



## 微波—红外联合加热对凡纳滨对虾品质的影响

毛伟杰, 朱丽钰, 孙鲁浩, 刘书成, 曾少葵\*, 吉宏武

(广东海洋大学食品科技学院, 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东省海洋食品工程技术研究中心, 水产品深加工广东普通高等学校重点实验室, 广东 湛江 524088)

**摘要:** 采用微波—红外联合加热技术对凡纳滨对虾进行处理, 探讨联合加热条件对对虾品质的影响, 为对虾制品的研发奠定理论基础。研究分析对虾在微波—红外加热过程中中心温度的变化, 及不同加热条件下虾仁的重量损失率、颜色、质构等品质变化规律。结果显示, 在相同微波功率下, 红外温度越低, 重量损失率越大。在127、179 °C红外温度条件下, 硬度在200 W时最大, 然后随微波功率的增大而下降, 1 000 W时达到最低值; 在75 °C下, 硬度在400 W时最大。3种红外温度对弹性的影响不显著, 当微波功率为400 W时, 虾仁的弹性最大, 微波功率提高至800 W时, 虾仁的弹性明显下降, 而弹性在800和1 000 W间没有显著差异。在相同微波功率条件下, 红外温度75 °C时的黏附性与127和179 °C时的显著不同。咀嚼性、内聚性在200 W时呈最大, 随微波功率增大, 并无显著变化。在色差方面,  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 和 $\Delta E$ 与红外温度呈负相关。以上结果为联合加热技术在对虾加工中的应用奠定了一定基础。

**关键词:** 凡纳滨对虾; 微波加热; 红外加热; 联合加热; 品质; 质构

**中图分类号:** S 985.2<sup>+</sup>1

**文献标志码:** A

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)是中国三大主产经济对虾之一。2016年产量达到70万t。目前对虾的加热方式以水煮、蒸制、油炸为主, 不同的热处理方式和条件会很大程度地影响水产品的感官品质、营养风味和理化特性等<sup>[1-2]</sup>。联合加热技术是指根据物料特性, 利用两种或两种以上的热源进行加热的一种新型加热方式, 具有优势互补、加热效率高、节省能源、便于调控等优点。微波—热风、微波—红外、红外—蒸汽等联合加热技术在食品加工领域中的应用日益增多, 如微波—热风联合加热已经应用在大豆<sup>[3]</sup>、蘑菇<sup>[4]</sup>、甜菜根<sup>[5]</sup>、南瓜<sup>[6]</sup>、蓝莓<sup>[7]</sup>、大蒜<sup>[8]</sup>等果蔬制品的干燥加工中, 研究表明联合干燥食品品质要优于单一的干燥方式。任爱清<sup>[9]</sup>研究了热泵—热风联合干燥对鲑鱼品质的影响, 确定了最佳工艺条件。微波—蒸汽加热相结合, 能使鱼糜凝胶强度明显提高<sup>[10]</sup>。除

此之外微波—红外联合加热也是人们关注的热点。

微波加热是靠电磁波把能量传播到被加热物体的内部, 这种加热方法加热速率快、加热效率高, 但是微波加热会导致加热温度分布不均匀, 容易产生局部过热现象, 同时也会导致诸如食品风味比常规加热效果差、食品硬化等现象, 而红外加热是从外部向内部加热, 受热比较均匀, 不会局部过热, 但红外的波长只有40~1 000  $\mu\text{m}$ <sup>[10]</sup>, 穿透深度小, 只适用于较薄食品的表面加热, 两种加热方法都有各自的优缺点。微波—红外联合干燥技术在榛子<sup>[11]</sup>、西葫芦片的烘干<sup>[12]</sup>、土豆泥的解冻<sup>[13]</sup>、米饼的加热<sup>[14]</sup>、绿茶的杀青<sup>[15]</sup>、猕猴桃的干燥<sup>[16]</sup>等食品加工方面已有应用, 与单一加热的样品进行比较, 微波—红外联合加热可以生产出质量较高的产品。但是目前微波—红外联合加热在对虾加工中的应用很少, 对对虾品质的影响并不十分清楚。

