

超声波技术在肉品加工中的应用

冷雪娇,章林,黄明*

(南京农业大学国家肉品质量安全控制工程技术研究中心,江苏南京 210095)

摘要:综述了超声波技术的基本原理及其在肉品的嫩化、腌制、检测、杀菌、解冻以及对酶活影响中的应用,讨论了超声波技术在肉品加工中的研究现状及以后的发展趋势。

关键词:超声波,肉品,嫩化,腌制,检测,杀菌,解冻

Application of the ultrasound technique in meat processing

LENG Xue-jiao,ZHANG Lin,HUANG Ming*

(National Center for Meat Quality and Safety Control,Nanjing Agricultural University,Nanjing 210095,China)

Abstract:The mechanism and use of ultrasound in curing,tenderizing,inspection,sterilization,thawing and the impact of enzyme activity were reviewed.Meanwhile,current and future studies of ultrasound technology in meat products processing were discussed.

Key words:ultrasonic;meat products;tenderizing;curing;inspection;sterilization;thawing

中图分类号:TS251.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2012)10-0394-05

随着经济的发展、人们生活水平的不断提高,人们对优质肉制品需求的不断增加,对肉类品质的研究逐渐上升到一个多角度多层次的高度。然而,尽管目前的肉品加工技术已经从传统加工方式转向机械化生产方式,肉品品质和加工效率依然是肉类工业中有待提高的方面。超声波技术以其空化效应、热效应、机械效应能够提高肉品的品质和加工效率,这在很大程度上缓解了人们对优质肉制品大量需求所带来的压力。超声波是频率高于 16kHz^[1],并且不引起听觉的机械弹性波。超声波的发生方法通常有 3 种,即机械发生、磁致伸缩振荡发生和电致伸缩振荡发生^[2]。目前,超声波在清洗、测量、医疗诊断、促进化学反应、强化传质、食品工业等中应用广泛。近年来,超声波技术作为一项新技术成为肉品工业中的研究热点,受到了广泛的关注,并逐渐应用于实际生产中,具有广阔的应用前景。超声波在肉类工业中的应用十分广泛,包括加快肉品腌制和解冻的速度、检测肉品成分、杀灭肉品中的微生物等。本文主要就超声波技术对肉品品质和加工效率的影响作一综述。

收稿日期:2011-06-13 *通讯联系人

作者简介:冷雪娇(1988-),女,硕士研究生,研究方向:肉类质量与安全控制。

基金项目:国家自然科学基金项目(30972133);江苏省自然科学基金项目(BK2009314)。

1 超声波技术的基本原理

1.1 超声波的发生方式

超声波的发生方法通常有 3 种,即机械发生、磁致伸缩振荡发生和电致伸缩振荡发生^[2]。其中机械发生的超声频率一般较低,通常在 20~30kHz 的范围内;磁致伸缩振荡发生是利用磁性材料的磁致伸缩现象的电—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;电致伸缩振荡发生是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 100MHz 以上甚至达到 GHz 量级的超声波。

1.2 超声波的作用机制

超声波对肉的作用来源于超声波处理过程中产生的空化效应、热效应和机械作用^[3-4]。

空化效应:液体中往往存在一些真空的或含有少量气体或蒸汽的小气泡,这些小气泡尺寸不一。当一定频率的超声波作用于液体时,只有尺寸适宜的小泡能发生共振现象,大于共振尺寸的小泡被驱出液体外,小于共振尺寸的小泡在超声作用下逐渐变大。接近共振尺寸时,声波的稀疏阶段使小泡迅速胀大;在声波的压缩阶段,小泡又突然被绝热压缩,直至湮灭。湮灭过程中,小泡内部可达几千度的高温和几千个大气压的高压。上述现象称为空化现象。

热效应:超声波在介质中传播的过程中,其振动

(1):27-32.

[46] YEOH S, J Shi, LANGRISH T A G. Comparisons between different techniques for water-based extraction of pectin from orange peels[J]. Desalination, 2008, 218(1-3): 229-237.

