

DOI: 10.11964/jfc.20230213896

# 万山群岛长鳍篮子鱼与云斑海猪鱼的营养生态位特征



石娟<sup>1,2</sup>, 李纯厚<sup>1,2</sup>, 王腾<sup>1,2\*</sup>, 王春伶<sup>3</sup>, 赵金发<sup>1,2</sup>, 宋晓宇<sup>1,2</sup>,  
吴鹏<sup>1,2</sup>, 肖雅元<sup>1,2</sup>, 林琳<sup>1,2</sup>, 刘永<sup>1,2\*</sup>

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东珠江口生态系统野外科学观测研究站, 广东省渔业生态环境重点实验室, 广东广州 510300; 2. 西沙岛礁渔业生态系统海南省野外科学观测研究站, 海南省深远海渔业资源高效利用与加工重点实验室, 三亚热带水产研究院, 海南三亚 572018; 3. 中国科学院水生生物研究所, 湖北武汉 430072

## 摘要:

**【目的】**探究万山群岛长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼优势鱼类的营养结构特征, 掌握优势鱼类资源竞争关系。

**【方法】**利用碳氮稳定同位素对长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼展开营养生态位研究并计算了两个种群的营养结构指标。

**【结果】**长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的  $\delta^{15}\text{N}$  值变化范围分别为 9.15‰~14.09‰和 10.34‰~14.60‰,  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -19.87‰~-14.54‰和 -18.16‰~-15.60‰, 平均营养级为 3.05 和 3.30。  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$  营养生态位结构分析表明, 两个种群之间存在资源竞争关系, 长鳍篮子鱼营养生态位宽幅和营养结构多样性均高于云斑海猪鱼, 食物来源更广泛, 对资源的竞争与利用能力更强。Pearson 相关性分析结果显示, 两个种群体长与  $\delta^{13}\text{C}$  之间均不存在显著相关性, 但与  $\delta^{15}\text{N}$  呈现显著的相关性, 其中, 长鳍篮子鱼的体长与  $\delta^{15}\text{N}$  呈显著正相关, 而云斑海猪鱼的体长与  $\delta^{15}\text{N}$  呈现极显著负相关, 表明两种鱼类的食性均随个体发育而发生转化, 长鳍篮子鱼趋向高营养级饵料生物, 云斑海猪鱼趋向低营养级饵料生物。

**【结论】**长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼体长分别在 90~100 mm 和 100~110 mm 出现营养生态位宽幅急剧升高, 而这刚好处于二者初次性成熟体长或性逆转体长附近, 推测两种鱼类在性腺发育成熟时期食性发生转变。本研究揭示万山群岛两种优势种的营养生态位特征, 对种群的保护和合理利用, 生态容量的评估具有支撑作用。

**关键词:**长鳍篮子鱼; 云斑海猪鱼; 稳定同位素; 竞争; 共存; 珠江口

万山群岛位于珠江口海域, 地处亚热带季风气候区, 呈半环状散布, 由 70 多个岛屿组成, 构成其独特的岛链结构<sup>[1]</sup>, 常年高温, 生态环境复杂, 食物资源充足, 鱼类多样性丰富, 是天然渔场。长鳍篮子鱼 (*Siganus canaliculatus*) 和云斑海猪鱼 (*Halichoeres nigrescens*) 在南海

第一作者: 石娟, 从事海洋鱼类生态学, E-mail: [sjuan0917@163.com](mailto:sjuan0917@163.com)



通信作者: 王腾, 从事海洋鱼类生态学, E-mail: [wt3074589@163.com](mailto:wt3074589@163.com)  
刘永, 从事海洋鱼类生态学, E-mail: [liuyong@scsfri.ac.cn](mailto:liuyong@scsfri.ac.cn)

资助项目: 国家重点研发计划 (2019YFD0901204, 2019YFD0901201); 广东省基础与应用基础研究基金 (2019B1515120065); 广东省科技计划项目 (2019B121201001); 广东省基础与应用基础研究重大项目课题 (2019B030302004-05); 中国水产科学研究院基本科研业务费(2020TD16); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (2021SD04, 2019TS28)

收稿日期: 2023-02-07

修回日期: 2023-04-19

文章编号:

1000-0615(2025)04-049307-13

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)  
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)



分布广泛, 均为暖水近海小型鱼类, 栖息于沿海岩礁和珊瑚丛区<sup>[2]</sup>, 均隶属于鲈形目 (Perciformes)。长鳍篮子鱼隶属于篮子鱼科 (Siganidae) 篮子鱼属 (*Siganus*), 主要以海藻、海草为食, 而云斑海猪鱼隶属于隆头鱼科 (Labridae) 海猪鱼属 (*Halichoeres*), 是以底栖动物为主的杂食性鱼类, 均是万山群岛海域的优势物种<sup>[1]</sup>。

对优势鱼类的营养结构及生态位研究有助于掌握整个鱼类群落内的生物多样性、群落结构和种间关系<sup>[3]</sup>。生态位是指一个种群在群落或生态系统中的地位、功能与作用, 营养生态位既能表现物种自身的营养需求, 还能反映物种在生态系统所处的营养位置及功能<sup>[4]</sup>。研究营养生态位有助于掌握生态系统中物种间食物资源的竞争情况, 以及生态系统食物网的结构特征。食性分析是营养生态位研究的基础, 传统的食性分析方法是胃肠含物分析法, 但是该方法仅能表示该鱼类在被捕时短期的摄食情况, 具有偶然性<sup>[5]</sup>; 且鱼类对于不同的饵料生物具有不同的消化率, 胃含物中的比例并不能代表鱼类摄食的饵料比例, 同时对部分食物鉴定难度较大, 对鉴定者的知识储备也有一定要求<sup>[6-7]</sup>。相比之下, 稳定同位素分析法基于消费者与其食物之间稳定同位素比值相近的原理, 通过测定消费者的稳定同位素值来推断其可能摄食的饵料生物, 能够很好地反映鱼类在较长时间周期内的摄食习性, 不仅能够示踪消费者的营养来源, 还能在中长时间尺度上反映生态系统结构的变化<sup>[8]</sup>。同位素生态位能反映物种在时空状态下积累的营养数据, 体现各物种在食物网中营养结构的微小区别<sup>[9]</sup>, 目前被广泛应用于鱼类食性研究。何熊波等<sup>[10]</sup>通过测定北部湾近 10 年的日本带鱼 (*Trichiurus japonicus*) 的稳定同位素, 发现其 10 年间营养生态位呈下降趋势。李云凯等<sup>[11]</sup>以东太平洋中部海域的鲨 (Selachimorpha) 为研究对象, 分析了其摄食组成和营养生态位图谱。Pensinger 等<sup>[12]</sup>对墨西哥湾优势鱼类 *Ariopsis felis* 进行了稳定同位素分析, 构建了其营养生态位图谱, 掌握其在食物网中的营养位置, 为今后该物种的保护管理提供了数据支撑。

本研究以 2021 年秋季万山群岛采集的优势种长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼作为对象, 采用碳

氮稳定同位素技术, 研究其营养生态位基本特征, 探究其个体发育的食性转换规律及其营养竞争关系。旨在为更好的保护和开发这两种鱼类提供理论依据, 同时为万山群岛渔业资源的保护和管理提供基础数据资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

根据《海洋调查规范》(GB/T 12763—2007)<sup>[13]</sup>等有关规定和要求开展采样调查。本研究于 2021 年 3 月 26 日以及 9 月 26—30 日依托三层刺网作业方式在万山群岛海域的桂山岛、外伶仃岛、东澳岛和万山岛附近获取长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼, 共设置 18 个站位 (图 1), 租用当地渔船, 每日下午 4 时前往指定站点下网, 次日早上 7 时收网。所有样品经过冰鲜后运回实验室分析。实验过程中操作人员严格遵守南海水产研究所动物实验伦理审查委员会实验动物伦理规范, 并按照南海水产研究所动物实验伦理委员会制定的规章制度执行。

### 1.2 样品预处理

共随机获取长鳍篮子鱼 50 尾, 云斑海猪鱼 67 尾用于实验分析 (本研究实验样品不涉及动物伦理)。在实验室对鱼类进行测量解剖, 体长精确到 0.1 mm, 体重精确到 0.01 g, 记录其性腺发育期和性别, 取 1 g 鱼体背部白色肌肉作为稳定同位素分析样品, 并在 60 °C 烘箱内烘干至恒重, 干燥后使用研磨仪将样品磨成粉末, 称取约 250~300 μg 粉状样品于锡杯中, 进行上机检测分析。

