

野生解放眉足蟹 (*Blepharipoda liberate* Shen) 基本营养成分分析

侯召华¹, 宋庆武², 崔波¹

(1. 齐鲁工业大学食品科学与工程学院, 山东济南 250353)

(2. 日照职业技术学院海洋工程学院, 山东日照 276826)

摘要: 解放眉足蟹是一种珍稀的海产品, 主产于山东日照。本文首次系统分析了解放眉足蟹的基本营养成分、脂肪酸、氨基酸和胆固醇等理化指标, 并对新鲜、煮熟、晒干及冻干样品进行了比较, 为其开发利用提供理论基础。结果表明, 解放眉足蟹富含粗蛋白和灰分; 干样品中氨基酸含量达 13.78×10^{-2} g/g, 且 8 种必需氨基酸达 46.23%, 必需氨基酸/非必需氨基酸为 0.77~0.92, 表明氨基酸营养均衡; 28 种脂肪酸被确定, 不饱和脂肪酸含量达到 73.90% 以上, 主要是多不饱和脂肪酸 (40.03~49.53%), 其次为单不饱和脂肪酸 (28.83~37.26%) 和饱和脂肪酸 (21.64~26.10%); 冻干样品脂肪酸中致动脉硬化指数 (AI) 和凝血指数 (TI) 分别为 0.93 和 0.13; 鲜样品胆固醇含量为 51.54×10^{-2} ~ 61.52×10^{-2} mg/g, 干样品为 248.99×10^{-2} ~ 251.15×10^{-2} mg/g, 但差异并不显著。结论: 解放眉足蟹是一种营养丰富的海产品, 具有很强的开发潜力。

关键词: 解放眉足蟹; 理化指标; 脂肪酸; 氨基酸; 胆固醇

文章编号: 1673-9078(2017)6-262-270

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.6.039

Analysis of Nutrient Composition in *Blepharipoda liberate* Shen captured in the Wild

HOU Zhao-hua¹, SONG Qing-wu², CUI Bo¹

(1. College of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China)

(2. Rizhao Polytechnic College of Marine engineering, Rizhao 276826, China)

Abstract: *Blepharipoda liberate* Shen is a commercially valuable seafood product that is highly popular in Shandong Province. For the first time, the proximate, fatty acid, amino acid, and cholesterol levels in *B. liberate* Shen were analyzed. *B. liberate* Shen was found to be rich in crude protein and ash; the content of amino acids in the dried samples was 13.78×10^{-2} g/g, and the ratio of eight essential amino acid levels was 46.23%, essential amino acids (EAAs)/non-essential amino acids (NEAAs) (0.77~0.92). In total, 28 types of fatty acid were identified and quantified, with monounsaturated fatty acids (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA) constituting approximately 73.90% of all fatty acids; PUFA was dominant (40.03~49.53%), followed by MUFA (28.83~37.26%), and saturated fatty acids (SFA) (21.64~26.10%). The atherogenic index (AI) and thrombogenic index (TI) values (0.93 and 0.13, respectively) were found to be lower in *B. liberate* Shen compared to other food sources. The content of cholesterol in the fresh and dried samples were 51.54×10^{-2} ~ 61.52×10^{-2} mg/g and 248.99×10^{-2} ~ 251.15×10^{-2} mg/g, respectively. These findings confirm that *B. liberate* Shen is a healthy food source since it has a balance of nutrients with high potential for consumption.

Key words: *Blepharipoda liberate* shen; physicochemical indices; fatty acid; amino acids; cholesterol

解放眉足蟹 (*Blepharipoda liberate* shen) (图 1) 俗称海蝉虾、海蝉蟹、海知了, 在分类学上属于节肢动物门 (Arthropoda)、甲壳动物亚门 (Crustacea)、

收稿日期: 2016-08-15

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项经费 (201303069-07)

作者简介: 侯召华 (1982-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 农产品深加工利用

通讯作者: 崔波 (1971-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与工程

软甲纲 (Malacostraca)、真软甲亚纲 (Eumalacostraca)、真虾总目 (Eucarida)、十足目 (Decapoda)、腹胚亚目 (Pleocyemata)、异尾下目 (Anomura)、蝉蟹总科 (Hippoidea)、眉足蟹科 (Blepharipodidae) 和眉足蟹属 (*Blepharipoda*)。最早在山东烟台海岸带物种调查时被发现, 1949 年正式命名 (Shen, 1949) [1]。

解放眉足蟹不仅有很重要的生态意义, 其栖息于底质为细沙质的潮间带低潮区, 摄食细小的肉屑及小

型浮游动物,起到了清洁沙滩的作用,而且甲壳极薄、味道鲜美、深受人们喜爱。鉴于解放眉足蟹自然资源量因人为大量采挖而急剧减少的现状,山东日照市水产研究所开展了人工苗种培育工作,三年人工培养出幼蟹 167 万只,并进行了增殖放流。目前解放眉足蟹已被列为日照市财政资助的地方增殖放流品种^[1]。



图1 解放眉足蟹

Fig.1 *Blepharipoda liberate shen*

海鲜是一种高营养品质的食物,富含 n-3 多不饱和脂肪酸、必需氨基酸、维生素、胆固醇等,并且胆固醇和饱和脂肪酸含量较低。游离脂肪酸是鱼类和甲壳类动物的品质指标,适量食用海鲜可有效阻止冠心病、高血压和癌症。游离氨基酸是甲壳类的非蛋白氮的重要成分之一,如丙氨酸、谷氨酸和甘氨酸,是海鲜特殊风味成分;丙氨酸和甘氨酸具有甜味,谷氨酸呈特征风味;许多研究人员推荐鸟氨酸作为甲壳类海产品的新鲜度指标^[2]。

