

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0012.015

超声波在未来食品加工中的应用*

鞠云¹, 唐春红^{1,2**}, 赵楠¹, 周意文¹, 张毅¹, 马龙¹, 陈琳莉¹

(1.重庆工商大学环境与生物工程学院,重庆 400067;2.重庆工商大学绿色食品研究所,重庆 400067)

摘要:综述了超声波技术在蛋白质提取、杀菌、解冻、入味和冷冻等食品加工单一过程中的应用,并与相应的传统技术比较,分析出超声波技术的优点;探讨了超声波的机理和超声波技术在食品加工全过程中的应用,指出超声波技术在未来食品加工新技术中的前景和展望。

关键词:超声波;蛋白质;杀菌;解冻;全过程

中图分类号:TP277

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2015)12-0071-05

现今超声波技术已被各个领域所广泛应用,大多都是用于机械零部件和试验器具等的清洗、医疗器械(B超)的消毒和药物的提取等。超声波技术在食品加工中的应用也日益增加,广为人知的是超声波用于食品加工单一过程,也就是仅仅用于食品加工的某个特殊的环节,如原材料的解冻、冷冻,肉制品的入味等这些单一的加工过程。在综述了超声波可用于食品加工单一过程的基础上,进一步探讨了超声波在食品加工全过程中的应用,为未来食品加工新技术提供了更为简单、环保的食品加工新思路,力求超声波技术在食品加工中的应用提升到新的高度。

1 超声波机理探讨

通常把频率大于 20 kHz 的声波称为超声波。超声波将声能通过换能器转化为机械能,从而使超声介质产生振动,进而产生的一系列物理生化效应。从物理学角度可归结为三大效应,即热效应、空化效应和机械效应,超声波的频率和强度决定了超声波机械作用强弱。超声波将声能通过换能器转化为机械能,导致介质不断地振动,从而产生大量的能量,能量的大小与超声波的频率、功率以及介质自身的特性(密度和流动性)有关,能量不断的聚集就会导致介质温度的升高^[1]。空化效应一般在液体介质中完成,由于超声波的振动使得液体介质也发生相应的振动,在振动中的液体出现拉应力,从而产生负压,负压迫使液体介质中的气泡逃逸出来,形成小气泡,而这些气泡非常不稳定,它们随着周围介质的振动不断地运动、长大,最终破裂。而在气泡破裂的一瞬间伴随着激波会产生高温、高压等特殊的物理现象^[2]。超声波通过换能器将电能转换为声波能,而声波可以产生振动,即所谓的机械效应。机械效应的强弱与声波能的大小有关,而超声波的频率和功率均与超声波所产生的机械能成正比。超声波的机械效应是通过介质(一般是液体介质)的传播作用到物体的,并且不同强度的机械效应作用在不同物体上所产生的物理效应是不同的。

超声波的物理效应对食品加工具有深远的意义,研究超声波的机理也是为了更好地将超声波运用到食品加工过程中来。如利用超声的空化效应、机械效应促进晶核的形成,影响晶体粒径的分布,改善食品的品质;利用超声强化传热、传质效应,可提高生产效率,缩短工艺时间;另外,超声波还可用于食品加工的其他

收稿日期:2015-05-14;修回日期:2015-06-21.

* 基金项目:重庆高校优秀成果转化资助项目(KJZH14211).

作者简介:鞠云(1989-),男,宁夏中卫人,硕士研究生,从事废弃物资源化利用与研究.

