

咸鸭蛋快速腌制工艺及咸蛋清综合利用研究进展

Research progress on rapid pickling process of salted duck eggs and comprehensive utilization of salted duck eggs white

咎沛清^{1,2,3}程裕东^{1,2,3}金银哲^{1,2,3}ZAN Pei-qing^{1,2,3} CHENG Yu-dong^{1,2,3} JIN Yin-zhe^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学食品热加工工程中心,

上海 201306; 3. 上海海洋大学食品科学与工程国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Engineering Research Center of Food Thermal Processing Technology, Shanghai Ocean University,

Shanghai 201306, China; 3. National Experimental Teaching Demonstration Center for Food Science

and Engineering, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要:文章就快速腌制成蛋技术、加工方法和原理及咸蛋清的综合利用进行了探讨分析,从效率、经济、环境、可操作性等方面分析了不同技术的优缺点,并进行了总结和展望。

关键词:咸鸭蛋;快速腌制工艺;咸蛋清;综合利用

Abstract: The technology, processing method and pickling principle of salted egg, and the comprehensive utilization of salted egg white were discussed and analyzed. The advantages and disadvantages of different technologies, including the factors involved in efficiency, economy, environment and operability, etc., were summarized, and their future applications were also prospected.

Keywords: salted duck eggs; rapid-pickling process; salted egg white; comprehensive utilization

咸鸭蛋是一种传统特色蛋类加工制品,其蛋黄起沙富油、营养成分丰富,风味独特,深受消费者喜爱。中国山东微山、江苏高邮、广西北海等地均有生产,其中以高邮的咸蛋制品最为出名。咸蛋加工工艺包括浸渍法、盐泥涂布法和草灰法^[1],其中浸渍法所用时间较短,研究和应用也最为广泛。

咸鸭蛋腌制过程中,食盐是促使其理化性质改变、获得良好风味和起沙冒油质感的主要因素^[2]。蛋黄组成成分为水分、蛋白质、脂质,以及少量矿物质和维生素,蛋清主要由水分和蛋白质组成。腌制期间,腌制液依次通过

蛋壳上的气孔、蛋壳膜、蛋清膜和蛋黄膜向蛋内传递,由于蛋壳内外存在渗透压差,蛋清中的水分通过气孔向外排出,含盐量升高^[3],黏性降低。在 NaCl 的作用下,蛋黄中游离的水分子向外扩散,原来的乳化型脂肪族中亲油基团聚集,形成油滴,蛋白质被组织成胶束和颗粒状结构^[4],阻碍食盐继续渗透,这是咸蛋黄形成“起沙冒油”的主要原因^[5],也是咸蛋黄比蛋清含盐量低的原因。由于蛋壳气孔小,蛋内容物除水分子流失外,蛋白质与脂质因分子量大而停留在蛋内,含量均无明显改变。此外,腌制过程中还有一些理化性质的改变,如蛋黄变硬,蛋黄指数增大,色度升高^[6];蛋清 pH 下降,由碱性变为酸性,可能是由于食盐的渗入破坏了蛋清蛋白中的溶菌酶等碱性蛋白质,同时与蛋内碳酸气体的排出也有关系^[7]。

研究^[8]发现,可使用盐酸增大蛋壳气孔以促进物质交换来提高腌制速率,再添加白酒提高蛋黄出油率。腌制成熟的咸蛋,蛋白黏度下降,且含盐量高,口感欠佳,而咸蛋黄因其独特的口感及丰富的营养在中国市场上需求量颇大^[9]。咸鸭蛋除直接食用外,还有相当一部分是取咸蛋黄作为制作糕点等食物的主要原料,因此每年会产生数万吨咸蛋清副产物^[10]。咸蛋清蛋白质含量为 11%~13%,含有 6 种主要蛋白质和 8 种必需氨基酸,是一种优质蛋白质^[4],但因缺乏风味、有腥味且含盐量高,除少部分咸蛋清作为饲料和焙烤配料外^[11],其余被丢弃,造成蛋白质及其他可利用资源的大量浪费^[12],同时由于咸蛋清霉变、发酵产生的分解物污染水资源,因此咸蛋清的利用亟待开发。

