

DOI: 10.12264/JFSC2021-0445

浙江南部近海两种石首鱼科鱼类的摄食习性及其食性重叠

陈淦^{1, 2, 3}, 徐雯^{1, 2, 3}, 高春霞^{1, 2, 3}, 叶深^{4, 5}, 韩东燕^{1, 2, 3}

1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;
2. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;
3. 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;
4. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江 温州 325005;
5. 浙江省近岸水域生物资源开发与保护重点实验室, 浙江 温州 325005

摘要: 对 2020 年 8 月、11 月和 2021 年 1 月在浙江南部近海进行的底拖网调查采集的 287 尾白姑鱼(*Pennahia argentata*)和 204 尾黑姑鱼(*Atrobucca nibe*)胃含物样品进行分析, 采用聚类分析等统计方法研究了这两种石首鱼科鱼类(Sciaenidae)的食物组成、摄食习性随体长变化及饵料重叠情况。结果表明, 浙江南部近海白姑鱼摄食饵料生物 48 种, 主要摄食桡足类(Copepoda), 以哲水蚤(*Calanus*)居多。黑姑鱼摄食饵料生物 43 种, 主要摄食鱼类(Pisces)和虾类(Decapoda), 优势饵料种类为七星底灯鱼(*Benthosema pterotum*)。随着体长的增加, 两种石首鱼摄食的主要饵料生物均由浮游动物等小型饵料生物转向鱼类和虾类等大型饵料生物, 摄食强度也随之变化, 白姑鱼的摄食强度随着体长增加而逐渐降低, 而黑姑鱼的摄食强度随着体长增加呈先下降后上升的趋势。两种石首鱼的营养生态位宽度存在较大差异, 其中黑姑鱼的营养生态位宽度(3.06)高于白姑鱼(1.82), 二者间的整体饵料重叠系数为 0.22, 但在部分体长组中存在较大的饵料重叠, 这表明浙江南部近海白姑鱼与黑姑鱼在部分生长阶段有发生食物竞争的可能。

关键词: 白姑鱼; 黑姑鱼; 胃含物分析; 摄食生态; 食性重叠

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)09-1337-12

海洋鱼类的摄食生态是海洋食物网研究的重要组成部分, 通过摄食习性分析, 可以了解海洋生态系统中鱼类摄食饵料种类及不同鱼类之间的食物关系, 分析生态系统中的能量流动, 为海洋生态系统营养动力学研究提供基础资料^[1-2]。鱼类通过捕食或竞争等摄食行为, 不仅满足了自身生长发育, 也促进了生态系统的能量流动^[3]。因此, 研究鱼类的摄食习性和摄食关系具有重要意义, 可以为基于生态系统的渔业管理提供科学依据。

白姑鱼(*Pennahia argentata*)和黑姑鱼(*Atrobucca nibe*)均隶属于鲈形目(Perciformes), 石首鱼科(Sciaenidae), 为近海暖温性近底层鱼类^[4], 广泛分布于我国南海、东海和黄海等海域, 是我国常见的经济鱼类, 在浙江南部近海渔业中也占有重

要的地位^[5]。国内学者对白姑鱼生活史特征进行了大量研究^[6-8], 而对于黑姑鱼的研究相对较少。已有学者对白姑鱼和黑姑鱼的食性开展了分析^[9-13], 这些研究表明黑姑鱼以鱼类或底栖虾类为主要饵料, 而白姑鱼在不同海域的摄食习性存在差异, 其中部分研究显示二者均为底栖动物食性。两种鱼类不仅亲缘关系相近, 而且分布范围、适温类型、产卵类型等生态习性也相似^[4], 因此存在潜在的摄食竞争。然而, 目前针对两种鱼类的饵料重叠和食物竞争鲜见相关报道。

本研究采用胃含物分析法, 对浙江南部近海的白姑鱼和黑姑鱼的食物组成进行分析, 并通过聚类分析等统计方法研究了两种鱼类摄食习性随体长的变化, 以及两者间的食物重叠情况, 旨在

收稿日期: 2021-09-17; 修订日期: 2021-11-11.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41906074, 31902372).

作者简介: 陈淦(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业生态学. E-mail: cgan1121@163.com

通信作者: 韩东燕, 讲师, 研究方向为鱼类摄食生态学. E-mail: dyhan@shou.edu.cn

揭示两种鱼类之间的营养关系,为浙江南部近海鱼类食物网及生态系统研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

白姑鱼和黑姑鱼样品来源于 2020 年 8 月、11 月和 2021 年 1 月的浙江南部近海海域(120.93°E~122.95°E, 27.21°N~28.97°N)渔业资源底拖网调查(图 1),调查船只为单船网板底拖网作业船,拖网网具长 95 m,网口平均宽度 40 m,高 7.5 m。每站位平均拖网时间 1 h,平均拖网速度 3 kn。样品采集后进行鉴定分类,经冷冻保存运回实验室。样品的采集和分析均根据《海洋调查规范》(GB/T12763.6—2007)^[14]进行。共收集样品 491 尾,其中白姑鱼 287 尾,黑姑鱼 204 尾(表 1)。

1.2 样品处理

鱼类样品进行生物学测量后,立即解剖取胃,

并置于-20℃冰箱冷冻保存。将保存的样品解冻后进行胃含物分析,取出胃内饵料在解剖镜下鉴定饵料生物种类并计数,尽量鉴定到分类学最低阶元。使用精度为 0.01 mg 的电子天平测量食物团总质量和各饵料质量,测量前使用吸水纸吸干表面水分。

1.3 数据分析

本研究通过空胃率和胃饱满指数描述浙江南部近海白姑鱼及黑姑鱼的摄食强度^[15]。

空胃率(%)=空胃数/总胃数×100

胃饱满指数(%)=食物团重/纯体重×100

根据饵料生物的分类特征,本研究将浙江南部近海白姑鱼和黑姑鱼的饵料生物划分为 15 个类群,分别为鱼类、虾类、口足类、端足类、糠虾类、磷虾类、蟹类、头足类、桡足类、等足类、