(9):S313-S314

[45] KIM M R, KIM W C, LEE D Y, et al. Recovery of narirutin by adsorption on a non-ionic polar resin from a water-extract of *Citrus unshiu* peels[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78

能量不断被介质吸收,并转变为热能,使自身温度升高。声能的吸收引起介质中整体的加热、边界外的局部加热、空化形成激波时导致波前处的局部加热等。超声波强度愈大,热作用愈强。

机械效应:超声波是一种机械振动能量的传播,会在液体中形成有效的流动与搅动,导致介质结构的破坏,液体中的颗粒被粉碎,达到普通低频机械搅动所达不到的效果。超声波的机械作用常被用于击碎、凝集、切割等方面。

2 超声波技术在肉品加工中的应用

2.1 超声波在肉类嫩化中的应用

肉类嫩化的技术很多,常用的有物理嫩化(滚揉、吊挂和电刺激等)、化学嫩化(添加磷酸盐、钙盐等)和生物嫩化(添加木瓜蛋白酶、菠萝蛋白酶等),但是物理嫩化会改变肌肉的组织结构影响美观^[5],化学嫩化会因注射添加剂而影响肉的风味并产生针状损坏^[6],生物嫩化会因注射酶液时导致肌肉的针状损坏,而超声波嫩化技术不会产生这些副作用^[7]。

超声波以其空化效应、热效应、机械效应可破坏肉中的溶酶体、肌原纤维蛋白和结缔组织,起到嫩化作用,但不影响肉的颜色、风味。超声波与氯化钙溶液相结合对牛肉品质的改善作用明显优于其它处理,可以较好地改善了肌肉组织的质构、色泽、持水力,提高了游离氨基酸的含量和熟肉的感官得分;氯化钙嫩化肉品会产生负面影响,超声波的协同使用可降低氯化钙的使用浓度,从而在有效改善肉质的同时,降低氯化钙对肉品质的负面影响^[8]。超声波处理能破坏溶酶体使组织蛋白酶和钙蛋白酶释放出来,同时肌原纤维蛋白和结缔组织也受到一定程度的破坏,从而达到嫩化作用^[9]。超声波处理的羊肉在自然成熟的过程中,肌原纤维的小片化程度加快,可溶性蛋白的浓度也有所增加,剪切力较对照组降低较快,可以使山羊肉成熟时间缩短3d^[10]。高强度超声(24kHz、12W/cm²)波处理可以显著地降低牛肉的剪切力、硬度、蒸煮损失,而不影响牛肉的色泽^[7]。新鲜牛肉通过超声波处理,可以很好地促进了牛肉中蛋白酶的分泌,使游离氨基酸含量增加,改变组织结构,从而改善肉的嫩度^[11]。

超声波在肉类嫩化方面的研究较多,但结果并不一致^[12]。一些研究表明,22~40kHz的低频超声波处理^[7,10,13]或低频短时间(25.9kHz、4min)处理可增加肉的嫩度,长时间(8~16min)超声波处理会导致肉嫩度下降^[14]。但也有研究表明超声波处理不能提高肉的嫩度,这可能是由于他们使用的超声波相对强度较低(0.29~1.55W/cm²)或者是由于高强度(62W/cm²)超声波短时间(15s)^[9]处理而不足以产生嫩化效应。因此,为了使超声波嫩化达到理想的效果应选择适宜的超声波强度和处理时间。

2.2 超声波在肉类腌制中的应用

在腌制过程中,超声波可激活某些酶与细胞参与生理化学的过程,通过改变反应物的质量传输机制,提高酶的活性,加速细胞新陈代谢过程,促进氯化钠的渗透与扩散,缩短腌制时间^[15]。David

Haydock 的研究表明超声波处理在肉的腌制过程中可使盐分的扩散系数增加^[16]。超声场能够强化渗透过程的质量传递^[17]。

据报道,使用超声波腌制猪肉时能破坏鲜肉的组织结构,加快食盐的渗透速度,可使腌制时间缩短2d,8℃条件下,超声波处理低盐肉制品3h即可完成腌制,明显的缩短了腌制时间,且超声波处理不会影响肉品的感官特性^[18]。超声波腌制有一个阈值,当超声波的强度超过该阈值时,样品的含盐量与超声波强度成正比,而且用超声波腌制时,样品的几何形状对腌制效果没有显著的差异性^[19]。超声波腌制的次数对腌制的效果不会产生显著的影响,与对照组相比,第一次超声波处理能显著提高食盐的渗透速率,第2、3次超声波处理对食盐的渗透速率影响不大^[20]。超声波腌制可以提高牛肉中多不饱和脂肪酸含量及多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸比值,低盐腌制结合超声波处理不仅可以缩短腌制时间,达到很好的腌制效果,对改善牛肉脂肪营养也有益^[21]。研究表明超声波辅助腌制猪背肉可提高NaCl的扩散系数,而且,NaCl的扩散系数与超声波的强度呈指数增长关系,适宜的频率和强度的超声波腌制不仅可以提高NaCl等腌制剂的渗透速度,而且可以改变肌肉组织的微观结构,提高肉质的保水性和质地^[22]。超声波的强度较高可能会导致肌肉蛋白质的变性,降低肉品的品质,但超声波的强度较低又难以达到促进腌制剂扩散和改善品质的目的^[20,23]。因此,腌制时应选择适宜的超声波强度和处理时间。

