

◆海洋生物◆

北海市经济贝类基本成分和碳氮生源要素含量测定分析^{*}潘兆基¹, 蔡晓辉², 彭银辉², 钟声平¹, 黄亮华¹, 黄国强^{1**}

(1. 广西中医药大学海洋药物研究院, 广西海洋药物重点实验室, 广西南宁 530200; 2. 北部湾大学海洋学院, 广西海洋生物多样性养护重点实验室, 广西钦州 535011)

摘要:广西沿海贝类资源丰富, 在海洋渔业和海洋生态系统中意义重大。为获取用于开展贝类增养殖容量评估, 构建食物链网、生源要素和能量流动模型, 以及开展北部湾海域海洋牧场建设和碳汇渔业评估的基础数据, 本研究对北海市常见的 14 种经济贝类进行相关数据的测定与分析。实验对从北海市市场收集的 14 种经济贝类的壳长(SL)、壳宽(SW)或壳高(SH)、体质量(BM)、壳质量(SM)、软体部质量(MSP)进行测量, 并同时软体部的水分、粗蛋白、能量、碳和氮的含量及稳定同位素丰度等进行测定。实验结果表明, 不同贝类的出肉率差别较大, 贝壳较薄的大獭蛤(*Lutraria maxima*)和缢蛏(*Sinonovacula constricta*)等可超过 70%。双壳贝类的软体部含水率均超过 85%, 腹足类的软体部含水率不超过 81%。贝类的有机碳含量为 39.77% - 47.36%, 氮含量为 8.25% - 11.80%。双壳贝类中尖紫蛤(*Soletellina acuta*) $\delta^{13}\text{C}$ 最低, 华贵栉孔扇贝(*Chalamys nobilys*)的 $\delta^{13}\text{C}$ 最高; 双壳贝类中华贵栉孔扇贝的 $\delta^{15}\text{N}$ 最低, 等边浅蛤(*Macridiscus aequilatera*)的 $\delta^{15}\text{N}$ 最高。软体部能量含量为 16.11 - 20.81 kJ/g。双壳贝类软体部能量含量(E, kJ)与其壳长(SL, cm)的关系符合指数模型 $E = a \times e^{b \times SL}$, 腹足类软体部能量含量(E, kJ)与其壳高(SH, cm)的关系符合指数模型 $E = a \times e^{b \times SH}$; 软体部能量含量(E, kJ)与体质量(BM, g)的关系符合线性公式 $E = a \times BM + b$ 。不同种类的贝类的基本成分和生源要素的特征存在差异, 与已有文献报道不同海区的同种贝类相关数据也存在较大差异。因此, 在进行生态学相关研究时, 数据的收集非常重要, 借鉴相关物种的数据要非常谨慎。

关键词:经济贝类; 有机碳; 氮; 稳定同位素; 能量

中图分类号: Q178.5 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2023)04-0372-09

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20231226.004

广西海水贝类资源丰富, 是重要的增养殖和捕捞对象。统计数据表明, 2021 年广西海水贝类养殖产量为 1 137 273 t, 其中牡蛎、蛤类(埋栖双壳贝类)、螺类(腹足类)的总产量排前 3 位, 合计占海水贝类总产

收稿日期: 2023-09-14

修回日期: 2023-11-09

^{*} 广西中医药大学博士启动经费项目(2018BS034)和广西海洋生物多样性养护重点实验室开放课题(2023KA01)资助。

【第一作者简介】

潘兆基(1999-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事药用海洋生物增养殖研究, E-mail: pzj199910@163.com。

【通信作者简介】**

黄国强(1973-), 男, 博士, 研究员, 主要从事水产养殖生态学和药用海洋生物增养殖研究, E-mail: hugh7531@163.com。

【引用本文】

潘兆基, 蔡晓辉, 彭银辉, 等. 北海市经济贝类基本成分和碳氮生源要素含量测定分析[J]. 广西科学院学报, 2023, 39(4): 372-380.

PAN Z J, CAI X H, PENG Y H, et al. Determination and Analysis of Basic Components and Carbon and Nitrogen Biogenic Elements of Economic Shellfish in Beihai City [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2023, 39(4): 372-380.

量的97.04%^[1]。2021年广西海水贝类捕捞产量为479 415 t,占全国海洋捕捞产量的9.41%,高于全国海洋捕捞产量的平均水平(3.78%)^[1]。由此可见,海水贝类在广西海洋渔业中占有重要地位。

海水贝类营养丰富,富含蛋白质和脂类,同时还含有丰富的氨基酸、脂肪酸、常量元素和微量元素^[2-6],味道鲜美,具有很高的食用和经济价值。另外,贝类通过滤食水体中的微藻和有机碎屑来获取软体部生长所需的营养,并产生生物沉积和可溶性排泄物,对海洋生态系统的生源要素循环和能量流动产生重要影响^[7-11]。

海洋生态系统的碳汇和“蓝碳”研究日益成为海洋环境研究的热点,因此经济贝类的生态作用和增殖容量研究受到广泛的重视,发展碳汇渔业也就成为海洋渔业生产助力实现“碳达峰”和“碳中和”目标的主要技术措施。在这一背景下,双壳贝类的有机碳和氮等生源要素的含量数据可为开展海洋生态系统和海洋渔业的蓝碳估算提供支持。估算渔业碳汇和蓝碳所需的基础数据包括各类生物的碳含量^[12-21],而稳定性同位素技术是在海洋生态学研究广泛应用的碳含量检测手段,可用于评估海洋生物的营养级、食物组成及营养来源^[22-30],以及水产品产地溯源^[31,32]。由于不同海区饵料中 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的差异,加上生物的富集效应不一致,导致海水贝类 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 存在种间和地域差异,不同海区的同种生物在数值上有一定差异^[29,33-37]。因此,本研究对北海市14种经济贝类的有机碳、氮、能量、稳定性同位素丰度等进行测定和分析,拟为开展广西沿海贝类的生态作用研究提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 样品采集和预处理