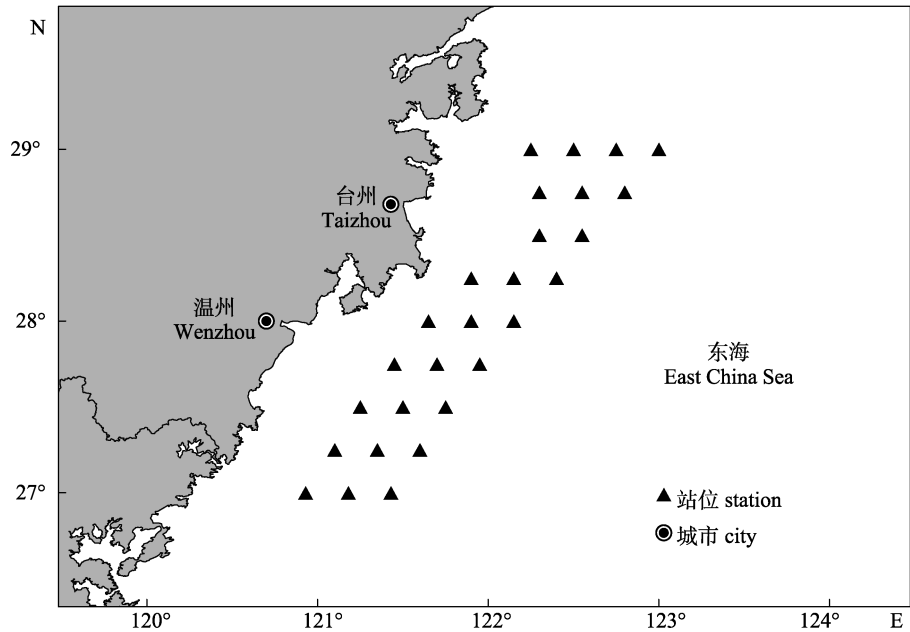


图 1 浙江南部近海渔业资源调查站位

Fig. 1 Sampling stations of fishery resources survey in the southern coastal waters of Zhejiang

表 1 浙江南部近海白姑鱼和黑姑鱼的样品数量和体长范围

Tab. 1 Sample size and body length range of *Pennahia argentata* and *Atrubucca nibe* in the southern coastal waters of Zhejiang

鱼种 species	样品数 sample number	空胃数 empty stomach number	体长范围/mm body length range	平均体长/mm mean body length
白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	287	100	50–196	97.28±28.86
黑姑鱼 <i>Atrubucca nibe</i>	204	66	84–149	110.80±12.19

介形类、腹足类、蛇尾类、瓣鳃类和多毛类。通过饵料个数百分比($N\%$)、质量百分比($W\%$)、出现频率($F\%$)以及相对重要性指数百分比($IRI\%$)描述不同饵料生物重要性^[16-17]。

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

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

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

$$\text{相对重要性指数 } IRI = (N\% + W\%) \times F\%$$

$$\text{相对重要性指数百分比 } IRI\% = \frac{IRI}{\sum IRI} \times 100\%$$

本研究使用 Primer 5.0 软件^[18]对两种石首鱼各体长组的食物进行聚类分析。根据白姑鱼和黑姑鱼体长范围,以 20 mm 为间隔,将白姑鱼样品分为 8 个体长组(<60 mm、60~79 mm、80~99 mm、100~119 mm、120~139 mm、140~159 mm、160~179 mm、180~199 mm);以 10 mm 为间隔,将黑姑鱼样品分为 6 个体长组(<100 mm、100~109 mm、110~119 mm、120~129 mm、130~139 mm、140~149 mm)。以饵料个数百分比为聚类分析标准,分析前对数据进行平方根转化,并去除不可辨认的饵料^[19],得到各体长组组合的 Bray-Curtis 相似性系数。

Shannon-Wiener 指数(H')可以反映生态位的整体宽度,而 Pianka 饵料重叠系数根据食物资源在物种间所占的相对比例,客观反映物种间对资源利用的相似程度^[20]。本研究应用 Shannon-Wiener 指数估算白姑鱼和黑姑鱼的营养生态位宽度^[21],应用 Pianka 饵料重叠系数估算浙江南部近海白姑鱼与黑姑鱼间的饵料重叠状况,该系数的范围为 0~1,越接近 1,表明两种鱼种间的饵料重叠程度越高^[22]。

H' 多样性指数计算公式如下:

$$H' = -\sum (P_k \times \ln P_k)$$

式中, H' 为鱼类的营养生态位宽度, P_k 为饵料 k 在鱼类食物组成中的个数百分比。

Pianka 饵料重叠系数计算公式如下:

$$O_{ij} = \sum (P_{ik} \times P_{jk}) / \sqrt{\sum P_{ik}^2 \times \sum P_{jk}^2}$$

式中, O_{ij} 为鱼类 i 和鱼类 j 的饵料重叠系数, P_{ik} 和 P_{jk} 分别表示饵料 k 在鱼类 i 和 j 食物组成中的个数百分比。饵料重叠系数为 0 表示不重叠,大于 0.3 表示重叠有意义,大于 0.6 表示重叠显著,等于 1 表示完全重叠^[23]。

2 结果与分析

2.1 食物组成

胃含物分析结果表明(表 2),浙江南部近海白姑鱼共摄食 15 个饵料类群,48 种饵料生物。其中桡足类为最主要的饵料类群($IRI\%=53.99\%$),其次为鱼类(18.41%)、虾类(14.71%)和头足类(5.83%),其余饵料类群的 $IRI\%$ 均小于 5%。在摄食的饵料种类中,以哲水蚤(*Calanus*)的 $IRI\%$ 最高(53.73%),其次为七星底灯鱼(*Benthosema pterotum*)(16.40%)和中国毛虾(*Acetes chinensi*)(9.11%),其余饵料种类的 $IRI\%$ 均小于 5%。桡足类在白姑鱼食物组成中的个数百分比($N\%$)及出现频率($F\%$)均最高,分别为 65.57%和 24.60%,其中哲水蚤为比重较高的种类。若按照质量百分比($W\%$)排序,则虾类为最高(39.05%),其次为鱼类(24.55%)和口足类(19.06%),其中最高的种类为七星底灯鱼、东海红虾(*Plesionika izumiae*)和口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)。

浙江南部近海黑姑鱼共摄食 13 个饵料类群,包括饵料生物 43 种,其中鱼类为优势类群($IRI\%=66.38\%$),其次是虾类(25.29%),其余饵料类群的 $IRI\%$ 均小于 5%。七星底灯鱼($IRI\%=65.25\%$)为优势饵料种类,兼食种类为日本鼓虾(*Alpheus japonicus*)(15.82%),其余饵料种类的 $IRI\%$ 均小于 5%。若按照个数百分比、质量百分比和出现频率排序,鱼类和虾类均为黑姑鱼食物组成中占比较高的类别。从饵料种类来看,上述 3 种指标中占比最高的种类均为七星底灯鱼($N\%=22.78\%$, $W\%=28.41\%$, $F\%=42.75\%$),其次为底层虾类,如日本鼓虾($W\%=26.34\%$, $F\%=15.94\%$)、东海红虾($F\%=13.04\%$)、鲜明鼓虾(*A. distinguendus*)($W\%=11.02\%$)和中国毛虾($F\%=10.87\%$),其余占比均小于 10%。

表 2 浙江南部近海白姑鱼和黑姑鱼食物组成
Tab. 2 Diet composition of *Pennahia argentata* and *Atrubucca nibe* in the southern coastal waters of Zhejiang

