减少了淀粉与麦谷蛋白之间的相互作用,也有助于延长面包的货架期^[32-33]。因此, α -淀粉酶 AmyE 在延缓面包老化方面效果显著。

3 结论

通过考察酸面团面包在储藏过程中的质构特性、面包心的水分含量和回生焓的变化,可以证实耐酸性 α -淀粉酶 AmyE 能够有效减缓酸面团面包的老化。添加 AmyE 的面包样品在储藏过程中的质构变化要优于对照组和同等添加量的商业 α -淀粉酶组,并且 AmyE 明显减缓了面包心水分的散失和回生焓的上升速率。其中,添加 AmyE 15 U/g 的抗老化效果是最好的,储藏 7 d 后,可以使面包心硬度、咀嚼度及回生焓分别比对照降低 27.1%、17.6 和 26.3%。因此, AmyE 在酸面团面包抗老化方面具有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Pétel C, Onno B, Prost C. Sourdough volatile compounds and their contribution to bread: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59: 105-123.
- [3] Ganzle M G. Enzymatic and bacterial conversions during sourdough fermentation[J]. Food Microbiology, 2014, 37(2): 2-10.
- [4] Gobetti M, Rizzello C G, Cagno R D, et al. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods[J]. Food Microbiology, 2014, 37(5): 30-40.
- [5] Rizzello C G, Calasso M, Campanella D, et al. Use of sourdough fermentation and mixture of wheat, chickpea, lentil and bean flours for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of white bread[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 180(24): 78-87.

- [6] Banu I, Vasilean I, Aprodu I. Effect of select parameters of the sourdough rye fermentation on the activity of some mixed starter cultures[J]. Food Biotechnology, 2011, 25(4): 275–291.
- [7] 胥奇. 面包、蛋糕抗老化剂的研制[D]. 广州: 华南理工大学, 2012.
- [8] Giannone V, Lauro M R, Spina A, et al. A novel α -amylase-lipase formulation as anti-staling agent in durum wheat bread[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 65: 381–389.
- [9] Sundarram A. α -Amylase production and applications: A review[J]. Journal of Applied & Environmental Microbiology, 2014, 2(4): 166–175.
- [10] Corsetti A, Gobetti M, De M B, et al. Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives on bread firmness and staling[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(7): 3044–3051.
- [11] Saranraj P, Stella D. Fungal amylase: A review[J]. International Journal of Microbiological Research, 2013, 4(2): 203–211.
- [12] Jones A, Lamsa M, Frandsen T P, et al. Directed evolution of a maltogenic alpha-amylase from *Bacillus* sp. TS-25[J]. Journal of Biotechnology, 2008, 134(3): 325–333.
- [13] Wang J, Li Y, Lu F. Molecular cloning and biochemical characterization of an α -amylase family from *Aspergillus niger*[J]. Electronic Journal of Biotechnology, 2018, 32: 55–62.
- [14] Alaunyte I, Stojceska V, Plunkett A, et al. Improving the quality of nutrient-rich Teff(*Eragrostis tef*) breads by combination of enzymes in straight dough and sourdough breadmaking[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 55(1): 22–30.
- [15] Rizzello C G, Lorusso A, Montemurro M, et al. Use of sourdough made with quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutritional, textural and sensory features of white bread[J]. Food Microbiology, 2016, 56: 1–13.
- [16] Roy J K, Borah A, Mahanta C L, et al. Cloning and overexpression of raw starch digesting α -amylase gene from *Bacillus subtilis* strain AS01a in *Escherichia coli* and application of the purified recombinant α -amylase (AmyBS-I) in raw starch digestion and baking industry[J]. Journal of Molecular Catalysis B Enzymatic, 2013, 97: 118–129.
- [17] Parashar D, Satyanarayana T. A chimeric α -amylase engineered from *Bacillus acidicola* and *Geobacillus thermoleovorans* with improved thermostability and catalytic efficiency[J]. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2016, 43(4): 473–484.
- [18] 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. GB/T 20981—2007 面包[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [19] Gámbaro A, Giménez A, Ares G, et al. Influence of enzymes on the texture of brown pan bread[J]. Journal of Texture Studies, 2010, 37(3): 300–314.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB/T 5009.3—2016 食品安全国家标准·食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [21] Li S, Zuo Z, Niu D, et al. Gene Cloning, heterologous expression, and characterization of a high maltose-producing α -amylase of *Rhizopus oryzae*[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2011, 164(5): 581–592.
- [22] Passos F V, Fleming H P, Ollis D F, et al. Kinetics and modeling of lactic acid production by *Lactobacillus plantarum*[J]. Applied & Environmental Microbiology, 1994, 60(7): 2627–2636.
- [23] Dal B F, Clarke C I, Lam R, et al. Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7[J]. Journal of Cereal Science, 2007, 45(3): 309–318.
- [24] Kim J H, Maeda T, Morita N. Effect of fungal α -amylase on the dough properties and bread quality of wheat flour substituted with polished flours[J]. Food Research International, 2006, 39(1): 117–126.
- [25] Mnif I, Besbes S, Ellouze R, et al. Improvement of bread quality and bread shelf-life by *Bacillus subtilis* biosurfactant addition[J]. Food Science & Biotechnology, 2012, 21(4): 1105–1112.
- [26] Halima N B, Borchani M, Fendri I, et al. Optimised amylases extraction from oat seeds and its impact on bread properties[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72: 1213–1221.
- [27] Kazan D. A maltooligosaccharides producing α -amylase from SDP1 isolated from rhizosphere of lindley[J]. Food Biotechnology, 2014, 28(4): 309–332.
- [28] Duran E, Leon A, Barber B, et al. Effect of low molecular weight dextrins on gelatinization and retrogradation of starch[J]. European Food Research and