### 1.3 碳氮稳定同位素分析

碳、氮稳定同位素检测使用由元素分析仪 (EA) 和稳定同位素质谱仪 (IRMS) 串联而成的 Elementar isoprime visION 稳定同位素质谱仪, 为保证实验结果的准确性, 每测试 10 个样品加测一个标准样品, 标准样为国际通用的 USGS40、USGS41a、USGS65 等, 且对个别样品进行了 2~3 次复测, C、N 分析精度均为 ±0.3‰。

测得样品的碳氮百分含量用‰表示, 碳氮稳定同位素比值以国际通用的 δ 值形式表达:

$$\delta X = (R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$$

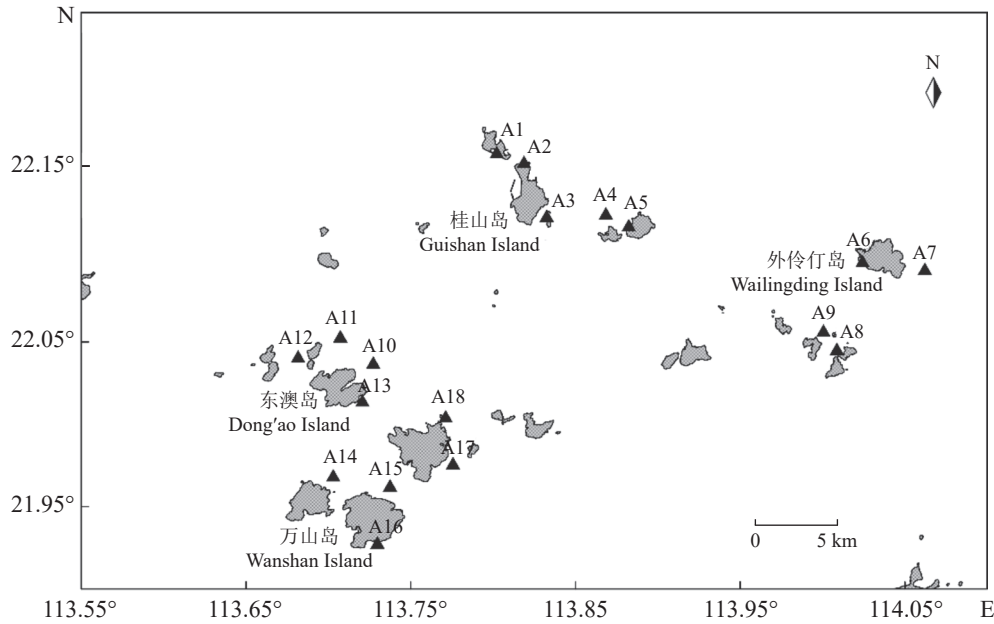


图1 万山群岛鱼类采样区域

黑色三角所示为采样站点。

Fig. 1 Sampling area of fish in Wanshan Islands

Sampling stations are shown in the black triangle.

式中,  $X$  为  $^{13}\text{C}$  或  $^{15}\text{N}$ ;  $R_{\text{sample}}$  为所测得的同位素比值,  $R$  表示  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  或者  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  比值,  $R_{\text{standard}}$  表示国际通用标准物的同位素比值, 碳氮稳定同位素测定的标准物质分别为美洲拟箭石 VPDB 和纯化的大气中的  $\text{N}_2$ ,  $\delta$  值用于衡量样品中重同位素的含量, 其值越小表示样品重同位素 ( $^{13}\text{C}$  或  $^{15}\text{N}$ ) 含量越低, 越大表示样品重同位素 ( $^{13}\text{C}$  或  $^{15}\text{N}$ ) 含量越高。

利用氮稳定同位素计算生物的营养级 (TL):

$$\text{TL} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{sample}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}) / \Delta\delta^{15}\text{N} + \lambda$$

式中, TL 为渔获生物估算的营养级,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{sample}}$  表示该系统中待测样品的氮同位素比值,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}$  表示该系统基线生物的氮同位素比值。本研究选取常年存在、食性简单的初级消费者翡翠贻贝作为基准生物,  $\delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}$  取值 8.10‰ ( $\delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}$  为生产者  $\delta^{15}\text{N}$  时,  $\lambda=1$ ;  $\delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}$  为初级消费者  $\delta^{15}\text{N}$  时,  $\lambda=2$ ),  $\Delta\delta^{15}\text{N}$  为每一营养级传递过程中  $\delta^{15}\text{N}$  的营养富集度, 本实验取 3.4‰<sup>[14]</sup>。

#### 1.4 数据分析

为估算长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的营养生态位, 作鱼类  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$  营养生态位双位图, 并参考 Layman 等<sup>[15]</sup> 提出的 6 种营养生态位指标

对营养结构进行量化: ① $\delta^{15}\text{N}$  变幅 ( $\delta^{15}\text{N}$  range, NR), 表示营养层次和多样性水平; ② $\delta^{13}\text{C}$  变幅 ( $\delta^{13}\text{C}$  range, CR), 表示摄食来源多样性水平; ③凸多边形总面积 (total area, TA), 表示食物网中营养多样性的总程度; ④平均离心距离 (mean distance to centroid, CD), 表示食物网中营养多样性平均水平; ⑤平均最邻近距离 (mean nearest neighbor distance, MNND), 表示群落的整体密度; ⑥平均最邻近距离标准差 (standard deviation of nearest neighbor distance, SDNND), 表示营养生态位分布范围水平。 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$  双序图中, 凸多边形总面积 (total area, TA) 是同一物种的所有稳定同位素值做包围的凸多边形面积, 可衡量群落占据的生态位空间的总量, 代表食物网中营养多样性的总范围<sup>[15]</sup>, 可将 TA 作为衡量鱼类营养生态位宽幅的度量指标<sup>[16]</sup>。估算标准椭圆面积 (standard ellipse area, SEA) 表示所有同位素点经方差矩阵数据处理绘制的椭圆面积<sup>[17]</sup>, 较 TA 能更准确地表示物种的核心生态位, 后又延伸出矫正后的标准椭圆面积 SEAc, 和贝叶斯标准椭圆面积 SEAb, 常用的是 SEAc, 用以表示生物对生态空间的利用情况。本研究选用 SEAc 对生物间的重叠度进行计算, 两个种类的重叠表示 SEAc 最大似然

估计值的重叠比例, 代表了两种类间生态位重叠的点估计<sup>[18]</sup>。

为更好地展现鱼类不同个体大小的营养生态位特征, 将两种鱼类的体长组分为 6 个等级, 以 10 mm 为一个分界。其中体长小于 90 mm 和

大于 120 mm 的长鳍篮子鱼, 以及体长小于 90 mm 和大于 130 mm 的云斑海猪鱼样本量较少, 因此长鳍篮子鱼 60~90 mm、120~150 mm、150~220 mm 分别作为一组, 云斑海猪鱼的 70~90 mm、130~150 mm 分别为一组(表 1)。

表 1 长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼体长分组及营养结构参数值

Tab. 1 Body length grouping and nutrient structure parameter values of *S. canaliculatus* and *H. nigrescens*

种类 species	体长组 body length group	体长/mm body length	样本量/尾 sample size	营养级 trophic level	NR	CR	TA	SEAc	CD	MNND	SDNND
长鳍篮子鱼 <i>S. canaliculatus</i>	A1	60~90	4	2.81	0.17	1.69	0.14	0.27	0.57	0.50	0.52
	A2	90~100	4	2.80	1.95	4.15	2.67	5.25	1.47	1.42	1.12
	A3	100~110	23	3.05	3.33	3.30	6.80	2.17	0.98	0.40	0.32
	A4	110~120	6	3.09	4.02	1.38	2.31	2.12	1.02	0.98	0.89
	A5	120~150	5	3.17	0.58	4.09	0.48	0.57	1.32	0.81	0.23
	A6	150~220	8	3.19	3.36	4.06	7.01	5.48	1.55	0.77	0.50
云斑海猪鱼 <i>H. nigrescens</i>	B1	70~90	4	3.55	1.17	1.11	0.46	0.83	0.68	0.38	0.26
	B2	90~100	3	3.55	0.30	1.89	0.28	1.01	0.85	0.82	0.91
	B3	100~110	4	3.39	1.79	2.25	2.04	3.83	1.15	1.08	0.82
	B4	110~120	16	3.27	2.56	2.81	4.42	1.95	1.02	0.37	0.31
	B5	120~130	27	3.33	2.33	2.86	4.25	1.47	0.88	0.30	0.19
	B6	130~150	13	3.11	1.47	3.89	2.75	1.22	0.73	0.48	0.57

