

## 烹饪方式对中华绒螯蟹中常量元素、微量元素及重金属分布的影响

曹欢, 潘迎捷, 赵勇, 刘海泉

### **Influence of cooking methods on the distribution of major elements, micronutrients and heavy metals in Chinese mitten crab**

CAO Huan, PAN Yingjie, ZHAO Yong, LIU Haiquan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12024/jsou.20220303787>

---

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

##### [野生合浦绒螯蟹和中华绒螯蟹的可食率和营养组成比较](#)

Comparison of edible yield and nutritional composition of wild *Eriocheir hepuensis* and *Eriocheir sinensis*

上海海洋大学学报. 2023, 32(2): 329 <https://doi.org/10.12024/jsou.20211203661>

##### [饲料中植物油替代鱼油对中华绒螯蟹脂肪酸组成的影响](#)

Effects of dietary replacement of fish oil by vegetable oil on fatty acid composition of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)

上海海洋大学学报. 2020, 29(4): 559 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190902790>

##### [中华绒螯蟹不同可食组织砷元素分布特征分析](#)

Specification characteristics of arsenic in different edible tissues of *Eriocheir sinensis*

上海海洋大学学报. 2022, 31(4): 1005 <https://doi.org/10.12024/jsou.20210703513>

##### [越冬暂养对雌性中华绒螯蟹的营养品质及风味的影响](#)

Effects of overwintering cultivation on nutritional quality and flavor of female *Eriocheir sinensis*

上海海洋大学学报. 2021, 30(5): 800 <https://doi.org/10.12024/jsou.20191102867>

##### [东营池塘养殖中华绒螯蟹生长性能、性腺发育及营养品质](#)

Growth performance, gonadal development and nutritional composition of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying

上海海洋大学学报. 2020, 29(1): 17 <https://doi.org/10.12024/jsou.20190502640>

文章编号: 1674-5566(2023)02-0387-08

DOI:10.12024/jsou.20220303787

## 烹饪方式对中华绒螯蟹中常量元素、微量元素及重金属分布的影响

曹欢<sup>1</sup>, 潘迎捷<sup>1,2,3</sup>, 赵勇<sup>1,2,3</sup>, 刘海泉<sup>1,2,3,4</sup>

(1. 上海海洋大学 食品学院, 上海 201306; 2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 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; 4. 上海海洋大学 食品热加工工程技术研究中心, 上海 201306)

**摘要:** 通过电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)研究烹饪方式对中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)可食部位中常量元素[钠(Na)、钾(K)、镁(Mg)]、微量元素[锰(Mn)、铁(Fe)、铜(Cu)]以及重金属[铬(Cr)、镉(Cd)、汞(Hg)]分布特征的影响。结果表明:烹饪前,中华绒螯蟹可食部位中元素分布:K > Na > Mg > Fe > Cu > Mn > Hg > Cr > Cd;相比于未加工的可食部位中元素含量,烹饪后 K 含量降低,Na 和 Mg 元素含量整体增加,其他元素含量因烹饪方式、部位、性别不同变化不一,不同烹饪方式对同一部位、同一元素之间具有显著性差异,分布规律不变(所有样品均是干质量)。基于 3 种重金属含量的健康风险评估结果显示,烹饪前后 THQ 值均小于 1,对人体健康不构成显著风险。研究表明:烹饪方式对中华绒螯蟹不同组织中元素含量变化具有影响,但不会提高重金属对人体健康的风险。本研究以期弥补以食品原材料为研究对象进行中华绒螯蟹中重金属风险危害评估的不足,为中华绒螯蟹的精准膳食风险提供理论和数据支撑。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 烹饪方式; 元素; 重金属

**中图分类号:** S 986; TS 254 **文献标志码:** A

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*),又名大闸蟹、河蟹,是我国主要的淡水经济蟹类。自 2000 年以来,我国一直是全球最大的甲壳类生产者、加工者和贸易者,并由于其快速增长成为主要的消费者<sup>[1]</sup>。至 2019 年,中华绒螯蟹产量高达 77.87 万 t。中华绒螯蟹肉质鲜嫩,营养丰富,蟹黄与蟹膏更是含有多种氨基酸、维生素和多种不饱和脂肪酸<sup>[2]</sup>,是我国最受欢迎的水产品之一。

中华绒螯蟹是滤食性动物,主要以水生植物、底栖动物、有机碎屑及动物尸体为食,体内含有多种元素。一般来说,Na、K、Ca 和 Mg 占主要地位,统称为常量元素;Zn、Fe、Cu 的含量较低,统称为微量元素;As、Hg、Cd 和 Cr 的含量最低,统称为超微量元素<sup>[3]</sup>,因密度大于 5 g/cm<sup>3</sup>,又称为重金属<sup>[4]</sup>。常量元素与微量元素在生物体的生长代谢过程中发挥着必不可少的作用,重金属是

