

无麸质面包品质提升技术及研究现状

胡良术¹, 何林阳¹, 杨 杨¹, 朱鹏宇¹, 王 冰¹, 边 鑫¹,
陈凤莲¹, 关桦楠¹, 张秀敏², 张 娜^{1*}

(¹哈尔滨商业大学食品工程学院 黑龙江省谷物食品与综合加工重点实验室

黑龙江省普通高校食品科学与工程重点实验室 哈尔滨 150076

²北京食品科学研究院 北京 100068)

摘要 无麸质(GF)饮食是解决乳糜泻(CD)疾病患者以及对面筋蛋白过敏人群唯一有效的方法,目前也受到健康人群青睐,也因此推动了该类食品的较大需求。面筋蛋白是一种能够保留二氧化碳的蛋白质复合物,它赋予酵母发酵食品独特的性能。在无面筋蛋白的情况下生产的面团的流变性较差,影响面包的品质。本文是从原料选择、添加不同改良剂以及不同制作技术综述改善无麸质面包的制作方法,为改善无麸质面包的结构、质地、可接受性研究提供参考。

关键词 无麸质; 面包; 无麸质食品; 品质改良

文章编号 1009-7848(2022)03-0408-11 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2022.03.044

面包是世界上常见的主食之一,主要由小麦粉制成,在面包加工过程中小麦粉中的面筋蛋白可以将面粉和水混合所形成的面团变得更加具有黏弹性,再经发酵、烘烤后制成松软香甜的面包^[1]。在混揉过程中,小麦粉、水、酵母、糖、盐、油和其它成分被充分混合和揉捏,从而形成至关重要的面筋网络结构^[2]。面筋蛋白是由麦醇溶蛋白和谷蛋白组成,在面团揉捏过程中促进了这些蛋白之间的氢键和二硫键交联相互作用,最终产生了一种具有黏弹性和高度构象的蛋白质网络,称为“面筋”(图 1a)^[3]。发酵过程中,酵母在面团中快速生长,以糖为食,消耗掉所有可用氧后,通过新陈代谢将从有氧呼吸转移到厌氧发酵,并产生主要由二氧化碳和其它成分组成的发酵气体,如乙醇,反应式如下:



在小麦面团中,气体被限制在连续的“面筋基质”中^[4],该基质是由黏弹性的面筋网络和其它成

分如淀粉颗粒和水组成(图 1b)。在开始发酵时,面团中会产生许多小气室,随着发酵的进行,每个小气室都会逐渐变大,面团体积也因此增大。在后续烘焙过程中,气室因受热而进一步膨大,导致面团膨胀^[5]。淀粉分子受热糊化,从而使形成“气室”外壳的面筋基质变硬,形成了稳定的面包屑结构^[6]。面包的表面,在糖和氨基酸之间发生的美拉德反应下变得酥软金黄^[7]。

在小麦面团中,气体被限制在连续的“面筋基质”中^[4],该基质是由黏弹性的面筋网络和其它成分如淀粉颗粒和水组成(图 1b)。在开始发酵时,面团中会产生许多小气室,随着发酵的进行,每个小气室都会逐渐变大,面团体积也因此增大。在后续烘焙过程中,气室因受热而进一步膨大,导致面团膨胀^[5]。淀粉分子受热糊化,从而使形成“气室”外壳的面筋基质变硬,形成了稳定的面包屑结构^[6]。面包的表面,在糖和氨基酸之间发生的美拉德反应下变得酥软金黄^[7]。

面筋蛋白独特的黏弹性提供了高质量的小麦面包,然而有部分消费者需遵循无麸质饮食,如患有麸质不耐症【主要是自身免疫性乳糜泻(CD)、小麦过敏和非乳糜麸质敏感性(NCGS)等】的人群,无麸质饮食是麸质不耐受患者唯一有效的“治疗”方法^[8-9]。此外,无论是否与乳糜泻或其它与麸质相关的疾病有关,越来越多的消费者选择食用

收稿日期: 2021-13-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(32072258,31871747);
黑龙江省“百千万”重大专项(2019ZX08B02);
中央财政支持地方高校发展专项资金优秀青年
人才支持计划项目

作者简介: 胡良术(1996—),男,硕士

通信作者: 张娜 E-mail: foodzhangna@163.com

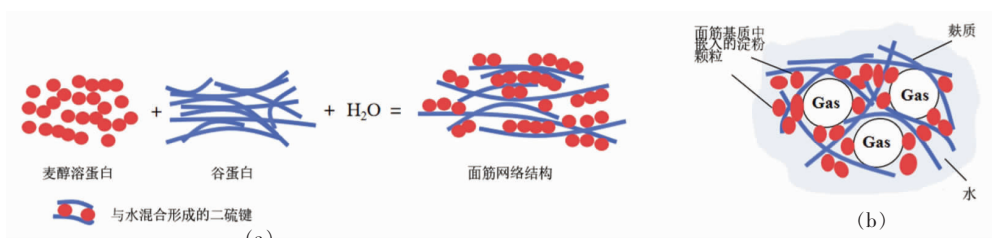


图 1 面筋网络结构的形成(a)与麸质面团溶胀机理(b)

Fig.1 The formation of gluten network structure (a) and the swelling mechanism of gluten dough (b)

