

DOI: 10.12264/JFSC2024-0233

长江口刀鲚的营养级与营养生态位

李霞^{1,2}, 冯广朋^{1,2}, 韩志强¹, 赵峰², 张涛², 杨刚², 耿智², 黄晓荣²

1. 浙江海洋大学水产学院, 浙江 舟山 316022;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海长江口渔业资源增殖和生态修复工程技术研究中心, 上海 200090

摘要: 为探究长江口刀鲚(*Coilia nasus*)的营养结构特征, 于 2023 年夏季(8 月)和秋季(11 月)通过底拖网采集 247 尾样本, 应用碳氮稳定同位素分析其营养级与营养生态位。结果表明: 刀鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 11.70‰~16.39‰, 最大差值为 4.69‰, 平均值为 $(13.80 \pm 1.14)\%$, 与体长呈显著正相关($P < 0.05$); $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -33.24‰~-21.15‰, 最大差值为 12.09‰, 平均值为 $(-26.35 \pm 2.60)\%$, 与体长呈显著负相关($P < 0.05$)。根据 $\delta^{15}\text{N}$ 值计算刀鲚的平均营养级为 3.23 ± 0.33 , 与体长呈显著正相关($P < 0.05$); 秋季刀鲚的生态位宽幅大于夏季。稳定同位素分析揭示, 刀鲚的摄食习性在其生长过程中可能发生了变化, 随着刀鲚体长的增加其倾向于摄食更高营养级的饵料生物。研究结果可为阐明长江口刀鲚的摄食特征提供依据, 亦为保护长江口刀鲚资源和解析长江口食物网能量流动提供参考。

关键词: 稳定同位素分析; 刀鲚; 营养级; 生态位

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2025)02-0181-09

刀鲚(*Coilia nasus*), 又称刀鱼, 隶属于鲱形目(Clupeiformes), 鲱科(Engraulidae), 鲱属(*Coilia*)。刀鲚是长江重要的经济物种, 肉质鲜嫩, 素有“长江三鲜”的美称。在我国主要分布于东海、黄海以及长江、钱塘江等江河流域^[1-2]。长江刀鲚通常春季性成熟后从长江口溯江而上进入长江中下游的江、湖中产卵繁殖, 孵化后的幼鱼随江水返海肥育^[3-5]。刀鲚历史上资源十分丰富, 以长江下游的安徽、江苏、上海最为显著, 在 20 世纪 70 年代捕捞汛期可捕获 3545.1 t^[6]。但随着经济的快速发展, 长江水域污染、水利工程修建、航道整治、过度捕捞等人类涉水活动日益频繁, 导致其产卵场遭到严重破坏, 资源衰退明显, 甚至不能出现汛期^[7-8], 到 2005 年长江沿岸刀鲚年均捕捞量降至 127.14 t^[9], 且渔汛比 20 世纪晚 1~2 月, 种群年龄以 1~2 龄为主。长江口为我国第一大河口, 水生生物种类众多, 构成了复杂的食物网, 刀鲚是

长江口食物网的关键种之一。据《长江流域水生生物资源及生境状况公报(2022 年)》显示, 随着长江十年禁渔稳步实施, 长江流域水生生物资源量呈恢复态势, 水生生物多样性水平有所提升^[10]。刀鲚及其饵料生物的资源量得到恢复增长, 刀鲚的摄食可能会发生一定变化, 从而改变其在长江口群落结构中的营养级以及营养生态位, 其营养级和营养生态位的变化可能会对生态系统产生影响。

鱼类通过摄食来获取维持自身生长发育的能量, 分析鱼类摄食习性能够了解鱼类营养级、鱼类群落能量流动关系等^[11]。分析鱼类摄食习性的主要方法包括胃含物分析^[12]、稳定同位素分析^[13]、脂肪酸生物标记^[14]、DNA 条形码^[15]等。传统的胃含物分析方法虽然成本较低, 操作简便, 能够直观反映鱼类摄食情况, 但该方法仅可以提供短时间内的摄食信息, 无法准确判断消化程度过高饵料的贡献程度。相比之下, 稳定同位素分析可通

收稿日期: 2024-07-14; 修订日期: 2024-11-13.

基金项目: 国家重点研发计划课题项目(2022YFF0608204); 江苏省“双创计划”团队项目(JSSCTD202120).

作者简介: 李霞(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源养护与利用. E-mail: anorux@163.com

通信作者: 冯广朋, 研究员, 主要从事水生生物资源养护与开发利用研究. E-mail: coolwindfgp@163.com

过计算饵料营养同化率分析鱼类的长期摄食情况,从而有效弥补胃含物分析结果的不足^[16]。Parry^[17]对 1998 年到 2001 年西北太平洋柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)进行了稳定同位素分析,发现其氮稳定同位素比值随胴长的增加而增加。Zhang 等^[18]对南方夏季普里兹湾南极磷虾(*Euphausia superba*)的食性进行了调查,并利用稳定同位素方法评估了磷虾食性的个体发育变化。杨蕊等^[19]基于浙江南部近海的底拖网渔业调查,利用稳定同位素技术分析该海域前肛鳗(*Dysomma anguillare*)的摄食生态学及其随季节和生长发育的变化情况。王迪等^[20]运用稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 技术分析了伊犁河鱼类的营养级,并对不同支流以及不同摄食功能群鱼类营养级进行比较分析。薛彬等^[21]应用碳、氮稳定同位素技术方法,分析评估了舟山枸杞岛近岸海藻场主要鱼类群落的营养结构特征及其季节变化。

