

# 无麸质大米面包研究进展

## Research Progress of Gluten-free Rice Bread

王立<sup>1</sup> 吴桐<sup>1</sup> 易翠平<sup>2</sup> 钱海峰<sup>1</sup> 张晖<sup>1</sup> 齐希光<sup>1</sup>

WANG Li<sup>1</sup> WU Tong<sup>1</sup> YI Cui-ping<sup>2</sup> QIAN Hai-feng<sup>1</sup> ZHANG Hui<sup>1</sup> QI Xi-guang<sup>1</sup>

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 长沙理工大学化学与生物工程学院, 湖南 长沙 410114)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. School of Chemistry and Biological Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

**摘要:**开发大米面包不但可以丰富中国大米类产品的花色品种,还能解决麸质过敏人群对饮食多样化的需求。由于无麸质大米面包中不含面筋蛋白,在制作过程中存在面团难以形成有效的网络结构、不易成型、品质差(持水性、持气性、弹性和内聚性)、老化速率快等缺点。近年来,研究人员通过改进工艺条件、添加品质改良剂等方法,对无麸质大米面包品质进行改善,文章简述了无麸质食品的相关标准和大米面包使用的原料,并介绍了其工艺和品质改良研究进展,以期在无麸质大米面包的产业化开发提供参考。

**关键词:**乳糜泻;无麸质食品;大米面包

**Abstract:** Gluten-free rice bread is made from rice, yeast, water, and some other ingredients, which is one of the foods for gluten allergy customer. Without the gluten in it, the rice bread dough could not form firm network, and the quality of rice bread is poor. Recently, researches were focused on improving the process or adding with extra additives to improve its quality. The standard of gluten-free rice bread and its materials were introduced in this paper. Moreover, the researches about rice bread were also introduced.

**Keywords:** Coeliac disease; gluten-free food; rice bread

大米是中国主要的粮食作物之一,绝大部分是作为口粮直接食用,深加工产品较少<sup>[1]</sup>。开发新的大米制品既能增加大米产品的品种,也能利用大米加工过程中产生的碎米资源。小麦也是中国主要粮食作物之一,占到粮食总消费量的1/4<sup>[2]</sup>。小麦主要用于制粉加工,再经过加工制成馒头、饺子、面条、面包等主食和营养麦片、膨化小麦等方便食品<sup>[3-4]</sup>。但小麦等谷物中的麸质(面筋蛋白)对一些特殊体质的人群会产生不良的影响,乳糜泻是因摄入含麸质食品(主要是麦类及其制品)而诱发的自身免疫性肠病<sup>[5]</sup>,主要原

因是麸质的摄入导致患者小肠黏膜病变,临床表现为腹泻、贫血、骨质疏松等症状<sup>[6]</sup>。据报道<sup>[7]</sup>,欧美国家乳糜泻发病率达到了1%。中国近年来也报道了多例乳糜泻病例,因此,乳糜泻将成为一个需要关注的问题<sup>[8]</sup>。

中国无麸质食品研究和产业化还处于起步阶段,产品种类单一<sup>[9]</sup>,因此,开发新的无麸质食品成为一个研究方向。大米、玉米、高粱等谷物都可以作为无麸质食品的原料<sup>[10]</sup>,其中大米因为过敏性低、营养丰富、便于吸收等特点,是无麸质食品的良好原材料<sup>[11]</sup>。面包容易消化、食用方便、便于大规模工业化生产,利用大米制做无麸质面包既能增加麸质过敏人群的饮食选择,又能丰富大米产品花色品种,作为大米资源新的利用途径。本文拟从无麸质食品、大米面包工艺研究进展、大米面包现存问题、国内外大米面包品质改良研究等方面,对无麸质大米面包的研究现状进行综合分析,并对大米面包的发展趋势进行展望,以期对大米面包的研究开发提供参考。

### 1 无麸质食品

#### 1.1 无麸质食品概念

麸质,即面筋蛋白,主要由醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,赋予面团良好的延展性、弹性,是麦类食品良好口感的来源<sup>[12]</sup>。麸质作为一种主要的过敏原,广泛存在于小麦、大麦、黑麦等麦类谷物及其制品中,是最早被研究的食品类过敏原,也是目前唯一规定了食品中限量阈值的过敏原成分<sup>[13]</sup>。无麸质食品是指使用不含麸质的原料(大米、玉米、高粱等)制作的一类食品。

#### 1.2 无麸质食品标准

据报道<sup>[14]</sup>,美国在2013~2015年间,无麸质食品市场增长136%,目前达到110亿美元,预计到2018年将达到220亿美元。随着无麸质市场的日益扩大,为规范化管理,美国<sup>[15]</sup>、日本、欧盟等国家和地区相继出台了食品中麸质致敏原成分标识的标准和法规,严格规定了食品中麸质含量。

**基金项目:**国家自然科学基金项目(编号:31471617)

**作者简介:**王立(1978—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: wl0519@163.com

**收稿日期:**2017-01-12

WHO/FAO 的国际食品法典委员会(CAC)对无麸质食品也进行了定义:未使用小麦、大麦、黑麦、燕麦或它们的杂交品种加工的食品,其麸质含量不能超过 20 mg/kg<sup>[16]</sup>。各国对无麸质食品的定义虽然在表述上有些区别,但基本都参照了 CAC 关于无麸质食品的定义,仅在麸质含量的要求上有所不同,美国、欧盟、新西兰、澳大利亚等规定无麸质食品中麸质含量不能超过 20 mg/kg<sup>[17]</sup>,而阿根廷新修订的食品法典规定麸质含量不得超过 10 mg/kg<sup>[18]</sup>。目前,中国尚未有关于无麸质食品的相关规定<sup>[19]</sup>,一是因为中国麸质过敏相关报道较少,没有引起足够的重视;二是中国暂时没有制定有关食品中过敏原标识的相关法规。中国应尽快制定相关标准,有助于无麸质食品产业的良好发展。

1.3 国内外产品开发状况

制作无麸质食品的原料主要有大米<sup>[20-21]</sup>、玉米<sup>[22]</sup>、高粱<sup>[23]</sup>、荞麦<sup>[24]</sup>、小米<sup>[25]</sup>、马铃薯<sup>[26]</sup>以及各种淀粉。其中玉米虽富含蛋白质、维生素、纤维素等营养物质,但口感粗糙;高粱虽含有活性酚类化合物具有抗氧化等作用,但是口感差;荞麦有抗氧化、降血脂、降血糖等保健作用<sup>[27]</sup>,一般与其他原料混合制作无麸质食品<sup>[28]</sup>。大米有利于消化吸收、过敏性低,是生产无麸质食品的最佳原料之一。

