

弱筋小麦粉品质改善技术研究进展

刘远晓,李萌萌,卞科*,关二旗,任传顺

河南工业大学粮油食品学院,河南郑州450001

摘要:弱筋小麦粉是饼干、蛋糕等食品的主要原料,近年来,弱筋小麦粉的需求量随着食品市场规模的增大而不断增大。目前,在我国弱筋小麦及其制粉的产量和品质难以完全满足市场需求,因此需要通过改善弱筋小麦粉品质来改善食品品质。对饼干、蛋糕的品质与小麦粉品质的关系进行了概述,并介绍了制作优质饼干、蛋糕等食品对小麦粉品质的要求。在此基础上,分析了小麦育种、氯气处理、臭氧处理、热处理和添加改性剂等品质改善方法的研究现状及其优缺点,认为热处理和添加改性剂是目前最有效的改善弱筋小麦粉品质的方法,但仍需对热处理改善弱筋小麦粉的机理和分子机制进行深入研究,为在实际应用中的工艺优化提供理论依据。

关键词:弱筋小麦粉;饼干;蛋糕;氯气处理;热处理

中图分类号:TS211.4

文献标志码:A

文章编号:1673-2383(2021)01-0124-08

DOI:10.16433/j.1673-2383.2021.01.018

Research progress on quality improvement techniques of low-gluten wheat flour

LIU Yuanxiao, LI Mengmeng, BIAN Ke*, GUAN Erqi, REN Chuanshun

College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Low-gluten flour is the main material of many foods, such as biscuits and cakes. With the development of biscuit and cake markets and the improvement of people's life quality in China, the quality requirements and amount demand of soft wheat flour are increasing rapidly. However, the supply of soft wheat flour is not enough and the qualities cannot meet the requirements of foods with great qualities well. Therefore, it is necessary to improve the qualities of cakes and biscuits by improving soft wheat flour quality. In this review, the relationship between wheat quality and the qualities of cakes and biscuits were summarized firstly. After then, wheat quality required for cake and biscuit making was introduced. Since the qualities of cakes and biscuits depend largely on the qualities of soft wheat flour, such as wet gluten content, dough development time, stability time, ash content, flour particle size, starch gelatinization properties and damaged starch content, it is essential to study the methods of improving the qualities of wheat flour for cakes and biscuits. As a result, the research progress of quality improvement methods for soft wheat flour was introduced, including breeding, chlorination, ozone treatment, heat treatment and adding modifiers. However, all these methods have both advantages and disadvantages. Breeding cannot solve the problem of the shortage of soft wheat with great quality completely because that the breeding cycle is too long, germplasm resources are inadequate and the quality stability is poor. Chlorination is the traditionally used method but it is strictly restricted now for the toxicity of chlorine. Heat treatment is of good efficiency and easy to control, but excessive heat treatment might damage wheat starch and protein and the technologi-

收稿日期:2020-01-11

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0401000);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-03)

作者简介:刘远晓(1991—),男,河南淅川人,博士研究生,研究方向为粮食加工科学与技术。

*通信作者:卞科,教授,博导,E-mail:kebian@163.com。

cal process needs to be optimized according to the quality requirements of food products. Ozone treatment is a newly used method but has not been popularized for the generation of objectionable odor during ozone treatment and the potential toxicity of ozone. Adding modifiers is easy but costly. After comparison and analysis of the above methods, it is found that heat treatment and adding modifiers are the most potential methods for improving the qualities of soft wheat flour. However, the mechanism of these methods is not completely clear. Besides, the ways for reducing negative effects and the technological process for industrial application have not been fully and intensively studied. As a result, further study on the molecular mechanisms and the process optimization of these methods are still required. Through the above summary and analysis, it is aimed to provide new research ideas for further researches of soft wheat flour modification, promoting the industrialization and standardization of these methods.

