

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2011.01132

长江口外海域龙头鱼营养生态学特征

潘绪伟^{1,2}, 程家骅¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090;
2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 利用2009年9月至2010年8月在东海北部、黄海南部海域获取的龙头鱼(*Harpadon nehereus*)样品, 采用胃含物分析法, 对龙头鱼的摄食习性进行了研究。结果表明, 龙头鱼摄食饵料种类有39种, 鱼类是其主要饵料类群, 所占质量百分比为84.13%。优势饵料种类为龙头鱼(*Harpadon nehereus*)、小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)、细条天竺鱼(*Apogonichthys lineatus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)等。龙头鱼的摄食强度秋季最高, 冬季最低; 食物组成季节变化明显, 春季主要摄食虾类, 其他季节则主要以鱼类为食; 不同生长发育阶段的食物组成及摄食强度具有显著差异, 体长为100 mm和250 mm处存在食性转换现象, 并在体长250 mm时表现为由广食性向狭食性转换的特征, 摄食选择性增强。龙头鱼营养级为3.80, 在东、黄海食物网中处于较高的营养层次。

关键词: 龙头鱼; 长江口外海; 营养生态; 摄食强度; 季节变化; 体长变化

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2011)05-1132-09

龙头鱼(*Harpadon nehereus*)属仙女鱼目(Aulopiformes), 狗母鱼科(Synodontidae), 龙头鱼属(*Harpadon*), 主要分布于印度洋和西太平洋海域, 为中国沿岸和近海渔业常见的兼捕对象^[1-2]。渔业资源监测结果表明, 随着过度开发和人类活动的干扰, 多数传统优质鱼类资源大幅减少, 渔获个体也越来越小, 而一些较小型鱼类的生物量却在逐年增大, 特别是一些广食性饵料鱼种, 其适应性强, 对环境变化响应的时间短, 在生态系统的演变和产出中起着重要作用。龙头鱼作为比较典型的代表, 其资源量近年来呈现增加趋势, 并已成为定置刺网渔获中数量最多的优势种^[3], 以及底拖网渔获中的次要优势种^[4]。

龙头鱼作为中下层肉食性鱼类, 性凶猛, 不仅与重要经济鱼类竞争食物, 甚至大量吞食主要

经济鱼类的稚、幼鱼, 在海洋食物链及食物网中占有重要地位^[5]。因此, 研究龙头鱼的营养生态, 对研究海洋食物网及渔业资源管理具有重要意义。但目前国内外关于龙头鱼的研究主要集中在微生物、生化成分、水产品加工和数量分布等方面^[6-11], 摄食生态方面的研究仅见林显鹏等^[12]对龙头鱼摄食及其季节变化特征的描述, 并未涉及龙头鱼不同发育阶段营养生态的变化及其在生态系统中的营养地位等问题。鉴于此, 本研究利用2009年9月至2010年8月的龙头鱼胃含物分析数据, 运用聚类分析、单因子方差分析等方法, 对东海区龙头鱼各季节不同发育阶段的营养生态及其在东、黄海生态系统中的营养地位等进行了研究, 旨在为今后进一步研究龙头鱼生物学、种群生态学特性及渔业资源的科学管理提供基础资料。

收稿日期: 2010-12-17; 修订日期: 2011-03-07.

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003068); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助项目(2008T04, 2009M01).

作者简介: 潘绪伟(1985-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源与生态研究. E-mail: pxwqd@163.com

通信作者: 程家骅, 研究员. E-mail: ziyuan@sh163.net

1 材料方法

1.1 样品采集

本研究样本取自于 2009 年 9 月至 2010 年 8 月间, 取样时间为春季(4~6 月)140 尾、夏季(7~9 月)93 尾、秋季(10~12 月)86 尾和冬季(1~3 月)121 尾, 共取得用于胃含物分析的龙头鱼样品 450 尾。采样区域为东海区(图 1), 体长范围 64~280 mm, 取样方式有双拖网(252 尾)、帆张网(151 尾)和虾拖网(47 尾)3 种, 每次取样均为随机取样, 样本量通常不低于 30 尾/月。样本经冷冻保存带回实验室进行生物学测定。

