

## 不同海域野生海参体壁营养成分的比较分析

王长伟, 冯晓梅, 刘楚怡, 付雪媛, 杜芬

### Comparative Analysis of Nutritional Components of Wild Sea Cucumbers in Different Sea Areas

WANG Changwei, FENG Xiaomei, LIU Chuyi, FU Xueyuan, and DU Fen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070107>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 云南绒毛鸡腿肌营养成分分析与评价

Analysis and Evaluation of Nutritional Components in Leg Muscles of Rongmao Chicken

食品工业科技. 2019, 40(24): 283-290 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.24.047>

#### 菏泽不同产地牡丹叶营养成分分析与评价

Analysis and Evaluation of Nutritional Components of *Paeonia suffruticosa* Andr. Leaves from Different Regions in Heze

食品工业科技. 2020, 41(7): 226-232 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.037>

#### 不同产区苦杏仁营养成分分析

Analysis of Nutritional Composition of Bitter Almond from Different Growing Areas

食品工业科技. 2019, 40(23): 300-305 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.23.049>

#### 柴达木野生黑果枸杞营养成分分析与比较

Analysis and Comparison of Nutritional Compositions in Wild *Lycium ruthenicum* from Qaidam

食品工业科技. 2019, 40(18): 273-281,288 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.18.045>

#### 新疆尉犁县野生黑果枸杞与黑杞一号的营养成分及氨基酸分析

The analysis of nutrient content and amino acid in wild and Heiqi No.1 *Lycium ruthenicum* Murr.

食品工业科技. 2017(22): 306-309 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.22.059>

#### 汉江上游野生与养殖翘嘴鲈营养成分的对比分析及评价

Analysis and Evaluation of Nutritional Components of Wild and Cultured *Siniperca chuatsi* in the Upper Stream of Hanjiang River

食品工业科技. 2019, 40(14): 296-301 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.049>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王长伟, 冯晓梅, 刘楚怡, 等. 不同海域野生海参体壁营养成分的比较分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(5): 341-348. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070107

WANG Changwei, FENG Xiaomei, LIU Chuyi, et al. Comparative Analysis of Nutritional Components of Wild Sea Cucumbers in Different Sea Areas[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(5): 341-348. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070107

· 营养与保健 ·

# 不同海域野生海参体壁营养成分的比较分析

王长伟<sup>1,2,\*</sup>, 冯晓梅<sup>3</sup>, 刘楚怡<sup>3</sup>, 付雪媛<sup>1</sup>, 杜芬<sup>1</sup>

(1. 青岛海洋生物医药研究院, 山东青岛 266071;

2. 三奇生物医药(山东)有限公司, 山东日照 276800;

3. 中国海洋大学医药学院, 山东青岛 266003)

**摘要:** 探究不同海域野生海参的营养功能成分, 为野生海参的综合开发利用提供参考, 本文对糙刺参、黄玉参、土耳其米刺参以及冰岛红参等四种海参体壁中基本营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成、矿物质含量等进行检测、分析和评价。结果表明, 四种海参的共同点为高蛋白、低脂肪。其中, 土耳其米刺参蛋白含量最高, 脂肪含量最低; 黄玉参的海参多糖和灰分含量均最高; 冰岛红参的海参皂苷含量最高。四种海参均含有 17 种氨基酸, 且鲜味氨基酸与药效氨基酸含量丰富; 必需氨基酸含量占比 13.78%~20.27%, 其中冰岛红参的必需氨基酸含量最高。根据氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS), 四种海参的第一限制性氨基酸均为赖氨酸。四种海参的SFA占总脂肪酸的质量分数在 23.84%~36.24% 之间, 均以棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0)为主; 不饱和脂肪酸占比在 56.39%~72.93% 之间, 其中冰岛红参含量最高。在四种海参的常量元素中, 除土耳其米刺参以外, 其余三种海参均以钙元素含量最高, 微量元素中, 含量最高的均是铁元素。通过比较分析表明: 不同海域野生海参富含人体需要的多种营养, 具有不同的食用价值和开发利用前景。

**关键词:** 海参, 营养成分, 氨基酸, 脂肪酸, 矿物质, 不同海域

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)05-0341-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070107



本文网刊:

## Comparative Analysis of Nutritional Components of Wild Sea Cucumbers in Different Sea Areas

WANG Changwei<sup>1,2,\*</sup>, FENG Xiaomei<sup>3</sup>, LIU Chuyi<sup>3</sup>, FU Xueyuan<sup>1</sup>, DU Fen<sup>1</sup>

(1. Marine Biomedical Research Institute of Qingdao, Qingdao 266071, China;

2. Sanqi Biomedical (Shandong) Co., Ltd., Rizhao 276800, China;

3. Ocean University of China School of Medicine and Pharmacy, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** In order to provide reference for the comprehensive development and utilization, the nutritional function components of wild sea cucumbers in different sea areas were explored. This study comprehensively analyzed the nutritional composition of four wild sea cucumber species: *Stichopus horrens*, *Stichopus chloronotus*, *Holothuria mammata*, and *Cucumaria frondosa*. The basic nutritional composition, amino acid, fatty acid, and mineral element contents of the four sea cucumbers species were analyzed and evaluated. The results showed that the four species had high protein and low fat in common. *Holothuria mammata* exhibited the highest protein and lowest fat content. *Stichopus chloronotus* was rich in polysaccharides and ash content, while *Cucumaria frondosa* had notable saponin content. Each of the four sea cucumber types contained a consistent array of 17 amino acids, boasting substantial quantities of both delectable and medicinal amino acids. The essential amino acids accounted for a range of 13.78% to 20.27%, with *Cucumaria frondosa* displayed the most elevated content. Through the assessment of amino acid scores (AAS) and chemical scores (CS), lysine emerges as the predominant limiting amino acid across all four sea cucumber species. In terms of fatty acid composition, all species

收稿日期: 2023-07-14

基金项目: 山东省重大科技创新工程项目(2022CXGC020414); 烟台市“双百计划”蓝色产业领军人才团队项目—水生生物功能蛋白质开发及其产业化。

作者简介/通信作者\*: 王长伟(1983-), 女, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 海洋生物活性物质研究与开发, E-mail: wchw209@126.com。

exhibited a spectrum of saturated fatty acids (SFA) within total fatty acids, with content varying from 23.84% to 36.24%. Palmitic acid (C16:0) and stearic acid (C18:0) constituted the primary components of this SFA makeup. Notably, polyunsaturated fatty acid (PUFA) content ranged from 56.39% to 72.93%, with *Cucumaria frondosa* displayed the highest proportion. Among the major elements, calcium (Ca) content was relatively higher in all four samples, except for *Holothuria mammata*. Among the trace elements, the highest content was iron (Fe). This comparative analysis showed that wild sea cucumbers in different sea areas were rich in various nutrients that the human body needs, and had different edible values and development utilization.