收稿日期: 2018-12-01 修回日期: 2019-03-26

资助项目: 国家自然科学基金(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(GDOU2016030503)

通信作者: 曾少葵, E-mail: zsk1105@126.com

本研究分别利用微波、红外、微波—红外联合加热技术对冷冻凡纳滨对虾进行加热处理。探讨联合加热技术对对虾品质的影响,明确对虾在联合加热过程中的中心温度、重量损失率、颜色、质构等品质变化规律,为对虾制品的研发奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料预处理

带壳去头冷冻凡纳滨对虾(规格31/40, 500 g的冻虾有31~40只虾),购于湛江东洋水产有限公司;冻藏于-20℃,冻藏期在3个月内。实验前置于4℃冷藏室中解冻约5 h,分袋装备用。

### 1.2 实验方法

每次将1只虾置于微波炉(NN-DF382M,广东美的电器制造有限公司)中心,将温度探针(Photon光纤温度记录仪,加拿大Photoncontrol公司)插入样品第二腹节中心位置,以中心温度75℃为目标,设定不同的微波加热功率和红外温度。微波加热的功率分别为200、400、600、800和1 000 W。红外加热(红外电烤箱,广东美的厨房电器制造有限公司)设定的温度分别为75、127、179℃。将光纤温度探针插入样品第二腹节中心位置,首先置于微波炉中心,设置不同的微波炉功率和时间,使虾仁中心温度达到约75℃后马上停止微波加热。然后把虾仁放进已经预热的烤箱,设置烤箱的温度,使虾仁中心温度再次达到75℃,记录样品中心温度变化。

### 1.3 重量损失率测定

加热前用滤纸擦干虾体表面水分,记录样品质量为 $M_1$ 。热处理后,记录样品冷却后的质量为 $M_2$ ,利用公式(1)计算热处理过程中重量损失率,平行测定6次。

$$\text{重量损失率}(\%) = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100\% \quad (1)$$

### 1.4 质构特性的测定

采用TMS-PRO型质构分析仪进行压缩试验。选取虾仁第二腹节作为应力测定位点。

压缩试验用于测定硬度、咀嚼性、弹性和胶黏性;测试探头为直径5 mm的平底柱形探头,起始力为0.5 N,探头下降、测试和返回速度均为60 mm/s,形变量为50%。

### 1.5 色差测定

虾去头放在20 mm的比色皿中,利用色差仪

(NF333,日本电色工业株式会社)对其第二腹节的侧面进行色泽检测。采用国际照明委员会(CIE)推荐的LAB表色系统描述虾体的颜色,分别用 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值表示,并计算 $\Delta E$ 值,其中, $L^*$ 表示明度、 $a^*$ 和 $b^*$ 表示色度。3个值的正负以标准白板、黑板为基准, $L^*$ 为正值时表示偏白,反之则黑; $a^*$ 为正值时表示偏红,负值表示偏绿; $b^*$ 为正值时表示偏黄,负值表示偏蓝; $\Delta E$ 值表示总体色差。标准 $L^*$ 值、标准 $a^*$ 值、标准 $b^*$ 值为样品未加热前的值。

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_0)^2 + (a_1 - a_0)^2 + (b_1 - b_0)^2} \quad (2)$$

式中, $L_1$ :样品 $L^*$ 值, $L_0$ :标准 $L^*$ 值, $a_1$ :样品 $a^*$ 值, $a_0$ :标准 $a^*$ 值。 $b_1$ :样品 $b^*$ 值, $b_0$ :标准 $b^*$ 值。

### 1.6 数据分析

应用SPSS软件对实验结果进行统计分析,结果以平均值±标准差表示。组间分析采用 $t$ 检验进行显著性分析, $P < 0.05$ 为差异显著, $P > 0.05$ 为差异不显著。