1.2 样品处理

将冷冻后的样品带回实验室进行生物学测定, 分别测量每尾鱼的体长和体质量, 并进行胃含物分析。分析胃含物时先用吸水纸吸去空胃表面水分, 然后用电子秤(精度 0.001 g)称重, 并目测摄

食等级(按 0~IV 级划分), 然后进行饵料生物种类鉴定并分种类计数^[13]。对于个体较大且消化程度较低的胃含物通过形态进行鉴别, 消化较为充分的胃含物则通过耳石、鳞片、眼珠等一些比较难消化的器官进行分析鉴定, 并尽可能鉴定到最低的分类阶元。实验过程中发现龙头鱼存在网内进食现象^[14-15], 因此在分析过程中将未吞进胃中及无明显消化痕迹的饵料舍弃^[16]。

1.3 数据处理

统计胃含物中各饵料生物的质量百分比(W, %)、数量百分比(N, %)、出现频率(F, %), 以及空胃率和胃饱满指数的计算公式如下:

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

$$\text{数量百分比}(N, \%) = \frac{\text{饵料生物个数}}{\text{食物团生物总数}} \times 100\% \quad (2)$$

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

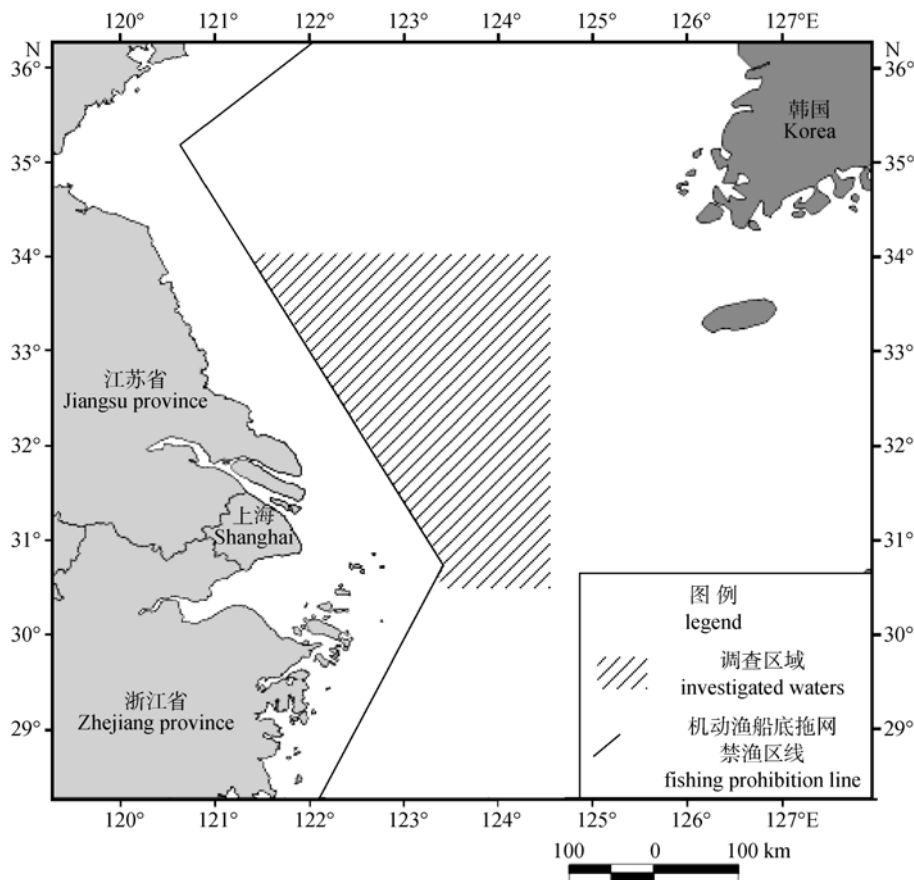


图 1 龙头鱼取样区域

Fig. 1 Sampling area of *Harpadon nehereus*

$$\text{饵料生物相对出现率(\%)} = \frac{\text{饵料生物出现频次}}{\text{各饵料生物出现频次总和}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{空胃率(\%)} = \frac{\text{空胃数}}{\text{总胃数}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{胃饱满指数(\%)} = \frac{\text{食物质量}}{\text{鱼体质量}} \times 100\% \quad (6)$$

