

超声技术在食品工业中的应用

胡爱军, 丘泰球

(华南理工大学食品与生物工程学院, 广州 510640)

摘要: 超声作用的物理机制有热机制、机械机制和空化机制。它能加速质量、热量传递, 缩短单元操作时间, 提高操作效率; 还能促进结晶成核、控制晶体粒径分布, 改善食品的品质等。超声技术不仅可应用于食品的加工过程, 如食品的提取、干燥、过滤、结晶、乳化、灭菌, 还可应用于食品体系的检测、分析。文章简要介绍了超声作用的物理机制, 重点论述了超声技术在食品加工及食品检测分析中的应用。

关键词: 超声; 食品加工; 食品检测

中图分类号: TB559

文献标识码: A

Application of ultrasonic technique in food industry

HU Ai-jun, QIU Tai-qiu

(College of Food and Biological Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The physical mechanisms of ultrasound are thermal mechanism, mechanical mechanism and cavitation mechanism. It can enhance the transferring speed of mass and heat so that unit operation time is reduced and operation efficiency is raised; it can also promote nucleation of seeding and control the distribution of crystal size, and improve the food quality, etc. Ultrasonic technique can be applied to food processing, for example, ultrasonically assisted extraction, drying, filtration, crystallization, emulsification, sterilization and so on, as well as food determination and analysis. This article presents briefly the physical mechanism of ultrasound, concentrating on the presentation of the application of ultrasonic technique in food processing, food determination and analysis.

Key words: ultrasound; food processing; food determination.

1 前言

超声技术是本世纪发展起来的高新技术, 已引起前苏联、美国、德国、加拿大、日本、瑞士和中国等很多国家科技工作者的广泛关注。超声技术的发展正从学术上给化学、化工、食品、生物、制糖、医药等学科的研究开拓了新的领域, 并从应用上对上述工业产生重大影响。本文主要介绍超声技术在食品工业中的应用, 并对超声波作用的物理机制作了简要阐述, 以推动超声技术和食品工业的进一步发展。

2 超声作用的物理机制^[1~4]

超声波与声波一样, 是物质介质中的一种弹性机械波, 其频率范围为 $2 \times 10^4 \text{ Hz} \sim 2 \times 10^9 \text{ Hz}$, 超声波在物质介质中形成介质粒子的机械振动, 这种含有能量的超声振动引起的与媒质的相互作用, 从物理的角度出发可归结为热机制、机械机制和空化机

制, 其作用的强弱与超声波的频率和强度有关。

热机制: 超声波在媒质内传播的过程中, 其振动能量不断地被媒质吸收转变为热能而使其自身温度升高, 当强度为 I 的平面超声波在声压吸收系数为 a 的媒质中传播时, 单位体积 Q 媒质中超声波作用 t 秒产生的热量为 $Q = 2aIt$, 即与媒质的吸收系数、超声波强度及辐照时间成比例。

机械机制: 超声波甚至是低强度的超声波作用都可使介质质点进入振动状态, 从而增强液态介质的质点运动, 加速质量传递作用, 超声波既然是机械能量的传播形式, 那么与波动过程有关的力学量, 如质点位移、振动速度、加速度及声压等都可能与超声效应有关。

空化机制: 空化机制是液体中气泡在声强作用下发生的一系列动力学过程, 在压力波的作用下, 液体中分子的平均距离随着分子的振动而变化, 当对液体施加足够的负压时, 分子间距离超过保持液体作用的临界分子间距, 就会形成空穴, 一旦空穴形成, 它将一直增长至负声压达到极大值, 但是在相继而来的声波正压相内这些空穴又将被压缩, 其结果

