

闽江口鱼类群落营养结构的探究

沈忱^{1,2}, 李军^{1,2}, 康斌³

(1. 集美大学水产学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省海洋渔业资源与生态环境重点实验室, 福建 厦门 361021; 3. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

[摘要] 2015年(1、5、8、11月)对闽江口海域进行4次底拖网渔业资源调查, 鱼类共计128种, 隶属于15目50科, 应用稳定同位素技术对其中105种鱼类测定 $\delta(^{13}\text{C})$ 、 $\delta(^{15}\text{N})$ 值, 并分析其鱼类营养结构。结果表明: 闽江口鱼类的 $\delta(^{13}\text{C})$ 值, 1月为 $-20.29 \sim -14.57$, 5月为 $-24.57 \sim -18.65$, 8月为 $-22.18 \sim -18.17$, 11月为 $-21.83 \sim -16.92$, 存在明显的季节变化; 闽江口鱼类 $\delta(^{13}\text{C})$ 值频数分布说明该海域鱼类的营养来源相似; 闽江口鱼类 $\delta(^{15}\text{N})$ 值范围为 $8.46 \sim 14.12$, 计算得出营养级范围为 $2.0 \sim 3.6$, 营养级最低鱼类为髭鲷虎鱼, 营养级最高鱼类为黑棘鲷。根据主要鱼类的营养级分布, 建立闽江口鱼类连续营养谱, 初步阐明该海域鱼类营养能量流动的途径。 $\delta(^{13}\text{C}) - \delta(^{15}\text{N})$ 聚类分析结果表明, 闽江口海域鱼类群落主要有4个营养类群存在, 即浮游食性、杂食性、偏肉食杂食性、底栖食性。

[关键词] 鱼类群落; 营养结构; 稳定同位素技术; 闽江口

[中图分类号] S 931.1

Trophic Structure of Fish Community in the Minjiang River Estuary

SHEN Chen^{1,2}, LI Jun^{1,2}, KANG Bin³

(1. Fisheries College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Fujian Province Key Laboratory of Marine Fisheries Resources and Ecological Environment, Xiamen 361021, China; 3. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003)

Abstract: Based on the seasonal bottom trawl surveys in the Minjiang River Estuary in 2015 (Jan., May, Aug. and Nov.), a total of 128 species of fishes belong to 50 families and 15 orders were collected during this study. Then, the stable isotope was used to measure the $\delta(^{13}\text{C})$ and $\delta(^{15}\text{N})$ value in 105 species of fishes, while the trophic spectrum and the trophic structure was established. The result showed the $\delta(^{13}\text{C})$ value ranged from -20.29 to -14.57 in Jan.; the $\delta(^{13}\text{C})$ value ranged from -24.57 to -18.65 in May; the $\delta(^{13}\text{C})$ value ranged from -22.18 to -18.17 in Aug., the $\delta(^{13}\text{C})$ value ranged from -21.83 to -16.92 in Nov., and the $\delta(^{13}\text{C})$ value had seasonal changed. The frequency distribution of $\delta(^{13}\text{C})$ values showed the nutrient resources of fish food were analogous. The $\delta(^{15}\text{N})$ value range from 8.46 to 14.12 ; the trophic level range from 2.0 to 3.6 calculated by $\delta(^{15}\text{N})$ value (*Tridentiger barbatus* & *Acanthopagrus schlegeli*), the trophic spectrum was established. The $\delta(^{13}\text{C}) - \delta(^{15}\text{N})$ cluster analysis showed 4 trophic groups in the Minjiang River Estuary: the planktonic affinity feeding group, the mix feeding group, the carnivorous affinity mix feeding group and the benthic affinity feeding group.

Keywords: fish community; nutritional structure; stable isotope technique; Minjiang River Estuary

[收稿日期] 2019-04-16

[基金项目] 国家自然科学基金项目(41476149)

[作者简介] 沈忱(1991—), 男, 硕士生, 海洋鱼类生态研究方向。通信作者: 康斌(1975—), 男, 教授, 博士。E-mail: bkangfish@163.com

0 引言

海洋鱼类通过捕食行为形成食物链或食物网, 从而实现鱼类群落与环境之间的物质循环和能量流动。对海洋鱼类群落食物网的研究是海洋生态学基础研究的重要内容之一^[1]。营养级的测定及厘清海洋鱼类间的营养结构是研究海洋鱼类群落食物网的重要组成部分。营养级反映了鱼类在食物网中的位置, 营养结构反映了生态系统中物质与能量传递的模式^[2]。

