

非热物理加工新技术 对食品品质的影响及应用

唐佳妮, 张爱萍, 孟瑞锋, 刘东红*

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江杭州 310029)

摘要: 阐述了超高压技术、辐照技术、脉冲电场技术、超声波技术等非热物理加工新技术的定义及特点, 并综述了这些新技术对食品成分的影响及其在食品加工中的应用。

关键词: 超高压技术, 辐照技术, 脉冲电场技术, 超声波技术

Effect of new physical nonthermal technology on food characters and its application

TANG Jia-ni, ZHANG Ai-ping, MENG Rui-feng, LIU Dong-hong*

(School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: The definitions and characteristics of four new physical nonthermal technologies (ultra high pressure, irradiation, pulsed electric field and ultrasonic wave) were stated, and the effect and application of these new technologies on food characters and processing were summarized.

Key words: ultra high pressure technology; irradiation technology; pulsed electric field technology; ultrasonic wave technology

中图分类号: TS205.9

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2010)03-0393-06

食品加工新技术是提升食品工业水平, 提高我国农产品国际竞争力, 保障食品安全的有效技术措施之一。超高压技术、辐照技术、脉冲电场技术、超声波技术作为非热物理加工新技术, 与传统的热加工和化学加工技术相比, 有其独特的优点: 避免了食品中残留的化学物质对人体的负面影响; 能更好地保持食品的原有风味或改善食品的质构。

1 超高压 (ultra high pressure, UHP) 技术

1.1 定义及特点

超高压技术是指将 100~1000MPa 的静态液体压力施加于食品物料上并保持一定的时间, 起到杀菌、破坏酶及改善物料结构和特性的作用。处理过程一般在常温下进行, 处理时间从几秒钟至几十分钟不等。由于超高压是基于对食品主成分水的压缩效果, 遵循帕斯卡定律 (Pascal's law), 因此对于不适合这一定律的干燥食品、粉状或粒状食品, 不能采用超高压处理技术^[1]。

当食品物料在液体介质中体积被压缩之后, 形成高分子物质立体结构的氢键、离子键和疏水键等非共价键发生变化, 结果导致蛋白质、淀粉等变性, 酶失去活性, 细菌等微生物被杀死。但在此过程中,

高压对形成蛋白质等高分子物质以及维生素、色素和风味物质等低分子物质的共价键无任何影响, 因此, 高压食品很好地保持食品原有的营养价值、色泽和天然风味^[2]。

1.2 对食品成分及品质的影响

1.2.1 蛋白质和酶 目前的研究结果认为, 超高压所导致的蛋白质变性是由于其破坏了稳定蛋白质高级结构的非共价键。一般认为, 超高压对蛋白质的一级结构没有影响, 对二级结构有稳定作用, 对三、四级结构影响很大^[3]。酶是一种特殊的蛋白质, 仅仅靠高压处理达到完全灭酶是相当困难的, 需要较高的压力和较长的作用时间。

1.2.2 淀粉 多数淀粉经超高压处理后糊化温度有所升高, 对淀粉酶的敏感性也增加, 从而使淀粉的消化率提高。不同来源的淀粉对超高压的耐性也不一样, 如小麦和玉米淀粉对超高压较敏感, 而马铃薯淀粉的耐压性较强。

1.2.3 脂类 高压对脂类的影响是可逆的。甘油三酯的熔点随压力的升高而升高, 在常温常压下为液态的油脂在更高的压力下将发生结晶, 这种现象遵循勒沙特列 (Le Chatelier) 原理。

1.2.4 水 水是多数食品的主要成分, 也是超高压加工时的传压介质。在超高压下, 水的冻结点下降, 体积缩小。高压冻结和解冻食品正是基于压力所导致的食品中水分的固-液相变化来实现的。

收稿日期: 2009-04-09 * 通讯联系人

作者简介: 唐佳妮 (1984-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品科学。

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2008BAD91B04)。

1.3 在食品加工中的应用

1986年,日本京都大学林力丸教授发表了超高压处理食品的报告之后,超高压处理技术引起了研究者的关注。1990年,日本率先将超高压技术应用于果酱上,此后又推广到果汁、酸奶、嫩化肉等食品。随后,该技术在欧盟、美国得到发展应用,我国在该技术领域目前尚处于开发应用阶段。

