

文章编号: 1674-5566(2023)03-0649-11

DOI:10.12024/jsou.20220303744

## 蒸制和煮制对中华绒螯蟹中胆固醇和脂肪酸含量的影响

胡磊<sup>1</sup>, 谢庆超<sup>1,2</sup>, 潘迎捷<sup>1,2,3</sup>, 刘海泉<sup>1,2,3</sup>, 赵勇<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 农业农村部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室, 上海 201306; 3. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

**摘要:**为更好地评价烹饪处理对中华绒螯蟹胆固醇及脂肪酸含量变化的影响,对蒸制和煮制后的雌雄中华绒螯蟹的蟹黄/蟹膏、腹肉和腿肉等 3 个可食部位中的胆固醇和脂肪酸含量进行分析。结果表明:雌雄中华绒螯蟹中胆固醇含量相近,蒸制和煮制处理会造成各部位中胆固醇含量的降低,但差异性不明显;与煮制相比,蒸制后可食部位胆固醇流失较少。雌蟹蟹黄中总脂肪酸含量( $\Sigma$ FFA)高于雄蟹蟹膏,而雄蟹腹肉和腿肉中 $\Sigma$ FFA略高于雌蟹;3 个可食部位中,蟹黄与蟹膏中单不饱和脂肪酸总含量( $\Sigma$ MUFA)占比最高,腹肉和腿肉中多不饱和脂肪酸总含量( $\Sigma$ PUFA)占比最高;蒸制和煮制对蟹黄中脂肪酸基本无影响,与蒸制相比,煮制对蟹膏各类脂肪酸影响较大,含量显著下降;经蒸制与煮制处理后,中华绒螯蟹中主要饱和脂肪酸仍为棕榈酸和硬脂酸,单不饱和脂肪酸主要为油酸,多不饱和脂肪酸以亚油酸、EPA 和 DHA 为主。因此,与煮制相比,蒸制能够减少胆固醇和可食部位中主要脂肪酸的流失,更有利于保留中华绒螯蟹的营养价值,对中华绒螯蟹的烹饪处理具有指导意义。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 胆固醇; 脂肪酸; 蒸制; 煮制  
**中图分类号:** TS 207.3      **文献标志码:** A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)是我国特有的水产养殖蟹,因其具有独特的风味和较高的营养价值,深受广大消费者的青睐<sup>[1]</sup>。中华绒螯蟹中脂肪含量丰富,尤其蟹黄与蟹膏中富含胆固醇和各类脂肪酸,如饱和脂肪酸(Saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA),其中 n-3 长链 PUFA,如二十碳五烯酸(20:5n-3, EPA)和二十二碳六烯酸(22:6n-3, DHA)具有较高的营养价值,适当含量的 EPA 和 DHA 的摄入,有助于降低患血管疾病、糖尿病和炎症疾病的风险<sup>[3,4]</sup>。

蒸制和煮制是生活中常见的中华绒螯蟹烹饪方式,热处理能够有效地杀灭病原微生物,提高食用安全性,有效释放呈气物质,改善风味,但也会降低营养价值<sup>[5]</sup>。胆固醇在加热过程中易被氧化为胆固醇氧化物(Cholesterol oxidation

products, COPs),部分 COPs 如 7 $\beta$ -羟基胆固醇和 7-酮基胆固醇等具有细胞毒性,可诱导细胞异常凋亡<sup>[6]</sup>,同时热处理会加速不饱和脂肪酸的氧化分解与流失,导致营养品质下降<sup>[7]</sup>。

有研究表明,热处理会导致中华绒螯蟹不同可食部位中脂肪酸和胆固醇含量下降,如:倪逸群等<sup>[8]</sup>研究发现,在 100 °C 的加热过程中,随着时间的增长,中华绒螯蟹性腺中的 $\Sigma$ PUFA 呈下降趋势, $\Sigma$ SFA 呈上升趋势,但对 $\Sigma$ MUFA 影响不显著。兰晓芳等<sup>[9]</sup>研究烹调对鲟鱼胆固醇和脂肪酸的影响,发现烹调处理会导致胆固醇含量的下降,主要脂肪酸比例改变。但研究烹饪方式(蒸制和煮制)对中华绒螯蟹中脂质含量变化很少。本文以雌雄中华绒螯蟹为研究对象,研究了蒸制和煮制对中华绒螯蟹的蟹黄/蟹膏、腹肉和腿肉等 3 个可食部位中胆固醇和脂肪酸含量的影响,评价两种烹饪方式对中华绒螯蟹营养价值的保留

收稿日期: 2022-03-01      修回日期: 2022-05-20

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31972188);上海市优秀学术带头人项目(21XD1401200)

作者简介: 胡磊(1996—),男,硕士研究生,研究方向为水产品的加工利用。E-mail:631391194@qq.com

通信作者: 赵勇, E-mail: yzhao@shou.edu.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

效果,为中华绒螯蟹烹饪方式的选择提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

成年雄蟹[体质量( $200.00 \pm 3.44$ )g]、成年雌蟹[( $150.00 \pm 2.82$ )g]各30只,于2021年10月8日购于上海海洋大学崇明养殖基地,雌雄中华绒螯蟹各分为3组,每组10只,其中,1组作为生蟹进行对照,另外2组分别进行蒸制和煮制处理。

主要试剂:甲醇、无水乙醇、正己烷由国药集团化学试剂有限公司生产;无水硫酸钠、氢氧化钾、氢氧化钠、石油醚、无水乙醚均为分析纯由上海麦克林生化科技有限公司生产;胆固醇标准品(纯度 $\geq 99.9\%$ )、三氟化硼-甲醇溶液由上海源叶生物科技有限公司生产;37种脂肪酸甲酯混合标准品、十九烷酸标准品由美国NU-CHEK公司生产;十九烷酸甲酯标准品由梯希爱(上海)化工工业发展有限公司生产。

### 1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:TRACE-1310型气相色谱仪由美国Thermo Fisher公司生产;BSAP243-CW型万分之一天平由德国Sartorius公司生产;HWS24型电热恒温水浴锅、DHG-9030A型电热鼓风干燥箱由上海一恒科学仪器有限公司生产;Centrifuge 5810R型高速冷冻离心机由德国Eppendorf公司生产。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品前处理

在预先准备好的蒸锅中加入半锅蒸馏水,于电磁炉上加热,待水沸腾后,依次对提前用棉线固定好的中华绒螯蟹进行蒸制和煮制处理,时间均为20 min,结束后取出冷却至室温。取中华绒螯蟹蟹足并刮取腿肉,称为腿肉;取性腺与肝胰腺,称为蟹黄(蟹膏);取两侧肌肉部分称为腹肉。对60只中华绒螯蟹进行取样,分别将生、蒸制和煮制中华绒螯蟹的3个可食部位的样品混合均匀后,于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下保存待用。

#### 1.3.2 胆固醇含量测定

参考GB/T 22220—2016《食品中胆固醇的测定》,采用气相色谱法测定中华绒螯蟹中胆固醇的含量。

#### 1.3.3 脂肪酸含量测定

参考GB 5009.168—2016《食品中脂肪酸的

测定》并稍作修改。

总脂的提取:分别称取蟹黄/蟹膏0.5 g(精确到0.001 g),腹肉和腿肉各4 g(精确到0.001 g)于50 mL的离心管中,加入20 mL甲醇-氯仿(体积比为1:2)混合溶液,在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下充分浸提12 h,于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以4 000 r/min离心12 min,待离心结束,加入5 mL 6%的氯化镁溶液,静置分层,经无水硫酸钠过滤后转移至100 mL的圆底烧瓶,并于旋转蒸发仪 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 真空条件下蒸发后冷却至恒重得到总脂。

脂肪酸组成分析:往上述装有总脂的圆底烧瓶内加入5 mL 0.5 mol/L NaOH-CH<sub>3</sub>OH溶液和100  $\mu\text{L}$  10 mg/mL十九烷酸内标溶液,轻微振荡,接冷凝回流装置,于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴条件下振摇10 min;加入3 mL 14 g/L三氟化硼-甲醇溶液,于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴条件下振摇5 min;加入2 mL正己烷,于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水浴条件下振摇2 min。冷凝结束后迅速加入10 mL饱和NaCl溶液,充分振荡,分层澄清后吸取上清液,过0.22  $\mu\text{m}$ 有机相滤膜待气相色谱分析。