## 2 结果

### 2.1 微波—红外联合加热条件下凡纳滨对虾内部的升温曲线

虾仁先在微波功率分别为200、400、600、800和1 000 W中加热至中心温度约为75℃,然后再用红外温度分别为75、127和179℃加热至中心温度再次为75℃,其中中心温度的变化曲线如图1。微波功率为200 W时,加热虾仁至中心温度约为75℃时所需的平均时间为12 s。微波功率分别为400、600、800和1 000 W时,对应所需的平均时间分别为11、9、8和7 s。设置红外温度分别为75、127和179℃,微波加热后立即将虾放入已经预热好的红外烤箱内,将虾仁再次加热至中心温度为75℃时,所对应的平均时间分别约为1 200、190和100 s。

加热虾仁所需的时间与微波功率、红外温度呈负相关。微波功率越大,加热虾仁所需的时间越短。红外温度越高,加热虾仁所需的时间也越短。

### 2.2 联合加热条件对虾仁重量损失率的影响

重量损失是由于热处理过程中水分以及水溶性成分流出导致的。3种加热温度条件下虾仁重量损失率随微波功率的变化结果显示,在同一微波功率不同红外温度加热下重量损失率的变化极显著( $P < 0.01$ )(图2)。红外温度越高,虾仁

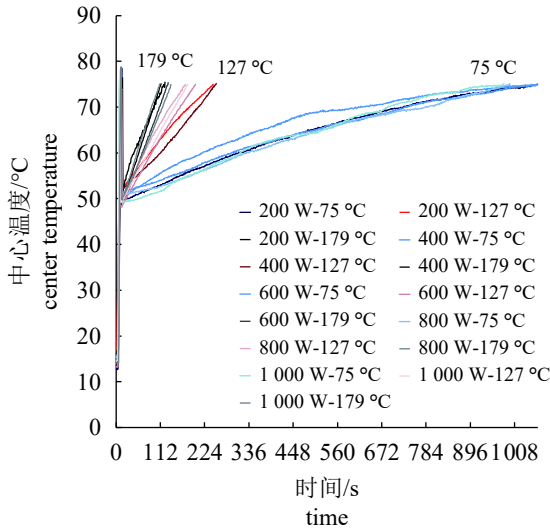


图 1 不同联合加热条件下虾仁中心温度的变化曲线  
 Fig. 1 Change curves of central temperatures of *L. vannamei* at different combination heating conditions

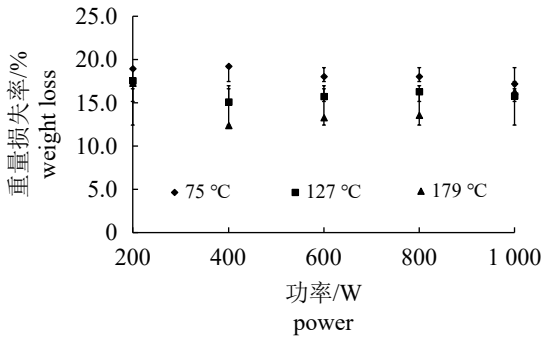


图 2 不同加热条件对虾仁重量损失率的影响  
 Fig. 2 Effect of different heating conditions on the weight loss rate of *L. vannamei*

的重量损失率越低。在红外温度为75 °C时，相邻微波功率间的虾仁的重量损失率变化不显著 ( $P>0.05$ )，但在最高值时(微波功率为400 W)的重量损失率与最低值时(微波功率为1 000 W)的重量损失率变化显著 ( $P<0.05$ )，呈下降的趋势。在红外温度分别为127和179 °C时，微波功率为200 W的重量损失率都最高。在红外温度为127 °C时，随着微波功率的增加，虾仁的重量损失率下降。但红外温度为179 °C时，虾仁的重量损失率随着微波功率的增加先下降后升高。由于虾仁在微波功率的作用下，虾体内部的温度达到沸点后，蒸汽压使内部气体释放，虾仁的重量损失率先下降；随着微波功率的增加，水分子剧烈运动导致其结合水大量损失，从而虾仁的重量损失率升高。

在相同的微波功率条件下，比较不同的红

外温度加热虾仁的重量损失率：75 °C>127 °C>179 °C(图2)，红外温度越低，加热时间越长，重量损失越大。当微波功率为400 W，红外温度为179 °C时，虾仁的重量损失率最低。

