

北黄海细纹狮子鱼摄食生态的初步研究

薛莹,徐宾铎,高天翔,邱天龙,林龙山

(中国海洋大学 水产学院,山东 青岛 266003)

摘要: 根据2007年秋季在北黄海进行的定点底拖网调查,对细纹狮子鱼(*Liparis tanakae*)的摄食生态进行了初步研究。北黄海的细纹狮子鱼在秋季主要以虾类和底层鱼类为食,属于底栖动物食性鱼类,其优势饵料生物是脊腹褐虾(*Crangon affinis*)。在调查海域最北部的1号站位,细纹狮子鱼还摄食了较多的大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)鱼卵。典范对应分析(CCA)表明,水深、经度、纬度和体长对细纹狮子鱼的食物组成有显著影响($P<0.05$),而性别和性腺成熟度则没有显著影响($P>0.05$)。脊腹褐虾体长与细纹狮子鱼体长之间呈显著的正相关($r=0.326$, $P<0.05$),而中华安乐虾(*Eualus sinensis*)体长与细纹狮子鱼体长之间没有显著的相关关系($r=0.219$, $P>0.05$);脊腹褐虾($r=-0.372$, $P<0.01$)和中华安乐虾($r=-0.799$, $P<0.01$)体长与细纹狮子鱼体长的比率与细纹狮子鱼体长之间均呈极显著的负相关关系。细纹狮子鱼的胃总质量和空胃质量均随着体长的增加呈指数增长。[中国水产科学,2010,17(5):1066–1074]

关键词: 北黄海;细纹狮子鱼;摄食生态;饵料生物;典范对应分析

中图分类号: S931

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)05-1066-09

细纹狮子鱼(*Liparis tanakae*)属硬骨鱼纲、鲉形目、杜父鱼亚目、狮子鱼科、狮子鱼属,它常栖息于近海底层,体中型,属于冷温性海洋鱼类^[1]。细纹狮子鱼是黄海的优势鱼种之一,其资源量较大^[2]。由于细纹狮子鱼属于高营养级鱼类,且具有较高的日摄食率,因此在黄海底层食物网中起着不可忽视的关键作用^[3]。对细纹狮子鱼摄食生态的研究,将有助于了解其捕食对低营养级饵料生物产生的下行控制作用(Top-down control)。

Hovde等^[4]指出,对鱼类摄食生态的研究不仅要分析鱼类的食物组成,还应对影响摄食的因素进行全面的分析。以往对鱼类摄食生态的研究,通常只是孤立地分析1个或少数几个因素,而忽视了这些因素之间的相关性^[4]。Magnan等^[5]指出,如果忽视了影响因子之间的相关性,就会高估或曲解一些影响因子的作

用。因此,需要采用多元统计分析方法进行综合分析。典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)是一种非线性多元直接梯度分析方法,它把对应分析与多元回归结合起来,每一步计算结果都与环境因子进行回归,从而详细地研究生物群落与环境因子之间的关系^[6]。与以往的直接梯度分析不同的是,CCA可以结合多个环境因子综合分析,包含的信息量大,结果直观明显,从而可以更好地反映生物群落与环境因子的关系^[7]。近年来,国外学者开始将典范对应分析应用于鱼类摄食生态学领域,并得到了认可^[8]。

本研究旨在根据2007年秋季在北黄海进行的定点底拖网调查,运用典范对应分析探讨细纹狮子鱼的摄食习性与空间分布、体长、性别和性腺成熟度等因素之间的关系,并对其食物组成以及饵料生物的个体大小和胃质量与体长的关系进行研究。

收稿日期:2009-09-07;修订日期:2010-05-21.

基金项目:国家863计划项目(2006AA09Z418);高等学校博士学科点专项科研基金(200804231015)。

作者简介:薛莹(1977-),男,副教授,主要从事鱼类摄食生态学研究. E-mail: xueying@ouc.edu.cn

1 材料与方法

1.1 样品采集

样品取自2007年秋季(11月份)在北黄海($36^{\circ}58'N-39^{\circ}29'N$, $121^{\circ}56'E-123^{\circ}59'E$)进行的定点底拖网调查。调查船为“鲁乳渔4695号”和“辽丹

渔26142号”单拖网船,网具主尺寸为 $113.15\text{ m}\times 83.99\text{ m}$,囊网网目为 20 mm 。平均拖速为 3.0 n mile/h ,每站拖网时间为 1 h 左右。本次调查共设26个站位,其中发现细纹狮子鱼的站位有7个(图1)。每一站位都随机留取一定数量的细纹狮子鱼样品冷冻保存。