解放眉足蟹是一种重要的海产品,除味道鲜美,其还含有丰富的脂肪酸、氨基酸、矿物质、蛋白质和胆固醇等营养成分。但是目前,对解放眉足蟹了解极少,对其成分分析至今未见文献报道,这严重阻碍了解放眉足蟹的开发利用。

本文以解放眉足蟹为原料,对其蛋白质、氨基酸、脂肪酸和胆固醇等成分进行系统分析,并比较不同加工方式对其影响,为解放眉足蟹的开发利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 原料

解放眉足蟹 (*Blepharipoda liberate Shen*) 来源于山东日照,由日照职业技术学院专家鉴定并提供。2015 年 5 月在日照海滩捕捞后,放到聚苯乙烯容器中,冰块覆盖,10 h 内转移到实验室,超低温冰箱-80 °C 贮藏。

测定解放眉足蟹样品的重量和尺寸等指标。样品分成四份,一份是新鲜样品,一份是煮熟样品,一份

是晒干样品,一份是冷冻干燥样品。

1.2 试剂

37 种脂肪酸甲酯混合标准品(纯度 99.9%) 购买于 Nu-Chek Prep 公司(美国);胆固醇购买于 sigma 公司;氦气(高纯度 99.999%) 来源于北京嘉世旺科技有限公司。

氯仿、甲醇、盐酸、氯化钾、氢氧化钾、正己烷和无水硫酸钠均为国产分析纯;色谱级甲醇、乙腈购买于 Fisher 公司。

1.3 仪器与设备

FSH-2 型可调高速匀浆机(江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司);高速万能粉碎机 FW-200(北京中兴伟业仪器有限公司);ME204E 万分之一天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司);真空冷冻干燥器 EYELA FDU-1100(日本东京理化公司);7000B 气相色谱-质谱联用仪(安捷伦科技中国有限公司);L-8900 氨基酸自动分析仪(日立科技中国有限公司);超高压液相色谱仪 ACQUITY UPLC™(沃特世科技上海有限公司);GZX-9140MBE 热风干燥箱(上海博迅实验设备有限公司);DZF-6051 真空干燥箱(上海景洪实验仪器有限公司)。

1.4 基本成分分析

水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分利用国标^[3-6]方法进行测定。

1.5 样品干燥

1.5.1 样品蒸熟

解放眉足蟹放置于蒸锅中,蒸 10~12 min。

1.5.2 样品晒干

解放眉足蟹放置于阳光下,晒干,3~5 d。

1.5.3 真空冷冻干燥

利用真空冷冻干燥解放眉足蟹,方法参考文献^[7,8],适当调整。通过预实验确定样品冷冻干燥条件。称取一定质量的样品,放在-40 °C 冰箱中进行预冷,至少 4 h;预冷后把样品放到真空冷冻干燥箱中,干燥室内的真空度控制在(10±5) Pa,温度为(-45±5) °C,进行真空冷冻干燥 24 h。

解放眉足蟹干燥得率通过公式计算,如下式(1):

$$\text{干燥得率}(\%) = (W_f/W_o) \times 100 \quad (1)$$

式中, W_f 表示干燥后重量(g); W_o 表示鲜样品重量(g)。

1.6 解放眉足蟹脂肪酸分析

1.6.1 脂肪酸提取及皂化

脂肪酸提取和皂化的方法根据参考文献^[9,10], 进行适当修改。样品粉末利用。甲酯化方法参考文献。称取新鲜样品(约 3.0 g)和真空冷冻干燥样品(约 1.5 g); 放到玻璃容器中, 添加 40 mL 提取液(氯仿:甲醇=2:1, V/V); 组织匀浆后, 滤纸过滤, 滤液放到分液漏斗中; 然后添加 20 mL、1 mol/L KCl 溶液, 4 °C 下静置分层过夜。

过夜分层后, 得到下层有机相, 氮气吹干得到脂质提取物; 干燥后, 称取质量; 干燥物溶解在 5 mL 正己烷中, 放到螺帽试管中; 在试管中添加 5 mL、1 mol/L KOH 甲醇溶液, 50 °C 下, 进行皂化 2 h; 皂化结束后, 添加 5 mL 正己烷和 15 mL、5% HCl 溶液, 进行分层; 上层为有机相(正己烷层), 得到上层相, 用正己烷定容至 10 mL; 然后加入无水 Na₂SO₄ 除去多余的水分; 用正己烷稀释 10 倍进行 GC-MS 分析。

1.6.2 脂肪酸气相色谱-质谱分析条件

气相色谱-质谱方法根据参考文献^[11], 进行适当修改。脂肪酸利用质谱进行分析。气相色谱条件: 色谱柱为 SPTM-2560 石英毛细管色谱柱(100 m×0.25 mm×0.25 μm; supelco, PA); 载气为高纯度氮气(99.999%), 恒定流量为 1.0 mL/min; 进样量为 1 μL; 分流比为 60:1; 程序升温: 从 140 °C 开始(保持 5 min), 以 4 °C/min 升温到 200 °C, 接着 3 °C/min 升温到 220 °C(保持 26 min); 进样口温度为 250 °C, 气相色谱-质谱接口温度 250 °C。

质谱条件: EI 离子源, 电子能量 70 eV, 离子源

温度 230 °C, 全扫描方式, 质量扫描范围为 50~500 u。

脂肪酸表示方式为×10⁻²mg/g 样品。

根据公式^[12]进行计算, 可以得到解放眉足蟹脂肪酸对心脏病的风险指数, 致动脉硬化指数(Atherogenic index, AI)和凝血指数(Thrombogenic index, TI), 计算公式如(2)和(3)。