### 2.3 联合加热条件对虾仁质构特性的影响

红外温度为75 °C时，微波功率由200升高至400 W时，硬度显著增加 ( $P<0.05$ )(图3-a)。之后随着微波功率的增大，虾仁的硬度变化不显著 ( $P>0.05$ )。根据蔡燕萍<sup>[17]</sup>的研究表明，当虾肉中的水分含量不断降低，蛋白质的结构发生显著变化，三级、四级网状结构遭到严重破坏，失水导致肌原纤维密度增大、硬度变大。在红外温度为127 °C加热条件下，随着微波功率的增大，虾仁的硬度变化不显著 ( $P>0.05$ )。但在最高值时(200 W)与最低值时(1 000 W)的重量损失率变化显著，呈下降的趋势。在红外温度为179 °C，当微波功率由600升至800 W时，虾仁的硬度下降极显著 ( $P<0.01$ )。而当微波功率由200升高至600 W和800升高至1 000 W时，虾仁的硬度变化都不显著 ( $P>0.05$ )。分析原因可能是因为变性后的蛋白质重新聚集形成网状结构，从而导致硬度变小。微波—红外联合加热方式与李晓龙等<sup>[18]</sup>研究的传统红外加热方式对比，可发现虾仁在硬度上不仅只有上升趋势，更有下降的趋势。两种加热方式的硬度最小值相差不大，都约为6.00 N，但联合加热的硬度的最大值为9.50 N左右，远低于红外加热时的最大值12.00 N。可见，联合加热方式可以避免虾仁随加热温度的变化而使硬度不断升高至最大值。

弹性表示物体在外力作用下发生形变，撤去外力后恢复原来状态的能力。对于弹性，组间差异显著性规律不明显。水产动物食品在受热过程中，蛋白质的变化是造成其弹性等质构特性发生变化的主要原因。当红外温度为75 °C，增大微波功率至400 W时，虾仁的弹性极显著增大 ( $P<0.01$ )，而微波功率为400和600 W时，虾仁的弹性差异不显著 ( $P>0.05$ )。微波功率升高至800 W时，虾仁的弹性明显下降，且弹性在800和1 000 W间没有显著差异 ( $P>0.05$ )。当红外温度为127 °C时，虾仁的弹性在微波功率为600升高至800 W时显著下降 ( $P<0.05$ )，且弹性在800和1 000 W间没有显著差异 ( $P>0.05$ )(图3-b)。蛋白质的热变性与其空间构象的改变密切相关，而空间构象变化又影响到蛋白质的性质<sup>[19]</sup>。传统的红外加热方式会导致弹性随温度的升高而增加，但其最大值