2.3 超声波对肉内源酶活性的影响

超声波可用来破坏细胞壁释放生物细胞的内容物,最近的研究表明适宜的超声波处理可以提高肉中酶的活性,增加酶促反应速率^[24],这是因为一定强度的超声波处理可使酶及底物分子构象发生变化,提高酶的水解活性^[25]。现在普遍认为,较低强度的超声作用下,超声强度同酶活力呈正相关,随着强度的增大,酶逐渐被激活,强度越高,酶的催化活力越高,但高强度长时间的超声波处理会降低酶促反应速率甚至使酶分子变性失活^[26]。因此,可通过适当的使用超声波,使酶促反应向有利于提高肉品品质的方向发生。

尚军等的研究表明超声波可击破合浦珠母贝肉的组织 and 细胞膜,改变酶分子构象,让酶与蛋白质充分接触,促进贝肉水解,提高酶解效率^[27]。鸭肉蛋白酶解预处理方法的研究表明,超声波预处理可以提高鸭肉蛋白的水解度,明显缩短酶解时间,有效防止肉酶解过程中的腐败^[28]。

2.4 超声波在肉类无损检测中的应用

超声波检测是一种声学特性分析法,其原理是超声波在被检测物料中传播时,物料的声学特性和内部组织的变化会对超声波的传播产生一定的影响,通过对超声波受影响程度和状况的探测了解物料性能和结构变化^[3,29]。食品不同组成成分的超声波性质存在差异,如声速、衰减系数和声学阻抗,差别越大,越易鉴别食品的组成状况^[30]。高频率

(100kHz~1MHz)低强度(小于 $1\text{W}/\text{cm}^2$)的超声波可作为评估食品品质的无损检测方法,分析食品的成分、硬度、成熟度、酸度等物理化学指标^[31-32]。利用高频超声波与物质之间的相互作用以获取被测物质内部的物理化学性质,超声强度小于 $1\text{W}/\text{cm}^2$ 可以避免对被分析食品的任何物理或化学的改变^[33]。

超声波以其无损检测的优点在肉品检测中应用广泛。Simal用超声波作为一种分析方法测定发酵肉制品的组成,通过测定不同温度下的超声波速度评估肉品中的脂肪、水分、蛋白的含量,结果表明超声波速度-温度曲线法具有一定的可靠性,可用于肉品的快速和无损检测中^[34]。超声波活体测量技术可预测宰后背膘厚、眼肌面积,且该预测模型具有显著的可靠性^[32]。利用超声波声速的变化检测剔骨鸡胸肉中的碎骨,可提高鸡胸肉的安全性^[35]。由于超声波在瘦肉和肥肉中的传播速度存在明显差异,因此能够通过简单的超声成像技术来检测动物活体或宰后畜体的脂肪层厚度^[36]。

2.5 超声波在肉类杀菌中的应用

超声波具有的杀菌效力主要是由其产生的空化作用所引起的^[37]。超声波产生的空化作用能在细胞壁与细胞质等非均相间产生微射流和局部高热、高压,对细菌、病菌等微生物有强烈的杀灭作用^[38]。超声波可抑制活细胞的增殖、影响酶的活性,提高杀菌效果^[26],当与其它方法相结合时杀菌效果更好,如与加热相结合,在肉品加工中使用高温加热法进行消毒杀菌会破坏肉品中某些营养成分和风味,而巴氏杀菌可有效地保持食品的营养与风味,当和超声杀菌相结合使用时杀菌效果更好。大多数微生物对温度不小于 50°C 下的超声波非常敏感,超声巴氏杀菌(50°C)与传统的巴氏杀菌相比,不仅杀菌效果更好而且能够更好地保存食品原有的物理化学特性如颜色、风味等^[39],而且不会破坏食品的组成成分^[40];超声波与高压联合使用,杀菌效果好于单独使用超声波杀菌^[41];畜肉及禽肉等肉制品中的大肠杆菌O157:H7、沙门氏菌和弯曲杆菌等食源性病菌特别是其形成的微生物膜一直是肉类工业难以解决的问题之一^[42],超声波与酶或螯合剂协同作用可有效地除去这些微生物膜^[43]。

