

DOI: 10.5846/stxb201806221375

盖珊珊, 赵文溪, 宋静静, 于道德, 刘莹, 王其翔, 周健. 小黑山岛人工鱼礁区许氏平鲈和大泷六线鱼的营养生态位研究. 生态学报, 2019, 39(18):

Ge S S, Zhao W X, Song J J, Yu D D, Liu Y, Wang Q X, Zhou J. Study on Trophic Niches of *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii* in the Artificial reef area of Xiaoheishan Island. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(18):

小黑山岛人工鱼礁区许氏平鲈和大泷六线鱼的营养生态位研究

盖珊珊¹, 赵文溪¹, 宋静静¹, 于道德¹, 刘莹¹, 王其翔^{1,2}, 周健^{1,2,*}

¹ 山东省海洋生物研究院, 青岛市浅海底栖渔业增殖重点实验室, 青岛 266104

² 山东省海洋预报减灾中心, 青岛 266104

摘要: 本文以小黑山岛人工鱼礁区的 2 种典型礁鱼类—许氏平鲈 (*Sebastes schlegelii*) 和大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 为研究对象, 利用碳、氮稳定同位素技术分析了其在 2016 年春秋两季的生态位重叠及宽幅变化情况。许氏平鲈的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在春季显著大于大泷六线鱼, 而在秋季则无明显差异; $\delta^{15}\text{N}$ 值在春秋两季均显著大于大泷六线鱼。频率分布方面, 许氏平鲈的 $\delta^{13}\text{C}$ 值频率分布范围始终大于大泷六线鱼, 而其 $\delta^{15}\text{N}$ 值频率分布的季节变动幅度小于大泷六线鱼, 表明许氏平鲈具有更广泛的食物来源、占据较为稳定的营养级层次, 大泷六线鱼则具有明显的摄食选择性且所居营养级层次波动剧烈。此外, 许氏平鲈与大泷六线鱼仅在秋季出现营养生态位的重叠, 表明在人工鱼礁区群落中许氏平鲈与大泷六线鱼之间存在种间食物竞争; 而许氏平鲈春秋两季的营养生态位宽幅均大于大泷六线鱼, 说明许氏平鲈较大泷六线鱼对食物资源的利用和竞争能力更强。

关键词: 许氏平鲈; 大泷六线鱼; 营养生态位; 稳定同位素

Study on Trophic Niches of *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii* in the Artificial reef area of Xiaoheishan Island

GE Shanshan¹, ZHAO Wenxi¹, SONG Jingjing¹, YU Daode¹, LIU Ying¹, WANG Qixiang^{1,2}, ZHOU Jian^{1,2,*}

¹ Marine Biology Institute of Shandong Province, Key Laboratory of Benthic Fisheries Aquaculture and Enhancement, Qingdao 266104, China

² Shandong Marine Forecast and Hazard Mitigation Service, Qingdao 266104, China

Abstract: This study analyzed the niche overlap and wide variation between two typical reef fish species, *Sebastes schlegelii* and *Hexagrammos otakii*, from an artificial reef area of Xiaoheishan Island, during spring and autumn. The $\delta^{13}\text{C}$ value of *S. schlegelii* was significantly higher than that of *H. otakii* in spring, while there was no difference between the two species in autumn. Moreover, the $\delta^{15}\text{N}$ value of *S. schlegelii* was significantly greater than that of *H. otakii* in both spring and autumn. The frequency distribution of *S. schlegelii* $\delta^{13}\text{C}$ values was always greater than that of *H. otakii*, while the seasonal variation of the $\delta^{15}\text{N}$ frequency distribution was less than that of *H. otakii*. We concluded that *S. schlegelii* utilized a wide range of food sources and occupied a stable trophic level, while *H. otakii* had a narrower preference for food, and the trophic level it occupied fluctuates dramatically. In addition, there was an overlap of trophic niches between the two species only in autumn, while at other times *S. schlegelii* had a higher and wider trophic niche than *H. otakii*. In conclusion, we found there was interspecific competition between *S. schlegelii* and *H. otakii* in the artificial reef community, and *S. schlegelii* had a superior ability to utilize food resources.

基金项目: 山东省自然科学基金 (ZR2016DQ03); 烟台市科技计划 (2018SFBF084); 山东省重点研发计划 (2016ZDJS09A02)

收稿日期: 2018-06-22; **网络出版日期:** 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhoujian.park@163.com

Key Words: *Sebastes schlegelii*; *Hexagrammos otakii*; trophic niche; stable isotope

人工鱼礁 (Artificial reef) 是人为放置在海底的一个或多个自然或者人工构造物,通过改变与海洋生物资源有关的物理、生物及社会经济过程^[1],改善海域生态环境,营造海洋生物栖息的良好环境,为鱼类等提供繁殖、生长、索饵和避敌的场所,达到保护、增殖和提高渔获量的目的^[2],并已成为世界沿海各国普遍采用的渔业管理工具^[3]。人工鱼礁实质上是对生态系统一次性干扰所形成的人工生境,由于礁体材质本身区别于海底底质,且四周流态和水深等因子与天然岩礁又具有很大差异,理论上必然引发“环境变化—竞争关系变化—群落结构变化”的历程,最终形成区别于自然生境的独特生物群落^[4]。自 1988 年第四届国际人工鱼礁会议以来,人工鱼礁生物群落变化受到了海洋生态学家们的日益关注,相关研究成果也为人工鱼礁的合理开发利用提供了重要参考。值得注意的是,当前关于人工鱼礁区鱼类群落结构演变研究主要偏重于分析投礁前后(或以自然海区为对照)礁区鱼类种群数量和群落结构变化的层面^[5-7],而对功能相似物种间的竞争均势与演化分异研究则普遍缺乏,客观上制约了人工鱼礁生物群落结构演变机制的深层次探索。

