

文章编号: 1000-0615(2017)09-1415-09

DOI: 10.11964/jfc.20160910543

## 应用稳定同位素技术分析枸杞岛近岸海域褐菖鲉的食性

薛彬<sup>1,2</sup>, 蒋日进<sup>1,3\*</sup>, 王凯<sup>3</sup>, 梁君<sup>1</sup>, 徐开达<sup>1</sup>, 李振华<sup>1</sup>

(1. 浙江省海洋水产研究所, 农业部重点渔场渔业资源科学观测实验站,

浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316021;

2. 中国地质大学(武汉)地球科学学院, 生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北 武汉 430074;

3. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

**摘要:** 为获知褐菖鲉的食性, 本研究应用碳、氮稳定同位素技术分析不同季节和发育阶段褐菖鲉的摄食习性, 并评估了浮游动物、端足类、虾蟹类和小型鱼类等饵料生物对褐菖鲉的营养贡献。结果显示, 枸杞岛近岸海域4个季节褐菖鲉的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-18.2\text{‰}$ ~ $-14.7\text{‰}$ , 平均值为 $-15.6\text{‰}$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $3.3\text{‰}$ ~ $9.9\text{‰}$ , 平均值为 $7.9\text{‰}$ ; 单因素方差分析显示, 褐菖鲉的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值在不同季节之间差异都不显著, 说明不同季节之间褐菖鲉的食性差异不大。对褐菖鲉全长和碳、氮稳定同位素比值进行线性回归分析, 显示其 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值随全长变化都极显著, 表明不同发育阶段褐菖鲉的食性差异极显著。聚类分析将不同全长的褐菖鲉分为3组, 其中0~19 mm为一组, 20~79和80~109 mm为一组, 110~199 mm为一组, ANOSIM分析3组之间的差异极显著。褐菖鲉的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与虾蟹类和鱼类等饵料类群 $\delta^{13}\text{C}$ 值较接近, 应用IsoSource软件分析饵料类群的营养贡献时发现, 麦秆虫对褐菖鲉的营养贡献均值最大, 为22.3%, 鱼类、虾蟹类等饵料类群的营养贡献均值都超过了12%。枸杞岛近岸海域褐菖鲉的平均营养级为3.18, 属于低级肉食性鱼类, 主要摄食麦秆虫、鱼类和虾蟹类, 是底栖动物食性, 而非浮游动物食性。

**关键词:** 褐菖鲉; 稳定同位素; 食性; 营养级

中图分类号: S 965

文献标志码: A

鱼类摄食习性的研究是认识整个水生生态系统的功能和结构的关键内容之一<sup>[1-3]</sup>。国内有关海洋鱼类摄食习性的研究已经有大量的报道, 主要是通过胃含物分析方法来完成的<sup>[4-7]</sup>。胃含物分析方法直观有效, 但是只能反映鱼类短时间内的摄食习性。碳、氮稳定同位素(C/N stable isotope)技术只需要少量的鱼类肌肉和饵料生物的部分或全部就可以确定它们之间的相互关系, 尤其是在分析鱼类的食物来源和营养级等方面非常有效<sup>[8]</sup>, 其中生物组织中的碳稳定同位素比值( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ )与其食物较接近(分馏值为1‰~2‰), 可以提供长期的摄食信息, 常用来确定消

费者的食物来源; 而氮稳定同位素比值( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )会在生物体内形成比其食物高出3‰~4‰的富集效应, 可以用来估测消费者的营养级<sup>[3]</sup>。

褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*)是舟山群岛海域的常见鱼类<sup>[9]</sup>, 在当地的渔业中具有重要的地位<sup>[10-13]</sup>, 有着较高的生物量, 是岩礁生境鱼类群落中的优势种<sup>[14-15]</sup>。有关褐菖鲉渔业生物学和资源分布方面的研究报道国内已经有很多<sup>[16-19]</sup>, 王凯等<sup>[20-22]</sup>通过胃含物分析方法对其食物组成进行了初步研究, 认为其饵料类群包括端足类、鱼类、虾类和蟹类等。褐菖鲉的空胃率很高, 同时胃含物分析需要采集大量的样本, 而且分析

收稿日期: 2016-09-14 修回日期: 2017-04-06

资助项目: 国家自然科学基金(41176110, 41406153); 浙江省自然科学基金(LY13D060006, LY17C190006); 浙江省科技厅项目(2016F30018)

通信作者: 蒋日进, E-mail: jiangridge@163.com

过程中容易忽略一些个体较小或易于消化的浮游生物等饵料生物,为了更准确判断枸杞岛近岸海域褐菖鲈的摄食习性,本研究应用稳定同位素方法分析不同时期褐菖鲈及其饵料生物之间的关系,比较不同食性分析方法的差异,不仅可以完善枸杞岛近岸海域食物网结构的研究,也可以为岛礁近岸生态系统的修复提供一定的基础资料。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查时间和地点