气相色谱条件:色谱柱为Agilent SP-2560毛细管柱(100 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.2  $\mu\text{m}$ ),升温程序起始 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,以 $50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持1 min, $4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持1 min, $3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 $225\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保持30 min;进样口温度 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;进样量1  $\mu\text{L}$ ,分流比45:1,柱流量1 mL/min,载气为氮气。

### 1.4 数据分析

结果用平均值 $\pm$ 标准偏差(Mean  $\pm$  SD)表示,其中脂肪酸含量采用与37种脂肪酸甲酯混合标准品对照定性及内标法定量分析。每个实验平行测定3次( $n=3$ ),所有实验数据采用Excel进行统计,ANOVA检验计算各测定值的平均值及标准方差。设定显著水平 $P < 0.05$ ,采用IBM SPSS 26.0软件进行统计分析。

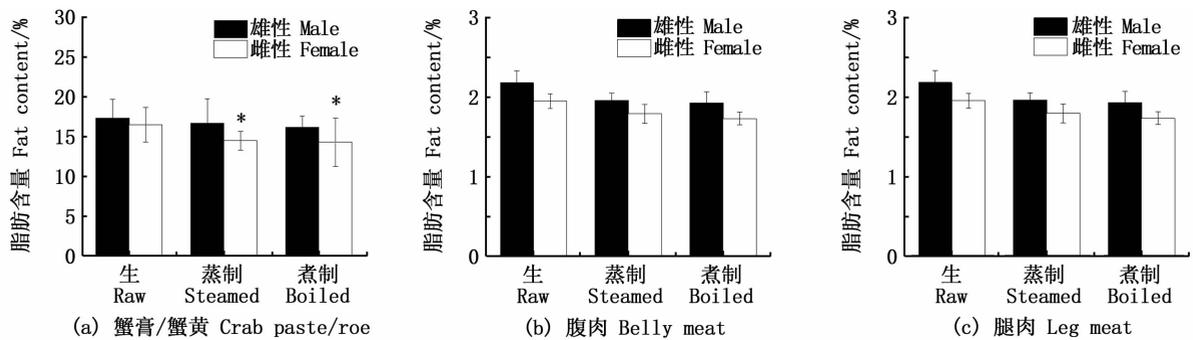
## 2 结果与分析

### 2.1 蒸制和煮制中华绒螯蟹总脂肪含量

由图1可知,雄蟹与雌蟹之间脂肪含量无明显差异,但不同可食部位之间差异明显。蟹黄和蟹膏中脂肪含量分别为16.51%和17.35%,明显高于腹肉和腿肉中脂肪含量,这与从娇娇等<sup>[10]</sup>研究结果相似,性腺脂肪含量约15%,体肉脂肪含量低于2%。结果显示,蒸制和煮制均会造成脂

肪含量下降。蒸制处理后,与生蟹相比较,雌蟹各部位中脂肪含量的下降程度从高到低依次为蟹黄>腿肉>腹肉,雄蟹各部位中脂肪含量下降程度从高到低依次为腹肉>腿肉>蟹膏。煮制处理后,与生蟹相比较,雌蟹各部位中脂肪含量的下降程度从高到低也依次为蟹黄>腿肉>腹肉,雄蟹各部位中脂肪含量下降程度从高到低依

次为蟹膏>腿肉>腹肉。在煮制的过程中,汤汁中的水分会流入到中华绒螯蟹体内,同时其体肉中脂质等营养物质也有部分流出<sup>[9]</sup>,因此与蒸制相比,腹肉经煮制后会导致脂肪含量显著下降。因此有必要进一步讨论脂肪流失对中华绒螯蟹脂肪酸和胆固醇含量的影响,从而以更优的烹饪方式达到保留中华绒螯蟹营养价值的目的。



柱状图上方含“\*”,代表差异显著( $P < 0.05$ )。

The “\*” above the histogram means significant difference ( $P < 0.05$ ).

图 1 生、蒸制和煮制中华绒螯蟹 3 个可食部位脂肪含量

Fig. 1 Fat content of three edible parts of raw, steamed and boiled *Eriocheir sinensis*

## 2.2 蒸制和煮制中华绒螯蟹胆固醇含量

胆固醇是中华绒螯蟹中主要营养成分之一,但在蟹体的分布并不均匀。由图 2 可知,蟹黄/蟹膏、腹肉和腿肉中胆固醇含量有显著差异( $P < 0.05$ )。其中,蟹黄中胆固醇含量为( $238.87 \pm 17.16$ ) mg/100 g,蟹膏中胆固醇含量为( $267.24 \pm 27.12$ ) mg/100 g;雌蟹的腹肉和足肉中胆固醇含量为( $60.85 \pm 1.86$ ) mg/100g 和( $52.75 \pm 5.30$ ) mg/100 g,略低于雄蟹的( $63.83 \pm 7.95$ ) mg/100 g 和( $55.81 \pm 6.95$ ) mg/100 g。这与王潇等<sup>[11-12]</sup>报道一致,不同水域中华绒螯蟹雌体蟹黄内胆固醇含量为 160.4 ~ 271.9 mg/100 g,蟹膏胆固醇含量为 95.1 ~ 264.5 mg/100 g。

胆固醇含量变化结果显示,蒸制和煮制中华绒螯蟹的 3 个可食部位胆固醇含量都有所降低,其中腹肉胆固醇降低最明显。蒸制处理后,雌、雄中华绒螯蟹腹肉中胆固醇平均含量分别下降 24.18% 和 28.61%;煮制处理后,雌、雄中华绒螯蟹腹肉中胆固醇分别下降 29.64% 和 31.92%。与生蟹相比,蒸制和煮制引起的胆固醇含量显著下降( $P < 0.05$ ),但蒸制与煮制两种处理方式相

互比较,差异性并不显著。

## 2.3 蒸制和煮制中华绒螯蟹脂肪酸含量

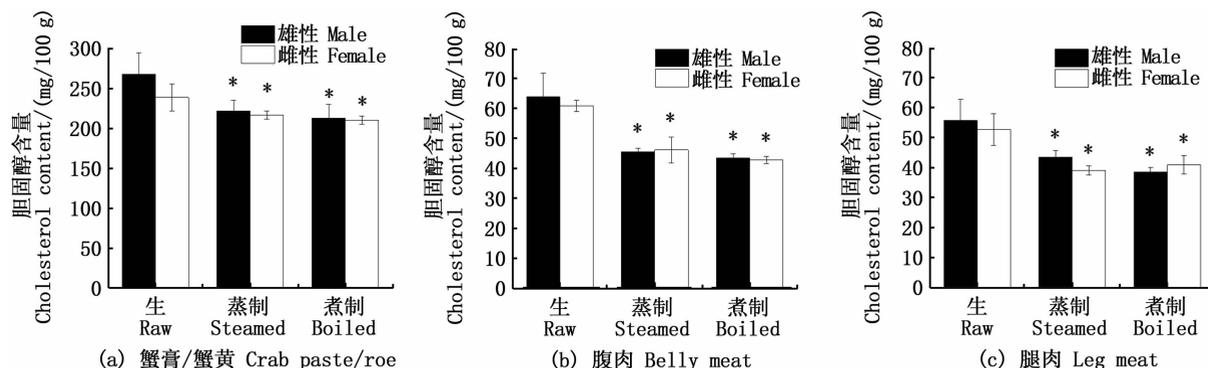
### 2.3.1 蒸制和煮制对雌性中华绒螯蟹 3 个可食部位脂肪酸含量的影响

生、蒸制和煮制雌性中华绒螯蟹 3 个可食部位中脂肪酸的种类和含量如表 1 所示。蟹黄脂肪酸种类最多(30 种),包括 10 种 SFA、9 种 MUFA 和 11 种 PUFA,  $\Sigma$  MUFA 占比最高,为 40.70%,  $\Sigma$  SFA 和  $\Sigma$  PUFA 占比分别为 24.06% 和 35.24%。蟹黄中主要饱和脂肪酸为棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0);单饱和脂肪酸主要为油酸(C18:1n9c),而且在蟹黄中含量最高;蟹黄中多不饱和脂肪酸种类丰富,以亚油酸(C18:2n6c)、EPA 和 DHA 为主。蒸制和煮制对蟹黄中脂肪酸的种类没有影响,但会引起主要脂肪酸含量的变化。蒸制和煮制后,蟹黄中硬脂酸含量均显著上升( $P < 0.05$ )。主要单不饱和脂肪酸油酸含量显著下降( $P < 0.05$ )。而蒸制和煮制对亚油酸的含量影响均不明显( $P > 0.05$ ),EPA 和 DHA 均有一定程度的下降。