**Key words:** sea cucumber; nutritional composition; amino acid; fatty acid; mineral; different sea areas

海参属于无脊椎动物(Invertebrate)、棘皮动物门(Echinoermata)、海参纲(Holothuroidea),是一种高蛋白、低脂肪、无胆固醇、活性成分丰富的滋补食材。目前全球发现的海参大约有 1716 种<sup>[1-2]</sup>,我国约 140 种,其中印度洋、西太平洋海区是世界上海参种类最多、资源量最大的区域<sup>[3]</sup>,我国海参主要分布在温带区和热带区,尤以黄渤海域为主<sup>[4]</sup>,主要经济品种是刺参。海参在各类山珍海味中位尊“八珍”,海参体壁作为海参体内的重要组成部分,除具有独特的结构以外,还具有多种中医特指的补益养生功能。近半个世纪以来,国内外学者对 40 多种海参化学成分的研究表明海参体内不但富含氨基酸、维生素和化学元素等人体所需的 50 多种营养成分<sup>[3]</sup>,还含有多种生物活性物质如酸性粘多糖、皂苷和胶原蛋白等,且已证实其具有抗凝血、抗氧化、抗血栓、抗肿瘤和治疗伤口愈合等多种功能<sup>[5-6]</sup>。

近年来,伴随着人类对健康的认知和需求越来越高,海参市场需求量不断增加。虽然国内市场上还是以刺参为主,但越来越多的进口海参凭借野生和价格的优势吸引了越来越多消费者的关注。因此,对可食用的不同种类海参进行营养学评价和比较具有较高的现实指导意义。目前,国内专家学者已研究了部分进口海参的营养价值,如刘胜男等<sup>[7]</sup>对分布在加利福尼亚半岛到厄瓜多尔大陆海域附近的暗色等刺参的营养成分进行了评价;郗亚凡等<sup>[8]</sup>分析了 3 种南海礁栖海参的营养组成;刘文娟等<sup>[9]</sup>对刺参、大西洋海参及阿拉斯加海参进行了氨基酸组成比较分析;董晓弟等<sup>[10]</sup>对海地瓜、黑乳参和乌皱辐肛参 3 种海参进行了营养评价;井君等<sup>[11]</sup>对美洲 7 种海参的基本成分进行了比较分析。以上研究大多针对某一特定海域的海参进行的营养成分差异比较,且营养成分的比较分析不够系统,表现为仅限于基本成分分析,或仅限于氨基酸组成比较,又或者是基本成分组成和氨基酸组成分析等。

糙刺参、黄玉参、土耳其米刺参、冰岛红参等是我国海参市场上比较有代表性的进口海参品种,且分布在不同纬度的不同海域。目前,尚没有对此四种海参体壁进行营养成分的系统差异分析的相关报道。因此本文选取不同海域的四种海参,对其体壁的营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成、矿物质含量等进行比较分析,探讨不同海域海参的营养成分差异,为海

参资源的综合开发利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

糙刺参(*Stichopus horrens*, 产地西太平洋印度尼西亚海域,规格为 3.8±1.0 g/头)、黄玉参(*Stichopus chloronotus*, 产地印度洋海域,规格为 6.5±1.5 g/头)、土耳其米刺参(*Holothuria mammata*, 产于大西洋沿岸,规格为 3.2±0.6 g/头)、冰岛红参(*Cucumaria frondosa*, 产地北冰洋,规格为 15.6±4.0 g/头)干制海参 潍坊悦龙堂海洋科技有限公司;岩藻糖标准品、乳糖标准品、喹诺糖标准品、脂肪酸标准品 纯度≥98%,美国 Sigma 公司;多元素校准标准溶液 美国 Agilent 公司。

BSA22025 型分析天平 梅特勒托利多科技有限公司;SKD-100 凯氏定氮仪 上海沛欧分析仪器有限公司;SZF-06A 型脂肪分析仪 上海昕瑞仪器仪表有限公司;Agilent1260 高效液相色谱仪、Agilent 7890 气相色谱仪 安捷伦科技有限公司;ICP-MS 电感耦合等离子体质谱仪 美国赛默飞世尔科技公司;HWS24 型恒温水浴锅 上海跃进医疗器械有限公司;BGZ-140 型电热鼓风干燥箱 上海博迅实业有限公司医疗设备厂;SX2 型箱式电阻炉 上海一恒科技有限公司;L-8900 高速氨基酸分析仪 日本株式会社日立高新技术科学。

### 1.2 实验方法

1.2.1 基本营养成分测定 取干海参样品于蒸馏水中低温浸泡 48 h,中间换水 2 次,将海参剖开,去除石灰质和杂质,清洗,烘干,磨粉处理,过 40 目筛备用。采用高温灼烧法(GB 5009.3-2016)测定灰分;凯氏定氮法-半自动凯氏定氮仪(GB 5009.5-2016)测定粗蛋白质含量;脂肪分析仪(GB/T 14772-2008)测定粗脂肪含量;高效液相色谱法(SC/T 3049-2015)测定海参多糖;高效液相色谱法(GB/T 33108-2016)测定总皂苷含量。

1.2.2 氨基酸组成分析 参照 GB 5009.124-2016 的方法,取各种海参样品,经盐酸水解后,测定水解液中的氨基酸组分及含量。

1.2.3 氨基酸评价方法 将各种海参的氨基酸组成按照 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式进行评价,进行蛋白质的氨基酸评分(Amino acid score,

AAS) 及全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式化学评分 (Chemical score, CS)。计算公式如下<sup>[12]</sup>:

$$AAS = \frac{\text{待评蛋白质中某种必需氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{FAO评分模式中某种必需氨基酸含量(mg/g N)}}$$

$$CS = \frac{\text{待评蛋白质中某种必需氨基酸含量(mg/g N)}}{\text{鸡蛋蛋白质中某种必需氨基酸含量(mg/g N)}}$$

1.2.4 脂肪酸组成分析 取海参各样品, 水解后<sup>[13]</sup>提取脂肪, 参照 GB 5009.168-2016 的内标法, 分析脂肪酸的组成及含量。

