

添加阿拉伯木聚糖酶对荞麦馒头品质的影响

郑玉娇, 郭晓娜*, 朱科学

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为了改善荞麦馒头品质,研究了添加阿拉伯木聚糖酶对荞麦馒头品质特性(比容、扩展比、质构及感官评价)和老化特性的影响。通过低场核磁实验测定荞麦馒头储藏期间的水分分布及水分迁移,探讨阿拉伯木聚糖酶改善荞麦馒头品质及抗老化的作用机制。结果表明,当阿拉伯木聚糖酶添加量在质量分数 40 mg/kg 时,荞麦馒头的品质改善效果最明显,感官评价得分最高。储藏期间,与空白组相比,添加质量分数 40 mg/kg 的阿拉伯木聚糖酶,馒头硬度明显减小。添加阿拉伯木聚糖酶后, T_{21} 增加, T_{22} 减小, A_{21} 减小, A_{22} 增大,结合水含量减少,自由水含量增大,水分较好地保持在面团中,说明添加阿拉伯木聚糖酶可以降低荞麦馒头硬度,延缓馒头老化。

关键词: 阿拉伯木聚糖酶;荞麦馒头;品质;老化

中图分类号:TS 213.2 文章编号:1673-1689(2020)07-0099-06 DOI:10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.07.014

Effects of Arabinoxylanase on the Quality of Buckwheat Chinese Steamed Bread

ZHENG Yujiao, GUO Xiaona*, ZHU Kexue

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to improve the quality of buckwheat Chinese steamed bread (CSB), this paper mainly studied the effects of arabinoxylanase on the quality characteristics (specific volume, expansion ratio, texture and sensory evaluation) and anti-staling capacity of buckwheat CSB. The water distribution and water migration during the storage of buckwheat CSB were determined by low-field nuclear magnetic experiments. The mechanism of arabinoxylanase for improving the quality and anti-staling capacity of buckwheat CSB was discussed. The results showed that the quality improvement of buckwheat CSB was the most obvious when the addition of arabinoxylanase was 40 mg/kg, and the sensory evaluation score was the highest. Compared with the blank group, the addition of 40 mg/kg arabinoxylanase reduced the hardness of the steamed bread significantly during the storage. When arabinoxylanase was added, T_{21} and A_{22} were increased and T_{22} and A_{21} were decreased, combined water content was decreased and free water content was increased, and moisture was remained well in the dough. Therefore, the addition of arabinoxylanase can reduce the hardness of buckwheat CSB and delay the aging of CSB.

Keywords: arabinoxylanase, buckwheat Chinese steamed bread (CSB), quality, aging

收稿日期: 2018-12-03

基金项目: 江苏省“六大人才高峰”高层次人才资助项目(NY-009)。

* 通信作者: 郭晓娜(1978—),女,博士,副教授,主要从事功能性食品研究。E-mail: gxn1978@hotmail.com

随着社会的发展,人们生活水平的提高,消费者对馒头的品质有了更高的要求。荞麦中氨基酸组成合理,含有丰富的赖氨酸成分^[1-2]。荞麦还含有芦丁等生物类黄酮、维生素 E 和膳食纤维,对微血管循环的维护,提高毛细血管的通透性方面有积极作用,同时荞麦具有降血压、降血脂、降低血液胆固醇的功效^[3]。荞麦馒头因其独特的营养价值,广受消费者的欢迎。

荞麦馒头和小麦馒头相比,口感粗糙,硬度大,色泽暗^[5]。目前对杂粮馒头的研究主要集中于加工工艺与品质改良,包括采用挤压膨化等技术以及添加酶制剂、乳化剂等改良剂^[6]。

阿拉伯木聚糖是一种非淀粉质多糖,是谷物细胞壁的主要组成成分^[7]。阿拉伯木聚糖酶通过水解面粉中的阿拉伯木聚糖对面团流变特性以及面制食品的品质等产生显著影响。Alwidyan 等人^[8]研究发现木聚糖酶可以降低面团的硬度,增加面包的体积。Katina 等人^[9]发现木聚糖酶可以改善面包品质,延缓面包老化。Li 等人^[10]研究表明木聚糖内切酶可以提高面团的弹性和延展性,从而增加焙烤过程中饼干的膨胀度。现有研究多集中在阿拉伯木聚糖酶对面团、面包等性质的影响方面,有关该酶在荞麦馒头中的应用及其对荞麦馒头品质影响方面研究还较少。