非必需元素,摄入过多会对生物体产生危害<sup>[5]</sup>。通过文献[6-9]调查发现:国外中华绒螯蟹体内的元素主要以 K 和 Na 为主,肝胰腺中元素含量较高;国内中华绒螯蟹以 Ca 和 Mg 为主,雄蟹中元素含量高于雌蟹,肝胰腺中元素含量高于肌肉和性腺。所以中华绒螯蟹体内的元素含量变化会因其生长环境、生长习性以及生长年限而不同,除此之外,不同性别与部位中的元素含量也有所不同。

目前,有关食品中重金属的风险评价主要以未加工食品原材料进行检测,对于即食食品来说,以食品原材料进行评价可以准确地评价其风险,但对于需要烹饪加工后食用的食品来说,不能准确地评价。因为在加工过程中,常量元素与微量元素的变化可能不会带来什么影响,但对人体存在潜在风险的重金属来说,可能因不同的烹

收稿日期: 2022-03-23 修回日期: 2022-05-14

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31671779);上海市科学技术委员会上海市“科技创新行动计划”农业领域项目(22010502300);上海市科学技术委员会上海市地方院校能力建设计划项目(22N31900600)

作者简介: 曹欢(1997—),女,硕士研究生,研究方向为食品质量与安全。E-mail:1713565868@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>

饪方法导致重金属含量的增加,导致食品中重金属对于人体健康的风险提高。因此,本研究主要分析了不同烹饪方式对中华绒螯蟹不同可食部位中常量元素、微量元素以及重金属元素的影响,以期弥补以食品原材料为研究对象进行中华绒螯蟹中重金属风险危害评估的不足,为中华绒螯蟹的精准膳食风险提供理论和数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集及加工

实验中华绒螯蟹同一时期采集于上海市崇明岛中华绒螯蟹养殖基地,每只中华绒螯蟹均性成熟,大小均一。实验样品处理方法:

(1)采集的中华绒螯蟹用自来水冲洗干净,沥干之后,取其可食用部位,即腹肉、腿肉、蟹黄(肝胰腺与性腺均质混合,后面统称为蟹黄),用食品密封袋保存于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱。

(2)将冲洗沥干的中华绒螯蟹放入冷水中煮制20 min,晾凉之后,取其可食用部位,即腹肉、腿肉、蟹黄,用食品密封袋保存于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱。

(3)将冲洗沥干的中华绒螯蟹放入已煮沸的锅中蒸制15 min,晾凉之后,取其可食用部位,即腹肉、腿肉、蟹黄,用食品密封袋保存于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱。

(4)将冲洗沥干的中华绒螯蟹放入微波炉中,大火5 min,晾凉之后,取其可食用部位,即腹肉、腿肉、蟹黄,用食品密封袋保存于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱。

(5)将冲洗沥干的中华绒螯蟹打开前盖,去除蟹腮等不可食用部位,放入已五成热的油锅里油炸5 min,晾凉之后,取其可食用部位,即腹肉、腿肉、蟹黄,用食品密封袋保存于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱。

每一种加工方法均使用10只中华绒螯蟹(公母各5只)。为避免水分的影响,所有样品均进行冷冻干燥后研磨成粉末,进行下一步处理检测。

### 1.2 仪器与试剂

试剂与标准物质:硝酸(优级纯),上海安普实验科技股份有限公司;含K、Na、Mg、Fe、Cu、Mn、Cr、Cd、Hg等多元素混合标准储备溶液( $10\text{ }\mu\text{g}/\text{mL}$ ),国家有色金属及电子材料分析测试中心; $^{209}\text{Bi}$ 、 $^{73}\text{Ge}$ 、 $^{115}\text{In}$ 、 $^7\text{Li}$ 、 $^{45}\text{Sc}$ 、 $^{159}\text{Tb}$ 、 $^{89}\text{Y}$ 多元素内标标准溶液( $100\text{ }\mu\text{g}/\text{mL}$ ),国家有色金属及

电子材料分析测试中心; $10\text{ }\mu\text{g}/\text{L}$ 的Li、Co、In、U、Ba、Ce调谐溶液,美国赛默飞世尔;标准参考物质(扇贝GBW10024),国家标准物质研究中心。

主要仪器:iCAPQ电感耦合等离子体质谱仪,美国赛默飞世尔;CEM-MARS6微波消解仪,美国CEM公司;Milli-Q超纯水净化器,美国Millipore公司。

### 1.3 元素检测

样品消解:称取1.0 g的样品于微波消解罐中,加入5 mL硝酸浸泡过夜,盖塞密闭后放入微波消解系统中,按照表1的程序进行微波消解至样品消解完全,赶酸冷却后用超纯水定容至50 mL,混匀过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 微孔水系滤膜,备用待上机。同时随样品做试剂空白样与质控样品扇贝(GBW10024)。金属元素总量参考SN/T 2208—2008<sup>[10]</sup>的方法采用ICP-MS进行测定。

