

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17350

## 海州湾秋季小眼绿鳍鱼的摄食策略及食物选择性

王荣夫<sup>1</sup>, 张崇良<sup>1</sup>, 徐宾铎<sup>1</sup>, 任一平<sup>1,2</sup>, 薛莹<sup>1</sup>

1. 中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 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:** 基于 2011 年及 2013—2015 年秋季在海州湾海域进行底拖网调查数据, 通过分析 733 尾小眼绿鳍鱼 (*Chelidonichthys spinosus*) 的胃含物样品, 对其食物组成、摄食强度、摄食策略以及食物选择性等摄食生态特征进行初步研究。结果表明, 小眼绿鳍鱼摄食饵料生物共有 80 余种, 其中优势饵料种类为细螯虾(*Leptochela gracilis*)、戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)、疣背宽额虾(*Latreutes planirostris*)、双斑螯(*Charybdis bimaculata*)、细条天竺鲷(*Apogon lineatus*)等。聚类分析结果显示, 小眼绿鳍鱼的食物组成无明显体长变化。不同体长组小眼绿鳍鱼的空胃率差异不显著( $P>0.05$ ), 平均胃饱满指数差异显著( $P<0.05$ )。广义加性模型(GAM)分析表明, 底层盐度、底层水温和纬度对小眼绿鳍鱼的摄食强度有显著影响( $P<0.05$ ), 而体长、经度和水深的影响则不显著( $P>0.05$ )。摄食策略分析表明, 小眼绿鳍鱼是以虾类和鱼类为主要饵料类群的广食性鱼类。通过计算食物选择性指数发现, 小眼绿鳍鱼喜食饵料与实际摄食的主要饵料种类存在一定差异, 表明其摄食既具有较强的主动选择性, 同时又受到海州湾饵料丰度和可获得性等因素的影响。

**关键词:** 海州湾; 小眼绿鳍鱼; 摄食生态; 摄食策略; 食物选择性

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)05-1059-12

小眼绿鳍鱼(*Chelidonichthys spinosus*)又称棘绿鳍鱼、绿鳍鱼, 俗称绿翅鱼、角鱼、红头鱼, 属鲉形目(Scorpaeniformes), 魴鲷科(Triglidae), 绿鳍鱼属, 为暖温性底层鱼类, 喜栖息于沙泥底质海区, 在中国海及日本海域、朝鲜半岛海域均有分布, 为常见经济鱼类<sup>[1]</sup>。根据本课题组近年来对海州湾渔业资源调查结果, 随着传统经济鱼类资源的衰退, 小眼绿鳍鱼已经成为目前海州湾海域的优势鱼种之一, 在海州湾渔业生态系统中具有重要的地位和作用<sup>[2]</sup>。

鱼类摄食生态的研究, 有助于揭示鱼类群落的营养结构以及每种鱼类在群落中的营养位置, 为进一步研究海洋生态系统中的食物网结构提供

基础数据<sup>[3]</sup>。目前, 针对小眼绿鳍鱼摄食生态的研究仅见于李振华等<sup>[4-6]</sup>对东海中北部小眼绿鳍鱼摄食习性的研究, 而对海州湾海域小眼绿鳍鱼的研究则未见报道, 而且针对鱼类摄食策略和食物选择性方面的研究较少, 相关研究亟待开展。

本研究基于 2011 年及 2013—2015 年秋季在海州湾海域进行的渔业资源调查数据, 利用胃含物分析了小眼绿鳍鱼的食物组成、摄食强度、摄食策略以及食物选择性等摄食生态习性, 旨在深入了解小眼绿鳍鱼的摄食习性, 为海州湾小眼绿鳍鱼资源的保护和合理利用提供科学依据, 为海州湾生态系统模型的构建和食物网营养动力学研究提供基础资料。

收稿日期: 2017-09-26; 修订日期: 2017-11-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目(31772852); 中央高校基本科研业务费专项(201562030, 201612004); 青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划项目(2015ASKJ02).

作者简介: 王荣夫(1994-), 男, 硕士, 主要从事鱼类摄食生态学研究. E-mail: 850578390@qq.com

通信作者: 薛莹, 副教授. E-mail: xueying@ouc.edu.cn

## 1 材料与方 法

### 1.1 样品采集

本研究中样品均取自 2011 年及 2013—2015 年秋季(9—10 月)在海州湾海域(119°20′~121°10′E, 34°20′~35°40′N)进行的底拖网调查(图 1)。调查船为底层单拖网渔船,采用分层随机取样方法设计

站位,每个航次随机选取一定数量站位进行调查,2011 年调查 24 个站位,2013 年后,对调查站位进行进一步选择优化,将每个航次调查站位减少至 18 个。每个站位随机留取 50 尾小眼绿鳍鱼样品冷冻保存,不足 50 尾的全部保留,以备后续实验分析。样品采集与分析按照《海洋调查规范》<sup>[7]</sup>进行。

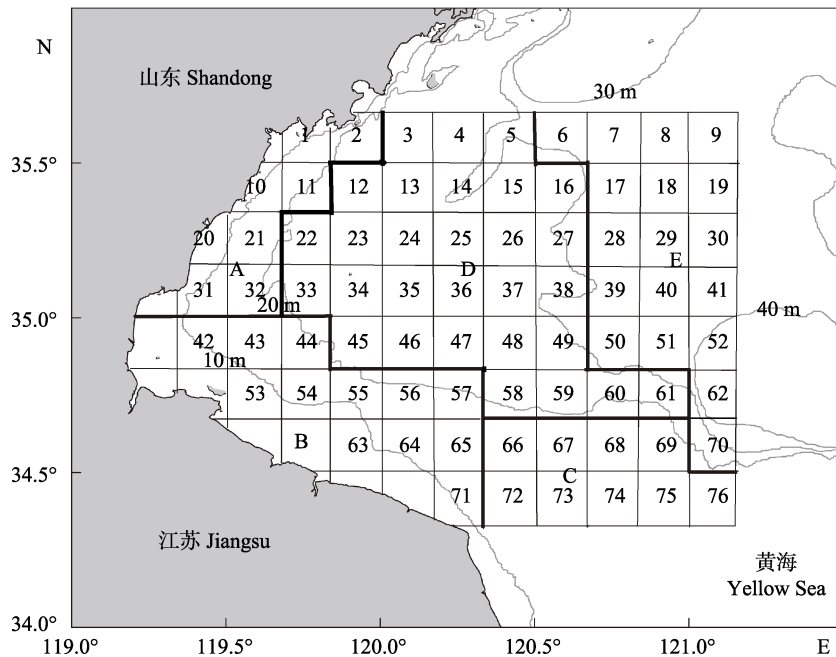


图 1 海州湾调查区域图

Fig. 1 Survey areas in the Haizhou Bay

### 1.2 样品分析

将冷冻保存的小眼绿鳍鱼样品带回实验室进行生物学测定,分别测量每尾鱼的全长(mm)、体长(mm)和体重(g)等生物学数据。再取出胃含物样品,目测摄食等级并称重后,冷冻保存。对胃含物进行分析时,利用体视显微镜进行饵料种类的鉴定和计数,以尽可能鉴定到种为原则,使用精密分析天平(精确到 0.0001 g)测定饵料生物质量,称量前用吸水纸将饵料生物表面的水分尽可能吸干。本研究共分析小眼绿鳍鱼样品 733 尾,其中 50 尾是空胃,空胃率为 6.82%。样品的体长范围 88~225 mm,优势体长范围 150~164 mm。根据样品数量和体长组成,将小眼绿鳍鱼样品分为 4 个体长组,即<134 mm、135~149 mm、150~164 mm 和>165 mm。表 1 列出了用于分析的各年份样品

