

# 改善可微波预油炸食品表皮脆性的研究进展

于彩凤,孔保华\*

(东北农业大学食品学院,黑龙江哈尔滨 150030)

**摘要:**随着微波炉的普及、人们生活节奏的加快,以及人们对食品品质更营养、更卫生、更方便的追求,可微波预油炸食品正逐渐成为方便食品发展的主流。然而预油炸及焙烤食品经过微波复热后,表皮脆性及焦糊感部分丧失,产生表皮失脆现象,使产品品质大打折扣。本文讨论了可微波预油炸食品表皮失脆现象产生的原因,提出改善产品品质的方法,并针对近年来相关配料的研究进展,借鉴国内外研究经验,提出新的微波表皮脆性改良剂以及微波食品品质控制的方法。

**关键词:**微波食品,预油炸,表皮脆性,变性淀粉

## Advanced in improving crust crispness of microwavable pre-fried food

YU Cai-feng, KONG Bao-hua\*

(College of Food Science, Northeast Agriculture University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** With the popular of microwave ovens, the living rhythm speeding up, and the pursuit of more nutrition, healthier, more convenient food, the microwavable pre-fried food grow rapidly. However, during microwave reheated, the crust crispness and baking color of pre-fried and baked food would be lost more or less. In other words, losing crispness impacts food qualities in a way. The review focused on reasons of microwave reheated pre-fried food losing crispness, and then discussed new methods to solve the crispness problems. We also regarded recently research progress of correlative ingredients as basis, used the experience of domestic and abroad research as reference, then developed some new functional ingredients of microwavable pre-fried food and put forward on new methods to improve the quality of microwave food.

**Key words:** microwavable food; pre-fried; crust crispness; resistant starch

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)10-0398-04

微波食品是指应用现代加工技术,对食品原料采用科学的配比和组合,预先加工成适合微波炉加热或调制,便于食用的方便食品<sup>[1]</sup>。微波食品有着方便、快捷、经济、实惠等诸多优点。随着微波炉的普及、人们生活节奏的加快、生活方式的转变,市场上可用微波炉加热烹制的食品正在迅猛发展,需求量正逐年加大。油炸裹粉类制品因其良好的口感,以及吸引人的色泽和风味,一直是广大消费者深爱的产品。加之近年来,随着人们对摄取脂肪所产生的健康威胁的关注,消费者开始追求健康、简单、快捷的加工方法,例如微波加热<sup>[2]</sup>。综合以上原因,可微波预油炸裹粉类的制品前景大好。

### 1 可微波预油炸食品的发展及存在问题

我国微波食品起步较晚,目前随着家用微波炉的普及,消费者对微波食品的需求也在增加。目前,我国可微波预油炸食品的生产还比较少,微波食品也只有点心类品种,如速冻包子、烧卖等<sup>[3]</sup>。造成可

微波预油炸食品市场上缺口的主要原因是微波复热后产品表面“浸湿”及“浸油”现象,使得产品口感难以达到消费者的需求。加之中式食品十分讲究色、香、味、形和产品结构等品质特点,这也给可微波预油炸食品开发带来了一定的困难。相比之下,美国、日本的食物市场上微波食品的种类繁多,对于可微波预油炸食品的研究也领先于我国<sup>[4]</sup>。美国是世界上家用微波炉普及率最高的国家,20世纪末,美国已有200多家企业包装上标有“可微波”字样,其产品主要包括各种餐后甜点、冷冻快餐、油炸土豆食品等<sup>[5]</sup>;从上世纪90年代前后,随着日本企业对微波食品研究力度的加大,以及多家公司对于微波食品风味添加剂研究的成功,新产品的开发取得了很大的成就,例如日本日水公司的“咖啡男爵”等。日本的微波市场也随之迅速扩大。

微波食品克服了家庭制作繁琐复杂的加工步骤,满足现代人们高效率的生活方式。但是由于微波加热与传统加热方式存在着显著差异,致使微波复热过程中食品表皮丧失香酥松脆的良好口感,严重影响到产品品质以及消费者的购买欲望<sup>[6-7]</sup>。可微波预油炸食品的研究尤其是表皮失脆问题的解决在国内外都是一个很大的挑战。

收稿日期:2011-06-21 \* 通讯联系人

作者简介:于彩凤(1988-),女,硕士研究生,研究方向:畜产品加工。

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(200903012-02)。

## 2 微波食品表皮“失脆”现象产生的原因

微波食品表皮“失脆”现象是由多方面原因综合引起的,主要包括微波复热过程中食品内芯水分大量迁移至表面而蒸发,产生的硬化及表面“浸湿”现象,以及预油炸和微波复热过程中产生的“浸油”现象等。