目前,关于咸鸭蛋的研究较多,如咸蛋腌制机理、成品保鲜、腌制液的调配等,而快速腌制咸鸭蛋技术正成为

基金项目:上海高校知识服务平台项目(编号:ZF1206)

作者简介:咎沛清,女,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:金银哲(1977—),男,上海海洋大学副教授,博士。

Email: yzjin@shou.edu.cn

收稿日期:2020-04-02

当前研究热点,腌制副产物咸蛋清的利用也正逐步开发。文章拟介绍咸鸭蛋的各种快速腌制技术及其原理以及咸蛋清的加工利用,在此基础上,从效率、经济、环境、可操作性等方面分析不同技术的优缺点,并进行总结和展望,以期对蛋类加工和综合利用提供依据。

1 咸蛋快速腌制工艺

咸蛋腌制时间受温度、压力、食盐浓度及香辛料等因素影响^[13]。传统咸蛋腌制技术并未对这些因素进行控制,为提高咸蛋腌制速率,降低蛋清含盐率,实现咸蛋的大规模生产,开发了腌制咸蛋的辅助技术^[14]。目前,快速腌制鸭蛋技术主要有超声波辅助腌制技术、脉动压技术、超声波—脉动压联用辅助腌制技术、磁电辅助快速腌制工艺、真空减压法腌制技术、循环水腌制工艺等。

1.1 超声波辅助腌制技术

振动频率达 20 kHz 以上的机械振动波称为超声波,这种波可产生强烈振动^[15]。超声波较好的传质效果主要是由于其热效应、机械效应及空化效应^[16],利用超声强化传质、传热效应,可提高食品加工生产效率,缩短工艺时间,已被广泛应用于食品加工工业中^[17]。超声波技术腌制咸鸭蛋时,其空化效应可使大分子物质分解,传质通道扩大,同时减少蛋清蛋白质颗粒的聚合,从而降低蛋清黏度^[18],加快腌制液进入,增强盐分以及风味物质的渗透^[19];此外机械震荡效应也可以增强蛋内生物膜的通透性,加快腌制液中离子的运动,从而提高腌制速度。

目前,超声波技术已被广泛应用于各类肉制品的腌制加工中,而早在 1996 年,郑玉锴等^[15]就将超声波技术应用于咸鸭蛋腌制。林向阳等^[18]在腌制前对鸭蛋进行一次超声波预处理,当超声时间为 5 min,超声频率为 80 kHz,超声功率为 180 W 时,25 d 即可完全腌制成熟。范娟娟^[16]发现,相比仅在腌制前进行一次超声波处理,腌制过程中多次进行超声波处理,腌制时间明显降低,间隔 3 d 对鸭蛋进行 40 min 的超声波处理,共处理 3 次,腌制时间可缩短为 15 d,且出油率增高,此时的超声波频率为 45 kHz,超声功率为 357 W。孙秀秀等^[14]在腌制过程中采用超声波处理鸭蛋 3 次,每次 30 min,超声功率为 350 W,超声频率为 20 kHz,蛋黄出油率达 57.53%,腌制时间缩短为 20 d 左右,较范娟娟^[16]的腌制天数长 5 d,可能是因为超声时间短、频率低。利用超声波腌制咸蛋时,腌制次数和超声时间不能过多,否则蛋清液会产生小气泡,煮熟后蛋白出现蜂窝状现象;超声波处理时间间隔不能过长,因为蛋壳孔道不能被及时疏通,传质效果减弱,导致蛋白含盐率下降,成熟度不达标。