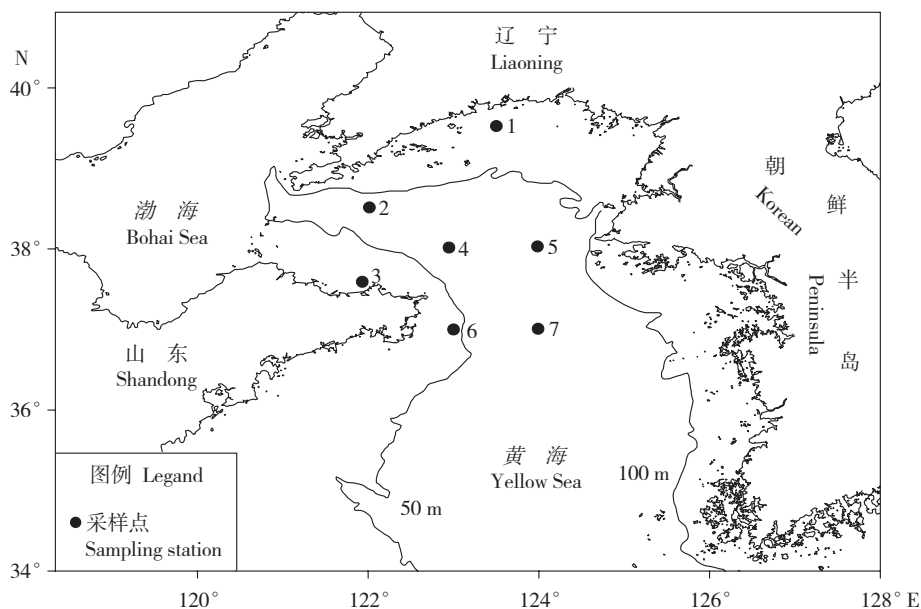


图1 细纹狮子鱼的取样站位
Fig. 1 Sampling stations for *Liparis tanakae*

1.2 胃含物分析

将留取的细纹狮子鱼样品带回实验室作生物学测定,分别测量每1尾鱼的体长、体质量、纯体质量、性腺成熟度等生物学参数,并将消化道取出,标号并放入冰柜中冷冻保存。胃含物中饵料种类的鉴定在解剖镜下进行,原则上尽可能鉴定到种。根据剩余的残体确定饵料生物的个数,再用精确度为 0.00001 g 的电子天平称量其实际质量,称重前先用滤纸将饵料生物表面的水分尽可能地吸干。有反刍现象的样品不用于胃含物分析。对于胃含物中体形保存较为完整的饵料生物,测量其长度。选择胃壁保存完整的样品,称量其胃总质量(包括胃壁和食物的质量)和空胃质量(去除食物后的胃壁质量)以研究胃质量与体长的关系。

1.3 数据分析

用于评价饵料重要性的指数有质量百分比、个数百分比和出现频率^[9]。除了这3个单一指数,本研究还计算了一个综合性指数,即相对重要性指数(IRI):

$$IRI = F\% (N\% + W\%)$$

式中 $F\%$ 、 $N\%$ 和 $W\%$ 分别为饵料生物的出现频率、个数百分比和质量百分比,IRI值越高,饵料生物的重要性就越高。将IRI表示为百分数的形式,即百分比相对重要性指数(IRI%)^[10]:

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

采用累积饵料生物种数曲线(Cumulative prey curve)判断胃含物样品数量能否满足分析的要求^[11]。

首先,将胃含物样品(不包括空胃)按照编号随机排序5次以上,以减少由于样品排序不同造成的误差;然后,用二维图表示出样品数量与累积新出现饵料生物种数之间的关系。如果该曲线趋向于渐近线分布,则说明样品含量能够满足分析的要求^[11]。

1.4 典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)

典范对应分析(CCA)是一种非线性多元直接梯度分析方法,它是由对应分析(Correspondence analysis, CA)或相互平均(Reciprocal averaging, RA)修改而产生的新方法,它把CA、RA和多元回归结合起来,每一步迭代计算结果都与环境因子进行回归,从而详细地分析研究对象与环境因子之间的关系^[6]。CCA可将研究对象和环境因子表示在同一排序图上,因而可以直观地看出它们之间的关系。

本研究采用典范对应分析探讨细纹狮子鱼的摄食习性与解释变量(Explanatory variables)之间的关系。CCA要求2个数据矩阵,1个是物种数据矩阵,1个是环境数据矩阵^[6]。本研究选取12种主要饵料生物和6个解释变量(即体长、性别、性腺成熟度、水深、经度和纬度)进行CCA排序分析,采用饵料生物的质量百