鱼类营养级及群落营养结构的研究通常通过对鱼类个体胃含物鉴定分析、鱼类肌肉等组织 $\delta(^{13}\text{C})$ 、 $\delta(^{15}\text{N})$ 稳定同位素测定分析等方法来实现。Hyslop^[3]对鱼类胃含物分析方法进行了介绍及论述; 张其永等^[4]在闽南-台湾浅滩渔场利用胃含物法对鱼类食性、食物网结构进行了研究; 麻秋云等^[5]利用胃含物法对长江口鱼类食物网进行了分析; 黄良敏等^[6]对厦门东海域鱼类食物网进行了研究; Post^[1]对稳定同位素技术方法在鱼类营养级研究中的应用进行了概述; 一些学者利用氮、碳稳定同位素分别对渤海湾^[7]、雷州湾^[8]、北部湾^[9]、太湖^[10]、东海^[11]等中国湖泊和海域的鱼类营养级、鱼类群落营养结构进行了研究分析。

闽江口位于福建省东部, 其海域受闽江冲淡水、东海海水及台湾暖流的综合影响, 生态系统较为复杂, 同时饵料充足、生产力高, 是鱼类理想的栖息、产卵、索饵海域^[12]。鲜有关于对闽江口海域整体鱼类群落营养结构的研究报道。本研究通过对闽江口海域鱼类肌肉组织的 $\delta(^{13}\text{C})$ 、 $\delta(^{15}\text{N})$ 稳定同位素进行测定, 确定闽江口鱼类营养级, 初步构建其连续营养谱, 并初步探究闽江口鱼类群落营养结构。

1 材料与方法

1.1 渔获物采集

对 2015 年闽江口海域 (119°40' ~ 119°55'E, 25°50' ~ 26°14'N) 游泳动物进行采样, 依照闽江口海域盐度梯度的特点设置 11 个站点点, 每个站点点依照冬季 (1 月)、春季 (5 月)、夏季 (8 月) 以及秋季 (11 月) 四个航次进行拖网采样。调查船租用底层单拖网渔船 (“闽连渔 62158” 号), 船重达 122 t、马力 202 kW、船长 28 m, 底层单拖网网具尺寸为 7.5 m 宽、3 m 高、45 m 长, 网口网目大小为 4.5 cm, 囊网网目尺寸为 2.5 cm, 平均拖速为 3.0 kn。渔获物依据类群分为鱼类、甲壳类 (包括虾类、蟹类、虾蛄类) 和头足类。在调查船上依照类群分类将渔获物放入封口采样袋中, 标记标签, 储存在冰桶中带回实验室进行种类鉴定以及进一步实验分析。根据《中国鱼类系统检索》^[13]、《福建鱼类志》^[14] 进行种类鉴定, 依照《海洋调查规范 GB/T 12763. 6—2007》^[15] 进行体长体重等相关生物学参数的测量。

1.2 同位素测定

将上述采集的渔获物进行肌肉组织提取, 并在每个航次中每个站位的同种鱼类中随机取 3 尾肌肉组织进行混合 (鱼类取背部肌肉、贝类取闭壳肌、螺类取腹足肌肉), 而后经烘干、研磨, 最后使用 Carlo Erba NA2500 元素分析仪以及 Delta Plus 同位素质谱仪测定混合肌肉组织中的 ^{13}C 、 ^{15}N 稳定同位素丰度 (用 $\delta(^{13}\text{C})$ 、 $\delta(^{15}\text{N})$ 表示), 进而计算出碳、氮稳定同位素丰度的比值。其计算公式^[16] 为

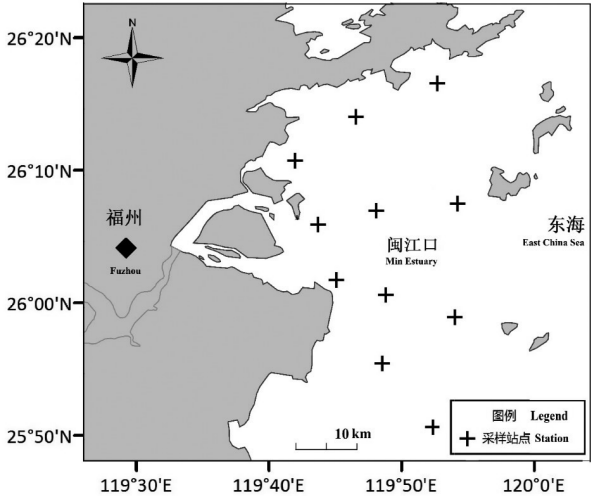


图 1 2015 年闽江口海域渔业资源调查站位图
Fig.1 Sampling stations in the Minjiang River Estuary in 2015

$\delta(X) = (R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}} \times 1000$ ，其中， X 为所测元素的重同位素（ ^{13}C 、 ^{15}N 等）； R_{standard} 为标准 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 的丰度比值（分别以 VPDB（Vienna Pee Dee Belemnite）国际标准和大气氮作为参考标准）； R_{sample} 为所测样品中 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 的丰度比值。

