

# 全谷物成分对面制品品质及加工特性影响研究进展

## Research progress on the effect of whole grain components on flour product qualities and processing characteristics

邵玉兰<sup>1</sup> 孙成行<sup>1</sup> 胡冰冰<sup>2</sup>

SHAO Yulan<sup>1</sup> SUN Chenghang<sup>1</sup> HU Bingbing<sup>2</sup>

(1. 朝阳师范高等专科学校, 辽宁 朝阳 122000; 2. 大连工业大学食品学院, 辽宁 大连 116034)  
(1. Chaoyang Teachers College, Chaoyang, Liaoning 122000, China; 2. School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian, Liaoning 116034, China)

**摘要:**文章介绍了全谷物中的淀粉、蛋白质、油脂、多酚等成分对面团加工特性和面制品品质的影响,并分析了全谷物面制品中存在的问题以及改善措施。

**关键词:**全谷物;面制品;品质;加工特性;营养成分

**Abstract:** In this review, the effects of starch, protein, oil, polyphenols and other components in whole grains on the processing characteristics of dough and the quality of flour products were introduced, and problems and improvement measures of whole grain flour products were analyzed, in order to provide references for the research of whole grain flour products.

**Keywords:** whole grains; flour products; qualities; processing characteristics; nutritional ingredients

中国谷物种类繁多,包括高粱、小米、大米、燕麦、荞麦、黑麦等,是世界上重要的谷物主产国之一。长期以来,中国谷物产品以精制谷物为主,全谷物在膳食中的比例较低<sup>[1]</sup>。全谷物是指未经过精细化加工或者虽然经过了碾磨等处理,但仍保留了胚乳、胚芽、麸皮和糊粉层的谷物<sup>[2]</sup>。与精制谷物相比,全谷物更好地保留了谷物中的膳食纤维、B族维生素、油脂等生物活性物质,具有抗氧化能力和免疫调节活性,在调节肠道菌群、预防多种慢性疾病的发生方面有积极作用<sup>[3-4]</sup>。但由于口感较差,可接受度不高,限制了全谷物食品的发展<sup>[5]</sup>。面制品在中华传统食品中占据绝对的优势,随着消费者对面制品的

营养价值、食用品质和安全性能等方面要求的提高,新型面制品开发备受关注。全谷物应用于面制品中既有利于全谷物产业的发展,也有利于面制品产业多元创新发展<sup>[6]</sup>。

文章拟整理近年来国内外对全谷物中的淀粉、膳食纤维、蛋白质、油脂、酚类化合物等成分对面制品品质和加工特性的影响研究成果,从中分析全谷物在面制品加工中应用的技术瓶颈,并提出品质改良方法,以为全谷物成分的综合利用提供依据。

### 1 全谷物中各成分对面制品品质的影响

#### 1.1 淀粉

谷物中的淀粉作为辅料应用于面制品中可以调整面团性能,改善面制品的部分品质,为面制品提供潜在的营养益处。而淀粉晶型、直链淀粉/与支链淀粉比例是影响产品品质的重要因素,与A型小麦淀粉颗粒相比,B型小麦淀粉颗粒不易发生糊化,更适合制备低升糖指数的面制品<sup>[7]</sup>。高直链占比的淀粉有利于减少面条蒸煮损失,赋予面条更好的弹性<sup>[8]</sup>。谷物淀粉同时也可作为主料制备模拟面团并得到部分类似麸质面团的特性。Li等<sup>[9]</sup>研究发现,高原大麦淀粉重组面团的稳定性低、延展性好,而大米淀粉的粒径较小,重组面团吸水率高且不易形成麸质膜。Md-Yunos等<sup>[10]</sup>认为大米淀粉与水 and 油的相互作用比小麦淀粉的更强,大米淀粉一面筋面团与小麦淀粉一面团有相似的应力松弛现象。同源淀粉制备的重组面团品质存在差异,其原因可能在于淀粉与面筋比例和加水量不同。