Key words: low-gluten flour; biscuit; cake; chlorination; heat treatment

弱筋小麦粉是饼干、蛋糕和我国南方馒头等食品的主要原料^[1],因此,弱筋小麦粉的品质对这些食品的品质具有重要影响。弱筋小麦粉的粒度、湿面筋、粉质曲线稳定时间和降落数值等品质特性均可能对食品品质产生影响^[2]。由于弱筋类食品种类繁多,所需加工工艺不同,小麦加工厂所生产的弱筋粉的品质往往难以完全满足弱筋类食品的需求。为了获得品质优良的弱筋小麦粉,国内外专家和小麦加工企业尝试了多种方法改善弱筋小麦粉品质,主要包括氯气处理、臭氧处理、热处理和添加改性剂等方法。随着我国人民生活水平的提高,饼干、蛋糕等食品的市场规模逐年增大,因而对优质弱筋小麦粉的需求量也逐年增加。但是,由于我国缺乏优质弱筋小麦种质资源,优质弱筋小麦总产量较低,长期以来对弱筋小麦的需求大量依赖进口。目前,我国正通过培育优质弱筋小麦品种提高弱筋小麦产量和品质;同时,也研究了改善弱筋小麦粉品质的方法。作者介绍了主要弱筋类面制食品与弱筋小麦粉品质的关系,重点综述了弱筋小麦育种、氯气处理、臭氧处理、热处理和添加改性剂等方法的发展历史、基本原理和研究现状,并对其优缺点和应用前景进行了分析,以期更好的改善弱筋小麦粉品质的方法提供参考。

1 弱筋类食品品质与小麦粉理化特性的关系

1.1 饼干

饼干是除面包外生产规模最大的焙烤食品,据统计,2019年我国规模以上饼干生产企业的总产量约1 007万t,且预计在未来几年将以7%~10%的速率增长。弱筋小麦粉是几乎所有饼干的

主要原料之一,因而饼干品质除了加工工艺条件之外,在很大程度上取决于小麦粉的理化特性。

优质饼干通常具有口感酥松或松脆等特点,因此,通常要保证在和面过程中面筋形成较少、面团吸水率较低且面团延展性较好。除了饼干配方中油、糖和泡打粉的添加量以外,小麦粉本身的特性对于面团的性质也至关重要^[3]。Kweon等^[4-5]研究表明,小麦粉的溶剂保持力、粉质特性与饼干的品质具有显著相关性。对于多数饼干,小麦粉应具有蛋白质含量、湿面筋含量、灰分、溶剂保持力、破损淀粉含量均较低以及面团延展性好等特性^[3,6]。较低的面筋含量可以使饼干具有较好的酥松性,较低的灰分可以使饼干的口感更细腻、延展性更好^[7],较好的面团延展性则可以使饼干焙烤过程中延展性较好。此外,由于饼干为低水分食品,在和面时不宜加水过多,而破损淀粉会显著增加小麦粉的吸水率,因此,饼干用小麦粉中破损淀粉含量应在较低水平^[8]。不同类型的饼干对小麦粉理化特性的要求不尽相同。马文惠等^[9]研究发现,生产优质酥性饼干的小麦粉,应满足的要求:湿面筋含量 $\leq 26\%$,粉质吸水率 $\leq 55\%$,面团稳定时间 ≤ 2.0 min,吹泡仪弹性 ≤ 60 mm,吹泡仪能量 ≤ 150 mJ,吹泡仪弹性/延伸性 ≤ 0.50 ,水保持力(SRC) $\leq 55\%$,碳酸钠 SRC $\leq 70\%$,蔗糖 SRC $\leq 95\%$,碱性 SRC $\leq 56\%$ 。关裕亮等^[10]研究发现,优质曲奇饼干专用小麦粉品质特性应达到的标准:灰分 $\leq 0.6\%$,湿面筋含量 $26\% \sim 31.5\%$,面团稳定时间 $5 \sim 7$ min,弱化度 $60 \sim 120$ BU。

1.2 蛋糕

蛋糕是一种常见的焙烤类糕点,近年来我国蛋糕的消费量逐年增加。小麦粉作为蛋糕生产的主要原料之一,其理化特性对蛋糕品质有重要

影响^[11]。

优质蛋糕通常具有比容大、口感松软、质地细腻等品质特性,要求面糊面筋含量较低、持气性良好。调制面糊时面筋的形成量、小麦粉的湿面筋含量均与糖、油的添加量有关。除此之外,小麦粉还应具有灰分含量低、面团稳定时间短、降落数值较高、粒度较小^[12]等特性。灰分可以反映小麦粉的加工精度,面团稳定时间反映面筋品质,降落数值反映小麦粉中 α -淀粉酶的活性。灰分较高时,说明混入小麦粉的麸皮较多,不利于蛋糕烘焙时气孔的形成和稳定。面团稳定时间较长时,面筋强度较高,不利于蛋糕焙烤过程中面糊的延展,不能形成比容较大的蛋糕。小麦粉粒度较小时,水、油等液态成分在面糊中的分布更加均匀,更有利于制作出比容较大、质地柔软的蛋糕^[13]。