1.2.5 矿物质含量检测 取海参各样品, 分别参照 GB 5009-2017 系列标准的方法对 K、Na、Ca、Mg、P、Fe、Zn、Cu、Mn、Se 等矿物质元素进行测定。

### 1.3 数据处理

实验中每个样品设置 3 个平行样, 重复测定 2 次, 数据表示为平均数±标准偏差的形式。采用 SPSS 20.0 软件进行显著性差异分析及主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本营养成分分析

实验中由于各种海参预处理磨成粉末后含水量不一样, 因此将各个营养物质换算成干重进行比较分析。由表 1 可知, 四种海参体壁的基本营养成分存在组间显著性差异 ( $P < 0.05$ )。糙刺参、黄玉参、土耳其米刺参和冰岛红参的粗蛋白含量分别为 76.25%、79.84%、87.95% 和 80.51%; 粗脂肪含量在 1.10%~2.49% 之间, 属于低脂肪食品, 脂肪含量最高的为冰岛红参, 糙刺参次之, 含量最低的为土耳其米刺参; 海参多糖含量最高的为黄玉参, 含量为 4.13%; 其次是糙刺参, 冰岛红参的多糖含量最低, 仅为 1.4%; 皂苷含量在 0.08%~0.31% 之间, 含量最高的是冰岛红参, 最低的为土耳其米刺参; 不同海域的野生海参中灰分含量相差较大, 其中黄玉参的灰分含量最高, 为 12.32%, 其次为糙刺参, 含量为 9.52%, 土耳其米刺参和冰岛红参的灰分含量较低, 约为黄玉参的三分之一, 说明黄玉参的体壁较厚, 且肌肉组织紧密且结实<sup>[8]</sup>。

表 1 基本营养成分组成(以干基计, %)

Table 1 Composition of basic nutrients (In dry basis, %)

测定指标	糙刺参	黄玉参	土耳其米刺参	冰岛红参
粗蛋白	76.25±0.53 <sup>a</sup>	79.84±0.51 <sup>b</sup>	87.95±0.44 <sup>c</sup>	80.51±0.46 <sup>b</sup>
粗脂肪	2.35±0.16 <sup>c</sup>	1.75±0.15 <sup>b</sup>	1.10±0.11 <sup>a</sup>	2.49±0.08 <sup>c</sup>
海参多糖	3.52±0.16 <sup>c</sup>	4.13±0.24 <sup>d</sup>	2.32±0.09 <sup>b</sup>	1.4±0.21 <sup>a</sup>
海参皂苷	0.22±0.04 <sup>b</sup>	0.25±0.05 <sup>b</sup>	0.08±0.015 <sup>a</sup>	0.31±0.07 <sup>b</sup>
灰分	9.52±0.28 <sup>b</sup>	12.32±0.39 <sup>c</sup>	4.48±0.36 <sup>a</sup>	4.74±0.44 <sup>a</sup>

注: 同行中标有不同小写字母表示组间有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

从实验结果来看, 研究所用四种野生海参均属于高蛋白、低脂肪、活性成分丰富的滋补食品。其中糙刺参与郗亚凡等<sup>[8]</sup>报道的生长于南海礁栖的糙刺参相比, 蛋白含量远高于南海礁栖糙刺参(37.33%), 脂肪含量和灰分含量低于南海礁栖糙刺参(5.12%

和 46.85%), 多糖含量几乎相当。与王婧媛等<sup>[14]</sup>报道的岩刺参(*Holothuria mammata*) 和红极参(*Cucumaria frondosa*) 相比, 土耳其米刺参和冰岛红参的蛋白含量均较高, 灰分含量和脂肪含量均较低, 海参多糖和皂苷的含量相当。存在这些含量差异可能是由海参样品的不同生长海域、不同生长阶段、不同采集地点、不同饵料, 亦或是不同保存及检测方法等造成的<sup>[15]</sup>。

### 2.2 氨基酸组成分析

对不同海域海参中的氨基酸组成与含量进行测定, 结果如表 2 所示。

蛋白质在食物营养中的作用是显而易见的, 但它在人体内并不能直接被利用, 而是通过变成氨基酸小分子后被利用的<sup>[16]</sup>。由表 2 可知, 从氨基酸总量看, 四种海参的氨基酸质量分数在 55.14%~77.06% 之间, 其中土耳其米刺参含量最高, 为 77.06%, 其次是冰岛红参和黄玉参, 含量分别为 70.49% 和 69.96%, 氨基酸总量最低的为糙刺参, 这一结果与四种海参中的蛋白含量结果是一致的。

四种海参体壁的氨基酸组成丰富, 均检出 17 种氨基酸, 包括 7 种必需氨基酸(酸水解法测得氨基酸组成, 色氨酸被破坏)、2 种半必需氨基酸和 8 种非必需氨基酸。四种海参体壁的必需氨基酸(EAA)占海参质量的 13.78%~20.27%。其中, 冰岛红参的必需氨基酸含量最高, 其次是黄玉参和土耳其米刺参, 糙刺参的必需氨基酸含量最低。糙刺参、黄玉参、土耳其米刺参以及冰岛红参的必需氨基酸/非必需氨基酸(EAA/NEAA)的百分比依次为 24.99%、22.64%、20.01% 和 28.76%。可知, 无论从必需氨基酸含量还是必需氨基酸/非必需氨基酸的百分比来看, 冰岛红参都是最高的。

蛋白质的营养价值与氨基酸的种类及其含量有很大关系。组氨酸、赖氨酸和苏氨酸有助于增强免疫力<sup>[16]</sup>; 亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸可有效改善身体新陈代谢<sup>[17]</sup>; 谷氨酸是脑组织生化代谢中重要的氨基酸, 参与多种物质的合成<sup>[18-20]</sup>等。在四种海参的必需氨基酸中, 含量最高的 3 种氨基酸为缬氨酸、亮氨酸和苏氨酸; 非必需氨基酸中, 含量最高的 3 种氨基酸为甘氨酸、谷氨酸和天门冬氨酸。

此外, 药效氨基酸一般具有独特的生物活性, 已知谷氨酸、精氨酸、天门冬氨酸、胱氨酸等氨基酸单独作用可治疗一些疾病, 包括肝病疾病、消化道疾病、脑病、心血管病、呼吸道疾病以及用于提高肌肉活力、儿科营养和解毒等<sup>[21]</sup>。精氨酸、谷氨酸、甘氨酸可通过促进 NK 细胞和 T 细胞的活性和增殖, 增强免疫力<sup>[22]</sup>; 较低的赖氨酸/精氨酸比率有降低胆固醇的功效<sup>[10,23]</sup>。四种海参中均具有较高的药效氨基酸含量, 其中含量最高的为土耳其米刺参(43.01%), 其次为黄玉参和冰岛红参, 含量最低的为糙刺参。药效氨基酸的含量高低与鲜味氨基酸的含量高低趋势