收稿日期: 2001-04-12; 修回日期: 2001-09-12

作者简介: 胡爱军(1968-), 男, 安徽人, 博士研究生, 主要从事声化学及其应用方面的研究。

是一些空化泡将进入持续振荡,而另外一些将完全崩溃,Flynn 把空化分为瞬态空化(指声强度大于 $10\text{W}/\text{cm}^2$ 时产生的生存周期较短的空化泡)和稳态空化(指在声强度较低时产生的空化泡,其大小在其平衡尺寸附近振荡,生成周期达数个循环),液体内可同时产生上述两种空化作用,且在一定条件下,稳态空化可转化成瞬态空化,瞬态空化绝热收缩至崩溃时的极短时间,在空化泡周围的极小空间内可产生 5000K 以上的高温和大约 $5 \times 10^7\text{Pa}$ 的高压,温度变化率高达 $10^9\text{K}/\text{s}$,并伴生强烈的冲击波和(或)时速达 400km 的射流,从而提供了一种新的非常特殊的物理环境。

超声作用的物理机制对超声波在食品工业中的应用具有重要的意义。如利用超声强化传热、传质过程,缩短单元操作时间,提高生产效率;利用超声的空化机制、机械波动促进结晶成核,控制晶体粒度的分布,修饰食品的质构,提高食品的品质等;另外,超声波通过其传播参数变化,还可用于食品体系的检测、分析。因而,超声技术在食品工业中具有广阔的应用潜力。

3 超声在食品加工中的应用

3.1 食品的超声提取

超声提取也叫超声萃取,是从植物的果子或其根、茎、叶中提取食用性有用物质,诸如从苹果、梨、樱、桔、葡萄、草莓、甘蔗、甜菜和胡萝卜、菠菜等中提取汁液。先将它们粉碎打浆,然后用超声处理、过滤,超声处理有利于浆的进一步细化,使汁液中的果胶降解,果汁粘性降低,因而可提高汁液产量(因易于过滤)、质量(汁液澄清)和过滤速度,并可减轻机械负荷。有报道,在提取工艺中若使用 26kHz 、 $20\text{W}/\text{cm}^2$ 的超声波从油料种子提取油,可使油的提取率增加 8.3 倍^[5],收到了显著效果。又有人报道,从花生中提取花生油,若用频率为 400kHz 、强度为 $6.5\text{W}/\text{cm}^2 \sim 62\text{W}/\text{cm}^2$ 的超声波,可使花生油的产量增加 2.76 倍。Gorodenrd, P. G 等人用超声技术提取葵花籽中油脂使产量提高 $27\% \sim 28\%$ 。Fred Scharng 等人用乙醇提取棉籽油,若使用强度为 $1.39\text{W}/\text{cm}^2$ 的超声波处理,在 1 小时内提取的油量,在种子相同时,比不用超声时提高了 8.3 倍^[6]。超声提取蛋白质方面也有显著效果,如用常规搅拌法从经过变压或热处理过的脱脂大豆料胚中提取大豆蛋白质,很少能达到蛋白质总含量 30% ,又难提出热不稳定的 7S 蛋白成分,但用超声波既能将上述料

胚在水中将其蛋白质粉碎,也可将 80% 的蛋白质液化,且又可提取热不稳定的 7S 蛋白成分^[7]。

3.2 用于食品干燥

超声干燥对热敏性食品应用有很大潜力,这种干燥方法可以提高湿气的去除率,降低最终湿气的含量,它与加热和气流干燥相比,其特点是:干燥速度快,最终湿气的含量低且被干燥的材料不会被损坏,也不会被吹走,虽然其他干燥有它的一些优越性,但一般成本较高,和传统的喷雾干燥方法相比,超声喷雾干燥不存在喷口阻塞问题,还有一种超声喷雾器可适用于较为粘稠的液体,因而它的应用十分广泛^[1]。

在超声干燥研究中,所试用过的频率范围很宽,从 $50\text{Hz} \sim 500\text{kHz}$ 都有人试过,然而较多的是在 50kHz 以下的频率进行的,其声压一般在 $1265\text{Pa} \sim 126480\text{Pa}$ ^[1,8]。Soloff 等用 112720Pa 、 10.9kHz 的超声处理了大量的物料,效果很好,其结果见表 1^[9]。