1.7 氨基酸

1.7.1 氨基酸定量分析

氨基酸分析根据参考文献^[13~15], 进行适当修改。氨基酸含量测定利用 L-8900 氨基酸自动分析仪。称取样品约 30 mg 放到 35 mL 氨基酸专用水解管中, 添加 15 mL、6 M HCl。水解管中充满氮气, 密封, 放到烘箱中水解, 温度为 110±1 °C, 时间 24 h。水解后, 溶液过滤转移到 50 mL 容量瓶中, 蒸馏水定容到 50 mL。取 1 mL 溶液放到 10 mL 玻璃试管中, 真空干燥, 然后利用 1 mL 去离子水溶解, 重复干燥 2~3 次。干物质溶解在 0.02 M HCl 溶液中, 过 0.45 μm 膜准备进样。进样量为 20 μL。利用外标法。检测波长为 440 和 570 nm。氨基酸含量表达方式为×10⁻²g/g 样品。

1.7.2 营养评价

根据联合国粮农组织(FAO)发布的参考数据, 通过氨基酸评分和鸡蛋蛋白质氨基酸评分进行营养评价。氨基酸评分(amino acid score, AAS)、氨基酸化学评分(chemical score, CS)和必须氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)计算公式如(4)、(5)和(6):

$$AI = \frac{[(12:0+4) \times (14:0+16:0)]}{\sum MUFA + \sum PUFA(n-6) + (n-3)} \quad (2)$$

$$TI = \frac{[(14:0+16:0+18:0)]}{[(0.5 \times \sum MUFA) + (0.5 \times \sum PUFA(n-6)) + (3 \times \sum PUFA(n-3)) + (n-3/n-6)]} \quad (3)$$

式中: MUFA 为单不饱和脂肪酸; PUFA 为多不饱和脂肪酸。

$$AAS(\%) = \left(\frac{\text{解放眉足蟹氨基酸含量} (\times 10^{-2} \text{g/g 蛋白质})}{\text{FAO 氨基酸含量} (\times 10^{-2} \text{g/g 蛋白质})} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$CS(\%) = \left(\frac{\text{解放眉足蟹氨基酸含量} (\times 10^{-2} \text{g/g 蛋白质})}{\text{鸡蛋蛋白质氨基酸含量} (\times 10^{-2} \text{g/g 蛋白质})} \right) \times 100 \quad (5)$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100a}{a_e} \times \frac{100b}{b_e} \times \dots \times \frac{100h}{h_e}} \quad (6)$$

式中: n 为必须氨基酸数目; $a-h$ 代表本实验中必须氨基酸含量(×10⁻²g/g 蛋白质); a_e-h_e 代表鸡蛋蛋白质氨基酸含量(×10⁻²g/g 蛋白质)。

1.8 胆固醇分析

解放眉足蟹样品放到 50 mL 水解管中, 添加 10 mL、1 M KOH 水溶液和 10 mL 乙醇。90~95 °C 水浴下皂化 90 min。皂化结束后流动水降温, 利用 10 mL 正己烷萃取胆固醇, 重复三次, 合并萃取液。利用 3×10 mL 蒸馏水萃取液冲洗三次。氮气吹干, 重新溶解在 10 mL 无水乙醇中, 准备进行 UPLC 分析。

色谱条件: 超高压液相色谱 ACQUITY UPLC™, 色谱柱为 Acquity BEH-C18™ (100 mm×2.1 mm, 1.7 μm, Waters), 吸光值为 203 nm, 上样量为 2 μL; 柱

温箱为 45 °C; 流动相 A 为 90% 甲醇, B 为水; 流动相为横流 A:B=90:10, 流速为 0.5 mL/min。

1.9 数据统计分析

数据表示方式为平均值±标准差。利用 SPSS 13.0 对数据进行方差分析, $p < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 理化指标

表 1 解放眉足蟹大小及基本营养成分

Table 1 Proximate composition and lipid extracts in *Blepharipoda liberate shen*

样品	重量/g	长/mm	宽/mm	得率/%	水分/%	粗蛋白/%	灰分/%	粗脂肪/%	胆固醇/(×10 ⁻² mg/g)
鲜样品	4.04±1.68	44.83±5.99	18.24±2.50		85.80	8.20	4.70	0.22	51.54
熟样品					80.40	7.48	7.50	0.26	61.52
晒干样品	1.24±0.57			30.71±0.11	7.20	35.30	37.90	4.20	251.15
冻干样品	1.12±0.46			27.99±0.07	8.70	36.10	36.50	5.81 ^a	248.99