数及空胃的个数。

### 1.3 数据处理

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%)<sup>[8]</sup>,

表 1 各年份各体长组海州湾小眼绿鳍鱼胃含物样品数量

Tab.1 Sample size of *Chelidonichthys spinosus* stomachs of different size classes in different years

体长组/mm size class	年份 year				总计 total
	2011	2013	2014	2015	
88-134	116(8)	35(3)	10(0)	29(2)	190(13)
135-149	62(9)	43(0)	20(1)	54(1)	179(11)
150-164	49(11)	77(1)	21(3)	51(0)	198(15)
165-225	28(4)	83(3)	25(3)	30(1)	166(11)
总计 total	255(32)	238(7)	76(7)	164(4)	733(50)

注: 括号内为空胃个数。

Note: Number of empty stomachs is given in parentheses.

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%)<sup>[9]</sup>评价各饵料生物的重要性。计算公式如下:

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

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

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

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

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

饱满指数和空胃率可以较好地描述鱼类的摄食情况, 在以往的研究中得到广泛应用<sup>[10-12]</sup>, 本研究采用这两个指标描述小绿鳍鱼的摄食强度。计算公式如下:

$$\text{饱满指数}(\%) = \frac{\text{食物团实际质量}}{\text{鱼体纯体重}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{空胃率}(\%) = \frac{\text{空胃个数}}{\text{总胃个数}} \times 100 \quad (7)$$

应用 PRIMER 5.0 软件<sup>[13-14]</sup>, 以饵料质量百分比作为指标, 对不同体长组小眼绿鳍鱼的食物组成进行聚类分析, 分析前去除不可辨认的饵料<sup>[15]</sup>, 并对数据做平方根转换。应用列联表卡方检验不同体长组空胃率的变化, 单因素方差分析检验平均胃饱满指数的变化。

广义加性模型(generalized additive model, GAM)是一种非参数化的广义多元线性回归方法, 能够描述渔业生物与各因子之间的关系, 结果可用诊断图形式给予形象的显示, 能够直观地评估各因子的影响程度<sup>[16-17]</sup>。本研究运用 GAM 模型对影响小眼绿鳍鱼摄食强度的因子进行分析, 其表达式为:

$$Y = \sum_{i=1}^n s(x_i) \quad (8)$$

式中,  $Y$  为饱满指数,  $x_i$  为各自变量, 包括体长、经度、纬度、底层水温、底层盐度和水深,  $n$  为自变量的个数。

Amundsen 等<sup>[18]</sup>改进了 Costello 提出的以饵料出现频率和相对丰度为坐标的图示法, 能直接描述捕食者的饵料种类组成及饵料的相对重要性, 直观显示捕食者的摄食策略。以饵料的出现频率  $F\%$  为横坐标, 特定饵料丰度  $P_i$  为纵坐标构成描述小眼绿鳍鱼的摄食策略图, 根据图中散点位置, 探讨小眼绿鳍鱼的摄食策略。沿纵轴, 上方表示狭食性, 下方表示广食性。沿对角线, 左下角表示非重要饵料, 右上角表示重要饵料。左上角表示高表型间成分, 右下角表示高表型内成分。特定饵料丰度的计算公式如下:

$$P_i = \left( \frac{\sum S_i}{\sum S_{ii}} \right) \times 100 \quad (9)$$

式中,  $P_i$  是特定饵料丰度;  $S_i$  是饵料  $i$  在胃含物中的质量;  $S_{ii}$  是胃内有饵料  $i$  的个体的胃含物质量。

采用 Ivlev 选择指数  $E$ <sup>[19]</sup>研究小眼绿鳍鱼对其主要饵料种类的选择性, 计算公式如下:

$$E = (r_i - p_i) / (r_i + p_i) \quad (10)$$

式中,  $r_i$  为饵料  $i$  在鱼类胃含物中所占的比例,  $p_i$  为饵料  $i$  在环境中的相对丰度。  $E$  值的范围为  $-1.0 \sim +1.0$ , 当  $-0.25 < E < +0.25$  (接近 0 值) 时, 表示随机选食, 当  $+0.25 \leq E \leq +1.0$  表示对某种饵料有明显的选择性或该种饵料易于获得, 当  $-1 \leq E \leq -0.25$  时, 表示对某种饵料偶然摄食或该种饵料不易获得<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 食物组成

结果表明, 海州湾小眼绿鳍鱼摄食的饵料生物包括虾类、鱼类、蟹类、端足类等 14 个类群 80 余种(不包括无法鉴定的种类)(表 2), 其中, 虾类是最主要的饵料生物类群, 其次为鱼类、蟹类、端足类、头足类、口足类, 其他饵料生物类群的比例均较低( $\text{IRI}\% < 0.1\%$ )。从摄食的饵料种类来看, 细螯虾(*Leptochela gracilis*)的 IRI% 最高, 其次为戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)、疣背宽额虾(*Latreutes planirostris*)、双斑螳(*Charybdis bimaculata*)、细条天竺鲷(*Apogon lineatus*)等。

从饵料生物质量百分比( $W\%$ )看, 虾类在食物组成中所占比例最大, 为 68.03%, 其次为鱼类、

表 2 海州湾秋季小眼绿鳍鱼的食物组成  
 Tab.2 Diet composition of *Chelidonichthys spinosus* during autumn in Haizhou Bay