腹肉中  $\Sigma$  PUFA (58.47%) >  $\Sigma$  MUFA (23.67%) >  $\Sigma$  SFA (17.86%),但 EPA 和 DHA

在腹肉多不饱和脂肪酸中占比较高。蒸制会使腹肉中硬脂酸含量显著上升( $P < 0.05$ ), 煮制对硬脂酸含量无显著影响( $P > 0.05$ )。油酸含量显著下降( $P < 0.05$ ), 其中蒸制处理后油酸含量下

降 10.31%, 低于煮制处理后的 14.55%。蒸制和煮制处理对腹肉中 EPA 影响不显著( $P > 0.05$ ), 但煮制处理会使 DHA 含量显著下降( $P < 0.05$ )。



柱状图上方含“\*”,代表差异显著( $P < 0.05$ )。

The “\*” above the histogram means significant difference ( $P < 0.05$ ).

图2 生、蒸制和煮制中华绒螯蟹3个可食部位胆固醇含量

Fig. 2 Cholesterol content in three edible parts of raw, steamed and boiled *Eriocheir sinensis*

腿肉中各类脂肪酸的含量普遍高于腹肉,但组成与腹肉相似。 $\Sigma$  PUFA 占比最高,为 52.20%,  $\Sigma$  MUFA 和  $\Sigma$  SFA 占比分别为 26.72% 和 21.08%。蒸制和煮制处理均会使腿肉中硬脂酸含量显著上升( $P < 0.05$ ), 油酸含量显著下降( $P < 0.05$ )。蒸制和煮制处理对腿肉中 DHA 影响不明显( $P > 0.05$ ), 但煮制处理会使 EPA 含量

显著下降( $P < 0.05$ )。

综上所述,雌性中华绒螯蟹经过蒸制和煮制之后的主要饱和脂肪酸为棕榈酸和硬脂酸,单不饱和脂肪酸主要为油酸,多不饱和脂肪酸以亚油酸、EPA 和 DHA 为主;与煮制相比,蒸制能够减少脂肪酸的流失。

表1 生、蒸制和煮制雌性中华绒螯蟹3个可食部位中脂肪酸的含量与组成  
Tab. 1 Content and composition of fatty acids in three edible parts of raw, steamed and boiled female *Eriocheir sinensis*

脂肪酸 Fatty acid	蟹黄 Crab roe			腹肉 Belly meat				腿肉 Leg meat		
	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	
C14:0	112.57 ± 4.70 <sup>a</sup>	105.95 ± 1.98 <sup>a</sup>	97.07 ± 2.53 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.10	1.14 ± 0.17	0.83 ± 0.30	0.87 ± 0.05	0.68 ± 0.14	0.68 ± 0.18	
C14:1	10.99 ± 0.93 <sup>a</sup>	6.12 ± 0.29 <sup>b</sup>	9.81 ± 0.34 <sup>a</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	
C15:0	78.49 ± 3.70 <sup>a</sup>	71.42 ± 1.24 <sup>b</sup>	60.34 ± 1.48 <sup>c</sup>	0.96 ± 0.11	0.93 ± 0.09	N. D.	1.24 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.88 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.78 ± 0.09 <sup>b</sup>	
C15:1	0.62 ± 0.18 <sup>ab</sup>	0.53 ± 0.13 <sup>b</sup>	0.79 ± 0.05 <sup>a</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	
C16:0	2 001.46 ± 104.83	2 099.64 ± 90.00	2 091.48 ± 124.86	36.05 ± 1.41	39.93 ± 0.85	38.99 ± 2.55	52.25 ± 0.23 <sup>b</sup>	55.60 ± 5.35 <sup>b</sup>	78.80 ± 4.20 <sup>a</sup>	
C16:1	936.70 ± 81.89 <sup>a</sup>	862.87 ± 24.54 <sup>ab</sup>	783.84 ± 22.76 <sup>b</sup>	8.97 ± 0.43	9.38 ± 2.44	7.32 ± 0.78	10.38 ± 0.39 <sup>a</sup>	8.95 ± 1.37 <sup>ab</sup>	8.18 ± 0.14 <sup>b</sup>	
C17:0	58.32 ± 1.76 <sup>a</sup>	50.17 ± 0.48 <sup>b</sup>	49.12 ± 0.20 <sup>b</sup>	1.47 ± 0.06	1.40 ± 0.13	1.47 ± 0.07	2.45 ± 0.03	2.33 ± 0.12	2.44 ± 0.08	
C17:1	20.90 ± 1.46 <sup>a</sup>	15.97 ± 1.17 <sup>b</sup>	16.12 ± 0.16 <sup>b</sup>	0.14 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.48 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.40 ± 0.10	N. D.	0.33 ± 0.10	

