

不同加热方式下凡纳滨对虾品质的比较分析

孙鲁浩, 毛伟杰, 张伟鸿, 吉宏武, 刘书成, 高静

(广东海洋大学食品科技学院, 水产品加工与安全重点实验室, 广东湛江 524000)

摘要: 本文探讨了水煮、蒸汽、焙烤、油炸、微波五种加热方法对对虾的重量减少率、色泽、弹性、蛋白质溶解性和综合感官品质的影响, 同时研究了各项指标的规律。结果表明, 焙烤加热减少虾仁的重量幅度最大, 水煮则相反; 水分的减少一定程度上能够影响虾仁表面的色泽, 蒸汽加热与水煮加热能提升虾仁的亮度, 蒸汽加热能够使虾仁颜色偏红, 油炸加热会使虾仁颜色偏黄; 油炸与焙烤加热能够保持虾仁的弹性及硬度, 进而提升其咀嚼性; 而蛋白质溶解度一定程度反映了不同加热条件下对虾蛋白质的变性程度, 水煮加热能够最大程度稳定离子键, 蒸汽加热能够增强疏水作用, 微波加热可以增加氢键。综合色泽, 香气, 滋味, 质地等多方面因素的感官评定结果表明微波加热对虾产品的感官评定分数最高。

关键词: 对虾; 加热方法; 重量损失; 颜色; 食用品质

文章编号: 1673-9078(2018)09-165-170

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.9.024

Comparative Analysis of the Quality of *Litopenaeus vannamei* Subjected to Different Heat Treatments

SUN Lu-hao, MAO Wei-jie, ZHANG Wei-hong, JI Hong-wu, LIU Shu-cheng, GAO Jing

(Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524000, China)

Abstract: This research examined the effects of boiling, steaming, baking, frying, and microwave heating on the weight reduction rate, color, elasticity, protein solubility and comprehensive sensory quality of shrimp, as well as the changing patterns of these indices. The obtained results showed that baking method led to the maximum weight reduction whilst boiling in water caused the opposite effect; The reduction of water could affect the color of shrimp surface to a certain extent. Steam heating and boiling heating could increase the brightness of shrimps, with steam heating making shrimps reddish. Frying could make the shrimp turn yellow; Deep frying and baking could maintain the elasticity and hardness of the shrimp, thereby improving its chewiness; Protein solubility reflects the degree of denaturation of the shrimp protein to some extent under different heating conditions. Boiling in water could maximally stabilize the ionic bond, whilst steam heating enhancing the hydrophobic effect and microwaving increasing hydrogen bonds. The sensory evaluation on factors such as color, aroma, taste and texture revealed that the microwaved shrimp product had the highest sensory score.

Key words: shrimp; heating methods; weight loss; color; edible quality

凡纳滨对虾营养丰富, 高蛋白低脂肪还富含人体所需微量矿物元素, 必需氨基酸、维生素和饱和脂肪酸等。同时因其味道鲜美, 被广大消费者所喜爱。但凡纳滨对虾的加工方法和条件对其食用品质将产生重要的影响。当今许多学者通过一种或两种加热方式对水产品品质进行研究, 包括微波加热、水煮加热、蒸汽加热和油炸加热等方法。在微波加热方面郭力等

收稿日期: 2018-03-17

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31301513); 广东普通高等学校水产品高值化加工与利用创新团队项目 (GD0U2016030503)

作者简介: 孙鲁浩 (1994-), 男, 硕士, 研究方向: 水产品加工与贮藏

通讯作者: 毛伟杰 (1973-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏

[1]的研究表明, 控制微波加热功率和时间可以控制中国龙虾质构和感官特性。池岸英等[2]研究了凡纳滨对虾的微波熟制工艺, 通过对比分析不同微波功率和加热时间对凡纳滨对虾持水性、色差、质构等特性的变化, 确定了微波热处理的最佳工艺条件。戴阳军等[3]利用响应曲面法优化了微波干燥刀额新对虾的工艺条件。目前微波加热对水产品品质影响的研究多集中在感官、风味和质构等方面, 对蛋白质的影响的研究则很少; 在水煮加热方面竹内友里等[4]研究了不同水浴加热温度条件下斑节对虾色差等物理性质的变化, 并探讨了肌原纤维蛋白微观结构的变化。目前水煮对水产品的研究多集中在加热温度和条件对水产品水分含量、颜色、体积、质构特性和微生物的影响; 杨