于2019年4-9月主要在北海市外沙码头和侨港码头购买采集样品,每个种类尽量按不同大小每次收集30个以上。共采集样品40批次,其中双壳贝类38批,腹足类2批。

样品带回实验室后,首先用沙滤后的海水充气养殖24 h,让贝类充分排空消化道内容物;然后用淡水冲洗1遍,用蒸馏水冲洗2遍;最后放在塑料篮内沥水至不再有水滴下,开始相关指标的测定。

1.2 形态与质量指标测定

1.2.1 双壳贝类

双壳贝类有文蛤(*Meretrix meretrix*)、菲律宾

蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)、波纹巴非蛤(*Paphia undulata*)、四角蛤蜊(*Macrta veneriformis*)、尖紫蛤(*Soletellina acuta*)、大獭蛤(*Lutraria maxima*)、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)、琴文蛤(*Meretrix lyrata*)、团聚牡蛎(*Caccostrea glomerata*)、等边浅蛤(*Macridiscus aequilatera*)、华贵栉孔扇贝(*Chalamys nobilys*)、毛蚶(*Scapharca subcrenata*)共12个种类。每个种类每个批次称量30个。双壳贝类形态测量参照菲律宾帘蛤(*Tapes philippinarum*)^[38]的测量方法,用游标卡尺测定每个个体的壳长(*SL*, cm)和壳宽(*SW*, cm),再用精确度0.01 g的天平称量每个个体的体质量(*BM*, g)。完成上述操作后,首先用牡蛎开壳刀撬开贝壳,然后从贝壳上分离软体部并收集,最后将贝壳冲洗干净,沥干水分后称壳质量(*SM*, g)。软体部质量(*MSP*)由体质量(*BM*)减去壳质量(*SM*)得到。

1.2.2 腹足类

腹足类有疣荔枝螺(*Reishia clavigera*)和笋锥螺(*Turritella terebra*)共2个种类。每个种类每个批次称量30个。用游标卡尺对壳高(*SH*, cm)和螺口直径(即壳宽*SW*, cm)进行测量,再用精确度0.01 g的天平称量每个个体的体质量(*BM*, g)。完成上述操作后,首先用橡皮锤敲裂贝壳,然后撬开,将软体部从贝壳上分离收集,最后将贝壳冲洗干净,沥干水分后称壳质量(*SM*, g)。软体部质量(*MSP*)由体质量(*BM*)减去壳质量(*SM*)得到。

1.3 软体部样品的处理与保存

根据样品个体的大小,单个样品软体部质量超过10 g的个体单独作为一个样品;个体较小的种类则合并5个以上的个体,保证每个样品质量大于10 g,每个规格的合并样品采集6个。软体部用蒸馏水冲洗后沥干水分,将用于碳稳定同位素测定的样品酸化处理后(用于氮稳定同位素测定的样品无需酸化),在60℃烘箱中烘干,然后称量其干质量(*DM*, g)。干样品用粉碎机粉碎后过80目筛,放入铝盖玻璃样品瓶,再置于干燥器中保存待测。

1.4 样品的成分测定

样品的有机碳(*TOC*, %)、氮含量(*N*, %)、稳定碳同位素丰度($\delta^{13}\text{C}$, ‰)、稳定氮同位素丰度($\delta^{15}\text{N}$, ‰)用稳定同位素质谱仪(Isoprime-100,德国元素Elementar公司)测定。样品的能量含量(*GE*, kJ/g)使用氧弹仪(PARR6400,美国PARR仪器公司)测定。

1.5 数据计算与分析

贝类的出肉率(软体部占比,%)、软体部含水率(%)、粗蛋白含量(%)、软体部的能量含量(E , kJ)计算方法分别如下:

$$\text{出肉率}(\%) = 100 \times (BM - SM) / BM,$$

$$\text{软体部含水率}(\%) = 100 \times [1 - DM / (BM - SM)],$$

$$\text{软体部粗蛋白含量}(\%) = \text{氮含量} \times 6.25 \times DM / (BM - SM),$$

$$\text{软体部能量含量}(E, \text{kJ}) = DW \times GE.$$

样品各指标的平均值(ME)和标准差(SD)用Excel软件(Microsoft 365)计算。

在完成相应数据计算后,使用Excel软件对每个种类的软体部能量含量(E)与壳长(SL)的关系、软体部能量含量(E)与体质量(BM)的关系进行回归分析。

1.6 统计分析

采用SPSS 13.0进行统计分析,对同种贝类不同规格的指标进行单因素方差分析,采用Duncan's方法比较不同规格间的差异,以 $P < 0.05$ 作为差异显

表1 经济贝类的壳长/壳高、出肉率、水分、粗蛋白和能量含量

Table 1 Shell length or shell height, ratio of soft body, moisture, crude protein, and energy content of economic shellfish