续表 1

脂肪酸 Fatty acid	蟹黄 Crab roe			腹肉 Belly meat			腿肉 Leg meat		
	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled
C18:0	436.40 ± 19.38 <sup>c</sup>	535.16 ± 31.35 <sup>b</sup>	560.94 ± 57.68 <sup>a</sup>	17.44 ± 0.75 <sup>b</sup>	22.90 ± 3.17 <sup>a</sup>	17.22 ± 0.26 <sup>b</sup>	30.55 ± 0.16 <sup>c</sup>	39.94 ± 1.11 <sup>a</sup>	38.05 ± 0.41 <sup>b</sup>
C18:1n9t	45.41 ± 61.56 <sup>a</sup>	32.08 ± 1.07 <sup>b</sup>	32.16 ± 0.62 <sup>b</sup>	0.93 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.04 <sup>ab</sup>	0.69 ± 0.12 <sup>b</sup>	1.18 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.46 ± 0.40 <sup>a</sup>	0.96 ± 0.04 <sup>c</sup>
C18:1n9c	3 506.36 ± 219.85 <sup>a</sup>	2 616.60 ± 86.79 <sup>b</sup>	2 823.89 ± 136.77 <sup>b</sup>	64.12 ± 2.04 <sup>a</sup>	57.51 ± 0.29 <sup>b</sup>	54.79 ± 4.70 <sup>c</sup>	96.79 ± 1.53 <sup>a</sup>	87.43 ± 5.44 <sup>b</sup>	81.07 ± 3.04 <sup>b</sup>
C18:2n6t	1.57 ± 0.36 <sup>b</sup>	0.55 ± 0.12 <sup>c</sup>	2.22 ± 0.11 <sup>a</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C18:2n6c	2 044.05 ± 129.58	2 040.04 ± 99.70	1 892.40 ± 111.24	37.95 ± 0.65 <sup>a</sup>	39.86 ± 1.93 <sup>a</sup>	32.70 ± 1.23 <sup>b</sup>	55.53 ± 10.64 <sup>a</sup>	55.43 ± 1.24 <sup>a</sup>	49.75 ± 0.64 <sup>b</sup>
C20:0	30.46 ± 1.37 <sup>c</sup>	56.79 ± 0.39 <sup>a</sup>	49.83 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.38 ± 0.18 <sup>b</sup>	1.22 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.60 ± 0.18 <sup>b</sup>	0.62 ± 0.02	0.70 ± 0.22	0.51 ± 0.17
C18:3n6	4.42 ± 0.44	3.78 ± 0.30	3.34 ± 0.81	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C20:1	124.15 ± 7.21 <sup>a</sup>	110.40 ± 0.29 <sup>b</sup>	96.78 ± 0.40 <sup>c</sup>	2.13 ± 0.16 <sup>a</sup>	2.32 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.08 ± 0.33 <sup>b</sup>	2.75 ± 0.59	2.31 ± 0.21	2.36 ± 0.20
C18:3n3	286.46 ± 18.89	281.46 ± 32.21	277.53 ± 15.31	4.07 ± 0.28 <sup>c</sup>	5.72 ± 0.70 <sup>b</sup>	10.30 ± 0.24 <sup>a</sup>	5.07 ± 0.14 <sup>a</sup>	4.44 ± 0.38 <sup>b</sup>	4.37 ± 0.42 <sup>b</sup>
C21:0	13.43 ± 0.52 <sup>a</sup>	4.48 ± 0.05 <sup>b</sup>	3.93 ± 1.42 <sup>b</sup>	0.71 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.64 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.14 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.26 ± 0.01	0.27 ± 0.02	0.10 ± 0.01
C20:2	180.48 ± 7.95 <sup>a</sup>	157.06 ± 20.74 <sup>b</sup>	153.33 ± 11.99 <sup>b</sup>	4.8 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.28 ± 0.92 <sup>b</sup>	4.70 ± 0.39 <sup>a</sup>	8.29 ± 0.20	7.97 ± 0.42	7.91 ± 0.36
C22:0	25.47 ± 0.55 <sup>b</sup>	30.93 ± 2.08 <sup>a</sup>	30.03 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.91 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.37 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.38 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.01 <sup>a</sup>
C20:3n6	32.11 ± 2.24 <sup>a</sup>	26.57 ± 0.13 <sup>b</sup>	21.83 ± 0.29 <sup>c</sup>	0.27 ± 0.11 <sup>c</sup>	1.67 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.21 <sup>b</sup>	0.53 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.23 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.03 <sup>b</sup>
C22:1n9	11.37 ± 0.29 <sup>a</sup>	4.36 ± 0.19 <sup>c</sup>	5.11 ± 0.31 <sup>b</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C20:3n3	71.13 ± 6.07 <sup>a</sup>	63.27 ± 0.85 <sup>b</sup>	60.26 ± 1.25 <sup>b</sup>	1.56 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.01 <sup>c</sup>	1.06 ± 0.08 <sup>b</sup>	2.51 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.61 ± 0.16 <sup>b</sup>	2.24 ± 0.51 <sup>ab</sup>
C20:4n6	337.83 ± 37.16	330.12 ± 34.15	301.43 ± 24.46	12.76 ± 0.32 <sup>b</sup>	14.92 ± 1.10 <sup>a</sup>	11.90 ± 0.54 <sup>b</sup>	23.19 ± 0.14 <sup>a</sup>	22.70 ± 1.65 <sup>a</sup>	19.31 ± 0.45 <sup>b</sup>
C23:0	0.79 ± 0.01 <sup>c</sup>	2.72 ± 0.35 <sup>b</sup>	4.19 ± 0.24 <sup>a</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C22:2	2.47 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.85 ± 0.33 <sup>b</sup>	0.36 ± 0.16 <sup>b</sup>	2.44 ± 0.29 <sup>a</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C24:0	10.53 ± 1.58 <sup>a</sup>	0.67 ± 0.12 <sup>c</sup>	2.93 ± 0.38 <sup>b</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C20:5n3 (EPA)	484.65 ± 34.88 <sup>a</sup>	426.70 ± 82.10 <sup>b</sup>	466.41 ± 49.28 <sup>ab</sup>	64.32 ± 5.95	61.50 ± 7.88	61.54 ± 4.38	67.98 ± 4.47 <sup>a</sup>	64.03 ± 3.63 <sup>a</sup>	55.98 ± 3.33 <sup>b</sup>
C24:1	3.79 ± 0.65 <sup>a</sup>	2.24 ± 0.22 <sup>b</sup>	1.18 ± 0.27 <sup>c</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C22:6n3 (DHA)	591.56 ± 37.72 <sup>a</sup>	502.90 ± 22.46 <sup>b</sup>	482.71 ± 75.59 <sup>b</sup>	61.91 ± 1.28 <sup>a</sup>	58.07 ± 6.24 <sup>a</sup>	54.92 ± 3.52 <sup>b</sup>	55.78 ± 4.00	52.67 ± 6.38	50.34 ± 5.75
Σ SFA	2 754.22 ± 133.35 <sup>b</sup>	2 951.20 ± 91.80 <sup>a</sup>	2 929.32 ± 48.76 <sup>b</sup>	57.42 ± 2.97 <sup>b</sup>	68.83 ± 9.54 <sup>a</sup>	58.38 ± 1.09 <sup>b</sup>	88.44 ± 0.14 <sup>b</sup>	100.56 ± 4.72 <sup>a</sup>	90.94 ± 6.10 <sup>b</sup>
Σ MUFA	4 660.29 ± 308.92 <sup>a</sup>	3 645.11 ± 251.32 <sup>b</sup>	3 764.06 ± 305.52 <sup>b</sup>	76.12 ± 3.07 <sup>a</sup>	70.79 ± 8.71 <sup>b</sup>	61.33 ± 0.70 <sup>c</sup>	112.06 ± 2.23 <sup>a</sup>	100.34 ± 5.02 <sup>b</sup>	92.79 ± 2.99 <sup>c</sup>
Σ PUFA	4 034.44 ± 268.79 <sup>a</sup>	3 840.55 ± 123.2 <sup>ab</sup>	3 662.01 ± 35.31 <sup>b</sup>	188.05 ± 2.74	187.96 ± 13.20	177.75 ± 5.61	218.94 ± 7.57 <sup>a</sup>	210.52 ± 9.95 <sup>a</sup>	190.03 ± 2.49 <sup>b</sup>
Σ n-3	1 433.80 ± 96.93 <sup>a</sup>	1 274.34 ± 28.71 <sup>b</sup>	1 286.91 ± 19.36 <sup>b</sup>	131.87 ± 1.98	126.72 ± 9.28	127.82 ± 4.51	131.35 ± 7.33 <sup>a</sup>	122.76 ± 9.15 <sup>a</sup>	112.93 ± 3.41 <sup>b</sup>
Σ n-6	2 600.65 ± 172.36	2 566.22 ± 122.27	2 495.40 ± 99.50	56.25 ± 0.91 <sup>a</sup>	56.69 ± 9.22 <sup>a</sup>	45.23 ± 0.95 <sup>b</sup>	87.59 ± 0.93 <sup>a</sup>	79.04 ± 1.79 <sup>b</sup>	69.19 ± 0.85 <sup>c</sup>
n-3/n-6	0.55 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.52 ± 0.00 <sup>b</sup>	2.35 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.24 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.83 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.56 ± 0.16	1.56 ± 0.16	1.63 ± 0.07

注:同一行上标不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ );N. D. 表示未检出。

Notes: Different superscript in the same row indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); N. D. indicates not detected.

蒸制和煮制会使得雌蟹3个可食部位中主要脂肪酸含量发生变化。3种基本类型的脂肪酸中,经蒸制处理后, $\Sigma$ SFA均显著上升( $P < 0.05$ ),而煮制处理对 $\Sigma$ SFA的影响并不明显, $\Sigma$ MUFA和 $\Sigma$ PUFA均显著下降( $P < 0.05$ )。在PUFA中, $\Sigma$ (EPA + DHA)和 $\Sigma$ n-3均有不同程度的下降,而 $\Sigma$ n-6除了在煮制腹肉中无明显变化之外,其余部位均有所下降,其中蒸制和煮制腿肉中下降显著( $P < 0.05$ )。倪逸群等<sup>[8]</sup>研究表明,不同的加热时间会导致中华绒螯蟹性腺中 $\Sigma$ SFA的上升, $\Sigma$ MUFA和 $\Sigma$ PUFA下降,可能源于MUFA和PUFA的氧化<sup>[13]</sup>。不饱和脂肪酸中含有较多的C=C双键,更容易在热处理过程中氧化分解,造成 $\Sigma$ MUFA和 $\Sigma$ PUFA下降<sup>[14]</sup>。3个可食部位中,蟹黄中 $\Sigma$ MUFA下降最显著( $P < 0.05$ ),蒸制和煮制分别下降21.56%和19.00%。 $\Sigma$ PUFA的下降程度为煮制>蒸制。