本研究运用稳定同位素的方法对 2023 年夏(8 月)、秋(11 月)两季的长江口刀鲚进行食性分析,探究其稳定同位素比值随季节及体长的变化,以期揭示其摄食营养级与营养生态位,从而为阐明长江口刀鲚的摄食特征提供依据,亦为保护长江口刀鲚资源 and 解析长江口食物网能量流动提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集与处理

刀鲚样品来源于 2023 年夏(8 月)、秋(11 月)两季在长江口附近水域进行的水生生物调查,调查范围为 $31^{\circ}00'\text{N}\sim 31^{\circ}46'\text{N}$, $121^{\circ}08'\text{E}\sim 122^{\circ}14'\text{E}$ 。调查共采集刀鲚 247 尾,测量全长(mm)、体长(mm)和体重(g)等生物学数据。刀鲚体长范围为 75~326 mm,平均值为 186 mm,体重范围为 1.24~129.96 g,平均值为 30.02 g。由于体长的全距(最大体长与最小体长的差值)较分散,为便于分析,以 50 mm 为体长间距,将样品划分为 5 个体长组(T1: <100 mm, T2: 100~150 mm, T3: 150~200 mm, T4: 200~250 mm, T5: >250 mm),每个体长组取 6 尾用于后续实验。

1.2 稳定同位素测定

刀鲚样品取背部白肌,在超纯水下洗净后放

于真空冷冻干燥机中冷冻干燥 24 h 以上,并充分研磨成粉末,使用 Isoprime100 稳定同位素质谱仪进行碳、氮稳定同位素测试与分析。为保证结果的准确性,每测试 10 个样品后插入 1 个标准同位素样品。稳定同位素比值计算公式如下:

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

式中, δX 为碳或氮稳定同位素比值; R_{sample} 为样品重同位素与轻同位素的丰度比值($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$); R_{standard} 为标准美洲拟箭石(VPDB)或纯化大气氮(N_2)同位素比值^[22]。

1.3 数据处理与分析

刀鲚营养级计算公式为:

$$\text{TL} = (\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}) / \Delta\delta^{15}\text{N} + 2$$

式中, TL 为营养级, $\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}}$ 为实验样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 值, $\delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}$ 为基线生物的 $\delta^{15}\text{N}$ 值,本研究选取铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)为基线生物,其 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 9.61‰^[23], $\Delta\delta^{15}\text{N}$ 为营养等级的富集度,营养富集度取 3.4‰^[24]。

对于生态位大小的量化, Layman^[25]提出了基于碳氮稳定同位素双坐标图的生态位总面积(TA, %²)指标,计算 $\delta^{13}\text{C}\sim\delta^{15}\text{N}$ 双坐标图中样点围成的凸多边形面积。该指标反映了物种或群落占据营养生态位空间的总量,但受样本量的影响较大。为克服样本量的影响, Jackson 等^[26]随后提出了利用矫正后的标准椭圆面积(SEAc, %²)指标,该指标计算 $\delta^{13}\text{C}\sim\delta^{15}\text{N}$ 双坐标图中样点的标准差椭圆面积,包含 40%置信区间的数据,反映了物种或群落占据多维空间的核心区域大小。本研究同时采用 TA 和 SEAc 两个指标定量分析鱼类生态位大小,运用贝叶斯稳定同位素椭圆模型(R4.3.4 软件 SIBER 包)计算了刀鲚的生态位大小。

运用 SPASS 25 软件对数据进行统计分析,对刀鲚的 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值以及营养级与季节、体长进行 Pearson 相关性检验,用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验不同季节、体长的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值、营养级是否存在差异。营养生态位分析运用 R4.3.4 软件,作图软件使用 GraphPad Prism 软件和 R4.3.4 软件。

2 结果与分析

2.1 长江口刀鲚碳、氮稳定同位素比值随季节的变化特征

如图1, 夏季刀鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 12.22‰~15.84‰, 平均值为 $(13.65 \pm 0.97)\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -31.11‰~-21.15‰, 平均值为 $(-25.55 \pm 2.46)\text{‰}$ 。秋季刀鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 11.70‰~16.39‰, 平均值为 $(13.95 \pm 1.31)\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -33.24‰~-22.83‰, 平均值为 $(-27.15 \pm 2.60)\text{‰}$ 。刀鲚的稳定同位素比值与季节均无显著性差异 ($P > 0.05$), Pearson 相关性检验结果表明, 刀鲚 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值与季节无相关性 ($P > 0.01$)。

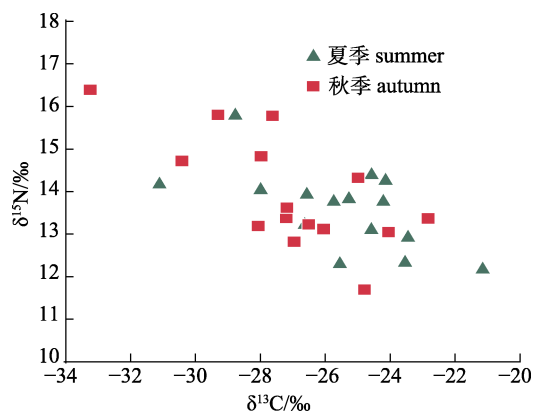


图1 夏、秋季长江口刀鲚的碳、氮稳定同位素比值分布范围

Fig. 1 Carbon and nitrogen stable isotope ratios ranges of *Coilia nasus* in the Yangtze River Estuary in summer and autumn

总体来看, 刀鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为 11.70‰~16.39‰, 最大差值为 4.69‰, 平均值为 $(13.80 \pm 1.14)\text{‰}$,