饵料种类 prey item	质量百分比/% W%	个数百分比/% N%	出现频率/% F%	相对重要性指数 百分比/% IRI%
虾类 Shrimp	68.03	87.20	92.96	97.14
鞭腕虾 <i>Lysmata vittata</i>	0.04	0.02	0.29	+
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	32.07	14.81	36.80	24.30
刀形宽额虾 <i>Latreutes laminirostris</i>	0.05	0.01	0.15	+
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	1.27	0.82	4.69	0.14
鼓虾 <i>Alpheus</i> sp.	0.04	0.07	0.59	+
海蜚虾 <i>Latreutes anoplonyx</i>	0.25	0.12	1.47	+
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	1.63	0.30	3.23	0.09
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	0.60	0.08	0.88	+
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	19.38	41.79	61.88	53.31
细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i>	0.42	0.35	1.76	0.02
鲜明鼓虾 <i>Alpheus disinguendus</i>	0.93	0.27	2.93	0.05
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	3.79	0.21	2.20	0.12
疣背宽额虾 <i>Latreutes planirostris</i>	6.29	26.97	39.88	18.69
长足七腕虾 <i>Heptacarpus rectirostris</i>	0.04	0.05	0.44	+
中华安乐虾 <i>Eualus sinensis</i>	0.04	0.03	0.29	+
周氏新对虾 <i>Metapenaeus joyneri</i>	0.02	0.02	0.15	+
不可辨认虾类 Unidentified shrimps	1.16	1.28	11.58	0.40
鱼类 Pisces	20.42	3.80	27.42	1.15
赤鼻棱鲷 <i>Thryssa chefuensis</i>	0.05	0.02	0.29	+
短鳍鲷 <i>Callionymus sagitta</i>	1.51	0.07	0.73	0.02
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus lighti</i>	0.35	0.02	0.29	+
绯鲷 <i>Callionymus beniteguri</i>	2.15	0.10	1.17	0.04
海马 <i>Hippocampus kelloggi</i>	0.15	0.05	0.44	+
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>	0.35	0.27	0.88	+
叫姑鱼 <i>Johnius</i> sp.	+	0.01	0.15	+
李氏鲷 <i>Callionymus richardsoni</i>	0.05	0.02	0.29	+
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Amblychaeturichthys hexanema</i>	5.04	0.38	2.79	0.21
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	0.47	0.07	0.88	+
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangeri</i>	+	0.01	0.15	+
平鲷 <i>Sebastes</i> sp.	0.21	0.01	0.15	+
普氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius pflaumi</i>	0.41	0.37	3.81	0.04
日本海马 <i>Engraulis japonicus</i>	0.88	0.40	0.73	0.01
鳀鱼 <i>Engraulis japonicus</i>	0.73	0.10	1.17	0.01
细鳞鲷 <i>Sillago parvisquamis</i>	0.04	0.01	0.15	+
细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i>	3.79	0.58	5.57	0.34
玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i>	+	0.01	0.15	+
鲷 <i>Callionymus</i> sp.	1.67	0.52	3.67	0.11
不可辨认鱼类 unidentified Pisces	2.57	0.75	7.33	0.34
蟹类 Crabs	4.28	1.57	15.69	0.69
豆形拳蟹 <i>Philyra pisum</i>	+	0.01	0.15	+
隆线强蟹 <i>Eucrate crenata</i>	0.07	0.02	0.29	+
马氏毛粒蟹 <i>Pilumnopus mikiana</i>	0.06	0.05	0.44	+
球形栗壳蟹 <i>Arcania globata</i>	0.03	0.02	0.15	+

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab.2 continued)

饵料种类 prey item	质量百分比/% W%	个数百分比/% N%	出现频率/% F%	相对重要性指数 百分比/% IRI%
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	0.10	0.03	0.44	+
绒毛细足蟹 <i>Raphidopus ciliatus</i>	+	0.01	0.15	+
双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	3.70	1.10	9.82	0.66
四齿矶蟹 <i>Pugettia quadridens</i>	0.08	0.01	0.15	+
小刺毛刺蟹 <i>Pilumnus spinulus</i>	0.05	0.02	0.15	+
有疣英雄蟹 <i>Achaeus tuberculatus</i>	0.02	0.01	0.15	+
不可辨认蟹类 unidentified Crabs	0.17	0.28	3.52	0.02
头足类 Cephalopoda	2.58	1.10	11.58	0.28
短蛸 <i>Octopus ochellatus</i>	0.02	0.01	0.15	+
耳乌贼 <i>Sepiolo sp.</i>	0.11	0.05	0.29	+
金乌贼 <i>Sepia carinata</i>	0.18	0.01	0.15	+
枪乌贼 <i>Loligo sp.</i>	2.03	0.65	6.89	0.26
双喙耳乌贼 <i>Sepiolo birostrata</i>	0.19	0.08	0.88	+
不可辨认头足类 unidentified Cephalopoda	0.06	0.29	3.37	0.02
口足类 Stomatopoda	2.57	0.30	3.52	0.14
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	2.57	0.30	3.52	0.14
端足类 Amphipoda	0.26	2.96	19.35	0.36
独眼钩虾 <i>Monocloides sp.</i>	0.03	0.56	3.37	0.03
钩虾 <i>Gammarus sp.</i>	0.07	1.19	10.85	0.19
双眼钩虾 <i>Ampelisca sp.</i>	0.15	1.21	7.18	0.14
双壳类 Bivalvia	0.17	1.08	12.61	0.07
薄片镜蛤 <i>Dosinia corrugate</i>	+	0.27	2.79	0.01
东方缝栖蛤 <i>Hiatella orientalis</i>	+	0.03	0.44	+
短竹蛏 <i>Solen dunkerianus</i>	+	0.03	0.29	+
菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	+	0.01	0.15	+
江户布目蛤 <i>Protothaca jedoensis</i>	0.01	0.09	1.17	+
江户明樱蛤 <i>Moereua jedoensis</i>	+	0.01	0.15	+
牡蛎 <i>Ostreagigastnunb</i>	+	0.08	1.03	+
醒目云母蛤 <i>Yoldia notabilis</i>	0.02	0.03	0.29	+
异白樱蛤 <i>Macoma incongrua</i>	+	0.02	0.15	+
不可辨认双壳类 unidentified Bivalvia	0.11	0.49	6.16	0.05
糠虾类 Mysidacea	0.08	0.58	4.99	0.05
多毛类 Polychaeta	1.11	0.23	2.79	0.03
孟加拉海扇虫 <i>Pherusa bengalensis</i>	0.59	0.05	0.44	+
沙蚕 <i>Nereis succinea</i>	0.51	0.17	2.20	0.02
不可辨认多毛类 unidentified Polychaeta	+	0.01	0.15	+
腹足类 Gastropoda	0.11	0.27	2.93	+
黄海蛾螺 <i>Buccinum yokomaruuae</i>	+	0.01	0.15	+
假主厚旋螺 <i>Inquisitor pseudoprincipalis</i>	+	0.01	0.15	+
经氏壳蛞蝓 <i>Philine kinglippini</i>	0.06	0.03	0.29	+
丽小笔螺 <i>Mitrella bella</i>	+	0.01	0.15	+
脉红螺 <i>Rapana venosa</i>	+	0.01	0.15	+
拟腹螺 <i>Pseudoetrema fortilirata</i>	+	0.01	0.15	+
硬结原爱神螺 <i>Proterato callosa</i>	0.02	0.01	0.15	+
中华拟蟹守螺 <i>Cerithidea sinensis</i>	+	0.03	0.44	+

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab.2 continued)

饵料种类 prey item	质量百分比/% W%	个数百分比/% N%	出现频率/% F%	相对重要性指数百分比/% IRI%
不可辨认腹足类 unidentified Gastropoda	0.01	0.13	1.32	+
等足类 Isopoda	0.17	0.10	0.88	+
光背节鞭水虱 <i>Synidotes laevidorsalis</i>	+	0.01	0.15	+
日本浪漂水虱 <i>Cirol anajaponensis</i>	0.17	0.09	0.73	+
棘皮动物 Echinodermata	0.09	0.19	1.76	+
紫蛇尾 <i>Ophiopholis mirabilis</i>	0.05	0.05	0.59	+
马粪海胆 <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i>	0.02	0.01	0.15	+
马氏刺蛇尾 <i>Ophiothrix marenzelleri</i>	+	0.02	0.29	+
司氏盖蛇尾 <i>Stegophiura sladeni</i>	+	0.02	0.29	+
不可辨认棘皮动物 unidentified Echinodermata	0.02	0.06	0.88	+
鱼卵 fish eggs	+	+	0.88	0.04
其他 others	0.15	0.62	4.69	0.06

注：“+”表示所占比例<0.01%。

Note: “+” indicates the ratio <0.01%.