作者主要研究添加阿拉伯木聚糖酶对荞麦馒头品质特性(比容、扩展比、质构及感官评价)及老化特性的影响,采用低场核磁研究阿拉伯木聚糖酶对水分迁移及水分分布的影响,并与荞麦馒头老化规律相结合,从而进一步探讨其影响机制。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂 金龙鱼多用途麦芯小麦粉(水分质量分数 12.84%,蛋白质质量分数 11.62%):益海嘉里粮油工业有限公司产品;荞麦粉(水分质量分数 12.7%,蛋白质质量分数 13.6%):市售;高活性即发干酵母:湖北安琪酵母股份有限公司产品;阿拉伯木聚糖酶:帝斯曼(中国)有限公司产品。

1.1.2 仪器与设备 和面机(ARM-01 型):加拿大 Thunderbird 公司产品;醒发箱(CF-6000 型)、馒头切片机(SM-302N 型):无锡新麦机械有限公司产品;质构分析仪(TA-XT plus 型):英国 SMS 公司产

品;低场核磁共振成像分析仪(MesoMR23-060V-I 型):上海纽迈电子科技有限公司产品。

1.2 方法

1.2.1 荞麦馒头的制作方法 取 500 g 小麦粉与荞麦粉的混合粉,其中小麦粉占总质量的 70%,荞麦粉占总质量的 30%。加入准确称取的 4.5 g 酵母继续混合,混匀后将混合粉倒入和面钵中。用 250 g 水溶解准确称取的 0、5、10、20、40、80 mg/kg 质量分数(以混合粉质量计)的阿拉伯木聚糖酶,将溶解好的混合液倒入和面钵。在和面钵中先低速搅拌 4 min,再中速搅拌和面 2 min,将和好的光滑面团搓条,分割成 10 个质量相同的面团,手工揉面,然后搓圆成馒头形状。将馒头生坯置于 38℃、相对湿度为 80% 的醒发箱中发酵 60 min,发酵好的馒头生坯置于电蒸锅中沸水蒸制 20 min。

1.2.2 荞麦馒头比容的测定 荞麦馒头的比容为馒头体积与质量之比(mL/g)。熟化后的荞麦馒头放置室温下冷却 30 min,馒头的体积(mL)和质量分别由面包体积测定仪和分析天平测得^[11]。每个样品平行测定 3 次,取平均值。

1.2.3 荞麦馒头扩展比的测定 采用游标卡尺测定馒头的直径和高度,馒头的扩展比为直径和高度的比值。

1.2.4 荞麦馒头质构特性的测定 参照杨双等^[11]的方法,用切片机将馒头纵向切割成约 12.5 mm 厚的薄片,取其中心两片,采用 TA-XT2i 型质构分析仪,选择 P/25 探头在 TPA 模式下对荞麦馒头的硬度、弹性、内聚力、胶着性、咀嚼度、回复性进行测试,具体参数设置为:测前速度为 3 mm/s,测试时速度为 1 mm/s,测后速度为 5 mm/s,压缩比例:50%,触发力:5 g,两次压缩间隔:5 s。每个酶制剂添加水平下每次测定取 6 个样品,每个馒头仅取中间两片。每组样品至少独立重复测定 6 次。

1.2.5 荞麦馒头老化过程的测定 评价馒头的老化指标有多项,本试验以硬度为指标,研究阿拉伯木聚糖酶对荞麦馒头的老化作用。将蒸制后的馒头置于常温 25℃下保存 1、12、24、48、72 h,荞麦馒头硬度通过 TPA 测试取得,TPA 测试参数同 1.2.4。每组样品至少重复测定 6 次,结果取平均值。

1.2.6 低场核磁测定荞麦馒头的水分分布 参照 Peng 等^[12]的方法并稍作修改,采用低场核磁共振成像分析仪测定。阿拉伯木聚糖酶添加量为 0~80 mg/kg