表1 微波消解程序

Tab. 1 Microwave digestion procedures

步骤 Step	温度 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	升温时间 Heating time/min	保持时间 Holding time/min
1	120	5	55
2	150	5	10
3	190	5	20

### 1.4 健康风险评估

重金属暴露对人体的风险评估采用美国环保署(USEPA)推荐的健康风险评估模型目标危险系数(Target hazard quotient, THQ)进行重金属暴露对人体的风险评估<sup>[11]</sup>。THQ用于评估食用不同类型水产品的单一重金属暴露潜在风险,若 $\text{THQ} > 1$ ,表示暴露水平高于安全参考限定值,会构成潜在的健康风险;若 $\text{THQ} \leq 1$ ,则表示不构成显著的健康风险。THQ的计算公式如下:

$$\text{THQ} = \frac{E_D \times F_{\text{IR}} \times E_F \times C}{R_{\text{FD}} \times W_{\text{AB}} \times T_A} \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: $E_D$ 为暴露持续时间(70年,近似于人类的平均寿命); $F_{\text{IR}}$ 为每日摄食速率( $5.54\text{ g}/\text{d}$ ,针对蟹类而言<sup>[12]</sup>); $E_F$ 为人群暴露频率( $365\text{ d}/\text{a}$ ); $C$ 为水产品中重金属的含量, $\text{mg}/\text{kg}$ ;  $R_{\text{FD}}$ 为参考口服剂量, $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ,Cd、Hg、Cr的参考值分别为 $1.0 \times 10^{-3}$ 、 $0.1 \times 10^{-3}$ 、 $3 \times 10^{-3}\text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ <sup>[13]</sup>;  $W_{\text{AB}}$ 为成年消费者的平均体质量,70 kg;  $T_A$ 为平均暴露时间( $365\text{ d}/\text{a} \times E_D$ )。重金属对人体健康

的影响一般是多种元素共同作用的结果,采用总目标危险系数(Target hazard quotients, THQs)评价重金属暴露对人体健康的风险,  $THQ_s = THQ_1 + THQ_2 + \dots + THQ_n$ 。若  $THQ_s \leq 1.0$ ,表明重金属对人体健康造成的影响不明显;  $THQ_s > 1.0$ ,表明对人体存在健康风险。

### 1.5 数据处理

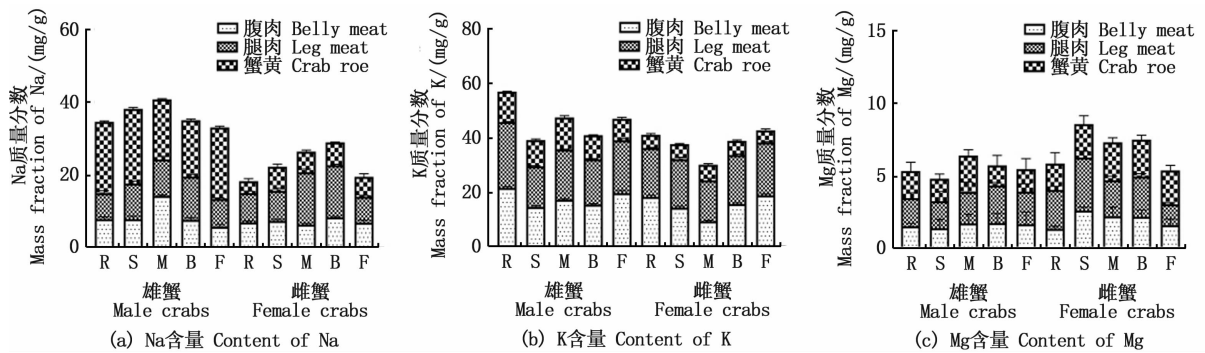
采用 Excel 2010 进行数据统计,通过 SPSS Statistics 25.0 进行单因素方差统计分析,检验水平  $P < 0.05$  被认为具有显著性差异。相关图表采用 GraphPad Prism 8 进行绘制。

## 2 结果

### 2.1 烹饪方式对常量元素含量的影响

由图 1 可知:在未加工的中华绒螯蟹的 3 个可食部位中,雄蟹的 K 含量高于雌蟹;腹肉和腿肉中 Na 含量两性别相差不大,雄蟹蟹黄中 Na 含量高于雌蟹;Mg 含量在不同性别和不同部位没有明显的变化。经过烹饪处理(图 1)后,3 个可

