

文章编号:1000-8551(2019)03-0538-07

不同加热方式对南美白对虾品质变化的影响

肖朝耿^{1,*} 谌迪¹ 吴江雁² 唐宏刚¹ 卢文静¹ 杨慧娟¹ 孟祥河² 陈黎洪¹¹浙江省农业科学院食品科学研究所,浙江 杭州 310021;²浙江工业大学海洋学院,浙江 杭州 310014)

摘要:为探讨不同加热方式对南美白对虾营养品质的影响,以南美白对虾为原料,采用微波、蒸汽、沸水3种加热方式对其进行处理,并对其质构、色泽及蛋白成分的变化进行分析。结果表明,南美白对虾的最适加热时间为90 s,此条件下微波加热组对虾失水率分别是蒸汽加热组、沸水加热组的1.55倍和1.48倍;微波加热组和蒸汽加热组对虾的硬度相近且均显著高于沸水加热组($P < 0.05$);微波加热组对虾的弹性和咀嚼性均显著高于其他2种加热方式;微波加热组和沸水加热组对虾的呈色特征值均显著高于蒸汽加热组($P < 0.05$),但3种加热处理组对虾的内聚性无显著差异。微波加热组对虾的盐溶性蛋白损失较其他2种加热方式小,但水溶性蛋白含量低于其他加热组;微波加热组对虾的碱溶性蛋白含量最高,其次为沸水加热组。本研究结果为南美白对虾热加工方式提供了一定的技术指导。

关键词:南美白对虾;加热;微波;品质

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2019.03.0538

南美白对虾(*Penaeus vannamei*),又名凡纳滨对虾、万氏对虾和白肢虾^[1],是单产量最高的养殖虾种。南美白对虾含肉率高、矿物质丰富,属于典型的高蛋白低脂肪食物,其虾头和虾壳可用于生产风味物质、类胡萝卜素和壳聚糖等,具有非常高的经济价值^[2]。因生长快、抗病力强、耐高密度养殖、肉质鲜美等特点,南美白对虾逐渐成为我国重要养殖虾种之一,其养殖业发展极为迅速^[3]。我国南美白对虾资源丰富,且近年来对虾产量大幅度提高,但对虾出口屡次遭遇贸易壁垒,导致我国南美白对虾出现供大于求、价格下跌的局面,迫切需要寻找产业发展新出路。

即食水产品近几年在我国发展很快,因食用方便、包装精美、营养丰富和味道鲜美等特点受到广大消费者的喜爱。但我国对虾类即食水产品的开发和研究相对较少,相关研究主要集中在养殖、贮藏及营养等方面,加热方式对虾肉品质影响的研究不多,市场上对虾类产品以干制(或半干制)品为主^[4-6],因此,研制南美白对虾即食产品尤为必要。然而,在即食虾类产品加工过程中,加热方式对即食对虾产品的外观和风味极其重要,会显著影响南美白对虾即食产品的外观、质构

和风味成分^[7]。此外,科学合理的加热方式可以让对虾即食产品产生大量的醛类、酮类和芳香类物质,增加即食对虾产品的风味^[8]。Lascorz等^[9]发现加热方式和加热时间是影响对虾产品品质的关键因素。因此,本试验系统分析并评价了微波等3种加热方式对南美白对虾的影响,探讨加热过程中影响南美白对虾质构及风味的物质基础,旨在为南美白对虾的精深加工和综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

南美白对虾(13.23±1.16 g),杭州萧山跃腾水产养殖有限公司;磷酸氢二钾(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;磷酸氢二钠(分析纯),上海凌峰化学试剂有限公司。其他化学试剂均为国产分析纯。

1.2 主要仪器与设备

M9B88型微波炉,苏州三星电子有限公司;TAXT PLUS物性测定仪,英国 Stable Micro System公司;CR-410型色彩色差计,日本 KONICA MINOLTA公司;

收稿日期:2018-07-24 接受日期:2018-11-20

基金项目:杭州市重大科技创新项目(20112312A48)

作者简介:肖朝耿,男,副研究员,主要从事食品加工及生物技术研究。E-mail:xiaochaogeng@163.com

* 通讯作者:同第一作者。

Megafuge 11R 高速冷冻离心机,德国 Thermo Scientific 公司;PB-10 酸度计,德国赛多利斯公司;WF-4000 微波快速反应器,上海屹尧微波化学技术有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 热处理试验 将冷冻的南美白对虾在室温下进行流水解冻后按照如下方法处理:

1) 蒸汽加热处理。将蒸笼置于装有足够水的锅中,待锅中水沸腾并产生稳定蒸汽后,将对虾放入蒸屉,立即盖上锅盖并计时,分别蒸煮 30、60、90、120、180、240、300 s,取样并自然冷却到室温,备用。

2) 沸水加热处理。将水加热沸腾后,按照料水比 1:10 加入对虾,立即盖上锅盖并计时,分别水浴 30、60、90、120、180、240、300 s,取样并自然冷却到室温,备用。

3) 微波加热处理^[10]。将对虾置于微波炉中,单次处理量为 $1.36 \pm 0.14 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (微波炉腔体体积),功率设置为 300 W,分别于加热 30、60、90、120、180、240、300 s,取样并自然冷却到室温,备用。

1.3.2 南美白对虾失水率的测定 将加热前后的南美白对虾样品小心剪碎,参照 GB 5009.3-2010^[11]并略作修改。于 105℃ 烘箱中干燥至恒重,测定每份对虾样品的水分含量。按照公式计算水分含量和失水率:

$$\text{水分含量} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, m_1 :干燥前样品质量,g; m_2 :干燥后样品质量,g。

$$\text{失水率} = \frac{\text{加热前样品水分含量} - \text{加热后样品水分含量}}{\text{加热前样品水分含量}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.3 南美白对虾质构分析 参考文献[12-14]的方法并略作修改。采用物性测定仪对虾腹部第二节进行全质构分析(texture profile analysis, TPA)检测。具体检测条件为:探头选用 P/36R,测试前探头下降速度 $3 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,测试速度 $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,测试后探头回退速度 $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,压缩比 50%,触发力 5 g,间隔时间 5 s。

1.3.4 南美白对虾色差分析 采用色彩色差计对虾肉进行色差分析。色差仪校正后,选取虾腹部第二节,用单层保鲜膜附上,将色差仪垂直放于表面进行测试,记录 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 ΔE 值。

1.3.5 南美白对虾蛋白质成分分析 参考 Visessanguan 等^[15]的方法并作适当修改。精确称取对虾样品 5 g,加入 20 mL 提取液 A (pH 值 7.5, 15.6

$\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{HPO}_4 + 3.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KH}_2\text{PO}_4$) 搅拌 2 min,于冷冻离心机 (4°C , $10\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$) 离心 15 min,分离得到上清液 I 和沉淀 I。在上清液 I 中加入 5 mL 50% 三氯乙酸,于冷冻离心机 (4°C , $10\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$) 离心 15 min,所得上清液为非蛋白氮,沉淀为水溶性蛋白。在沉淀 I 中加入 20 mL 提取液 B (pH 值 7.5, $0.45 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KCl} + 15.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Na}_2\text{HPO}_4 + 3.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ KH}_2\text{PO}_4$),于冷冻离心机 (4°C , $10\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$) 离心 15 min,所得上清液为盐溶性蛋白,沉淀记为沉淀 II。在沉淀 II 中加入 20 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaOH}$,连续搅拌 2 h 后,于冷冻离心机 (4°C , $10\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$) 离心 15 min,所得上清液为碱溶性蛋白,沉淀为碱不溶性蛋白。

1.3.6 数据分析 试验数据通过 SPSS 18.0 进行显著性分析, $P < 0.05$ 为显著水平, $P < 0.01$ 为极显著水平。应用 Microsoft Excel 2010 软件绘制图表,描述性统计值以平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示。

2 结果与分析

2.1 不同加热方式对南美白对虾失水率的影响

由图 1 可知,随着加热时间的延长,不同处理组中南美白对虾的失水率均呈逐渐上升趋势。加热期间,微波加热组对虾的失水率一直高于蒸汽加热组和沸水加热组,当加热时间为 90 s 时,微波加热组对虾的失水率显著高于其他两组 ($P < 0.05$),分别为蒸汽加热组、沸水加热组的 1.55 倍、1.48 倍。沸水加热的热传导作用强于蒸汽加热,并伴随着热对流的影响,故加热 30 s 内,蒸汽加热组对虾的失水率无明显变化;加热 90 s 内,沸水加热组对虾的失水率略高于蒸汽加热组,继续延长加热时间,对虾蛋白质的水和能力与自由水的扩散基本平衡,其失水率升高缓慢。加热 300 s 时,蒸汽加热组、沸水加热组、微波加热组对虾的失水率分别为 11.23%、10.00%、31.86%。综上,以失水率来判断,蒸汽和沸水加热适宜作为即食对虾的加热方式。