无麸质食品。据报道,大约 13%的年轻人遵循无麸质饮食,他们认为这种饮食方式可以减少摄取过多的碳水化合物,会更益于健康^[10]。Xhakollari 等^[11]推测无麸质食品市场份额将会持续增长,预计 2020 年将达到 47 亿美元。由此可见,开发无麸质食品的需求正在快速增长。

无麸质食品是一类面筋蛋白含量低于 20 mg/kg,可供麸质不耐受患者食用的食品。面筋蛋白是一种结构蛋白,对制作高质量的酵母发酵食品至关重要。要获得高质量的无麸质面包,需寻找能够改善无麸质面包的配料、添加剂以及技术。本文基于近几年无麸质面包的最新研究,主要从原料选择、不同改良剂添加以及不同技术的应用 3 个方面归纳总结,综述无麸质面包品质改良技术新进展,为此类面包的研发提供参考。

1 无麸质面包品质改善途径

面包质量取决于面筋蛋白的性质和功能,不添加面粉或面筋制作的面包品质并不理想^[9]。传统小麦面团中,面筋基质主要由面筋蛋白、淀粉颗粒和水组成蛋白质网络包围发酵产生的气体(图 1b)形成小的“气室”,面团随着发酵的进行而持续膨大^[12]。与传统面包相比,无麸质面团黏弹性、拉伸性、保气性差,制作而成的无麸质面包体积小,表皮粗糙易干裂,质地较硬,面包屑结构致密,风味不佳,营养较低。在生产方面,无麸质面包加工难度大,贮藏过程中老化速率快,货架期短,成本较高,售价昂贵^[13]。在过去几年中,为改善无麸质面包的品质,很多研究者致力于寻找面筋的替代品,包括淀粉、无麸质面粉、亲水胶体、蛋白质、酶类和乳化剂等来改善面团的流变特性。近年来,面筋蛋白水解、酸发酵、冷冻和部分烘烤技术等新加工技术是提高无麸质面包品质的有效手段。

1.1 无麸质面粉或淀粉

淀粉在面包烘烤过程中起重要作用,烘烤过程中淀粉颗粒会糊化且具有捕获气泡的能力,从而有助于发酵过程中的气体滞留^[14]。利用淀粉的糊化特性可以改善无麸质粉的吸水性,改良面团持水性及烘焙特性。在过去 10 年,各种无麸质面粉或淀粉被用来取代麦粉,包括大米^[15]、玉米、小麦淀粉、高粱^[16]等谷物,荞麦^[17]、藜麦等假谷物,木薯^[18]、马铃薯等块茎类,大豆^[19]、鹰嘴豆、豌豆等豆类及其它替代原料(亚麻籽、栗子、苹果渣等)^[20],如表 1 所述。以上这些原料具有开发成本低廉,营养丰富,综合利用价值高等优势。

然而,在无麸质面包中添加燕麦和小麦淀粉多年以来一直存在争议。这两种粉可以提高产品质量,使无麸质饮食多样化,然而它们可能含有面筋蛋白。其中,燕麦是一种营养密集的谷类食品,含有植物化学物质,特别是黏性的 β -葡聚糖,被证明能降低胆固醇并帮助控制血糖^[21]。燕麦的使用不被广泛推荐,这是因为燕麦在收获、运输、碾磨和加工过程中有被含面筋谷物污染的风险^[22]。而商业小麦淀粉及其改性后经工业纯化,通常含有<10 mg/kg 的面筋,并且各国地方分离小麦淀粉的加工方法不同,残留的面筋含量也有所不同,也不被推荐使用^[23]。

表 1 无麸质面包制作的面粉和淀粉

Table 1 Flours and starches used in gluten-free bread making

谷物	假谷物	块茎类	豆类	其它
大、小米	荞麦	木薯	大豆	亚麻籽
玉米	苋菜籽	马铃薯	鹰嘴豆	栗子
高粱	藜麦	山药	豌豆	苹果渣
小麦淀粉*				
燕麦*				

注:*可能存在面筋污染,添加小麦淀粉和燕麦存在争议。

1.2 面团和面包改良剂的添加

单纯无麸质原料粉的加工适应性较差,通过添加一些功能性改良剂来改善。常用的改良剂有亲水胶体、蛋白质、酶、抗氧化剂和乳化剂等(详见

表2),在工业上通常用于改善面团特性,提高品质并延长面包的货架期^[24-25]。其中有一些改良剂被用于无麸质面包制作。

表2 改良剂对无麸质面包品质的影响^[26-43]

Table 2 Effects of amendments on the quality of gluten free bread^[26-43]

添加剂种类		作用原理	作用效果
亲水胶体	羟丙基甲基纤维素 瓜尔胶 黄原胶 羧甲基纤维素	与水相互作用,形成具有黏弹性的三维凝胶网络结构	提高面团持气性、持水性,增加黏弹性;提高面包比容,形成气孔,软化面包芯
蛋白质	豆类	大豆分离蛋白 豌豆分离蛋白 羽扇豆蛋白	强化面团的网络结构,参与美拉德褐变反应
	鸡蛋	白蛋白 全蛋白	
	乳制品	酪蛋白 浓缩乳清蛋白 牛奶分离蛋白	
	特殊替代蛋白	乳清蛋白颗粒 玉米醇溶蛋白	
	其它	牛血浆蛋白 牛血清白蛋白 胶原蛋白	
酶类	交联酶	转谷氨酰胺酶 葡萄糖氧化酶 酪氨酸酶 漆酶	诱导蛋白质之间形成共价交联
	蛋白酶	蛋白水解酶 还原型谷胱甘肽 氧化型谷胱甘肽	
	淀粉修饰酶	环糊精糖基转移酶 淀粉酶	
乳化剂	硬脂酰乳酸钠 分子蒸馏单甘脂 大豆卵磷脂	与淀粉结合形成不溶性复合物,抑制淀粉重结晶和回生	增强面团的强度;软化面包芯,延缓老化