注: A1~A6. 长鳍篮子鱼不同体长组, B1~B6. 云斑海猪鱼不同体长组; NR.  $\delta^{15}\text{N}$  变幅, CR.  $\delta^{13}\text{C}$  变幅, TA. 凸多边形总面积, SEAc. 矫正后的标准椭圆面积, CD. 平均离心距离, MNND. 平均最邻近距离, SDNND. 平均最邻近距离标准差; 下同。

Notes: A1-A6. different body length groups of *S. canaliculatus*, B1-B6. different body length groups of *H. nigrescens*; NR.  $\delta^{15}\text{N}$  range, CR.  $\delta^{13}\text{C}$  range, TA. total area, SEAc. standard ellipse area corrected, CD. mean distance to centroid, MNND. mean nearest neighbor distance, SDNND. standard deviation of nearest neighbor distance; the same below.

本研究中涉及到的统计分析均采用 IBM SPSS Statistics 20 软件进行, 利用 Excel 2019, surfer 12 和 R 4.1.2 软件进行作图。长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的营养结构指标运用 R 语言中的 SIBER、siar 等数据包计算。两个种群的  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  值采用单因素分析法进行差异分析, 显著性水平为 0.05, 极显著性水平为 0.01。两个种群的碳氮稳定同位素值与其体长、体重之间的相关关系使用 Pearson 相关分析检验。聚类分析是基于  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{15}\text{N}$  值和标准化的欧氏距离, 使用 Primer 5 软件进行作图。

## 2 结果

### 2.1 长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的稳定同位素及其营养级特征

单因素方差分析结果显示, 长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的 C、N 稳定同位素均存在极显著差

异 ( $P < 0.01$ )。长鳍篮子鱼的  $\delta^{15}\text{N}$  值为 9.15‰~14.09‰, 均值及标准差为 11.66‰±1.09‰,  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -19.87‰~-14.54‰, 均值及标准差为 -17.20‰±0.90‰, 营养级位于 2.31~3.76, 平均营养级为 3.05。云斑海猪鱼的  $\delta^{15}\text{N}$  值为 10.34‰~14.60‰, 均值及标准差为 12.51‰±0.93‰,  $\delta^{13}\text{C}$  值为 -18.16‰~-15.60‰, 均值及标准差为 -16.57‰±0.56‰, 营养级位于 2.66~3.91, 平均营养级为 3.30。

长鳍篮子鱼的  $\delta^{13}\text{C}$  值和  $\delta^{15}\text{N}$  值普遍低于云斑海猪鱼, 按体长分组, 发现长鳍篮子鱼体长较大个体和云斑海猪鱼体长较大个体之间稳定同位素比值接近, 而长鳍篮子鱼体长较小个体稳定同位素比值逐渐变小, 云斑海猪鱼体长较大个体稳定同位素比值逐渐变大(表 1)。不同体长组的碳、氮稳定同位素特征见图 2, 长鳍篮子鱼 6 个体长组中,  $\delta^{13}\text{C}$  值最低为 90~100 mm 体长组, 为 -17.73‰, 最高为 120~150 mm 体长

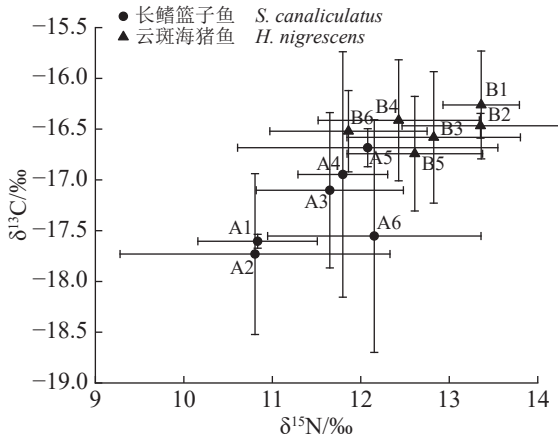


图2 长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼不同体长组 δ<sup>13</sup>C 和 δ<sup>15</sup>N 值特征

A1~A6. 长鳍篮子鱼, B1~B6. 云斑海猪鱼; 下同。

Fig. 2 Characteristics of δ<sup>13</sup>C and δ<sup>15</sup>N values in different body length groups of *S. canaliculatus* and *H. nigrescens*

A1-A6. *S. canaliculatus*, B1-B6. *H. nigrescens*; the same below.

组, 为-16.68‰; δ<sup>15</sup>N 值最低为 90~100 mm 体长组, 为 10.80‰, 最高为 150~220 mm 体长组, 为 12.15‰。云斑海猪鱼 6 个体长组中, δ<sup>13</sup>C 值最低为 120~130 mm 体长组, 为-16.74‰, 最高为 70~90 mm 体长组, 为-16.26‰; δ<sup>15</sup>N 值最低为 130~150 mm 体长组, 为 11.86‰, 最高为 70~90 mm 体长组, 为 13.36‰。长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的 6 个体长组之间区分明显, 尤其是体长小于 100 mm 的个体和大于 100 mm 的个体。

基于 δ<sup>13</sup>C 和 δ<sup>15</sup>N 值和标准化的欧氏距离, 对两种鱼不同体长组进行聚类分析, 结果显示, 长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼结果相似, 均可分为两大组, 包括小体长个体组 (≤100 mm) 和大体

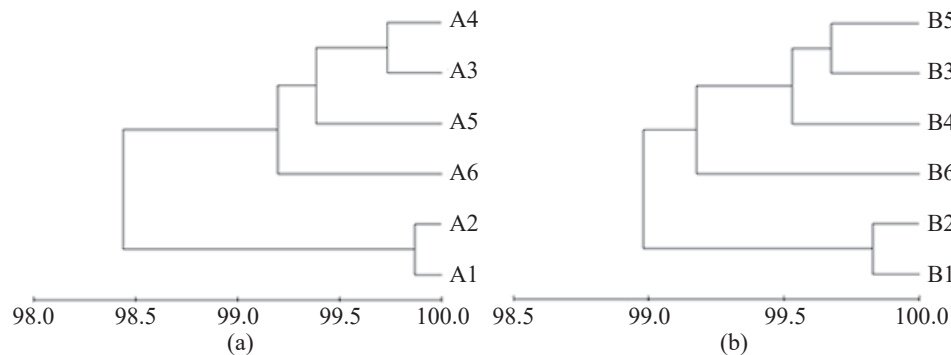


图3 长鳍篮子鱼 (a) 和云斑海猪鱼 (b) 不同体长组 δ<sup>13</sup>C、δ<sup>15</sup>N 值的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of δ<sup>13</sup>C, δ<sup>15</sup>N values in different body length groups of *S. canaliculatus* (a) and *H. nigrescens* (b)

长个体组 (>100 mm)(图 3)。

### 2.2 长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的营养生态位分析

长鳍篮子鱼与云斑海猪鱼存在营养生态位重叠(图 4), 表明 2 个种群在食物资源利用呈现竞争。长鳍篮子鱼的营养生态位宽幅 SEAc(3.15) 比云斑海猪鱼 (1.67) 大, 重叠面积为 0.74, 重叠面积所占比例长鳍篮子鱼 (23.55%) 较云斑海猪鱼 (44.34%) 低, 表明万山群岛海域长鳍篮子鱼对食物资源的利用及竞争能力更强。

长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼之间的竞争关系主要出现在长鳍篮子鱼体长较大的个体阶段。结果显示, 随着体长增长, 长鳍篮子鱼与云斑海猪鱼呈现越来越大的竞争关系(表 2)。