1.3 营养级的确定

根据 $\delta(^{15}\text{N})$ 确定闽江口鱼类的营养级。其计算公式^[1]为：营养级 = $(\delta(^{15}\text{N})_{\text{sample}} - \delta(^{15}\text{N})_{\text{baseline}}) / \Delta\delta(^{15}\text{N}) + 2.0$ ，其中， $\delta(^{15}\text{N})_{\text{sample}}$ 为所测得的 $\delta(^{15}\text{N})$ ， $\delta(^{15}\text{N})_{\text{baseline}}$ 为基线生物的 $\delta(^{15}\text{N})$ ， $\Delta\delta(^{15}\text{N})$ 为相邻营养级的氮稳定同位素的富集度。本研究中富集度参考文献 [17 – 19] 取 3.4，并与国内外大部分相似研究一致；基线生物 $\delta(^{15}\text{N})$ 选取与鱼类样品同时间、地点采集的贝类闭壳肌以及螺类腹足肌肉的 $\delta(^{15}\text{N})$ ，其平均值为 8.56；基线生物选取为初级消费者，其营养级定为 2.0。

1.4 数据分析处理

本研究中数据处理使用 Excel 2016 完成，聚类分析使用 PRIMER 5 中的 Bray – Curtis 相似性系数进行， $\delta(^{13}\text{C})$ 的分布图、连续营养谱利用 SigmaPlot 绘制。

2 结果

2.1 $\delta(^{13}\text{C})$ 组成与其季节性分布

闽江口海域渔获鱼类共计 128 种，分属于 15 目 50 科。对其中 105 种鱼类的稳定同位素的测定结果为： $\delta(^{13}\text{C})$ 冬季范围 $-20.29 \sim -14.57$ ，跨度为 5.72；春季范围 $-24.57 \sim -18.65$ ，跨度为 5.92；夏季范围 $-22.18 \sim -18.17$ ，跨度为 4.01；秋季范围 $-21.83 \sim -16.92$ ，跨度为 4.91。 $\delta(^{13}\text{C})$ 值可以体现生态系统中消费者的营养来源，闽江口海域鱼类除冬季外只有一条营养传递途径，并且全年 $\delta(^{13}\text{C})$ 值分布变化呈季节性变动（见图 2）。

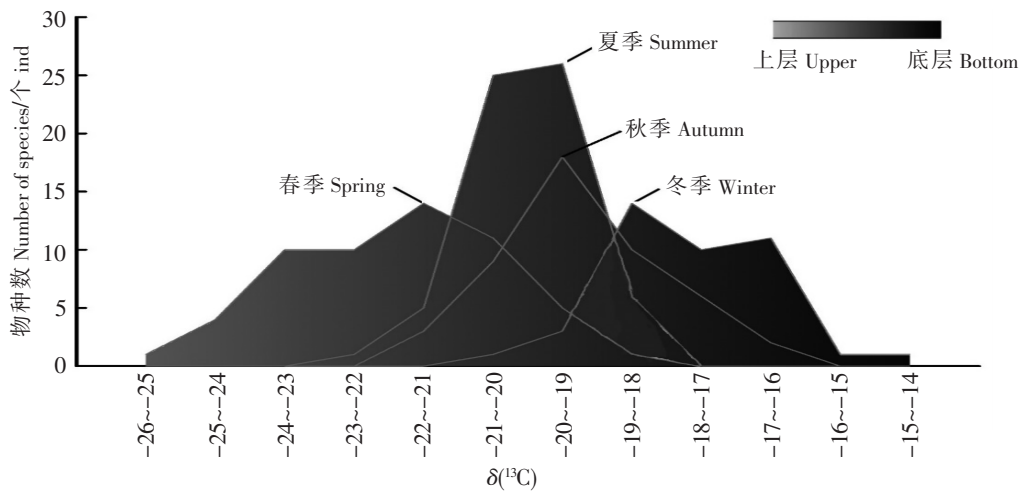


图 2 2015 年闽江口 $\delta(^{13}\text{C})$ 值鱼类种类频数分布图
Fig.2 $\delta(^{13}\text{C})$ frequency distribution of species in the Minjiang River Estuary in 2015

