

DOI: 10.5846/stxb202207051916

王才广, 朱亮, 黄亮亮, 刘昊, 胥鹏, Rad Saeed, 吴志强. 北部湾鱼类碳、氮、磷生态化学计量特征. 生态学报, 2023, 43(10): 4226–4241.

Wang C G, Zhu L, Huang L L, Liu H, Xu P, Rad Saeed, Wu Z Q. Ecological stoichiometry characteristics of carbon, nitrogen and phosphorus in fishes from Beibu Gulf, southern China. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(10): 4226–4241.

## 北部湾鱼类碳、氮、磷生态化学计量特征

王才广<sup>1</sup>, 朱亮<sup>1</sup>, 黄亮亮<sup>1,2,\*</sup>, 刘昊<sup>1,3</sup>, 胥鹏<sup>4</sup>, Rad Saeed<sup>1</sup>, 吴志强<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 桂林理工大学环境科学与工程学院, 桂林 541004

<sup>2</sup> 广西岩溶地区水污染控制与用水安全保障协同创新中心, 桂林 541004

<sup>3</sup> 广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 桂林 541004

<sup>4</sup> 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室(北部湾大学), 钦州 535011

**摘要:** 为探究北部湾鱼类生态化学计量特征, 于 2021 年 3 月—4 月采集分析了北部湾沿岸 9 个渔港的 79 种鱼类(382 尾)碳(C)、氮(N)、磷(P)含量特征。结果表明北部湾鱼类 C、N、P 元素含量变化范围分别为 33.87%—58.34%、6.31%—14.92% 和 0.77%—4.67%; C:N、C:P、N:P 的变化范围分别为 3.43—9.72、19.15—173.06 和 5.04—33.68, 其中 P 元素含量变化最大, 导致 C:P 和 N:P 的变化。不同物种在科间的差异较大, 科内的差异较小。不同体型和食性鱼类之间的 C、N、P 含量及比值具有显著差异( $P < 0.05$ )。鱼类的 C:P 和 N:P 与 P 含量呈显著负相关( $R^2 = 0.966$ ,  $P < 0.01$ ;  $R^2 = 0.877$ ,  $P < 0.01$ ), P 含量和 Ca 含量呈显著正相关( $R^2 = 0.919$ ,  $P < 0.01$ ), P 含量的变化可能与鱼类骨骼和鳞片的形成有关。总之, 北部湾鱼类未保持严格的生态化学计量平衡, 鱼类生态化学计量特征存在显著的种间差异, 主要因鱼类不同的体型和食性差异所致。

**关键词:** 生态化学计量学; 鱼类; 体型; 食性; 北部湾

## Ecological stoichiometry characteristics of carbon, nitrogen and phosphorus in fishes from Beibu Gulf, southern China

WANG Caiguang<sup>1</sup>, ZHU Liang<sup>1</sup>, HUANG Liangliang<sup>1,2,\*</sup>, LIU Hao<sup>1,3</sup>, XU Peng<sup>4</sup>, RAD Saeed<sup>1</sup>, WU Zhiqiang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China

<sup>2</sup> Guangxi Collaborative Innovation Center for Water Pollution Control and Water Safety in Karst Areas, Guilin 541004, China

<sup>3</sup> Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology for Science, Guilin 541004, China

<sup>4</sup> Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation (Beibu Gulf University), Qinzhou 535011, China

**Abstract:** Fishes are essential for mediating biogeochemical cycles in coastal areas by storing carbon (C), nitrogen (N), and phosphorus (P) in their body tissues at theoretically homeostatic rates. To maintain homeostasis, the consumers need to be in balance with their resource supply or alter their stoichiometric traits in response to environmental changes. However, the potential variations in the C:N:P content ratios of marine fishes are poorly understood. To explore the ecological stoichiometry characteristics of carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) in fishes from the Beibu Gulf, a total of 79 species (382 individuals) were collected and analyzed from 9 fishing ports around the study area from March to April, 2021. The results showed that the contents of C, N and P in fishes ranged from 33.87%—58.34%, 6.31%—14.92% and 0.77%—4.67%, respectively, and the variations ranges of C:N, C:P and N:P were 3.43—9.72, 19.15—173.06 and 5.04—33.68, respectively. The P content varied the most, resulting in variations in C:P and N:P in fishes, signifying that P content is an essential interspecies trait and an important factor in the diversification of the elements composition of fish.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(U20A2087); 广西重点研发计划(桂科 AB22035050); 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室开放课题(2022KA01); 广西研究生教育创新计划项目(YCSW2022316)

**收稿日期:** 2022-07-05; **采用日期:** 2023-02-21

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: llhuang@glut.edu.cn

The taxonomic level of fish families is the best predictor of ecological stoichiometry due to the significant differences among different families and little differences within families. Besides, the significant differences were found in C, N, and P contents, C:N, C:P and N:P among fishes with different body shapes and feeding habits ( $P < 0.05$ ). For instance, the ribbon-like form fish had the highest C content and the lowest P content, while the depressed form fish had the lowest C content and the highest P content; the omnivores had the lowest C content and the highest P content, which indicated that fish with higher C content had lower P content and vice versa. C:P and N:P of fish were significantly negatively correlated with P content ( $R^2 = 0.966$ ,  $P < 0.01$ ;  $R^2 = 0.877$ ,  $P < 0.01$ ). P content was significantly positively correlated with Ca content ( $R^2 = 0.919$ ,  $P < 0.01$ ) and its change might be related to the formation of fish bones and scales. Our results indicated that the fishes from the Beibu Gulf did not maintain strict homeostasis, and significant interspecies differences in the ecological stoichiometry characteristics of fishes were found due to their different body shapes and feeding habits. The research results are of great significance to the sustainable development of marine biogeochemical cycles and fishery resources under anthropogenic and environmental changes.

**Key Words:** ecological stoichiometry; fishes; body shapes; feeding habits; Beibu Gulf

生态化学计量学是研究碳(C)、氮(N)和磷(P)平衡以及元素平衡理论对生态交互作用的影响,它将生物体的生态功能与其元素组成或化学计量比联系起来<sup>[1-3]</sup>。目前,国内研究主要集中在C、N、P元素循环<sup>[4-5]</sup>、生物养分限制判断<sup>[6]</sup>及C、N、P生态化学计量学特征对植物生长的指示性作用<sup>[7-10]</sup>等方面,有关鱼类生态化学计量学研究偏少。近几年国内研究人员在水生生物如浮游动物、底栖动物及鱼类也有相关研究,但相对较少。如陈蕾<sup>[11]</sup>、苏强<sup>[12]</sup>等对浮游动物化学计量学稳态性特征开展研究并进行总结;蔡永久等<sup>[13]</sup>研究了长江中下游浅水湖泊常见底栖动物碳、氮、磷化学计量特征;Huang等<sup>[14]</sup>、李培培<sup>[15]</sup>、孙培英<sup>[16]</sup>和朱利明等<sup>[17]</sup>分别对黄海鲢鱼、千岛湖鲢、鳙、长江口中国花鲈和斑尾刺虾虎鱼及三峡水库小江流域鱼类的生态化学计量特征开展研究。另外,王芳等<sup>[18]</sup>综述了水域生态系统生态化学计量学研究进展。与此同时,国外学者如Saara Mäkelin等<sup>[19]</sup>、Priscilla Le Mézo等<sup>[20]</sup>、Jacob E. Allgeier<sup>[21]</sup>等对不同海域鱼类及无脊椎动物的生态化学计量学开展系列研究,并提出构建全球海洋鱼类及无脊椎动物生态化学计量学数据库倡议。截至目前,我国尚无系统的近岸海域生态系统生态化学计量学研究数据,而全球生物地球化学循环的计量需要世界各海区(包括中国海区)的数据积累,为生态化学计量学理论提供海洋案例的补充。鱼类作为海域生态系统的主要消费者,在生态系统的物质循环中起重要作用,消费者自身的C、N、P含量反映其对不同元素的需求比例,消费者和食物的营养比例不平衡会影响生物体新陈代谢、生长、繁殖乃至整个种群的生态过程<sup>[22-23]</sup>。鱼类生态化学计量学研究大多基于动态平衡理论和生长速率假说<sup>[23-24]</sup>。动态平衡理论认为面对多变的环境,生物可以保持相对恒定的营养成分<sup>[3]</sup>,超过生物需要的元素含量则被生物过程排出体外,而那些限制供应量的元素被保留<sup>[25]</sup>;生长速率假说认为环境(包括饵料)C:N:P的变化能影响有机体的生长速率,进而影响其种群分布特征。反之,生物为适应生长速率的改变会调整其C:N:P比值<sup>[26]</sup>。迄今为止,鱼类生态化学计量学研究多聚焦阐明元素组成与大小或年龄的关系。此外,食性也可能对生物体的营养成分有重要影响<sup>[19, 27-31]</sup>。

北部湾(105°40'—110°10' E, 17°00'—21°45' N)作为南海北部重要水域,属于热带和亚热带半封闭海湾,其三面环陆且海底呈扇形向南部陆架海洋敞开,平均水深38 m,最大水深不超过100 m,水深由北向南、自岸向中逐渐加深,沿岸有大型河流红河等注入,区域降水丰沛。湾内地形地貌及底质特征复杂,鱼类资源丰富<sup>[32]</sup>。北部湾鱼类研究主要集中在经济鱼类生物学特征<sup>[33-35]</sup>、渔业资源调查及动态分析<sup>[36]</sup>等方面,缺乏系统的海域生态系统生态化学计量学研究数据。因此,本研究以北部湾海域作为研究区域,系统研究该海域鱼类生态化学计量特征及其影响因素,丰富我国沿海鱼类生态化学计量学数据,为海洋生物地球化学循环及渔业资源的保护和管理提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点设置和采样时间

本研究在广西、广东、海南三个省(区)共布置了 9 个采样站点,其分别为北部湾海域近岸城市(即企沙、北海、江洪、企水、徐闻、海口、白马井、八所和崖州)的大型渔港(图 1)。鱼类样品于 2021 年 3—4 月在各个渔港购得,经现场分类鉴定后冰冻运往实验室进行后续处理。

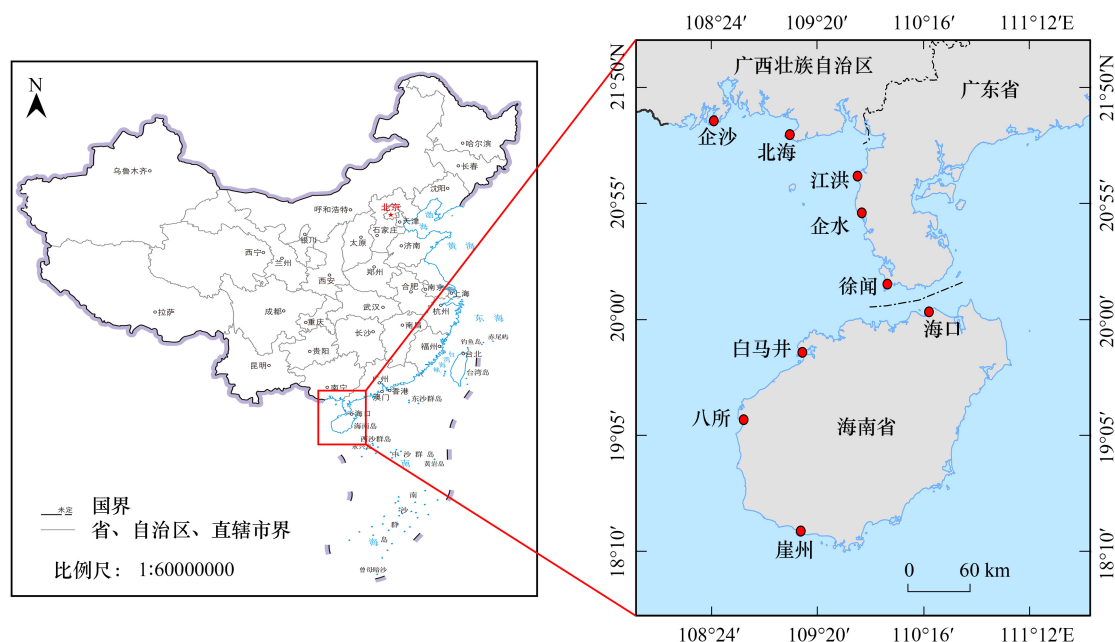


图 1 北部湾样点分布图

Fig.1 Distribution of sampling sites in the Beibu Gulf

### 1.2 样品处理和元素测定

物种鉴定参考《中国海洋鱼类》<sup>[37]</sup>和《北部湾鱼类图鉴》<sup>[38]</sup>。所有鱼类个体解冻,并用去离子水清洗后,测量全长、体长( $\pm 1$  mm)及体重( $\pm 0.1$  g),鱼体内脏含有大量富含 C 的脂质和富含 N 的蛋白质,且不同物种差异较大<sup>[39—40]</sup>,为了标准化鱼类的潜在偏差,本研究鱼体内脏均被去除<sup>[23, 41—42]</sup>。用研磨机捣碎鱼体,经冷冻干燥后磨碎混匀过筛(60 目),待上机测定。称取 2.5—4.0 mg 干燥样品,采用元素分析仪(型号 EA2400 II)进行 C、N 测定;称取 0.2—0.5 g 干燥样品,加入混合酸 7 mL( $\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}_2 = 5:2$ )微波消解,消解后于加热板(100 °C)上赶酸 30 min,冷却后定容至 50 mL,采用电感耦合等离子体发射光谱(型号 Opetima 7000DV)进行 Ca、P 测定,Ca 和 P 的回收率是 90%—110%。C、N、P、Ca 含量的结果为干质量百分比(%),C:N、C:P、N:P 比为元素的摩尔比。

