



海州湾3种石首鱼的食物组成和生态位重叠

宋业晖 薛莹 徐宾铎 张崇良 任一平

Composition of food and niche overlap of three Sciaenidae species in Haizhou Bay

SONG Yehui XUE Ying XU Binduo ZHANG Chongliang REN Yiping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11964/jfc.20200312197>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

棘头梅童鱼中期染色体物理长度的估测

Physical length of metaphase chromosomes in *Collichthys lucidus*

水产学报. 2020, 44(11): 1824 <https://doi.org/10.11964/jfc.20191212102>

台州南部近岸海域春秋季节主要鱼类生态位及其种间联结性

Niche and interspecific associations of dominant fishes in southern coastal waters in Taizhou, China

水产学报. 2020, 44(4): 621 <https://doi.org/10.11964/jfc.20190411721>

海州湾海洋牧场水环境的承载力

Water environment carrying capacity of Haizhou Bay marine ranching

水产学报. 2019, 43(9): 1993 <https://doi.org/10.11964/jfc.20190611824>

大亚湾珊瑚礁生态系统简化食物网的稳定同位素

Stable isotope analysis of simple food web in coral reef ecosystem of Daya Bay

水产学报. 2020, 44(7): 1112 <https://doi.org/10.11964/jfc.20191012005>

基于地统计二阶广义线性混合模型的黄海冬季小黄鱼时空分布和资源量指数估算

Spatiotemporal distribution and the estimated abundance indices of *Larimichthys polyactis* in winter in the Yellow Sea based on geostatisticaldelta-generalized linear mixed models

水产学报. 2019, 43(7): 1603 <https://doi.org/10.11964/jfc.20180911448>

帆张网网囊网目尺寸对小黄鱼的选择性

Selectivity of different mesh size codends of canvas stow net for *Larimichthys polyactis*

水产学报. 2019, 43(6): 1539 <https://doi.org/10.11964/jfc.20171011008>



海州湾 3 种石首鱼的食物组成和生态位重叠

宋业晖^{1,2}, 薛莹^{1,2}, 徐宾铎^{1,2}, 张崇良^{1,2}, 任一平^{1,2,3*}

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 海州湾渔业生态系统教育部野外科学观测研究站, 山东 青岛 266003;

3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237)

摘要: 根据 2011 及 2013 年在海州湾及其邻近海域进行的渔业资源底拖网调查资料和胃含物分析数据, 应用多元统计分析法和生态位重叠指数法等, 研究了海州湾皮氏叫姑鱼、小黄鱼和棘头梅童鱼 3 种石首鱼的食物组成及其营养—空间二维生态位的重叠情况。结果显示, 皮氏叫姑鱼属于底栖动物食性, 主要摄食虾类、端足类和多毛类; 小黄鱼属于底栖动物和游泳动物食性, 主要摄食鱼类、虾类、头足类和磷虾; 棘头梅童鱼属于底栖动物食性, 主要摄食虾类、毛虾类、磷虾和糠虾。这 3 种石首鱼的营养生态位宽度较为接近, 其中小黄鱼的营养生态位宽度 (2.69) 和空间生态位宽度 (2.78) 均最高, 皮氏叫姑鱼的营养生态位宽度 (2.59) 最低, 而棘头梅童鱼的空间生态位宽度 (2.42) 最低。3 种石首鱼的营养生态位重叠指数为 0.24~0.46, 其中皮氏叫姑鱼与棘头梅童鱼的营养生态位重叠最高。它们的空间生态位重叠指数为 0.19~0.30, 表明这 3 种鱼在空间方面存在一定的分隔。它们的营养—空间二维生态位重叠指数为 0.05~0.11, 其中皮氏叫姑鱼与棘头梅童鱼的重叠指数最高, 因此有可能发生激烈的食物竞争, 而小黄鱼与皮氏叫姑鱼和棘头梅童鱼之间则可以通过营养和空间生态位的分化来降低种间竞争。

关键词: 石首鱼科; 皮氏叫姑鱼; 小黄鱼; 棘头梅童鱼; 营养生态位; 空间生态位; 生态位重叠; 海州湾

中图分类号: Q 958.1; S 932.4

文献标志码: A

鱼类食物关系是海洋生态学研究的主要组成部分, 是海洋生态系统可持续发展、提高水域生产力和实施多鱼种综合渔业管理的基础, 也是保证渔业资源可持续利用的重要前提^[1], 同时还能研究鱼类种群变动及其群落的结构和功能提供科学依据^[2-3], 因此具有较高的理论研究和现实意义。国内外许多学者都开展过鱼类食物关系的研究, 如王军等^[4]对石首鱼类的食性类型进行研究。李忠义等^[5]利用碳氮稳定同

位素比值, 对石首鱼类的主要食物组成及竞争策略进行了研究。Matley 等^[6]对营养和空间生态位进行了研究。王起等^[7]对鱼类的摄食消化器官与食性关系进行了研究。张云雷等^[8]对石首鱼类摄食习性的空间异质性及其索饵场分布进行了研究。但国内对石首鱼类多维生态位重叠的有关研究较少。

海州湾是位于黄海中南部的开放型海湾, 以淤泥底质为主, 主要受鲁南沿岸流、苏北沿

收稿日期: 2020-03-19 修回日期: 2020-04-17

资助项目: 山东省支持青岛海洋科学与技术试点国家实验室重大科技专项 (2018SDKJ0501-2); 国家重点研发计划 (2018YFD0900904); 国家自然科学基金 (31772852)

通信作者: 任一平, E-mail: renyip@ouc.edu.cn

岸流和黄海暖流的影响,是多种经济鱼虾的产卵场、育幼场和索饵场^[9-10],是我国历史上的八大渔场之一。棘头梅童鱼(*Collichthys lucidus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belangerii*)和小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)同属鲈形目(Perciformes),石首鱼科(Sciaenidae),系暖温性底层鱼类^[11],具有较高的经济价值,也是海州湾及其毗邻海域重要的渔业资源种类,它们在海州湾中占据了重要的生态位。由于这3种鱼的分类地位接近,且生态习性相似,因而有可能存在食物竞争和生态位重叠。

