

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15391

长江口斑尾刺虾虎鱼的摄食习性

朱美贵^{1,2}, 杨刚¹, 张涛¹, 赵峰¹, 彭欣悦^{1,2}, 闫光松^{1,2}, 庄平¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;
2. 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 2014年6月至2015年5月, 在长江口东旺沙、东风西沙和青草沙潮间带水域隔月进行插网作业, 共采集到459尾斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)样品, 分析其胃含物。结果表明, 斑尾刺虾虎鱼共摄食12类37种生物, 主要摄食虾类, 其次是鱼类、蟹类等。其饵料生物组成随季节和体长的不同而有所变化, 除四季均大量摄食虾类以外, 春季还摄食糠虾类和蟹类, 夏季还摄食鱼类, 冬季还摄食糠虾类; 体长<70 mm的斑尾刺虾虎鱼主要以幼鱼为食, 同时还摄食大量的糠虾类和磷虾类, 体长70~189 mm的个体主要摄食虾类和鱼类, 体长>189 mm的个体主要以鱼类为食。聚类分析结果表明, 斑尾刺虾虎鱼秋季的饵料生物组成与春、夏、冬季相比, 存在较大差异; 体长<70 mm的斑尾刺虾虎鱼食物组成与体长≥70 mm相比, 存在较大差异。斑尾刺虾虎鱼的摄食强度也有显著的季节和体长变化, Kruskal-Wallis 非参数秩检验结果表明, 不同季节组和体长组平均胃饱满系数均差异显著($P<0.01$); 列联表检验结果表明, 不同季节斑尾刺虾虎鱼的空胃率不存在显著差异($P>0.05$), 不同体长组空胃率差异显著($P<0.01$)。通过计算 Spearman 等级相关系数得到饵料生物体长与斑尾刺虾虎鱼体长之间呈显著的正相关($r_s=0.263$, $P<0.01$)。此外, 摄食饵料平均重量和个数随着斑尾刺虾虎鱼体长的增大而增大, 符合“最佳摄食理论”。因此, 斑尾刺虾虎鱼的摄食习性不仅与环境中的饵料生物丰度有关, 也与其自身生长发育有关。

关键词: 斑尾刺虾虎鱼; 长江口; 摄食习性; 最佳摄食理论

中图分类号: S931.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)04-0914-10

斑尾刺虾虎鱼(*Acanthogobius ommaturus*)隶属鲈形目(Perciformes), 虾虎鱼科(Gobiidae), 刺虾虎鱼属(*Acanthogobius*), 为暖温性近岸底层鱼类, 喜栖息于泥底浅海区, 亦进入淡水水域, 中国东海、南海、黄海和渤海均有分布^[1]。斑尾刺虾虎鱼肉质细腻, 具有一定的经济价值, 在长江口及其邻近海域近岸渔获量中占有相当大的比重^[2-3], 并且是中华鲟(*Acipenser sinensis*)幼鱼的主要饵料生物。国内外学者对斑尾刺虾虎鱼的相关研究较少, 主要集中在生物学方面^[4-7]。迄今为止, 国内外学者对斑尾刺虾虎鱼食性开展了一

些研究, 韩东燕等^[8]对胶州湾斑尾刺虾虎鱼的摄食生态做了初步研究, 范海洋等^[9]研究了黄河三角洲斑尾刺虾虎鱼的渔业生物学特征, 但尚未见长江口斑尾刺虾虎鱼摄食习性相关的研究。

鱼类食性的研究, 是了解鱼类生长发育状况、资源变化和构建食物网的重要途径^[10], 也是确定该物种在生态系统中地位的重要方法。为此, 本研究采用胃含物分析法对斑尾刺虾虎鱼的摄食习性进行研究, 旨在为深入探讨斑尾刺虾虎鱼种群数量动态变化, 为该种渔业资源的保护提供科学依据, 并为构建长江口水生生物食物网提供参考。

收稿日期: 2015-10-30; 修订日期: 2015-12-27.

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2015A01); 中央级公益性科研院所基本科研业务费(2014T10); 农业部财政专项(2130135-探捕).

作者简介: 朱美贵(1989-), 男, 硕士研究生, 从事河口生态学研究. E-mail: mgzhu2015@163.com

通信作者: 庄平, 研究员. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn

1 材料与方 法

1.1 样品采集

2014 年 6 月至 2015 年 5 月, 在长江口东旺沙(121°54'E, 31°31'N)、东风西沙(121°16'E, 31°40'N)和青草沙(121°42'E, 31°26'N)潮间带水域进行插网作业, 每个单数月大潮汛和小潮汛各采样 1 次。

共采集到斑尾刺虾虎鱼样品 459 尾, 其中 88 尾空胃样品(摄食等级为 0 级), 样品的体长 52~285 mm, 体重 1.02~140.58 g。按季节分为春(3~5 月)、夏(6~8 月)、秋(9~11 月)、冬(12~翌年 2 月)4 组。按体长分为 5 组(以 40 mm 为间隔): <70、70~109、110~149、150~189、>189 mm。表 1 中详细列出了各个季节各个体长组的样品数及空胃的个数。

表 1 各个季节各个体长组用于分析的斑尾刺虾虎鱼的尾数
Tab. 1 Number of *A. ommaturus* from each size class sample in each season

体长组/mm size class	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	合计 total
<70	0	45(9)	0	1(1)	46(10)
70~109	0	50(10)	28(7)	28(6)	106(23)
110~149	6(0)	2(0)	167(29)	19(0)	194(29)
150~189	7(0)	0	81(15)	0	88(15)
>189	11(7)	0	11(3)	3(0)	25(10)
合计 total	24(7)	97(19)	287(54)	51(7)	459(87)

注: 括号内是空胃的个数。

Note: Number of empty stomachs is given in parentheses.