质量分数的荞麦馒头在储藏时间 0、12、48、72 h 时的水分分布。称取 1.2.1 方法制备的馒头 37.5 g,用生料带包裹,置于 60 mm 的测试管中,采用 CPMG 序列进行脉冲序列扫描实验。设置的具体参数为:采样间隔时间 TW=2 500 ms,回波个数 Echo Count=1 000,放大倍数为 PRG=1,累计次数 NS=2。实验结果采用仪器自带的程序 T2-InvfitGeneral 进行数据拟合反演,反演倍数为 100 000 倍。

1.2.7 荞麦馒头的感官评价 参照 GB/T 17320-2013,结合荞麦馒头的特性,对感官评价表中的表面色泽、气味得分进行部分修改^[4]。对荞麦馒头主要从比容(15 分)、高(5 分)、表面色泽(10 分,荞麦粉自然色 8~10 分;中等 6~8 分;发暗 2~6 分)、表面结构(10 分)、外观形状(10 分)、内部结构(15 分)、弹性(10 分)、韧性(10 分)、黏性(10 分)、气味(5 分,有荞麦的香味、无异味 4~5 分;中等 3~4 分;有异味 1~3 分)等几个方面进行感官评定。

将待测馒头置于室温下冷却 30 min,每个样品各取 4 个切成小块,并组织有经验的 10 名感官评价员对荞麦馒头进行感官评分。

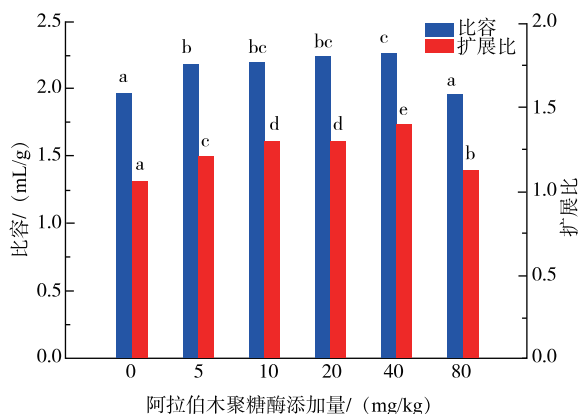
1.2.8 数据统计与分析 应用 Excel 2007 整理数据,应用 Origin 8.5 软件作图,用 SPASS 17.0 进行数据分析。选择 Duncan 测试,在 $p<0.05$ 检测水平下对数据进行显著性和相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 阿拉伯木聚糖酶添加对荞麦馒头比容及扩展比的影响

由图 1 可知,随着阿拉伯木聚糖酶添加量的增加,荞麦馒头的比容和扩展比均呈现先上升后下降的趋势。比容和扩展比在质量分数 5~40 mg/kg 添加量时升高,可能是由于该酶将阿拉伯木聚糖水解为低聚木糖、木二糖、木糖等,为酵母生长提供了碳源^[13],从而使酵母发酵产气能力增强;同时该酶将水不溶性阿拉伯木聚糖水解为水溶性阿拉伯木聚糖,增大了面团水相的黏度,提高了 CO₂ 周围液膜的稳定性,面筋-淀粉膜的延伸性和强度得到增加,面筋网络结构进一步优化,提高了面团持气能力,使荞麦馒头比容和扩展比增加^[14-15]。当阿拉伯木聚糖酶添加量过大时,阿拉伯木聚糖酶将水溶性和水不溶性阿拉伯木聚糖水解为小分子糖,降低了水溶性阿拉伯木聚糖的黏度形成性能和水不溶性阿拉伯木

聚糖的持水性能,面团发黏,面筋网络弱化,导致面团持气能力下降^[16],荞麦馒头体积减小,同时扩展比也减小。



同一图例的不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著,下同。

图 1 阿拉伯木聚糖酶添加对荞麦馒头比容和扩展比的影响
Fig. 1 Effect of arabinoxylanase on specific volume and expansion ratio of buckwheat CSB

2.2 阿拉伯木聚糖酶添加对荞麦馒头质构的影响

由表 1 可以看出,阿拉伯木聚糖酶添加量在 0~40 mg/kg 质量分数范围内增大时,硬度、胶着性和咀嚼性逐渐减小,在 40 mg/kg 质量分数时有最小值,内聚力先增大后减小。JIANG 等人^[17]研究表明:在合适的添加量下,木聚糖酶可以增大馒头体积,降低小麦馒头硬度。阿拉伯木聚糖酶添加量在 80 mg/kg 质量分数时,硬度、胶着性和咀嚼性又明显增大,弹性和回复性无明显变化。