蒸制处理后,雌蟹3个可食部位中 $\Sigma$ (EPA + DHA)下降程度从高到低依次为蟹黄>腿肉>腹肉;煮制处理后,雌蟹3个可食部位中 $\Sigma$ (EPA + DHA)下降程度从高到低依次为腿肉>蟹黄>腹肉。 $\Sigma$ n-3下降趋势与 $\Sigma$ (EPA + DHA)一致,因为EPA和DHA是构成n-3系列最主要的脂肪酸。n-6系列脂肪酸在蟹黄中下降不明显( $P > 0.05$ ),但在腹肉和腿肉中,n-6系列脂肪酸煮制比蒸制下降明显。

### 2.3.2 蒸制和煮制对雄性中华绒螯蟹3个可食部位脂肪酸含量的影响

生、蒸制和煮制雄性中华绒螯蟹3个可食部位脂肪酸的种类和含量如表2所示。与雌蟹相比,蟹膏中总脂肪酸含量( $\Sigma$ FA)低于蟹黄的 $\Sigma$ FA,而雄蟹腹肉和腿肉中 $\Sigma$ FA略高于雌蟹。

蟹膏中脂肪酸种类与蟹黄相同,其中 $\Sigma$ MUFA占比最高,为42.69%, $\Sigma$ PUFA和 $\Sigma$ SFA

占比分别为29.49%和27.82%。蟹膏中主要饱和脂肪酸为豆蔻酸、棕榈酸和硬脂酸;单饱和脂肪酸主要为油酸;蟹膏中多不饱和脂肪酸也主要以亚油酸、EPA和DHA为主。蒸制和煮制对蟹膏中脂肪酸的种类没有影响,但也会引起主要脂肪酸含量的变化。蒸制和煮制后,蟹黄中硬脂酸含量均显著上升( $P < 0.05$ ),但豆蔻酸、棕榈酸受煮制影响显著下降( $P < 0.05$ )。与雌蟹不同的是,煮制处理后油酸含量下降20.57%,但蒸制处理对油酸影响不显著( $P > 0.05$ )。煮制会使蟹膏中亚油酸、EPA和DHA的含量下降18.05%、16.96%和11.52%。

与雌蟹相似,雄蟹腹肉中3类脂肪酸从高到低依次为 $\Sigma$ PUFA(52.96%)> $\Sigma$ MUFA(24.07%)> $\Sigma$ SFA(22.97%)。主要饱和脂肪酸为棕榈酸和硬脂酸;主要单饱和脂肪酸为油酸;主要的多不饱和脂肪酸为EPA和DHA。煮制会使腹肉中棕榈酸和硬脂酸的含量显著上升( $P < 0.05$ )。蒸制和煮制后油酸含量显著下降10.66%和12.41%。雄蟹腹肉中EPA和DHA含量受蒸制和煮制影响较小。

雄蟹腿肉脂肪酸组成也与腹肉相似,3类脂肪酸从高到低依次为 $\Sigma$ PUFA(53.39%)> $\Sigma$ MUFA(24.21%)> $\Sigma$ SFA(22.40%)。蒸制处理会使腿肉中硬脂酸含量显著上升( $P < 0.05$ ),煮制处理会使腿肉中硬脂酸和油酸含量显著降低( $P < 0.05$ )。蒸制和煮制处理对腿肉EPA含量影响显著( $P < 0.05$ ),分别下降15.56%和27.48%。

因此,与雌蟹相同,雄性中华绒螯蟹经过热处理之后,主要脂肪酸的比例不会发生显著变化,棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、EPA和DHA仍为主要脂肪酸,对脂肪酸变化的影响为煮制>蒸制。

表 2 生、蒸制和煮制雄性中华绒螯蟹 3 个可食部位中脂肪酸的含量与组成  
 Tab.2 Content and composition of fatty acids in three edible parts  
 of raw, steamed and boiled male *Eriocheir sinensis*

脂肪酸 Fatty acid	蟹膏 Crab paste			腹肉 Belly meat			腿肉 Leg meat		
	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled
C14:0	160.02 ± 11.55 <sup>a</sup>	156.71 ± 15.30 <sup>a</sup>	137.10 ± 18.53 <sup>b</sup>	1.19 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.02 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.13 ± 0.10 <sup>ab</sup>	1.21 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.29 ± 0.04 <sup>a</sup>
C14:1	28.29 ± 2.18 <sup>a</sup>	19.13 ± 0.30 <sup>b</sup>	15.22 ± 0.30 <sup>c</sup>	N. D.	N. D.				
C15:0	101.31 ± 5.15	99.41 ± 6.56	96.63 ± 11.02	1.37 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.02 ± 0.11 <sup>b</sup>	1.49 ± 0.07 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.48 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.27 <sup>b</sup>
C15:1	0.17 ± 0.02	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C16:0	1 778.47 ± 82.35 <sup>a</sup>	1 790.92 ± 78.36 <sup>a</sup>	1 436.13 ± 52.84 <sup>b</sup>	57.61 ± 1.20 <sup>b</sup>	56.82 ± 2.47 <sup>b</sup>	64.70 ± 8.30 <sup>a</sup>	58.65 ± 1.39 <sup>a</sup>	49.13 ± 1.02 <sup>b</sup>	48.14 ± 5.53 <sup>b</sup>
C16:1	1 001.30 ± 37.87 <sup>a</sup>	904.26 ± 58.08 <sup>b</sup>	857.75 ± 95.19 <sup>b</sup>	13.45 ± 0.22 <sup>a</sup>	5.95 ± 0.03 <sup>c</sup>	8.27 ± 0.46 <sup>b</sup>	13.17 ± 0.32 <sup>a</sup>	12.96 ± 0.20 <sup>a</sup>	10.03 ± 2.37 <sup>b</sup>
C17:0	42.06 ± 1.49 <sup>a</sup>	35.55 ± 1.15 <sup>b</sup>	21.75 ± 0.97 <sup>c</sup>	3.09 ± 0.03	3.30 ± 0.15	3.07 ± 0.13	3.11 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.13 <sup>c</sup>	1.98 ± 0.05 <sup>b</sup>
C17:1	19.30 ± 1.16	14.38 ± 0.76	12.12 ± 0.01	0.57 ± 0.10 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.64 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>b</sup>
C18:0	269.12 ± 5.40 <sup>c</sup>	295.61 ± 4.16 <sup>b</sup>	307.69 ± 3.06 <sup>a</sup>	37.31 ± 0.30 <sup>c</sup>	42.43 ± 0.17 <sup>a</sup>	38.73 ± 4.54 <sup>b</sup>	37.19 ± 0.40 <sup>b</sup>	39.37 ± 10.73 <sup>a</sup>	26.32 ± 0.30 <sup>c</sup>
C18:1n9t	21.94 ± 0.17 <sup>a</sup>	20.72 ± 0.52 <sup>b</sup>	5.84 ± 0.16 <sup>c</sup>	1.41 ± 0.55 <sup>a</sup>	1.16 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.95 ± 0.30 <sup>c</sup>	1.01 ± 0.40 <sup>a</sup>	0.45 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.78 ± 0.15 <sup>b</sup>
C18:1n9c	2 470.67 ± 68.52 <sup>a</sup>	2 361.15 ± 34.95 <sup>a</sup>	1 962.95 ± 87.60 <sup>b</sup>	84.60 ± 3.41 <sup>a</sup>	75.58 ± 9.63 <sup>b</sup>	74.10 ± 3.06 <sup>b</sup>	90.08 ± 2.22 <sup>a</sup>	87.96 ± 21.84 <sup>a</sup>	72.50 ± 11.49 <sup>b</sup>
C18:2n6t	2.63 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.92 ± 0.06 <sup>b</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C18:2n6c	1 181.31 ± 44.06 <sup>a</sup>	1 168.94 ± 22.72 <sup>a</sup>	968.14 ± 24.66 <sup>b</sup>	39.68 ± 0.74	38.02 ± 3.75	39.97 ± 1.96	44.28 ± 1.01 <sup>a</sup>	40.02 ± 2.07 <sup>b</sup>	42.89 ± 13.08 <sup>ab</sup>
C20:0	18.35 ± 0.43 <sup>b</sup>	21.87 ± 0.42 <sup>a</sup>	8.24 ± 0.43 <sup>c</sup>	0.53 ± 0.03	0.58 ± 0.19	0.82 ± 0.08	0.49 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.23 ± 0.02 <sup>c</sup>
C18:3n6	5.92 ± 1.09 <sup>a</sup>	3.24 ± 1.00 <sup>b</sup>	3.69 ± 0.33 <sup>b</sup>	N. D.	N. D.				
C20:1	141.67 ± 3.97 <sup>a</sup>	101.75 ± 7.94 <sup>b</sup>	105.84 ± 15.41 <sup>b</sup>	6.05 ± 0.75 <sup>a</sup>	4.32 ± 0.28 <sup>b</sup>	5.25 ± 0.92 <sup>ab</sup>	4.77 ± 0.91 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.02 <sup>b</sup>	3.93 ± 0.97 <sup>a</sup>
C18:3n3	200.33 ± 5.72	193.86 ± 7.56	192.60 ± 3.37	5.00 ± 0.21 <sup>b</sup>	8.23 ± 0.50 <sup>a</sup>	5.20 ± 0.16 <sup>b</sup>	5.19 ± 0.05 <sup>a</sup>	4.46 ± 0.21 <sup>b</sup>	3.16 ± 0.08 <sup>c</sup>
C21:0	9.94 ± 0.63 <sup>a</sup>	7.52 ± 0.21 <sup>b</sup>	6.78 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.76 ± 0.19 <sup>a</sup>	N. D.	0.40 ± 0.03 <sup>b</sup>	N. D.	N. D.	N. D.
C20:2	89.45 ± 2.44	80.34 ± 8.01	85.05 ± 0.74	6.29 ± 0.25 <sup>a</sup>	4.11 ± 0.34 <sup>b</sup>	6.02 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.51 ± 0.13 <sup>a</sup>	4.96 ± 0.18 <sup>b</sup>	4.59 ± 0.02 <sup>c</sup>
C22:0	21.86 ± 4.14 <sup>b</sup>	29.20 ± 0.99 <sup>a</sup>	27.55 ± 0.37 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.05 <sup>b</sup>	0.24 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.52 ± 0.08 <sup>a</sup>	N. D.	N. D.	N. D.
C20:3n6	32.79 ± 0.53 <sup>a</sup>	27.38 ± 0.62 <sup>b</sup>	25.49 ± 0.33 <sup>c</sup>	0.71 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.62 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.79 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.03 <sup>c</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>b</sup>
C22:1n9	10.55 ± 0.66 <sup>a</sup>	8.14 ± 0.41 <sup>b</sup>	4.36 ± 0.16 <sup>c</sup>	N. D.	N. D.				
C20:3n3	46.66 ± 1.22 <sup>a</sup>	43.13 ± 1.79 <sup>b</sup>	41.32 ± 0.70 <sup>b</sup>	2.38 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.99 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.86 ± 0.06 <sup>c</sup>	2.42 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.03 <sup>c</sup>	2.04 ± 0.03 <sup>b</sup>
C20:4n6	227.26 ± 12.15 <sup>a</sup>	197.18 ± 14.68 <sup>b</sup>	178.14 ± 3.65 <sup>b</sup>	25.78 ± 0.30 <sup>b</sup>	30.05 ± 5.87 <sup>a</sup>	24.11 ± 0.29 <sup>b</sup>	28.17 ± 0.41 <sup>a</sup>	18.65 ± 0.27 <sup>c</sup>	25.35 ± 3.24 <sup>b</sup>
C23:0	2.25 ± 0.39	2.57 ± 0.30	2.29 ± 0.03	N. D.	N. D.				
C22:2	2.84 ± 0.70 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.24 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.05 <sup>c</sup>	N. D.	N. D.				
C24:0	15.17 ± 3.17	13.41 ± 0.41	11.98 ± 0.22	N. D.	N. D.				