** 通讯作者:唐春红(1965-),女,教授,博士,从事天然防腐剂和抗氧化剂研究.E-mail:023tch@163.com.

不同方面。因而,超声技术在食品工业中具有广阔的应用价值^[3]。

2 超声波在食品加工单一过程中的应用

超声波技术在食品中的应用已经得到了相关领域人士的高度认可,这些应用大多是在食品加工过程中某一关键环节或特定环节使用超声波,其作用单一而不简洁,但在某种程度上使用超声波可以提高食品加工效率和改善食品的品质等。

2.1 超声波在蛋白质提取中的应用

超声波提取是一种较为高效提取方法。超声波提取就是利用了超声波的空化效应,而提取需要一定的介质,提取过程中当超声波的频率达到一定值时,介质中产生的气泡会发生破裂,继而释放出大量的能量,能量可以使细胞的细胞壁和细胞膜破裂,迫使细胞内的蛋白质流出到提取介质中,最终实现提取的效果。

冯磊等^[4]研究了茶叶籽蛋白提取方式,发现超声波提取茶叶籽蛋白的最佳工艺条件是:液料比1:25、温度40℃、pH 9.5和超声时间40 min,此条件下超声波提取茶叶籽蛋白的提取率达到了79.54%,相比其他传统的提取方法,超声波提取法的提取率提高了20%左右。李盼盼等^[5]研究了超声波辅助提取银杏蛋白,发现超声波辅助提取银杏蛋白的最佳工艺条件是:液料比1:25、温度45℃、pH 10、功率310 W和处理时间20 min,此工艺条件下所提取的蛋白质含量是61.75 mg/g,相比其他传统的提取方法超声波提取法的提取率提高了15.42%。王丽敏等^[6]在研究超声波辅助提取大豆蛋白的过程中发现,超声波辅助丁二酸二异辛酯磺酸钠(AOT)、十二烷基磺酸钠(SDS)、十六烷基甲基溴化铵(CTAB)和十二烷基二甲基苄基氯化铵(DMBAC)这4种反胶束体系提取大豆蛋白的提取率分别是98.91%、82.08%、86.73%和81.44%,而传统的非超声波的提取方法对大豆蛋白的提取率只有72.38%,间接说明超声波辅助不同的介质提取蛋白质的效果有所差异。实例说明超声波对蛋白质的提取率较传统提取方法均有大幅度的提高。

2.2 超声波的杀菌作用

超声波的杀菌作用已经得到了证实,利用超声波的杀菌作用可以大大缓解食品工业依赖防腐剂的诟病,而超声杀菌的机理则是依靠它的三大效应实现的,即热效应、机械效应和空化效应。超声波内放入一定的液体介质,液体介质在一般条件下均溶有一定的气体,一旦超声波开始工作,超声波的空化作用使得这些气泡破裂,产生强大的机械作用,从而破坏大多数细菌或病毒的细胞壁或细胞膜,其穿透力穿透细胞核,最终使细菌或病毒致死。例如大肠杆菌在超声作用下作用一定时间会被杀死,金黄色葡萄球菌等一些致病菌在一定程度也会被杀灭。伤寒沙门氏菌可以用4.6 MHz频率的超声小组来全部杀死。在不同频率超声波条件下作用原始微生物含量较高的食品原料,发现超声波对这些微生物有显著的杀灭作用。

Krasnyj V等^[7]研究发现,水溶液中臭氧浓度为10 mg/L时放入功率为100 W的超声波中处理一定时间可以使蜡样芽孢杆菌完全失活。Wrigley等^[8]人研究了超声波在不同介质下对鼠伤寒杆菌杀灭的情况,对脱脂乳在50℃条件下超声波处理30 min,细菌总数减少3个对数,在40℃条件下处理30 min,减少2.5个对数;对脑心浸出液在40℃条件下超声波处理30 min,细菌总数减少3个对数,在20℃条件下处理30 min,减少1个对数。谭海刚等^[9]发现,超声波对原料乳中的微生物有杀灭作用,并确定了超声波杀菌的最佳工艺条件是:温度60℃,时间3.2 min,间歇比5:2,与巴氏杀菌相比大大降低了杀菌时间,间接说明了超声波能够杀菌的事实。

2.3 超声波的解冻作用

食品原材料很多是在冻库中保藏的,而在实际生产加工过程中要想解冻原材料并非易事,在大型肉类食品加工企业原材料的解冻成了降低生产效率的主要因素。因其大体积冻结的原料无论是在空气还是在水中解冻速度都相当慢,另外解冻用水亦是一种资源浪费,增加了企业的成本。超声波解冻正好适合大体积冻结材料的解冻,且具有解冻速度快,解冻均匀等优点。