为研究龙头鱼不同发育阶段食物组成的变化,将所有龙头鱼样品划分为 50~100 mm、100~150 mm、150~200 mm、200~250 mm、250~300 mm 这 5 个体长组,各体长组用于胃含物分析的样品数分别为 75、129、132、60、54 尾。

以 Shannon-Wiener 多样性指数 H' ^[17] 为指标,对各体长组的食物生态位宽度(或称生境宽度)进行分析。计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \times \ln P_i \quad (7)$$

式中: s 为饵料生物种数, P_i 为饵料生物在食物中所占的数量百分比(见公式 2)。

利用 Primer6.0 软件对各体长组食物组成进行聚类分析,所用指数为 Bray-Curtis 相似性系数。分析前,先将饵料的质量百分比作平方根变换,以便对稀有种给予一定程度的权重^[18]。

胃含物分析法计算营养级的公式为^[19]:

$$TL_i = 1 + \sum_{j=1}^n DC_{ij} TL_j \quad (8)$$

式中: TL_i 为捕食生物 i 的营养级; TL_j 为被捕食生物 j 的营养级; DC_{ij} 为被捕食生物 j 在捕食生物 i 食物中所占比例,本研究用饵料生物相对出现率表示(见公式 4)。计算使用的初始营养层次(绿色植物)营养级采用目前国际通用的营养级划分标准,即将第 1 营养层次的绿色植物定为 1 级;第 2 营养层次的植食者(初级消费者)定为 2 级;以植食者为食的肉食动物为第 3 营养层次(次级消费者),营养级定为 3 级;依次类推。基础饵料营养级参考 FishBase 中的 food item table^[20]。

2 结果与分析

2.1 摄食强度

东海区龙头鱼的空胃率以秋季最低,为 47.50%,其他 3 个季节的空胃率相对较高,均超过 70%。卡方检验显示,该区域的龙头鱼空胃率具有明显的季节变化($\chi^2=13.88$, $P<0.01$)。龙头鱼秋季的平均胃饱满指数最高,为 10.75%;冬季最低,仅为 2.91%,各季节的平均饱满指数存在显著性差异($P<0.05$)(图 2)。

龙头鱼不同体长组的空胃率($\chi^2=24.73$, $P<0.01$)及平均胃饱满指数($F=8.28$, $P<0.001$)之间存在显著的差异。250~300 mm 体长组的空胃率最低,为 40.00%,其平均胃饱满指数与其他体长组存在极显著差异($P<0.001$),而其他体长组之间无显著性差异($P>0.05$, 图 3)。

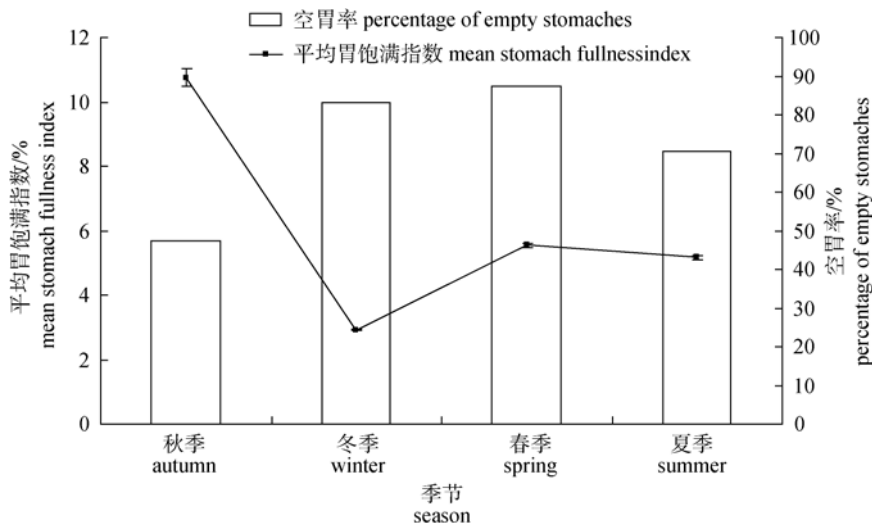


图 2 各季节龙头鱼的空胃率和胃饱满指数

Fig. 2 Percentage of empty stomachs and mean stomach fullness indices of *Harpadon nehereus* in different seasons