### 2.1 微波食品的表面“浸湿”现象

微波复热过程中食品内芯水分的不断迁移外逸以及表层水分不断蒸发产生表面“浸湿”现象,致使可微波预油炸冷冻食品外皮品质下降,粗糙而且缺乏细腻感和松脆的口感。根据对可微波预油炸食品表皮“浸湿”现象的研究分析,总结出这种不良现象的发生主要由于以下几个方面:

一是微波加热物料时,微波能够穿透并深入物料内部,并被物料吸收转换成热能,物料表面和中心同时被加热。水分子因具有特殊的极性结构,在微波作用下,它是影响食品材料升温的最主要因素,因此水分含量对微波的吸收能力影响很大<sup>[8-9]</sup>。由于表层水分不断蒸发,水分含量变低从而微波吸收能力变弱,因此表层温度低于里层温度,物料表面温度难以升高到理想温度,不能产生松脆的口感<sup>[10]</sup>。另外,温雪馨等<sup>[11]</sup>研究表明,表皮中所含有的大量油脂组分也是微波复热时影响表皮升温速度、决定食品内部水分是否向表皮迁移及迁移量的多少,进而影响表皮脆性的重要因素。

二是在微波加热过程中,从高温的内部到较低温度的外表面形成了温度梯度,而且因为内部蒸气压引起的“微波泵”现象,加速内芯水分迁移至较低温的表面,但是微波炉的冷空气却限制了表层水分的进一步的散失,导致表层含有大量的水分而不断浸湿<sup>[12]</sup>。

### 2.2 微波食品的表面“浸油”现象

“浸油”现象是与食品表面性质相关的一种现象。Bouchon等<sup>[13]</sup>研究表明,油炸过程中与内芯水分外逸相关而形成的内部蒸气压阻止了油汁浸入到预油炸食品的裹粉内部,因此油汁会集中在外壳的某些特定部位。但是在油炸过后的冷藏期间,存留在产品外壳中的油汁就会渗入到食品内部。Moreno等<sup>[14]</sup>研究表明微波食品饼皮表面质地的均匀性对“浸油”现象的影响很大,即对于同种制品而言,制品外表面质地越粗糙,表皮预油炸后存油率越高,“浸油”现象越严重。但是此结论并不能用于比较不同产品间表皮质地的粗糙程度与存油率及“浸油”现象之间的关系。当研究人员对马铃薯制品和面筋制品两者进行对比研究时,发现虽然马铃薯制品比面筋制品表面粗糙,但是马铃薯制品的表皮油汁存留量却相对较低、油炸过程中制品吸入的油汁量较少,但是冷藏过程中“浸油”现象却比较明显。研究人员还指出:制品表面的粗糙程度确实是影响油汁吸入量的一个关键因素,但是食品的其他相关特性例如微观结构等也可能对最终结果产生影响。

## 3 改善可微波预油炸食品表皮脆性的方法

如何解决可微波预油炸食品表皮“失脆”问题一直是国内外的研究热点。应该针对产生表皮失脆现

象的原因开发出改善表皮脆性的方法。综合国内外研究及文献得出,目前国内外解决此类问题的方法主要集中在以下三方面:

### 3.1 采用可食用涂层材料作为阻水屏障

对制品直接涂布涂层材料是解决可微波预油炸制品表皮失脆的一个主要措施。理想的涂层材料是可食用的、成膜性和阻水性较好的单一或复合材料。在过去的四十年里,亲水胶体一直被广泛使用,一方面它自身可以形成一个“不可见”的膜衣,另一方面它可与面糊体系中的其他成分共同作用,形成空间网状结构,二者都可以阻止油炸过程中食品吸入过量的油汁<sup>[15]</sup>。Chen Chien-Li等<sup>[16]</sup>研究在鲭鱼糜的外表面涂布含有2%羟丙基甲基纤维素(HPMC)的面糊,可以形成一个热的凝胶屏障阻碍微波复热过程中水分从肉糜迁移至外壳,从而提高了微波复热后鲭鱼糜制品外壳的脆性。Chen Su-Der等<sup>[17]</sup>研究得出,向面糊中添加1%的CMC(羧甲基纤维素钠)或是1%的HPMC时,微波后的油炸鱼肉块的保水性最强,含油量最低,并且添加含有1%的HPMC时,制品嫩度最好。