续表 2

脂肪酸 Fatty acid	蟹膏 Crab paste			腹肉 Belly meat			腿肉 Leg meat		
	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled	生 Raw	蒸制 Steamed	煮制 Boiled
C20:5n3 (EPA)	234.22 ± 4.41 <sup>a</sup>	239.55 ± 13.79 <sup>a</sup>	194.48 ± 7.26 <sup>b</sup>	83.85 ± 8.79	90.73 ± 15.47	87.44 ± 9.88	87.85 ± 1.29 <sup>a</sup>	74.18 ± 8.17 <sup>b</sup>	63.71 ± 7.20 <sup>c</sup>
C24:1	14.72 ± 1.96 <sup>a</sup>	11.09 ± 0.70 <sup>b</sup>	14.38 ± 0.68 <sup>a</sup>	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.	N. D.
C22:6n3 (DHA)	531.53 ± 31.05 <sup>a</sup>	507.82 ± 25.70 <sup>b</sup>	470.32 ± 17.51 <sup>c</sup>	70.11 ± 14.83	68.49 ± 12.82	68.34 ± 12.03	67.19 ± 1.63 <sup>a</sup>	68.60 ± 14.31 <sup>a</sup>	51.60 ± 13.23 <sup>b</sup>
ΣSFA	2 408.61 ± 112.01 <sup>a</sup>	2 445.26 ± 94.99 <sup>a</sup>	2 047.82 ± 95.11 <sup>b</sup>	101.35 ± 0.64 <sup>c</sup>	105.14 ± 0.64 <sup>b</sup>	110.52 ± 3.06 <sup>a</sup>	101.56 ± 0.93 <sup>a</sup>	93.33 ± 0.79 <sup>b</sup>	79.48 ± 1.46 <sup>c</sup>
ΣMUFA	3 697.15 ± 95.02 <sup>a</sup>	3 440.63 ± 93.50 <sup>b</sup>	2 974.43 ± 46.30 <sup>c</sup>	106.14 ± 2.61 <sup>a</sup>	87.23 ± 0.49 <sup>b</sup>	88.99 ± 4.22 <sup>b</sup>	109.75 ± 2.02 <sup>a</sup>	102.18 ± 2.04 <sup>b</sup>	87.67 ± 2.59 <sup>c</sup>
ΣPUFA	2 553.98 ± 48.14 <sup>a</sup>	2 463.51 ± 43.16 <sup>b</sup>	2 158.44 ± 25.42 <sup>c</sup>	233.59 ± 16.18	242.14 ± 24.90	233.53 ± 18.90	242.09 ± 14.54 <sup>a</sup>	211.44 ± 7.09 <sup>b</sup>	193.57 ± 10.83 <sup>c</sup>
Σn-3	1 012.74 ± 10.79 <sup>a</sup>	984.36 ± 15.81 <sup>b</sup>	898.73 ± 4.39 <sup>c</sup>	161.35 ± 3.69 <sup>b</sup>	169.44 ± 3.07 <sup>a</sup>	162.79 ± 2.07 <sup>b</sup>	162.57 ± 2.90 <sup>a</sup>	147.77 ± 4.86 <sup>b</sup>	120.51 ± 1.20 <sup>c</sup>
Σn-6	1 735.66 ± 44.16 <sup>a</sup>	1 507.91 ± 33.94 <sup>b</sup>	1 289.25 ± 36.58 <sup>c</sup>	72.24 ± 0.78	72.70 ± 1.93	70.74 ± 1.79	79.51 ± 1.66 <sup>a</sup>	63.67 ± 2.27 <sup>c</sup>	73.06 ± 1.16 <sup>b</sup>
n-3/n-6	0.58 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.65 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.70 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.23 ± 0.04 <sup>b</sup>	2.33 ± 0.03 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.06 <sup>ab</sup>	2.05 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.32 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.65 ± 0.04 <sup>c</sup>

注:同一行上标不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ); N. D. 表示未检出。

Notes: Different superscript letters in the same row indicate significant differences ( $P < 0.05$ ); N. D. indicates not detected.