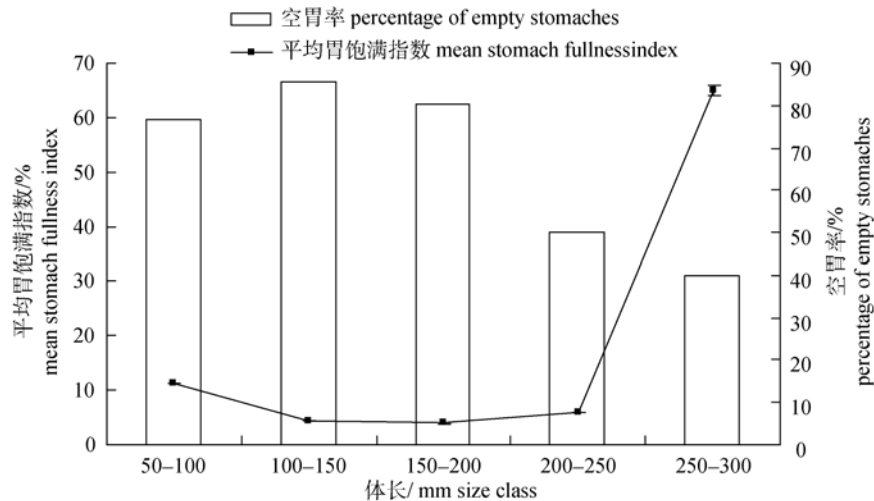


图 3 不同体长组龙头鱼的空胃率和平均胃饱满指数

Fig. 3 Percentage of empty stomachs and mean stomach fullness indices of *Harpadon nehereus* of different length groups

2.2 食物组成

东海区龙头鱼的饵料生物共 39 种, 主要包括鱼类、甲壳类、头足类和水母 4 大类别。其中, 鱼类是龙头鱼最主要的摄食类群, 质量百分比达 84.13%; 其次为甲壳类(14.83%)(表 1)。龙头鱼所有饵料生物中, 质量百分比在前 5 位的生物种类分别为龙头鱼(36.96%)、小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)(13.22%)、细条天竺鱼(*Apogonichthys lineatus*)(12.50%)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)(5.75%)、口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)(6.94%), 它们所占的质量百分比之和高达 75.38%。

龙头鱼所有食物组成中, 数量百分比和出现频次最高的物种为细条天竺鱼, 分别为 21.48%和 19.44%; 其次为龙头鱼, 数量百分比和出现频次分别为 16.78%和 18.06%。

甲壳类中, 口虾蛄所占质量百分比最高, 为 6.94%, 而数量百分比和出现频次最高的为东海红虾(*Plesionika izumiae*)。

头足类和水母在龙头鱼饵料生物中, 所占质量和数量百分比以及出现频次均处于较低水平(表 1)。

2.3 食物组成随体长的变化

对不同体长组的食物组成进行聚类分析, 可将龙头鱼按小于 250 mm 和大于 250 mm 体长分

为两大类, 这两类的相似性系数仅为 14.23%($P < 0.05$), 说明龙头鱼大小个体间的食性存在较大差别。当龙头鱼体长小于 250 mm 时, 其 50~100 mm 体长组与 100~250 mm 体长组的食物组成相似性系数为 31.49%($P < 0.05$), 说明两体长组间食物组成差别明显(图 4)。

分析龙头鱼的食物组成可知, 50~100 mm 和 250~300 mm 体长组龙头鱼的饵料生境宽度与其他体长组相比较小。其中, 50~100 mm 体长组的龙头鱼饵料主要为虾类(>90%); 100~150 mm、150~200 mm 和 200~250 mm 体长组中, 鱼类在胃含物中的质量百分比相对较高, 均超过 50%, 主要饵料鱼类分别为细条天竺鱼、小黄鱼和龙头鱼(图 5); 而 250~300 mm 体长组主要以龙头鱼为食(70.16%), 其饵料生境宽度在体长 250 mm 处开始明显变窄(表 2)。

2.4 食物组成的季节变化

龙头鱼不同季节的饵料组成有很大差异。春季, 龙头鱼食物组成以东海红虾、水母和滑脊等腕虾为主(质量百分比之和超过 70%), 其他各季节均以鱼类为主。其中, 秋季龙头鱼以细条天竺鱼、小黄鱼、龙头鱼为主要的摄食种类; 冬季以龙头鱼、发光鲷、鳀为主要饵料; 夏季以小黄鱼为主要饵料种类, 质量百分比超过 60%(表 3)。