生态位 (Niche) 理论被普遍认为是近代理论生态学的核心思想,是探讨群落演变的经典理论,在种间关系、群落结构、物种多样性及种群进化等研究领域已被广泛应用^[8]。传统上,生态位宽度和种间生态位重叠被认为是物种多样性及群落结构的决定因素,也反映了所在群落的稳定性^[9]。近年来,随着稳定同位素示踪法的完善,将同位素比值转换成不同同位素来源的食性比例,通过分析特定物种的营养生态位,揭示物种对资源的利用能力及其在群落或生态系统中的功能位置,已成为生态位理论体系研究中的焦点^[10],并在种群分异演变研究方面得到越来越多的应用。韩东燕等利用营养生态位重叠指数探讨了胶州湾 5 种虾虎鱼类种间食物竞争与空间分布的关系^[11],并指出同一群落中鱼类间可通过营养/空间生态位的分化降低种间竞争。张欢等利用 $\delta^{13}\text{C}$ 值频率分布分析了日本沼虾 (*Macrobrachium nipponensis*) 与秀丽白虾 (*Exopalaemon modestus*) 在洞庭湖和鄱阳湖中的摄食饵料种类范围及摄食选择性^[12],发现日本沼虾的食物来源更广,且较秀丽白虾有明显的摄食选择性。姜亚洲研究了象山港 9 种虾虎鱼类的稳定同位素组成特点及营养生态位^[13],表明不同物种的营养生态位产生了分化,营养生态位和饵料组成重叠度较高。

许氏平鲈 (*Sebastes schlegelii*) 和大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 均属于辐鳍鱼纲 (*Actinopterygii*) 鲉形目 (*Scorpaeniformes*) 鱼类,为近海冷温性底栖类恋礁型鱼种,广泛分布于我国黄渤海、东海海域^[14]。在小黑山岛人工鱼礁区,许氏平鲈和大泷六线鱼均为该海域物种丰富度较高的鱼类类群,且二者在本研究区域食物网中营养级相近,对该海域物质循环和能量流动起着至关重要的作用^[15]。本文以许氏平鲈、大泷六线鱼为研究对象,利用碳、氮稳定同位素技术分析了两种鱼类生态位宽幅及重叠情况,以期揭示相似营养级物种的食性竞争及分异分化研究提供基础数据和资料参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

小黑山岛 (37°57'55"—37°58'44"N, 120°38'21"—120°39'10"E) 隶属于山东半岛北部庙岛群岛,地处黄渤海交汇处,近海海域水质状况良好,各种理化因子季节变化明显,潮流运动形式以往复流为主,历史上该海域自然生物量丰富,有“渔业摇篮”之称^[16]。近年来,随着过度捕捞和海洋开发程度的日益加深,传统优质渔业资源出现不同程度的衰退。为了修复海洋生态环境,实现渔业资源的增殖和养护,于 2014 年 6 月在小黑山岛东北部海域投放以钢筋混凝土为主材料的礁体 (规格为 1400mm×1400mm×1200mm) 162 个,共计形成人工鱼礁总规模达 220 空方。

1.2 样品采集与处理

分别于 2016 年春季 (5 月)、秋季 (11 月) 在小黑山岛人工鱼礁区 (37°57'49.17", 120°39'11.37") 设置地笼网,每次从地笼网渔获物中选择行动敏捷、体色光泽度高、鱼鳍舒展完整的样本 30 尾,冷冻保存带回实验室处

理。将样品鱼皮剥去,取其背部肌肉,置于烘箱内 60—80℃ 烘干 48h 至恒质量,用研钵研磨成均匀粉末后放入干燥器保存以待送测。

1.3 稳定同位素测定

准确称取定量粉末样品,用 4×6 锡杯包样,用稳定同位素质谱仪联机 (Flash EA 1112 HT-Delta V Advantages, Thermo 公司) 测定待测物中 TOC、TON、 $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 和 $\delta^{15}\text{N}_{\text{TON}}$ 值。载气 He 流速 90 mL/min,反应管温度 960℃,色谱柱温度 50℃。

$\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 值以国际标准物 (Vienna Pee Dee Belemnite, VPDB) 作为参考标准, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 值按以下公式计算:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}} = \left[\frac{R(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{sample}}}{R(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{VPDB}}} - 1 \right] \times 1000\text{‰}$$

式中, $R(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{VPDB}}$ 为 VPDB 的碳同位素丰度比值, $R(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{sample}}$ 为样品中两种碳同位素比值, $\delta^{13}\text{C}_{\text{TOC}}$ 值的分析精度为 $\pm 0.2\text{‰}$ 。

$\delta^{15}\text{N}_{\text{TON}}$ 值以空气氮气作为参考标准, $\delta^{15}\text{N}_{\text{TON}}$ 值按以下公式计算:

$$\delta^{15}\text{N}_{\text{TON}} = \left[\frac{R(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{sample}}}{R(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{air}}} - 1 \right] \times 1000\text{‰}$$