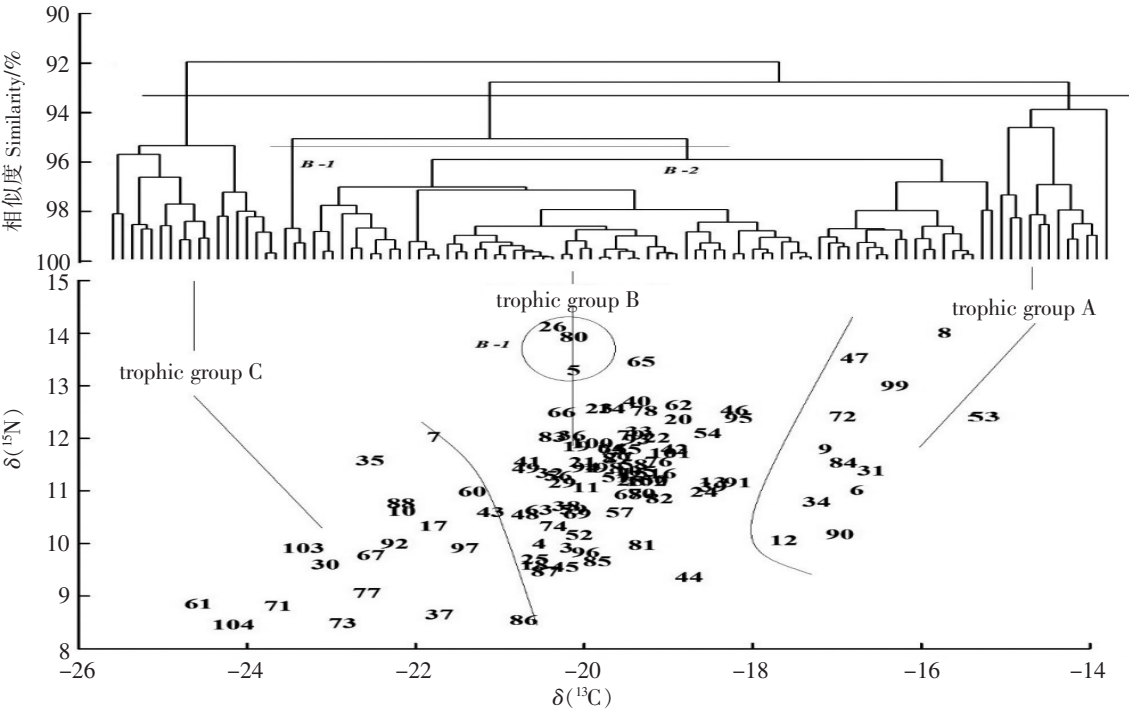
2.2 $\delta(^{15}\text{N})$ 与营养级

本研究测出的 $\delta(^{15}\text{N})$ 范围在 8.46 ~ 14.12，跨度 5.66，进而计算出营养级范围在 2.0 ~ 3.6，跨度为 1.6，长度为 3.6。营养级最高和最低分别为髭虾虎鱼（*Tridentiger barbatus*）、黑棘鲷（*Acanthopagrus schlegelii*），营养级主要集中在 2.4 ~ 3.2。收集 FishBase 和邻近海域相关文章的营养级结果作为参考营养级^[5,6,8,20-32]并与本研究中营养级数据对比，其中有 16 种鱼类（约占 15.2%）营养级低于参考值 1 个营养级以下，3 种鱼类（约占 2.8%）高于参考值 1 个营养级以上，其余 86 种鱼类测得营养级与参考值相比在 1 个营养级之内（见图 3）。



2.3 闽江口鱼类群落营养结构

根据 $\delta(^{13}\text{C}) - \delta(^{15}\text{N})$ 值聚类分析结果（见图 4）显示，闽江口鱼类群落被分为 3 个营养类群。其中，虫纹多纪鲀（*Takifugu vermicularis*）、黄鳍多纪鲀（*Takifugu xanthopterus*）、小口鲀（*Scorpaena miostoma*）等 12 种鱼类分为一组（*trophic group A*）；白姑鱼（*Pennahia argentata*）、大黄鱼（*Larimichthys crocea*）、短尾大眼鲷（*Priacanthus macracanthus*）等 75 种鱼类分为一组（*trophic group B*）；赤鼻棱鲷（*Thryssa kammalensis*）、鹿斑仰口鲷（*Secutor ruconius*）、日本竹夹鱼（*Trachurus japonicus*）等 18 种鱼类分为一组（*trophic group C*）。在 *trophic group B* 组中，丝鳍海鲷（*Arius arius*）、黑棘鲷、斑头舌鲷（*Cynoglossus puncticeps*）3 种鱼类分为一组（*trophic group B-1*），其余鱼类为一组（*trophic group B-2*）。