分比作为参数。为了消除稀有种类对分析的影响,去除出现频率小于5%的种类。为了降低少数优势种权重对物种数据(即食物组成)的影响,并消除环境参数在数量级上的差别,对物种数据和解释变量采用对数 $\lg(x+1)$ 转换。采用向前逐步筛选法(Forward stepwise selection)对每个解释变量进行逐个筛选,每一步都采用Monte-Carlo置换检验变量的显著性(运行999次随机置换),并以 $P<0.05$ 作为显著性标准。应用国际通用软件CANOCO 4.5进行运算,排序结果用物种—解释变量关系的双序图(Biplot)^[12]表示。

2 结果与分析

2.1 食物组成

共采集细纹狮子鱼样品97尾,其中空胃10尾,空胃率为10.3%。样品的体长范围在164~481 mm之间,平均体长为 (301.7 ± 7.2) mm,样品的体质量范围在69~1442 g之间,平均体质量为 (501.8 ± 34.1) g。由图2可以看出,随着样品数量的增加,食物中累计新出现的饵料生物种数趋向于渐近线分布,说明样品数量能够满足分析的要求,可以用来描述细纹狮子鱼的食物组成。

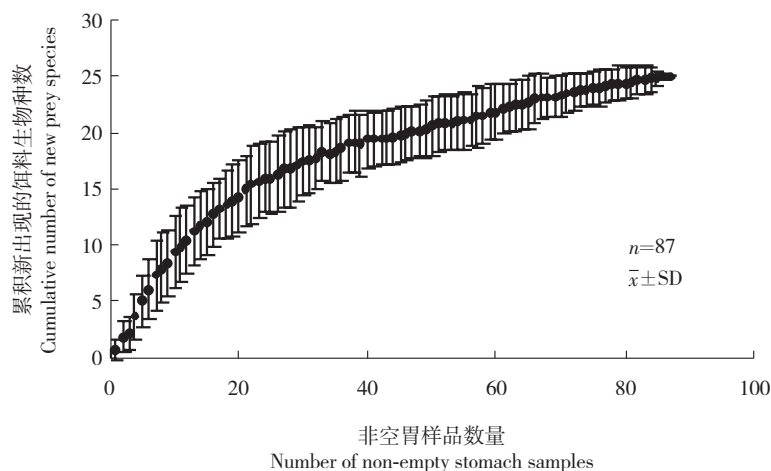


图2 细纹狮子鱼的累积饵料生物种数曲线

Fig. 2 Cumulative prey curve for *Liparis tanakae*

北黄海秋季细纹狮子鱼摄食的饵料生物有20余种,底栖动物性饵料是其主要的食物来源,其中脊腹

褐虾(*Crangon affinis*)的各项指数均最高,是细纹狮子鱼最重要的饵料生物;其次是中华安乐虾(*Eualus*

sinensis)、矛尾虾虎鱼(*Chaeturichthys stigmatias*)、海蜇
虾(*Latreutes anoplonyx*)、戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)、葛氏长臂虾(*Palaemon gravieri*) 和小黄鱼
(*Larimichthys polyactis*) 等(表1)。从摄食的饵料类
群来看,甲壳类(85.89%)的百分比相对重要性指数
最高;其次是鱼类(5.64%)和鱼卵(4.17%);双壳类
(0.18%)和棘皮动物(0.06%)所占比例较低。按出
现频率和个数百分比排序的结果与之相似。若按
质量百分比排序,则鱼类所占的比例最高(41.94%);
其次是甲壳类(36.51%)和鱼卵(16.78%);双壳类
(0.74%)和棘皮动物(0.36%) 仍为次要饵料生物
(表1)。

表 1 北黄海秋季细纹狮子鱼的食物组成
Tab. 1 Food composition of *Liparis tanakae* in north Yellow Sea during autumn %