### 3.2 添加一些食品成分和添加剂抑制微波食品内芯水分的外逸

预油炸过程中,食品内芯中的水分大量迁移至表面,造成表皮失脆。因此,如果能有效的控制水分从内芯向表皮迁移,则可以在一定程度上改善微波后制品表皮失脆现象。严青<sup>[18]</sup>研究得出在肉制品中加入磷酸盐可以改善肉品质构,多种磷酸盐(焦磷酸钠、三聚磷酸钠、六偏磷酸钠)按一定比例复合使用效果更好,不同种的肉制品对混合磷酸盐要求的最佳配比是不同的。但有研究表明,大量添加磷酸盐会导致产品风味恶化及组织结构粗糙<sup>[19]</sup>。马申嫣等<sup>[20]</sup>针对可微波预油炸鸡肉串加工工艺,选用卡拉胶、变性淀粉、柠檬酸钠复配以替代复合磷酸盐的使用,在最佳配比条件下,添加无磷保水剂会使肉制品微波失水率显著低于添加复合磷酸盐保水剂的肉制品,并且添加无磷酸保水剂的肉制品在长时间冻藏后依然具有较好的持水能力。周颖越等<sup>[21]</sup>研究得出在鱼糜-大豆蛋白复合物中加入分子蒸馏单硬脂酸甘油酯(单甘酯)有助于增强阻水性,微波复热过程中失水率显著下降。常俊晓等<sup>[22]</sup>得出向微波熟制速冻汤圆中以一定比例添加单甘酯、复合磷酸盐、羧甲基纤维素钠(CMC)和黄原胶后,汤圆微波熟制后颗粒饱满、口感细腻、黏弹性好。周颖越等<sup>[23]</sup>研究得出甲基纤维素(MC)有效地提高了油炸冷冻微波复热鱼糜的大豆蛋白复合制品的阻水性,减少微波加热时内部水分的散失量,达到锁住水分的目的。

### 3.3 采用微波吸收材料作为微波食品的包装

微波吸收材料是常用的微波包装材料,也叫微波感受材料。通常是将微波感受材料与常规包装材料结合,以改善表皮升温特性,控制预油炸食品内芯水分向表皮的迁移。常用的薄涂层材料是在塑料薄膜(如PET)表面蒸镀或喷镀上适当厚度(大约10nm)的金属粒子,再与具有热稳定性的牛皮纸以层

压的方式复合在一起。例如蒸镀铝层、氧化锡涂布玻璃等技术。此类薄膜在微波场中几秒内就可以达到 250℃ 左右的高温。其吸收能量的原理具体为:金属涂层的厚度影响着材料的表面电阻性能,即涂层越厚,表面电阻越小。随着金属涂层厚度的减小,表面电阻逐渐增加,吸收微波的量也随之增加,当达到某一最佳厚度时,能够吸收大约 50% 左右的微波能量,类似于第二加热源,使食品表面产生类似油炸工艺所形成的焦黄色泽<sup>[24]</sup>。广义的微波吸收包装材料还包括在表皮中添加微波感受材料。其目的是使微波过程中,表皮迅速升温,减少微波食品内芯和表皮之间的温差,理想的状态是使表皮比内芯升温更迅速,形成从表皮到内芯的正向温差,阻止内芯水分向表皮的迁移。范大明等<sup>[25]</sup>研究得出涂布大豆蛋白膜能提高春卷外皮对微波的感受能力,缩小春卷表皮和馅心之间的温度梯度,进而可缩短微波复热时间,有效地保持了微波复热后的脆性。但是廖彩虎等<sup>[26]</sup>在可微波预油炸鸡块的表皮脆性研究中,将具有很强微波吸收特性的丙三醇和羰基铁添加到制品中,实验却未得到预期效果,可见在制品表皮中添加微波感受材料还有待于进一步研究。

### 3.4 对可微波预油炸食品的面糊外壳进行微波真空膨化

使用外裹粉的可微波预油炸食品,其外壳可产生不同的鳞片或颗粒外观及颜色,既丰富了产品的形式、增加了产品的脆性,又激发了消费者的购买欲、促进消费。但是微波复热常导致外壳发硬失脆。随着近年来微波膨化方法替代传统油炸膨化方法研究的深入,得出微波真空膨化果片可以防止营养素的大量破坏,以及在不用护色剂的条件下,也能有效保留水果原有的色、香、味,最终制成松脆可口的果片<sup>[27-28]</sup>。基于这一理论与现象,可以将外裹粉制成浆液,然后进行微波真空膨化,提高外裹粉的脆性;或者选用微波真空膨化部分或全部替代预油炸工艺。