$\delta^{13}\text{C}$ 值范围为 -33.24‰~-21.15‰, 最大差值为 12.09‰, 平均值为 $(-26.35 \pm 2.60)\text{‰}$ 。

2.2 长江口刀鲚碳、氮稳定同位素比值随体长的变化特征

刀鲚的氮稳定同位素比值随体长呈现逐渐上升趋势, 而碳稳定同位素比值随体长则逐渐减小 (图2)。运用单因素方差分析对刀鲚的碳、氮稳定同位素比值在体长变量上的差异进行检验, 并进行事后检验进一步说明。结果显示, 体长组 T1、T2 与 T3、T5 的 $\delta^{15}\text{N}$ 值与其他各体长组差异显著 ($P < 0.05$), 体长组 T3 组的 $\delta^{13}\text{C}$ 值显著高于 T1 与 T2 组, T5 组显著高于其他各组 ($P < 0.05$)。Pearson 相关性检验结果表明, 刀鲚 $\delta^{15}\text{N}$ 值与其体长呈显著正相关 ($P < 0.01$), $\delta^{13}\text{C}$ 值与其体长呈显著负相关 ($P < 0.01$)。

夏、秋季不同体长组刀鲚的碳、氮稳定同位素比值如表所示 (表1), 单因素方差分析结果显示, 在夏季, T1 组 $\delta^{15}\text{N}$ 值与除 T2 外其他各组均差异显著 ($P < 0.05$), T2 与 T5 差异显著 ($P < 0.05$), 秋季 T5 组 $\delta^{15}\text{N}$ 值与其他各体长组均差异显著 ($P < 0.05$); 夏季 T1、T5 组 $\delta^{13}\text{C}$ 值与各体长组均差异显著 ($P < 0.05$), 秋季仅体长组 T2 与 T5 组有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.3 长江口刀鲚的营养级特征

根据 $\delta^{15}\text{N}$ 值计算出刀鲚的营养级范围为 2.61~3.99, 最大差值为 1.38, 平均营养级为 3.23 ± 0.33 。刀鲚营养级随体长总体呈现上升趋势, 夏季体长组 T2、T3 营养级高于秋季 (图3)。Pearson 相关性检验结果表明, 刀鲚营养级与其体长呈显著正相关 ($P < 0.01$)。

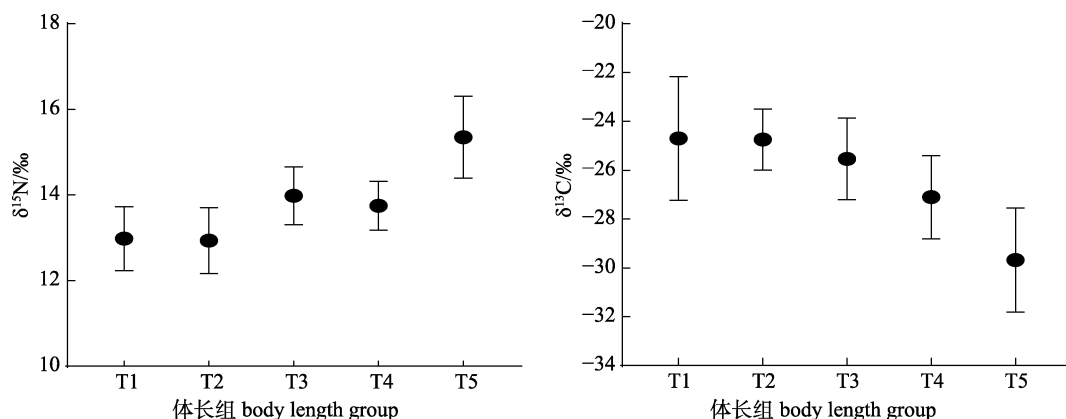


图2 夏、秋季长江口刀鲚碳、氮稳定同位素比值随体长的变化特征

Fig. 2 The variation characteristics of carbon and nitrogen stable isotope ratios with body length of *Coilia nasus* in the Yangtze River Estuary in summer and autumn

表 1 夏、秋季不同体长组刀鲚的碳、氮稳定同位素比值

Tab. 1 The stable isotope ratios of carbon and nitrogen in different body length groups of *Coilia nasus* in summer and autumn

季节 season	体长组 body length group	体长范围/mm body length range	$\delta^{15}\text{N}/\text{‰}$		$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	
			范围 range	平均值±标准差 $\bar{x} \pm \text{SD}$	范围 range	平均值±标准差 $\bar{x} \pm \text{SD}$
夏季 summer	T1	<100	12.22–12.97	12.52±0.40 ^c	–23.54––21.15	–22.71±1.35 ^A
	T2	100–150	12.35–13.81	13.10±0.73 ^{bc}	–25.55––24.21	–24.78±0.69 ^B
	T3	150–200	13.88–14.44	14.21±0.29 ^{ab}	–25.27––24.14	–24.66±0.57 ^B
	T4	200–250	13.27–13.98	13.69±0.37 ^{ab}	–26.63––25.74	–26.31±0.50 ^B
	T5	>250	14.09–15.84	14.72±0.96 ^a	–31.11––27.99	–29.29±1.62 ^C
秋季 autumn	T1	<100	12.82–14.32	13.44±0.78 ^b	–28.07––24.99	–26.67±1.56 ^{AB}
	T2	100–150	11.70–13.37	12.77±0.93 ^b	–26.51––22.83	–24.71±1.84 ^A
	T3	150–200	13.05–14.83	13.75±0.95 ^b	–27.98––24.05	–26.41±2.08 ^{AB}
	T4	200–250	13.12–14.72	13.82±0.82 ^b	–30.42––26.05	–27.88±2.27 ^{AB}
	T5	>250	15.78–16.39	15.99±0.35 ^a	–33.24––27.63	–30.06±2.88 ^B

注：小写字母表示相同季节不同体长组之间 $\delta^{15}\text{N}$ 值有显著性差异 ($P<0.05$)，大写字母表示相同季节不同体长组之间 $\delta^{13}\text{C}$ 值有显著性差异 ($P<0.05$)。

Note: The lowercase letters represent significant difference in $\delta^{15}\text{N}$ values between different body length groups in the same season ($P<0.05$), and the uppercase letters represent significant difference in $\delta^{13}\text{C}$ values between different body length groups in the same season ($P<0.05$).