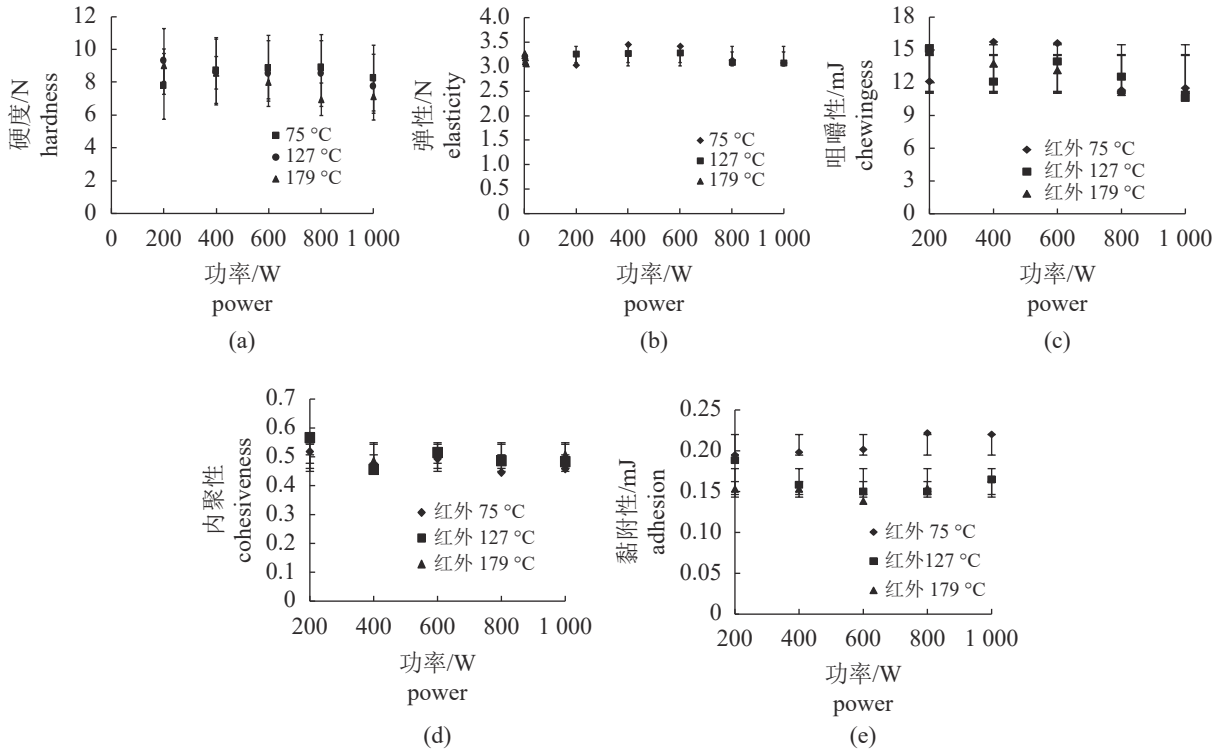


图 3 不同加热条件对虾仁质构的影响

(a)硬度; (b)弹性; (c)咀嚼性; (d)黏附性

Fig. 3 Effect of different heating conditions on the texture of *L. vannamei*

(a) hardness, (b) elasticity, (c) chewiness, (d) adhesion

低于3.0 mm; 联合加热方式的弹性变化差异不显著( $P>0.05$ ), 但都高于3.0 mm。可见联合加热时虾仁的弹性较高且稳定。

咀嚼性是指与硬度、内聚性和弹性有关, 将固体食品咀嚼到可吞咽时需做的功的大小。加热会使部分蛋白分解, 结缔组织被破坏, 从而提高咀嚼特性。不同加热条件会使蛋白质的分解程度不同, 结缔组织被破坏程度不同, 因此咀嚼性也会有所不同。在数值上等于硬度、内聚性和弹性三者的乘积<sup>[20]</sup>。

在咀嚼性方面, 联合加热方式有一定的变化规律, 但变化范围较小, 为10.5~16.0 mJ。而传统的红外加热方式的咀嚼性随温度升高不断增大, 由1.0升高至21.0 mJ<sup>[18]</sup>, 可见其咀嚼性变化十分大, 而联合加热时的咀嚼性较稳定。在微波功率相同, 红外温度不同时虾仁的咀嚼性差异不显著(图3-c)。红外温度为75 °C时, 虾仁在微波功率为200~400 W, 其咀嚼性先增大后减小, 红外温度为127和179 °C时, 虾仁在微波功率为200~1 000 W, 其咀嚼性有显著下降趋势。

内聚性(图3-d)反映的是咀嚼食物时食物抵抗受损并紧密连接, 使食物保持完整的性质。

内聚性代表组成样品的内部结合键的强度。在红外温度为75、127和179 °C时, 虾仁的内聚性在微波功率为200~1 000 W时都出现了显著的下落。从图中可看出, 在同一红外温度时, 虾仁的内聚性在200 W时都为最高。