与图 1 中比容和扩展比的变化结合,添加 5~40 mg/kg 质量分数的阿拉伯木聚糖酶可以改善荞麦馒头的柔软度,改善荞麦馒头的形状,增加荞麦馒头的体积。而添加过量则会使面团中的阿拉伯木聚糖过度降解,面团发黏^[16],使得荞麦馒头比容减小,硬度增大。这与 Shah、何承云等人^[18-19]的研究结果基本一致。

2.3 阿拉伯木聚糖酶添加对荞麦馒头感官评价的影响

由表 2 可得,阿拉伯木聚糖酶的添加对荞麦馒头的感官品质具有显著影响($P<0.05$)。在表面色泽上,随着阿拉伯木聚糖酶添加量的增大,评分逐渐增加。对表面结构无明显影响。5~40 mg/kg 质量分数的阿拉伯木聚糖酶的添加能够改善外观,使得馒

表 1 阿拉伯木聚糖酶添加对荞麦馒头质构的影响

Table 1 Effect of arabinoxylanase on the texture of buckwheat CSB

阿拉伯木聚糖酶质量分数/(mg/kg)	硬度/g	弹性	内聚力	胶着性/g	咀嚼度/g	回复性
0	2 726.2±173.6 ^c	0.897±0.153 ^a	0.833±0.006 ^a	2 394.8±143.6 ^c	2 235.8±254.5 ^c	0.513±0.012 ^a
5	2 134.9±89.9 ^b	0.908±0.024 ^a	0.840±0.007 ^{ab}	1 793.7±76.3 ^b	1 627.60±64.6 ^b	0.510±0.007 ^a
10	1 989.1±192.2 ^b	0.904±0.021 ^a	0.859±0.009 ^{bc}	1 844.6±106.1 ^b	1 542.9±149.2 ^b	0.518±0.011 ^a
20	1 939.1±139.6 ^b	0.922±0.021 ^a	0.877±0.029 ^c	1 706.6±151.8 ^b	1 570.2±119.1 ^b	0.549±0.028 ^b
40	1 317.7±157.5 ^a	0.913±0.018 ^a	0.847±0.006 ^{ab}	1 115.1±127.7 ^a	1 019.6±131.3 ^a	0.511±0.007 ^a
80	2 048.2±207.3 ^b	0.905±0.017 ^a	0.844±0.007 ^{ab}	1 728.6±169.5 ^b	1 564.9±160.1 ^b	0.517±0.008 ^a

注:表中同一列的不同字母表示各列数值在 $P<0.05$ 水平上差异显著,下同。

表 2 添加阿拉伯木聚糖酶的荞麦馒头感官评价

Table 2 Sensory evaluation of buckwheat CSB with arabinoxylanase

阿拉伯木聚糖酶质量分数/(mg/kg)	表面色泽	表面结构	外观形状	内部结构	弹性	韧性	黏性	气味	总分
0	7.48±0.48 ^a	7.2±0.63 ^a	7.55±0.69 ^a	10.64±1.68 ^a	7.25±1.09 ^a	7.49±1.24 ^a	8.07±0.83 ^a	4.25±0.59 ^a	67.93±3.61 ^a
5	7.95±0.96 ^{ab}	7.2±0.63 ^a	8.15±0.71 ^{ab}	11.80±1.55 ^{ab}	7.20±0.63 ^a	7.55±0.69 ^a	8.15±0.88 ^a	4.40±0.46 ^a	72.40±3.22 ^{bc}
10	8.38±0.80 ^{abc}	7.3±1.03 ^a	8.35±0.58 ^b	12.10±1.52 ^{ab}	7.85±0.88 ^{ab}	7.95±0.90 ^a	8.10±0.91 ^a	4.10±0.47 ^a	74.03±3.82 ^{cd}
20	8.75±0.42 ^{bc}	7.3±0.67 ^a	8.35±0.58 ^b	12.55±1.74 ^{ab}	8.35±0.58 ^b	7.25±1.09 ^a	8.10±0.92 ^a	4.51±0.31 ^a	75.11±2.38 ^{cd}
40	8.90±0.70 ^c	7.4±0.70 ^a	8.50±0.58 ^b	13.40±1.43 ^b	8.39±0.57 ^b	8.15±0.88 ^a	8.10±0.93 ^a	4.16±0.45 ^a	77.07±1.09 ^d
80	9.15±0.63 ^c	7.8±0.92 ^a	7.80±0.42 ^{ab}	10.70±1.34 ^a	7.55±0.69 ^{ab}	7.40±0.94 ^a	8.10±0.94 ^a	4.14±0.53 ^a	69.92±2.66 ^{ab}