#### 1.2 膳食纤维

谷物膳食纤维是补充膳食纤维最有效、最经济的来

**基金项目:**辽宁省教育厅高校基本科研项目(编号:LJKZZ20220070)

**作者简介:**邵玉兰(1967—),女,朝阳师范高等专科学校高级实验师。E-mail:29509770@qq.com

**收稿日期:**2023-07-11 **改回日期:**2023-08-18

源之一,也是对面制品品质影响较大的因素,但在谷物精制过程中易被去除。谷物膳食纤维的加入影响了面团的流变性能,提高了面制品的营养特性,但易对面制品的宏观品质产生不利影响。谷物膳食纤维对面团和面包特性的影响很大程度上取决于其水溶性、分子量和添加量<sup>[11]</sup>。常应用于面制品中的膳食纤维包括 $\beta$ -葡聚糖,阿拉伯木聚糖与不溶性膳食纤维。含有燕麦 $\beta$ -葡聚糖的小麦面包的硬度更大,比容更小,颜色更深<sup>[12]</sup>;阿拉伯木聚糖和 $\beta$ -葡聚糖协同处理可减缓面包贮藏期间的老化,抑制淀粉水解<sup>[13]</sup>。小麦麸皮中的不溶性膳食纤维提高了面团的机械稳定性,但与其他组分竞争水合,增加了面团吸水率,阻碍了面团发酵膨胀<sup>[14]</sup>。而抗性淀粉是一种特殊的淀粉,有着类似膳食纤维的特性,在调节肠道菌群、降低胆固醇和控制体重方面有积极影响<sup>[15]</sup>。

### 1.3 蛋白质

谷物蛋白质是最丰富、最廉价的蛋白质源之一,主要包括球蛋白、白蛋白、谷蛋白以及醇溶蛋白。以小麦为基础的传统面制品中以谷蛋白和醇溶蛋白构成连续的面筋网络从而形成富有弹性和延展性的面团,谷物蛋白添加于面制品中不仅有利于改善食品加工性能,还会大大增加食品营养价值。燕麦抗冻蛋白可以提高速冻饺子皮的质构特性,减少冻藏过程中水分流失<sup>[16]</sup>。藜麦分离蛋白作为蛋白质补充剂可提高意大利面的蛋白质含量、糊化温度与硬度<sup>[17]</sup>。谷物蛋白也是无麸质食品的主要蛋白来源,可以满足患有乳糜泻的人群不能食用含面筋蛋白食品的需求。玉米醇溶蛋白与谷蛋白氨基酸类型相似,含有更多疏水氨基酸,可形成类似谷蛋白的网络结构<sup>[18]</sup>,改善面团强度和面包质量。适量的大米蛋白加入面团中,可增加面包的弹性,赋予产品较好的色泽,但加入过多会削弱面团的强度和抗变形能力<sup>[19]</sup>。

谷物蛋白质的水解物和多肽,可作为品质改良剂、风味强化剂以及营养强化剂添加到面制品中。Honda等<sup>[20]</sup>用杆菌溶血素和热溶酶水解从米粉中提取蛋白质,得到的蛋白酶水解物增加了无麸质大米淀粉面包的比容。林丽<sup>[21]</sup>利用碱性蛋白酶和中性蛋白酶制备大米蛋白水解物,并将其应用到面条中,降低了面条中葡萄糖的体外消化率。谷物蛋白还可作为底物蛋白制备生物活性肽,例如抗菌肽、抗氧化肽、 $\alpha$ -淀粉酶活性抑制肽等<sup>[22-23]</sup>,但功能肽的生物有效性、安全性和致敏性还未确定,应用至面制品中还有待考量。

### 1.4 油脂

谷物中的油脂主要集中在糠层和胚芽,虽然含量仅为1%~4%,但富含亚油酸、卵磷脂和植物固醇等<sup>[24]</sup>。玉米油可降低面团黏度,增大馒头比容,使质地更加柔

软<sup>[25]</sup>。小麦胚芽油是小麦胚芽加工副产物之一,含有大量的维生素E、二十八碳醇和甾醇,是天然油脂中的精品。利用小麦胚芽油与小麦原淀粉制备淀粉-脂类复合物,添加该复合物后面条的硬度和干物质损失率得以降低<sup>[26]</sup>。

