

不同酵母对藜麦馒头面团特性及品质的影响

陆红梅¹, 王秋玉², 袁梦^{3, 4}, 章海风^{3, 4, *}

(1. 江苏生活高级技工学校, 扬州 225100; 2. 浙江旅游职业学院 厨艺学院, 杭州 311231;
3. 扬州大学旅游烹饪学院, 扬州 225100; 4. 江苏省淮扬菜产业化工程中心, 扬州 225000)

摘要: 为了研究不同酵母对藜麦馒头品质的影响, 采用差示量热扫描仪、低场核磁共振分析仪等对 4 种商业酵母制作的藜麦馒头面团水分迁移、糊化特性、流变学性质进行研究, 并对加热成熟后的馒头比容、色泽、质构等品质进行分析。结果表明, 4 种酵母制作的藜麦馒头面团的强结合水、弱结合水、热焓值 ΔH 、黏弹性均存在显著差异 ($P < 0.05$)。水分分布显示, 4# 酵母发酵面团强结合水含量最高, 2# 酵母发酵面团水分流动性最强; 糊化特性和动态流变学结果表明, 3# 酵母发酵面团黏弹性最高且具有较高的热焓值。另外, 4 种酵母制作的藜麦馒头比容、质构、色泽也具有显著差异。比容显示, 3# 酵母制作的藜麦馒头比容最大; 质构特性表明, 3# 酵母制作的藜麦馒头硬度低、弹性及咀嚼性较优; 2# 酵母制作的藜麦馒头红度值 (a^*)、黄度值 (b^*) 最高。综上可知, 3# 酵母能较好地保持发酵面团以及藜麦馒头的综合品质, 其次是 1#、4#, 研究结果可为生产藜麦馒头筛选酵母提供参考。

关键词: 藜麦馒头; 酵母; 水分迁移; 面团特性; 馒头品质

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-2513(2023)11-0126-06

doi: 10.19804/j.issn1006-2513.2023.11.017

Effects of different yeasts on characteristics and quality of quinoa steamed bread dough

LU Hongmei¹, WANG Qiuyu², YUAN Meng^{3, 4}, ZHANG Haifeng^{3, 4, *}

(1. Jiangsu Living Advanced Technical School, Yangzhou 225100; 2. Culinary Art Apartment, Tourism College of Zhejiang, Hangzhou 311231; 3. College of Tourism and Cuisine, Yangzhou University, Yangzhou 225100; 4. Huaiyang Cuisine Industrialization Engineering Center of Jiangsu Province, Yangzhou 225000)

Abstract: In order to study the effect of different yeasts on the quality of quinoa steamed bread, the water migration, gelatinization and rheological properties of quinoa steamed bread dough made by four kinds of commercial yeast were studied. Differential scanning calorimetry (DSC) and low field nuclear magnetic resonance analyzer (NMR) were used. The specific volume, color and texture of steamed bread were analyzed. Significant differences were showed in strong binding water, weak binding water, enthalpy ΔH and viscoelasticity of quinoa steamed bread dough made by four kinds of yeast ($P < 0.05$). The water distribution showed that #4 yeast fermented dough had the strongest

收稿日期: 2022-10-05

基金项目: 扬州市 - 扬州大学市校合作创新平台建设项目 (YZ2020267); 江苏省文化和旅游重点实验室研究项目 (203560133)。

作者简介: 陆红梅 (1979-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 烹饪科学。

*通信作者: 章海风 (1977-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 烹饪科学与膳食营养。

binding water content, and No. 2 yeast fermented dough had the highest water fluidity. The results of gelatinization characteristics and dynamic rheology showed that No. 3 yeast fermented dough had the highest viscoelasticity and enthalpy. In addition, there were significant differences in specific volume, texture and color of quinoa steamed bread made by four kinds of yeast. The specific volume of quinoa steamed bread made by No. 3 yeast was the largest; the hardness, elasticity and chewiness of quinoa steamed bread made by No. 3 yeast were better, and the red value (a^*) and yellow value (b^*) of quinoa steamed bread made by No. 2 yeast were the highest. To sum up, No. 3 yeast was the best in keeping the comprehensive quality of fermented dough and quinoa steamed bread, followed by No.1 and No. 4. The results can provide a reference of selecting a yeast for the production of quinoa steamed bread.