亲水胶体通常用作增稠剂,水状胶体与水相互作用,形成凝胶三维网络结构,该过程涉及聚合物链的缔合或交联,将水和其它添加剂(例如蛋白和溶质)捕获或固定在其中。交联的区域称为结合区,可以由两条或更多条聚合物链形成(图2)^[44]。这种交联可用于增加面糊的黏度,强化膨胀气室

的边界,增强醒发和烘焙过程中的气体滞留能力,并改善无麸质面包的体积、结构、质地和外观^[45-46]。亲水胶体还具有烘焙过程中淀粉糊化所必需的“释水”效果^[46]。常见的亲水胶体列于表2,其中羟丙基甲基纤维素(HPMC)和黄原胶(XG)是无麸质配方中使用最广泛的亲水胶体,它们具有良好的

改善产品品质的能力^[38]。无麸质面团中使用了瓜尔胶、CMC、豆角胶和琼脂糖等亲水胶体。最近,其它亲水胶体如水芹胶^[24]和羧甲基纤维素钠

(NaCMC)^[47]也被用作新型面筋替代品,并获得较好的面包品质。

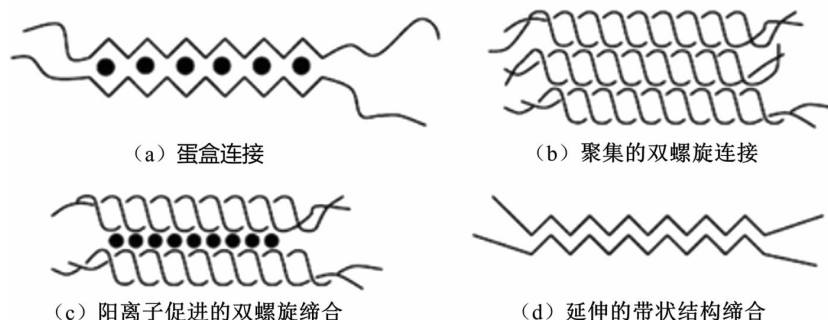


图 2 亲水胶体凝胶的结合区模型^[48]

Fig.2 Binding zone model for hydrocolloid gels^[48]

将不同来源的蛋白质成分(例如豆类、鸡蛋和乳制品)加入无麸质面团以改善产品品质,一直是研究热点。表 2 显示不同来源蛋白质的详细信息。添加蛋白质不仅可以增强无麸质产品的功能和营养特性,还可以通过增加美拉德褐变和风味来改善感官品质^[49]。蛋白质被用于无麸质配方中,其目的是改善无麸质面包的感官品质以及丰富营养特性(增加蛋白质含量和提供必需的氨基酸)。添加不同来源的蛋白质中,含有二硫键的蛋白质(如大豆蛋白)在和面、发酵等加水、加热阶段中,会促使分子间发生巯基氧化和巯基/二硫键交换反应,形成复杂的蛋白重组体,重组后的分子内二硫键、氢

键等再通过键合断裂与重新聚集,构建一个可以模拟面筋蛋白的蛋白网络结构,增强蛋白质肽链的交联度(图 3),最终改善面团的流变学和烘焙特性以及无麸质面包的结构、感官和货架期特性^[50]。最常用的蛋白质主要来自乳制品、鸡蛋、豆类和谷类食品。还有一些新颖的蛋白质,如牛血浆蛋白,经不同的处理方式【通过超滤和冷冻干燥操作(PUF),添加蔗糖(PUFS)或菊粉(PUFI)】后加入无麸质原料中,制作出的无麸质面包均显示流变性和感官品质的改善^[50]。另外,其它特殊替代蛋白如乳清蛋白颗粒、玉米醇溶蛋白等为制备无麸质面包提供了新的蛋白替代品^[51]。