表 1 超声提高旋转干燥单元产量的结果

被干燥物料	起始水分 (%)	最终目标 (%)	超声波提高的产量 (%)
桔精	3.5	1.8	37.5
筛状奶酪	16.8	5.9	40
明胶颗粒	12.9	3.7	83.3
大米	27.6	14.5	122.2

3.3 超声过滤

超声辐照用于改善过程主要表现在两个方面。其一是:超声辐照会使过细的颗粒发生凝聚现象,从而使过滤加快,其次是向系统提供足够的振动能量使部分粒子保持悬浮,为溶剂的分离提供了较多的自由通道^[9,10]。

超声过滤的优点已成功地用于一些工业的真空过滤中(见表 2)。过滤技术用于水果提取物和饮料时,可提高苹果过滤制取苹果汁的效率,普通的真空过滤可将水分从开始的 85% 降到 50% ,声电过滤技术可降到 38% ,这一结果有明显的商业价值。1973 年, A. Semmelink 就报道过在液体或水的过滤过程中加入超声振动,会大大加快过滤速度,将超声直接加在过滤膜口,则过滤速度可提高 5 倍,如将超声加在过滤膜附近液体中,过滤速度可提高 300 倍,南非学者在过滤过程中加以 20kHz 、 500W 的超声振动,可使过滤速度提高 90 倍至 375 倍,前苏联 Khavsk, N. N 等人将水和有机混合物用频率为 1MHz ,声强为 $0.2\text{W}/\text{cm}^2$ 的声波辐射 15min ,分离速度加快了 $4 \sim 5$ 倍^[11,12]。

表 2 超声过滤与常规过滤比较^[12]

材 料	起始水分含量(%)	常规过滤后水分含量(%)	超声过滤后水分含量(%)
煤 浆	50	40	25
纸 浆	>80	70	60
泥 浆	>90	80	48
淀粉浆	85	55	44

3.4 超声波结晶

由于溶液中溶剂与溶质分子的压缩系数与振荡速率不同,超声作用使得溶剂分子热速均匀地渗透到高粘度溶质-水缔合网络中,加速夺水成核作用,成核后超声波作用使微晶粒产生局部颤动,控制并稳定住晶粒的均衡发展。超声起晶成核已应用到蔗糖、味精、谷氨酸、木糖醇等食品的生产中^[13]。通过超声影响结晶过程,还可以修饰食品的质构,提高食品的品质。食品工业中与结晶相关的一个重要领域是水冷冻过程中冰晶的形成。一些食品在冷冻保藏过程中因冰晶的形成并长大,导致细胞壁破裂内容物外出,物质结构部分或全部破坏,从而失去质构上原有“新鲜”的品质。超声处理可使形成的冰晶小而均匀,减少或防止食品的质构被破坏,从而可使食品的品质得到保护和改善^[14]。超声影响结晶过程已被证明是改变许多食品特性的非常有用的工具,如膳食脂肪、巧克力、冰淇淋的特性修饰等^[15]。

3.5 超声乳化

超声乳化与一般乳化工艺设备(螺旋浆,胶体磨和均化器)相比具有形成乳液汇滴小,粒径均匀,乳液稳定,乳化质量好,生产效率高,能耗少及成本低,所需表面活性剂少,甚至不用表面活性剂等优点,在食品加工中,果汁、果浆、蛋黄酱、番茄浆,人造奶油、巧克力及色拉油等的制取,采用超声乳化技术可提高产品质量、等级和生产效率^[9,10]。

3.6 超声清洗灭菌^[1,16]

超声清洗的特点是速度快、质量高及易于实现自动化,已在工业上获得很好的应用。如在农产品加工中用于一些果蔬及粮食加工中的清洗作业,超声的空化作用能在细胞壁与细胞液等非均相间界面含因超声波振动的切向力和微射流等作用而使固相颗粒或板块破碎变细,能提高细菌的凝聚作用,使细菌毒力丧失或完全死亡,从而可以很方便地起到杀菌和清除食品包装及加工设备污垢的作用。