1.3.1 灭菌 高压会改变微生物的细胞形态结构,破坏细胞膜,同时会钝化酶的活性,抑制微生物细胞内的生化反应,影响DNA复制。对于酸性食品而言,超高压杀菌可以达到商业杀菌的要求;对于低酸性食品,超高压杀菌可以作为巴氏杀菌的辅助手段延长物料的贮藏期。芽孢对压力的抵抗力较高,结合其他处理方法或采用特殊的杀菌工艺也能达到杀菌要求。

1.3.2 改善食品品质 对黄酒使用50~150MPa,30min左右高压的处理,发现其酸度、色泽、风味不变,挥发酯含量提高10%~20%,呈苦、涩味的氨基酸比重下降,呈甜、鲜味氨基酸比重上升,从总体效果看,处理后酒口味变得更加鲜美、醇和、爽口、醇香更加浓郁。经高压处理后的肉在煮制后更嫩,有较高的水分含量和较低的剪切力值。另外,超高压技术还用于肌肉类食品的冷冻和解冻,显著改善食品中汁液流失的现象,改进冷冻食品的产品风味。

2 辐照(Irradiation)技术

2.1 定义及特点

辐照技术是近年来发展很快的一种非热力加工新技术。它是利用电离辐射(主要是指钴60产生的 γ 射线、加速器产生的电子束或x射线)与物质的相互作用所产生的物理、化学和生物效应,对物质或食品进行加工处理,实现射线对食品分子的修饰以及降解食品中有害物质的新型食品加工技术。该技术已被证明是一种能有效提高食品安全性,延长食品货架期的绿色食品加工方法。

与传统的食品保藏技术相比,食品辐照技术具有以下优点:处理过程中食品升温很小,利于保持食品的原有品质;节约能源,耗能少;射线(如 γ 射线)的穿透力强,可以在包装及不解冻的情况下辐照食品;无残留,不污染环境;可以改进某些食品的工艺和质量(如酒的辐照陈化,辐照牛肉更加嫩滑等)。同时,食品辐照技术也存在着一些不足:辐照效果与微生物种类密切相关,细菌芽孢和病毒对辐照的抵抗力较普通植物细胞强;常需要与其他保藏技术(如冷藏等)结合,才能充分发挥其优越性;运行成本较高,辐照装置都需要提供安全防护措施。

2.2 对食品成分及品质的影响

2.2.1 蛋白质 射线辐照会使某些蛋白质中的二硫键、氢键、盐键和醚键等断裂,从而使蛋白质的三级结构和二级结构遭到破坏,导致蛋白质变性;辐照也会促使蛋白质的一级结构发生变化。蛋白质的营养价值在很大程度上与其氨基酸组成有关,国内外大量研究表明,在食品辐照中所利用的剂量范围内,不会使蛋白质食品中的氨基酸组分发生明显的变化^[4]。肖蓉等人的研究表明,经适宜剂量(50kGy以下)照

射的食品,蛋白质营养成分无明显变化,氨基酸组分恒定;经7kGy辐照的腊牛肉,其蛋白质的损失仅为0.2%,影响较小^[5]。

2.2.2 脂类 脂肪分子经辐照后会发生氧化、脱氢等作用,产生典型的氧化产物、过氧化物和还原产物,它取决于脂肪的类型、不饱和程度、照射剂量、氧的存在与否等。饱和脂肪一般是稳定的,不饱和脂肪则易氧化,氧化程度与照射剂量成正比。动物性食品经40~50kGy的射线辐照后,脂肪的同化作用和热能价值并不发生改变,营养价值变化不大。比较辐照和加热处理甘油三己酸酯后形成的分解产物发现,产物的性质基本相似,但某些成分上存在一些定性与量的差别^[6]。

2.2.3 碳水化合物 碳水化合物分子经辐照后相对比较稳定,只在大剂量辐照后才引起氧化和分解。一般情况下,碳水化合物对辐照是很稳定的,只要采用杀菌剂量照射,对其消化率和营养价值几乎没有影响。使用20~50kGy之间的剂量不会使食品中碳水化合物的质量和营养价值发生变化。

2.2.4 维生素 维生素分子对辐射较为敏感,特别是维生素A、E、K,而维生素B(烟酸)对辐照不敏感,维生素D也相当稳定。牛肉在氮气中经20kGy剂量辐照,维生素A破坏率达66%,维生素E则没有损失;禽肉在氮气中分别经10、20、40kGy的辐照,其维生素A的降解率分别达58%、72%和95%;全脂牛奶经2.4kGy的辐照,维生素E损失40%;用约10kGy辐照鱼油时,没有发现维生素D被破坏^[6]。研究还表明,食品受20~25kGy剂量照射后维生素的破坏程度与加热相同^[7]。