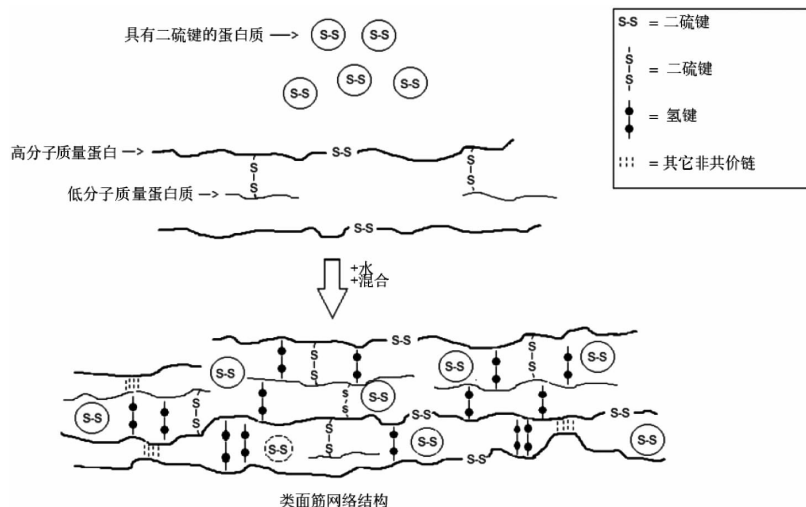


图 3 类面筋网络结构的形成

Fig.3 The formation of gluten-like network structure

酶法常被用来改善无麸质面团特性、面包的最终质量和保质期。在无麸质面包生产中研究较多的酶是淀粉修饰酶【淀粉酶和环糊精糖基转移酶(CGT)】、蛋白质交联酶【转谷氨酰胺酶(TG)和葡萄糖氧化酶(GO)】及蛋白酶^[51-55](表2)。无麸质原料的蛋白质在发酵和烘焙过程中通常不能滞留气体。一些研究^[52-53]探究了蛋白质交联酶的功能,如转谷氨酰胺酶和葡萄糖氧化酶,它们与无麸质面团和面包的特性有关。TG会催化酰基转移反应,在L-赖氨酸和L-谷氨酰胺氨基酸残基之间引入新的分子间和分子内共价交联。TG还间接导致可溶性蛋白质转化为高分子质量的不溶性蛋白质聚合物,这种蛋白质网络可以改善面团和面包的特性。葡萄糖氧化酶催化葡萄糖氧化成葡萄糖酸和过氧化氢,而过氧化氢会进一步氧化小麦粉中的巯基使之生成二硫键,促进蛋白质网络的形成。Gujral等^[53]测试了葡萄糖氧化酶对以大米为原料的无麸质面包的影响,并获得体积更大、面包屑质地更柔软的面包。环糊精糖基转移酶水解 α -1-4糖苷键使其裂解,同时环化所产生的片段,从而产生6,7或8个葡萄糖单元的闭合环状分子,分别称为 α - β -或 γ -环糊精。环糊精具有极性表面和疏水性内腔,并具有乳化特性,能够与脂质和蛋白质形成复合物。同时观察到,添加环糊精糖基转移酶可使面包具有良好的比容,柔软的面包屑质地

并降低老化率。蛋白酶(EC 3.4)也已用于无麸质配方中,蛋白酶包括蛋白酶和肽酶,是可以水解蛋白质中肽键的酶。Hatta等^[30]报道,大米蛋白中 α -和 β -谷蛋白亚基的降解对于改善面包的质地和品质至关重要。他们观察到经蛋白酶处理的米面包的保气性和质地特性都得到改善。另外,谷胱甘肽能降解水稻谷蛋白 α -和 β -亚基之间的二硫键^[42,55]。在大米面糊中掺入还原型谷胱甘肽(GSH)和氧化型谷胱甘肽(GSSG)的面包显示出与小麦面包相似的结构,然而外观更光滑。此外,感官分析表明,与还原型谷胱甘肽面包相比,氧化型谷胱甘肽面包的含硫气味明显减少。

乳化剂也是烘焙食品的添加剂,常用的有硬脂酰乳酸钠、分子蒸馏单甘脂、大豆卵磷脂等(表2)。乳化剂可用来改善面团的性质和面包的结构和体积,降低面包屑的硬度和老化的速度。乳化剂本质上具有两亲性,这使它们能够在两个不相溶的相之间迁移并形成界面,从而降低表面张力并形成乳液^[56]。在面包制作过程中,揉捏面团可使乳化剂转移到蛋白质相中,通过硫化物键合或者氢键来增强蛋白质网络结构(图4a),改善了面团的黏弹性及持气性,并与淀粉分子通过氢键相互作用形成直链淀粉-乳化剂复合物(图4b),从而降低淀粉回生(重结晶)的速度,延缓老化并改善保水性^[43,56-59]。

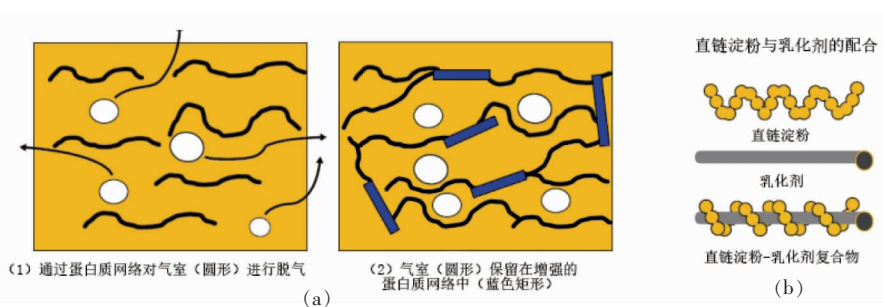


图4 乳化剂与蛋白质相互作用(a)、乳化剂与淀粉(直链淀粉)相互作用(b)

Fig.4 Interaction between emulsifier and protein (a) and interaction between emulsifier and starch (amylose) (b)

1.3 无麸质面包品质改良技术途径

新技术也可改善无麸质面包的质量,包括酸发酵、高压处理、冷冻或部分烘焙等的加工技术被单独或联合使用,以获得更好的无麸质面包的品质特性。

1.3.1 酸面团 酸面团是将乳酸菌和酵母菌加入

面粉、水和其它配料的混合物中,经发酵而成,可以改善面包的质地、风味、口感、营养价值和保质期。这些改良作用来源于酸面团中乳酸菌和酵母菌的复杂代谢活动,例如酸化、胞外多糖的产生、蛋白水解-淀粉分解和植酸酶活性,以及抗菌物质的产生。酸面团发酵在提高无麸质面包的质量和