1.2 分析方法

将插网中的斑尾刺虾虎鱼样品带回实验室, 分别测量每尾鱼的体长、全长和体重, 取出胃肠道, 记录摄食等级(0~4 级)^[11], 保存于 95%乙醇中。分析胃含物时, 先将胃肠道进行复水处理, 再用吸水纸吸干其表面水分。然后用电子天平(精确度 0.001 g)称重, 剖开胃肠道, 取出胃含物, 在 OLYMPUS SZX9 体式显微镜下鉴定胃含物的种类并分别计数和称重。对于消化程度较低的胃含物直接通过形态特征鉴定其种类, 对于消化程度较高的胃含物通过额刺、残肢等加以鉴定, 胃含物尽可能鉴定到种。

1.3 数据分析

用于评价饵料生物重要性的指标有质量百分比(W)、数量百分比(N)、出现频率(F)和相对重要性指数(IRI)^[12], 计算公式如下:

$$\text{质量百分比}(W) = \frac{\text{某种饵料生物的质量}}{\text{饵料生物的总质量}} \times 100\%$$

$$\text{数量百分比}(N) = \frac{\text{某种饵料生物的个数}}{\text{饵料生物的总个数}} \times 100\%$$

$$\text{出现频率}(F) = \frac{\text{某种饵料生物出现次数}}{\text{有食物胃的个数}} \times 100\%$$

$$\text{相对重要性指数(IRI)} = F(N+W)$$

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

摄食强度用空胃率和胃饱满指数^[13]来评价, 计算公式如下:

$$\text{空胃率} = \frac{\text{空胃数}}{\text{总胃数}} \times 100\%$$

$$\text{平均胃饱满系数} = \frac{\text{食物团的实际重量}}{\text{鱼体质量}} \times 100\%$$

采用列联表检验空胃率的变化, Kruskal-Wallis 非参数秩检验研究平均胃饱满系数的变化; 相对重要性指数(IRI)是一个评价饵料重要性的综合指标, 因此以 IRI 作为标准, 采用聚类分析研究各个季节、各个体长组食物组成的相似性, 分析前将 IRI 进行平方根转化, 以便对稀有种进行不同程度的加权, 分类阶元为“属”和“种”, 并且在分析前去除不可辨饵料生物^[14], 其中系统聚类方法采用最远邻法(furthest neighbor)^[15-17], 指标间距离采用欧氏距离(Euclidean distance); 使用 Spearman 等级相关系数(r_s)来估算较完整饵料生物体长与斑尾刺虾虎鱼体长的关系, r_s 介于-1~1, $r_s < 0$ 为负相关, $r_s > 0$ 为正相关, $r_s = 0$ 为零相关,

$r_s=1/r_s=-1$ 为完全相关^[18]; 运用非参数秩检验 (Kruskal-Wallis) 检验各体长组的平均饵料个数和平均饵料质量的差异显著性。以上分析均利用 SPSS19.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 饵料生物组成

数据分析表明, 斑尾刺虾虎鱼主要摄食虾

类、糠虾类和鱼类等 12 类 37 种饵料生物(表 2)。虾类是最重要的饵料类群(IRI%为 74.67%), 其质量百分比(72.21%)和出现频率(90.62%)均为最高, 其中最主要的虾类是脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*), 质量百分比和出现频率分别 61.84%、53.35%, 其次是安氏白虾(*Exopalaemon annandalei*), 质量百分比和出现频率分别为 2.33%、10.72%。

表 2 长江口斑尾刺虾虎鱼饵料生物种类组成
Tab. 2 Diet composition of *A. ommaturus* in the Yangtze River estuary