2.2 不同加热方式对南美白对虾质构的影响

加热处理后南美白对虾虾肉的硬度、咀嚼性、弹性、内聚性特征均发生了较明显的变化。由图 2-A 可知,当加热时间为 90 s 时,蒸汽加热组和微波加热组对虾的硬度显著高于沸水加热组 ($P < 0.05$)。加热时间在 180 s 内时,虾肉样品内部温度尚未达到沸点,从而导致硬度变化不明显,而加热时间在 180 s 后,微波加热组虾肉硬度明显上升,硬度的剧烈变化可能与其蛋白结构与组成的急剧变化有关,此结果与郭力等^[16]

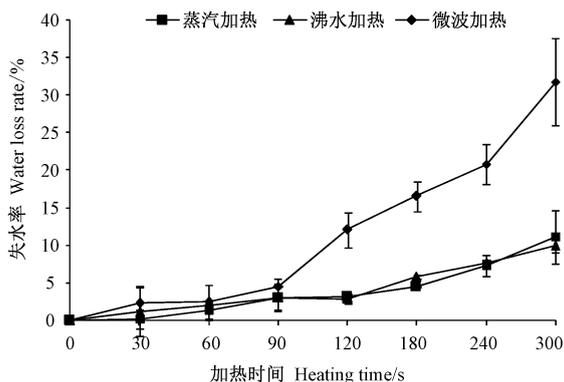


图1 不同加热方式对南美白对虾失水率的影响

Fig.1 Effect of different heating methods on water loss rate of *Penaeus vannamei*

研究微波加热对即食龙虾质构影响的结论一致。由图2-B可知,随着加热时间的延长,蒸汽加热组和沸水加热组对虾虾肉的弹性值上升较慢,而微波组对虾虾肉在30 s内呈现略微下降,可能是微波导致结合水部分转变为自由水及蛋白质构象变化等原因所致;当加热时间为30~90 s时,微波加热组对虾肉的弹性急剧增加,至90 s时弹性趋于稳定,这是因为蒸汽和沸水加热时热传导是由外至内逐步进行,而微波加热使虾肉水分迅速丧失,对虾整体的蛋白质开始变性,虾肉汁液快速流失,使其弹性剧烈上升,而随着加热时间的增长,蛋白质完全变性,弹性趋于稳定。继续加热,蒸汽加热组对虾肉中的胶原蛋白溶出,使其弹性略有下降。由图2-C可知,在加热30 s内各处理组对虾的咀嚼性几乎没有变化,这是由于起初虾体水分含量高,其表面附着游离水的损失对样品的质地不会造成较大影响^[17]。内聚性反映了细胞间结合力的大小,与样品分子内部的蛋白基质的结构有关,联结的紧密程度会使得内聚性发生改变^[18]。由图2-D可知,3种加热方式处理的虾肉内聚性无统计学差异($P > 0.05$)。

2.3 不同加热方式对南美白对虾色泽的影响

加热前南美白对虾 L^* 值 a^* 值、 b^* 值、 ΔE 值分别为 68.73 ± 2.74 、 4.21 ± 2.76 、 9.8 ± 2.30 、 62.30 ± 3.90 。由表1可知,随着加热时间的延长,3种不同加热方式处理的南美白对虾色泽变化基本相同,整体呈先增大后减小的趋势。当加热时间为30 s时,沸水加热组南美白对虾虾肉的色差较其他两组变化明显。加热处理60 s后,不同加热方式下对虾的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 ΔE 值等色差指标均较稳定,可能是由于此时大多数对虾