本实验采用多元统计分析法和生态位重叠指数法等对海州湾海域棘头梅童鱼、皮氏叫姑鱼和小黄鱼的食物组成及其营养—空间二维生态位重叠开展研究,旨在为深入探讨鱼类种间竞争提供基础资料,同时为海州湾鱼类群落的结构、功能及其稳定性等方面的研究提供科学依据^[12]。

1 材料与方方法

1.1 样品采集

样品采自2011年3—12月(5个航次)和2013年的5月和10月(2个航次)在海州湾及其邻近海域进行的底拖网调查。根据水深等因素的差异,将调查海域分为A~E共5个区域,包括了3种石首鱼样品的主要采集站位(图1)。租用单拖网渔船开展调查,功率为220 kW,每站拖网时间1 h左右,拖速约2 kn,拖网时网口宽度约为25 m,囊网网目尺寸为17 mm^[13]。样品采集与分析按照《海洋调查规范》^[14]进行,本次调查收集3种鱼的胃含物样品共968尾,其中218尾是空胃。各个鱼种的样品数及体长范围见表1。

1.2 样品分析

鱼类样品经生物学测定后,取出胃含物,

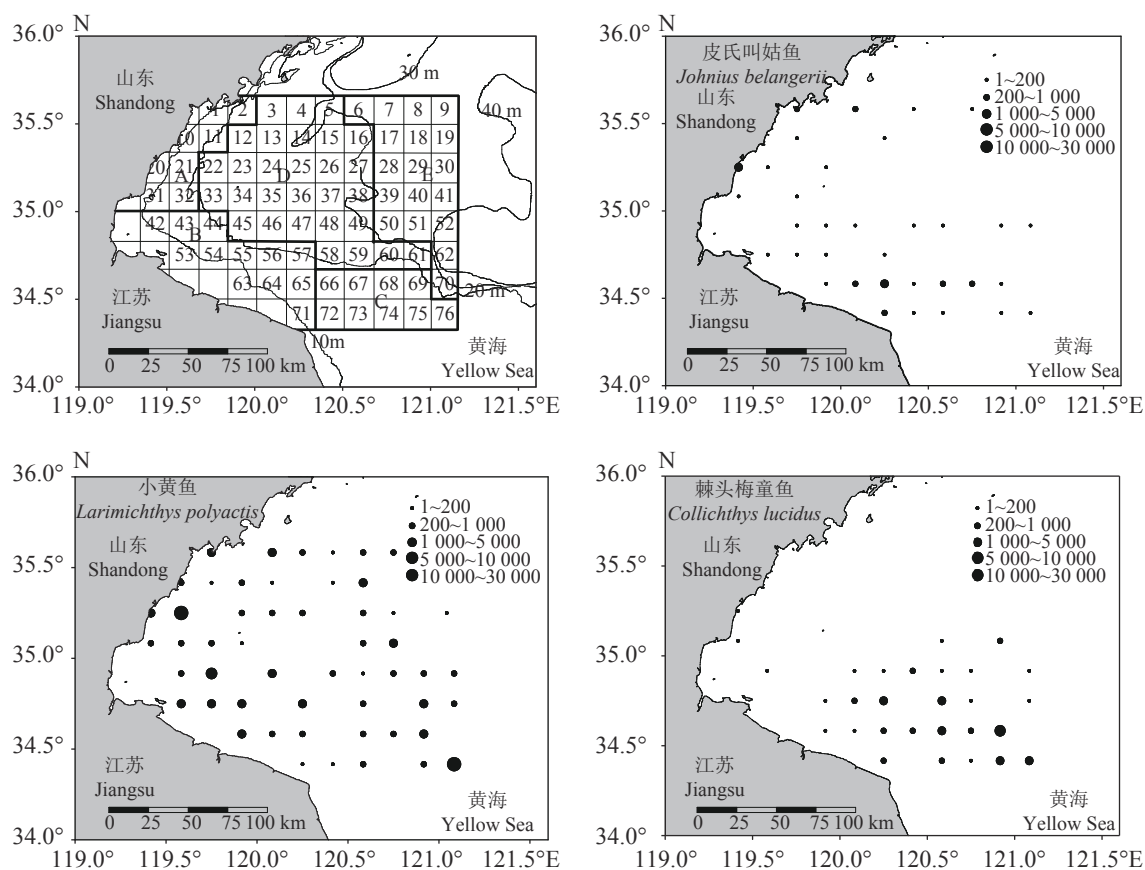


图1 海州湾调查区域及3种石首鱼的主要取样站位图

图例中数字的单位为 kg/h

Fig. 1 Sampling areas in Haizhou Bay and main sampling sites of three species of Sciaenidae

kg/h is the unit of the numbers in the pictures

表 1 海州湾 3 种石首鱼的样品数及体长范围

Tab. 1 Sample size and size range of three Sciaenidae fishes in Haizhou Bay

鱼种 species	体长/mm body length	平均体长/mm average body length	样品数/尾 sample number	摄食率/% feeding rate
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	34~194	78.18±21.19	175	84.00
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	26~210	114.20±27.94	472	77.12
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	25~143	79.31±25.64	321	74.45

注: 摄食率是指非空胃数占样品总数的百分比

Notes: feeding rate is the number percentage of stomachs with food in all samples

分析时将摄食强度分为五级 (0 级: 空胃; 1 级: 食物未达到胃腔的一半; 2 级: 食物超过胃腔一半, 未饱; 3 级: 食物充满胃腔但未膨胀; 4 级: 食物充满胃腔且膨胀), 以此目测其摄食等级^[15], 并在称重后速冻保存。胃含物分析时, 将其解冻并用吸水纸吸去水分后, 再在双筒解剖镜下鉴定饵料生物的种类并分别计数和称重, 食物重量精确到 0.001 g, 并尽量鉴定到最低分类单元。