式中, $R(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{air}}$ 为空气中氮气的氮同位素丰度比值, $R(^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{sample}}$ 为样品中两种氮同位素比值, $\delta^{15}\text{N}_{\text{TON}}$ 值的分析精度为 $\pm 0.25\text{‰}$ 。

利用 SPSS16.0 单因素方差分析 (one-way ANOVA) 检验不同季节两种鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值是否存在显著性差异。

1.4 营养生态位估算

分别以 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{15}\text{N}$ 值为横、纵坐标,绘制不同季节两种鱼类的碳、氮稳定性同位素比值二维散点集,并计算最外缘散点实线连线所围成的凸多边形总面积 (Total Area, TA),以及估算标准椭圆面积 (Standard Ellipse Area, SEA) 及营养生态位重叠面积 (Overlap Area, OA)。 $\delta^{13}\text{C}$ 值变幅 ($\delta^{13}\text{C}$ value variational range, CR) 表征不同季节鱼类的摄食范围, $\delta^{15}\text{N}$ 值变幅 ($\delta^{15}\text{N}$ value variational range, NR) 表征不同季节鱼类的营养层次跨度, TA 用以衡量不同季节两种鱼类的总营养生态位, SEA 是基于贝叶斯原理 95% 置信区间生成的标准椭圆营养生态位, OA 作为衡量两个种群营养生态位季节性变化和种间营养生态位重叠的度量指标^[17-18]。总面积 TA、标准椭圆面积 SEA 和重叠面积 OA 分别使用 R 语言在集成开发环境 RStudio 中计算,即先载入 spatstat、siar 软件包,使用 plot()、convexhull()、ellipse()、overlap() 等函数绘制凸多边形、标准椭圆,并计算相关图形及重叠区域的面积。

2 结果与分析

2.1 稳定同位素特点分析

由图 1 所示,不同季节许氏平鲈的 $\delta^{15}\text{N}$ 值平均值均大于大泷六线鱼,且呈极显著差异 ($P < 0.01$);春季 2 种鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均值差异极显著 ($P < 0.01$),而秋季二者 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均值差异不显著 ($P > 0.05$)。春季,许氏平鲈 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均值 ($-17.85 \pm 0.48\text{‰}$) 显著大于大泷六线鱼 ($-20.12 \pm 0.11\text{‰}$, $P < 0.01$),而秋季没有显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 稳定同位素分布频率

2.2.1 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布频率

如图 2A 所示,许氏平鲈和大泷六线鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 值频率分布图峰型分别为双峰型、单峰型,峰群不相交。许氏平鲈 $\delta^{13}\text{C}$ 值在 -19.3‰ — -17.7‰ 区间所占比例为 66.7%,大泷六线鱼在 -20.4‰ — -19.6‰ 区间所占比例为 76.7%,许氏平鲈 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布区间 (-19.3‰ — -16.7‰) 大于大泷六线鱼 (-20.8‰ — -19.2‰),表明春季 2 个种群主要摄食种类不同,且许氏平鲈摄食种类范围大于大泷六线鱼。

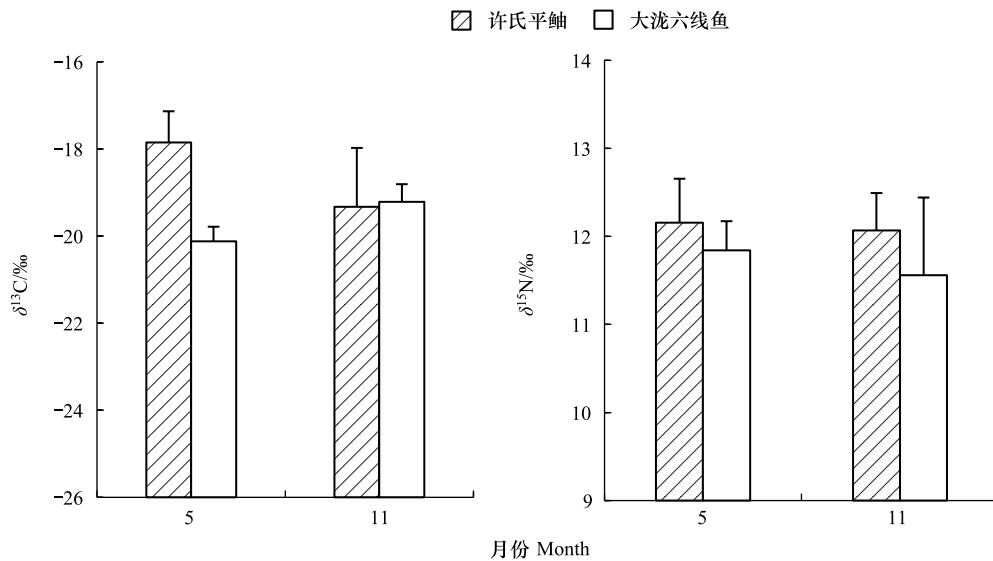


图 1 不同季节许氏平鲉和大泷六线鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 值

Fig.1 Mean (±SD) of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in *S. schlegelii* and *H. otakii* during different seasons

如图 2B 所示,秋季许氏平鲉和大泷六线鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 值频率分布图峰型与春季略有不同,大泷六线鱼的峰值出现在许氏平鲉双峰值之间。单峰型峰值突出说明大泷六线鱼对某一类群饵料生物有明显的摄食偏好性,双峰型说明许氏平鲉摄食存在 2 个偏好类群,峰群相交说明 2 个种群饵料生物出现部分重叠。春秋两季,单峰型峰值均高于双峰型峰值,均表明大泷六线鱼对偏好饵料的摄食强度均大于许氏平鲉。