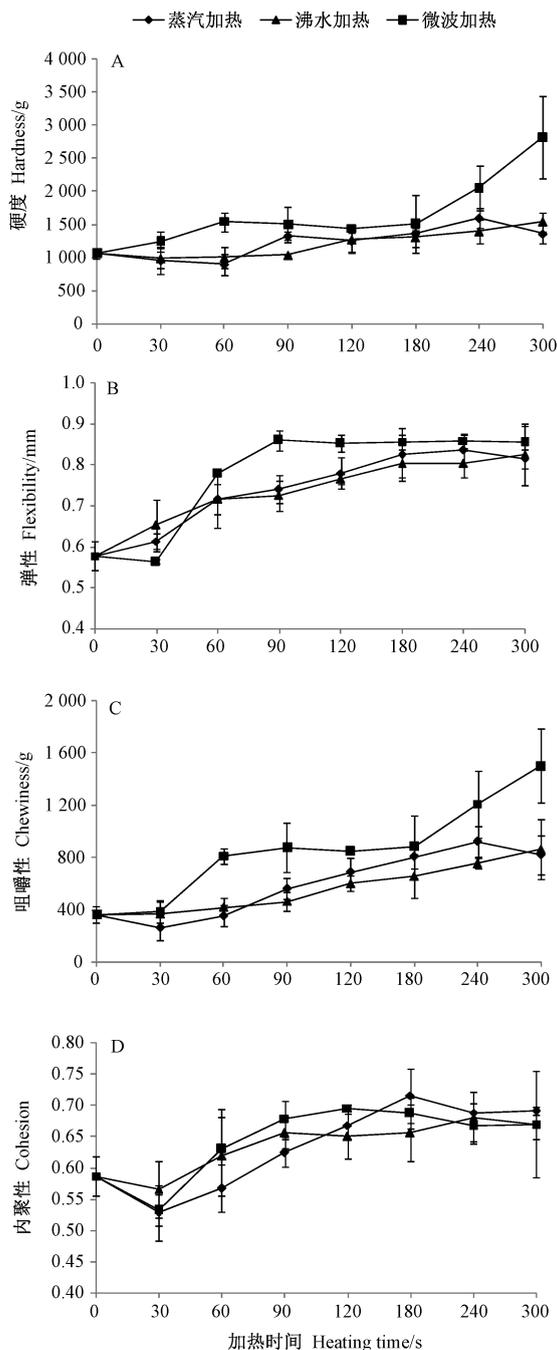


图2 不同加热方式对南美白对虾质构的影响

Fig.2 Effect of different heating methods on texture of *Penaeus vannamei*

蛋白质已完全变性,对色泽影响不明显。加热时间为90 s时,微波加热组和沸水加热组对虾的 a^* 值显著高于蒸汽加热组。此外,其中表示红绿偏向的 a^* 值分别在120、240和120 s达到最大(数据未列出)。 ΔE 值表示总色差大小,加热时间为90 s时,沸水加热组、微波加热组对虾虾肉的 ΔE 值显著大于蒸汽加热组。

表 1 不同加热方式对南美白对虾色泽的影响

Table 1 Effect of different heating methods on color of *Penaeus vannamei*

加热时间 Heating time/s	加热方式 Heating method	L^* 值 L^* value	a^* 值 a^* value	b^* 值 b^* value	ΔE 值 ΔE value
30	蒸汽	68.28±1.87bB	26.94±0.67bC	57.06±1.81bB	91.31±2.17bC
	沸水	76.76±0.44aA	35.24±2.30aB	70.40±3.13aC	104.96±3.09aC
	微波	69.16±2.50bA	26.56±2.46bC	55.26±4.26bC	87.08±4.94bC
60	蒸汽	73.15±0.18abA	45.31±0.32bA	80.78±0.36aA	115.72±0.24aA
	沸水	74.70±2.01aB	45.65±1.49bA	80.33±2.44aB	114.27±2.62aB
	微波	72.10±0.27bA	48.81±1.08aB	81.03±1.13aB	114.48±1.23aB
90	蒸汽	74.25±1.57aA	41.26±1.26bB	81.86±2.64aA	113.54±1.76bB
	沸水	74.94±1.30aB	47.08±2.64aA	87.35±3.61aA	120.04±4.12aA
	微波	72.48±3.58aA	45.25±3.29aA	86.16±2.50aA	119.39±0.57aA

注:不同小写字母表示各处理组之间差异显著 ($P < 0.05$);不同大写字母表示相同处理组不同加热时间之间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercases letters indicate significant difference at 0.05 level among the treatment groups. Different capital letters indicate significant difference at 0.05 level among the heating time in the same group.