表2 海参体壁氨基酸组成分析(以干基计,%)  
Table 2 Amino acid composition in body wall of sea cucumbers (In dry basis, %)

氨基酸	糙刺参	黄玉参	土耳其米刺参	冰岛红参	
必需氨基酸	缬氨酸(Val)	2.29±0.02	2.66±0.01	2.61±0.01	3.44±0.03
	蛋氨酸(Met)	1.10±0.02	1.20±0.03	1.21±0.02	1.49±0.01
	亮氨酸(Leu)	2.69±0.02	3.07±0.03	2.83±0.04	3.99±0.02
	异亮氨酸(Ile)	1.80±0.01	2.14±0.03	1.57±0.02	2.75±0.02
	苏氨酸(Thr)	2.38±0.04	3.17±0.02	3.58±0.04	3.13±0.02
	苯丙氨酸(Phe)	1.75±0.01	1.93±0.01	1.96±0.00	2.55±0.02
	赖氨酸(Lys)	1.78±0.02	1.68±0.03	1.66±0.01	2.93±0.02
半必需氨基酸	组氨酸(His)	0.62±0.03	0.76±0.01	0.71±0.01	1.24±0.02
	精氨酸(Arg) <sup>Aa</sup>	4.43±0.01	5.81±0.04	6.84±0.03	5.73±0.01
	天门冬氨酸(Asp) <sup>Aa</sup>	5.46±0.02	7.04±0.04	7.58±0.02	7.26±0.03
	酪氨酸(Tyr) <sup>a</sup>	1.34±0.01	1.59±0.01	1.53±0.03	2.24±0.02
	丝氨酸(Ser)	1.82±0.03	2.20±0.02	2.58±0.01	3.14±0.02
非必需氨基酸	谷氨酸(Glu) <sup>Aa</sup>	8.41±0.02	10.88±0.03	11.69±0.02	10.43±0.01
	甘氨酸(Gly) <sup>Aa</sup>	8.98±0.02	12.85±0.04	15.37±0.04	9.70±0.02
	丙氨酸(Ala) <sup>A</sup>	4.43±0.01	6.11±0.02	7.10±0.03	4.79±0.01
	半胱氨酸(Cys)	1.49±0.03	0.76±0.04	1.02±0.03	1.00±0.03
	脯氨酸(Pro)	4.38±0.02	6.12±0.01	7.22±0.02	4.69±0.03
	赖氨酸/精氨酸	0.40	0.29	0.24	0.51
EAA	13.78±0.14	15.84±0.16	15.42±0.14	20.27±0.14	
SEAA	5.06±0.04	6.57±0.05	7.55±0.04	6.97±0.03	
NEAA	36.30±0.16	47.55±0.21	54.09±0.20	43.25±0.17	
TAA	55.14±0.34	69.96±0.42	77.06±0.38	70.49±0.34	
EAA/TAA	24.99%	22.64%	20.01%	28.76%	
鲜味氨基酸	31.71±0.06	42.69±0.17	48.58±0.14	37.91±0.08	
药效氨基酸	28.62±0.08	38.17±0.16	43.01±0.14	35.36±0.09	

注: A: 鲜味氨基酸; a: 药效氨基酸; EAA: 必需氨基酸; SEAA: 半必需氨基酸; NEAA: 非必需氨基酸; TAA: 氨基酸总量。

是一致的。四种海参中赖氨酸/精氨酸比率最低的也是土耳其米刺参(0.24), 其次为黄玉参和糙刺参, 比值最高的为冰岛红参。由此可知, 食用土耳其米刺参具有更多的保健功效。

鲜味氨基酸赋予产品特有的风味, 一般意义上把谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸以及苏氨酸这几种能呈现出特殊鲜味的氨基酸称为呈味氨基酸<sup>[24]</sup>。四种海参的呈味氨基酸质量分数在 31.71%~48.58% 之间, 其中土耳其米刺参>黄玉参>冰岛红参>糙刺参, 因此, 土耳其米刺参比另外三种海参在食用风味方面也更具有优势。

### 2.3 氨基酸营养评价

氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)是进行食品

中氨基酸构成与营养评价的重要指标。将四种海参中的氨基酸组成与 FAO/WHO 氨基酸评分标准和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式进行比较, 并计算出各种海参的 AAS 和 CS, 结果见表 3。

从表 3 可知, 四种不同海参体壁的氨基酸组成相近, 但营养品质存在一定差异。糙刺参的必需氨基酸评分 AAS 在 0.42~0.97 之间, 化学评分 CS 在 0.33~0.66 之间; 黄玉参的 AAS 为 0.38~0.99, CS 为 0.30~0.84; 土耳其米刺参 AAS 为 0.34~1.02, CS 为 0.27~0.86; 冰岛红参的 AAS 为 0.66~0.99, CS 为 0.52~0.83, 与刘文娟等<sup>[9]</sup>研究北极海参的 AAS(0.30~1.02)和 CS(0.17~0.87)范围相近, 表明在在同一海域的海参其氨基酸评分基本一致。本研究中的糙刺参、黄玉

表3 不同海参体壁氨基酸组成评价

Table 3 Evaluation of amino acid composition in body wall of different sea cucumbers

必需氨基酸	评分模式(FAO)	鸡蛋蛋白	氨基酸评分(AAS)				化学评分(CS)			
			糙刺参	黄玉参	土耳其米刺参	冰岛红参	糙刺参	黄玉参	土耳其米刺参	冰岛红参
缬氨酸(Val)	50	66	0.60	0.67	0.59	0.86	0.45	0.50	0.45	0.65
蛋氨酸(Met)和半胱氨酸(Cys)	35	57	0.97	0.70	0.72	0.88	0.60	0.43 <sup>##</sup>	0.45	0.54 <sup>##</sup>
亮氨酸(Leu)	70	86	0.50 <sup>##</sup>	0.55 <sup>##</sup>	0.46	0.71 <sup>##</sup>	0.41 <sup>##</sup>	0.45	0.37	0.58
异亮氨酸(Ile)	40	54	0.59	0.67	0.45 <sup>##</sup>	0.85	0.44	0.50	0.33 <sup>##</sup>	0.63
苏氨酸(Thr)	40	47	0.78	0.99	1.02	0.97	0.66	0.84	0.86	0.83
苯丙氨酸(Phe)和酪氨酸(Tyr)	60	93	0.68	0.73	0.66	0.99	0.44	0.47	0.43	0.64
赖氨酸(Lys)	55	70	0.42 <sup>#</sup>	0.38 <sup>#</sup>	0.34 <sup>#</sup>	0.66 <sup>#</sup>	0.33 <sup>#</sup>	0.30 <sup>#</sup>	0.27 <sup>#</sup>	0.52 <sup>#</sup>