表 1 东海区长江口外海龙头鱼食物组成
 Tab. 1 Diet composition of *Harpadon nehereus* over the East China Sea areas adjacent to Changjiang River Estuary

饵料种类 prey item	质量百分比/% weight percentage	数量百分比/% numerical percentage	出现频次/% frequency of occurrence
鱼类 Pisces	84.13	67.11	91.55
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	36.96	16.78	18.06
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	13.22	2.01	4.17
细条天竺鱼 <i>Apogonichthys lineatus</i>	12.50	21.48	19.44
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	5.75	+	1.39
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	1.92	1.34	2.78
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	1.79	10.07	16.67
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	1.70	+	+
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	1.36	+	1.39
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	1.23	+	1.39
康氏小公鱼 <i>Stolephorus commersoni</i>	1.06	+	+
竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	1.04	+	+
虹鲷 <i>Erisphex potti</i>	+	+	1.39
麦氏犀鲷 <i>Bregmaceros maccllellandi</i>	+	+	+
发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	+	+	+
赤鼻棱鳀 <i>Thrissa kammalensis</i>	+	+	+
蛇鲻属 <i>Saurida</i> sp.	+	+	1.39
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	+	+	1.39
鳄齿鱼 <i>Champsodon snyderi</i>	+	1.34	2.78
七星底灯鱼 <i>Benthosema pterotum</i>	+	+	1.39
不可辨认鱼类 unidentified pisces	2.77	4.70	9.61
甲壳类 Crustacea	14.83	29.53	50.72
虾类 Decapoda	7.35	26.17	43.78
大管鞭虾 <i>Solenocera melantho</i>	1.62	+	1.39
鹰爪虾 <i>Trachypenaeus curvirostris</i>	1.42	1.34	2.78
东海红虾 <i>Plesionika izumiae</i>	1.10	6.71	11.11
滑脊等腕虾 <i>Heterocarpoides levicarina</i>	+	2.68	4.17
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	+	3.36	5.56
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	+	2.01	4.17
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	+	1.34	2.78
中华管鞭虾 <i>Solenocera crassicornis</i>	+	1.34	1.39
脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i>	+	+	1.39
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	+	+	+
假长缝拟对虾 <i>Parapenaeus fissuroides</i>	+	+	+
戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalei</i>	+	+	+
凹管鞭虾 <i>Solenocera koelbeli</i>	+	+	1.39
不可辨认虾 unidentified decapoda	1.55	3.36	3.50
口足类 Stomatopoda	6.94	2.68	5.56
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	6.94	2.68	5.56
蟹类 Crabs	+	+	1.39
双斑蟳 <i>Charybdis bimaculata</i>	+	+	1.39
头足类 Cephalopoda	+	2.68	5.56
剑尖枪乌贼 <i>Loligo edulis</i>	+	1.34	2.78
多钩钩腕乌贼 <i>Abralia multihamata</i>	+	+	+
枪乌贼属 <i>Loligo</i> spp.	+	+	+
水母类 jellyfish	+	+	+
水母 jellyfish	+	+	+

注：“+”表示出现且所占比例小于 0.7%。

Note: “+” indicates that the percentage was lower than 0.7%.

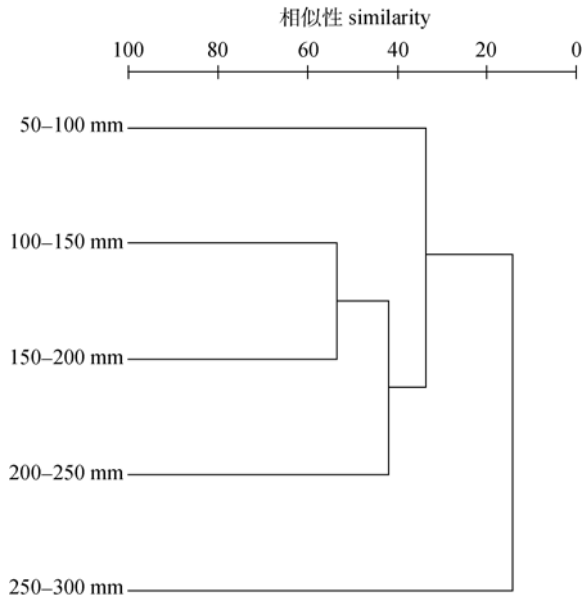


图 4 龙头鱼不同体长组食物组成的聚类分析
Fig. 4 Dendrogram showing clustering of dietary compositions by length groups of *Harpadon nehereus*