可接受性方面开辟了新的领域^[60]。

研究证明酸面团发酵可以提高无麸质面包的质量,配方主要是为高粱^[61-63]、玉米粉、玉米淀粉、大米粉和荞麦粉^[64],以及荞麦、苋菜、鹰嘴豆和藜麦粉混合物^[65]。Moore 等^[65]用糙米、玉米淀粉、荞麦和豆粉的混合物生产无麸质酸面团,面包质地得到改善,并因抗真菌特性而延缓老化^[66]。许多乳酸菌在酸面团发酵过程中从蔗糖中产生多种长链糖聚合物,称为胞外多糖。不同的胞外多糖的化学组成、结构和物理性质各不相同,其中一些胞外多糖通过充当益生元和亲水胶体来改善无麸质面包的质量^[66]。Coda 等^[64]使用一种能够合成 γ -氨基丁酸(GABA)的乳酸菌来生产一种基于荞麦、苋菜、鹰嘴豆和藜麦粉的混合物的无麸质酸面团(GABA 是中枢神经系统中主要的抑制性神经递质),得到可接受度很高的面包(分数在 0 到 10 分之间,约 7 分)。研究人员也研究了乳酸菌的蛋白水解作用,可作为一种降解面筋蛋白的工具,进而为乳糜泻患者提供含小麦成分(作为过敏原的面筋蛋白被乳酸菌降解)的食物^[68-69]。根据 Rizzello 等^[67]说法,酸面团培养可用来消除面筋污染的风险。在他们的试验中,发酵前添加面筋蛋白,来模拟面筋污染。用酸面团培养物将面团中面筋蛋白降解,使面筋质量浓度降到 20 mg/kg 以下,但是为了评估这种方法的临床安全性,有必要进行进一步的研究。

1.3.2 高压加工 过去十几年,高压技术对无麸质面团和面包品质特性的影响受到广泛关注。这是一种非热处理的改良方法,是将食品置于 100~1 000 MPa 下,通过诱导淀粉糊化和蛋白质聚合来创造新的结构和质地^[68]。在高压下,淀粉膨胀并糊化,不会因加热而破坏淀粉颗粒的完整性^[69-71]。一般来说,溶胀程度很大程度上取决于施加的压力、处理时间和温度,以及淀粉的浓度和类型^[72]。

蛋白质也受高压加工处理的影响。Vallons 等^[71]在 200,400 MPa 和 600 MPa 条件下处理荞麦、大米和画眉草悬浮液(40 g/100 g)10 min,结果表明,高压处理通过巯基/二硫交换反应诱导大米和画眉草面糊中淀粉糊化和蛋白质聚合。对于荞麦蛋白,由于缺乏游离巯基,因此未观察到这种交联机制。他们观察到在较高压力下会增加面团的黏弹性。Huttner 等^[72]在 200,350 MPa 或 500 MPa 条

件下处理燕麦面糊 10 min,并将高压处理的燕麦添加到燕麦无麸质面包配方中,代替 10%,20%和 40%的未处理燕麦粉,研究表明,高压加工处理燕麦面糊会导致淀粉预糊化,从而导致面糊的黏度和弹性更高,进而增加面糊的保气性并改善其质地和体积、外观,降低老化速度。这些研究结果表明,高压过程可能会改变面包的品质特性并延缓老化。为了优化处理参数,从而改善无麸质面包的气体保留、结构、体积,可接受性和保质期,需进一步评估该处理对不同无麸质面粉和配方的影响。

1.3.3 冷冻冷藏或部分烘焙技术 生产无麸质面包的难度以及较为昂贵的价格使得有必要延长其保质期来降低成本。那么,冷冻冷藏技术是指在面包制作过程中(面团、面包)加入冷冻或冷藏环节,无麸质面包使用冷冻冷藏技术可以延缓加工步骤,延长无麸质面包的新鲜度^[73]。然而,冷冻冷藏处理会对产品(面团、面包)造成物理和化学损害,例如导致面团变软、持气性和酵母活性降低,并且对面包质量也造成了一定的缺陷,比如容降低、面包屑硬度增加和面包皮剥落等^[75]。

近年来,研究者采用部分烘焙技术已逐渐代替冷冻冷藏技术,部分烘焙面包是一种半成品,因此再制作食用方便快捷。部分烘焙的目的是为了实现产品的初步糊化和凝结,而不会在面包皮上发生着色反应。部分烘焙过程包括两个阶段:第一阶段,将发酵后的面团在特定的烘焙条件下制作成部分烘焙产品,该产品具有适当的面包屑质地和表皮颜色;储存一段时间后,在食用时进行第 2 次烘焙,以产生适当的风味和颜色^[75-76]。Sciarini 等^[40]评估了部分烘焙过程对无麸质面包的影响,并研究了 CMC 和 XG 的加入如何影响该过程。研究结果发现部分烘焙的面包显示出较低的比容,较紧密的面包屑和更高的面包屑硬度,添加亲水胶体,特别是 CMC,可以部分缓解这些负面影响。

2 结语

为了应对全球麸质不耐症,迫切需要为麸质不耐症患者提供令人满意、种类繁多的无麸质烘焙食品。然而,缺乏面筋(其决定了面包制作产品的整体外观和质地特性)使其成为技术挑战。本综述介绍了各种替代原料、改良剂(单独或联合添

