

Doi:10.11840/j.issn.1001-6392.2024.03.005

斑纹小贻贝的营养成分分析与评价

马晓杰^{1,2}, 左晨霞^{1,3}, 关纯安⁴, 马培振^{1,5}, 闫少静¹, 朱懿^{1,2}, 张振^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋生物分类与系统演化实验室 青岛市海洋生物多样性与保护重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 青岛大学 生命科学学院, 山东 青岛 266071; 4. 山东省国土空间数据和遥感技术研究院 (山东省海域动态监视监测中心), 山东 济南 250000; 5. 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室 (中国水产科学研究院黄海水产研究所), 山东 青岛 266071)

摘要: 外来物种是一把“双刃剑”, 对本土生态环境和社会经济产生重要影响, 准确评估外来物种的营养价值是发挥其经济效益的重要环节。作为近年来侵入我国东南沿海的外来物种, 斑纹小贻贝 (*Mytella strigata*) 一方面威胁着本地种翡翠贻贝的生存, 另一方面在海南、福建等地区已作为海产品被售卖和食用。在此背景下, 本研究依据国家食品安全检测相关标准, 对斑纹小贻贝软体部常规营养指标进行测定, 分析与评估斑纹小贻贝的营养价值。结果显示: 斑纹小贻贝软体部水分、灰分、粗蛋白和粗脂肪的含量 (湿重) 分别占 83.20%、2.00%、12.09% 和 0.60%; 共检测出 16 种氨基酸, 占粗蛋白总量的 84.53%, 其中 7 种为必需氨基酸, 占氨基酸总量的 35.23%, 必需氨基酸指数 EAAI 评分为 76.24 分, 第一限制性氨基酸是半胱氨酸+蛋氨酸; 检测出 18 种脂肪酸, 包括 7 种饱和脂肪酸, 占 43.71%, 4 种单不饱和脂肪酸, 占 11.05%, 7 种多不饱和脂肪酸, 占 45.27%, DHA 和 EPA 分别为脂肪酸总量的 19.85% 和 13.32%; 矿质元素种类丰富, 钙、铁、锌、锰等微量元素含量高。研究表明, 斑纹小贻贝软体部氨基酸比例符合 FAO/WHO 的理想蛋白模式, 蛋白质营养价值高, 不饱和脂肪酸含量高, 矿质元素含量丰富, 具有成为优质保健食品的潜力。

关键词: 斑纹小贻贝; 外来物种; 营养; 食品

中图分类号: P735 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6932(2024)03-0346-07

Analysis and evaluation of the nutrient content of *Mytella strigata*

MA Xiaojie^{1,2}, ZUO Chenxia^{1,3}, GUAN Chunan⁴, MA Peizhen^{1,5}, YAN Shaojing¹,
ZHU Yi^{1,2}, ZHANG Zhen^{1,2}

(1. Qingdao Key Laboratory of Marine Biodiversity and Conservation, Laboratory of Marine Organism Taxonomy & Phylogeny, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Life Sciences, Qingdao University, Qingdao 266071, China; 4. Shandong Academy of Territorial Spatial Data and Remote Sensing Technology (Marine Dynamic Monitoring and Surveillance Center of Shandong Province), Jinan 250000, China; 5. State Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao, Shandong 266071, China)

Abstract: Alien species are a "double-edged sword", which has a significant impact on the local ecological environment and social economy. The accurate evaluation of the nutritional value of alien species is an important segment to exert its economic benefits. *Mytella strigata* is an alien species that has invaded the southeast coast of China in recent years. On the one hand, it threatens the survival of the local species such as *Perna viridis*, and on the other hand, it has been sold and eaten as a seafood in Hainan, Fujian, and other areas. In this context, we determined the routine nutritional indicators of the soft parts to analyze and evaluate the nutritional value of *M. strigata* according to the relevant national food safety testing standards. The results showed that the content of moisture, ash, crude protein, and crude fat (wet weight) in the soft parts of *M. strigata* accounted for 83.20%, 2.00%, 12.09% and 0.60%, respectively. A total of 16 amino acids were detected, accounting for 84.53% of the

收稿日期: 2023-09-11; 修订日期: 2023-10-30

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFD2401204); 国家自然科学基金 (42006080)

