

超声波在食品技术中的应用

雷德柱 高大维 于淑娟

(华南理工大学食品与生物工程学院 广州 510640)

1999 年 4 月 28 日收到

摘要 强超声在媒质中传播时产生力学效应、空化效应和热效应,并由此增强质量传输和热传递,对介质产生强的切向力。本文对超声波在辅助或强化提取、冷冻、乳化、过滤、结晶和干燥等食品的加工技术中应用加以综述。

关键词 超声波,空化,质量传输,食品加工

Applications of ultrasound in food technology

Lei Dezhu Gao Dawei Yu Shujuan

(Department of Food and Bioengineering, South China University of Technology,
Guangzhou 510640)

Abstract High power ultrasound has mechanical, cavitation and thermal effects on its propagating medium, and therefore mass and heat transportations can be enhanced. Strong tangential force are generated against the viscous medium. Ultrasound aids extraction, freezing, emulsifying, filtering, crystallizing and drying in food processing and these functions will be reviewed presently.

Key words Ultrasound wave, Cavitation, Mass transportation, Food processing

超声波在金属探伤、水下定位、化学与化工、医学诊断与治疗等领域已被广泛应用。在食品技术方面,超声波原主要用于食品分析及品质评价^[1]。近来,人们的兴趣转移到将超声波用于食品加工技术。本文将介绍超声波在食品加工技术中的应用及研究进展。

1 超声波对提取过程的强化作用

经典的提取方法是针对某种目标成分,选取正确的溶剂,同时采用加热或搅拌。如果在

提取过程中引入超声波,可大大促进溶剂提取天然成分的过程。超声波的力学效应赋予溶剂对细胞壁的更大的渗透力,并强化细胞内外的质量传输。超声波的另一个作用在于破坏细胞的细胞壁,使细胞内含物更易释放。超声波形成的微流效应也是其提高提取过程效率的一个重要原因。Wang(1975、1981)等^[2,3]从大豆中提取蛋白质所用的超声波功率为 550W,频率为 20kHz。超声波处理后的提取效率明显提高,并可用于连续加工,这一技术已达到中试规模。从茶叶中提取固形物具有重要的商业

意义,因为这是生产速溶茶的第一步,其常规工艺为用喷雾干燥除去茶浸提液中的水分而得到粉状物。Mason 等 (1994)^[4] 应用超声波在 60°C 下可将提取率提高近 20%,而且大部分有效成分在超声波处理的头 10 分钟内已被提取出来。Zayas(1986)^[5] 等从牛胃中提取凝乳酶时应用超声波也可提高产率。令人吃惊的是超声波提取法与常规方法相比,酶活性略有提高。郭孝武等 (1994)^[6] 用超声提取黄连素时表明,提出率随超声频率的增大而减小,随超声处理时间的增加而提高。丘泰球等 (1991)^[7] 研究了用超声波在花粉细胞破壁技术上的应用,此法与其他现有方法比较,具有时间短,手续简单,破壁率基本可以满足生产工艺上要求的优点。华南理工大学于淑娟等^[8](1995)对真菌多糖的超声波催化酶法提取的机理、优化方案、降解产品的组分和结构进行了系统的研究,其结果表明,与传统工艺相比,超声波催化酶法提取操作简单,提取率高,反应过程无物料损失,无副反应发生。

总的来说,超声提取在食品技术中已得到较为广泛的应用,具体的工艺条件因不同的提取对象而异,有时还需要与其他方法结合使用才能获得较好的效果。

2 超声波在肉类产品加工中的应用

传统的肉类嫩化方法要将肉机械捣碎,这常导致肉质本来就不太好的肉产品更加老化。超声波用于肉类加工时,可通过破坏肉的肌原纤维使其释放出粘稠的渗出液,肉纤维得以相互粘贴,从而改良产品的强度。Vimini 等 (1983)^[9] 用拌盐,超声波处理或二者并用后检查产品的强度、持水力、色泽,结果发现,同时用盐和超声波处理的样品在所有品质方面是最好的。Reynolds^[10] 等超声波处理火腿肠时也得到类似结果。Roberts^[11] 等在室温下用 40kHz, 2W/cm² 的超声波处理肉产品 2 小时,可以清楚地看到结缔组织的减少。