2.4 不同加热方式对南美白对虾蛋白质成分的影响

加热处理前南美白对虾中水溶性蛋白含量最高 ($41.14 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$), 其次为碱不溶性蛋白 ($5.60 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$)、碱溶性蛋白 ($2.04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$), 盐溶性蛋白含量最低, 为 $0.67 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$, 非蛋白氮含量略高于盐溶性蛋白, 为 $0.77 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 。由图 3 可知, 随着加热时间的延长, 各处理组对虾的水溶性蛋白含量总体

呈下降趋势, 且沸水加热组对虾的水溶性蛋白含量下降最为明显; 非蛋白氮是即食对虾风味的重要来源, 随着加热时间的延长, 各处理组对虾的非蛋白氮含量总体呈现先增加后减小的趋势, 从风味保留角度考虑, 加热 90 s 是一个非常关键的参数; 随着加热时间的延长, 各处理组的盐溶性蛋白含量逐渐减少, 但微波加热组对虾的盐溶性蛋白损失较其他加热方式少; 3 种不同

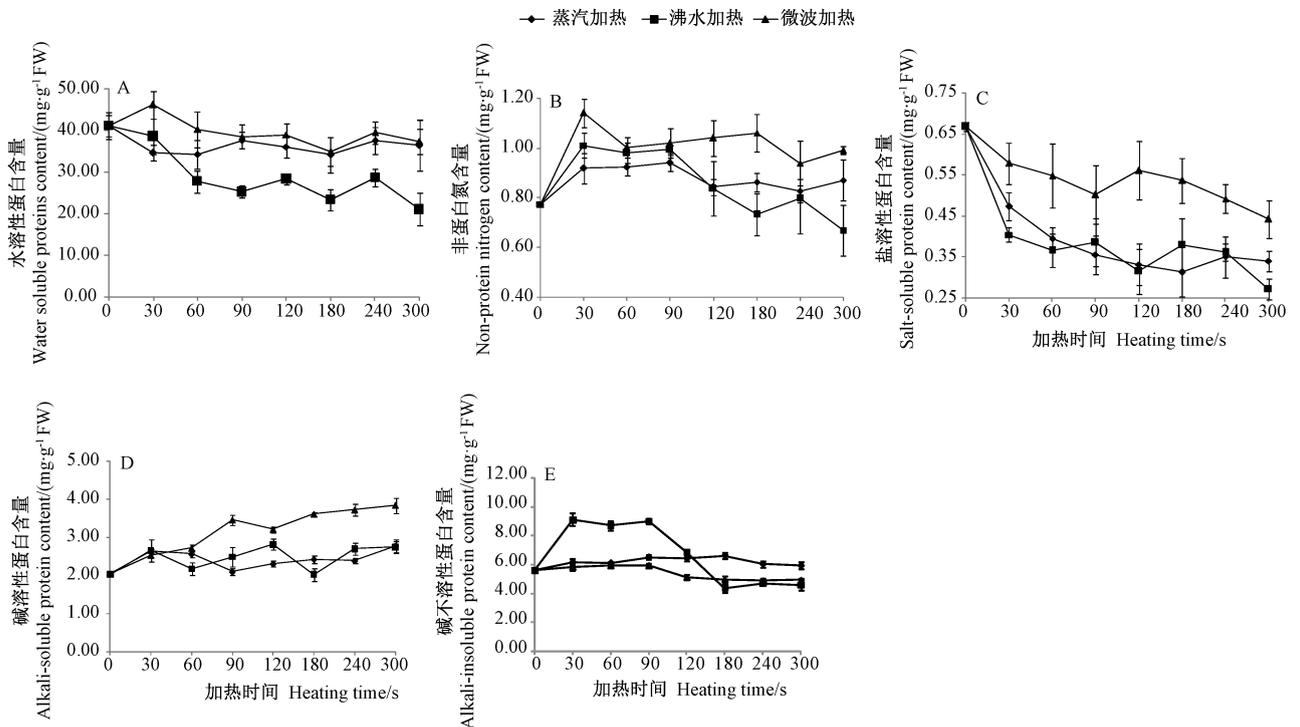


图 3 不同加热方式对南美白对虾蛋白质成分的影响

Fig.3 Effect of different heating methods on protein components of *Penaeus vannamei*

加热方式处理后对南美白对虾的碱溶性蛋白含量的影响均无明显差异。蒸汽加热和微波加热处理后的虾肉碱不溶性蛋白含量变化不大,但沸水加热后其含量总体呈先增加后减小的变化趋势。