作者简介: 马晓杰 (1997—), 硕士研究生, 主要从事海洋贻贝生态学研究, 电子邮箱: maxj@qdio.ac.cn

通信作者: 张振, 研究员, 主要从事海洋贻贝分类、系统演化及基础生态学研究, 电子邮箱: zhangzhen@qdio.ac.cn

total crude protein. Among them, there are 7 essential amino acids, accounting for 35.23% of the total amino acids. The EAAI score was 76.24 and the first limiting amino acid was cysteine + methionine. There were 18 kinds of fatty acids detected, including 7 kinds of SFAs (43.71%), 4 kinds of MUFAs (11.05%), and 7 kinds of PUFAs (45.27%). The content of DHA and EPA accounted for 19.85% and 13.32% of the total fatty acid, respectively. The soft parts of *M. strigata* are rich in mineral elements, and the contents of trace elements such as Ca, Fe, Zn and Mn are high. The results showed that the amino acid ratio of *M. strigata* was consistent with the ideal protein pattern of FAO/WHO. *M. strigata* has the potential to become a high-quality health food because of its high protein nutritional value, high UFA content, and rich mineral element content.

Keywords: *Mytella strigata*; alien species; nutrition; food

外来物种是一把“双刃剑”，对本地生态环境和社会经济发展造成严重影响^[1]。一方面，外来物种入侵导致本土生物多样性水平严重降低，造成巨额经济损失。作为遭受生物入侵最为严重的国家之一，中国每年因外来物种入侵所导致的经济损失超过2 000亿元^[2]。另一方面，外来物种在科学的防控和系统的人工养殖条件下，也能带来较高的经济效益，如克氏原螯虾[*Cambarus clarkii* (Girard, 1852)]、紫贻贝 (*Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819))。

近年来，一种原产于南美洲大西洋沿岸的海洋贻贝——斑纹小贻贝[*Mytella strigata* (Hanley, 1843)]陆续侵入印度-西太平洋海区沿岸的各国家和地区^[3-7]。斑纹小贻贝具有生长速度快、繁殖力强的特点，侵入某地后，其经过短暂适应，次年资源量便可呈指数增长，密度可达10 000个/m²以上，造成贻贝、文蛤、对虾、牡蛎等本土生物资源量显著减少^[8]。然而，斑纹小贻贝已进入东南亚部分地区的海鲜市场被当作一种海鲜商品售卖，其市场售价与翡翠股贻贝[*Perna viridis* (Linnaeus, 1758)]相近。在国内如海南省文昌市和福建省漳州市等地也有对斑纹小贻贝的采食和售卖。国际上印度学者曾对当地的斑纹小贻贝进行营养价值研究^[9]，但是国内没有对斑纹小贻贝营养价值方面的研究，这限制了国内对其食用价值的客观评估。本研究对采自福建省厦门市集美鳌园景区的斑纹小贻贝的营养成分进行测定，并同国内其他贻贝类的营养价值进行比较和分析，以期对斑纹小贻贝的资源开发和利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 材料与试剂

实验所用斑纹小贻贝为2023年4月采集于福建

省厦门市集美鳌园景区(118°6′28″E, 24°34′0″N)。挑选生长状况良好、无损伤的个体，鲜重5.82±2.03 g/个，壳长3.99±0.50 cm/个。样品经活体解剖，用过滤海水冲洗，再用滤纸吸去表面多余水分，去除足丝后，将全部的软体组织用液氮速冻后，放置在-80℃冰箱中保存备用。

1.1.2 主要仪器

电感耦合等离子体发射光谱仪(ICAP7200 Duo, Thermofisher Scientific)、自动凯氏定氮仪(K9840, 海能)、气相色谱仪(7890B, Agilent)、全自动氨基酸分析仪(L-8900, Hitachi)。

1.2 检测方法

常规营养成分检测包括水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分，采用食品安全国家标准规定的方法进行测定(表1)，实验重复3次，下同。

表1 常规营养成分测定标准和方法

指标	标准和方法
水分	GB5009.3-2016直接干燥法 ^[10]
粗蛋白	GB5009.5-2016凯氏定氮法 ^[11]
粗脂肪	GB5009.6-2016索氏抽提法 ^[12]
灰分	GB5009.4-2016马弗炉高温灼烧法 ^[13]

其他营养成分检测包括氨基酸、脂肪酸和矿物质元素，采用食品安全国家标准规定的方法进行测定(表2)。

表2 其他营养成分测定标准

指标	标准
氨基酸	GB5009.124-2016 ^[14]
脂肪酸	GB5009.168-2016 ^[15]
矿物质元素	GB5009.268-2016 ^[16]