金生和尚雅丽等人研究了真空油炸对水产品营养成分的影响,油炸产品的品质受油炸温度和油炸时间的影响较大^[5]。

白青云和王南庆等人研究不同水分含量及干燥条件对焙烤虾仁感官品质的影响,发现感官评分随着水分含量的增加呈先升高后下降的趋势^[6]。但是微波加热,水煮加热,油炸,焙烤,蒸汽加热等加热方法将对虾加热到相同温度时,在研究对同一温度下对虾品质产生的影响方面尚不十分明确。本文探讨了不同加热方法对凡纳滨对虾食用品质的影响,对比了对虾在不同方法加热后感官品质、重量减少率、色泽、弹性、蛋白质溶解性的变化,并进行了相关性分析。为不同产品需求选择不同的加工方法提供理论数据依据,有利于建立起对虾深加工研究体系,并探讨了不同的加热方式对对虾品质的影响。

1 实验内容

1.1 实验材料与试剂

材料:凡纳滨对虾(17~19 cm),购自湛江水产品批发市场,均为新鲜活虾。试剂:氯化钠和尿素购自天津鼎盛鑫化工有限公司;Lowry法蛋白质含量测定试剂盒购自上海荔达生物科技有限公司,试剂均为优级纯。

1.2 仪器与设备

分析天平(FY-300)产自研精工业株式会社;色差仪(NF333)产自日本电色工业株式会社;质构仪(RE-3305-1Y)产自山电公司;恒温水浴槽(TRL-117NF)产自Thomas公司;高速离心机(CF15RX II)产自日立公司;紫外分光光度计(UV-1800)产自岛津公司;Photon光纤温度记录仪产自Photoncontrol公司;电磁炉(WK2102T)微波炉(NN-DF382M)产自广东美的电器制造有限公司;红外烤箱用自Panasonic公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

将冷冻虾仁从冷柜中取出,置于4℃的冰箱中解冻12h,剪去带壳虾体的尾巴和脚,留虾仁备用。预处理前从解冻好的虾仁选取重量和体长相近的,用滤纸擦干虾仁表面的水分,用电子托盘天平称重,记录各平行实验样品的重量 M_1 后,置于编好号的封口袋中,冷藏待用。样品准备好之后,取出封口袋中的虾

仁,将无纸记录仪温度探针插入虾仁第二腹节中心,再将虾仁分别放入到微波炉(调节微波炉至中低火280W,进行微波加热);水浴锅(调节水浴锅温度为85℃,进行水煮加热);电磁炉(利用电磁炉将油加热至150℃左右,进行油炸加热);红外烤箱(进行先将红外烤箱预热,温度控制在80~90℃之间进行烘焙);电磁炉(调节电磁炉800W,进行蒸汽加热);当虾仁中心温度到达81℃时,迅速取出样品,置于封口袋中,再冰水冷却30min。

1.3.2 各项指标的测定方法

1.3.2.1 虾体重量减少率测定

加热前,取出冷冻好的虾仁,擦干表面水分,用电子托盘天平称重 M_1 ;热处理后,记录样品冷却的质量为 M_2 ,利用公式1计算热处理后重量减少率,每种加热方法处理后平行测定6次^[7]。

$$\text{重量减少率}(\%) = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100\% \quad (1)$$

1.3.2.2 色差测定

取出处理好的虾仁,擦干水分,在第二腹节处进行色差的测定,先测带壳的,平行测定6次后剥掉外壳,再进行色差的测定。记录 L^* , a^* , b^* 。 L^* 值越大则说明亮度越大; a^* 值表示红绿偏向,(60)红色到绿色(-60); b^* 表示黄蓝偏向,黄色(60)到蓝色(-60),每组平行测定6次^[8]。

1.3.2.3 质构测定

以剥壳虾仁第二腹节为测定目标,使用质构仪测定TPA,设置质构仪参数,平底柱形探头直径5mm,测试速率1mm/s,压缩程度50%,每组平行测定6次。记录弹性,硬度和胶粘性^[9]。