%

饵料种类 prey item	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>				黑姑鱼 <i>Atrubucca nibe</i>			
	N%	W%	F%	IRI%	N%	W%	F%	IRI%
鱼类 Pisces	7.73	24.55	32.09	18.41	28.06	41.62	52.17	66.38
七星底灯鱼 <i>Benthosema pterotum</i>	4.66	15.46	19.79	16.40	22.78	28.41	42.75	65.25
麦氏犀鲂 <i>Bregmaceros maclellandii</i>	0.95	7.23	4.81	1.62	1.11	6.79	2.90	0.68
小带鱼 <i>Eupleurogrammus muticus</i>	0.11	0.55	0.53	0.01	0.56	0.70	1.45	0.05
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	0.11	0.12	0.53	+	0.28	0.07	0.72	+
杜氏叫姑鱼 <i>Johnius dussumieri</i>	0.11	0.01	0.53	+	0.28	0.15	0.72	+
叫姑鱼属 <i>Johnius</i> sp.	0.11	0.01	0.53	+	—	—	—	—
发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	0.11	0.54	0.53	0.01	—	—	—	—
单指虎鲂 <i>Minous monodactylus</i>	0.32	0.33	1.07	0.03	—	—	—	—
翼红娘鱼 <i>Lepidotrigla alata</i>	0.11	0.18	0.53	+	—	—	—	—
白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>	—	—	—	—	0.28	+	0.72	+
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	—	—	—	—	0.56	4.66	1.45	0.23
日本鰺 <i>Engraulis japonicus</i>	—	—	—	—	0.28	0.75	0.72	0.02
舌鲷属 <i>Cynoglossus</i> sp.	—	—	—	—	1.39	0.08	2.17	0.10
不可辨认鱼类 unidentified Pisces	1.17	0.12	5.88	0.31	0.56	0.02	1.45	0.02
虾类 Decapoda	11.02	39.05	35.83	14.71	27.78	46.14	54.35	25.29
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	0.85	11.41	3.74	1.89	6.94	26.34	15.94	15.82
鲜明鼓虾 <i>A. distinguendus</i>	0.21	0.45	1.07	0.03	1.11	11.02	2.90	1.05
鼓虾属 <i>Alpheus</i> sp.	0.74	1.22	3.74	0.30	3.06	2.55	7.97	1.33
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	5.61	9.15	14.97	9.11	5.83	1.14	10.87	2.26
东海红虾 <i>Plesionika izumiae</i>	1.27	13.17	4.28	2.55	6.39	4.19	13.04	4.11
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.53	2.00	2.67	0.28	1.11	0.64	2.90	0.15
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.11	0.02	0.53	+	0.83	0.22	2.17	0.07
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	0.21	1.45	0.53	0.04	—	—	—	—
不可辨认虾类 unidentified Decapoda	1.48	0.17	7.49	0.51	2.50	0.03	6.52	0.49
口足类 Stomatopoda	1.80	19.06	5.35	3.05	1.94	5.48	4.35	0.96
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	1.69	13.01	4.81	2.92	1.94	5.48	4.35	0.96
条尾近虾蛄 <i>Anchisquilla fasciata</i>	0.11	6.05	0.53	0.14	—	—	—	—
端足类 Amphipoda	1.69	0.17	6.42	0.15	3.89	0.16	7.97	0.50
钩虾亚目 Gammaridea	0.74	0.06	2.14	0.07	2.78	0.12	5.07	0.44
双眼钩虾属 <i>Ampelisca</i> sp.	0.11	0.05	0.53	+	—	—	—	—
拟钩虾属 <i>Gammaropsis</i> sp.	—	—	—	—	0.83	0.02	2.17	0.06
小泉蛭属 <i>Hyperietta</i> sp.	—	—	—	—	0.28	0.02	0.72	+
尖头蛭属 <i>Oxycephalus</i> sp.	0.11	0.03	0.53	+	—	—	—	—
蛭亚目 Hyperiidea	0.11	+	0.53	+	—	—	—	—
不可辨认端足类 unidentified Amphipoda	0.64	0.02	2.67	0.07	—	—	—	—
糠虾类 Mysida	3.39	1.32	12.83	1.27	8.61	1.30	12.32	1.34
短额超刺糠虾 <i>Hyperacanthomysis brevirostris</i>	1.80	1.07	6.95	0.82	4.72	0.84	5.80	0.96
长额超刺糠虾 <i>H. longirostris</i>	—	—	—	—	1.11	0.30	1.45	0.06
小红糠虾 <i>Erythrops minuta</i>	—	—	—	—	0.56	0.01	0.72	0.01
不可辨认糠虾类 unidentified Mysida	1.59	0.25	5.88	0.45	2.22	0.16	4.35	0.31

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

饵料种类 prey items	白姑鱼 <i>Pennahia argentata</i>				黑姑鱼 <i>Atrobusca nibe</i>			
	N%	W%	F%	IRI%	N%	W%	F%	IRI%
磷虾类 Euphausiacea	0.21	+	0.53	+	8.89	1.69	7.97	2.51
蟹类 Crabs	0.95	3.42	4.28	0.14	3.33	2.73	7.97	0.59
瓷蟹属 <i>Porcellana</i> sp.	0.32	0.29	1.60	0.04	1.94	1.15	5.07	0.47
绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>	0.11	1.91	0.53	0.04	0.28	0.23	0.72	0.01
直额螯 <i>Charybdis truncate</i>	0.21	0.32	1.07	0.02	0.56	1.34	1.45	0.08
纤手梭子蟹 <i>Portunus gracilimanus</i>	0.11	0.71	0.53	0.02	—	—	—	—
不可辨认蟹类 unidentified Crabs	0.21	0.18	0.53	+	0.56	0.02	1.45	0.02
头足类 Cephalopoda	3.50	5.80	15.51	5.83	1.11	+	2.90	0.10
双喙耳乌贼 <i>Sepiola birostrata</i>	0.11	0.08	0.53	+	—	—	—	—
不可辨认头足类 unidentified Cephalopoda	3.39	5.72	15.51	5.82	—	—	—	—
桡足类 Copepoda	65.57	3.67	24.60	53.99	10.00	0.07	15.22	1.59
哲水蚤属 <i>Calanus</i> sp.	62.71	3.19	19.79	53.73	3.33	0.03	8.70	0.87
宽水蚤属 <i>Temora</i> sp.	0.21	+	0.53	+	0.28	+	0.72	+
鹰嘴水蚤属 <i>Aetideus</i> sp.	0.11	+	0.53	+	—	—	—	—
纺锤水蚤属 <i>Acartia</i> sp.	—	—	—	—	1.39	0.01	2.90	0.12
隆水蚤属 <i>Oncaea</i> sp.	1.17	+	1.60	0.08	2.78	+	3.62	0.30
不可辨认桡足类 unidentified Copepoda	1.06	0.11	3.74	0.18	2.22	0.02	4.35	0.29
等足类 Isopoda	0.32	0.35	1.60	0.04	2.78	0.68	3.62	0.37
介形类 Ostracoda	0.53	0.01	2.67	0.06	1.11	+	2.90	0.05
尖尾海萤 <i>Cypridina acuminata</i>	0.53	0.01	2.67	0.06	0.56	+	1.45	0.02
海萤亚科 Cypridininae	—	—	—	—	0.56	+	1.45	0.02
腹足类 Gastropoda	0.21	+	1.07	+	0.28	+	0.72	+
蛇尾类 Ophiuroidea	0.21	1.00	1.07	0.05	0.28	+	0.72	+
瓣鳃类 Lamellibranchia	0.11	0.14	0.53	+	—	—	—	—
多毛类 Polychaeta	0.11	0.08	0.53	+	—	—	—	—
不可辨认饵料 unidentified prey	2.97	1.73	11.76	2.27	1.94	0.11	5.07	0.31