- Technology, 2001, 212(2): 203–207.
- [29] Wu S, Liu Y, Yan Q, et al. Gene cloning, functional expression and characterisation of a novel glycogen branching enzyme from *Rhizomucor miehei* and its application in wheat breadmaking[J]. Food Chemistry, 2014, 159(13): 85–94.
- [30] 詹冬玲,任玉雪,闵伟红,等. 面包老化机理及其分析技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 353–355.
- [31] 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.
- [32] Bárcenas M E, Haros M, Rosell C M. An approach to studying the effect of different bread improvers on the staling of pre-baked frozen bread[J]. European Food Research & Technology, 2003, 218(1): 56–61.
- [33] Gujral H S, Haros M, Rosell C M. Improving the texture and delaying staling in rice flour chapati with hydrocolloids and α -amylase[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 65(1): 89–94.
- 责任编辑: 郎婧
-
- (上接第8页)
- [51] Zhu K, Hölzel C S, Cui Y, et al. Probiotic *Bacillus cereus* strains, a potential risk for public health in China[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 718.
- [52] Mols M, Abee T. *Bacillus cereus* responses to acid stress[J]. Environmental Microbiology, 2011, 13(11): 2835–2843.
- [53] 乔玲. 酱腌菜中蜡样芽胞杆菌的检测与分析[J]. 中国酿造, 2015, 34(4): 154–156.
- [54] Kotiranta A, Lounatmaa K, Haapasalo M. Epidemiology and pathogenesis of *Bacillus cereus* infections[J]. Microbes & Infection, 2000, 2(2): 189–198.
- [55] 王祝健,马海乐,崔恒林. 醋醅中细菌菌株的分离鉴定及系统学分析[J]. 中国食品学报, 2011, 11(6): 170–176.
- [56] 马志春. 食醋中醋酸对食品指标微生物的作用研究[J]. 食品安全导刊, 2015(16): 30–32.
- [57] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. GB 2719—2003 食醋卫生标准[S]. 北京:中国标准出版社, 2003.
- [58] 王宗敏,镇江香醋醋酸发酵阶段菌群结构变化与风味物质组成之间的相关性研究[D]. 无锡:江南大学, 2016.
- [59] 吕艳歌,马海乐,李云亮,等. 山西老陈醋产酸菌的分离鉴定及系统学分析[J]. 中国食品学报, 2013, 13(12): 163–171.
- [60] 李沙. 传统岐山醋醋酸固态发酵过程中细菌群落动态演变与风味物质形成规律的研究[D]. 广州:华南理工大学, 2016.
- [61] Wang Z M, Lu Z M, Yu Y J, et al. Batch-to-batch uniformity of bacterial community succession and flavor formation in the fermentation of Zhenjiang aromatic vinegar[J]. Food Microbiology, 2015, 50: 64–69.
- [62] 李南薇,刘佳,刘锐,等. 32种食品添加剂对蜡样芽胞杆菌的协同抑菌作用[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 138–142.
- 责任编辑: 郎婧