### 1.3 数据分析

运用 Excel 2016 对数据进行预处理,SPSS 23.0 软件进行数据统计分析,OriginPro 2021 作图。首先对所有鱼类样品的 C、N 和 P 含量及其比值进行基本统计分析,正态分布检验采用 K-S 检验(Kolmogorov-Smirnov test)并作正态直方图观察其正态分布趋势,不同种类的 C、N、P 含量用单因素方差分析(One-way ANOVA)比较;通过多元方差分析(MANOVA)不同种类元素比值的差异显著性,鉴于 C:N、C:P、N:P 相互之间并不独立,当 MANOVA 分析显示有显著性差异时,再用 One-way ANOVA 分别对元素比值进行比较。为分析元素含量及比值之间的关系,用 Pearson 相关分析和一元线性回归分析其相关性及其数据变异的解释量。统计分析前,元素含量和比值分别进行对数(lg)转换。

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼类不同种类元素组成

本研究共采集鱼类 79 种 382 尾,隶属 14 目 39 科 61 属,根据食性分为草食性、滤食性、杂食性和肉食性四大类(附表 1)。鱼类元素含量变化较大(表 1),C、N、P 含量的变化范围分别为 33.87%—58.34%、6.31%—14.92%和 0.77%—4.67%,变异系数分别为 8.71%、13.60%和 36.10%,三种元素含量的变异系数由大到小排列均为  $P > N > C$ (图 2)。P 含量变化较大也导致了 C:P 和 N:P 变幅较大(变异系数分别为 40.30%和 39.23%),其最大值可达最小值的 9 倍和 6.7 倍。相反,C:N 的变幅较小(变异系数为 20.19),其最大值仅为最小值的 2.8 倍。

主成分分析法(PCA)分析了北部湾 79 种鱼类的 C、N、P 含量及其比值之间的关系(图 3),主成分的解释率为 81.1%,物种之间存在显著差异,尤其在科间的差异较大如虾虎鱼科、带鱼科、鲷科、蛇鳎科和石首鱼科。物种在科内的距离较近,差异性较小。

表 1 不同食性鱼类碳、氮、磷元素含量和比值

Table 1 C, N, P contents and ratios of fishes in different feeding habits

| 项目<br>Items | 统计量<br>Statistics | 草食性<br>Herbivores (n = 15) | 滤食性<br>Planktivores (n = 6) | 肉食性<br>Carnivores (n = 304) | 杂食性<br>Omnivores (n = 57) |
|-------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| C 含量        | 平均值±标准差           | 46.51±2.22                 | 45.31±0.79                  | 45.35±4.08                  | 43.47±3.19                |
| C content/% | 范围                | 42.44—48.98                | 43.81—46.20                 | 33.87—58.34                 | 35.40—52.80               |
|             | 变异系数              | 4.78                       | 1.75                        | 9.00                        | 7.33                      |
| N 含量        | 平均值±标准差           | 10.34±1.26                 | 12.36±0.65                  | 11.12±1.56                  | 11.75±1.22                |
| N content/% | 范围                | 8.22—12.09                 | 11.82—13.47                 | 6.31—14.92                  | 8.60—13.31                |
|             | 变异系数              | 12.23                      | 5.29                        | 14.03                       | 10.39                     |
| P 含量        | 平均值±标准差           | 1.39±0.34                  | 1.46±0.13                   | 1.77±0.65                   | 1.94±0.67                 |
| C content/% | 范围                | 1.01—2.15                  | 1.34—1.65                   | 0.77—4.67                   | 1.00—4.17                 |
|             | 变异系数              | 24.49                      | 8.99                        | 36.37                       | 34.43                     |
| C:N         | 平均值±标准差           | 5.33±0.74                  | 4.29±0.18                   | 4.88±1.01                   | 4.37±0.65                 |
|             | 范围                | 4.11—6.71                  | 4.00—4.47                   | 3.43—9.72                   | 3.65—6.41                 |
|             | 变异系数/%            | 13.83                      | 4.22                        | 20.74                       | 14.85                     |
| C:P         | 平均值±标准差           | 91.22±22.62                | 80.90±7.99                  | 75.98±31.42                 | 64.97±23.64               |
|             | 范围                | 50.95—124.69               | 68.73—88.08                 | 19.15—173.06                | 23.03—133.95              |
|             | 变异系数/%            | 24.79                      | 9.87                        | 41.35                       | 36.38                     |
| N:P         | 平均值±标准差           | 17.07±3.46                 | 18.91±2.02                  | 15.91±6.57                  | 14.92±4.94                |
|             | 范围                | 12.36—24.43                | 15.89—21.94                 | 5.04—33.68                  | 5.14—26.49                |
|             | 变异系数/%            | 20.25                      | 10.71                       | 41.27                       | 33.09                     |

### 2.2 不同体型鱼类生态化学计量特征

将鱼类体型分为侧扁型、带型、纺锤型、鳗型、平扁型和鲀型 6 类(附表 1),方差分析结果表明不同体型鱼类的 C、N、P 含量及比值具有显著差异( $P < 0.05$ )(图 4)。带型鱼类 C 含量显著高于其他体型鱼类,平扁型鱼类 C 含量显著低于其他体型鱼类;鲀型和平扁型鱼类 N 含量显著高于其他鱼类;侧扁型、纺锤型和平扁型鱼类 P 含量高于带型、鳗型和鲀型鱼类;侧扁型和带型鱼类 C:N 最高,纺锤型和鳗型次之,平扁型和鲀型最低;带型、鳗型和鲀型鱼类 C:P 显著高于侧扁型、纺锤型和平扁型;鲀型和鳗型鱼类 N:P 最高,侧扁型和纺锤型最低。

### 2.3 不同食性鱼类生态化学计量特征

方差分析结果表明不同食性鱼类的 C 含量、N 含量、P 含量、C:N 和 C:P 具有显著差异( $P < 0.05$ )(图 5)。杂食性鱼类的 C 含量和 C:P 显著低于草食性、滤食性和肉食性鱼类;滤食性和杂食性鱼类 N 含量最高,肉食性鱼类次之,草食性鱼类最低;草食性和肉食性鱼类 C:N 显著高于滤食性和杂食性鱼类;杂食性和肉食性鱼类 P

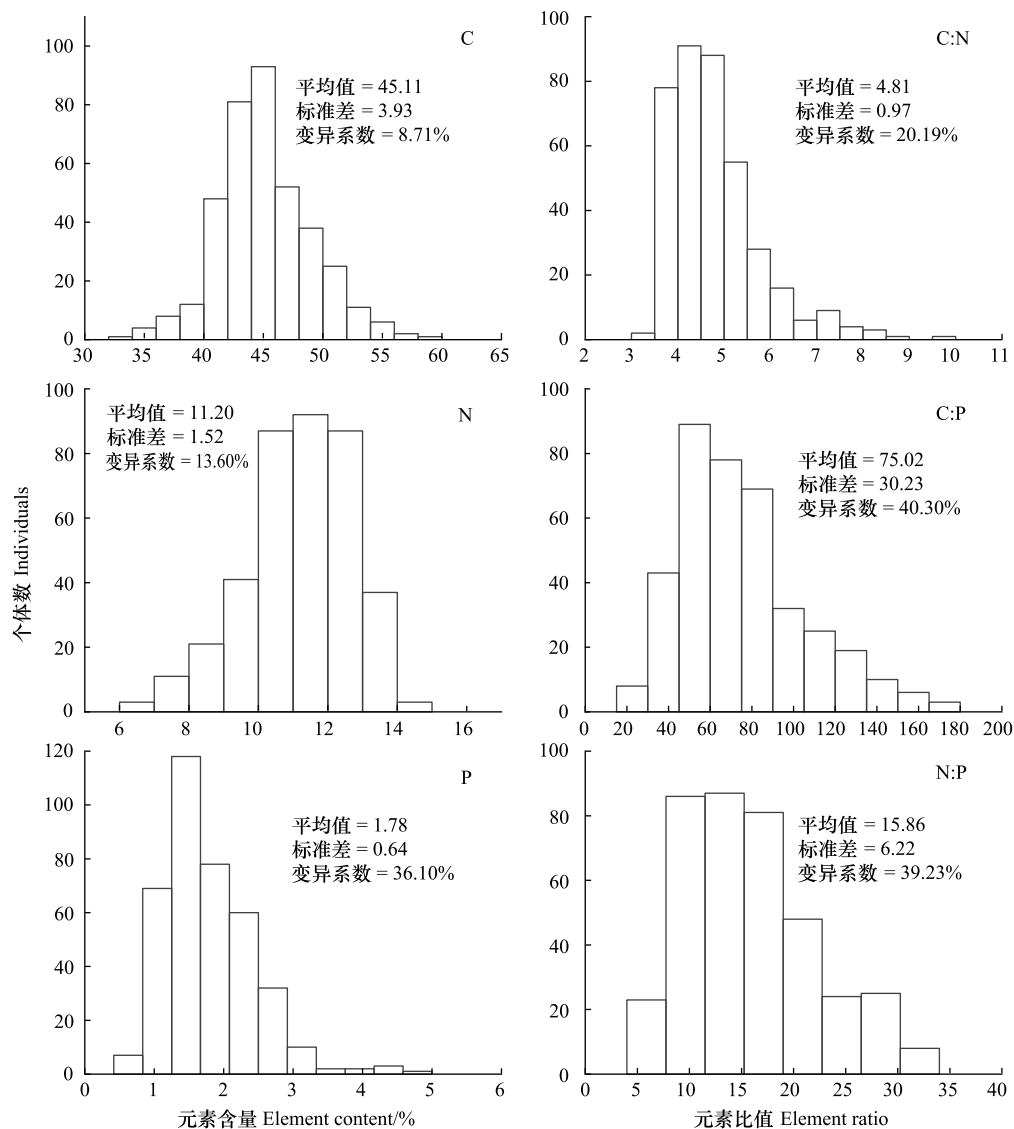


图2 鱼类碳、氮、磷元素含量和比值频数直方图( $n=382$ )

Fig.2 Frequency histograms of C, N, P, C:N, C:P and N:P in fishes ( $n=382$ )