食部位中 K 含量整体成下降趋势。其中,蒸制的雄蟹腿肉下降最多(38.47%),微波的雌蟹蟹黄增加最大(19.73%),除了烹饪方式对雌蟹蟹黄中 K 含量具有显著性影响( $P < 0.05$ )外,其他部位均无显著性影响( $P > 0.05$ )。表明烹饪方式对中华绒螯蟹的 3 个可食部位 K 含量影响较小。烹饪后 3 个可食部位中 Na 含量增加。微波后的雄蟹腹肉中 Na 含量增加 80.19%,雌蟹腹肉减少 7.74%;蒸制后雌蟹蟹黄中 Na 含量增加 101.99%,雄蟹蟹黄减少 4.79%。除了烹饪方式对雄蟹蟹黄中 Na 含量无显著性影响外( $P > 0.05$ ),其他部位均有显著性影响( $P < 0.05$ )。表明 Na 含量受烹饪方式、不同可食部位以及蟹的性别影响。3 个可食部位中 Mg 含量整体成上升趋势,其中,蒸制的雌蟹腹肉中 Mg 含量增加最多(40.34%),油炸的雌蟹腿肉损失最大(46.19%)。除了烹饪方式对雄蟹蟹黄中 Mg 含量无显著性影响外( $P > 0.05$ ),其他部位均有显著性影响( $P < 0.05$ )。



R. 未加工; S. 蒸制; M. 微波; B. 煮制; F. 油炸。  
R. Raw; S. Steamed; M. Microwaved; B. Boiled; F. Fried.

图 1 烹饪方式对中华绒螯蟹的 3 个可食部位中常量元素的影响

Fig. 1 Effects of cooking methods on the major elements in the three edible parts of Chinese mitten crab

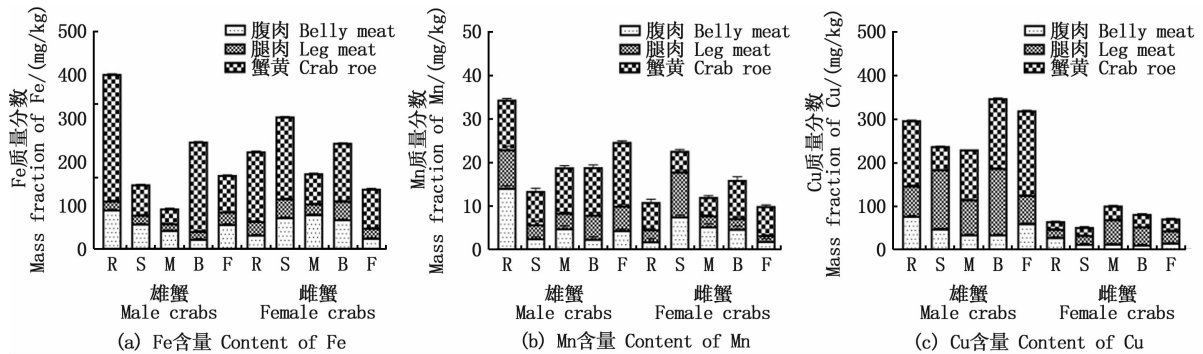
### 2.2 烹饪方式对微量元素含量的影响

由图 2 可知,在未加工的中华绒螯蟹 3 个可食部位中,雄蟹的 Cu、Fe、Mn 含量高于雌蟹。经过烹饪处理后,腹肉中 Cu 含量降低,煮制雌蟹腹肉中 Cu 含量损失最多(56.26%),油炸雄蟹腹肉损失最少(21.35%),且具有显著性差异( $P < 0.05$ );腿肉中 Cu 含量整体呈上升趋势,其中微波雌蟹腿肉中 Cu 含量增加最多(201.22%),具有显著性差异( $P < 0.05$ ),油炸雄蟹的腿肉损失 7.17%,无显著性差异( $P > 0.05$ );蒸制和微波的

雄蟹蟹黄中 Cu 含量损失 64.66% 和 23.09%,其他烹饪方式蟹黄中 Cu 含量均增加,其中微波的雌蟹蟹黄增加最多(78.89%),无显著性差异( $P > 0.05$ )。雄性腹肉中 Fe 含量下降,最多损失 73.50%(煮制),油炸的雌性腹肉中 Fe 含量损失 22.04%,其他烹饪方式对雌蟹腹肉中 Fe 含量均增加,其中微波增加最多(137.61%),具有显著性差异( $P < 0.05$ );油炸雄蟹腿肉中 Fe 含量增加最多(40.16%),油炸雌蟹腿肉损失最多(24.67%);蒸制的雌蟹蟹黄中 Fe 含量增加

17.33%,其他烹饪方式均使蟹黄中 Fe 含量减少,其中微波雄蟹蟹黄损失最多(88.16%)。雄蟹腹肉中 Mn 含量下降,雌蟹腹肉中 Mn 含量上升;除蒸制腿肉中 Mn 含量增加外,其他烹饪方式均使腿肉中 Mn 含量减少;油炸的雄蟹蟹黄和煮制的