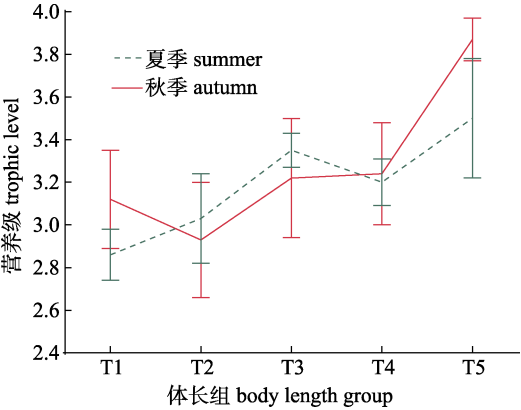


图 3 不同体长组长江口刀鲚的营养级变化特征

Fig. 3 Variation characteristics of trophic level in different body length groups of *Coilia nasus* in the Yangtze River Estuary

2.4 长江口刀鲚的营养生态位

通过构建基于碳氮稳定同位素比值的双位图(图 4)可知,长江口夏、秋季刀鲚的营养生态位相似,生态位总空间(TA)和核心生态位(SEAc)均存在重叠现象,且夏秋季之间的重叠率较高。在夏季,刀鲚生态位大小的 TA 值为 16.74‰²,SEAc 值为 6.22‰²;秋季,刀鲚生态位大小的 TA 值为 18.34‰²,SEAc 值为 8.11‰²。

T1 体长组刀鲚生态位大小的 TA 值为 6.40‰²,SEAc 值为 6.68‰²。T2 体长组刀鲚生态位大小的 TA 值为 3.87‰²,SEAc 值为 3.61‰²。T3 体长组

刀鲚生态位大小的 TA 值为 4.70‰²,SEAc 值为 4.25‰²。T4 体长组刀鲚生态位大小的 TA 值为 1.9‰²,SEAc 值为 2.3‰²。T5 体长组刀鲚生态位大小的 TA 值为 8.09‰²,SEAc 值为 7.72‰²。

3 讨论

3.1 长江口刀鲚稳定同位素特征

碳、氮稳定同位素比值可以体现水生生态系统中食物网关系和能量流动,碳稳定同位素比值可以指示摄食情况和碳流路径,氮稳定同位素比值通常用于确定水生生物的营养位置^[27]。鱼类体内碳、氮稳定同位素含量受其栖息环境、摄食情况、代谢活动等多方面的影响,导致它们的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 含量相差较大。Sun 等^[28]研究发现仿刺参(*Apostichopus japonicus*)的食物来源存在明显的季节性变化, $\delta^{13}\text{C}$ 含量在夏季富集,秋季减少,而 $\delta^{15}\text{N}$ 含量没有明显的季节性波动。海洋消费者对各种食物来源的同化既取决于外源性食物的可获得性,也取决于动物自身的食物偏好^[29]。在本研究中,刀鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值总跨度较小, $\delta^{13}\text{C}$ 值总跨度较大,可能是在夏、秋季刀鲚生长迅速,不同组织中的蛋白质、脂类和碳水化合物等生物成分大量积累导致不同的同位素分馏^[30],不同季节鱼类饵料的组成、 $\delta^{15}\text{N}$ 值及水域环境存在差异^[31]。而刀

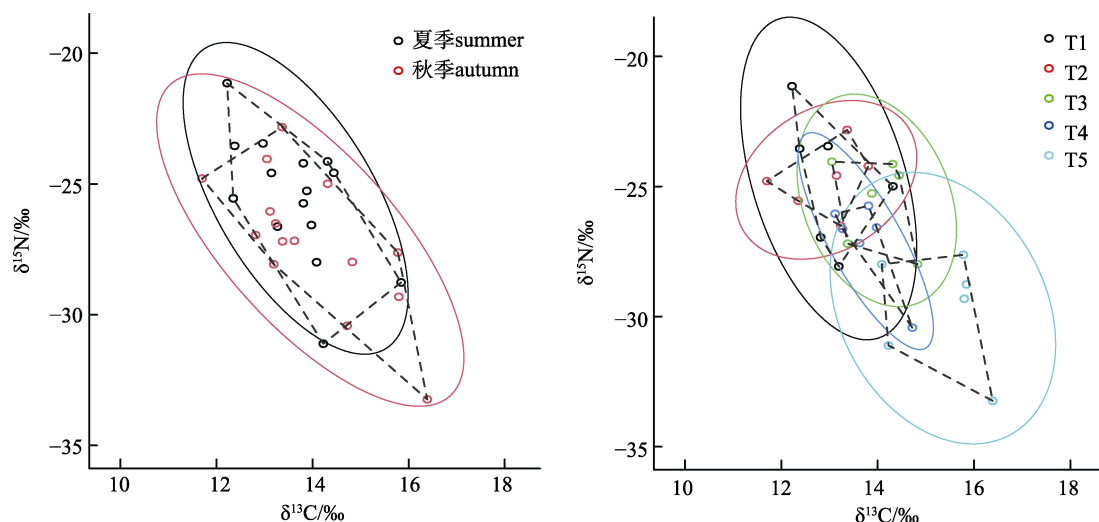


图4 碳、氮稳定同位素比值的双位图

虚线围成的凸多边形面积代表 TA 值, 椭圆面积代表 SEAc 值。

Fig. 4 Biplot of stable isotope ratios of carbon and nitrogen

The area of the convex polygon surrounded by the dotted line in the figure represents the TA value, and the ellipse area represents the SEAc value.