说明 Notes:1—白姑鱼 *Pennahia argentata*,2—斑点多纪鲀 *Takifugu poecilonotus*,3—斑鲷 *Konosirus punctatus*,4—斑鲆 *Pseudorhombus arsius*,5—斑头舌鲷 *Cynoglossus puncticeps*,6—斑纹犁头鲷 *Rhinobatos hynnicephalus*,7—赤鼻棱鲷 *Thryssa kammalensis*,8—赤鲷 *Dasyatis akajei*,9—虫纹多纪鲀 *Takifugu vermicularis*,10—刺鲃 *Psenopsis anomala*,11—大黄鱼 *Larimichthys crocea*,12—大头狗母鱼 *Trachinocephalus myops*,13—带鱼 *Trichiurus lepturus*,14—短舌鲷 *Cynoglossus abbreviatus*,15—短尾大眼鲷 *Priacanthus macracanthus*,16—多鳞鲷 *Sillago sihama*,17—二长棘型齿鲷 *Parargyrops edita*,18—绯鲷 *Callionymus beniteguri*,19—凤鲚 *Coilia mystus*,20—光鲷 *Dasyatis laevigata*,21—光兔鲷 *Lagocephalus inermis*,22—海鲋 *Muraenesox cinereus*,23—汉氏棱鲷 *Thryssa hamiltonii*,24—褐菖鲈 *Sebastiscus marmoratus*,25—褐篮子鱼 *Siganus fuscescens*,26—黑棘鲷 *Acanthopagrus schlegelii*,27—横带棘线鲷 *Grammolites scaber*,28—横纹多纪鲀 *Takifugu oblongus*,29—虎鲷 *Minous monodactylus*,30—花斑蛇鲷 *Saurida undosquamis*,31—怀氏兔头鲷 *Lagocephalus wheeleri*,32—黄斑篮子鱼 *Siganus canaliculatus*,33—黄姑鱼 *Nibea albiflora*,34—黄鳍多纪鲀 *Takifugu xanthopterus*,35—黄吻棱鲷 *Thryssa vitrirostris*,36—灰鲷 *Pampus cinereus*,37—棘绿鲷 *Chelidonichthys kumu*,38—棘头梅童鱼 *Collichthys lucidus*,39—尖吻黄鳍牙鲷 *Chrysochir aureus*,40—尖头斜齿鲨 *Scoliodon laticaudus*,41—尖吻蛇鲷 *Apichthys apicalis*,42—尖嘴鲷 *Dasyatis zugei*,43—肩斑狗母鱼 *Synodus hoshinonis*,44—焦氏舌鲷 *Cynoglossus joyneri*,45—康氏侧带小公鱼 *Stolephorus commersonnii*,46—孔虾虎鱼 *Trypauchen vagina*,47—阔头黑虾虎鱼 *Bathygobius cottoiceps*,48—拉氏狼牙鲷 *Odontamblyopus lacepedii*,49—鲷鱼 *Terapon theraps*,50—蓝点马鲛 *Scomberomorus niphonius*,51—蓝圆鲷 *Decapterus maruadsi*,52—鳊鱼 *Ilisha elongata*,53—梭鲈 *Liza carinata*,54—丽叶鲷 *Alepes djedaba*,55—镰鲷 *Pampus echinogaster*,56—鳞鳍拟姑鱼 *Johnius distinctus*,57—六线钝尾虾虎鱼 *Amblychaeturichthys hexanema*,58—六指马鲛 *Polydactylus sextarius*,59—龙头鱼 *Harpodon nehereus*,60—鹿斑仰口鲷 *Secutor ruconius*,61—木叶鲷 *Pleuronichthys cornutus*,62—奈氏鲷 *Dasyatis navarrae*,63—拟矛尾虾虎鱼 *Parachaeturichthys polynema*,64—皮氏叫姑鱼 *Johnius belangerii*,65—平鲷 *Rhabdosargus sarba*,66—铅点多纪鲀 *Takifugu alboplumbeus*,67—青鲷小沙丁鱼 *Sardinella zunasi*,68—日本绯鲤 *Upeneus japonicus*,69—日本副单角鲀 *Paramonacanthus japonicus*,70—日本花鲈 *Lateolabrax japonicus*,71—日本鲷 *Scomber japonicus*,72—日本鰺 *Uranoscopus japonicus*,73—日本竹夹鱼 *Trachurus japonicus*,74—纹细纹鳞鲷 *Paramonacanthus sulcatus*,75—沙带鱼 *Lepturacanthus savala*,76—少鳞舌鲷 *Cynoglossus oligolepis*,77—少牙斑鲆 *Pseudorhombus oligodon*,78—食蟹豆齿鲷 *Pisodonotus cancrivorus*,79—双斑多纪鲀 *Takifugu bimaculatus*,80—丝鳍海鲷 *Arius arius*,81—四线天竺鲷 *Ostorhinchus fasciatus*,82—四指马鲛 *Eleutheronema tetradactylum*,83—太的黄鲷 *Setipinna taty*,84—汤氏团扇鲷 *Platyrrhina tangi*,85—条鲷 *Zebrias zebra*,86—弯棘鲷 *Callionymus curvicornis*,87—细条天竺鱼 *Apogon lineata*,88—细纹鲷 *Leiognathus berbis*,89—小黄鱼 *Larimichthys polyactis*,90—小口鲀 *Scorpaena miostoma*,91—星康吉鲷 *Conger myriaster*,92—银鲷 *Pampus argenteus*,93—银牙鲷 *Otolithes ruber*,94—鲷 *Platycephalus indicus*,95—油鲷 *Sphyrna pinguis*,96—长鳍莫鲷 *Moolgarda cunnesius*,97—长丝虾虎鱼 *Myersina filifer*,98—长体蛇鲷 *Saurida elongata*,99—真赤鲷 *Pagrus major*,100—中国鲷 *Pampus chinensis*,101—中国团扇鲷 *Platyrrhina sinensis*,102—中颌棱鲷 *Thryssa mystax*,103—中华小公鱼 *Stolephorus chinensis*,104—髭鲷虎鱼 *Tridentiger barbatus*,105—棕斑腹刺鲷 *Lagocephalus spadiceus*。