3.7 超声在食品加工业中的其它应用

除上述应用外,超声技术还应用于肉的嫩化、提高或抑制酶的活力;用于食品的超微细粉碎,如超声

粉碎可可粉、咖啡粉和巧克力粉等;应用于食品添加剂的合成,如用超声辐照法将马来酸二乙酯合成了具有高效杀菌防腐保鲜作用的食物添加剂富马酸二乙酯;用于酒类的催熟陈化,超声技术不仅能使酒的催熟陈化时间缩短而且能减少酒中邪杂味,使酒变得醇和;超声技术还可以用于食品的澄清,缩短澄清时间,澄清效果好,比如葡萄酒用常规方法澄清需4~10天,用超声处理只需1~2小时,而且品质稳定,用400kHz的超声波处理酱油,可使酱油在1~2小时内完全澄清,比传统方法快数千倍^[1,16,17]。

4 超声在食品检测中的应用^[1,18,19]

超声波检测技术分为连续式和脉冲式。前者操作复杂,仪器和技术要求较高,测量精度也相应高,主要使用在一些专门的研究场所,工业上较实用的是脉冲式技术。其优点是操作简单、快速,易于自动化,对被测对象不产生破坏,测量精度可满足工业过程食品体系的要求。从原理上,超声波技术在食品工业中主要能用于检测:物质的体相模量和刚性模量、物质的复合剪切粘度(尤其适于粘性介质);由散射性可检测体系的热扩散性,分散体系和分散相粒度大小及其它性质;不同超声波性质的混合物体系的组分含量、介质层的厚度和深度、体系的温度;物质在管道中的流动速度;多相体系中的相体积比率及分散相的压缩率;物质的相转变。具体地说,该技术可以应用于生物大分子溶液和凝胶体系的大分子(蛋白质或多糖)浓度、剪切粘度等的测定;测定蛋清厚度或利用蛋清和蛋黄不同的组织结构定量其组成,甚至在实际操作中还能确定蛋壳的厚度和破裂度;测定液态和固态巧克力体系中蔗糖或其它晶体的含量,油脂中固态组分含量,另外油脂、脂肪、巧克力体系的物化性质也可以用超声技术检测;用于充气类食品体系中体积分数和气泡大小的测定;对饲养中的禽畜进行脂肪含量测定和品质鉴定,除此之外还可用于测肉糜产品中脂肪的固化和融化;应用超声技术可以有效地检测乳制品脂肪含量、贮藏稳定性、产品质构、蛋白质分子行为和变化对物化体系的影响等;可用于果蔬类的保鲜或成熟度的检测;料酒类组成和组分含量以及分散粒子物理性质的快速测定,还可以测定封装体系的物料高度(通过测液面位置或顶部空间)。另外溶质的溶解性、淀粉的水解以及油脂的变质等现象,也已在实验室用超声波技术进行过成功的研究。加工过程中的温度测定和物

(下转第 199 页)

洗中清洗对象的几何尺寸都比较大,受清洗对象和清洗槽相对尺寸的限制,无论清洗槽的几何形状如何,基本上无法建立起混响声场。复频清洗虽然在一定程度上能够改善声场分布,但效果有限。作者认为,比较理想的清洗方式应该是在复频清洗的基础上,使被清洗件在清洗过程中适当转位,也就是说,使清洗面的不同部位轮换着直对超声换能器的声辐射面,效果最为理想。当然,具体的实施方案应结合具体清洗对象而定。

参考文献

- [1] 沈金宝等. 淘汰氟氯烃清洗技术[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999. 9-43, 72-76.
 [2] 冯若主编. 超声手册[M]. 南京: 南京大学出版社, 1999. 658-663.
 [3] 应崇福主编. 超声学[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 507-515.