枸杞岛位于舟山群岛的东北部,其近岸海域分布有大量的马尾藻海藻场<sup>[14-15]</sup>。分别于秋季(2012年11月)、冬季(2013年2月)、春季(2013年5月)和夏季(2014年8月)在岛礁近岸的断桥(St.1)、后头湾(St.2)、黄石洞(St.3)、龙泉(St.4)、里西(St.5)和大王(St.6)6个站点进行了样品采集工作(图1)。

### 1.2 采样方法与样品处理

首先,对枸杞岛近岸海域采集到的褐菖鲈的胃含物进行初步分析,褐菖鲈主要以端足类、鱼类、蟹类、虾类和浮游动物等为食。其中,端足类主要是钩虾(gammaridae)和麦秆虫(caprellidae);鱼类主要包括褐菖鲈、斑头六线

鱼、鳀鱼(*Engraulis japonicus*)、赤鼻棱鳀(*Thrissa kammalensis*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)等小型鱼类;蟹类主要以隆线强蟹(*Eucrater crenata*)、日本螯(*Charybdis japonica*)、豆蟹(*Pinnotheres* sp.)、双斑螯(*C. bimaculata*)等为主;虾类主要包括葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*)、鲜明鼓虾(*Alpheus distinguendus*)、日本鼓虾(*A. japonicus*)、细巧仿对虾(*Parapenaeopsis tenella*)等;浮游动物主要包括桡足类(copepoda)、长尾类糠虾幼体(macrura mysis larva)、短尾类蚤状幼体(brachyura zoea larva)、太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)、糠虾类(mysidacea)、双生水母(*Diphyidae* sp.)、箭虫(*Sagitta* sp.)、鱼卵和仔鱼等。

然后,结合王凯等<sup>[21-22]</sup>的胃含物分析结果,在枸杞岛近岸海域采集褐菖鲈的潜在饵料生物。

用三重流刺网(网长15 m,内网目26 mm,外两层为210 mm)采集虾、蟹类等大型无脊椎动物和鱼类;在每个调查站点点放置2组刺网,一组由网高1.5 m的4张网片组成,每组网片长15 m;另一组由网高2.4 m的4张网片组成,每组网片长30 m。三重刺网投放时与岸线平行,放置在调查海域的时间约为24 h左右(含一昼夜)。

用浅水I型浮游生物网(505  $\mu$ m)采集桡足类等浮游动物,每次水平拖网10 min;用抄网采集附着在大型海藻等物体上的钩虾和麦秆虫等端

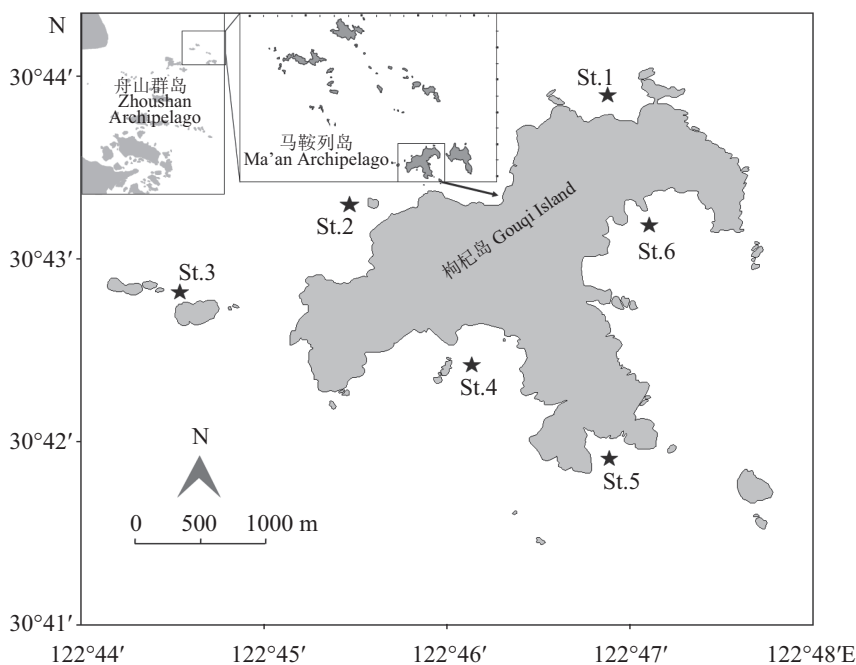


图1 研究区地理位置和采样站点

Fig. 1 Location of the Gouqi Island and sampling station

足类;将浮游动物和端足类等样品去除杂质,置于预先经0.45 μm滤膜过滤的海水中暂养2~4 h,待胃排空后取样,钩虾、麦秆虫等有壳的小型甲壳类取整体用10% HCl酸化处理,直至没有气泡产生。