小麦粉中的蛋白质、淀粉和脂质等主要组分对蛋糕的品质均具有显著影响,面筋蛋白构成蛋糕的网络结构,但当面筋蛋白含量较高时,蛋糕糊的延展性受到抑制,而小麦醇溶蛋白则对蛋糕糊的延展性有利^[14]。此外,醇溶蛋白有利于提高蛋糕糊的黏度^[15],因而醇溶蛋白含量较高的小麦粉有利于制作比容较大的蛋糕。在焙烤过程中,由于淀粉糊化等因素而产生的黏度是维持蛋糕中气泡的重要因素,低黏度的蛋糕糊不利于维持气泡,而蛋糕糊黏度较高时,气泡则不易逸出,从而增大蛋糕比容^[16-17]。因此,淀粉的糊化特性对蛋糕品质具有显著影响。

目前,弱筋小麦粉主要被用于生产饼干和蛋糕,其他类型的食品,如南方馒头、叉烧包等,对弱筋小麦粉的特性要求与饼干、蛋糕相似^[18-19]。目前,我国现有的弱筋小麦品种虽然蛋白质含量低,但其籽粒硬度、面筋品质和溶剂保持力等品质仍然难以达到优质弱筋小麦的要求。因此,我国优质弱筋小麦粉的产量难以充分满足市场需求,需要通过育种、物理改性、化学改性和添加剂的应用等方法来改善弱筋小麦粉品质,从而提高优质弱筋小麦粉产量。

2 弱筋小麦粉品质改善研究现状

2.1 优质弱筋小麦品种的培育

早在20世纪50年代,美国、加拿大、澳大利亚等国家已经开展了优质弱筋小麦品种选育、品质区划等方面的工作。而我国的小麦育种则长

期以提高产量为首要目标,直至20世纪末,优质弱筋小麦育种才被列为主要目标之一^[20]。20世纪末,我国育成了宁麦9号、建麦1号、扬麦9号、豫麦50、郑麦004等弱筋小麦品种,21世纪初,又育成了扬麦13、扬麦15、宁麦13、皖麦48、扬辐麦2号等弱筋小麦品种^[20]。近年来,我国弱筋小麦的种植面积、总产量和品质均得到了显著提高。张勇等^[21]对比了89份美国弱筋小麦品种和18份国产弱筋小麦品种的品质,结果表明,国产弱筋小麦的蛋白质含量更低,但国产弱筋小麦的籽粒硬度、溶剂保持力仍高于美国弱筋小麦,理化特性相对较差。

虽然我国弱筋小麦育种取得了一定成果,但我国在弱筋小麦育种中仍然存在许多问题,主要包括:缺乏优质弱筋小麦种质资源^[22-23];品质稳定性差;加工品质仍需改良^[24];综合性状有待进一步提高。鉴于以上问题,除了小麦育种外,在小麦栽培、产后加工等过程中采取一定手段改善弱筋小麦品质具有重要意义。

2.2 氯气处理

氯气处理是改善弱筋小麦粉食用品质的一种有效方法,自20世纪20年代起,氯气处理法已经逐渐开始在面粉工业中得到应用^[25]。最初,氯气在面粉工业中主要用于小麦粉的漂白和促进小麦粉的后熟^[26]。以经氯气处理后的小麦粉为原料可以制得品质(质构、体积等)更好的蛋糕^[25]。在面粉工业中,进行氯气处理时,所使用的氯气质量浓度通常为1 100~2 300 mg/kg^[25]。在氯气处理过程中,淀粉、蛋白质、脂质、戊聚糖等组分均可吸收氯气^[25]。其中,不饱和脂肪酸是首先吸收氯气的组分,而面筋蛋白则是氯气的主要吸收体^[27]。

氯气主要通过其强氧化作用以及其他化学性质与小麦粉组分发生化学反应,改变小麦粉中淀粉、蛋白质、脂类和戊聚糖等组分的性质,从而改善蛋糕的比容、质构等品质。由于小麦粉中含有一定量的水分,因此在进行氯气处理时,氯气与小麦粉中水发生反应,产生次氯酸根离子(ClO^-)、氯离子(Cl^-)和氢离子(H^+)。其中, ClO^- 具有强氧化性,对小麦粉起到了漂白作用, H^+ 的存在则导致小麦粉pH值降低^[25]。在氯气处理时,氯气可以与小麦粉中的不饱和脂肪酸发生加成反应。氯气最先与小麦粉中的单不饱和脂肪酸发生反应^[28]。在氯气与脂肪酸发生反应时,氯气对游离态和结合态脂肪酸不具有选择