1.3.2.4 蛋白溶解度测定

从采用不同加热方法的对虾样品中截取第二腹节和第三腹节,用剪刀剪成碎末,分别称1.00g虾肉,加入25mL SA(0.05mol/L NaCl)、SB(0.6mol/L NaCl)、SC(0.6mol/L NaCl, 1.5mol/L Urea)、SD(0.6mol/L NaCl, 8mol/L Urea)。冰水浴中用组织匀浆器匀浆至均匀。以7000r/min的速度在4℃条件下离心15min,Lowry法测各溶液中蛋白浓度,平行3次^[10]。

1.3.2.5 感官评价的测定

选择10位感官评定员,参照参考文献ZBX7004进行感官评定,每名评定员按照评分标准进行打分^[11]。

1.3.3 数据处理及分析

数据的统计分析利用Excel 2010。数据用平均值±标准差表示,组间分析采用t-检验进行显著性分析,显著水平设为 $p < 0.05$ 。

表1 感官质量指标表

Table 1 Sensory quality indicators tables

分值(分)	色泽 (SZ)	香气 (XQ)	滋味 (ZW)	质地 (ZD)	形态(XT)
81~90	色泽鲜红	带有自然的虾味和淡淡的鲜味	咸香, 无腥味	虾肉酥脆, 不软烂	虾体完整, 形态丰满
71~80	色泽暗红	带有自然虾香, 基本有香味	咸鲜不足, 基本无腥味	虾肉基本酥脆, 基本不软烂	虾体基本完整, 形态丰满
61~70	色泽焦黄	带有自然虾香, 无香味	无咸鲜, 有腥味	虾肉不酥脆, 软烂	虾体不完整, 形态不丰满

注: 总分=SZ×0.2+XQ×0.2+ZW×0.2+ZD×0.2+ XT×0.2, 以总分表示样品的总体感官品质。

2 结果分析

2.1 不同加热过程中温度随时间的变化情况

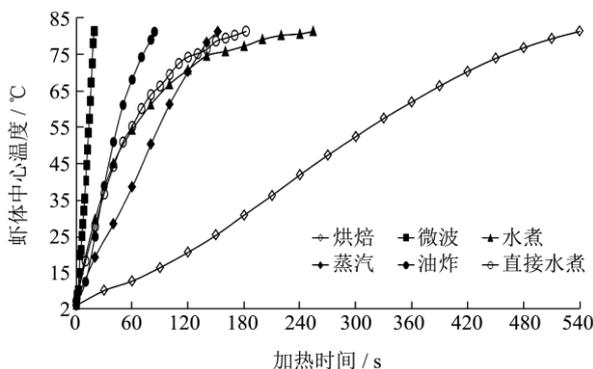


图1 不同加热方法温度随时间变化图

Fig.1 Temperature changes of prawns during different heating methods

虾肉蛋白变性的程度以及虾肉的感官受加热温度和加热时间的影响。为了最大限度地保持肉原有的营养及风味, 杀灭大多数微生物, 设置中心温度达到81℃为加热终点, 81℃是(肌动蛋白, actin)全部变性的温度。如图1所示, 未经加热的虾肉中心温度均控制在5~10℃之间, 不同加热方法的加热温度以及升温方式不同, 导致虾仁中心温度变化速度不同, 变化速度从微波、油炸、直接水煮、水烹、蒸汽、烘焙加热, 微波加热用时最短19.31s, 烘焙加热用时最长540s。通过测定吸光度来进行肌肉蛋白质的变性研究, 加热温度越高, 蛋白质变性率越高, 加热速率高对蛋白质变性率影响较小^[12]。

2.2 不同加热方法对虾体重量变化的影响

图2表示不同加热方法对重量损失率的影响。虾仁重量的变化是加热过程中虾体水分及部分水溶性成分流失的直接体现。加热方法因加热产生的温度以及升温方式不同, 造成虾仁重量损失的效果也有所不同。其中除微波加热除外, 加热时间越长, 重量损失率越