刘雪梅等^[10]在研究不同解冻方法对速冻草莓品质的影响中发现,不同解冻方法所需解冻时间大为不同,超声波解冻<水浴解冻<空气解冻。经不同解冻方法处理后速冻草莓的物理特性:超声波解冻后的草莓色泽较好、硬度大、汁液流失率最低;其次为水浴解冻;而空气解冻汁液流失率最大、硬度最小;空气解冻与

水浴解冻对色泽的影响较大,解冻后亮度明显变暗。董庆利等^[11]研究发现,超声波解冻冻猪肉较空气解冻和流水解冻更能保证冻猪肉的品质,更好的解决肉汁流失率和部分过热的问题等。叶盛英等^[12]发现不同超声波功率解冻对肉汁损失率影响呈 U 型分布,在功率为 34.98 W 时,肉汁损耗率为最低值。由不同超声波功率与试样中心温度达 5 ℃ 所需时间的关系,可得在超声功率为 34~35 W 解冻时,所需解冻时间最短,且解冻后的猪肉品质变化最小。Shore 等^[13]人研究表明,超声波在冻结肉制品中和在未冻结组织中衰减程度比较,前者大于后者,而且这种衰减随着温度显著增加,在起始冷冻点达到最大值,随着冻肉的不断解冻,温度不断升高,超声波的衰减也逐渐减弱,从而证明了超声波能够解冻原材料的事实。

2.4 超声波的入味作用

传统肉制品的腌制过程相对缓慢,且腌制效果一般,超声波因其独特的频率和穿透力可以加快肉制品及其他可入味食品的入味速度,而且可促进卤料均匀渗透到肉中。加快工艺时间,提高腌制肉的品质。

李莹影等^[14]研究发现,超声波辅助恒温动态循环腌制鸡翅的最佳工艺条件:超声功率 335 W,腌制温度 50 ℃,腌制液盐浓度 6%,超声时间为 60 min。此条件下测得鸡翅肉中 NaCl 含量 2.01%,游离氨基酸 94.35 mg/100 g,挥发性盐基氮 9.31 mg/100 g,均大于传统腌制鸡翅中相应的含量,超声波辅助恒温动态循环腌制能促进食盐的渗透速率,提高游离氨基酸的含量,缩短腌制时间,有利于产品风味的形成。王石泉^[15]研究超声波-脉动压联用快速腌制咸鸭蛋时发现,超声波脉动比(2:10) min,压力 140 kPa,高压脉动比(4:16) min,超声波作用时长为 132 min 时,腌制出来的咸蛋口感较好,此时咸蛋蛋白中含盐量为 4.61%,蛋黄中含盐量为 2.12%,两者含盐量相差只有 2.49%。感官咸蛋具有:咸味适中、细嫩(蛋白);松沙、含油、咸味可口(蛋黄)的特点,同时整个生产时间比用传统腌制方法的生产周期缩短近 90%。

赵永敢等^[16]研究发现,超声波辅助处理腌制牛肉可以加快腌制液的渗透速度,缩短腌制时间,并且随着超声处理时间的增加,效果更加明显;此外,超声波辅助处理腌制牛肉还可以使腌制液均匀的向肌肉组织渗透,达到均匀腌制效果。王进青^[17]研究发现,超声波辅助酱卤鸡爪腌制的最佳工艺条件是:超声功率 80 W,超声温度 55 ℃,超声时间 40 min,生产的酱卤鸡爪不仅感官品质好于传统工艺,且能明显缩短生产周期,适合于工业化生产。