1.3 数据分析

用于评价饵料重要性的指标有饵料的质量百分比 (W)、个数百分比 (N) 和出现频率 (F)^[16], 相对重要性指数 IRI 是描述特定饵料种类重要性的综合性指标, 本研究采用相对重要性指数百分比 (IRI%)^[17] 评价各饵料生物的重要性, 计算公式:

$$\text{质量百分比}(W, \%) = \frac{\text{某饵料生物质量}}{\text{饵料生物总质量}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{个数百分比}(N, \%) = \frac{\text{某饵料生物个数}}{\text{饵料生物总个数}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{出现频率}(F, \%) = \frac{\text{某饵料生物出现次数}}{\text{非空胃个数}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\text{IRI} = F \times (N + W) \quad (4)$$

$$\text{IRI}\% = \frac{\text{IRI}}{\sum \text{IRI}} \times 100\% \quad (5)$$

在生态学研究, 用于描述生态位宽度的指数较多, 如 Simpson 指数、Levins 指数、Shannon-Wiener 指数等, 其中 Shannon-Wiener 指数对鱼类摄食的稀有饵料生物比较灵敏, 因此本研究采用 Shannon-Wiener 指数 (H') 来计算鱼类的生境宽度, 应用 Pianka 生态位重叠指数 (O_{jk}) 来研究其生态位重叠。由于不同种类及同种类个体之间存在较大的差异, 而使用生物量更能表示种类间的空间分布, 因此, 本研究选择根据生物量计算空间生态位宽度和生态位重叠指数^[18]。

$$H' = - \sum (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (6)$$

$$O_{jk} = \frac{\sum P_{ij} P_{ik}}{\sqrt{\sum P_{ij}^2 \cdot \sum P_{ik}^2}} \quad (7)$$

式中, P_{ij} 在计算营养生态位时, 为饵料生物 i 在捕食者 j 的食物组成中所占的质量百分比; 在计算空间生态位时, 为鱼种 i 在第 j 个站位的生物量占该鱼种总生物量的比例。 O_{jk} 的变化范围为 0~1, 值越大, 说明重叠程度越高, $O_{jk} > 0.3$ 视为重叠有意义, $O_{jk} > 0.6$ 视为显著重叠^[19]。数据分析前先以拖速 2 kn 和拖网时间 1 h 为基准, 将各个站位鱼类的生物量进行标准化处理。

采用 Pielou 均匀度指数 (J') 计算饵料生物均匀度^[20], 计算公式:

$$J' = H' / \ln S \quad (8)$$

式中, H' 为 Shannon-Wiener 指数, S 为饵料种数。 J' 值越大, 说明鱼类的食物组成越均匀。

当物种利用多种生态位资源时, 可以使用各维度生态位特征值的乘积来表示多维生态位的特征值, 作为衡量鱼类种间竞争程度的指标^[21], 因此本研究选择计算营养、空间生态位重叠指数的乘积来表示鱼类两两之间的营养—空间二维生态位重叠指数, 即: 营养—空间二维生态位重叠指数=营养生态位重叠指数×空间生态位重叠指数。在本研究中, 用二维生态位来比较物种在营养和空间上的重叠, 由于该指数目前尚无明确判断标准, 故在本研究中采用相对重要程度的方式判断重叠程度, 以此作为本研究中多维生态位重叠的判断标准。

2 结果

2.1 食物组成

分析结果显示, 海州湾皮氏叫姑鱼共摄食 12 类饵料, 主要以虾类 (85.45%) 为食, 同时也摄食一定量的端足类 (7.14%) 和沙蚕 (3.44%) 以及少量的蟹类, 优势饵料生物是细螯虾 (*Leptochela gracilis*) 和鲜明鼓虾 (*Alpheus distinguendus*)。小黄

鱼主要以虾类 (53.29%) 和鱼类 (39.17%) 为食, 还摄食少量的磷虾、头足类和端足类, 优势饵料生物是细螯虾、赤鼻棱鳀(*Thryssa kammalensis*)、中国毛虾 (*Acetes chinensis*) 和戴氏赤虾 (*Metapen-*

aeopsis dalei) 等; 棘头梅童鱼共摄食 11 类饵料, 主要以虾类 (93.13%) 为食, 还摄食少量的磷虾、糠虾和鱼类, 优势饵料生物为细螯虾和中国毛虾 (表 2)。

表 2 海州湾 3 种石首鱼类的食物组成
Tab. 2 Diet composition of three Sciaenidae fishes in Haizhou Bay %

饵料种类 prey items	皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>				小黄鱼 <i>L. polyactis</i>				棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>			
	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI
鱼类 fish	6.80	2.48	4.41	0.87	38.74	59.97	18.90	39.17	8.37	24.60	4.25	2.27
中颌棱鳀 <i>T. mystax</i>					0.82	2.70	0.38	0.15	2.51	19.63	1.27	1.87
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>					2.20	0.54	1.13	0.22	0.84	0.65	0.42	0.03
普氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius pflaumi</i>	1.36	0.04	0.88	0.08	0.27	0.11	0.13	+				
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>									0.42	0.17	0.21	0.01
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	0.68	1.37	0.44	0.08	0.27	+	0.13	+				
多鳞鳢 <i>Sillago sihama</i>	0.68	0.06	0.44	0.02								
赤鼻棱鳀 <i>T. kammalensis</i>	0.68	0.01	0.44	0.02	10.71	22.91	5.63	18.35	1.67	0.93	0.85	0.11
白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>					0.55	3.03	0.25	0.11	0.84	1.60	0.42	0.06
长丝虾虎鱼 <i>Myersina filifer</i>					0.55	0.14	0.25	0.01				
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>					0.27	0.13	0.13	+				
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>					7.14	15.92	3.25	8.22				
鳎目 <i>Anguilliformes</i>					0.27	0.90	0.13	0.02				
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>					1.37	0.06	0.63	0.06				
褐菖鲈 <i>Sebastes marmoratus</i>					0.27	3.00	0.13	0.05				
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>					0.55	0.48	0.25	0.02				
舌鳎 <i>Cynoglossus</i> sp.					0.27	0.10	0.13	+				
石首鱼科 <i>Sciaenidae</i>					0.27	0.04	0.25	+				
不可辨认鱼类 <i>unidentified fish</i>	3.40	1.00	2.20	0.68	12.91	9.90	6.13	11.94	2.09	1.62	1.06	0.20
虾类 shrimps	74.83	80.46	55.95	85.45	78.85	24.76	60.33	53.29	104.18	69.22	71.13	93.13
中国毛虾 <i>A. chinensis</i>					14.38	0.59	13.54	12.19	30.87	12.78	18.79	34.63
疣背宽额虾 <i>Latreutes planirostris</i>	3.45	2.66	2.80	1.17	9.74	0.42	7.39	4.56	11.58	4.56	7.78	5.08
鲜明鼓虾 <i>A. distinguendus</i>	13.81	20.93	10.49	26.99	4.64	3.17	2.05	1.45	5.51	4.03	2.95	1.37
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	1.15	2.88	2.10	0.36	0.46	0.02	0.21	0.01	0.55	0.92	0.27	0.02
细螯虾 <i>L. gracilis</i>	20.72	8.29	14.69	29.60	15.77	6.61	15.39	20.82	30.32	16.59	27.91	47.94
日本毛虾 <i>A. japonicus</i>					3.25	1.33	2.46	0.74	1.10	0.44	0.54	0.04
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	4.60	14.29	2.80	4.89	2.78	6.23	1.44	1.28	3.86	2.70	1.88	0.63
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>					0.46	0.13	0.21	0.01	0.55	2.43	0.27	0.05
海蜃虾 <i>Latreutes anoplonyx</i>	6.91	3.91	6.29	4.38	3.71	1.78	3.08	1.08	4.41	3.73	2.15	0.92
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	5.76	13.08	4.20	6.18	4.64	0.25	2.05	0.64	1.65	8.97	0.81	0.57