饵料种类 prey item	<i>N</i>	<i>W</i>	<i>F</i>	IRI	%
虾类 Decapoda	10.36	72.21	90.62	74.67	
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	7.39	61.84	53.35	70.77	
安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i>	0.86	2.33	10.72	0.66	
秀丽白虾 <i>Exopalaemon modestus</i>	0.28	1.30	3.75	0.11	
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.06	0.52	0.8	0.01	
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	0.04	0.08	0.54	+	
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	0.02	0.02	0.27	+	
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.04	0.01	0.27	+	
不可辨虾 unidentified decapoda	1.67	6.12	20.91	3.12	
糠虾类 Mysidacea	84.01	0.96	13.94	22.70	
糠虾 <i>Mysidacea</i> sp.	84.01	0.96	13.94	22.70	
鱼类 Pieces	1.63	23.24	21.18	2.35	
拉氏狼牙虾虎鱼 <i>Taenioides rubicundus</i>	0.41	11.56	5.09	1.17	
斑尾刺虾虎鱼 <i>Acanthogobius ommaturus</i>	0.11	3.10	1.61	0.10	
鲷鱼 <i>Liza haematocheila</i>	0.39	3.74	4.83	0.38	
鲈 <i>Hemiculter leucisculus</i>	0.04	0.96	0.54	0.01	
棘头梅童鱼 <i>Collichthys lucidus</i>	0.02	0.11	0.27	+	
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	0.02	0.01	0.27	+	
鳊 <i>Miichthys miiuv</i>	0.02	0.04	0.27	+	
不可辨鱼类 unidentified pieces	0.62	3.72	8.31	0.69	
蟹类 Crabs	0.71	2.36	9.92	0.16	
天津厚蟹 <i>Helice tridens tientsinensis</i>	0.06	0.66	0.8	0.01	
狭额绒螯蟹 <i>Eriocheir leptognathus</i>	0.08	0.19	1.07	0.01	
无齿螯臂相手蟹 <i>Chiromantes dehaani</i>	0.08	0.05	1.07	0.01	
日本大眼蟹 <i>Macrophthalmus japonicus</i>	0.04	0.20	0.54	+	
短身大眼蟹 <i>Macrophthalmus abbreviatus</i>	0.06	0.09	0.8	+	
长足长方蟹 <i>Metaplex longipes</i>	0.02	0.05	0.27	+	
中华绒螯蟹 <i>Eriocheir sinensis</i>	0.02	0.02	0.27	+	
弧边招潮蟹 <i>Uca arcuata</i>	0.02	0.04	0.27	+	
不可辨蟹 unidentified crabs	0.36	1.06	4.83	0.13	
磷虾类 Euphausiacea	2.63	0.14	3.11	0.09	
中华假磷虾 <i>Pseudeuphau siasinica</i>	1.58	0.06	2.04	0.07	

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

饵料种类 prey item	N	W	F	IRI
不可辨磷虾 unidentified Euphausiacea	1.05	0.08	1.07	0.02
腹足类 Gastropoda	0.17	0.62	2.42	0.02
泥螺 <i>Bullacta exarata</i>	0.11	0.59	1.61	0.02
微小螺 <i>Elachisina</i> sp.	0.04	0.02	0.54	+
不可辨腹足类 unidentified Gastropoda	0.02	0.01	0.27	+
双壳类 Bivalvia	0.1	0.07	1.34	+
河蚬 <i>Corbicula fluminea</i>	0.04	0.01	0.54	+
不可辨双壳类 unidentified bivalvia	0.06	0.06	0.8	+
端足类 Amphipoda	0.1	0.104	0.81	+
日本旋卷螺赢蜚 <i>Corphium volutator</i>	0.06	0.1	0.54	+
细长脚蚧 <i>Themisto gracilipes</i>	0.04	0.004	0.27	+
口足类 Stomatopoda	0.02	0.15	0.27	+
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	0.02	0.15	0.27	+
等足类 Isopoda	0.04	0.026	0.54	+
类闭尾水虱 <i>Cleantioides</i> sp.	0.02	0.02	0.27	+
光背节鞭水虱 <i>Synidotea laevidorsalis</i>	0.02	0.006	0.27	+
其他 others	0.06	0.04	0.81	+
海葵 <i>Anthopleura</i> sp.	0.04	0.03	0.54	+
卵 eggs	0.02	0.01	0.27	+

注: “+”表示 IRI%小于 0.01.

Note: “+” indicates IRI% less than 0.01.

2.2 饵料生物组成的季节和体长变化

斑尾刺虾虎鱼摄食的饵料生物类群随季节变化明显。根据质量百分比, 斑尾刺虾虎鱼在春季主要摄食蟹类(34.69%), 其次为虾类(27.38%)和糠虾类(20.28%); 夏季主要摄食虾类(43.85%)和鱼类(38.1%); 秋季大量摄食虾类(72.67%); 冬季主要摄食虾类(85.02%)和糠虾类(10.6%)。其中虾类在各个季节中均占有相当大的比重, 质量百分比范围为 27.38% ~ 85.02%, 其中冬季最高, 春季最低。

聚类分析将 4 个季节分为 2 组(图 1), 秋季为一组, 春季、夏季和冬季为另一组。从饵料种类来看, 斑尾刺虾虎鱼在秋季主要摄食脊尾白虾、拉氏狼牙虾虎鱼(*Taenioides rubicundus*)和安氏白虾, 以及秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*)、天津厚蟹(*Helice tridens tientsinensis*)和泥螺(*Bullacta exarata*)等; 春、夏、冬季以糠虾和磷虾为主, 还摄食大量的脊尾白虾、鲃鱼(*Liza haematocheila*)和斑尾刺虾虎鱼等。

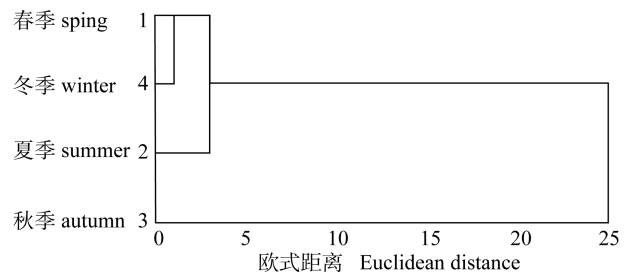


图 1 斑尾刺虾虎鱼各季节组食物组成的聚类分析图
Fig. 1 Dendrogram of the cluster analysis of the dietary composition of *A. ommaturus* in each season