刘永峰等^[18]在研究超声波辅助低盐腌制秦川牛肉中发现,超声波不但可以加速秦川牛肉的腌制效果,而且对于提高牛肉多不饱和脂肪酸含量、降低秦川牛各部位牛肉脂肪的含量有明显的效果。崔龄文^[19]也发现,超声波处理可以加速腌制液中食盐、亚硝酸盐和蔗糖向湿腌猪肉的渗透,加快腌制速度,而且提高肉的嫩度,增加猪肉的保水性,将蒸煮损失控制在合理范围之内。

2.5 超声波的冷冻作用

超声波的冷冻作用依靠超声波的空化效应,液体在超声波空化作用下产生气泡,其气泡能促进结晶过程中晶核的形成,在超声波声能的作用下晶核就被击碎形成食品在冻结过程中所需的小晶核,最终达到冻结食品的目的。辛颖^[20]研究发现,在超声功率 150(30 kHz)或 175 W(20 kHz)条件下,结合适当的超声处理时间、初始作用温度和脉冲模式,能够显著缩短西兰花的冻结时间,且可提高西兰花冻结后的品质。

Bao-guo Xu 等^[21]通过感官评价和实验分析得出结论:超声波冷冻萝卜可以大大缩短冷冻时间,而且更好的保护了冷冻后萝卜的品质,用显微镜观察萝卜结构,发现其组织破坏程度相对较小。AE Delgado 等^[22]研究超声波冷冻苹果过程发现,超声波使苹果温度保持 0 ℃ 或者 -1 ℃ 120 s,以 30 s 为一个时间间隔,由特性冷冻时间表示平均冷冻速率,结果冷冻速率明显提高了 8%,并且观察到超声波可以诱导晶核的形成。Sun 等^[23]采用超声波强化马铃薯片的冷冻过程,间歇使用功率为 15.8 W 的超声波与浸渍冷冻相结合,发现此时超声波可以显著提高冻结速率,生成的冰晶体粒径小、数目多、粒度分布均匀。Hozumi 等^[24]研究结果表明,超声频率 45 kHz,功率 0.28 W/cm² 时能降低纯水结晶的过冷度,促进冰晶形成。Inada 等^[25]研究发现,超声波显著的提高冰晶成核和相变的可能性,而空化强度的选择对于得到较好的可重复性结果起到了至关重要的作用。

2.6 其他方面

超声波还可用于食品的干燥与除湿、过滤与分离、乳化和均质等^[26],超声波技术运用在食品加工其他单一过程中的实例已经很多,如陈丽清等^[27]研究发现,猪皮超声波乳化脱脂效果明显优于单独使用超声波脱

脂效果,其中以超声波 SDBS 乳化脱脂效果最好,最适脱脂工艺条件为 0.75% SDBS、脱脂时间 2 h、料液比 1:2.5,此时鲜猪皮的脱脂率可达 68.67%、胶原损失率为 10.01%。杭瑜瑜等^[28]研究表明,在超声波功率 600 W,料液比 1:60,时间 20 min,乙醇浓度 40% 情况下,超声波辅助提取菠萝皮中黄酮类物质的提取率最高。

3 超声波在食品加工全过程中的应用

3.1 超声波在泡凤爪加工全过程中的应用

多年来泡凤爪工艺一直没有得到明显的变革,传统泡凤爪工艺加工时间长,能耗较大,而且存在使用双氧水的安全性争议,近两年唐春红等^[29]研究发现,超声波可用于泡凤爪加工的全过程中,其中包括凤爪原料的解冻、去血水(材料处理)、冷却和入味等所有工艺过程,而且全过程中不使用双氧水乃至任何化工类防腐剂,这一应用使得泡凤爪工艺更加简洁快速,从环境角度考虑可以节约大量的水资源,也对未来泡凤爪行业树立了一个标杆。