鲚夏、秋季稳定同位素比值无显著变化, 说明其两个季节摄食种类十分接近, 可能是长江口的水温、盐度和流速在夏、秋两季变化相对平稳, 饵料生物在夏、秋两季节变化不大, 生态条件较为稳定, 进而导致刀鲚在这两个季节能够捕获到相似的食物。

鱼类个体的大小决定了其摄食饵料个体的大小, 随着鱼类的生长发育, 可能会发生食性的变化, 其摄食饵料个体逐渐增大^[32], 摄食的种类也逐渐变多。小个体的刀鲚一般摄食小型浮游动植物, 稍大的个体开始摄食一些虾和桡足类^[33], 其体内富集的碳、氮元素较小个体的刀鲚多。王晓玲等^[34]通过对贡湖湾、鲤山湾和东太湖 3 个典型水域的红鳍原鲃(*Cultrichthys erythropterus*)食性的研究, 发现 $\delta^{13}\text{C}$ 值与体长、 $\delta^{15}\text{N}$ 值与体长呈显著正相关关系。陈皖等^[35]研究海州湾短吻红舌鲷(*Cynoglossus joyneri*)的摄食生态, 发现短吻红舌鲷 $\delta^{13}\text{C}$ 值与体长呈显著负相关, $\delta^{15}\text{N}$ 值与体长呈显著正相关。这与本研究中刀鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值与其体长的 Pearson 相关性检验结果吻合, 由此可以推断, 刀鲚在生长过程中可能出现了食性变化的现象, 在洄游过程中, 一些小个体的刀鲚可能仅在产卵场附近活动, 食物来源与生存环境稳定, 而大个体的刀鲚为满足生长需求, 会向沿岸的产卵场洄游, 摄食更多的食物。

3.2 长江口刀鲚营养级

鱼类的摄食习性和食物组成决定了它的营养级位置, 一般而言, 个体较大的肉食性鱼类位于较高的营养级。由于发育水平或栖息生境的不同, 同一物种的不同个体间也会出现明显的大小差异^[36], 从而引起营养级的变化。有时同种鱼类个体的营养级差异比鱼类的种间营养级差异更为显著^[37]。在本研究中, 刀鲚的营养级为 3.23, 与闫光松^[38]对长江口主要渔业生物营养结构的研究中得到刀鲚的营养级为 3.41 相似, 高于棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*, 3.18)、髯须虾虎鱼(*Tridentiger barbatus*, 2.89)、凤鲚(*Coilia mystus*, 2.80), 通过 Fishbase 数据库查询, 其营养级高于历史平均水平, 说明刀鲚在长江口生态系统食物链中所处的层次较高, 且长江禁捕措施实施以来刀鲚资源有显著恢复。对不同体长的营养级分析结果表明营养级随体长呈现逐渐上升趋势, 可能是由于随着刀鲚个体的增大其摄食的种类增多, 从而营养级增加, 揭示刀鲚在生长发育过程中亦可能存在着食性变化的过程。这与大多数学者的研究结果一致, 谢嘉仪等^[39]对南沙群岛海域鳶乌贼(*Sthenoteuthis oualaniensis*)的摄食习性进行研究, 发现其营养级高低随胴长增加出现明显增长趋势。高世科^[40]对刀鲚和鮠(*Miichthys miiuy*)体长与营养级间的关系进行了研究, 发现随着体长

的增加,两种鱼的营养级与体长均呈现正相关性。

3.3 长江口刀鲚营养生态位

碳、氮稳定同位素可以指示其生态位宽度,从而反映对资源利用的多样性差异,是描述生态位关系的重要指标之一^[41]。在鱼类的生长过程中,受鱼类个体和环境因素影响,其摄食营养水平提高,营养生态位宽度也会随之增大^[42]。刀鲚作为长江流域重要的溯河洄游型经济鱼类,每年春季开始由近海溯河洄游至长江及其附属湖泊进行觅食以及产卵繁殖^[23]。本研究秋季采集的部分刀鲚样本可能是来自嵊泗等水域的洄游群体^[43],幼鱼为了补充洄游过程中消耗的能量,需要摄食大量饵料生物;且秋季水温更适合刀鲚的自身生长,其会摄食更多种类饵料生物,因此秋季刀鲚的TA值和SEAc值均比夏季高,营养跨度更大。两个季节之间营养生态位重叠比较高,说明两个季节食物来源接近,刀鲚对长江口夏、秋季食物和资源利用高度相似。可能是夏、秋两季水体环境较为接近,从而造成刀鲚的摄食和生长情况相似,同时夏、秋季刀鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 值不存在显著差异($P>0.05$),说明夏、秋季刀鲚在摄食选择上食源也具有相似性。