1.2 脉动压辅助腌制技术

脉动压技术是指在腌制鸭蛋时对腌制容器进行加压的一项技术,通过控制电磁阀的通断来实现对压力容器的加压与卸压。腌制液压力在加压阶段大于鸭蛋内部压

力,盐分可从外界通过蛋壳和蛋壳膜的气孔迅速渗入到鸭蛋内部;而鸭蛋内部压力在卸压阶段大于外部腌制液,因此蛋内水分和气体加速渗出,蛋壳及壳膜气孔不易形成堵塞,此时盐分快速渗入,从而缩短了咸蛋腌制时间^[20]。王晓拓等^[21]自行研制了脉动压腌制设备,发现高压幅值以及高压时间/常压时间是影响咸蛋品质的重要因素;当高压幅值为 135 kPa,高压时间/常压时间为 7.5 min/15 min,腌制液为饱和食盐溶液时,48 h 可将咸蛋腌制成功;蛋白含盐率随高压时间的增长先高后低。吴玲^[22]将连续加压与脉动加压腌制咸蛋进行对比,发现脉动压腌制咸蛋时在相同时间内蛋清含盐量增加较快,6 d 即可腌制成功,节约了电能,降低了产品成本。

上述两个试验中均出现蛋黄盐分渗透较少,咸蛋黄口感下降的问题。王石泉等^[19]将超声波—脉动压技术联合使用腌制咸蛋,3 d 即可腌制成熟,此时蛋白含盐量 4.61%,蛋黄含盐量 2.12%,差值仅 2.49%,减缓了上述问题,为快速腌制咸蛋提供了一条新途径。

1.3 磁电辅助快速腌制技术

磁电技术是指将信号发生器、功率放大器、环形硅钢铁芯、线圈绕组、螺旋管等主要部件按所需安装,装置内具有一定变化规律的磁通产生感应电场,腌制溶液中的金属离子在感应电场的“源动力”下往复运动,同时自由离子因径向旋转磁场的作用而受到洛伦兹力,加速了自身的扩散效果^[20,23]。随着现代科学技术的发展,磁电技术已应用于食品各领域,如提取松茸多糖,探究电解质流体对马铃薯片品质的影响等^[24-25]。李楠^[26]从微观结构和宏观能量两个方面探究了旋转电磁场对 NaCl 溶液中离子运动的影响,建立了活度系数模型,并对其机理进行了研究,发现磁电效应可使 NaCl 溶液活度系数增大。杨哪等^[20]将体系场强设置为 3 V/cm,磁场强度 0.09 T,电场频率 100 Hz,磁场频率 5 Hz,腌制第 7 天时,蛋清含盐量和蛋黄出油率分别是常规腌制的 4.9、3.3 倍,出油率随体系场强的增大而提高。

1.4 真空减压法腌制技术

真空腌制是将真空技术应用于传统腌渍过程的一项技术^[27-28],已被应用于肉制品和果蔬的腌渍过程以及鱼制品中^[29]。此项技术是利用由压差引起的流体动力学(HDM)机理和变形松弛现象(DRP)来提高腌制速率,当温度较低且真空度合适时,食品原料内部液体易发生汽化现象,形成气泡向外界环境逸出,产生体积很小的泡孔,此时物料内外存在压强差,同时由于毛细管效应,使外部腌制液进入食品内部结构,蛋白和蛋黄中的水分快速渗出蛋壳进入腌制液;DRP 现象是由于真空条件下,物料结构发生改变,细胞间距增大,整体体积膨胀,由此腌制液快速渗透进入固体间质中。由于 HDM 和 DRP 双重效应的影响使食品腌制速度提高^[27]。

欧阳玲花等^[30]在腌制初期使用负压腌制咸鸭蛋,将腌制容器的真空度调为 $-0.090\sim-0.095$ MPa,保持时间 20 min,腌制第 10 天时蛋白含盐量与对照组第 20 天的含盐量相差 0.11%,腌制速度显著提高。邵萍等^[31]将减压腌制工艺与酸浸前处理相结合,先用柠檬酸处理鸭蛋以改变蛋壳的通透性,再调节真空度为 0.1 MPa,每天维持 23 h,于 40 °C 下进行腌制,第 6 天时各指标达成成熟标准,说明延长真空腌制时间或者将减压技术与其他技术相结合也可有效提高腌制效率。此外,徐娇娇^[32]认为随着真空度的增大,蛋清含盐量增加速度显著提升,但真空度不能无限减小,因为鸭蛋壳可能会因此破碎。

