

超声对发酵食品微生物和品质的影响

檀茜倩^{1,2}, 崔方超¹, 吕欣然¹, 李学鹏¹, 励建荣^{1,2*}

¹渤海大学食品科学与工程学院 辽宁锦州 121013

²天津科技大学食品科学与工程学院 天津 300457)

摘要 发酵食品具有特殊的风味和营养,含有多种生物活性物质。超声技术是一种非热处理技术,已被证实在食品中具有杀菌,提高活性产物产量,改变食物大分子性质等作用。目前缺乏超声技术在发酵食品处理中的系统性讨论。本文概述超声技术对不同发酵食品在发酵和贮藏中微生物以及发酵食品品质影响的研究进展。超声对发酵食品的影响效果取决于超声处理参数、发酵食品自身特点和所含微生物种类。不同条件超声处理通过改变微生物细胞结构、基因和代谢等机制,既可以抑制有害微生物生长,保证发酵食品安全性,也可以调控益生菌菌株活性,提高发酵食品营养价值。超声处理还能够提高发酵速率,缩短发酵时间,控制发酵过程,减少过度发酵,增加发酵食品中生物活性物质含量,赋予发酵食品营养保健功效等作用。本文可为超声技术在传统发酵食品工业化生产及品质提升中的应用提供参考。

关键词 超声; 发酵食品; 微生物; 品质; 抑制; 调控

文章编号 1009-7848(2024)01-0443-12 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.01.041

发酵是一种传统的食品保藏方法,是乳酸菌、芽孢杆菌、醋酸菌和酵母等益生菌以食物为底物进行代谢的过程。由于富含益生菌群以及功能活性物质,发酵食品具有预防慢性疾病^[1]、调节肠道菌群和提高免疫能力^[2]等作用,部分研究表明食用发酵食品还可以降低 Covid19 的感染率^[3]及防止感染 Covid19 后发展为危重症^[4],因此发酵食品具有作为功能食品的潜力。

发酵食品的品质和功效与发酵原料、发酵工艺和微生物活动有关。其中发酵原料有受到化学(杀虫剂、重金属等)或食源性致病微生物污染的风险,致病微生物自身的致病侵袭力、其代谢活动所产生的毒素、亚硝酸、生物胺等有可能损害人类健康(致病、中毒或严重过敏反应等)^[5]。同时,在发酵开始前需要对发酵原料进行一定预处理来控制原料内源酶活性。在发酵过程中也需要合理控制益生菌活性,来掌握发酵速率和时间,因为发酵速率过慢会造成腐败菌生长繁殖,进而导致发酵食品腐败^[6],而过度发酵则会影响发酵食品品质和口感(酸奶的过度酸化、泡菜过度发酵变软等)。针对上述问题在传统和工业发酵中常用热处理方

法,然而热处理造成的发酵食品组分分子结构破坏和改变,还会在一定程度上影响发酵食品的口感、风味和营养价值。超声技术是一种非热处理技术,已经在食品工业中应用于包括杀菌、促进活性产物提取、辅助酶解、改变食物分子结构等很多方面^[7-8]。近年来,研究人员关注到超声技术处理能通过抑制或调控发酵食品微生物的活动来改善控制发酵食品的发酵过程和品质(图 1)。本文对超声技术在一些常见发酵食品的加工和贮藏中的应用进行总结,讨论了超声技术如何影响发酵过程、发酵食品菌群,以及常见发酵食品营养成分和功能,并分析超声处理改善发酵工艺、保证发酵食品安全性和改善发酵食品品质的方法,以及在超声技术应用过程中所需要考虑的非技术因素。以期为利用超声技术在发酵食品生产中的应用提供参考。

1 超声技术对发酵食品中微生物的影响

超声根据频率高低可分为高功率低频(20~100 kHz)、中功率中频(100 kHz~1 MHz)和低功率高频(1~100 MHz),食品生产中采用的超声频率为 20~100 kHz。超声形成的孔洞效应可以使食品发生一些物理和化学方面的改变,因此常应用于活性产物提取、液体乳化、排气以及切割等单元操

收稿日期: 2023-01-05

基金项目: 辽宁省海洋经济发展专项(2021-84)

第一作者: 檀茜倩,女,博士,讲师

通信作者: 励建荣 E-mail: lijr6491@163.com

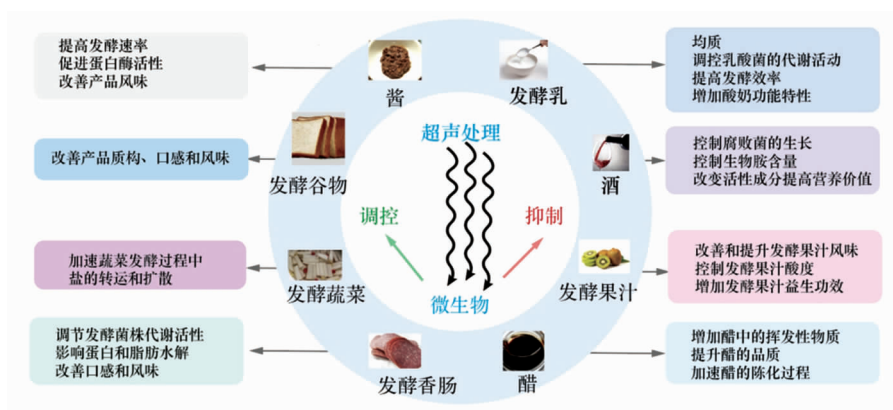


图1 超声技术对常见发酵食品微生物和品质的影响

Fig.1 The effects of ultrasonic technology on the microbiology and quality of commonly fermented foods

作^[9]。超声根据强度又可以分为高强度超声(强度大于 3 W/cm^2)和低强度超声(强度小于 3 W/cm^2)。高强度超声对细胞破坏性较高,常被用作食品改性以及食品中微生物的灭活/失活;低强度超声对细胞的破坏性较低,常用于加速微生物内部生物化学反应速率,来提高生物转化过程^[10-11]。总而言之,超声既可以通过化学效应破坏活细胞结构杀死细胞,也可以刺激细胞活动来改变细胞膜通透性,提高活性产物提取效率,增加酶活,防止酶变性等^[12],处理效果与超声处理参数(频率、强度、处理时间、次数等)、微生物菌株类型以及食品基质有关^[13]。