长鳍篮子鱼拥有比云斑海猪鱼更强大的食物资源竞争能力, 占据更宽的营养生态位空间, 而云斑海猪鱼比长鳍篮子鱼的营养冗余度更高, 营养生态位分布更均匀。长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的 δ<sup>13</sup>C 变幅 CR 相近, 分别为 4.94 和 4.26, δ<sup>15</sup>N 变幅 NR 差距较大, 长鳍篮子鱼为 5.32, 云斑海猪鱼为 2.56(表 3), 表明长鳍篮子鱼占据的营养级长度较长。长鳍篮子鱼的营养生态位总面积 TA(16.73) 和平均离心距离 CD(1.20) 均大于云斑海猪鱼的 TA(7.83) 和 CD(0.97), 表明长鳍篮子鱼的食物来源较广泛, 营养结构多样性更高。长鳍篮子鱼的平均最邻近距离 MNND 和平均最邻近距离标准差 SDNND 均为 0.35, 而云斑海猪鱼 MNND 和 SDNND 均为 0.19。

### 2.3 δ<sup>13</sup>C、δ<sup>15</sup>N 值与体长的相关性分析

Pearson 相关性分析表明, 长鳍篮子鱼的 δ<sup>15</sup>N 值随体长的增长而显著上升 (r=0.291 2, P=0.040 2)(图 5-a), 而云斑海猪鱼则与体长呈

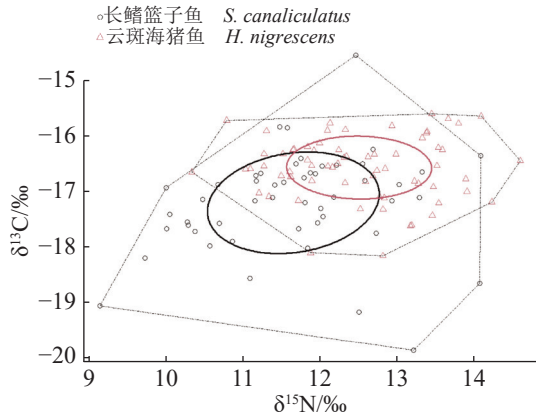


图 4 万山群岛长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的营养结构  
Fig. 4 Nutritional structure of *S. canaliculatus* and *H. nigrescens* in Wanshan Islands

显著负相关 ( $r=-0.4044$ ,  $P=0.0007$ ) (图 5-b)。两种鱼类  $\delta^{13}C$  值与其体长均不存在相关关系 ( $P>0.05$ ) (图 5-c~d)。

### 2.4 体长组的营养生态位分析

6 个体长组的长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼分组信息及营养结构参数值见表 1, 不同体长组营养生态位重叠面积比率见表 4、表 5。长鳍篮子鱼 110~120 mm 组  $\delta^{15}N$  变幅 NR 最大, 表明该个体阶段营养层次丰富, 90~100 mm 组  $\delta^{13}C$  变幅 CR 最大, 表明该个体阶段摄食的饵料来源丰富。100~110 mm 组和 120~150 mm 组的平均最邻近距离 MNND 和平均最邻近距离标准差 SDNND 均处于较低水平, 表明该两组个体

阶段的营养冗余度较高。90~100 mm 组和 150~220 mm 组的长鳍篮子鱼占据的营养生态位宽幅 SEAc 较大, 分别为 5.251 和 5.480, 60~90 mm 组的 SEAc 最小为 0.27, 150~220 mm 组营养生态位宽幅较大的原因, 推测是由于该分组内体长跨度较大引起, 因此研究主要关注 90~100 mm 体长组。6 个体长组中, 除了 60~90 mm 组和 120~150 mm 组之间没有重叠外, 其余组均互相重叠。60~90 mm 组完全包含于 90~100 mm 组, 100~110 mm 组完全包含于 150~220 mm 组, 证明该两组个体阶段竞争关系激烈, 且 60~90 mm 组和 100~110 mm 组是受影响较大的个体阶段, 90~100 mm 组和 150~220 mm 组的竞争压力较小。另外 90~100 mm 组与 100~110 mm 组之间的营养生态位重叠面积占 100~110 mm 组营养生态位宽幅比较大, 为 78.98%, 其次是 110~120 mm 组和 150~220 mm 组的营养生态位重叠面积占 110~120 mm 组营养生态位宽幅的比例, 为 76.85%。

云斑海猪鱼 100~120 mm 组  $\delta^{15}N$  变幅 NR 最大, 表明该个体阶段占据的营养层次较丰富, 130~150 mm 组  $\delta^{13}C$  变幅 CR 最大, 表明该个体阶段的食物来源较丰富。120~130 mm 组的平均最邻近距离 MNND 和平均最邻近距离标准差 SDNND 最低, 证明该个体阶段的营养冗余度最高。100~110 mm 组占据的营养生态位宽幅 SEAc 最大为 3.83, 70~90 mm 组最小为 0.83。6 个体长组之间均出现营养生态位重叠, 其

表 2 云斑海猪鱼与不同体长长鳍篮子鱼的营养生态位特征及重叠面积比率

Tab. 2 Trophic niche characteristics and overlapping area ratios of *H. nigrescens* and *S. canaliculatus* with different body length groups

重叠指标 overlapping index	云斑海猪鱼 <i>H. nigrescens</i>	长鳍篮子鱼 <i>S. canaliculatus</i>					
		A1	A2	A3	A4	A5	A6
校正后的标准椭圆面积 SEAc	1.675	0.273	5.251	2.174	2.124	0.570	5.483
重叠面积比率(占云斑海猪鱼)% overlapping area ratios ( <i>H. nigrescens</i> )		0.00	32.16	32.79	38.07	19.29	54.70
重叠面积比率(占各体长组)% overlapping area ratios ( <i>S. canaliculatus</i> with different body length groups)		0.00	10.25	25.25	30.02	56.61	16.71

表 3 长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼稳定同位素营养结构参数值

Tab. 3 Stable isotope nutrient structure parameters of *S. canaliculatus* and *H. nigrescens*

营养生态位结构指标 trophic niche structure index	NR	CR	TA	SEAc	CD	MNND	SDNND
长鳍篮子鱼 <i>S. canaliculatus</i>	5.32	4.94	16.73	3.15	1.20	0.35	0.35
云斑海猪鱼 <i>H. nigrescens</i>	2.56	4.26	7.83	1.67	0.97	0.19	0.19

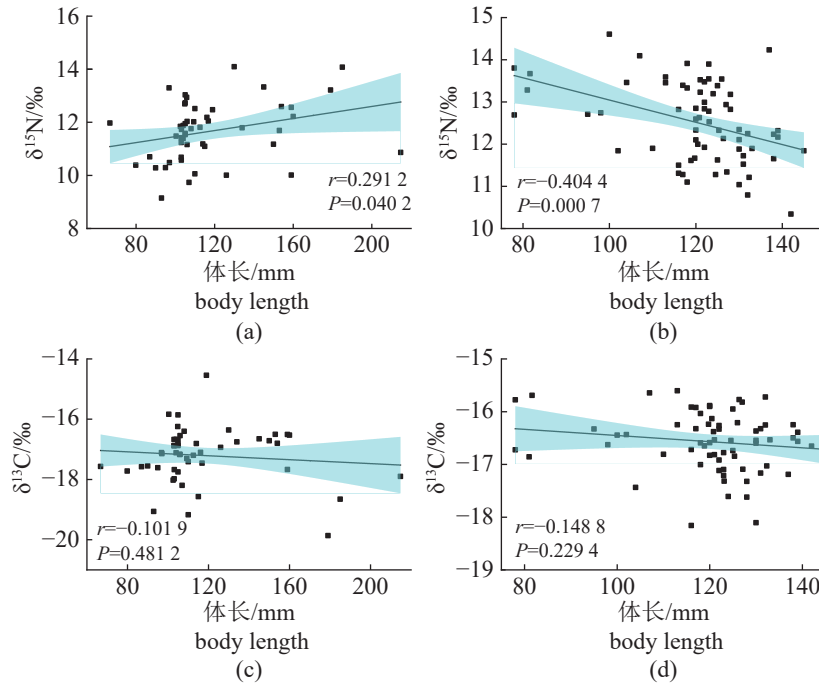


图 5 长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼的  $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$  值与体长的相关性

(a) 长鳍篮子鱼的  $\delta^{15}\text{N}$  值与体长的相关性; (b) 云斑海猪鱼的  $\delta^{15}\text{N}$  值与体长的相关性; (c) 长鳍篮子鱼的  $\delta^{13}\text{C}$  值与体长的相关性; (d) 云斑海猪鱼的  $\delta^{13}\text{C}$  值与体长的相关性;  $P < 0.05$ , 表示相关性显著,  $P < 0.01$ , 表示相关性极显著。

Fig. 5 Correlation between  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  values and body length of *S. canaliculatus* and *H. nigrescens*

(a) correlation between  $\delta^{15}\text{N}$  values and body length of *S. canaliculatus*; (b) correlation between  $\delta^{15}\text{N}$  values and body length of *H. nigrescens*; (c) correlation between  $\delta^{13}\text{C}$  values and body length of *S. canaliculatus*; (d) correlation between  $\delta^{13}\text{C}$  values and body length of *H. nigrescens*;  $P < 0.05$ , indicating significant correlation,  $P < 0.01$ , indicating extremely significant correlation.