种类 Species	壳长或壳高/cm Shell length or shell height/cm	出肉率/% Ratio of soft body/%	软体部 Soft body		
			含水率/% Moisture content/%	粗蛋白/% Crude protein/%	能量含量/(kJ/g) Energy content/(kJ/g)
<i>Meretrix meretrix</i>	2.92 ± 0.25	50.51 ± 2.86 ^c	91.55 ± 0.94	5.04 ± 0.08 ^a	16.11 ± 0.79 ^a
	4.03 ± 0.24	43.50 ± 3.70 ^b	91.14 ± 0.81	4.90 ± 0.03 ^a	16.23 ± 0.97 ^a
	4.71 ± 0.16	35.31 ± 6.47 ^{ab}	89.68 ± 1.52	5.81 ± 0.01 ^b	17.11 ± 0.33 ^b
	6.11 ± 0.23	30.99 ± 4.34 ^a	91.13 ± 2.10	5.06 ± 0.04 ^a	18.39 ± 0.34 ^c
<i>Ruditapes philippinarum</i>	2.00 ± 0.22	58.91 ± 2.89 ^a	88.13 ± 4.22	7.66 ± 0.02 ^a	18.97 ± 0.17
	3.04 ± 0.22	41.50 ± 4.90 ^b	86.73 ± 2.31	8.52 ± 0.03 ^b	19.05 ± 0.10
	3.31 ± 0.15	44.96 ± 3.93 ^b	87.33 ± 3.58	8.32 ± 0.05 ^b	18.88 ± 0.10
	4.03 ± 0.30	28.59 ± 4.50 ^a	85.65 ± 1.16	9.36 ± 0.01 ^c	19.13 ± 0.13
<i>P. undulata</i>	3.26 ± 0.33	60.99 ± 7.85 ^b	90.07 ± 0.99	7.21 ± 0.01 ^a	18.97 ± 0.23
	3.73 ± 0.13	47.42 ± 6.28 ^a	89.31 ± 0.60	7.36 ± 0.10 ^a	19.01 ± 0.13
	4.64 ± 0.13	50.46 ± 5.46 ^a	87.32 ± 0.67	8.35 ± 0.02 ^b	18.44 ± 0.18
<i>Mactra veneriformis</i>	3.60 ± 0.15	37.32 ± 3.21	92.49 ± 1.29	4.59 ± 0.02	18.57 ± 0.28
	4.15 ± 0.21	35.64 ± 4.01	92.89 ± 0.20	4.40 ± 0.02	17.38 ± 0.33
	4.78 ± 0.32	33.09 ± 5.25	92.10 ± 0.47	4.63 ± 0.01	18.42 ± 0.17
<i>Meretrix lyrata</i>	2.27 ± 0.24	34.57 ± 7.79	91.82 ± 0.56	5.26 ± 0.01	18.89 ± 0.28
	3.27 ± 0.24	43.32 ± 4.63	90.33 ± 1.06	6.16 ± 0.02	18.97 ± 0.30
	4.41 ± 0.21	39.47 ± 7.14	91.32 ± 1.05	5.38 ± 0.03	19.03 ± 0.28
<i>Lutraria maxima</i>	6.98 ± 1.00	68.05 ± 2.98	87.06 ± 1.80	9.16 ± 0.01 ^c	18.38 ± 0.34

著的标准。

2 结果与分析

2.1 经济贝类的出肉率与软体部含水率

不同双壳贝类的出肉率数值差异较大(表1)。尖紫蛤、大獭蛤、缢蛏的出肉率在70%以上,团聚牡蛎的出肉率可低至18.67%。疣荔枝螺和笋锥螺的出肉率分别为23.76%和20.10%。文蛤、菲律宾蛤仔、波纹巴非蛤、四角蛤蜊的出肉率大体上随着贝类规格的变大而下降,琴文蛤、团聚牡蛎、缢蛏的出肉率整体上随贝类规格变大而升高,大獭蛤、等边浅蛤、华贵栉孔扇贝、毛蚶的出肉率未表现出随贝类规格变动的明显趋势。

双壳贝类的软体部含水率较高,均超过85%(表1),两种腹足类的软体部含水率则较低(疣荔枝螺80.04%,笋锥螺77.87%)。波纹巴非蛤、华贵栉孔扇贝、尖紫蛤、团聚牡蛎的软体部含水率随贝类规格变大略有下降,其余双壳贝类软体部含水率未表现出随贝类规格变动的明显趋势。

续表

Continued table

种类 Species	壳长或壳高/cm Shell length or shell height/cm	出肉率/% Ratio of soft body/%	软体部 Soft body		
			含水率/% Moisture content/%	粗蛋白/% Crude protein/%	能量含量/(kJ/g) Energy content/(kJ/g)
<i>Macridiscus aequilatera</i>	8.66 ± 0.48	73.51 ± 2.73	88.71 ± 2.95	8.11 ± 0.04 ^b	18.44 ± 0.07
	10.41 ± 0.45	67.11 ± 5.19	89.37 ± 0.92	7.74 ± 0.04 ^a	18.33 ± 0.19
	3.31 ± 0.15	28.87 ± 3.02	87.93 ± 1.12	7.60 ± 0.02	18.79 ± 0.32
	3.70 ± 0.09	27.88 ± 5.05	88.17 ± 0.94	7.73 ± 0.02	18.90 ± 0.64
<i>Chalamys nobilys</i>	4.43 ± 0.20	29.82 ± 2.52	88.55 ± 0.79	7.13 ± 0.02	18.83 ± 0.44
	4.44 ± 0.90	31.04 ± 2.29	89.04 ± 3.17	8.08 ± 0.07 ^a	17.97 ± 0.51
	5.45 ± 0.62	29.98 ± 3.31	88.33 ± 2.21	8.39 ± 0.04 ^a	18.93 ± 0.46
<i>Soletellina acuta</i>	6.55 ± 0.28	30.56 ± 2.97	86.46 ± 1.71	9.64 ± 0.06 ^b	18.76 ± 0.37
	2.86 ± 0.43	71.88 ± 2.32	91.04 ± 1.28	5.11 ± 0.01 ^a	18.88 ± 0.98
	4.15 ± 0.39	68.73 ± 4.31	89.59 ± 1.32	5.89 ± 0.01 ^b	18.54 ± 1.24
<i>Scapharca subcrenata</i>	6.65 ± 0.26	70.97 ± 3.33	88.17 ± 0.94	6.63 ± 0.01 ^c	18.90 ± 0.64
	3.32 ± 0.21	40.79 ± 7.22	89.34 ± 2.39	7.39 ± 0.02 ^a	18.99 ± 0.27
	4.40 ± 0.30	39.88 ± 4.35	86.91 ± 2.08	9.65 ± 0.02 ^c	19.23 ± 0.27
<i>Caccostrea glomerata</i>	5.31 ± 0.46	42.72 ± 4.42	88.04 ± 1.54	8.38 ± 0.01 ^b	19.80 ± 0.15
	4.23 ± 0.61	18.67 ± 4.78 ^a	92.82 ± 1.43 ^b	4.18 ± 0.08 ^a	19.42 ± 1.60
	6.23 ± 0.61	21.77 ± 5.28 ^b	88.37 ± 1.78 ^{ab}	6.39 ± 0.12 ^b	19.73 ± 1.07
<i>Sinonovacula constricta</i>	8.39 ± 0.90	37.79 ± 5.89 ^c	85.24 ± 1.69 ^a	8.33 ± 0.19 ^c	19.82 ± 0.50
	3.23 ± 0.32	71.93 ± 9.32	91.73 ± 0.46	5.58 ± 0.02	20.77 ± 0.69
	4.40 ± 0.30	78.50 ± 2.80	92.25 ± 0.31	5.41 ± 0.03	20.45 ± 0.29
<i>Reishia clavigera</i>	5.27 ± 0.23	79.88 ± 4.35	91.61 ± 1.22	5.87 ± 0.04	20.81 ± 0.84
	4.54 ± 0.20	23.76 ± 2.50	80.04 ± 0.53	13.78 ± 0.03	19.24 ± 0.36
<i>Turritella terebra</i>	8.36 ± 0.49	20.10 ± 4.07	77.87 ± 2.41	11.41 ± 0.15	16.92 ± 0.49