注: #表示第一限制性氨基酸; ##表示第二限制性氨基酸。

参、土耳其米刺参的 AAS 和 CS 均低于冰岛红参,表明冰岛红参的体壁蛋白具有较高的营养价值。根据 AAS 和 CS 的标准,四种海参的第一限制性氨基酸均为赖氨酸,第二限制性氨基酸主要为亮氨酸、异亮氨酸以及蛋氨酸和半胱氨酸。因此,在几种海参的加工或者烹制过程中可以针对性添加富含这些限制性氨基酸的其他食物原料,以丰富海参的营养性。

#### 2.4 脂肪酸组成分析

四种海参体壁中的脂肪酸含量较低,脂肪酸的组成见表 4 所示。

从表中可知,糙刺参和黄玉参中各检测出饱和脂肪酸 10 种,单不饱和脂肪酸 6 种,多不饱和脂肪酸 8 种;土耳其米刺参中检测到 9 种饱和脂肪酸,6 种单不饱和脂肪酸,9 种多不饱和脂肪酸;冰岛红参中检测到 8 种饱和脂肪酸,6 种单不饱和脂肪酸和 9 种多不饱和脂肪酸。饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸分别占总脂肪酸的比例是:糙刺参 36.24% 和 56.39%;黄玉参 31.15% 和 57.18%;土耳其米刺参 30.65% 和 64.91%;冰岛红参 23.84% 和 72.93%。可以发现,不同海域的饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸所占比例有所

不同,随着海参所在海域纬度升高,饱和脂肪酸所占比例下降,而不饱和脂肪酸所占比例上升,这与刘瑀等<sup>[25]</sup>研究的 7 个纬度点的海参脂肪酸组成特征结论基本是一致的。

四种海参的 SFA 占总脂肪酸的质量分数在 23.84%~36.24% 之间,均以棕榈酸(C16:0, Palmitic acid, PA)和硬脂酸(C18:0, Stearic Acid)为主。PA 具有抗炎、降低胆固醇、预防心脑血管疾病和提高机体免疫力等作用<sup>[26]</sup>;硬脂酸具有改善血栓和动脉硬化、促进线粒体合成、保护肝脏的作用<sup>[27]</sup>。糙刺参的 PA 含量显著高于其他三种海参( $P<0.05$ ),糙刺参和土耳其米刺参的硬脂酸含量显著高于黄玉参和冰岛红参( $P<0.05$ ),因此食用糙刺参可能更有助于降低胆固醇、改善血栓和动脉硬化、预防心脑血管疾病。

MUFA 是饱和和动物脂肪的更健康替代品,具有预防心血管疾病(CVD)、减轻血脂异常、预防非酒精性脂肪肝病(NAFLD)和 2-型糖尿病(T2DM)<sup>[28]</sup>等功效。四种海参的 MUFA 占总脂肪酸的比例在 31.40%~38.24% 之间,其中以二十碳一烯酸(C20:1)为主,占有 MUFA 质量分数的 44%~52%,与玉足

表 4 海参体壁的脂肪酸组成(%)

Table 4 Fatty acid composition in body wall of sea cucumbers (%)

脂肪酸	糙刺参	黄玉参	土耳其米刺参	冰岛红参
C14:0	1.97±0.16 <sup>a</sup>	1.41±0.11 <sup>b</sup>	0.98±0.13 <sup>c</sup>	0.51±0.09 <sup>d</sup>
C15:0	0.11±0.01 <sup>a</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	ND	ND
C16:0	14.35±0.18 <sup>a</sup>	12.98±0.71 <sup>b</sup>	10.57±0.13 <sup>c</sup>	8.95±0.18 <sup>c</sup>
C17:0	0.235±0.002 <sup>c</sup>	0.392±0.003 <sup>b</sup>	0.663±0.002 <sup>a</sup>	0.64±0.005 <sup>a</sup>
C18:0	10.54±0.10 <sup>a</sup>	8.48±0.08 <sup>b</sup>	9.95±0.04 <sup>a</sup>	7.92±0.11 <sup>b</sup>
C20:0	4.37±0.05 <sup>a</sup>	5.05±0.08 <sup>a</sup>	3.62±0.11 <sup>b</sup>	3.40±0.21 <sup>b</sup>
C21:0	2.53±0.12 <sup>a</sup>	1.37±0.15 <sup>b</sup>	2.79±0.09 <sup>a</sup>	1.39±0.22 <sup>b</sup>
C22:0	1.05±0.10 <sup>b</sup>	0.87±0.05 <sup>b</sup>	1.73±0.06 <sup>a</sup>	0.90±0.11 <sup>b</sup>
C23:0	0.32±0.11 <sup>a</sup>	0.04±0.08 <sup>c</sup>	0.18±0.07 <sup>b</sup>	0.13±0.05 <sup>b</sup>
C24:0	0.76±0.02 <sup>a</sup>	0.47±0.01 <sup>b</sup>	0.17±0.01 <sup>c</sup>	ND
饱和脂肪酸SFA	36.24	31.15	30.65	23.84
C14:1	ND	ND	ND	ND
C16:1	6.28±0.25 <sup>a</sup>	4.43±0.13 <sup>b</sup>	3.68±0.05 <sup>c</sup>	4.18±0.12 <sup>b</sup>
C18:1	3.26±0.08 <sup>c</sup>	5.79±0.06 <sup>a</sup>	4.85±0.05 <sup>b</sup>	5.73±0.08 <sup>a</sup>
C18:1t	0.027±0.004 <sup>c</sup>	0.365±0.101 <sup>a</sup>	0.012±0.002 <sup>d</sup>	0.064±0.009 <sup>b</sup>
C20:1	17.70±0.86 <sup>a</sup>	14.26±0.91 <sup>b</sup>	15.64±0.54 <sup>b</sup>	18.47±1.01 <sup>a</sup>
C22:1	3.48±0.35 <sup>b</sup>	3.75±0.29 <sup>b</sup>	5.95±0.38 <sup>a</sup>	5.20±0.51 <sup>a</sup>
C24:1	3.03±0.06 <sup>c</sup>	2.81±0.05 <sup>d</sup>	4.81±0.04 <sup>a</sup>	4.59±0.09 <sup>b</sup>
单不饱和脂肪酸MUFA	33.78	31.40	34.94	38.24
C18:2	0.16±0.04 <sup>b</sup>	0.10±0.03 <sup>a</sup>	0.95±0.03 <sup>a</sup>	1.11±0.05 <sup>a</sup>
C18:3(GLA)	0.74±0.03 <sup>a</sup>	0.59±0.02 <sup>b</sup>	0.22±0.04 <sup>c</sup>	0.25±0.03 <sup>c</sup>
C18:3(ALA)	0.51±0.01 <sup>a</sup>	0.42±0.02 <sup>b</sup>	0.21±0.01 <sup>d</sup>	0.25±0.01 <sup>c</sup>
C18:2t	0.079±0.007 <sup>a</sup>	0.026±0.002 <sup>b</sup>	0.016±0.001 <sup>c</sup>	0.075±0.004 <sup>a</sup>
C20:2	2.16±0.02 <sup>c</sup>	3.97±0.03 <sup>a</sup>	3.16±0.05 <sup>b</sup>	3.08±0.06 <sup>b</sup>
C20:3	ND	ND	0.16±0.03 <sup>b</sup>	0.39±0.02 <sup>a</sup>
C20:4(ARA)	7.92±0.11 <sup>c</sup>	9.29±0.16 <sup>b</sup>	10.29±0.21 <sup>a</sup>	9.34±0.11 <sup>b</sup>
C20:5(EPA)	6.93±0.09 <sup>c</sup>	6.38±0.19 <sup>d</sup>	8.93±0.21 <sup>b</sup>	11.41±0.28 <sup>a</sup>
C22:6(DHA)	4.13±0.05 <sup>d</sup>	5.01±0.13 <sup>c</sup>	6.03±0.11 <sup>b</sup>	8.79±0.16 <sup>a</sup>
多不饱和脂肪酸PUFA总量	22.61	25.78	29.97	34.69
不饱和脂肪酸	56.39	57.18	64.91	72.93