黏附性表示食品表面和其他物体(舌、牙、口腔)附着时, 剥离它们所需要的力。在相同微波功率下, 红外温度75 °C时的黏附性与127和179 °C时的黏附性极显著不同( $P<0.01$ )(图3-e)。当红外温度为75 °C时, 虾仁的黏附性波动范围不大, 但明显高于红外温度为127和179 °C时的黏附性。红外温度为127和179 °C时, 虾仁的黏附性没有显著性差异( $P>0.05$ )。但在红外温度为127 °C时, 虾仁的黏附性在200 W时最高。微波功率升高至600 W时, 虾仁的黏附性下降到最低值。之后升高微波功率, 黏附性有回升的趋势但不显著。红外温度为179 °C时, 虾仁的黏附性在微波功率为200~800 W时都没有显著变化( $P>0.05$ ), 微波功率由800升至1 000 W时, 虾仁的黏附性显著上升( $P<0.05$ ), 并达到在红外温度为179 °C时的最高点。

## 2.4 联合加热条件对虾仁颜色的影响

在同一微波功率下,不同红外温度条件下的 $\Delta E$ 值差异极显著( $P < 0.01$ )。在不同微波功率下,红外75和127 °C时虾仁的 $\Delta E$ 值有显著的下

趋势。而红外179 °C时虾仁的 $\Delta E$ 值无显著变化( $P > 0.05$ )(图4-a)。比较各红外温度下虾仁带壳和不带壳时 $\Delta E$ 值无显著差异( $P > 0.05$ ),虾仁的 $a^*$ 值与红外温度呈负相关。

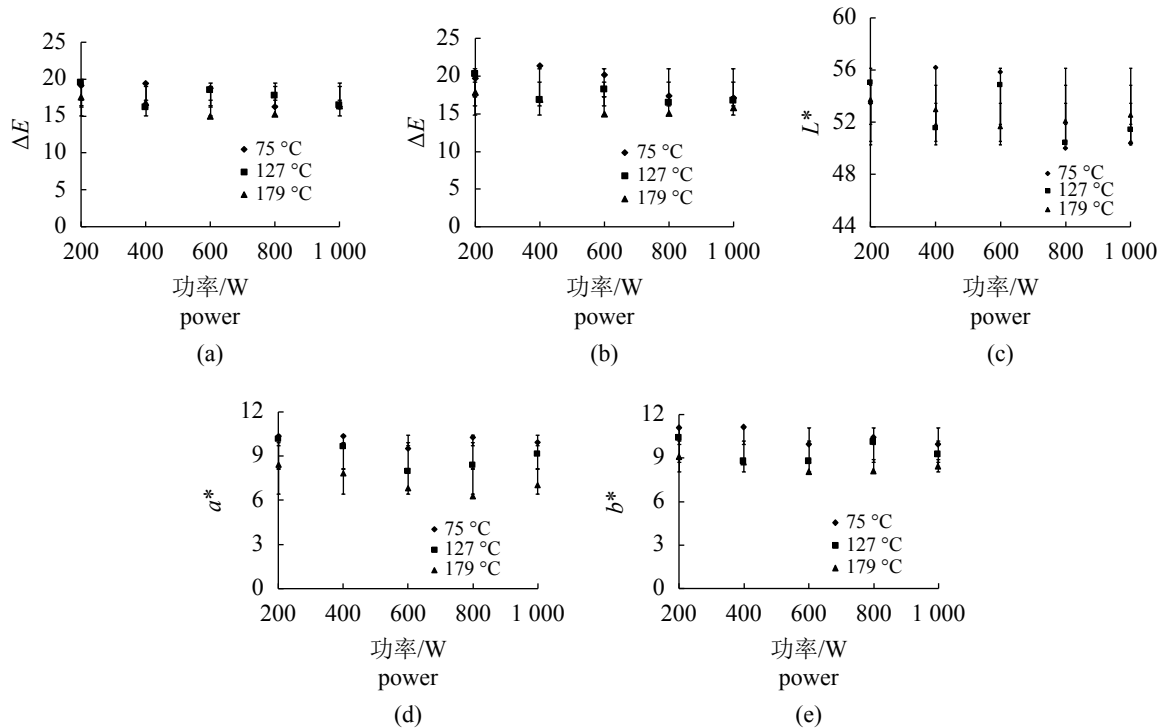


图4 不同加热条件对虾仁颜色的影响

(a)色差 $\Delta E$ (无壳), (b)色差 $\Delta E$ (有壳), (c)带壳虾仁 $L^*$ , (d)带壳虾仁 $a^*$ , (e)带壳虾仁 $b^*$