1.1 对微生物生长的抑制

高频率和高强度超声处理可抑制或杀灭微生物,可能是多种机制联合作用的结果,图2为一些常见超声抑制微生物机制示意图,主要包括超声形成气泡破碎产生压力对细胞造成损伤,在细胞膜上形成孔洞,改变细胞膜通透性,产生活性氧(Reactive oxygen species, ROS)对细胞造成攻击损伤,化学效应对细胞造成损伤,产生抗菌物质抑菌,使参与细胞代谢的跨膜蛋白以及参与关键生化反应的酶失活,直接抑制代谢过程以及破坏遗传物质DNA等^[14]。高强度超声处理对微生物造成的损伤和破坏一般不可逆。在这个过程中,一部分细胞与超声直接接触,在超声处理产生气泡随机破裂形成的压力和剪切力作用下发生细胞结构损伤;另一部分细胞虽然没有与超声直接接触,但仍会受到超声处理在细胞外产生的 H_2O_2 等抑菌物

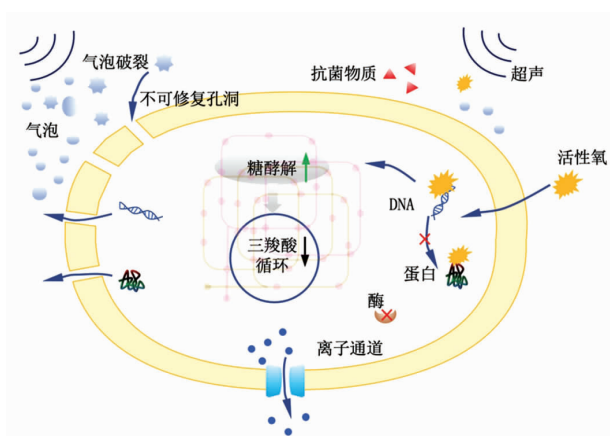


图2 超声对微生物抑制机制示意图

Fig.2 Schematic diagram of microbial inactivation mechanism of ultrasound

质以及细胞内产生的 ROS 等自由基的影响,导致包括 DNA 和各种酶在内的参与细胞代谢和关键生化反应的组分受到破坏,进而造成细胞死亡^[15]。

超声杀菌的抑菌谱较宽,对细菌、真菌和病毒均有抑制作用^[16-18],包括大肠杆菌 (*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、表皮葡萄球菌 (*Staphylococcus epidermidis*)、产气肠杆菌 (*Enterobacter aerogenes*)、枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、出芽短梗霉 (*Aureobasidium pullulans*)、甲型肝炎病毒和鼠诺如病毒等。超声对微生物的杀灭作用与微生物的种类和形态有关,含有较厚细胞壁的革兰氏阳性菌和酵母相对于革兰氏阴性菌对超声有更强的耐受性^[16]。微生物的形态也影响了其对超声的耐受性,球菌比杆菌对

超声的耐受性更高,这与球菌相比杆菌与超声接触的比表面积更大有关。对于特定微生物来说,超声处理条件越强,对微生物的杀灭作用越强,因为高强度超声产生的机械损伤形成的自由基浓度,对细胞增殖和代谢活动必须的 DNA、脂肪和蛋白质等的破坏都更大^[17]。部分细菌中存在耐受超声压力基因(如大肠杆菌中的 *dnaK* 基因)^[19],使得这

部分细菌相对于其它细菌来说对超声耐受性更强。为了提高超声的抑菌效果,目前也多采用加入声敏剂(亚甲基蓝)或与其它抗菌剂或抗菌方法联合使用,不仅可以提高单位时间抑菌数目,缩短抑菌时间,也对生物被膜态细菌有比较好的清除作用^[20]。表 1 列举了部分超声单独或者与其它方法联合对微生物的抑制条件和抑制效果。

表 1 超声处理对微生物的抑制作用

Table 1 Microbial inactivation effect of ultrasound

微生物类型	微生物种类	超声处理条件	其它处理条件	抑制效果	参考文献
细菌 (革兰氏阴性)	大肠杆菌 O157:H7	超声强度 573 W/cm ² , 频率 20 kHz, 脉冲模式 2 s:2 s	—	破坏细胞完整性, 改变细胞结构, 菌落数下降 3.52 lg CFU/mL	[21]
	大肠杆菌	超声频率 500 kHz	Nisin 35 IU/mL	菌落数下降 2 lg CFU/mL	[22]
	鼠伤寒沙门氏菌	超声强度 45 W/L, 超声频率 37 kHz	30 mg/L ClO ₂	菌落数下降 4 lg CFU/mL	[23]
细菌 (革兰氏阳性)	李斯特菌	超声频率 500 kHz	Nisin 35 IU/mL	无作用效果	[22]
		超声强度 1.6 W/cm ² , 超声频率 1 MHz, 处理时间 15 min	10 mmol/L 丙基没食子酸	造成细胞膜损伤和氧化应激压力, 菌落数下降 5 lg CFU/mL	[24]
	金黄色葡萄球菌	超声强度 968 W/cm ² , 脉冲模式 2 s:2 s, 处理时间 20 min	溶菌酶(11 200 U/mL), 温度 35 °C	菌落数下降 4.25 lg CFU/mL	[25]
真菌	枯草芽孢杆菌	超声频率 20 kHz, 超声强度 20 W/mL, 处理时间 40 min	热处理 80 °C	孢子数目下降 2.43 lg CFU/mL	[26]
	酿酒酵母	20 kHz	—	菌落数下降 1.3 lg CFU/mL	[27]
	匍枝根霉菌	超声功率 500 W, 55 °C, 处理时间 10 min	热烫 55 °C	菌落直径从 90 mm 缩小到 6.00 mm	[28]
病毒	赭曲霉	超声功率 600 W, 超声频率 20 kHz, 振幅 12~260 μm, 处理时间 3~9 min, 温度 20 °C	—	菌落数下降 5 lg CFU/mL	[29]
	扩展青霉	—	—	—	—
病毒	人副流感病毒 3 型	超声强度 2.16 W/cm ² , 5 μmol/L 亚甲基蓝, 处理时间 5 min	—	病毒数下降 7 lg PFU/mL	[30]

1.2 对微生物生长的调控

超声处理除了可以起到杀灭微生物的作用,研究发现特定条件超声处理可调控微生物的生长和代谢,尤其是对发酵中起主要作用菌株的调控,会在很大程度上影响发酵过程和发酵食品品质。这些调控作用主要包括刺激或减弱菌株生长,改变代谢物分泌谱,诱导细胞进行生物合成和富集