近年来,国外围绕无麸质食品研发开展了大量的工作,尤其在品质改善方面,包括使用淀粉、乳制品、亲水胶体、其他非面筋蛋白、益生元及其组合作为麸质的替代品,来改善无麸质烘焙产品的结构、口感、可接受性和保质期<sup>[29]</sup>。目前无麸质食品基本上都是利用无麸质原料代替小麦类原料,对现有产品(面包、饼干、面条等)进行一定的改进(如加入添加剂)而制备的,所以其加工工艺和现有产品大体相同。但也有通过改善工艺条件,如利用高压处理原料<sup>[30]</sup>、微波红外烘焙产品等来制备无麸质食品<sup>[31]</sup>。无麸质食品在欧美市场种类较多,有无麸质意大利面、无麸质焙烤食品(蛋糕、面包、饼干、披萨)等<sup>[32]</sup>。中国现在无麸质食品开发正处于起步阶段,只有少量的无麸质面包和面条研究,市场化产品几乎没有,有着较大的发展空间。

2 大米的营养、加工特性及现状

2.1 大米营养及加工特性

大米被称为“五谷之首”,其味甘性平,有强健脾胃,补中益气,使人耳聪目明等功效<sup>[33]</sup>。大米蛋白是谷物类蛋白中的佼佼者,其氨基酸组成平衡,营养价值高,必须氨基酸含量丰富,非常符合 WHO/FAO 推荐的理想模式<sup>[34]</sup>。大米蛋白与其他谷物蛋白相比,蛋白质利用率高,过敏性低,非常适合开发婴幼儿食品<sup>[35]</sup>。

大米主要成分是淀粉和蛋白。大米淀粉与其他淀粉相比颗粒很小且均匀,糊化的米淀粉吸水快,口感柔滑,一般用作增稠剂、上浆剂、糖衣赋形剂等<sup>[36]</sup>。大米蛋白因其低过敏性,无色素,高营养价值被用作开发婴幼儿食品,抗性蛋白,各种功能性多肽等。利用大米不含面筋蛋白的特点制作各种小吃类食品(营养米果、米糕、粽子等)。中国市场上大米制品主要有方便米饭类、方便粥类、米面条、米面包(添加米

粉的面包)、米点心(饼干年糕米片米果)、米乳饮料、米线、米酒、米粉条、方便米粉等<sup>[37]</sup>。

2.2 大米加工现状

中国稻米产量位居世界第一,2005 年以来,中国稻谷产量稳步增长<sup>[38]</sup>,近年来稻米年产量均超过 2.0×10<sup>8</sup> t<sup>[39]</sup>。但中国市场上大米工业化加工的食品较少,大米加工还处在满足口粮需求的初加工状态,精加工不足<sup>[40]</sup>,设备老旧<sup>[41]</sup>,加工过程中产生的稻壳、碎米、米糠和米胚等副产品远远没有得到充分利用<sup>[42]</sup>。随着中国近年来稻米产量的不断提升,国内大米库存充足,可能会出现部分大米因为储存时间过长而浪费的情况<sup>[43]</sup>,同时在稻米加工过程中不可避免会产生碎米,据估算,每年产生的碎米达 2.0×10<sup>7</sup> t<sup>[44]</sup>,这些会造成资源极大的浪费,寻求新的大米资源利用途径迫在眉睫。

3 大米面包的工艺研究进展

人类食用面包有着悠久的历史<sup>[45]</sup>,但直到 17 世纪,人们才真正开始认识酵母并将其加入面团制作面包<sup>[46]</sup>。和其他无麸质食品相比,无麸质面包有着营养丰富,易消化吸收,便于大规模机械化生产,储存期长,食用方便等优点。利用大米制作的无麸质面包为大米深加工提供了一种新的发展方向,既提高了中国大米的工业利用率,减少了一些不必要的浪费,又能满足乳糜泻患者对饮食多样化的需求<sup>[47]</sup>。大米面包是以大米为主要原料,添加油脂、盐、糖、酵母等辅料,加水制成米粉面团后经发酵、分块、整形、烘焙、冷却等步骤加工制得的焙烤类食品<sup>[48]</sup>。

3.1 大米面包品质影响因素

围绕影响大米面包品质的因素所开展的研究主要有加水量、加盐量、加糖量等。魏强华等<sup>[49]</sup>发现水的用量影响面团的发酵速度和面包的比体积。水量过多会导致面团黏连,面包成型困难,易塌陷;水量过少则面包较干,整形困难<sup>[50]</sup>。盐能增强面包的立体网状结构,改善持气性能<sup>[51]</sup>、色泽和风味以及抑制细菌生长<sup>[52]</sup>。糖会影响面包香味、口感和表面色泽<sup>[53]</sup>。酵母使面团发酵产气,增大面包体积<sup>[54]</sup>,赋予其独特的醇香味<sup>[55-56]</sup>并提高营养价值<sup>[57]</sup>。油脂给予面包特殊的风味<sup>[58]</sup>,使其口感酥松可口<sup>[59]</sup>,并延缓面包老化<sup>[60]</sup>。大米面包的原料性质(如大米品种)也会影响面包品质<sup>[61]</sup>,一般来说,直链淀粉含量高、水结合能力强、淀粉结构破坏程度小的大米制成的面包品质较好<sup>[62]</sup>。

3.2 工艺优化

大米面包目前主要有两种:一种是在面粉中添加米粉制成,另一种是不含麸质的原料制成。

3.2.1 添加米粉的面包 路飞等<sup>[63]</sup>优化米粉面包的配方:面粉 80%、米粉 20%、水 50%、食盐 1%、黄油 8%、奶粉 10%、白砂糖 16%、改良剂 0.8%、酵母 1%。姚佳等<sup>[64]</sup>以米粉和高筋小麦粉为主要原料制作大米面包,发现米粉添加量为 50%,谷朊粉添加量 15%、加水量 85%时大米面包品质最好。刘玮等<sup>[65]</sup>向面包中添加 25%的米粉(以面粉计)、0.25%的复合胶、20%的糊化米粉制得的米粉面包品质较好。