蟹类、头足类、口足类、多毛类(1.11%)，其余饵料生物类群的质量百分比低于 1%；从个数百分比(N%)来看，虾类的数量最多，达 87%，其次为鱼类、端足类、蟹类、头足类、双壳类，其余类群的数量百分比低于 1%；按出现频率(F%)排序，虾类的出现频率最高，达 92.96%，其次为鱼类、端足类、蟹类、双壳类、头足类，其余饵料类群的出现频率低于 5%(表 2)。

2.2 饵料组成随体长的变化

聚类分析的结果显示(图 2)，各体长组小眼绿鳍鱼食物组成的平均相似系数较高(86.74%~91.13%)，表明小眼绿鳍鱼的食物组成随体长的增加无明显变化。以相似性系数 90%为标准可将 4 个体长组分为 3 组：第 1 组为体长小于 150 mm 的个体，第 2 组为体长范围 150~164 mm 的个体，

第 3 组为体长大于 164 mm 的个体。第 1、2 组与第 3 组之间存在相对明显差异，其平均相似性系数为 86.74%。从食物组成来看，各体长组的小眼绿鳍鱼均摄食大量虾类，优势饵料种类为细螯虾、戴氏赤虾、疣背宽额虾等，其次为鱼类，优势饵料种类为六丝钝尾虾虎鱼(*Amblychaeturichthys hexanema*)、细条天竺鲷等。另外，各体长组的小眼绿鳍鱼均摄食较多蟹类和头足类，其中蟹类质量百分比在体长大于 164 mm 个体的食物组成中最高，为 7.73%，头足类质量百分比在体长大于 164 mm 个体的食物组成中最低，仅为 1.25%。此外，体长小于 135 mm 的小眼绿鳍鱼还摄食较多的等足类和端足类。体长 135~149 mm 的小眼绿鳍鱼摄食的口虾蛄较多，体长大于 164 mm 的小眼绿鳍鱼摄食的多毛类要多于其他体长组(图 2)。

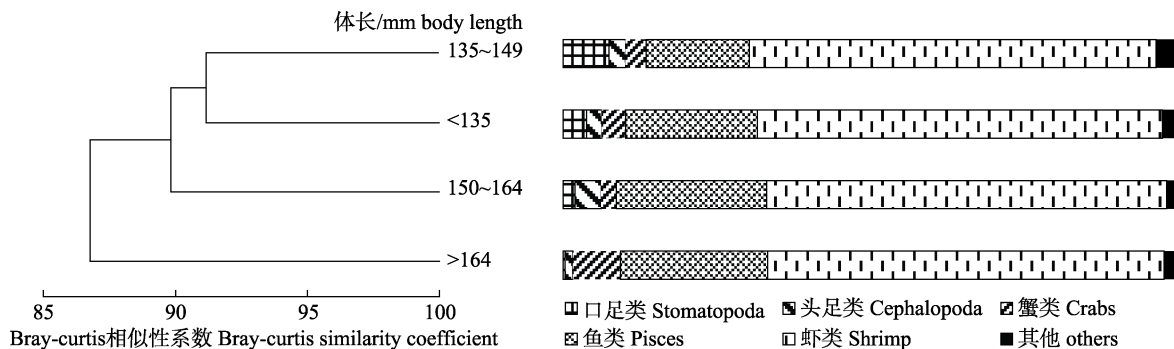


图 2 海州湾各体长组小眼绿鳍鱼食物组成的聚类分析  
Fig.2 Dietary composition of *Chelidonichthys spinosus* by size class in the Haizhou Bay

### 2.3 摄食强度

分析结果表明(图 3), 海州湾秋季小眼绿鳍鱼的空胃率为 6.82%, 平均胃饱满指数为 1.19%。不同体长组之间空胃率的差异不显著( $P>0.05$ ), 150~164 mm 体长组的空胃率(7.58%)最高, 135~149 mm

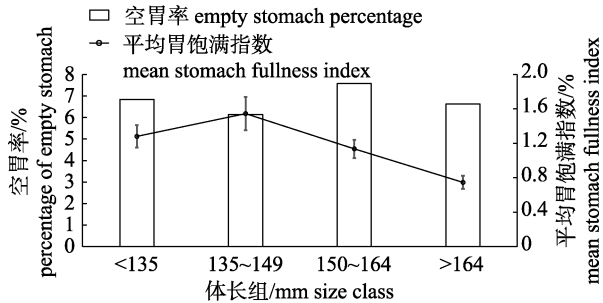


图 3 海州湾各体长组小眼绿鳍鱼的空胃率  
和平均胃饱满指数

Fig.3 Percentage of empty stomach and mean stomach fullness index of *Chelidonichthys spinosus* in each size class in Haizhou Bay

体长组的空胃率(6.15%)最低。不同体长组之间平均胃饱满指数的差异显著( $P<0.05$ )。>164 mm 体长组的平均胃饱满指数(0.74%)最低, 135~149 mm 体长组的平均胃饱满指数(1.57%)最高。当体长大于 149 mm 时, 平均胃饱满指数随体长增加有明显降低趋势。

GAM 模型分析表明(图 4), 底层盐度、底层水温和纬度对小眼绿鳍鱼的摄食强度有显著影响( $P<0.05$ ), 摄食强度受体长、经度和水深的影响则不显著( $P>0.05$ )。摄食强度在盐度值约为 29 时最高, 之后随着盐度的增加, 出现明显的下降趋势, 当盐度值高于 29.5 后, 摄食强度稳定在相对较低水平。摄食强度随纬度的增加, 有上升趋势, 当纬度增加到 35.2°以后, 摄食强度相对稳定。摄食强度受底层水温的影响, 当底层水温为 20°C 左右时, 摄食强度最低, 为 21.3°C 左右时, 摄食强度最高。