营养素等。虽然目前超声抑制微生物的机制已经比较明确,但超声调控微生物的机制还有待完善。现有研究认为超声对微生物的调控机制(图 3)主要包括增加细胞膜通透性,加速细胞内部与外界环境之间营养物质交换,促进细胞排出有毒代谢废弃物,改变酶构象提高细胞内部生化反应效率,以及由细胞外部环境代谢物变化引发连锁效应,

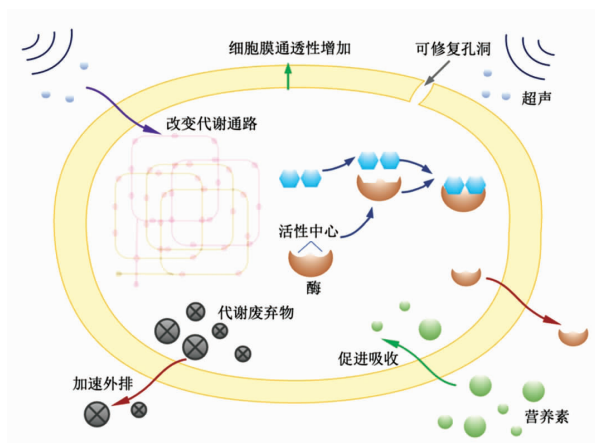


图3 超声对微生物生长调控机制示意图

Fig.3 Schematic diagram of the microbial regulation mechanism of ultrasound

改变细胞内级联化学反应等^[31-33]。超声处理对微生物生长的调控受到包括超声参数(超声功率、强度和频率)的影响,也与菌株特点和所处环境有关^[34]。

1.2.1 提高微生物的生长速率 超声处理可以通过改变微生物细胞膜结构(磷脂双分子层的酰基链、极性头部和周质空间)来提高菌株的生长速率。研究发现频率 20 kHz 的超声处理会促进干酪乳杆菌(*Lactobacillus sakei*)的生长,扫描电镜显示超声处理可在干酪乳杆菌细胞表面形成孔洞,然而此作用条件下形成的孔洞是暂时的,在一定条件下可被修复。可逆孔洞的存在增大了氧气和营养素向细胞内的传递量,以及细胞内废弃物向胞外的转运量,因此提高了细胞的生长速率^[35]。同时,超声处理也显著改变了干酪乳杆菌的代谢通路,其效果与不同超声频率有关。在碳源利用方面,超声处理频率为 130 kHz 和 950 kHz 相比于 20 kHz,干酪乳杆菌对 D-甘露糖、半乳糖醇、蔗糖、D-纤维二糖和肌苷等碳源的利用率显著提高;在羧酸生成方面,超声处理频率在 20 kHz 相比于 45 kHz,丁酸、衣康酸、山梨酸和酒石酸的产量较高;在醇生成方面,上述 4 种超声频率都可以促进 2-氨基乙醇和 2,3-丁二醇的产生^[32]。另一项研究也证实超声可影响植物乳杆菌 AF1(*Lactobacillus plantarum* AF1)的碳代谢过程,其葡萄糖、半乳糖和乳酸等碳代谢产物随着发酵时间和超声处理时间的延长而显著增加^[33]。超声对微生物生长促进已经应用到发酵食品的生产中,可利

用超声处理改造作为发酵剂的菌株;或通过发酵不同阶段施加超声处理,通过干预微生物生长和增殖有效调节发酵过程^[9]。

1.2.2 增加微生物酶的分泌和酶活力 超声处理可以促进微生物酶的分泌并且可在一定程度上提高酶活力。以 β -葡萄糖苷酶为例, β -葡萄糖苷酶是在植物食品发酵中起重要作用的一类酶,可将葡萄糖苷异黄酮水解为糖苷配基。研究发现频率为 20 kHz 的超声处理可以使嗜酸乳酸菌 BCRC 1069(*Lactobacillus acidophilus* BCRC 1069)产 β -葡萄糖苷酶的能力提高 2 倍,其原因是由于超声产生的孔洞效应增加了嗜酸乳酸菌 BCRC 1069 细胞膜通透性,促进了细胞代谢所产生的 β -葡萄糖苷酶从胞内向胞外的转运,因此,胞外 β -葡萄糖苷酶的总量提高^[36]。另一项研究发现频率为 24 kHz 的超声处理能提高乳酸乳球菌乳酸亚种(*Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*)分泌的 β -葡萄糖苷酶活性,其原因除了由于细胞膜通透性改变促进酶由胞内到胞外传递,还与超声改变了酶的蛋白构象有关,超声对酶构象的改变暴露出更多的活性位点,使酶与底物的反应几率增加,酶活力变大。超声还能提高糖酵解途径中主要调节酶的活性^[37],进而影响细胞内级联化学反应改变微生物代谢图谱,研究发现超声处理可提升 β -半乳糖苷酶活性,促进乳糖向葡萄糖和半乳糖的转化,使乳酸产量提高^[31]。

1.2.3 促进生物合成过程和营养素富集 在亚致死超声处理条件下,超声能诱导加速细胞内生物合成过程的进行以及促进营养素富集,有利于提高生物活性物质产量,以及增强益生微生物的功能特性。有研究表明超声处理通过干预植物乳杆菌(*L. plantarum*)主要生长因子,进而加速细胞内部生物化学反应,促进植物乳杆菌分泌表面活性素^[38]。利用频率为 28 kHz 的超声处理可增加酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)细胞内部 Ca^{2+} 的离子浓度,促进乙醇产量提升^[37]。低密度超声(16~100 kHz)能在不同程度上加速短乳杆菌(*Lactobacillus brevis*)增殖,提高 γ -氨基丁酸(γ -Aminobutyric acid, GABA)的产量^[39],GABA 是一种非蛋白类氨基酸,在神经传导方面有很多功用,而少量 GABA 不能达到益生效果,GABA 的富集