## 4 可微波预油炸食品表皮脆性改良剂的开发

淀粉是可微波预油炸食品的面糊外壳的主要成分,因此,有必要深入研究淀粉与表皮失脆现象的关系,加以利用和改进。通过研究我们发现,微波造成面糊表层失水干燥,促使淀粉形成淀粉膜,而表层淀粉的结构即直链淀粉与支链淀粉的比例直接影响着形成淀粉膜的性质,研究表明,直链淀粉含量越高,淀粉膜的阻油、阻水性越好,产品的脆性越好。

变性淀粉是对天然淀粉进行适当的化学、物理和酶等方法处理所得到的淀粉衍生物。变性淀粉能够弥补天然淀粉的不足,并具有独特的利于加工生产的特性。Kauz 等<sup>[29]</sup>总结了近十几年生产变性淀粉的常用方法。变性淀粉在快餐行业中用作功能性配料,有助于得到人们喜欢的性状,例如提高膨胀率、增加脆性、降低吸油率,以及获得较好的整体食用品质。在低脂肪焙烤快餐行业,淀粉面糊以及聚合物能够替代脂肪和油,热熔性淀粉干粉添加到面糊中是经济实用的增稠剂,抗性淀粉能够提高快餐食品的纤维含量,增强营养性<sup>[30]</sup>。变性淀粉是微波食品

功能性配料中的重要成分之一,起着增稠和稳定的作用。通过控制食品内部水分的迁移,变性淀粉还可以作为薄膜涂层控制微波过程中水分的蒸发,改善表皮失脆现象。

颗粒冷水溶胀淀粉是一种经过化学处理并进行物理变性制成的一种变性淀粉,研究表明颗粒冷水溶胀淀粉具有很高的增稠效果以及粘度稳定性,淀粉用量降低 7%~10%<sup>[31]</sup>,微波后的产品具有很好的稳定性和平滑的质构。除了具有变性淀粉的通性以外,还具有很好的热稳定性、颗粒性和耐微波加热的特点<sup>[32]</sup>。Walsh 等人<sup>[33]</sup>还得出乳酸钠、乳酸钾、卡拉胶、乳清蛋白浓缩物、干酵母提取物、真菌蛋白水解酶对于提高牛颈肉的嫩度有显著影响。嫩度与制品的保水性和系水力密切相关,通常嫩度越好,表明制品的保水性和系水力越好。因此,我们可以提出设想,以上添加剂能否用于可微波预油炸制品中控制内芯水分的外逸,如果将它们单独或复合使用是否可用于改善可微波预油炸食品的表皮失脆现象。此设想有待于进一步用实验进行论证研究。

## 5 结论

油炸食品因其外酥里嫩的口感,以及焦黄色的诱人色泽,一直深受广大消费者喜爱,具有稳定的消费群体,但是传统油炸制品具有家庭油炸污染大、制作工艺繁琐、缺少合适的复热方式、油汁含量较高等缺点而不能满足现代人对高品质、快节奏生活的需求。可微波预油炸制品恰恰弥补了这些不足,加之人们对快餐青睐程度的逐渐增加、微波炉的全面普及,可微波预油炸食品的市场正在逐步扩大。如果能进一步改善可微波预油炸食品微波复热后的失脆现象,使微波制品能够形成传统油炸制品的酥脆口感及焦黄色泽,以及开发出更多的中西式相结合的可微波预油炸食品,都将会大力推动微波食品产业的蓬勃发展。

## 参考文献

- [1] 盛国华. 国内外微波食品概况及发展趋势[J]. 冷饮与速冻食品工业, 1999(1): 40-41.
- [2] Garg V, Mendiratta S K. Studies on tenderization and preparation of enrobed pork chunks in microwave oven[J]. Meat Science, 2006, 74(4): 718-726.
- [3] 刘树立, 王春艳, 王华. 我国方便食品的现状与发展趋势[J]. 中国食品添加剂, 2007(2): 131-135.
- [4] 臧靖巍. 微波技术及微波食品的研究状况与发展趋势[J]. 四川食品与发酵, 2002(4): 17-20.
- [5] 徐恩峰, 孔保华. 微波食品的研究与开发[J]. 肉类工业, 2003(5): 25-29.
- [6] 张灏, 陈卫, 颜正勇. 微波春卷“浸湿”原因的探讨[J]. 微波技术应用, 1999(5): 24-25.
- [7] Venkatesh M S, Raghavan G S V. An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials[J]. Biosystems Engineering, 2004, 88(1): 1-18.
- [8] Dinov D D, Parrott K A, Pericleous K A. Heat and mass transfer in two-phase porous materials under intensive microwave

- 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] 贾暑假. 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] 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.
- [35] 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.
- [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] 俞苓. 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.

(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] 俞苓. 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.