饵料种类 Prey item	质量百分比 Weight percentage	出现频率 Occurrence frequency	个数百分比 Number percentage	百分比相对重要性指数 IRI
鱼类 Pisces	41.94	47.50	8.62	5.64
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	10.57	5.00	1.75	0.72
高眼鲷 <i>Cleisthenes herzensteini</i>	5.59	1.25	0.11	0.08
大泷六线鱼 <i>Hexagrammos otakii</i>	3.91	1.25	0.11	0.06
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	3.87	5.00	0.76	0.27
尖海龙 <i>Syngnathus acus</i>	2.38	3.75	1.09	0.15
长绵鲷 <i>Zoarces elongatus</i>	1.32	1.25	0.11	0.02
方氏云鲷 <i>Enedrias fangi</i>	1.26	1.25	0.11	0.02
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius grypotus</i>	0.94	8.75	0.87	0.19
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	0.64	1.25	0.11	0.01
细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i>	0.42	2.50	0.22	0.02
小杜父鱼 <i>Cottiusculus gonez</i>	0.19	2.50	0.22	0.01
不可辨认鱼类 Unidentified fish speceis	10.85	25.00	3.16	4.09
甲壳类 Crustacea	36.51	88.75	89.87	85.89
虾类 Decapoda	35.77	87.50	89.65	85.86
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	26.99	71.25	54.48	67.82
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	2.86	6.25	1.53	0.32
中华安乐虾 <i>Eualus sinensis</i>	2.66	48.75	25.44	16.01
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	1.98	10.00	1.42	0.40
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	0.34	1.25	0.11	0.01
海蜇虾 <i>Latreutes anoplonyx</i>	0.31	15.00	2.73	0.53
鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i>	0.15	2.50	0.22	0.01
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.05	1.25	0.11	+
日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i>	0.02	1.25	0.22	+
疣背宽额虾 <i>Latreutes planirostris</i>	0.01	1.25	0.11	+
不可辨认虾类 Unidentified shrimps	0.40	17.50	3.28	0.77
口足类 Stomatopoda	0.74	2.50	0.22	0.03
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	0.74	2.50	0.22	0.03
鱼卵 Fish eggs	16.78	21.25	—	4.17
双壳类 Bivalvia	0.74	10.00	0.76	0.18
棘皮动物 Echinodermata	0.36	10.00	0.55	0.06
蛇尾 Ophiuroidea	0.22	7.50	0.33	0.05
海星 Asteroidea	0.14	2.50	0.22	0.01
不可辨认饵料 Unidentified preys	3.86	53.75	2.62	4.07

注：鱼卵的个数未计入饵料生物的总个数；“+”表示百分比相对重要性指数<0.01%。
Note: The number of fish eggs was not included in the total number of preys; “+” indicates IRI<0.01%.

研究还发现,在所分析的样品中有17尾细纹狮子鱼摄食鱼卵,而且摄食鱼卵的鱼均出现在调查海域最北部的1号站位,经鉴定该鱼卵主要是大泷六线鱼(*Hexagrammos otakii*)的鱼卵。每尾细纹狮子鱼摄食鱼卵的个数在10~3 367个之间,平均每尾鱼摄食 $(1\,342\pm 395.4)$ 个鱼卵。

2.2 CCA排序分析

在CCA排序图中(图3),环境因子用带有箭头的矢量线段表示,线段的长短表示生物种类分布与该环境因子关系的大小;箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关关系的大小;2个箭头之间的夹角大小代表着2个环境因子之间相关性的关系,夹角越小,相关性越大;箭头所指的方向表示该环境因子的变化趋势。分析时可以做出某一种类与环境因子连线的垂直线,垂直线与环境因子连线相交点离箭头越近,表示该种与该环境因子的正相关性越大,处于另一端的则表示与该环境因子的负相关性越大。排序图上空间距离接近的物种,其所处的环境也相似。

CCA排序分析的结果显示,前2个排序轴的特征值分别为0.563和0.085,二者共同解释食物组成与解释变量之间关系的84.0%。在前2个排序轴中,食物组成与解释变量之间的相关系数分别为0.869和0.588。Monte-Carlo置换检验表明,在6个解释变量中,水深、经度、纬度和体长这4个变量对食物组成有显著影响($P<0.05$),而性别和性腺成熟度则没有显著影响($P>0.05$),因此,在二维排序图中将后2个变量排除。

在二维排序图中,根据矢量线段的长度可以看出:水深对食物组成的影响最大;其次是纬度和体长;而经度与食物组成的相关性较小(图3)。根据矢量线与排序轴的夹角可以看出,纬度和水深与第一轴的夹角较小,表明这2个变量与第一排序轴的相关性较大,且分别呈正相关和负相关;而体长和经度则与第二轴的夹角较小,表明这2个变量与第二排序轴的相关性较大,且均呈负相关关系。在排序图中,根据饵料种类与解释变量连线相交点离箭头的距离可以看出,水深和纬度对摄食的影响主要体现在:在高纬度、较浅水域细纹狮子鱼摄食了较多的鱼卵,而在低

纬度、较深水域则摄食了较多的脊腹褐虾和中华安乐虾等饵料生物。体长和经度对细纹狮子鱼摄食的影响主要体现在:大个体的细纹狮子鱼摄食了较多的蛇尾(Ophiuroidea)和葛氏长臂虾,而小个体的细纹狮子鱼则主要摄食小黄鱼、皮氏叫姑鱼(*Johnius grypotus*)和脊腹褐虾等饵料生物;在调查海域的东部(即经度较高的海域),细纹狮子鱼摄食了较多的蛇尾、葛氏长臂虾和矛尾虾虎鱼,而在西部海域(即经度较低的海域),则主要摄食小黄鱼、皮氏叫姑鱼、脊腹褐虾和海蜇等饵料生物(图3)。