注: +表示出现且所占比例小于 0.01%, —表示未出现。
Note: + indicates that it has occurred and the percentage was lower than 0.01%, — indicates that it has not occurred.

2.2 摄食强度随体长变化

浙江南部近海 2 种石首鱼摄食强度随体长存在一定的变化。白姑鱼平均空胃率为 34.84%, 黑姑鱼为 35.25%, 二者无显著性差异, 各体长组空胃率整体上均呈先上升后下降的趋势。其中白姑鱼各体长组空胃率差异较大(图 2), 高空胃率组分布于 120 mm 以上的大个体体长组中, 平均空胃率均超过 50%; 而黑姑鱼高空胃率组为 100~119 mm 的中小型个体。两种鱼类平均胃饱满指数的变化趋势存在显著差异, 白姑鱼以小个体的胃饱满指数最高(1.52%), 60 mm 以上体长组在较小水平范围内波动; 黑姑鱼各体长组平均胃饱满指

数整体变化趋势与空胃率相反, 呈先下降后上升的趋势, 在 120~129 mm 体长组胃饱满指数最低(0.04%), 在空胃率较低的<99 mm 体长组和 140~149 mm 体长组, 黑姑鱼平均胃饱满指数均较高(图 3)。

2.3 食物组成随体长变化

浙江南部近海白姑鱼的食物组成随体长增长发生明显变化。从各饵料种类的个数百分比来看(图 4), 白姑鱼在个体较小时饵料类别丰富, 体长<100 mm 的个体主要摄食哲水蚤。随着体长增长, 摄食鱼类和虾类的比重逐渐增大, 以七星底灯鱼、东海红虾和中国毛虾为主要饵料种类, 少量

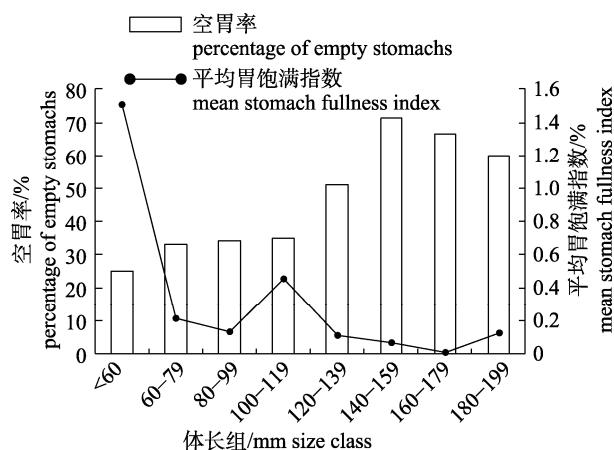


图 2 浙江南部近海白姑鱼空胃率和平均胃饱满指数的体长变化

Fig. 2 Percentage of empty stomachs and mean stomach fullness index of *Pennahia argentata* in each size class in the southern coastal waters of Zhejiang

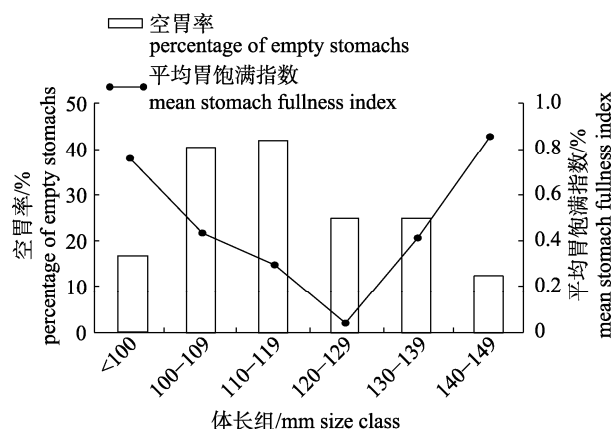


图 3 浙江南部近海黑姑鱼空胃率和平均胃饱满指数的体长变化

Fig. 3 Percentage of empty stomachs and mean stomach fullness index of *Atrubucca nibe* in each size class in the southern coastal waters of Zhejiang

兼食头足类等其他饵料。而在体长 160~179 mm 的个体中,以头足类为主要饵料。聚类分析可将白姑鱼的体长组分为 3 组(图 5)。第 1 组为<100 mm 体长组,其食物组成的组内相似性系数为 49.80%,主要摄食桡足类;第 2 组为 100~159 mm 与 180~199 mm 体长组,组内相似性系数为 37.00%,以鱼类和虾类为主要饵料,少量兼食头足类等其它饵料;第 3 组为 160~179 mm 体长组,主要摄食头足类。

黑姑鱼的食物组成也随体长发生明显改变(图 6)。其中<129 mm 体长组的黑姑鱼以七星底灯鱼

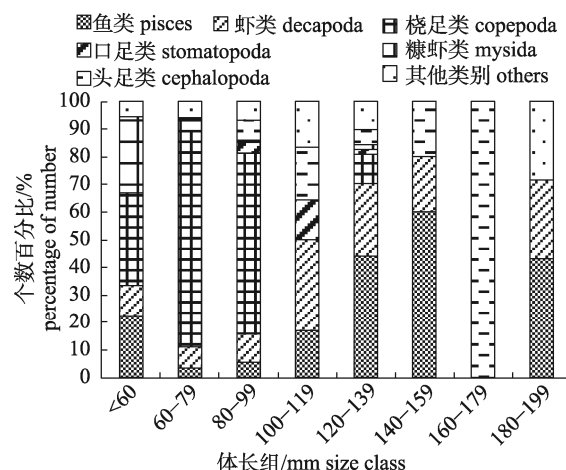


图 4 浙江南部近海各体长组白姑鱼饵料类群的个数百分比

Fig. 4 The percentage number for prey groups of *Pennahia argentata* in each size class in the southern coastal waters of Zhejiang