· 续表 2 ·

饵料种类 prey items	皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>				小黄鱼 <i>L. polyactis</i>				棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>			
	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI
中华安乐虾 <i>Eualus sinensis</i>	1.15	0.02	0.70	0.05								
东方长眼虾 <i>Ogyrides orientalis</i>									4.96	0.76	2.68	0.61
戴氏赤虾 <i>M. dalei</i>	9.21	9.15	6.99	9.24	14.84	0.95	10.46	10.16	2.76	6.20	1.88	0.79
鞭腕虾 <i>Lyasmata vittata</i>	4.60	2.88	2.80	1.62	0.46	0.36	0.21	0.02				
蛄蛄虾 <i>Upogebiidae</i> sp.									0.55	0.47	0.27	0.01
对虾科 <i>Penaeidae</i>	3.45	2.37	2.10	0.96	0.93	1.74	0.41	0.12	1.65	3.83	0.81	0.27
鼓虾 <i>Alpheidae</i> sp.					1.86	0.78	0.82	0.18	0.55	0.39	0.27	0.01
毛虾 <i>Acetes</i> sp.					0.46	0.19	0.41	0.02	0.55	0.09	0.54	0.01
长臂虾 <i>Palaemon</i> sp.					0.46	0.21	0.21	0.01	2.76	0.33	1.34	0.16
蟹类 crabs	8.16	5.98	5.29	1.39	0.82	0.37	0.38	0.02	1.67	1.17	0.85	0.08
双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	0.68	0.47	0.44	0.04	0.55	0.36	0.25	0.02				
绒毛细足蟹 <i>Rophidopus ciliatus</i>	2.72	2.65	1.76	0.75					1.26	0.94	0.64	0.07
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	0.68	2.04	0.44	0.11								
隆线强蟹 <i>Eucrate crenata</i>	1.36	0.15	0.88	0.09					0.42	0.23	0.21	0.01
不可辨认蟹类 unidentified crabs	2.72	0.67	1.76	0.41	0.27	+	0.13	+				
端足类 Amphipoda	10.20	2.79	18.94	7.14	6.87	4.26	4.88	1.52	3.35	0.10	2.76	0.34
双眼钩虾 <i>Amoeliscia</i> sp.	1.36	0.06	0.88	0.08	3.30	4.00	1.50	1.09				
绿钩虾 <i>Hyale</i> sp.	1.36	0.14	1.32	0.12				+				
钩虾 <i>Gammarus</i> sp.	6.12	2.49	15.42	6.82	2.47	0.23	2.38	0.39	3.35	0.10	2.76	0.34
独眼钩虾 <i>Monocloides</i> sp.	1.36	0.09	1.32	0.12	0.82	0.02	0.88	0.04				
细拟长脚蚨 <i>Parathemisto gracilipes</i>					0.27	+	0.13	+				
桡足类 Copepoda	2.72	0.07	1.76	0.31	1.65	0.01	1.50	0.12				
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	2.72	0.07	1.76	0.31								
哲水蚤 <i>Calanidae</i> sp.					1.37	0.01	1.38	0.11				
猛水蚤 <i>Calanus</i> sp.					0.27	+	0.13	+				
磷虾类 Euphausiacea	2.72	0.36	2.20	0.43	5.77	0.64	7.01	2.65	6.28	0.96	8.49	2.11
太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>	2.72	0.36	2.20	0.43	5.77	0.64	7.01	2.65	6.28	0.96	8.49	2.11
涟虫类 Cumacea									0.84	0.03	0.64	0.02
不可辨认涟虫 unidentified Cumacea									0.84	0.03	0.64	0.02
口足类 Stomatopoda	1.36	1.47	0.88	0.20	0.55	0.31	0.25	0.02				
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	1.36	1.47	0.88	0.20	0.55	0.31	0.25	0.02				
糠虾类 Mysidacea					2.47	0.09	1.88	0.29	4.60	1.23	11.04	2.01
不可辨认糠虾 unidentified Mysidacea					2.47	0.09	1.88	0.29	4.60	1.23	11.04	2.01
等足类 Isopoda					0.27	0.04	0.13	+	0.42	0.05	0.21	+
水虱 <i>Tianais</i> sp.					0.27	0.04	0.13	+	0.42	0.05	0.21	+