所有样品置于60 °C的烘箱中烘48 h至恒重,然后用石英钵研磨成粉,经165 μm的筛绢过筛后收集于样品瓶中,然后置于干燥器中保存待同位素分析。

### 1.3 稳定同位素测试

所有样品的稳定碳、氮同位素比值的测定通过同位素质谱仪(isotope ratio mass spectrometer)来完成。同位素丰度的计算方法:

$$\delta X = [(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}}) - 1] \times 10^3$$

式中,  $X = {}^{13}\text{C}$ 或 ${}^{15}\text{N}$ ,  $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ 或 ${}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$ 。 $\delta^{13}\text{C}$ 值的测定精度 $\leq \pm 0.1\%$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 值的测定精度 $\leq \pm 0.2\%$ 。

### 1.4 数据处理与分析

采用SPSS 16.0的单因素方差分析(One-Way ANOVA)检验褐菖鲈的稳定同位素组成在不同季节或发育阶段之间的差异。

应用褐菖鲈的 $\delta^{15}\text{N}$ 平均值评价其营养级,通过比较褐菖鲈与基准的 $\delta^{15}\text{N}$ 及其在营养级之间的富集常数可以计算出营养级位置。营养级计算公式:

$$TL = [(\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{baseline}}) / \text{TEF} + \lambda]$$

式中,  $\lambda$ 为基准生物的营养级,此处为2;  $\text{TEF}$ 为一个营养级的氮富集度,此处为3.4‰。

采用Primer 5.0软件,以 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 值作为双重因子对不同体长组的褐菖鲈进行了聚类分析。

应用稳定同位素方法分析鱼类食性时,为了确定鱼类的主要食源,许多学者利用IsoSource

多源模型分析饵料生物对消费者食源贡献<sup>[23-24]</sup>。Phillips以质量守恒模型为基础编写的IsoSource软件可以定量计算消费者的饵料贡献比例,已经被广泛应用到食物网研究中<sup>[25-26]</sup>。

为了满足混合模型分析要求,结合胃含物中的主要饵料类群组成的相对重要性指数( $\text{IRI}\%$ )<sup>[21]</sup>,将褐菖鲈的可能食物来源分为浮游动物(Zoo)、钩虾(Gam)、麦秆虫(Cap)、鱼类(Fis)、虾类(Shr)和蟹类(Cra)等作为IsoSource多源线性混合模型中的源项(sources)。按照通用方法在模型计算时将消费者的 $\delta^{13}\text{C}$ 分馏减去1‰,  $\delta^{15}\text{N}$ 分馏减去3.4‰来估算各食源对主要鱼类的摄食贡献<sup>[23]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 稳定同位素组成的季节变化

枸杞岛近岸海域4个季节褐菖鲈的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-18.2\%$ ~ $-14.7\%$ ,平均值为 $-15.6\%$ ;  $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $3.3\%$ ~ $9.9\%$ ,平均值为 $7.9\%$ ; C/N值为 $2.6$ ~ $3.6$ ,平均值为 $3.2$ 。单因素方差分析显示,褐菖鲈的 $\delta^{13}\text{C}$ 值、 $\delta^{15}\text{N}$ 值在不同季节之间差异不显著( $P > 0.05$ ),仅冬季的C/N值与其他季节之间有显著差异(表1)。

### 2.2 稳定同位素组成不同发育阶段的变化

分别对褐菖鲈全长和碳、氮稳定同位素比值进行线性回归分析,褐菖鲈的 $\delta^{13}\text{C}$ 值随全长发生极显著的变化( $R^2=0.5005$ ,  $P < 0.01$ );  $\delta^{15}\text{N}$ 值也随全长的增加出现极显著上升( $R^2=0.574$ ,  $P < 0.01$ )。

将不同全长的褐菖鲈样品分为6个组(表2),全长为0~19 mm的褐菖鲈 $\delta^{13}\text{C}$ 值最小,为 $-18.2\%$ ,其 $\delta^{15}\text{N}$ 值也最小,为 $4.9\%$ ;全长140~169 mm的褐菖鲈 $\delta^{13}\text{C}$ 值最小,为 $15.1\%$ ,140~169 mm的褐

表1 不同季节褐菖鲈碳、氮稳定同位素比值、C:N比值、全长及样品数量

Tab. 1 Stable isotopic signatures, C:N ratios and length data for *S. marmoratus* in different seasons

季节 season	$\delta^{13}\text{C}/\%$	$\delta^{15}\text{N}/\%$	C/N	全长/mm TL	采样数/尾 n
秋季 autumn	$-15.3 \pm 0.4^a$	$8.4 \pm 0.6^a$	$3.3 \pm 0.1^a$	$138.57 \pm 24.76^a$	7
冬季 winter	$-15.2 \pm 0.5^a$	$8.3 \pm 0.6^a$	$3.0 \pm 0.4^b$	$118.86 \pm 28.91^a$	7
春季 spring	$-15.9 \pm 1.2^a$	$7.5 \pm 2.1^a$	$3.3 \pm 0.1^a$	$110.92 \pm 55.86^a$	13
夏季 summer	$-15.3 \pm 0.1^a$	$6.9 \pm 0.5^a$	$3.5 \pm 0.1^a$	$92.33 \pm 2.50^a$	3
ANOVA	$F=1.325$ $P=0.287$	$F=1.229$ $P=0.319$	$F=4.908$ $P=0.008$	$F=1.048$ $P=0.388$	