2.3 在食品加工中的应用

辐照食品的安全性是几十年来食品辐照研究中研究最为深入的内容。1980年FAO/IAEA/WHO的会议认为:受辐照食品平均吸收剂量达到10kGy时,没有毒性危害,不存在特别的营养和微生物问题,没有必要再进行毒性实验。目前,全世界已有500多种辐照食品投放市场。根据食品辐照的目的及所需剂量,食品辐照分为以下三类(见表1)。

2.3.1 灭菌杀虫 从食品整体来说,正常的辐照条件对食品成分的影响较小,而对生命活动(包括食物本身、微生物或昆虫)影响较大。因此,辐照常用于新鲜食品的保藏。对于果蔬类食品,辐照的主要目的是防止微生物的腐败作用,控制害虫感染及蔓延,延缓后熟期和防止老化,使用低剂量的辐照即可达到较好的保藏效果。对于粮食类食品,一般用0.6kGy辐照可控制害虫,3~5kGy辐照可杀灭微生物,达到防霉的目的^[8]。在处理肉制品、蛋制品及水产品时,一般需要采取中、高剂量的辐照。

2.3.2 酒的辐照陈化 目前,辐照陈化在白酒中取得了显著成绩,有研究者用辐照处理薯干酒,发现酒中酯、酸、醛有所增加,酮类化合物减少,甲醇、杂醇含量降低,酒口味醇和,苦涩辛辣味减少,酒质提高^[6]。

2.3.3 降解有害残留物 有研究表明,电子束辐照对降解食品中的化学污染物有一定的作用。哈益明

表1 辐照在食品中的应用^[6]

级别	辐照目的	采用剂量(kGy)	被辐照食品
低剂量 (<1kGy)	抑制发芽	0.05~0.15	马铃薯、大葱、蒜、姜、山药等
	杀灭害虫、寄生虫	0.15~0.5	粮食类、鲜果、干果、干鱼、干肉、鲜肉等
	推迟生理反应(熟化作用)	0.25~1.0	鲜果蔬
中剂量 (1~10kGy)	延长货架期	1.0~3.0	鲜鱼、草莓、蘑菇等
	减少腐败菌,降低致病菌数量	1.0~7.0	新鲜和冷冻水产品、生和冷冻禽畜肉等
	食品品质改善	2.0~7.0	增加葡萄产汁量、降低脱水蔬菜烹调时间等
高剂量 (10~50kGy)	工业杀菌(结合温和的热处理)	30~50	肉制品、禽制品、水产品等加工食品,医院病人食品等
	某些食品添加剂和配料的抗污染	10~50	香辛料、酶的制备、天然胶等

等人^[9]研究了盐酸克伦特罗、呋喃唑酮、呋喃妥因及其代谢产物水溶液的电子束辐照降解,发现辐照对这些物质的降解有效,其中对盐酸克伦特罗溶液的降解率达95%。此外,研究发现,辐照可以不同程度地降解氯氰菊酯、敌草隆、有机磷农药乐果、甲胺磷、甲基对硫磷、氧化乐果等农药的残留^[10-11]。

3 脉冲电场(pulsed electric field, PEF)技术

3.1 定义及特点

上世纪90年代以后,脉冲电场技术作为一种新型的非热杀菌技术引起了人们的重视,对其灭菌机理以及灭菌效果等进行了大量的研究^[12-14]。研究重点主要放在高压脉冲电场的系统设计,灭菌模型的构建以及对食品中营养物质的影响等方面。

脉冲电场(PEF)技术利用高电压(15~100kV/cm)脉冲作用于物料,处理过程在室温、低于室温或稍高于室温的条件下进行,由于作用时间非常短(小于1s),物料的温度仍在常温范围内(可采用冷却的方法对处理过程中的物料进行冷却),由加热引起的能量损失极低。与传统方法相比,PEF技术有处理时间短、能耗低、食品物理化学性质改变小、营养风味变化不大等优点,非常适合热敏性的食品杀菌,目前主要用于液态食品物料的巴氏杀菌。使用该技术杀菌要求被处理的物料能够耐受高电场的作用,即具有低的导电性、不含有或不产生气泡,对液态物料中固体颗粒的大小也有限制。