饵料种类 prey items	皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>				小黄鱼 <i>L. polyactis</i>				棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>			
	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI	<i>F</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	IRI
不可辨认甲壳类 unidentified Crustacea					1.10	0.08	0.50	0.04				
双壳类 Bivalvia	2.04	0.16	1.32	0.19	0.54	0.01	0.26	+				
日本镜蛤 <i>Dosinia japonica</i>					0.27	0.01	0.13	+				
彩虹明樱蛤 <i>Moerella iridescens</i>					0.27	+	0.13	+				
未知双壳类 unidentified Bivalvia	2.04	0.16	1.32	0.19								
腹足类 Gastropoda	0.68	0.01	0.44	0.02	0.27	0.07	0.13	+				
经氏壳蛞蝓 <i>Philine kinglippi</i>	0.68	0.01	0.44	0.02	0.27	0.07	0.13	+				
多毛类 Polychaeta	6.12	5.08	3.96	3.44	2.20	0.69	1.00	0.22	0.42	0.86	0.21	0.02
沙蚕 <i>Nereis succinea</i>	6.12	5.08	3.96	3.44	2.20	0.69	1.00	0.22	0.42	0.86	0.21	0.02
头足类 Cephalopoda	0.68	+	0.44	0.02	4.67	7.48	2.13	2.49	0.42	0.88	0.21	0.02
枪乌贼 <i>Loligo sp.</i>	0.68	+	0.44	0.02	4.40	7.42	2.00	2.49				
双喙耳乌贼 <i>Sepiolo birostrata</i>					0.27	0.06	0.13	+	0.42	0.88	0.21	0.02
棘皮动物 Echinodermata	1.36	0.18	0.88	0.04					0.42	0.89	0.21	0.02
司氏盖蛇尾 <i>Stegophiura sladeni</i>	0.68	0.16	0.44	0.03								
蛇尾类 Ophiuroidea sp.	0.68	0.02	0.44	0.02								
紫蛇尾 <i>Ophiopholis mirabilis</i>									0.42	0.89	0.21	0.02
其他 others	2.72	0.96	3.52	0.49	1.37	1.24	0.75	0.16				

注：“+”表示<0.01

Notes: “+” indicates less than 0.01

2.2 生态位宽度

海州湾 3 种石首鱼的营养和空间生态位如表 3 所示。在营养生态位方面, 小黄鱼的生态位宽度最广 (2.69), 与棘头梅童鱼 (2.67) 极为接近, 皮氏叫姑鱼相对较低 (2.59)。总体上, 3 种鱼的营养生态位宽度比较相近。棘头梅童鱼的饵料均匀度最高 (0.76), 其次为皮氏叫姑鱼 (0.73), 最低为小黄鱼 (0.68)(表 3)。

表 3 海州湾 3 种石首鱼的营养、空间生态位宽度和饵料均匀度

Tab. 3 Spatial niche, trophic niche and dietary evenness indexes of three Sciaenidae fishes

鱼种 species	营养生态位宽度 trophic niche	空间生态位宽度 spatial niche	饵料均匀度 evenness index
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	2.59	2.58	0.73
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	2.69	2.78	0.68
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	2.67	2.42	0.76

在空间生态位方面, 小黄鱼的生态位宽度最广 (2.78), 其次为皮氏叫姑鱼 (2.58), 棘头梅童鱼的生态位宽度最小 (2.42)。3 种鱼的空间生态位宽度相对营养生态位宽度的差异较明显。

2.3 营养和空间生态位重叠

计算结果表明, 皮氏叫姑鱼与棘头梅童鱼的营养生态位重叠指数最高 (0.46), 而小黄鱼与皮氏叫姑鱼 (0.24) 和棘头梅童鱼 (0.25) 的营养生态位重叠指数较低 (表 4)。

3 种鱼的空间生态位重叠指数均较低。其中, 棘头梅童鱼与小黄鱼的空间生态位重叠指数最高 (0.30)。皮氏叫姑鱼与小黄鱼和棘头梅童鱼的空间生态位重叠指数分别为 0.19 和 0.23。

皮氏叫姑鱼与棘头梅童鱼的营养—空间二维生态位重叠指数最高 (0.11)。而棘头梅童鱼与小黄鱼的重叠指数 (0.08)、皮氏叫姑鱼与小黄鱼的重叠指数最低 (0.05), 均小于 0.1(表 5)。

表 4 海州湾 3 种石首鱼营养和空间生态位的重叠指数

Tab. 4 Trophic niche overlap and spatial niche overlap indexes of three Sciaenidae fishes

种类 species	皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>
皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>		0.24	0.46
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	0.19		0.25
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	0.23	0.30	

注: 主对角线以下为空间生态位重叠指数; 主对角线以上为营养生态位重叠指数

Notes: values under the main diagonal are spatial niche overlap parameters. Values above the main diagonal are trophic niche overlap parameters

表 5 海州湾 3 种石首鱼的营养—空间二维生态位重叠指数

Tab. 5 Trophic-spatial niche overlap indexes of three Sciaenidae fishes in Haizhou Bay

鱼种 species	皮氏叫姑鱼 <i>J. belangerii</i>	小黄鱼 <i>L. polyactis</i>
小黄鱼 <i>L. polyactis</i>	0.05	
棘头梅童鱼 <i>C. lucidus</i>	0.11	0.08

3 讨论

3.1 食性类型

本研究表明, 海州湾的皮氏叫姑鱼属于底栖动物食性, 主要摄食虾类、端足类和多毛类; 小黄鱼属于底栖动物和游泳动物食性, 主要摄食鱼类、虾类和头足类; 棘头梅童鱼属于底栖动物食性, 主要摄食虾类、鱼类、磷虾类和糠虾类。3 种鱼的饵料种类存在相似性, 但其所占比例不同, 这表明它们之间可以通过改变摄食食物的比例来产生营养生态位的交错, 缓和对于有限食物资源的竞争, 实现共存^[22]。