Keywords: quinoa steamed bread; yeast; water migration; dough characteristics; steamed bread quality

馒头是我国一种传统的发酵主食，由面粉、水和发酵剂制成。随着营养知识普及和人们饮食习惯的改变，传统白面馒头的营养特性已经不能满足营养均衡的需求，所以粗粮馒头成为研究热点。藜麦在各种粮食作物中具有独特的理化和营养特性，尤其是必需氨基酸含量较高，其中赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸中含量很高；还含有多种植物化学物质，对新陈代谢、心血管和胃肠道健康产生有益影响^[1]。在过去的几年里，越来越多的研究报道了藜麦在食品开发中的应用，包括馒头、面包等。将藜麦粉制作馒头，不仅能提高营养价值，另外贫血、糖尿病、肥胖症等人群也可以食用。

目前，对于藜麦馒头的研究主要集中在配方优化使馒头达到最优的食用品质，或对藜麦馒头营养和功能特性分析等方面。张纷等^[2]研究了不同比例的藜麦粉对高筋小麦粉面团流变学特性的影响，确定了藜麦全粉馒头中最佳的藜麦全粉、酵母等添加比例，得出了最佳藜麦全粉添加量为15%；酵母添加量为0.75%。陈银焕等^[3]研究表明，不同品种藜麦粉的添加比例均以20%为宜，并且黑藜麦混配粉馒头的抗氧化活性最高，可改善馒头营养品质。Stikic等^[4]将添加20%藜麦的面包与小麦面包相比，蛋白质含量增加了16%，其中赖氨酸、蛋氨酸和组氨酸分别增加了26.5%、8.8%和9.8%。而面团发酵是馒头生产中的关键阶段，决定了馒头的味道、香气、质地、营养价值和保质期特性；另外，对于替代小麦面粉的粗粮面团来说，发酵技术的应用可作为改善其食用品质的方法之一；其中酵母在发酵过程中起着至关重要的作用，不仅能够产生二氧化碳、乙醇、有机酸、甘油和芳香化合物，并且对面团流

变性、馒头质构、体积和口感产生影响^[5-7]。但目前尚不清楚酵母对藜麦馒头食用品质各方面的指标的影响，阻碍了藜麦馒头的进一步开发。

一般用于馒头发酵的酵母包括新鲜酵母、干酵母和老面酵母等，由于干酵母的发酵性能较优，且方便贮藏等优点，其在工业、家庭中的应用最为广泛^[8]。因此，本文通过分析4种干酵母对藜麦馒头面团水分分布、热力学性质以及流变特性的影响，并且比较了制作的馒头比容、质构以及色差的影响，以期为制作藜麦馒头筛选酵母提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 原料

香满园馒头用小麦粉：东莞益海嘉里粮油食品工业有限公司；藜麦粉：成都裕品源食品有限公司；绵白糖：江苏顶汁味糖业有限公司；泡打粉：安琪酵母股份有限公司；安琪高活性干酵母（1#）：安琪酵母股份有限公司；燕山高活性干酵母（2#）：河北马利食品有限公司；燕子耐高糖活性干酵母（3#）：乐斯福（明光）有限公司；Dr. Oetker干酵母（4#）：上海净岳贸易有限公司。

1.2 主要仪器设备

SHB-SSD20D型商用多功能揉面机：广东德玛仕智能厨房设备有限公司；FH-60型商用发酵箱：广东德玛仕智能厨房设备有限公司；差示扫描量热仪：美国PerkinElmer公司；低场核磁共振成像仪：上海纽迈电子科技有限公司；旋转流变仪：美国TA公司；质构仪：美国FTC公司；色差仪：深圳市三恩时科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