大, 从水煮、蒸汽、微波、油炸到焙烤加热, 重量损失率水煮最少11.32%, 焙烤最多22.34%, 蒸汽加热和微波加热的重量损失率比较相近分别为17.52%和18.60%。研究发现不同的加热方式处理后水分的流失和扩散规律会直接影响虾仁的口感以及感官评定^[13]。不同加热方法对样品重量损失率有显著性差异($p<0.05$)。

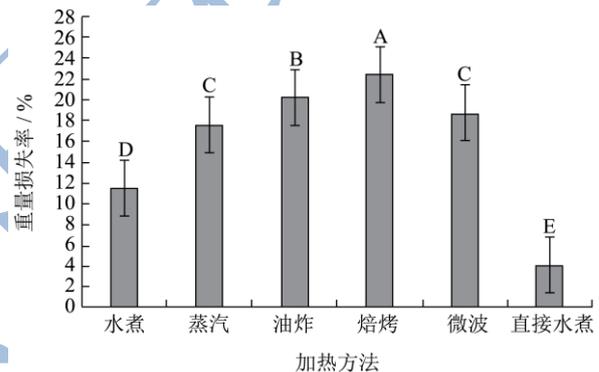


图2 不同加热方法对重量损失率的影响

Fig.2 Effect of different heating method on weight loss

2.3 不同加热方法对虾体色差变化的影响

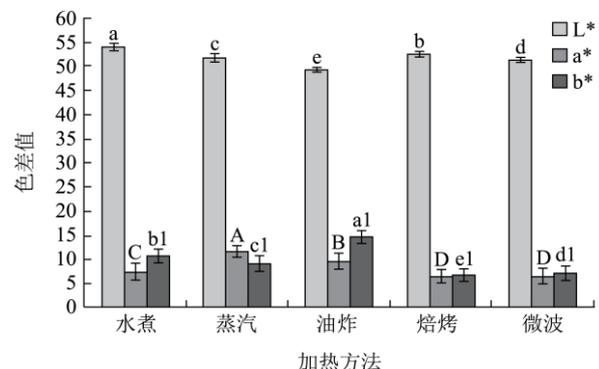


图3 不同加热方法对虾仁色泽的影响

Fig.3 Effects of far-infrared and boiled on the shrimp colour

注: 差异性分析: L*分别采用a, b, c, d, e代表。a*分别采用A, B, C, D, E代表。b*分别采用a1, b1, c1, d1, e1代表。

色差是评价对虾熟成制品的一个重要指标, 如图

3 所示,不同加热方法对色差的影响程度不同。虾仁的色泽是水分含量和蛋白质变性等多方面综合影响的结果,涂敏健等人^[14]研究表明在一定范围内,随着热处理的进行,水分损失率增大,水分含量对虾仁的 L^* 的影响不大, a^* 、 b^* 值随着虾水分含量的下降有升高的趋势。色泽变化和蛋白质变性程度之间有着一定的联系,由于蛋白质变性聚集及蛋白质与糖类成分的反应,阻碍了光的传播,导致蛋白质的透光度减弱,色差值增大^[15]。不同加热方法处理后得出的 L^* 值没有显著性差异 ($p>0.05$),而 a^* 与 b^* 则有显著性差异 ($p<0.05$)。蒸汽加热 a^* 值达到 11.88, b^* 值为 9.40; 油炸加热 a^* 值为 10.34, b^* 值为 14.46; 通过色差值的对比发现,蒸汽加热使得虾仁色泽偏红,油炸加热使虾仁色泽偏黄。也可通过计算机视觉技术实时进行加热温度对虾颜色动力学,进行调查与研究^[16],以便验证不同的加热方式,加热速率和加热温度之间对色差变化的关联性。