由“最佳摄食理论”可知,鱼类会从所发生的行为中获得最大的收益^[44]。在本研究中,刀鲚生态位大小的TA值和SEAc值随体长逐渐减小后又逐渐增加,可能是受刀鲚洄游过程的影响,处于产卵洄游过程中的刀鲚,在长江口附近较少摄食饵料生物,这与本文营养级的研究结果一致。洄游性鱼类的生活史会对其摄食特征造成影响,王芮等^[45]对太平洋褶柔鱼(*Todarodes pacificus*)的摄食和洄游进行研究,发现太平洋褶柔鱼的摄食洄游特性存在一定的个体异质性,这可能与其摄食行为和复杂的生活史有关。

4 小结

本研究利用碳、氮稳定同位素技术分析了长江口刀鲚的营养级及营养生态位特征,刀鲚的 $\delta^{15}\text{N}$ 值范围为11.70‰~16.39‰,平均值为(13.80±1.14)‰,与体长呈显著正相关; $\delta^{13}\text{C}$ 值范围为-33.24‰~-21.15‰,平均值为(-26.35±2.60)‰,与体长呈

显著负相关。刀鲚的平均营养级为3.23±0.33,秋季刀鲚的生态位宽幅大于夏季。稳定同位素分析揭示,刀鲚的摄食习性在其生长过程中可能发生了变化,随着刀鲚体长的增加倾向于摄食更高营养级的饵料生物,而有关其摄食喜好与选择性等还需要结合其他分析方法进行相关研究,以深入了解刀鲚的摄食习性及其在生态系统中所发挥的重要作用,从而为进一步掌握其种群动态提供基础资料,也为长江口资源恢复与利用提供科学依据。

参考文献:

- [1] Dong W X, Tang W Q, Wang L. Growth characteristics of reproductive population of *Coilia nasus* in the Yangtze River[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(5): 669-674. [董文霞, 唐文乔, 王磊. 长江刀鲚繁殖群体的生长特性[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(5): 669-674.]
- [2] Shen H S, Gu R B, Xu G C, et al. In-depth transcriptome analysis of *Coilia ectenes*, an important fish resource in the Yangtze River: de novo assembly, gene annotation[J]. Marine Genomics, 2015, 23: 15-17.
- [3] Cheng Q Q, Lu D R. PCR-RFLP analysis of cytochrome *b* gene does not support *Coilia ectenes* taihuensis being a subspecies of *Coilia ectenes*[J]. Journal of Genetics, 2005, 84(3): 307-310.
- [4] Ma C Y, Cheng Q Q, Zhang Q Y, et al. Genetic variation of *Coilia ectenes* (Clupeiformes: Engraulidae) revealed by the complete cytochrome *b* sequences of mitochondrial DNA[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2010, 385(1-2): 14-19.
- [5] Guo H Y, Wei K, Tang W Q, et al. Sibling species discrimination for Chinese genus of *Coilia* fishes based on sagittal otolith morphology[J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2010, 35(1): 127-134. [郭弘艺, 魏凯, 唐文乔, 等. 基于矢耳石形态特征的中国鲚属鱼类种类识别[J]. 动物分类学报, 2010, 35(1): 127-134.]
- [6] Zhang M Y, Xu D P, Liu K, et al. Studies on biological characteristics and change of resource of *Coilia nasus* schlegel in the lower reaches of the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(6): 694-698. [张敏莹, 徐东坡, 刘凯, 等. 长江下游刀鲚生物学及最大持续产量研究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 694-698.]
- [7] Li Y X, Xie S G, Li Z J, et al. Gonad development of an anadromous fish *Coilia ectenes* (Engraulidae) in lower reach of Yangtze River, China[J]. Fisheries Science, 2007,