1.3 营养评价方法

根据联合国粮食及农业组织(FAO)/世界卫生组织(WHO)提出的人体必需氨基酸评分标准模式^[17]和全鸡蛋蛋白质^[18]的氨基酸模式，分别计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸指数(EAAI)^[19-21]。计算公式分别为：

$$AAS = a/AA(FAO/WHO) \times 100 \quad (1)$$

式中： a 为样品中某一种必需氨基酸含量，单位（mg/g）， $AA(FAO/WHO)$ 为FAO/WHO评分模式中对应的氨基酸含量，单位（mg/g）。

$$CS = aa/AA(egg) \times 100 \quad (2)$$

式中： aa 为样品中必需氨基酸含量，单位（mg/g）， $AA(egg)$ 为全鸡蛋蛋白中对应的氨基酸含量，单位（mg/g）。

$$EAAI = (100A1/E1 \times 100A2/E2 \cdots 100A8/E8)^{1/n} \quad (3)$$

式中： $A1, A2 \cdots A8$ 为样品蛋白质的必需氨基酸含量，单位（mg/g）， $E1, E2 \cdots E8$ 为全鸡蛋蛋白质对应的必需氨基酸含量，单位（mg/g）， n 为比较的必需氨基酸数目。

1.4 数据分析

采用Excel 2019进行数据整理，数据结果均采用平均值±标准差（Mean ± SD）表示。

2 结果

2.1 常规营养成分

斑纹小贻贝软体部的水分含量占总鲜重的83.20%，灰分占比2.00%，粗蛋白占比12.09%，粗脂肪和总糖[总糖=100%-(水分+粗蛋白+粗脂肪+灰分)%]^[17]分别占比0.60%和2.11%。

2.2 氨基酸

斑纹小贻贝软体部共检出16种氨基酸（表3），

占粗蛋白总量的84.53%。其中包括7种必需氨基酸（EAA），占粗蛋白总量的29.78%、氨基酸总量（TAA）的35.23%；2种半必需氨基酸（SEAA），占粗蛋白总量的7.86%、氨基酸总量的9.30%；7种非必需氨基酸（NEAA），占粗蛋白质质量的46.90%、氨基酸总量的55.48%。必需氨基酸与非必需氨基酸的含量比值为63.49%。除此之外，氨基酸含量测定结果显示斑纹小贻贝软体部氨基酸含量最高的是谷氨酸，达到128.99 mg/g，之后依次是天冬氨酸、甘氨酸、赖氨酸、亮氨酸，含量分别为94.29 mg/g、76.13 mg/g、64.54 mg/g、63.43 mg/g。谷氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、丙氨酸是斑纹小贻贝软体部含有的呈味氨基酸，总质量达到358.15 mg/g，占氨基酸总量的42.37%。

根据FAO评分模式计算氨基酸评分AAS（表4）结果显示，斑纹小贻贝软体部中氨基酸得分由低到高依次为半胱氨酸+蛋氨酸得分为51.91分，其次是缬氨酸，得分为76.12分，亮氨酸得分为90.61分，异亮氨酸得分为95.17分，苏氨酸得分为106.13分，酪氨酸+苯丙氨酸得分为114.35分，而AAS得分最高的氨基酸是赖氨酸，得分为117.35分。根据AAS标准来看，斑纹小贻贝第一限制性氨基酸为半胱氨酸+蛋氨酸，第二限制性氨基酸为缬氨酸。根据化学评分CS结果来看，半胱氨酸+蛋氨酸得分为38.66分，亦为斑纹小贻贝的第一限制性氨基酸，而第二限制性氨基酸同样是缬氨酸，得分为70.48分，异亮氨酸和酪氨酸+苯

表3 斑纹小贻贝软体组织粗蛋白中氨基酸组成及含量（干质量，mg/g）

氨基酸种类	含量	氨基酸种类	含量
天冬氨酸 Asp [^]	94.29±3.94	精氨酸 Arg [#]	62.06±2.95
谷氨酸 Glu [^]	128.99±4.40	丝氨酸 Ser	39.67±6.18
甘氨酸 Gly [^]	76.13±3.67	酪氨酸 Tyr	35.54±3.52
丙氨酸 Ala [^]	58.75±2.39	脯氨酸 Pro	35.58±0.99
缬氨酸 Val [*]	38.06±1.71	必需氨基酸（EAA）	297.78±3.16
蛋氨酸 Met [*]	18.17±2.54	半必需氨基酸（SEAA）	78.57±3.39
异亮氨酸 Ile [*]	38.07±2.39	非必需氨基酸（NEAA）	468.99±7.76
苏氨酸 Thr [*]	42.45±2.07	鲜味氨基酸（DAA）	358.15±3.87
苯丙氨酸 Phe [*]	33.07±1.47	氨基酸总量（TAA）	845.34±5.37
赖氨酸 Lys [*]	64.54±3.99	EAA/TAA(%)	35.23
亮氨酸 Leu [*]	63.43±1.42	EAA/NEAA(%)	63.49
组氨酸 His [#]	16.54±1.11	DAA/TAA(%)	42.37