头形状更加对称、挺立。在内部结构上,阿拉伯木聚糖酶添加质量分数 5~40 mg/kg 时纵切面的气孔状态得到改善,气孔间隙减小,呈现出细致均匀的状态。推测可能是由于阿拉伯木聚糖酶的添加可以增强面筋网络结构,使得淀粉能比较完整地镶嵌于网状结构中^[20]。在弹性上,阿拉伯木聚糖酶添加量大于 5 mg/kg 质量分数时,馒头的弹性有增加趋势。黏性方面,添加阿拉伯木聚糖酶后无明显变化。在气味上,添加阿拉伯木聚糖酶后对荞麦馒头气味无显著影响($P<0.05$)。由感官实验结果得出,添加 5~40 mg/kg 质量分数的阿拉伯木聚糖酶可以提高荞麦馒头的感官评价总分,其中添加量为 40 mg/kg 质量分数时,荞麦馒头的感官评价总得分最高。

2.4 阿拉伯木聚糖酶添加对荞麦馒头老化的影响

在储藏过程中,馒头的硬度可作为评价馒头老化的指标^[21]。由图 2 可知,随着储藏时间的增加,荞麦馒头的硬度也逐渐增加,在 0~12 h 的变化最为显著($P<0.05$),储藏 12 h 后变化缓慢。同时,在储藏过程中,加入阿拉伯木聚糖酶后,馒头硬度普遍降低,在 0~40 mg/kg 质量分数范围内随着酶添加量的增加馒头硬度变小,超过 40 mg/kg 质量分数时硬度又

增大,这与 Katina 等人^[9]观点一致。由于添加阿拉伯木聚糖酶后,改变了储藏期间淀粉和蛋白质之间的水分分布,从而降低荞麦馒头硬度,延缓荞麦馒头老化。Jiang^[22]的研究也表明木聚糖酶可以减少储存期间支链淀粉的重结晶,具有延缓老化的效果。

当阿拉伯木聚糖酶添加量过大时,阿拉伯木聚糖被过分水解,面团发黏,馒头体积变小,初始硬度增大,进而导致储藏期间硬度一直较大。

2.5 荞麦馒头储藏过程中内部水分分布状态与迁移规律

图 3 是荞麦馒头放置 1 h 的 T_2 反演图谱。按波峰所在区域划定荞麦馒头中水分的 2 种状态,横向弛豫时间 T_2 范围分别为: T_{21} (结合水):表示淀粉及淀粉多糖结合的水的弛豫时间; T_{22} (自由水):表示蛋白质和淀粉之间的互相交换的水的弛豫时间^[23]。不同状态的水分质量分数可用 A_{21} 、 A_{22} 值表示。在同一添加量下,随着储藏时间的增加,各样品均呈现出 T_{21} 减小、 T_{22} 增大、 A_{21} 增大、 A_{22} 减小的趋势;说明随着储藏时间的增加,自由水向结合水方向迁移,自由水含量减少,结合水含量增大。这可能是由于淀粉回生结晶将一些水分子包含到晶体结构中,导

致结合水增加,同时,在储藏过程中,水分由馒头内部向馒头表皮扩散,导致自由水散失^[24]。

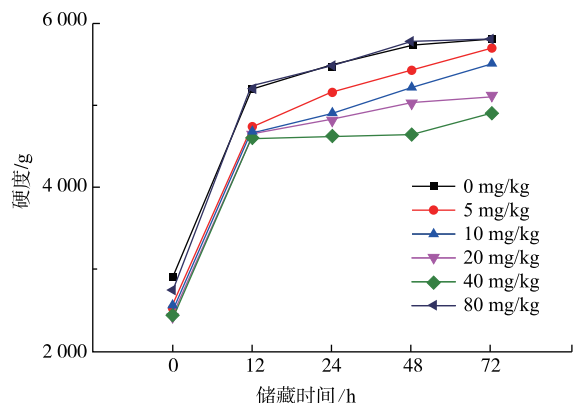


图2 不同阿拉伯木聚糖酶添加量条件下馒头芯硬度随着储藏时间的变化

Fig. 2 Hardness of the CSB core with different contents of arabinoxylanase as a function of storage time