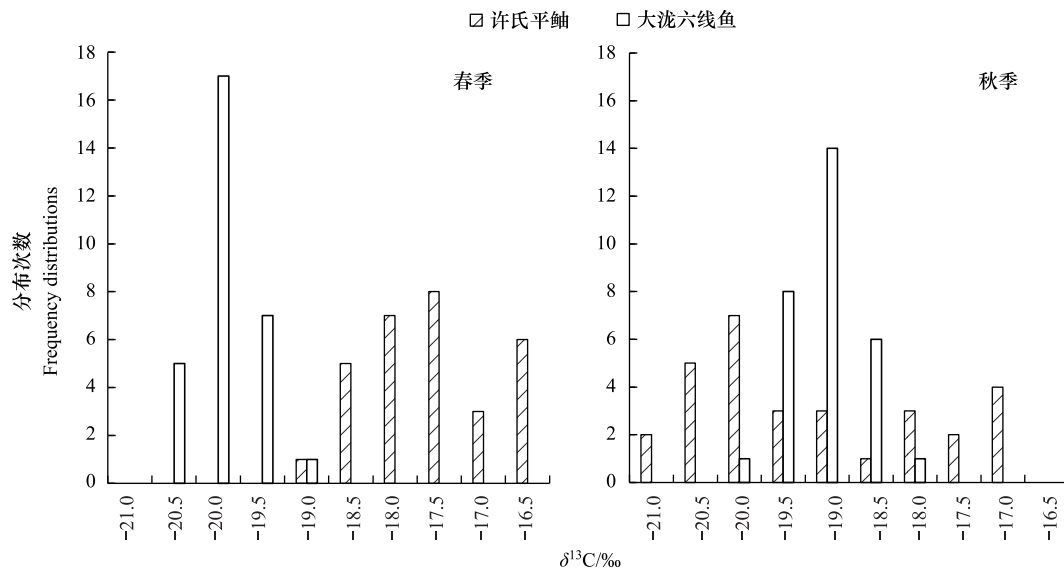


图 2 不同季节许氏平鲉和大泷六线鱼的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的频率分布

Fig.2 Frequency distributions of $\delta^{13}\text{C}$ signatures in *S. schlegelii* and *H. otakii* during different seasons

2.2.2 $\delta^{15}\text{N}$ 值分布频率

春季许氏平鲉和大泷六线鱼 $\delta^{15}\text{N}$ 值频率分布图峰型均为单峰型,峰群相交,峰值重叠(见图 3A)。许氏平鲉 $\delta^{15}\text{N}$ 值在 11.5‰—12.5‰闭合区间所占比例为 73.3%,大泷六线鱼在该区间所占比例为 90%,表明 2 个种群春季在本研究区食物网中营养级相近。其中,许氏平鲉 $\delta^{15}\text{N}$ 值分布区间(11.2‰—13.4‰)大于大泷六线鱼(11.3‰—12.5‰),则表明许氏平鲉所占营养层次跨度大于大泷六线鱼。

如图 3B 所示, 秋季许氏平鲈和大泷六线鱼 $\delta^{15}\text{N}$ 值频率分布图峰型虽和春季类似, 但二者分布频率跨度却发生反转改变, 即大泷六线鱼 $\delta^{15}\text{N}$ 值频率 (10.5‰—14‰) 大于许氏平鲈 (11.5‰—13‰), 说明 2 个种群在秋季营养级虽仍相似, 但大泷六线鱼所占营养层次跨度大于许氏平鲈。

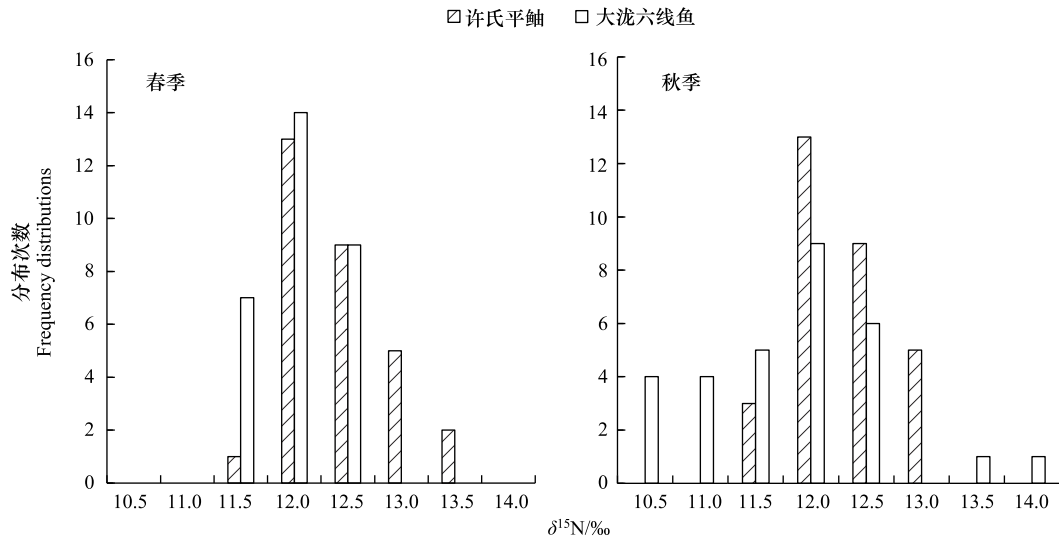


图 3 不同季节许氏平鲈和大泷六线鱼的 $\delta^{15}\text{N}$ 值的频率分布

Fig.3 Frequency distributions of $\delta^{15}\text{N}$ signatures in *S. schlegelii* and *H. otakii* during different seasons