Fig. 4 Effect of different heating conditions on color of *L. vannamei*

(a)  $\Delta E$  (no shell), (b)  $\Delta E$  (with shell), (c)  $L^*$  (with shell), (d)  $a^*$  (with shell), (e)  $b^*$  (with shell)

微波功率相同,红外温度不同时,虾仁带壳和不带壳的 $L^*$ 值差异不显著( $P > 0.05$ )(图4-b)。在同一红外温度下,虾仁随微波功率的变化在 $L^*$ 值上波动较大。虾仁带壳与不带壳时, $L^*$ 值差异不显著,虾仁的平均 $L^*$ 值与红外温度呈负相关(图4-c)。

同一微波功率下,红外温度不同时的色差 $a^*$ ,  $b^*$ 各组数据差异显著。然而,在同一红外温度下,不同微波功率时虾仁的色差 $a^*$ 、 $b^*$ 并无显著变化( $P > 0.05$ )。虾仁的平均色差 $a^*$ 或 $b^*$ 与红外温度呈负相关(图4-d, 4-e)。

## 3 讨论

微波—红外联合加热方式可以避免虾仁单一加热时的不足。在一定温度范围内,虾仁加热后的硬度、弹性、咀嚼性和颜色方面,微波—红外联合加热方式优于传统的红外加热方

式。这为联合加热的应用奠定了一定的基础。本实验是先用电热加热再用微波加热,加热方式比较繁琐,若有设备能同时使用微波和红外进行加热,则能够提高加热效率。另外,数量较多的对虾同时加热时,其品质的变化还有待于进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 池岸英, 吉宏武, 高加龙, 等. 加热方式对凡纳滨对虾滋味成分的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 7: 766-779, 748.  
Chi A Y, Ji, H W, Gao, J L, et al. Effects of different heating treatments on taste-active components of *Litopenaeus vannamei*[J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 7: 766-779, 748(in Chinese).
- [2] 孙鲁浩, 毛伟杰, 张伟鸿, 等. 不同加热方式下凡纳滨对虾品质较分析[J]. 现代食品科技, 2018, 34(9): 165-169.