注: 冻干样品与晒干样品比较: ^a $p < 0.05$ 。

解放眉足蟹理化指标如表 1 所示。鲜解放眉足蟹鲜重为 4.40 g, 干样品仅为 1.12~1.24 g, 长度 44.83 mm, 宽度 18.24 mm, 表明其身形较小。晒干样品和冻干样品得率分别为 30.71% 和 27.99%, 差异不显著。干样品中水分、粗蛋白、灰分含量差异都不显著 ($p > 0.05$), 仅仅冻干样品中粗脂肪含量显著 ($p < 0.05$) 高于晒干样品; 鲜样品与熟样品中各指标差异不显著, 仅熟样品中灰分含量高于鲜样品。近缘新对虾 (*Jinga shrimp*) 长度为 24.45~33.30 cm, 重量为 9.85~19.57 g, 其远大于解放眉足蟹^[12]。Rosa & Nunes^[16]对三种虾 (*red shrimp*、*pink shrimp* 和 *Norway lobster*) 可食用部分的理化指标进行分析, 水分为 73.60~75.20%, 粗蛋白为 20.40%~22.00%, 粗脂肪为 0.10~0.30%, 灰分为 1.90~2.10%; 这三种海鲜的粗蛋白显著高于解放眉足蟹 (8.20%), 水分、粗脂肪和灰分均低于解放眉足蟹。Bragagnolo & Rodriguez-Amaya^[17]对四种虾 (*Macrobrachium rosenbergii*、*Penaeus brasiliensis*、*Penaeus schimitti* 和 *Xiphopenaenus kroyeri*) 进行分析, 脂类含量(0.90~1.10)×10⁻² g/g 鲜重, 远高于解放眉足蟹 (0.22%)。Lira 等^[18]分析了 seabob shrimp 的成分, 水分为 77.90%, 脂类为 6.90×10⁻² g/g 干物质, 蛋白质为 88.90×10⁻² g/g 干物质, 灰分为 8.00×10⁻² g/g 干物质, 解放眉足蟹蛋白质和脂类含量远低于 seabob shrimp, 但是灰分高于 seabob shrimp。

2.2 胆固醇分析

解放眉足蟹中胆固醇含量如表 1 所示。胆固醇含量在鲜样品、熟样品、晒干样品和冻干样品分别为 51.54×10⁻² mg/g、61.52×10⁻² mg/g、251.15×10⁻² mg/g 和 248.99×10⁻² mg/g。熟样品中胆固醇含量高于鲜样品, 冻干样品比晒干样品含量高, 但差异不显著。Rosa & Nunes^[16]得到三种虾 (*red shrimp*、*pink shrimp* 和 *Norway lobster*) 可食用部分胆固醇含量为 (57.80~60.80)×10⁻² mg/g 湿重, 这与解放眉足蟹鲜样品和煮熟样品含量相当。四种虾 (*Macrobrachium rosenbergii*、*Penaeus brasiliensis*、*Penaeus schimitti* 和 *Xiphopenaenus kroyeri*) 中胆固醇为 (114.00~139.00) ×10⁻² mg/g 鲜重^[17], 远高于解放眉足蟹 (51.54×10⁻² mg/g)。Lira 等^[18]确定 seabob shrimp 中胆固醇为 145.10×10⁻² mg/g 鲜重和 691.80×10⁻² mg/g 干物质, 其都远高于解放眉足蟹, 胆固醇建议摄入量小于 300 mg/d。

2.3 脂肪酸分析

解放眉足蟹脂肪酸如图 2 和表 2 所示。在解放眉足蟹的鲜样品、熟样品、晒干样品和冻干样品中分别检测出 17、22、22 和 28 种脂肪酸, 总含量分别为 59.31×10⁻² mg/g、245.01×10⁻² mg/g、429.69×10⁻² mg/g 和 840.51×10⁻² mg/g。不同处理方式对脂肪酸影响比较显著, 真空冷冻干燥能更好保留样品中脂肪酸种类及含量, 冻干样品比晒干样品种类多了 6 种, 含量几乎为晒干样品的两倍, 且这 6 种脂肪酸均为不饱和脂肪

酸；熟样品中脂肪酸数量多于鲜样品，这可能是由于样品蒸熟后，水分减少，一定质量中脂肪酸含量相对增加。不同样品中不饱和脂肪酸含量达 73.90~78.36%，首先多不饱和脂肪酸（PUFA）为 40.03~49.53%，其次单不饱和脂肪酸（MUFA）为 28.83~37.26%，饱和脂肪酸（SFA）含量最低（21.64~26.10%）；其中含量最高的脂肪酸为油酸、顺-5,8,11,14,17-二十五碳五烯酸（EPA）、顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸（DHA）（>15%）。

