

# 超声波技术在食品科学中的应用与研究

宋国胜<sup>1,2</sup>, 胡松青<sup>1</sup>, 李琳<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学轻化工研究所, 广东 广州 510640) (2. 华南理工大学分析测试中心, 广东 广州 510640)

**摘要:** 超声波为频率高于 20 kHz 以上的声波, 是一种机械振动在媒质中的传播过程, 其传播过程中, 超声波与媒质的相互作用, 可以使超声波的相位和幅度等发生变化; 功率超声波则会使媒质的状态、组成、结构和功能等发生变化。本文综述了食品工业中的超声提取、超声灭菌、超声干燥、超声过滤、超声清洗等方面的进展, 介绍了近年超声波技术在食品添加剂的合成、微生物代谢、酒类发酵、食品检测、控制结晶等方面的最新应用, 并简要分析了超声波的作用机理, 旨在食品工业中使超声波技术得到更好的利用。

**关键词:** 超声技术; 食品行业; 超声波应用

中图分类号: TS201.2; 文献标识码: A; 文章编号: 1673-9078(2008)06-0609-04

## Researches and Applications of Ultrasonic Technology in Food Industry

SONG Guo-sheng<sup>1,2</sup>, HU Song-qing<sup>1</sup>, LI Lin<sup>1</sup>

(1. Institute of Light Chemical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China) (2. Analytical and Testing Center, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Ultrasound is sound energy in the form of waves having a frequency above > 20 kHz. It is widely used in food industries for its capabilities of changing the composition, formation and function of food materials. To make good use of this technology, the mechanism of ultrasound treatment was briefly discussed and the recent researches of ultrasonic extraction, sterilization, drying, filtration, cleaning, etc., were reviewed. Besides, the application of ultrasonic technology in synthesis of food additives, microbial metabolites, fermentation, food analysis, and control of crystallization were introduced.

**Key words:** ultrasonic technology; food processing; ultrasound application

自从1928年美国普林斯顿大学化学实验室的科技人员首次发现超声波有加速二甲基硫酸水解和亚硫酸还原硫酸钾反应作用以来, 声学与化学相互交叉渗透的超声化学作为一门新兴的边缘学科发展十分迅速, 特别是在20世纪80年代发展更为迅速, 并且随着功率超声波仪器设备的发明与制造技术的日趋完善等, 使超声化学技术广泛应用于食品加工、化学、化工、医疗、医药和农药等许多领域。

### 1 超声波概述

超声波为频率高于 2 万赫兹以上的有弹性的机械振荡, 由于其超出人的听觉上限, 故称之为超声波。超声波只有多种物理和化学效应, 超声波发生主要通过 3 种方法: 通过机械装置产生谐振方法, 一般频率较低, 利用刚磁性材料的磁致伸缩现象的电一声转换器发出超声波的方法, 频率在几千赫兹到一百千赫兹;

收稿日期: 2008-01-20

基金项目: 国家自然科学基金 (20436020, 20506006)

作者简介: 宋国胜 (1966-), 男, 工程师, 博士研究生, 研究方向: 分离原理与技术

最后一种方法为利用压电或电致伸缩效应的材料, 加上高频电压, 使其按电压的正负和大小产生高频伸缩, 产生频率 100 MHz 到 GHz 量级<sup>[1]</sup>。超声波与媒质的相互作用可分为热机制、机械 (力学) 机制和空化机制 3 种。

#### 1.1 热机制

超声波在媒质中传播时, 其振动能量不断被媒吸收转变为热量而使媒质温度升高, 此种升温方式与其它加热方法相比达到同样的效果, 从而这种使媒质温度升高的效应称之为超声的热机制。

#### 1.2 机械机制

超声波的机械机制主要是辐射压强和强声压强引起的。在力学效应中主要有搅拌、分散、成雾、凝聚、冲击破碎和疲劳损坏等作用。超声波也是一种机械能量的传播形式, 波动过程中的力学量, 如原点位移、振动速度、加速度及声压等参数可以表述超声效应。

#### 1.3 空化机制

在液体中, 当声波的功率相当大, 液体受到的负压力量足够强时, 媒质分子间的平均距离就会增大并超过极限距离, 从而将液体拉断形成空穴, 在空化泡或

空化的空腔激烈收缩与崩溃的瞬间,泡内可以产生局部的高压,以及数千度的高温,从而形成超声空化现象,空化现象包括气泡的形成、成长和崩溃过程。可见,空化机制是超声化学的主动动力,使粒子运动速度大大加快,破坏粒子的力的形成,从而使许多物理化学和化学过程急剧加速,对乳化、分散、萃取以及其它各种工艺过程有很大作用。