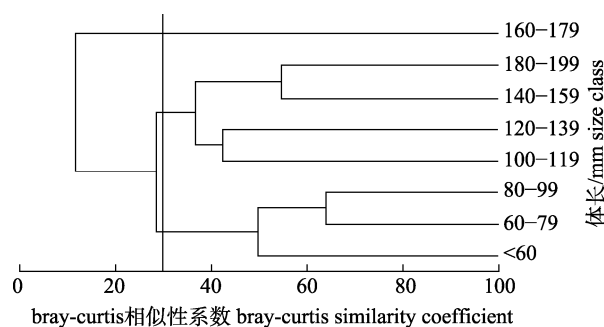


图 5 浙江南部近海各体长组白姑鱼饵料种类组成的聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of *Pennahia argentata* diet composition in each size class in the southern coastal waters of Zhejiang

和多种底栖虾类为主要饵料,糠虾和磷虾等其他饵料种类也有少量摄食。随着体长增长,黑姑鱼摄食的饵料类别减少,鱼类、虾类和口足类等大个体饵料的比列逐渐增加。聚类分析可以将黑姑鱼的 6 个体长组分为 3 组(图 7)。第 1 组为<130 mm 体长组,其食物组成的组内相似性系数为 61.20%,主要摄食鱼类和虾类,兼食糠虾和磷虾等;第 2 组为 130~139 mm 体长组,摄食虾类饵料比例增大,饵料类别减少;第 3 组为 140~149 mm 体长组,食物组成中以鱼类居多,少量摄食虾类、口足类和端足类。

2.4 营养生态位宽度和饵料重叠

浙江南部近海白姑鱼与黑姑鱼营养生态位

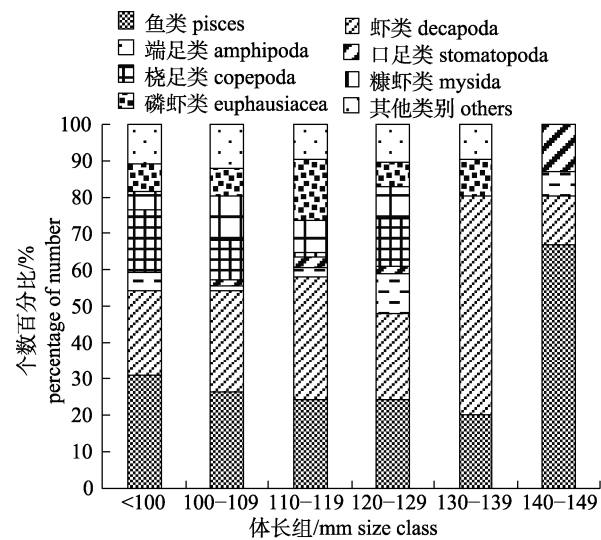


图 6 浙江南部近海各体长组黑姑鱼饵料类群的个数百分比

Fig. 6 The percentage number for prey groups of *Atroubucca nibe* in each size class in the southern coastal waters of Zhejiang

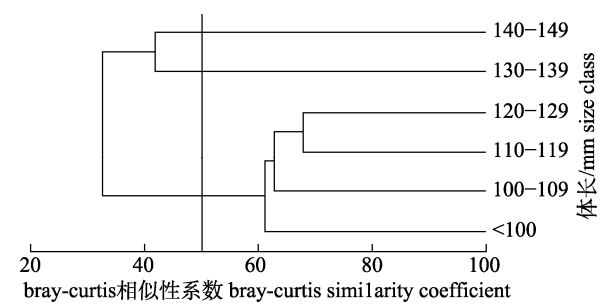


图 7 浙江南部近海各体长组黑姑鱼饵料种类组成的聚类分析

Fig. 7 Cluster analysis of *Atroubucca nibe* diet composition in each size class in the southern coastal waters of Zhejiang

宽度差异显著, Shannon-Wiener 多样性指数分别为 1.82 和 3.06。通过计算 Pianka 饵料重叠系数发现, 白姑鱼和黑姑鱼饵料重叠系数仅为 0.22, 但是两种鱼在不同体长组之间饵料重叠存在较大差异(表 3)。黑姑鱼各体长组中除 130~139 mm 体长组外, 其余体长组与白姑鱼 120~159 mm 体长组的饵料重叠系数均大于 0.6, 存在显著的食物重叠。其中, 白姑鱼 120~139 mm 体长组与黑姑鱼<100 mm 体长组的饵料重叠系数最高(0.85), 其次为该体长组白姑鱼与黑姑鱼 120~129 mm 体长组(0.84)以及与黑姑鱼 140~149 mm 体长组(0.82)。在 48 个体长组组合中, 有 9 个组合的重叠系数大于 0.6, 占总体长组组合的 18.8%; 23 个组合的重叠系数小于 0.3, 占总体长组组合的 47.9%。

3 讨论

3.1 食性类型

本研究通过胃含物分析, 研究了浙江南部近海白姑鱼和黑姑鱼的摄食习性。采用相对重要性指数百分比(IRI%)为指标描述不同饵料生物重要性, 结果表明浙江南部近海白姑鱼主要摄食以桡足类为代表的浮游甲壳类动物, 兼食鱼类和虾类, 而黑姑鱼主要饵料类别为鱼类和虾类, 其中七星底灯鱼为优势饵料种类。对比白姑鱼历史研究资料, 黄海、渤海及南海的白姑鱼主要以虾类为主要饵料生物^[24-27]。在东海, 张波等^[9]应用胃含物分析法对长江口白姑鱼的摄食习性进行了分析,

表 3 浙江南部近海白姑鱼和黑姑鱼各体长组间的 Pianka 饵料重叠系数

Tab. 3 The diet overlap coefficient between *Pennahia argentata* and *Atroubucca nibe* in each size classes in the southern coastal waters of Zhejiang

黑姑鱼体长组 size class of <i>Atroubucca nibe</i>	白姑鱼体长组 size class of <i>Pennahia argentata</i>							
	<60 (4)	60-79 (103)	80-99 (70)	100-119 (37)	120-139 (51)	140-159 (14)	160-179 (3)	180-199 (5)
<100 (35)	0.32	0.25	0.29	0.38	0.85	0.71	0.04	0.47
100-109 (69)	0.35	0.14	0.17	0.46	0.80	0.63	0.02	0.36
110-119 (52)	0.28	0.09	0.12	0.46	0.72	0.60	0.00	0.46
120-129 (32)	0.40	0.19	0.25	0.47	0.84	0.69	0.15	0.49
130-139 (8)	0.06	0.02	0.03	0.16	0.25	0.40	0.00	0.50
140-149 (8)	0.11	0.02	0.06	0.45	0.82	0.77	0.00	0.44

注: 括号内为各体长组样品数量。
Note: The sample size in each size class was given in the bracket.