性^[29]。由于脂质常与蛋白质、淀粉等发生相互作用,因此,氯气与小麦粉脂质发生的化学反应对于改善蛋糕品质也具有重要作用。氯气处理对小麦粉的作用最终表现为促进淀粉糊化、增强淀粉表面蛋白质的疏水性、弱化面筋强度和增强小麦粉持水力。由于氯气的作用,在制作蛋糕时,淀粉糊化时溶胀更快、黏度更大,因而对面糊结构的支撑力更强,所制得蛋糕的比容更大。小麦粉经氯气处理后,由于持水性的增强,在制作蛋糕时可以吸收更多水分,从而使焙烤后的蛋糕质地更加柔软^[30]。虽然氯气处理对弱筋小麦粉品质具有良好的改善效果,但由于氯气具有一定毒性,许多国家和地区已制定了严格的限量标准,欧盟已禁止采用氯气处理小麦粉。

2.3 热处理

热处理是小麦加工与储藏中常用的处理方法,在小麦和小麦粉的杀虫、杀菌脱毒、酶活性抑制和小麦品质改良等方面均得到了一定应用,同时在低筋小麦粉的品质改善中也取得了良好的效果。适当的热处理可以加速弱筋小麦的后熟,从而使其品质更加稳定^[31-32]。Russo 等^[33]首先研究了小麦粉的热处理技术,经热处理后,小麦粉的沉降值减小、蛋白质的溶解度降低、淀粉的糊化黏度升高,所制得蛋糕的质构和风味得到显著改善。此后,不同的研究者从多种角度对热处理工艺进行了许多改进,研究了多种不同形式的热处理方法,并对热处理改善小麦粉品质的机理进行了研究。Neill 等^[34]和 Chesterton 等^[35]均采用流化床干燥法对小麦粉进行热处理并对其工艺进行优化,所得最优工艺分别为 120~130 ℃、30 min 和 130 ℃、15 min,最优工艺存在的差别主要可能是由所用热处理设备的差异造成的。Hanamoto 等^[36]将小麦粉置于密闭容器中,在 71 ℃下密闭 4~5 d,随后在小麦粉中混入适量淀粉,该处理工艺不仅可以显著改善蛋糕的质构、色泽、感官等品质,而且未使用和产生对人体有害的物质。Chieko 等^[37]采用干热法在 120 ℃下处理弱筋小麦粉,在 10~120 min 内,随着处理时间的延长,在制作日本海绵蛋糕时,蛋糕糊的气泡稳定性显著增强,最终使蛋糕体积显著增大。除了传统的热处理方法外,新型热处理方式也在弱筋小麦的改性中得到了一定应用。Liu 等^[38-40]使用过热蒸汽处理弱筋小麦,结果表明,在适当条件下,过热蒸汽处理弱筋小麦可显著改善蛋糕的比容、质构和感官品质等特性,同时也能显著

降低酥性饼干的硬度,改善其延展性和感官品质等。

在热处理过程中,小麦粉中淀粉发生部分糊化^[41]、蛋白质部分变性^[42],这些变化是导致小麦粉品质发生变化的根本原因,从而影响所制得蛋糕的品质。其中,蛋糕体积主要受蛋糕糊黏度的影响,而蛋糕糊黏度主要是由淀粉黏度决定的^[30],而淀粉黏度的变化则是由淀粉颗粒表面蛋白质疏水性的变化、淀粉糊化和淀粉破损等因素引起的^[43-44]。此外,由于热处理温度和时间与小麦粉水分含量具有一定相关性,因此热处理后小麦粉水分含量也与蛋糕品质相关,热处理后小麦粉水分含量低于 8%且接近于 4%时,所制得蛋糕的品质最佳,因此水分含量的变化可以作为控制热处理条件的依据^[44]。

适当的热处理对低筋小麦粉品质具有较好的改善效果^[45-46],但不当的热处理则可能对小麦粉品质产生负面影响(包括面团品质变差和烘焙品质变差等)。因此,在进行热处理时,应根据应用目的、小麦粉品质和食品品质的变化选取合适的热处理工艺。