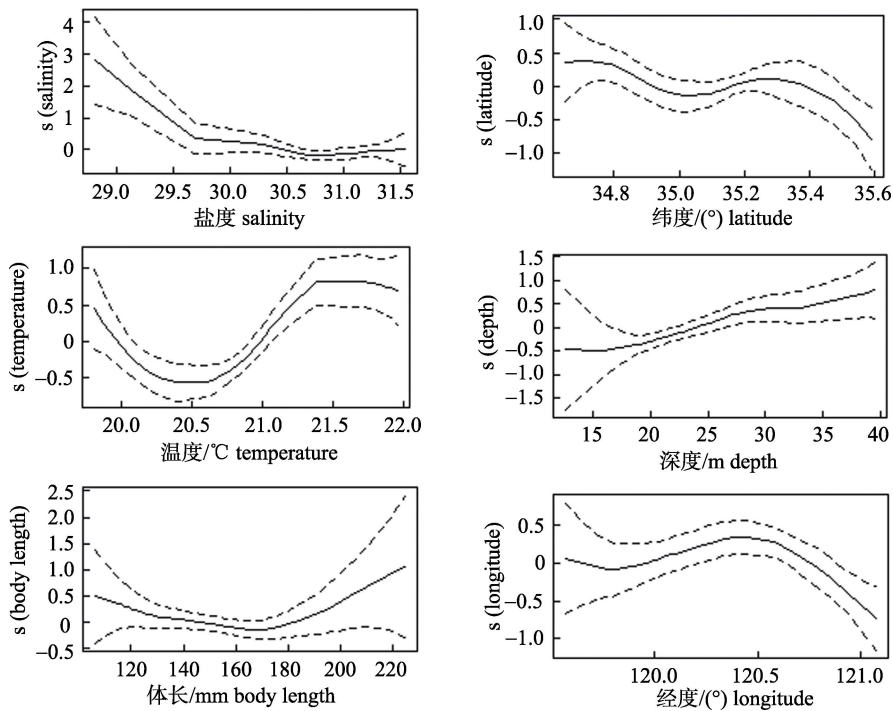


图 4 各因子对海州湾小眼绿鳍鱼摄食强度的影响

Fig.4 Effects of different factors on feeding intensity of *Chelidonichthys spinosus* in Haizhou Bay

### 2.4 摄食策略

从摄食策略分析图看(图 5), 虾类是小眼绿鳍鱼的主要饵料种类, 其次为鱼类和蟹类, 口足类和多毛类虽然出现频率较低, 但由于其个体质量

相对较大, 因此饵料丰度较高, 位于分析图的左上方。端足类虽然出现频率相对较高, 但由于其个体质量较小, 因此饵料丰度较低, 位于分析图的下方位置, 而其他饵料类群则集中分布在左下

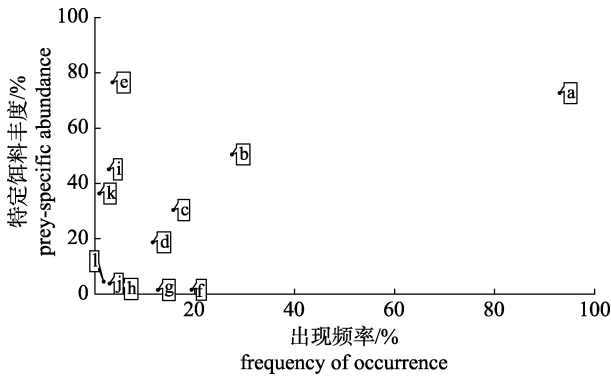


图 5 海州湾小眼绿鳍鱼摄食策略分析图

a: 虾类; b: 鱼类; c: 蟹类; d: 头足类; e: 口足类;  
f: 端足类; g: 双壳类; h: 糠虾类; i: 多毛类;  
j: 腹足类; k: 等足类; l: 棘皮动物.

Fig.5 Feeding strategy diagram of *Chelidonichthys spinosus* in Haizhou Bay

a: Shrimp; b: Pisces; c: Crabs; d: Cephalopoda; e: Stomatopoda;  
f: Amphipoda; g: Bivalvia; h: Mysidacea; i: Polychaeta;  
j: Gastropoda; k: Isopoda; l: Echinodermata.

角位置, 为次要饵料生物。多数饵料分布在图的左侧, 反映出小眼绿鳍鱼的摄食存在高表现型间成分, 即饵料组成在较大个体间存在差异, 属于广食性鱼类。

2.5 食物选择性

研究小眼绿鳍鱼对 12 种主要饵料生物的选择性, 根据这些饵料种类在环境中的相对丰度及其在胃含物中所占比例(图 6), 计算小眼绿鳍鱼对这些饵料的选择性指数(表 3)。结果表明, 细螯虾、疣背宽额虾、鲜明鼓虾和普氏栉虾虎鱼(*Ctenogobius pflaumi*) ( $E>0.25$ )是小眼绿鳍鱼喜好摄食的

饵料种类, 对双斑螭表现为随机选食, 对鹰爪虾、枪乌贼和六丝钝尾虾虎鱼( $E<0.25$ )等饵料种类则表现出明显的偶然性摄食。

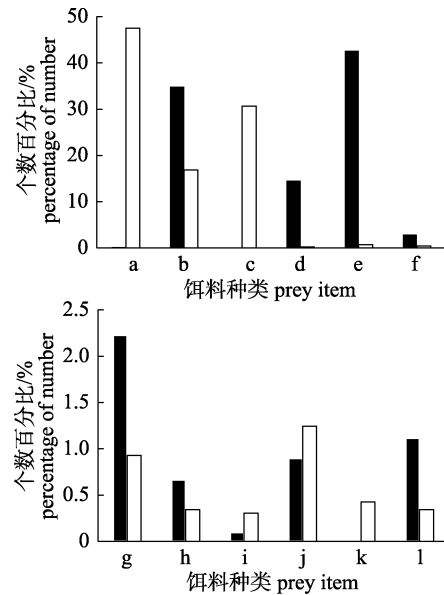


图 6 海州湾小眼绿鳍鱼的主要饵料生物在环境中 (■)和在胃含物中(□)的相对丰度

a: 细螯虾; b: 戴氏赤虾; c: 疣背宽额虾; d: 鹰爪虾; e: 枪乌贼; f: 六丝钝尾虾虎鱼; g: 葛氏长臂虾; h: 脊腹褐虾; i: 鲜明鼓虾; j: 双斑螭; k: 普氏栉虾虎鱼; l: 口虾蛄.

Fig.6 The relative abundance of main prey species of *Chelidonichthys spinosus* in environment (■)

and in stomachs (□) in Haizhou Bay

a: *Leptochela gracilis*; b: *Metapenaeopsis dalei*; c: *Latreutes planirostris*; d: *Trachysalambria curvirostris*; e: *Loligo sp.*;  
f: *Chaeturichthys hexanema*; g: *Palaemon gravieri*; h: *Crangon affinis*;  
i: *Alpheus disinguendus*; j: *Charybdis bimaculata*;  
k: *Ctenogobius pflaumi*; l: *Oratosquilla oratoria*.