3 讨论

南美白对虾含水量高,富含多种营养成分,长时间加热会导致营养物质的流失。因此,加热时间和加热方式对即食南美白对虾制品的口感及营养价值均有重要影响。Lascorz 等^[9]认为加热 38 s 即能实现对虾的熟制。过长的加热时间会使南美白对虾产生甲醛等有害物质,且随着加热时间的延长,其甲醛含量大幅增加^[19]。考虑到实际生产过程中的成本问题,本试验设置的最长加热时间为 300 s。

南美白对虾蛋白的二级结构在加热过程中一旦发生较大变化,其质构特性及失水率也会发生相应的改变^[20]。适当失水可改善对虾肉的韧性和弹性,但过分失水会导致虾肉变硬且口感下降,外观品质变差^[21]。本研究中,随着加热时间的延长,南美白对虾的失水率急剧升高,加热 300 s 时,微波加热组对虾的失水率远高于蒸汽加热组和沸水加热组,主要是由于烘箱内快速上升的温度导致虾体产生更多和更大的脱水收缩^[10],这与李晓龙^[22]的研究结果类似。

质构是分析虾体品质的重要指标之一,与风味、外观、营养构成了食品四大品质要素。虾肉经热加工后,其弹性和韧性增加,口感提升,但过度加热,则肉质变硬,弹性下降,甚至会造成肉质软烂、组织结构破坏严重,而质构仪能够灵敏客观地反映出食品品质特性,以量化指标全面评价食品^[23]。虾体硬度增大主要是由蛋白质受热变性而凝固,胶原蛋白收缩引起,同时与水分含量、持水力有密切关系。本研究中,蒸汽加热组和沸水加热组中对虾的硬度刚开始均减小,这可能是因为在刚开始加热时,仅有少量蛋白质发生热变性,蛋白质的二级结构被破坏,细胞水分流失,肌纤维松散,导致硬度减小;继续加热后,水分流失加剧,肌纤维收缩变硬,进而硬度增大。与蒸汽加热组和沸水加热组相比,微波加热组对虾的硬度明显较高,这是因为虾体内部的温度达到沸点后,内部蒸汽压使内部气体释放,对虾体积收缩,密度增大,硬度增加^[24]。

色泽是虾肉的重要品质之一,直接影响其外观品质。加热处理前南美白对虾虾体成暗灰色,加热后呈现橙红色,变色机理涉及虾壳中色素结合蛋白质复杂的变化^[25]。采用 LAB 表色系统,其中 L^* 值表示亮度,

L^* 值越大表示亮度越大; a^* 值的正值越大表示颜色越红,负值越大则颜色越绿; b^* 值表示黄蓝偏向,正值越大表示颜色越黄,负值越大表示颜色越蓝; ΔE 值表示总色差。加热处理后,南美白对虾色泽特征值 a^* 值的变化可能是由于亚铁肌红蛋白氧化成高铁肌红蛋白,同时也与肌红蛋白含量及其溶解度密切相关^[26]。研究表明,虾肉色泽变化还与游离虾青素含量有关,虾青素在煮熟或是氧化条件下会转化为红色的虾红素^[27]。此外,脂肪的氧化也能够引起虾青素的降解,进而影响虾体色泽的变化^[24]。本研究结果表明,3 种不同加热方式处理后南美白对虾的色泽变化基本一致,说明 3 种加热方式对虾肉中呈色物质的影响相似。

蛋白热变性与蛋白可溶性相关分析的动力学研究表明,疏水作用和氢键在蛋白质热变性过程中均发生了改变,其中疏水作用在 51℃ 时发生显著改变,在 85℃ 刚开始加热时,疏水作用显著上升,但随着加热时间的增加,疏水作用并没有继续出现显著性的变化^[28]。南美白对虾具有较高的热失活常数和更低的转变温度,故其蛋白质的热稳定性较斑节对虾低^[29]。本研究中,微波加热组南美白对虾的水溶性蛋白损失较其他 2 种处理组小,沸水加热组中因对虾与水直接接触,虾肉中的水溶性蛋白直接溶于沸水中,损失最为严重。非蛋白氮中含有一些游离氨基酸,核苷酸和小分子多肽,是肉类的主要组成成分^[30]。本研究表明,加热 90 s 时,3 种加热方式下南美白对虾的非蛋白氮均维持在较高水平,随着加热时间的延长,除微波加热外,其他 2 种加热方式下南美白对虾中非蛋白氮含量开始急剧下降,表明蒸汽和沸水加热方式在加热后 30~90 s 之间虾肉的风味可能较佳,继续延长加热时间可能会导致风味变差。