斑尾刺虾虎鱼食物组成随体长增加而变化。根据质量百分比, 体长<70 mm 的斑尾刺虾虎鱼主要以幼鱼(41.48%)为食, 同时还摄食大量的糠虾类和磷虾类。随着体长的增加, 胃含物中鱼类和虾类所占的质量百分比逐渐增加, 体长在 70~189 mm, 虾类为主要饵料类群, 其质量百分比为 64.71%~82.11%, 鱼类的质量百分比随着体长的增加而增加, 其范围为 5.35%~68.59% (表 3); 当体长大于 189 mm 后, 鱼类的比例超过虾类成为最重要的饵料类群。

表 3 斑尾刺虾虎鱼主要饵料类群质量百分比(W)和出现频率(F)随体长的变化Tab. 3 Weight percentage (W) and occurrence frequency (F) for major prey groups in diets of each size class of *A. ommaturus* %

体长组/mm size class	项目 item	鱼类 Pieces	虾类 Decapoda	蟹类 Crabs	糠虾类 Mysidacea	磷虾类 Euphausiacea	其他 other
<70	W	41.48	22.01	0.23	8.26	8.26	19.76
	F	16.67	25	2.78	38.89	19.44	13.89
70~109	W	5.35	82.11	4.15	6.2	1.24	0.95
	F	15.85	63.41	14.63	25.61	4.88	14.63
110~149	W	8.41	87.23	1.78	0.94	0.08	1.56
	F	12.12	95.15	8.48	9.09	0.61	6.67
150~189	W	31.89	64.71	2.61	0.16	-	0.63
	F	36.99	76.71	9.59	1.37	-	6.85
>189	W	68.59	27.52	3.89	-	-	-
	F	46.67	33.33	13.33	-	-	-

注:“-”表示无。

Note:“-”indicates none.

聚类分析表明,体长在 52~285 mm 的斑尾刺虾虎鱼的 5 个体长组可分为 2 组(图 2),其中体长小于 70 mm 聚为一组,另一组体长大于 70 mm。从饵料种类来看,体长小于 70 mm 的斑尾刺虾虎鱼主要以糠虾和磷虾为食,而体长大于 70 mm 的斑尾刺虾虎鱼则主要摄食脊尾白虾、安氏白虾、秀丽白虾、拉氏狼牙虾虎鱼和斑尾刺虾虎鱼。此外,聚类分析还表明体长在 71~285 mm 的 4 个体长组也分为 2 组。体长大于 189 mm 为一组,主要摄食斑尾刺虾虎鱼、鲮鱼、拉氏狼牙虾虎鱼和脊尾白虾;70~189 mm 的 3 个体长组为一组,主要摄食脊尾白虾和安氏白虾,同时还摄食大量的糠虾。

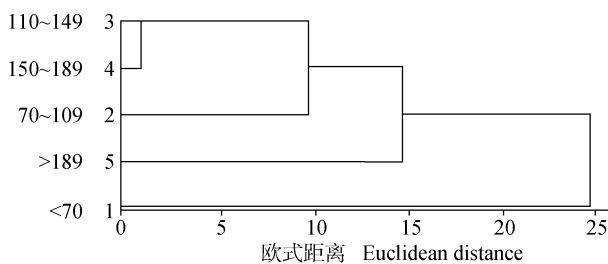


图 2 斑尾刺虾虎鱼各体长组食物组成的聚类分析图

Fig. 2 Dendrogram of the cluster analysis of the dietary composition of *A. ommaturus* in each size class

2.3 摄食强度的季节和体长变化

斑尾刺虾虎鱼摄食强度存在季节变化(表 4)。

通过 Kruskal-Wallis 非参数秩检验发现,斑尾刺虾虎鱼平均胃饱满系数随季节变化显著($P<0.01$),平均胃饱满系数秋季最大(5.01%),其次为冬季(3.86%)和春季(2.04%),夏季最小(1.26%)。空胃率的变化与平均胃饱满系数的变化不同,空胃率春季最高(29.17%),冬季最低(13.73%),列联表检验表明,斑尾刺虾虎鱼的空胃率不存在明显的季节变化($P>0.05$)。

表 4 不同季节组斑尾刺虾虎鱼的摄食强度

Tab. 4 Feeding intensity of *A. ommaturus* in each season %

摄食强度 feeding intensity	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
空胃率 empty stomach rate	29.17	19.59	18.82	13.73
胃饱满系数 stomach fullness index	2.04±1.53	1.26±1.07	5.01±2.56	3.86±1.92

不同体长组斑尾刺虾虎鱼的摄食强度存在明显差异(表 5)。通过 Kruskal-Wallis 非参数秩检验发现,斑尾刺虾虎鱼的平均胃饱满系数随体长增加呈显著变化($P<0.05$),其平均胃饱满系数在体长最小的组(<70 mm)最小(1.21%),平均胃饱满系数的变化趋势总体随体长的增大而逐渐增大,在体长最大的组(>189 mm)达到最大(5.84%)。空胃

率的变化趋势与平均胃饱满系数不同, 在 110~149 mm 体长组最小(14.95%), 在最大体长组

(>189 mm)空胃率最高(40%), 列联表检验表明, 不同体长组间空胃率的差异显著($P<0.05$)。

表 5 不同体长组斑尾刺虾虎鱼的摄食强度
Tab. 5 Feeding intensity of *A. ommaturus* among size classes