3.2.2 无麸质大米面包 李安平等<sup>[66]</sup>优化了米糠膳食纤维强化面包的最佳配方:羟丙基甲基纤维素(HPMC)添加量为 2.5%、米糠膳食纤维添加量为 6%,活性干酵母添加量为 2.1%或 2.5%。路飞等<sup>[67]</sup>发现用 48%的水、30%大米粉、10%糖、1.5%酵母制得的面包品质最佳。Mahmoud 等<sup>[68]</sup>发现米粉、玉米粉、马铃薯粉以 4:2:4 的比例(或 4:4:2)混合制作的无麸质面包品质最好。Kim 等<sup>[69]</sup>将米粉和马铃薯粉以 4:1 混合,加入 83%水,6%糖,3%压缩酵母,2%盐,4%起酥油,3%HPMC,3%脱脂奶粉制作的无麸质面包老化延迟,感官品质良好。Mancebo 等<sup>[70]</sup>优化了米粉面包配方:59%米粉和 41%无麸质小麦粉制成面团,加入 90%水、3%酵母、1.8%盐、6%油、5%糖、2% HPMC;制作工艺为发酵温度 30 ℃,发酵时间 90 min,烘烤温度 190 ℃,烘烤时间 40 min。

3.3 大米面包加工存在的问题

面包的口感是由麦类中面筋蛋白提供的,无麸质大米面包原料中不含面筋蛋白,导致难以形成网状结构,持水、持气性差,面团松弛,韧性不足,成团困难,面包内部孔隙大且不均匀,整体易塌陷<sup>[71]</sup>,必须通过一定的措施和方法(如使用食品添加剂)才能使其形成网状结构<sup>[72-73]</sup>。与小麦面包相比,大米面包的含水量和淀粉含量都较高,面包的老化速率高<sup>[74]</sup>,比体积小,表皮较硬<sup>[75]</sup>。大米面包在储存期间易出现表皮变硬、褶皱,组织老化,弹性降低,水分减少,香味消失,易掉渣等现象,严重影响产品质量<sup>[76]</sup>。无麸质大米面包的成型困难及老化是目前大米面包工业化发展亟待解决的问题。

4 大米面包品质改良研究进展

近年来,国内外对无麸质大米面包已有较多的研究,为改善无麸质大米面包的质量,很多研究者都致力于寻找面筋的替代品,如加入胶体、酶类、蛋白质等使面包产生网状结构,一些新的加工技术也被用来改变无麸质面团的流变特性和面包的品质,如挤压膨化、冷冻处理、发芽等,为大米面包的开发带来了新的思路。

4.1 多糖胶体

大米粉中不含面筋蛋白,为了增强大米面包的持气能力,可以向大米粉中添加多糖胶体,增强大米面包的网状结构。目前研究中使用的多糖胶体有:羧甲基纤维素(CMC)、HPMC、黄原胶、瓜尔豆胶、刺槐豆胶、果胶、琼脂、卡拉胶、菊粉等。HPMC 能在面团中起交联作用<sup>[77]</sup>,使面包体积增大<sup>[78]</sup>,内部孔隙均匀规则<sup>[79]</sup>,制得的面包口感与小麦面包相似<sup>[80]</sup>。Lazaridou 等<sup>[81]</sup>发现面团和面包的质构受胶体影响如下:黄原胶>HPMC>果胶>琼脂糖> $\beta$ -葡聚糖。Mehrddad 等<sup>[82]</sup>发现(10 g/kg HPMC+10 g/kg 黄原胶)和(15 g/kg 黄原胶)这两种配方制得的面包具有最低的硬度和最好的感官评价。郭园等<sup>[83]</sup>研究 HPMC、CMC 对无麸质面包品质影响时发现,加入 HPMC 和 CMC 后,面包的比容、颜色、硬度、弹性都有显著的改善。通过研究 HPMC 对大米面包品质的影响,王琛等<sup>[84]</sup>指出添水量提高到 100%~110%

时,4%的 HPMC 可以作为面筋替代物,制得的大米面包内部孔隙细腻均匀,色泽、大小都有显著改善,但在一定程度上会降低淀粉体外消化率和整体感官评价。Gularte 等<sup>[85]</sup>研究了可溶性纤维(菊粉和瓜尔胶)和不溶性纤维(燕麦纤维)代替 20%的米粉来制作蛋糕的可行性,发现纤维加入后增加了面糊黏度,燕麦纤维和菊粉使蛋糕比容增加,感官品质也得到了改善。Ziobro 等<sup>[86]</sup>研究发现添加菊粉的面包体积增大,碎屑硬度降低,但内部孔隙变大且不均匀,同时随着菊粉聚合度的降低,面包品质也相应提升,老化速度也有所减缓。在无麸质面包中添加 HPMC、黄原胶等胶体能增加面包的比容,甚至对面包的老化也有一定的延缓作用。多种胶体的协同作用可以制得口感更好、比容更大的面包。但某些胶体的添加如 HPMC,可能会降低淀粉的体外消化率和感官评价。

4.2 酶处理

对大米面包进行酶处理,主要是为了改善面团的网状结构,使面包的持气性能增强,比体积增大。Shin 等<sup>[87]</sup>在使用非糯米米粉制备无麸质米面包时发现,添加转谷氨酰胺酶能改善面糊的网络结构,降低大米面包的硬度。Moore 等<sup>[88]</sup>发现随着转谷氨酰胺酶增多,无麸质面包内部紧实度提高。Renzetti 等<sup>[89]</sup>将转谷氨酰胺酶添加到不同无麸质谷物面包中发现面包比体积增加、硬度降低、咀嚼性改善。Kim 等<sup>[90]</sup>发现添加 1.5%蛋白酶后制作的米面包,比体积最大,但内部孔径数量多、尺寸大,而添加 0.5%蛋白酶制作的米面包弹性好,保水能力强不易老化。Renzetti 等<sup>[91]</sup>发现蛋白酶处理后的面包比体积显著增加,同时面包的硬度和咀嚼性大幅下降。Gujral 等<sup>[92]</sup>证实了葡萄糖氧化酶通过降低硫醇和氨基浓度改善大米蛋白的性能,提高了面团弹性和黏性,赋予面包更好的比体积和质地。Hamada 等<sup>[93]</sup>发现使用米曲霉的预发酵米粉能提高无麸质大米面包的质量,使用来自米曲霉的商业蛋白酶也能产生类似的结果。因此,酶处理能改善面包的持气性能,使面包更加膨松,富有弹性,还能延缓面包的老化速度,延长面包保质期。