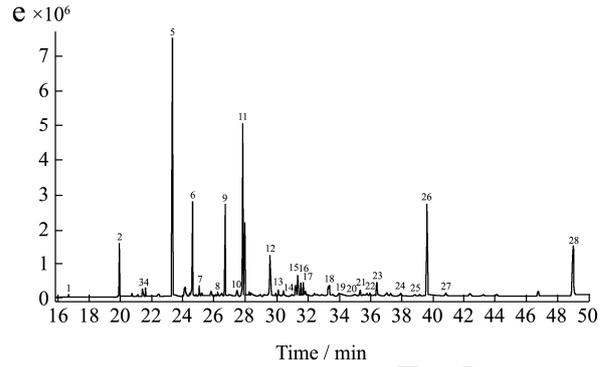
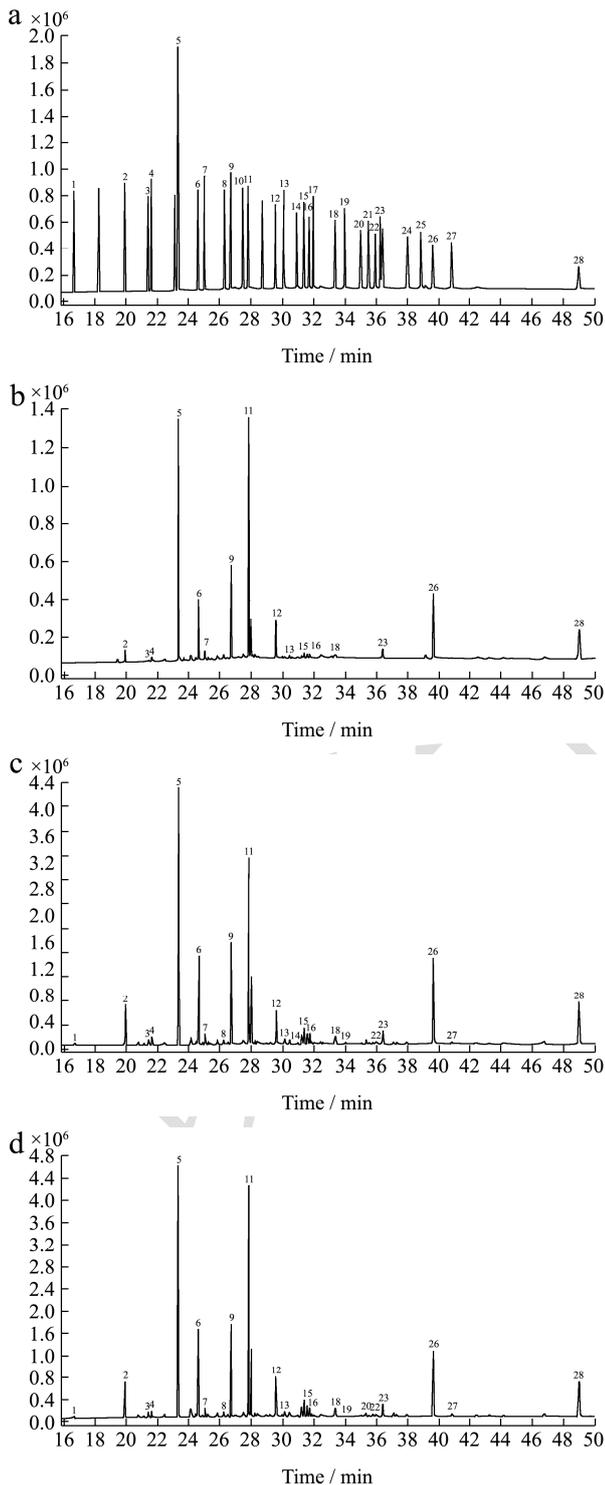


图 2 解放眉足蟹脂肪酸 GC/MS 质谱图

Fig.2 GC/MS chromatograms of fatty acids in *Blepharipoda liberate shen*

注：a，脂肪酸标准品 GC/MS 色谱图（峰与表 2 对应）；b，鲜解放眉足蟹；c，熟解放眉足蟹；d，冻干解放眉足蟹。

Rosa & Nunes^[16]对三种虾（red shrimp、pink shrimp 和 Norway lobster）可食用部分脂肪酸进行分析，主要 SFA 为棕榈酸，MUFA 为油酸，主要 PUFA 为 EPA（20:5n3）和 DHA（22:6n-3），这四脂肪酸占总脂肪酸的 55~70%；PUFA 含量最高（42.10~48.40%），接着 MUFA（26.30~34.60%）和 SFA（22.90~27.40%），这些成分和含量与解放眉足蟹极其相似。Bragagnolo & Rodriguez-Amaya^[17]确定了四种虾（*Macrobrachium rosenbergii*、*Penaeus brasiliensis*、*Penaeus schimitti* 和 *Xiphopenaenus kroyeri*）中 40 种脂肪酸，海产品中脂肪酸是非常丰富的，其中含量最高的 PUFA 为 39~46%，SFA 为 29~35%，最低 MUFA 为 22~29%；含量最多的脂肪酸也是棕榈酸（ $82 \times 10^{-2} \sim 139 \times 10^{-2}$ mg/g）、EPA（C20:5n-3）（ $85 \times 10^{-2} \sim 126 \times 10^{-2}$ mg/g）和 DHA（C22:6n-3）（ $62 \times 10^{-2} \sim 97 \times 10^{-2}$ mg/g）。Lira 等^[18]分析了 seabob shrimp 中 19 种脂肪酸，PUFA 为 1179.40×10^{-2} mg/g 干物质，SFA 为 1158.40×10^{-2} mg/g 干物质，MUFA 为 606.30×10^{-2} mg/g 干物质，含量最高的脂肪酸为棕榈酸、EPA 和 DHA，与解放眉足蟹结果一致。

致动脉硬化指数（AI）^[12]的计算公式是基于不同脂肪酸对血清胆固醇、低密度脂蛋白、高密度脂蛋白浓度影响的信息而提出。通过计算公式（2）可知，仅 12~16 碳原子饱和脂肪酸可导致动脉粥样硬化；与其他两种饱和脂肪酸相比，肉豆蔻酸致动脉硬化能力是其 4 倍。目前，不饱和脂肪酸的双键数目、位置、或构型等对降低动脉硬化效果影响不明确，缺乏可靠的分配系数，所以，不饱和脂肪酸都被认为具有降低动脉粥样硬化的效果。由于致动脉粥样硬化脂类摄入，高 AI 数值反应心血管病症发生的可能性。不同物质

AI 差异显著,如牛肉(0.69),鸡肉(0.5)和兔肉(0.82), 解放眉足蟹 AI 值与牛肉、兔肉相当。三种虾 (red shrimp、pink shrimp 和 Norway lobster)AI 为 0.24~0.31, TI 为 0.18~0.21^[6], 解放眉足蟹 TI 与其相当, AI 值高于三种虾。