注:表中不同字母表示差异显著

Notes: different letters indicate significant difference

表 2 褐菖鲈不同全长组的碳、氮稳定同位素比值、C:N 比值、全长及样品数量

Tab. 2 Stable isotopic signatures, C:N ratios and length data for *S. marmoratus* in different size classes

全长组/mm	size classes	$\delta^{13}C/\text{‰}$	$\delta^{15}N/\text{‰}$	采样数/尾	n
0~19		-18.2±0.0 <sup>a</sup>	4.9±0.1 <sup>b</sup>	2	
20~79		-16.1±1.1 <sup>b</sup>	6.7±1.5 <sup>b</sup>	2	
80~109		-15.4±0.8 <sup>bc</sup>	7.3±2.7 <sup>ab</sup>	4	
110~139		-15.3±0.4 <sup>bc</sup>	8.3±0.6 <sup>ab</sup>	10	
140~169		-15.1±0.4 <sup>c</sup>	8.8±0.4 <sup>a</sup>	6	
170~199		-15.6±0.7 <sup>bc</sup>	9.1±1.1 <sup>a</sup>	3	
ANOVA		$F=10.554, P=0.000$	$F=4.655, P=0.005$		

褐菖鲈 $\delta^{15}N$ 值最大，为9.1‰。

单因素方差分析显示，0~19 mm的褐菖鲈与其他全长组的 $\delta^{13}C$ 值都差异显著；20~139 mm褐菖鲈之间的 $\delta^{13}C$ 值差异不显著，与140~169 mm的 $\delta^{13}C$ 值差异显著；80~199 mm褐菖鲈之间的 $\delta^{13}C$ 值差异不显著。褐菖鲈的 $\delta^{15}N$ 值有随全长增加而上升的趋势，0~139 mm的 $\delta^{15}N$ 值差异不显著，80~199 mm的 $\delta^{15}N$ 值差异不显著。

根据平均 $\delta^{13}C$ 和 $\delta^{15}N$ 值的聚类分析结果，不同的全长组分为3组，其中0~19 mm为一组，20~79和80~109 mm为一组，其余全长组110~199 mm为一组(图2)，ANOSIM分析3组之间的差异极显著( $P<0.01, R^2=1$ )。

2.3 食源贡献

褐菖鲈(Seb)的 $\delta^{13}C$ 值都位于饵料类群 $\delta^{13}C$ 值相对富集的钩虾(Gam)、虾类(Shr)、蟹类(Cra)和鱼类(Fis)一侧；褐菖鲈的 $\delta^{15}N$ 值大于麦秆虫(Cap)、钩虾和浮游动物(Zoo)，与鱼类、虾类和

蟹类的 $\delta^{15}N$ 值较接近(图3)。

浮游动物、钩虾、麦秆虫等6大饵料类群对褐菖鲈的食源贡献中，麦秆虫的可能贡献均值最大，为22.3%，范围为0%~68%，其他类群的贡献都超过了12%(表3)。

2.4 营养级

本研究选择浮游动物为基准生物，以小型浮游桡足类的 $\delta^{15}N$ 值(4.9‰)作为基线值，基于 $\delta^{15}N$ 值在营养级传递过程中相对稳定的富集规律(TEF为3.4‰)，计算出了枸杞岛近岸海域褐菖鲈的平均营养级为3.18。

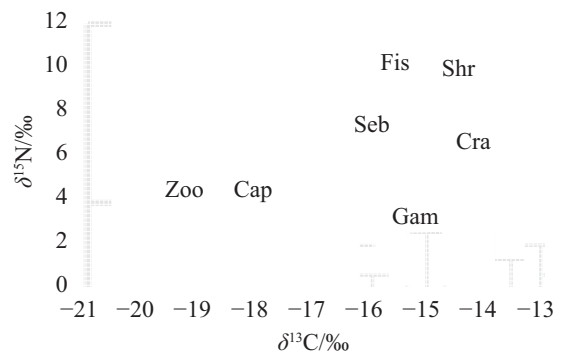


图 3 褐菖鲈及其饵料类群的稳定同位素组成  
Fig. 3 Stable isotope signature for *S. marmoratus* and food groups

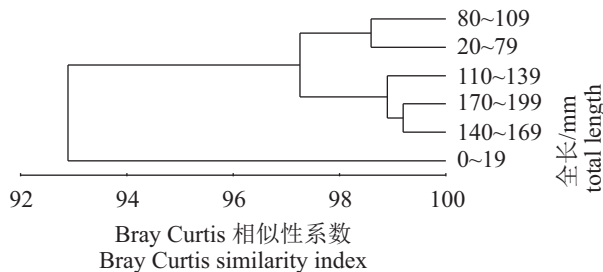


图 2 褐菖鲈不同全长组碳、氮稳定同位素水平聚类图  
Fig. 2 Hierarchical clustering of stable nitrogen and stable carbon results for *S. marmoratus* classification by total length