2.4 臭氧处理

臭氧具有强氧化性,易于分解,因此臭氧处理不会对样品造成污染,是一种“理想的绿色强氧化剂”^[47]。臭氧对于降低食品加工厂化学需氧量、食品杀菌和延长食品货架期具有良好的作用,因此在食品加工中应用广泛^[48]。

在蛋糕用小麦粉生产过程中,可以采用臭氧处理法替代氯气处理。研究表明,臭氧处理小麦粉可以显著提高蛋糕的体积、改善蛋糕的内部结构和质构,这与氯气处理的作用相似^[49]。但是,臭氧处理和氯气处理对蛋糕粉的改善机理不完全相同。小麦粉经臭氧处理后,产生了酸性化合物,使小麦粉的 pH 值降低^[50]。臭氧还可以氧化小麦粉中的色素(如叶黄素),导致黄度值降低^[51]。此外,臭氧氧化蛋白质的巯基,形成分子间二硫键^[52]。因此,经臭氧处理后,小麦粉中的不可提取聚合蛋白质含量增加、蛋白质平均分子量变大,但氯气处理不会引起蛋白质分子量和溶解性的显著变化。以上作用最终导致所制得蛋糕糊的黏度增加、比重减小,蛋糕比容增大。

臭氧处理虽然对蛋糕粉具有良好的改善效果且安全性较高,但也可能导致小麦粉产生不良气味。在实际应用中,应采取一定措施消除臭氧处理过程中产生的不良气味。

2.5 改性剂法

可以通过在小麦粉中添加化学添加剂改善其品质。碘酸钾、*L*-半胱氨酸、*N*-乙基马来酰亚胺(NEM)、二硫赤藓糖醇、蛋白酶等改性剂可以通过改性蛋白质来改善小麦粉的食用品质,添加改性剂后的小麦粉所制得曲奇的延展性、硬度、酥脆性等品质得到显著改善^[53-54]。此外,添加大豆磷脂、黄原胶、过氧化氢、抗坏血酸和葡萄糖氧化酶等改性剂均可以改善蛋糕用小麦粉的品质^[25,55]。Geera等^[56]研究表明,在小麦粉中添加大豆粉、黄原胶、瓜尔豆胶或乳清蛋白对于蛋糕的高度、体积和质构均具有显著改善作用。其中黄原胶和瓜尔豆胶对于稳定蛋糕糊和蛋糕体系的结构具有重要作用。Thomasson等^[57]研究表明,在热处理后的小麦粉(水分含量7%)中添加0.12%的黄原胶即可显著提高所制得的蛋糕糊的黏度,从而使最终所制得的蛋糕体积增大,且显著大于由氯气处理的小麦粉所制得的蛋糕。而在热处理后的小麦粉中添加200 mg/kg或300 mg/kg的*L*-半胱氨酸时,可以减少蛋白质的聚合,增大蛋糕糊在焙烤时的延展性,从而可以达到与氯气处理相似的效果。葡萄糖氧化酶可以催化葡萄糖氧化产生葡萄糖酸和过氧化氢,而过氧化氢可以促进蛋白质分子中的自由巯基氧化为二硫键、促进水溶性戊聚糖的凝胶化并改变面糊的流变学特性,这些性质的改变促进了蛋糕品质的改善^[58-59]。Pycarelle等^[60]研究表明,某些外源脂类(如单酰基甘油或聚甘油酯)可以改善蛋糕糊的气室结构和稳定性,从而使蛋糕的体积更大、质构更柔软。

3 总结与展望

优质弱筋小麦品种的选育是稳定提高弱筋小麦产量的关键,但目前小麦育种难以完全解决弱筋小麦的短缺问题,因此,可以通过氯气处理、臭氧处理、热处理和添加改性剂等方法来对弱筋小麦或弱筋小麦粉进行改性,使之更适宜于制作蛋糕、饼干等食品。在这些方法中,氯气处理是传统方法,但由于其具有毒性已逐渐被替代;臭氧处理在理论上具有可行性,但目前应用较少;热处理和改性剂法效果较好、易于操作,是目前应用较多的改善弱筋小麦粉品质的方法。但热处理在改变烘焙品质的同时,也可能对小麦粉的其他品质造成不良影响,因此,在未来应对热处

理的方法和工艺进行更深入的研究,同时应促进热处理在小麦加工中的规模化、标准化应用。此外,也应对热处理改善弱筋小麦粉的机理和分子机制进行深入研究,从而为在实际生产中调整热处理的参数和条件提供理论依据。

参考文献:

- [1] 低筋小麦粉:GB/T 8608—1988[S].
- [2] 关二旗, 庞锦玥, 卞科. 研磨强度对小麦粉品质特性影响的研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(5): 126-131.
- [3] KWEON M, SLADE L, LEVINE H, et al. Cookie-versus cracker-baking: what's the difference? Flour functionality requirements explored by SRC and alveography[J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2014, 54(1): 115-138.
- [4] KWEON M, SLADE L, LEVINE H. Solvent retention capacity (SRC) testing of wheat flour: principles and value in predicting flour functionality in different wheat-based food processes and in wheat breeding: a review[J]. Cereal chemistry, 2011, 88(6): 537-552.
- [5] 杭雅文, 武威, 张宸茜, 等. 弱筋小麦品质指标的相关性分析及筛选[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(3): 320-327.
- [6] CLEWLOW G, DIXON W. New aspects of the evaluation of biscuit flour[J]. Journal of the science of food and agriculture, 1957, 8(9): 541-547.
- [7] WANG N F, HOU G G, KWEON M, et al. Effects of particle size on the properties of whole-grain soft wheat flour and its cracker baking performance [J]. Journal of cereal science, 2016, 69: 187-193.
- [8] DODDS N J H. Damaged starch determination in wheat flours in relation to dough water absorption[J]. Starch-stärke, 1971, 23(1): 23-27.
- [9] 马文惠, 王晓玲, 王凤成, 等. 浅析酥性饼干与曲奇饼干的区别[J]. 粮食与食品工业, 2012, 19(3): 27-30.

- [10] 关裕亮,褚庆华,周志荣. 曲奇饼干质量控制的研究[J]. 中国粮油学报, 1997, 12(4):6-13.
- [11] BLANCHARD C, LABOURE H, VEREL A, et al. Study of the impact of wheat flour type, flour particle size and protein content in a cake-like dough: proton mobility and rheological properties assessment[J]. Journal of cereal science, 2012, 56(3):691-698.
- [12] CHOI H W, BAIK B K. Significance of wheat flour particle size on sponge cake baking quality[J]. Cereal chemistry, 2013, 90(2):150-156.
- [13] NINDO C I. Food engineering aspects of baking sweet goods[J]. Journal of food processing and preservation, 2009, 33(5):691-692.
- [14] AL-DMOOR H M. Cake flour: functionality and quality[J]. European scientific journal, 2013, 9(3):166-180.
- [15] FALCAO-RODRIGUES M M, MOLDAO-MARTINS M, BEIRAO-DA-COSTA M L. Thermal properties of gluten proteins of two soft wheat varieties [J]. Food chemistry, 2005, 93(3):459-465.
- [16] SAHI S S, ALAVA J M. Functionality of emulsifiers in sponge cake production [J]. Journal of the science of food and agriculture, 2003, 83(14):1419-1429.
- [17] SAKIYAN O, SUMNU G, SAHIN S, et al. Influence of fat content and emulsifier type on the rheological properties of cake batter[J]. European food research and technology, 2004, 219(6):635-638.
- [18] LIMLEY H A, CROSBIE G B, LIM K K, et al. Wheat quality requirements for char siew bao made from australian soft wheat [J]. Cereal chemistry, 2013, 90(3):231-239.
- [19] HUANG S, QUAIL K, MOSS R. The optimization of a laboratory processing procedure for southern-style Chinese steamed bread [J]. International journal of food science and technology, 1998, 33(4):345-357.
- [20] 张 晓, 张 勇, 高 德 荣, 等. 中国弱筋小麦育种进展及生产现状 [J]. 麦类作物学报, 2012, 32(1):184-189.
- [21] 张 勇, 张 晓, 张 伯 桥, 等. 中国弱筋小麦与美国软麦溶剂保持力等品质比较 [J]. 江苏农业学报, 2013, 29(2):247-253.
- [22] 李冬梅, 田纪春, 肖蓓蕾, 等. 新引进国内外小麦核心种质籽粒蛋白质含量的比较分析 [J]. 河南农业科学, 2007, 36(2):32-34.
- [23] 吕国锋, 张伯桥, 张晓祥, 等. 中国小麦微核心种质中弱筋种质的鉴定筛选 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(10):260-263.
- [24] 林作楫, 雷振生, 杨攀, 等. 中国小麦品质育种进展与问题 [J]. 河南农业科学, 2007, 36(2):5-8.
- [25] AL-DMOOR H M, ELQUDAH J M. Cake flour chlorination and alternative treatments (review) [J]. Current research in nutrition and food science journal, 2016, 4(2):127-134.
- [26] HARREL C G. Maturing and bleaching agents used in producing flour [J]. Industrial & engineering chemistry, 1952, 44(1):95-100.
- [27] SOLLARS W F. Chloride content of cake flours and flour fractions [J]. Cereal chemistry, 1961, 38:487-500.
- [28] DANIELS N W R, FRAPE D L, EGGITT P W R, et al. Studies on the lipids of flour. II. Chemical and toxicological studies on the lipid of chlorine-treated cake flour [J]. Journal of the science of food and agriculture, 1963, 14(12):883-893.
- [29] KENT N L. Flour milling and baking research association [J]. Nutrition & food science, 1974, 74(1):6-8.
- [30] JOHNSON A C, HOSENEY R C, GHAISI K. Chlorine treatment of cake flours. V. Oxidation of starch [J]. Cereal chemistry, 1980, 57(2):94-96.
- [31] 王 琦, 苏 晓 宇, 贾 峰, 等. 不同后熟条件对强筋和弱筋小麦品质改善的研究 [J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(3):12-18.
- [32] 王 娜, 郑 学 玲, 马 森. 小麦面粉熟化过程中流变学特性变化规律研究 [J]. 粮食加