图 4 闽江口鱼类 $\delta(^{13}\text{C}) - \delta(^{15}\text{N})$ 值聚类分析

Fig.4 Cluster analysis of $\delta(^{13}\text{C})$ & $\delta(^{15}\text{N})$ of fish in the Minjiang River Estuary

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

3 讨论

3.1 $\delta(^{13}\text{C})$ 的季节性变化

生态系统中稳定同位素 ^{13}C 通过光合作用将无机碳固定为有机碳,由环境进入生物体内,通过生物间的摄食行为使之在生物群落中传递和循环。对 ^{13}C 的示踪作用研究发现,捕食者体内的 $\delta(^{13}\text{C})$ 并没有沿食物链出现富集现象,而是与其捕食食物中的 $\delta(^{13}\text{C})$ 非常接近^[18]。鱼类群落中对不同鱼类体内的 $\delta(^{13}\text{C})$ 进行比较,发现差异较小的鱼类的食物来源是相近的。在闽江口海域鱼类群落中,由四个季节 $\delta(^{13}\text{C})$ 频率分布图(见图2)可知,在同一个季节中没有明显的两个或多个峰值。这与太湖的相关研究结果^[10]不同,太湖水生生物中 $\delta(^{13}\text{C})$ 明显呈两个峰值,分别以浮游、底栖两条途径传递。这说明闽江口海域鱼类群落食物来源在同一个季节中较为单一。夏季与秋季 $\delta(^{13}\text{C})$ 的频率峰值相同,说明闽江口海域游泳动物群落中的大多种类在夏季、秋季两个季节的食物来源相似甚至相同。

春季 $\delta(^{13}\text{C})$ 值跨度最大,冬季次之,表明冬春两季鱼类食物来源广泛。但摄食每种食物来源的鱼类种类数相对较少,这种现象反映冬春两季游泳动物的饵料食物相对贫瘠,游泳动物出于生存的本能,采取了广泛食性的进食策略^[33]。夏季 $\delta(^{13}\text{C})$ 值跨度最小,但摄食每种食物来源的鱼类种类数最多,可能是因为夏季饵料食物种类相对丰富,数量也较为相对充足,多数游泳动物所摄食的食物只从自身偏好的几种优质的饵料生物中进行选择,数量充足的饵料生物也进一步加强了游泳动物的这种对食物的选择性。

Davenport等^[34]在研究中发现, $\delta(^{13}\text{C})$ 值的大小与鱼类等生物栖息的水层和食物的来源有关,栖息于上层水域摄食浮游性食物鱼类的 $\delta(^{13}\text{C})$ 值要小于栖息于底层水域摄食底栖性食物鱼类的。闽江口鱼类的 $\delta(^{13}\text{C})$ 值冬季最高,而春季至秋季有明显增大的趋势,即冬季闽江口鱼类栖息水层最深,其余季节栖息水层较浅,这与鱼类冬季向较深海域进行越冬洄游习性相吻合,此外 $\delta(^{13}\text{C})$ 呈季节性变化可能与浮游生物、藻类的凋零,以及光合作用的季节性变化有关。

3.2 闽江口鱼类营养级分析

对闽江口海域105种鱼类进行营养级分析,营养级范围在2.0~3.6之间,跨度为1.6,平均营养级为2.7,长度为3.6。其中,25种鱼类营养级在2.0~2.5之间,约占鱼类总数的24%;54种鱼类营养级在2.5~3.0之间,约占鱼类总数的51%;23种鱼类营养级在3.0~3.5之间,约占鱼类总数的22%;3种鱼类营养级大于3.5,约占鱼类总数的3%。闽江口食物链长度为3.6,略小于世界海洋生态系统食物链长度的平均值(3.97)^[35],与福建九龙江口的食物链长度(3.89)^[32]相差不大,但低于珠江口(4.70)^[36]和长江口的(5.11)^[23]。闽江口鱼类群落食物链长度较低的原因有:一,基线生物通常是食物网中初级消费者,这会影响对食物网的评价^[37]。计算得出闽江口鱼类群落的营养级使用的基线生物 $\delta(^{15}\text{N})$ 值较低,只有8.56,与九龙江口基线生物的8.24相差不大。二,过度捕捞会导致鱼类营养级的降低^[38]。闽江口海域鱼类群落中,中低营养层次鱼类所占的比例较大,高营养层次的肉食性鱼类种类较少。这种营养级结构与东海海域低营养级肉食性鱼类的营养级构成比例上升,高营养级肉食性鱼类的营养级构成比例总体显著下降的趋势^[39]相合。可见,闽江口渔业资源呈衰退趋势。