Note: different superscript letters indicate significant difference between sizes of the same shellfish species.

2.2 经济贝类的有机碳、氮、能量含量

大多数双壳贝类软体部样品 TOC 为 41.85% - 47.36% (表 2), 同一种贝类的 TOC 未表现出与规格之间的明显关系。笋锥螺软体部的 TOC 最低, 为 39.77%。贝类软体部的氮含量为 8.25% -

11.80%, 不同种间数值有较大差异。波纹巴非蛤、琴文蛤、华贵栉孔扇贝、尖紫蛤软体部的氮含量随规格增大有下降趋势, 缢蛏软体部的氮含量随规格增大略有上升趋势。

表 2 经济贝类软体部的有机碳、氮及 ¹³C 和 ¹⁵N 丰度

Table 2 Organic carbon, nitrogen, ¹³C, and ¹⁵N of economic shellfish

种类 Species	壳长或壳高/cm Shell length or shell height/cm	有机碳/% TOC/%	¹³ C 丰度/‰ δ ¹³ C/‰	氮含量/% Content of nitrogen/%	¹⁵ N 丰度/‰ δ ¹⁵ N/‰
<i>Meretrix meretrix</i>	2.92 ± 0.25	43.27 ± 0.21	-17.66 ± 0.01	9.54 ± 0.97	10.83 ± 0.09
	4.03 ± 0.24	42.17 ± 1.09	-17.59 ± 0.14	8.84 ± 0.33	10.36 ± 0.12
	4.71 ± 0.16	41.85 ± 0.37	-17.49 ± 0.10	9.00 ± 0.04	10.11 ± 0.11
	6.11 ± 0.23	42.43 ± 0.55	-17.58 ± 0.08	9.12 ± 0.45	10.43 ± 0.10
<i>Ruditapes philippinarum</i>	2.00 ± 0.22	44.06 ± 1.17	-17.99 ± 0.06	10.33 ± 0.17	11.09 ± 0.07