注：^{*}：必需氨基酸；[#]：半必需氨基酸；[^]：呈味氨基酸；质量分数：此类氨基酸质量/总氨基酸质量。

表4 斑纹小贻贝中必需氨基酸组成评价

必需氨基酸	异亮氨酸	亮氨酸	赖氨酸	半胱氨酸+蛋氨酸	色氨酸	苏氨酸	缬氨酸	酪氨酸+苯丙氨酸
斑纹小贻贝	38.07	63.43	64.54	18.17	—	42.45	38.06	68.61
FAO评分模式	40	70	55	35	10	40	50	60
氨基酸评分AAS	95.17	90.61	117.35	51.91	—	106.13	76.12	114.35
鸡蛋蛋白 ^[17]	49	66	66	47	17	45	54	86
化学评分CS	77.69	96.11	97.79	38.66	—	94.33	70.48	79.78
必需氨基酸指数EAAI	76.24							

注：“—”：未检测出。

丙氨酸的得分相近，分别是77.69分和79.78分，苏氨酸和亮氨酸的得分相近，分别为94.33分和96.11分，其中赖氨酸同样是CS得分最高的氨基酸，得分为97.79分。综上所述，斑纹小贻贝中赖氨酸含量最丰富，第一限制性氨基酸是半胱氨酸+蛋氨酸，第二限制氨基酸是缬氨酸。根据FAO/WHO提出的必需氨基酸评分标准模式，斑纹小贻贝的EAAI评分为76.24分。

2.3 脂肪酸

斑纹小贻贝软体部中检测出7种饱和脂肪酸(SFA)、4种单不饱和脂肪酸(MUFA)(其中含1种反式脂肪酸)以及7种多不饱和脂肪酸(PUFA)，共计18种脂肪酸(表5)。三类脂肪酸的含量分别占脂肪酸总量的43.71%、11.05%和45.27%。饱和脂肪酸中含量占比最高的是棕榈酸(C16:0)，占脂肪酸总量的27.10%，其次是硬脂酸(C18:0)和豆蔻酸(C14:0)，分别占脂肪酸总量的8.94%和3.64%。在单不饱和脂肪酸

中，除了检测出一种反式脂肪酸外，其他三种单不饱和脂肪酸的含量均较低，含量由高到低依次为棕榈一烯酸(C16:1)、花生一烯酸(C20:1)和顺油酸(C18:1)。在多不饱和脂肪酸中，DHA和EPA的含量极高，分别占脂肪酸总量的19.84%和13.32%，DHA/EPA的比值为1.49，其他多不饱和脂肪酸含量占比较低。斑纹小贻贝软体部中不饱和脂肪酸(UFA)与饱和脂肪酸比值为1.29。

2.4 矿质元素

斑纹小贻贝软体部中共检测出16种矿质元素(表6)，其中钠元素含量最高，达到了 4.47×10^3 mg/kg，其次钾、磷、镁、钙等元素的含量同样较高，分别达到 1.78×10^3 mg/kg、 1.40×10^3 mg/kg、670 mg/kg和353 mg/kg。在微量元素中，铁(658 mg/kg)、锌(11.3 mg/kg)、锰(9.6 mg/kg)三种微量元素含量较高，除此之外还含有丰富的钛、锶、铜、硼、钡、钒等人体所需的微量元素。

表5 斑纹小贻贝软体组织中脂肪酸质量分数(干质量，%)

