

过热蒸汽在肉类调理食品加工中的应用研究

胡宏海, 张泓*, 张雪
(中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193)

摘要: 对日本等发达国家肉类调理食品加工中过热蒸汽的研究与应用现状进行了较为系统的阐述。过热蒸汽技术具有缩短加热时间、提高出成率、脱油、减盐、抑制油脂氧化、改善食品质地、表面瞬时杀菌等效果, 作为一种新型加热调理技术已被广泛应用于肉类调理食品等食品加工领域。

关键词: 过热蒸汽; 肉类调理食品; 油脂氧化抑制; 表面杀菌

Research and Application of Superheated Steam in Prepared Meat Food Processing

HU-Honghai, ZHANG-Hong*, ZHANG-Xue

(Institute of Agro-Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: This paper provides a systematic review of the recent progress on research and application of superheated steam in prepared meat foods in developed countries, such as Japan. Superheated steam has been widely used as a new thermal processing technology in prepared meat foods and other fields owing to its advantages such as shorter heating time, higher productivity, oil and salt reduction, inhibition of lipid oxidation, improving food texture, instantaneous surface sterilization, etc.

Key words: superheated steam; prepared meat foods; inhibition of lipid oxidation; instantaneous surface sterilization

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123(2013)07-0048-05

热处理是食品加工过程中的一种主要调理手段。热处理可分为直接加热、间接加热和物料内部加热(自发加热)等形式。饱和蒸汽是水在沸腾状态下产生的水蒸汽, 在常压下为沸点温度, 是食品加工中常用的一种加热介质。而过热蒸汽是指饱和蒸汽继续加热后, 常压下温度高于沸点的无色透明的高温水蒸汽。

随着过热蒸汽技术的发展, 美国、日本等国逐步生产出用于食品加工的过热蒸汽装置或者电器。过热蒸汽在食品干燥、食品加工、食品烹饪等方面的应用越来越广泛^[1-10]。过热蒸汽干燥对提高干燥效率、降低干燥能耗、减少环境污染、提高产品质量具有重要的意义, 将过热蒸汽应用于食品干燥有着广阔的前景。使用过热蒸汽进行烹饪和食品加工具有食品受热均匀、加热速度快、食物更加美味、防止维生素流失等显著优点, 同时过热蒸汽技术还可以用于食品加工厂中输送带的清洗、杀菌以及食材加热处理、食物残渣的粉末化及除臭等。本文对日本等发达国家肉类调理食品加工中过热蒸汽的研究与应用现状进行了较为系统的阐述, 以期在肉类调理食品加工中更好地利用过热蒸汽。

1 过热蒸汽技术的特点

1.1 过热蒸汽技术介绍

过热蒸汽具有以下优点^[11-12]: 1) 过热蒸汽的热容量大, 具有极好的热传导性; 2) 加热初期在被加热体表面发生水的凝结, 之后凝结水被干燥; 3) 可实现低氧环境中的加热; 4) 可在常压下实现高温加热, 安全性高; 5) 设备共用性高、处理对象广泛: 通过改变过热蒸汽温度, 可对食品原料进行烧烤、熏蒸、干燥、炸制等各种不同的加工处理。可广泛应用于肉类、水产类^[13]、野菜类、水果类、面包类、点心类、面类以及坚果类等不同食品原料的加工。

1.2 传热特性

如图1所示, 普通烤箱是通过高温空气与被加热体接触, 通过对流传热进行加热(空气的比热是 $1.00\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$)。与之不同, 过热蒸汽除了对流传热(水蒸气的比热是 $2.01\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$)之外, 还通过过热蒸汽在被加热体表面发生凝结释放出的凝结热来加热物体。凝结热为 2256.7J/g , 热量很大, 被加热体在过热蒸汽凝结的同时吸收大量的

收稿日期: 2013-04-13

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303082-4); 中国农业科学院基本科研业务费增量项目(2013ZL013); 农业农村资源等监测统计经费(2130111)

作者简介: 胡宏海(1975—), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为传统食品加工与装备。E-mail: huhonghai@caas.cn