2.3 营养生态位

2.3.1 营养生态位面积及种间重叠

如图 4、表 1 和表 2 所示, 从春季到秋季, 许氏平鲈的营养生态位总面积 (TA) 由 3.66 增大到 5.13, 标准椭圆营养生态位面积 (SEA) 由 1.16 增大到 1.77, 增长率分别为 40.2% 和 52.6%; 大泷六线鱼的营养生态位总面积 (TA) 由 1.05 增大到 3.73, 标准椭圆营养生态位面积 (SEA) 由 0.32 增大到 1.17, 其增长率接近为许氏平鲈的 6 倍, 分别达到了 255.2% 和 265.6%。春季许氏平鲈和大泷六线鱼不存在营养生态位的重叠 ($\text{OA}=0$), 2 个种群分别占据不同的营养生态位, 于食物资源利用方面并未表现出重叠迹象。而在秋季, 许氏平鲈与大泷六线鱼的营养生态位存在重叠 ($\text{OA}=1.89$), 表明 2 个种群对食物资源利用出现了明显争夺。此外, 许氏平鲈的营养生态位总面积在春秋两季均大于大泷六线鱼, 且在秋季种间重叠面积所占比例也较大泷六线鱼低, 表明小黑山岛人工鱼礁区生境中的许氏平鲈对食物资源的利用及竞争能力更强。

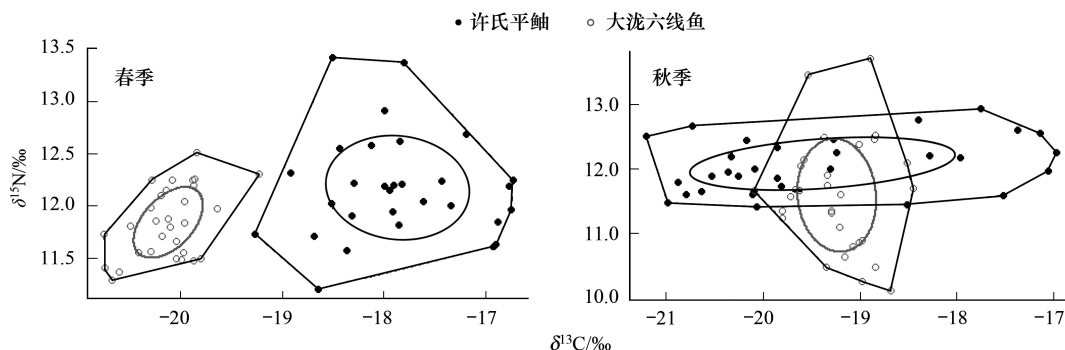


图 4 不同季节许氏平鲈和大泷六线鱼的营养生态位 (外围虚线闭合区域即为营养生态位面积)

Fig.4 The overlap of trophic niches between *S. schlegelii* and *H. otakii* in different seasons (The areas surrounding by the dotted lines are the trophic niche areas)

表 1 许氏平鲉和大泷六线鱼营养生态位面积

名称 Name	许氏平鲉 <i>S. schlegelii</i>		大泷六线鱼 <i>H. otakii</i>	
	春季(5月)	秋季(11月)	春季(5月)	秋季(11月)
	Spring(May)	Autumn(November)	Spring(May)	Autumn(November)
总面积(TA) Total area	3.66	5.13	1.05	3.73
标准椭圆面积(SEA) Standard ellipse area	1.16	1.77	0.32	1.17

表 2 许氏平鲉和大泷六线鱼营养生态位重叠情况

名称 Name	春季(5月)	秋季(11月)
	Spring(May)	Autumn(November)
许氏平鲉 <i>S. schlegelii</i>	3.66	5.13
大泷六线鱼 <i>H. otakii</i>	1.05	3.73
重叠面积(OA) Overlap area	0	1.89

2.3.2 营养生态位宽幅季节变化

许氏平鲉和大泷六线鱼的营养生态位存在季节性变化,均呈增长趋势,其中大泷六线鱼种群扩张尤为明显(见图 5 和表 3)。许氏平鲉 $\delta^{13}\text{C}$ 值变幅(CR)和春季 $\delta^{15}\text{N}$ 值变幅(NR)均大于大泷六线鱼,而秋季许氏平鲉 $\delta^{15}\text{N}$ 值变幅(NR)却小于大泷六线鱼。许氏平鲉种内营养生态位面积重叠(OA)为 2.50,分别占春秋两季总营养生态位面积的 68.3%、48.7%;而大泷六线鱼种内营养生态位面积重叠(OA)仅为 0.45,约占春秋两季总营养生态位面积的 42.9%和 12.1%,表明大泷六线鱼的营养生态位出现大幅波动,季节变化更显著。