2.6 超声波在肉类解冻中的应用

高强度超声波处理可以加速食品的解冻过程,这主要是因为超声波能加快热在介质的传递过程^[44]。Shore等人发现,超声波在冻结肉中比在未冻结肉中衰减程度大,而且这种衰减随着温度的增加显著增加,在起始冷冻点达到最大值,从超声波的衰减温度曲线来看,超声波比微波更适用于快速稳定地解冻^[45]。大体积冻结肉品的解冻过程很慢,采用高频或低频的微波解冻可以加快解冻过程,但是解冻效果会受到一定的限制。这是由于一味追求快速,容易导致热量散逸和表面过热现象的产生,并进而造成肉品解冻不均匀。Miles等人研究了频率为 $0.22\sim 3.3\text{MHz}$ 、强度低于 $3\text{W}/\text{cm}^2$ 的超声波对肉和鱼的解冻效果。他们指出超声波频率和强度分别为

500kHz 和 $0.5\text{W}/\text{cm}^2$ 时,表面过热现象可降到最低,而且猪肉、牛肉、鳕鱼肉样在 2.5h 内就能解冻到内部的 7.5cm 处,解冻时间与其建立的超声波模型预测值一致^[46]。因而,超声波解冻作为一种新型技术在肉类加工中具有广阔的应用前景^[47]。

2.7 超声波的其它方面应用

随着对超声波技术研究的深入,超声波在肉类行业的其它方面也得到了应用。超声波技术用在调味料、汤料等的萃取方面,可提高萃取速率和萃取物的质量。超声波辅助萃取蚕蛹油比单纯溶剂萃取法提取率明显提高,提取时间显著缩短,所提油脂品质良好^[48]。猪骨素是肉味香精制备原料,超声波处理猪骨素,可以提高可溶性蛋白质浸提率、猪骨素的溶解度以及处理后猪骨素的香气^[49]。超声波技术用在生肉和低温肉制品的保鲜方面可以延长肉类的货架期和保质期,保证产品质量,超声波和气调贮藏结合的技术处理可以延长冷却肉的保质期,并能改善冷却肉的嫩度^[50]。另外,超声波技术还可以应用于动物育种实践中,在肉羊育种中,背膘厚和眼肌面积是重要的选择性状,可通过超声波检测出背膘厚和眼肌面积预测育种动物的品质^[32]。

3 结论及展望

本文介绍了近年来超声波在肉品加工中的最新应用与进展。综上所述超声波技术是一种良好的肉品辅助加工方法,与传统的肉品加工方法相比,超声波能够有效地提高肉品的嫩度、缩短肉品的解冻和腌制时间、提高肉品的酶解速度、杀灭微生物。除此之外,超声波是一种较好的无损检测技术能够实现肉品加工过程中的在线检测。与其它肉品加工技术相比,超声波辅助加工还能够很好地保存肉品的原有风味和色泽。从目前对超声波技术的研究来看,超声波在肉品中应用的关键是控制好超声波的条件(如:超声波的强度、时间等),超声波条件的控制应随着其应用的不同而改变。在肉品嫩化、腌制、解冻等改善肉品品质及加工效率的应用中,应使用相对较低的超声波强度,而在肉品的无损检测中,就要使用高频率低强度的超声波。由于空化效应、热效应和机械效应,长时间的超声波处理会导致蛋白质的变性,所以在肉品加工过程中应严格控制超声波的处理时间。

随着研究的深入,超声波技术已经从化学、化工、医疗、医药和农药等领域延伸至食品行业,其快速、简便、低成本的特点为食品加工和质量控制工作带来很大的便利。超声波作为一种先进的肉品加工技术不仅可以提高肉品的品质和安全性还可以为新产品的开发提供条件,但目前的应用还不够深入广泛。为了使超声波技术能够更好地应用于我国肉品工业中,今后应积极拓展超声波技术在肉品工业中的应用范围:a.全面建立超声波处理过程中的数学模型以预测超声波处理过程中产品的物理、化学和口感属性的变化,从理论上解释超声波的作用机理;b.进一步研究超声波技术与其它技术联合使用的协同效应,提高肉品品质和加工效率;c.深入研究超声