*通信作者: 张泓(1953—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为传统食品加工与装备。E-mail: zhang.h07@hotmail.com

热量,可急速升温。另外,过热蒸汽具有在低温部位优先凝结的特性,因此可抑制加热不均匀现象的发生。

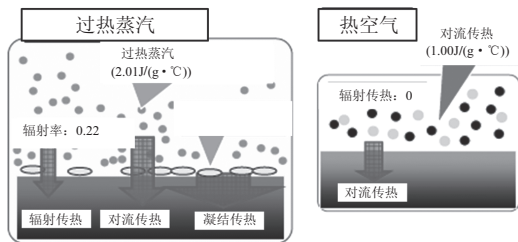


图1 过热蒸汽的传热特性^[11]

Fig.1 Heat transfer characteristic of superheated steam^[11]

1.3 凝结-干燥特性

图2所示为过热蒸汽加热时,食品中的水分变化曲线,随着加热方式的不同而呈现不同的趋势。过热蒸汽与食品接触后立即凝结为水,附着于食品表面,同时大量热量被传导到食品中,之后,随着食品温度的升高,食品中的水分开始被蒸发,经过复原过程,食品开始干燥。因此,采用过热蒸汽加热,食品内部的水分不会散失,所得产品内部鲜嫩多汁而表面干燥。采用高温空气时,由于水分一直从食品内部向外散失,食品内外的水分均会减少。普通水蒸气加热时,由于水蒸气会在食品表面凝结为水且不被干燥,导致最终产品内外发黏,影响食品感官和品质。

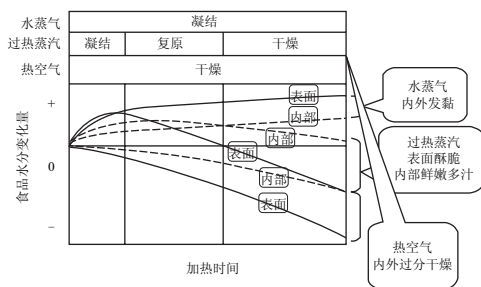


图2 加热过程中食品的水分变化^[12]

Fig.2 Moisture change of food during heating^[12]

1.4 氧气体积分数

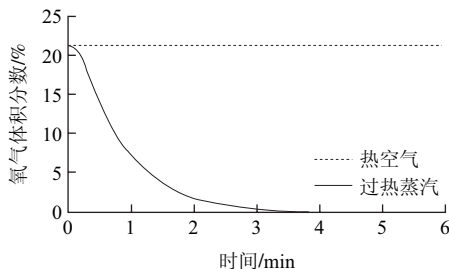


图3 加热空间氧气的体积分数变化^[12]

Fig.3 Change of oxygen concentration in oven^[12]

将过热蒸汽充入加热空间后,加热室内原本存在的空气被排除出去,氧气体积分数降低。如图3所示,热空

气加热时,加热空间的氧气体积分数一直保持在21%左右。而过热蒸汽加热时,随着过热蒸汽充满加热空间,氧气体积分数急速减少,4min之后氧气体积分数可降低到0.1%以下。因此,过热蒸汽技术可实现低氧或微氧环境下的食品加热。

2 肉类调理食品加工中的过热蒸汽技术研究现状

日本各大研究机构、大学以及企业的研究人员致力于应用过热蒸汽技术开发肉类调理食品的调理技术与装备。大量研究报告显示,过热蒸汽调理技术应用于肉类调理食品加工中,具有缩短加热时间、提高出成率、脱油、减盐、抑制油脂氧化、改善食品质地、表面瞬时杀菌等效果,可显著提高肉类调理食品的保质期与安全性。