米糠油拥有最平衡的脂肪酸比例,富含多种天然活性组分,其中谷维素是米糠油中的独有成分,具有降低胆固醇、抗油脂氧化等益处。Chotimarkorn等<sup>[27]</sup>发现将米糠油与大豆油按一定比例混合得到的混合油,有利于延缓油炸面团在贮藏期间的水解和氧化酸败。谷物油脂在面制品中的应用,除了调节发酵面制品品质、提高营养价值外,还能作为加工用油的潜在替代品。Zhao等<sup>[28]</sup>研究发现,含有玉米胚芽油凝胶的饼干的宽度、厚度和铺展率与商业样品相当,可替代商业起酥油。与大豆油相比,米糠油的煎炸稳定性更好,可作为生面制品的煎炸用油<sup>[29]</sup>。但面制品中油脂的增加可能会发生酸败而引起异味,对面制品有不利影响,在使用时需适量添加。

### 1.5 酚类化合物

谷物中酚类化合物主要以游离和结合形式富集于麸皮和胚胎中,包括酚酸、黄酮、阿魏酸、单宁、原花青素和花色苷等<sup>[30]</sup>。谷物多酚在面制品中的优势多数以谷物全粉的形式间接体现出来。利用青稞制备的生鲜面中的14种多酚均可抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和二肽基肽酶-IV酶活性,具有降血糖的潜能<sup>[31]</sup>。酚类化合物可凭借其较好的抗氧化性和抗菌性延长面制品的货架期,又能与其他成分竞争吸水从而延迟淀粉糊化与回生,但酚类化合物会阻止蛋白质链间二硫键重组,降低面团强度,面包体积随之下降<sup>[32]</sup>。面制品品质的变化与多酚的添加量、抗氧化强度、羟基数量等因素有关。

多酚还可以与其他物质结合共同应用于面制品中。超声诱导后形成的多酚-蛋白质偶联物有着良好的乳化性、抗氧化性和热稳定性,可促进面团形成更坚固的面筋网络,改善冷冻面团的弹性和面包品质<sup>[33]</sup>。谷物麸皮中含有抗氧化膳食纤维、抗氧化多酚与膳食纤维,多酚可以通过膳食纤维在肠道缓慢释放并充分发挥抗氧化作用<sup>[34]</sup>,应用至面制品中可提高产品营养价值,并提供更多的健康益处。

目前在面制品中应用的多酚多数源于水果或蔬菜,谷物源多酚在面制品中的应用较少。以营养补充剂的形式将谷物多酚及其复合物添加至面团中以制作功能性面制品,仍是研究热点。

## 2 全谷物在面制品加工应用中的技术瓶颈

### 2.1 全谷物面制品感官品质差及贮藏期间品质劣变

表观颜色、风味成分和食用口感是评价食品的重要

指标,对于食品而言,良好的风味和口感与其营养和健康是很难达到统一的,甚至是对立的。若想通过添加全谷物成分来提高面制品的营养价值,可能会对面制品的感官品质带来不利影响。有研究<sup>[35]</sup>表明,由于穆子粉中富含膳食纤维,添加到面包中虽然提高了抗氧化活性,但同时也提高了面包的硬度和咀嚼度,面包表皮颜色变暗,感官品质略有下降。有研究<sup>[14]</sup>发现,麸皮中的阿魏酸打断了面筋中的二硫键,导致面筋蛋白网络结构致密,降低了馒头的比容与回弹性,可能还会通过抑制酵母活性阻碍面团醒发,孔隙率和气孔密度也有所减少,从而导致馒头感官品质劣变。

面制品在贮藏过程中品质变化十分复杂,微生物生长繁殖和脂质酸败是导致全谷物面制品腐败变质的重要因素。全麦半干面条营养成分十分丰富,为微生物的生长提供了有利条件<sup>[36]</sup>,全谷物中富含脂肪和脂肪氧化酶易在氧气的作用下发生氧化反应,从而增加面制品的酸价,甚至产生对人体有害的有毒物质。控制细菌含量和对酶进行灭活是延长全谷物面制品货架期、保证产品质量的重要方式。