表2 超声处理对微生物生长的调控作用

Table 2 Microbial regulation effect of ultrasound

微生物类型	微生物种类	超声处理条件	主要调控结果	参考文献
细菌	植物乳杆菌 A3	超声功率 400 W 33 kHz, 温度 25 ℃, 处理时间 20 min	酸化效果提高 17.5%, 对细胞数目增加效果不显著, 提高了菌株的黏附性	[40]
	嗜酸乳杆菌	超声频率 20 kHz, 振幅 20%	β -葡萄糖苷酶活性提高了 3.91 U/mL (比未处理提高 1.82 倍)	[36]
	短乳杆菌	超声频率 23 kHz, 振幅 10 μ m, 处理时间 3~5 min	菌落数增加 1.09 lg CFU/mL, 生长速率提高 8.17%~82.59%, GABA 产率增加 31.76%	[39]
	肠膜明串珠菌	超声功率 400 W, 24 kHz, 振幅 20%~100%, 处理时间 3~5 min	菌落数有 0.2~0.4 lg CFU/mL 左右上升, 细胞膜通透性增加, β -葡萄糖苷酶活性增加	[41]
真菌	酿酒酵母	超声频率 45 kHz 或 130 kHz	最大生长速率提高, 对酵母生长对数期没有影响	[27]
		超声频率 28 kHz	乙醇产量提升 30.79%, 己糖激酶、磷酸果糖激酶和丙酮酸激酶活性增加	[37]
		超声功率 400 W, 超声频率 20 kHz, 超声强度 90 W/L	Se 产量提高 2.78 倍	[42]

对益生菌发挥益生作用具有非常重要的意义。

2 超声技术对发酵食品品质的影响

2.1 发酵乳

在发酵乳的生产中, 超声常作为一种均质方法^[43], 获得的脂肪颗粒更为细腻, 同时超声可通过影响乳酸菌代谢活动改变代谢谱图以及提高发酵效率, 可以在一定程度上改善发酵过程。已证实超声能够提高水牛乳中唾液链球菌嗜热亚种 (*Streptococcus thermophilus subsp. Salivarius*) 和保加利亚乳杆菌 (*Lactobacillus bulgaricus*) 的代谢活性, 缩短发酵时间^[44]。利用超声辅助发酵 kefir 酸奶, 在超声频率 24 kHz, 超声功率 400 W, 超声时间 5 min, 探头直径 22 mm, 30% 振幅条件下连续处理, 不仅可以缩短 1 h 发酵时间, 同时也可提高乳酸的产率和乳酸菌胞外多糖的产量, 赋予 kefir 酸奶更好的口感^[45]。超声还能够增加发酵乳的营养功能, 研究发现超声可提高植物乳杆菌 AF1 发酵的酸奶的抗氧化活性, 增加了其作为功能性食品的功效^[33]。

2.2 发酵果汁

超声处理已经应用在发酵苹果汁^[46]、桑葚汁^[47]等发酵果汁的生产中, 可以显著改变发酵果汁的理化特性尤其是影响可挥发性物质的种类和产

量, 使发酵果汁口感丰富, 感官评价更高。低密度超声处理可提高作为发酵剂益生菌株的发酵性能, 应用于果汁发酵后, 通过影响代谢物变化, 改变发酵果汁的风味和功效, 其中涉及多个代谢通路。首先超声处理会干预糖酵解途径和三羧酸循环, 进而影响氨基酸代谢, 甘氨酸、精氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、组氨酸等氨基酸通过脱羧作用以及随后的一系列化学反应对果汁特殊风味的形成具有重要意义。超声对发酵果汁中氨基酸代谢的影响与超声强度有关, 相对于较高的超声强度 (93.6 W/L), 较低强度 (58.3 W/L) 对氨基酸影响相对较小, 然而其原因还有待于进一步探究。超声处理还能促进益生菌对多酚的转化 (主要发生在益生菌生长的延滞期和对数期), 以及能够增加果汁抗氧化能力, 从而提高了发酵果汁的营养功效^[46]。

超声处理也可以用来降低发酵果汁饮料酸化程度, 可在不影响益生菌活性和功能的前提下控制作为发酵剂菌株的数量和活动, 从而减少由于菌株过度代谢活动对发酵饮料风味和流变特性产生的不利影响。研究发现超声处理可减弱乳杆菌 (*Lactobacilli*) 和双歧杆菌 (*Bifidobacteria*) 的代谢活性, 然而并不影响植物乳杆菌 L12 对 Caco-2 细胞的黏附特性^[48], 因为与肠上皮细胞的黏附被认为是益生菌发挥益生作用的一个重要条件, 这说

明超声处理有可能不会影响到菌株的益生特性,而这方面的论证仍需更多深入研究数据支持。

2.3 酒

葡萄酒酿造过程中有可能受到腐败菌污染,同时葡萄酒中有比较复杂的乳酸菌和酵母菌群,如果在发酵过程结束后微生物种群没能得到很好控制,会因为继续发酵而影响酒的品质^[49]。一直以来,常通过二氧化硫来控制葡萄酒中非酵母菌群和腐败菌生长,同时也能减少葡萄酒中氧的含量,然而二氧化硫的过量添加会因为硫醇或者硫化氢的生成导致葡萄酒产生不良风味,二氧化硫也可能会引发特定人群的过敏反应^[50]。超声处理由于对微生物的抑制和调控的双重作用,可以代替二氧化硫对葡萄酒中的菌群进行控制进而保持葡萄酒的稳定性^[51]。超声处理一方面可以增加葡萄酒中有益物质的含量,例如能够改变葡萄酒中多酚以及芳香物质的组成^[52]。多酚类物质是葡萄酒中含量最多和最重要的物质,具有抗氧化活性,可缓解心脏病和其它慢性疾病,红葡萄酒比白葡萄酒多酚含量更高,多酚的存在对葡萄酒的颜色和风味有很大影响。另一方面超声处理能够减少葡萄酒酿造过程中有害物质产生,例如减少生物胺的含量。生物胺由氨基酸经过脱羧反应生成,葡萄酒中生物胺含量多少取决于氨基酸前体的数量,也与pH、醇、二氧化硫含量等微生物生长代谢因子有关。葡萄酒中常见的生物胺有组胺、尸胺、酪胺、苯(基)乙胺、腐胺、色胺,葡萄种类、地理区域、酿造方法以及老化过程也有一定影响^[53],所以在利用超声降低葡萄酒中生物胺的过程中需要综合考虑这些因素。除了降低生物胺含量,超声处理还能降低葡萄酒中酒精含量,从而提升葡萄酒的感官品质,其原因与超声的孔洞效应、自由基胁迫和随之引发的连锁效应有关^[54]。