项目 item	体长组/mm size class				
	<70	70~109	110~149	150~189	>189
空胃率 empty stomach rate	21.74	21.70	14.95	17.05	40.00
胃饱满系数 stomach fullness index	1.21±1.51	2.81±2.91	4.92±3.50	4.34±3.98	5.84±3.55

2.4 主要饵料生物随个体生长发育的变化

使用 Spearman 等级相关系数来估算较完整饵料生物体长与斑尾刺虾虎鱼体长的关系, 得到饵料生物体长与斑尾刺虾虎鱼体长呈正相关($r_s=0.263, n=261, P<0.01$)。选择数量较多、较完整的饵料生物(脊尾白虾), 研究其体长与斑尾刺虾虎鱼体长的关系。对于只能测量到头胸甲长或腹长的脊尾白虾, 通过腹长-体长回归方程($y=1.4266x+3.7646, R^2=0.9365$)和头胸甲长-体长回归方程($y=2.2957x+8.2008, R^2=0.8143$), 可以得到其体长数据。结果发现, 斑尾刺虾虎鱼摄食的脊尾白虾的体长是 16~61 mm, 平均体长为 31.26 mm。由图 3 可知, 随着斑尾刺虾虎鱼体长的增加, 饵料中脊尾白虾的体长逐渐增加。

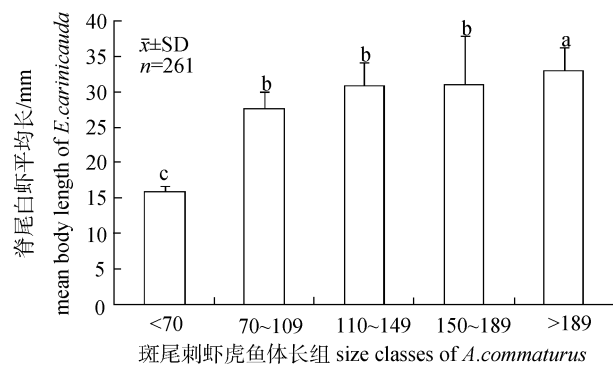


图 3 脊尾白虾体长与斑尾刺虾虎鱼体长的关系
Fig. 3 Size-related variation in mean body length of *E. carinicauda* in *A. ommaturus*

斑尾刺虾虎鱼摄食饵料平均重量和个数随体长组变化明显, 随着体长的增加, 摄食饵料的质量和个数逐渐增大(图 4), 通过 Kruskal-Wallis 非

参数秩检验发现, 5 个体长组间摄食平均饵料质量差异显著($P<0.01$), 摄食的平均饵料个数差异显著($P<0.01$)。斑尾刺虾虎鱼性情凶猛, 除去糠虾类和磷虾类饵料生物, 其最多摄食 11 只脊尾白虾; 摄食的最大饵料生物为拉氏狼牙虾虎鱼(体长 132 mm, 重量 7.71 g)。

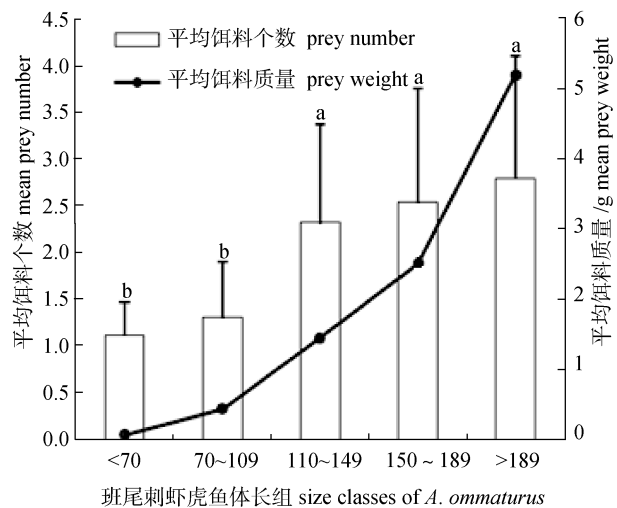


图 4 斑尾刺虾虎鱼摄食平均饵料个数及重量随体长的变化

Fig. 4 Comparative mean prey numbers and prey weight of *A. ommaturus* of different size class

3 讨论

3.1 斑尾刺虾虎鱼饵料生物组成

研究表明, 长江口斑尾刺虾虎鱼全年主要以虾类、鱼类等饵料生物为食, 属底栖动物食性鱼类, 其优势饵料生物为脊尾白虾。Kanamoto 等^[19]研究表明, 不同海域的饵料生物种类和丰度不同, 导致不同栖息海域的同一个种, 其食物组成也不

同。胶州湾斑尾刺虾虎鱼主要以鱼类和虾类为食, 优势饵料生物为鲜明鼓虾(*Alpheus distinguendus*)、日本鼓虾(*Alpheus japonicus*)和六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)。范海洋等^[9]研究发现, 黄河三角洲的斑尾刺虾虎鱼以虾类为主食, 其次为鱼类, 常见的饵料生物为糠虾、脊尾白虾、鲮鱼等。本研究中长江口斑尾刺虾虎鱼主要摄食虾类和鱼类, 优势饵料生物为脊尾白虾, 饵料类群与上述学者研究结果相似, 但是相比之下, 优势饵料生物的种类却不尽相同。由此可见, 斑尾刺虾虎鱼的摄食习性会随栖息海域饵料生物的种类和丰度不同而发生相应变化。