波对肉的嫩化、腌制、解冻等技术,为超声波应用于快捷肉品加工提供理论依据;d.开发适应工厂化生产的超声波装置,将超声波技术在实验室取得成功的基础上逐步应用到实际生产中,提高工厂加工效率;e.制造快捷肉制品是超声波应用的一个新方向,今后需要重点研究超声波处理过程中快捷肉品的超声波处理对其质构和营养成分的影响。

参考文献

- [1] Soria A C, Villamiel M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(7): 323-331.
- [2] 赵旭博,董文宾,于琴,等.超声波技术在食品行业应用新进展[J].食品研究与开发, 2005, 26(1): 3-7.
- [3] McClements D J. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing [J]. Trends in Food Science and Technology, 1995, 6(9): 293-299.
- [4] 钟赛意.超声波在盐水鸭加工中的应用研究[D].南京:南京农业大学, 2007.
- [5] Rheim S O, Hildrum K I. Muscle stretching techniques for improving meat tenderness [J]. Trends in Food Science and Technology, 2002, 13(4): 127-135.
- [6] Lawrence T, Dikeman M, Hunt M, et al. Effects of enhancing beef longissimus with phosphate plus salt, or calcium lactate plus non-phosphate water binders plus rosemary extract [J]. Meat Science, 2004, 67(1): 129-137.
- [7] Jayasooriya S, Torley P, Darcy B, et al. Effect of high power ultrasound and ageing on the physical properties of bovine semitendinosus and longissimus muscles [J]. Meat Science, 2007, 75(4): 628-639.
- [8] 钟赛意,姜梅,王善荣,等.超声波与氯化钙结合处理对牛肉品质的影响[J].食品科学, 2007, 28(11): 142-146.
- [9] Lyng J G, Allen P, McKenna B. The effects of pre- and post-rigor high-intensity ultrasound treatment on aspects of lamb tenderness [J]. Lebensmittel - Wissenschaft und - Technologie, 1998, 31(4): 334-338.
- [10] 李兰会,张志胜,李艳琴,等.超声波在羊肉嫩化中的应用研究[J].食品科学, 2005, 26(4): 107-111.
- [11] 朱秋劲,罗爱平,林国虎,等.超声波和气调贮藏对冷却牛肉保鲜效果的影响[J].食品科学, 2006, 27(1): 240-246.
- [12] Jayasooriya S, Bhandari B, Torley P, et al. Effect of high power ultrasound waves on properties of meat: A review [J]. International Journal of Food Properties, 2004, 7(2): 301-319.
- [13] Pohlman F, Dikeman M, Kropf D. Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental color and cooking properties of packaged and unpackaged beef pectoralis muscle [J]. Meat Science, 1997, 46(1): 89-100.
- [14] Smith N, Cannon J, Novakofski J, et al. Tenderization of semitendinosus muscle using high intensity ultrasound [C]. IEEE, 1991: 1371-1374.
- [15] 郑玉婧,刘树滔,陈躬瑞,等.超声波技术在咸蛋腌制中的应用及其机理初探[J].福州大学学报:自然科学版, 1996, 24(3): 71-74.