脂肪酸	质量分数	脂肪酸	质量分数
C14:0	3.64±0.43	C18:3	3.63±0.56
C15:0	0.57±0.13	C20:2	0.40±0.11
C16:0	27.10±0.21	C20:3	0.24±0.01
C17:0	2.41±0.47	C20:4	4.11±0.17
C18:0	8.94±0.78	C20:5(EPA)	13.32±0.63
C22:0	0.24±0.01	C22:6(DHA)	19.84±0.19
C24:0	0.81±0.13	饱和脂肪酸SFA	43.71±1.38
C16:1	4.37±0.96	单不饱和酸MUFA	11.05±1.26
C18:1, trans*	0.24±0.01	多不饱和酸PUFA	45.27±1.51
C18:1	3.15±0.53	EPA+DHA	33.16±0.59
C20:1	3.37±0.64	DHA/EPA	1.49
C18:2	3.61±0.79	不饱和脂肪酸UFA/饱和脂肪酸SFA	1.29

注：*：反式脂肪酸。

表6 斑纹小贻贝软体组织矿物元素含量(湿质量, mg/kg)

矿物元素	含量	矿物元素	含量
铜 (Cu)	4.2±0.37	钠 (Na)	4.47×10 ³ ±45.46
锌 (Zn)	11.3±0.70	镁 (Mg)	670±4.50
镍 (Ni)	1.4±0.22	磷 (P)	1.40×10 ³ ±21.60
铁 (Fe)	658±16.75	硼 (B)	4.2±0.14
锰 (Mn)	9.6±0.34	钒 (V)	0.3±0.00
铝 (Al)	240±7.79	钛 (Ti)	5.3±0.22
钾 (K)	1.78×10 ³ ±35.59	锶 (Sr)	4.2±0.16
钙 (Ca)	353±5.89	钡 (Ba)	0.7±0.08

3 讨论

3.1 常规营养成分分析评价

贝类在繁殖期间需更多的蛋白质、维生素和矿物质等营养物质来维持体内代谢的正常运转以及幼体的生长发育,此时贝类营养储备更加丰富,更适合作为人类的食物食用^[22]。而水产品的食用品质主要与可食用部分的粗蛋白、粗脂肪、灰分的含量与比例有关^[23-24]。与其他贻贝科经济贝类相比,斑纹小贻贝粗蛋白含量与厚壳贻贝^[25]相近,高于翡翠股贻贝^[26]和寻氏肌蛤^[27]而低于紫贻贝^[28];粗脂肪含量占比最低;灰分含量处于同一水平(1.51%~2.89%)^[25-28]。多汁性作为水产品食用中感官品质的重要指标,与水产品中的含水量呈正相关,与脂肪含量呈负相关^[17]。在所比较的贻贝物种中,斑纹小贻贝的含水量(83.20%)较高,脂肪含量(0.60%)远低于其他贻贝科贝类,因此斑纹小贻贝的多汁性优于其他贻贝。此外,斑纹小贻贝总糖含量(2.11%)仅高于寻氏肌蛤^[27],符合特殊人群的食用要求(例如糖尿病人群)^[29]。综上所述,斑纹小贻贝具有高蛋白、低脂肪、低糖等特点,食用品质和多汁性的感官品质较好,营养价值较高,可开发作为高蛋白低脂肪的优秀保健食品,也可作为优良饲料用于家禽养殖。

3.2 氨基酸营养成分分析评价

蛋白质品质与必需氨基酸种类、含量和比例相关^[17]。斑纹小贻贝软体部共检测出7种人体必需氨基酸,其中以赖氨酸和亮氨酸含量最高,同其他贻贝类贻贝完全相同^[25-28]。赖氨酸参与合成多种关键蛋白,被称为生长性氨基酸^[30],食品中添加一定量的赖氨酸能够提高其蛋白质利用率,加

快生长速度^[31]。亮氨酸是一种支链氨基酸(BCAA),在机体中大约80%的亮氨酸用于蛋白质合成,其余的在骨骼肌中转化为 α -酮异己酸酯(α -KIC)和 β -羟基- β -甲基丁酸酯(HMB),具有促进蛋白质合成、抑制蛋白质降解和调节能量稳态的作用^[32]。此外,亮氨酸在机体内还参与氧化供能、调节机体免疫功能等营养健康生理途径,是人体进行正常生理功能的重要氨基酸^[33]。除此之外,斑纹小贻贝中的呈味氨基酸含量较高,高于厚壳贻贝^[25]和翡翠股贻贝^[26],因此斑纹小贻贝的肉质味道鲜美。