3.2 饵料生物组成的季节和体长变化

斑尾刺虾虎鱼的食物组成存在明显的季节变化。斑尾刺虾虎鱼 4 个季节中主要摄食虾类, 冬季和春季还摄食糠虾类, 对鲮鱼(*Liza haematocheila*)的摄食主要集中在夏季。许多学者研究表明, 食物组成的季节变化与鱼类本身的生长发育活动^[20]和饵料生物的季节变化^[21-22]密切相关。长江口的糠虾类在春季出现较多^[23]; 而长江口水域鲮鱼 3-6 月繁殖, 孵化后 20~46 d 的个体在沿岸破波带水域进行短期生活, 以每年 6 月丰度最高^[24], 因此在夏季被斑尾刺虾虎鱼大量捕食; 8-10 月为脊尾白虾的繁殖盛期^[25], 为秋季的斑尾刺虾虎鱼提供了充足的饵料; 在冬季, 随着水温的降低, 一些定居性虾类会钻入海底洞穴^[26], 造成了虾类资源的减少, 因此斑尾刺虾虎鱼在冬季增加了对糠虾类的摄入以维持其营养需求。

研究结果还表明, 体长小于 70 mm 的斑尾刺虾虎鱼主要以幼鱼为食; 随着体长的增加, 脊尾白虾、拉氏狼牙虾虎鱼所占比例逐渐上升; 当体长大于 189 mm 时, 鱼类饵料的比​​例超过虾类, 成为最主要的饵料生物。

本研究发现, 较完整饵料生物体长与斑尾刺虾虎鱼体长呈显著的正相关($r_s=0.263$, $P<0.01$), 即随着斑尾刺虾虎鱼体长的增加, 其捕食脊尾白虾的个体大小逐渐增大。此外, 斑尾刺虾虎鱼性情凶猛, 随着体长的增加, 单个个体摄食的平均饵料个数也逐渐增大, 以满足其营养需求, 符合

“最佳摄食理论”^[27], 表明长江口斑尾刺虾虎鱼的摄食习性与其个体生长发育有关。

3.3 斑尾刺虾虎鱼摄食强度

长江口斑尾刺虾虎鱼摄食强度随季节变化显著。鱼类在产卵期, 由于性腺的发育, 摄食强度会有所降低^[28]。长江口斑尾刺虾虎鱼的产卵期在 3-5 月^[1], 本研究所采集的春季样品均是产卵期或产卵前期, 因此春季斑尾刺虾虎鱼的空胃率最高与其性腺发育有关。产卵后的斑尾刺虾虎鱼体重急剧下降, 最终因消瘦而亡, 寿命为 1 年^[1], 因此夏季所采集的样品大多数为幼鱼, 个体较小, 为了获取能量, 摄食强度开始逐渐增强。斑尾刺虾虎鱼生长迅速, 秋季发育成熟, 加上饵料生物丰富, 因此摄食强度在秋季最高。MacPherson 等^[29]研究表明, 摄食强度随着水温的降低而减小。因此, 斑尾刺虾虎鱼冬季摄食强度低于秋季可能与饵料生物减少和水温降低有关, 而高于春、夏季可能是由于斑尾刺虾虎鱼冬季个体较大, 需要捕食更多饵料生物来满足自身能量需求, 并为春季的产卵繁殖储备能量。研究发现, 摄食强度与鱼类体长呈正相关^[30]、负相关^[31]或没有显著差异^[32]。本研究发现, 斑尾刺虾虎鱼摄食强度随体长的变化具有显著差异, 却没有明显的变化规律。体长 52~150 mm 的 3 个体长组, 随着体长的增加, 摄食强度增强。当体长大于 150 mm 时, 摄食强度却有所降低。造成这种现象的原因可能是由于大于 150 mm 的斑尾刺虾虎鱼样本量较少。因此, 关于长江口斑尾刺虾虎鱼摄食强度的体长变化, 还需做进一步的研究。

参考文献:

- [1] Zhuang P, Wang Y H, Li S F, et al. Fishery of the Yangtze Estuary[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2006: 210-212. [庄平, 王幼槐, 李圣法, 等. 长江口鱼类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 210-212.]
- [2] Zhang T, Zhuang P, Liu J, et al. Species composition and biodiversity of fish community in Chongming Dongtan of Yangtze River estuary[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(10): 2056-2062. [张涛, 庄平, 刘健, 等. 长江口崇明东滩鱼类群落组成和生物多样性[J]. 生态学杂志, 2009, 28(10): 2056-2062.]