目前人们常用的超声波基本上分为两类:一类是频率高,能量低的诊断超声波,其频率多以MHz为单位;另一类是频率低,能量高的功率超声波,其频率则以kHz单位<sup>[2]</sup>。我国的超声化学技术虽然起步较晚,但起点高、发展迅猛,在设备设计制造和应用方面取得了丰硕的成果。使用超声波的可能性是非常广泛的,但是实际应用方面还是不够广,大多数只停留在实验室阶段,主要原因之一就是因为它比电能要贵2~3倍,其次是有效的声波发生器设计做得不够,没有工业规模的生产也是超声波在工业上不能推广的严重障碍<sup>[3]</sup>。本文就超声化学的原理和其在食品行业中应用加以综述。

## 2 超声对食品中大分子的作用机理

对食品进行超声波处理将引起食品成分的物理和化学变化,因而了解超声对食品中大分子的作用机理对超声在食品工业领域的应用有较高的指导意义。据超声波的物理作用机理,结合大分子的结构特点,研究证实,超声降解大分子物质的主要机理是机械性断键作用和自由基的氧化还原反应。

### 2.1 机械性断键作用

物质的质点在超声波中具有极高运动加速度,产生激烈而快速的变化的机械运动,这种快速变化的机械运动(剪切力)足以引起大分子物质中共价键的断裂,从而导致高分子物质的降解。

### 2.2 自由基氧化还原反应

自由基的氧化还原反应主要是由于液体在超声波作用下产生空化效应而导致的。在空穴破碎时会产生局部高压和高温,而水分子或反应分子利用这一能量在进入空穴后(或空穴周围)进行热裂解反应,生成氢氧自由基或其它活性自由基,并由此引起自由基的增殖,从而促进氧化还原反应的进行<sup>[4]</sup>。

## 3 超声波在食品行业中应用

### 3.1 超声波提取

超声提取即超声萃取,是从固体物料中提取有用成分。利用超声波可以从植物的花、果、籽中提取香

料与油;也可从动物组织中提取有用(或有害)物质,如超声提取鱼肝油,超声从猪肉中提取残留农药等;用超声处理经粉碎过的苹果、梨、草莓、菠菜等果蔬的浆体,有利于进一步细化,使汁液中的果胶降解,粘度降低,提高出汁率和汁液质量。Fred等人用超声技术提取棉籽中的油脂使产量大幅提高。

### 3.2 杀菌

杀菌是保证食品安全保藏的必要条件,超声波的杀菌作用主要是由于其所形成的空化作用。其机理可能是由于在超声过程中产生及打破波动压力所生成的微小气泡而产生的机械振动机制,这种振动具有破坏细胞结构及组成作用。对非均相界面会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,从而可起到杀菌和清除食品包装和加工设备的污垢的作用。杀菌所用超声波频率一般为20~100 kHz,能量为104 kW/m<sup>2</sup>,波长为3.0~7.5 cm。周永昌等用超声进行板鸭的杀菌保鲜获得了较好的效果;黄嘉顺报道的超声清洗试验也取得了较好效果。超声灭菌技术已在美、日、欧洲等发达国家获得了广泛使用,主要适合于果蔬汁饮料、酒类、牛奶、矿泉水、酱油等液体食品,这对延长食品保质期、保持食品安全性有重要的意义。此技术较传统高温和热灭菌工艺不需要加热,所以不仅可以保持食品原来的风味和维生素,而且耗时非常短。若采用超声、激光或超声、磁化联合杀菌,则效果更佳,这种基于光、电、声、磁综合应用的“冷杀菌工艺”受到国内外食品行业极大的关注,必将成为21世纪食品工业研究和推广的重要高新技术之一<sup>[9]</sup>。柠檬汁采用巴斯德杀菌法由于其高温将导致口味、香味变化,同时还会使得维生素及挥发性组分的损失,此外,加热还能加剧褐变反应的进行。上述反应随时间及温度的增加而加大,因此一种新杀菌技术的产生将使柠檬汁工厂受益。Jarupan Kuldiloke<sup>[10]</sup>对超声波在柠檬汁工厂的应用做了深入研究,取得了很好的效果。

### 3.3 食品添加剂的合成

食品添加剂是为改善食品品质和色、香、味、形、营养、保存及加工工艺的需要而加入食品中的化学合成或者天然物质。超声波技术应用于食品添加剂方面的研究较多,并且取得良好效果。Reiss等用超声辐射法由马来酸与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;美国的Moulton等利用超声使大豆油催化和加氢生成氢化大豆油的反应速率增加了100倍;近年来,在食品添加剂不饱和脂肪酸及甘油三酸酯与环丙烷化反应均取得了可喜的成果<sup>[11]</sup>。