注:表中数据均为脂肪酸占总脂肪酸质量分数的比值;同行中标有不同小写字母表示组间有显著性差异( $P<0.05$ );ND表示未检出,表5同。

海参(44.90%)和糙海参(54.45%)<sup>[8]</sup>、白色仿刺参(45.49%)和紫色仿刺参(43.92%)<sup>[29]</sup>相似。

PUFA在抗癌、抗炎症、促进大脑发育和预防心血管疾病等方面具有显著功效<sup>[30]</sup>,四种海参的PUFA占总脂肪酸的质量分数在22.61%~34.69%之间,含量最高的为冰岛红参,其次为土耳其米刺参,糙刺参最少,但均高于花刺参(15.10%)、梅花参(15.40%)和象牙参(5.10%)<sup>[31]</sup>。在PUPA中,占比含量较高的为ARA、EPA和DHA等。ARA(花生四烯酸,C20:4n-6),是人体必需的一种不饱和脂肪酸,大多数存在于细胞膜的磷脂中。其为生长发育所需,对脂质蛋白的代谢、血小板的激活等有一定的调节作用,有利于促进大脑发育<sup>[32-33]</sup>。EPA全称是二十碳五烯酸,属于 $\omega$ -3不饱和脂肪酸,具有促进生长发育、软化血管、降低甘油三酯(TG)和非高密度脂蛋白胆固醇(non-HDL-C)水平、预防心脑血管疾病等作用<sup>[34]</sup>。DHA,二十二碳六烯酸,俗称脑黄金,也属于 $\omega$ -3不饱和脂肪酸家族中的重要成员,是神经系统细胞生长及维持的一种主要元素,是大脑和视网膜的重要构成脂肪酸,对智力和视力发育至关重要<sup>[34]</sup>。从表4中可知,土耳其米刺参中ARA含量最高,其次是冰岛红参和黄玉参,ARA含量最低的为糙刺参;EPA和DHA含量最高的均为冰岛红参,其次为土耳其米刺参。因此,食用冰岛红参和土耳其米刺参可能对炎症、心血管疾病等有一定的缓解作用。

## 2.5 矿物质含量分析

对四种不同海参体壁的几种常量元素及微量元素进行测定,结果如表5所示。

表5 海参体壁矿物质含量(以干基计)  
Table 5 Mineral composition in body wall of sea cucumbers  
(In dry basis)

	元素	糙刺参	黄玉参	土耳其米刺参	冰岛红参
常量元素 (g/kg)	钠Na	11.42±0.43	9.65±0.36	7.09±0.63	6.08±0.22
	钾K	0.61±0.05	0.38±0.03	0.28±0.02	0.35±0.05
	钙Ca	17.27±0.21	28.51±0.32	4.44±0.15	7.23±0.24
	镁Mg	4.66±0.12	5.54±0.15	2.29±0.09	2.81±0.07
	铁Fe	73.56±0.86	92.98±0.63	101.93±0.91	94.70±0.68
微量元素 (mg/kg)	锌Zn	34.31±0.41	26.67±0.31	31.89±0.23	89.10±0.46
	锰Mn	5.89±0.06	5.89±0.03	2.5±0.05	4.29±0.03
	硒Se	1.75±0.01	2.27±0.03	2.13±0.02	2.05±0.01
	铜Cu	ND	ND	ND	1.99±0.02

如表5所示,在四种海参的常量元素中,除土耳其米刺参以外,其余三种海参中均是钙元素含量最高,其次是钠、镁。其中,钙含量为黄玉参>糙刺参>冰岛红参>土耳其米刺参;钠含量为糙刺参>黄玉参>土耳其米刺参>冰岛红参;而镁含量的大小趋势与钙含量是一致的。由于以上三种常量元素含量占所测9种矿物质含量的96.73%~98.86%。因此,钙镁含量的大小趋势与四种海参的灰分含量趋势也是一致的。