发现其主要摄食底栖虾类和口足类。而李忠义等^[10]应用稳定同位素方法分析发现,长江口及南黄海水域的白姑鱼属浮游动物食性。这些研究表明白姑鱼的摄食习性有着明显的空间和时间差异,可能的原因是不同海域饵料生物的时空差异^[28-29]。另外,研究方法的不同也会造成分析结果的差异,胃含物分析主要反映了鱼类实际摄入的饵料成分组成,且易受消化程度的直接影响。而采用稳定同位素、特征脂肪酸组成分析等方法能弥补胃含物分析方法的缺陷,但其主要反映了捕食者实际同化的饵料部分^[30]。

学者们对黑姑鱼的摄食习性研究较少,白怀宇等^[12]利用碳、氮稳定同位素技术分析了黄海及东海北部黑姑鱼的营养来源,发现主要食物来源为底栖生物。Salarpouri 等^[13]应用胃含物分析法研究了阿曼海域黑姑鱼的摄食习性,发现其主要以灯笼鱼等鱼类为主要饵料生物。本研究结果表明浙江南部近海黑姑鱼同样以鱼类为主要饵料类群,但受饵料物种空间分布影响,其摄食的种类不同。本研究中白姑鱼和黑姑鱼样品均出现较高的空胃率,在白姑鱼部分体长组中空胃率达到了 71.43%。一方面,这说明其在部分生长阶段摄食强度不高,这与 Salarpouri 等^[13]的研究一致;另一方面,部分空胃是由采集的鱼类样品出现反刍现象所导致的。在调查中,由于起网速度过快导致水压迅速变化,致使鱼类胃外翻而将部分甚至全部胃含物吐出^[11,31]。因此,浙江南部近海的白姑鱼和黑姑鱼实际空胃率应低于监测到的值。

3.2 食性随体长的变化

鱼类摄食习性随体长增加而变化是普遍的现象^[29,32]。本研究表明,随着体长的增长,浙江南部近海白姑鱼与黑姑鱼的空胃率均呈先增加后减小的趋势,小个体的 2 种石首鱼空胃率较低,在发育至中体型的过程中空胃率增加,这主要是由于两种鱼类在幼鱼期因生长发育所需能量较多而摄食更多饵料,随着鱼类发育逐渐成熟,性腺会占据一定的体腔,导致摄食强度有所降低^[33]。白姑鱼在生长至 120 mm 以后,空胃率保持在较高水平范围,各体长组平均空胃率均超过 50%,且其平均胃饱满指数仅在体长<60 mm 的个体中较高,

在体长 ≥ 60 mm 下降到较低水平,综合空胃率与胃饱满指数来看,白姑鱼的摄食强度随着个体发育逐渐降低,这也可能与生长发育的能量储备有关。而黑姑鱼各体长组平均胃饱满指数与其空胃率呈相反趋势,且在空胃率较低的小个体和大个体黑姑鱼中平均胃饱满指数均较高,这表明黑姑鱼在生活史前期摄食强度逐渐下降,中体型时期以后随着个体增长,其不断提高摄食能力,以满足自身生长过程中的能量需求。

随着鱼类摄食器官逐渐完善,捕食能力有所提高,食性类型也会发生一定的变化^[19]。本研究中,在体长较小时,由于摄食口器未发育完善,浙江南部近海白姑鱼多以小型浮游动物为食,随着鱼类体长的增加,摄食能力增强,食性发生转换,摄食的鱼类、虾类和口足类等大个体饵料生物的比重提高,而桡足类等小型浮游动物饵料的比重下降。浙江南部近海黑姑鱼则无明显的食性转换现象,但各饵料在食物组成中的贡献率随体长增加发生一定变化。随着体长的增加,鱼类和虾类的饵料贡献率从 50% 增加到 80%。这两种石首鱼均在体长增长后摄食更多个体较大的饵料生物,进而保证在获取更多食物能量的同时消耗更少的捕食成本,该现象符合 Gerking^[34]提出的“最佳摄食理论”。

3.3 白姑鱼和黑姑鱼的食物重叠

白姑鱼与黑姑鱼均为浙江南部近海常见石首鱼科鱼类,研究它们之间的食物关系可以增强对该海域食物网结构的理解。生态位宽度是衡量生物种群对环境适应能力和对饵料资源利用程度的指标之一^[35]。本研究结果表明,黑姑鱼的营养生态位宽度为 3.06,远高于白姑鱼(1.82),表明黑姑鱼对饵料资源的利用能力较强,对饵料生物の利用范围较广^[28]。胃含物分析结果表明,白姑鱼摄食饵料种类达到 48 种,高于黑姑鱼的 43 种,虽然白姑鱼摄食的饵料种类更多,但桡足类在白姑鱼饵料组成中的个数百分比达到 65.57%,远大于其他饵料,这说明其摄食饵料的特化性高。海洋鱼类食物网结构错综复杂,能量流动路径多样,在有限的生物资源条件下,不同鱼类通过饵料种类的摄食分化、摄食强度的季节性差异或不同栖息

地的摄食策略等来避免食物竞争^[28]。从饵料组成上, 浙江南部近海白姑鱼与黑姑鱼摄食的主要饵料类群相近, 均以小型鱼类和甲壳类为主, 然而在优势饵料选择上有一定的差异。七星底灯鱼是黑姑鱼主要摄食的优势饵料(IRI%=65.25%), 而其在白姑鱼食物中所占比例较低(IRI%=16.40%)。两种鱼类通过摄食不同比例的饵料生物, 以不同的主要摄食类别缓和了摄食竞争, 减少了同种饵料需求过大的情况, 进一步减少了两个鱼种食物竞争的可能。

饵料重叠系数可用于评价不同物种食物组成的重叠程度, 进而反映这些物种间的食物关系^[36]。本研究中白姑鱼和黑姑鱼的总体饵料重叠系数仅为 0.22, 说明两种鱼类总体上摄食重叠程度不高, 但是部分体长组有较高的重叠, 主要集中在中体型的白姑鱼与黑姑鱼之间, 这表明在两种鱼类的部分生长阶段中, 仍存在潜在的食物竞争。需要注意的是, 部分体长组样品数量过少, 可能导致饵料重叠系数结果与实际情况存在较大偏差, 如白姑鱼 160~179 mm 体长组与黑姑鱼各体长组的饵料重叠系数均较低, 可能与该体长组样品数量过少且空胃率较高有关。鱼类在不同生长过程中的食性重叠加剧是一种普遍现象, 李忠炉等^[37]研究表明, 南海北部湾蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)和竹筴鱼(*Trachurus japonicus*)食性重叠系数为 0.56, 且在部分生长阶段系数较高, 竞争较为激烈。另外, 鱼类之间的食性竞争受其自身生活史特征外的其他不同因素影响, 董静瑞等^[38]研究发现, 温州南部沿岸海域, 日本鳀(*Engraulis japonicus*)和蓝圆鲹与其他鱼类的生态位重叠值受栖息地环境因子的影响而表现出较低值。而刘西方^[39]应用典范对应分析发现, 海州湾星康吉鳗(*Conger myriaster*)和长蛇鲻(*Saurida elongata*)的摄食均受水深影响, 进而间接影响两种鱼类的食性重叠。本研究的调查数据显示, 白姑鱼和黑姑鱼的相对生物量在不同航次中呈现相反趋势, 在 2021 年 1 月的航次中, 有大量白姑鱼出现, 但是没有监测到黑姑鱼, 这反映了白姑鱼与黑姑鱼的生活史在时间尺度上的差异, 在一定程度上避免了两种鱼的摄食竞争。除此之外, 空间分布差异也是影响