- [16] Haydock D, Yeomans J. Acoustic enhancement of diffusion in a porous material [J]. Ultrasonics, 2003, 41(7): 531-538.
- [17] 董红星,相玉琳,王树盛,等.超声场作用下胡萝卜渗透脱水质量传递规律研究[J].哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(2): 189-193.
- [18] 蔡华珍,王珏,梁启好.超声波处理对咸肉腌制影响的初步研究[J].食品与发酵工业, 2005, 31(12): 110-113.
- [19] Carcel J, Benedito J, Bon J, et al. High intensity ultrasound effects on meat brining [J]. Meat Science, 2007, 76(4): 611-619.
- [20] 蔡华珍,谭波.间歇式超声波处理对低盐咸肉腌制影响的初步研究[J].食品工业科技, 2007(2): 68-70.
- [21] 陈银基,鞠兴荣,周光宏.食盐腌渍与超声波处理对牛肉脂肪酸组成的影响[J].食品科学, 2009(19): 13-18.
- [22] Siro I, Ven C, Balla C, et al. Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(2): 353-362.
- [23] 蔡华珍,王银传.超声波技术加工低盐咸肉的工艺研究[J].食品科学, 2008, 29(2): 192-195.
- [24] 吕鹏,庄重,凌建亚,等.超声对酶的影响[J].生物技术通讯, 2004, 15(5): 534-536.
- [25] 朱少娟,施用晖,乐国伟.超声波对胰蛋白酶水解酪蛋白的影响[J].食品与生物技术学报, 2005, 24(2): 50-54.
- [26] Mason T J, Paniwnyk L, Lorimer J P. The uses of ultrasound in food technology [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 1996, 3(S3): 253-260.
- [27] 尚军,李来好,吴燕燕,等.响应面法优化超声波辅助蛋白酶水解合浦珠母贝肉的条件研究[J].食品科学, 2009, 30(18): 44-49.
- [28] 陈海燕,姜梅,戴飞.鸭肉蛋白酶解预处理方法的研究[J].香料香精化妆品, 2008(5): 9-12.
- [29] 罗贤清,陈建军,胡斌,等.超声波技术在食品安全检测中的新进展[J].农机化研究, 2007(9): 195-196.
- [30] 朱建华,杨晓泉,熊健.超声波技术在食品工业中的最新应用进展[J].酿酒, 2005, 32(2): 54-57.
- [31] Dem R, Ven A, Baysal T. The use of ultrasound and combined technologies in food preservation [J]. Food Reviews International, 2009, 25(1): 1-11.
- [32] 魏彩虹,李宏滨,刘涛,等.应用超声波技术快速预测羊背膘厚和眼肌面积的研究[J].中国畜牧兽医, 2011, 38(1): 236-237.
- [33] Llull P, Simal S, Benedito J, et al. Evaluation of textural properties of a meat-based product (sobrassada) using ultrasonic techniques [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53(3): 279-285.
- [34] Simal S, Benedito J, Clemente G, et al. Ultrasonic determination of the composition of a meat-based product [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 58(3): 253-257.
- [35] Correia L R, Mittal G S, Basir O A. Ultrasonic detection of bone fragment in mechanically deboned chicken breasts [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(1): 1-11.