(上接第 194 页)

料流速测定均可由超声技术进行,辅以适当的自动化操作,应该能广泛用于食品工厂的“在线”检测和控制。

5 结束语

综上所述,超声技术在食品工业中的许多领域中有着广阔的应用前景,不仅可用于食品的加工如食品的提取、干燥、过滤、结晶、乳化、清洗、灭菌等,还可用于食品体系的检测、分析,具有很多现存技术无法比拟的潜在优势。但是至今为止,超声技术尚未在食品工业中获得非常广泛的应用,有关的研究还比较缺乏。因此应该进一步开展超声在食品加工和食品检测技术中的应用研究,促进我国食品工业的快速发展。

参考文献:

- [1] Timothy, J. Mason. Practical Sonochemistry [M]. England: Ellis Horwood Limited, 1991. 16-22.
 [2] 邝生鲁, 贡长生. 声化学及其应用[J]. 化学通报, 1990, 53(6): 23-27.
 [3] 丁东. 声化学——新的学科领域[J]. 声学技术, 1993, 11(2): 41-45.
 [4] J. V. Sinisterra. Physical effects of ultrasound and their applications [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 1992, 30(5): 180-185.
 [5] 白天珠等. 功率超声对食品医药等领域中的应用[J]. 声学与电子工程, 1992, 2: 37-39.

- [4] 赵国玺. 表面活性剂物理化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1984. 433-454.
 [5] 马承银. 替代氟里昂清洗剂的开发动向[J]. 环境科学与技术, 1996, (2): 15-17.
 [6] 程存弟主编. 超声技术[M]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1993. 163-176.
 [7] 辛乐. 超声波清洗设备的目前发展方向[J]. 应用声学, 2000, 19(2): 44-47.
 [8] 林仲茂. 20世纪功率超声在国内外的发展[J]. 声学技术, 2000, 19(2): 101-104.
 [9] 张镜澄. 调频超声技术的研究[J]. 声学技术, 1993, 12(2): 28-30.
 [10] 任仁. 受控的消耗臭氧层物质的种类及其消耗臭氧层潜能值[J]. 大学化学, 1996, 11(1): 31-35.
 [11] 龚俊杰. 加快替代 CFC 步伐促进清洗工艺的发展[J]. 电子工艺简讯, 1993, (11): 19-20.
 [12] 任建新主编. 物理清洗[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 326-327.

- [6] W. Fred. Schuring et al. Applications of ultrasound in oil industry [J]. Journal of American Oil Chemists Society, 1978, 44 (10): 585-589.
 [7] Purdy K. R. et al. Sonochem. Eng. [J]. Chem. Eng. Prog. Sympser., 1971, 67(109): 68-73.
 [8] 应崇福. 超声学[M]. 北京: 科学技术出版社, 1993. 50-51.
 [9] R. S. Soloff. Ultrasonic aided drying technique[J]. J. Acoust. SOC. Am., 1964, 36(5): 961-966.
 [10] 冯若等. 声化学及其应用[M]. 合肥: 安徽科技出版社, 1992. 44-64.
 [11] 李保国等. 超声技术在农产品加工中的应用[J]. 农机与食品机械, 1998, 2: 37-39.
 [12] N. Senapati. Ultrasound in Chemical Processing [M]. London: JAI Press, 1991. 20-26.
 [13] 赵茜等. 在食品结晶成核中应用超声探讨[J]. 食品工业科技, 1997, 18(5): 71-72.
 [14] Action E., Morris G J. A new technique of keeping fruits to have fresh texture[P]. World Patent WO92/20420, 1992.
 [15] D. Jullan McClements. A. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing[J]. Trends in food & Technology, 1995, 22(6): 293-299.
 [16] 程存弟. 超声技术—功率超声及其应用[M]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1993. 163, 298-301.
 [17] 松浦一雄. 超音波の酒类酿造への利用[J]. 日本酿造协会志, 1994, 89(1): 13-17.
 [18] Lynworth L C. Ultrasonic Measurement for Process Control: Theory, Techniques and Applications [M]. New York: Academic Press, 1989. 160-166.
 [19] Gaonkar A. Characterization of Foods: Emerging Methods [M]. London: Elsevier Publisher, 1995. 100-108.