2.4 醋

超声处理可以提升醋的品质^[55],加速其陈化过程^[56],这与发酵剂组成(单菌/混菌)^[57]有关,也受到发酵容器材质的影响。超声处理对醋陈化的促进作用明显,研究发现采用超声处理新酿造的浙醋,能使其品质达到2~3年酿造醋的效果^[58]。同时超声处理还可以增加醋中活性产物含量,提高醋的功能特性。有研究发现超声处理能改变月桂櫻

醋的光学微观结构,提高其挥发性物质的含量,增强其抗糖尿病以及抗高血压的能力^[59]。

2.5 发酵蔬菜

发酵蔬菜包括干腌和卤水浸泡两种方式,卤水浸泡比较常见。在卤水浸泡的过程中,益生菌活动分解植物产生氨基酸等代谢物质赋予了发酵蔬菜特殊的风味。盐是发酵蔬菜制作过程中的一种主要添加物,它的迁移遵循浓度梯度扩散的流体动力学机制,随着外部压力变化,可通过食物原料表面形成的孔洞进入内部。然而由于一些发酵蔬菜原料质地坚硬或者外皮饱满缺乏孔洞,减缓了盐的扩散过程,导致发酵时间过长,可能需数月才能获得预期风味,而在这个过程中由于微生物过度生长或者发酵蔬菜原料内部水分活度变化导致盐浓度降低,造成卤水变质等因素会对发酵蔬菜品质产生不利影响^[6],超声可以加速盐的转运和溶解,加速这个发酵关键步骤的进行,已经在辣白菜的腌制过程中得到证实,同时超声处理还能保持白菜的硬度和质构,保证食用口感^[60]。

2.6 发酵香肠

超声影响发酵香肠品质是通过微生物代谢,以及蛋白和脂肪水解的调控综合实现的。研究发现25 kHz、128 W的超声处理干制发酵香肠可提升发酵香肠中微生物的发酵性能,改善发酵香肠的适口性和风味,超声处理改变了发酵香肠中游离氨基酸组成,增加了挥发性风味物质前体的含量,随后风味前体物质通过特定化学反应产生令人愉悦的风味^[61]。频率为25 kHz的超声处理salami香肠9 min对香肠中乳酸菌和微球菌的抑制效果最好,同时超声处理改变了salami香肠的理化特性,能引起脂肪和蛋白氧化,其中亚铁血红素含量在超声处理后发生变性,含量略有下降,而肌红蛋白受超声影响不明显^[62]。

2.7 酱

超声处理可增加酱类食品中的生物活性物质含量并提升其品质^[63]。超声处理作为发酵剂的解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)可以提高黄豆酱的发酵速率以及发酵后多肽的含量。研究发现超声没有增加菌株蛋白酶分泌量,而是促进菌株内生孢子萌发,使菌株在黄豆酱发酵中的延滞期缩短,加速了发酵过程从而促进水解^[64]。低

密度超声处理可以改变发酵低盐 moromi 豆酱的风味,超声频率 68 kHz(60 W/L/10 min/8 循环)可在较短时间显著提高低盐豆酱氨基酸的释放,加速豆酱熟化过程。超声能够促进发酵剂米曲霉(*Aspergillus oryzae*)碱性蛋白酶分泌,暴露更多的蛋白酶活性位点;也缩小了底物粒子,进而提高底物与酶的结合几率,使酶促反应效率提高;同时超声处理改变了有机呈味物质的组成,组氨酸和谷氨酸的增加尤为明显,使酱的口感更柔和、风味更令人愉悦^[65]。在利用超声改良酱类发酵食品的过程中,一定要注意选择合适的超声参数,尤其注意长时间超声处理会对酶活产生不利影响^[66]。

2.8 发酵谷物

超声可以应用于发酵面制品生产,研究发现超声辅助面团发酵可以显著改善馒头的硬度和体积,使其口感更好^[66]。利用超声辅助副干酪乳杆菌 LUHS244(*Lactobacillus paracasei* LUHS244)混合发酵生产白面包,使面包品质、适口性以及功能上都有很大提升^[67]。

2.9 其它

超声还可用来辅助提取食品加工副产品发酵物中的功能物质,实现资源利用最大化和环境可持续发展。有研究证实超声可以应用于辅助提取黄豆粉中的酶^[68],以及辅助提取芽孢液态发酵豆渣中的特殊功能多肽。研究发现超声处理的频率、时间、功率和强度会在不同程度上影响功能多肽和其它可溶性蛋白的产率、结构和功能。超声强度 0.08 W/mL、频率 33 kHz 和处理时间 1 h 与没有经过超声处理的发酵豆渣样品相比,由于特定超声频率的处理增大了胞内、胞外物质转化以及酶和底物的交换效率,其中多肽和可溶性蛋白含量分别提高了 31.27%和 18.79%;而当超声时间延长,超声的穿孔能力增加,相应的剪切力和涡流效应增加,较长时间超声处理形成不可逆孔洞效应和热效应导致微生物衰老以及死亡则会降低发酵产物产量,因此超声处理 1 h 比 2 h 的多肽提取量高;傅里叶红外光谱(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)分析发现超声处理后蛋白分子的结构发生改变,有去折叠现象,其中 α 螺旋和 β 转角数目减少,而 β 片层和无规卷曲比例有所增加,原子力显微镜(Atomic force microscope, AFM)

观察到蛋白表面粗糙度增加;另外超声还提升了多肽提取物的体外抗氧化性(羟自由基和 DPPH 自由基的清除能力)以及乳化稳定性^[69]。这些改变都有助于功能性活性肽的开发。

总之超声技术对发酵食品微生物和品质的影响受到操作参数(频率、强度、作用时间、次数)、菌株类型以及发酵食品基质的影响,在不同条件下,超声处理具有提高发酵速率,缩短发酵时间,控制发酵过程,减少过度发酵影响某些发酵食品品质,杀死腐败或致病微生物,保证发酵食品的微生物安全性,保持益生菌的活性和益生功效,以及增加发酵食品中的生物活性物质并提高其营养和保健价值等功用。

3 影响超声技术在发酵食品应用的非技术因素

为了超声技术处理的发酵食品能够大规模工业应用并成功走向市场,除了必要的技术支持,还需考虑消费者的心理因素(例如对超声技术处理发酵食品的接受度等)。目前,一些消费者认为研究人员或者企业对超声技术在内的一些新技术在食品工业应用的优势有所夸大,并不希望传统工艺被新工艺取代,更倾向于选择传统方式生产的发酵食品;也有消费者认为食用新技术处理的食物后会对健康产生负面影响。另外价格也是影响消费者接受度的一个非常重要的因素,需要生产商在加工成本和销售价格之间寻找平衡^[70],同时在销售策略的选择上也有必要综合考虑地区经济因素,例如经济比较发达地区的消费者可能更多的考虑安全性、口感,在经济发达程度较低地区的消费者则会更倾向于考虑价格^[71],需要根据消费市场调研做出正确的产品定位和销售策略。