2.1 加热时间短缩与出成率增加

原料肉在煮制、烧烤等加热调理过程中会产生一系列的物理化学变化,其中最明显的是肉汁流失,质量减轻。如何在保持调理肉制品品质的前提下提高出成率,是降低生产成本、提高效益的有效途径之一。大量数据表明,使用过热蒸汽技术代替传统的煮制、烤制等加工方式,可减少被加热食品原料的干燥,大幅提高出成率。其中,Kadoma等^[14]以牛肋排、猪肉、鸡翅等原料为研究对象,比较了热风烤炉和过热蒸汽等不同加热调理条件下的出成率,结果发现过热蒸汽可提高出成率5%左右。另外,Kawahara等^[15]将瘦猪肉绞碎后加入1.5%的食盐在乳钵中混合均匀制得肉糜,然后将肉糜制成厚度15~17mm,质量约50g的肉饼。然后用过热蒸汽(180、220、260℃)、烤箱(180℃)以及水煮(98℃)3种不同的加热调理方式将肉饼中心温度加热到90℃。表1是各种加热调理方式下猪肉饼的平均加热时间及出成率,结果表明过热蒸汽加热可大幅缩短加热时间及提高出成率,特别是与电烤箱相比,过热蒸汽加热可缩短加热时间60%,提高出成率约18.5%。

表1 猪肉饼的平均加热时间和出成率^[15]

Table 1 Comparison of superheated steam, oven roasting and boiling with water used to cook pork patties^[15]

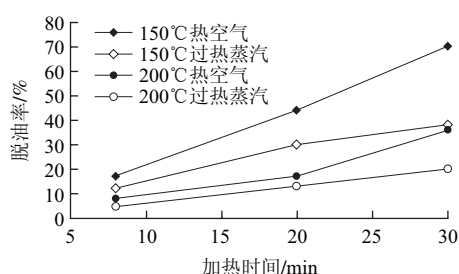
加热方法	加热时间/min	出成率/%
水煮(98℃)	14	84.37±0.19
电烤箱(180℃)	25	70.08±0.27
过热蒸汽(180℃)	10.3	88.55±0.41

2.2 脱油效果

日本研究人员以牛肉、鸡腿、牛肋排、猪肉饼等为研究对象,采用热空气和过热蒸汽对其进行加热调理,比较两种不同加热调理方式对脱油率的影响^[14-15]。结果表明,在150℃和200℃两种加热温度下,过热蒸汽加热的脱油率都是热空气加热的2倍左右(图4)。Kadoma等^[12,14]认

为过热蒸汽加热时脱油效果是由以下原因所致：食品置入过热蒸汽之中后，过热蒸汽与食品接触而导致温度下降，凝结为凝结水附着在食品表面。同时由于凝结热很大，食品的温度迅速上升，食品中的油脂开始融化，继续加热后，油脂的黏度降低，流动性变大而从食品中流出，另一方面食品的收缩也会促使油脂渗出。在食品表面积聚的油脂自然滴落或被凝结水洗脱下来。而高温空气是依靠对流传热来加热食品的，食品升温慢，食品表面不形成凝结水，所以食品表面积聚的油脂滴落所需的时间较长，从而脱油量比过热蒸汽加热时少。

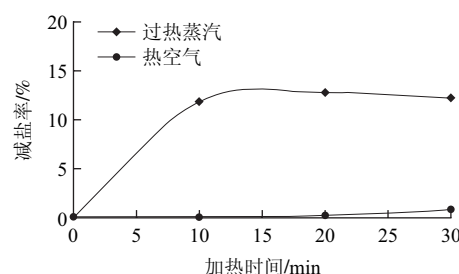
另外，应用过热蒸汽对油炸食品进行脱油处理，可从油炸食品的外衣中脱掉大约80%的油脂，产品的形状保持不变，而且冷冻以后再用微波炉解冻，仍可保持和刚炸好时的口感一样。近年，日本研究人员为了减少油炸肉制品中油脂含量，成功开发出一种过热蒸汽技术与油脂雾化技术相结合的新型炸制技术^[16]。该技术采用高温过热蒸汽先将食品加热到100℃以上，然后将经特殊装置雾化后的少量雾状油脂喷射到食品表面，再经短时间高温加热后即可达到油炸效果。所得产品既有传统油炸食品的香酥风味与口感，又大大降低脂肪含量。同时，由于炸制过程中只使用少量油脂，所以产生的废油量大幅减少，可提高油脂的利用率，节约废弃物处理费用，降低生产成本。