表 2 解放眉足蟹脂肪酸结果

Table 2 Results of GC-MS analysis of fatty acids in *Blepharipoda liberate shen*

序号	脂肪酸/($\times 10^{-2}$ mg/g)	鲜解放眉足蟹		熟解放眉足蟹		晒干解放眉足蟹		冻干解放眉足蟹	
		含量	比率/%	含量	比率/%	含量	比率/%	含量	比率/%
1	月桂酸 (C12:0)	-	-	0.33	0.13	0.56	0.13	1.59	0.19
2	豆蔻酸 (C14:0)	2.44	4.11	8.42	3.44	13.57	3.16	34.77	4.14
3	肉豆蔻脑酸 (C14:1)	0.34	0.57	1.07	0.44	2.14	0.49	5.48	0.65
4	十五烷酸 (C15:0)	0.39	0.68	1.44	0.59	2.16	0.50	4.54	0.54
5	棕榈酸 (C16:0)	5.97	10.07	23.38	9.54	42.58	9.91	73.56	8.75
6	棕榈油酸 (C16:1)	6.92	11.67	26.16	10.68	52.39	12.19	85.89	10.22
7	十七烷酸 (C17:0)	0.56	0.94	1.92	0.78	2.83	0.66	5.77	0.69
8	顺-10-十七烯酸 (C17:1)	-	-	0.72	0.29	1.60	0.37	2.38	0.28
9	硬脂酸 (C18:0)	5.84	9.85	19.59	7.99	32.52	7.57	55.16	6.56
10	反油酸 (C18:1n9t)	-	-	-	-	-	-	2.13	0.25
11	油酸 (C18:1n9c)	11.77	19.84	41.42	16.91	94.64	22.03	124.50	14.81
12	亚油酸 (C18:2n6c)	2.62	4.42	9.20	3.75	19.63	4.57	33.61	4.00
13	花生酸 (C20:0)	0.28	0.47	0.94	0.38	1.65	0.38	3.98	0.47
14	γ -亚麻酸 (C18:3n6)	-	-	0.22	0.09	-	-	0.76	0.09
15	顺-11-二十碳烯酸 (C20:1)	1.06	1.79	4.23	1.73	7.74	1.80	16.92	2.01
16	亚麻酸 (C18:3n3)	0.70	1.18	2.70	1.10	4.29	1.00	12.45	1.48
17	二十一烷酸 (C21:0)	-	-	-	-	-	-	0.48	0.06
18	顺-11,14-二十二碳二烯酸 (C20:2n6)	0.73	1.23	3.12	1.27	5.25	1.22	12.35	1.47
19	二十二烷酸 (C22:0)	-	-	0.31	0.13	0.59	0.14	1.46	0.17
20	顺-8,11,14-二十烷三烯酸 (C20:3n6)	-	-	-	-	0.58	0.13	0.76	0.09
21	顺二十二碳烯酸 (C22:1n9)	-	-	-	-	-	-	1.38	0.16
22	顺-11,14,17-二十碳三烯酸 (C20:3n3)	-	-	0.51	0.21	1.15	0.27	2.66	0.32
23	花生四烯酸 (C20:4n6)	0.91	1.53	4.42	1.80	7.45	1.73	14.46	1.72
24	顺-13,16-二十二碳二烯酸 (C22:2n6)	-	-	-	-	-	-	2.62	0.31
25	二十四烷酸 (C24:0)	-	-	-	-	-	-	0.55	0.07
26	顺-5,8,11,14,17-二十五碳五烯酸 (C20:5n3)	9.50	16.02	46.06	18.80	64.59	15.03	153.99	18.32
27	二十四碳烯酸 (C24:1)	-	-	0.61	0.25	1.61	0.37	3.65	0.43
28	顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸 (C22:6n3)	9.28	15.65	48.24	19.69	70.17	16.33	182.66	21.73
	总脂肪酸 (TFAs)	59.31	100	245.01	100	429.69	100	840.51	100
	饱和脂肪酸 (SFAs)	15.48	26.10	56.33	22.99	96.46	22.45	181.86	21.64
	单不饱和脂肪酸 (MUFAs)	20.09	33.87	74.21	30.29	160.12	37.26	242.33	28.83
	多不饱和脂肪酸 (PUFAs)	23.74	40.03	114.47	46.72	173.11	40.29	416.32	49.53
	致动脉硬化指数 (Atherogenic index, AI)	0.77		0.73		0.77		0.92	
	凝血指数 (Thrombogenic index, TI)	0.20		0.15		0.17		0.13	

2.4 氨基酸

不同处理的解放眉足蟹样品中, 17 种氨基酸组分

和含量结果如表 3 所示。氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS) 和必须氨基酸指数 (EAAI) 根据联合国粮农组织提供的评价标注, 结果如表 4 所示。