4.3 蛋白质

在大米面包中添加蛋白质不但能强化面团的网状结构,还能丰富大米面包的营养成分。目前主要添加的蛋白类有大豆蛋白、鸡蛋白、乳清蛋白、玉米醇溶蛋白等。

Sciarini 等<sup>[94]</sup>发现用米、玉米和大豆粉混合制成的面包具有最好的感官品质:体积大、外观好、质地柔软、不易老化。Crockett 等<sup>[95]</sup>发现随着大豆蛋白和鸡蛋白添加量的增加,蛋白与 HPMC 之间的拮抗作用不断被改善,直至鸡蛋白添加量为 15%时,蛋白质已成为面包的主要支架。Riemsdijk 等<sup>[96-98]</sup>在无麸质面包中加入乳清蛋白颗粒发现乳清蛋白能显著改善面包的比体积、内部孔隙大小,但添加量过多会导致面包变硬,使面包品质下降。因此,蛋白质的加入能提高面包的比体积,赋予面包良好的外观色泽,使面包更加柔软易入口,延缓了面包的老化。

4.4 原料性质

米粉粗细度是影响面包品质的一个重要因素,通过控制米粉的粗细度可以改善大米面包品质。Murakami 等<sup>[99]</sup>研

究发现,使用粒径在  $106\text{ }\mu\text{m}\times 75\text{ }\mu\text{m}$  的米粉制成的面包比体积大,口感好。De 等<sup>[100]</sup>分析了不同玉米粉类型及其粒度对面包质量的影响,发现玉米粉粒度影响面团发酵,进而影响面包的最终体积和质地,较大粒度更适用于制造无麸质面包。通过比较不同粒度的长粒大米和短粒大米对无麸质面包和蛋糕的影响,Hera 等<sup>[101]</sup>发现短粒米的米粉烘焙出来的面包具有较高的比容和较低的坚实度。利用较长粒度的大米制得的蛋糕有较低的比容,粒度较低的米糊有着更高的峰值黏度,使面包比容更大,内部孔径更均匀<sup>[102]</sup>。

大米中直链淀粉和支链淀粉的含量对大米面包的质构和感官也有着一定的影响。Noriaki 等<sup>[103]</sup>通过比较 26 种不同直链淀粉和支链淀粉含量的水稻,发现直链淀粉和支链淀粉含量影响面团和面包品质,包括吸水率、面包体积、形状和硬度,直链淀粉含量较高的大米制得的面包有着更高的比体积和硬度。选择合适的米粉原料能制作出比体积更高、加工性能更好、组织更柔软的大米面包。

4.5 预糊化处理

路飞等<sup>[67]</sup>使用预糊化处理的大米粉制作大米面包,发现制得的大米面包组织柔软,感官品质及硬度指标要好于小麦面包。谢少梅等发现脂肪酶与预糊化马铃薯变性淀粉在延缓面包老化方面具有协同作用<sup>[104]</sup>,同时,还比较了各种变性淀粉和预糊化米粉对麻薯面包的感官评价、比容和弹性的影响,结果表明,预糊化马铃薯淀粉和木薯淀粉制得的面包口感好、比容大,而添加预糊化玉米淀粉和大米淀粉的面包比容小,内部结构松散<sup>[105]</sup>。Purhagen 等<sup>[106]</sup>将 3% 的预糊化燕麦和大麦粉以及乳化剂加入到无麸质混合物中制作面包,发现含有这两种预糊化面粉的面包在储存时保水量增加,抗陈化效果好。

添加乳化剂虽然可以增加保水量,降低面包碎屑硬度,但是乳化剂会导致面包内部结构损伤。添加预糊化处理的米粉制作的大米面包口感柔软,富有大米的清香,容易被消费者接受,但其对面包体积改善效果不明显,可以通过与其它改良方法相结合来制作品质更好的大米面包。

4.6 盐类

Blanco 等<sup>[107]</sup>研究了几种水平的酸性食品添加剂(乙酸、乳酸、柠檬酸和磷酸二氢钠)对添加 HPMC 的无麸质面团和面包的影响,发现添加磷酸二氢钠的面包体积最大,感官评价最好。Kiskini 等<sup>[108]</sup>研究了含铁化合物对无麸质面包和小麦面包品质的影响,结果显示,铁离子的类型对面包的比容、表面色泽、紧实度、内部结构和孔隙度都有一定程度的影响,加入铁盐后小麦面包的比容降低,孔隙显著缩小,但面包风味有一定的改善。Kiskini 等<sup>[109]</sup>研究了焦磷酸铁、乙二胺四乙酸钠铁、硫酸钠铁和元素铁对无麸质面包的影响,发现焦磷酸铁和乙二胺四乙酸钠铁能提高面包的紧实度。Urszula 等<sup>[110]</sup>通过向无麸质面包中加入酪蛋白酸钙和柠檬酸钙来改善面包质构和感官品质,结果表明两种盐均能改善面包的气味和颜色,使面包表皮更加柔软和富有弹性,同时提高了面包的感官品质。

盐类能在一定程度上增大面包的体积,还可以改善面包

的风味、表皮色泽以及面包的组织柔软度和弹性。

4.7 挤压膨化处理

Jeong 等<sup>[111]</sup>将挤压米粉和普通米粉相混合制得无麸质蛋糕来研究挤压米粉对蛋糕品质的影响,结果显示添加挤压米粉的面团黏结性、回弹性和水分含量均有所改善,制得的蛋糕质构改善明显。Clerici 等<sup>[112]</sup>在面包中加入了酸性挤压米粉后发现虽然面包的体积没有显著的增加,但是面包的色泽、硬度、质地、咀嚼性都有一定程度的改善。在大米面包配料中添加挤压处理的米粉,主要能改善面包的内部结构和表皮颜色,加强面包的咀嚼性,降低硬度,但对面包的体积改善不明显。

4.8 其他

其他一些如向无麸质面包中加入发芽谷物、冷冻处理等方法都逐渐被应用于无麸质大米面包的制作。Mezaize 等<sup>[113]</sup>研究未发酵冷冻面团对无麸质面包质量的影响,发现利用冷冻面团制备的无麸质面包体积小,硬度高,但内部孔隙更加均匀,颜色也有一定改善。Mäkinen 等<sup>[114]</sup>研究发现添加发芽燕麦和发芽荞麦后,制作的无麸质面包的密度下降,碎屑硬度上升,对焙烤性质没有显著影响。Shin 等<sup>[115]</sup>研究了不同处理的大豆粉(发芽、蒸煮、焙烤)对于无麸质面包的品质影响,发现发芽大豆粉制得的面包有着最大的比体积、最低的硬度,而且加入大豆粉后整个面包的甜味降低。李次力等<sup>[116]</sup>发现用发芽糙米生产的面包虽然体积和对照组相当,但是风味、营养价值均高于对照。Cornejo F 等<sup>[117]</sup>的研究结果显示,发芽能改善面包品质,但发芽时间过长会因  $\alpha$ -淀粉酶的作用引起过度液化和糊精化,导致面包品质下降。