3 超声波对结晶和冷冻的强化作用

超声波在结晶过程中十分有用,它对晶种的形成,晶体的生长,以及防止晶体在冷冻条件下结壳,从而确保连续有效的传热作用,具有明显的效果。

超声波用于酒石酸钾澄清白酒的工艺中^[12],它的处理可将沉降时间从 4-10 天减少到 1.5-2 小时。正常情况下由蔗糖浓缩液结晶蔗糖,会导致晶体大小不一。华南理工大学高大维教授领导的小组成功地研制出了超声波超级起晶设备,该技术已申请专利并在国内外多家工厂应用,同一课题组的赵茜等^[13] 利用溶剂和超声波的协同作用,在较缓和的条件下快速制备 β -D- 葡萄糖,并提出超声波协同溶剂影响成核晶型的作用机理为超声空化泡崩溃时产生的热点效应。美国 (1970)^[14] 的一项专利报道,曾用一个操作单元成功地进行药物结晶生产。在美国的专利设计中,超声波通过一排喇叭从底部传入溶液中。当超声波进入容器底部时随着液体的流动,小的晶核上升并继续生长,最后在重力作用下沉降,大的晶体接近超声波源时被振碎并再次上升,这样就形成大量的结晶碎片。这些碎片可起到晶种的作用。

在食品工业中,与结晶有关的一个重要领域是水在冷冻时形成冰晶,经冷冻保藏的食品解冻后,其质地、质量都不太令人满意,软质水果尤其如此。这一问题主要是由于食品材料中细胞内部的小冰晶继续生长,当这些冰晶长大后,它们会破坏细胞壁从而导致细胞结构破坏。结晶开始(通常在 -3°C 左右)和完全冷冻之间有一段“肿胀时间”。在超声波的作用下,材料温度下降更快,晶种形成更快,导致“肿胀时间”更短。此外,存在大量晶种,冰晶的最终大小和细胞的损害程度都大大下降^[15]。在棒冰生产中,用超声波处理后形成的冰晶明显减小,分布更加均匀,这就使得棒冰较传统的产品质地更硬。消费者会因为更难咬而不适应,但其真正的好处在于它与木棍粘得更牢固。

4 超声乳化

超声乳化是超声波最早用于食品加工的技术之一，如用于番茄酱、蛋黄酱、果酱、人造奶油、婴儿食品、巧克力、色拉油、油糖水及其他类混合食品，国内外都曾经试验和采用过，并取得了提高产品质量和生产效率的效果。近期水剂胡萝卜素乳化已经试验成功并用于生产。Wood 和 Loomis 首次对超声作用下乳液的形成进行了研究，提出乳化是由于容器壁附近破裂的气泡使液体残缺不全地射入另一种液体中进一步分散成细滴而形成。超声波乳化的可能机理有三种：一是超声空化（油水体系），二是表面不稳定性（汞水体系），三是超声波引起的微冲流。

与其他方法（如螺旋桨、胶体磨和均质器）相比，超声乳化具有许多优点：（1）所形成的乳液平均液滴尺寸小（ $0.2\sim2\mu$ ），液滴尺寸分布范围窄（ $0.1\sim10\mu$ ）；（2）浓度高，所形成的乳液更加稳定。纯乳液浓度可超过 30%，外加乳化剂可高达 70%。（3）可以控制乳状液的类型。采用超声乳化法，在某些声场条件下，O/W（水包油）和 W/O（油包水）型乳液都可制备，然而用机械乳化法是不可能实现的。例如：甲苯在水中乳化，在低声强下可以形成一种类型的乳液，而在高声强下则可形成另一类型的乳液。（4）生产乳液所需功率小。如制备 $4.55\text{m}^3/\text{h}$ 液滴尺寸为 1μ 的乳液，采用超声技术只需 5~7 马力的驱动功率，而采用高压均质器则需 40~50 马力。“液哨”是一种主要用于均质和乳化的机械换能器。顾名思义，它是将液体的运动转换为声能的设备。与普通的超声源相比其主要区别在于从介质自身形成能量（机械力使液流穿过金属片）而不是将外部声场能量传递到介质中。M.Wiltshire^[16]（1960）做了一系列试验来比较当时普遍采用的四种矿物油乳化方法，结果表明，采用液哨的均质机比其他三种设备（胶体磨及其它两种超声处理器）效果都好。液哨乳化的一个明显好处在于可用于流体加工并