2.4 不同加热方法对虾体质构的影响

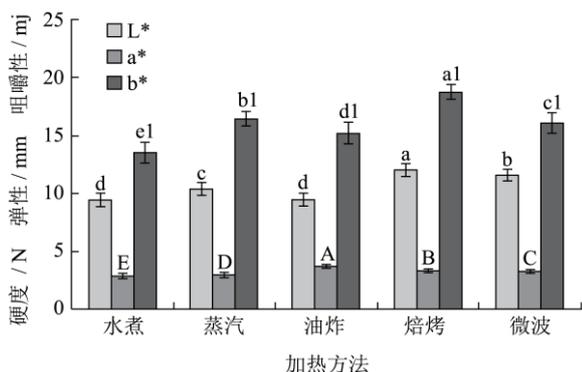


图4 不同加热方法对虾体质构特性的影响

Fig.4 Effects of different heating methods on the prawn texture

注:差异性分析:硬度分别采用 a, b, c, d, e 代表。弹性分别采用 A, B, C, D, E 代表。咀嚼性分别采用 a1, b1, c1, d1, e1 代表。

虾肉硬度、弹性和咀嚼性等质构特性是消费者评价虾制品品质好坏的主要依据。硬度是食品保持原有形状的内部结合力。弹性表示有外力作用时变形及撤去外力后形状的回弹程度。咀嚼性是指将食品咀嚼到可吞咽程度所需做的功^[17]。如图4所示,弹性从水煮加热,蒸汽加热,直接水煮加热,微波加热,焙烤加热,油炸加热依次增强分别为 2.87 mm, 3.02 mm, 3.27 mm, 3.37 mm, 3.69 mm, 差异不是很明显。硬度来看,焙烤加热的虾仁硬度最大为 12.02 N,而油炸加热的虾仁硬度最小为 9.44 N 咀嚼性从焙烤、蒸汽,微波,油炸,水煮加热依次降低,水煮加热的虾仁咀嚼性最低为 13.56 mj,而焙烤加热的虾仁咀嚼性最高为 18.55

mj,咀嚼性是硬度、弹性和黏聚性的综合体现,因此弹性和硬度有相似的变化趋势。弹性大,说明产品肉质弹牙爽口,不软烂,提高产品给消费者带来感官享受,而硬度大对应产品咀嚼性的增大及形态保持程度高。

虾肉的质构特性和蛋白质的各组分含量有密切联系^[18]。肌肉纤维发生聚集,蛋白质结构破坏,蛋白变性,导致水分含量降低,虾仁质构特性改变。微波加热时,水分蒸发速度快,虾仁里外一同加热,热量同时产生,而其他加热方式,热量都是从外及里传递,虾仁表面的水分都会先蒸发,表层蛋白首先发生变性,在热作用下形成干膜,造成虾仁质构特性的改变^[19]。

2.5 不同加热方法对虾体蛋白质溶解度的影响

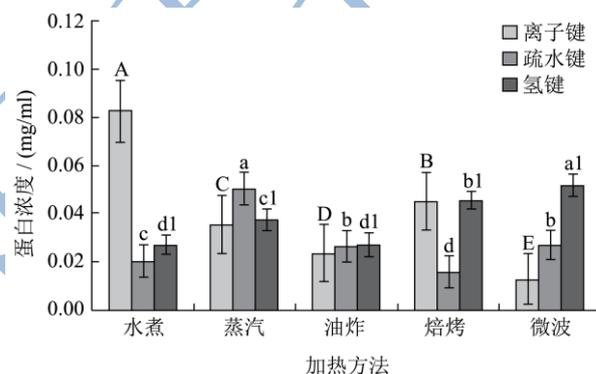


图5 不同加热方法下蛋白质在不同溶液中的溶解度变化

Fig.5 Difference of protein solution during different heating means

注:差异性分析:离子键分别采用 A, B, C, D, E 代表。疏水键分别采用 a, b, c, d, e 代表。氢键分别采用 a1, b1, c1, d1, e1 代表。

蛋白的空间结构决定了蛋白的物化性质,当蛋白受到物理、化学等因素的作用时,空间结构受到破坏,发生重组、聚集,分子间作用力也会经历断裂、重新形成的过程。蛋白溶解度和分子间作用力有密切的关系。蛋白的溶解是同溶剂之间的相互作用。蛋白的溶解度是蛋白的一种重要功能性质,也是反应蛋白变性程度的一个重要指标,通过测定蛋白在不同溶液中的溶解度,可以反应相应分子间作用力的变化。