脉冲电场(PEF)灭菌的作用机理目前还不明确,现有多种假说,如细胞膜穿孔效应、电磁机制模型、黏弹性形成模型、电解产物效应、臭氧效应等^[15-17],大多数学者倾向于认同电磁场对细胞膜的影响。细胞膜电穿孔(electroporation)效应假说认为,细胞膜由镶嵌蛋白质的磷脂双分子层构成,它带有一定的电荷,具有一定的通透性和强度,膜的外表面与膜内表面之间具有一定的电势差。当细胞上加一个外加电场,这个电场将使膜内外电势差增大,此时,细胞膜的通透性也随着增加,当电场强度增大到一个临界值时,细胞膜的通透性剧增,膜上出现许多小孔,使膜的强度降低。此外当所加电场为脉冲电场时,电压在瞬间剧烈波动,在膜上产生振荡效应。孔的加大和振荡效应的共同作用使细胞发生崩溃,从而达到杀菌目的。

3.2 对食品成分及品质的影响

3.2.1 蛋白质及酶 国内外研究者对蛋白食品在脉冲电场下的组分变化进行了研究,发现采用高压指

数衰减脉冲电场处理不同的蛋白浓缩液(β -乳球蛋白和卵清蛋白溶液、乳酸脱氢酶等),并没有引发显著的 β -乳球蛋白和卵清蛋白的扩散或集聚,脉冲处理后,乳酸脱氢酶没有失活^[18]。多年的研究发现,酶对PEF的抗性比微生物对PEF的抗性要强,这就使脉冲电场对酶处理的操作强度比微生物高一些^[19]。另外脉冲电场对酶的影响不是一成不变的,可能会有影响(失活或增活),也可能没有影响。这主要是因为脉冲电场对酶的作用受诸多因素的影响,比如操作参数、介质条件以及酶本身的条件等^[18]。

3.2.2 维生素 一般情况下,脉冲电场对食物中维生素的影响较小。Bendicho等^[20]研究高压脉冲电场对牛奶中维生素的影响,结果表明,除抗坏血酸外,其它维生素(包括水溶性和脂溶性)都没有变化。在22kV/cm 400 μ s 电场下抗坏血酸的保存率为93.4%,而低温长时杀菌(63 $^{\circ}$ C, 30min)处理的保存率为49.7%,高温瞬时(75 $^{\circ}$ C, 15s)处理的保存率为86.7%。Grah^[21]报道,经高压脉冲电场处理后牛奶中抗坏血酸的含量下降,而维生素A活性没有降低,牛奶的风味也没有发生变化。

3.2.3 色素及风味物质 采用脉冲电场处理果蔬汁能较好地保留其色素和风味物质。Cortés等^[22]应用30kV/cm的电场处理后发现,橙汁中的类胡萝卜素含量减少了6.3%,而热处理(90 $^{\circ}$ C、20s)后类胡萝卜素含量降低了12.6%。Cortés等^[23]比较了PEF处理后橙汁低温保藏期的色泽变化:PEF处理样色泽变化规律接近于未处理样;PEF处理样的非酶褐变情况较热处理样轻。Jia等^[24]将橙汁置于35kV/cm 场强下处理200ms后对其风味成分进行了分析,发现易挥发成分有87%得到保留,15%的苧烯和26%的丁酸乙酯损失了,但比热灭菌少(分别为60%和82%)。

3.3 在食品加工中的应用

目前国际上研究脉冲电场技术比较领先的是美国,已有商业的PEF灭菌处理体系,主要应用于处理一些新鲜或浓缩产品,如牛奶、橙汁、苹果汁、凤梨汁以及其它果汁、脱脂乳、液态蛋等。国内主要开展了果汁和牛奶的灭菌、灭酶等基础研究,相关研究现尚处于探索和起步阶段。

3.3.1 灭菌 脉冲电场灭菌技术具有灭菌效果好(达到灭菌6个数量级以上),杀菌时间短(数秒以内),杀菌温度低,处理均匀等优点。在美国,该技术最早的食物处理对象是液态蛋,采用传统的热灭菌法容易导致蛋白质变性。在国内,脉冲电场用于杀菌的

研究也有很多,其中吉林大学研究了发酵乳、原料奶中微生物的杀菌处理,中国农业大学、大连理工大学在啤酒酵母、大肠杆菌等灭活上也做了较多研究^[25]。

3.3.2 解冻 利用脉冲电场解冻食品,具有解冻速度快,解冻后食品温度分布均匀,汁液流失少,能有效地防止食品的油脂酸化等优点,而且一定强度的高压静电场对微生物具有抑制和灭杀的作用,有利于食品品质的保护。方胜等研究发现:电场脉冲频率对解冻时间缩短百分率影响不显著,而电场强度对冰解冻时间缩短百分率的影响比较明显^[26]。此外对冻豆腐、冻肉等冰冻食品都有明显解冻作用。