- 73(6): 1224-1230.
- [8] Shi D. Strategies of resource conservation for *Coilia ectenes* in the Yangtze Estuary[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2003, 25: 96-97.
- [9] Shi W G, Zhang M Y, Liu K, et al. Stress of hydraulic engineering on fisheries in the lower reaches of the Yangtze River and compensation[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(1): 10-20. [施炜纲, 张敏莹, 刘凯, 等. 水工工程对长江下游渔业的胁迫与补偿[J]. *湖泊科学*, 2009, 21(1): 10-20.]
- [10] Bulletin on the status of aquatic biological resources and habitats in the Yangtze River Basin (2022) released: The amount of aquatic biological resources in the Yangtze River Basin is recovering[J]. *China Fisheries*, 2023(11): 18. [《长江流域水生生物资源及生境状况公报(2022年)》发布: 长江流域水生生物资源量呈恢复态势[J]. *中国水产*, 2023(11): 18.]
- [11] Xue Y, Jin X S. Review of the study on feeding habits of fishes and food webs[J]. *Marine Fisheries Research*, 2003, 24(2): 76-87. [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.]
- [12] Hyslop E J. Stomach contents analysis-a review of methods and their application[J]. *Journal of Fish Biology*, 1980, 17(4): 411-429.
- [13] 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.
- [14] Soudant P, Moal J, Marty Y, et al. Impact of the quality of dietary fatty acids on metabolism and the composition of polar lipid classes in female gonads of *Pecten maximus* L.[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 1996, 205(1-2): 149-163.
- [15] Hebert P D N, Cywinska A, Ball S L, et al. Biological identifications through DNA barcodes[J]. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 2003, 270(1512): 313-321.
- [16] Xu W, Yang R, Chen G, et al. Feeding ecology of *Decapterus maruadsi* in the southern coastal area of Zhejiang based on stomach contents and stable isotope analysis[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2022, 33(11): 3097-3104. [徐雯, 杨蕊, 陈淦, 等. 基于胃含物和碳、氮稳定同位素研究浙江南部近海蓝圆鲹的摄食生态[J]. *应用生态学报*, 2022, 33(11): 3097-3104.]
- [17] Parry M. Trophic variation with length in two ommastrephid squids, *Ommastrephes bartramii* and *Sthenoteuthis oualaniensis* [J]. *Marine Biology*, 2008, 153(3): 249-256.
- [18] Zhang Y, Li C L, Yang G, et al. Ontogenetic diet shift in Antarctic krill (*Euphausia superba*) in the Prydz Bay: A stable isotope analysis[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 36(12): 67-78.
- [19] Yang R, Wei X J, Han D Y, et al. Feeding habits and trophic level of *Dysomma anguillare* in the offshore waters of southern Zhejiang based on stable isotope analysis[J]. *Marine Fisheries*, 2023, 45(5): 532-543. [杨蕊, 魏秀锦, 韩东燕, 等. 基于稳定同位素技术的浙江南部近海前肛鳗摄食习性及其营养级分析[J]. *海洋渔业*, 2023, 45(5): 532-543.]
- [20] Wang D, Zhang Y, Li Y F, et al. The trophic levels of the fish community in the Ili River Basin of Xinjiang revealed by stable isotopes technique[J]. *Freshwater Fisheries*, 2023, 53(3): 30-38. [王迪, 张燕, 李云峰, 等. 基于稳定同位素技术的新疆伊犁河流域鱼类群落营养级初步研究[J]. *淡水渔业*, 2023, 53(3): 30-38.]
- [21] Xue B, Li L, Jiang L Q, et al. Nutrient structure characteristics of fish community in seaweed beds of Gouqi Island, Zhoushan based on stable isotope analysis[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2024, 55(2): 431-440. [薛彬, 李磊, 蒋丽勤, 等. 基于稳定同位素的枸杞岛海藻场鱼类群落营养结构特征[J]. *海洋与湖沼*, 2024, 55(2): 431-440.]
- [22] Zhang H, Wu G G, Zhang H, et al. Seasonal variations of stable isotopes in fish fauna from east lake Dongting[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(4): 796-798. [张欢, 吴功果, 张欢, 等. 东洞庭湖鱼类稳定同位素的季节变化[J]. *水生生物学报*, 2013, 37(4): 796-798.]
- [23] Deng Y M. Study on feeding ecology of migratory *Coilia nasus* in the lower reaches of the Yangtze River[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2023. [邓艳敏. 长江下游洄游型刀鲚(*Coilia nasus*)摄食生态研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2023.]
- [24] Post D M. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions[J]. *Ecology*, 2002, 83(3): 703-718.
- [25] Layman C A. What can stable isotope ratios reveal about mangroves as fish habitat?[J]. *Bulletin of Marine Science*, 2007, 80(3): 513-527.
- [26] Jackson A L, Inger R, Parnell A C, et al. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER-Stable isotope Bayesian Ellipses in R[J]. *Journal of Animal Ecology*, 2011, 80(3): 595-602.
- [27] Vander Zanden M J V, Rasmussen J B. Variation in $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ trophic fractionation: Implications for aquatic food web studies[J]. *Limnology and Oceanography*, 2001, 46(8): 2061-2066.
- [28] Sun Z L, Gao Q F, Dong S L, et al. Seasonal changes in food uptake by the sea cucumber *Apostichopus japonicus*