3 讨论

3.1 褐菖鲈的食性和营养级

饵料生物种类组成和生物量的季节变化会引起消费者摄食习性的季节变化<sup>[27]</sup>，稳定同位素技术反映动物长期摄食习性的情况，消费者

表3 不同饵料类群对褐菖鲉的食源贡献(基于 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 的IsoSource模型)Tab. 3 Relative contribution of different food groups to *S. marmoratus* (IsoSource model based on  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$ )

物种 species		不同食物源的相对贡献率/% relative contribution percentage							
		浮游动物 Zoo	钩虾 Gam	麦秆虫 Cap	虾类 Shr	蟹类 Cra	鱼类 Fis		
褐菖鲉 <i>S. marmoratus</i>	均值 mean	18.6	16.5	22.3	14.4	12.8	15.4		
	范围 range	0~38	0~78	0~68	0~68	0~58	0~70		

碳、氮稳定同位素的季节变化是由食物组成的季节变化引起的<sup>[28]</sup>。本研究的结果显示,褐菖鲉的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值季节差异都不显著,主要是因为其饵料类群的稳定同位素季节变化不显著<sup>[29]</sup>,由于碳稳定同位素在不同营养级生物间的分馏效应相对较小,消费者的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也与其饵料一样,季节变化不大。

食物网中一些高营养级的鱼类会对浮游和底栖类型的饵料生物有不同程度的摄食, Vizzini等<sup>[30]</sup>测定高营养级鱼类的稳定同位素就发现了此现象。一般情况下,开阔水域中鱼类的食物组成种类繁多,较少有鱼类特化为以某一种饵料为主食<sup>[31]</sup>。在枸杞岛近岸海域,褐菖鲉分别对浮游动物以及麦秆虫、鱼类和虾蟹类等底栖生物有不同程度的摄食,其食物来源非常广泛。

一些研究表明传统方法经过消化吸收率校正后的结果与稳定同位素技术的分析结果基本一致<sup>[32]</sup>,例如纪炜炜<sup>[33]</sup>分析了浮游生物、日本鳀(*Trachurus japonicus*)等饵料生物对小黄鱼、绿鳍鱼(*Chelidonichthys kumu*)等种类的食物贡献,所得的稳定同位素结果与胃含物分析的结果差异不大。比较2种方法分析褐菖鲉的摄食习性,发现胃含物分析结果中钩虾、麦秆虫、虾类、蟹类和鱼类的相对重要性指数百分比分别为5.03、92.00、0.71、1.16和0.87,稳定同位素技术显示麦秆虫对褐菖鲉的食源贡献为22.3%,远低于基于胃含物分析的92%的营养贡献值,而其他饵料对褐菖鲉的贡献比例要高于传统的胃含物分析的结果。造成这种贡献比例不同的原因可能是传统胃含物分析方法反映的是褐菖鲉瞬时的摄食情况,麦秆虫只有在6—8月的爆发期才是其主要饵料,在其他季节褐菖鲉主要摄食虾蟹类<sup>[21]</sup>,而褐菖鲉的稳定同位素组成反映的是其长期摄食和同化的食物的综合信息<sup>[34]</sup>。

王凯等<sup>[21]</sup>通过胃含物分析方法发现褐菖鲉主要摄食端足类、鱼类和虾蟹类等底栖动物,

很少摄食浮游动物。本研究应用稳定同位素技术显示褐菖鲉的 $\delta^{13}\text{C}$ 值更靠近饵料类群 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对较大的一侧,这表明麦秆虫、钩虾、虾类、蟹类和鱼类等 $\delta^{13}\text{C}$ 值较大的饵料类群是它们的主要食源。同时,本研究通过 $\delta^{15}\text{N}$ 值获得的褐菖鲉营养级3.18与胃含物分析结果的3.35较为接近,因此褐菖鲉是底栖动物食性。

### 3.2 褐菖鲉摄食习性的转变

鱼类的摄食习性随季节和发育阶段而变化是普遍现象,稳定同位素方法也可以用来判断鱼类食性的转变。褐菖鲉的 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值在不同季节之间差异都不显著( $P>0.05$ ),说明不同季节之间褐菖鲉的食性差异不大。对褐菖鲉全长和碳、氮稳定同位素比值进行线性回归分析,显示其 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值随全长的变化都极显著( $P<0.01$ ),表明不同发育阶段褐菖鲉的食性差异极显著。