在营养级与渔业资源状况关系的相关研究^[40]中表明,海域平均营养级与资源密度指数总和的对数有显著的负相关关系,即平均营养级降低的同时资源量增加。所以,单独比较海域鱼类群落平均营养级的高低,并不能全面反映出海域渔业资源的衰退与否。因此,在本研究中并不能单独通过鱼类群落的营养级来判断闽江口海域的渔业资源的状况,闽江口海域的渔业资源亟待进一步研究。

3.3 闽江口鱼类群落营养结构

对闽江口海域鱼类群落 $\delta(^{13}\text{C})$ - $\delta(^{15}\text{N})$ 进行聚类分析发现:trophic group C主要由浮游食性的鱼类组成(例如日本鲭、中华小公鱼、日本竹荚鱼等),营养层次也相对较低,位于闽江口鱼类群落营养结构的最低端;trophic group A与trophic group B中鱼类营养级比trophic group C高;trophic group A中鱼类更偏底栖食性(例如赤鲷、虫纹多纪鲷等),trophic group B-1中鱼类与trophic group C中的

几种鱼类都有着较高的营养级, 位于闽江口鱼类群落营养结构顶级; trophic group B-2 中多为杂食性鱼类, 位于闽江口鱼类群落营养结构的中间位置。闽江口海域鱼类群落中存在 4 个营养类群, 即浮游食性营养类群 (trophic group C)、杂食性营养类群 (trophic group B-2)、偏肉食性杂食营养类群 (trophic group B-1)、底栖食性营养类群 (trophic group A)。在本研究中并没有发现理论上稳定的顶级捕食者, 有可能是由于人为捕捞造成的。拖网捕捞作业时主要捕捞对象为大型肉食性鱼类, 作为顶级捕食者的大型肉食性鱼类因为其个体大、寿命长、营养级高、自然死亡率低, 更容易受到捕捞的影响^[41-42]。顶级捕食者的衰退减小了位于顶级捕食者之下的次级肉食性鱼类等生物 (例如, trophic group A, trophic group B-1) 的生存和摄食的压力, 进而导致了肉食性鱼类所摄食的中下营养层被摄食鱼类 (例如, trophic group B-2) 生物的增长迅速, 并更容易被捕获。

[参 考 文 献]

- [1] POST D. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions [J]. *Ecology*, 2002, 83: 703-718.
- [2] 纪炜炜, 李圣法, 陈雪忠. 鱼类营养级在海洋生态系统研究中的应用 [J]. *中国水产科学*, 2010, 17(4): 878-887.
- [3] HYSLOP E J. Stomach contents analysis: a review of methods and their application [J]. *Journal of Fish Biology*, 1980, 17(4): 411-429.
- [4] 张其永, 林秋眠, 林尤通, 等. 闽南—台湾浅滩渔场鱼类食物网研究 [J]. *海洋学报*, 1981, 3(2): 275-290.
- [5] 麻秋云, 韩东燕, 刘贺, 等. 应用稳定同位素技术构建胶州湾食物网的连续营养谱 [J]. *生态学报*, 2015, 35(21): 7207-7218.
- [6] 黄良敏, 张雅芝, 潘佳佳, 等. 厦门东海域鱼类食物网研究 [J]. *台湾海峡*, 2008, 27(1): 64-73.
- [7] 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.
- [8] 卢伙胜, 欧帆, 颜云榕, 等. 应用氮稳定同位素技术对雷州湾海域主要鱼类营养级的研究 [J]. *海洋学报 (中文版)*, 2009, 31(3): 167-174.
- [9] 颜云榕. 北部湾主要鱼类摄食生态及食物关系的研究 [D]. 青岛: 中国科学院研究生院 (海洋研究所), 2010.
- [10] 李云凯, 贡艺. 基于碳、氮稳定同位素技术的东太湖水生食物网结构 [J]. *生态学杂志*, 2014, 33(6): 1534-1538.
- [11] 纪炜炜, 李圣法, 陈雪忠, 等. 基于稳定同位素方法的东海北部及其邻近水域主要游泳动物营养结构变化 [J]. *海洋渔业*, 2015, 37(6): 494-500.
- [12] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志: 第 14 分册 [M]. 北京: 海洋出版社, 1998.
- [13] 曹文宣. 中国鱼类系统检索 [M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [14] 福建鱼类志编写组. 福建鱼类志 [M]. 福州: 福建科学出版社, 1984.
- [15] 国家标准化委员会. 海洋调查规范: GB/T 12763.6—2007 [S]. 2011.
- [16] DENIRO M J, EPSTEIN S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals [J]. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 1978, 42(5): 495-506.
- [17] MCCUTCHAN J H, LEWIS W C, MCGRATH C C. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur [J]. *Oikos*, 2010, 102(2): 378-390.
- [18] PETERSON B J, FRY B. Stable isotopes in ecosystem studies [J]. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 1987, 18(1): 293-320.
- [19] POST D M, PACE M L, HAIRSTON N J. Ecosystem size determines food-chain length in lakes [J]. *Nature*, 2000, 405(6790): 1047-1049.
- [20] 张月平, 陈丕茂. 南沙岛礁周围水域主要鱼类食物网 [J]. *南方水产*, 2005, 1(6): 23-33.
- [21] 孙明, 刘修泽, 李轶平, 等. 应用氮稳定同位素技术研究辽东湾海域主要渔业生物的营养级 [J]. *中国水产科学*, 2013, 20(1): 190-198.