表 3 小眼绿鳍鱼对 12 种主要饵料生物的食物选择指数

Tab.3 Prey selectivity indexes of 12 primary prey items of *Chelidonichthys spinosus*

饵料种类 prey item	Ivlev 选择指数 E	饵料种类 prey item	Ivlev 选择指数 E
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.99	葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	-0.41
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	-0.35	脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	-0.32
疣背宽额虾 <i>Latreutes planirostris</i>	1.00	鲜明鼓虾 <i>Alpheus disinguendus</i>	0.52
鹰爪虾 <i>Trachysalambria curvirostris</i>	-0.97	双斑螭 <i>Charybdis japonica</i>	0.16
枪乌贼 <i>Loligo sp.</i>	-0.97	普氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius pflaumi</i>	0.99
六丝钝尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	-0.74	口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	-0.53

3 讨论

3.1 摄食习性

本研究发现, 海州湾秋季小眼绿鳍鱼摄食的

饵料生物种类达 80 余种, 属广食性鱼类, 主要摄食虾类、鱼类、蟹类及端足类。虾类是小眼绿鳍鱼的绝对优势饵料, IRI%达 97.14%, 细螯虾、戴氏赤虾、疣背宽额虾是其主要饵料种类。根据以



往的研究, 渤海小眼绿鳍鱼主要摄食脊腹褐虾、鹰爪虾、口虾姑、细螯虾及六丝钝尾虾虎鱼<sup>[21]</sup>; 东海中北部小眼绿鳍鱼饵料种类达 90 余种, 主要摄食太平洋磷虾、细巧仿对虾、脊腹褐虾及六丝钝尾虾虎鱼, 其中秋季摄食饵料 30 种, 太平洋磷虾、细螯虾、戴氏赤虾及鳀是其主要摄食的饵料种类<sup>[4]</sup>。综合来看, 细螯虾是小眼绿鳍鱼在不同海区的主要饵料种类, 也是多鳞鱈(*Sillago sihama*)、棘头梅童鱼、六丝钝尾虾虎鱼及细条天竺鲷等多种底栖生物食性鱼类的主要饵料种类<sup>[21-22]</sup>, 因此小眼绿鳍鱼与其他多种底栖生物食性鱼类可能存在食物竞争关系。另外, 不同海区间小眼绿鳍鱼饵料种类组成的差异, 不仅反映了不同海区饵料生物资源存在差异, 也进一步表明小眼绿鳍鱼为广食性鱼类, 这也是它能够在不同海区广泛分布的条件之一。海州湾秋季小眼绿鳍鱼的空胃率较低, 说明其摄食强度相对较高, 一方面可能与饵料生物资源的数量和分布特点有关, 根据本课题组对海州湾渔业资源调查结果显示, 秋季海州湾细螯虾、戴氏赤虾等优势饵料生物资源分布较均匀, 而且在调查的多数站位均有出现, 饵料生物数量充足, 使得该海域小眼绿鳍鱼的空胃率较低; 另一方面, 秋季增加摄食强度也可小眼绿鳍鱼越冬洄游积累能量。

### 3.2 摄食习性随体长的变化

据以往对鱼类摄食习性的研究, 鱼类摄食习性随体长增加发生转变的现象是极普遍的<sup>[23-25]</sup>。但也有研究表明, 有些鱼类摄食随个体发育无明显变化<sup>[26]</sup>。张学健等<sup>[27]</sup>在对黄海南部黄鮟鱇摄食生态的研究时, 发现体长大于 200 mm 的黄鮟鱇群体, 其食物组成平均相似性系数达 85.5%。纪东平等<sup>[28]</sup>对荣成俚岛大泷六线鱼摄食生态的研究中, 发现体长大于 119 mm 的大泷六线鱼食物组成相似性系数达 80.82%。李振华等<sup>[6]</sup>对东海中北部小眼绿鳍鱼摄食习性的研究, 发现当体长达到 100 mm 时, 摄食习性逐渐发生转变, 体长大于 100 mm 的小眼绿鳍鱼食物组成相近。颜云榕等<sup>[29]</sup>的研究结果表明, 北部湾带鱼在达到 50% 性成熟肛长值时, 饵料种类发生转变。本研究结果表明, 秋季海州湾小眼绿鳍鱼各体长组饵料质量百分比

组成随体长变化不明显, 各体长组均以虾类为主要饵料生物。这可能是因为本研究的样本均采集于秋季, 样本均已达到或接近成体, 口、齿及鳃耙等摄食器官发育完善, 故摄食习性未随体长增加发生明显转变。在本研究中, 对摄食强度分析的结果表明, 海州湾小眼绿鳍鱼不同体长组间平均胃饱满指数差异显著( $P < 0.05$ ), 随体长增加, 平均胃饱满指数有明显下降趋势, 这可能受鱼类自身发育情况的影响, 体长较小的小眼绿鳍鱼, 生长速率较快, 需要不断进行捕食以补充能量, 因此平均胃饱满指数较高。

### 3.3 影响摄食的因素

鱼类的摄食受到自身发育状况、饵料的种类和丰度以及环境条件等多种因素的影响<sup>[30-31]</sup>。韩东燕等<sup>[25]</sup>应用典范对应分析方法, 发现水温和盐度是影响胶州湾六丝钝尾虾虎鱼摄食的主要因素。本研究表明, 秋季海州湾小眼绿鳍鱼的摄食强度受底层水温和底层盐度的影响明显。大量研究表明, 水生动物的摄食强度受水温的影响明显<sup>[32-34]</sup>。水温可能对鱼类的生理活动产生直接影响, 进而影响小眼绿鳍鱼的摄食。而盐度对摄食的影响, 则可能是因为盐度对饵料生物的种类和丰度产生影响。不同种鱼类对不同影响因子的反应不同, 例如: 北黄海细纹狮子鱼食物组成受水深、经度、纬度和体长的影响明显, 而性腺和性成熟度则没有显著影响<sup>[35]</sup>。分析影响鱼类摄食的因素, 有利于了解鱼类的摄食状况, 根据上行控制及协同进化机制, 判断鱼类及其饵料生物的资源现状及发展趋势, 作出合理的资源开发利用决策。

### 3.4 摄食策略和食物选择性

摄食策略分析表明, 小眼绿鳍鱼是以虾类、鱼类为主要饵料种类的广食性鱼类, 与李振华等<sup>[4-6]</sup>对东海小眼绿鳍鱼摄食习性研究的结果一致。广食性是鱼类的一种适应性摄食策略<sup>[36]</sup>, 有利于鱼类适应多变的自然环境条件, 调节与竞争者之间的关系。以往对鱼类摄食策略的研究, 发现广食性摄食是鱼类极为常见的摄食习性<sup>[37]</sup>。