含量显著高于草食性和滤食性鱼类;N:P 在各食性鱼类之间无显著差异( $P > 0.05$ )。

#### 2.4 鱼类生态化学计量特征相关性

北部湾鱼类 P 含量和 C 含量呈显著负相关关系( $R^2=0.296$ ,  $P<0.01$ );C:N 和 N 含量、C:P 和 P 含量、N:P 和 P 含量均呈显著负相关关系( $R^2=0.782$ ,  $P<0.01$ ;  $R^2=0.966$ ,  $P<0.01$ ;  $R^2=0.877$ ,  $P<0.01$ );C:N 和 C 含量、C:P 和 C 含量、N:P 和 C 含量、N:P 和 N 含量呈显著正相关关系( $R^2=0.388$ ,  $P<0.01$ ;  $R^2=0.472$ ,  $P<0.01$ ;  $R^2=0.160$ ,  $P<0.01$ ;  $R^2=0.286$ ,  $P<0.01$ ) (图6);C:P 和 P 含量、N:P 和 P 含量的相关性最强( $R^2>0.8$ ), 说明北部湾鱼类 C:P 比和 N:P 比变化主要由 P 含量变化决定。

不同食性鱼类 C:P 和 C 含量均呈显著正相关关系( $P<0.05$ );不同食性鱼类 C:N 和 N 含量、C:P 和 P 含量、N:P 和 P 含量呈显著负相关关系( $P<0.01$ ) (表2)。

#### 2.5 鱼类 Ca 和 P 的化学计量关系

相关性分析发现,北部湾鱼类 Ca 含量和 P 含量呈显著正相关关系( $R^2=0.919$ ,  $P<0.01$ ),P 含量随着 Ca 含量的增加而增加(图7)。

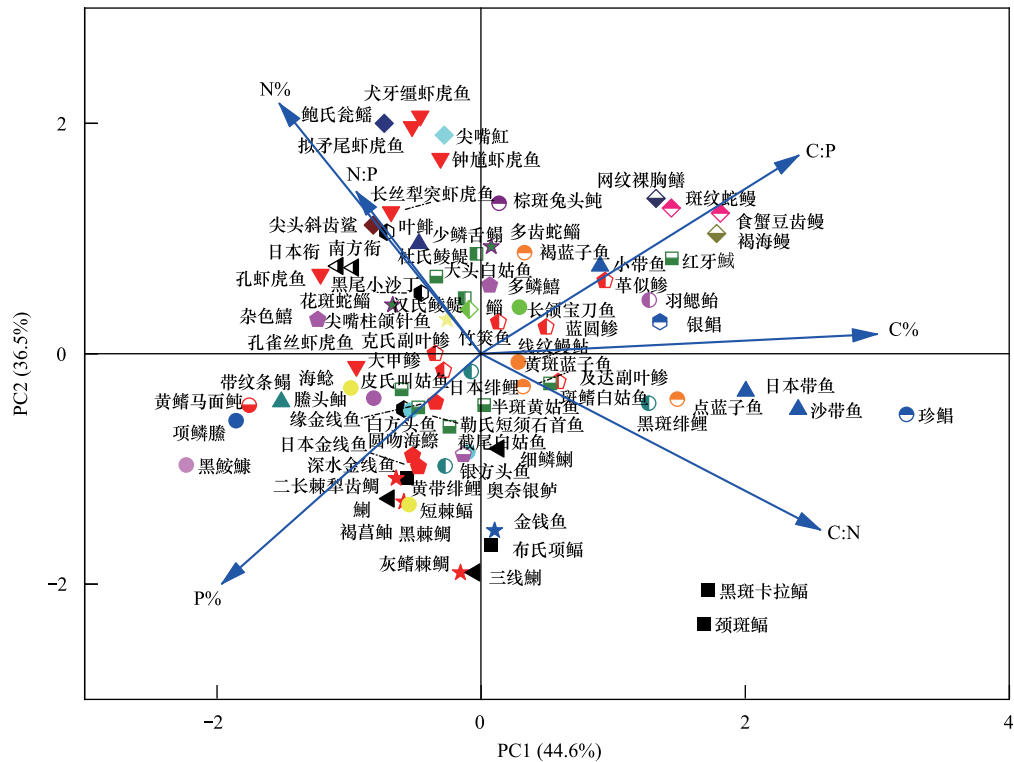


图 3 北部湾鱼类与碳、氮、磷元素含量和比值之间的主成分分析 (PCA) 图

Fig.3 Principal Component Analysis (PCA) diagram of the contents and ratios of C, N and P among fishes from the Beibu Gulf

表 2 不同食性鱼类各元素及比值相关性分析

| Table 2 Correlation analysis results of relationships between C, N, P contents and their ratios of fishes with different feeding habits |          |   |           |           |           |           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 食性 Feeding habits                                                                                                                       | 指标 Index | C | N         | P         | C:N       | C:P       | N:P       |
| 草食性<br>Herbivores                                                                                                                       | C        | 1 | -0.11     | -0.444    | 0.445     | 0.586 *   | 0.464     |
|                                                                                                                                         | N        |   | 1         | 0.554 *   | -0.939 ** | -0.521 *  | -0.03     |
|                                                                                                                                         | P        |   |           | 1         | -0.653 ** | -0.986 ** | -0.848 ** |
|                                                                                                                                         | C:N      |   |           |           | 1         | 0.673 **  | 0.187     |
|                                                                                                                                         | C:P      |   |           |           |           | 1         | 0.853 **  |
|                                                                                                                                         | N:P      |   |           |           |           |           | 1         |
| 滤食性<br>Planktivores                                                                                                                     | C        | 1 | 0.647     | -0.758    | -0.373    | 0.827 *   | 0.928 **  |
|                                                                                                                                         | N        |   | 1         | -0.137    | -0.949 ** | 0.23      | 0.592     |
|                                                                                                                                         | P        |   |           | 1         | -0.147    | -0.994 ** | -0.880 *  |
|                                                                                                                                         | C:N      |   |           |           | 1         | 0.062     | -0.336    |
|                                                                                                                                         | C:P      |   |           |           |           | 1         | 0.919 **  |
|                                                                                                                                         | N:P      |   |           |           |           |           | 1         |
| 肉食性<br>Carnivores                                                                                                                       | C        | 1 | -0.179 ** | -0.525 ** | 0.623 **  | 0.675 **  | 0.381 **  |
|                                                                                                                                         | N        |   | 1         | -0.261 ** | -0.881 ** | 0.187 **  | 0.576 **  |
|                                                                                                                                         | P        |   |           | 1         | -0.045    | -0.982 ** | -0.939 ** |
|                                                                                                                                         | C:N      |   |           |           | 1         | 0.176 **  | -0.275 ** |
|                                                                                                                                         | C:P      |   |           |           |           | 1         | 0.898 **  |
|                                                                                                                                         | N:P      |   |           |           |           |           | 1         |
| 杂食性<br>Omnivores                                                                                                                        | C        | 1 | -0.085    | -0.672 ** | 0.599 **  | 0.772 **  | 0.565 **  |
|                                                                                                                                         | N        |   | 1         | -0.25     | -0.849 ** | 0.198     | 0.524 **  |
|                                                                                                                                         | P        |   |           | 1         | -0.156    | -0.989 ** | -0.955 ** |
|                                                                                                                                         | C:N      |   |           |           | 1         | 0.251     | -0.121    |
|                                                                                                                                         | C:P      |   |           |           |           | 1         | 0.930 **  |
|                                                                                                                                         | N:P      |   |           |           |           |           | 1         |

\* 表示  $P<0.05$ ; \*\* 表示  $P<0.01$

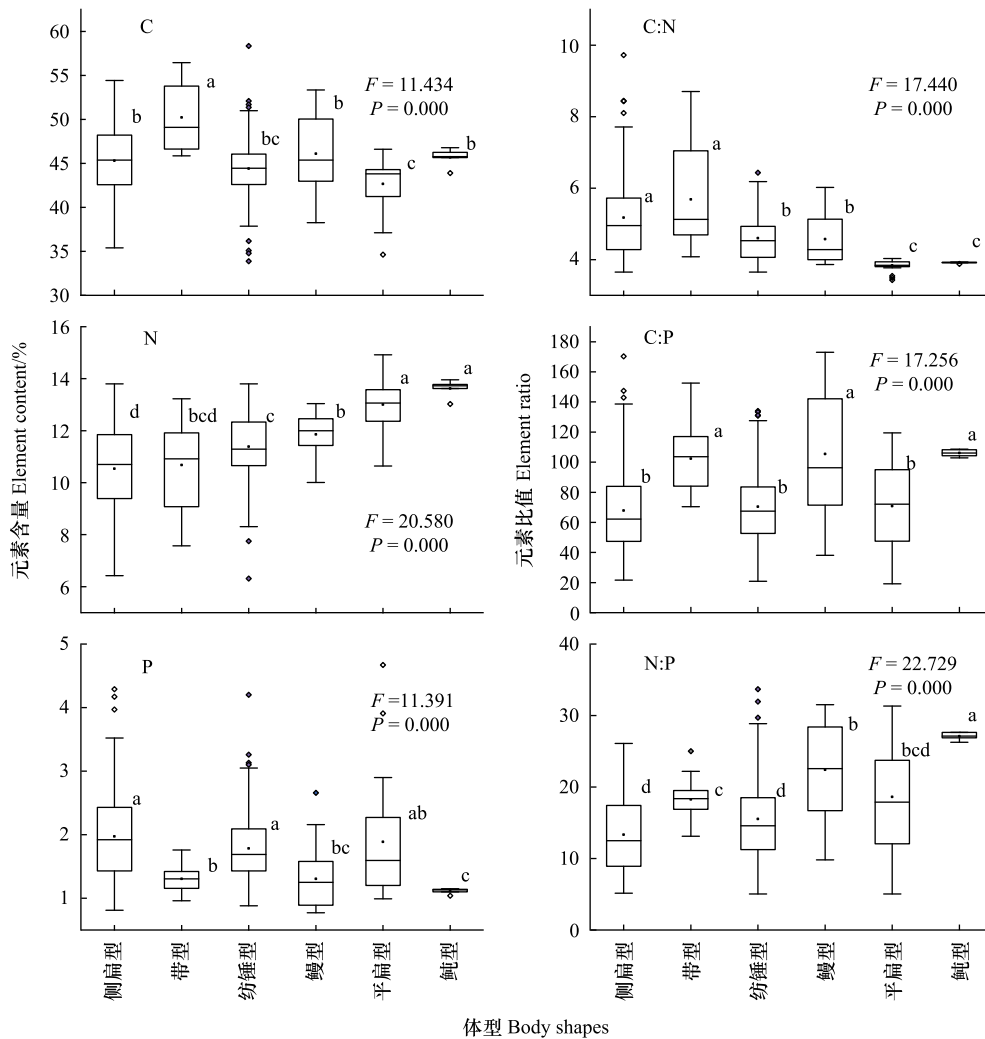


图4 不同体型鱼类碳、氮、磷元素含量和比值箱线图

Fig.4 Box diagram of the contents and ratios of C, N and P in fishes with different body shapes

### 3 讨论

#### 3.1 北部湾鱼类元素组成与变化特征

北部湾鱼类的 C、N、P 元素含量变化较大(图 2),而与 C 含量和 N 含量相比,P 含量变幅更大(变异系数  $P > N > C$ )。不同鱼类骨骼和鳞片的种间分布差异和富含 C 和 N 的内脏被去除导致 P 含量变化较大,C、N 含量变化较小。李培培<sup>[15]</sup>、孙培英<sup>[16]</sup>分别对千岛湖和长江口鱼类的生态化学计量特征研究发现,鱼类 P 含量的变化均高于 C 和 N 含量的变化。国外学者在委内瑞拉热带溪流的研究中也发现鱼类体内的 C、N 含量变化较小,而 P 含量变化较大<sup>[43]</sup>。一般认为,鱼类化学计量在物种水平上差异很大,尤其是 P 含量水平上<sup>[31]</sup>。Hendrixson 等人<sup>[44]</sup>提出鱼体 P 含量与系统发育存在紧密联系,P 含量是物种间重要的特征,是导致鱼类元素组成多样化的重要因子。