- [3] Zhang H, Zhu G P. Spatiotemporal of fish community in Yangtze estuary intertidal zone[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2519–2526. [张衡, 朱国平. 长江河口潮间带鱼类群落的时空变化[J]. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2519–2526.]
- [4] Zhang L Z, Song C, Zhuang P, et al. Comparison of nutritive components *Acanthogobius ommaturus* and *Tridentiger trigonocephalus* collected from the Yangtze Estuary[J]. Marine Fisheries, 2011, 33(3): 304–309. [章龙珍, 宋超, 庄平, 等. 长江口斑尾刺虾虎鱼与纹缟虾虎鱼肌肉营养成分比较[J]. 海洋渔业, 2011, 33(3): 304–309.]
- [5] Huang X R, Zhang L Z, Zhuang P, et al. Effects of cryopreservation on enzyme activity in *Acanthogobius ommaturus* ovum[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(1): 48–53. [黄晓荣, 章龙珍, 庄平, 等. 超低温冷冻对斑尾刺虾虎鱼卵中酶活性的影响[J]. 海洋渔业, 2010, 32(1): 48–53.]
- [6] Feng G P, Zhang L Z, Zhuang P, et al. Morphological character, individual fecundity and ovary histology of *Acanthogobius ommaturus* in Yangtze River estuary[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(3): 257–263. [冯广朋, 章龙珍, 庄平, 等. 繁殖季节长江口斑尾刺虾虎鱼的形态、生殖力与卵巢组织学特征[J]. 海洋渔业, 2010, 32(3): 257–263.]
- [7] Huang W, Zhang Z H, Shi Y H, et al. Analysis and Evaluation of Nutritional Components in Muscle of Cultured *Synechogobius ommaturus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(9): 2866–2873. [黄薇, 张忠华, 施永海, 等. 养殖斑尾复虾虎鱼肌肉营养成分的分析和评价[J]. 动物营养学报, 2014, 26(9): 2866–2873.]
- [8] 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. [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.]
- [9] Fan H Y, Ji Y P, Zhang S H, et al. Research of Fishery Biology of the Neritic Fish *Synechogobius ommaturus* in the Area of the Huanghe Delta[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2005, 35(5): 733–736. [范海洋, 纪毓鹏, 张士华, 等. 黄河三角洲斑尾复虾虎鱼渔业生物学的研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35(5): 733–736.]
- [10] Su J X. Ichthyology and Marine Fish Farming[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 271–323. [苏锦祥. 鱼类学与海水鱼类养殖[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 271–323.]
- [11] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China. Specification for Oceanographic Survey. Part 6: Marine Organism Analysis[M]. Beijing: China Standards Press, 2007. [中国国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范. 第6部分: 海洋生物调查[M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.]
- [12] Hyslop E J. Stomach contents analysis—a review of methods and their application[J]. J Fish Biol, 1980, 17(4): 411–429.
- [13] Letourneur Y, Galzin R, Harmelin-Vivien M. Temporal variations in the diet of the damselfish *Stegastes nigricans* (Lacepède) on a Réunion fringing reef [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1997, 217(1): 1–18.
- [14] Schafer L N, Platell M E, Valesini F J S, et al. Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on the dietary compositions of fish species in near shore marine waters[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2002, 278(1): 67–92.
- [15] Zhang L. SPSS Applications in Biometric[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2008. [张力. SPSS 在生物统计中的应用[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2008.]
- [16] Zuo T, Wang K, Wang R, et al. Multivariate analysis of zooplankton communities during spring in the southern part of Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27 (Supl.): 108–114. [左涛, 王克, 王荣, 等. 春季南黄海浮游动物群落的多元统计分析[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊): 108–114.]
- [17] Guo P Y, Shen H T, Liu A C, et al. The species composition, community structure and diversity of zooplankton in Changjiang estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(5): 892–900. [郭沛涌, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江河口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 892–900.]
- [18] Conover W J. Practical Nonparametric Statistics (3rd edition)[M]. New York: John Wiley and Sons, 1999.
- [19] Kanamoto Z. On the ecology of Hexagrammid in fish V. Food items of *Agrammus agrammus* (Temminck et Schlegel) and *Hexagrammos otakii* Jordan et Starks sampled from different habitats around a small reef[J]. Jpn J Ecol, 1979, 29(3): 265–271.
- [20] Guo A, Zhou Y D, Jin H W, et al. Seasonal changes on food composition and feeding habitat of *Colilia mystus* (Linnaeus) in the East China Sea[J]. Modern Fisheries Information, 2010, 25(8): 10–13. [郭爱, 周永东, 金海卫, 等. 东海黄鲫的食物组成和食性的季节变化[J]. 现代渔业信息, 2010, 25(8): 10–13.]
- [21] 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(3): 237–243. [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(3): 237–243.]