4 展望

为了使超声技术在发酵食品的工业应用中获得预期效果,要充分考虑超声处理的操作参数,发酵食品中的菌群特点,食物分子组分以及消费者的心理预期。在今后的研究中有以下几个问题值得思考。

1) 发酵食品种类繁多,由于不同发酵食品采用的原料和发酵剂不同,在选择超声技术时要充

分考虑不同发酵食品自身的特点。

2) 发酵底物对微生物的生长十分重要,目前超声对益生菌生长影响的研究底物主要为改良的培养基或模拟食物底物,对真实发酵过程中底物对益生菌的影响机制还不是十分清楚,需侧重探索在超声处理条件下食物组分对益生菌生长和代谢的影响以及食物与微生物、微生物菌群之间的交互机制。

3) 目前已经发现适当强度的超声并不会完全杀死乳酸菌等益生菌株,处于这种状态的菌株仍可以恢复很好的生长活性,而这种状态下细菌的益生特性是否有新的变化,有待更深入和全面的研究数据的支持。

4) 为探索超声调控发酵从而改善发酵食品品质的潜在机制,可同时利用多种技术建立相关的表型、菌株代谢和发酵食品之间的关系网络,从分子水平上系统性的解释相关问题。

参 考 文 献

- [1] GILLE D, SCHMID A, WALTHER B, et al. Fermented food and non-communicable chronic diseases: A review[J]. *Nutrients*, 2018, 10(4): 448.
- [2] ANYIAM P, ONWUEGBUCHU P, EKEMEZIE C. Traditional fermented foods in Nigeria and Covid-19: A possible approach for boosting immune system[J]. *International Journal of Science and Research*, 2020, 3(6): 127-138.
- [3] VU T H T, RYDLAND K J, ACHENBACH C J, et al. Dietary behaviors and incident COVID-19 in the UK biobank[J]. *Nutrients*, 2021, 13(6): 2114.
- [4] BOUSQUET J, ANTO J M, CZARLEWSKI W, et al. Cabbage and fermented vegetables: From death rate heterogeneity in countries to candidates for mitigation strategies of severe COVID-19[J]. *Allergy*, 2021, 76(3): 735-750.
- [5] ANAL A K, PERPETUINI G, PETCHKONGKAEW A, et al. Food safety risks in traditional fermented food from South-East Asia[J]. *Food Control*, 2020, 109: 106922.
- [6] LI J H, SHI J Y, WANG T T, et al. Effects of pulsed electric field pretreatment on mass transfer kinetics of pickled lotus root (*Nelumbo nucifera Gaertn.*) [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, 151: 112205.
- [7] YING Z, HAN X X, LI J R. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from mulberry leaves[J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3): 1273-1279.
- [8] WANG Y Y, TANG X H, LUAN J J, et al. Effects of ultrasound pretreatment at different powers on flavor characteristics of enzymatic hydrolysates of cod (*Gadus macrocephalus*) head[J]. *Food Research International*, 2022, 159: 111612.
- [9] YU Z, SU Y, ZHANG Y L, et al. Potential use of ultrasound to promote fermentation, maturation, and properties of fermented foods: A review [J]. *Food Chemistry*, 2021, 357: 129805.
- [10] CHÁVEZ-MARTÍNEZ A, REYES-VILLAGRANA R A, RENTERÍA-MONTEERRUBIO A L, et al. Low and high-intensity ultrasound in dairy products: Applications and effects on physicochemical and microbiological quality[J]. *Foods*, 2020, 9(11): 1688.
- [11] OJHA K S, MASON T J, O'DONNELL C P, et al. Ultrasound technology for food fermentation applications[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017, 34: 410-417.
- [12] MASON T J, PANIWNKY L, LORIMER J P. The uses of ultrasound in food technology[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 1996, 3(3): S253-S260.
- [13] GUIMARÃES J T, BALTHAZAR C F, SCUDINO H, et al. High-intensity ultrasound: A novel technology for the development of probiotic and prebiotic dairy products[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 57: 12-21.
- [14] DAI J M, BAI M, LI C Z, et al. Advances in the mechanism of different antibacterial strategies based on ultrasound technique for controlling bacterial contamination in food industry [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 105: 211-222.
- [15] LUO W, WANG J Q, WANG Y, et al. Bacteriostatic effects of high-intensity ultrasonic treatment on *Bacillus subtilis* vegetative cells[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 81: 105862.
- [16] LIAO X Y, LI J, SUO Y J, et al. Multiple action sites of ultrasound on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* [J]. *Food Science and Human Wellness*, 2018, 7(1): 102-109.
- [17] GAO S P, HEMAR Y, ASHOKKUMAR M, et al.