3.3.3 酒的陈化 殷涌光等^[27]利用高电压脉冲电场对白酒进行催陈研究。结果表明,高电压脉冲电场可以使白酒快速催陈,操作简便,速度快;处理后的酒样总酸、总酯和总醛等有所增加,总醇含量有所下降,酒体透明,陈香明显,辛辣味减少,柔和绵软,有余香。第二年,他们研究了高压脉冲电场对干红葡萄酒物性的影响,发现经过高压脉冲电场处理,增加酒中干浸出物的含量,提高酒的颜色稳定性,降低醇的含量,与陈酿葡萄酒成分变化趋势基本相同。

4 超声波 (ultrasonic wave) 技术

4.1 定义及特点

超声波是指频率在 $2 \times 10^4 \sim 1 \times 10^9$ Hz 之间的声波,属于机械波的一种,其传播遵循声波传播的基本规律,但同时又具有以下几个突出特点:超声波频率可以很高,传播的方向性较强,在液体、固体中传播时,衰减很小;超声波在传播过程中介质质点的振动加速度非常大;在液体介质中,当超声波的强度达到一定值后会产生空化现象^[28]。

超声波与媒质的相互作用分为热效应、机械效应和空化效应三种,其中空化效应是最重要的。超声波在液体中传播时,媒质不断受到拉伸和压缩,当液体受到的负压力足够强时,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。空化效应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。

4.2 超声波降解大分子物质的机理及对食品成分的影响

4.2.1 降解大分子物质的机理 根据超声波的物理作用机理及大分子的结构特点分析,超声波对大分子的降解作用主要是由机械性断键作用和自由基的氧化还原反应引起的。

超声波的机械性断键作用是由于物质的质点在超声波中具有极高的运动加速度,产生激烈而快速变化的机械运动,使得大分子物质的共价键断裂,从而导致高分子物质的降解。石秀东^[29]对 20kHz, 2.5×10^4 W/m² 的超声波在水中的传播情况进行计算,得出最大质点加速度达 2.27×10^4 m/s²,这种快速变化的机械运动足以引起高分子物质中共价键的断裂。

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产生的。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^[30]。

4.2.2 对食品成分的影响

4.2.2.1 淀粉 超声波处理能够改变淀粉的性质,加强其加工适应性,具有作用时间短,降解非随机性等优点。淀粉经超声波处理后,分子量能够降低至某一特定范围。Azhar^[31]、Isona^[32]、Seguchi^[33] 等人分别对马铃薯淀粉、糯米淀粉、小麦淀粉的超声降解现象进行了研究,均证实了超声处理对淀粉有良好的降解效果。此外,超声波处理还能使淀粉的表面出现穿孔现象,或使多糖类物质的分子结构发生变化或重组等。

4.2.2.2 蛋白质及酶 目前对牛乳中的蛋白质及酶研究的较多,因为超声处理在牛乳乳化中应用十分广泛。一般认为,超声波处理只会改变蛋白质的三、四级结构,而对一、二级结构无显著影响。Villamiel 等人^[34] 研究发现,超声处理后,全脂乳中乳清蛋白的变性作用远大于脱脂乳;超声波对酪蛋白胶粒的变性影响不明显。超声波对酶的影响作用比较复杂,其结果取决于超声波处理条件、强度及酶的性质。一般认为,单独的超声波作用对酶的影响很小,当与热协同作用时,能大大提高酶的失活程度。

4.2.2.3 脂肪球 超声波对介质所产生的空化作用以及剪切力能使乳中脂肪球的直径减小。对乳进行均质处理时,随着超声波处理时间的延长及流动速度加快,它对脂肪球体积减少的作用明显增强。在 75.5℃ 条件下,用超声波处理 102.3s,能使脂肪球的直径从 2.78~3.08 μm 降低至 0.57~0.95 μm^[34]。