可在线安装。在果汁番茄酱和蛋黄酱的生产中加工能力达到 12000 l/h 。这一结果已经达到工业化生产水平^[17]。

5 超声过滤和干燥

常规过滤使用的是各种各样的膜，遗憾的是这些膜滤器经常会被堵塞，需要清洗或更换。超声波用于过滤时有两个特殊的效果，一是超声处理会使微细颗粒凝聚（使过滤速度更快），二是产生足够的振动能量，使颗粒部分地悬浮于液体中从而为溶解成分留出了更多的通道（防堵塞）。这些优点已成功地用于一些工业混合物的真空过滤中^[18]（见表 1）。

将这一技术用于水果提取物和饮料时，可提高苹果浆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^[18]。

表 1 超声过滤与常规过滤的比较

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
泥炭	> 90	80	48
淀粉浆	85	55	44

超声干燥与常规方法相比，可在较低的温度下进行，从而减少产品的氧化或降解作用，也不象高速气流干燥把物料吹得四处飞溅或给物料带来破坏作用。Soloff 等（1964）用 169 分贝，10.9kHz 的超声波处理了大量的物料^[13]。应用超声提高旋转干燥单元的结果列于表 2。

6 超声波在酒类酿造中的应用

国内很少见到有关将超声波应用于酒类的研究报告，而国外，尤其是日本在这方面已做了大量的工作^[19]。为了确认超声波照射对酿

表 2 超声波提高旋转干燥单元处理能力的结果

被干燥物料	起始水份	最终目标	超声波提高的产量
桔精	3.5	1.8	375
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

注: 超声波频率 10.9kHz, 强度 169dB

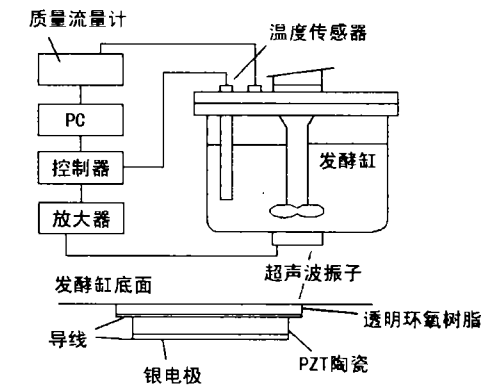


图 1 超声波发酵装置示意图

造的效果, 日本工作者用如图 1 所示超声波发酵装置做了葡萄酒、啤酒和清酒的发酵试验, 即分别将 1.5L 的葡萄果汁, 1.0L 的麦芽糖化液和 0.8L 的白米糖化液放入发酵罐中, 发酵温度为 15℃。经过超声波照射和发酵后, 分析三种试液的成分, 经照射后的葡萄酒和清酒中的氨基酸的含量比对照样明显减少, 并产生大量的高级醇, 促进了乙醇异戊酯的形成。造成这些差别的原因是超声波照射。超声波的照射虽然能促进酵母的繁殖, 缩短发酵时间, 增加酒香, 但过强的超声波会损坏酵母菌体, 因此不同的发酵液应有各自适宜的超声波强度。就照射方式而论, 从罐外部进行照射, 超声波的强度减幅较大; 直接照射时, 如果超声波强度过大会伤害酵母。因此认为最好从多个不同位置, 不同方向输入较弱的超声波, 这样效果最佳。超声波还被用在加速酒的老熟。酒体内经过超声波的振动, 酯类加速与乙醇和水结合, 经短时间存放, 酒味醇厚, 甘润柔和。日本中岛等人就清酒、配制酒、生葡萄酒、威士忌等