藜麦馒头配方为：面粉 400 g，藜麦粉 60 g（前期优化实验得到：最适添加量为质量分数 15%），酵母 5 g，水 260 g。藜麦馒头制作工艺流程：

面粉、藜麦粉、泡打粉、白糖、水→揉面机和面→分割、成型（100 g/个）→醒发（35℃，75%，40 min）→蒸制（沸水锅，20 min）→藜麦馒头成品。

1.3.2 藜麦馒头面团水分分布测定

参考刘依林等人^[9]的方法并稍作修改。准确称取 10 g 藜麦面团样品，用保鲜膜包裹后放入核磁试管中，使面团与核磁试管充分接触，将核磁试管移入低场核磁共振仪的磁场线圈中心位置，进行 CPMG 脉冲序列的扫描实验。实验参数设置为：采样点数为 120000，回波个数为 512，半回波时间为 0.3 ms，扫描次数为 32。

1.3.3 藜麦馒头面团热力学特性测定

准确称取 10 mg 内部面团放入 DSC 的坩锅中，用压片机密封。用空坩锅为对照，以 5℃/min 的升温速率从 25℃ 加热到 90℃，以氮气为保护气，流速为 40 mL/min，完成糊化过程。每组样品重复 3 次。

1.3.4 藜麦馒头面团流变学测定

称取 5 g 藜麦馒头面团，利用动态流变仪进行频率扫描测定弹性模量 G' 与黏性模量 G'' 。测试程序及条件参考王秋玉等^[10]的方法并稍作修改：取直径为 35 mm 的平板，与仪器试验台的间隙为 1 mm，实验温度设置为 25℃，扫描频率范围为 0.1~10 Hz；将样品置于两块平板之间，刮掉边缘多余部分，在样品边缘涂上一层硅油，防止水分蒸发，松弛 5 min。每组样品重复测定 3 次。

1.3.5 藜麦馒头的比容测定

比容测定参考 GB/T 21118-2007《小麦粉馒头》^[11]的方法。

1.3.6 藜麦馒头的质构测定

利用质构仪测定藜麦馒头的硬度、弹性、粘附性和咀嚼性。参考刘依林等^[9]的方法并稍作修改，将蒸好的馒头冷却 1 h 后，用切片机将馒头纵切成厚度为 15 mm 的薄片，选择 P35 压盘式探

头，参数设置：测试前速率 2 mm/s，测试速率 1 mm/s，测试后速率 1 mm/s，压缩程度 60%，感应力 0.01 N，两次压缩间隔时间 3 s。每组样品重复测定 3 次。

1.3.7 藜麦馒头的色泽测定

利用色差仪测量藜麦馒头的亮度 (L^*)、红度 (a^*)、黄度 (b^*)，仪器用标准白瓷版校正，每个样品重复三次。

1.4 数据处理

实验数据采用平均值 ± 标准差表示，采用 Origin 2022 软件进行图表绘制，SPSS 23.0 软件进行统计实验数据和单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同酵母对藜麦馒头品质影响

2.1.1 不同酵母对藜麦馒头面团水分迁移的影响

图 1A 显示了不同酵母制作的藜麦馒头面团 T2 弛豫曲线，由图 1A 可以看出，每条弛豫曲线均有 3 个峰，分别对应于 T_{21} (0.01~1 ms)：强结合水， T_{22} (1~40 ms)：弱结合水， T_{23} (40~200 ms)：自由水^[12]。图 1B 为不同酵母面团对应峰面积百分比， A_{21} 对应 T_{21} 强结合水峰面积、 A_{22} 对应 T_{22} 弱结合水峰面积、 A_{23} 对应 T_{23} 自由水峰面积。由图 1B 可知，不同酵母对藜麦馒头面团的水分分布具有显著影响，且水分的主要存在形态为弱结合水，其中 A_{21} 含量最高的是 4# 酵母发酵面团，其次是 3# 酵母发酵面团； A_{22} 含量最高的是 1# 酵母发酵面团，其次是 3# 酵母发酵面团；相对其他三种酵母而言，2# 酵母发酵面团弱结合水含量较低。 A_{23} 含量最高的是 2# 酵母发酵面团，其次是 4# 酵母发酵面团。有研究表明，强结合水含量较高会使面团的网络结构更加致密，另外，结合水的保持不仅有利于延缓深度老化，也可以阻止干缩现象的出现，并有利于馒头品质的保持^[13]；弱结合水与面团中淀粉与水分子间相互作用有关，其含量下降表示两者间的相互作用减弱^[12]；自由水含量越高，说明水分的自由度较高、流动性较强，面团内的水分容易迁移且持水性较差。总体来看，3# 酵母发酵面团内紧密结合水含量较高，且自由水含量较低为 (31.55±0.55)%，能使面团保持较好的品质，其次是 4# 酵母发酵面团。