热处理会引起蛋白质离子键、疏水键、氢键等非共价键的断裂和重新形成,影响蛋白质的构象,引起蛋白质聚集变性。蛋白质溶解度和非共价键等分子间作用力之间有密切的关系,加热时,稳定蛋白质结构的氢键、离子键等将被破坏,分子发生伸展,疏水性残基等暴露出来,影响了蛋白的溶解性能,通过测定

蛋白质在不同溶液中的溶解度,可以反映分子间作用力在加热过程中的变化,反应蛋白质的变性程度^[20]。如图5所示,用SB溶液和SA溶液的蛋白浓度差表示离子键变化,SC溶液和SB溶液蛋白浓度差表示氢键变化,SD溶液和SC溶液蛋白浓度差表示疏水相互作用的变化。

不同加热方法对蛋白溶解度的影响不同。加热处理后虾仁离子键含量从微波加热、油炸加热、蒸汽加热、焙烤加热、水煮加热依次增加其中离子键含量最高的是水煮加热为0.083 mg/mL,离子键含量最低的是微波加热为0.011 mg/mL。疏水键含量从焙烤加热、水煮加热、油炸加热、微波加热、蒸汽加热依次增加,其中焙烤加热的疏水键含量最低为0.016 mg/mL,蒸汽加热的疏水键含量最高为0.051 mg/mL。氢键含量从水煮加热、油炸加热、蒸汽加热、焙烤加热、微波加热依次增加,其中微波加热的氢键含量最高为0.051 mg/mL,水煮加热的氢键含量最低为0.026 mg/mL。离子键受加热方法的影响较为明显($p < 0.05$),而疏水键和氢键含量受加热方法的影响较小($p > 0.05$)。实验表明水煮加热能最大程度增加离子键的浓度,蒸汽加热和微波加热能增强疏水作用,微波加热则能保持氢键含量。热处理会引起蛋白质离子键、疏水键、氢键等非共价键的断裂和重新形成,影响蛋白质的构象,引起蛋白质聚集变性。蛋白质溶解度和非共价键等分

子间作用力之间有密切的关系,加热时,稳定蛋白质结构的氢键、离子键等将被破坏,分子发生伸展,疏水性残基等暴露出来,影响了蛋白的溶解性能^[20]。在随着中心温度的增加,肌原纤维蛋白的二级结构 α -螺旋含量逐渐降低, β -螺旋含量逐渐增加肌原纤维蛋白经历高级结构的破坏,形成蛋白-蛋白聚合体和凝胶化过程^[21],最终发生热不可逆变性,从而降低蛋白质的溶解度,引起食物品质的变化。在不同的加热方法中,蛋白质的溶解度也不同,其功能性质和营养价值等各方面品质也随之改变,其中有有利于食品口感,营养方面的变化,也有不利的变化。我们充分的了解这些变化,以便在不同的加热方法中对虾的品质有更加深入的研究。

2.6 不同加热方法对虾体感官评定的影响

感官评价是用来测量感官的感知及这种感知对食物和口味接受性的影响,感官评定可以确定对虾制品的价值和可接受性,帮助确定最合理的方式和范围,得到最佳的价值价格比。使用不同加热方法对对虾进行处理,能得到不同风味及口感的产品,分别从色泽、香气、滋味、形态和质地五个方面对对虾产品的感官进行评定,从表2可以看出从油炸加热、水煮加热、蒸汽加热、焙烤加热、直接水煮加热、微波加热感官评价总分依次增加。

表2 不同加热方法对感官评定指标的影响

Table 2 Effects of different heating methods on sensory evaluation index

加热方法	色泽	香气	滋味	质地	形态	总分
水煮	81.8	73.3	73.6	73	72.8	74.90±3.87
微波	86.4	85.9	86.6	85.7	86.9	86.30±0.49
焙烤	72.5	82.5	82.9	85.2	81.7	80.96±4.90
油炸	70.9	72.6	73.1	84.6	72.2	74.68±5.61
蒸汽	84.2	74.3	74	76.7	85.4	78.92±5.49
直接水煮	85.9	78.1	76.2	77.2	84.2	80.32±4.41