研究表明鱼类科级分类水平是生态化学计量学最佳的预测因子,鱼类生态化学计量特征在科级水平上差异较大<sup>[45-47]</sup>。主成分分析(PCA)发现北部湾鱼类物种在科间差异较大,科内差异较小(图 3)。鱼类生态化学计量上存在系统发育印记,不同物种间营养成分的模式为生态化学计量学模式增加了额外的、潜在的基于系统发育的变异,如热带鱼类生态化学计量变化(特别是磷含量)在科之间比在科内部变化更大<sup>[42, 44]</sup>。营养

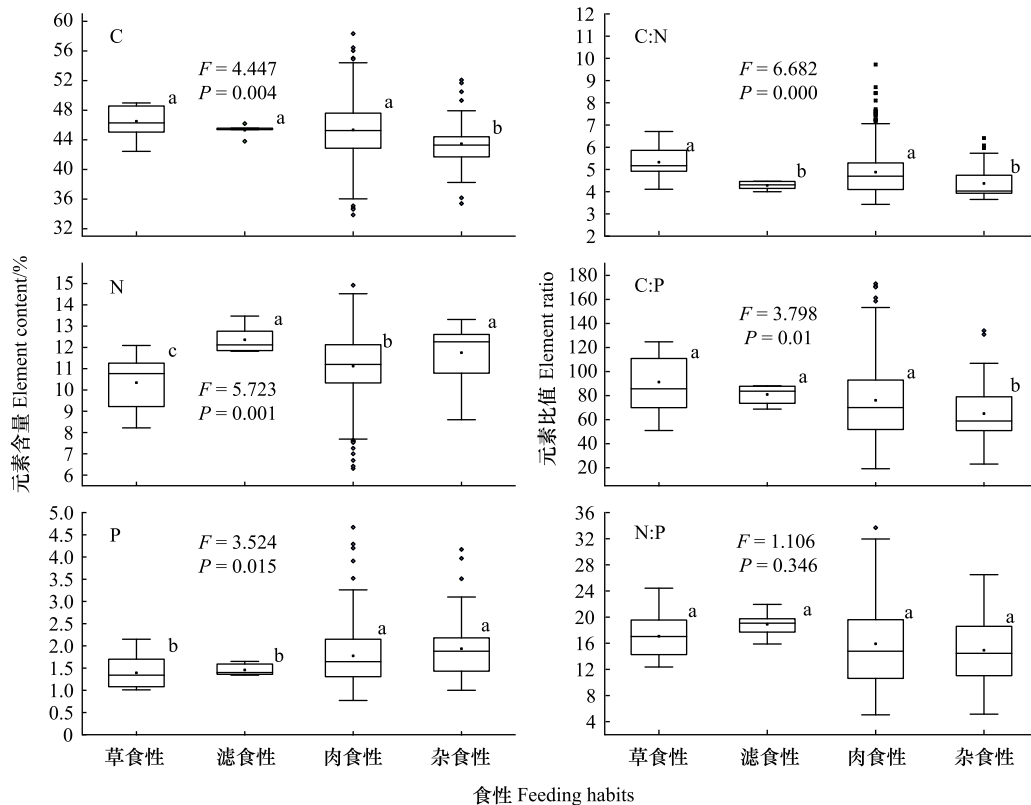


图5 不同食性鱼类碳、氮、磷元素含量和比值箱线图

Fig.5 Box diagram of the contents and ratios of C, N and P in fishes with different feeding habits

物质的浓度(特别是磷)在不同物种间大不相同<sup>[44, 48—49]</sup>,可能与不同物种在向骨骼和鳞片分配营养物质方面的差异有关。

### 3.2 北部湾不同体型鱼类生态化学计量特征差异

生物体元素组成差异很大程度上取决于其对关键部位的富集,如植物富含C的纤维素和木质素,节肢动物富含C和N的甲壳素和肌肉及脊椎动物富含P的骨骼等,这些部位在不同生物体之间分布和占比不同,结构和形态差异显著<sup>[26, 50]</sup>。鱼类体型较其他脊椎动物更为多样化,其化学计量特征可能会随体型变化较大,因为其肌肉、骨骼和鳞片等组织在不同体型鱼类之间分配不同<sup>[24]</sup>,且组织结构特征复杂多样。本研究不同体型鱼类的C、N、P含量及比值均存在显著差异(图4),尤其是鳗型鱼类N:P显著高于其它体型鱼类,主要因鳗型鱼类有较小的表面积/体积、头部/全长比例,头部骨骼含P量较大,身体肌肉含量丰富,且鳗型鱼类体表无鳞。这与Tanner等<sup>[2]</sup>的研究结果类似,即细长的鱼类具有较高的N:P。本研究发现鲢型鱼类有较高的N含量和较低的C含量,与徐羊羊等<sup>[51]</sup>研究发现兔头鲈属于高蛋白、低脂肪鱼类结果相吻合。另外,本研究还发现C含量较高的体型鱼类P含量较低(高C:P),再次验证了鱼类C含量与P含量呈负相关(图6)。

### 3.3 北部湾不同食性鱼类生态化学计量特征差异

自然界食物资源的可获得性是高度可变的。海洋鱼类食物来源广泛、种类繁多,食物化学计量差异很大。因此,鱼类生态化学计量的种间差异可能归咎于食物来源的差异<sup>[19]</sup>。消费者利用不同的食物来源来满足其能量和营养需求<sup>[30]</sup>。例如,以高质量肉食动物为食的动物比以低质量草食或腐食为食的动物具有更高的N%或P%和更低的C%<sup>[30—31]</sup>;Hendrixson发现淡水鱼类P含量与食性相关,肉食性鱼类P含量显著高于杂食性鱼类和草食性鱼类<sup>[44]</sup>;在许多鱼类中,以C:N为代表的脂质含量随着食物浓度的增加而增加<sup>[52]</sup>,并且当食物现存量高时,消费者能获得更多的脂质。另外,C:N:P含量在不同生物类群体内积累存在差异,研究发现

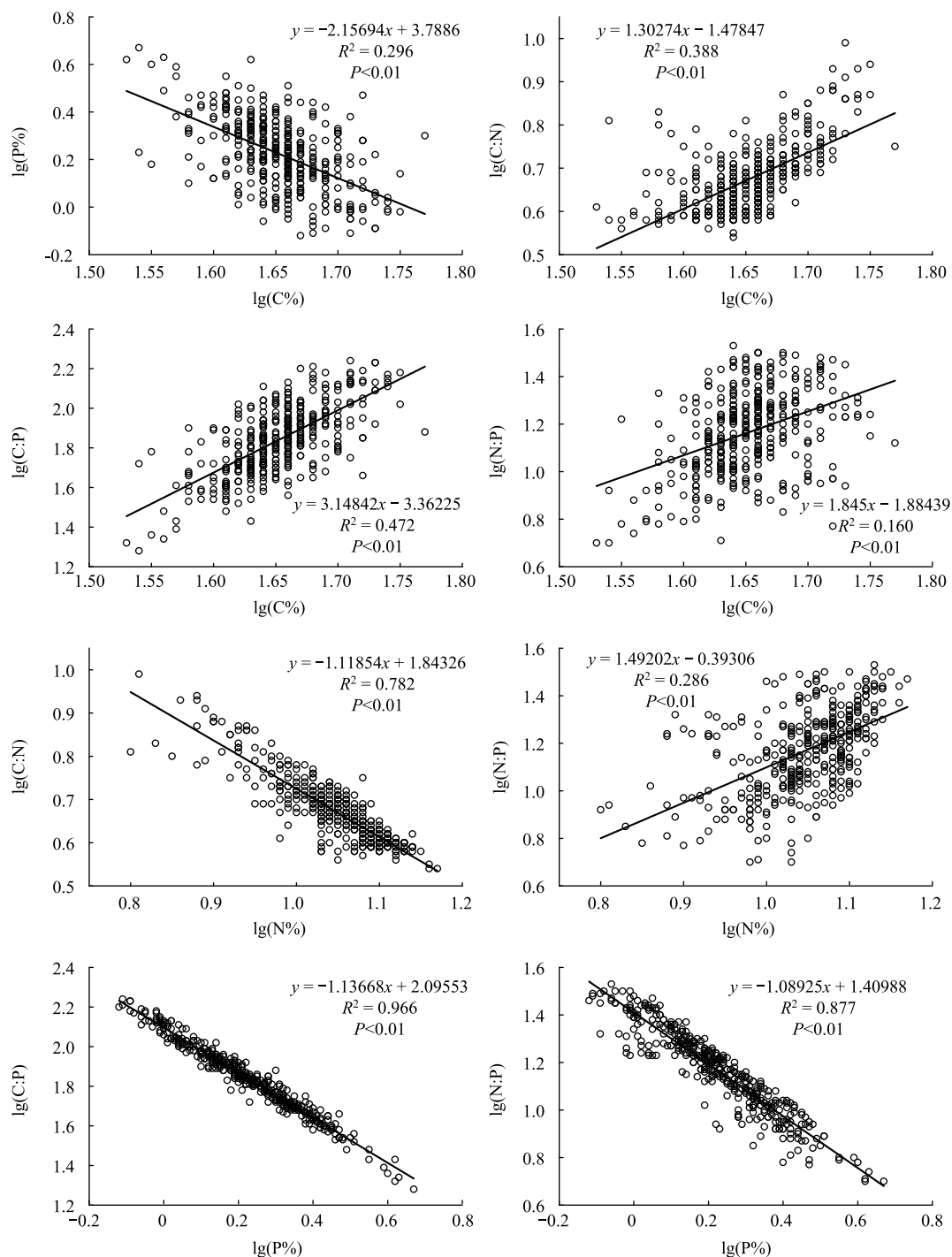


图6 北部湾海域鱼类碳、氮、磷含量及其比值的相关性分析

Fig.6 Correlation analysis results of relationships between C, N, P contents and their ratios of fishes from the Beibu Gulf

从藻类到浮游动物再到鱼类, C:P值的平均值随营养级降低<sup>[53]</sup>。

北部湾水域水质特征复杂多样, 饵料来源丰富。水体营养状态会影响基础资源和饵料的组成, 进而直接或间接影响消费者的元素含量。研究表明基础资源质量的变化限制了较高营养级的元素含量, 其变化不仅影响初级消费者, 还影响多个营养水平<sup>[53]</sup>, 如水体富营养化可影响杂食性鱼类的化学计量特征<sup>[19]</sup>。杂食性鱼类的化学计量比随着浮游植物数量和质量的而变化, 而浮游植物的数量和质量受到营养物质和光线的调节<sup>[54]</sup>。因此, 生物生态化学计量学的变化比生物特征的变化更有可能反映环境条件的变化, 而环境条件的变

化影响了消费者食物或基础资源中元素的可获得性。因此动物的元素组成比最初认为的更灵活,动态平衡更少<sup>[55]</sup>。尽管单个鱼类物种可能以稳态的方式调节其自身化学计量,但并非所有鱼类都具有相同的元素组成。相反,不同物种的各种元素含量差异很大,尤其是磷<sup>[31]</sup>。

### 3.4 北部湾鱼类 C、N、P 含量及其比值关系

北部湾鱼类 C:P 和 P 含量、N:P 和 P 含量均呈显著负相关关系 ( $R^2 = 0.966$ ,  $P < 0.01$ ;  $R^2 = 0.877$ ,  $P < 0.01$ );各食性鱼类的 C:P 和 P 含量、N:P 和 P 含量也均呈显著负相关关系 ( $P < 0.01$ ) (图 6,表 3)。研究发现底栖动物体内 N:P 和 P 含量呈显著负相关关系<sup>[13]</sup> ( $r = -0.795$ ,  $P < 0.001$ );三峡水库小江流域鱼类肌肉的 C:P 和 P 含量、N:P 和 P 含量都呈显著负相关关系<sup>[36]</sup> ( $r = -0.971$ ,  $P < 0.01$ ;  $r = -0.911$ ,  $P < 0.01$ ),本研究结果与之相似。在脊椎动物的成长过程中更多的磷被用于骨骼的形成,因此,随着个体大小的增加,全身的磷含量可能会增加,导致 C:P 和 N:P 下降<sup>[56]</sup>。