在微量元素中,含量最高的是铁元素。铁是构成人体的必不可少的元素之一。人体内的铁72%以血红蛋白、3%以肌红蛋白、0.2以其它化合物形式存在,其余为储备铁,约占25%。铁主要参与氧的运输和储存,还可以促进生长发育,增加对疾病的抵抗力,预防和治疗因缺铁而引起的贫血<sup>[35]</sup>。四种海参的铁元素含量在73.56~101.93 mg/kg之间,含量均高于郗亚凡等<sup>[8]</sup>研究的糙海参和玉足海参中的铁元素含量(31.24~33.50 mg/kg),也高于董晓弟等<sup>[10]</sup>研究的海地瓜、黑乳参和乌皱辐肛参中的铁元素含量(16.3~24.1 mg/kg)。锌元素是免疫器官胸腺发育的营养素,是多种酶的重要组成部分,能刺激金属硫蛋白和核酸的合成,促进细胞免疫功能,与生长发育、智力发育、提高免疫力密切相关<sup>[36]</sup>。四种海参中锌元素含量在26.67~89.10 mg/kg之间,其中含量最高的是冰岛红参。

锰元素分布在身体各种组织和体液中,锰缺乏可影响生殖能力,还可引起神经衰弱,影响智力发育等<sup>[37]</sup>。元素硒不但能够预防肿瘤、肝病等的发生,还可以提高机体免疫能力,预防老年性心脑血管疾病的发生<sup>[38]</sup>。四种海参中均含有一定量的锰元素和硒元素,可见食用这四种海参均可以起到补充微量元素的作用。

## 3 结论

通过对比分析可知,四种不同海域野生海参都具有高蛋白、低脂肪的特性,其体壁的基本营养成分组成存在组间显著差异( $P<0.05$ ),且所研究海参品种的蛋白含量普遍高于不同海域的同类海参或者同类海参的不同海域,而脂肪含量普遍略低,海参多糖和海参皂苷的含量几乎相当。四种海参的氨基酸组成比较相似,第一限制性氨基酸均为赖氨酸;四种海参中均含有一定的鲜味氨基酸及药效氨基酸,其中土耳其米刺参在食用风味及保健功效方面更具优势。不同品种野生海参中脂肪酸的组成差异较大,糙刺参的饱和脂肪酸含量高于其他三种海参,而冰岛红参的不饱和脂肪酸明显高于另外三种海参,这可能跟海参所在海域的纬度有一定的关系。四种海参中均含有一定的常量元素和微量元素,对人体的健康有着积极的调节作用。由此可知,四种海参虽由于生长海域不同而导致其营养成分有所差异,但每种海参均有其各自的营养特点,可为深入研究海参活性物质的提取制备及作用功效提供理论依据,亦可为其高值化开发利用,开发不同的功能性食品提供数据支撑。

## 参考文献

- [1] PANGESTUTI R, ARIFIN Z. Medicinal and health benefit effects of functional sea cucumbers[J]. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 2017, 8(3): 341-351.
- [2] MELONI D, ESPOSITO G. Hygienic and commercial issues related to the illegal fishing and processing of sea cucumbers in the Mediterranean: A case study on over-exploitation in Italy between 2015 and 2017[J]. Regional Studies in Marine Science, 2018, 19:

43-46.