4 结论

本研究结果表明,微波加热组南美白对虾的失水率明显高于其他两组,从产品得率来看,微波加热不合作为制备即食南美白对虾的加热方式,然而该加热方式制备的即食对虾盐溶性蛋白和碱溶性蛋白含量较高。蒸汽和沸水加热方式在各项指标上比较接近,且蒸汽加热条件比较复杂,会造成许多繁琐的生产工序。为了避免加热时间过长而导致对虾水分、蛋白质及其他营养物质的严重流失,保证其弹性、硬度、咀嚼性、色泽维持在最佳状态,最适合实际生产加工的南美白对虾熟制方式为沸水加热 90 s,此时南美白对虾的失水率较低,质构、色泽较好,风味蛋白含量较为丰富。

参考文献:

- [1] 陈杭君, 郇海燕, 戴志远, 毛金林, 房祥军, 徐幸莲. 捕前禁食对南美白对虾品质与黑变的影响[J]. 中国食品学报, 2009, 9(1):165-169
- [2] Theeraphol S, Soottawat B. Compositions and yield of lipids extracted from hepatopancreas of pacific white shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) as affected by prior Autolysis [J]. Food Chemistry, 2012, 134(2):829-835
- [3] 陈政, 陈雁涛, 徐善达, 白新鹏, 吕晓亚. 南美白对虾配合饲料辐照灭菌及剂量研究[J]. 核农学报, 2016, 30(3):509-515
- [4] 张高静, 韩丽萍, 孙剑锋, 王颀. 南美白对虾营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8):254-260
- [5] Lee C, Wu C, Tyan Y, Yu W, Huang E S, Yu H. Identification of pyruvate kinase as a Novel allergen in white leg shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) by specific-IgE present in patients with shrimp allergy [J]. Food Chemistry, 2018, 258:359-365
- [6] Huang Y R, Zelaya M F G, Shiao C Y. Changes in biochemical compositions and quality of white shrimp (*Litopenaeus Vannamei*) during storage [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2016, 25(1):35-45
- [7] 段秀霞, 施文正, 汪之和, 王锡昌, 江敏. 熟制与贮藏对凡纳滨对虾挥发性成分的影响[J]. 水产学报, 2017, 41(6):971-983
- [8] 负三月, 邱伟强, 蒋晨毓, 陈舜胜, 余小亮, 代欢欢. 凡纳滨对虾虾肉和虾头中风味物质的比较[J]. 水产学报, 2017, 41(6):907-918
- [9] Lascorz D, Torella E, Lyng J G, Arroyo C. The potential of ohmic heating as an alternative to steam for heat processing shrimps [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 37: 329-335
- [10] 池岸英, 吉宏武, 黄燕玲, 蓝尉冰, 孟凌玉. 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
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3-2010 食品安全国家标准食品中水分的测定[S]. 北京:中国标准出版社, 2010
- [12] Siriporn R, Soottawat B, Wonnop V. Properties and acceptability of som-fug, a Thai fermented fish mince, inoculated with lactic acid bacteria starters[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(4):569-580
- [13] Sasaki K, Motoyama M, Yasuda J, Yamamoto T, Oe M, Narita T, Imanari M, Fujimura S, Mitsumoto M. Beef texture characterization using internationally established texture vocabularies in ISO5492: 1992: differences among four different end-point temperatures in three muscles of holstein steers[J]. Meat Science, 2010, 86(2):422-429
- [14] Duun A S, Rustad T. Quality of super chilled vacuum packed Atlantic salmon (*Salmo Salar*) fillets stored at -1.4 and -3.6°C [J]. Food Chemistry, 2008, 106(1):122-131
- [15] Visessanguan W, Benjakul S, Riebroy S, Thepkasikul P. Changes in composition and functional properties of proteins and their contributions to Nham characteristics [J]. Meat Science, 2004, 66(3):579-588
- [16] 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
- [17] 涂敏建, 迟海, 杨宪时, 李学英. 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(9):1102-1105
- [18] 李斌, 陶敏, 徐丹丹, 倪露芸, 王永明, 王芳, 谢碧文. 长江上游中华沙鳅食性特征的 C、N 同位素分析[J]. 水生生物学报, 2016, 40(5):978-984
- [19] 郭芮, 苏红, 张晓梅, 韩冬娇, 刘红英. 南美白对虾中氧化三甲胺热分解产甲醛的研究[J]. 核农学报, 2017, 31(11):2186-2193
- [20] 高瑞昌, 李雯雯, 孙璐, 袁丽, 陆道礼, 陈斌. 凡纳滨对虾肌肉蛋白质的热变性及其对品质的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(7):73-78
- [21] Li X, Llave Y, Mao W, Fukuoka M, Sakai N. Heat and mass transfer, shrinkage, and thermal protein denaturation of Kuruma Prawn (*Marsupenaeus Japonicas*) during water bath treatment: a computational study with experimental validation [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 238:30-43
- [22] 李晓龙. 热诱导日本对虾(*Marsupenaeus Japonicus*) 虾肉蛋白质变性规律研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2015
- [23] 曹荣, 刘淇, 殷邦忠, 薛长湖. 虾仁 TPA 质构分析及不同熟制加工方式对其品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(6):1-5
- [24] 崔宏博, 薛勇, 宿玮, 薛长湖. 南美白对虾即食虾仁加工工艺和贮藏研究[J]. 食品科学, 2012, 33(4):257-261
- [25] Chuang P, Ishizaki S, Nagashima Y, Jialong G, Watabe S. Isolation and cDNA Cloning of a novel red colour-related pigment-binding protein derived from the shell of the shrimp, *Litopenaeus Vannamei* [J]. Food Chemistry, 2018, 241:104-112
- [26] 姜启兴, 申丽丽, 汤凤雨, 许艳顺, 于沛沛, 夏文水. 加热温度对鳙鱼肉质色泽和质构的影响研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(17):67-70
- [27] Stepnowski P, Olafsson G, Helgason H, Jastorff B. Preliminary Study on chemical and physical principles of astaxanthin sorption to fish scales towards applicability in fisheries waste management [J]. Aquaculture, 2004, 232(1):293-303
- [28] Mao W, Li X, Fukuoka M, Liu S, Ji H, Sakai N. Study of Ca²⁺-ATPase activity and solubility in the whole Kuruma Prawn (*Marsupenaeus japonicus*) meat during heating: based on the kinetics analysis of myofibril protein thermal denaturation [J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(9):1511-1520
- [29] Pisal S, Soottawat B, Wonnop V, Kongkarn K. Comparative studies on chemical composition and thermal properties of black tiger shrimp (*Penaeus Monodon*) and white shrimp (*Penaeus Vannamei*) meats [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4):1199-1207
- [30] 孙丽, 夏文水. 蒸煮对金枪鱼肉及其蛋白质热变性的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1):22-25