- [22] 薛莹,金显仕. 鱼类食性和食物网研究评述 [J]. 海洋水产研究, 2003, 24(2): 76-87.
- [23] 李忠义,左涛,戴芳群,等. 运用稳定同位素技术研究长江口及南黄海水域春季拖网渔获物的营养级 [J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 103-109.
- [24] 张波,唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究 [J]. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 393-404.
- [25] 杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究 [J]. 现代渔业信息, 2001, 1(10): 10-19.
- [26] 邓景耀,孟田湘,任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究 [J]. 生态学报, 1986, 6(4): 356-364.
- [27] 邓景耀,姜卫民,杨纪明,等. 渤海主要生物种间关系及食物网的研究 [J]. 中国水产科学, 1997(4): 2-8.
- [28] 张雅芝,李福振,刘向阳,等. 东山湾鱼类食物网研究 [J]. 台湾海峡, 1994(1): 52-61.
- [29] 蔡德陵,李红燕,唐启升,等. 黄东海生态系统食物网连续营养谱的建立: 来自碳氮稳定同位素方法的结果 [J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2005(2): 123-130.
- [30] 韦晟,姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究 [J]. 海洋与湖沼, 1992(2): 182-192.
- [31] 程济生,朱金声. 黄海主要经济无脊椎动物摄食特征及其营养层次的研究 [J]. 海洋学报 (中文版), 1997(6): 102-108.
- [32] 廖建基,郑新庆,杜建国,等. 基于氮稳定同位素的九龙江口鱼类营养级研究 [J]. 海洋学报, 2015, 37(2): 93-103.
- [33] MADURELL T, FANELLI E, CARTES J E. Isotopic composition of carbon and nitrogen of suprabenthic fauna in the NW Balearic Islands (western Mediterranean) [J]. Journal of Marine Systems, 2008, 71(3/4): 336-345.
- [34] DAVENPORT S R, BAX N J. A trophic study of a marine ecosystem off southeastern Australia using stable isotopes of carbon and nitrogen [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002, 59(3): 514-530.
- [35] ZANDEN M J V, FETZER W W. Global patterns of aquatic food chain length [J]. Oikos, 2007, 116(8): 1378-1388.
- [36] 曾艳艺,赖子尼,杨婉玲,等. 珠江河口渔业生物稳定同位素营养级分析 [J]. 生态学杂志, 2018, 37(1): 194-202.
- [37] 徐军,张敏,谢平. 氮稳定同位素基准的可变性及对营养级评价的影响 [J]. 湖泊科学, 2010, 22(1): 8-20.
- [38] PAULY D, CHRISTENSEN V, DALSGAARD J. Fishing down marine food webs [J]. Science, 1998, 279(5352): 860-863.
- [39] 李继龙,曹坤,丁放,等. 基于渔获物统计的中国近海鱼类营养级结构变换及其与捕捞作业的关系 [J]. 中国水产科学, 2017, 24(1): 109-119.
- [40] 刘勇,程家骅. 东海、黄海秋季渔业生物群落结构及其平均营养级变化特征初步分析 [J]. 水产学报, 2015, 39(5): 691-702.
- [41] 唐启升. 海洋食物网与高营养层次营养动力学研究策略 [J]. 海洋水产研究, 1999, 20(2): 1-6.
- [42] DALZELL P, D PAULY. Assessment of the fish resources of southeast Asia, with emphasis of the Banda and Arafura Seas [J]. Netherlands Journal of Sea Research, 1990, 25(4): 641-650.

(责任编辑 朱雪莲 英文审校 黄力行)