- 工, 2018, 43(2):7-12.
- [33] RUSSO J V, DOE C A. Heat treatment of flour as an alternative to chlorination [J]. International journal of food science and technology, 1970, 5(4):363-374.
- [34] NEILL G, AL-MUHTASEB A H, MAGEE T R A. Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour [J]. Journal of food engineering, 2012, 113(3):422-426.
- [35] CHESTERTON A K S, WILSON D I, SADD P A, et al. A novel laboratory scale method for studying heat treatment of cake flour [J]. Journal of food engineering, 2015, 144:36-44.
- [36] HANAMOTO M M, BEAN M M. Process for improving baking properties of unbleached cake flour; US4157406 [P].
- [37] CHIEKO N, YOSHIKI K, MASAHARU S. Increased volume of Kasutera cake (Japanese sponge cake) by dry heating of wheat flour [J]. Food science & technology research, 2008, 14(5):431-436.
- [38] LIU Y X, GUAN E Q, LI M M, et al. Improvement of cake quality by superheated steam treatment of wheat [J]. Journal of cereal science, 2020, 95:103046.
- [39] LIU Y X, LI M M, BIAN K, et al. Reduction of deoxynivalenol in wheat with superheated steam and its effects on wheat quality [J]. Toxins, 2019, 11(7):414.
- [40] MA Y S, XU D, SANG S Y, et al. Effect of superheated steam treatment on the structural and digestible properties of wheat flour [J]. Food hydrocolloids, 2020, 112:106362.
- [41] KIM W, CHOI S G, KERR W L, et al. Effect of heating temperature on particle size distribution in hard and soft wheat flour [J]. Journal of cereal science, 2004, 40(1):9-16.
- [42] SLADE L, LEVINE H. Glass transitions and water-food structure interactions [J]. Advances in food and nutrition research, 1995, 38(38):103-269.
- [43] BARLOW K, BUTTROSE M, SIMMONDS D, et al. The nature of the starch-protein interface in wheat endosperm [J]. Cereal chemistry, 1973, 50:443-454.
- [44] 刘远晓, 李萌萌, 卞科, 等. 热处理在小麦储藏与加工中的应用研究进展 [J]. 食品科学, 2019, 40(13):326-333.
- [45] HU Y M, WANG L J, ZHU H, et al. Modification of physicochemical properties and *in vitro* digestibility of wheat flour through superheated steam processing [J]. Journal of cereal science, 2017, 74:231-237.
- [46] HU Y M, WANG L J, ZHU H, et al. Superheated steam treatment improved flour qualities of wheat in suitable conditions [J]. Journal of food processing and preservation, 2017, 41:e13238.
- [47] 涂顺明, 邓丹雯, 余小林, 等. 食品杀菌新技术 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2004.
- [48] GUZEL-SEYDIMA Z B, GREENE A K, SEYDIM A C, et al. Use of ozone in the food industry [J]. LWT-Food science and technology, 2004, 37(4):453-460.
- [49] CHITTRAKORN S, EARLS D, MACRITCHIE F. Ozonation as an alternative to chlorination for soft wheat flours [J]. Journal of cereal science, 2014, 60(1):217-221.
- [50] RECKHOW D A, MASSACHUSETTS U O. Ozone in water treatment: application and engineering [J]. Journal of environmental quality, 1991, 20(4):881-882.
- [51] SANDHU H P S, MANTHEY F A, SIMSEK S, et al. Comparison between potassium bromate and ozone as flour oxidants in bread-making [J]. Cereal chemistry, 2011, 88(1):103-108.
- [52] VERAVERBEKE W S, LARROQUE O R, BEKES F, et al. *In vitro* polymerization of wheat glutenin subunits with inorganic oxidizing agents. II. Stepwise oxidation of low molecular weight glutenin subunits and a mixture of high and low molecular weight glutenin subunits [J]. Cereal chemistry, 2007, 77(5):589-594.
- [53] GAINES C S. Influence of chemical and physical modification of soft wheat protein on