### 3.4 超声干燥与除气

在食品加工中可借助超声雾化进行液体食品干燥,即利用超声波对许多热敏性物料可在其表面形成超声喷雾,使液体蒸发表面积增加;在物料内部,尤其在组织分界面上,超声能量大量地转换为热能,造成局部高温,促进水分逸出。从而提高了蒸发强度、效率及降低蒸发温度,具有优于传统喷雾方法的良好效果,如干燥速度快、温度低、最终含水率低且物料不会被损坏或吹走等优点,它适合于药品、食品、种子及热敏性生化制品等的干燥<sup>[12-13]</sup>。Reza Ghaedian等对比研究了超声波与常规热气流对食品干燥的效果,发现在短时间内采用高频超声波可以使样品含水量达到1%以下,耗能少,产品质量高并且稳定<sup>[14]</sup>;Boucher采用超声波干燥蔗糖,可很快使含水率达到1.2%,当将蔗糖在超声下继续处理16 min,将去除所有水分。石秀东还定量分析了液体超声蒸发的声强与频率问题。

空化作用是超声化学的核心机制,同时也是超声波能对液体进行除气的关键所在。基质中的任何溶气或气泡都充当形成空化气泡的核子,由于其含有气体并且将随着进一步循环而继续膨大,冲入更多的气体最终漂浮在液面,所以在波的压缩过程中这些气泡并不容易被打破,由于空化过程非常迅速除气也在瞬间发生。

### 3.5 结晶和冷冻

饱和溶液在超声作用下会形成大量的结晶中心,且通过控制超声可获得不同粒度的晶体沉淀物。目前超声起晶成核已应用到蔗糖、味精、谷氨酸等食品的生产中。另外,超声辅助结晶也使固体沉淀物不会沉积在冷却管上,从而保证了系统冷却速率的均匀。研究发现,超声的大部分能量将食品中处于解冻临界区域的组织吸收;利用这一特性,用超声波加热食品,可以有效地缩短解冻时间,另外,超声波辐照下的冷冻牛、猪肉的完全解冻比传统的解冻方法要快得多。

### 3.6 乳化和均质作用

超声乳化与一般乳化工艺相比具有乳液粒径小且均匀、乳液类型可控、乳液稳定、乳化质量好、生产效率高等优点,在食品加工中采用超声乳化技术可提高产品质量、等级和生产效率。对果汁、果酱、蛋黄酱、番茄酱、及色拉油等被加工物料施以适当强度的超声波,可使液体中的分散相均质,达到乳化的效果。

### 3.7 过滤

许多工厂(食品、化工等)均需要分离出液体中的固体悬浮物,这种分离既可用于固液分离也可用于

分离母液中的固体。超声辐射的两个特殊效应可促进过滤过程:(1)声波可促使微小粒子的凝聚从而加速过滤速度;(2)可为系统提供足够的振动能量以保持粒子部分处于悬浮状态从而为溶解洗脱留出更多自由通道。两者的结合已成功用于加强工业混合物的真空过滤过程。其基本原理是:处理装置由两个在同一水平上相相对置的超声换能器组成,两个换能器的工作频率略有差别,这时会形成移动的驻波,驻波能引起溶液中粒子的聚焦,移动着的驻波又会把滞留在相距半波长各处的粒子带到某一超声换能器的一侧:然后经分流,从而将固液得以分离。将这一技术用于水果提取物和饮料时,可提高苹果浆过滤取苹果汁的效率。普通的真空过滤可将水分从原先的85%降至50%,声电过滤技术可降至38%,具有明显的商业价值<sup>[15]</sup>。

### 3.8 提高肉制品品质

在肉制食品加工中,超声波可以用于破坏肉的肌原纤维,而这种肌原纤维将会分泌一种粘稠的物质,将肉粘在一起,从而增大肉食品的粘度。另外,研究还发现超声波有助于肉食品的嫩化加工。室温下对牛肉进行超声辐照还可明显地减少肉串的结缔组织。超声波对卷状熏火腿的作用,也得到了类似的结果。

### 3.9 酒类酿造中的应用

超声波的照射能促进酵母繁殖,缩短发酵时间,增加酒香。日本人松浦一雄在葡萄酒、啤酒和清酒的超声发酵试验中,确认了超声照射对酿造的效果,而且认为多位置、多角度输入较弱的超声时效果最佳。另外,超声波还被用在加速酒的老熟,酒体经过超声波的振动,加速了酯类物质与乙醇、水的结合,经短时间存放,则可令酒味醇厚,甘润柔和。日本中岛等人对配制葡萄酒、威士忌等用超声波进行了老熟试验,效果十分明显<sup>[16-17]</sup>。