### 3.5 北部湾鱼类 Ca 和 P 的化学计量关系

北部湾鱼类 P 含量与 Ca 含量呈显著正相关性(图 7)。P 含量的变化与鱼类骨骼和鳞片的形成有关,脊椎动物骨骼中的主要矿质元素(Ca,P)在其营养生理中起着重要作用,说明脊椎动物对矿质元素的需求也会影响生态系统的养分循环。鱼类骨骼主要是由羟基磷灰石构成,其钙磷摩尔比为 2.16:1<sup>[57]</sup>,从海洋鱼类到淡水鱼类,其骨骼中 Ca 含量占鱼体总 Ca 含量的 79%—95%<sup>[23]</sup>。鱼类体型和鳞片类型可以部分解释鱼类的磷含量较低,如鲤科和鲢科鱼类身体呈纺锤型,具有软鳍条和体被圆鳞;而磷含量较高的太阳鱼科和鲈科鱼类,身体常呈侧扁型,具有硬棘和体被栉鳞,或者具有高度骨化的头骨<sup>[2,47]</sup>。因此,骨骼和鳞片的差异可导致鱼体磷浓度的显著变化。另外,鱼类个体大小可以通过骨骼异速生长来改变其元素组成,因为骨骼占体重的比例随着个体增大而增加<sup>[46, 56]</sup>。脂质含量、肌肉占比和个体大小等特征也会影响元素组成<sup>[56—58]</sup>。富含碳的脂质和富含氮的肌肉含磷量少,因此脂质和肌肉的增加会稀释全身磷的比例。Vrede 等<sup>[24]</sup>研究发现全鱼的 P 含量为 3.06%,肌肉的 P 含量为 0.94%,全鱼的 P 含量高于肌肉的 3 倍多;李培培<sup>[15]</sup>研究千岛湖鲢鳙发现,P、Ca 含量均为头骨>鳍条>鳃>鱼骨>鱼皮>肌肉,而 C 含量为肌肉>鱼骨>鱼皮>鳃>鳍条>头骨。因此,鱼类肌肉、骨骼、鳞片和其他组织的占比不同可导致鱼类生态化学计量特征的种间差异。

## 4 结论

本研究结果表明北部湾鱼类的生态化学计量特征存在显著的种间差异,P 含量和 Ca 含量呈显著正相关;鱼类体型和食性不同导致鱼类生态化学计量特征存在显著差异,且鱼类并非保持严格的生态化学计量平衡。北部湾水域面积宽阔,环境特征复杂多样,鱼类群落结构具有显著的时空差异特征<sup>[59—61]</sup>。因此,后续研究将深入探讨鱼类生态化学计量特征的时空差异,并结合水生植物、浮游生物、无脊椎动物和水体等生态化学计量特征,探究不同生物体内的生态化学计量特征差异及其与生态因子的关联,为北部湾海域生态环境的保护和治理提供理论支持。

## 参考文献 (References):

- [1] 王绍强,于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征. 生态学报, 2008, 28(8): 3937-3947.
- [2] Tanner D K, Brazner J C, Brady V J. Factors influencing carbon, nitrogen, and phosphorus content of fish from a Lake Superior coastal wetland.

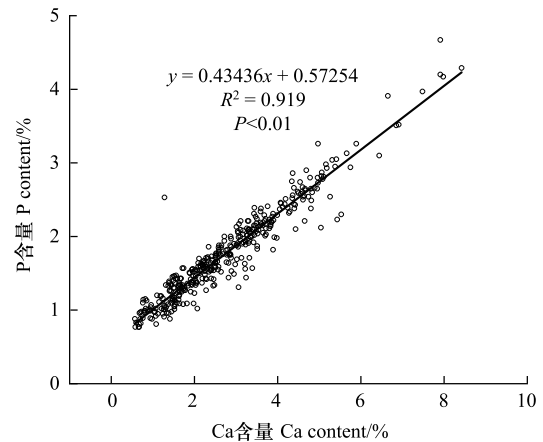


图 7 鱼类钙磷含量相关性分析

Fig.7 Correlation analysis results of between Ca and P in fishes

- Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2000, 57(6): 1243-1251.
- [ 3 ] Sterner R W, Elser J J. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere. Princeton: Princeton University Press, 2002
- [ 4 ] González A L, Fariña J M, Kay A D, Pinto R, Marquet P A. Exploring patterns and mechanisms of interspecific and intraspecific variation in body elemental composition of desert consumers. *Oikos*, 2011, 120: 1247-1255.
- [ 5 ] 王婧雯, 郭亚芬, 崔晓阳. 寒温带森林土壤 C、N、P 生态化学计量学对林型和海拔的响应. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(10): 141-147.
- [ 6 ] 李承义, 何明珠, 唐亮. 荒漠生态系统磷循环及其驱动机制研究进展. 生态学报, 2022, 42(12): 5115-5124.
- [ 7 ] 盘礼东, 李瑞, 张玉珊, 黎庆贵, 高家勇, 袁江. 西南喀斯特区坡耕地秸秆覆盖对土壤生态化学计量特征及产量的影响. 生态学报, 2022, 42(11): 4428-4438.
- [ 8 ] 胡聪, 胡刚, 张忠华, 李峰. 广西澄江喀斯特湿地沉水植物碳、氮、磷化学计量特征. 生态学报, 2021, 41(13): 5300-5308.
- [ 9 ] 陈云, 李玉强, 王旭洋, 牛亚毅. 中国典型生态脆弱区生态化学计量学研究进展. 生态学报, 2021, 41(10): 4213-4225.
- [ 10 ] 邓健, 种玉洁, 贾小敏, 焦子怡, 任成杰, 韩新辉, 杨改河. 黄土高原子午岭林区典型树种叶片 N、P 再吸收特征. 生态学报, 2020, 40(11): 3698-3705.
- [ 11 ] 陈蕾. 浮游动物的深海适应性和生态化学计量学基础研究[D]. 青岛: 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所), 2018.
- [ 12 ] 苏强. 浮游动物化学计量学稳态性特征研究进展. 生态学报, 2012, 32(22): 7213-7219.
- [ 13 ] 蔡永久, 薛庆举, 陆永军, 龚志军. 长江中下游浅水湖泊 5 种常见底栖动物碳、氮、磷化学计量特征. 湖泊科学, 2015, 27(1): 76-85.
- [ 14 ] Huang L, Wu Y, Wan R J, Zhang J. Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) from the Huanghai Sea, China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, 31(4): 154-161.
- [ 15 ] 李培培. 千岛湖鲢、鳙的生态化学计量学及其驱动的养分再循环[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- [ 16 ] Sun P Y, Li X Z, Gong X L, Liu Y, Zhang X Y, Wang L. Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of *Lateolabrax maculatus* and *Acanthogobius ommaturus* in the Estuary of Yangtze River, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(4): 196-203.
- [ 17 ] 朱利明, 邹曦, 史方, 胡莲, 杨晴, 郑志伟, 丁庆秋, 朱稳, 张三峰. 三峡水库小江流域常见鱼类肌肉碳、氮、磷生态化学计量特征. 水生生态学杂志, 2022, 43(5): 106-116.
- [ 18 ] 王芳, 国先涛, 董双林. 水域生态系统生态化学计量学研究进展. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2015, 45(12): 16-23, 71.
- [ 19 ] Mäkelin S, Villnäs A. Food sources drive temporal variation in elemental stoichiometry of benthic consumers. *Limnology and Oceanography*, 2022, 67(4): 784-799.
- [ 20 ] Le Mézo P, Guet J, Scherrer K, Bianchi D, Galbraith E. Global nutrient cycling by commercially targeted marine fish. *Biogeosciences*, 2022, 19(10): 2537-2555.
- [ 21 ] Allgeier J E. Nutrient stoichiometry of fishes and invertebrates in coastal marine Caribbean ecosystems. *Ecology*, 2021, 102(12): e03533.
- [ 22 ] Regnier P, Friedlingstein P, Ciais P, MacKenzie F T, Gruber N, Janssens I A, Laruelle G G, Lauerwald R, Luysaert S, Andersson A J, Arndt S, Arnosti C, Borges A V, Dale A W, Gallego-Sala A, Goddérès Y, Goossens N, Hartmann J, Heinze C, Ilyina T, Joos F, LaRowe D E, Leifeld J, Meysman F J R, Munhoven G, Raymond P A, Spahn R, Suntharalingam P, Thullner M. Anthropogenic perturbation of the carbon fluxes from land to ocean. *Nature Geoscience*, 2013, 6(8): 597-607.
- [ 23 ] Pilati A, Vanni M J. Ontogeny, diet shifts, and nutrient stoichiometry in fish. *Oikos*, 2007, 116(10): 1663-1674.
- [ 24 ] Vrede T, Drakare S, Eklöv P, Hein A, Liess A, Olsson J, Persson J, Quevedo M, Stabo H R, Svanbäck R. Ecological stoichiometry of Eurasian perch-intraspecific variation due to size, habitat and diet. *Oikos*, 2011, 120(6): 886-896.
- [ 25 ] Sterner R. Modelling interactions of food quality and quantity in homeostatic consumers. *Freshwater Biology*, 1997, 38(3): 473-481.
- [ 26 ] Elser J J, Acharya K, Kyle M, Cotner J, Makino W, Markow T, Watts T, Hobbie S, Fagan W, Schade J, Hood J, Sterner R W. Growth rate-stoichiometry couplings in diverse biota. *Ecology Letters*, 2003, 6(10): 936-943.
- [ 27 ] Naddafi R, Eklöv P, Pettersson K. Stoichiometric constraints do not limit successful invaders: zebra mussels in Swedish Lakes. *PLoS One*, 2009, 4(4): e5345.
- [ 28 ] Lemmen Kimberley D, Butler Orpheus M, Thomas K, Rudman Seth M, Symons Celia C. Stoichiometric traits vary widely within species: a meta-analysis of common garden experiments. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2019, 7: 339.
- [ 29 ] DeMott W R, Pape B J. Stoichiometry in an ecological context: testing for links between *Daphnia* P-content, growth rate and habitat preference. *Oecologia*, 2005, 142(1): 20-27.
- [ 30 ] De Andrade Santos T M, De Freitas Terra B, Zandonà E, Santaella S T, Rezende C F. Phosphorus body content in an herbivorous fish in environments with different trophic state. *Journal of Limnology*, 2016: 439-444.
- [ 31 ] McIntyre P, Flecker A. Ecological stoichiometry as an integrative framework in stream fish ecology. *American Fisheries Society*, 2010, 73: 539-558.
- [ 32 ] 乔延龙, 林昭进. 北部湾地形、底质特征与渔场分布的关系. 海洋湖沼通报, 2007(S1): 232-238.
- [ 33 ] 易晓英, 邱康文, 周霄, 招春旭, 邓裕坚, 何雄波, 颜云榕. 北部湾斑鳍白姑鱼渔业生物学分析. 上海海洋大学学报, 2021, 30(3): 515-524.
- [ 34 ] 王锦溪, 罗孔兰, 范瀛方, 邓裕坚, 何雄波, 颜云榕. 北部湾日本金线鱼摄食生态. 渔业科学进展, 2023, 44(1): 47-57.