4.3 在食品加工及检测中的应用

4.3.1 灭菌 超声波的灭菌作用主要是由于空化作用,杀菌所用频率一般为 20~100kHz,能量为 104kw/m²,波长为 3.0~7.5cm。1987 年,Ordenez^[35] 首次报道了超声和热共同作用杀死细菌的机理,并用于杀死蔬菜中金黄色葡萄球菌。朱绍华^[36] 用超声波处理酱油 10min,杀菌率达 75.5%,略低于巴氏杀菌(72℃) 78.7%,但达到了灭菌要求,且能保持原有的滋味和风味。王蕊^[37] 研究了超声波处理对牛奶保鲜的作用,发现 50kHz,60s,60℃ 超声波处理的原料乳,杀菌率达 87%,且对营养物质无任何破坏作用,在 15℃ 条件下保鲜 45h,仍能保持优良的感官性能。

4.3.2 萃取 超声辅助萃取广泛应用于中草药化学成分及食物资源活性成分的提取上。研究结果表明,与常规提取法相比,采用超声技术提取有效成分具有提取时间短、提取率高、提取温度低、有利于保护植物有效成分不被破坏等优点。目前,国内外研究者对多糖、多酚类、生物碱、醌类等生物活性成分的超声萃取进行了深入研究。

4.3.3 干燥与除气 对于热敏性物料,可借助超声雾化进行干燥。与传统的喷雾法相比,它具有干燥速度快、温度低、最终含水率低且物料不会被损坏或

表2 四种新技术的比较

	超高压技术	辐照技术	脉冲电场技术	超声波技术
加工手段	高压	γ 射线、电子束、x射线	高压脉冲电场	超声波
对被处理食品的要求	遵循帕斯卡定律的食品 (水分含量较高)	无	耐受高电场作用	液体(主要)、固体
主要应用	高压速冻及解冻	灭菌杀虫	液态食品杀菌	无损检测

吹走等优点。Gallego-juzrez^[38]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。空化效应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能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碎,由于空化过程非常迅速除气也在瞬间发生。

4.3.4 均质和乳化 超声波在液体中的空化效应能使新鲜牛奶达到均质的效果。研究表明,在超声波频率为40kHz,功率0.8W/cm²的条件下,牛奶的均质效果最为理想^[39]。此外,超声波对果汁^[40]、果酱^[40]、大豆蛋白^[41]等液体也具有乳化作用。

4.3.5 检测 低能量超声检测技术具有非破坏性、精确、设备廉价、能够对高浓度食品和不透明性材料进行检测的独特优势。在食品理化特性检测等领域的应用中具有巨大的潜力^[42]。该技术应用的关键在于建立声特性(声速、衰减系数和声阻抗)与产品特性(成熟度、硬度等)之间关系。目前,超声检测技术在乳品工业中用于检测非脂乳固体、总固形物等理化指标,浙江大学已研制出了基于此技术的快速乳成分分析仪。此外,超声检测技术在肉制品、面粉、果蔬产品的品质检测中有着良好的应用前景。

5 结语

四种新技术在食品上的应用均起源于上个世纪,辐照食品被看作是和平利用原子能的一个重要方向,自上世纪50年代起已在美国被广泛研究。而超高压技术、脉冲电场技术和超声波技术在食品中的应用研究均始于上世纪八九十年代。表2是对四种新技术特点及应用的简单比较。

上述四种非热物理新技术对食品品质和安全性的提高有着传统加工技术无法比拟的优越性,具有良好的应用前景。但是,这些新技术在国内尚处于实验室研究阶段,将其投入实际应用仍存在着一定的障碍:作用机理的研究不够深入,无法对实验进行必要的指导;新技术对不同食品处理工艺的技术参数和资料不完善;成套工业化生产设备不完备,造价高。然而,实用化和商业化仍是这四种新型技术的发展趋势。另外,与其他加工技术(如冷藏、巴氏杀菌、加热等)协同作用,互补长短,也是这三项新技术今后的研究方向。

参考文献

[1] 赵俊芳,赵玉生,姚二民.超高压技术处理食品的特点[J].食品科技,2006(10):11-13.

[2] 夏远景,薄纯智,张胜勇,等.超高压食品处理技术[J].食品与药品,2006,8(2):62-67.

[3] 陈复生.食品超高压加工技术[M].北京:化学工业出版社,2005:106.

[4] 汪勤清,哈益明,高美须.食品辐照加工技术[M].北京:化学工业出版社,2005:23.

[5] 肖蓉,徐昆龙,等.辐照保鲜对腊牛肉品质影响的初探[J].食品科技,2004(8):74-76.

[6] 曾庆孝.食品加工与保藏原理[M].北京:化学工业出版社,2007.

[7] 陈祖荫译.主要食品成分的辐射化学[M].北京:原子能出版社,1982.