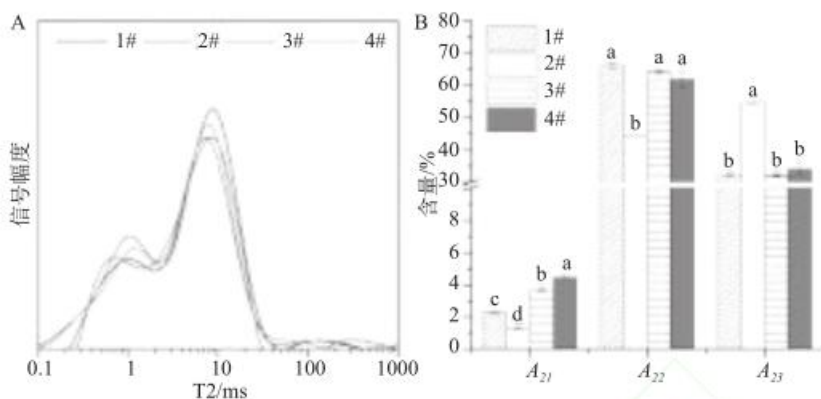


图1 不同酵母对藜麦馒头面团水分分布的影响

Figure 1 Effects of different yeasts on water distribution of quinoa steamed bread dough

2.1.2 不同酵母对藜麦馒头面团热力学性质的影响

不同酵母制作的藜麦馒头面团热力学参数见表1。由表1可知,不同酵母制作藜麦馒头面团起始温度(T_0)、终止温度(T_c)具有显著差异($P < 0.05$),并且呈相似的趋势;其中1#、4#酵母发酵面团中淀粉糊化起始温度、终止温度较高,3#酵母发酵面团淀粉糊化起始温度、终止温度最低。不同酵母制作的藜麦馒头面团的峰值温度(T_p)差异显著,温度范围在 $74^\circ\text{C} \sim 76.5^\circ\text{C}$ 左右;1#、3#酵母发酵面团中淀粉的峰值温度(T_p)均显著高于2#、4#酵母发酵面团,这是因为1#、3#酵母发酵面团中自由水含量相对较少,增加了糊化的难度,从而提高了糊化温度^[14]。不同酵母制作的藜麦馒头面团的热焓值(ΔH)差异显著($P < 0.05$)。热焓值反映了支链淀粉晶体的熔化,来自晶体堆积和螺旋熔化热容;由表1可知,与3#酵母发酵面团相比,1#、2#、4#酵母制作的藜麦

馒头面团热焓值较低,Chen等^[15]认为热焓值(ΔH)的下降与淀粉颗粒中大部分半晶体结构和一部分集中结晶区域被破坏相关。综上可知,不同酵母对藜麦馒头面团的热力学特性产生影响,其加工特性之间也有区别。

2.1.3 不同酵母对藜麦馒头面团动态流变学特性的影响

面团流变学特性是发酵面团品质的重要指标之一,与面团的耐形变能力有关。在发酵过程中,面团的细胞结构随着酵母产生的二氧化碳发生变化,开始时细胞尺寸的增大导致面团膨胀、降低面团密度,最后形成多孔结构。二氧化碳扩散到气泡中也与细胞生长引起的流变性变化有关,气泡的数量和大小对面团的流变性有显著的影响^[16]。不同酵母制作藜麦馒头面团的弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 如图2所示。由图可知,在 $0.1 \sim 10 \text{ Hz}$ 的扫描频率范围内,4种酵母发酵面团的弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 随着频率的升高而上升;在相同频率下,4种酵母发酵面团的弹性模量 G' 均高于黏性模量 G'' ,说明面团中的面筋强度较强,面团更多的呈现弹性性质,偏向于固体质地^[9]。在同一频率下,3#酵母制作的藜麦馒头面团的弹性模量和黏性模量最大,其次是2#酵母发酵面团,1#酵母发酵面团黏弹性最低。综合而言,3#酵母增强了藜麦馒头面团加工过程中的流变性能,可能与均匀的蜂窝结构有关。