表 4 长鳍篮子鱼各体长组同位素生态位重叠面积比率

Tab. 4 Ratio of isotopic niche overlapping area of each body length group of *S. scanaliculatus*

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
A1	<u>0.273</u>	99.99%	44.45%	26.03%	0.00%	48.72%
A2	5.19%	<u>5.251</u>	32.70%	23.79%	3.56%	46.02%
A3	5.58%	78.98%	<u>2.174</u>	60.17%	12.75%	99.99%
A4	3.34%	58.81%	61.59%	<u>2.124</u>	8.25%	76.85%
A5	0.00%	32.74%	48.60%	30.70%	<u>0.570</u>	61.27%
A6	2.42%	44.08%	39.65%	29.77%	6.37%	<u>5.483</u>

注: 下划线表示该体长组标准椭圆(SEAc)的面积, 右上角矩阵和左下角矩阵均表示两个体长组标准椭圆重叠面积占左列体长组标准椭圆面积的百分比, 下同。

Notes: The underline represents the area of the body length group standard ellipse (SEAc), both the upper right and lower left matrices represent the percentage of the overlapping area of the two body length group standard ellipses in the left column standard ellipse, the same below.

表 5 云斑海猪鱼各体长组同位素生态位重叠面积比率

Tab. 5 Ratio of isotopic niche overlapping area of each body length group of *H. nigrescens*

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
B1	<u>0.834</u>	33.59%	89.67%	44.66%	35.80%	0.79%
B2	27.62%	<u>1.015</u>	82.81%	51.19%	46.13%	23.32%
B3	19.54%	21.95%	<u>3.827</u>	45.65%	38.28%	21.54%
B4	19.13%	26.67%	89.70%	<u>1.948</u>	54.65%	44.57%
B5	20.39%	31.95%	99.99%	72.66%	<u>1.465</u>	38.22%
B6	0.54%	19.42%	67.65%	71.23%	45.94%	<u>1.219</u>

中 120~130 mm 组完全包含于 100~110 mm 组, 除此之外, 100~110 mm 组与 110~120 mm 组之间的营养生态位重叠面积占 110~120 mm 组营养生态位宽幅比较大, 为 89.70%, 其次是 70~90 mm 组与 100~110 mm 组之间的营养生态位重叠面积占 70~90 mm 组营养生态位宽幅比例, 为 89.67%。

### 3 讨论

#### 3.1 碳、氮稳定同位素及营养级分析

碳稳定同位素物理化学性质稳定, 在食物网中富集程度较低 (<1‰), 可反映生物长期生命活动的结果, 常被用于示踪和区分食物来源<sup>[19-20]</sup>。长鳍篮子鱼与云斑海猪鱼的  $\delta^{13}\text{C}$  值接近, 表明它们的初级碳源来源相似<sup>[21]</sup>。氮稳定同位素富集度较高且稳定 (2‰~4‰), 可作为判断生物营养位置的指标, 能够准确量化评估生物的营养级<sup>[19, 22]</sup>。本研究中长鳍篮子鱼的营养级为 3.05, 与 Fishbase (<https://www.fishbase.se/search.php>) 网站中查询得到的营养级 (2.80) 相近。曾艳艺等<sup>[23]</sup> 将营养级为 2.4~2.9 的珠江口渔业生物定义为杂食性鱼类, 与赵峰等<sup>[24]</sup> 将长鳍篮子鱼定义为以植食性为主的杂食性鱼类结果一致。肠道功能分析表明, 长鳍篮子鱼是以大型海藻和海草为主的草食性鱼类<sup>[25-27]</sup>, 而胃含物分析表明, 长鳍篮子鱼也摄食多毛类、虾类、双壳类等底栖无脊椎动物<sup>[28-29]</sup>, 这一结果表明长鳍篮子鱼具杂食性特征。云斑海猪鱼的营养级为 3.30, 云斑海猪鱼强大的咽颌结构使其可以摄食相当数量的螃蟹等甲壳类硬体猎物<sup>[30-31]</sup>, 属于低级肉食性鱼类<sup>[23]</sup>。胃含物分析表明主要以小型底栖生物为食, 包括有壳无脊椎动物、甲壳类动物和蠕虫等<sup>[32]</sup>。Espadero 等<sup>[33]</sup> 研究同样表明海猪鱼以潮间带海草床的无脊椎动物为食, 底栖动物是主要食物来源; 另有研究显示海猪鱼类会以小型鱼类和鱼卵为食, 是典型的机会主义捕食者<sup>[31]</sup>, 这些研究均进一步支持了本研究结果。

#### 3.2 营养生态位结构分析

营养生态位宽度反映了鱼类对饵料资源的利用程度, 可以量化两个物种在空间资源以及饵料摄取方面的重叠程度, 重叠则代表存在一

定的饵料竞争现象<sup>[18, 34]</sup>。长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼生态位存在明显的竞争, 胃含物分析也证实了这一结果, 长鳍篮子鱼摄食底栖无脊椎动物<sup>[29]</sup>, 与云斑海猪鱼存在食物竞争。长鳍篮子鱼的营养生态位宽幅大于云斑海猪鱼, 这表明在生态系统的资源利用能力方面, 长鳍篮子鱼较云斑海猪鱼更有优势。长鳍篮子鱼是以摄食植物为主的杂食性鱼类<sup>[24]</sup>, 除了与云斑海猪鱼竞争多毛类、蠕虫、甲壳类等底栖生物饵料, 其主要食物来源还有绿藻、褐藻、海藻等<sup>[28-29]</sup>。其体型侧扁, 有利于在珊瑚礁中穿梭游动与摄食<sup>[24]</sup>, 且具有争抢食物的习性<sup>[35]</sup>, 因此可利用的营养物质多于云斑海猪鱼。

长鳍篮子鱼的 NR 值 (5.32) 高于云斑海猪鱼的 NR 值 (2.56), 推测是因为长鳍篮子鱼在生长发育过程中食性由植食性向杂食性发生转变, 幼鱼与成鱼食性存在差异<sup>[36]</sup>, 导致其所占据的营养级跨度较大, 而云斑海猪鱼在生长发育过程中可能偏爱某一种饵料, 喜爱栖息在特定的基质上觅食<sup>[31]</sup>, 因此营养位置差异不大。

#### 3.3 生态位与鱼类体长的关系

个体大小是鱼类种群营养生态位分化的重要驱动因子<sup>[37]</sup>。随着鱼类的个体发育, 体长增长, 捕食能力增强, 摄食饵料生物的种类以及饵料个体大小也会随之改变, 这是鱼类生长繁殖和栖息过程中不可或缺的适应性变化过程<sup>[38-39]</sup>。长鳍篮子鱼随体长增长饵料摄食逐渐转向更高营养级的生物, 这与六丝钝尾虾虎鱼 (*Amblychaeturichthys hexanema*)<sup>[40]</sup>, 纺锤鲷 (*Elagatis bipinnulata*)<sup>[41]</sup>, 大头狗母鱼 (*Trachinocephalus myops*)<sup>[42]</sup>, 小眼绿鳍鱼 (*Chelidonichthys spinosus*)<sup>[43]</sup> 等研究结果相似。体长、口裂等也会影响鱼类摄食, 从而导致营养生态位分化<sup>[37, 44]</sup>。鱼类的体长越大, 口器发育越完全, 臼齿可更轻易地将食物压碎, 因此会更倾向于摄食更高级的饵料生物<sup>[45-46]</sup>。90~100 mm 组的营养生态位宽幅较大, 推测可能是在该体长长鳍篮子鱼处于食性转变阶段, 从而导致营养生态位宽幅变大。通过 Fishbase 网站可知长鳍篮子鱼初次性成熟体长约为 99.08 mm, 由此判断在该个体阶段其食性转变可能与性成熟有关。性成熟阶段食性转变在鱼类中非常普遍, 北部湾带鱼 (*Trichiurus lepturus*) 在 50% 性成熟肛长