本研究中,不同全长组褐菖鲉的食物来源存在差异,褐菖鲉幼体阶段(0~19 mm)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较小,与浮游动物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值接近,主要摄食浮游动物等,成鱼(>19 mm)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-15‰,与钩虾等的 $\delta^{13}\text{C}$ 值接近,主要摄食 $\delta^{13}\text{C}$ 值较大的端足类、虾蟹类等。 $\delta^{15}\text{N}$ 值随着全长的增加而逐渐增大,由此表明褐菖鲉食性也由幼鱼期的浮游动物食性转变为成体的底栖动物食性。王凯等<sup>[22]</sup>通过胃含物分析也发现,不同体长组的褐菖鲉食物组成存在差异,随体长的增加,食物组成中端足类比例减少,鱼类和蟹类的比例增加。岩礁近岸小于109 mm的褐菖鲉主食麦秆虫、钩虾等,大于109 mm的褐菖鲉主要摄食褐菖鲉、鳀、隆线强蟹、赤鼻棱鳀和葛氏长臂虾等较大的饵料生物。褐菖鲉等游泳动物的食性在生长过程中发生多次转化,尤其是在幼体阶段的食性转化对幼体的成活有很大的影响。通过传统食性分析方法和稳定同位素技术研究鱼类的摄

食习性可以弥补2种研究方法的不足, 结果更合理, 对鱼类生态学研究具有重要意义。

感谢上海海洋大学海洋科学学院赵静、周曦杰、吴程宏、徐胜南、陈玲、邓明星和席晓晴等的帮助!

#### 参考文献:

- [1] Ross S T. Resource partitioning in fish assemblages: a review of field studies[J]. *Copeia*, 1986: 352-388.
- [2] Fogarty M J, Murawski S A. Large-scale disturbance and the structure of marine systems: fisher impacts on Georges Bank[J]. *Ecological Applications*, 1998, 8(sp1).
- [3] 李忠义. 应用稳定同位素技术研究长江口及南黄海水域主要鱼类摄食生态和食物网结构[D]. 厦门: 厦门大学, 2006.
- Li Z Y. Studies on the feeding ecology of dominant fishes and foodweb structure in the Changjian estuary and southern Yellow Sea with stable isotope[D]. Xiamen: Xiamen University, 2006(in Chinese).
- [4] 窦硕增. 鱼类摄食生态研究的理论及方法[J]. *海洋与湖沼*, 1996, 27(5): 556-561.
- Dou S Z. Feeding ecology of fish-A critical review on theories, methods and their application[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinca*, 1996, 27(5): 556-561(in Chinese).
- [5] 窦硕增. 鱼类胃含物分析的方法及其应用[J]. *海洋通报*, 1992, 11(2): 28-31.
- Dou S Z. Fish-stomach content analysis: methods and application[J]. *Marine Science Bulletin*, 1992, 11(2): 28-31(in Chinese).
- [6] 薛莹, 金显仕, 张波, 等. 黄海中部小黄鱼的食物组成和摄食习性的季节变化[J]. *中国水产科学*, 2004, 11: 237-243.
- Xue Y, JIN X S, Zhang B, *et al.* Diet composition and seasonal variation in feeding habits of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in the central Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11: 237-243(in Chinese).
- [7] 陈大刚. 渔业资源生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- Chen D G. Fishery resources biology[M]. Beijing: China agriculture press, 1997(in Chinese).
- [8] 林光辉. 稳定同位素生态学: 先进技术推动的生态学新分支[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(2): 119-122.
- LIN G H. Stable isotope ecology: a new branch of ecology resulted from technology advances[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(2): 119-122(in Chinese).
- [9] 赵盛龙, 钟俊生. 舟山海域鱼类原色图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- Zhao S L, Zhong J S. Fish primary color map of Zhoushan sea area[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006(in Chinese).
- [10] 王蕾. 枸杞岛海藻场生态系统与鱼类群落季节变化的关系[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011.
- Wang L. Relationship between ecosystem of kelp beds and seasonal variation of fish assemblages at waters around Gouqi Island[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2011(in Chinese).
- [11] 汪振华, 王凯, 章守宇. 马鞍列岛多种生境中鱼类群落的昼夜变化[J]. *生态学报*, 2011, 31(22): 6912-6925.
- Wang Z H, Wang K, Zhang S Y. Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(22): 6912-6925(in Chinese).
- [12] 汪振华, 王凯, 赵静, 等. 枸杞岛潮下带沙地生境鱼类群落结构和季节变化[J]. *应用生态学报*, May 2011, 22(5): 1332-1342.
- Wang Z H, Wang K, Zhao J, *et al.* Fish community structure and its seasonal change in subtidal sandy beach habitat off southern Gouqi Island[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, May 2011, 22(5): 1332-1342(in Chinese).
- [13] 汪振华, 章守宇, 陈清满, 等. 马鞍列岛岩礁生境鱼类群落生态学. I. 种类组成和多样性[J]. *生物多样性*, 2012, 20(1): 41-50.
- Wang Z H, Zhang S Y, Chen J M, *et al.* Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago. I. species composition and diversity[J]. *Biodiversity Science*, 2012, 20(1): 41-50(in Chinese).
- [14] 章守宇, 汪振华, 林军, 等. 枸杞岛海藻场夏、秋季的渔业资源变化[J]. *海洋水产研究*, 2007, 1: 45-52.
- Zhang S Y, Wang Z H, Lin J, *et al.* Variation of fisheries resources in summer and autumn seaweed beds of Gouqi Island[J]. *Marine fisheries research*, 2007, 1: 45-52(in Chinese).
- [15] 章守宇, 王蕾, 汪振华, 等. 枸杞岛海藻场优势种鱼类