近年来, 国内学者对于石首鱼科鱼类的研究发现, 在渤海, 小黄鱼摄食的食物范围较广, 共 9 类饵料, 以桡足类、糠虾、底层虾类和鱼类为主; 皮氏叫姑鱼则以底层虾类为主, 其次为多毛类和鱼类^[23]。而本研究中海州湾小黄鱼则主要以底层虾类和鱼类为食, 并摄入少量的端足类、磷虾以及头足类, 皮氏叫姑鱼则主要以底栖虾类为食, 并摄食少量的端足类、多毛类和蟹类。长江口的棘头梅童鱼主要摄食多种虾类、糠虾和磷虾, 对鱼类的摄食较少, 且摄食种类也相对较少^[24], 与本研究中海州湾棘头梅童鱼主

要摄食多种虾类及少量磷虾、糠虾的结果类似, 但其优势饵料所占比例却大不相同。在王建锋等^[24]的研究中也指出, 棘头梅童鱼存在一定程度的自残现象, 本研究中还未发现类似情况。因此, 上述研究表明这 3 种鱼的食物组成会随着栖息海区的变化而发生改变。

薛莹等^[22]研究发现, 南黄海皮氏叫姑鱼的优势饵料生物是脊腹褐虾和安乐虾, 小黄鱼的优势饵料生物是太平洋磷虾、脊腹褐虾、鳀和赤鼻棱鳀。而本研究中皮氏叫姑鱼优势饵料生物是细螯虾和鲜明鼓虾; 小黄鱼优势饵料生物是细螯虾、赤鼻棱鳀、中国毛虾和戴氏赤虾, 这表明由于生态系统中一些饵料生物组成或者数量发生变化^[25], 从而导致鱼类的优势饵料生物也会随之发生改变。

3.2 营养和空间生态位宽度

生态位宽度反映了生物对环境的适应能力和耐受程度^[26], 营养生态位宽度反映了鱼类在生物环境中的位置和它食物关系^[27]。均匀度反映了鱼类对饵料生物的平均利用程度。本研究中, 小黄鱼的营养生态位宽度最高 (2.69), 表明小黄鱼对饵料资源的利用能力相对较强, 其所摄食的饵料种类数最多, 对饵料生物的利用范围最广。棘头梅童鱼 (2.67) 与小黄鱼的营养生态位宽度几乎相同, 但棘头梅童鱼所摄食的饵料种类数最少, 因此皮氏叫姑鱼的饵料均匀度要大于小黄鱼, 此外, 皮氏叫姑鱼的营养生态位宽度最低 (2.59), 且其所摄食的种类数比小黄鱼少, 所以饵料均匀度要高于小黄鱼, 这表明鱼类通过对饵料生物的利用范围和平均利用程度的权重差异来缓和食物竞争。

空间生态位宽度反映的是物种在空间维度上的分布范围^[28]。本研究中, 小黄鱼的空间生态位宽度最高, 与其在海州湾分布范围较广的实际相符, 充分说明小黄鱼适应环境的能力相对较高, 而皮氏叫姑鱼和棘头梅童鱼在海州湾调查中出现的站位数较少, 因此它们的空间生态位宽度也相对较小。而小黄鱼与棘头梅童鱼的空间生态位重叠指数虽然最大, 但是其营养生态位重叠指数较低, 二者通过营养生态位的分化来降低种间竞争强度。

3.3 营养和空间生态位重叠

生态位重叠指数反映物种间对资源利用的

相似程度,同时也反映物种间潜在的竞争关系^[29]。其中,营养生态位重叠指数反映了物种间食物组成的相似程度^[18]。本研究发现,皮氏叫姑鱼与棘头梅童鱼的营养生态位重叠指数最高(0.46),且它们均摄食大量的虾类,特别是对细螯虾的摄食,因此会产生激烈的食物竞争,而小黄鱼与另外两种鱼的营养生态位重叠指数都较低,这是因为小黄鱼比它们摄食鱼类和头足类的比例更高,而对细螯虾的摄食比例要明显小于另外两种鱼,因此它们的食物组成存在明显差别,发生激烈食物竞争的可能性较低,且3种石首鱼间无显著营养生态位重叠,这表明3种石首鱼间的食物竞争主要通过对优势饵料的种类及摄食比例的分化在不同程度上缓和食物竞争。

空间生态位重叠指数反映的是不同物种在空间分布上的重叠程度^[18]。研究发现,3种鱼之间的空间生态位重叠指数都较低,只有小黄鱼与棘头梅童鱼之间存在较高的重叠(0.30),这可能是因为在3种石首鱼间,一方面是空间分布比较分散,本研究中皮氏叫姑鱼主要分布在海州湾调查区域的南部和西北部,小黄鱼的分布较为均匀,但中心区域分布较少,棘头梅童鱼主要分布在东南部,相对而言皮氏叫姑鱼和小黄鱼的分布较为分散,这可能是二者通过避免某一区域鱼类过于密集而暴发激烈的食物竞争,棘头梅童鱼与小黄鱼的空间生态位重叠有意义,是因为在海州湾东南部海域二者分布较为密集,另一方面是共存站位间的生物量差距较大,且这种差异极不均匀。

在资源有限的环境中,鱼类需要通过对营养和空间等生态位利用的平衡来实现共存^[30]。在较大尺度的空间范围内,生态位相似的鱼种可以通过食性的分化或选择不同的栖息区域来减少竞争,占据优势生态位的鱼种会优先选择饵料生物丰富、环境条件适宜的小生境,而处于劣势的鱼种则只能通过摄食不同种类的饵料生物,或者选择其他的栖息水域来减少种间食物竞争^[30]。因此需要将鱼类的营养与空间生态位结合起来考虑鱼类种间的竞争关系。本研究发现,小黄鱼与棘头梅童鱼的空间生态位重叠程度虽然较高,但其食物组成存在一定的差异,从而降低了它们之间的营养生态位重叠,因此它们的营养—空间二维生态位重叠指数较低