(190 mm) 附近出现食性转换现象<sup>[47]</sup>; 鸢乌贼 (*Sthenoethis oualaniensis*) 随个体的发育成熟, 尤其是在初次性成熟之后, 会逐渐以鱼类和头足类为主要饵料<sup>[48]</sup>; 体长 109 mm 是小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 发生食性转变的临界体长, 它会从浮游动物食性转变为混合动物食性<sup>[49]</sup>。

云斑海猪鱼的  $\delta^{15}\text{N}$  值随其体长增加而显著下降, 这可能是由于其摄食对象从高同位素值生物转向低同位素值生物或摄食对象逐渐多样的原因<sup>[50]</sup>。已有研究同样表明小口黑鲈 (*Micropterus dolomieu*)<sup>[51]</sup>、湖红点鲑 (*Salvelinus namaycush*)<sup>[52]</sup>、蓝圆鲈 (*Decapterus maruadsi*)<sup>[53]</sup> 等物种的  $\delta^{15}\text{N}$  值与体长之间同样呈负相关关系。二长棘犁齿鲷 (*Eynniss cardinalis*) 的  $\delta^{15}\text{N}$  值在体长超过 130 mm 后便逐渐呈下降趋势, 这主要是由于二长棘犁齿鲷在不同时期其饵料组成存在差异<sup>[5]</sup>; 蓝圆鲈其摄食习性逐渐从桡足类转变为鱼类再变为虾类,  $\delta^{15}\text{N}$  值在 100 mm 体长附近达到最大<sup>[53]</sup>。云斑海猪鱼在 100~110 mm 体长范围营养生态位宽幅最高, 可能是在该体长阶段出现食性转变。云斑海猪鱼是一种性逆转鱼类<sup>[54]</sup>, 本研究根据 Logistic 体长生长曲线<sup>[55]</sup> 计算其性逆转体长为 109.11 mm, 刚好与最大营养生态位所处的体长阶段相符。鱼类性逆转后食性会发生明显转变, 黄鳢 (*Monopterus albus*) 是一种典型的性逆转鱼类, 当其体长小于 43 mm (雌性) 时主要以轮虫、桡足类、小型枝角类等小型浮游动物为食, 而体长超过 43 mm (雄性) 后则主要以大型的水生寡毛类、摇蚊幼虫等为主<sup>[56-57]</sup>。黑棘鲷 (*Acanthopagrus schlegelii*) 的食性随体长增长从虾类贝类逐渐转变为藤壶鱼类, 且在 251~300 mm 体长间达到最大生态位宽度<sup>[39]</sup>。云斑海猪鱼在性逆转后食性转变, 还与摄食器官发育、游泳能力、繁殖等多种因素都有关<sup>[58]</sup>。

#### 4 结论

本研究利用稳定同位素技术分析了 2021 年秋季万山群岛长鳍篮子鱼和云斑海猪鱼营养生态位特征, 结果显示二者之间存在营养生态位的重叠现象, 且长鳍篮子鱼的营养可塑性较高。长鳍篮子鱼是以草食性为主的杂食性鱼类, 除大型海藻、海草外, 也会偶尔摄食小型底栖无

脊椎生物, 而云斑海猪鱼是以底栖生物为主的杂食性鱼类, 因此二者在资源利用方面存在一定的竞争关系。本实验为万山群岛整体食物网营养结构和物质循环过程等研究提供重要数据参考, 对种群的保护和合理利用, 生态容量的评估具有支撑作用。

#### 参考文献 (References):

- [1] 唐广隆, 刘永, 吴鹏, 等. 珠江口万山群岛海域春季渔业资源群落结构特征及其与环境因子的关系 [J]. 中国水产科学, 2022, 29(8): 1198-1209.  
Tang G L, Liu Y, Wu P, et al. Community structure of fishery resources and its relationship to environmental factors in the Wanshan Islands Sea of the Pearl River Estuary in spring[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(8): 1198-1209 (in Chinese).
- [2] 张邦杰, 梁仁杰, 毛大宁, 等. 黄斑蓝子鱼的池塘驯养及有关生物学初探 [J]. 现代渔业信息, 1999, 14(4): 11-16.  
Zhang B J, Liang R J, Mao D N, et al. Primary study on culture of rabbitfish *Siganus oramin* (Bloch et Schneider) in pond and its biology[J]. Modern Fisheries Information, 1999, 14(4): 11-16 (in Chinese).
- [3] 苗中博, 王思凯, 彭彪彪, 等. 长江口盐沼湿地鱼类群落优势的时空生态位特征 [J]. 中国水产科学, 2020, 27(10): 1210-1221.  
Miao Z B, Wang S K, Peng B B, et al. Characteristics of spatial and temporal ecological niches of the dominant species of fish assemblages in the saltmarsh wetlands of the Yangtze Estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(10): 1210-1221 (in Chinese).
- [4] 殷宝法, 淮虎银, 张懿铨, 等. 可可西里地区藏羚羊、藏原羚和藏野驴的营养生态位 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 766-770.  
Yin B F, Huai H Y, Zhang Y L, et al. Trophic niches of *Pantholops hodgsoni*, *Procapra picticaudata* and *Equus kiang* in Kekexili region[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(4): 766-770 (in Chinese).
- [5] 张宇美, 代春桃, 颜云榕, 等. 北部湾二长棘犁齿鲷摄食习性和营养级 [J]. 水产学报, 2014, 38(2): 265-273.  
Zhang Y M, Dai C T, Yan Y R, et al. Feeding habits and trophic level of crimson sea bream, (*Parargyrops edita* Tanaka) in the Beibu Gulf[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(2): 265-273 (in Chinese).