用超声波进行了老熟试验, 清酒和生葡萄酒经超声波照射后效果不明显, 而威士忌等蒸馏酒和配制酒经过 20 分钟的照射就能达到老熟的效果。

7 结束语

超声波在加工过程中的应用带来了方法学上的创新, 对传统的技术形成了有益的补充。研究表明, 超声波在提取、结晶、冷冻和过滤方面尤其有用。采用这些技术可以缩短加工时间, 提高加工效率。目前的超声波应用又分出了一些新的领域, 包括刺激激活细胞和酶, 改进肉类加工和谷物处理方法等。尽管有些技术目前还限于实验室内, 应用于工业生产时会遇到一些实际困难, 如大规模处理时难以找到合适的超声源。如果超声源生产领域和食品加工领域的工作者加强合作, 在超声源、超声测量及超声波在食品加工中的应用等方面进行深入的研究, 无论是从经济角度还是从学术角度都是非常有意义的。

参 考 文 献

1 Javanaud C. *Ultrasonics*, 1988, **26**: 117-122.
2 Wang L C. *J. Food .Sci.*, 1975, **40**: 549.
3 Wang L C. *J.Agric.Food.Chem.*, 1981, **29**: 177.
4 Mason T J, Zhao Y. *Ultrasonics*, 1994, **32**: 375.
5 Zayas J F. *J. Dairy Sci.*, 1986, **69**: 1767.
6 郭孝武, 张福成, 林书玉等. 声学技术, 1994, **13**(4): 185.
7 丘泰球, 宋武明, 陈树功. 声学技术, 1991, **10**(1): 12-14.
8 干淑娟. 硕士学位论文, 超声波催化酶法提取灵芝多糖, 华南理工大学, 1996.
9 Vimini R J, Kemp D K, Fox J D. *J. Food Sci.*, 1983, **48**: 1572.
10 Reynolds J B. *J. Food Sci.*, 1978, **43**: 866.
11 Roberts T. *Nutr. Food Sci.*, 1991, **130**: 17.
12 Spirov N, Goravon N, Mietv D, et al. *Khranit Prom.*, 1973, 22, 30, *Chem.Abstr.*, 1973, 79, 51798e.
13 赵茜, 高大维, 秦贯丰. 应用声学, 1997, **3**(26).
14 Midler. US patent, 1970. 3, 510, 266.

- 15 Acton E, Morris G J. *World patent*, 1992, WO92/20420.
- 16 Wiltshire M. Presented at Sonochemistry Symp., R.S.C. Annu Congr., Manchester, UK, 1992.
- 17 Soloff R S. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1964, **36**: 961.
- 18 Mason T J, Paniwnyk L, Lorimer J P. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1996, 3: S253-S260.
- 19 松浦一雄. 日本酿造协会志, 1994, **89**(1): 13-17.

~~~~~

## “超声手册”出版发行

由中国科协主席周光召先生作序、南京大学冯若教授主编、16位长期从事第一线超声研究、教学工作的专家教授编著的我国第一本“超声手册”于1999年10月由南京大学出版社出版发行。该书分超声物理基础，超声工程材料，超声换能器，超声检测，声表面波，声体波与声光器件，功率超声，医学超声，水声技术，超声测量与标准化等九章和附录。全书计184.3万字(另20插页)，售价105元。

(声讯供稿)

~~~~~

声 明

为适应我国信息化建设需要，扩大作者学术交流渠道，本刊已加入“万方数据系统科技期刊群”、《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库，请在来稿时声明，本刊将做适当处理。欢迎广大读者和作者到以下网址查询本刊内容：

<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical> 和 <http://www.chinajournal.net.cn>.

《应用声学》编辑部

~~~~~

## 欢迎订阅 2001 年度《应用声学》

2001年度报刊订阅现已开始，请《应用声学》新老读者于11月底前到当地邮局办理订阅手续。

本刊国内邮发代号：2-561，国外刊号：BM 607。每期定价：8元，全年定价：48元。全国各地邮局均可订阅，漏订者请与本刊编辑部联系。

编辑部地址：北京海淀区中关村路17号 《应用声学》编辑部

电话：(010) 62567348 E-mail: [yysx@sina.com](mailto:yysx@sina.com) 邮政编码 100080