- [22] Han D Y, Xue Y, Ji Y P, et al. Feeding ecology of *Amblychaeturichthys hexanema* in Jiaozhou Bay[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(5): 1446–1452. [韩东燕, 薛莹, 纪毓鹏, 等. 胶州湾六丝钝尾虾虎鱼的摄食生态特征[J]. 应用生态学报, 2013, 24(5): 1446–1452.]
- [23] Xu Z L, Chao M, Cui X S. The abundance distribution of mysids (Mysidacea) in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(3): 341–346. [徐兆礼, 晁敏, 崔学森. 东海糠虾类数量分布[J]. 水产学报, 2006, 30(3): 341–346.]
- [24] Zhong J S, Fu C C, Yu W W, et al. Occurrence and stay period of the juvenile *Liza haematocheila* in the surf zone of Yangtze Estuary[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(3): 3281–3285. [钟俊生, 傅萃长, 郁蔚文, 等. 鲃鱼稚鱼在沿岸碎波带的出现和滞留时间[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(3): 3281–3285.]
- [25] Liang J P, Li J, Liu P, et al. Research progress of biological characteristics and artificial breeding of ridgetail white prawn, *Exopalaemon carinicauda*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(17): 109–116. [梁俊平, 李健, 刘萍, 等. 脊尾白虾生物学特性与人工繁育的研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(17): 109–116.]
- [26] Chen X J, Xue Y, Xu B D, et al. Community structure and diversity of macroinvertebrates during autumn and winter in the central waters of Jiaozhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China, 2010, 40(3): 78–84. [陈晓娟, 薛莹, 徐宾铎, 等. 胶州湾中部海域秋、冬季大型无脊椎动物群落结构及多样性研究[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2010, 40(3): 78–84.]
- [27] Gerking S. Feeding Ecology of Fish[M]. San Diego: Academic Press, 1994: 416.
- [28] Olaso I, Rauschert M, De Broyer C. Trophic ecology of the family Artedidraconidae (Pisces: Osteichthyes) and its impact on the eastern Weddell Sea benthic system[J]. Mar Ecol Prog, 2000, 194(1): 143–158.
- [29] Macpherson E, Duarte C M. Bathymetric trends in demersal fish size: is there a general relationship?[J]. Mar Ecol Prog, 1991, 71(2): 103–112.
- [30] He Z T, Zhang Y Z, Xu K D, et al. Feeding habits and ontogenetic variation of *Lophius litulon* in East China Sea and Yellow Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(2): 9–18. [贺舟挺, 张亚洲, 徐开达, 等. 东、黄海黄鮟鱇的摄食习性及其随发育的变化[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(2): 9–18.]
- [31] Liu X F, Liu H, Xue Y, et al. Feeding ecology of *Conger myriaster* in Haizhou Bay [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(3): 517–527. [刘西方, 刘贺, 薛莹, 等. 海州湾星康吉鳗的摄食生态特征[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 517–527.]
- [32] Zhang B. Diet composition and ontogenetic variation in feeding habits of *Cleithenes Herzensteini* in central Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(8): 1849–1854. [张波. 黄海中部高眼鲈的摄食及随体长的变化[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1849–1854.]

Feeding habits of *Acanthogobius ommaturus* in the Yangtze Estuary

ZHU Meigui^{1,2}, YANG Gang¹, ZHANG Tao¹, ZHAO Feng¹, PENG Xinyue^{1,2}, YAN Guangsong^{1,2}, ZHUANG Ping¹

1. Key Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries Resources and Ecology, Ministry of Agriculture; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;
2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: The Yangtze Estuary is the largest estuary in the Pacific West Bank and is an important spawning ground, feeding ground, wintering ground, and migration route for fish. *Acanthogobius ommaturus* has potential economic value, but few studies have been performed on this species. A feeding study is important to understand the biology and ecology of a fish species, as well as the fish community and entire ecosystem structure and function. Domestic and foreign scholars have conducted some studies on feeding of *A. ommaturus*, but no study has been conducted in the Yangtze Estuary. The feeding habits of *A. ommaturus* were investigated in 459 individuals collected bimonthly from the Yangtze Estuary (June 2014 to May 2015) by analyzing their stomach contents. The prey items included 12 groups and 37 prey species dominated by decapods. The prey groups included Mysidacea, fish, and crabs, and the advantage prey species were *Exopalaemon carinicauda* and *Mysidacea* sp. The prey items were similar to those reported previously from Jiaozhou Bay, Bohai Sea, Laizhou Bay, and the Huanghe Delta; however, the advantage prey species were not the same. Thus, the habitat of the prey determined the dietary composition of *A. ommaturus*. The dietary composition of prey consumed varied seasonally. Decapods were the most important group throughout the year, whereas mysidacea and crabs were predominant in spring, fish were predominant in summer, and mysidacea were eaten mostly during winter. The seasonal variation in prey items was closely related to the life cycle of the fish. Dietary composition also had clear ontogenetic variations; fish <70 mm standard length (SL) consumed juvenile fish, mysidacea, and euphausiacea, those 70–189 mm SL consumed shrimp and fish, and those >189 mm SL mainly consumed fish. The species and size of prey items were highly significantly different among body lengths. A cluster analysis for season employing the Euclidean distance index revealed one diet group in autumn, and another for spring, summer, and winter. The cluster analysis for ontogeny revealed a diet group <70 mm SL and another group ≥ 70 mm SL. Feeding intensity also varied seasonally and during development. The Kruskal–Wallis nonparametric rank test and a contingency table revealed that the mean stomach fullness index of *A. ommaturus* varied seasonally ($P < 0.01$). The percentage of empty stomachs did not differ among seasons ($P > 0.05$), but the mean stomach fullness index and percentage of empty stomachs varied during development ($P < 0.01$). The feeding intensity of fish was lower during winter than that during autumn, which may be related to the reduced number of prey and temperature. Feeding intensity was higher during summer than that during spring, which may be related to larger fish size. A strong positive correlation was found between body length of prey and that of *A. ommaturus* ($r_s = 0.263$, $P < 0.01$). Predation by *A. ommaturus* increased gradually as mouth parts developed with growth. Moreover, mean prey weight and mean prey number increased with increasing body length, which is consistent with optimal foraging theory.

Key words: *Acanthogobius ommaturus*; Yangtze estuary; feeding habit; optimal foraging theory

Corresponding author: ZHUANG Ping. E-mail: pzhuang@ecsf.ac.cn