1.5 循环水腌制工艺

蒲跃进等^[33]利用水泵使咸蛋腌制液整体循环,保证缸内腌制液系统浓度均一,咸蛋品质均匀,成熟度一致,同时也降低了蛋白含盐量差异;与对照组相比,循环水工艺的蛋白含盐量明显提高,是因为蛋内一些亲水性物质的化合键与水的羟基或氢形成氢键,部分性质改善,食盐渗透阻力减弱,故蛋白对其利用率提高;与静态水相比,循环水成品咸蛋合格率提高了 25%,但该工艺的具体参数还需进一步探索。

1.6 其他腌制工艺

除上述各快速腌制技术外,向腌制液内添加香辛料、白酒、酸碱添加剂等在一定程度上也可加快咸蛋腌制时间。徐明生等^[34]在腌制液中加入砂仁、茴香、白芷等香辛料,与仅添加食盐的腌制液相比,香辛料组成蛋蛋白含盐量在第 15 天时已高于食盐组第 25 天的蛋白含盐量,表明香辛料中某些成分可以促进食盐向蛋内渗透,加快腌制时间。添加酒精腌制剂可加速盐分渗入,因为蛋壳膜通道在酒精小分子的促进作用下会被打开,刘国庆等^[35]发现 5% 的酒精浓度腌制出的鸭蛋品质较好。采用酸处理鸭蛋时,酸中游离的 H^+ 与蛋壳作用,产生溶于水的 CO_2 和 Ca^{2+} ,蛋壳气孔变大,可以促进盐分进入。

传统咸蛋腌制工艺存在咸蛋清过咸的问题,吴玲等^[35]采用 KCl 代替部分 NaCl 腌制咸蛋,当其取代量不高于 NaCl 质量分数的 26% 时,咸蛋钠含量明显降低;而孙静等^[36]将山梨糖醇、麦芽糖醇等食品添加剂代替部分 NaCl,也发现可以有效降低蛋清咸度。后续可以尝试将咸蛋的低钠腌制工艺与快速腌制技术相结合,在缩短生产周期的同时,解决蛋清含盐量高的问题。

2 咸蛋清的加工利用

2.1 提取溶菌酶

溶菌酶是一种没有毒性的碱性蛋白质,可以将细菌细胞壁溶解而杀死细菌,因此具有抗菌作用,是一种天然的、安全的防腐剂。溶菌酶存在于哺乳动物的乳汁、唾液以及眼泪中,部分植物体内也有少量存在,而蛋清中溶菌酶含量最高,是提取溶菌酶的主要来源^[37]。据报道^[38],

溶菌酶还能帮助人体抵抗病毒,提高人体免疫力,同时还具有消炎作用。由于溶菌酶的天然防腐作用,在食品行业中主要用于食品保鲜,其作用机理为冷杀菌,对食品营养成分和口感无影响。此外,将溶菌酶与辐照保鲜技术、高压超声波处理技术、气调包装技术等结合应用,利用其抑菌性对食物进行双重防腐和保鲜,更有效地延长产品货架期^[39]。