续表

Continued table

种类 Species	壳长或壳高/cm Shell length or shell height/cm	有机碳/% TOC/%	^{13}C 丰度/‰ $\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	氮含量/% Content of nitrogen/%	^{15}N 丰度/‰ $\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$
	3.04 ± 0.22	44.61 ± 0.32	-17.85 ± 0.04	10.27 ± 0.23	11.14 ± 0.05
	3.31 ± 0.15	43.72 ± 1.64	-18.22 ± 0.01	10.51 ± 0.36	10.71 ± 0.08
	4.03 ± 0.30	44.88 ± 0.82	-17.97 ± 0.05	10.44 ± 0.02	10.97 ± 0.15
<i>P. undulata</i>	3.26 ± 0.33	42.56 ± 0.29	-17.47 ± 0.02	11.61 ± 0.14	9.04 ± 0.05 ^c
	3.73 ± 0.13	43.58 ± 0.27	-17.33 ± 0.27	11.01 ± 0.92	8.25 ± 1.17 ^b
	4.64 ± 0.13	43.69 ± 0.35	-17.02 ± 0.09	10.53 ± 0.14	7.51 ± 0.01 ^a
<i>Mactra veneriformis</i>	3.60 ± 0.15	43.17 ± 0.44	-18.01 ± 0.17	9.77 ± 0.22	11.09 ± 0.34
	4.15 ± 0.21	43.29 ± 0.27	-17.75 ± 0.16	9.90 ± 0.27	11.25 ± 0.05
	4.78 ± 0.32	43.12 ± 0.86	-17.98 ± 0.02	9.38 ± 0.18	10.89 ± 0.68
<i>Meretrix lyrata</i>	2.27 ± 0.24	43.95 ± 0.58	-17.40 ± 0.01	10.29 ± 0.10	10.62 ± 0.09
	3.27 ± 0.24	43.78 ± 0.32	-17.55 ± 0.07	10.19 ± 0.16	10.68 ± 0.01
	4.41 ± 0.21	44.38 ± 0.24	-17.47 ± 0.01	9.92 ± 0.31	10.77 ± 0.18
<i>Lutraria maxima</i>	6.98 ± 1.00	42.55 ± 0.73	-18.40 ± 0.09	11.32 ± 0.06	11.21 ± 0.58
	8.66 ± 0.48	42.71 ± 0.53	-18.13 ± 0.07	11.49 ± 0.33	11.42 ± 0.21
	10.41 ± 0.45	42.54 ± 0.41	-17.82 ± 0.09	11.65 ± 0.41	11.65 ± 0.06
<i>Macridiscus aequilatera</i>	3.31 ± 0.15	44.16 ± 0.08	-16.97 ± 0.04	10.08 ± 0.20	12.70 ± 0.11
	3.70 ± 0.09	44.03 ± 0.20	-16.89 ± 0.14	10.45 ± 0.16	12.56 ± 0.01
	4.43 ± 0.20	43.71 ± 0.16	-17.12 ± 0.05	9.97 ± 0.16	12.40 ± 0.03
<i>Chalamys nobilys</i>	4.44 ± 0.90	43.77 ± 1.11	-16.61 ± 0.11	11.79 ± 0.67	7.78 ± 0.08
	5.45 ± 0.62	43.35 ± 0.94	-16.76 ± 0.05	11.50 ± 0.35	7.63 ± 0.04
	6.55 ± 0.28	43.42 ± 1.35	-16.86 ± 0.07	11.39 ± 0.42	7.44 ± 0.07
<i>Soletellina acuta</i>	2.86 ± 0.43	44.39 ± 0.73	-20.77 ± 0.05	9.13 ± 0.12	9.62 ± 0.06
	4.15 ± 0.39	44.34 ± 0.49	-20.56 ± 0.06	9.06 ± 0.11	9.60 ± 0.09
	6.65 ± 0.26	44.77 ± 0.48	-20.39 ± 0.08	8.97 ± 0.09	9.77 ± 0.07
<i>Scapharca subcrenata</i>	3.32 ± 0.21	47.36 ± 0.25	-17.86 ± 0.14	11.09 ± 0.22	9.53 ± 0.21
	4.40 ± 0.30	45.22 ± 0.18	-18.28 ± 0.06	11.80 ± 0.18	10.41 ± 0.10
	5.31 ± 0.46	46.91 ± 0.19	-18.53 ± 0.17	11.21 ± 0.12	10.14 ± 0.19
<i>Caccostrea glomerata</i>	4.23 ± 0.61	45.72 ± 0.81	-17.80 ± 0.47	9.31 ± 1.17	8.51 ± 0.39
	6.23 ± 0.61	45.33 ± 0.77	-17.89 ± 0.38	8.79 ± 1.04	8.09 ± 0.44
	8.39 ± 0.90	45.46 ± 0.69	-17.78 ± 0.50	9.03 ± 1.28	8.16 ± 0.38
<i>Sinonovacula constricta</i>	3.23 ± 0.32	44.94 ± 0.36	-19.41 ± 0.17	10.80 ± 0.28	11.20 ± 0.10
	4.40 ± 0.30	46.09 ± 0.54	-19.52 ± 0.19	11.17 ± 0.39	11.33 ± 0.13
	5.27 ± 0.23	47.02 ± 0.69	-19.56 ± 0.16	11.20 ± 0.46	11.18 ± 0.17
<i>Reishia clavigera</i>	4.54 ± 0.20	44.67 ± 0.58	-15.69 ± 0.03	11.05 ± 0.17	14.28 ± 0.05
<i>Turritella terebra</i>	8.36 ± 0.49	39.77 ± 1.31	-17.33 ± 0.21	8.25 ± 0.67	10.92 ± 0.11

Note: different superscript letters indicate significant difference between sizes of the same shellfish species.

2.3 经济贝类的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$

双壳贝类的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -20.77% 至 -16.61% (表 2), 不同种类间数值变动较大, 但不同规格间没有明显差异。疣荔枝螺和笋锥螺的 $\delta^{13}\text{C}$ 分别为 -15.69% 和 -17.33% 。贝类的最低 $\delta^{15}\text{N}$ 和最高 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为 7.44% 和 12.70% , 种间数值变动较大, 但同种贝类不同规格间未表现出明显变动趋势。

2.4 软体部能量含量与壳长/壳高的关系

双壳贝类软体部能量含量 (E, kJ) 与其壳长 (SL, cm) 的关系可以用公式 $E = a \times e^{b \times SL}$ 来描述, 腹足类软体部能量含量 (E, kJ) 与其壳高 (SH, cm) 的关系可以用公式 $E = a \times e^{b \times SH}$ 来描述, 不同种类的参数 a 、 b 和相关系数 R^2 数值存在较大差异, 反映出不同贝类在形态特征、出肉率、软体部含水率、能量含量等方面的综合差异。两种腹足类在个体数量较少的情况下得到较低的相关系数(表 3)。

表 3 软体部能量含量与壳长/壳高的关系

Table 3 Correlation between energy content of soft body and shell length or shell height

种类 Species	个体数量 Number of individuals	a	b	相关系数 R^2 Correlation coefficient R^2
<i>Meretrix meretrix</i>	120	1.424 7	0.476 4	0.863 7
<i>Ruditapes philippinarum</i>	120	0.718 7	0.599 4	0.842 8
<i>P. undulata</i>	90	0.188 8	0.880 4	0.844 0
<i>Mactra veneriformis</i>	90	0.491 9	0.695 8	0.694 0
<i>Meretrix lyrata</i>	90	0.103 5	1.109 3	0.843 9
<i>Lutraria maxima</i>	90	13.667 0	0.221 3	0.755 3
<i>Macridiscus aequilatera</i>	90	0.275 2	0.834 3	0.886 7
<i>Chalamys nobilys</i>	90	9.453 6	0.171 4	0.783 5
<i>Soletellina acuta</i>	90	6.778 6	0.210 9	0.877 9
<i>Scapharca subcrenata</i>	90	1.259 0	0.658 6	0.851 2
<i>Caccostrea glomerata</i>	90	0.846 8	0.486 1	0.540 9
<i>Sinonovacula constricta</i>	90	0.923 8	0.719 9	0.759 1
<i>Reishia clavigera</i>	30	1.620 3	0.475 4	0.429 9
<i>Turritella terebra</i>	30	4.966 5	0.083 6	0.027 6