种间食物竞争的重要因素之一^[28]。在未来的研究中, 将进一步考虑影响鱼类摄食关系的空间因素, 深入分析种间营养和空间二维生态位重叠, 从而更全面地研究鱼类间的营养关系, 为基于生态系统的渔业管理提供科学依据。总体而言, 浙江南部近海白姑鱼和黑姑鱼食性重叠程度并不高, 这也促使了白姑鱼和黑姑鱼均成为浙江南部近海重要的经济物种。

参考文献:

- [1] Dou S Z. Feeding ecology of fish—a critical review on theories, methods and their application[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1996, 27(5): 556-561. [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.]
- [2] 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.]
- [3] Yan Y R, Lu H S, Jin X S. Marine fish feeding ecology and food web: Progress and perspectives[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(1): 145-153. [颜云榕, 卢伙胜, 金显仕. 海洋鱼类摄食生态与食物网研究进展[J]. 水产学报, 2011, 35(1): 145-153.]
- [4] Zhang Q H, Cheng J H, Xu H X, et al. Sustainable Utilization of Fishery Resources in the East China Sea[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007: 234-237. [张秋华, 程家骅, 徐汉祥, 等. 东海区渔业资源及其可持续利用[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007: 234-237.]
- [5] Zhang H L, Song Z Q, Pan G L, et al. Diversity analysis of fish in the coastal area of Zhejiang during spring[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44(1): 126-134. [张洪亮, 宋之琦, 潘国良, 等. 浙江南部近海春季鱼类多样性分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(1): 126-134.]
- [6] Chen Z Z, Qiu Y S, Huang Z R. Estimation of growth and mortality parameters of *Argyrosomus argentatus* in northern South China Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 712-716. [陈作志, 邱永松, 黄梓荣. 南海北部白姑鱼生长和死亡参数的估算[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 712-716.]
- [7] Li A. Comparative studies on morphology and genetics of Chinese and Japanese white croaker (*Pennahia argentata*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010. [李昂. 中、日白姑鱼的形态学和遗传学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.]

- [8] Ma C, Shen C C, Zhuang Z D, et al. Study on fishery biological characteristics of *Argyrosomus argentatus* in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground[J]. Journal of Fishery Research, 2019, 41(1): 34-41. [马超, 沈长春, 庄之栋, 等. 闽南-台湾浅滩白姑鱼渔业生物学特性研究[J]. 渔业研究, 2019, 41(1): 34-41.]
- [9] Zhang B, Jin X S, Dai F Q. Feeding habits of the two sciaenid fishes near the Changjiang Estuary[J]. Acta Zoologica Sinica, 2008, 54(2): 209-217. [张波, 金显仕, 戴芳群. 长江口两种重要石首鱼类的摄食习性[J]. 动物学报, 2008, 54(2): 209-217.]
- [10] Li Z Y, Zuo T, Dai F Q, et al. Study on feeding habits of organisms from Changjiang Estuary and adjacent Southern Yellow Sea in spring with stable isotope technology[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(5): 784-789. [李忠义, 左涛, 戴芳群, 等. 长江口及南黄海海域春季生物摄食生态的稳定同位素研究[J]. 水产学报, 2009, 33(5): 784-789.]
- [11] Koh E H, An Y S, Baeck G W, et al. Feeding habits of white croaker, *Pennahia argentata* in the coastal waters off Sejon Island, Korea[J]. Journal of the Korean Society of Fisheries Technology, 2014, 50(2): 139-146.
- [12] Bai H Y, Wang Y K, Zhang T T, et al. Trophic levels and feeding characters of marine fishes in the Yellow Sea and northern East China Sea based on stable isotope analysis[J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 10-17. [白怀宇, 王玉堃, 张廷廷, 等. 基于碳、氮稳定同位素研究黄海及东海北部主要鱼类的营养级和食性[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 10-17.]
- [13] Salarpouri A, Valinassab T, Behzadi S, et al. Reproduction biology and feeding habits of the black mouth croaker, *Atrobucca nibe* (Jordan & Thompson, 1911), from Northwest of the Oman Sea[J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2021, 20(3): 901-917.
- [14] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 12763.6-2007 National Standard (Recommended) of the People's Republic of China: Specifications for oceanographic survey—Part 6: Marine biological survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. [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 中华人民共和国推荐性国家标准: 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.]
- [15] Letourneur Y, Galzin R, Harmelin-Vivien M. Temporal variations in the diet of the damselfish *Stegastes nigricans* (Lacepède) on a Réunion fringing reef[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1997, 217(1): 1-18.
- [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] Clarke K R, Gorley R N. Primer v5: User Manual/Tutorial[M]. Plymouth, UK: PRIMER-E Limited, 2001.
- [19] 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.]
- [20] Li Y K, Chen Z A, Gong Y, et al. A review on the methods used in trophic niche studies of marine animals and their applications[J]. Journal of Tropical Oceanography, 2021, 40(4): 143-156. [李云凯, 陈子昂, 贡艺, 等. 海洋动物营养生态位研究方法及其应用[J]. 热带海洋学报, 2021, 40(4): 143-156.]
- [21] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1964
- [22] Pianka E R. The structure of lizard communities[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 53-74.
- [23] Grossman G D. Food resource partitioning in a rocky intertidal fish assemblage[J]. Journal of Zoology, 1986, 1(2): 317-355.
- [24] Deng J Y, Meng T X, Ren S M. Food web of fishes in Bohai Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 1986, 6(4): 356-364. [邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究[J]. 生态学报, 1986, 6(4): 356-364.]
- [25] Deng J Y, Jiang W M, Yang J M, et al. Species interaction and food web of major predatory species in the Bohai Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1997, 4(4): 1-7. [邓景耀, 姜卫民, 杨纪明, 等. 渤海主要生物种间关系及食物网的研究[J]. 中国水产科学, 1997, 4(4): 1-7.]
- [26] Wang J, Su Y Q, Liu J Y, et al. The feeding habits of five Sciaenids fishes in Luoyuan Bay[J]. Journal of Xiamen Fisheries College, 1994, 16(2): 34-39. [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.]
- [27] Yang J M. A study on food and trophic levels of Baohai Sea fish[J]. Modern Fisheries Information, 2001, 16(10): 10-19. [杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究[J]. 现代渔业信