- 群体特征及其在不同生境中的差异[J]. 水产学报, 2011, 35(9): 1399-1409.
- Zhang S Y, Lin J, Wang Z H, *et al.* Characteristics of dominant fish assemblages in kelp bed habitat of Gouqi Island and distribution diversity in coastal area[J]. Journal of fisheries of China, 2011, 35(9): 1399-1409(in Chinese).
- [16] 张雅芝, 李福振, 郭长春. 东山湾褐菖鲉摄食食性研究[J]. 台湾海峡, 1993, 12(3): 233-241.
- Zhang Y Z, Li F Z, Guo C C. Study on feeding habits of *Sebastes marmoratus* in Dongshan Bay[J]. Journal of oceanography in Taiwan Strait, 1993, 12(3): 233-241(in Chinese).
- [17] 吴常文. 浙江舟山近海褐菖鲉 *Sebastes marmoratus* 生物学研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 1999, 18(3): 185-190.
- Wu C W. Biological Studies on *Sebastes marmoratus* of Zhoushan[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition), 1999, 18(3): 185-190(in Chinese).
- [18] 张波, 李忠义, 金显仕. 渤海鱼类群落功能群及其主要种类[J]. 水产学报, 2012, 36(1): 64-72.
- Zhang B, Li Z Y, Jin X S. Functional groups of fish assemblages and their major species in the Bohai Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(1): 64-72(in Chinese).
- [19] 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.
- Zhang B, Tang Q S. Study on trophic level of important resources species at high trophic levels in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(4): 393-404(in Chinese).
- [20] 王凯. 马鞍列岛海域主要鱼类摄食生态和食物关系研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- Wang K. Feeding ecology and food relationship of the main fishes off Ma'an Archipelago [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012(in Chinese).
- [21] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 枸杞岛海藻场褐菖鲉的摄食习性[J]. 水产学报, 2010, 34(2): 227-235.
- Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Feeding habit of *Sebastes marmoratus* in seaweed bed around Gouqi Island[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(2): 227-235(in Chinese).
- [22] 王凯, 章守宇, 汪振华, 等. 枸杞岛岩礁生境主要鱼类的食物组成及食物竞争[J]. 应用生态学报, 2012, 23(2): 536-544.
- Wang K, Zhang S Y, Wang Z H, *et al.* Dietary composition and food competition of six main fish species in rocky reef habitat off Gouqi Island[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(2): 536-544(in Chinese).
- [23] 郑新庆. 筲筴湖食物网营养结构和能流过程的研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2011.
- Zheng X Q. Study of energy flow and trophic structure of food web in a tropic Yundang Lagoon[D]. Xiamen: Xiamen University, 2011(in Chinese).
- [24] 李忠义, 郭旭鹏, 金显仕, 等. 长江口及其邻近水域春季虹的食性[J]. 水产学报, 2006, 30(5): 654-661.
- Li Z Y, Guo X P, Jin X S, *et al.* Feeding habit of *Erisphex potti* from Changjiang estuary and adjacent sea in spring[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(5): 654-661(in Chinese).
- [25] 全为民. 长江口盐沼湿地食物网的初步研究: 稳定同位素分析[D]. 上海: 复旦大学, 2007.
- Quan W M. Food web analysis of salt marshes of the Yangtze River Estuary by using stable isotope[D]. Shanghai: Fudan University, 2007(in Chinese).
- [26] 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.
- Li Z Y, Zuo T, Dai F Q, *et al.* Trophic level analysis of organisms from Changjiang estuary and adjacent waters of southern Yellow Sea in spring with stable isotope technology[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(1): 103-109(in Chinese).
- [27] 蒋日进, 徐汉祥, 金海卫, 等. 东海蓝圆鲹的摄食习性[J]. 水产学报, 2012, 36(2): 216-227.
- Jiang R J, Xu H X, Jin H W, *et al.* Feeding habits of blue mackerel scad *Decapterus maruadsi* Temminck et Schlegel in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(2): 216-227(in Chinese).
- [28] 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, 2001, 20(1): 189-197.
- Sun M, Liu X Z, Li Y P, *et al.* Trophic level analysis of key species in Liaodong Bay using stable nitrogen isotopes[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2001,