许多鱼类会根据饵料生物的生态习性、营养价值以及可获得性等, 对不同的饵料种类表现出

明显的选择机制,而针对鱼类食物选择性的研究多集中在少数养殖鱼类<sup>[38]</sup>,其主要目的在于探索鱼类对不同饵料的选择性,进而优化饲料种类的选择和配比。对自然环境下鱼类食物选择性的研究较少<sup>[3]</sup>。本研究结合底拖网调查采样和胃含物分析的结果,初步探索了小眼绿鳍鱼对 12 种主要饵料生物的选择性,发现细螯虾和疣背宽额虾在自然环境中的丰度较低,但却是小眼绿鳍鱼主要摄食的饵料种类,其原因可能是因为这两种虾的体型均较细小,体壳较薄软,适口性更强。Manderson 等<sup>[39]</sup>研究也表明,鱼类对饵料生物的选择性受饵料生物个体大小及其活动能力的影响。研究发现,小眼绿鳍鱼喜食的饵料种类与其摄食的种类存在一定差别,戴氏赤虾是小眼绿鳍鱼主要摄食的饵料种类(IRI%=24.3%),仅低于细螯虾(53.31%),但从选择性指数来看,小眼绿鳍鱼并不喜食戴氏赤虾( $E=-0.35$ ),小眼绿鳍鱼摄食较多的戴氏赤虾,可能是因为它它是近年海州湾优势生物种类之一<sup>[40]</sup>,因此可获得性较高。张波等<sup>[41]</sup>对许氏平鲈的食物选择性研究发现,许氏平鲈喜食的饵料种类也不完全等同于其摄食的饵料种类。上述研究均表明,鱼类对饵料生物的选择受到自身条件与环境条件等多重因素的影响,今后还需要做进一步的深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Chen D G, Zhang M Z. Marine Fishes of China[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2015: 798. [陈大刚, 张美昭. 中国海洋鱼类[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2015: 798.]
- [2] Su W. Fish community diversity in Haizhou Bay and its relationship with environmental factors[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 19-22. [苏巍. 海州湾海域鱼类群落多样性及其与环境因子的关系[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 19-22]
- [3] Chen X J, Yu C G, Lu H S. Fisheries Resources and Fishery Science[M]. Beijing: China Ocean Press, 2004: 77-78. [陈新军, 俞存根, 卢伙胜. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 77-78.]
- [4] Li Z H, Xu K D, Jiang R J, et al. Seasonal variation of food habits of *Chelidonichthys spinosus* in the middle-northern East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2010, 32(2): 192-198. [李振华, 徐开达, 蒋日进, 等. 东海中北部小眼绿鳍鱼食性的季节变化[J]. 海洋渔业, 2010, 32(2): 192-198.]
- [5] Li Z H, Jiang R J, Xu K D, et al. Food habits of *Chelidonichthys spinosus* in the sea area of middle-northern East China Sea[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2010(2): 33-37. [李振华, 蒋日进, 徐开达, 等. 东海中北部小眼绿鳍鱼的摄食习性分析[J]. 福建水产, 2010 (2): 33-37.]
- [6] Li Z H, Xu K D, Jiang R J, et al. Diet composition and feeding habits variation with body length of *Chelidonichthys spinosus* in central and northern East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(1): 185-193. [李振华, 徐开达, 蒋日进, 等. 东海中北部小眼绿鳍鱼的食物组成及摄食习性的体长变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(1): 185-193.]
- [7] Standardization Administration of China. Specifications for oceanographic survey-Part 6: Marine biological survey (GB/T 12763.6)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 6-17. [中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范-第 6 部分: 海洋生物调查(GB/T 12763.6)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 6-17.]
- [8] Hyslop E J. Stomach contents analysis—a review of methods and their application[J]. Journal of Fish Biology, 1980, 17(4): 411-429.
- [9] 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.
- [10] Morato T, Santos R S, Andrade J P. Feeding habits, seasonal and ontogenetic diet shift of blacktail comber, *Serranus atricauda* (Pisces: Serranidae), from the Azores, north-eastern Atlantic[J]. Fisheries Research, 2000, 49(1): 51-59.
- [11] Gou B, Zhang B, Jin X S. Diet composition and ontogenetic variation in feeding habits of juvenile small yellow croaker *Pseudosciaena polusctis* Bleeker in the Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(2): 289-297. [郭斌, 张波, 金显仕. 黄海海州湾小黄鱼幼鱼的食性及其随体长的变化[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 289-297.]
- [12] Liu X F, Liu H, Xue Y, et al. Feeding ecology of *Conger myriaster* in Hanzhou 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.]
- [13] Clarke K R, Gorley R N. PRIMER 5 for Windows. Version 5.2.9[M]. Plymouth: PRIMER-E, Ltd., 2002.
- [14] Yan Y R, Wang T T, Hou G, et al. Feeding habits and monthly and ontogenetic diet shifts of the greater lizard fish *Saurida tumbil* in the Beibu Gulf of the South China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 34(7): 1089-1098. [颜云榕, 王田田, 侯刚, 等. 北部湾多齿蛇鲻摄食习性及其随生长发育的变化[J]. 水产学报, 2011, 34(7): 1089-1098.]
- [15] Schafer L N, Platell M E, Valesini F J, et al. Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on the dietary compositions of fish species in nearshore marine waters[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 278(1): 67-92.
- [16] Guisan A, Zimmermann N E. Predictive habitat distribution models in ecology[J]. Ecological modelling, 2000, 135(2-3):