3 结论

3.1 当虾体中心温度到达81℃,不同加热方法对对虾品质的影响不同。在重量损失率方面,从水煮、蒸汽、微波、油炸到焙烤加热,重量损失率依次升高。同时加热方法的升温方式、升温速度以及水分的流失率会影响对虾产品色泽和质构方面的变化。在色差方面,在一定范围内,蒸汽加热与水煮加热能提升虾仁的亮度,使 L^* 达到最大,蒸汽加热能使虾仁颜色偏红,油炸加热能使虾仁颜色偏黄。在质构方面,由于受热蛋白发生变性,导致虾质构和蛋白质各组分含量发生明显改变。油炸与焙烤加热能保持虾仁的弹性及硬度,

进而提升其咀嚼性;而蛋白质溶解度一定程度反应了不同加热条件下对虾蛋白质的变性程度,水煮加热能最大程度保持离子键,蒸汽加热能增强疏水作用,微波加热可以增加氢键,水煮和微波加热能够最大程度的保持蛋白质的食用品质。感官评定是综合多方面因素得出的结果,微波加热使对虾产品的感官评定最高为86.30,而油炸加热使虾产品的感官评定最低为74.68。

3.2 本文创新性的提出利用微波、焙烤、水煮、蒸汽和油炸五种加热方法对对虾进行加热处理,通过单因素实验,分别从重量损失率、色泽、质构特性、蛋白质溶解度和感官评价五个评价指标出发探讨不同加热

方法对对虾品质的影响,通过不同方式加热对虾的品质的影响的研究提供了理论数据依据,以此能够更好地为食品工业化生产提供更加科学的研究依据。但其内在影响和各个指标之间的相关规律还研究不够深入,需要更进一步的研究。