- Inactivation of bacteria and yeast using high-frequency ultrasound treatment [J]. *Water Research*, 2014, 60: 93–104.
- [18] RAJIUDDIN S M, VIGRE H, MUSAVIAN H S, et al. Inactivation of hepatitis A virus and murine norovirus on surfaces of plastic, steel and raspberries using steam-ultrasound treatment[J]. *Food and Environmental Virology*, 2020, 12(4): 295–309.
- [19] SPITERI D, CHOT - PLASSOT C, SCLEAR J, et al. Ultrasound processing of liquid system(s) and its antimicrobial mechanism of action[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2017, 65(4): 313–318.
- [20] ZHAO L, POH C N, WU J Y, et al. Effects of electrolysed water combined with ultrasound on inactivation kinetics and metabolite profiles of *Escherichia coli* biofilms on food contact surface[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2022, 76: 102917.
- [21] HE Q, LIU D H, ASHOKKUMAR M, et al. Antibacterial mechanism of ultrasound against *Escherichia coli*: Alterations in membrane microstructures and properties [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 73: 105509.
- [22] COSTELLO K M, VELLIU E, GUTIERREZ - MERINO J, et al. The effect of ultrasound treatment in combination with nisin on the inactivation of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 79: 105776.
- [23] ROSSI A P, KALSCHNE D L, BYLER A P I, et al. Effect of ultrasound and chlorine dioxide on *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli* inactivation in poultry chiller tank water [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 80: 105815.
- [24] NGUYEN C H, TIKEKAR R V, NITIN N. Combination of high-frequency ultrasound with propyl galate for enhancing inactivation of bacteria in water and apple juice[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2022, 82: 103149.
- [25] BI X F, WANG X Q, CHEN Y, et al. Effects of combination treatments of lysozyme and high power ultrasound on the *Salmonella typhimurium* inactivation and quality of liquid whole egg[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 60: 104763.
- [26] FAN L H, HOU F R, MUHAMMAD A I, et al. Synergistic inactivation and mechanism of thermal and ultrasound treatments against *Bacillus subtilis* spores[J]. *Food Research International*, 2019, 116: 1094–1102.
- [27] SORO A B, OLIVEIRA M, O'DONNELL C P, et al. Ultrasound assisted modulation of yeast growth and inactivation kinetics [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 80: 105819.
- [28] LI L L, ZHANG M, SUN H N, et al. Contribution of ultrasound and conventional hot water to the inactivation of *Rhizopus stolonifer* in sweet potato[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, 148: 111797.
- [29] JAMBRAK A R, ŠIMUNEK M, EVAČIĆ S, et al. Influence of high power ultrasound on selected moulds, yeasts and *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple, cranberry and blueberry juice and nectar[J]. *Ultrasonics*, 2018, 83: 3–17.
- [30] LU N, TIAN Y B, WEI L, et al. Effect of ultrasound with methylene blue as sound sensitive agent on virus inactivation[J]. *Medicine in Novel Technology and Devices*, 2023, 17: 100204.
- [31] SHOKRI S, SHEKARFOROUSH S S, HOSSEIN-ZADEH S. Stimulatory effects of low intensity ultrasound on the growth kinetics and metabolic activity of *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis* [J]. *Process Biochemistry*, 2020, 89: 1–8.
- [32] OJHA K S, BURGESS C M, DUFFY G, et al. Integrated phenotypic-genotypic approach to understand the influence of ultrasound on metabolic response of *Lactobacillus sakei* [J]. *PLoS One*, 2018, 13(1): e0191053.
- [33] GHOLAMHOSSEINPOUR A, HASHEMI S M B. Ultrasound pretreatment of fermented milk containing probiotic *Lactobacillus plantarum* AF1: Carbohydrate metabolism and antioxidant activity [J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2019, 42(1): e12930.
- [34] OJHA K S, KERRY J P, ALVAREZ C, et al. Effect of high intensity ultrasound on the fermentation profile of *Lactobacillus sakei* in a meat model system[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2016, 31: 539–545.
- [35] YEO S K, LIONG M T. Effect of Ultrasound on the growth of probiotics and bioconversion of isoflavones in prebiotic-supplemented soymilk[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(3): 885–

- 897.
- [36] LIU W S, YANG C Y, FANG T J. Strategic ultrasound-induced stress response of lactic acid bacteria on enhancement of β -glucosidase activity for bioconversion of isoflavones in soymilk[J]. *Journal of Microbiological Methods*, 2018, 148: 145-150.
- [37] HE R H, REN W B, XIANG J H, et al. Fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* in a 7.5 L ultrasound-enhanced fermenter: Effect of sonication conditions on ethanol production, intracellular Ca^{2+} concentration and key regulating enzyme activity in glycolysis[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 76: 105624.
- [38] BEHZADNIA A, MOOSAVI-NASAB M, TIWARI B K. Stimulation of biosurfactant production by *Lactobacillus plantarum* using ultrasound[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 59: 104724.
- [39] SHOKRI S, TEREFE N S, SHEKARFOROUSH S S, et al. Ultrasound-assisted fermentation for enhancing metabolic and probiotic activities of *Lactobacillus brevis*[J]. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 2021, 166: 108470.
- [40] ZHANG X H, ZHENG Y R, AWASTHI M K, et al. Strategic thermosonication-mediated modulation of lactic acid bacteria acidification kinetics for enhanced (post)-fermentation performance[J]. *Biore-source Technology*, 2022, 361: 127739.
- [41] SHOKRI S, SHEKARFOROUSH S S, HOSSEIN-ZADEH S. Efficacy of low intensity ultrasound on fermentative activity intensification and growth kinetic of *Leuconostoc mesenteroides*[J]. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 2020, 153: 107955.
- [42] ALIJAN S, HOSSEINI M, ESMAEILI S, et al. Impact of ultrasound and medium condition on production of selenium-enriched yeast[J]. *Electronic Journal of Biotechnology*, 2022, 60: 36-42.
- [43] WU H Y, HULBERT G J, MOUNT J R. Effects of ultrasound on milk homogenization and fermentation with yogurt starter[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2000, 1(3): 211-218.
- [44] ABESINGHE A M N L, VIDANARACHCHI J K, ISLAM N, et al. Effects of ultrasound on the fermentation profile and metabolic activity of lactic acid bacteria in buffalo's (*Bubalus bubalis*) milk[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2022, 79: 103048.
- [45] DÜVEN G, KUMCUOĞLU S, KIŞLA D. Ultrasonication-assisted kefir production and its effect on fermentation time and EPS production[J]. *Food Bioscience*, 2021, 42: 101059.
- [46] WANG H M, TAO Y, LI Y T, et al. Application of ultrasonication at different microbial growth stages during apple juice fermentation by *Lactobacillus plantarum*: Investigation on the metabolic response[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 73: 105486.
- [47] KWAW E, MA Y, TCHABO W, et al. Ultrasonication effects on the phytochemical, volatile and sensorial characteristics of lactic acid fermented mulberry juice[J]. *Food Bioscience*, 2018, 24: 17-25.
- [48] RACIOPPO A, CORBO M R, PICCOLI C, et al. Ultrasound attenuation of *Lactobacilli* and *Bifidobacteria*: Effect on some technological and probiotic properties[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2017, 243: 78-83.
- [49] GONZÁLEZ-ARENZANA L, PORTU J, LÓPEZ R, et al. Inactivation of wine-associated microbiota by continuous pulsed electric field treatments[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2015, 29: 187-192.
- [50] GONZÁLEZ-ARENZANA L, PORTU J, LÓPEZ R, et al. Pulsed electric field treatment after malolactic fermentation of Tempranillo Rioja wines: Influence on microbial, physicochemical and sensorial quality[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2019, 51: 57-63.
- [51] GRACIN L, JAMBRAK A R, JURETIĆ H, et al. Influence of high power ultrasound on *Brettanomyces* and lactic acid bacteria in wine in continuous flow treatment[J]. *Applied Acoustics*, 2016, 103: 143-147.
- [52] LUKIĆ K, BRNČIĆ M, ĆURKO N, et al. Effects of high power ultrasound treatments on the phenolic, chromatic and aroma composition of young and aged red wine[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, 59: 104725.
- [53] NIEDŹWIEDŹ I, PŁOTKA-WASYŁKA J, KAPUSTA I, et al. The impact of cold plasma on the phenolic composition and biogenic amine content of red wine[J]. *Food Chemistry*, 2022, 381: 132257.
- [54] ZHANG Q A, XU B W, CHEN B Y, et al. Ultra-