表1 不同酵母对藜麦馒头面团热性质的影响

Table 1 Effects of different yeasts on thermal properties of quinoa steamed bread dough

不同酵母	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J/g})$
1#	73.85 ± 0.09^a	76.40 ± 0.58^a	80.85 ± 0.43^a	0.51 ± 0.02^b
2#	69.05 ± 0.20^b	74.10 ± 0.40^b	74.90 ± 0.12^c	0.54 ± 0.02^{ab}
3#	67.45 ± 0.14^c	76.60 ± 0.12^a	72.10 ± 0.06^d	0.76 ± 0.11^a
4#	73.85 ± 0.03^a	74.95 ± 0.72^{ab}	79.85 ± 0.09^b	0.55 ± 0.06^{ab}

注:同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$),下表同。

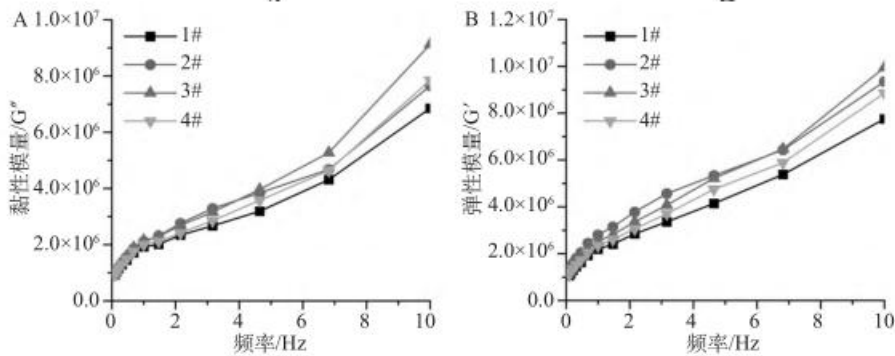


图2 不同酵母对藜麦馒头面团流变学特性的影响

Figure 2 Effects of different yeasts on rheological properties of quinoa steamed bread dough

2.1.4 不同酵母对藜麦馒头比容的影响

图3显示了不同酵母制作藜麦馒头的比容,由图可以看出,4种酵母藜麦馒头的比容大小排序为3# (2.99 ± 0.013) > 1# (2.77 ± 0.005) > 4# (2.76 ± 0.009) > 2# (2.77 ± 0.021); 这可能是因为3#酵母能够增强面团的面筋网络结构,并且能够更好的保持气体,所以比容较大^[17]。其余三种酵母制作藜麦馒头的比容之间无显著性差异,这可能是由于这三种酵母制作的孔隙数量和面筋网络结构相似引起的。综合而言,3#酵母产气能力较优,其次是1#。

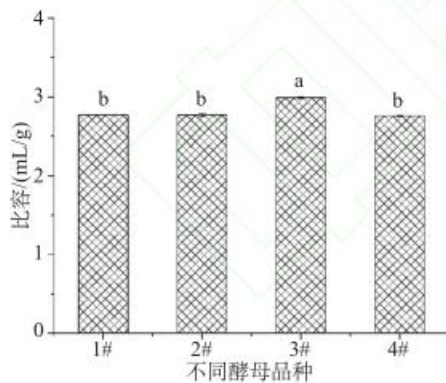


图3 不同酵母对藜麦馒头比容的影响

Figure 3 Effect of different yeasts on specific volume of quinoa steamed bread

2.1.5 不同酵母对藜麦馒头质构的影响

质构特性也是衡量馒头品质优劣的指标之一。表2为4种酵母制作藜麦馒头的质构特性,主要采用硬度、弹性、粘附性和咀嚼性等参数进行量化分析。由表可知,4#酵母制作的藜麦馒头硬度值最高(19.09 N),3#酵母制作的藜麦馒头硬度值最低(14.36 N),1#和2#酵母制作的藜麦