3.2 超声波在泡菜加工全过程中的应用

泡菜多以自然发酵的方式得到广大泡菜企业的青睐,蔬菜的发酵速度和发酵质量直接影响着泡菜成品的价值。唐春红^[30]在《面向未来的食品加工新技术》一书中提到了超声波加工泡菜的全过程,基本工艺过程为:蔬菜→加 5% 的醋和 6%~10% 的盐腌制 90 min→焯水→加醋、盐、香料粉、酒等再腌制 30 min→超声波处理 60 min→包装→成品。其原理是:超声波处理蔬菜可以从蔬菜中快速提取乳酸菌,使蔬菜快速发酵成为泡菜,加速了发酵过程、提高了生产效率,工艺在实际生产中具有占用器具少、生产速度快和加工设备少等特点,全过程主要运用了超声波的一种加工设备,且全过程控制在 4 h 内完成。

3.3 超声波在罐头加工全过程中的应用^[30]

蔬菜、水果罐头工艺过程:蔬菜或水果→加醋和盐腌制 90 min→加天然护色剂用沸水焯→加入盐或糖和醋超声波入味 60 min→装瓶→成品。肉类罐头工艺过程:材料超声波处理 60 min→白水煮熟肉再煮 20 min 左右→冷却→再放入加卤水的超声波设备中处理 60 min→装罐→成品。从上面两个罐头加工工艺中可以看出两种罐头在加工全过程中主要应用了超声波这种单一的加工设备,而它们运用的正是超声波的杀菌和入味效应的结合,将超声波的两种甚至更多的原理应用到了一个完整的生产加工过程中,使得整个工艺过程清晰、明了,可操作性更强,且可让超声波得到充分的发展利用。

4 结论与展望

综上所述,超声波技术在食品中的应用还不够成熟,虽然超声波在食品加工单一过程中的应用较多,但在食品加工全过程中的应用依旧很少,食品加工过程通常包含原材料解冻、杀菌和入味等基本工序,而将超声波的这些机理运用在同一个食品加工过程中既可以展现超声波的优势又能够使得食品加工工艺简洁、易操作。此外,超声波技术在食品加工全过程中的应用可以大大减少化工类食品添加剂的使用,把超声波技术灵活的运用在未来食品加工中是食品行业需要去突破的。

参考文献:

- [1] 张强,孙昱东,施宏虹,等.超声波技术及其在应用技术领域的机理研究[J].广东化工,2013,13:90-91
- [2] 王薇薇,孟廷廷,郭丹钊,等.食品加工中超声波生物学效应的研究进展[J].食品工业科技,2015(2):379-381
- [3] 胡爱军,丘泰球.超声技术在食品工业中的应用[J].声学技术,2002,21(4):192-194
- [4] 冯磊.茶叶籽蛋白提取及其酶解物抗氧化作用研究[D].吉林:吉首大学,2013
- [5] 李盼盼.银杏蛋白超声波辅助提取及特性研究[D].山东:山东农业大学,2012
- [6] 王丽敏,陈复生,刘昆仑,等.超声波辅助不同反胶束体系萃取大豆蛋白的研究进展[J].粮食与油脂,2014(12):5-8
- [7] KRASNYJ V V, KLOSOVSKIJ V A, PANASKO A T, et al. Sterilization of Microorganisms by Ozone and Ultrasound[J]. Plasma: International Conference on Resear, 2008, 93(1):387-390