- [6] 从婷婷. 崇明岛内河鱼类群落物种多样性及食性研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2021.  
Cong T T. Species diversity and feeding habits of fish communities in the rivers of chongming[D]. Shanghai: East China Normal University, 2021 (in Chinese).
- [7] 颜云榕, 卢伙胜, 金显仕. 海洋鱼类摄食生态与食物网研究进展 [J]. 水产学报, 2011, 35(1): 145-153.  
Yan Y R, Lu H S, Jin X S. Marine fish feeding ecology and food web: progress and perspectives[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(1): 145-153 (in Chinese).
- [8] 徐军. 应用碳、氮稳定性同位素探讨淡水湖泊的食物网结构和营养级关系 [D]. 武汉: 中国科学院研究生院(水生生物研究所), 2005.  
Xu J. Ecological studies on the food web structures and trophic relationships of freshwater lakes in China using stable carbon and nitrogen isotopes[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2005 (in Chinese).
- [9] 石焱, 何雄波, 李军, 等. 基于稳定同位素方法的闽江口常见鱼类群落营养结构的季节性变化 [J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3457-3463.  
Shi Y, He X B, Li J, et al. Seasonal variation in trophic structure of fish community in Minjiang Estuary based on stable isotope technique[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(10): 3457-3463 (in Chinese).
- [10] 何雄波, 李波, 王锦溪, 等. 不同时期北部湾日本带鱼营养生态位差异 [J]. 应用生态学报, 2021, 32(2): 683-690.  
He X B, Li B, Wang J X, et al. Changes in the trophic niche of *Trichiurus japonicus* in the Beibu Gulf in different periods[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(2): 683-690 (in Chinese).
- [11] 李云凯, 高小迪, 王琳禹, 等. 东太平洋中部中上层鲨鱼群落营养生态位分化 [J]. 应用生态学报, 2018, 29(1): 309-313.  
Li Y K, Gao X D, Wang L Y, et al. Trophic niche partitioning of pelagic sharks in central eastern Pacific inferred from stable isotope analysis[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2018, 29(1): 309-313 (in Chinese).
- [12] Pensinger L G, Polito M J, Midway S R. Ontogenetic stability in the trophic niche of a common Gulf of Mexico fish, *Ariopsis felis*[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2021, 104(5): 569-579.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范 第6部分, 海洋生物调查: GB/T 12763.6—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Specifications for oceanographic survey, Part 6: marine biological survey: GB/T 12763.6-2007 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese).
- [14] Post D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions[J]. *Ecology*, 2002, 83(3): 703-718.
- [15] Layman C A, Arrington D A, Montaña C G, et al. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure?[J]. *Ecology*, 2007, 88(1): 42-48.
- [16] 张欢, 谢平, 吴功果, 等. 日本沼虾与秀丽白虾的营养生态位 [J]. 环境科学研究, 2013, 26(1): 22-26.  
Zhang H, Xie P, Wu G G, et al. Studies on trophic niches of *Macrobrachium nipponensis* and *Exopalaemon modestus*[J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(1): 22-26 (in Chinese).
- [17] 李云凯, 陈子昂, 贡艺, 等. 海洋动物营养生态位研究方法及其应用 [J]. 热带海洋学报, 2021, 40(4): 143-156.  
Li Y K, Chen Z A, Gong Y, et al. A review on the methods used in trophic niche studies of marine animals and their applications[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2021, 40(4): 143-156 (in Chinese).
- [18] 银利强, 孔业富, 吴忠鑫, 等. 南海中西部海域春季三种金枪鱼类的营养生态位比较 [J]. 生态学杂志, 2020, 39(12): 4121-4130.  
Yin L Q, Kong Y F, Wu Z X, et al. Trophic niche comparison among three tuna species caught from central and western South China Sea in spring[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(12): 4121-4130 (in Chinese).
- [19] Park H J, Kwak J H, Lee Y J, et al. Trophic structures of two contrasting estuarine ecosystems with and without a dike on the temperate coast of Korea as determined by stable isotopes[J]. *Estuaries and Coasts*, 2020, 43(3): 560-577.
- [20] 高全贺, 高孟春, 彭艳超, 等. 稳定碳同位素在海洋生态学上的应用 [J]. 中国新技术新产品, 2010(4): 14.  
Gao Q H, Gao M C, Peng Y C, et al. Application of stable carbon isotope in marine ecology[J]. *China New Technologies and Products*, 2010(4): 14 (in Chinese).
- [21] 王萃, 杜双成, 杨婷越, 等. 应用稳定同位素技术评价大连近岸海域食物网营养结构 [J]. 生态学杂志, 2017, 36(5): 1452-1457.

- Wang L, Du S C, Yang T Y, *et al.* Using stable isotopes to evaluate food web structure in Dalian coastal water[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(5): 1452-1457 (in Chinese).
- [22] Amezcua F, Muro-Torres V, Soto-Jiménez M F. Stable isotope analysis versus TROPH: a comparison of methods for estimating fish trophic positions in a subtropical estuarine system[J]. *Aquatic Ecology*, 2015, 49(2): 235-250.
- [23] 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.
- Zeng Y Y, Lai Z N, Yang W L, *et al.* Trophic spectrum of fishery species from the Pearl River Estuary by stable isotope analysis[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(1): 194-202 (in Chinese).
- [24] 赵峰, 章龙珍, 庄平, 等. 长鳍篮子鱼的外形特征与消化系统结构 [J]. *海洋渔业*, 2008, 30(3): 202-206.
- Zhao F, Zhang L Z, Zhuang P, *et al.* Configurational character and morphological structure of digestive system of *Siganus canaliculatus*[J]. *Marine Fisheries*, 2008, 30(3): 202-206 (in Chinese).
- [25] Von Westernhagen H. Food preferences in cultured rabbitfishes (Siganidae)[J]. *Aquaculture*, 1974, 3(2): 109-117.
- [26] Bryan P G. Food habits, functional digestive morphology, and assimilation efficiency of the rabbitfish *Siganus spinus* (Pisces, Siganidae) on guam[J]. *Pacific Science*, 1975, 29(3): 269-277.
- [27] Lundberg B, Lipkin Y. Natural food of the herbivorous rabbitfish (*Siganus* spp. ) in northern Red Sea[J]. *Botanica Marina*, 1979, 22(3): 173-181.
- [28] Al-Marzouqi A, Al-Nahdi A, Jayabalan N, *et al.* Stomach content analysis and length-weight relationship of the white-spotted rabbitfish *Siganus canaliculatus* (Park, 1797) from the Arabian Sea coast of Oman[J]. *Journal of the Marine Biological Association of India*, 2009, 51(2): 211-216.
- [29] Metar S Y, Sadawarte V R, Nirmale V H, *et al.* Studies on gut content of rabbit fish, *Siganus canaliculatus* (Park, 1797) along the Ratnagiri coast of Maharashtra[J]. *Journal of Experimental Zoology, India*, 2020, 23(S1): 737-740.
- [30] Yamaoka K. Pharyngeal jaw structure in Labrid fish[J]. *Publications of the Seto Marine Biological Laboratory*, 1978, 24(4-6): 409-426.
- [31] de Lucena M B, Cordeiro C A M M, Valentin J L, *et al.* Puddingwife wrasse: an important trophic link of an isolated oceanic island in Brazil[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2022, 105(5): 561-573.
- [32] Martha K, Jones M. Behavioural overlap in six caribbean labrid species: intra- and interspecific similarities[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2002, 65(1): 71-81.
- [33] Espadero A D A, Nakamura Y, Uy W H, *et al.* Tropical intertidal seagrass beds as fish habitat: similarities between fish assemblages of intertidal and subtidal seagrass beds in the Philippines[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2021, 251: 107245.
- [34] Hurlbert S H. The measurement of niche overlap and some relatives[J]. *Ecology*, 1978, 59(1): 67-77.
- [35] 冯广朋, 章龙珍, 庄平, 等. 海水网箱养殖长鳍篮子鱼的摄食与生长特性 [J]. *海洋渔业*, 2008, 30(1): 37-42.
- Feng G P, Zhang L Z, Zhuang P, *et al.* Feeding habit and growth characteristics of *Siganus canaliculatus* cultured in sea net cage[J]. *Marine Fisheries*, 2008, 30(1): 37-42 (in Chinese).
- [36] Von Westernhagen H. The natural food of the rabbitfish *Siganus oramin* and *S. striolata*[J]. *Marine Biology*, 1973, 22(4): 367-370.
- [37] 姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 等. 基于碳、氮稳定同位素技术研究象山港虾虎鱼类营养生态位 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(6): 1579-1585.
- Jiang Y Z, Lin N, Yuan X W, *et al.* Trophic niches of nine gobiid fishes in Xiangshan Bay determined by carbon and nitrogen stable isotope analysis[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(6): 1579-1585 (in Chinese).
- [38] 殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- Yin M C. Fish ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese).
- [39] 郭家彤, 王腾, 陈得仿, 等. 大亚湾黑棘鲷的摄食习性 [J]. *中国水产科学*, 2021, 28(8): 1041-1050.
- Guo J T, Wang T, Chen D F, *et al.* Feeding habits of *Acanthopagrus schlegeli* in the Daya Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(8): 1041-1050 (in Chinese).
- [40] 韩东燕. 胶州湾主要虾虎鱼类摄食生态的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- Han D Y. Study on feeding ecology of dominate gobiid fishes in Jiaozhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [41] Wang S Q, Wang X F, Xu L X, *et al.* Feeding habits and trophic niche of rainbow runner *Elagatis bipinnulata* in the western and central Pacific Ocean[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2022, 105(1): 139-149.
- [42] 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*, 2009, 31(3): 167-174.
- Lu H S, Ou F, Yan Y R, *et al.* Study on trophic level of main fishes in the Leizhou Bay with stable nitrogen isotope techniques[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2009, 31(3): 167-174 (in Chinese).
- [43] 李振华, 徐开达, 蒋日进, 等. 东海中北部小眼绿鳍鱼的食物组成及摄食习性的体长变化[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(1): 185-193.
- Li Z H, Xu K D, Jiang R J, *et al.* Diet composition and feeding habits variation with body length of *Chelidonichthys spinosus* in central and northern East China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(1): 185-193 (in Chinese).
- [44] Mcskill S, Paxton S, Geist S J. Trophic niche partitioning of three larval Sciaenidae species in the north-western Gulf of Mexico[J]. *Journal of Plankton Research*, 2022, 44(1): 99-115.
- [45] Chuwen B M. Characteristics of the ichthyofaunas of offshore waters in different types of estuary in western Australia, including the biology of black bream *acanthopagrus butcheri*[J]. *Spiritus A Journal of Christian Spirituality*, 2009, 12(1): 150-152.
- [46] 江世贵, 苏天凤, 夏军红, 等. 中国近海鲷科鱼类种质资源及其利用[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.
- Jiang S G, Su T F, Xia J H, *et al.* Germplasm resources and utilization of cichlid fish in offshore China[M]. Beijing: Ocean Press, 2012 (in Chinese).
- [47] 颜云榕, 陈骏岚, 侯刚, 等. 北部湾带鱼的摄食习性[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(3): 749-755.
- Yan Y R, Chen J L, Hou G, *et al.* Feeding habits of *Trichiurus lepturus* in Beibu Gulf of South China Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(3): 749-755 (in Chinese).
- [48] 张宇美. 基于碳氮稳定同位素的南海鳾乌贼摄食生态与营养级研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.
- Zhang Y M. Feeding habits and trophic level of purpleback flying squid, *Sthenoethis Oualaniensis* based on carbon and nitrogen stable isotope analysis in the South China Sea[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2014 (in Chinese).
- [49] 张波, 金显仕, 戴芳群. 长江口两种重要石首鱼类的摄食习性[J]. *动物学报*, 2008, 54(2): 209-217.
- Zhang B, Jin X S, Dai F Q. Feeding habits of the two sciaenid fishes near the Changjiang Estuary[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2008, 54(2): 209-217 (in Chinese).
- [50] Zhu Y O, Newman S P, Reid W D K, *et al.* Fish stable isotope community structure of a Bahamian coral reef[J]. *Marine Biology*, 2019, 166(12): 160.
- [51] Vander Zanden M J, Hulshof M, Ridgway M S, *et al.* Application of stable isotope techniques to trophic studies of age-0 smallmouth bass[J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1998, 127(5): 729-739.
- [52] Vander Zanden M J, Shuter B J, Lester N P, *et al.* Within- and among-population variation in the trophic position of a pelagic predator, lake trout (*Salvelinus namaycush*)[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2000, 57(4): 725-731.
- [53] 王开立. 利用碳氮稳定同位素研究南海北部带鱼与蓝圆鲹的食性与营养级变化[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
- Wang K L. Spatial dietary niche of *Trichiurus lepturus* and *Decapterus maruadsi* in the northern South China Sea as revealed by carbon and nitrogen stable isotope[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021 (in Chinese).
- [54] Randall J E, Allen G R. Two new Labrid fishes of the genus *Halichoeres* from the east Indies[J]. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 2010, 58(2): 281-289.
- [55] 邵星辰, 姜伟, 张琪, 等. 长江宜昌段鳙的繁殖生物学初步研究[J]. *水生生态学杂志*, 2019, 40(6): 92-98.
- Gao X C, Jiang W, Zhang Q, *et al.* Reproductive biology of *Aristichthys nobilis* in the Yichang reach of Yangtze River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2019, 40(6): 92-98 (in Chinese).
- [56] 杨代勤, 陈芳, 李道霞, 等. 黄鳍食性的初步研究[J]. *水生生物学学报*, 1997, 21(1): 24-30.
- Yang D Q, Chen F, Li D X, *et al.* Preliminary study on the food composition of mud eel, *Monopterus albus*[J]. *Acta Hydrobiologia Sinica*, 1997, 21(1): 24-30 (in Chinese).
- [57] 余艳玲. 黄鳍人工养殖与繁殖要点[J]. *水产养殖*, 2013, 34(11): 1-4.
- Yu Y L. Key points of artificial breeding and reproduction of *Monopterus albus*[J]. *Journal of Aquaculture*, 2013, 34(11): 1-4 (in Chinese).
- [58] 李波. 北部湾日本带鱼 (*Trichiurus japonicus*) 摄食生态比较研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2020.
- Li B. Comparative study in feeding ecology of large head hairtail (*Trichiurus japonicus*) in the Beibu Gulf, northern South China Sea[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2020 (in Chinese).