加) 和技术, 来制作出具有理想品质的无麸质面包。即使我国有关无麸质面包的研究仍处于起步阶段, 但我们相信随着科学文化的不断创新, 研究人员能够根据本国的饮食文化来选择无麸质原料, 再根据原料特性有针对性地应用不同加工技术, 生产出高品质的无麸质面包, 推动产业化生产的实现。

参 考 文 献

- [1] AGUIAR E V, SANTOS F G, KRUPA-KOAZK U, et al. Nutritional facts regarding commercially available gluten-free bread worldwide: Recent advances and future challenges[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021: 1-13. DOI:10.1080/10408398.2021.1952403.
- [2] BIESIEKIERSKI J R. What is gluten?[J]. *Journal of Gastroenterology & Hepatology*, 2017, 32(S1): 78-81.
- [3] MANZOOR M, SHAMS R, RIZVI Q H, et al. Structural aspects of gluten free breads[M]//MIR S A, SHAH M A, HAMDANI A M. *Gluten-free Bread Technology*. Cham: Springer International Publishing, 2021: 71-87.
- [4] YANO H. Recent practical researches in the development of gluten-free breads [J]. *npj Science of Food*, 2019, 3(1): 1-8.
- [5] WANG F C, SUN X S. Thermal expansion of flour-water dough measured with a dynamic mechanical analyzer[J]. *Cereal Chemistry*, 1999, 76(1): 87-91.
- [6] KUSUNOSE C, FUJII T, MATSUMOTO H. Role of starch granules in controlling expansion of dough during baking[J]. *Cereal Chemistry*, 1999, 76(6): 920-924.
- [7] STAROWICZ M, ZIELIŃSKI H. How maillard reaction influences sensorial properties (Color, flavor and texture) of food products?[J]. *Food Reviews International*, 2019, 35(8): 707-725.
- [8] BENDER D, SCHÖNLECHNER R. Innovative approaches towards improved gluten-free bread properties[J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 91: 102904.
- [9] EL KHOURY D, BALFOUR-DUCHARME S, JOYE I. A review on the gluten-free diet: Technological and nutritional challenges [J]. *Nutrients*, 2018, 10(10): 1410.
- [10] CHRISTOPH M J, NICOLE L, HOOTMAN K C, et al. Who values gluten-free? Dietary intake, behaviors, and sociodemographic characteristics of young adults who value gluten-free food[J]. *Journal of the Academy of Nutrition & Dietetics*, 2018, 118(8): 1389-1398.
- [11] XHAKOLLARI V, CANAVARI M, OSMAN M. Factors affecting consumers' adherence to gluten-free diet, a systematic review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 85: 23-33.
- [12] DEMIRKESEN-BICAK H, ARICI M, YAMAN M, et al. Effect of different fermentation condition on estimated glycemic index, in vitro starch digestibility, and textural and sensory properties of sourdough bread[J]. *Foods*, 2021, 10(3): 514.
- [13] CAPPELLI A, OLIVA N, CINI E. A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies [J]. *Applied Sciences*, 2020, 10(18): 6559.
- [14] ROMAN L, GOMEZ M, MARTINEZ M M. Mesoscale structuring of gluten-free bread with starch[J]. *Current Opinion in Food Science*, 2021, 38: 189-195.
- [15] WU T, WANG L, LI Y, et al. Effect of milling methods on the properties of rice flour and gluten-free rice bread[J]. *Lwt*, 2019, 108: 137-144.
- [16] ADIAMO O Q, FAWALE O S, OLAWOYE B. Recent trends in the formulation of gluten-free sorghum products[J]. *Journal of Culinary Science & Technology*, 2018, 16(4): 311-325.
- [17] RÓŻAŃSKA M B, SIGER A, SZWENGIEL A, et al. Maillard reaction products in gluten-free bread made from raw and roasted buckwheat flour [J]. *Molecules*, 2021, 26(5): 1361.
- [18] MONTHE O C, GROSMIRE L, NGUIMBOU R M, et al. Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours[J]. *Lwt*, 2019, 101: 575-582.
- [19] MAETA A, KATSUKAWA M, HAYASE Y, et al. Comparisons of soybean and wheat; in the focus on the nutritional aspects and acute appetite sensation [J]. *Foods*, 2022, 11(3): 389.