蒸制和煮制会使得雄蟹 3 个可食部位中不同类型脂肪酸含量发生变化。3 种基本类型的脂肪酸中,腹肉中 ΣSFA 上升,腿肉中 ΣSFA 下降,蒸制蟹膏中 ΣSFA 无显著变化,而煮制蟹膏中 ΣSFA 显著下降( $P < 0.05$ ); 3 个可食部位中 ΣMUFA 均有一定程度下降;而 ΣPUFA 在腿肉中下降程度最大。

蒸制处理后,雄蟹腹肉中 Σ(EPA + DHA) 有所上升,蟹膏中 Σ(EPA + DHA) 下降不显著,而腿肉中 Σ(EPA + DHA) 显著下降,煮制处理与蒸制处理影响效果一致。与雌蟹相似,Σn-3 变化趋势与 Σ(EPA + DHA) 一致,n-6 系列脂肪酸在腹肉中变化不显著( $P > 0.05$ ),腹肉和腿肉中 n-6 系列脂肪酸均有所下降。

总体来看,经过烹饪处理之后,雄性中华绒螯蟹腹肉中脂肪酸含量相对稳定,而蟹膏和腿肉中脂肪酸的变化差异性相同;蒸制和煮制能够使得中华绒螯蟹 3 个可食部位的主要 SFA 和 MUFA 得以稳定保留。与煮制相比,蒸制造成的主要脂肪酸流失更少。

### 3 讨论

#### 3.1 蒸制和煮制对中华绒螯蟹胆固醇含量的影响

胆固醇不仅是细胞膜和脂蛋白中重要的脂质分子,也是固醇激素、胆汁酸和维生素 D 的前

体,它与人体健康息息相关<sup>[15-16]</sup>。胆固醇在中华绒螯蟹体内的分布并不均匀,蟹黄与蟹膏部分胆固醇含量一般能达到 250 mg/100 g 左右,腹肉和腿肉中胆固醇的含量均低于 70 mg/100 g。总的来看,无论是蒸制和煮制,中华绒螯蟹 3 个不同部位的胆固醇含量都发生了变化,除了雄蟹腿肉,相比与煮制,蒸制对胆固醇变化影响略小。胆固醇含量的降低一部分来源于蒸煮过程中总脂肪含量的降低,胆固醇含量也随之下降;另一部分是由于在熟制过程中发生了热氧化。较多研究表明,胆固醇在高温条件下会发生热氧化,生成 7α-羟基胆固醇、7β-羟基胆固醇、5,6β-环氧基胆固醇、5,6α-环氧基胆固醇、7-酮基胆固醇等一系列氧化物<sup>[17-18]</sup>,会使胆固醇的含量下降。兰晓芳等<sup>[9]</sup>研究表明,经烹调后鲟鱼胆固醇含量下降,清蒸能一定程度上减少与空气的接触,降低胆固醇的氧化程度,同时减少流失损失。蒸制和煮制均会造成中华绒螯蟹中胆固醇含量的下降,这有利于减少人体对胆固醇的摄入,但合理地食用中华绒螯蟹并不会导致人体摄入胆固醇超标。相较于总脂肪含量的变化,中华绒螯蟹各部位胆固醇含量明显降低,这与总脂肪含量变化并不相符,源于胆固醇在流失的同时发生氧化反应生成胆固醇氧化物。因此,与煮制相比,蒸制可以保留更多的胆固醇,降低胆固醇氧化物生成

的风险。

### 3.2 蒸制和煮制对中华绒螯蟹脂肪酸含量的影响

实验表明,雌性中华绒螯蟹蟹黄的总脂肪酸含量( $\Sigma$ FFA)高于雄蟹蟹膏的 $\Sigma$ FFA,中华绒螯蟹脂肪酸组成中主要饱和脂肪酸为棕榈酸和硬脂酸,单不饱和脂肪酸为油酸,多不饱和脂肪酸种类丰富,主要为亚油酸、EPA 和 DHA。棕榈酸能够降低血清总胆固醇的含量,减少动脉粥样硬化与心脏病的患病风险<sup>[19]</sup>。棕榈酸是中华绒螯蟹中 SFA 的主要脂肪酸,这与陈志强等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。尽管在加热过程中,总脂肪含量因流失而下降,但不饱和脂肪酸的氧化,使得蒸制和煮制处理后棕榈酸含量能保持稳定,不会造成棕榈酸的流失。因此相对于其他富含 SFA 的肉类而言,食用棕榈酸比例更高的中华绒螯蟹更有益于身体健康。

中华绒螯蟹蟹黄/蟹膏部分脂肪酸组成均以 MUFA 为主, MUFA 具有调节血脂和提高记忆力的作用,对心血管健康十分有益<sup>[21]</sup>。MUFA 中油酸占比最高,油酸又被称为“安全脂肪酸”,是衡量食品品质的指标之一<sup>[22]</sup>。中华绒螯蟹雌蟹经过蒸制和煮制处理后,油酸仍为各可食部位的主要脂肪酸,因此,蒸制和煮制处理能够较大程度使得中华绒螯蟹 3 个可食部位的油酸得以保留。同时,在加热过程中 $\Sigma$ MUFA 均显著下降,对比总脂肪含量的变化比例发现,各部位总脂肪含量下降的比例均略低于 $\Sigma$ MUFA 下降的比例。由此可得,烹饪处理对雌雄中华绒螯蟹单不饱和脂肪酸影响主要是由脂质流失造成的,其次是氧化反应造成的。

$\Sigma$ PUFA 在蟹黄蟹膏部分的脂肪酸占比接近 30%,在腹肉和腿肉中更超过 50%。尽管蒸制和煮制处理会造成 $\Sigma$ PUFA 含量的降低,但总比例能保持相对稳定。PUFA 能降低血液中低密度脂蛋白的浓度和血栓发生的风险<sup>[23]</sup>。其中,EPA 是人体不可缺少的重要营养素,能促进人体内饱和脂肪酸的代谢,降低血液中的胆固醇,预防心血管疾病的发生;DHA 作为重要的营养物质,能够促进人体血液循环,增强人体免疫力,有很高的营养价值<sup>[24-25]</sup>。蒸制和煮制处理对蟹黄蟹膏与腿肉部分 $\Sigma$ (EPA + DHA)影响明显,蒸制相比于煮制,腹肉部分 $\Sigma$ EPA + DHA 下降得更少,腹肉部分占可食部位的比例相对较高,基于此,可

推荐蒸制处理的方式。FAO/WHO 推荐人类饮食的 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 要大于 0.1<sup>[26]</sup>,合理的 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 有利于维持机体能量平衡,降低机体疾病风险<sup>[27]</sup>。本实验测得雌蟹 3 个可食部位的 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 为 0.55 ~ 2.35,雄蟹 3 个可食部位的 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 为 0.58 ~ 2.23,与雌蟹较为接近。蒸制处理能够保持 $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 的相对稳定。

综上所述,中华绒螯蟹是优质的营养食品,蒸制处理更有利于保持中华绒螯蟹的营养价值,是更适合于中华绒螯蟹的烹饪方式。本研究能够为日常人们对于中华绒螯蟹的烹饪方式的选择提供参考。

### 参考文献:

- [1] 谢辉,尹明雨,张玉非,等. 不同产地雌性中华绒螯蟹感官品质与滋味品质的差异性[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(6): 114-120, 126.  
XIE H, YIN M Y, ZHANG Y F, et al. The effect of different culturing region on the sensory and taste quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(6): 114-120, 126.
- [2] CHENG H F, WU H R, LIANG F, et al. Comparison of the nutritional quality of three edible tissues from precocious and normal adult female Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2021, 30(1): 49-61.
- [3] CHOO P Y, AZLAN A, KHOO H E. Cooking methods affect total fatty acid composition and retention of DHA and EPA in selected fish fillets[J]. Science Asia, 2018, 44(2): 92-101.
- [4] WANG Q J, WU X G, LONG X W, et al. Nutritional quality of different grades of adult male Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(3): 944-955.
- [5] 何静,阿拉腾萨其拉,吉日本图. 热处理对驼乳营养成分与挥发性风味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(22): 208-213.  
HE J, BATTULGA A, JIRIMUTU. Effect of different heat treatment on the nutritional quality and volatile flavor compounds of camel milk [J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(22): 208-213.
- [6] 钱焯. 酱猪肘中胆固醇氧化物及杂环胺的形成与消减[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.  
QIAN Y. The Formation and reduction of cholesterol oxidation products and heterocyclic amines in marinated pig hock[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2019.
- [7] 付雪艳,吴娜,袁凯,等. 固相萃取整体捕集剂-气相色谱-质谱联用仪结合电子鼻技术对中华绒螯蟹关键脂质热氧化体系的构建[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9):