2.3 主要饵料生物体长与细纹狮子鱼体长的关系

本研究选择2种数量较多的饵料生物,研究其体长与细纹狮子鱼体长的关系,发现细纹狮子鱼摄食脊腹褐虾的体长范围是16.5~64.5 mm,优势体长组为30~39 mm,平均体长为 (40.5 ± 1.50) mm;摄食中华安乐虾的体长范围是18.0~29.0 mm,优势体长组是20~29 mm,平均体长为 (23.1 ± 0.75) mm。

Pearson相关分析表明,脊腹褐虾与细纹狮子鱼体长之间呈显著的正相关($r=0.326$, $P<0.05$),而中华安乐虾与细纹狮子鱼体长之间没有显著的相关关系($r=0.219$, $P>0.05$)。本研究还计算了2种饵料生物体长与细纹狮子鱼体长的比率,结果表明脊腹褐虾($r=-0.372$, $P<0.01$)和中华安乐虾($r=-0.799$, $P<0.01$)与细纹狮子鱼体长的比率与细纹狮子鱼体长之间均呈极显著的负相关关系,即随着细纹狮子鱼体长的增大,该比率逐渐降低(图4)。

2.4 胃质量与体长的关系

通过回归分析发现,细纹狮子鱼胃总质量(W)和空胃质量(w)均随其体长(L)的增加呈指数增长,其关系式如下所示:

$$W=0.783\,1e^{0.0097L}\quad (R^2=0.820\,3, P<0.01, n=33)$$

$$w=0.458\,8e^{0.0096L}\quad (R^2=0.899\,9, P<0.01, n=33)$$

3 讨论

3.1 细纹狮子鱼的食物组成

在本研究中,秋季北黄海的细纹狮子鱼主要以甲壳类(主要是虾类)和底层鱼类为食,属底栖动

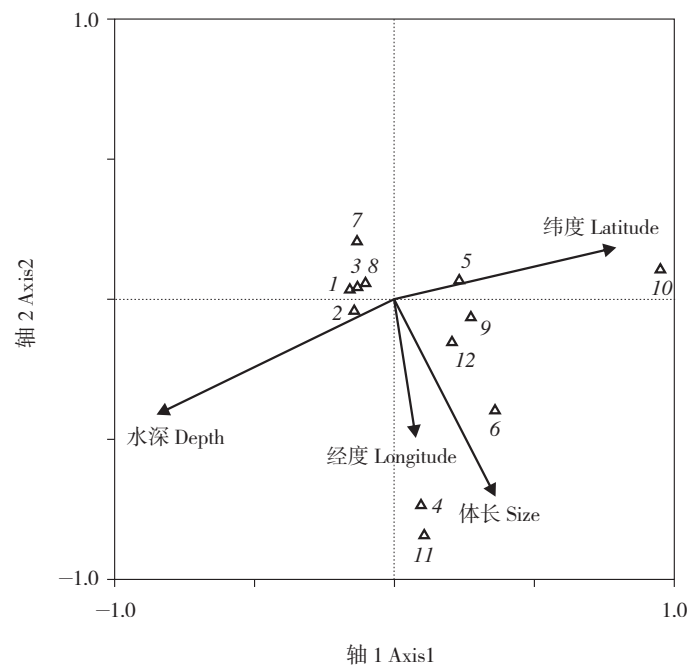


图3 细纹狮子鱼食物组成与解释变量之间关系的CCA排序图
1. 脊腹褐虾; 2. 中华安乐虾; 3. 海蜇虾; 4. 葛氏长臂虾; 5. 其他虾类; 6. 矛尾虾虎鱼; 7. 小黄鱼; 8. 皮氏叫姑鱼; 9. 其他鱼类; 10. 鱼卵; 11. 蛇尾; 12. 双壳类。

Fig. 3 CCA ordination diagram of food composition of *Liparis tanakae* and explanatory variables
1. *Crangon affinis*; 2. *Eualus sinensis*; 3. *Latreutes anoplonyx*; 4. *Palaemon gravieri*; 5. Other shrimps; 6. *Chaeturichthys stigmatias*; 7. *Larimichthys polyactis*; 8. *Johnius grypotus*; 9. Other fishes; 10. Fish eggs; 11. Ophiuroidea; 12. Bivalvia.