参考文献

- [1] 郭力,过世东,刘海英.盐煮和微波加热对即食龙虾质构的影响[J].食品与生物技术学报,2011,30(3):376-380
GUO Li, GUO Shi-dong, LIU Hai-ying. The effect of salt boiling and microwave heating on the texture of ready-to-eat lobster [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2011, 30(3): 376-380
- [2] 池岸英,吉宏武,黄燕玲,等.凡纳滨对虾微波熟制工艺条件的研究[J].食品工业科技,2012,33(7):206-210
CHI An-ying, JI Hong-wu, HUANG Yan-ling, et al. Study on microwave cooking process conditions of *Litopenaeus Vannamei* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(7): 206-210
- [3] 戴阳军,杨旺,殷萌,等.响应曲面法优化微波干燥对虾工艺[J].食品研究与开发,2013,34(20):53-57
DAI Yang-jun, YANG Wang, YIN Yin, et al. Optimization of microwave drying technology for prawns with response surface methodology [J]. Food R & R, 2013, 34(20): 53-57
- [4] 竹内友里,高桥英石.エビの加熱温度による物理的特性変化[J].東洋食品研究所研究報告書,2010,28:65-71
TAKEUCHI Yuri, TAKAHASHI Eishi. Characteristics of the Heating Temperature and the Physical Properties of エビ [J]. Toyo Food Research Institute, 2010, 28: 65-71
- [5] 杨金,尚艳丽,夏松养.低温真空油炸对半干水产品营养成分和食用油品质的影响[J].浙江海洋学院食品与药学院学报,2001,10(12):173-175
YANG Jin, SHANG Yan-li, XIA Song-yang. Effects of low temperature vacuum frying on nutrient composition and edible oil quality of semi-dry aquatic products [J]. Journal of Zhejiang Ocean University Institute of Food & Pharmacy, 2001, 10(12): 173-175
- [6] 白青云,王南庆,吴仕传,等.焙烤克氏原螯虾虾仁的研制及HACCP体系的建立[J].江苏农业科学,2014,42(1):288-291
BAI Qing-yun, WANG Nan-qing, WU Shi-chuan, et al. Preparation and HACCP system of baked shrimp from the crucian carp(*Raucus carinacea*) [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(1): 288-291
- [7] 袁莉莉.凡纳滨对虾肉糜凝胶特性研究及虾肉肠的研发[D].湛江:广东海洋大学,2013
YUAN Li-li. Study on the Gel Properties of Shrimp Meat of *litopenaeus vannamei* and R&D of shrimp sausage [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2013
- [8] 邱泽锋,张良,曾伟才,等.冷冻贮藏对凡纳滨对虾肌肉质构特性的影响[J].南方水产科学,2011,7(5):63-67
QIU Ze-feng, ZHANG Liang, ZENG Wei-cai, et al. Effects of frozen storage on the texture of muscle of *L. vannamei* [J]. South China Fisheries Science, 2011, 7(5): 63-67
- [9] Papadakis S E, Abdul-Malek S, Kamdem, R E, et al. A versatile and inexpensive technique for measuring color of foods [J]. Food Technology, 2000, 54: 48-51
- [10] Liu R, Zhao S M, Xie B J, et al. Contribution of protein conformation and intermolecular bonds to fish and pork gelation properties [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 898-906
- [11] 戴阳军,杨旺,殷萌,等.响应曲面法优化微波干燥对虾工艺[J].食品研究与开发,2013,34(20):53-56
DAI Yang-jun, YANG Wang, YIN Meng, et al. Response surface methodology for microwave drying of shrimps [J]. Food Research and Development, 2013, 34(20): 53-56
- [12] 李静,李兴民,刘毅,等.影响鸡骨髓蛋白质变性的影响因素的研究[J].食品工业科技,2008,1:72-73
LI Jing, LI Xing-min, LIU Yi, et al. Influencing factors of protein degeneration in chicken bone marrow [J]. Food Industry Science and Technology, 2008, 1: 72-73
- [13] 杨登玲,范远景,王明和,等.不同加热方式对鸭肉渗透质过程的影响研究[J].肉类工业,2017,12:19-25
YANG Deng-ling, FAN Yuan-jing, WANG Ming-he, et al. Study on the effect of different heating methods on the osmotic process of duck meat [J]. Meat Industry, 2017, 12: 19-25
- [14] 涂敏建,迟海,杨宪时,等.不同水分含量对南极磷虾烤虾质构和色泽的影响[J].现代食品科技,2012,28(9):1102-1105
TU Min-jian, CHI Hai, YANG Xian-shi, et al. Effects of different water content on texture and color of antarctic krill shrimp [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(9): 1102-1105
- [15] 甄少波,李兴民,邹磊,等.不同蒸煮温度对CO₂气调包装肉色泽稳定性和蛋白质变性程度的影响[J].食品研究与开发,2010,31(12):221-223
ZHEN Shao-bo, LI Xing-min, ZOU Lei, et al. Effects of cooking temperature on the stability of color and protein denaturation of CO₂ modified atmosphere packaging [J]. Food Research and Development, 2010, 31(12): 221-2
- [16] 佚名.计算机视觉技术应用于虾干燥期间的颜色变化实时

- 监测[J].渔业现代化,2013,40(2):74
- Application of computer vision technology to real-time monitoring of color change during drying of shrimp [J]. Fishery Modernization, 2013, 40(2): 74
- [17] 李晓龙.热诱导日本对虾虾肉蛋白质变性规律研究[D].湛江:广东海洋大学,2014
- LI Xiao-long. Heat-induced protein denaturation of Japanese prawn shrimp [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2014
- [18] 李云飞.食品物性学[M].北京:中国轻工业出版社,2009
- LI Yun-fei. Food Science [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009
- [19] 石红,郝淑贤,李来好,等.即食半干虾仁加工技术研究[J].南方水产科学,2010,6(2):41-45
- SHI Hong, HAO Shu-xian, LI Lai-hao, et al. Study on processing technology of instant semi-dry shrimp [J]. South China Fisheries Science, 2010, 6(2): 41-45
- [20] Fennema O R,王璋,许时婴,等.食品化学[M].北京:中国轻工业出版社,2003
- Fennema O R, WANG Xi, XU Shi-ying, et al. Food Chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003
- [21] 王兆明,贺稚非,余力,等.加热后兔肉中心温度的变化对其品质特性的影响[J].食品科学,2015,36(19):67-71
- WANG Zhao-ming, HE Zhi-fei, YU Li, et al. Effect of changes in central temperature of rabbit meat after heating on its quality characteristics [J]. Food Science, 2015, 36(19): 67-71