蛋清中其他蛋白质种类多,因此溶菌酶的提取工艺比较繁杂^[40]。根据溶菌酶的来源不同,一般采用结晶法、色谱法、超滤法、双水相萃取法、反胶团萃取法、分子印迹技术^[39]、亲和沉淀^[40]、离子交换^[41]、离子液体亲和萃取^[42]等方法进行提取。张黎丽等^[40]利用等电点沉淀、热沉淀、阳离子交换的方法从新鲜鸡蛋清中提取溶菌酶,并对溶菌酶液进行纯度检测,所得溶菌酶含量最高可达 80% 以上;该方法操作简便,但用蛋清进行粗酶液提取时会有部分溶菌酶损失,且提取的溶菌酶仅对某一菌种有明显抑菌作用,抑菌范围窄。马晓彤等^[42]将鸡蛋清制成蛋清粉提取溶菌酶,将离子液体 $[C_4MIM]_3Cl$ 与辛巴蓝萃取体系相结合,得到新型离子液体 $[C_4MIM]_3[CB]$;该离子液体可以与溶菌酶特异性结合,经萃取和反萃取,将鸡蛋清中的溶菌酶与其他蛋白高效分离,纯度高达 97.56%,活性为 35 000 U/mg,提取效果远高于其他技术,但操作较为繁琐,需控制多项参数。Duan 等^[43]采用碱催化水解脲基制备羧基化的新型吸附剂 β -环糊精聚合物(P-CDPs),羧基的引入大大提高了溶菌酶的吸附能力,将 P-CDPs 的最大溶菌酶吸附量从 615 mg/g 提高至 1 520 mg/g。以上均是从新鲜蛋清中提取溶菌酶,可以为咸蛋清中溶菌酶的提取提供思路。Ding 等^[44]利用 pH 响应聚合物与 L-甲状腺素配体结合,采用亲和沉淀法从咸蛋清中纯化溶菌酶,得到溶菌酶蛋白回收率为 94.32%,活性回收率为 96.79%,说明咸蛋中溶菌酶可利用率高,该法可行且高效。目前,中国溶菌酶研究已取得一些成果,但其高端产品依然需从国外进口,发展仍受制约^[45]。

2.2 提取生物活性肽

肽是氨基酸的有机合成物,当以蛋白质结构存在时无生物活性,只有经酶解成分子量 $<6\ 000$ U 的肽段才能发挥其生物活性^[46]。李晶晶^[10]发现酶解肽 DPPH 自由基清除率较未水解蛋清蛋白显著增高。除作为营养素外,肽还具备很多重要的人体生理活性功能^[47],如抗氧化、降血压等。Fujita 等^[48]发现蛋清蛋白质酶解产物对人体有益。郑颖等^[46]对蛋清活性肽的制备方法及活性研究现状进行了分析,指出了中国蛋清活性肽存在产品率低的问题。

目前,通过降解咸鸭蛋清来制备肽类物质,提高咸蛋清的附加利用值的同时又可促进活性肽产品商业化生产,一般采用溶剂萃取、酸碱水解、酶解、生物发酵等方

法。以蛋白酶解—脱盐、生物发酵的方法制备蛋清活性肽,由于其对蛋白质营养价值无损害而成为主要的研究方向。王晓玲^[49]研究发现,多种酶联用可增加酶切位点,加酶的顺序与酶作用的时间长短会影响复合酶的作用效果;先加入木瓜蛋白酶酶解 4 h,灭酶后继续加入酸性蛋白酶反应 2 h 后灭酶,二者加入配比为 3:2 时酶解效果最好。陈远哲等^[50]认为,酶解时酶的活性因咸蛋清含盐量高受到抑制,且酶的选择和作用也难以控制,故在咸蛋清中接种耐盐菌株,利用发酵过程中菌株产生的耐盐蛋白酶高效降解蛋白,再经超滤膜过滤得到分子量<3 000 U 的抗氧化活性极强的小肽。生物发酵方法的优点在于将微生物产酶、蛋清液脱盐、酶水解相结合,简化了生产工艺,较其他方法的生物污染低,因此成为热门的研究方向。