图4 脱油率的变化^[14]Fig.4 Change in oil reduction with heat treatment time^[14]

2.3 减盐效果

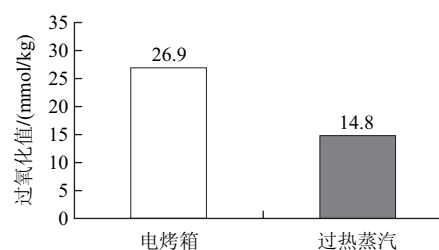
日本研究人员将鸡胸肉绞碎后加入10%的食盐混合搅拌均匀做成圆柱形肉饼(直径33mm, 高23mm, 约45g), 分别采用150℃的过热蒸汽和高温空气对其进行加热调理对比实验。结果发现, 高温空气加热时, 鸡肉饼中的盐分基本上没有减少, 而过热蒸汽加热时, 鸡肉饼的盐分含量降低了10%以上^[12]。由此可见, 过热蒸汽加热具有减盐效果。另外, 过热蒸汽加热10min后, 减盐率就达到10%, 之后基本不再增加, 说明减盐效果是发生在加热初期, 而加热后期则无此效果(图5)。另外, 为了研究减盐效果的机理, 日本研究人员用过热蒸汽对表面用水清洗干净的和未经清洗的盐鲑鱼进行了同样的加热调理实验, 结果发现两者的减盐率几乎一样。这说明

盐分在过热蒸汽加热过程中会从食品内部迁移到食品表面。由此推测减盐效果的机理如下：由于离子具有从浓度高的部位往浓度低的方向移动的特性(扩散作用), 加热初期, 食品表面食盐中的钠离子溶解于食品表面凝结水中而被洗脱下来。随着食品表面食盐钠离子不断溶解于凝结水中, 食品内部和表面的盐分产生一定的浓度差, 食盐内部的食盐钠离子因扩散作用迁移到食品表面, 而进一步被凝结水洗脱, 从而达到降低食品中盐分的效果。

图5 减盐率的变化^[12]Fig.5 Change in salt reduction with heat treatment time^[12]

2.4 油脂氧化抑制作用

以鲑鱼为样品分别采用280℃的过热蒸汽和电加热烧烤对其加热11min后, 为防止加热后的油脂氧化, 加热结束5min后用液氮对样品进行急速冷却并对产品的过氧化值进行了检测。如图6所示, 电加热烧烤后鲑鱼的过氧化值为26.9mmol/kg, 而过热蒸汽加热时过氧化值(peroxide value, POV)仅为14.8mmol/kg, 降低了大约一半。由此可见, 低氧环境下的过热蒸汽加热可有效抑制油脂的氧化。另外, 其他研究人员以猪肉、鸡肉、鱼油为原料进行了同样的实验, 结果都表明, 与传统的烤制、炸制等调理方式相比, 过热蒸汽加热均可显著抑制油脂的氧化。同时, 由于过热蒸汽加热调理是在低氧或者微氧环境下进行, 几乎不形成苯并芘等致癌物质(生成量是传统烧烤方式的1/30以下), 可提高食品安全性。

图6 过氧化值的比较^[12]Fig.6 Comparison of the effects of oven roasting and superheated steam on the peroxide value (POV) of fish^[12]