5 结论与展望

目前中国大米产量位居世界第一,但主要还是以满足口粮需求为主,缺乏深加工产品。同时,中国无麸质食品的开发才刚刚起步,相对滞后于国外。将无麸质原料制成适合中国人群消费习惯的食品,不但能丰富大米食品的种类,还能提供一种新型无麸质的营养健康产品来满足乳糜泻等患者的饮食需求。整体看来,无麸质大米面包现在仍然存在以下问题:无麸质大米面包因无法形成有效的网状结构,持气性差,不易成型;淀粉含量高,老化速度快等问题,缺乏工业化产品。

为克服这些问题,建议今后的研究从以下几个方面入手:

(1) 原辅料添加:① 大米原料选择。大米的直链淀粉和支链淀粉含量以及米粉的粒度都会显著影响大米面包的品质,因此可以在这些方面深入研究,找出最佳的米粉粒径以及直/支链比例;② 辅料选取。虽然目前通过加入胶体等添加剂已有较多的相关研究,也得到了一些好的效果,但在各类添加剂协同作用方面还应进一步开展研究。

(2) 工艺改进:① 大米原料预处理。现有研究表明挤压膨化和预糊化可以明显改善大米面包的内部结构、表面色泽以及咀嚼性,但具体的机理不是很清晰,可以从深入研究机

理入手,找到最佳的预处理方法;② 酶处理。经过酶处理的大米面包不但能增加面包的比体积、改善面包内部结构,而且还能延缓面包的老化,但是还未见多酶协同作用的研究报道,建议可以从多酶协同作用入手研究;③ 优化和面工艺。面团制作过程中的搅拌速度、时间及加水量对面包品质有一定的影响,建议可以从和面工艺入手,深入研究这些参数的调整对品质影响的机理,来进行优化后改善大米面包的品质;④ 优化发酵条件。发酵的菌种以及发酵时间、温度和菌种添加量对面包有显著影响,目前国外有研究使用乳酸菌和酵母菌一起发酵来制作面包,乳酸菌发酵产生的多糖能增加面团持水能力,改善面包比体积和风味,可以进一步展开研究优化最适合的乳酸菌/酵母菌添加比例。

参考文献

[1] 汪玉海. 大米加工现状与趋势[J]. 农业工程技术: 农产品加工, 2008(6): 18-22.

[2] 王秀丽, 孙君茂. 中国小麦消费分析与未来展望[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(5): 655-661.

[3] 石冬梅, 李渐鹏, 邱斌, 等. 小麦精深加工产业发展概况[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(5): 41-43.

[4] 李利民, 郑学玲. 小麦的精深加工及综合利用[J]. 农产品加工, 2011(3): 4-5.

[5] LUDVIGSSON J F, LEFFLER D A, BAI J C, et al. The Oslo definitions for coeliac disease and related terms[J]. Gut, 2013, 62(1): 43-52.

[6] 江登丰, 毛华. 乳糜泻研究进展[J]. 胃肠病学和肝病学杂志, 2010, 19(5): 478-481.

[7] DUBÉ C, ROSTOM A, SY R, et al. The prevalence of celiac disease in average-risk and at-risk Western European populations: a systematic review[J]. Gastroenterology, 2005, 128(4 Suppl 1): 57-67.

[8] KANG J Y, KANG A H Y, GREEN A, et al. Systematic review: worldwide variation in the frequency of coeliac disease and changes over time [ J ]. Alimentary Pharmacology & Therapeutics, 2013, 38(3): 226-245.

[9] 刘心洁. 乳糜泻人群的非麦类粮食制品研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2014: 2-3.

[10] VITALI D, KLARIC D A, DRAGOJEVIC I V. Nutritional and functional properties of certain gluten-free raw materials[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2010, 28(6): 495-505.

[11] 吴娜娜, 王娜, 谭斌, 等. 无麸质食品品质改良研究进展[J]. 粮油食品科技, 2015(4): 24-28.

[12] 韩薇薇, 郭晓娜, 彭伟, 等. 无麸质食品[J]. 粮食与饲料工业, 2013, 12(2): 30-33.

[13] 刘津, 蒲民, 李芳, 等. 一种主要食品致敏原成分——麸质的标识管理[J]. 粮食与饲料工业, 2009(8): 44-46.

[14] FOSCHIA M, HORSTMANN S, ARENDT E K, et al. Nutritional therapy - Facing the gap between coeliac disease and gluten-free food[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 239: 113-124.

[15] DRUG Administration H. Food labeling: gluten-free labeling of foods. Final rule.[J]. Federal Register, 2013, 78(150): 1-37.

[16] 刘中勇, 韦晓群, 谢力. 国外“无麸质”食品的管理[J]. 食品与发酵工业, 2011(3): 136-140.

[17] 兰茜. 无麸质食品[J]. 广东化工, 2016, 43(18): 88-89.

[18] 范蓓, 郑森, 田亚琼, 等. 国外食品中麸质过敏原法规标准现状及其对我国的启示[J]. 农业工程技术: 农产品加工业, 2010(12): 14-17.

[19] 张宇, 张豪, 武文斌. 无麸质食品影响及现状分析[J]. 粮食加工, 2016, 41(6): 13-16.

[20] TORBICA A, HADNADEV M, DAPCEVIC T. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour [J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(6): 626-632.

[21] SAKAC M, TORBICA A, SEDEJ I, et al. Influence of bread-making on antioxidant capacity of gluten free breads based on rice and buckwheat flours[J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2 806-2 813.

[22] CURIC D, NOVOTNI D, TUŠAK D, et al. Gluten-free bread production by the corn meal and soybean flour extruded blend usage[J]. Agriculturae Conspectus Scientificus, 2007, 72(3): 227-232.

[23] PONTIERI P, MAMONE G, DE C S, et al. Sorghum, a healthy and gluten-free food for celiac patients as demonstrated by genome, biochemical, and immunochemical analyses [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2013, 61(10): 2 565-2 571.