## 2.2 加工中的营养流失及抗营养因子的存在

面制品加工步骤复杂多样,烤制、蒸煮、油炸等热加工均会对谷物中的成分组成和功能特性产生一定的影响。张名位<sup>[37]</sup>研究发现,蒸煮处理会影响全谷物多酚及其抗氧化活性,这些变化与谷物种类、品种、种植条件、蒸煮参数等因素密切相关。全谷物中还含有抗营养因子如单宁、植酸、草酸盐、胰蛋白酶抑制剂等,其在一定程度上会降低谷物营养成分的生物利用度。还有研究<sup>[38]</sup>发现,抗营养因子还会影响面筋的形成,低浓度的单宁可以与面筋形成氢键来促进形成更致密的面筋网络,高浓度的单宁会破坏面筋中的二硫键。

## 2.3 全谷物成分的致敏性及无麸质面制品开发困难

对于麸质过敏人群来说,坚持完全无麸质饮食是解决该问题的主要方法。与小麦基面团相比,用谷物成分制备的模拟面团弹性差,气体保留率低<sup>[39]</sup>,无麸质面制品在口感、气味上与传统面制品还有一定的差距。而且传统面制品的加工工艺不足以满足无麸质面制品对加工工艺的要求,无麸质面制品的品质有待提升,加工技术有待创新,生产加工标准还有待完善。而除了谷蛋白和醇溶蛋白外,全谷物中还有非麸质过敏源,如荞麦、小米等<sup>[40]</sup>,不易过敏的谷物种类较少,应用也因此受到了限制。

# 3 全谷物面制品品质改良

## 3.1 全谷物品种的选择

谷物的品种不同,其营养成分含量、组成、性质等也不同,针对不同的面制品需求应选择合适的谷物品种。

如荞麦比苦荞更适合制备高营养的烘烤面制品,烘烤后苦荞的蛋白质、脂肪和总酚含量下降,而抗氧化能力和营养成分随烘烤的进行而提高<sup>[41]</sup>。类胡萝卜素含量较高、脂肪氧化酶含量低的小麦品种制备出的面制品的食味品质更好<sup>[42]</sup>。

## 3.2 加工工艺的改良

为了提高全谷物成分的加工性能,通常采用预熟化、微波、挤压、发酵、发芽、酶解等加工方式对全谷物成分进行改性,进而提高全谷物面制品的质量。Ye等<sup>[43]</sup>研究发现,采用微波、蒸汽、挤压等6种方法对麸皮进行改性处理,挤压伴随着高压与高温对麦麸的营养和功能品质的改善效果最好;高静压可以减少谷物中多酚的破坏,使谷物中的抗营养因子失活,降低谷物淀粉的老化速度,延长谷物面制品的货架期<sup>[44]</sup>;酶解后的小麦麸皮可以更好地改善低筋面团流变特性和面包的烘焙品质<sup>[45]</sup>。多种加工工艺协同处理的改善效果更为明显,而超声波辅助小麦发芽技术可提高其抗氧化活性和类黄酮含量<sup>[46]</sup>,但在引用新式加工技术的同时也需考虑其带来的负面影响,对全谷物功能成分保留高、成本低的加工工艺将成为全谷物加工的重要选择。

## 3.3 添加改良剂

亲水胶体、酶制剂、乳化剂、磷酸盐等是改善面制品品质的常见添加剂,但并不是所有添加剂都适合添加到全谷物面制品中。Sheikholeslami等<sup>[47]</sup>发现由于 $\alpha$ -淀粉酶会影响淀粉分解,其对全麦面包品质无积极作用,而木聚糖酶和乳化剂组合使用,可显著增强全麦面包的稳定性和总抗氧化活性。 $\gamma$ -聚谷氨酸可作为抗冻保湿剂改善全麦冷冻面团的质量,但又因其增稠作用导致面团发黏,不利于工业化生产加工<sup>[48]</sup>。Drabińska等<sup>[49]</sup>总结了菊粉型果聚糖在无麸质产品中的优势,发现菊粉型果聚糖与其他成分和添加剂相互作用更能有效地改善无麸质面制品品质。常规改良剂在全谷物面制品中的应用有限,多种改良剂协同处理对全谷物面制品品质提升更为有利,而专门应用于全谷物面制品中的改良剂的种类及其改善效果还有待探索。