2.5 营养位置

根据龙头鱼胃含物组成, 结合公式(8)计算出龙头鱼的营养级为 3.8。

3 讨论

3.1 龙头鱼的摄食习性

研究表明, 东海区龙头鱼的食性较广, 饵料

生物达 30 多种, 其中鱼类质量百分比高达 84.13%; 龙头鱼质量百分比居首位, 为 36.96%; 排在前 4 位的饵料鱼类依次为龙头鱼、小黄鱼、细条天竺鱼、皮氏叫姑鱼(表 1), 此结果与林显鹏等^[12]结论存在较大不同, 推测是由于取样区域不同造成的。此外, 饵料生物数量百分比、出现频次最高的类群也均为鱼类, 该结论与林显鹏等^[12]近期的研究相一致, 即龙头鱼的主要捕食对象为鱼类, 且同类自食现象严重。龙头鱼口裂大、游泳速度慢、消化能力强, 这种特征决定了它的摄食习性以吞食为主, 且摄食范围相对较广。同时由于龙头鱼的集群性较好, 且个体间差异大, 这一生态特点使其易于产生自食现象。因此, 对于一个处在食物匮乏以及被过度开发的生态系统的物种来说, 龙头鱼的这种摄食策略是其长期自然选择的结果^[21]。

3.2 龙头鱼不同发育阶段的食性变化

本研究发现, 50~100 mm 体长组龙头鱼的饵料主要为虾类(>90%), 生境宽度为 1.48; 250~300 mm 体长组的饵料主要以龙头鱼为主(70.16%), 生境宽度为 1.04; 而其他体长组的饵料以多种鱼类为主, 3 个体长组间存在显著的差异($P < 0.05$ 表 2, 图 5)。不同体长组食物组成的聚类分析结果也表明, 在不同发育阶段, 龙头鱼的食性存在较大差异(图 4)。体长在 100 mm 和 250 mm 左右时可

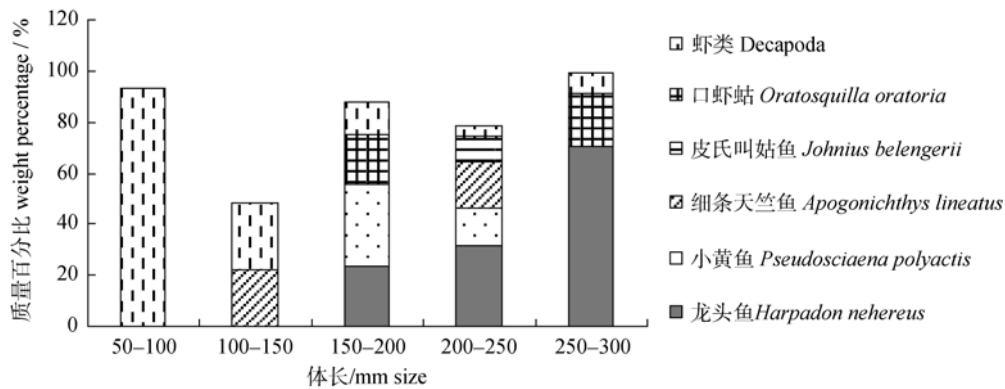


图 5 龙头鱼主要饵料种类质量百分比随体长的变化
Fig. 5 Change of weight percentage of major prey species with size classes of *Harpadon nehereus*

表 2 龙头鱼各体长组的饵料生境宽度
Tab. 2 Dietary breadth calculated for each size class of *Harpadon nehereus*

体长组/mm size class	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300
Shannon-Wiener 多样性指数 H'	1.48	2.00	2.58	2.48	1.04

表 3 龙头鱼各季节的主要饵料组成
Tab. 3 Seasonal changes of major prey species for *Harpadon nehereus*