- 147-186.
- [17] Guisan A, Edwards T C, Hastie T. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene[J]. *Ecological Modelling*, 2002, 157(2): 89-100.
- [18] Amundsen P A, Gabler H M, Staldvik F J. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data—modification of the Costello (1990) method[J]. *Journal of Fish Biology*, 1996, 48(4): 607-614.
- [19] Ivlev V S. *Experimental Ecology of the Feeding of Fishes*[M]. New Haven: Yale University Press, 1961.
- [20] Sun J, Wang X D, Song S Q. Selective feeding of *Calanus sinicus* on harmful algal blooms species in East China Sea in spring[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 151-157. [孙军, 王小冬, 宋书群. 春季东海中华哲水蚤对有害藻华物种的选择性摄食[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 151-157.]
- [21] Yang J M. A study on food and trophic levels of Bohai 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.]
- [22] Lou B Z, Wei S, Dou S Z. Study on food web and trophic structure of fish in the Changjiang River Estuary[J]. *Studia Marina Sinica*, 1997, 38: 143-153. [罗秉征, 韦晟, 窦硕增. 长江口鱼类食物网与营养结构的研究[J]. *海洋科学集刊*, 1997, 38: 143-153.]
- [23] Šantić M, Rađa B, Pallaoro A. Diet and feeding strategy of thornback ray *Raja clavata*[J]. *Journal of Fish Biology*, 2012, 81(3): 1070-1084.
- [24] Corrêa F, Claudino M C, Bastos R F, et al. Feeding ecology and prey preferences of a piscivorous fish in the Lagoa do Peixe National Park, a Biosphere Reserve in Southern Brazil[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2012, 93(1): 1-12.
- [25] Han D Y, Xue Y, Ji Y P, et al. Feeding ecology of *Amblychaeturichthys hexanema* in Jiaozhou Bay, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(5): 1146-1152. [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.]
- [26] Smith J A, Baumgartner L J, Suthers I M, et al. Generalist niche, specialist strategy: the diet of an Australian percichthyid[J]. *Journal of Fish Biology*, 2011, 78(4): 1183-1199.
- [27] Zhang X J, Cheng J H, Shen W, et al. Feeding ecology of *Lophius litulon* in the south of Yellow Sea[J]. 2010, 30(12): 3117-3125. [张学健, 程家骅, 沈伟, 等. 黄海南部黄鮟鱇摄食生态[J]. *生态学报*, 2010, 30(12): 3117-3125.]
- [28] Ji D P, Bian X D, Song N, et al. Feeding ecology of *Hexagrammos otakii* in Lidao Rongcheng[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1399-1409. [纪东平, 卞晓东, 宋娜, 等. 荣成俚岛大泷六线鱼摄食生态研究[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1399-1409.]
- [29] Yan Y R, Chen J L, Hou G, et al. Feeding habits of *Trichiurus lepturus* in Beibu Gulf of South China Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(3): 749-755. [颜云榕, 陈骏岚, 侯刚, 等. 北部湾带鱼的摄食习性[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(3): 749-755.]
- [30] 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.]
- [31] Muto E Y, Soares L S H, Goitein R. Food resource utilization of the skates *Rioraja agassizii* (Müller & Henle, 1841) and *Psammobatis extenta* (Garman, 1913) on the continental shelf off Ubatuba, South-eastern Brazil[J]. *Revista Brasileira de Biologia*, 2001, 61(2): 217-238.
- [32] Fan S G, Huang G J, Liu B S, et al. Effects of salinity and temperature on the filtration rate and ingestion rate of *Pinctada maxima* and *Pinctada fucata*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2014, 35(3): 61-65. [范嗣刚, 黄桂菊, 刘宝锁, 等. 盐度与温度对大珠母贝和合浦珠母贝滤水率及摄食率的影响[J]. *水生态学杂志*, 2014, 35(3): 61-65.]
- [33] Nie Y K, Chen P M, Zhou Y B, et al. Preliminary study on feeding habits of *Heliocidaris crassispina*[J]. *South China Fisheries Science*, 2016, 12(3): 1-8. [聂永康, 陈丕茂, 周艳波, 等. 南方紫海胆摄食习性的初步研究[J]. *南方水产科学*, 2016, 12(3): 1-8.]
- [34] Jin M, Ye B B, Pang Y, et al. Study on *Margarya melanioides*' feeding characteristics towards four attached algae and its potential restoration in Erhai Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(2): 518-524. [靳明, 叶碧碧, 庞燕, 等. 濒危种螺蛳对典型附着藻的摄食特性及其在洱河流域恢复的可行性[J]. *生态学报*, 2016, 36(2): 518-524.]
- [35] Xue Y, Xu B D, Gao T X, et al. Preliminary study on feeding ecology of *Liparis tanakae* in north Yellow Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(5): 1066-1074. [薛莹, 徐宾铎, 高天翔, 等. 北黄海细纹狮子鱼摄食生态的初步研究[J]. *中国水产科学*, 2010, 17(5): 1066-1074.]
- [36] Dill L M. Adaptive flexibility in the foraging behavior of fishes[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1983, 40(4): 398-408.
- [37] Smith J A, Baumgartner L J, Suthers I M, et al. Generalist niche, specialist strategy: the diet of an Australian percichthyid[J]. *Journal of Fish Biology*, 2011, 78(4): 1183-1199.
- [38] 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*, 2001, 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.]
- [39] Manderson J P, Phelan B A, Stoner A W, et al. Predator-prey relations between age-1+ summer flounder (*Paralichthys dentatus*, Linnaeus) and age-0 winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*, Walbaum): predator diets, prey selection, and effects of sediments and macrophytes[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2000, 251(1): 17-39.
- [40] Sun X W, Zhang S, Zhao Y Q, et al. Community structure of fish and macro-invertebrates in the artificial reef sea area of Haizhou Bay[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(4): 505-513. [孙习武, 张硕, 赵裕青, 等. 海州湾人工鱼礁海域鱼类和大型无脊椎动物群落组成及结构特征[J].

上海海洋大学学报, 2010, 19(4): 505-513.]  
[41] Zhang B, Li Z Y, Jin X S. Food composition and prey selectivity of *Sebastes schlegelii*[J]. Journal of Fishery Sciences of

China, 2014, 21(1): 134-141. [张波, 李忠义, 金显仕. 许氏平鲷的食物组成及其食物选择性[J]. 中国水产科学, 2014, 21(1): 134-141.]

## Feeding strategy and prey selectivity of *Chelidonichthys spinosus* during autumn in Haizhou Bay

WANG Rongfu<sup>1</sup>, ZHANG Chongliang<sup>1</sup>, XU Binduo<sup>1</sup>, REN Yiping<sup>1,2</sup>, XUE Ying<sup>1</sup>

1. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China

**Abstract:** With the decrease in traditional economic fish resources, *Chelidonichthys spinosus* has become one of the dominant fish species in the Haizhou Bay ecosystem, playing an important ecological role in the food web. *Chelidonichthys spinosus* is a benthic fish species widely distributed in the China seas and Japan Sea, and in the waters around the Korean Peninsula. Using the samples collected from the bottom trawl survey in the Haizhou Bay during the autumn of 2011 and 2013–2015, 733 *C. spinosus* stomach samples were analyzed to study their feeding ecology, including diet composition, feeding intensity, feeding strategy, and prey selectivity. The results showed that the prey items of *C. spinosus* included more than 80 species, and shrimp and fish were the predominant prey taxa, with the index of relative importance of 97.14% and 1.15%, respectively. *Leptochela gracilis*, *Metapenaeopsis dalei*, *Latreutes planirostris*, *Charybdis bimaculata*, and *Apogon lineatus* were the most important prey species. The results of the cluster analysis showed that the diet composition did not change significantly with the increase in body length. The average similarity coefficient of the food composition of *C. spinosus* was 86.74% among different size classes. This might be because the samples were collected in autumn. The samples reached or were close to adulthood, with their mouth, teeth, gill rake, and other feeding organs developed perfectly. The feeding intensity was described by the percent of empty stomachs and the mean stomach fullness index. The percent of empty stomachs of *C. spinosus* did not vary significantly among different size classes ( $P > 0.05$ ), but the mean stomach fullness index varied during the growth period ( $P < 0.05$ ). Overall, the feeding intensity of small-sized *C. spinosus* was higher than that of large individuals. This is because the growth rate of small-sized *C. spinosus* is faster than adults; they require more energy from prey. The feeding of fish is generally affected by several variables, including the development status of fish, the type and abundance of prey species, environmental conditions, and other factors. In this study, the generalized additive model (GAM) revealed that the feeding intensity of *C. spinosus* was affected significantly by salinity, water temperature, and latitude ( $P < 0.05$ ), whereas, the effects of body length, longitude, and water depth were not significant ( $P > 0.05$ ). It will help analyze the factors that affect feeding habits of fish, understand the feeding status of fish, and examine the current situation and development of fish and their prey species, in order to make reasonable resource development and utilization decisions. The feeding strategy analysis further revealed that *C. spinosus* is a generalist predator and mainly feeds on shrimp and fish. The general feeding habit is an adaptive feeding strategy for fish that facilitates the adaptation of fish to variable environmental conditions, regulating the relationships with competitors. By calculating the prey selectivity index, it was found that there was a difference in the composition of favorite prey items and actual feeding prey items. The feeding ecology of *C. spinosus* is affected not only by the abundance and availability of prey, but also by strong active selectivity. These results will provide basic data to further understand the trophic dynamics in the Haizhou Bay ecosystem. It can also provide scientific reference for the protection and rational utilization of *C. spinosus* resources in Haizhou Bay.

**Key words:** Haizhou Bay; *Chelidonichthys spinosus*; feeding ecology; feeding strategy; prey selectivity

**Corresponding author:** XUE Ying. E-mail: xueying@ouc.edu.cn