雌蟹蟹黄中 Mn 含量增加,其他烹饪方式均使蟹黄中 Mn 含量减少。结果表明不同烹饪方式、不同性别、不同可食部位都将影响着微量元素含量的变化。



R. 未加工; S. 蒸制; M. 微波; B. 煮制; F. 油炸。  
R. Raw; S. Steamed; M. Microwaved; B. Boiled; F. Fried.

图2 烹饪方式对中华绒螯蟹的3个可食部位中微量元素的影响

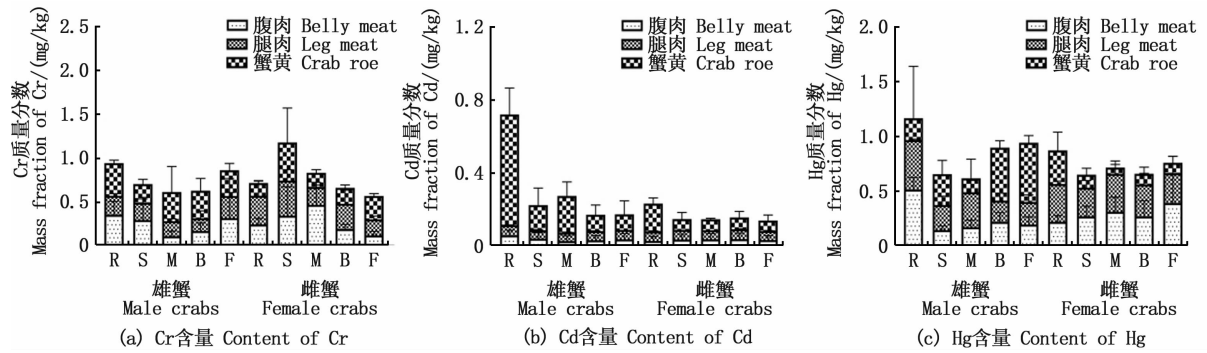
Fig. 2 Effects of cooking methods on the micronutrient in the three edible parts of Chinese mitten crab

### 2.3 烹饪方式对重金属含量的影响

由图3可知,在未加工的中华绒螯蟹中,雄蟹腹肉和蟹黄中的 Cr 含量高于雌性,雌蟹腿肉高于雄性,雄蟹蟹黄中 Cd 含量高于雌性,雄蟹腹肉和腿肉中 Hg 含量高于雌蟹。除雄蟹腹肉中 Hg 含量外,其他所测值都在国家标准限量值内。经过4种烹饪处理后,除油炸的雄蟹腿肉中 Cr 含量增加16.09%外,其他烹饪方式对雄蟹3个可食部位中 Cr 含量均减少,其中微波腹肉减少最多(68.46%);蒸制后,雌蟹的3个可食部位的 Cr 含量均增加,其中蟹黄增加了199.30%。烹饪后,雄蟹的肌肉样品中 Cd 含量均减少,蟹黄中 Cd 含量增加,具有显著性影响( $P < 0.05$ );雌蟹腹肉在烹饪后 Cd 含量增加,蟹黄中减少,煮制腹肉中增加最多(17.61%),微波蟹黄减少最多(81.42%)。未加工的雄蟹腹肉中 Hg 含量(0.516 mg/kg)超过国家标准限量值,但经过烹饪处理后,Hg 含量下降到正常值内,其中,蒸制腹肉中减少最多(71.77%);雄蟹蟹黄在烹饪处理后 Hg 含量减少,其中油炸使 Hg 含量减少最多(81.37%);雌蟹中,腹肉烹饪后 Hg 含量增加,腿肉中和蟹黄中减少,均在正常值内。

### 2.4 健康风险评价

Cr 是人体的必需的微量元素之一,缺乏 Cr 会导致糖、脂肪、蛋白质及核酸物质代谢紊乱,摄入过多会对人体产生毒害作用。Cr 的毒性与其形态有关,主要的毒性形态是六价铬,目前已被列为致癌物<sup>[14]</sup>。Cd 对人体的肺、肝、肾、骨、以及心血管系统、泌尿生殖系统、免疫系统、神经系统(听觉系统)等都会造成损伤<sup>[15-16]</sup>。Hg 有多种形态,其中甲基汞的毒性最强<sup>[17]</sup>,甲基汞对人体生理功能有严重的影响,可导致人体发生急性胃炎中毒和神经衰弱,严重时损伤人体肾脏<sup>[18]</sup>。对重金属 Cr、Cd、Hg 进行健康风险评价,通过公式(1)计算,结果见表2。未加工的3个可食部位中3种重金属的 THQ 值均小于1,经过烹饪处理后,有的 THQ 值变大,但也均小于1,THQs 值也均小于1,说明烹饪前后的中华绒螯蟹对人体健康不构成显著风险。其中,油炸后,雄蟹蟹黄中 Hg 含量为0.539 mg/kg,超过国家标准限量值,其 THQ 值为0.539,小于1,不构成显著健康风险。并且,本文所测的是总 Hg 含量,而非直接导致人体毒副作用的甲基汞含量。