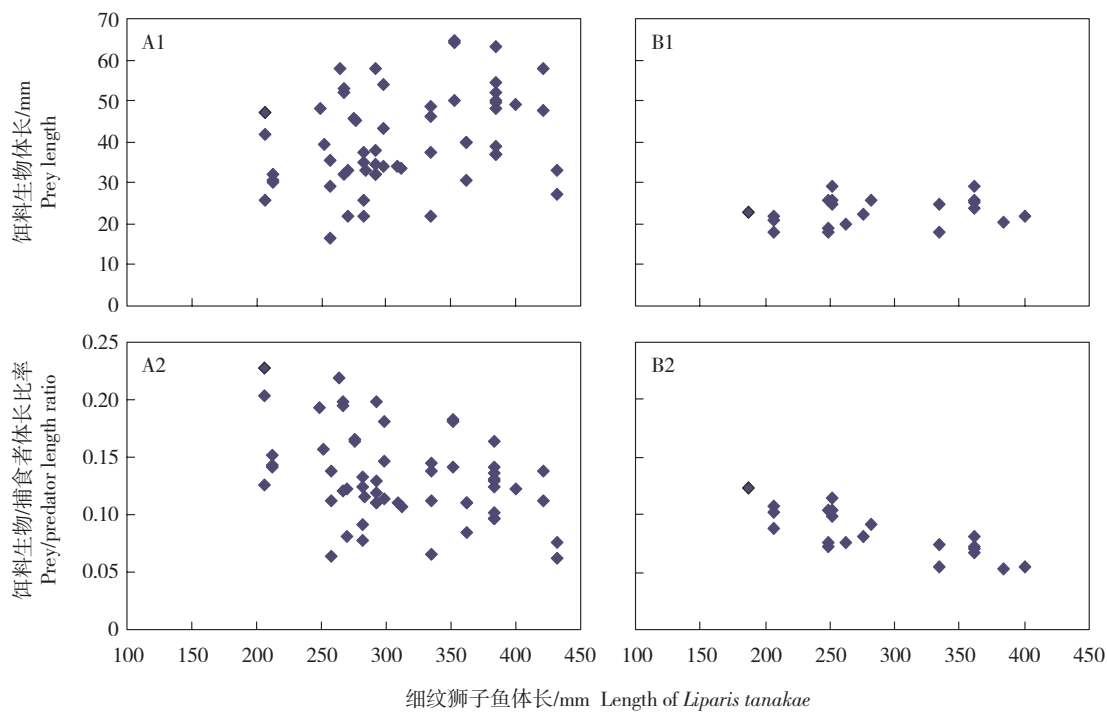


图4 2种饵料生物体长及其与细纹狮子鱼体长的比率与细纹狮子鱼体长的关系
A1、A2: 脊腹褐虾, $n=58$; B1、B2: 中华安乐虾, $n=21$ 。

Fig. 4 Prey length and prey/predator length ratio plotted against *Liparis tanakae* length
A1, A2: *Crangon affinis*, $n=58$; B1, B2: *Eualus sinensis*, $n=21$.

物食性鱼类,其优势饵料生物是脊腹褐虾;其次是中华安乐虾、矛尾虾虎鱼等。姜卫民^[13]根据1985–1986年黄海的调查资料,发现细纹狮子鱼主要以鳀(*Engraulis japonicus*)和脊腹褐虾为食,其质量百分比分别为32.6%和20.0%。张波等^[14]发现东海、黄海的细纹狮子鱼属底栖动物食性鱼类,主要以鳀和脊腹褐虾为食(质量百分比分别为38.6%和31.7%)。薛莹等^[3]发现黄海中南部海域的细纹狮子鱼在秋季主要以虾类和鱼类为食,脊腹褐虾和鳀是其主要饵料生物,其质量百分比分别为57.7%和15.9%。而在本研究中,脊腹褐虾和鳀在食物中所占的质量百分比分别为26.99%和0.64%。由此可见,与以往的研究相比,黄海细纹狮子鱼的食物组成发生了较大的变化,优势饵料生物出现了明显的更替现象。其中,鳀在食物中重要性的降低与其在黄海资源量的大幅度下降是密不可分的^[2]。而脊腹褐虾之所以始终是细纹狮子鱼的优势饵料生物,一方面是由于脊腹褐虾属于游泳能力较弱的底层虾类,而且分布较为密集,因此容易被细纹狮子鱼等底层鱼类所捕食;另一方面是因为脊腹褐虾的繁殖力高,资源更新快,在黄海的数量很大,因此它成为黄海众多底层鱼类的主要饵料生物^[2]。当然,取样季节和海域的差异也会对细纹狮子鱼食性的变化产生一定的影响。