2.5 质地改善效果

近年来, 许多研究表明, 过热蒸汽加热技术可最大限度保持被加热食品的质地不受破坏, 实现高品质调理

加工^[17-19]。最近,日本大阪府立大学通过采用热空气和过热蒸汽两种不同的加热方式对鸡腿肉进行了调理对比实验,研究其对鸡肉质地的影响。研究人员将加热调理后的鸡腿肉中距离表面5mm的内部组织切片取样并电子显微镜下观察鸡肉组织质地变化。结果如图7所示,加热前的鸡腿肉组织结构完整,经过热蒸汽加热调理之后,鸡肉组织中肌原纤维被部分分解,但仍保持完整的组织结构。而经热空气加热后,鸡肉组织中肌原纤维发生分解、凝集,组织结构完全被破坏。这是由于过热蒸汽加热调理过程中,被加热食品表面在和几百度高温过热蒸汽接触的瞬間急速升温,同时过热蒸汽在食品表面凝结为水,可保证食品在快速升温过程中不发生水分散失,鸡肉组织不易发生干燥断裂,肉汁流失少,可保持鸡肉内部鲜嫩多汁,降低营养损失。采用过热蒸汽加热调理的鸡肉即使冷却以后,也不易变硬,保持良好的口感。而热空气加热调理时,水分散失严重,鸡肉组织细胞易发生干燥断裂,导致肉汁流失,营养成分损失,口感变硬。

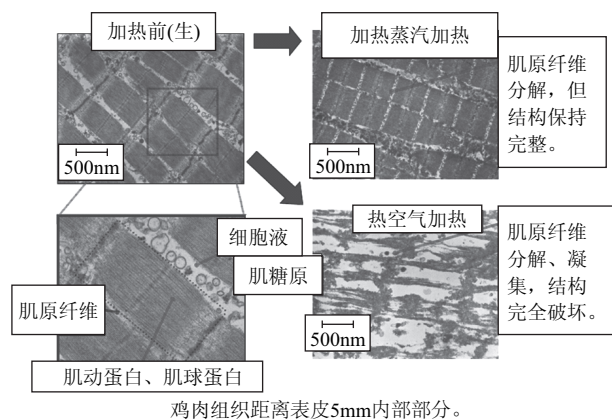


图7 加热调理后鸡肉内部组织结构变化^[20]

Fig.7 Changes of chicken internal structure after heating^[20]

2.6 表面瞬时杀菌效果

通常牛肉、猪肉等原料肉表面沾有大量的微生物,其中包括大肠杆菌O-157等致命微生物。如果不在加工成肉制品之前将原料肉进行减菌化处理,原料肉表面的致病微生物会在分割、绞碎、混匀等前处理工序中混入原料肉内部,增加杀菌难度,大大增大食物中毒发生的概率。因此,对原料肉进行表面杀菌对保证食品安全极其重要。目前,原料肉表面杀菌通常采用臭氧水、酸性电解水等化学杀菌方式,存在有害物残留、变色、品质下降等问题。另外,在日本也有采用火焰杀菌方式对生肉表面进行杀菌的实例,但由于生鲜肉表面一般凹凸不平,导致杀菌不均匀。过热蒸汽作为一种高效的表面瞬时杀菌方式,已被广大食品加工技术研究用于黄爪、土豆、生菜、西兰花以及水产制品的表面杀菌^[20-28]。最近,日本富士电机公司独立开发出一种新型过热蒸汽

杀菌装置并应用于牛肉等原料肉的表面杀菌。该杀菌装置采用电磁诱导加热方式产生高温过热蒸汽(最高温度可达450℃),温度波动范围小于1℃,可对温度进行精密控制。采用该装置对大块牛肉进行表面杀菌,结果显示由于过热蒸汽的渗透力强,牛肉表面的缝隙处都可实现高效杀菌,而整个杀菌过程只需数十秒,牛肉表面仅有0.1~0.2mm厚度的肉会因受热而发生变性。目前,该装置在日本已被应用于对各种刺身等生食用原料的表面瞬时杀菌。