R. 未加工; S. 蒸制; M. 微波; B. 煮制; F. 油炸。  
 R. Raw; S. Steamed; M. Microwaved; B. Boiled; F. Fried.

图 3 烹饪方式对中华绒螯蟹的 3 个可食部位中重金属元素的影响

Fig. 3 Effects of cooking methods on the heavy metal in the three edible parts of Chinese mitten crab

表 2 重金属目标危险系数  
 Tab. 2 Target Hazard Quotient for heavy metals

可食部位 Edible parts	性别 Gender	烹饪方式 Cooking method	THQ(Cr)	THQ(Cd)	THQ(Hg)	THQs
腹肉 Belly meat	雄蟹 Male	未加工 Raw	0.011	0.005	0.457	0.473
		蒸 Steamed	0.009	0.004	0.129	0.141
		微波 Microwaved	0.003	0.002	0.153	0.159
		煮 Boiled	0.005	0.003	0.195	0.203
		油炸 Fried	0.004	0.003	0.172	0.180
	雌蟹 Female	未加工 Raw	0.008	0.003	0.186	0.197
		蒸 Steamed	0.010	0.003	0.240	0.253
		微波 Microwaved	0.014	0.003	0.277	0.294
		煮 Boiled	0.006	0.003	0.240	0.249
		油炸 Fried	0.004	0.003	0.348	0.355
腿肉 Leg meat	雄蟹 Male	未加工 Raw	0.006	0.005	0.399	0.411
		蒸 Steamed	0.006	0.004	0.203	0.213
		微波 Microwaved	0.005	0.004	0.280	0.290
		煮 Boiled	0.004	0.005	0.172	0.180
		油炸 Fried	0.007	0.005	0.184	0.196
	雌蟹 Female	未加工 Raw	0.010	0.005	0.306	0.320
		蒸 Steamed	0.012	0.005	0.231	0.247
		微波 Microwaved	0.006	0.004	0.307	0.317
		煮 Boiled	0.008	0.005	0.259	0.272
		油炸 Fried	0.005	0.004	0.240	0.250
蟹黄 Crab roe	雄蟹 Male	未加工 Raw	0.011	0.018	0.408	0.437
		蒸 Steamed	0.006	0.025	0.121	0.152
		微波 Microwaved	0.006	0.011	0.178	0.195
		煮 Boiled	0.009	0.043	0.080	0.132
		油炸 Fried	0.013	0.048	0.076	0.137
	雌蟹 Female	未加工 Raw	0.004	0.027	0.136	0.168
		蒸 Steamed	0.013	0.011	0.052	0.075
		微波 Microwaved	0.005	0.005	0.052	0.062
		煮 Boiled	0.005	0.009	0.058	0.071
		油炸 Fried	0.008	0.008	0.050	0.067

### 3 讨论

目前关于烹饪方式对水产品中元素含量影响的研究较少。GORAN 等<sup>[19]</sup>研究了不同烹饪方式(煮制、烘烤、微波)对虾中常量元素的影响,发现烹饪方式对 K 含量无影响,微波后样品中 Na 和 Mg 含量增加,烘烤和煮制使 Na 和 Mg 含量减少,与本研究结果相似。TURGAY 等<sup>[20]</sup>采用微波烹饪处理贻贝,结果表明:相比于未处理的样品,微波烹饪后的样品中 Cu 含量下降非常显著( $P < 0.01$ ),Fe 含量下降显著( $P < 0.05$ ),Mn 含量未有显著变化( $P > 0.05$ )。与本研究结果相似。BASSEY 等<sup>[21]</sup>研究了煮、炸以及烘烤对尼日利亚常见 3 种鱼(*Polydactylus quadratilis*, *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Cynoglossus senegalensis*)中重金属分布影响,发现相比于新鲜鱼肉,煮和炸可以使 *P. quadratilis* 中 Cd 含量增加 2 倍,烘烤增加 7 倍;烘烤使 *C. nigrodigitatus* 中 Cd 含量增加 2 倍;对 *C. senegalensis* 中 Cd 含量无显著影响。烹饪方法对 *P. quadratilis* 中 Cr 含量有显著影响,煮制使 Cr 含量提高了 183.3%,烧烤使 Cr 含量提高了 216.7%,油炸使 Cr 含量提高了 200%。煮制使 *C. nigrodigitatus* 中 Cr 含量提高了 36.4%,烘烤提高了 18.2%,油炸无显著影响。煮制使 *C. senegalensis* 中 Cr 含量提高了 17.6%,烘烤提高了 29.4%,油炸提高了 5.9%。3 种鱼在加工前和加工后,Hg 含量均低于检测限。KALOGEROPOULOS 等<sup>[22]</sup>研究发现烹饪后的鱼和贝类中金属元素含量高于生样品,遵循规律是:煎炸 > 烤 > 生,且大多数增加具有统计学意义。ERSOY<sup>[23]</sup>报道微波加热非洲鲶鱼会使 Cr 含量下降。个体的差异导致同种烹饪方式对同种元素含量的影响不同。