- [35] 史登福, 张魁, 蔡研聪, 耿平, 许友伟, 孙铭帅, 陈作志. 南海北部带鱼群体结构及生长、死亡和性成熟参数估计. 南方水产科学, 2020, 16(5): 51-59.
- [36] 张曼, 王雪辉, 王森娣, 杜飞雁, 孙典荣, 王亮根, 王跃中, 许柳雄, 邱永松. 基于长度贝叶斯生物量估算法的北部湾带鱼资源评估. 海洋学报, 2022, 44(1): 11-21.
- [37] 陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015.
- [38] 刘静, 吴仁协, 康斌, 马琳. 北部湾鱼类图鉴. 北京: 科学出版社, 2016.
- [39] 林虬, 颜孙安, 姚清华, 林香信. 不同种文昌鱼营养成分分析与评价. 营养学报, 2017, 39(5): 510-512.
- [40] 杨思静, 刘小芳, 刘建志, 冷凯良, 邵绪卿. 不同品种鲨鱼肝脂质组成特征分析. 食品工业科技, 2020, 41(12): 307-312.
- [41] El-Sabaawi R W, Travis J, Zandonà E, McIntyre P B, Reznick D N, Flecker A. Intraspecific variability modulates interspecific variability in animal organismal stoichiometry. *Ecology and Evolution*, 2014, 4(9): 1505-1515.
- [42] Allgeier J E, Weeks B C, Munsterman K S, Wale N N, Wenger S J, Parravicini V, Schiettekatte N M D, Villéger S, Burkepile D E. Phylogenetic conservatism drives nutrient dynamics of coral reef fishes. *Nature Communications*, 2021, 12: 5432.
- [43] Vanni M J, Flecker A S, Hood J M, Headworth J L. Stoichiometry of nutrient recycling by vertebrates in a tropical stream: linking species identity and ecosystem processes. *Ecology Letters*, 2002, 5(2): 285-293.
- [44] Hendrixon H A, Sterner R W, Kay A D. Elemental stoichiometry of freshwater fishes in relation to phylogeny, allometry and ecology. *Journal of Fish Biology*, 2007, 70(1): 121-140.
- [45] González A L, Céréghino R, Dézerald O, Farjalla V F, Leroy C, Richardson B A, Richardson M J, Romero G Q, Srivastava D S. Ecological mechanisms and phylogeny shape invertebrate stoichiometry: a test using detritus-based communities across Central and South America. *Functional Ecology*, 2018, 32(10): 2448-2463.
- [46] Allgeier J E, Wenger S, Layman C A. Taxonomic identity best explains variation in body nutrient stoichiometry in a diverse marine animal community. *Scientific Reports*, 2020, 10: 13718.
- [47] Penczak T. Phosphorus, nitrogen, and carbon cycling by fish populations in two small lowland rivers in Poland. *Hydrobiologia*, 1985, 120(2): 159-165.
- [48] Sterner R W, George N B. Carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry of cyprinid fishes. *Ecology*, 2000, 81(1): 127-140.
- [49] Dantas M C, Attayde J L. Nitrogen and phosphorus content of some temperate and tropical freshwater fishes. *Journal of Fish Biology*, 2007, 70(1): 100-108.
- [50] Leal M C, Seehausen O, Matthews B. The ecology and evolution of stoichiometric phenotypes. *Trends in Ecology & Evolution*, 2017, 32(2): 108-117.
- [51] 徐羊羊, 许旻, 陈晓婷, 林河通, 刘智禹. 3种野生兔头鲂组织中河豚毒素含量及肌肉中重金属、氨基酸、脂肪酸和矿物质营养元素含量的测定及分析. 水产学杂志, 2022, 35(3): 28-35.
- [52] Van Ham E H, Berntssen M H G, Imsland A K, Parpoura A C, Wendelaar Bonga S E, Stefansson S O. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture*, 2003, 217(1/2/3/4): 547-558.
- [53] Small G E, Pringle C M. Deviation from strict homeostasis across multiple trophic levels in an invertebrate consumer assemblage exposed to high chronic phosphorus enrichment in a Neotropical stream. *Oecologia*, 2010, 162(3): 581-590.
- [54] Dickman E M, Newell J M, González M J, Vanni M J. Light, nutrients, and food-chain length constrain planktonic energy transfer efficiency across multiple trophic levels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(47): 18408-18412.
- [55] Hood J M, Sterner R W. Diet mixing: do animals integrate growth or resources across temporal heterogeneity? *The American Naturalist*, 2010, 176(5): 651-663.
- [56] Evangelista C, Diaz Pauli B, Vøllestad L A, Edeline E. Stoichiometric consequences of size-selective mortality: an experimental test using the Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Science of the Total Environment*, 2020, 724: 138193.
- [57] Boros G, Sály P, Vanni M J. Ontogenetic variation in the body stoichiometry of two fish species. *Oecologia*, 2015, 179(2): 329-341.
- [58] Mozsár A, Sály P, Antal L, Alex Nagy S, Boros G. Organismal stoichiometry at the temporal scale: seasonal variability shapes interspecific differences in fish. *Freshwater Biology*, 2019, 64(1): 244-254.
- [59] 张曼, 王雪辉, 蔡研聪, 杜飞雁, 孙典荣, 王跃中, 王亮根, 许柳雄, 邱永松. 北部湾带鱼空间聚散变化特征. 中国水产科学, 2022, 29(11): 1647-1658.
- [60] 彭露, 徐姗楠, 蔡研聪, 许友伟, 孙铭帅, 陈作志, 张魁, 栗丽. 北部湾金线鱼的数量分布及变化趋势. 海洋湖沼通报, 2020(4): 120-126.
- [61] 傅昕龙, 徐兆礼, 阙江龙, 严太亮. 北部湾西北部近海鱼类资源的时空分布特征研究. 水产科学, 2019, 38(1): 10-18.

附表 1 北部湾鱼类基本情况

Supplementary Table 1 Basic situation of fish in the Beibu Gulf

| 鱼类<br>Fishes                          | 食性<br>Feeding<br>habits | 体型<br>Body<br>shapes | 全长<br>Total<br>length/mm | 体长<br>Standard<br>length/mm | 体重<br>Body<br>weight/g | C 含量<br>C content/% | N 含量<br>N content/% | P 含量<br>P content/% | C:N       | C:P          | N:P        |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|--------------|------------|
| 真鲨目 Carcharhiniformes                 |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 真鲨科 Carcharhinidae                    |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 尖头斜齿鲨 <i>Scoliodon laticaudus</i>     | 肉食性                     | 纺锤型                  | 389.8±18.6               | 167.9±17.73                 | 193.8±43.0             | 43.33±2.02          | 13.06±0.60          | 1.57±0.27           | 3.87±0.05 | 73.29±14.30  | 18.94±3.69 |
| 鳐目 Rajiformes                         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鳐科 Rajidae                            |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鮟鱇科 <i>Okamejei boesemani</i>         | 肉食性                     | 平扁型                  | 366.4±25.0               | 225.59±14.5                 | 294.1±60.3             | 43.73±0.27          | 14.63±0.25          | 1.21±0.13           | 3.49±0.06 | 93.71±9.78   | 26.90±3.20 |
| 鳐目 Myliobatiformes                    |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 魟科 Dasyatidae                         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 尖嘴魟 <i>Tetartzygon zugei</i>          | 肉食性                     | 平扁型                  | 404.4±54.7               | 248.9±46.03                 | 128.2±78.8             | 44.58±0.68          | 13.51±0.41          | 1.11±0.14           | 3.85±0.09 | 104.89±13.60 | 27.28±3.92 |
| 鳐目 Anguilliformes                     |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 海鳐科 Muraenidae                        |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 网纹裸胸鳐 <i>Gymnothorax reticularis</i>  | 肉食性                     | 鳗型                   | 443.1±65.3               | 189.5±42.51                 | 140.8±65.3             | 49.40±3.53          | 11.41±1.06          | 0.98±0.24           | 5.10±0.84 | 136.46±37.63 | 26.44±3.74 |
| 蛇鳐科 Ophichthyidae                     |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 斑纹蛇鳐 <i>Ophichthus erabo</i>          | 肉食性                     | 鳗型                   | 432.2±54.2               | 169.6±28.80                 | 289.6±87.6             | 48.02±1.46          | 11.33±0.99          | 0.84±0.09           | 4.97±0.46 | 147.92±13.60 | 29.81±2.20 |
| 食蟹豆齿鳐 <i>Pisodonophis cancrivorus</i> | 肉食性                     | 鳗型                   | 569.2±95.1               | 294.5±77.85                 | 189.1±51.9             | 50.51±1.54          | 11.17±0.52          | 0.87±0.08           | 5.29±0.37 | 150.07±15.29 | 28.41±2.59 |
| 海鳐科 Muraenesocidae                    |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 褐海鳐 <i>Muraenesox bagio</i>           | 肉食性                     | 鳗型                   | 503.7±25.3               | 169.5±20.94                 | 119.5±67.8             | 51.58±0.55          | 11.63±0.44          | 0.95±0.04           | 5.18±0.23 | 139.98±7.51  | 27.04±1.55 |
| 鲈形目 Clupeiformes                      |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鲭科 Engraulidae                        |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 杜氏鲭 <i>Thryssa dussumieri</i>         | 滤食性                     | 侧扁型                  | 146.0±13.1               | 115.1±13.5                  | 24.7±5.1               | 42.81±2.83          | 12.02±1.23          | 1.54±0.42           | 4.17±0.26 | 76.70±21.14  | 18.55±5.44 |
| 汉氏鲭 <i>Thryssa hamiltonii</i>         | 滤食性                     | 侧扁型                  | 191.7±51.2               | 154.7±43.7                  | 62.5±46.5              | 45.06±0.84          | 12.21±0.43          | 1.50±0.15           | 4.31±0.13 | 78.22±8.72   | 18.13±1.72 |
| 宝刀鱼科 Chirocentridae                   |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 长颌宝刀鱼 <i>Chirocentrus nudus</i>       | 肉食性                     | 带型                   | 379.2±26.4               | 303.9±19.1                  | 184.7±46.5             | 46.59±0.84          | 12.17±0.52          | 1.40±0.05           | 4.47±0.25 | 85.90±4.59   | 19.22±0.81 |
| 鲱科 Clupeidae                          |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 黑尾小沙丁 <i>Sardinella melanura</i>      | 杂食性                     | 侧扁型                  | 131.2±9.2                | 101.8±7.6                   | 33.2±25.3              | 44.24±2.58          | 12.48±0.46          | 1.63±0.24           | 4.14±0.33 | 71.50±12.20  | 17.19±2.10 |
| 叶鲱 <i>Escualosa thoracata</i>         | 杂食性                     | 侧扁型                  | 95.5±2.7                 | 76.4±2.6                    | 7.3±1.0                | 44.05±1.01          | 12.94±0.26          | 1.61±0.28           | 3.97±0.10 | 73.18±17.23  | 18.35±3.81 |
| 圆吻海鳐 <i>Nematalosa nasus</i>          | 杂食性                     | 侧扁型                  | 196.2±19.5               | 148.2±16.5                  | 16.7±1.7               | 44.43±1.56          | 12.04±0.95          | 2.19±0.13           | 4.34±0.51 | 52.50±4.58   | 12.14±0.53 |
| 鲑形目 Siluriformes                      |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鳐科 Plotosidae                         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 线纹鳐 <i>Plotosus lineatus</i>          | 肉食性                     | 纺锤型                  | 197.9±14.9               | 180.2±12.7                  | 51.7±10.7              | 45.80±1.02          | 10.42±0.65          | 1.62±0.35           | 5.15±0.35 | 75.99±18.88  | 14.75±3.25 |
| 海鲇科 Ariidae                           |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 海鲇 <i>Ariopsis felis</i>              | 肉食性                     | 纺锤型                  | 277.6±21.3               | 217.2±17.9                  | 206.1±50.6             | 37.02±1.99          | 9.93±2.21           | 1.67±0.22           | 4.56±1.16 | 57.97±7.63   | 13.32±3.34 |
| 仙女鱼目 Aulopiformes                     |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 狗母鱼科 Synodontidae                     |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |

续表

| 鱼类<br>Fishes                          | 食性<br>Feeding<br>habits | 体型<br>Body<br>shapes | 全长<br>Total<br>length/mm | 体长<br>Standard<br>length/mm | 体重<br>Body<br>weight/g | C 含量<br>C content/% | N 含量<br>N content/% | P 含量<br>P content/% | C:N       | C:P          | N:P        |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|--------------|------------|
| 多齿蛇鲻 <i>Saurida tumbil</i>            | 肉食性                     | 纺锤型                  | 237.4±58.4               | 199.8±48.3                  | 106.7±56.2             | 46.10±0.39          | 12.92±0.20          | 1.30±0.10           | 4.16±0.09 | 91.68±7.50   | 22.00±1.41 |
| 花斑蛇鲻 <i>Saurida undasquamis</i>       | 肉食性                     | 纺锤型                  | 180.2±7.0                | 149.4±6.2                   | 31.6±5.2               | 43.82±1.10          | 12.64±0.22          | 1.77±0.21           | 4.05±0.10 | 64.62±7.73   | 15.98±2.02 |
| 鮫鰩目 Lophiiformes                      |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鮫鰩科 Lophiidae                         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 黑鮫鰩 <i>Lophiomus setigerus</i>        | 肉食性                     | 平扁型                  | 197.8±19.9               | 161.8±20.2                  | 151.0±54.8             | 38.54±3.28          | 11.62±0.81          | 3.44±1.06           | 3.87±0.06 | 31.84±12.65  | 8.20±3.13  |
| 鲷形目 Mugiliformes                      |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鲷科 Mugilidae                          |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鲷 <i>Mugil cephalus</i>               | 杂食性                     | 纺锤型                  | 167.0±24.6               | 129.2±19.6                  | 37.1±13.2              | 44.22±2.34          | 11.64±0.67          | 1.45±0.16           | 4.45±0.48 | 79.33±10.64  | 17.85±2.11 |
| 颌针鱼目 Belontiiformes                   |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 颌针鱼科 Belontiidae                      |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 尖嘴柱颌针鱼 <i>Strongylura anastomella</i> | 肉食性                     | 鳗型                   | 433.9±144.0              | 389.6±130.3                 | 136.5±19.9             | 44.04±0.84          | 12.13±0.26          | 1.54±0.07           | 4.24±0.07 | 73.90±4.47   | 17.45±1.15 |
| 鲈形目 Scorpaeniformes                   |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鲈科 Sebastidae                         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 褐背鲈 <i>Sebastes marmoratus</i>        | 肉食性                     | 纺锤型                  | 116.4±33.4               | 96.5±27.7                   | 36.9±23.1              | 44.24±2.58          | 12.48±0.46          | 1.63±0.24           | 4.14±0.33 | 71.50±12.20  | 17.19±2.10 |
| 毒鲈科 Synanceiidae                      |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 魮头鲈 <i>Trachicephalus uranoscopus</i> | 肉食性                     | 纺锤型                  | 98.8±15.0                | 76.7±12.9                   | 20.2±9.6               | 44.13±8.00          | 11.99±0.17          | 2.35±0.36           | 4.29±0.78 | 49.98±15.53  | 11.48±1.69 |
| 鲈形目 Perciformes                       |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鲈科 Sillaginidae                       |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 多鳞鲈 <i>Sillago sihama</i>             | 肉食性                     | 纺锤型                  | 152.4±28.8               | 131.8±25.2                  | 28.0±15.8              | 45.85±0.76          | 11.73±0.57          | 1.46±0.24           | 4.57±0.24 | 82.94±14.14  | 18.15±3.02 |
| 杂色鲈 <i>Sillago acaulus</i>            | 杂食性                     | 纺锤型                  | 144.3±27.5               | 120.0±23.4                  | 27.7±16.7              | 41.74±3.55          | 11.94±0.69          | 2.16±0.63           | 4.07±0.15 | 54.25±18.65  | 13.23±4.30 |
| 弱棘鱼科 Latilidae                        |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 白方头鱼 <i>Branchiostegus albus</i>      | 肉食性                     | 纺锤型                  | 182.7±17.9               | 146.6±15.9                  | 68.7±19.0              | 45.37±1.49          | 11.08±0.45          | 2.34±0.67           | 4.79±0.32 | 52.48±13.91  | 11.16±2.67 |
| 银方头鱼 <i>Branchiostegus argentatus</i> | 肉食性                     | 纺锤型                  | 184.9±6.7                | 149.7±8.0                   | 65.7±11.3              | 45.04±1.58          | 10.76±0.24          | 2.09±0.17           | 4.89±0.27 | 56.10±6.02   | 11.46±0.75 |
| 鲷科 Carangidae                         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 大甲鲷 <i>Megalaspis cordyla</i>         | 肉食性                     | 纺锤型                  | 235.4±24.6               | 192±25.7                    | 128.1±46.7             | 42.23±1.59          | 10.79±0.06          | 1.60±0.17           | 4.57±0.18 | 68.86±6.51   | 15.12±1.82 |
| 革似鲷 <i>Somberoides tol</i>            | 肉食性                     | 侧扁型                  | 280.1±12.5               | 230.2±9.6                   | 147.2±17.1             | 49.26±0.45          | 11.22±0.45          | 1.27±0.12           | 5.13±0.22 | 101.46±13.73 | 19.84±3.12 |
| 及达副叶鲷 <i>Alepes djedaba</i>           | 肉食性                     | 侧扁型                  | 190.5±57.0               | 146.7±48.0                  | 105.0±96.9             | 47.30±2.75          | 10.46±1.36          | 1.63±0.24           | 5.42±1.24 | 76.49±13.47  | 14.40±2.66 |
| 克氏副叶鲷 <i>Alepes kleinii</i>           | 肉食性                     | 侧扁型                  | 194.2±72.0               | 151.5±57.7                  | 87.1±77.7              | 45.90±1.73          | 10.93±2.03          | 2.11±0.44           | 5.01±0.73 | 58.70±15.43  | 12.31±5.16 |
| 蓝圆鲷 <i>Decapterus maruadsi</i>        | 肉食性                     | 纺锤型                  | 229.8±33.1               | 186.0±25.0                  | 114.9±34.1             | 47.77±2.80          | 11.29±0.93          | 1.63±0.26           | 5.17±0.60 | 62.40±36.78  | 12.28±7.59 |
| 竹筴鱼 <i>Trachurus trachurus</i>        | 肉食性                     | 纺锤型                  | 97.3±3.4                 | 78.5±2.9                    | 9.2±1.3                | 45.28±1.22          | 11.78±0.20          | 1.43±0.09           | 4.48±0.06 | 81.86±5.58   | 18.25±1.11 |
| 鲷科 Leiognathidae                      |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 布氏项鲷 <i>Nuchequula blochii</i>        | 肉食性                     | 侧扁型                  | 105.4±3.4                | 82.8±4.7                    | 16.7±2.6               | 46.31±5.87          | 9.74±0.64           | 2.63±0.53           | 5.58±0.92 | 47.58±13.09  | 8.40±1.27  |
| 短棘鲷 <i>Leiognathus equula</i>         | 肉食性                     | 侧扁型                  | 186.0±10.2               | 143.1±8.0                   | 118.9±17.0             | 42.85±0.91          | 10.34±0.55          | 2.37±0.30           | 4.85±0.30 | 47.19±5.69   | 9.81±1.63  |
| 黑斑卡拉鲷 <i>Karalla daura</i>            | 肉食性                     | 侧扁型                  | 110.7±9.2                | 85.8±7.7                    | 23.0±6.8               | 50.28±1.61          | 8.31±0.61           | 1.97±0.09           | 7.09±0.47 | 65.83±3.71   | 9.30±0.47  |
| 颈斑鲷 <i>Nuchequula nuchalis</i>        | 肉食性                     | 侧扁型                  | 106.4±5.8                | 84.1±5.3                    | 16.2±3.4               | 50.60±2.75          | 8.03±1.09           | 2.29±0.55           | 7.51±1.46 | 60.21±16.98  | 7.99±1.31  |