[24] ÖKSÜZ T, KARAKAŞ B. Sensory and textural evaluation of gluten-free biscuits containing buckwheat flour [J]. Cogent Food & Agriculture, 2016, 2(1): 1-7.

[25] 于明玉, 胡朝辉, 尹志欣, 等. 无麸质小米面包复合改良剂优化研究[J]. 食品工业, 2015(4): 168-171.

[26] FERREIRA S M R, MELLO A P D, ANJOS M D C R, et al. Utilization of sorghum, rice, corn flours with potato starch for the preparation of gluten-free pasta[J]. Food Chemistry, 2016, 191: 147-151.

[27] 尹礼国, 钟耕. 荞麦营养特性、生理功能和药用价值研究进展 [J]. 粮食与油脂, 2002(5): 32-34.

[28] 刘心洁, 于明玉, 胡朝辉, 等. 水溶性胶体改善无麸质荞麦面条弹性特性的研究[J]. 食品工业, 2014(8): 111-114.

[29] GALLAGHER E, GORMLEY T R, ARENDT E K. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products [J]. Trends in Food Science & Technology, 2004, 15(3/4): 143-152.

[30] VALLONS K J R. High pressure-treated sorghum flour as a functional ingredient in the production of sorghum bread[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(5): 711-717.

[31] DEMIRKESEN I, SUMNU G, SAHIN S, et al. Optimisation of formulations and infrared&ndash; microwave combination baking conditions of chestnut & ndash; rice breads[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 47(2): 140-145.

[32] 韦晓群, 刘中勇, 谢力, 等. 无致敏原食品产业分析[J]. 食品工业科技, 2011(11): 464-467.

[33] 王静美. 浅论大米的营养与大米食品的开发[J]. 食品科技, 2000(1): 17.

[34] 王章存, 申瑞玲, 姚惠源. 大米蛋白研究进展[J]. 中国粮油学报, 2004, 19(2): 11-15.

[35] 易翠平, 姚惠源. 大米蛋白的研究进展[J]. 粮油加工与食品机械, 2003(8): 53-54.

[36] 毛海锋, 胡元斌, 曾端辉, 等. 我国稻米深加工现状及对策[J]. 黑龙江粮食, 2011(1): 48-51.

[37] 季光照. 我国精制米及米制品加工业浅析[J]. 中国新技术新产品, 2009(20): 118.

[38] 何毅, 温朝晖. 我国大米加工业行业发展现状及展望[J]. 粮食与食品工业, 2009, 16(6): 1-4.

[39] 刘笑然, 兰敦臣, 李越. 2014 年中国稻米产业研究[J]. 中国粮食经济, 2014(12): 42-47.

[40] 周显青, 崔岩珂, 张玉荣, 等. 我国碎米资源及其转化利用技术现状与发展[J]. 粮食与饲料工业, 2015, 12(2): 29-34.

[41] 岑军健. 国内外米粉生产技术的比较[J]. 食品与机械, 2007, 23(5): 5-6.

[42] 祝水兰, 冯健雄, 幸胜平, 等. 大米制品研发现状与前景展望[J]. 江西农业学报, 2009, 21(9): 121-123.

[43] 陈晓华, 冯建坤, 叶文超, 等. 米粉面包的研究现状及发展前景[J]. 食品工业, 2013(1): 168-171.

[44] 周艳华, 覃世民, 胡元斌, 等. 稻米深加工及其副产品的综合利用[J]. 食品与发酵科技, 2012(4): 3-6.

[45] 李霁, 刘雪华. 面包的历史及其发展[J]. 食品工业科技, 1992(2): 28-29.

[46] 徐梁. 面包预混合粉的研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2009: 1-2.

[47] 赖丽娜, 付晓如. 米制品中食品添加剂的使用[J]. 粮食加工, 2010, 35(4): 38-40.

[48] 张宏康, 冯建坤, 陈晓华. 一种米粉面包的加工工艺研究[J]. 食品科技, 2014(4): 146-150.

[49] 魏强华, 华永兵. 花生壳面包的最适加水量的确定[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(3): 107-108.

[50] RÓZYŁO R, DZIKI D, GAWLIK DZIKI U, et al. Physical properties of gluten-free bread caused by water addition[J]. International Agrophysics, 2015, 29(3): 353-364.

[51] 利雅. 食用盐对面包食品的影响[J]. 国外医学: 医学地理分册, 1996(3): 107-108.

[52] 傅宾孝. 食盐在面包生产中的作用[J]. 食品科技, 1991(1): 18-20.

[53] 李云波, 高哈. 应用卡拉胶开发米粉面包的研究[J]. 城市建设与商业网点, 2009(3X): 148-149.

[54] 刘德海. 酵母在面包生产中的重要作用[J]. 粮食与食品工业, 2005, 12(6): 28-30.

[55] 杨秀琴, 邹奇波, 黄卫宁. 酵母菌对自然发酵酸面团面包中风味物质影响的研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 37-40.

[56] 王立, 虞桢芳, 钱海峰, 等. 天然酵母面包研究现状及发展趋势[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 201-208.

[57] 朱海霞, 程丽丽, 丁娅娜. 无糖面包的研制[J]. 农产品加工· 学刊: 下, 2013(16): 38-40.

[58] 李鹏, 王凤成, 何雅蓓. 油脂对面粉烘焙制品的影响[J]. 粮油加工, 2006(8): 76-77.

[59] 杨萍芳. 油脂在焙烤食品中的作用[J]. 农产品加工, 2008(8): 12.

[60] 王璐, 汪鸿, 韩云堂, 等. 面包中的油脂与食品添加剂[J]. 农业机械, 2012(15): 76-79.

[61] CORNEJO F, ROSELL C M. Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 62(2): 1 203-1 210.

[62] SUN J P, HA K Y, SHIN M. Properties and qualities of rice flours and gluten-free cupcakes made with higher-yield rice varieties in Korea[J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(2): 365-372.

[63] 路飞, 马涛, 李新华, 等. 不同品种大米粉对大米面包感官及质构特性影响的比较[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(20): 72-75.

[64] 姚佳, 贾健斌, 靳航. 大米面包制作及其感官品质研究[J]. 食品科技, 2015(7): 169-172.

[65] 刘玮, 孙爱景, 张劲松, 等. 米粉面包生产工艺的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(s1): 108-111.

[66] 李安平, 蒋雅茜, 崔富贵, 等. 强化米糠膳食纤维的米粉面包配方研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17): 248-251.

[67] 路飞, 马涛, 任文涛, 等. 大米面包的生产配方及工艺条件的优化[J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 2013, 31(4): 482-487.