## 3.4 过敏原消减

除了通过食用无麸质面制品外,为了保护敏感个体,高压、超声、辐照等食品加工技术可破坏食品中蛋白质的三级结构,降低过敏原的免疫反应<sup>[50]</sup>。Sung等<sup>[51]</sup>研究发现碱性蛋白酶将荞麦蛋白降解为低分子蛋白后,其抗原性显著降低,但该研究是针对兔子血清进行测定,缺少临床试验。尽管目前加工技术在消减谷物过敏原方面初见成效,但没有可以完全消除致敏性的方法,而且低过敏性面制品的安全性和有效性还有待进一步验证。

## 4 结论

全谷物中含有丰富的碳水化合物、蛋白质、脂肪、多酚等营养物质,可用于制备高营养、高品质的面制品,在构建中国面制品营养健康多元化和新生态方面发挥着重要作用。但是如何提高全谷物面制品的可接受性仍是目前行业面临的重大挑战,明确全谷物中不同成分对面制品品质的影响,可以为全谷物在面制品中的应用提供理论基础,通过优选全谷物品种、优化加工工艺、添加改良剂等方式单一或协同处理有利于全谷物在面制品中发挥更大的优势。

### 参考文献

- [1] 麦青. 全谷物消费现状与产业发展[J]. 农经, 2021(6): 75-79.  
MAI Q. Current situation and industry development of whole grain consumption[J]. Agriculture Economics, 2021(6): 75-79.
- [2] 谭斌. 我国全谷物定义、标签标识及标准体系构建的思考[J]. 食品工业科技, 2013, 34(4): 45-48.  
TAN B. Thoughts on the definition, labeling and standard system construction of whole grains in China[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(4): 45-48.
- [3] 谭斌, 谭洪卓, 刘明, 等. 粮食(全谷物)的营养与健康[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(4): 100-107.  
TAN B, TAN H Z, LIU M, et al. The gain, the wholegrain: nutrition and health benefits[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(4): 100-107.
- [4] FU J, ZHANG Y, HU Y, et al. Concise review: Coarse cereals exert multiple beneficial effects on human health[J]. Food Chemistry, 2020, 325: 126761.
- [5] 颜翼璇, 李言, 钱海峰, 等. 全谷物食品适口性改良方法研究进展[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(2): 179-186.  
YAN Y X, LI Y, QIAN H F, et al. Research on palatability of whole grain foods and improvement methods[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(2): 179-186.
- [6] 王薇. 面制品产业多元创新融合发展[N]. 中国食品报, 2021-12-01(4).  
WANG W. Diversified innovation and integrated development of flour products industry[N]. China Food Newspaper, 2021-12-01(4).
- [7] WANG X, LAO X, BAO Y, et al. Effect of whole quinoa flour substitution on the texture and in vitro starch digestibility of wheat bread[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 119: 106840.
- [8] JEONG S, KIM M, YOON M R, et al. Preparation and characterization of gluten-free sheeted doughs and noodles with zein and rice flour containing different amylose contents[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 75: 138-142.
- [9] LI Y, LIU H, WANG Y, et al. Comparison of structural features of reconstituted doughs affected by starches from different cereals and other botanical sources [J]. Journal of Cereal Science, 2020, 93: 102937.
- [10] MD-YUNOS N S H, OMAR F N, HAFID H S, et al. Experimental and numerical study of wheat and rice doughs[J]. Journal of Food Engineering, 2021, 311: 110712.
- [11] TORBICA A, RADOSAVLJEVIC M, BELOVIC M, et al. Overview of nature, frequency and technological role of dietary fibre from cereals and pseudocereals from grain to bread[J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 290: 119470.
- [12] ORTIZ DE ERIVE M, HE F, WANG T, et al. Development of  $\beta$ -glucan enriched wheat bread using soluble oat fiber[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 95: 103051.
- [13] YING R, ZHOU T, XIE H, et al. Synergistic effect of arabinoxylan and (1,3)(1,4)- $\beta$ -glucan reduces the starch hydrolysis rate in wheat flour[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 141: 108668.
- [14] 王崇崇. 膳食纤维和阿魏酸对馒头品质及淀粉消化性的影响机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2022: 22-50.  
WANG C C. Effect mechanism of dietary fiber and ferulic acid on steamed bread quality and starch digestion [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2022: 22-50.
- [15] BOJARCZUK A, SKAPSKA S, MOUSAVI KHANEGHAH A, et al. Health benefits of resistant starch: A review of the literature[J]. Journal of Functional Foods, 2022, 93: 105094.
- [16] 张艳杰, 王金慧, 刘胜男, 等. 燕麦抗冻蛋白对冻藏期间速冻饺子皮品质的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(2): 316-322.  
ZHANG Y J, WANG J H, LIU S N, et al. Effects of oat antifreeze protein on quick-frozen dumpling wrapper during freezing and storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(2): 316-322.
- [17] GUPTA A, SHARMA S, REDDY SURASANI V K. Quinoa protein isolate supplemented pasta: Nutritional, physical, textural and morphological characterization [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 135: 110045.
- [18] ZHU F. Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 110: 155-167.
- [19] ZHAO F, LI Y, LI C, et al. Insight into the regulations of rice protein on the gluten-free bread matrix properties [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 131: 107796.
- [20] HONDA Y, INOUE N, KURITA M, et al. Alpha-glutelin degradation and its hydrolysate by protease enhance the specific volume of gluten-free rice starch bread [J]. Journal of Cereal Science, 2021, 102: 103338.
- [21] 林丽. 大米蛋白水解物对小麦淀粉理化性质及体外消化性影响的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2022: 38-44.  
LIN L. Effects of rice protein hydrolysates on physicochemical properties and in vitro digestibility of wheat starch [D]. Hefei:

- Anhui Agricultural University, 2022: 38-44.
- [22] GONG X, AN Q, LE L, et al. Prospects of cereal protein-derived bioactive peptides: Sources, bioactivities diversity, and production [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2022, 62(11): 2 855-2 871.
- [23] ZHOU H, SAFDAR B, LI H, et al. Identification of a novel  $\alpha$ -amylase inhibitory activity peptide from quinoa protein hydrolysate[J]. *Food Chemistry*, 2023, 403: 134434.
- [24] 胡小中, 李辉尚. 浅论我国谷物油脂资源的开发与利用[J]. *中国食物与营养*, 2011, 17(1): 24-27.
- HU X Z, LI S H. Development and utilization of cereals oil in China[J]. *Food and Nutrition in China*, 2011, 17(1): 24-27.
- [25] ZHANG T, GUAN E, YANG Y, et al. Fatty acid profiles of vegetable oils from four different plant sources and their effects on dough rheology and Chinese steamed bread quality [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(5): 2 407-2 414.
- [26] 申倩. 小麦原淀粉-脂类复合物对面条品质的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018: 27-53.
- SHEN Q. The effect of the complexes of wheat raw starch and lipids on noodle quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018: 27-53.
- [27] CHOTIMARKORN C, SILALAI N. Addition of rice bran oil to soybean oil during frying increases the oxidative stability of the fried dough from rice flour during storage [J]. *Food Research International*, 2008, 41(3): 308-317.
- [28] ZHAO M, LAN Y, CUI L, et al. Formation, characterization, and potential food application of rice bran waxoleogels: Expeller-pressed corn germ oil versus refined corn oil[J]. *Food Chemistry*, 2020, 309: 125704.
- [29] 王莹辉, 刘玉兰, 李时军. 米糠油在油条煎炸过程中的品质变化研究[J]. *中国油脂*, 2013, 38(12): 28-32.
- WANG Y H, LIU Y L, LI S H, et al. Quality changes of rice bran oil during frying dough sticks[J]. *China Oils and Fats*, 2013, 38(12): 28-32.
- [30] 赵广河, 张瑞芬, 苏东晓, 等. 全谷物酚类物质及其抗氧化活性研究进展[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(8): 183-196.
- ZHAO G H, ZHANG R F, SUD X, et al. Research progress of whole grain phenols and their antioxidant activities[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(8): 183-196.
- [31] 托合提萨伊普·图尔荪托合提. 青稞生鲜面品质劣变及多酚类化合物生物活性作用机制研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2021: 60-87.
- TUOHETISAYIPU TESTHT. Study on the quality changes of qingke barley fresh noodles and bioactive mechanism of qingke barley polyphenols[D]. Beijing: Beijing Technology and Business University, 2021: 60-87.
- [32] XU J, WANG W, LI Y. Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review [J]. *Journal of Functional Foods*, 2019, 52: 629-639.
- [33] XUE F, XIE Y, LI C, et al. Prevention of frozen-dough from deterioration with incorporation of glutenin-polyphenols conjugates prepared by ultrasound [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 151: 112141.
- [34] XU J, LI Y, ZHAO Y, et al. Influence of antioxidant dietary fiber on dough properties and bread qualities: A review[J]. *Journal of Functional Foods*, 2021, 80: 104434.
- [35] 肖攀飞, 谢华, 陶笑寒, 等. 糜子粉粒径对小麦面包品质、抗氧化能力、体外消化特性的影响[J]. *食品与机械*, 2022, 38(5): 12-18.
- XIAO P F, XIE H, TAO X H, et al. Effects of different particle sizes of finger millet on the quality, antioxidant ability and in vitro digestibility of wheat bread[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(5): 12-18.
- [36] GUO X N, WU S H, ZHU K X. Effect of superheated steam treatment on quality characteristics of whole wheat flour and storage stability of semi-dried whole wheat noodle [J]. *Food Chemistry*, 2020, 322: 126738.
- [37] 张名位. 全谷物酚类物质及其抗氧化活性研究进展[J]. *粮食加工*, 2016, 41(1): 28-36.
- ZHANG M W. Research progress of whole grain phenols and their antioxidant activities[J]. *Grain Processing*, 2016, 41(1): 28-36.
- [38] GE W, XU Y, NIU M, et al. The differentiation between condensed and hydrolyzable tannins with different molecular weights in affecting the rheological property of wheat flour-based dough[J]. *Journal of Cereal Science*, 2023, 111: 103666.
- [39] NAQASH F, GANI A, GANI A, et al. Gluten-free baking: Combating the challenges: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 66: 98-107.
- [40] NEMNI A, STERN R, TOME P, et al. Allergies émergentes aux graines responsables d' anaphylaxie [J]. *Revue Francaise d' Allergologie*, 2021, 61(5): 342.
- [41] MA Q, ZHAO Y, WANG H L, et al. Comparative study on the effects of buckwheat by roasting: Antioxidant properties, nutrients, pasting, and thermal properties[J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 95: 103041.
- [42] 张梦祺. 不同小麦籽粒挥发物的差异特征及与品质性状的关系[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2021: 41-42.
- ZHANG M Q. Differential characteristics of grain volatiles in different wheat and their relationship with quality characters[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2021: 41-42.
- [43] YE G, WU Y, WANG L, et al. Comparison of six modification methods on the chemical composition, functional properties and