本研究还发现,鱼卵(主要是大泷六线鱼)在细纹狮子鱼的食物中占有一定的比例,而且摄食鱼卵的细纹狮子鱼主要集中在调查海域最北部的1号站位。大泷六线鱼的产卵期主要在秋季(9–11月),它的卵为黏着沉性卵,受精卵相互黏成球块状,附着在海藻、岩礁、或其他物体上发育,黄海北部海域是其主要产卵场之一^[2,15]。由于细纹狮子鱼具有较高的日摄食率^[3],且资源量较大,因此它对大泷六线鱼鱼卵的捕食可能会对其资源补充量产生较大的影响。此外,还发现摄食鱼卵的细纹狮子鱼摄食其他饵料生物的比例很低。Segers等^[16]研究发现,北海的大西洋鲱(*Clupea harengus*)摄食鱼卵的数量与摄食其他饵料生物的多少有关系,其他饵料生物越多则鱼卵就越少,这说明大西洋鲱是在没有其他食物可选

择的情况下才摄食鱼卵的。这一点与细纹狮子鱼的情况是基本吻合的。值得说明的一点是,由于本研究仅在1个站位发现17尾细纹狮子鱼摄食鱼卵,不排除有偶然摄食的因素,因此细纹狮子鱼对鱼卵的捕食还有待做进一步的深入研究。

3.2 摄食饵料生物的个体大小

通常来说,随着体长的增大,鱼类总是尽可能地捕食大个体的饵料生物,从而最大限度地获得能量,以补偿由于捕食所消耗的能量,这一现象即“最佳摄食理论”(Optimal foraging theory)^[17]。本研究发现,脊腹褐虾体长与细纹狮子鱼体长之间呈显著的正相关,即随着细纹狮子鱼的生长发育,它摄食脊腹褐虾的个体大小在逐渐增大,这与最佳摄食理论相符。而中华安乐虾与细纹狮子鱼的体长之间没有显著的相关关系,这可能与自然海域中华安乐虾的个体较小有关,因此细纹狮子鱼对它的捕食不受口裂和捕食能力的制约。本研究还发现,脊腹褐虾和中华安乐虾与细纹狮子鱼体长的比率与细纹狮子鱼体长之间均呈极显著的负相关关系,这表明尽管随着细纹狮子鱼的生长发育,它倾向于捕食个体较大的饵料生物,但是相对于其自身的体长而言,它捕食脊腹褐虾和中华安乐虾的个体大小是逐渐减小的,这可能与自然海域中这2种饵料生物的体长范围较小有关。

3.3 胃质量与体长的关系

在本研究中,细纹狮子鱼的胃总质量和空胃质量均随体长的增加呈指数增长,其他学者也曾得出过类似的结论^[13]。Carlson等^[18]指出,随着鱼类体长的增大,它对能量的需求也随之增加。因此,细纹狮子鱼胃总质量的增加与其自身的能量需求有关。本研究确定了细纹狮子鱼的胃总质量和空胃质量随体长的指数增长关系,将有助于预测细纹狮子鱼的摄食能力,并为定量研究其摄食量提供了参考依据。

3.4 影响食物组成的主要因素

典范对应分析(CCA)将研究对象和环境因子表示在同一排序图上,可以直观地看出它们之间的关系,有助于揭示环境因子对鱼类摄食的影响,为研究

鱼类摄食生态提供了一种新的工具。本研究表明,水深、经度、纬度和体长这4个变量对细纹狮子鱼的食物组成有显著影响,而性别和性腺成熟度则没有显著影响。其中,水深、经度、纬度都与饵料生物的空间分布有关。由于饵料生物的分布存在较大的空间异质性,因此鱼类的摄食也必然会随着栖息海域的不同而发生变化。另外,体长变化也是影响细纹狮子鱼摄食的一个主要因素。这是因为随着鱼类的生长发育,其摄食器官日趋完善,捕食能力也逐渐增强,必然会发生对饵料生物种类和个体大小要求的变化^[19]。Solmundsson^[8]应用CCA研究冰岛海域马舌鲽(*Reinhardtius hippoglossoides*)的摄食生态时也发现,体长、空间分布和季节是影响其摄食的主要因素。由于条件所限,本研究涉及的环境因子有限,今后还需深入研究多种环境因子对细纹狮子鱼摄食习性的影响。

致谢:感谢张秀梅老师和张沛东老师为本研究提供样品。

参考文献:

- [1] 金鑫波. 中国动物志. 硬骨鱼纲. 鲉形目[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 627–628.
- [2] 金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. 黄、渤海生物资源与栖息环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 110–380.
- [3] 薛莹, 金显仕, 赵宪勇, 等. 秋季黄海南部16种鱼类对饵料鱼类的摄食量[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(增刊): 66–74.
- [4] Hovde S C, Albert O T, Nilssen E M. Spatial, seasonal and ontogenetic variation in diet of Northeast Arctic Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*)[J]. ICES J Mar Sci, 2002, 59: 421–437.
- [5] Magnan P, Rodriguez M A, Legendre P, et al. Dietary variation in a freshwater fish species: Relative contributions of biotic interactions, abiotic factors, and spatial structure[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1994, 51(12): 2856–2865.
- [6] Ter Braak C J F. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis[J]. Ecology, 1986, 67: 1167–1179.
- [7] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 157–164.
- [8] Solmundsson J O N. Trophic ecology of greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) on the Icelandic continental shelf and slope[J]. Mar Biol Res, 2007, 3(4): 231–242.
- [9] Hyslop E J. Stomach contents analysis—a review of methods and their application[J]. J Fish Biol, 1980, 17: 411–429.
- [10] Cortés E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1997, 54: 726–738.
- [11] Ferry L A, Cailliet G M. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly? [C]// MacKinlay D, Shearer K. Feeding ecology and nutrition in fish, symposium proceedings. San Francisco: American Fisheries Society, 1996: 71–80.
- [12] Ter Braak C J F, Lmilaue P. CANOCO Reference manual and user's guide to canoco for windows: software for canonical community ordination [M]. New York: Microcomputer Power, 1998: 1–351.
- [13] 姜卫民. 细纹狮子鱼的食性及其食物消耗量初探[J]. 中国水产科学, 1996, 3(3): 9–14.
- [14] 张波, 唐启升, 金显仕, 等. 东海和黄海主要鱼类的食物竞争[J]. 动物学报, 2005, 51(4): 616–623.
- [15] 万瑞景, 姜言伟. 黄海硬骨鱼类鱼卵、仔稚鱼及其生态调查研究[J]. 海洋水产研究, 1998, 19(1): 60–73.
- [16] Segers F H I D, Dickey-Collas M, Rijnsdorp A D. Prey selection by North Sea herring (*Clupea harengus*), with special reference to fish eggs[J]. ICES J Mar Sci, 2007, 64(1): 60–68.
- [17] Gerking S D. Feeding ecology of fish [M]. San Diego: Academic Press, 1994.
- [18] Carlson J K, Goldman K J, Lowe C G. Metabolism, energetic demand, and endothermy [M]// Carrier J C, Musick J A, Heithaus M R. Biology of sharks and their relatives. Boca Raton: CRC Press, 2004: 203–224.
- [19] Wootton R J. Ecology of teleost fishes [M]. London: Chapman & Hall, 1990: 33–41.

Preliminary study on feeding ecology of *Liparis tanakae* in north Yellow Sea

XUE Ying, XU Binduo, GAO Tianxiang, QIU Tianlong, LIN Longshan

(Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Based upon survey data collected from north Yellow Sea during autumn in 2007, feeding ecology of *Liparis tanakae* was investigated. The results showed that shrimps and demersal fishes were the most important preys of *L. tanakae*, which indicated that *L. tanakae* could be classified as a benthic carnivorous predator. At the species level, *Crangon affinis* was the most important prey species. At one station in the north part of this investigating area, large amounts of eggs of *Hexagrammos otakii* were found in the stomachs of *L. tanakae*. The ordination technique of canonical correspondence analysis (CCA) was applied to study the association of available explanatory variables to the diet composition of *L. tanakae*. Depth, longitude, latitude and size were four important variables and significantly affected the diet composition of *L. tanakae* ($P < 0.05$), whereas sex and gonad maturity stage had no significant impacts on diet composition ($P > 0.05$). A strong positive relationship was found between the body lengths of *Crangon affinis* and *L. tanakae* ($r = 0.326$, $P < 0.05$), whereas no significant correlation was found between the body lengths of *Eualus sinensis* and *L. tanakae* ($r = 0.219$, $P > 0.05$). The length ratios between the two preys and *L. tanakae* both had significant positive relationship with the body length of *L. tanakae* (*C. affinis*; $r = -0.372$, $P < 0.01$; *E. sinensis*; $r = -0.799$, $P < 0.01$). Regression analysis showed there were exponential relationship between stomach weight with contents, empty stomach weight and body length of *L. tanakae*. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(5): 1066–1074]

Key words: north Yellow Sea; *Liparis tanakae*; feeding ecology; prey; canonical correspondence analysis (CCA)