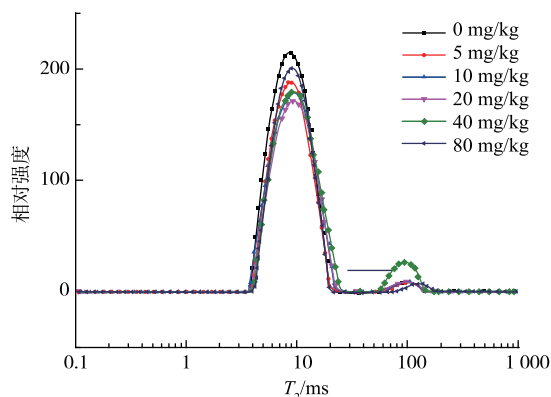


图3 不同阿拉伯木聚糖酶添加量条件下荞麦馒头的横向弛豫时间 T_2

Fig. 3 Lateral relaxation time T_2 of buckwheat CSB under different contents of arabinoxylanase

在同一储藏时间下,阿拉伯木聚糖酶添加量在40 mg/kg 质量分数时,储藏1 h 时,与对照组相比,

T_{21} 略增加, T_{22} 减小, A_{21} 减小, A_{22} 增大。说明加入阿拉伯木聚糖酶后结合水含量逐渐减小,自由水含量逐渐增大。研究表明阿拉伯木聚糖由于其多糖结构而具有很强的持水能力^[14]。除了淀粉颗粒中的水之外, T_{21} 质子群还可能含有被阿拉伯木聚糖吸收的水;加入阿拉伯木聚糖酶后,水解持水力较强的阿拉伯木聚糖,释放水分,使得自由水含量增加。Li^[10] 等人研究表明加入木聚糖酶后,部分结合水向自由水方向迁移,有利于谷蛋白结合水分,形成连续的网状结构,将水分较好的保持在面团中,从而使得荞麦馒头的硬度降低。

在12~72 h,在相同的储藏时间下,加入阿拉伯木聚糖酶后样品的 T_{21} 增加、 T_{22} 减小、 A_{21} 减小、 A_{22} 增大。这与上述加酶后荞麦馒头储藏1 h 变化规律一致,自由水分含量较高,水分保持较好。降低了荞麦馒头在储藏过程中的硬度,延缓荞麦馒头老化。

3 结 语

通过对荞麦馒头的品质特性、老化特性进行测定,采用低场核磁研究阿拉伯木聚糖酶的添加对水分迁移及水分分布的影响,探讨阿拉伯木聚糖酶添加对荞麦馒头品质的改善及抗老化的作用机制。研究结果表明,阿拉伯木聚糖酶在添加量40 mg/kg 质量分数时,荞麦馒头的品质改善效果最为显著($p < 0.05$)。馒头比容从1.96 mL/g 增加到2.26 mL/g,硬度由2 726.2 g 减小到1 317.7 g。低场核磁实验结果表明随着荞麦馒头储藏时间的增加, T_{21} 减小、 T_{22} 增大、 A_{21} 增大、 A_{22} 减小。自由水向结合水迁移,结合水含量增加,自由水含量减少。加入阿拉伯木聚糖酶后,在添加40 mg/kg 质量分数时, T_{21} 增大, T_{22} 减小, A_{21} 减小, A_{22} 增大。结合水含量减少,自由水含量增加,水分较好的保持在面团中,降低了荞麦馒头在储藏过程中的硬度,延缓荞麦馒头老化。

参考文献:

- [1] 宋春芳,王燕,张翰之,等. 基于微波加热的馒头介电特性的分析与研究[J]. 食品与生物技术学报,2017,36(5):466-472.
- [2] 曹丽霞,郭晓娜,朱科学,等. 荞麦分离蛋白-葡聚糖共价复合物的制备[J]. 食品与生物技术学报,2014,33(7):703-708.
- [3] TOMOTAKE H, YAMAMOTO N, YANAKA N, et al. High protein buckwheat flour suppresses hypercholesterolemia in rats and gallstone formation in mice by hypercholesterolemic diet and body fat in rats because of its low protein digestibility [J]. Nutrition, 2006, 22(2): 166-173.