2.5 软体部能量含量与体质量的关系

经济贝类软体部能量含量 (E, kJ) 与其体质量

(BM, g) 的关系可用公式 $E = a \times BM + b$ 描述, 表明贝类软体部能量含量与规格呈线性正相关。不同种类的能量含量与体质量关系公式中的参数 a 、 b 、相关系数 R^2 之间存在较大差异。两种腹足类在个体数量较少的情况下得到较低的相关系数(表 4)。

表 4 软体部能量含量与体质量的关系

Table 4 Correlation between energy content of soft body and body mass

种类 Species	个体数量 Number of individuals	a	b	相关系数 R^2 Correlation coefficient R^2
<i>Meretrix meretrix</i>	120	0.458 9	2.620 9	0.891 0
<i>Ruditapes philippinarum</i>	120	0.670 8	0.977 1	0.915 8
<i>P. undulata</i>	90	1.364 8	-1.402 8	0.953 3
<i>Mactra veneriformis</i>	90	0.486 0	-0.109 9	0.855 5
<i>Meretrix lyrata</i>	90	0.736 6	-0.655 8	0.947 3
<i>Lutraria maxima</i>	90	1.309 4	5.942 4	0.934 7
<i>Macridiscus aequilatera</i>	90	0.701 9	-1.005 9	0.933 5
<i>Chalamys nobilys</i>	90	0.573 0	7.532 8	0.8464
<i>Soletellina acuta</i>	90	1.710 2	-4.406 3	0.708 1
<i>Scapharca subcrenata</i>	90	1.039 4	1.381 6	0.935 8
<i>Caccostrea glomerata</i>	90	1.871 7	-58.203 0	0.664 6
<i>Sinonovacula constricta</i>	90	1.403 1	7.198 1	0.792 2
<i>Reishia clavigera</i>	30	0.839 4	1.119 8	0.432 2
<i>Turritella terebra</i>	30	0.198 4	7.201 8	0.042 7

3 讨论

3.1 贝类的基本营养成分

不同贝类的出肉率差异很大, 两种腹足类和团聚牡蛎的出肉率较低, 而大獭蛤和缢蛏等贝壳较薄的贝类出肉率在 70% 以上。方斑东风螺 (*Babylonia aerolata*)、近江牡蛎 (*Crassostrea ariakensis*)、波纹巴非蛤、九孔鲍 (*Haliotis diversicolor*) 等华南沿海贝类中, 近江牡蛎的软体部占总体质量的比重不到 10%, 九孔鲍的软体部占比在 70% 以上(根据软体部质量和体质量计算)^[3]。不同贝类由于形态、贝壳厚度等特征不同, 出肉率会有较大的差异, 但目前这方面的数据较少, 需要进一步调查补充。

贝类软体部含水率较高。本次调查的贝类软体部含水率大部分为 80% - 90%，与已有的文献^[2-6]报道数据一致。由于本次调查的双壳贝类软体部水分含量较高，以软体部鲜重为基准计算的粗蛋白含量较低，均在 10% 以下，略低于以往的调查数据^[2-6]。本研究发现双壳贝类的软体部能量含量与壳长、体质量都有较好的相关性，可以通过测量壳长和称量体质量，然后使用回归公式来计算贝类的个体能量含量，简化获取相关贝类的个体能量含量的方法。

3.2 有机碳和氮含量

北部湾海域红树林、海草床、海藻床、珊瑚礁等生态系统类型多样，贝类资源丰富，开展蓝碳增汇相关研究和技术开发意义重大。广西沿海养殖和天然海水贝类产量很大，因此通过贝类养殖来增加渔业碳汇具有极大的潜力。本研究表明，北海市的贝类软体部有机碳含量基本在 40% 以上，有些种类可超过 47%。据统计，2022 年广西养殖海水贝类产量 1 191 150 t，捕捞海水贝类 43 879 t^[39]，参考本次调查获得的相关数据可知，养殖海水贝类收获移除有机碳 20 037.32 t，捕捞海水贝类移除有机碳 1 102.81 t，二者合计 21 140.13 t。因此，通过收获养殖和天然的海水贝类，每年可从海洋中移除大量的碳。

氮不仅是生物体中蛋白质的主要元素之一，也是海洋生态系统较重要的生源要素之一。在海水贝类体内，氮的主要存在形式是蛋白质，因此可以根据营养成分中粗蛋白的含量将其换算为氮含量。本研究结果表明，贝类软体部烘干样品的氮含量为 8.25% - 11.80%。由于北部湾沿海贝类资源丰富，海水贝类对这一海域的氮循环影响巨大，收获大量的海水贝类可以从水体中移除大量的氮。以广西 2022 年养殖、捕捞海水贝类产量^[39]和本研究统计的数据计算，养殖海水贝类收获移除氮 4 352.00 t，捕捞海水贝类移除氮 258.48 t，二者合计 4 610.48 t。

3.3 贝类的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$

由于稳定同位素丰度存在明显的海区差异和种间差异^[29,33-37]，获取海区的稳定同位素丰度数据是应用稳定同位素技术开展生态学研究的基础。北海的文蛤 $\delta^{13}\text{C}$ (-17.49‰ 至 -17.66‰) 显著高于温州养殖的文蛤 $\delta^{13}\text{C}$ (-23.2‰)^[29]。广西沿海的贝类稳定同位素数据较少，分布于廉州湾红树林区域的软体动物石磺 (*Peronia verruculata*)、红树蚬 (*Geloina erosa*)、黑口滨螺 (*Littorina melanostoma*) 和粗糙滨螺 (*Littorina scabra*) 的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 分别为