[8] 陈飞东,赵芸,陆清儿.辐照技术在食品保鲜中的应用研究[J].杭州农业科技,2008(1):29-31.

[9] 哈益明,施惠栋,王锋,等.电子束辐照的研究现状和应用特点[J].核农学报,2007,21(1):61-64.

[10] Drake J L, Crowder L A, Ware G W, et al. Effects of X-irradiation on the toxicity of organophosphate insecticides to the house fly[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1971, 1(3): 373-380.

[11] 孙红杰,张志群.超声降解甲胺磷农药废水[J].中国环境科学,2002(3):457-459.

[12] San M M F, Sepúlveda D R, Altunakar B, et al. Evaluation of selected mathematical models to predict the inactivation of *Listeria innocua* by pulsed electric fields[J]. LWT - Food Science and Technology, 2007, 40(7): 1271-1279.

[13] Elez - Martínez P, Suárez - Recio M, Martín - Belloso O. Modeling the reduction of pectin methyl esterase activity in orange juice by high intensity pulsed electric fields[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1): 184-193.

[14] Zakhem H EI, Lanoisellé J L, Lebovka N I, et al. Behavior of yeast cells in aqueous suspension affected by pulsed electric field[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2006, 300(2): 553-563.

[15] Sale A J H, Hamilton W A. Effects of high electric fields on micro-organisms[J]. Biochim Biophys Acta, 1967, 148: 781-788.

[16] Zimmermann U. Electric breakdown, electroporation and electrofusion[J]. Rev Physiol Biochem Pharmacol, 1986, 105: 176-256.

[17] Vego - Mercado H, Pothakamury U R, Chang F J, et al. Inactivation of *E. coli* by combining pH, ionic strength and pulsed electric fields hurdles[J]. Food Res Int, 1996, 29(2): 117-121.

[18] 曾新安,陈勇.脉冲电场非热灭菌技术[M].北京:中国轻工业出版社,2005.

[19] 王维琴,王剑平.高压脉冲电场在食品灭菌方面的应用[J].农机化研究,2004(1):205-208.

- [20] Bendicho S, Espachs A, Arántegui J, et al. Effect of high intensity pulsed electric fields and heat treatments on vitamins of milk [J]. *Journal of Dairy Research*, 2002, 69: 113-123.
- [21] Grahl T, Märkl H. Killing of microorganisms by pulsed electric fields [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 1996, 45: 148-157.
- [22] Cortés C, Esteve M J, Rodrigo D, et al. Changes of color and carotenoids contents during high intensity pulsed electric field treatment in orange juices [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2006, 44(11): 1932-1939.
- [23] Cortés C, Esteve M J, Frígola A. Color of orange juice treated by High Intensity Pulsed Electric Fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice [J]. *Food Control*, 2008, 19(2): 151-158.
- [24] Jia M Y, Zhang Q H, Min D B. Effect of pulsed electric field processing on orange juice flavor analyzed by dynamic headspace gas chromatography (abstract) [J]. *Annual IFT Meeting*, 1996.
- [25] 胡珂文, 王剑平, 盖玲, 等. 高压脉冲电场在食品加工中的应用前景 [J]. *食品工业科技*, 2007(6): 226-229.
- [26] 方胜, 孙学兵, 陆守道, 等. 利用高压脉冲电场加速冰解冻的实验研究 [J]. *北京工商大学学报*, 2003, 21(4): 43-53.
- [27] 殷涌光, 赫桂丹, 石晶, 等. 高压脉冲电场催陈白酒的实验研究 [J]. *酿酒科技*, 2005(12): 47-50.
- [28] 刘芳, 赵峰. 超声波技术在食品生产检测和食品安全检测中的应用进展 [J]. *福建分析测试*, 2008, 17(4): 27-31.
- [29] 石秀东. 超声作用在食品加工中的应用 [J]. *包装与食品机械*, 1998, 16(1): 10-11.
- [30] 宋国胜, 胡松青, 李琳. 超声波技术在食品科学中的应用与研究 [J]. *现代食品科技*, 2008, 24(6): 609-612.
- [31] Azhar A, Hamdy M K. Sonication effect on potato starch and