根据EAA、TAA和NEAA之间的数量关系,FAO/WHO的评分模式标准通常认为EAA/TAA在40%左右,并且EAA/NEAA>60%即视为人体摄入的理想蛋白质^[34],而斑纹小贻贝软体部中EAA/TAA为35.23%,EAA/NEAA为63.49%,基本符合理想蛋白质的标准。EAAI是评价食物蛋白质营养的常用指标,根据标准:85≥EAAI≥75为可用蛋白源^[17],斑纹小贻贝的EAAI(76.24)符合标准,并且高于厚壳贻贝(45.27)^[25]、紫贻贝(55.82)^[28]和翡翠股贻贝(71.56)^[26],只低于寻氏肌蛤(82.34)^[27],所以斑纹小贻贝可作为理想的可利用蛋白源。根据评分模式标准分析,半胱氨酸+蛋氨酸的评分最低,缬氨酸次之,所以半胱氨酸+蛋氨酸是斑纹小贻贝的第一限制氨基酸,缬氨酸是第二限制氨基酸。根据两种食物蛋白质营养价值评价方法AAS和CS,斑纹小贻贝中评分最高的氨基酸均为赖氨酸。赖氨酸在几种重要的主粮如小麦、玉米或大米中(赖氨酸AAS=40~80)含量有限且在加工过程中容易被破坏,为满足日常氨基酸的需求,斑纹小贻贝(赖氨酸AAS=117.35)可与日常主粮结合食用以满足人体日常需求^[35]。综上,

斑纹小贻贝必需氨基酸、呈味氨基酸含量丰富，符合理想蛋白质标准，满足人体日常蛋白质需求，可作为优质蛋白质来源。

3.3 脂肪酸营养成分分析评价

在斑纹小贻贝中共检测出18种脂肪酸，高于紫贻贝和翡翠股贻贝的14种^[28]和15种^[26]，低于寻氏肌蛤20种^[27]。本研究在斑纹小贻贝软体部检测出1种反式脂肪酸（反油酸），但含量远低于卫生健康委规定食品的标准（3 mg/g）^[36]，符合食品安全标准。斑纹小贻贝中共检测出7种多不饱和脂肪酸，在脂肪酸中占比45.27%，在所比较的贻贝类经济品种中，高于翡翠股贻贝（31.93%）^[26]、寻氏肌蛤（35.57%）^[27]，仅低于紫贻贝（46.97%）^[28]。DHA和EPA在斑纹小贻贝中占比极高，共占脂肪酸总量的33.16%，占多不饱和脂肪酸含量的73.25%。多不饱和脂肪酸对维持正常的身体健康和预防慢性疾病有许多重要的生理作用，例如保护视力、抗炎、降低胆固醇、抗肿瘤和预防心脏病等^[37,38]。其中DHA和EPA是具有保健作用的知名多不饱和脂肪酸，具有抑制血小板凝集、降低血液中中性脂质、调节血液中胆固醇浓度等生理作用，可促进大脑发育，提高记忆力和学习能力^[38]。综上，斑纹小贻贝的脂肪含量较低，多不饱和脂肪酸占比高，多不饱和脂肪酸中DHA和EPA占比高，脂肪酸总体营养价值较高，具有非常好的保健作用。

3.4 矿物元素营养成分分析评价

斑纹小贻贝矿物质元素中的钙元素含量高达353 mg/kg，高于寻氏肌蛤（101.39 mg/kg）^[27]、厚壳贻贝（201 mg/kg）^[25]、翡翠股贻贝（217.5 mg/kg）^[26]、紫贻贝（320 mg/kg）^[28]，适合需要补充钙元素的儿童、妇女、老人等人群。钙元素在神经冲动的传递、神经与肌肉的应激、代谢酶的激活和骨骼发育等生理过程中承担着重要的生理作用，是人体中高需求量的矿物质元素^[40]。铁元素的含量高达658 mg/kg，远高于厚壳贻贝（21 mg/kg）^[25]、翡翠股贻贝（50.1 mg/kg）^[26]、紫贻贝（55 mg/kg）^[28]等贻贝类经济软体动物。铁元素是生物体不可或缺的一种微量元素，可参与酶的合成进而催化机体内多种的生化反应、参与氧气的运输和储存、同时还可参与调控免疫系统来维持机体健康^[41]。斑纹小贻贝锌元素含量为11.3 mg/kg，高于翡翠股贻贝（7.5 mg/kg）^[26]、寻氏肌蛤（1.92 mg/kg）^[27]等贻