续表

| 鱼类<br>Fishes                              | 食性<br>Feeding<br>habits | 体型<br>Body<br>shapes | 全长<br>Total<br>length/mm | 体长<br>Standard<br>length/mm | 体重<br>Body<br>weight/g | C 含量<br>C content/% | N 含量<br>N content/% | P 含量<br>P content/% | C:N       | C:P          | N:P        |
|-------------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|--------------|------------|
| 银鲈科 Gerreidae                             |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 奥奈银鲈 <i>Gerres oyna</i>                   | 肉食性                     | 侧扁型                  | 146.8±20.2               | 114.8±17.5                  | 49.0±24.3              | 45.27±2.12          | 10.61±1.08          | 2.19±0.20           | 5.04±0.77 | 53.80±6.65   | 10.81±1.55 |
| 金线鱼科 Nemipteridae                         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 日本金线鱼 <i>Nemipterus japonicus</i>         | 肉食性                     | 纺锤型                  | 155.5±19.9               | 119.7±17.4                  | 50.1±20.3              | 40.81±1.55          | 9.66±1.17           | 2.01±0.19           | 4.99±0.65 | 52.80±6.56   | 10.75±2.00 |
| 深水金线鱼 <i>Nemipterus bathybius</i>         | 肉食性                     | 纺锤型                  | 143.9±3.5                | 113.6±3.4                   | 43.5±4.2               | 41.34±3.42          | 11.38±0.90          | 2.17±0.46           | 4.24±0.25 | 50.48±8.07   | 11.87±0.51 |
| 缘金线鱼 <i>Nemipterus marginatus</i>         | 肉食性                     | 纺锤型                  | 145.5±12.5               | 114.7±13.1                  | 88.9±99.9              | 44.43±0.70          | 10.95±0.76          | 2.03±0.26           | 4.75±0.30 | 57.17±8.09   | 12.14±2.35 |
| 鲷科 Sparidae                               |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 二长棘犁齿鲷 <i>Parargyrops edlia</i>           | 肉食性                     | 侧扁型                  | 144.2±9.3                | 110.9±6.3                   | 59.8±11.4              | 40.11±3.35          | 9.07±2.23           | 2.24±0.35           | 5.35±0.96 | 47.95±12.67  | 9.45±3.95  |
| 黑棘鲷 <i>Acanthopagrus schlegelii</i>       | 杂食性                     | 侧扁型                  | 140.2±31.8               | 112.4±25.8                  | 57.4±36.0              | 43.75±3.96          | 9.81±0.44           | 2.81±1.05           | 5.22±0.68 | 46.60±23.41  | 8.69±3.27  |
| 灰棘棘鲷 <i>Acanthopagrus berda</i>           | 肉食性                     | 侧扁型                  | 169±48.1                 | 136.5±40.3                  | 114.8±89.3             | 45.45±0.05          | 9.83±0.30           | 2.81±0.08           | 5.40±0.17 | 41.78±1.09   | 7.75±0.44  |
| 石首鱼科 Sciaenidae                           |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 斑鲷白姑鱼 <i>Pennahia pauwak</i>              | 肉食性                     | 纺锤型                  | 178.3±23.9               | 149.5±18.6                  | 78.6±23.6              | 47.30±1.63          | 11.08±0.75          | 1.60±0.11           | 5.00±0.46 | 76.70±7.84   | 15.34±0.87 |
| 半斑黄姑鱼 <i>Nibea semifasciata</i>           | 肉食性                     | 纺锤型                  | 177.3±6.4                | 145.0±5.00                  | 70.5±8.5               | 44.83±1.50          | 10.76±0.29          | 1.79±0.21           | 4.86±0.20 | 65.54±9.81   | 13.44±1.43 |
| 大头白姑鱼 <i>Pennahia macrocephalus</i>       | 肉食性                     | 纺锤型                  | 133.1±21.4               | 109.1±20.7                  | 36.6±22.7              | 44.36±1.14          | 12.32±0.98          | 1.51±0.14           | 4.23±0.45 | 76.36±8.21   | 18.20±2.59 |
| 红牙鲷 <i>Otolithes ruber</i>                | 肉食性                     | 纺锤型                  | 259.9±7.3                | 210.2±6.9                   | 218.1±40.4             | 49.39±1.70          | 11.41±0.39          | 0.98±0.03           | 5.06±0.35 | 129.47±4.94  | 25.64±1.31 |
| 截尾白姑鱼 <i>Pennahia anea</i>                | 肉食性                     | 纺锤型                  | 143.7±10.8               | 119.1±10.9                  | 42.8±13.9              | 43.86±3.61          | 10.28±0.39          | 2.03±0.35           | 4.99±0.45 | 58.11±18.19  | 11.52±2.58 |
| 刺氏短须石首鱼 <i>Sciaenops russelli</i>         | 肉食性                     | 纺锤型                  | 129.8±5.5                | 103.9±3.4                   | 30.1±3.9               | 43.92±0.69          | 11.25±0.39          | 2.07±0.22           | 4.56±0.16 | 55.22±6.29   | 12.15±1.61 |
| 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>           | 肉食性                     | 纺锤型                  | 176.4±25.9               | 132.9±19.2                  | 68.0±31.1              | 41.77±2.34          | 10.98±0.59          | 1.87±0.32           | 4.46±0.51 | 59.37±12.42  | 13.25±1.90 |
| 羊鱼科 Mullidae                              |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 黑斑绯鲤 <i>Upeneus tragula</i>               | 肉食性                     | 纺锤型                  | 174.6±14.9               | 134.4±10.9                  | 72.2±21.3              | 50.49±0.53          | 10.02±0.55          | 1.57±0.16           | 5.89±0.30 | 83.86±9.27   | 14.32±2.34 |
| 黄带绯鲤 <i>Upeneus sulphureus</i>            | 肉食性                     | 纺锤型                  | 157.2±26.4               | 123.3±18.7                  | 59.6±31.2              | 44.56±1.45          | 10.72±0.38          | 2.24±0.17           | 4.86±0.30 | 51.59±4.93   | 10.62±0.89 |
| 日本绯鲤 <i>Upeneus japonicus</i>             | 肉食性                     | 纺锤型                  | 129.1±23.7               | 121.8±45.4                  | 30.2±19.3              | 45.35±1.56          | 11.06±0.55          | 1.81±0.25           | 4.80±0.33 | 66.01±10.88  | 13.81±2.45 |
| 鲷科 Terapontidae                           |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鲷 <i>Terapon theraps</i>                  | 肉食性                     | 侧扁型                  | 168.1±25.8               | 128.2±21.2                  | 81.9±32.9              | 41.47±1.45          | 9.74±0.91           | 2.46±0.35           | 5.00±0.45 | 44.49±9.28   | 8.99±2.29  |
| 三线鲷 <i>Terapon puta</i>                   | 肉食性                     | 侧扁型                  | 111.8±14.4               | 92.3±11.2                   | 19.6±8.9               | 45.70±3.68          | 9.66±1.05           | 2.77±0.22           | 5.58±0.86 | 42.92±6.43   | 7.73±0.83  |
| 细鳞鲷 <i>Terapon jarbua</i>                 | 肉食性                     | 侧扁型                  | 148.1±7.7                | 115.2±7.1                   | 46.5±7.6               | 46.18±2.21          | 10.86±0.59          | 2.01±0.12           | 4.98±1.49 | 59.69±6.05   | 11.99±0.42 |
| 鲷科 Uranoscopidae                          |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 项鳞鲷 <i>Uranoscopus tsaai</i>              | 肉食性                     | 纺锤型                  | 196.1±57.6               | 155.6±46.1                  | 187.9±111.2            | 39.55±3.19          | 11.79±1.24          | 2.91±0.80           | 3.92±0.11 | 37.48±11.17  | 9.61±3.00  |
| 鲷科 Callionymidae                          |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 南方衍 <i>Callionymus meridionalis</i>       | 肉食性                     | 平扁形                  | 132.9±32.0               | 101.9±17.9                  | 14.9±7.3               | 43.36±2.74          | 12.64±0.75          | 1.87±0.48           | 4.00±0.05 | 63.10±16.62  | 15.76±4.09 |
| 日本衍 <i>Callionymus japonicus</i>          | 肉食性                     | 平扁型                  | 361.6±20.6               | 201.1±7.8                   | 55.8±9.5               | 42.69±1.34          | 12.99±0.41          | 1.85±0.41           | 3.84±0.05 | 61.85±12.34  | 16.16±3.40 |
| 虾虎鱼科 Gobiidae                             |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 孔雀丝虾虎鱼 <i>Cryptocentrus parvinoxoides</i> | 杂食性                     | 鲷型                   | 130.9±8.2                | 101±5.9                     | 15.5±2.9               | 41.61±0.58          | 12.34±0.13          | 1.95±0.09           | 3.94±0.02 | 55.22±2.41   | 14.03±0.61 |
| 孔虾虎鱼 <i>Trypauchen vagina</i>             | 杂食性                     | 鲷型                   | 164.1±17.9               | 140.1±13.4                  | 19.4±5.5               | 41.44±2.54          | 12.06±0.81          | 1.92±0.54           | 4.01±0.09 | 60.20±20.19  | 15.00±5.04 |
| 拟矛尾虾虎鱼 <i>Pamphacichthys polynema</i>     | 肉食性                     | 纺锤型                  | 115.6±11.6               | 81.1±5.3                    | 11.7±2.6               | 42.87±0.47          | 13.22±0.10          | 1.10±0.20           | 3.78±0.02 | 103.46±18.24 | 27.34±4.73 |

续表

| 鱼类<br>Fishes                         | 食性<br>Feeding<br>habits | 体型<br>Body<br>shapes | 全长<br>Total<br>length/mm | 体长<br>Standard<br>length/mm | 体重<br>Body<br>weight/g | C 含量<br>C content/% | N 含量<br>N content/% | P 含量<br>P content/% | C:N       | C:P          | N:P        |
|--------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------|--------------|------------|
| 大牙繸虾虎鱼 <i>Acentrogobius caninus</i>  | 肉食性                     | 纺锤型                  | 107.4±11.1               | 84.6±8.4                    | 16.0±6.8               | 44.32±1.32          | 13.02±0.37          | 1.19±0.31           | 3.97±0.09 | 101.11±24.14 | 25.50±6.19 |
| 长丝型突虾虎鱼 <i>Myersina filifer</i>      | 杂食性                     | 鳗型                   | 130.0±21.1               | 99.2±16.1                   | 13.8±4.7               | 36.57±14.78         | 12.70±0.35          | 1.37±0.24           | 3.33±1.32 | 70.48±32.10  | 21.01±3.84 |
| 钟鹿虾虎鱼 <i>Tridentiger barbatus</i>    | 肉食性                     | 纺锤型                  | 100.8±4.4                | 82.6±3.3                    | 17.0±3.1               | 45.15±1.10          | 13.21±0.32          | 1.24±0.24           | 3.99±0.02 | 96.27±17.55  | 24.14±4.38 |
| 金钱鱼科 <i>Scatophagidae</i>            |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 金钱鱼 <i>Scatophagus argus</i>         | 杂食性                     | 侧扁型                  | 180±29.8                 | 146.5±25.1                  | 175.9±94.3             | 42.85±0.78          | 9.25±0.37           | 2.17±0.29           | 5.45±0.35 | 43.33±24.45  | 7.96±4.46  |
| 蓝子鱼科 <i>Siganidae</i>                |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 点蓝子鱼 <i>Siganus guttatus</i>         | 草食性                     | 侧扁型                  | 214.7±6.5                | 176.2±6.3                   | 211.9±22.2             | 46.16±1.74          | 8.80±0.46           | 1.12±0.13           | 6.13±0.40 | 107.63±12.67 | 17.58±2.18 |
| 褐蓝子鱼 <i>Siganus fuscescens</i>       | 草食性                     | 侧扁型                  | 179.4±14.7               | 144.4±10.1                  | 87.3±13.9              | 47.18±2.70          | 11.39±0.35          | 1.41±0.45           | 4.84±0.41 | 93.57±28.36  | 19.04±4.68 |
| 黄斑蓝子鱼 <i>Siganus canaliculatus</i>   | 草食性                     | 侧扁型                  | 150.2±16.1               | 120.8±12.1                  | 53.5±21.4              | 46.19±2.48          | 10.84±0.78          | 1.65±0.11           | 5.00±0.58 | 72.46±6.50   | 14.58±1.52 |
| 带鱼科 <i>Trachidae</i>                 |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 日本带鱼 <i>Trichiurus lepturus</i>      | 肉食性                     | 带型                   | 418.3±69.3               | 184.6±51.07                 | 49.9±11.4              | 52.06±2.33          | 9.60±0.91           | 1.30±0.26           | 6.39±0.84 | 106.44±21.36 | 16.58±2.18 |
| 沙带鱼 <i>Lepturacanthus savala</i>     | 肉食性                     | 带型                   | 543.4±33.8               | 248.2±10.72                 | 112.8±32.8             | 53.03±4.18          | 9.40±1.61           | 1.26±0.26           | 6.80±1.60 | 113.39±29.77 | 16.66±1.74 |
| 小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>   | 肉食性                     | 带型                   | 372.9±42.8               | 160.1±33.37                 | 35.4±10.9              | 49.19±3.50          | 11.55±1.40          | 1.25±0.16           | 5.07±1.04 | 103.65±20.06 | 20.65±3.02 |
| 鲭科 <i>Scombridae</i>                 |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 羽鲷鲈 <i>Rastrelliger kanagurta</i>    | 杂食性                     | 纺锤型                  | 251.8±16.7               | 207.0±12.6                  | 199.7±38.7             | 45.04±1.58          | 10.76±0.24          | 2.09±0.17           | 4.89±0.27 | 56.10±6.02   | 11.46±0.75 |
| 鲭科 <i>Scombridae</i>                 |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 银鲳 <i>Pampus argenteus</i>           | 肉食性                     | 侧扁型                  | 122.9±15.1               | 89.9±9.4                    | 33.7±12.6              | 49.57±3.35          | 10.60±1.11          | 1.21±0.17           | 5.54±1.02 | 107.81±21.30 | 19.51±2.26 |
| 珍鲳 <i>Pampus minor</i>               | 肉食性                     | 侧扁型                  | 133.7±12.1               | 99.6±10.1                   | 43.3±13.8              | 52.26±2.88          | 8.09±0.55           | 0.92±0.07           | 7.57±0.76 | 146.79±13.93 | 19.48±1.81 |
| 鲽形目 <i>Pleuronectiformes</i>         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 鲽科 <i>Soleidae</i>                   |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 带纹条鲽 <i>Zebrias zebra</i>            | 肉食性                     | 侧扁型                  | 118.0±18.4               | 101.7±18.81                 | 21.8±12.1              | 41.38±3.16          | 11.75±0.64          | 2.76±0.81           | 4.11±0.23 | 42.51±15.46  | 10.27±3.39 |
| 舌鲽科 <i>Cynoglossidae</i>             |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 少鳞舌鲽 <i>Cynoglossus microlepis</i>   | 肉食性                     | 侧扁型                  | 221.8±21.2               | 203.9±21.87                 | 45.1±14.6              | 40.83±1.52          | 11.95±0.10          | 1.18±0.13           | 3.99±0.15 | 90.67±12.16  | 22.71±2.58 |
| 鲉形目 <i>Tetraodontiformes</i>         |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 单角鲉科 <i>Monacanthidae</i>            |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 黄鳍马面鲀 <i>Thamnaconus hypargyreus</i> | 杂食性                     | 侧扁型                  | 145.8±10.5               | 117.7±6.3                   | 47.2±8.6               | 40.57±3.00          | 12.27±0.87          | 2.84±0.67           | 3.86±0.02 | 38.74±10.08  | 10.03±2.57 |
| 鲉科 <i>Tetraodontidae</i>             |                         |                      |                          |                             |                        |                     |                     |                     |           |              |            |
| 棕斑兔头鲀 <i>Lagocephalus spadiceus</i>  | 肉食性                     | 鲀型                   | 160.0±26.96              | 131.1±21.7                  | 93.8±43.9              | 45.67±1.09          | 13.62±0.35          | 1.11±0.04           | 3.91±0.02 | 106.03±2.47  | 27.11±0.58 |