- antioxidant capacity of wheat bran[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 149: 111996.
- [44] 张晶, 张美莉. 超高压处理对谷物淀粉影响的研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(7): 172-179.  
ZHANG J, ZHANG M L. Research progress on the effect of high hydrostatic pressure treatment on cereal starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2020, 35(7): 172-179.
- [45] 夏洁人, 徐学明, 臧继鑫. 小麦麸皮酶解产物对面包品质的影响[J]. *食品与机械*, 2012, 28(6): 36-42.  
XIA J R, XU X M, ZANG J X. Qualites of bread affected by the hydrolysates of wheat bran[J]. *Food & Machinery*, 2012, 28(6): 36-42.
- [46] NAUMENKO N, POTOROKO I, KALININA I. Stimulation of antioxidant activity and  $\gamma$ -aminobutyric acid synthesis in germinated wheat grain *Triticum aestivum* L. by ultrasound: Increasing the nutritional value of the product [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2022, 86: 106000.
- [47] SHEIKHOLESLAMI Z, MAHFOUZI M, KARIMI M, et al. Modification of dough characteristics and baking quality based on whole wheat flour by enzymes and emulsifiers supplementation[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 139: 110794.
- [48] 王家宝, 何松, 苏子良, 等.  $\gamma$ -聚谷氨酸对全麦冷冻面团烘焙特性的影响[J]. *食品与机械*, 2021, 37(2): 9-13, 41.  
WANG J B, HE S, SU Z L, et al. Effects of  $\gamma$ -polyglutamic acid on baking properties of whole wheat frozen dough [J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(2): 9-13, 41.
- [49] DRABINSKA N, ZIELINSKI H, KRUPA-KOZAK U. Technological benefits of inulin-typefructans application in gluten-free products: A review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 56: 149-157.
- [50] 郭颖希, 王满生, 成军虎, 等. 非热加工技术消减食物过敏原研究进展[J]. *食品与机械*, 2019, 35(5): 219-223, 230.  
GUO Y X, WANG M S, CHENG J H, et al. A review on elimination of food allergens by non-thermal processing technologies[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(5): 219-223, 230.
- [51] SUNG D E, LEE J, HAN Y, et al. Effects of enzymatic hydrolysis of buckwheat protein on antigenicity and allergenicity[J]. *Nutrition Research and Practice*, 2014, 8(3): 278.