- Sun L, Mao W, Zhang W H, *et al.* Comparative analysis of the quality of *Litopenaeus vannamei* subjected to different heat treatments[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(9): 165-169(in Chinese).
- [ 3 ] Gowen A A, Ghannam N A, Frias J, *et al.* Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2008, 9(1): 129-137.
- [ 4 ] Argyropoulos D, Heindl A, Müller J. Assessment of convection, hot-air combined with microwave-vacuum and freeze-drying methods for mushrooms with regard to product quality[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2011, 46(2): 333-342.
- [ 5 ] Figiel A. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods[J]. *Journal of Food Engineering*, 210, 98(4): 461-470.
- [ 6 ] Seremet L, Botez E, Nistor OV, *et al.* Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices[J]. *Food Chemistry*, 2016, 195(15): 104-109.
- [ 7 ] Zielinska M, Michalska A. Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture[J]. *Food Chemistry*, 2016, 212(1): 671-680.
- [ 8 ] İltter I, Akyl S, Devseren E, *et al.* Microwave and hot air drying of garlic puree: drying kinetics and quality characteristics[J]. *Heat and Mass Transfer*, 2018, 54(7): 2101-2112.
- [ 9 ] 任爱清. 鱿鱼热泵-热风联合干燥及其干制品贮藏研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- Ren A Q. Study on the heat-pump and hot air combined drying and conservation of squid[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2009 (in Chinese).
- [10] Cao H, Fan D, Jiao X, *et al.* Heating surimi products using microwave combined with steam methods: study on energy saving and quality[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2018, 47: 231-240.
- [11] Uysal N, Sumnu G, Sahin S. Optimization of microwave-infrared roasting of hazelnut[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 90: 255-261.
- [12] Marra F, Valeria M, Bonis D, *et al.* Combined microwaves and convection heating: a conjugate approach[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 97: 31-39.
- [13] Seyhun N, Ramaswamy H, Su M G, *et al.* Comparison and modeling of microwave tempering and infrared assisted microwave tempering of frozen potato puree[J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 92(3): 339-344.
- [14] Turabi E, Sumnu G, Sahin S. Optimization of baking of rice cakes in infrared-microwave combination oven by response surface methodology[J]. *Food Bioprocess Technology*, 2008, 1: 64-73.
- [15] 朱德文, 岳鹏翔, 袁弟顺, 等. 微波远红外耦合杀青工艺对绿茶品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(3): 345-350.
- Zhu D W, Yue P X, Yuan D S, *et al.* Effects of microwave far-infrared coupling fixation processes on quality of green tea[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(3): 345-350(in Chinese).
- [16] 曾目成. 猕猴桃片新型联合干燥技术研究[D].北京: 中国农业科学院, 2014.
- Zeng M C. Research on the novel combination drying technology of kiwifruit slices[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [17] 蔡燕萍. 南美白对虾即食虾仁的加工及品质变化研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.
- Cai Y. Study on processing and quality changes of ready-to-eat shrimp of South American white prawn[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2012.
- [18] 李晓龙, 刘书成, 解万翠, 等. 远红外和水煮加热虾肉变化规律研究[C]//广东省食品学会, 广东省食品学会年会论文集. 广州: 2014.
- Li X L, Liu S C, Xie W C, *et al.* Effect of far-infrared and boiled heating on the shrimp meat[C]// Guangdong Institute of Food Science and Technology, Guangdong food annual conference proceedings. Guangzhou: 2014.
- [19] Mitchell J. Food texture and viscosity: concept and measurement[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2003, 38(7): 839-840.
- [20] 郝红涛, 赵改名, 柳艳霞, 等. 利用内聚性和咀嚼性对火腿肠等级的判别分析研究[J]. *食品工业科技*, 2010, 31(8): 95-97.
- Hao H T, Zhao G M, Liu Y X, *et al.* Study on discriminant analysis on the grades of ham sausages based on cohesiveness and chewiness properties[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(8): 95-97(in Chinese).

## Effects of microwave-infrared combination heating on the quality of *Litopenaeus vannamei*

MAO Weijie, ZHU Liyu, SUN Luhao, LIU Shucheng, ZENG Shaokui\*, JI Hongwu

(Guangdong Key Laboratory of Aquatic Products Processing and Safety, Guangdong Marine Food Engineering and Technology Research Center, Guangdong Key Laboratory of Aquatic Products Deep Processing, Guangdong Universities and Colleges, College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

**Abstract:** Different thermal processing methods have great influence on the quality of *Litopenaeus vannamei*. In this paper, microwave-infrared combined heating technology was used to treat *L. vannamei*. The effects of combined heating conditions on the quality of *L. vannamei* were discussed, in order to lay a theoretical foundation for the development of shrimp products. Firstly, the change of center temperature of shrimp during microwave-infrared heating was clarified, and then the weight loss rate, color, texture and other quality changes of shrimp meat under different heating conditions were discussed. The results showed that at the same microwave power and different infrared temperatures, the weight loss rate of *L. vannamei* was the highest at 75 °C, and the lowest at 179 °C. Comparing the texture characteristics of the shrimp, the elastic fluctuation range of the shrimp was not large, about 3.0 mm. The chewiness of shrimp was not significantly different under different heating conditions, but positively correlated with its corresponding hardness, cohesiveness and resilience; the hardness, cohesiveness and resilience of shrimp meat changed regularly under different combined heating conditions; in terms of color difference,  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  and  $\Delta E$  were negatively correlated with infrared temperature. These results may lay a foundation for the application of combined heating technology in shrimp processing.

**Key words:** *Litopenaeus vannamei*; microwave heating; infrared heating; combination heating; quality; texture

**Corresponding author:** ZENG Shaokui. E-mail: zsk1105@126.com

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China(31301513); Guangdong Higher Education Institution Innovative Team of High Value Processing and Utilization of Aquatic Products(GDOU2016030503)