Effects of Different Heating Methods on the Quality Changes of *Penaeus vannamei*

XIAO Chaogeng^{1,*} CHEN Di¹ WU Jiangyan² TANG Honggang¹ LU Wenjing¹
YANG Huijuan¹ MENG Xianghe² CHEN Lihong¹

(¹Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang 310021;

² College of Ocean, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, Zhejiang 310014)

Abstract: To clarify the effects of heating methods on the quality changes of *Penaeus vannamei*, the rate of water loss, texture, colour and protein composition of *Penaeus vannamei* treated with microwave, steam, boiling water were analyzed. It turned out that the optimal heating method of *Penaeus vannamei* was boiling water for 90 s. Water loss rate of *Penaeus vannamei* treated by microwave was 1.55 times and 1.48 times compared to the treatments under steam or boiling water at 90 s respectively. The hardness of *Penaeus vannamei* treated by microwave and steam were significantly higher than that of the boiling water ($P < 0.05$), and the elasticity and chewiness value of *Penaeus vannamei* treated by microwave were significantly higher than that of the other two heating methods. There were no significant differences on cohesion among three heating methods. The colour specific values of *Penaeus vannamei* treated by microwave and boiling water were significantly higher than of steam ($P < 0.05$). The loss of salt-soluble protein of *Penaeus vannamei* treated by microwave heating was less than the two other heating methods, the loss of water-soluble protein of *Penaeus vannamei* treated by boiling water was lower than other heating methods, and alkali-soluble protein content of *Penaeus vannamei* treated by microwave was the highest, followed by boiling water. In summary, this study provided a technical guidance for the heat processing of *Penaeus vannamei*.

Keywords: *Penaeus vannamei*, heating, microwave, quality