贝类经济软体动物。锌元素存在于人体各个器官当中，具有调节人体的免疫功能、促进儿童身体及智力的正常发育等功能，是人体必需的微量元素^[42]。锰元素在促进骨骼发育、促进糖脂代谢、抗氧化等方面具有重要作用^[43]，斑纹小贻贝中锰元素的含量为9.6 mg/kg，高于厚壳贻贝（1.3 mg/kg）^[25]和翡翠股贻贝（4.1 mg/kg）^[26]。综上所述，斑纹小贻贝常量元素（如钙）和微量元素（如铁、锌和锰）含量较高，能够提供丰富的矿质元素，具有作为经济水产品的开发潜力。

4 结语

随着全球变暖和现代航运的发展，斑纹小贻贝在我国沿海的进一步扩散已成不可避免之势，亟须开展针对性监测、防控和治理，降低不利影响。在有效防控的同时，合理开发、利用其食用潜力，亦能够创造出一定的经济效益。斑纹小贻贝软体部具有高蛋白、低脂肪、低糖等特点，必需氨基酸和呈味氨基酸含量丰富，是理想的可利用蛋白质源；脂肪酸营养价值较高，DHA、EPA等多不饱和脂肪酸含量丰富；矿物元素种类丰富，富含钠、钾、镁、钙等常量元素以及铁、锌、锰等人体必需的微量元素。因此，斑纹小贻贝具有较高的营养价值和保健作用，可成为人类获取多种营养物质的理想食物来源，也可作为优良饲料用于家禽养殖，具有较大的开发潜力。

参 考 文 献

- [1] 丁晖, 徐海根, 强胜, 等. 中国生物入侵的现状与趋势[J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(3): 35–41.
- [2] 余细红, 李韶山. 我国生物入侵现状与防制分析[J]. 生物学教学, 2022, 47(2): 95–96.
- [3] FUERTES V N B, DE LOS REYES R A, MONTECLARO H M. The spread of the non-indigenous mussel species *Mytella strigata* (Hanley, 1843) in the Philippines: Ensuing issues and responses of local communities[J]. Regional Studies in Marine Science, 2021, 41: 101576.
- [4] SANPANICH K, WELLS F E. *Mytella strigata* (Hanley, 1843) emerging as an invasive marine threat in Southeast Asia[J]. BioInvasions Records, 2019, 8: 343–356.
- [5] JAYACHANDRAN P R, ANEESH B P, OLIVER P G, et al. First record of the alien invasive biofouling mussel *Mytella strigata* (Hanley, 1843) (Mollusca: Mytilidae) from Indian