- 254-261.
- FU X Y, WU N, YUAN K, et al. Study key lipids in *Eriocheir sinensis* by establishing a thermal oxidation system using MMSE-GC-MS combined electronic nose[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(9): 254-261.
- [8] 倪逸群, 吴娜, 王锡昌. 加热过程中中华绒螯蟹性腺内脂肪酸的变化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 96-100.
- NI Y Q, WU N, WANG X C. Changes of fatty acids composition in gonad of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during heating process[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(19): 96-100.
- [9] 兰晓芳, 阮光锋, 范志红, 等. 家庭烹调对鲟鱼中脂肪酸和胆固醇的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(7): 16-22.
- LAN X F, RUAN G F, FAN Z H, et al. Impact of domestic preparation on fatty acids and cholesterol of cultured hybrid sturgeon[J]. Food Science, 2016, 37(7): 16-22.
- [10] 从娇娇, 庾庭驰, 于立志, 等. 饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹脂肪酸组成的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(4): 559-567.
- CONG J J, YU T C, YU L Z, et al. Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on fatty acid composition of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(4): 559-567.
- [11] 王潇, 韩刚, 张小军, 等. 不同水域中华绒螯蟹雄体营养成分及风味成分差异性研究[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(5): 688-696.
- WANG X, HAN G, ZHANG X J, et al. Nutritional composition and flavor components of male Chinese mitten handed crab *Eriocheir sinensis* from different waters [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2019, 34(5): 688-696.
- [12] 王潇, 韩刚, 张小军, 等. 不同水域中华绒螯蟹雌体中营养品质比较分析[J]. 淡水渔业, 2019, 49(5): 98-106, 112.
- WANG X, HAN G, ZHANG X J, et al. Comparative analysis of female *Eriocheir sinensis* nutritional composition from different waters [J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(5): 98-106, 112.
- [13] CHUNG H, CHOI A, CHO I H, et al. Changes in fatty acids and volatile components in mackerel by broiling [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2011, 113(12): 1481-1490.
- [14] 曹君. 不同脂肪酸结构食用油的氧化规律及其动力学研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
- CAO J. Oxidative patterns and kinetics of edible oils with different fatty acid compositions[D]. Nanchang: Nanchang University, 2015.
- [15] BOYER J L, SOROKA C J. Bile formation and secretion: an update[J]. Journal of Hepatology, 2021, 75(1): 190-201.
- [16] FARIDI K F, LUPTON J R, MARTIN S S, et al. Vitamin D deficiency and non-lipid biomarkers of cardiovascular risk [J]. Archives of Medical Science, 2017, 13(4): 732-737.
- [17] HASHARI S Z, RAHIM A A, MENG G Y, et al. Quantification of cooking method effect on COP content in meat types using triple quadrupole GC-MS/MS [J]. Molecules, 2020, 25(21): 4978.
- [18] 徐贵华, 刘东红, 赵瑞香, 等. 抗氧化剂对胆固醇高温氧化抑制作用研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(4): 100-103.
- XU G H, LIU D H, ZHAO R X, et al. Inhibition effects of antioxidants on the thermo-oxidation of cholesterol [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(4): 100-103.
- [19] 汤辰婧, 付娜, 王锡昌, 等. 围网养殖与池塘养殖中华绒螯蟹脂肪酸组成的比较[J]. 淡水渔业, 2014, 44(1): 84-89.
- TANG C J, FU N, WANG X C, et al. Comparison of fatty acid composition in *Eriocheir sinensis* cultured by purse net and pond[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(1): 84-89.
- [20] 陈志强, 郑月, 蔡洁琼, 等. 固城湖中华绒螯蟹可食部位氨基酸和脂肪酸组成[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 122-127.
- CHEN Z Q, ZHENG Y, CAI J Q, et al. Amino acid and fatty acid compositions of edible parts of Chinese mitten crab in Gucheng Lake, Nanjing [J]. Food Science, 2016, 37(10): 122-127.
- [21] ZOU J M, SONG C, MENG S L, et al. Effects of feed on fatty acid composition in muscles and gonads of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. Oceanological and Hydrobiological Studies, 2021, 50(3): 338-351.
- [22] BHOURI A M, HARZALLAH H J, DHIBI M, et al. Nutritional fatty acid quality of raw and cooked farmed and wild sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(1): 507-512.
- [23] 魏帮鸿, 杨志刚, 郑善玉, 等. 脂肪酸对离体培养中华绒螯蟹肝胰腺 PUFAs 合成相关基因表达的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(6): 2367-2373.
- WEI B H, YANG Z G, ZHENG S Y, et al. The effects of different fatty acids on the expression of genes related to the synthesis of PUFAs [J]. Genomics and Applied Biology, 2017, 36(6): 2367-2373.
- [24] 李妍佳. 利用海藻制备动物营养源的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2011.
- LI Y J. Study on feeds with seaweed [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2011.
- [25] 李轩领. 亚麻籽胶酸性多糖和亚麻籽蛋白的泡沫分离研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2015.
- LI X L. Research of acidic polysaccharides in flaxseed gum and flaxseed protein by foam separation[D]. Xining: Qinghai Normal University, 2015.
- [26] HOSSEINI H, MAHMOUDZADEH M, REZAEI M, et al. Effect of different cooking methods on minerals, vitamins and nutritional quality indices of *kutum roach* (*Rutilus frisii*

- kutum)[J]. Food Chemistry, 2014, 148: 86-91.
- [27] WU N, FU X Y, ZHUANG K J, et al. Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on proximate composition and odor profile of hepatopancreas and gonad of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(10): e12646.
- [28] 王伟力, 杨舒婷, 焦建刚, 等. 三种水族馆珍贵鱼类的营养成分分析及脂肪酸营养评价[J]. 水产学报, 2019, 43(3): 618-627.
- WANG W L, YANG S T, JIAO J G, et al. Nutrient analysis and nutritional evaluation of fatty acid composition in three precious aquarium fishes[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(3): 618-627.

## Effect of steaming and boiling on the cholesterol and fatty acid content in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

HU Lei<sup>1</sup>, XIE Qingchao<sup>1,2</sup>, PAN Yingjie<sup>1,2,3</sup>, LIU Haiquan<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Yong<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Aquatic Products Storage and Fresh-keeping Quality and Safety Risk Assessment Laboratory, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 3. Shanghai Engineering Research Center for Aquatic Products Processing and Storage, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** *Eriocheir sinensis* is a unique freshwater farmed crab in our country and has a high nutritional value due to its richness in cholesterol and various fatty acids. To better evaluate the effects of cooking treatments on the changes in cholesterol and fatty acid content of *Eriocheir sinensis*, the cholesterol and fatty acid contents of the three edible parts of *Eriocheir sinensis* were analyzed in both steamed and boiled versions of the crab yolk/roe, abdominal meat and leg meat. The results showed that the cholesterol contents of the three edible parts were similar in both male and female *Eriocheir sinensis*, and the cholesterol contents of each part were reduced by steaming and boiling, but the differences were not significant. Among the three edible parts,  $\Sigma$ MUFA was the highest in crab roe and crab paste, and  $\Sigma$ PUFA was the highest in abdominal meat and leg meat; steaming and boiling basically had no effect on fatty acids in crab roe, while boiling had a greater effect on fatty acids in crab paste than steaming, with a significant decrease; after steaming and boiling, the main saturated fatty acids in *Eriocheir sinensis* were still palmitic acid and stearic acid, monounsaturated fatty acids were mainly oleic acid, and polyunsaturated fatty acids were mainly oleic acid. After steaming and boiling, the main saturated fatty acids in *Eriocheir sinensis* were still palmitic acid and stearic acid, the monounsaturated fatty acids were mainly oleic acid and the polyunsaturated fatty acids were mainly linoleic acid, EPA and DHA. Therefore, compared to boiling, steaming reduces the loss of cholesterol and major fatty acids from edible parts, which is more beneficial to retaining the nutritional value of *Eriocheir sinensis* and is a guideline for the culinary treatment of *Eriocheir sinensis*.

**Key words:** *Eriocheir sinensis*; cholesterol; fatty acid; steaming processing; boiling processing