- sweet potato power [J]. *J Food Sci*, 1979, 44(3): 801-804.
- [32] Isona Y, Kumagai T, Watanabe T. Ultrasonic degradation of waxy rice starch [J]. *Biosci Bioch Biochem*, 1994, 58(10): 1799-1802.
- [33] Seguchi M, Hignsa T, Mori T. Study of wheat starch structures by sonication treatment [J]. *Cereal Chem*, 1994, 71(6): 639-641.
- [34] Villamiel M, Jong P D. Influence of high-intensity ultrasound and heat treatment in continuous flow on fat, proteins and native enzymes of milk [J]. *J Agric Food Chem*, 2000, 48(2): 472-478.
- [35] Ordonez J A, Aguilera M A, Garcia M L, et al. Effect of combined ultrasonic and heat treatment (thermoultrasonication) on the survival of a strain of *Staphylococcus aureus* [J]. *J Dairy Research*, 1987, 54(1): 61-67.
- [36] 朱绍华. 超声波灭菌实验初探 [J]. *食品工业科技*, 1998(1): 12-14.
- [37] 王蕊, 高翔. 超声波在原料乳保鲜中应用的研究 [J]. *中国乳品工业*, 2004, 32(6): 35-37.
- [38] Gallego-Juzrez J A, Roderiguez-Corral G, Moraleda J C G, et al. New high-intensity ultrasonic technology for good dehydration [J]. *Drying Technology*, 1999, 17(3): 597.
- [39] 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): 42-43.
- [40] 王静, 韩涛, 李丽萍. 超声波的生物效应及其在食品工业中的应用 [J]. *北京农学院学报*, 2006, 21(1): 68-76.
- [41] 朱建华, 杨晓泉. 超声处理对大豆蛋白表面性质的影响 [J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(3): 16-19.
- [42] Mulet A, Benedito J, Golas Y. Noninvasive ultrasonic measurements in the food industry [J]. *Food Reviews International*, 2002, 18(23): 123-133.

(上接第 371 页)

液^[4]。取适量按实验方法进行测定 Cu(II) 的含量, 结果如表 1, 与分光光度法^[10]测定结果相符。取一定质量的 Cu(II) 加入到已知的待测样品中, 与未加标准样品同时经过分析与测定步骤, 得到加标与未加标样品测定结果, 结果如表 2, 求得回收率在 95.0%~102.5% 之间。

表 2 回收率实验

样品	加入铜量 (μg)	回收铜量 (μg)	回收率 (%)
1	0.40	0.39	97.5
2	0.40	0.38	95.0
3	0.40	0.41	102.5
4	0.40	0.39	97.5

3 结论

通过对 Na_2SO_3 还原 Cu(II) 生成 CuSCN, 并进一步聚集形成 $(\text{CuSCN})_n$ 微粒的共振散射光谱研究, Cu(II) 的浓度在 0.018~1.86 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内与 380nm 处共振散射强度之间存在着良好的线性关系, 检出限为 0.0014 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。利用该方法测量饮料中微量元素铜, 方法简便、仪器简单、灵敏度高、重现性好, 结果令人满意。

参考文献

- [1] 边俊生, 陕方, 李艳琴. 石墨炉原子吸收法直接测定酒、饮

- 料中铜、锰、铅 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2000, 20(3): 381-384.
- [2] 周兆平, 彭茵, 李宏岩. 火焰原子吸收光谱法测定粮食中的铜 [J]. *光谱实验室*, 2007, 24(3): 147-148.
- [3] 凌育赵. 饮料中微量铜的分光光度法测定 [J]. *广东微量元素学*, 2004, 20(4): 108-109.
- [4] 王硕, 代永刚, 朱华平, 等. 碳酸饮料中微量铜的测定 [J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(12): 123-125.
- [5] 梁爱惠, 蒋治良, 陶慧琳. 一个灵敏测定过氧化氢的吡啶红共振散射光谱新方法 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2007, 27(1): 120-122.
- [6] 梁爱惠, 张南南, 蒋治良, 等. 银纳米微粒共振散射光谱法测定羧基自由基及其应用 [J]. *中国科学 B 辑*, 2008, 38(1): 35-42.
- [7] JIANG Zhiliang, Pan Hongcheng, Yuan Weien. Change color effect and spectral properties of goldnanoparticle-cationic surfactants system [J]. *Chemical Research in Chinese Universities*, 2004, 20(5): 523-527.
- [8] 杨静, 廖力夫, 杨江柳, 等. 光化学催化动力学共振光散射法测定痕量铜 [J]. *分析实验室*, 2007, 26(3): 110-113.
- [9] 蒋治良. 纳米粒子与共振散射光谱学 [M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2003: 90.
- [10] GB/T5009.13-1996. 食品中铜的测定方法-二乙基二硫代氨基甲酸钠法 [S].