- sugar-snap cookie dough consistency, cookie size, and hardness [J]. *Cereal chemistry*, 1990, 67(1):73-77.
- [54] INDRANI D, RAO G V. Effect of additives on rheological characteristics and quality of wheat of wheat flour parotta [J]. *Journal of texture studies*, 2006, 37(3):315-338.
- [55] AZARI M, SHOJAEI-ALIABADI S, HOSSEINI H, et al. Optimization of physical properties of new gluten-free cake based on apple pomace powder using starch and xanthan gum [J]. *Food science and technology international*, 2020, 26 (7): 1082013220 91870.
- [56] GEERA B, REILING J A, HUTCHISON M A, et al. A comprehensive evaluation of egg and egg replacers on the product quality of muffins [J]. *Journal of food quality*, 2011, 34(5): 333-342.
- [57] THOMASSON C A, MILLER R A, HOSENEY R C. Replacement of chlorine treatment for cake flour [J]. *Cereal chemistry*, 1996, 72(6):616-620.
- [58] DUNNEWIND B, VLIET T V, ORSEL R. Effect of oxidative enzymes on bulk rheological properties of wheat flour doughs [J]. *Journal of cereal science*, 2002, 36(3):357-366.
- [59] GUJRAL H S, ROSSEL C M. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase [J]. *Food research international*, 2004, 37(1):75-81.
- [60] PYCARELLE S C, BRIJS K, DELCOUR J A. The role of exogenous lipids in starch and protein mediated sponge cake structure setting during baking [J]. *Food research international*, 2020, 137:109551.

(上接第 91 页)

- [13] JUNGMIN L, ROBERT W D, RONALD E W. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study [J]. *Journal of AOAC international*, 2005, 88 (5):1269-1278.
- [14] 张燕,胡新中,师俊玲,等. 熟化工艺对燕麦传统食品营养及加工品质的影响 [J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(10):86-91.
- [15] KAWALJIT S S, POONAM G, MANINDER K, et al. Effect of toasting on physical, functional and antioxidant properties of flour from oat (*Avena sativa* L.) cultivars [J]. *Journal of the saudi society of agricultural sciences*, 2017, 28(2):197-203.
- [16] 古明亮,苏明,阮嘉欣,等. 炒制温度和时间对炒花生仁品质影响的研究 [J]. *粮食与食品工业*, 2018, 25(6):31-39.
- [17] VANESA C A, LAZARTE C E, DAYSI P R, et al. Effect of fermentation and dry roasting on the nutritional quality and sensory attributes of quinoa [J]. *Food science & nutrition*, 2019, 7(12):3902-3911.
- [18] 陈卓瑶,原江锋,侯增超,等. 微波处理对黑米酒物理化学特性的影响 [J]. *食品与机械*, 2020, 36(3):194-199.
- [19] 赵慧君,朱科帆,钟小丹,等. 不同酒曲和炒米时间对米酒滋味品质的影响研究 [J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(7):67-70.
- [20] 吴璐,吴维刚,谭丽霞,等. 麦芽炒制过程中炒制温度和时间对糖类成分的影响 [J]. *中草药*, 2017, 48(7):1334-1339.
- [21] SEAMAN C, NAKAI S, AMINLARI M. Effect of pH, temperature and sodium bisulfite or cysteine on the level of Maillard-based conjugation of lysozyme with dextran, galactomannan and mannan [J]. *Food chemistry*, 2006, 99(2):368-380.
- [22] SUN F L, FAN L L, XIE G J. Effect of copper on the performance and bacterial communities of activated sludge using Illumina MiSeq platforms [J]. *Chemosphere*, 2016, 156:212-219.