(0.08)。而对于皮氏叫姑鱼与棘头梅童鱼,二者均摄食了大量的虾类,IRI%分别为85.45%和93.13%,尤其是摄食了较多的细螯虾,因此它们的营养生态位重叠指数最高,但是二者空间分布区域的差别显著降低了空间生态位重叠,从而降低了它们的营养—空间二维生态位重叠指数。3种鱼通过不同程度的空间分化,对所栖息海域的不同选择降低了它们发生竞争的机会,在一定程度上缓解了因饵料生物选择冲突而产生的食物竞争。当鱼类在某一维度上生态位重叠较大时,可以通过在其他资源空间上的分离而形成共存的局面。

海州湾作为重要的渔场之一,研究其群落结构与功能具有重要的意义。小黄鱼等石首鱼科鱼类作为重要经济物种,研究其食物关系可以为研究海州湾鱼类群落的结构、功能及其变化提供科学依据。相对于单一的食物重叠指数,营养—空间二维生态位重叠指数不仅考虑了鱼类食物组成的相似程度,同时也考虑了空间分布的重叠,因此能够更准确地反映鱼类种间竞争的程度。但需要指出的是,鱼类种间食物竞争的程度,不仅取决于营养—空间二维生态位重叠指数,捕捞活动、饵料生物的丰度、捕食者的生物量以及理化因子等也会对种间竞争产生影响^[18]。因此,未来还要进一步研究多种因素对鱼类种间食物关系的影响。

参考文献 (References):

- [1] 邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类的食物关系[J]. 海洋水产研究, 1988(9): 151-172.
Deng J Y, Meng T X, Ren S M. Food web of fishes in the Bohai Sea[J]. Marine Fisheries Research, 1988(9): 151-172(in Chinese).
- [2] 窦硕增. 依食物关系研究鱼类群落生态学的方法[J]. 海洋科学, 1992(5): 12-14.
Dou S Z. The study of fish community ecology method by diet relationship[J]. Marine Sciences, 1992(5): 12-14(in Chinese).
- [3] 唐启升, 苏纪兰. 中国海洋生态系统动力学研究 I: 关键科学问题与研究发展战略 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-252.
Tang Q S, Su J L. China ocean ecosystem dynamics studies. I. Key scientific questions and development

- strategy[M]. Science Press, Beijing, 2000: 1-252 (in Chinese).
- [4] 王军, 苏永全, 柳建英, 等. 罗源湾五种石首鱼类的食性研究[J]. 厦门水产学院学报, 1994, 16(2): 34-39.
- Wang J, Su Y Q, Liu J Y, *et al.* The feeding habits of five sciaenids fishes in Louyuan Bay[J]. Journal of Xiamen Fisheries College, 1994, 16(2): 34-39(in Chinese).
- [5] 李忠义, 戴芳群, 左涛, 等. 长江口及南黄海水域秋季小黄鱼与皮氏叫姑鱼的食物竞争[J]. 水生生态学杂志, 2009, 2(2): 67-72.
- Li Z Y, Dai F Q, Zuo T, *et al.* Studies on food competition between *Pseudosciaena polyactis* and *Johnius belangerii* from Changjiang Estuary and Adjacent Southern Yellow Sea in Autumn[J]. Journal of Hydroecology, 2009, 2(2): 67-72(in Chinese).
- [6] Matley J K, Heupel M R, Fisk A T, *et al.* Measuring niche overlap between co-occurring *Plectropomus* spp. using acoustic telemetry and stable isotopes[J]. Marine and Freshwater Research, 2016, 68(8): 1468-1478.
- [7] 王起, 刘明典, 朱峰跃, 等. 怒江上游三种裂腹鱼类摄食及消化器官比较研究[J]. 动物学杂志, 2019, 54(2): 207-221.
- Wang Q, Liu M D, Zhu F Y, *et al.* Comparative study of three species of schizothoracine on feeding and digestive organs in upper Nujiang River[J]. Chinese Journal of Zoology, 2019, 54(2): 207-221(in Chinese).
- [8] 张云雷, 徐宾铎, 张崇良, 等. 海州湾春季皮氏叫姑鱼摄食习性的空间异质性及其索饵场分布[J]. 中国水产科学, 2020, 27(3): 315-326.
- Zhang Y L, Xu B D, Zhang C L, *et al.* Spatial heterogeneity in the feeding habits and feeding ground distribution of *Johnius belangerii* in Haizhou Bay during spring[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(3): 315-326(in Chinese).
- [9] 王文海, 夏东兴, 高兴辰, 等. 中国海湾志 (第四分册)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- Wang W H, Xia D X, Gao X C, *et al.* Editorial board of China Bay survey, survey of China Bays[M]. Vol. 4. Beijing: China Ocean Press, 1993 (in Chinese).
- [10] 杨东方, 苗振清. 海湾生态学 (上册)[M]. 北京: 海洋出版社, 2010.
- Yang D F, Miao Z Q. Marine bay ecology (I)[M]. Beijing: Ocean Press, 2010 (in Chinese).
- [11] 孟庆闻, 缪学祖, 俞泰济, 等. 鱼类学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989: 1-298.
- Meng Q W, Miao X Z, Yu T J, *et al.* Ichthyology[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1989: 1-298 (in Chinese).
- [12] 郭斌, 张波, 戴芳群, 等. 海州湾小黄鱼幼鱼和黄鲫幼鱼的食物竞争[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(1): 8-15.
- Guo B, Zhang B, Dai F Q, *et al.* Food competition between juvenile *Pseudosciaena polyactis* and juvenile *Setipinna taty* in the Haizhou Bay[J]. Progress in Fishery Sciences, 2011, 32(1): 8-15(in Chinese).
- [13] 张晓妆, 王晶, 徐宾铎, 等. 海州湾鱼类群落功能多样性的时空变化[J]. 应用生态学报, 2019, 30(9): 3233-3244.
- Zhang X Z, Wang J, Xu B D, *et al.* Spatio-temporal variations of functional diversity of fish communities in Haizhou Bay[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(9): 3233-3244(in Chinese).
- [14] 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. GB/T 12763.6-2007 海洋调查规范 第 6 部分: 海洋生物调查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 6-17.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 12763.6-2007 Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: China Standards Press, 2008: 6-17 (in Chinese).
- [15] 郑晓春, 戴小杰, 朱江峰, 等. 太平洋中东部海域大眼金枪鱼胃含物分析[J]. 南方水产科学, 2015, 11(1): 75-80.
- Zheng X C, Dai X J, Zhu J F, *et al.* Analysis on stomach content of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the eastern-central Pacific Ocean[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(1): 75-80(in Chinese).
- [16] Hyslop E J. Stomach contents analysis—a review of methods and their application[J]. Journal of Fish Biology, 1980, 17(4): 411-429.
- [17] Cortés E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranch fishes[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997, 54(3): 726-738.
- [18] 韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 胶州湾 5 种虾虎鱼类的营养