目前,有关烹饪方式使水产品中元素含量变化的原因包括<sup>[24-27]</sup>:一是水产品中水分和可溶物质因烹饪而挥发或者溶解,导致水产品中元素含量升高;二是某些元素在烹饪过程中挥发或者溶解到烹饪水中,导致元素含量减少。现在研究较多的水产品主要为鱼类,鱼在烹饪前会去除鱼腮、内脏等不可食部位,而中华绒螯蟹是烹饪后去除不可食部位,所以推测在烹饪过程中,某些元素会从不可食部位转移至可食部位,导致元素含量升高;某些元素会从可食部位转移至不可食

部位,导致元素含量减少,还需进一步深入研究证明。

不同的元素在中华绒螯蟹的不同部位因烹饪方式而变化不同。经过 4 种烹饪处理之后,K 含量整体成下降趋势,Na 和 Mg 含量整体成上升趋势;3 种微量元素在雄蟹中含量减少,在雌蟹中含量增加;3 种重金属元素整体成下降趋势,且均在国家标准限值之内。以上结果表明:元素含量降低的主要原因是元素溶于烹饪水中,因元素的溶解度不同导致烹饪后元素含量变化不一,以及烹饪温度、烹饪介质、个体差异和食品基质的组成都是影响元素含量的变化因素。基于重金属含量得出的 THQ 值均小于 1,表明未有显著的健康风险。首次研究了烹饪方式对中华绒螯蟹中元素分布的影响,推测元素在烹饪加工的影响,存在可食部位与不可食部位之间的相互转移。未来,将继续深入研究烹饪方式对中华绒螯蟹中元素分布的影响,以及重金属形态的转移转化,从而科学评估重金属的膳食暴露风险,同时为中华绒螯蟹的精准膳食风险提供数据支撑。

### 参考文献:

- [1] NAYLOR R L, HARDY R W, BUSCHMANN A H, et al. Publisher correction: a 20-year retrospective review of global aquaculture[J]. *Nature*, 2021, 595(7868): E36.
- [2] 冯伟,李辉,唐永凯,等. 配合饲料和冰鱼对单体养殖中华绒螯蟹生长、性腺发育及其肌肉品质的影响[J]. *水产学报*, 2021, 45(5): 748-759.  
FENG W, LI H, TANG Y K, et al. Effects of formula feed and frozen fish on the growth, gonadal development and muscle quality of *Eriocheir sinensis* in the monomer culture [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(5): 748-759.
- [3] DAWCZYNSKI C, SCHÄFER U, LEITERER M, et al. Nutritional and toxicological importance of macro, trace, and ultra-trace elements in algae food products [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(25): 10470-10475.
- [4] 吴萍萍. 淡水鱼及其生长环境中重金属分布与膳食暴露评估[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.  
WU P P. Distribution of heavy metals and dietary exposure assessment in freshwater fishes, water and sediments [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.
- [5] 曹欢,胡钰梅,潘迎捷,等. 水产品中重金属异质性导致的风险[J]. *生态毒理学报*, 2021, 16(6): 161-173.  
CAO H, HU Y M, PAN Y J, et al. Risk caused by heterogeneity of heavy metals in aquatic products [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2021, 16(6): 161-173.