## Trophic niche characteristics of *Siganus canaliculatus* and *Halichoeres nigrescens* in Wanshan Islands

SHI Juan<sup>1,2</sup>, LI Chunhou<sup>1,2</sup>, WANG Teng<sup>1,2\*</sup>, WANG Chunling<sup>3</sup>, ZHAO Jinfa<sup>1,2</sup>,  
SONG Xiaoyu<sup>1,2</sup>, WU Peng<sup>1,2</sup>, XIAO Yayuan<sup>1,2</sup>, LIN Lin<sup>1,2</sup>, LIU Yong<sup>1,2\*</sup>

1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Observation and Research Station of Pearl River Estuary Ecosystem, Guangdong Province, Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute,

Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Key Laboratory of Efficient Utilization and Processing of Marine Fishery Resources of Hainan Province, Scientific Observation and Research Station of Xisha Island Reef Fishery Ecosystem of Hainan Province, Sanya 572018, China;

3. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China

**Abstract:** *Siganus canaliculatus* and *Halichoeres nigrescens* are the dominant fish in Wanshan Islands. The trophic niche and the competition relationship between the populations were revealed by the carbon and nitrogen stable isotope technology analysis to explore the reasons of the two fish species became the dominant species in Wanshan Islands. The samples in this sea area were collected by three-layer gillnet in the spring (March) and autumn (September) of 2021. Then they were measured by Elementar isoprime visION stable isotope mass spectrometer, and the trophic niche and structure were analyzed. The results showed that the  $\delta^{15}\text{N}$  values ranged from 9.15‰ to 14.09‰ of *S. canaliculatus* and 10.34‰ to 14.60‰ of *H. nigrescens*. The  $\delta^{13}\text{C}$  values ranged from -19.87‰ to -14.54‰ of *S. canaliculatus* and -18.16‰ to -15.60‰ of *H. nigrescens*. The trophic level of *S. canaliculatus* and *H. nigrescens* was 2.97 and 3.23, respectively. The analysis of  $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$  trophic niche structure showed that there was a resource competition between the two populations. The trophic niche breadth and trophic diversity of *S. canaliculatus* were higher than those of *H. nigrescens*, indicating that *S. canaliculatus* had more food sources and stronger ability to compete and use resources. Pearson correlation analysis showed that there was no significant correlation between body length and  $\delta^{13}\text{C}$  of the two populations, but there was a significant correlation between body length and  $\delta^{15}\text{N}$ . There was a significant positive correlation of *S. canaliculatus* and a very significant negative correlation of *H. nigrescens*. The results indicated that the feeding patterns of the two communities changed with ontogeny, and the *S. canaliculatus* tended to be high-trophic diet organisms, while the *H. nigrescens* tended to be low-trophic diet organisms. There was a sharp increase in the trophic niche width of *S. canaliculatus* and *H. nigrescens* in the range of 90-100 mm and 100-110 mm, respectively, which was just near the length of their first sexual maturity or sexual reversal, suggesting that the feeding habits of the two species changed during the period of gonadal development and maturity. This study revealed the trophic niche characteristics of the two dominant species in Wanshan Islands, which can provide important data reference for the study of the trophic structure and material recycling process of the whole food web in Wanshan Islands and support the conservation and rational utilization of the population, and the assessment of ecological capacity.

**Key words:** *Siganus canaliculatus*; *Halichoeres nigrescens*; stable isotopes; competition; coexistence; Pearl River Estuary

**Corresponding authors:** WANG Teng. E-mail: [wt3074589@163.com](mailto:wt3074589@163.com);

LIU Yong. E-mail: [liuyong@scsfri.ac.cn](mailto:liuyong@scsfri.ac.cn)

**Funding projects:** National Key Research and Development Program of China (2019YFD0901204, 2019YFD0901201); Guangdong Basic and Applied Basic Research Fund Project (2019B1515120065); Guangdong Science and Technology Plan Project (2019B121201001); Guangdong Province Basic and Applied Basic Research Major Project (2019B030302004-05); Basic Scientific Research Business Fee Project of Chinese Academy of Fishery Sciences (2020TD16); the Special Fund Project of Basic Scientific Research Business Fee of the Central Public Welfare Scientific Research Institute of South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences (2021SD04, 2019TS28)