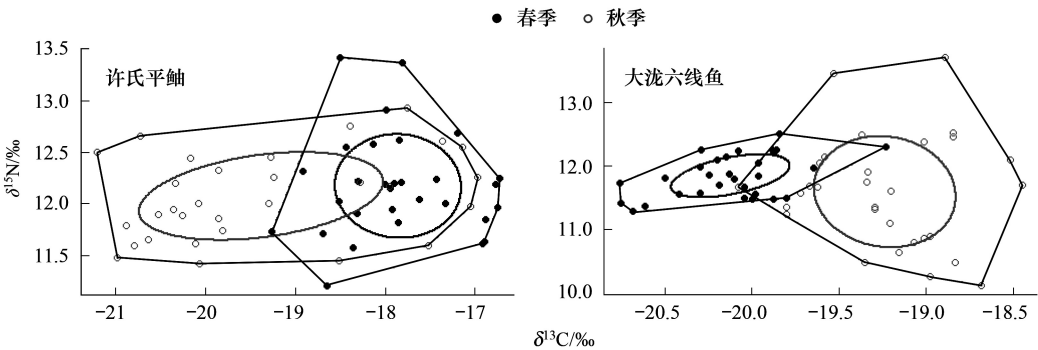


图 5 许氏平鲉和大泷六线鱼营养生态位的季节变化

Fig.5 Seasonal changes in the trophic niche of *S. schlegelii* and *H. otakii*

表 3 许氏平鲉和大泷六线鱼营养生态位变幅

名称 Name	许氏平鲉 (<i>S. schlegelii</i>)		大泷六线鱼 (<i>H. otakii</i>)	
	春季(5月)	秋季(11月)	春季(5月)	秋季(11月)
	Spring(May)	Autumn(November)	Spring(May)	Autumn(November)
$\delta^{13}\text{C}$ 值变幅(CR)	2.6	4.2	1.6	1.7
$\delta^{13}\text{C}$ value variational range				
$\delta^{15}\text{N}$ 值变幅(NR)	2.2	1.5	1.2	3.6
$\delta^{15}\text{N}$ value variational range				
重叠面积(OA) Overlap area	2.50		0.45	

3 讨论

传统胃含物分析结果表明,许氏平鲈在秋季主要摄食虾类、鱼类、多毛类、头足类等约 20 余种饵料,且摄食种类范围较为恒定,其中以疣背宽额虾(*Latreutes planirostris*)、小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)出现频率最多^[19];而大泷六线鱼除摄食以上种类外,还可摄食海藻类,且喜食种类随季节发生变化、因生长阶段出现差异。对大泷六线鱼而言,四季除均需大量摄食虾类以外,春季多摄食蟹类、多毛类,秋季则多摄食鱼类;体长 80—119mm 的个体喜食多毛类、虾类和藻类等,而体长>119mm 的个体主要摄食鱼类、虾蟹类^[20]。春季,小黑山岛礁区海域藻类的生物量相对较大^[21-22],加之此阶段大泷六线鱼普遍处于幼体生长阶段(平均体长为 113.00mm),造成其对藻类的摄食强度极高,而由于藻类食物源的 $\delta^{13}\text{C}$ 值小于动物性食物源的 $\delta^{13}\text{C}$ 值^[23],导致春季大泷六线鱼 $\delta^{13}\text{C}$ 值显著小于许氏平鲈。秋季,因礁区海域动物性食源日趋增多、藻类生物量显著下降^[21-22],且大泷六线鱼也生长发育为成体阶段(平均体长为 137.04mm),其食物来源亦不再过度局限于植食性藻类,而是与许氏平鲈拥有相似/同的摄食种类,故两者在 $\delta^{13}\text{C}$ 值方面无明显差异。

$\delta^{13}\text{C}$ 值可以用来判断同一时空食物网中不同种群的能量来源, $\delta^{15}\text{N}$ 值则用来确定该种群在食物网中所处的营养级位置^[24]。邓景耀等将第一营养级绿色植物定为 0 级,在 1982—1983 年对渤海食物网进行的调查结果显示许氏平鲈和大泷六线鱼均为中级肉食性鱼类(2.9—3.4 级),前者为底栖和游泳动物食性,营养级为 3.4 级,后者为浮游和底栖动物食性,营养级为 3.0 级^[25];1992—1993 年,许氏平鲈的营养级降至 3.19 级,大泷六线鱼的营养级降至 2.74 级^[26]。张波等在 2001 年采用国际通用的划分标准(将绿色植物和腐屑的营养级定为 1 级),对黄、渤海鱼类营养级历史数据进行了修正^[27],并在 2010—2011 年对渤海大面调查所获渔获物进行胃含物分析发现许氏平鲈和大泷六线鱼均为中营养级鱼类,前者营养级为 4.33,后者营养级为 4.0;同时用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')评价各种鱼类的饵料生境宽度,前者为 1.51,后者为 1.58^[28]。本研究发现许氏平鲈的 $\delta^{15}\text{N}$ 值在春秋两季均显著大于大泷六线鱼,表明许氏平鲈的营养级略高于大泷六线鱼,与邓景耀、张波等人的结论相符^[25-26]。

许氏平鲈和大泷六线鱼在夏季分属虾/鱼食性功能群、虾食性功能群;而在秋季二者则分属虾/鱼食性功能群、广食性功能群^[29]。童玉和等对许氏平鲈和大泷六线鱼进行的食物竞争实验表明,当饵料丰度降低时,许氏平鲈加大喜食饵料的摄食强度,同时还会摄食非喜食饵料;而大泷六线鱼则会大量摄食非喜食饵料^[30]。在小黑山礁区,许氏平鲈的 $\delta^{13}\text{C}$ 值频率分布范围始终大于大泷六线鱼,而其 $\delta^{15}\text{N}$ 值频率分布的季节变动幅度则小于大泷六线鱼。该结果进一步证实许氏平鲈在高营养层次生物资源群落中的功能地位稳定,摄食活动具有更强的自主选择性;大泷六线鱼摄食活动选择性较差,且摄食强度受周边环境饵料丰度影响比较大,其种群所占据的营养层次也因此易产生剧烈波动。