(上接第 182 页)

- [21] 李佳麒. 超声波辅助腌制对牛肉干制品嫩度的影响及其机制探讨[D]. 郑州: 河南农业大学, 2021: 14-16.  
LI J Q. Effect of ultrasonic-assisted pickling on tenderness of beef jerky products and its mechanism [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2021: 14-16.
- [22] 胡欣颖. 调理猪肉制品的研制及贮藏期品质变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020: 41-43.  
HU X Y. Study on the development and quality change of marinated pork products during storage[D]. Chongqing: Southwest University, 2020: 41-43.
- [23] GONZALEZ-GONZALEZ L, ALARCON-ROJO A D, CARRILLO-LOPEZ L M, et al. Does ultrasound equally improve the quality of beef? An insight into longissimus lumborum, infraspinatus and cleidooccipitalis[J]. *Meat Science*, 2020, 160: 107963.
- [24] 银峰. 滚揉腌制对牛肉品质的影响及其作用机制探究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2021: 10-11.  
YIN F. Effect of tumbling on the quality of beef and its mechanism [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2021: 10-11.
- [25] TONG H Q, CAO C W, DU Y L, et al. Ultrasonic-assisted phosphate curing: a novel approach to improve curing rate and chicken meat quality[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2022, 57(5): 2 906-2 917.
- [26] ZOU Y H, ZHANG W G, KANG D C, et al. Improvement of tenderness and water holding capacity of spiced beef by the application of ultrasound during cooking[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2018, 53(3): 828-836.
- [27] SERGEEV A, SHILKINA N, TARASOV V, et al. The effect of ultrasound treatment on the interaction of brine with pork meat proteins[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 61: 104831.

(上接第 208 页)

- [74] LAN W Q, ZHANG W J, LIU J L, et al. Effects of precooling with slurry ice on the freshness of farmed perch (*Lateolabrax japonicus*) during logistics process[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2021, 30(2): 162-175.
- [75] 班超方, 卢立新, 潘嘹. 冷冻型复合相变蓄冷材料的制备与性能评价[J]. *化工新型材料*, 2019, 47(5): 218-221, 226.  
BAN C F, LU L X, PAN L. Preparation and performance evaluation of freeze type composite phase change material[J]. *New Chemical Materials*, 2019, 47(5): 218-221, 226.
- [76] 章学来, 徐蔚雯, 刘田田, 等. 月桂酸-癸酸/十四醇-十二烷复合相变储能材料的制备与性能研究[J]. *制冷学报*, 2016, 37(1): 60-64.  
ZHANG X L, XU W W, LIU T T, et al. Preparation and properties of lauric acid-decanoic/tetradecyl alcohol-dodecane composite as PCMs for thermal energy storage[J]. *Journal of Refrigeration*, 2016, 37(1): 60-64.
- [77] ZHAO Y, ZHANG X, XU X, et al. Development of composite phase change cold storage material and its application in vaccine cold storage equipment [J]. *Journal of Energy Storage*, 2020, 30: 101455.