2.3 脱盐研究

咸蛋清中由于含盐量过高,导致大量优质蛋白质和其他高价值成分不能被直接利用,因此将咸蛋清脱盐成为提高其利用率的主要途径。咸蛋清常用的脱盐技术有超滤、絮凝、等电点法、电渗析、强酸性阳离子交换树脂等,通常以脱盐率和蛋白回收率作为评价指标^[49]。李晶晶^[10]采用超滤法进行脱盐处理,当膜通量为 30 kDa,压力为 0.22 MPa、温度为 50 ℃ 时,脱盐效果最好。Zhou 等^[51]研究表明,与未经预处理样品相比,超声波和微波预处理的脱盐率分别提高了 10%,3%,产品质量也得到了改善。谢颖等^[52]研究发现,当温度为 10 ℃,pH 为 6,壳聚糖浓度为 1% 时,咸蛋清蛋白脱盐率高达 78%,且蛋白不改性,氨基酸组成和比例也未改变。工业生产中,咸蛋清的脱盐与酶解通常联用,一般有脱盐后酶解或者酶解后脱盐两种工艺。若先脱盐再酶解,咸蛋清液对蛋白酶友好,酶解速率快,但水解过程中由于 pH 的调节导致盐分的引入,后期可能二次脱盐;咸蛋清经酶解形成的酶解液含有大量的蛋白肽、部分游离氨基酸和盐分,有效利用酶解出来的蛋清活性肽,需对酶解液再进行脱盐处理。

2.4 其他利用途径

咸蛋清因具有含盐量高、乳化、凝胶、起泡等特性,可直接加入至食品原料中以改善食品特性。Tan 等^[53]以咸鸭蛋清代替食盐发现,当面条中添加咸鸭蛋清时,蛋白质含量、黄度、黏聚性、咀嚼型显著增加,pH、蒸煮特性与食盐组差异不大。蛋清蛋白凝胶因含有大量水分以及风味物质,同时可以提高产品的风味、嫩度和咀嚼性。杨慧娟等^[54]研究发现,当熟制时间为 120 min,熟制温度为 115 ℃,添加 3% 的马铃薯淀粉时,产品的凝胶性能最佳。

3 结论

近年来人们对咸蛋的研究层次更加深入,关于咸蛋的腌制机理也有了更深刻的认识。虽然在咸蛋加工方面已有不少成果,但关于快速腌制咸蛋技术与咸蛋清的利

用仍具有广阔的研究空间,今后可从以下几方面进行更加系统的研究。

(1) 咸蛋腌制的不同阶段,依据其成熟程度改变腌制液的浓度以及脉冲压强的高低,在提高咸蛋腌制速率的同时还可能降低咸蛋的含盐量;将高浓度腌制液按配比添水加料进行二次循环腌制,可减少腌制原材料的浪费,实现咸鸭蛋的经济化生产。

(2) 目前,腌制咸鸭蛋存在设备自动化程度不高、控制系统复杂的问题,暂未实现大规模的工厂化生产。因此,在确定各快速腌制技术参数后,应进一步探索自动化腌制装置,以减少人力资源的浪费,也可以促进咸蛋规范化生产,达到产品质量统一的目的。

(3) 多层次利用咸蛋清。如对咸蛋清的酶解液进行深入研究,提取目标活性肽后,经处理的酶解液是否可以作为肥料继续利用。此外,加工产物如溶菌酶、活性肽等可以向医疗、美容行业发展,一方面提高相关产品的安全性,另一方面刺激需求以促进咸蛋清的高值化利用。