生物种群所占据的营养生态位受物种所处的生长发育阶段及习性、饵料资源的多样性指数和丰度、物种所处食物网的竞争和捕食关系的影响^[31-32]。生态位的重叠程度反映了物种间对资源利用的相似程度,同时也反映了他们之间潜在的竞争程度^[33]。春季,许氏平鲈和大泷六线鱼的营养生态位面积分别为 3.66、1.05,营养生态位不重叠;秋季,二者的营养生态位面积分别增长至 5.13、3.73,种间重叠面积为 1.89,在食物资源利用方面产生种间竞争。春秋两季,许氏平鲈标准椭圆营养生态位存在重叠,而大泷六线鱼不存在,进一步表明在小黑山岛人工鱼礁区生态系统中,许氏平鲈的生态功能地位较大泷六线鱼稳定,且许氏平鲈比大泷六线鱼对食物饵料有更强的竞争能力,但大泷六线鱼对资源的利用能力年度提升更快。

许氏平鲈和大泷六线鱼均是我国北方的典型岩礁性鱼类,也是北方近海投放人工鱼礁增殖的主要品种。张硕^[34]、刘鸿雁^[35]等均通过室内模拟实验证实人工鱼礁对许氏平鲈和大泷六线鱼均具有良好的诱集效应,不同点在于大泷六线鱼迁移能力较强、时常呈现亲/离礁石的游动状态,而许氏平鲈具有更高的礁区生境忠诚度。与此同时,人工鱼礁建设实质是在自然海区进行原位生境再造,礁石投放等活动引发的空间重构必然对该区位原有游泳生物群落造成扰动。单纯从时间尺度看,普遍认为鱼礁投放后鱼礁区鱼类群落结构会在一年

到五年内达到一个新的平衡^[36-37]。张迎秋^[38]在对投礁建设近 10 年、生态平衡已趋稳态的前三岛鱼礁区重要经济鱼类(花鲈 *L. maculatus*、斑头鱼 *H. agrammus*、许氏平鲈 *S. schlegelii*、大泷六线鱼 *H. otakii*)摄食生态学特征研究中,发现许氏平鲈和大泷六线鱼虽具有最为相近的营养生态位,但是种群之间具有较低的食性重叠指数,其重叠值为 1.30。在本研究中,许氏平鲈和大泷六线鱼的营养生态位重叠值在春秋 2 季分别为 0 和 1.89,相对表现出较大幅度的波动和偏差,这可能与小黑山岛人工鱼礁区建设时间较短(采样距 2014 年投礁时期仅 2 年)、礁区鱼类生态系统演变尚未形成稳态有关。

在任何生态系统中,物种间的相互作用(竞争抑或共生)都始终处于动态变化之中,稳定的群落结构亦为比较与相对状态。作为典型的人工营造海洋生境,人工鱼礁生态系统结构稳态的实现必然经由不同功能生物间激烈的相互作用驱动,而处于相近/同营养级的物种则可能会通过营养生态位的分异分化来减少种间竞争,进而实现在人工鱼礁——这一区域生境中的共存共生。在小黑山岛人工鱼礁区,许氏平鲈较大泷六线鱼占有更大的营养生态位,表征其具有更强的食物资源利用能力,从而可能在时间累积效应下的鱼礁群落重构活动中占具更大的种间竞争优势。值得注意的是,由于许氏平鲈和大泷六线鱼的杂食性水平较高、摄食饵料分布于多个营养级,更深入的营养生态位分析研究需要在进一步明确同位素分馏系数的基础上,确定不同营养级食物的同位素特征值,以此提高食性定量分析、种间相互作用探讨的精度。

参考文献(References):