-19.27‰ 和 9.67‰、-20.84‰ 和 13.65‰、-18.19‰ 和 9.86‰、-18.79‰ 和 8.26‰^[28]。本研究的双壳贝类除尖紫蛤的 $\delta^{13}\text{C}$ 与红树蚬接近外，其余种类均比红树蚬高，可能原因是红树蚬分布区的主要饵料有机颗粒和溶解有机物来源与开阔海区差异较大。腹足类疣荔枝螺和笋锥螺的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 均明显比黑口滨螺和粗糙滨螺高，也表明其食物来源有较大差异。

采用稳定同位素进行营养生态位判定时采用的基线生物种类对营养级计算结果影响较大。本研究结果和文献结果表明，以浮游植物和有机碎屑为食的双壳贝类碳和氮稳定性同位素含量也有很大差异，因此选择基线生物时要更为慎重。在食物来源分析时，由于饵料种类繁多，因此会对饵料种类进行合并，但这种合并往往会导致不同饵料种类的稳定同位素之间的差异信息缺失，可能会导致估算结果的偏差较大。

4 结论

本研究测量所得的经济贝类的基本营养成分与华南沿海的同类经济贝类接近。不同种类的贝类出肉率变动范围很大，为 18.67% - 79.88%，双壳贝类软体部含水率为 85.24% - 92.89%，与以往的文献数据^[2-6]相比，本研究的贝类软体部含水率略高，粗蛋白含量略低。不同贝类的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 有较大差异。本研究发现双壳贝类软体部能量含量 (E , kJ) 与其壳长 (SL , cm) 的关系符合指数模型 $E = a \times e^{b \times SL}$ ，腹足类软体部能量含量 (E , kJ) 与其壳高 (SH , cm) 的关系符合指数模型 $E = a \times e^{b \times SH}$ ，软体部能量含量 (E , kJ) 与体质量 (BM , g) 的关系可用公式 $E = a \times BM + b$ 描述。研究所得的能量、有机碳、氮含量以及 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 数据对开展相关生态学研究有参考作用。不同种类的贝类的基本成分和生源要素的特征存在差异，与已有文献报道不同海区的同种贝类相关数据也存在较大差异。因此，在进行生态学相关研究时，数据的收集非常重要，借鉴相关物种的数据要非常谨慎。

参考文献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2022 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022: 27-45.
- [2] 陈华絮. 雷州市沿海几种贝类营养成分的分析[J]. 中国食物与营养, 2006, 12(7): 49-51.
- [3] 迟淑艳, 周歧存, 周健斌, 等. 华南沿海 5 种养殖贝类营

- 营养成分的比较分析[J]. 水产科学, 2007, 26(2): 79-83.
- [4] 李阅兵, 孙立春, 刘承初, 等. 几种海水和淡水贝类的大宗营养成分比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(2): 297-303.
- [5] 李苹苹. 五种经济贝类的营养成分及蛋白质质量分析[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(15): 99-101.
- [6] 雷晓凌, 吴晓萍, 张海花, 等. 南海八种贝类营养成分和限量元素含量的研究[J]. 中国海洋药物, 2001, 20(2): 48-50.
- [7] HAVEN D S, MORALES-ALAMO R. Biodeposition as a factor in sedimentation of fine suspended solids in estuaries [M]//NELSON B W. GSA MEMOIRS environmental framework of coastal plain estuaries. [S. l.]: Geological Society of America, 1972: 121-130.
- [8] CHRISTENSEN P B, GLUD R N, DALSGAARD T, et al. Impacts of longline mussel farming on oxygen and nitrogen dynamics and biological communities of coastal sediments[J]. Aquaculture, 2003, 218 (1/2/3/4): 567-588.
- [9] NEWELL R I E. Ecosystem influences of natural and cultivated populations of suspension-feeding bivalve molluscs: a review [J]. Journal of Shellfish Research, 2004, 23(1): 51-61.
- [10] 白怀宇, 刘赛, 杨茜, 等. 桑沟湾贝类养殖区沉积碳库年汇入速率的高分辨率记录及其对人类养殖活动的响应[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(5): 98-105.
- [11] 闫家国. 亚热带海湾滤食性贝类生物沉积及其生态效应研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- [12] 孙军. 海洋浮游植物与渔业碳汇计量[J]. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 90-96.
- [13] 唐启升, 刘慧. 海洋渔业碳汇及其扩增战略[J]. 中国工程科学, 2016, 18(5): 68-73.
- [14] 李捷, 刘译蔓, 孙辉, 等. 中国海岸带蓝碳现状分析[J]. 环境科学与技术, 2019, 42(10): 207-216.
- [15] 唐启升, 蒋增杰, 毛玉泽. 渔业碳汇与碳汇渔业定义及其相关问题的辨析[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(5): 1-7.
- [16] 张继红, 刘毅, 吴文广, 等. 海洋渔业碳汇项目方法学探究[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(5): 151-159.
- [17] 向爱, 揣小伟, 李家胜. 中国沿海省份蓝碳现状与能力评估[J]. 资源科学, 2022, 44(6): 1138-1154.
- [18] 李娇, 李梦迪, 公丕海, 等. 海洋牧场渔业碳汇研究进展[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(5): 142-150.
- [19] 杨慧荣, 曾泽乾, 刘建新. 红树林渔业碳汇功能及其影响研究进展[J]. 中山大学学报(自然科学版)(中英文), 2023, 62(2): 10-16.
- [20] 仝川, 罗敏, 陈鹭真, 等. 滨海蓝碳湿地碳汇速率测定方法及中国的研究现状和挑战[J]. 生态学报, 2023, 43(17): 6937-6950.
- [21] 韩广轩, 宋维民, 李远, 等. 海岸带蓝碳增汇: 理念、技术与未来建议[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(3): 492-503.
- [22] 万祎, 胡建英, 安立会, 等. 利用稳定氮和碳同位素分析渤海湾食物网主要生物种的营养层次[J]. 科学通报, 2005, 50(7): 708-712.
- [23] FRY B. Stable isotope ecology [M]. New York: Springer, 2006.
- [24] DIVINE L M, BLUHM B A, MUETER F J, et al. Diet analysis of alaska arctic snow crabs (*Chionoecetes opilio*) using stomach contents and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotopes [J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2017, 135: 124-136.
- [25] 许强. 贝藻混养系统中贝类食物来源的定量分析[D]. 青岛: 中国科学院研究生院, 2007.
- [26] 莫宝霖, 秦传新, 陈丕茂, 等. 基于碳、氮稳定同位素技术的大亚湾紫海胆食性分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(3): 566-575.
- [27] 谢斌, 李云凯, 张虎, 等. 基于稳定同位素技术的海州湾海洋牧场食物网基础及营养结构的季节性变化[J]. 应用生态学报, 2017, 28(7): 2292-2298.
- [28] 杨明柳, 高霆炜, 邢永泽, 等. 廉州湾红树林大型底栖动物食物来源研究[J]. 广西科学, 2017, 24(5): 490-497.
- [29] 权伟, 应苗苗, 周庆濤, 等. 基于稳定碳同位素技术的养殖贝类碳源分析[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(2): 175-180.
- [30] 高春霞, 戴小杰, 田思泉, 等. 基于稳定同位素技术的浙江南部近海主要渔业生物营养级[J]. 中国水产科学, 2020, 27(4): 438-453.
- [31] 郭婕敏, 林光辉. 不同生境红树林青蟹的稳定同位素组成及其产地溯源意义[J]. 同位素, 2014, 27(1): 1-7.
- [32] 康绪明, 赵艳芳, 谭志军, 等. 稳定同位素技术在贝类产地溯源中的研究进展[J]. 水产科学, 2022, 41(6): 1064-1071.
- [33] 蔡德陵, 洪旭光, 毛兴华, 等. 崂山湾潮间带食物网结构的碳稳定同位素初步研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(4): 41-47.
- [34] 隋昊志, 韩东燕, 薛莹, 等. 基于碳、氮稳定同位素研究胶州湾普氏栉虾虎鱼的摄食习性[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3789-3796.
- [35] 宁加佳, 杜飞雁, 王雪辉, 等. 基于稳定同位素的口虾蛄食性分析[J]. 水产学报, 2016, 40(6): 903-910.
- [36] 张博伦, 郭彪, 于莹, 等. 基于稳定同位素技术的天津大神堂海域人工鱼礁区食物网结构研究[J]. 渔业科学进展, 2019, 40(6): 25-35.
- [37] 张旭峰, 刘瑀, 李颖, 等. 中国北方沿海3种养殖扇贝碳、氮稳定同位素的组成特征[J]. 海洋科学, 2017, 41(2): 111-116.
- [38] CESARI P, PELLIZZATO M. Biology of *Tapes philippinarum* [M]. *Tapes philippinarum*: biologia e Sperimentazione. Regione Veneto, Ente di Sviluppo Ag-