参考文献

- [1] 任发政. 咸蛋的腌制机理及其加工方法[J]. 农产品加工, 2009(5): 24-25.
- [2] 孙静, 皮劲松, 潘爱鑫, 等. 咸蛋腌制老料与新料腌制效果差异分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(23): 6 176-6 179.
- [3] KAEWMANEE T, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting[J]. Food Chemistry, 2009, 112(3): 560-569.
- [4] KIOSSEOGLOU V. Egg yolk protein gels and emulsions[J]. Current Opinion in Colloid & Interface Science, 2003, 8(415): 365-370.
- [5] 廖明星, 朱定和. 咸蛋加工过程的腌制成熟机理初探[J]. 食品工业科技, 2008(4): 324-326.
- [6] 荣建华, 张正茂, 冯磊, 等. 咸蛋盐水腌制动力学研究[J]. 农业工程学报, 2007(2): 263-266.
- [7] 田钗, 张凤宽, 王严, 等. 鸭蛋腌制过程中某些成分变化规律的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1992(2): 74-77, 106.
- [8] 黄奕源, 潘竞龙, 欧阳宏佳, 等. 咸鸭蛋腌制过程相关指标变化规律及最佳配方的筛选研究[J]. 广东农业科学, 2019, 46(6): 142-149.
- [9] 全其根, 宁静, 徐艺青, 等. 咸蛋黄快速腌制方法的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 155-157.
- [10] 李晶晶. 咸蛋清脱盐及制备抗氧化肽的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010: 18.
- [11] 谭芦兰, 唐宏刚, 杨慧娟, 等. 魔芋胶对咸蛋清蛋白热诱导凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 70-77.
- [12] 孔玲, 张慙, 刘亚萍. 响应面法优化咸蛋清酶解工艺的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 29(11): 1 189-1 196.
- [13] 刘国庆, 江力, 钱晓勇, 等. 咸鸭蛋快速腌制工艺优化研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 234-237.