### 3.10 清洗和除沫

利用超声波在洗涤液中传播时边产生气泡边消失的现象以及超声波对洗涤剂产生的乳化作用,可应用于果蔬及粮食加工中的清洗作业,其特点是系统可省去机械运动部件、洗涤效果好、速度快、质量高、操作简单、易于实现自动化;清洗效果的好坏要选择一个适当的功率、频率及清洗温度,并且与清洗物品的安放及清洗溶液的选择都有一定关系。众多食品加工中产生少量的泡沫是正常的,但是大量的泡沫将会导致投料低,浪费空间、被动操作及染菌等问题,因此有效地除沫可大大降低生产成本,提高产品质量。尽管化学消泡剂通常较机械物理方法有效、经济,但机械物理方法作为一种无污染的消泡手段依然受到人

们的青睐。非化学方法主要包括加热、离心、喷射或超声振动。可选择安装机械物理消沫设备从而避免化学消沫剂所造成的食品污染问题<sup>[18-20]</sup>。

### 3.11 加工大米和加速烹饪

超声波辐射会对悬浮于液体中的物料颗粒产生空化效应并引起颗粒间的碰撞,从而侵蚀颗粒表面或减少颗粒尺寸。如果接受超声波辐射的悬浮在水中的大米,那么一定有部分米粒被粉碎或表壳受损。在煮饭时,这两种破坏都将加速米粒中淀粉的释放,从而缩短胶体形成的时间。

### 3.12 其他方面

超声波还可据其在流体中传播速度的不同确定流体流速,从而测定流体流量;也可用于食品原料的改质及加工工艺的改善;有报道指出可用超声波对食品进行快速解冻,张绍志等以牛肉为样品对超声波的作用机制进行了研究,证实了超声波用于食品解冻的可行性;超声波能从空气中沉降悬浮物的性质对实际应用也具有很大意义。

## 4 结束语

总之,随着食品工业的发展,随着超声波换能器设计技术的进步,超声波技术的应用前景必将更为广阔,必将在我国国民经济建设中发挥越来越大的作用,这同时也意味着会有大量的科学工作者从事此项技术的新应用研发,探索并应用超声波技术必将成为本世纪的一个热门话题。

## 参考文献

- [1] 张永林,等.超声波及其在粮食食品工业中的应用[J].西部粮食科技,1999,24(2):14-16
- [2] E. Haeggstrom, M. Luukkala. Ultrasound detection and identification of foreign bodies in food products [J]. Food Control. 1997(1):1-6
- [3] Mason, T. J., Paniwnyk, L., Lorimer, J.P., The uses of ultrasound in food technology[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 1996,(3):253
- [4] 刘青,等.不同超声频率对芒果苷提取率的影响[J].广西中医药,2001,24(4):58-61
- [5] 李磊,等.丹参抗氧化成分及其分布特性[J].江西农业大学学报,2001,24(4):487-491
- [6] 潘廖明,等.超声辅助提取大豆异黄酮的研究[J].中国油脂,2003,28(11):85-87
- [7] Povey, M.J.W., and Mason, T.J., ultrasound in Food Processing, Blackie Academic & Professional[M], London, 1998
- [8] 李海,等.超声萃取 GFAAS 法测定油脂类食品中铅.中国公共卫生,2001,17(7):598-599
- [9] 李儒荀,等.超声波-激光联合杀菌的研究[J].包装与食品机械,1998,16(3):6-12
- [10] kuldiloke J. Sc. Effect of ultrasound, Temperature and Pressure Treatments on enzyme Activity Y Indicators of Fruit and Vegetable Juices[J]. Dr Dissenation,2002,(36):336-343
- [11] 王君,等.超声技术在化工生产中的应用[J].现代化工,2002,31(4):187-189
- [12] 石秀东.液体的超声蒸发[J].食品与机械,1998(1):18-19
- [13] 朱海清.超声波对牛奶的均质效果研究[J].粮油加工与食品机械,2002,(5):43
- [14] Gallego-juzrez J .A, Roderiguez-Corral G. Galvez Moraleda J C. et al. New high-intensity ultrasonic technology for good dehydration. Drying Technology,1999,17(3):597
- [15] Mason T J, Paniwnyk L., Lorimer J P. The uses of ultrasound in food technology.Ultrasonics Sonochemistry[J], 1996,(3): S253-S260.
- [16] Javanaud, C. Application of ultrasound to food systems, Ultrasonics[J],1998, 26:117-123.
- [17] Reza Ghaedian, Ultrasonic Determination of Fish Composition, Journal of food Engineering 1998(35): 323-337
- [18] 王衍彬,等.超声乳成分分析仪对牛乳掺盐和糖的检测效果[J].浙江大学学报,2003,29(6) 671-674
- [19] 王建明.功率超声技术的现状与展望[J].声学技术,1997,16(1):46-48
- [20] 赵西,等.在食品结晶成核中应用超声探讨[J].食品工业科技,1997,(5):71-72