- [6] NĘDZAREK A, CZERNIEJEWSKI P, TÓRZ A. Macro- and trace elements in Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*) from Szczecin Lagoon, Poland-Implications for human health [J]. *Aquaculture*, 2019, 506: 229-237.
- [7] NĘDZAREK A, CZERNIEJEWSKI P. The edible tissues of the major European population of the invasive Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in the Elbe River, Germany, as a valuable and safe complement in essential elements to the human diet[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 96: 103713.
- [8] LUO R J, JIANG T, CHEN X B, et al. Determination of geographic origin of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) using integrated stable isotope and multi-element analyses [J]. *Food Chemistry*, 2019, 274: 1-7.
- [9] JIANG K J, ZHANG F Y, PI Y, et al. Amino acid, fatty acid, and metal compositions in edible parts of three cultured economic crabs: *Scylla paramamosain*, *Portunus trituberculatus*, and *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2014, 23(1): 73-86.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.268—2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. GB 5009.268-2016 Determination of multiple elements in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [11] 蔡艳, 周亦君, 吴晓艺, 等. 3种海洋贝类重金属污染及食用风险评价研究[J]. *核农学报*, 2016, 30(6): 1126-1134.
- CAI Y, ZHOU Y J, WU X Y, et al. Situation of heavy metal pollution and food risk assessment of 3 kinds of marine shellfish [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, 30(6): 1126-1134.
- [12] YU B J, WANG X L, DONG K F, et al. Heavy metal concentrations in aquatic organisms (fishes, shrimp and crabs) and health risk assessment in China [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, 159: 111505.
- [13] EPA. Risk assessment guidance for superfund volume I human health evaluation manual (part A)[R]. Washington: Office of Emergency and Remedial Response, U. S. Environmental Protection Agency, 1989.
- [14] 钟传德. 铬的毒性研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2014, 41(7): 131-135.
- ZHONG C D. Research progress on toxicity of chromium[J]. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2014, 41(7): 131-135.
- [15] ZHAO Q X, WANG G, ZHAO J X, et al. Protective effects of *Lactobacillus plantarum* CCFM8610 against chronic cadmium toxicity in mice indicate routes of protection besides intestinal sequestration [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2014, 80(13): 4063-4071.
- [16] 余杰. 典型镉污染区长住居民镉暴露与健康影响研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
- YU J. Cadmium exposure and health effects of long-term residents living in typical cadmium-polluted area of China [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2018.
- [17] FANG Y, PAN Y S, LI P, et al. Simultaneous determination of arsenic and mercury species in rice by ion-pairing reversed phase chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. *Food Chemistry*, 2016, 213: 609-615.
- [18] 刘文侠. 气相色谱法测定水产品中痕量甲基汞的方法与结果[J]. *现代食品*, 2017, 2(3): 107-109.
- LIU W X. Determination of trace methyl mercury in aquatic products by gas chromatography[J]. *Modern Food*, 2017, 2(3): 107-109.
- [19] GORAN G V, TUDOREANU L, BADOI E, et al. Influence of thermal preparation method on mineral composition of shrimps [J]. *Bulletin of UASVM Food Science and Technology*, 2017, 74(2): 90-94.
- [20] TURGAY O, TOSYALI C. Determination of heavy and trace metal levels in *Mytilus galloprovincialis* and the effect of microwave cooking [J]. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2008, 17(5): 543-546.
- [21] BASSEY F I, OGUNTUNDE F C, IWEGBUE C M A, et al. Effects of processing on the proximate and metal contents in three fish species from Nigerian coastal waters [J]. *Food Science & Nutrition*, 2014, 2(3): 272-281.
- [22] KALOGEROPOULOS N, KARAVOLTSOS S, SAKELLARI A, et al. Heavy metals in raw, fried and grilled Mediterranean finfish and shellfish [J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2012, 50(10): 3702-3708.
- [23] ERSOY B. Effects of cooking methods on the heavy metal concentrations of the african catfish (*Clarias gariepinus*) [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2011, 35(2): 351-356.
- [24] OUÉDRAOGO O, AMYOT M. Effects of various cooking methods and food components on bioaccessibility of mercury from fish [J]. *Environmental Research*, 2011, 111(8): 1064-1069.
- [25] PERUGINI M, ZEZZA D, TULINI S M R, et al. Effect of cooking on total mercury content in Norway lobster and European hake and public health impact [J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 109(1): 521-525.
- [26] CHI H F, ZHANG Y C, WILLIAMS P N, et al. *In vitro* model to assess arsenic bioaccessibility and speciation in cooked shrimp [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(18): 4710-4715.
- [27] PERELLÓ G, MARTÍ-CID R, LLOBET J M, et al. Effects of various cooking processes on the concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead in foods [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(23): 11262-11269.



## Influence of cooking methods on the distribution of major elements, micronutrients and heavy metals in Chinese mitten crab

CAO Huan<sup>1</sup>, PAN Yingjie<sup>1,2,3</sup>, ZHAO Yong<sup>1,2,3</sup>, LIU Haiquan<sup>1,2,3,4</sup>

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic Product Processing & Preservation, Shanghai 201306, China; 3. Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Aquatic Product on Storage and Preservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 4. Engineering Research Center of Food Thermal-processing Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** The Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) is a unique freshwater aquaculture crab in China, with delicious taste and high nutritional value. At present, the relevant research on the element composition in its body mostly focuses on the unprocessed Chinese mitten crab, and it is not clear whether the cooking method will affect the element distribution in its body. Therefore, the effects of different cooking methods on the distribution of Na, K, Mg, Mn, Fe, Cu, Cr, Cd and Hg in the edible parts of Chinese mitten crab were studied by ICP-MS. The results showed that before cooking, the distribution of elements in the edible parts of Chinese mitten crab was as follows:  $K > Na > Mg > Fe > Cu > Mn > Hg > Cr > Cd$ . Compared with the element content in the unprocessed edible parts, after cooking, the content of K decreases, and the content of Na and Mg elements increases as a whole. The content of other elements varies with different cooking methods, parts and genders. There is a significant difference between the same element (All samples are dry weight). Health risk assessments based on three heavy metals showed that THQ values were less than 1 before and after cooking and did not pose a significant risk to human health. Studies have shown that cooking methods have an impact on the changes of element content in different parts of Chinese mitten crab, but will not increase the risk of heavy metals to human health. This study aims to make up for the shortage of risk assessment of heavy metals in Chinese mitten crab with food raw materials as the research object, and provide theoretical and data support for the precise dietary risk of Chinese mitten crab.

**Key words:** Chinese mitten crab; cooking; elements; heavy metal