- [14] 孙秀秀, 何立超, 杨海燕, 等. 间歇超声辅助加快咸蛋腌制速度工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 204-211.
- [15] 郑玉销, 刘树滔, 陈躬瑞, 等. 超声波技术在咸蛋腌制中的应用及其机理初探[J]. 福州大学学报(自然科学版), 1996(3): 73-76.
- [16] 范娟娟. 超声波辅助快速腌制咸蛋工艺的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2013: 17.
- [17] 鞠云, 唐春红, 赵楠, 等. 超声波在未来食品加工中的应用[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2015, 32(12): 71-75.
- [18] 林向阳, 赖宜萍, 朱榕壁, 等. 咸蛋腌制过程中超声波预处理技术参数优化[J]. 中国食品学报, 2011, 11(6): 68-76.
- [19] 王石泉, 王树才, 张益鹏, 等. 超声波-脉动压联用快速腌制咸鸭蛋的工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23): 286-292.
- [20] 杨哪, 金亚美, 徐悦, 等. 电磁辅助快速腌制咸鸭蛋的工艺[J]. 农业工程学报, 2015, 31(21): 295-300.
- [21] 王晓拓, 高振江. 脉动压技术腌制鸡蛋工艺优化[J]. 食品科学, 2010, 31(8): 97-101.
- [22] 吴玲. 咸蛋低钠脉动压腌制新技术的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 69.
- [23] 李德洪. 电磁辅助快速腌制咸鸭蛋的工艺分析[J]. 电子测试, 2016(17): 172, 175.
- [24] 金亚美, 杨哪, 段翔, 等. 磁场下电解质流体对马铃薯片品质的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(2): 234-249.
- [25] 孟曼, 张延杰, 杨哪, 等. 磁感应电场提取松茸多糖工艺优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 143-148.
- [26] 李楠. 旋转电磁场对 NaCl 溶液活度影响的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009: 31-41.
- [27] 龚海辉, 谢晶, 张青, 等. 真空浸渍在果蔬加工中的应用[J]. 食品工业科技, 2008(5): 291-294.
- [28] 罗扬, 刘成国, 陈瑶, 等. 真空腌制技术及其在食品加工中的应用研究[J]. 肉类研究, 2010(6): 31-34.
- [29] 言剑. 真空腌制技术及其在食品加工中的应用探微[J]. 食品安全导刊, 2015(30): 135-136.
- [30] 欧阳玲花, 杜金平, 何家林, 等. 负压快速腌制咸蛋研究[J]. 食品科技, 2015, 40(9): 38-40.
- [31] 邵萍, 刘会平, 邹乾, 等. 酸浸减压法腌制咸蛋与传统咸蛋的对比[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 8-13.
- [32] 徐姣姣. 减压腌制咸蛋及腌制后蛋黄理化性质的变化[D]. 天津: 天津科技大学, 2015: 24.
- [33] 蒲跃进, 杜金平, 梁振华, 等. 循环水腌制咸蛋工艺研究[J]. 中国家禽, 2010, 32(16): 25-27, 31.
- [34] 徐明生, 董开发, 鄢建芬, 等. 香辛料对咸蛋腌制的影响[J]. 肉类研究, 2000, 22(4): 37-38.
- [35] 吴玲, 孙静, 乐立强, 等. KCl 部分替代 NaCl 腌制咸蛋效果的比较研究[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 5-10.
- [36] 孙静, 皮劲松, 潘爱鑫, 等. 咸蛋腌制剂低盐高渗替代物的筛选[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(24): 6 334-6 337, 6 341.
- [37] 肖丹华, 林捷, 郑华. 咸蛋清的利用和研究现状[C]//广东省科学技术协会科技交流部会议论文集. 广州: [出版者不祥], 2008: 59-61.
- [38] 李秋雁. 生物溶菌酶的提取应用及发展前景研究[J]. 现代盐化工, 2017, 44(2): 9-10.
- [39] 范林林, 林楠, 冯叙桥, 等. 溶菌酶及其在食品工业中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 248-253.
- [40] 张黎丽, 马梦琳, 李晨熙, 等. 蛋清溶菌酶的分离纯化及其抑菌活性研究[J]. 生物化工, 2017, 3(1): 13-16.
- [41] 李逢振. 蛋壳残留蛋清中溶菌酶高效提取技术的研究[J]. 农产品加工, 2017(24): 57-58, 61.
- [42] 马晓彤, 刘曼, 裴海闰, 等. 新型离子液体亲和萃取鸡蛋清中的溶菌酶[J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 35-40, 47.
- [43] DUAN Hui-ling, NIU Qi-le, WANG Jun, et al. High uptake carboxyl-functionalized porous β -cyclodextrin polymer for selective extraction of lysozyme from egg white[J]. Journal of Chromatography A, 2019, 1 600: 80-86.
- [44] DING Zhao-yang, LI Si-peng, CAO Xue-jun. Separation of lysozyme from salted duck egg white by affinityprecipitation using pH-responsive polymer with an *L*-thyroxine ligand[J]. Separation and Purification Technology, 2014, 138: 153-160.
- [45] 胡书蒙, 温佳奇, 苏亮, 等. 蛋清加工利用及蛋清活性肽的研究进展[J]. 食品科技, 2017, 42(12): 261-264.
- [46] 郑颖, 方卿颖, 佟平, 等. 蛋清活性肽的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(18): 396-400.
- [47] 刘玉德, 曹雁平. 生物蛋白肽的开发研究展望[J]. 食品科学, 2002(8): 319-320.
- [48] FUJITA H, SASAKI R, YOSHIKAWA M. Potentiation of the antihypertensive activity of orally administered ovokinin, a vasorelaxing peptide derived from ovalbumin, by emulsification in egg phosphatidylcholine[J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 1995, 59(12): 2 344-2 345.
- [49] 王晓玲. 咸蛋清蛋白酶解制备活性肽及其抗氧化、抗菌活性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 2.
- [50] 陈远哲, 黄熙莺, 鲁安娜. 耐盐菌发酵对咸鸭蛋蛋清脱盐及抗氧化活性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(11): 130-136.
- [51] ZHOU Bing, ZHANG Min, FANG Zhong-xiang. Effects of ultrasound and microwave pretreatments on the ultrafiltration desalination of salted duck egg white protein[J]. Food and Bio-products Processing, 2015, 96: 306-313.
- [52] 谢颖, 方东升, 周璟明. 絮凝技术应用于咸蛋清综合利用[J]. 北京农业, 2014, 15(3): 7-9.
- [53] TAN Thuan-chew, PHATTHANAWIBOON T Y, EASA A M. Quality, textural, and sensory properties of yellow alkaline noodles formulated with salted duck egg white[J]. Journal of Food Quality, 2016, 39(4): 342-350.
- [54] 杨慧娟, 谭芦兰, 叶梦迪. 咸蛋清性能改善工艺研究[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(3): 469-473.