- 20(1): 189-197(in Chinese).
- [29] 蒋日进, 章守宇, 毕远新, 等. 枸杞岛海藻场小型无脊椎动物的食物来源[J]. 水产学报, 2015, 39(10): 1487-1498.
- Jiang R J, Zhang S Y, Bi Y X, *et al.* Food resources of small invertebrates in the macroalgal bed of Gouqi Island[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(10): 1487-1498.
- [30] Vizzini S, Mazzola A. Seasonal variations in the stable carbon and nitrogen isotope ratios (C-13/C-12 and N-15/N-14) of primary producers and consumers in a western Mediterranean coastal lagoon[J]. *Marine biology*, 2003, 142(5): 1009-1018.
- [31] Ben-David M, Hanley T, Klein D, *et al.* Seasonal changes in diets of coastal and riverine mink: the role of spawning Pacific salmon[J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1997, 75: 803-811.
- [32] 李由明, 黄翔鹤, 刘楚吾. 碳氮稳定同位素技术在动物食性分析中的应用[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 34(2): 119-122.
- Lin Y M, Huang X H, Liu C W. Stable isotope ecology: a new branch of ecology resulted from technology advances[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2010, 34(2): 119-122(in Chinese).
- [33] 纪炜炜. 东海中北部主要游泳动物食物网结构和营养关系初步研究: 基于稳定同位素技术[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2011.
- Ji W W. Ecological studies on the food web structures and trophic relationships of northern and central East China Sea using stable carbon and nitrogen isotopes[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2011(in Chinese).
- [34] 张波. 中国近海食物网及鱼类营养动力学关键过程的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005, 84-85.
- Zhang B. Preliminary studies on marine food web and trophodynamics in China coastal seas[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005, 84-85(in Chinese).



## Feeding habits of *Sebastiscus marmoratus* in the Gouqi Island based on stable isotope analysis

XUE Bin<sup>1,2</sup>, JIANG Rijin<sup>1,3\*</sup>, WANG Kai<sup>3</sup>, LIANG Jun<sup>1</sup>, XU Kaida<sup>1</sup>, LI Zhenhua<sup>1</sup>

(1. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources for Key Fishery Grounds, Ministry of Agriculture, Zhejiang Province Key Laboratory for Technology Research on Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources,

Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China;

2. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, School of Earth Sciences,

China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. College of Marine Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** *Sebastiscus marmoratus* was the main economic fish in Gouqi Island offshore waters of north-east Zhoushan Islands, which played an important part in local fishery. This research used carbon and nitrogen stable isotope technology to analyze the feeding habit of *S. marmoratus* in different seasons and developmental stages and evaluated the nutrition contribution from food organism such as zooplankton, amphipoda, shrimp, crabs and small fishes. It showed that in the four seasons of Gouqi Island offshore waters, the  $\delta^{13}\text{C}$  value of *S. marmoratus* was between  $-18.2\text{‰}$  and  $-14.7\text{‰}$ , of which the average value was  $-15.6\text{‰}$ ; the  $\delta^{15}\text{N}$  value was between  $3.3\text{‰}$  and  $9.9\text{‰}$ , of which the average value was  $7.9\text{‰}$ . One-Way ANOVA showed that the  $\delta^{13}\text{C}$  value and that of  $\delta^{15}\text{N}$  were insignificantly different between seasons. This indicated only a slight difference in the feeding habit between different seasons. A linear-regression analysis was carried out, which analyzed the whole body length and the carbon and nitrogen stable isotope ratios and showed the  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values changed with the body length significantly, which indicated the differences of the feeding habits of different developmental stages were very significant. Cluster analysis divided *S. marmoratus* with different body length into three groups: one group with the length of 0 to 19 mm, another group 20 to 79 mm and 80 to 109 mm and the third one 110 to 199 mm. ANOSIM analysis showed the differences between the three groups were quite significant. The  $\delta^{13}\text{C}$  value of *S. marmoratus* was close to that of the food organism such as shrimp, crabs and small fishes. When analyzing the nutrition contribution of food organism with IsoSource Software, the research found Caprellidae's average nutrition contribution to *S. marmoratus* was the greatest, i.e. 22.3%, and that of the fishes, shrimp and crabs was all above 12%. Based on the  $\delta^{15}\text{N}$  value of *S. marmoratus* of Gouqi Island offshore waters, the average trophic level was 3.18, indicating that the *S. marmoratus* was of low-level carnivores feeding on Caprellidae. The research found that *S. marmoratus* was benthos feeders rather than zooplankton feeders and Caprellidae, fish, shrimp and crabs etc. were the main food source.

**Key words:** *Sebastiscus marmoratus*; stable isotope; feeding habits; trophic level

**Corresponding author:** JIANG Rijin. E-mail: jiangridge@163.com

**Funding projects:** National Natural Science Foundation (41176110, 41406153); Zhejiang Provincial Natural Science Foundation (LY13D060006, LY17C190006); Science and Technology Project of Zhejiang Province (2016F30018)