(下转第 401 页)

- heating[J]. Journal of Food Engineering, 2004, 65(3): 403-412.
- [9] 李里特. 微波在食品加工中应用的原理和特点[J]. 食品工业科技, 1991(6): 3-7.
- [10] 范大明. 钙结合大豆蛋白的制备\特性及在微波春卷中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [11] 温雪馨, 芮汉明. 微波工作站对油脂组分微波升温特性的研究[J]. 食品工业科技, 2010(4): 100-103.
- [12] 潘薇娜. 微波对冷冻预油炸面拖食品脆性影响的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- [13] Bouchon P, Aguilera J M, Pyle D L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(9): 2711-2716.
- [14] Moreno M C, Brown C A, Bouchon P. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 101(2): 179-186.
- [15] Varela P, Fiszman S M. Hydrocolloids in fried foods: A review[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1801-1812.
- [16] Chen Chienli, Li Pinyi, Hu Wenhung, et al. Using HPMC to improve crust crispness in microwave-reheated battered mackerel nuggets: water barrier effect of HPMC[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(7): 1337-1344.
- [17] Chen Suder, Chen Huihuang, Chao Yuchien, et al. Effect of batter formula on qualities of deep-fat and microwave fried fish nuggets[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95(2): 359-364.
- [18] 严青. 可微波冷冻预油炸鸡肉串的研究与开发[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [19] 刘锐萍, 裴庆润, 张铁军, 等. 食品中磷酸盐的应用现状及存在问题分析[J]. 饮料工业, 2007(2): 9-11.
- [20] 马申嫣, 范大明, 严青, 等. 不同保水剂对可微波预油炸鸡肉串品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2009, 28(6): 753-758.
- [21] 周颖越, 程裕东. 单甘酯对微波复热食品阻水性能的研究[J]. 食品科技, 2006(10): 128-130.
- [22] 常俊晓, 谢新华, 潘治利, 等. 添加剂对微波熟制速冻汤圆感官品质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 166-169.
- [23] 周颖越, 朱炜. 微波食品阻水性能研究[J]. 现代食品科技, 2006, 22(3): 73-75.
- [24] 微波食品及其包装技术的现状和发展趋势[J]. 中国包装工业, 2008(4): 37-38.
- [25] 范大明, 陈卫, 赵建新, 等. 用大豆蛋白膜改善预油炸春卷微波加热后的脆性[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 265-268.
- [26] 廖彩虎, 芮汉明, 隋明军. 可微波预油炸鸡块的开发[J]. 现代食品科技, 2009, 25(11): 1330-1334.
- [27] 贾暑花. 基于微波真空方法的蓝靛果脆片膨化工艺研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
- [28] 韩清华, 李树君, 马季威, 等. 微波真空干燥膨化苹果脆片的研究[J]. 农业机械学报, 2006(8): 155-158.
- [29] Kaur B, Ariffin F, Bhat R, et al. Progress in starch modification in the last decade[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 26(2): 398-404.
- [30] Sajilata M G, Singhal R S. Specialty starches for snack foods[J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 59(2): 131-151.
- [31] 谢碧霞, 钟秋平, 谢涛, 等. 淀粉的特性与应用研究现状及发展对策[J]. 经济林研究, 2004, 22(4): 61-64.
- [32] 白逸速, 陈莹, 王树林, 等. 颗粒冷水溶胀淀粉在微波食品中的应用[J]. 粮食加工, 2007, 32(1): 64-66.
- [33] Walsh H, Martins S, O'Neill E E, et al. The effect of sodium lactate, potassium lactate, carrageenan, whey protein concentrate, yeast extract and fungal proteinases on the cook yield and tenderness of bovine chuck muscles[J]. Meat Science, 2010, 85(2): 230-234.
- [34] (上接第 397 页)
109-115.
- [36] Fisher A V. A review of the technique of estimating the composition of livestock using the velocity of ultrasound[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 1997, 17(2): 217-231.
- [37] 周红生, 许小芳, 王欢, 等. 超声波灭菌技术的研究进展[J]. 声学技术, 2010(5): 498-502.
- [38] 张宏康. 食品工业中的新型杀菌技术[J]. 粮油食品科技, 1999, 7(2): 3-4.
- [39] Knorr D, Zenker M, Heinz V, et al. Applications and potential of ultrasonics in food processing[J]. Trends in Food Science and Technology, 2004, 15(5): 261-266.
- [40] 闫坤, 吕加平, 谢跃杰, 等. 超声波技术在乳品加工中的应用[J]. 中国乳品工业, 2009, 37(11): 29-32.
- [41] Piyasena P, Mohareb E, McKellar R C. Inactivation of microbes using ultrasound: A review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 87(3): 207-216.
- [42] Sofos J N, Geornaras I. Overview of current meat hygiene and safety risks and summary of recent studies on biofilms, and control of *Escherichia coli* O157:H7 in nonintact, and *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat, meat products[J]. Meat Science, 2010, 86(1): 2-14.
- [43] Oulahal N, Martialgros A, Bonneau M, et al. Removal of meat biofilms from surfaces by ultrasounds combined with enzymes and/or a chelating agent[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2007, 8(2): 192-196.
- [44] Li Bing, Sun Dawen. Effect of power ultrasound on freezing rate during immersion freezing of potatoes[J]. Journal of Food Engineering, 2002, 55(3): 277-282.
- [45] Shore D, Woods M, Miles C. Attenuation of ultrasound in post rigor bovine skeletal muscle[J]. Ultrasonics, 1986, 24(2): 81-87.
- [46] Miles C A, Morley M J, Rendell M. High power ultrasonic thawing of frozen foods[J]. Journal of Food Engineering, 1999, 39(2): 151-159.
- [47] Zheng Liyun, Sun Dawen. Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes—a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(1): 16-23.
- [48] 吴晚霞, 李建科, 张研宇. 蚕蛹油超声波辅助萃取及其抗氧化稳定性[J]. 中国农业科学, 2010, 43(8): 1677-1687.
- [49] 俞琴. 超声波对猪骨素蛋白质浸提率和香气的影响[J]. 食品工业, 2010(3): 73-75.
- [50] 朱秋劲, 罗爱平, 林国虎, 等. 超声波和气调贮藏对冷却牛肉保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 240-246.