- [3] BORDBAR S, ANWAR F, SAARI N. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods-A review[J]. *Marine Drugs*, 2011, 9(10): 1761-1805.
- [4] 刘东竹, 于笛, 郑杰, 等. 海参加工产品开发现状及研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(23): 344-351. [LIU Dongzhu, YU Di, ZHENG Jie, et al. Development status and research progress of sea cucumber processing products[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2022, 48(23): 344-351.]
- [5] SHI S J, FENG W J, HU S, et al. Bioactive compounds of sea cucumbers and their therapeutic effects[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2016, 34(3): 549-558.
- [6] 杨林彤, 黄栋, 周建华, 等. 海参营养价值与主要功效成分的研究进展[J]. *食品科技*, 2022, 47(2): 168-172. [YANG Lintong, HUANG Dong, ZHOU Jianhua, et al. Research progress on nutritional value and main functional components of sea cucumber[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(2): 168-172.]
- [7] 刘胜男, 曹荣, 赵玲, 等. 暗色等刺参(*Isostichopus fuscus*)营养成分分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(8): 2263-2267. [LIU Shengnan, CAO Rong, ZHAO Ling, et al. Analysis on nutrients of *Isostichopus fuscus*[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2019, 10(8): 2263-2267.]
- [8] 郝亚凡, 林海生, 曹文红, 等. 三种南海礁栖海参体壁营养成分分析[J]. *广东海洋大学学报*, 2023, 43(2): 113-119. [XI Yafan, LIN Haisheng, CAO Wenhong, et al. Analysis of nutritional components in the body wall of three reef-dwelling sea cucumbers in the South China Sea[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2023, 43(2): 113-119.]
- [9] 刘文娟, 孙兆跃, 任贻超. 三种野生海参体壁的氨基酸含量分析与评价[J]. *氨基酸和生物资源*, 2016, 38(4): 5-10. [LIU Wenjuan, SUN Zhaoyue, REN Yichao. Comparison of amino acid composition of three species of sea cucumber[J]. *Amino Acids & Biotic Resources*, 2016, 38(4): 5-10.]
- [10] 董晓弟, 潘如佳, 王长海. 海地瓜, 黑乳参和乌皱辐肛参营养成分对比[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(12): 2986-2990. [DONG Xiaodi, PAN Rujia, WANG Changhai. Comparison of nutritional values of *Acaudina molpadioides*, *Holothuria nobilis*, and *Actinopyga miliaris*[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(12): 2986-2990.]
- [11] 井君, 陈山乔, 郭锐华, 等. 美洲不同品种海参营养成分的比较分析[J]. *中国海洋药物*, 2017, 36(6): 60-66. [JING Jun, CHEN Shanqiao, GUO Ruihua, et al. Comparative analysis of nutrients in different American varieties of sea cucumber[J]. *Chinese Journal of Marine Drugs*, 2017, 36(6): 60-66.]
- [12] 颜孙安, 林香信, 钱爱萍, 等. 化学分析法的理想参考蛋白模式及其化学生物价研究[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(23): 101-107. [YAN Sunan, LIN Xiangxin, QIAN Aiping, et al. The study on the ideal reference protein model of chemical analysis and biological value[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(23): 101-107.]
- [13] FOLCH J, LEES M, SLOANE S G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497-519.
- [14] 王婧媛, 王联珠, 郭莹莹, 等. 仿刺参与进口海参营养品质的比较分析[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(16): 250-254. [WANG Jingyuan, WANG Lianzhu, GUO Yingying, et al. Comparative analysis of nutritional quality of *Apostichopus japonicus* and imported sea cucumbers[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(16): 250-254.]
- [15] 于东祥, 孙慧玲, 陈四清, 等. 海参健康养殖技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2010, 156. [YU Dongxiang, SUN Huiling, CHEN Siqing, et al. The health breeding technology of sea cucumber[M]. Beijing: Marine Press, 2010, 156.]
- [16] 徐琪寿. 氨基酸药理学研究进展[J]. *氨基酸和生物资源*, 1996, 18(1): 30-32. [XU Qishou. Research progress in amino acid pharmacology[J]. *Amino Acids & Biotic Resources*, 1996, 18(1): 30-32.]
- [17] 姚赫, 林雅军. 支链氨基酸对寿命调控作用的研究进展[J]. *中华老年多器官疾病杂志*, 2022, 21(10): 793-796. [YAO He, LIN Yajun. Research progress in lifespan regulation by branched-chain amino acids[J]. *Chinese Journal of Multiple Organ Disease in the Elderly*, 2022, 21(10): 793-796.]
- [18] 余佳红, 童玉, 叶开, 等. 人神经干细胞微囊泡对谷氨酸诱导 PC12 细胞损伤的保护作用[J]. *江苏大学学报(医学版)*, 2020, 30(4): 302-306. [YU Jiahong, TONG Yu, YE Kai, et al. Protective effect of human neural stem cell microvesicles against glutamate-induced cytotoxicity in PC12 cells[J]. *Journal of Jiangsu University (Medicine Edition)*, 2020, 30(4): 302-306.]
- [19] CHORNA N E, CHORNY A P. Metabolomics analysis of glutamate receptor function[J]. *Methods in Molecular Biology (Clifton, N. J.)*, 2019, 1941: 155-165.
- [20] GAO Y, LI Z B, QI Y X, et al. Proximate composition and nutritional quality of deep sea growth sea cucumbers (*Stichopus japonicus*) from different origins[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(7): 2378-2383.
- [21] DUTTA S, RAY S, NAGARAJAN K. Glutamic acid as anti-cancer agent: An overview[J]. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 2013, 21(4): 337-343.
- [22] SAN P, SAZO A, UTRERAS E, et al. Glycine receptor subtypes and their roles in nociception and chronic pain[J]. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 2022, 15: 848642.
- [23] LI P, YIN Y L, LI D F, et al. Amino acids and immune function[J]. *British Journal of Nutrition*, 2007, 98(2): 237-252.
- [24] 杨芳, 兰珊珊, 严红梅, 等. 地涌金莲及其加工过程中氨基酸和矿质元素分析[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(11): 1569-1571. [YANG Fang, LAN Shanshan, YAN Hongmei, et al. Analysis of amino acids and mineral elements in the rough and finished product of *Musella Lasiocarpa* (Franch) C. Y. Wu ex H. W. Li[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2012, 28(11): 1569-1571.]
- [25] 刘瑀, 周松柏, 赵新达, 等. 不同纬度下海参共有脂肪酸的组成特征[J]. *海洋环境科学*, 2019, 38(4): 503-507. [LIU Yu, ZHOU Songbai, ZHAO Xinda, et al. Composition of common fatty acids in sea cucumber at different latitudes[J]. *Marine Environmental Science*, 2019, 38(4): 503-507.]
- [26] CARTA G, MURRU E, BANNI S, et al. Palmitic acid: Physiological role, metabolism and nutritional implications[J]. *Frontiers in Physiology*, 2017, 8: 902.
- [27] SENYILMAZ-TIEBE D, PFAFF D H, VIRTUE S, et al. Dietary stearic acid regulates mitochondria *in vivo* in humans[J]. *Nature Communications*, 2018, 9: 3129.
- [28] SHEASHEA M, XIAO J B, FARAG M A. MUFA in metabolic syndrome and associated risk factors: Is MUFA the opposite side of the PUFA coin?[J]. *Food & Function*, 2021, 12(24): 12221-12234.
- [29] 汤奎, 刘小林, 张帅, 等. 3种不同体色刺参体壁营养成分的比较研究[J]. *渔业科学进展*, 2021, 42(3): 155-162. [TANG Kui, LIU Xiaolin, ZHANG Shuai, et al. Comparative study on the nutrient composition in body walls of three body color variants of

- the sea cucumbers, *Apostichopus japonicus* (Selenka)[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(3): 155–162. ]
- [ 30 ] 吴洪号, 张慧, 贾佳, 等. 功能性多不饱和脂肪酸的生理功能及应用研究进展[J]. *中国食品添加剂*, 2021, 8: 134–140. [ WU Honghao, ZHANG Hui, JIA Jia, et al. Research progress of physiologic function and application of functional polyunsaturated fatty acids[J]. *China Food Additives*, 2021, 8: 134–140. ]
- [ 31 ] WEN J, HU C Q, FAN S G. Chemical composition and nutritional quality of sea cucumbers[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(14): 2469–2474.
- [ 32 ] XU H G, MENG X X, WEI Y L, et al. Arachidonic acid matters[J]. *Reviews in Aquaculture*, 2022, 14(4): 1912–1944.
- [ 33 ] HANNA V S, HAFEZ E A A. Synopsis of arachidonic acid metabolism; A review[J]. *Journal of Advanced Research*, 2018, 11: 23–32.
- [ 34 ] EGERTON S, MANNION D, CULLOTY S, et al. The proximate composition of three marine pelagic fish[J]. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 2020, 59(1): 185–200.
- [ 35 ] BEGGS M R, ALEXANDER R T. Intestinal absorption and renal reabsorption of calcium throughout postnatal development[J]. *Experimental Biology and Medicine (Maywood, N J)*, 2017, 242(8): 840–849.
- [ 36 ] OSREDKAR J, SUSTAR N. Copper and zinc, biological role and significance of copper/zinc imbalance[J]. *Journal of Clinical Toxicology*, 2011, S3: 2161–2175.
- [ 37 ] 张钧柔, 张诗玄, 李婕, 等. 白细胞介素-17信号通路在锰中毒及相关的神经退行性疾病中作用的生物信息学研究[J]. *环境与职业医学*, 2022, 39(10): 1140–1145. [ ZHANG Junrou, ZHANG Shixuan, LI Jie, et al. Bioinformatics study on role of IL-17 signaling in manganese poisoning and manganese-related neurodegenerative diseases[J]. *Journal of Environmental and Occupational Medicine*, 2022, 39(10): 1140–1145. ]
- [ 38 ] ACHILLI C, CIANA A, MINETTI G. Brain, immune system and selenium: A starting point for a new diagnostic marker for Alzheimer's disease[J]. *Perspectives in Public Health*, 2018, 138(4): 223–226.