ricolo, Venice, 1990, 299: 21-46.

[39] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站,

中国水产学会. 2023 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 27-43.

Determination and Analysis of Basic Components and Carbon and Nitrogen Biogenic Elements of Economic Shellfish in Beihai City

PAN Zhaoji¹, CAI Xiaohui², PENG Yinhui², ZHONG Shengping¹, HUANG Lianghua¹, HUANG Guoqiang^{1* *}

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Medicine, Institute of Marine Drug, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning, Guangxi, 530200, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Marine Biodiversity Conservation, Oceanography Institute, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi, 535011, China)

Abstract: Abundant shellfish resources distribute along the coast of Guangxi, which is of great significance in marine fishery and marine ecosystem. In order to obtain the basic data for carrying out the assessment of shellfish culture capacity, constructing the food chain network, biogenic elements and energy flow model, and carrying out the construction of marine ranching and carbon sink fishery assessment in Beibu Gulf, the relevant data of 14 common economic shellfish in Beihai City were measured and analyzed. The Shell Length (*SL*), Shell Width (*SW*) or Shell Height (*SH*), Body Mass (*BM*), Shell Mass (*SM*) and Mass of Soft Part (*MSP*) of 14 economic shellfish collected from Beihai market were measured. At the same time, the contents of moisture, crude protein, energy, carbon and nitrogen in the soft part and the abundance of stable isotopes were measured. The results showed that the ratio of the soft body in different shellfish was quite different, and that of *Lutraria maxima* and *Sinonovacula constricta* with thin shells could exceed 70%. The moisture content of the soft part of bivalve mollusks exceeded 85%, and the moisture content of the soft part of gastropods did not exceed 81%. The organic carbon content of shellfish was 39.77% - 47.36%, and the nitrogen content was 8.25% - 11.80%. Among the bivalves, *Soletellina acuta* had the lowest $\delta^{13}\text{C}$, while *Chalamys nobilys* had the highest $\delta^{13}\text{C}$. Among the bivalves, the $\delta^{15}\text{N}$ of *C. nobilys* was the lowest, and the $\delta^{15}\text{N}$ of *Macridiscus aequilatera* was the highest. The energy content of the soft part was 16.11 - 20.81 kJ/g. Correlativity between energy content (*E*, kJ) of bivalves and shell length (*SL*, cm) accorded with the exponential model $E = a \times e^{b \times SL}$, and correlativity between energy content (*E*, kJ) of gastropods and Shell Height (*SH*, cm) accorded with the exponential model $E = a \times e^{b \times SH}$, and the relationship between energy content (*E*, kJ) of soft body and Body Mass (*BM*, g) was in accordance with the linear formula $E = a \times BM + b$. There are differences in the characteristics of the basic components and biogenic elements of different species of shellfish, and there are also great differences in the data related to the same species of shellfish in different sea areas reported in the literature. Therefore, it is very important to collect data when conducting ecological research, and it must be very cautious to draw on the data of related species.

Key words: economic shellfish; organic carbon; nitrogen; stable isotope; energy

责任编辑: 米慧芝