- sound as an effective technique to reduce higher alcohols of wines and its influencing mechanism investigation by employing a model wine[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 61: 104813.
- [55] SIDDEEG A, ZENG X A, RAHAMAN A, et al. Quality characteristics of the processed dates vinegar under influence of ultrasound and pulsed electric field treatments[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 56(9): 4380–4389.
- [56] JIMÉNEZ-SÁNCHEZ M, DURÁN-GUERRERO E, RODRÍGUEZ-DODERO M C, et al. Use of ultrasound at a pilot scale to accelerate the aging of sherry vinegar[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 69: 105244.
- [57] ZHAI X Y, WANG X, WANG X Y, et al. An efficient method using ultrasound to accelerate aging in crabapple (*Malus asiatica*) vinegar produced from fresh fruit and its influencing mechanism investigation[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 72: 105464.
- [58] WANG Z B, LI T T, LIU F Y, et al. Effects of ultrasonic treatment on the maturation of Zhenjiang vinegar [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017, 39: 272–280.
- [59] YIKMIŞ S, BOZGEYİK E, LEVENT O, et al. Organic cherry laurel (*Prunus laurocerasus*) vinegar enriched with bioactive compounds with ultrasound technology using artificial neural network (ANN) and response surface methodology (RSM): Antidiabetic, antihypertensive, cytotoxic activities, volatile profile and optical microstructure[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(10): e15883.
- [60] CHEN X R, LUO Y J, QI B K, et al. Improving the hydrolysis efficiency of soy sauce residue using ultrasonic probe-assisted enzymolysis technology[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2017, 35(Part A): 351–358.
- [61] ALVES L DE L, DONADEL J Z, ATHAYDE D R, et al. Effect of ultrasound on proteolysis and the formation of volatile compounds in dry fermented sausages[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 67: 105161.
- [62] ALVES L DE L, SILVA M S DA, FLORES D R M, et al. Effect of ultrasound on the physicochemical and microbiological characteristics of Italian salami[J]. *Food Research International*, 2018, 106: 363–373.
- [63] YIKMIŞ S, AKSU F, ALTUNATMAZ S S, et al. Ultrasound processing of vinegar: Modelling the impact on bioactives and other quality factors [J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1703.
- [64] WANG Y C, XU K K, LU F, et al. Increasing peptide yield of soybean meal solid-state fermentation of ultrasound-treated *Bacillus amyloliquefaciens* [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2021, 72: 102704.
- [65] GAO X L, ZHANG J K, LIU E M, et al. Enhancing the taste of raw soy sauce using low intensity ultrasound treatment during moromi fermentation [J]. *Food Chemistry*, 2019, 298: 124928.
- [66] LUO D L, WU R Y, ZHANG J, et al. Effects of ultrasound assisted dough fermentation on the quality of steamed bread [J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 83: 147–152.
- [67] JUODEIKIENE G, TRAKSELYTE-RUPSIENE K, NAVICKAITE B, et al. Functionalization of soya press cake (okara) by ultrasonication for enhancement of submerged fermentation with *Lactobacillus paracasei* LUHS244 for wheat bread production [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 152: 112337.
- [68] SALIM A A, GRBAVČIĆ S, ŠEKULJICA N, et al. Enzyme production by solid-state fermentation on soybean meal: A comparative study of conventional and ultrasound-assisted extraction methods [J]. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 2019, 66(3): 361–368.
- [69] RUAN S Y, LI Y L, WANG Y C, et al. Analysis in protein profile, antioxidant activity and structure-activity relationship based on ultrasound-assisted liquid-state fermentation of soybean meal with *Bacillus subtilis* [J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2020, 64: 104846.
- [70] COUTINHO N M, SILVEIRA M R, GUIMARÃES J T, et al. Are consumers willing to pay for a product processed by emerging technologies? The case of chocolate milk drink processed by cold plasma [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 138: 110772.
- [71] JAEGER H, KNORR D, SZABÓ E, et al. Impact

of terminology on consumer acceptance of emerging technologies through the example of PEF technology

[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2015, 29: 87–93.

Effect of Ultrasound on the Microbes and Qualities of Fermented Foods

Tan Xiqian^{1,2}, Cui Fangchao¹, Lü Xinran¹, Li Xuepeng¹, Li Jianrong^{1,2*}

(¹School of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, Liaoning

²School of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457)

Abstract Fermented foods possess a distinct taste and nutritional worth, encompassing a variety of bioactive compounds. Ultrasound technology is a non-thermal processing technique that has been proven to sterilize, enhance the production of active products, and modify the macromolecular properties of food. Presently, there needs to be more organized discourse regarding the utilization of ultrasound technology in processing fermented foods. This article provide a comprehensive summary of the scientific advancements about the impact of ultrasound technology on microorganisms and the quality of various fermented foods throughout fermentation and storage processes. The influence of ultrasound on fermented foods is contingent upon the specific ultrasound processing settings, inherent features of the fermented food, and the types of microorganisms present. Ultrasound treatment, under varying circumstances, can impede the proliferation of detrimental microbes, guaranteeing fermented foods' safety. Additionally, it can regulate the functioning of probiotic strains to enhance the nutritional quality of fermented foods. Ultrasound treatment has the potential to improve the speed of fermentation, regulate the fermentation process, minimize excessive fermentation, augment the concentration of bioactive compounds in fermented foods, and provide nutritional and health advantages. This article serves as a guide for utilizing ultrasonic technology in industrial manufacturing and improving traditional fermented foods.

Keywords ultrasound; fermented food; microbe; quality; inhibition; regulation