表 3 解放眉足蟹种氨基酸成分

Table 3 Composition of amino acids in *Blepharipoda liberate shen*

氨基酸	鲜解放眉足蟹 /($\times 10^{-2}$ g/g)	熟解放眉足蟹 /($\times 10^{-2}$ g/g)	晒干解放眉足蟹 /($\times 10^{-2}$ g/g)	冻干解放眉足蟹 /($\times 10^{-2}$ g/g)
天冬氨酸 (Asp)	0.25	0.26	1.43	1.16
苏氨酸 (Thr) ^A	0.12	0.13	0.69	0.63
丝氨酸 (Ser)	0.11	0.13	0.65	0.63
谷氨酸 (Glu)	0.34	0.36	1.93	1.55
甘氨酸 (Gly)	0.15	0.14	0.80	0.78
丙氨酸 (Ala)	0.16	0.14	0.89	0.75
胱氨酸 (Cys) ^A	0.02	0.03	0.13	0.14
缬氨酸 (Val) ^A	0.12	0.13	0.72	0.61
蛋氨酸 (Met) ^A	0.16	0.27	1.20	1.15
异亮氨酸 (Ile) ^A	0.10	0.10	0.55	0.46
亮氨酸 (Leu) ^A	0.16	0.16	0.90	0.78
酪氨酸 (Tyr) ^A	0.08	0.09	0.48	0.51
苯丙氨酸 (Phe) ^A	0.09	0.11	0.58	0.55
赖氨酸 (Lys) ^A	0.14	0.15	0.82	0.76
组氨酸 (His) ^A	0.06	0.06	0.30	0.30
精氨酸 (Arg)	0.20	0.19	1.01	1.14
脯氨酸 (Pro)	0.14	0.12	0.69	0.70
必须氨基酸总量 (Total essential amino acids, EAAs)	1.05	1.23	6.37	5.88
非必须氨基酸 (Total non-essential amino acids, NEAAs)	1.36	1.34	7.41	6.70
氨基酸总量 (Total amino acids, TAAs)	2.41	2.56	13.78	12.58
EAAs/NEAAs	0.77	0.92	0.86	0.88
EAAs/TAAs	43.57%	48.05%	46.23%	46.74%

注: ^A表示必需氨基酸 (EAAs)。

表 4 解放眉足蟹氨基酸的 AAS、CS 和 EAAI 结果

Table 4 Comparison of values of AAS, CS, and EAAI in *Blepharipoda liberate shen*

样品	必须氨基酸 AAS									总计
	Thr	Val	Met Cys	Ile	Leu	Phe Tyr	Lys	His		
鲜解放眉足蟹	124.48	99.58	213.40	103.73	(94.84)	117.57	105.62	248.90	1108.12	
熟解放眉足蟹	126.95	101.56	334.83	97.65	(89.43)	130.22	106.53	234.40	1221.57	
晒干解放眉足蟹	125.18	104.50	275.77	99.78	(93.30)	128.20	108.20	217.70	1152.63	
冻干解放眉足蟹	125.20	96.98	292.97	91.43	(88.57)	140.43	109.84	238.50	1183.92	

样品	必须氨基酸 CS									总计	样品指标		
	Thr	Val	Met Cys	Ile	Leu	Phe Tyr	Lys	His	AAS		CS	EAAI	
鲜解放眉足蟹	105.94	(75.44)	131.04	76.83	77.19	75.95	82.99	146.41	771.79	94.84	75.44	93.28	
熟解放眉足蟹	108.04	76.94	205.59	(72.33)	72.67	84.01	83.70	137.88	841.16	89.43	72.33	98.29	
晒干解放眉足蟹	106.53	79.17	169.33	(73.91)	75.94	82.71	85.01	128.06	800.66	93.30	73.91	96.01	
冻干解放眉足蟹	106.55	73.47	179.89	(67.72)	72.09	90.60	86.30	140.29	816.91	88.57	67.72	96.53	

注: 括号内为最小分值。

氨基酸含量是海产品重要的质量指标,它受到多种因素,如品种、加工技术等影响。熟样品中总氨基酸含量(2.56×10^{-2} g/g)比鲜样品(2.41×10^{-2} g/g)稍高;冻干和晒干样品中总氨基酸含量为 12.58×10^{-2} 和 13.78×10^{-2} g/g,冷冻干燥技术对解放眉足蟹的氨基酸影响不显著。根据FAO/WHO的模式标准,质量较好的蛋白质组成EAA/TAA应在40%左右,EAA/NEAA应在0.6以上^[19]。解放眉足蟹样品中EAA/TAA为43.57~48.05%,EAA/NEAA为0.77~0.92。解放眉足蟹中主要氨基酸是谷氨酸、天冬氨酸、蛋氨酸和精氨酸,它们达到总氨基酸的39.42~42.19%。Rosa & Nunes^[16]得到三种虾(red shrimp、pink shrimp和Norway lobster)可食用部分总氨基酸含量为16.59~19.81%,远高于解放眉足蟹;但EAA/NEAA比值为0.88~0.93,与解放眉足蟹(0.77~0.92)相当,表明解放眉足蟹氨基酸比例均衡,是一种理想氨基酸食品。

利用公示(3)、(4)和(5),计算解放眉足蟹必需氨基酸的AAS、CS和EAAI值,结果如4所示。AAS或CS值最小的氨基酸为第一限制氨基酸。鲜样品、熟样品、晒干样品和冻干样品中限制氨基酸分别为Val、Ile、Ile和Ile。

三种虾(red shrimp、pink shrimp和Norway lobster)^[16]可食用部分氨基酸EAAI值为84.34~94.81,而解放眉足蟹EAAI达到93.28~96.53。

3 结论

3.1 鲜解放眉足蟹是一种体型较小的水产,重量为 4.40 ± 1.68 g,长度 44.83 ± 5.99 mm,宽度 18.24 ± 2.50 mm;晒干样品和冻干样品得率分别为 $30.71 \pm 0.11\%$ 和 $27.99 \pm 0.07\%$,差异不显著。

3.2 解放眉足蟹富含粗蛋白和灰分;其胆固醇含量在鲜样品、熟样品、晒干样品和冻干样品分别为 51.54×10^{-2} mg/g、 61.52×10^{-2} mg/g、 251.15×10^{-2} mg/g和 248.99×10^{-2} mg/g,冻干样品与晒干样品差异不显著。