3 过热蒸汽调理装置研发现状

通常,过热蒸汽的发生方式通常分为燃油、燃气等间接加热法和电阻加热、诱导加热等直接(电器)加热方式。间接加热法是采用燃烧煤、油、汽等燃料的加热器对水进行加热产生饱和蒸汽,饱和蒸汽继续加热后成为过热蒸汽,这种加热方式热能转换率低,升温速度慢,单位时间产生的过热蒸汽量较少,能耗高,不能满足大量加热调理的需求。而电磁诱导加热采用内加热方式,加热体内部分子直接感应磁能而生热;热启动非常快,平均预热时间比电阻圈加热方式缩短60%以上;热效率高90%以上,可在短时间内产生大量高温过热蒸汽。同时,由于热阻小、热惯性低,可实现实时准确的温度控制。目前,常见的电磁诱导过热蒸汽发生装置是先采用燃油、燃气等间接加热法将水加热成饱和水蒸汽,再采用电磁诱导加热方式将饱和蒸汽进一步加热产生过热蒸汽^[29]。日本研究人员为提高过热蒸汽的产生效率,不断对加热方式进行技术革新。最近,日本富士电机公司成功开发出一种完全采用电磁诱导加热产生过热蒸汽的发生装置^[30]。该发生装置在电磁诱导加热体的下方设有温水槽,常温的水进入发生装置后通过冷却电磁诱导线圈获得热量而升温产生温水回流到温水槽中,温水在循环泵的作用下再次通过传热面积很大的电磁诱导加热体而被加热生成饱和蒸汽。饱和蒸汽通过加热体上部的汽水分离槽,再次进入电磁诱导加热体构造中,在磁场封闭的环境下,被继续加热生成温度提高到450℃的过热蒸汽。由于整个过程中基本不发生热量散失,热效率高达93%。另外,由于高温过热蒸汽会对电磁诱导加热体本身产生侵蚀作用,因此如何改善加热体的耐侵蚀性能也成为过热蒸汽发生装置的技术难题。近年,研究人员将加热体成分组成调整为Al₂O₃(70%)、MgO(30%),采用溶射加工方式制得电磁诱导加热体,其耐久性提高了5~10倍。

随着过热蒸汽发生技术的不断进步,日本食品机械生产企业陆续开发出了各种不同加工用途的过热蒸汽调理设备,既有满足厨房、小型企业需求的批量式调理装



置,也有可实现大量生产的连续化、自动化过热蒸汽调理装备。夏普、东芝、松下等日本著名家用电器制造公司先后开发出多系列家庭用过热蒸汽调理器,同时为客户提供与之相对应的丰富的菜肴制作方法,深得日本消费者的喜爱,广泛应用于家庭日常饮食调理制作中。

4 结 语

过热蒸汽技术作为一种新型的健康调理技术在日本等发达国家已得到广泛的研究与应用,而我国在这一食品加工技术领域鲜有研究。随着我国居民对健康、美味、安全、方便的食物需求的不断增长,通过借鉴日本等发达国家在过热蒸汽调理技术方面的成功经验,开发适合我国肉类调理食品加工的过蒸汽技术将会成为未来食品加工技术研究的重要方向之一。

参考文献:

- [1] 塚田直. 食品工業における加圧水蒸気と過熱水蒸気の利用[J]. 日本食品工学会誌, 1984, 31(8): 536-545.
- [2] 陈宇. 常压过热蒸汽在食品加工中的应用[J]. 食品与机械, 2001, 86(8):6-7.
- [3] 阿部茂, 吉川修司, 中野敦博. 農畜産物のブランディングの代替としての常圧過熱水蒸気の利用[R]. 日本: 新能源产业技术综合开发机构, 2003.
- [4] 北海道立纲走水产试验场. ボイル製品への過熱水蒸気の応用[G]. 日本: 水产加工情報, 2005.
- [5] 中川力夫, 辻村正之, 内山友和. 過熱蒸気を用いた食品殺菌技術の開発[R]. 茨城县工业技术中心, 2008, 37(33): 1-3.
- [6] 白丽青, 马晓建. 过热蒸汽干燥及其在食品干燥中的应用[J]. 农机化研究, 2008(9): 158-161.
- [7] 柘植圭介, 吉村臣史, 鹤田裕美, 等. 食品素材の高品質乾燥技術に関する研究[R]. 日本: 佐贺县工业技术中心研究报告书, 2010.
- [8] ICHIGE M, HABA Y, FUNAKOSHI G, et al. Experimental production of the pound cake containing the carrots dried by superheated steam[R]. 日本: 爱知县产业技术研究所, 2010.
- [9] SA-ADCHOM P, SWASDISEVI T, NATHAKARANAKULE A, et al. Drying kinetics using superheated steam and quality attributes of dried pork slices for different thickness, seasoning and fibers distribution[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(1): 105-113.
- [10] ISOBE S, OGASAHARA Y, NEGISHI Y, et al. Development of a new heating system by combining superheated steam and a hot water spray (Aqua-Gas) and its application to food processing[J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2011, 58(8): 351-358.
- [11] 鈴木寛一. 過熱水蒸気の特性: メカニズムと未解明の課題[M]//過熱水蒸気技術集成. 日本: NTS出版社, 2005: 1-16.
- [12] KADOMA T, KISHIMOTO T, TANAKA M, et al. Development of healthy cooking technology with superheated steam[J]. Sharp Technical Journal, 2005(91): 40-44.
- [13] 张泓. 水产菜肴的自动烹饪技术[J]. 渔业现代化, 2003(3): 33-34.
- [14] KADOMA T, SAKAI N, NAKAKADO C, et al. Water and oil transfer in meat during the superheated steam cooking[J]. Sharp Technical Journal, 2006(94): 10-15.
- [15] KAWAHARA S, NAKAMURA J, MUGURUMA M. Utilization of super-heated steam cooking for manufacturing of meat products[J]. Bulletin of the Faculty of Agriculture University of Miyazaki, 2007, 53(1/2):107-113.
- [16] 池上順尉. 揚げ物調理装置及び揚げ物調理方法: 日本, 2011-2196[P]. 2011.1.6.
- [17] HAMADA M, TERASHIMA D, HIRAYAMA S, et al. Comparison of food chemical properties of fish meat roasted by superheated steam heating and Propane-gas combustion heating[J]. Journal of national fisheries university, 2006, 55(1): 1-11.
- [18] MATSUMOTO M. Effect of superheated steam processing on keeping quality of dried persimmon fruit "Anpogaki"[J]. Reports of the Tottori Institute of Industrial Technology, 2007(10): 27-32.
- [19] ICHIGE M, YASUDA S, HABAY, et al. Properties of the carrots dried by superheated steam[R]. 日本: 爱知县产业技术研究所, 2009.
- [20] 濱田盛承, 太田康之, 河村公樹. 過熱水蒸気によるしらす干しの細菌数低下[J]. 日本水产学会誌, 2002, 50(3): 93-97.
- [21] 濱田盛承, 河村公樹, 浦博之. 過熱水蒸気によるしらす干すの殺菌効果[J]. 日本水产学会誌, 2003, 51(3): 67-72.
- [22] 西岡不二男, 浅岡大介, 山崎雅夫. 過熱水蒸気を用いたホタテ白干し製品の高品質化[J]. 日本食品科学工学会誌, 2004, 51(3): 167-171.
- [23] 阿部茂. 過熱水蒸気を用いた高温短時間処理による表面殺菌技術[M]//過熱水蒸気技術集成. 日本: NTS出版社, 2005: 61-74.
- [24] ABE T, MIYASHITA K. Surface sterilization of dried fishery products in superheated steam and hot air[J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 2006, 53(7): 373-379.
- [25] 幅靖志. 食品の殺菌技術としての過熱水蒸気の利用[R]. 愛産研 News, 2007.
- [26] ICHIGE M, HABA Y, KIMURA Y. Surface pasteurization of foods by superheated steam[J]. Aichi Industrial Technology Institute (AITEC), 2008, 12(7): 100-101.
- [27] AOYAMA Y, SHIGETA Y, WATANABE M, et al. Sterilizing ingredients and foods using superheated steam[J]. Bulletin of Hiroshima Prefectural Technology Research Institute Food Technology Research Center, 2009, 25(5): 29-32.
- [28] 長田早苗. アクアガス加熱の調理加工特性に関する研究[J]. 日本食生活学会誌, 2011, 22(3): 175-188.
- [29] 川村泰山, 佐谷英二, 井尻哲, 等. 新電磁誘導加熱システム (DPH) の食品への利用と将来への期待[J]. 食品と科学, 2000(1): 34-40.
- [30] 藤田満, 倉田严. 過熱蒸気発生装置と誘導加熱の新技術[J]. 富士时报, 2010, 83(2): 138-144.