馒头硬度之间差异无统计学意义。Wang等^[18]研究发现,馒头的质地较硬,这是由于颗粒结构致密,细胞占总面积的比例较小造成的。4种酵母相比较,3#酵母制作的藜麦馒头口感松软,硬度值低,其次是1#酵母制作的藜麦馒头。4种酵母中,1#酵母制作的藜麦馒头弹性、粘附性最大,4#酵母制作的藜麦馒头弹性、粘附性最小。藜麦馒头咀嚼性的大小排列顺序为4#酵母>1#酵母>3#酵母>2#酵母。陈洁等^[19]研究表明,品质良好的馒头咀嚼度、硬度适中,并有一定的持气性;另外质构参数中各指标太大或太小都会影响馒头的品质。4种酵母相比,3#酵母制作的藜麦馒头质构品质较优,其硬度较低,粘附性、弹性和咀嚼性适中;其次是1#酵母制作的藜麦馒头。

表2 不同酵母对藜麦馒头质构的影响

Table 2 Effects of different yeasts on the texture of quinoa steamed bread

不同酵母	硬度/N	弹性/mm	粘附性/mJ	咀嚼性/mJ
1#	16.67 ± 0.16 ^b	25.23 ± 0.30 ^a	0.31 ± 0.03 ^a	193.08 ± 2.98 ^b
2#	17.5 ± 0.61 ^b	22.05 ± 0.29 ^b	0.22 ± 0.02 ^c	152.34 ± 2.89 ^d
3#	14.36 ± 0.02 ^c	19.79 ± 0.20 ^c	0.27 ± 0.01 ^b	167.19 ± 0.69 ^c
4#	19.09 ± 0.52 ^a	19.54 ± 0.04 ^c	0.21 ± 0.02 ^c	229.39 ± 2.89 ^a

2.1.6 不同酵母对藜麦馒头色泽的影响

色泽也是馒头重要的品质属性之一,直接影响消费者对任何产品的喜好度^[20]。表3显示了不同酵母制作的藜麦馒头的亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)。由表可知,4种酵母制作的藜麦馒头的亮度值(L^*)之间无显著性差异($P < 0.05$),这可能是由于藜麦馒头是在100℃的条

件下蒸熟的,馒头之间的表面亮度值差异并不像藜麦烘烤食品那样显著^[21]。1#和2#酵母制作的藜麦馒头红度值(a^*)无显著差异,而4#酵母制作的藜麦馒头的红度值(a^*)最低,这表明4#酵母的加入降低了藜麦馒头的红度值(a^*)。4种酵母对藜麦馒头的黄度值(b^*)值有显著影响($P<0.05$),2#酵母制作的藜麦馒头显示更明显的黄色外壳。较优的馒头产品应具有洁白且较亮的色泽;总体而言,3#、4#酵母制作的藜麦馒头色泽较好。

表3 不同酵母对藜麦馒头色差的影响

Table 3 Color characteristics of quinoa steamed bread

不同酵母	L^*	a^*	b^*
1#	38.39±0.13 ^a	-0.13±0.00 ^a	6.40±0.06 ^{ab}
2#	38.29±0.64 ^a	-0.12±0.01 ^a	6.56±0.10 ^a
3#	38.48±0.61 ^a	-0.14±0.02 ^{ab}	6.15±0.08 ^{bc}
4#	38.43±0.91 ^a	-0.16±0.00 ^b	5.96±0.09 ^c

3 结论

采用4种不同市售活性干酵母对藜麦发酵面团的理化特性以及蒸熟后的藜麦馒头产品品质进行了分析。不同酵母发酵面团水分分布差异显著,3#、4#酵母发酵面团的结合水含量比例较高;1#酵母发酵面团的黏弹性最低,而3#酵母发酵面团呈现出最高的黏弹性趋势;另外,3#酵母发酵面团的峰值温度、热焓值比较高。不同酵母制作的藜麦馒头的比容、硬度、咀嚼性、弹性、粘附性、红度值(a^*)、黄度值(b^*)具有显著差异。4种酵母中,3#酵母制作的藜麦馒头的比容较大;3#、1#酵母制作的藜麦馒头质构特性参数最稳定;3#、4#酵母制作的藜麦馒头色泽较好。综合考虑藜麦面团特性以及馒头品质,3#酵母使藜麦馒头综合品质较优,其次是1#、4#。

参考文献:

[1] Vilcacundo R, Hernández-Ledesma B. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2017, 14: 1-6.