- [1] Howe J C. Artificial reef evaluation with application to natural marine habitats; William Seaman Jr. (Ed.); CRC Press, New York, NY, 2000, 246 pages, hardcover, ISBN 0-8493-9061-3 (US\$ 84.95). Fisheries Research, 2003, 63(2): 297-298.
- [2] 陶峰, 贾晓平, 陈丕茂, 唐振朝, 余景, 王宏. 人工鱼礁礁体设计的研究进展. 南方水产, 2008(03): 64-69.
- [3] 夏章英. 人工鱼礁工程学. 北京: 海洋出版社, 2011.
- [4] Sherman R L, Gilliam D S, Spieler R E. Artificial reef design: void space, complexity, and attractants. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59(S1): S196-S200.
- [5] Relini G, Relini M, Palandri G, Merello S, Beccornia E. History, ecology and trends for artificial reefs of the Ligurian sea, Italy. Hydrobiologia, 2007, 580(1): 193-217.
- [6] Santos M N, Monteiro C C. A fourteen-year overview of the fish assemblages and yield of the two oldest Algarve artificial reefs (southern Portugal). Hydrobiologia, 2007, 580(1): 225-231.
- [7] Da Rocha D F, Franco M A L, Gatts P V, Zalmon I R. The effect of an artificial reef system on the transient fish assemblages-south-eastern coast of Brazil. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 2015, 95(3): 635-646.
- [8] DeWalt S J. Community ecology by Gary G. Mittelbach. The Quarterly Review of Biology, 2013, 88(3): 237-238.
- [9] 李德志, 石强, 臧润国, 王绪平, 盛丽娟, 朱志玲, 王长爱. 物种或种群生态位宽度与生态位重叠的计测模型. 林业科学, 2006, 42(7): 95-103.
- [10] Newsome S D, del Rio C M, Bearhop S, Phillips D L. A niche for isotopic ecology. Frontiers in Ecology and the Environment, 2007, 5(8): 429-436.
- [11] 韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 徐宾铎, 刘贺, 麻秋云. 胶州湾 5 种虾虎鱼类的营养和空间生态位. 中国水产科学, 2013, 20(1): 148-156.
- [12] 张欢, 谢平, 吴功果, 张欢, 张培育, 徐军. 日本沼虾与秀丽白虾的营养生态位. 环境科学研究, 2013, 26(1): 22-26.
- [13] 姜亚洲, 林楠, 袁兴伟, 凌建忠, 李圣法. 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. 生态学杂志, 2015, 34(6): 1579-1585.
- [14] 刘静, 陈咏霞, 马琳. 黄渤海鱼类图志. 北京: 科学出版社, 2015.
- [15] 屈佩. 南黄海微型浮游生物时空分布及主要影响因素研究——基于流式细胞技术[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [16] 《中国海岛志》编纂委员会. 中国海岛志(山东卷第一册). 北京: 海洋出版社, 2013.
- [17] Bearhop S, Adams C E, Waldron S, Fuller R A, MacLeod H. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. Journal of Animal Ecology, 2004, 73(5): 1007-1012.
- [18] Hoeninghaus D J, Zeug S C. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? Comment. Ecology, 2008, 89(8): 2353-2357.
- [19] 张波, 李忠义, 金显仕. 许氏平鲈的食物组成及其食物选择性. 中国水产科学, 2014, 21(1): 134-141.
- [20] 纪东平, 卞晓东, 宋娜, 高天翔. 荣成俚岛大泷六线鱼摄食生态研究. 水产学报, 2014, 38(9): 1399-1409.

- [21] Zhang Z P, Tang X X, Tang H T, Song J J, Zhou J, Liu H J, Wang Q X. Seasonal variations in the phytoplankton community and the relationship between environmental factors of the sea around Xiaoheishan Island in China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2017, 35(1): 163-173.
- [22] 刘洪亮, 唐永政, 于永强, 李雪萌, 张全胜. 山东小黑山岛海萝生物量和长度的时空变化及影响因素. *应用生态学报*, 2013, 24(11): 3259-3264.
- [23] Xu J, Zhang M, Xie P. Stable isotope changes in freshwater shrimps (*Exopalaemon modestus* and *Macrobrachium nipponensis*): trophic pattern implications. *Hydrobiologia*, 2008, 605(1): 45-54.
- [24] 徐军, 周琼, 温周瑞, 谢平. 群落水平食物网能流季节演替特征. *生态学报*, 2013, 33(15): 4658-4664.
- [25] 邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究. *生态学报*, 1986, 6(4): 356-364.
- [26] 邓景耀, 姜卫民, 杨纪明, 李军. 渤海主要生物种间关系及食物网的研究. *中国水产科学*, 1997, 4(4): 1-7.
- [27] 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. *海洋科学进展*, 2004, 22(4): 393-404.
- [28] 张波. 渤海鱼类的食物关系. *渔业科学进展*, 2018, 39(3): 11-22.
- [29] 张波, 李忠义, 金显仕. 渤海鱼类群落功能群及其主要种类. *水产学报*, 2012, 36(1): 64-72.
- [30] 童玉和, 郭学武. 两种岩礁鱼类的食物竞争实验. *中国水产科学*, 2009, 16(4): 541-549.
- [31] 沙永翠, 张培育, 张欢, 苏国欢, 徐军. 栖息地环境对种群营养生态位的影响——以黄颡鱼为例. *生态学报*, 2015, 35(5): 1321-1328.
- [32] 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 张英俊, 宛新荣, 郝树广. 内蒙古典型草原主要草食动物食性及其营养生态位研究——以羊草群落为例. *草业学报*, 2013, 22(1): 103-111.
- [33] 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 韩建国, 宛新荣, 郝树广. 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位. *生态学报*, 2013, 33(3): 856-866.
- [34] 张硕, 孙满昌, 陈勇. 人工鱼礁模型对大泷六线鱼和许氏平鲈幼鱼个体的诱集效果. *大连水产学院学报*, 2008, 23(1): 13-19.
- [35] 刘鸿雁, 吕洪斌, 张沛东, 李文涛, 张秀梅. 人工鱼礁模型和大型海藻对许氏平鲈和大泷六线鱼幼鱼的诱集作用. *水产学报*, 2018, 42(1): 48-59.
- [36] Bohnsack J A, Sutherland D L. Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities. *Bulletin of Marine Science*, 1985, 37(1): 11-39.
- [37] 郭彪, 于莹, 张博伦, 房恩军, 高燕. 天津大神堂海域人工鱼礁区游泳动物群落特征变化. *海洋渔业*, 2015, 37(5): 409-418.
- [38] 张迎秋. 前三岛海域底层鱼类群落结构、摄食生态和运动行为特征[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2015.