- [4] 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.
- [5] 温纪平,毛瑞,郑学玲. 荞麦粉对馒头品质的影响[J]. 粮食与饲料工业,2013(6):12-15.
- [6] 马先红,刘景圣,谢忠民. 中国杂粮馒头改良技术研究进展[J]. 食品研究与开发,2015,36(22):194-196.
- [7] GOESAERT H, BRIJS K, VERAVERBEKE W S, et al. Wheat flour constituents; how they impact bread quality, and how to impact their functionality[J]. **Trends in Food Science & Technology**, 2005, 16(1-3): 26-30.
- [8] ALWIDYAN O, KHATAIBEH M H, ABU-ALRUZ K. The use of xylanases from different microbial origin in bread baking and their effects on bread qualities[J]. **Journal of Applied Sciences**, 2008, 8(4): 672-676.
- [9] KATINA K, SALMENKALLIO-MARTTILA M, PARTANEN R, et al. Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fiber wheat bread[J]. **LWT – Food Science and Technology**, 2006, 39(5): 487-491.
- [10] LI J, HOU G G, CHEN Z X, et al. Effects of endoxylanases, vital wheat gluten, and gum Arabic on rheological properties, water mobility, and baking quality of whole-wheat saltine cracker dough[J]. **Journal of Cereal Science**, 2013, 58(3): 437-445.
- [11] 杨双. 蛋白交联对荞麦馒头品质的影响及作用机制[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
- [12] PENG B, LI Y Q, DING S Y, et al. Characterization of textural, rheological, thermal, microstructural, and water mobility in wheat flour dough and bread affected by trehalose[J]. **Food Chemistry**, 2017, 233: 369.
- [13] 崔兆惠,赵文华,李书国. 酶制剂在全麦食品品质改良中的应用研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(2): 82-85.
- [14] COURTIN C M, DELCOUR J A. Arabinoxylans and endoxylanases in bread making [J]. **Journal of Cereal Science**, 2002, 35: 225-243.
- [15] IZYDORCZYK M S, BILIADERIS C G. Influence of structure on the physicochemical properties of wheat arabinoxylan[J]. **Carbohydrate Polymers**, 1992, 17(3): 237-247.
- [16] OLIVEIRA D S, TELISROMERO J, DASILYA R, et al. Effect of a *Thermoascus aurantiacus* thermostable enzyme cocktail on wheat bread quality[J]. **Food Chemistry**, 2014, 143(2): 139-146.
- [17] JIANGZQ, CONG Q Q, YAN Q J, et al. Characterisation of a thermostable xylanase from *Chaetomium* sp. and its application in Chinese steamed bread[J]. **Food Chemistry**, 2010, 120(2): 457-462.
- [18] SHAH A R, SHAH R K, MADAMWAR D. Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanase from *Aspergillus foetidus*[J]. **Bioresource Technology**, 2006, 97(16): 2047-2053.
- [19] 何承云,林向阳,高雪琴,等. 木聚糖酶在馒头制作中的应用研究[J]. 农产品加工(学刊), 2009(6): 7-10.
- [20] AMIRI A, SHAHEDI M, KADIVAR M. Evaluation of physicochemical properties of gluten modified by glucose oxidase and xylanase[J]. **Journal of Cereal Science**, 2016, 71: 37-42.
- [21] 王春霞,周国燕,胡晓亮,等. 馒头的老化机理及延缓老化方法的研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(11): 328-332.
- [22] JIANG Z Q, BAIL A L, WU A M. Effect of the thermostable xylanase B (XynB) from *Thermotoga maritima* on the quality of frozen partially baked bread[J]. **Journal of Cereal Science**, 2008, 47(2): 172-179.
- [23] 刘燕琪,李梦琴,周玉瑾,等. 葡萄糖氧化酶对面团水分状态及蛋白质结构的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 126-133.