[68] MAHMOUD R M, YOUSIF E I, GADALLAH M G E, et al. Formulations and quality characterization of gluten-free Egyptian balady flat bread[J]. Annals of Agricultural Sciences, 2013, 58(1): 19-25.

[69] KIM M, YUN Y, JEONG Y. Effects of corn, potato, and tapioca starches on the quality of gluten-free rice bread[J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24(3): 913-919.

[70] MANCEBO C M, CRISTINA M, MARTÍNEZ M M, et al. Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(10): 1-11.

[71] 王坤, 路飞, 孟燕楠, 等. 无面筋食品研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(21): 181-185.

[72] 赵晓园, 刘璐, 潘丽军. 谷朊粉复合改性及其在食品中的应用研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2006(10): 118-122.

[73] 范周, 陈正行. 米粉面包的开发研究[J]. 食品工业科技, 2006(3): 129-131.

[74] 熊凤萍, 赵亚军. 影响面包老化的因素[J]. 食品与机械, 1998(3): 15-16.

[75] KADAN R S, ROBINSON M G, THIBODEAUX D P, et al. Texture and other physicochemical properties of whole rice bread.[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(7): 940-944.

[76] 左小博. 亲水性胶体对大米淀粉物化特性的影响[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016: 1-2.

[77] ANDERSSON H, ÖHGREN C, JOHANSSON D, et al. Extensional flow, viscoelasticity and baking performance of gluten-free zein-starch doughs supplemented with hydrocolloids [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(6): 1 587-1 595.

[78] TILMANJ S, SCOTTR B, DANIELL B, et al. Improved vis-

- coelastic zein-starch doughs for leavened gluten-free breads: Their rheology and microstructure [J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 48(3): 755-767.
- [79] NAJI-TABASI S, MOHEBBI M. Evaluation of cress seed gum and xanthan gum effect on macrostructure properties of gluten-free bread by image processing [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2015, 9(1): 110-119.
- [80] SIVARAMAKRISHNAN H P, SENGE B, CHATTO-PADHYAY P K. Rheological properties of rice dough for making rice bread[J]. *Journal of Food Engineering*, 2004, 62(1): 37-45.
- [81] LAZARIDOU A, DUTA D, PAPAGEORGIOU M, et al. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 79(3): 1 033-1 047.
- [82] MOHAMMADI M, SADEGHNIA N, AZIZI M H, et al. Development of gluten-free flat bread using hydrocolloids: Xanthan and CMC[J]. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, 2014, 20(4): 1 812-1 818.
- [83] 郭园, 张中义, 叶君. HPMC、CMC 对无麸质面包特性影响的研究[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(3): 303-305.
- [84] 王琛, 马涛, 于森, 等. 添加 HPMC 对无麸质大米面包品质的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2012(2): 182-187.
- [85] GULARTE M A, DE L H E, GÓMEZ M, et al. Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties[J]. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 2012, 48 (2): 209-214.
- [86] ZIOBRO R, KORUS J, JUSZCZAK L, et al. Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten-free bread[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 21-27.
- [87] SHIN M, GANG D O, SONG J Y. Effects of protein and transglutaminase on the preparation of gluten-free rice bread [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2010, 19(4): 951-956.
- [88] MOORE M M, HEINBOCKEL M, DOCKER P, et al. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase[J]. *Cereal Chemistry*, 2006, 83(1): 28-36.
- [89] RENZETTI S, BELLO F D, ARENDT E K. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase[J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 48(1): 33-45.
- [90] KIM E A, LEE S Y, LEE S Y. Quality characteristics of steamed rice bread prepared with different contents of proteolytic enzyme[J]. *Applied Biological Chemistry*, 2016, 59 (1): 95-102.
- [91] RENZETTI S, ARENDT E K. Effect of protease treatment on the baking quality of brown rice bread: From textural and rheological properties to biochemistry and microstructure [J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 50(1): 22-28.
- [92] 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.
- [93] HAMADA S, SUZUKI K, AOKI N, et al. Improvements in the qualities of gluten-free bread after using a protease obtained from *Aspergillus oryzae*[J]. *Journal of Cereal Science*, 2013, 57(1): 91-97.
- [94] SCIARINI L S, RIBOTTA P D, LEÓN A E, et al. Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2010, 3 (4): 577-585.
- [95] CROCKETT R, IE P, VODOVOTZ Y. Effects of soy protein isolate and egg white solids on the physicochemical properties of gluten-free bread[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(1): 84-91.
- [96] VAN RIEMSDIJK L E, AJ V D G, HAMER R J, et al. Preparation of gluten-free bread using a meso-structured whey protein particle system[J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 53 (3): 355-361.
- [97] VAN RIEMSDIJK L E, AJ V D G, HAMER R J. The use of whey protein particles in gluten-free bread production, the effect of particle stability[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25 (7): 1 744-1 750.
- [98] RIEMSDIJK L E V, PELGROM P J M, GOOT A J V D, et al. A novel method to prepare gluten-free dough using a meso-structured whey protein particle system[J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 53(1): 133-138.
- [99] MURAKAMI S, KURAMOCHI M, KODA T, et al. Relationship between Rice Flour Particle Sizes and Expansion Ratio of Pure Rice Bread[J]. *Journal of Applied Glycoscience*, 2015, 63 (1): 19-22.
- [100] DE L H E, TALEGÓN M, CABALLERO P, et al. Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(4): 924-932.
- [101] HERA E D L, MARTINEZ M, GÓMEZ M. Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice bread[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2013, 54(1): 199-206.
- [102] HERA E D L, MARTINEZ M, OLLETE B, et al. Influence of Flour Particle Size on Quality of Gluten-Free Rice Cakes [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(9): 2 280-2 288.
- [103] AOKI N, UMEMOTO T, HAMADA S, et al. The Amylose Content and Amylopectin Structure Affect the Shape and Hardness of Rice Bread[J]. *Journal of Applied Glycoscience*, 2012, 59(2): 75-82.
- [104] 谢少梅, 郭桦, 周雪松, 等. 脂肪酶与预糊化马铃薯变性淀粉对面包抗老化效果的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2013(5): 150-155.
- [105] 谢少梅, 周雪松, 郭桦. 预糊化变性淀粉在麻薯面包中的应用 [J]. *现代食品科技*, 2013(7): 1 638-1 640.
- [106] PURHAGEN J K, SJÖÖ M E, ELIASSON A C. 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.
- [107] BLANCO C A, RONDA F, PÉREZ B, et al. Improving gluten-free bread quality by enrichment with acidic food additives [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3): 1 204-1 209.