- [20] CAPRILES V D, ARÊAS J A G. Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between food science, nutrition, and health[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2014, 13 (5): 871-890.
- [21] TIWARI U, CUMMINS E. Meta-analysis of the effect of β -glucan intake on blood cholesterol and glucose levels[J]. *Nutrition*, 2011, 27(10): 1008-1016.
- [22] KAGNOFF M F. Overview and pathogenesis of celiac disease[J]. *Gastroenterology*, 2005, 128(4): S10-S18.
- [23] MANINGAT C C, SEIB P A. Understanding the physicochemical and functional properties of wheat starch in various foods[J]. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(4): 305-401.
- [24] SALEHI F. Improvement of gluten - free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review[J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(11): 3391-3402.
- [25] SLUIMER P. Principles of breadmaking: Functionality of raw materials and process steps[M]. St. Paul: American Association of Cereal Chemists Inc, 2005: 99-102.
- [26] ZIOBRO R, JUSZCZAK L, WITCZAK M, et al. Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread[J]. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 2016, 53(1): 571-580.
- [27] NOZAWA M, ITO S, ARAI E. Effect of ovalbumin on the quality of gluten-free rice flour bread made with soymilk[J]. *Lwt - Food Science and Technology*, 2016, 66: 598-605.
- [28] PALABIYIK I, YILDIZ O, TOKER O S, et al. Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours - The effect on pasting and textural properties [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 69: 633-641.
- [29] VILLANUEVA M, PÉREZ-QUIRCE S, COLLAR C, et al. Impact of acidification and protein fortification on rheological and thermal properties of wheat, corn, potato and tapioca starch-based gluten-free bread doughs[J]. *LWT*, 2018, 96: 446-454.
- [30] HATTA E, MATSUMOTO K, HONDA Y. Bacillolysin, papain, and subtilisin improve the quality of gluten-free rice bread[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 61: 41-47.
- [31] SUTRISNO A, YUWONO S S, IKARINI I. Effect of glucomannan and xanthan gum proportion on the physical and sensory characteristic of gluten-free bread[J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 924(1): 12028.
- [32] APRODU I, BANU I. Influence of dietary fiber, water, and glucose oxidase on rheological and baking properties of maize based gluten-free bread[J]. *Food Science & Biotechnology*, 2015, 24 (4): 1301-1307.
- [33] BASSO F M, MANGOLIM C S, ALVES AGUIAR M F, et al. Potential use of cyclodextrin-glycosyltransferase enzyme in bread-making and the development of gluten-free breads with pinion and corn flours[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2015, 66(3): 275-281.
- [34] SALEHI F. Improvement of gluten - free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review[J]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7(11): 3391-3402.
- [35] MOHAMMADI M, SADEGHNIA N, AZIZI M H, et al. Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC[J]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2014, 20 (4): 1812-1818.
- [36] CAPRILES V D, AREAS J A G. Novel approaches in gluten-free breadmaking: Interface between food science, nutrition, and health[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2014, 13 (5): 871-890.
- [37] AZIZI S, AZIZI M H, MOOGOUEI R, et al. The effect of Quinoa flour and enzymes on the quality of gluten - free bread[J]. *Food Science & Nutrition*, 2020, 8(5): 2373-2382.
- [38] HAGER A S, ARENDT E K. Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buck wheat[J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 32(1): 195-203.
- [39] MINARRO B, ALBANELL E, AGUILAR N, et al. Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread [J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56(2): 476-481.
- [40] SCIARINI L S, PEREZ G T, DE LAMBALLERIE

- M, et al. Partial-baking process on gluten-free bread: Impact of hydrocolloid addition[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(5): 1724-1732.
- [41] MORADI M, BOLANDI M, ARABAMERI M, et al. Semi-volume gluten-free bread: effect of guar gum, sodium caseinate and transglutaminase enzyme on the quality parameters[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15(3): 2344-2351.
- [42] SCHERF K A, WIESER H, KOEHLER P. Novel approaches for enzymatic gluten degradation to create high-quality gluten-free products[J]. *Food Research International*, 2018, 110: 62-72.
- [43] EL KHOURY D, BALFOUR-DUCHARME S, JOYE I J. A review on the gluten-free diet: Technological and nutritional challenges[J]. *Nutrients*, 2018, 10(10): 1410.
- [44] OAKENFULL D, GLICKSMAN M. Gelling agents[J]. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1987, 26(1): 1-25.
- [45] MIR S A, SHAH M A, NAIK H R, et al. Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 51: 49-57.
- [46] MORREALE F, GARZÓN R, ROSELL C M. Understanding the role of hydrocolloids viscosity and hydration in developing gluten-free bread. A study with hydroxypropylmethylcellulose[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 77: 629-635.
- [47] NICOLAE A, RADU G L, BELC N. Effect of sodium carboxymethyl cellulose on gluten-free dough rheology [J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 168: 16-19.
- [48] CUI S W. *Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications*[M]. CRC Press, 2005.
- [49] BRAVO-NÚÑEZ Á, SAHAGÚN M, GÓMEZ M. Assessing the importance of protein interactions and hydration level on protein-enriched gluten-free breads: a novel approach [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2019, 12(5): 820-828.
- [50] RODRIGUEZ FURLÁN L T, PÉREZ PADILLA A, CAMPDERRÓS M E. Improvement of gluten-free bread properties by the incorporation of bovine plasma proteins and different saccharides into the matrix [J]. *Food Chemistry*, 2015, 170: 257-264.
- [51] RENZETTI S, ROSELL C M. Role of enzymes in improving the functionality of proteins in non-wheat dough systems[J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 67: 35-45.
- [52] GUJRAL H S, ROSELL C M. Functionality of rice flour modified with a microbial transglutaminase [J]. *Journal of Cereal Science*, 2004, 39(2): 225-230.
- [53] GUJRAL H S, GUARDIOLA I, CARBONELL J V, et al. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(13): 3814-3818.
- [54] GUJRAL H S, ROSELL C M. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase [J]. *Food Research International*, 2004, 37(1): 75-81.
- [55] POURMOHAMMADI K, ABEDI E. Enzymatic modifications of gluten protein: Oxidative enzymes [J]. *Food Chemistry*, 2021, 356: 129679.
- [56] NUNES M H B, MOORE M M, RYAN L A M, et al. Impact of emulsifiers on the quality and rheological properties of gluten-free breads and batters[J]. *European Food Research and Technology*, 2009, 228(4): 633-642.
- [57] ONYANGO C, UNBEHEND G, LINDHAUER M G. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinised cassava starch [J]. *Food Research International*, 2009, 42(8): 949-955.
- [58] PURHAGEN J K, SJOO M, ELIASSON A. The anti-staling effect of pre-gelatinized flour and emulsifier in gluten-free bread[J]. *European Food Research and Technology*, 2012, 235(2): 265-276.
- [59] GAUPP R, ADAMS W. Diacetyl tartaric esters of monoglycerides (DATEM) and associated emulsifiers in bread making[J/OL]. *Emulsifiers in Food Technology*, 2014: 121-146[2014-10-24]. <https://doi.org/10.1002/9781118921265.ch6>.
- [60] OLOJEDE A O, SANNA A I, BANWO K. Rheological, textural and nutritional properties of gluten-free sourdough made with functionally important lactic acid bacteria and yeast from Nigerian sorghum[J]. *LWT*, 2020, 120: 108875.
- [61] OLOJEDE A O, SANNA A I, BANWO K. Effect of