- waters[J]. *BioInvasions Records*, 2019, 8: 828–837.
- [6] HUANG Y C, LI Z K, CHEN W L. et al. First record of the invasive biofouling mussel *Mytella strigata* (Hanley, 1843) (*Biovalvia*: *Mytilidae*) from clam ponds in Taiwan[J]. *BioInvasions Records*, 2021, 10: 304–312.
- [7] MA P Z, LI H M, LIU Y M. et al. First confirmed occurrence of the invasive mussel *Mytella strigata* (Hanley, 1843) in Guangdong and Hainan, China, and Indo-West Pacific regions[J]. *BioInvasions Records*, 2022, 11: 947–963.
- [8] 马培振, 左晨霞, 李厚梅, 等. 斑纹小贻贝 (*Mytella strigata*) 基础生物学与生物入侵[J]. *生态学报*, 2023, 43(13): 5251–5259.
- [9] PRAKASAN S, SREELAKSHMI K R, REMYA S. et al. Nutritional facts of *Mytella strigata* collected from Cochin Backwater, Kerala, India[J]. *Fishery Technology*, 2023, 60: 85–91.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中水分的测定 GB/T 5009.3–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [11] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中蛋白质的测定 GB/T 5009.5–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [12] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中脂肪的测定 GB/T 5009.6–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [13] 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中灰分的测定 GB/T 5009.4–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [14] 国家食品药品监督管理总局, 国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准: 食品中氨基酸的测定 GB/T 5009.124–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准: 食品中脂肪酸的测定 GB/T 5009.168–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准: 食品中多元素的测定 GB/T 5009.268–2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [17] 安俊庭, 葛建龙, 边力, 等. 中国小孔蛸肌肉营养成分分析与评价[J]. *海洋科学*, 2022, 46(3): 103–110.
- [18] 刘静龙. 纵肋织纹螺 (*Nassarius variciferus*) 营养成分分析与评价[J]. *黑龙江水产*, 2022, 41(2): 3–7.
- [19] 陈琛, 戚敏, 杨秀娟, 等. 蛋白质评价方法在饲料原料营养价值评定中的应用与探讨[J]. *中国畜牧兽医*, 2020, 47(8): 2413–2422.
- [20] 冯东勋. 必需氨基酸指数 (EAAD) 在饲料中的应用[J]. *饲料工业*, 1997, 18(3): 23–24.
- [21] 陈爱莲, 苏娅. 利用微软 EXCEL 计算必需氨基酸指数[J]. *粮食与饲料工业*, 1998, (10): 31–32.
- [22] 朱星海, 孙红振, 杨祖晶, 等. 风信标扇贝的性腺发育与繁殖周期规律研究[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2019, 49(2): 52–58.
- [23] 王峥, 刘长琳, 陈四清, 等. 福建海域小管枪乌贼肌肉营养成分分析及评价[J]. *生物资源*, 2019, 41(4): 353–362.
- [24] 张秋会, 赵改名, 李苗云, 等. 肉制品的食用品质及其评价[J]. *肉类研究*, 2011, 25(5): 58–61.
- [25] 何建瑜, 赵荣涛, 刘慧慧. 舟山海域厚壳贻贝软体部分营养成分分析及评价[J]. *南方水产科学*, 2012, 8(4): 37–42.
- [26] 庆宁, 林岳光, 金启增. 翡翠贻贝软体部营养成分的研究[J]. *热带海洋*, 2000, 19(1): 81–84.
- [27] 余纲哲, 傅明辉. 寻氏肌蛤营养成分分析[J]. *海洋科学*, 1996(5): 9–11.
- [28] 刘志峰, 李桂生. 紫贻贝营养成分的分析及重金属的检测[J]. *烟台大学学报(自然科学与工程版)*, 2002, 15(2): 147–150.
- [29] 成人糖尿病饮食指南(2023年版)[J]. *全科医学临床与教育*, 2023, 21(5): 388–391.
- [30] 李俊霖, 郭传庄, 王松江, 等. 赖氨酸的生物学功能及其在饲料中的应用[J]. *中国饲料*, 2020, (21): 63–66.
- [31] 王惠梅, 李庆天, 张志新, 等. 赖氨酸及部分维生素强化面粉的营养评价[J]. *疾病控制杂志*, 2001, 5(1): 39–41.
- [32] DUAN Y H, LI F N, LI Y H, et al. The role of leucine and its metabolites in protein and energy metabolism[J]. *Amino Acids*, 2016, 48(1): 41–51.
- [33] 王彬, 李奇. 亮氨酸的代谢及营养生理作用研究进展[J]. *饲料研究*, 2012, (1): 14–16.
- [34] 徐大风, 刘琨, 王鹏飞, 等. 绿鳍马面鲀肌肉营养成分分析和营养评价[J]. *海洋科学*, 2018, 42(5): 122–129.
- [35] MATTHEWS D E. Review of lysine metabolism with a focus on humans[J]. *The Journal of Nutrition*, 2020, 150 (Suppl 1): 2548–2555.
- [36] 张玲, 姜莲华, 张玉. 食品中反式脂肪酸的危害、检测方法及防控研究[J]. *现代食品*, 2023, 29(6): 123–125.
- [37] 王雪青, 苗惠, 胡萍. 膳食中多不饱和脂肪酸营养与生理功能的研究进展[J]. *食品科学*, 2004, 25(11): 337–339.
- [38] 田宇, 王忠彦. DHA 和 EPA 的生理功能及研究进展[J]. *四川食品与发酵*, 2003, 39(118): 44–47.
- [39] 肖玫, 欧志强. 深海鱼油中两种脂肪酸(EPA 和 DHA)的生理功效及机理的研究进展[J]. *食品科学*, 2005, 26(8): 522–526.
- [40] 孙兵, 刘凤荣. 钙元素的补充对青少年的影响[C]. 山东省微量元素科学研究会 (Trace Elements Association of Shandong). 第三届泰山微量元素高级论坛汇编. 2009: 177–179.
- [41] 宋颖, 王晓丹, 陈立侨. 微量元素铁——动物健康与疾病的重要调控者[J]. *生物学教学*, 2023, 48(2): 2–4.
- [42] 杨贤庆, 杨丽芝, 黄卉, 等. 南海鳾乌贼墨汁营养成分分析与评价[J]. *南方水产科学*, 2015, 11(5): 138–142.
- [43] 黄鑫, 李玲玲, 王君豪, 等. 锰离子转运蛋白的发现及功能机制研究进展[J]. *生命科学*, 2018, 30(6): 603–614.

(本文编辑: 袁泽轶)