3.3 解放眉足蟹的鲜样品、熟样品、晒干样品和冻干样品中分别检测出17、22、22和28种脂肪酸,不同处理方式对脂肪酸影响比较显著。样品中不饱和脂肪酸含量达73.90~78.36%,多不饱和脂肪酸(PUFA)为40.03~49.53%,单不饱和脂肪酸(MUFA)为28.83~37.26%,饱和脂肪酸(SFA)含量最低(21.64~26.10%);其中含量最高的脂肪酸为油酸、顺-5,8,11,14,17-二十五碳五烯酸(EPA)、顺-4,7,10,13,16,19-二十二碳六烯酸(DHA>(>15%))。冻干样品

脂肪酸中致动脉硬化指数(AI)和凝血指数(TI)较低,分别为0.93和0.13。

3.4 氨基酸含量是海产品重要的质量指标,晒干和冻干样品中总氨基酸含量达 12.58×10^{-2} ~ 13.78×10^{-2} g/g,且8种必需氨基酸达46.23%;但EAA/TAA差异不显著(0.77~0.92),这表明解放眉足蟹氨基酸比例均衡,是一种理想氨基酸食品。解放眉足蟹中主要氨基酸是谷氨酸、天冬氨酸、蛋氨酸和精氨酸,它们达到总氨基酸的39.42~42.19%。

3.5 通过对解放眉足蟹的物理指标、营养成分以及脂肪酸、氨基酸和胆固醇等生化成分分析,表明其是一种营养丰富的海产品,具有很强的开发潜力成分。

参考文献

- [1] 王雪梅.解放眉足蟹(*Blepharipoda liberate* Shen)形态特征观察[J].渔业科学进展,2015,36(1):74-78
WANG Xue-mei. The morphological characteristics of the *Blepharipoda liberate* Shen [J]. Progress in Fishery Sciences, 2015, 36(1): 74-78
- [2] Ruiz-Capillas C, Moral A. Free amino acids in muscle of Norway lobster (*Nephrops norvegicus* L.) in controlled and modified atmospheres during chilled storage [J]. Food Chemistry, 2004, 86(1): 85-91
- [3] GB 5009.3-2010,食品安全国家标准-食品中水分的测定[S]
GB 5009.3-2010, National food safety standard-determination of moisture in foods [S]
- [4] GB 5009.5-2010,食品安全国家标准-食品中蛋白质的测定[S]
GB 5009.5-2010, National food safety standard-determination of protein in foods [S]
- [5] GB 5009.6-2003,食品中脂肪的测定[S]
GB 5009.6-2003, Determination of fats in foods [S]
- [6] GB 5009.4-2010,食品安全国家标准-食品中灰分的测定[S]
GB 5009.4-2010, National food safety standard-determination of ash in foods [S]
- [7] Babic J, Cantalejo M J, Arroqui C. The effects of freeze-drying process parameters on broiler chicken breast meat [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(8): 1325-1334
- [8] Rahman M S, Al-Belushi R M, Guizani N, et al. Fat oxidation in freeze-dried grouper during storage at different temperatures and moisture contents [J]. Food Chemistry, 2009, 114(4): 1257-1264
- [9] Lee M R F, Tweed J K S, Kim E J, et al. Beef, chicken and lamb fatty acid analysis-a simplified direct bimethylation

- procedure using freeze-dried material [J]. Meat Science, 2012, 92(4): 863-866
- [10] Cardenia V, Rodriguez-Estrada M T, Cumella F, et al. Oxidative stability of pork meat lipids as related to high-oleic sunflower oil and vitamin E diet supplementation and storage conditions [J]. Meat Science, 2011, 88: 271-279
- [11] Santos-Filho J M, Morais S M, Rondina D, et al. Effect of cashew nut supplemented diet, castration, and time of storage on fatty acid composition and cholesterol content of goat meat [J]. Small Ruminant Research, 2005, 57(1): 51-56
- [12] Dincer M T, Aydin İ. Proximate composition and mineral and fatty acid profiles of male and female jinga shrimps (*Metapenaeus affinis*, H. Milne Edwards, 1837) [J]. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 2014, 38(4): 445-451
- [13] Guo Y R, Gu S Q, Wang X C. et al. Comparison of fatty acid and amino acid profiles of steamed Chinese mitten crab [J]. Fisheries Science, 2014, 80(3): 621-633
- [14] Lisiewska Z, Kmiecik W, Gebczynski P, et al. Amino acid profile of raw and as-eaten products of spinach (*Spinacia oleracea L.*) [J]. Food Chemistry, 2011, 126(2): 460-465
- [15] Bednarova M, Borkovcova M, Komprda T. Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects [J]. Journal of Science Food Agriculture, 2014, 94(1): 71-76
- [16] Rosa R, Nunes M L. Nutritional quality of red shrimp, *Aristeus antennatus* (Risso), pink shrimp, *Parapenaeus longirostris* (Lucas), and Norway lobster, *Nephrops norvegicus* (Linnaeus) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2003, 84(1): 89-94
- [17] Bragagnolo N, Rodriguez-Amaya D B. Total lipid, cholesterol, and fatty acids of farmed freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and wild marine shrimp (*Penaeus brasiliensis*, *Penaeus schimitti*, *Xiphopenaeus kroyeri*) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2001, 14(4): 359-369
- [18] Lira G M, Barros Silva K W, Figueredo B C. et al. Impact of smoking on the lipid fraction and nutritional value of seabob shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*, Heller, 1962) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 58: 183-187
- [19] 高媛,黄彩霞,冯岗,等.风干牦牛肉氨基酸与脂肪酸组成分析评价[J].食品工业科技,2013,34(13):317-320
- GAO Yuan, HUANG Cai-xia, FENG Gang, et al. Amino acid and fatty acid composition assay of airing yak meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(13): 317-320