[108] KISKINI A, KAPSOKEFALOU M, YANNIOTIS S, et al. Effect of different iron compounds on wheat and gluten-free breads[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(7): 1 136-1 145.

[109] KISKINI A, KAPSOKEFALOU M, YANNIOTIS S, et al. Effect of Iron Fortification on Physical and Sensory Quality of Gluten-Free Bread [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(1): 385-390.

[110] URSZULA K K, AGNIESZKA T, NATALIA B, et al. Effect of organic calcium supplements on the technological characteristic and sensory properties of gluten-free bread[J]. European Food Research and Technology, 2011, 232(3): 497-508.

[111] JEONG S, KANG W S, SHIN M. Improvement of the quality of gluten-free rice pound cake using extruded rice flour[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(1): 173-180.

[112] CLERICI M T P S, AIROLDI C, EL-DASH A A. Production of acidic extruded rice flour and its influence on the qualities of gluten-free bread[J]. LWT - Food Science and Technology,

2009, 42(2): 618-623.

[113] 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): 2 186-2 192.

[114] MÄKINEN O E, ZANNINI E, ARENDT E K. Germination of Oat and Quinoa and Evaluation of the Malts as Gluten Free Baking Ingredients [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2013, 68(1): 90-95.

[115] SHIN D J, KIM W, KIM Y. Physicochemical and sensory properties of soy bread made with germinated, steamed, and roasted soy flour [J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 517-523.

[116] 李次力, 王茜. 发芽糙米面包的研制[J]. 食品科学, 2009, 30(18): 436-439.

[117] CORNEJO F, ROSELL C M. Influence of germination time of brown rice in relation to flour and gluten free bread quality[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(10): 6 591-6 598.

(上接第 149 页)

参考文献

[1] 梁静谊, 安鑫南, 蒋建新, 等. 皂荚化学组成的研究[J]. 中国野生植物资源, 2003, 22(6): 44-46.

[2] 张凤娟, 李继良, 徐兴友, 等. 皂荚和五角枫挥发性物质组成及其对空气微生物的抑制作用[J]. 园艺学报, 2007, 34(4): 973-978.

[3] 李端, 周立刚, 姜微波, 等. 皂荚提取物对植物病原菌的抑制作用[J]. 植物病理学报, 2005, 35(S1): 86-90.

[4] 邵金良, 袁唯. 皂荚的功能作用及其研究进展[J]. 食品研究与开发, 2007, 26(2): 48-51.

[5] 李玉奇, 刘敏艳, 胡冠芳, 等. 皂角提取物的杀虫活性及其对粘虫的作用方式研究[J]. 西南农业学报, 2012, 25(1): 161-165.

[6] 张振宇, 张赤志, 许汉林. 皂荚提取物对人肝癌细胞相关癌基因表达的调控作用及端粒酶的影响[J]. 中西医结合肝病杂志, 2008, 18(2): 93-95.

[7] 胡国华. 功能性食品胶[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 74-77.

[8] 亓树艳, 王荔, 莫晓燕. 大枣多糖的提取工艺及抗氧化作用研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 117-120.

[9] 岳春, 李靖靖, 方永远. 虫草多糖微波辅助提取工艺的优化[J]. 食品与机械, 2014(1): 192-195.

[10] 高洪霞, 刘军海, 李广录. 枸杞多糖提取工艺的研究[J]. 食品与机械, 2008(5): 60-72.

[11] 舒任庚, 蒋跃平, 蔡永红. 植物多糖的提取分离方法探讨[J]. 中国药房, 2011, 22(11): 1 502-1 504.

[12] 蔡信之, 黄君红. 微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 394-395.

[13] 刘春兰, 杨逸, 何林, 等. 植物多糖抑菌作用研究方法进展[J]. 时珍国医国药, 2013, 24(7): 1 725-1 727.

[14] 闫文娟, 李泰辉, 唐芳勇, 等. 广东虫草多糖的提取及含量测定[J]. 华南农业大学学报, 2009, 30(4): 53-56.

[15] 刘芳, 赵声兰, 李玲, 等. 皂荚多糖提取工艺及其抗氧化活性的初步研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 255-260.

[16] 李瑜, 周玉, 江冠民. 枸杞多糖与黄芪多糖抑菌活性研究[J]. 现代生物医学进展, 2012, 12(36): 5 061-5 063.

[17] 李志洲, 刘军海, 王俊宏, 等. 猪苓硒多糖连续合成工艺及抑菌性能研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 31-35.

[18] 曾红亮, 黄灿灿, 常青, 等. 金柑多糖微波辅助提取工艺优化及抑菌效果[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 154-160.

(上接第 183 页)

[4] 龚钢明, 管世敏. 乳酸菌降解亚硝酸盐的影响因素研究[J]. 食品工业, 2010(5): 6-8.

[5] RHEE S J, LEE J E, LEE C H. Importance of lactic acid bacteria in Asian fermented foods[J]. Microb Cell Fact, 2011, 10(Suppl 1): S5.

[6] 袁亚, 池金颖, 黄丹丹, 等. 人工接种乳酸菌对泡菜感官品质和亚硝酸盐含量的影响[J]. 食品工业科技, 2012(7): 119-122.

[7] 黄业传, 曾凡坤. 榨菜叶酸菜发酵剂的选择[J]. 食品与机械, 2004, 20(1): 5-7.

[8] FLEMING H P. Fermented Foods [M]. New York: Academic Press, 1982: 227-258.

[9] 周相玲, 胡安胜, 王彬, 等. 人工接种泡菜与自然发酵泡菜风味

物质的对比分析[J]. 中国酿造, 2011(1): 159-160.

[10] 陈影, 王锦慧, 张文菱子, 等. 乳酸菌发酵黄瓜泡菜品质的研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 208-211.

[11] 刘春燕, 戴明福, 夏姣, 等. 不同乳酸菌接种发酵泡菜风味的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(7): 154-158.

[12] 侯晓艳. 接种不同乳酸菌发酵对泡萝卜品质的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2015: 15-25.

[13] 李海丽. 泡菜的亚硝酸盐控制技术及其贮藏性研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2012: 11-12.

[14] 纪晓葵. 优良乳酸菌的筛选及其发酵蔬菜的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 36-38.

[15] 陈弦, 张雁, 陈于陇, 等. 发酵蔬菜风味形成机制及其分析技术的研究进展[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 217-223.