[2] 张纷,赵亮,靖卓,等.藜麦-小麦混合粉面团特性及藜麦馒头加工工艺[J].*食品科学*,2019,40(14):323-332.

[3] 陈银焕,杨修仕,郭慧敏,等.不同品种藜麦粉对馒头品质及抗氧化活性的影响[J].*食品与发酵工业*,2020,46(2):157-164.

[4] 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, 55(2):132-138.

[5] Carnevali P, Ciati R, Leporati A, et al. Liquid sourdough fermentation: Industrial application perspectives [J]. *Food Microbiology*, 2007, 24(2):150-154.

[6] Coda R, Rizzello C G, Gobbetti M. Use of sourdough fermentation and pseudo-cereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of γ -aminobutyric acid (GABA) [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2010, 137(2-3):236-245.

[7] Yeşil S, Levent H. The influence of fermented buckwheat, quinoa and amaranth flour on gluten-free bread quality [J]. *LWT*, 2022, 160:113301.

[8] Luo W H, Sun D W, Zhu Z W, et al. Improving freeze tolerance of yeast and dough properties for enhancing frozen dough quality - A review of effective methods [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 72:25-33.

[9] 刘依林,李冰,吴虹.复合改良剂对小麦面团特性及馒头品质的改善作用[J].*现代食品科技*,2022,38(8):199-207,96.

[10] 王秋玉,章海风,朱文政,等.不同解冻方式对冷冻豆沙包面团特性及产品品质的影响[J].*食品科学技术学报*,2021,39(6):126-134.

[11] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.小麦粉馒头:GB/T 21118-2007[S].北京:中国标准出版社,2008.

[12] 罗登林,梁旭苹,徐宝成,等.菊粉对面团中水分迁移行为的影响规律研究[J].*农业机械学报*,2017,48(2):335-341.

[13] 刘长虹,李慧芳,樊元元,等.不同发酵方法制作馒头储存过程水分分布变化[J].*食品工业*,2017,38(12):39-42.

[14] 李婷婷.发酵方法对全麦面包品质的影响及其机制探究[D].扬州:扬州大学,2022.

[15] Chen X, He X W, Fu X, et al. *In vitro* digestion and physico-chemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment [J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 63:109-115.

[16] Tlapale-Valdivia A D, Chanona-Pérez J, Mora-Escobedo R, et al. Dough and crumb grain changes during mixing and fermentation and their relation with extension properties and bread quality of yeasted sweet dough [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2010, 45(3):530-539.

[17] 姜元华,张雨薇,毛永杰,等.基于主成分和聚类分析酵母品种对预醒发冷冻披萨面胚食用品质的影响[J].*食品研究与开发*,2019,40(24):65-72.

[18] Wang P, Yang R Q, Gu Z X, et al. Comparative study on the freeze stability of yeast and chemical leavened steamed bread dough [J]. *Food Chemistry*, 2017, 221:482-488.

[19] 陈洁,田贝贝.2种方法提取阿拉伯木聚糖对馒头面团特性及品质的影响[J].*食品科学*,2018,39(10):65-70.

[20] He Y J, Guo J Y, Ren G Y, et al. Effects of konjac glucomannan on the water distribution of frozen dough and corresponding steamed bread quality [J]. *Food Chemistry*, 2020, 330:127243.

[21] Wang S N, Opassathavorn A, Zhu F. Influence of quinoa flour on quality characteristics of cookie, bread and Chinese steamed bread [J]. *Journal of Texture Studies*, 2015, 46(4):281-292.