- [8] WRIGLEY D M, LLORCA N G. Decrease of Salmonella typhimurium in skim milk and egg by heat and ultrasonic wave treatment [J]. *Journal of Food Protection*, 1992, 55(9): 678-680
- [9] 谭海刚, 李静, 孙超. 超声波对原料乳灭菌效果的研究[J]. *中国乳品工业*, 2013, 41(6): 59-61
- [10] 刘雪梅, 孟宪军, 李斌, 等. 不同解冻方法对速冻草莓品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(22): 277-281
- [11] 董庆利, 黎园园, 梁娜, 等. 冻结猪肉解冻措施筛选及优化[J]. *生物加工过程*, 2011, 9(3): 66-70
- [12] 叶盛英, 李远志, 黄苇, 等. 冻结肉喷射声空化场解冻技术初探[J]. *农产品加工, 学刊*, 2008(7): 125-127
- [13] SHORE D, WOODS M O, MILES C A. Attenuation of ultrasound in post rigor bovine skeletal muscle [J]. *Ultrasonics*, 1986, 24(2): 81-87
- [14] 李莹影, 曾颖, 宋贤良, 等. 超声波辅助恒温动态循环腌制盐焗鸡翅技术研究[J]. *食品工业科技*, 2015(7): 214-218
- [15] 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, 23: 286-292
- [16] 赵永敢, 郭明月, 刘少阳. 超声波处理对牛肉腌制速度的影响[J]. *肉类工业*, 2013(4): 32-33
- [17] 王进青. 超声波辅助酱卤鸡爪腌制工艺的优化[J]. *中国调味品*, 2013, 38(10): 66-68
- [18] 刘永峰, 管林森, 李景景, 等. 超声波辅助食盐腌制对不同部位秦川牛肉脂肪酸组成的影响[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(10): 1992-2001
- [19] 崔龄文, 王梅, 汪学荣. 超声波处理对湿腌猪肉腌制速度及肉质的影响[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(9): 149-152
- [20] 辛颖. 低频超声波辅助提高西兰花冻结与冻藏品质及效率的研究[D]. 江苏: 江南大学, 2014
- [21] XU B, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Influence of Power Ultrasound on Ice Nucleation of Radish Cylinders during Ultrasound-assisted Immersion Freezing [J]. *International Journal of Refrigeration*, 2014, 46: 1-8
- [22] DELGADO A E, ZHENG L, SUN D. Influence of Ultrasound on Freezing Rate of Immersion-frozen Apples [J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2009, 2(3): 263-270
- [23] SUN D W, LI B. Microstructural Change of Potato Tissues Frozen by Ultrasound-assisted Immersion Freezing [J]. *Journal of food engineering*, 2003, 57(4): 337-345
- [24] HOZUMI T, SAITO A, OKAWA S, et al. Freezing Phenomena of Supercooled Water Under Impacts of Ultrasonic Waves [J]. *International Journal of Refrigeration*, 2002, 25(7): 948-953
- [25] INADA T, ZHANG X, YABE A, et al. Active Control of Phase Change from Supercooled Water to Ice by Ultrasonic Vibration Control of Freezing Temperature [J]. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2001, 44(12): 4523-4531
- [26] ORTEGA-Rivas E. Ultrasound in Food Preservation [J]. *Food Engineering*, 2012, 89: 251-262
- [27] 陈丽清, 陈清, 韩佳冬, 等. 猪皮超声波乳化脱脂工艺的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(12): 265-267
- [28] 杭瑜瑜, 齐丹, 刘志燕, 等. 超声波辅助提取菠萝皮中黄酮及其抗氧化性研究[J]. *琼州学院学报*, 2015, 22(2): 71-75
- [29] 唐春红, 陈敏新, 周意文, 等. 一种泡凤爪的快速生产方法[P]. 发明专利, CN201410151658.2, 2014-04-16
- [30] 唐春红, 陈敏新 编著. 面向未来的食品加工新技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2014
- [31] 付翠霞, 朱宏, 宋敏, 等. 液体塑料软包膜对低温酸奶风味的影响[J]. *包装工程* 工程版, 2015, 17: 25-29

Application of Ultrasound in Food Processing in the Future

JU Yun¹, TANG Chun-hong^{1,2**}, ZHAO Nan¹, ZHOU Yi-wen¹,
ZHANG Yi¹, MA Long¹, CHEN Lin-li¹

(1.School of Environmental and Biological Engineering; 2.Natural and Health Food Research Institute,
Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: This paper discusses the mechanism of ultrasonic waves, summarizes the application of ultrasonic technology in the protein extraction, sterilization, thawing, tasty and frozen food processing in a single process, and compares it with the corresponding conventional techniques to analyze the advantages of ultrasound technology. Focusing on the ultrasound technology in the whole process of food processing, the application of ultrasonic technology is proposed in the future prospects and outlook of new technologies in food processing.

Keywords: ultrasound; protein; sterilization; thaw; the whole process