- 息, 2001, 16(10): 10-19.]
- [28] Song Y H, Xue Y, Xu B D, et al. Composition of food and niche overlap of three Sciaenidae species in Haizhou Bay[J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(12): 2017-2027. [宋业晖, 薛莹, 徐宾铎, 等. 海州湾 3 种石首鱼的食物组成和生态位重叠[J]. 水产学报, 2020, 44(12): 2017-2027.]
- [29] Gao Y X, Sui H Z, Ren X M, et al. Feeding habits of *Saurida elongata* in Haizhou Bay, Shandong, China, based on stomach contents and stable isotope[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(12): 4277-4283. [高元新, 隋昊志, 任晓明, 等. 基于胃含物和稳定同位素研究海州湾长蛇鲻的摄食习性[J]. 应用生态学报, 2020, 31(12): 4277-4283.]
- [30] Juárez-Camargo P G, Sosa-López A, Torres-Rojas Y E, et al. Feeding habits variability of *Lutjanus synagris* and *Lutjanus griseus* in the littoral of Campeche, Mexico: An approach of food web trophic interactions between two snapper species[J]. Latin American Journal of Aquatic Research, 2020, 48(4): 552-569.
- [31] 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. [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.]
- [32] Liu Z H, Han D Y, Gao C X, et al. Feeding habits of Bombay ducks (*Harpadon nehereus*) in the offshore waters of southern Zhejiang, based on predator CPUE weighting[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(4): 482-492. [刘志豪, 韩东燕, 高春霞, 等. 基于捕食者 CPUE 权重的浙江南部近海龙头鱼摄食习性分析[J]. 中国水产科学, 2021, 28(4): 482-492.]
- [33] Zhu M G, Yang G, Zhang T, et al. Feeding habits of *Acanthogobius ommaturus* in the Yangtze Estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2016, 23(4): 914-923. [朱美贵, 杨刚, 张涛, 等. 长江口斑尾刺虾虎鱼的摄食习性[J]. 中国水产科学, 2016, 23(4): 914-923.]
- [34] Gerking S D. Feeding Ecology of Fish[M]. Pittsburgh: New York: Academic Press, 1994.
- [35] Hurlbert S H. The measurement of niche overlap and some relatives[J]. Ecology, 1978, 59(1): 67-77.
- [36] 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. [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.]
- [37] Li Z L, Zhang W X, He X B, et al. Feeding ecology and feeding competition between *Decapterus maruadsi* and *Trachurus japonicus* in autumn in the Beibu gulf, South China Sea[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2019, 39(3): 79-86. [李忠炉, 张文旋, 何雄波, 等. 南海北部湾秋季蓝圆鲹与竹筴鱼的摄食生态及食物竞争[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(3): 79-86.]
- [38] Dong J R, Shui B N, Hu C Y, et al. Niche and interspecific association of the dominant fish in the south coastal waters of Wenzhou, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(5): 1699-1706. [董静瑞, 水柏年, 胡成业, 等. 温州南部沿岸海域主要鱼类的生态位及种间联结性[J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1699-1706.]
- [39] Liu X F. Study on feeding ecology and food relations of two high trophic level fishes in Haizhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015. [刘西方. 海州湾两种高营养级鱼类摄食生态及其食物关系研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.]

Feeding habits and diet overlap of two Sciaenidae species in the southern coastal waters of Zhejiang

CHEN Gan^{1,2,3}, XU Wen^{1,2,3}, GAO Chunxia^{1,2,3}, YE Shen^{4,5}, HAN Dongyan^{1,2,3}

1. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. National Distant-water Fisheries Engineering Research Center, Shanghai 201306, China;

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

4. Zhejiang Maricultural Research Institute, Wenzhou 325005, China;

5. Zhejiang Key Laboratory of Exploitation and Preservation of Offshore Bio-resource, Wenzhou 325005, China

Abstract: The feeding ecology of fish is an important part of the study of the marine ecosystem. Through predation, fish not only satisfy their own growth and development but also promote energy flow in the ecosystem. Studies on the feeding habits and trophic interactions of fish can provide a scientific basis for ecosystem-based fishery management. *Pennahia argentata* and *Atrobucca nibe* are two common economic fish species in China and belong to the Sciaenidae family. Many studies have been done on these two species, except for the feeding relationship between them. To analyze the feeding habits and trophic interactions between these two species, biological samples for both species were collected based on bottom trawl surveys conducted in the southern coastal waters of Zhejiang in August and November 2020 and January 2021. A total of 287 stomach samples of *P. argentata* and 204 stomach samples of *A. nibe* were collected to perform stomach content analyses. The percentage index of relative importance (IRI%) was used to measure the importance of each prey item. Cluster analysis was used to evaluate the ontogenetic variation in their feeding habits. To facilitate the analysis of the relationship between feeding habits and size classes, the samples of *P. argentata* were divided into eight size classes, and samples of *A. nibe* were divided into six size classes. The overlap coefficient of diet was used to estimate the overlap of food composition between these two species. The results indicated that the prey items of *P. argentata* included 48 species, among which, Copepoda was the main prey category and *Calanus* sp. (IRI%=53.73%) was the dominant prey species. *A. nibe* fed on 43 species, mainly fish and shrimp, with *Benthosema pterotum* (IRI%=65.25%) being the dominant prey species. By feeding on different proportions of prey, these two species ease the feeding competition by having different main prey categories. Furthermore, obvious ontogenetic variations in the feeding habits were observed for both species. With the increase of predator body length, the main prey items switched from small-sized items to large-sized items, and their feeding intensity changed correspondingly. The feeding intensity of *P. argentata* gradually decreased with body length, while the feeding intensity of *A. nibe* decreased at first and then increased with body length. Trophic niche breadth indicated the place of a predator in the ecosystem in relation to its prey. The trophic niche breadth of *A. nibe* (3.06) was much wider than that of *P. argentata* (1.82), indicating that *A. nibe* had a better ability and range of utilizing food resources. The overall feeding overlap value between these two species was 0.22, whereas high overlap values occurred in certain body length group combinations. For example, majority of the feeding overlap values between all body length groups of *A. nibe* and of *P. argentata* groups with body length in range of 120–159 mm were higher than 0.6, indicating significant feeding overlap. This phenomenon revealed the possibility of feeding competition between *P. argentata* and *A. nibe* in the southern coastal waters of Zhejiang. The findings of this study enhanced our understanding of the trophic interaction between *P. argentata* and *A. nibe* and provided basic data for ecosystem-based fishery management in the southern coastal waters of Zhejiang.

Key words: *Pennahia argentata*; *Atrobucca nibe*; stomach content analysis; feeding ecology; diet overlap

Corresponding author: HAN Dongyan. E-mail: dyhan@shou.edu.cn