- legume addition on the physiochemical and sensorial attributes of sorghum-based sourdough bread [J]. *LWT*, 2020, 118: 108769.
- [62] GALLE S, SCHWAB C, DAL BELLO F, et al. Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 155(3): 105–112.
- [63] PRUSKAKEDZIOR A, KEDZIOR Z, GORĄCY M, et al. Comparison of rheological, fermentative and baking properties of gluten-free dough formulations [J]. *European Food Research and Technology*, 2008, 227(5): 1523–1536.
- [64] 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.
- [65] MOORE M M, DAL BELLO F, ARENDT E K. Sourdough fermented by *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 improves the quality and shelf life of gluten-free bread [J]. *European Food Research and Technology*, 2008, 226(6): 1309–1316.
- [66] ARENDT E K, MORONI A, ZANNINI E. Medical nutrition therapy: use of sourdough lactic acid bacteria as a cell factory for delivering functional biomolecules and food ingredients in gluten free bread [J]. *Microbial Cell Factories*, 2011, 10(1): 1–9.
- [67] RIZZELLO C G, DE ANGELIS M, CAGNO R D, et al. Highly efficient gluten degradation by *Lactobacilli* and Fungal proteases during food processing: New perspectives for celiac disease [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007, 73(14): 4499–4507.
- [68] VALLONS K J R, RYAN L A M, ARENDT E K. Promoting structure formation by high pressure in gluten-free flours [J]. *Lwt - Food Science and Technology*, 2011, 44(7): 1672–1680.
- [69] GOMES M R A, CLARK R, LEDWARD D A. Effects of high pressure on amylases and starch in wheat and barley flours [J]. *Food Chemistry*, 1998, 63(3): 363–372.
- [70] VALLONS K J R, ARENDT E K. Effects of high pressure and temperature on the structural and rheological properties of sorghum starch [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2009, 10(4): 449–456.
- [71] WOOMER J S, ADEDEJI A A. Current applications of gluten-free grains—a review [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(1): 14–24.
- [72] HUTTNER E K, DAL BELLO F, ARENDT E K. Fundamental study on the effect of hydrostatic pressure treatment on the bread-making performance of oat flour [J]. *European Food Research and Technology*, 2010, 230(6): 827–835.
- [73] ZAPATA F, ZAPATA E, RODRÍGUEZ SANDOVAL E. Influence of guar gum on the baking quality of gluten-free cheese bread made using frozen and chilled dough [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2019, 54(2): 313–324.
- [74] MEZAIZE S, CHEVALLIER S, LEBAIL A, et al. Gluten-free frozen dough: Influence of freezing on dough rheological properties and bread quality [J]. *Food Research International*, 2010, 43(8): 2186–2192.
- [75] NAJAFABADI L I, LEBAIL A, HAMDAMI N, et al. Impact of baking conditions and storage temperature on staling of fully and part-baked Sangak bread [J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 60(1): 151–156.
- [76] ŞİMSEK S T. Evaluation of partial-vacuum baking for gluten-free bread: Effects on quality attributes and storage properties [J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 91: 102891.

Quality Improvement Technology and Research Status of Gluten-free Bread

Hu Liangshu¹, He Linyang¹, Yang Yang¹, Zhu Pengyu¹, Wang Bing¹, Bian Xin¹,
Chen Fenglian¹, Guan Huanan¹, Zhang Xiumin², Zhang Na^{1*}

*(¹College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Heilongjiang Key Laboratory of Grain Food
and Comprehensive Processing, Heilongjiang Key Laboratory of Food Science and Engineering,*

Heilongjiang General University, Harbin 150076

²Beijing Institute of Food Science, Beijing 100068)

Abstract Gluten-free(GF) diets are the only effective solution for people with celiac disease (CD) and those with gluten protein allergies, and are also currently favored by healthy people, thus driving a greater demand for this food group. Gluten proteins are protein complexes that retain carbon dioxide and give yeast fermented foods their unique properties. The rheology of dough produced in the absence of gluten protein is poor and affects the quality of bread. This paper is an overview of methods to improve the production of gluten-free bread in terms of raw material selection, addition of different improvers, and different production techniques to provide a reference for research on improving the structure, texture, and acceptability of gluten-free bread.

Keywords free-gluten; bread; gluten-free food; quality improvement