- 和空间生态位[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(1): 148-156.
- Han D Y, Xue Y, Ji Y P, *et al.* Trophic and spatial niche of five gobiid fishes in Jiaozhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2013, 20(1): 148-156(in Chinese).
- [19] Krebs C J. Ecological methodology[M]. Menlo Park: Benjamin/Cummings, 1999.
- [20] Pielou E C. Ecological diversity[M]. New York: Wiley, 1975.
- [21] May R M. Some notes on estimating the competition matrix, a[J]. *Ecology*, 1975, 56(3): 737-741.
- [22] 薛莹, 金显仕, 张波, 等. 南黄海三种石首鱼类的食性[J]. *水产学报*, 2005, 29(2): 178-187.
- Xue Y, Jin X S, Zhang B, *et al.* Feeding habits of three sciaenid fishes in the southern Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2005, 29(2): 178-187(in Chinese).
- [23] 张波. 渤海鱼类的食物关系[J]. *渔业科学进展*, 2018, 39(3): 11-22.
- Zhang B. Feeding ecology of fishes in the Bohai Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(3): 11-22(in Chinese).
- [24] 王建锋, 赵峰, 宋超, 等. 长江口棘头梅童鱼食物组成和摄食习性的季节变化[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(1): 291-298.
- Wang J F, Zhao F, Song C, *et al.* Diet composition and seasonal variation in feeding habits of *Collichthy lucidus* in Yangtze Estuary, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(1): 291-298(in Chinese).
- [25] 严利平, 李建生, 沈德刚, 等. 黄海南部、东海北部小黄鱼饵料组成和摄食强度的变化[J]. *海洋渔业*, 2006, 28(2): 117-123.
- Yan L P, Li J S, Shen D G, *et al.* Variations in diet composition and feeding intensity of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* Bleeker in the southern Yellow Sea and northern East China Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2006, 28(2): 117-123(in Chinese).
- [26] Crozier W W. Observations on the food and feeding of the angler-fish, *Lophim piscatorius* L., in the northern Irish Sea[J]. *Journal of Fish Biology*, 1985, 27(5): 655-665.
- [27] Elton C S. Animal ecology[M]. London: Sidgwick and Jackson, 1927.
- [28] 于振海, 金显仕, 李显森. 黄海中南部主要鱼种的生态位分析[J]. *渔业科学进展*, 2010, 31(6): 1-8.
- Yu Z H, Jin X S, Li X S. Analysis of ecological niche for major fish species in the central and southern Yellow Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, 31(6): 1-8(in Chinese).
- [29] 王桂明, 周庆强, 钟文勤. 内蒙古典型草原4种常见小哺乳动物的营养生态位及相互关系[J]. *生态学报*, 1996, 16(1): 71-76.
- Wang G M, Zhou Q Q, Zhong W Q. Trophic niches of four species of common small mammals in inner Mongolia grassland and their relationships[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(1): 71-76(in Chinese).
- [30] Pratchett M S, Berumen M L. Interspecific variation in distributions and diets of coral reef butterflyfishes (Teleostei: Chaetodontidae)[J]. *Journal of Fish Biology*, 2008, 73(7): 1730-1747.

Composition of food and niche overlap of three Sciaenidae species in Haizhou Bay

SONG Yehui^{1,2}, XUE Ying^{1,2}, XU Binduo^{1,2}, ZHANG Chongliang^{1,2}, REN Yiping^{1,2,3*}

(1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Field Observation and Research Station of Haizhou Bay Fishery Ecosystem, Ministry of Education, Qingdao 266003, China;

3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China)

Abstract: Based on the data collected from bottom trawl surveys in Haizhou Bay in 2011 and 2013, the food composition and differences in trophic and spatial niche of *Johnius belangerii*, *Larimichthys polyactis* and *Collichthys lucidus* were studied by means of multivariate statistical analysis and niche overlap coefficient. The results showed that *J. belangerii* was a kind of benthic predator, mainly feeding on shrimp, amphipoda and polychaetes. *L. polyactis* belonged to the benthic and swimming predator, mainly feeding upon fish, shrimp, cephalopod and euphausiacea, *C. lucidus* belonged to the benthic and zooplankton predator, mainly feeding on shrimp, acetes, euphausiacea and mysidacea. Among the three Sciaenidae species, their trophic niche widths were relatively close, with the trophic niche width (2.69) and spatial niche width (2.78) of the *L. polyactis* being the highest. *J. belangerii* had the lowest values of trophic niche width (2.59) and *C. lucidus* had the highest spatial niche width value (2.42). The trophic niche overlap between the three Sciaenidae species was between 0.24 and 0.46, with *J. belangerii* and *C. lucidus* having the highest trophic niche overlap value (0.46). Their spatial niche overlap value was between 0.19 and 0.30, indicating that there was little spatial overlap among the three species, which alleviated the food competition. Their trophic-spatial niche overlap index was between 0.05 to 0.11, with *J. belangerii* and *C. lucidus* having the highest trophic-spatial niche overlap value (0.11). These species can reduce their interspecific competition by changing their food composition and space distribution.

Key words: Sciaenidae; *Johnius belangerii*; *Larimichthys polyactis*; *Collichthys lucidus*; trophic niche; spatial niche; niche overlap; Haizhou Bay

Corresponding author: REN Yiping. E-mail: renyip@ouc.edu.cn

Funding projects: Marine S & T Fund of Shandong Province for Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao) (2018SDKJ0501-2); National Key R & D Program of China (2018YFD0900904); National Natural Science Foundation of China (31772852)