- in a farm pond: Evidence from C and N stable isotopes[J]. Journal of Ocean University of China, 2013, 12(1): 160-168.
- [29] Wong W H, Cheung S G. Feeding rates and scope for growth of green mussels, *Perna viridis* L. and their relationship with food availability in Kat O, Hong Kong[J]. Aquaculture, 2001, 193(1-2): 123-137.
- [30] Tieszen L L, Boutton T W, Tesdahl K G, et al. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet[J]. Oecologia, 1983, 57(1-2): 32-37.
- [31] Liu S J, Zhai D D, Luo J Y, et al. Studies on the trophic structure of fish in Sanjiao Lake based on carbon and nitrogen stable isotope analysis[J]. Freshwater Fisheries, 2024, 54(3): 3-11. [刘淑君, 翟东东, 罗进勇, 等. 基于碳、氮稳定同位素分析的三角湖鱼类营养结构研究[J]. 淡水渔业, 2024, 54(3): 3-11.]
- [32] Xu L L, Xue Y, Xu B D, et al. Feeding ecology of *Hexagrammos otakii* in Haizhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(3): 608-620. [许莉莉, 薛莹, 徐宾铎, 等. 海州湾大泷六线鱼摄食生态研究[J]. 中国水产科学, 2018, 25(3): 608-620.]
- [33] Baeck G W, Park J M, Choo H G, et al. Diet composition of *Coilia nasus* in the coastal waters off Gori, Korea[J]. Korean Journal of Ichthyology, 2011, 23(2): 163-167.
- [34] Wang X L, Xu D P, Liu K, et al. The change of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in *Cultrichthys erythropterus* from three typical areas within Lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences, 2015, 27(5): 925-931. [王晓玲, 徐东坡, 刘凯, 等. 太湖 3 个典型水域红鳍原鲌 (*Cultrichthys erythropterus*) $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值的变化规律[J]. 湖泊科学, 2015, 27(5): 925-931.]
- [35] Chen W, Ren X M, Xu B D, et al. Understanding the feeding ecology of *Cynoglossus joyneri* in Haizhou Bay based on stable isotope analysis[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(3): 1080-1086. [陈皖, 任晓明, 徐宾铎, 等. 基于稳定同位素研究海州湾短吻红舌鲷的摄食生态[J]. 应用生态学报, 2021, 32(3): 1080-1086.]
- [36] Sheridan P F. Trophic resource utilization by three species of sciaenid fishes in a northwest Florida estuary[J]. Gulf of Mexico Science, 1979, 3(1): 1.
- [37] Carr W E S, Adams C A. Food habits of juvenile marine fishes occupying seagrass beds in the estuarine zone near Crystal River, Florida[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1973, 102(3): 511-540.
- [38] Yan G S. Research on trophic structure of the major fishery species from the Yangtze Estuary based on stable isotope technology[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016. [闫光松. 基于稳定同位素技术对长江口主要渔业生物营养结构的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.]
- [39] Xie J Y, Zhang L Z, Wu W X, et al. Feeding habit and trophic niche of purpleback flying squid (*Sthenoteuthis oualaniensis*) in the Nansha Islands area, South China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(12): 1993-2002. [谢嘉仪, 张丽姿, 吴文秀, 等. 南沙群岛海域乌贼摄食习性与营养生态位[J]. 水产学报, 2021, 45(12): 1993-2002.]
- [40] Gao S K. Trophic Level of the major species in coastal water of Lvsì fishing ground using stable carbon and nitrogen isotope analysis[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020. [高世科. 基于稳定同位素技术研究吕泗渔场近岸海域主要生物种类营养级[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.]
- [41] Bearhop S, Adams C E, Waldron S, et al. Determining trophic niche width: A novel approach using stable isotope analysis[J]. Journal of Animal Ecology, 2004, 73(5): 1007-1012.
- [42] Liu T Y, Zhang J Q, Liu B L. Trophic niche analysis of two species of Oceanic squid in the high sea of Northwest Pacific Ocean[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(4): 878-887. [刘庭羽, 张嘉琦, 刘必林. 西北太平洋公海两种大洋性鱿鱼营养生态位分析[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(4): 878-887.]
- [43] Li C Y, Li L K, Gao X P, et al. Comparative analysis of intestinal flora of *Coilia nasus* and *Coilia brachygnathus* in different waters[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2024, 33(6): 1380-1391. [李辰钰, 李乐康, 高小平, 等. 不同水域刀鲚和短颌鲂肠道菌群比较分析[J]. 上海海洋大学学报, 2024, 33(6): 1380-1391.]
- [44] Gerking S D. Feeding ecology of fish[M]. San Diego: Academic Press, 1994.
- [45] Wang R, Lu H J, Chen J, et al. Feeding and migration of *Todarodes pacificus* in the East China Sea based on the stable isotopic information of gladius[J]. Journal of Fisheries of China, 2024, 48(9): 115-125. [王芮, 陆化杰, 陈静, 等. 基于内壳稳定同位素信息的东海太平洋褶柔鱼摄食与洄游[J]. 水产学报, 2024, 48(9): 115-125.]

Trophic level and trophic niche of *Coilia nasus* in the Yangtze River Estuary

LI Xia^{1,2}, FENG Guangpeng^{1,2}, HAN Zhiqiang¹, ZHAO Feng², ZHANG Tao², YANG Gang², GENG Zhi², HUANG Xiaorong²

1. School of Fishery, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Shanghai Engineering Research Center of Fisheries Resources Enhancement and Ecological Restoration of the Yangtze Estuary, Shanghai 200090, China

Abstract: *Coilia nasus* is an important economic species in the Yangtze River. It is mainly distributed in the East China Sea, the Yellow Sea, the Yangtze River, the Qiantang River, and other river basins in China. However, with economic growth, pollution and overfishing in the Yangtze River have been increasing, resulting in serious damage to *C. nasus* spawning grounds and a gradual decline in resources. In recent years, with the steady implementation of the ten-year ban on fishing in the Yangtze River, the *C. nasus* populations and those of its prey organisms have increased and were restored, and the feeding of *C. nasus* may have changed to some extent. To explore the trophic structure characteristics of *C. nasus* in the Yangtze River Estuary, 247 samples were collected by bottom trawling in summer (August) and autumn (November) of 2023, and the trophic level and niche were analyzed using stable carbon and nitrogen isotopes. The results showed that the $\delta^{15}\text{N}$ values of *C. nasus* in the Yangtze River Estuary ranged from 11.70‰ to 16.39‰, with a maximum difference of 4.69‰ and an average value of $(13.80 \pm 1.14)\%$, which was significantly positively correlated with body length. The $\delta^{13}\text{C}$ value ranged from -33.24% to -21.15% , the maximum difference was 12.09‰, and the average value was $(-26.35 \pm 2.60)\%$, which was significantly negatively correlated with body length. According to the $\delta^{15}\text{N}$ value, the average trophic level of *C. nasus* was 3.23 ± 0.33 , which was significantly positively correlated with body length. The trophic niches of *C. nasus* in summer and autumn were similar, and the total niche space (TA) and core niche (SEAc) overlapped. The niche breadth of *C. nasus* in autumn was larger than that in summer. Stable isotope analysis suggested that the feeding habits of *C. nasus* change during growth. With increasing body length, *C. nasus* tend to feed on increasingly higher trophic levels of food organisms. The results provide a basis for elucidating the feeding characteristics of *C. nasus* in the Yangtze River Estuary and also constitute a reference for protecting *C. nasus* populations and analyzing the food web energy flow in the Yangtze River Estuary.

Key words: stable isotope analysis; *Coilia nasus*; nutritional level; niche

Corresponding author: FENG Guangpeng. E-mail: coolwindfgp@163.com