饵料种类 prey species	秋季 autumn			冬季 winter			春季 spring			夏季 summer		
	W	N	F	W	N	F	W	N	F	W	N	F
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	40.45	21.90	28.95	24.19	6.25	10.00	10.58	5.00	5.26	+	+	+
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	11.00	+	5.26	+	+	+	+	+	+	62.44	12.50	20.00
细条天竺鱼 <i>Apogonichthys lineatus</i>	14.07	30.48	36.84	+	+	+	+	+	+	+	+	+
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i>	6.48	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	7.82	+	10.53	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	+	13.33	28.95	10.35	6.25	10.00	+	+	+	+	+	+
发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	+	+	+	13.44	6.25	10.00	+	+	+	+	+	+
东海红虾 <i>Plesionika izumiae</i>	+	+	+	+	+	+	29.94	45.00	36.84	+	+	+
滑脊等腕虾 <i>Heterocarpoides levicarina</i>	+	+	+	+	+	+	19.11	20.00	15.79	+	+	+
水母 jellyfish	+	+	+	+	+	+	21.87	5.00	5.26	+	+	+

注: W 为质量百分比(%), N 为数量百分比(%), F 为出现频率(%). “+”表示出现且所占比例小于 5%.

Note: W is weight percentage; N is quantity percentage; F is occurrence frequency. “+” indicates that the percentage was smaller than 5%.

能存在食性转化,并在体长为 250 mm 时表现为由广食性向狭食性转换,摄食选择性增强。张波等^[22]在研究渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级时也发现,龙头鱼存在明显的食性转化现象,但张波的研究中仅发现 1 次食性转换,推测原因可能是由于所取龙头鱼样本的体长范围(54~205 mm)较窄所致。关于鱼类不同发育阶段的食性转换现象,既有的很多研究表明,鱼类摄食器官(如上下颌、口裂和鳃耙等)的变化是导致食性随体长变化的主要因素之一^[23-24],随着鱼类的生长发育,体长逐渐增大,口器逐渐发育完善,摄食饵料生物的种类和个体大小也会发生变化^[25],这一现象符合“最佳摄食理论”,即捕食者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^[26]。这种食物转换现象,对于扩大鱼类种群的饵料基础,满足不同发育阶段的饵料需求,以及缓和它们对有限食物资源的竞争都是十分有利的^[27]。

3.3 龙头鱼摄食的季节变化

龙头鱼不同季节的摄食强度和食物组成变化较大。全年各季节空胃率较高,秋季摄食强度最高,春季次之,冬季最低;春季,龙头鱼饵料以虾类为主,其他季节均以鱼类为主(图 2,表 3)。张波等^[28]在研究黄海生态系统高营养层次生物群落时也发现,在黄海南部水域,龙头鱼在春季

属虾食性功能群,在秋季属鱼食性功能群。龙头鱼空胃率较高的原因,一是可能与其消化系统发达,消化能力强有关^[29];二是可能与龙头鱼自身的生理特点以及环境因素的变化有关。鱼类在产卵期和产卵前期,发育的性腺会占据一定的体腔空间,从而导致其摄食强度的减弱^[30]。冬季由于正在发育的性腺会占据一定的体腔空间,以及水温低造成鱼类新陈代谢速率降低等原因,使得冬季的摄食强度为全年最低。而秋季摄食强度最高,推测与能量储备有关。另外,龙头鱼食物组成的季节变化可能与海区中饵料生物的季节变动有关^[31]。

3.4 龙头鱼的营养生态位

特定种群所处的营养级按其实际同化的能源而确定,因此营养级表征了该种类在食物网中的地位 and 消费等级^[32]。将本研究计算的营养级与 20 世纪 80 年代中期韦晟等^[33]的结果比较发现,龙头鱼的营养级由 80 年代中期的 4.5 降至目前的 3.8。作者推测龙头鱼营养级降低的主要原因是由于近年来渔业资源的过度开发,造成营养结构衰退,进而使龙头鱼营养级降低。但是需要说明的一点是,由于本调查研究与 20 世纪 80 年代中期相比,在取样海域、季节等方面存在一定差异,因此龙头鱼营养级的下降,是属于渔业资源衰退造成的降低,还是由于取样等造成的误差,还有待进一步的探讨和研究。

参考文献:

- [1] 山田梅芳, 田川勝, 岸田周三, 等. 東シナ海. 黄海のさかな[M]. 长崎: 日本纸业印刷, 1986: 92-93.
- [2] 朱元鼎, 张春霖, 成庆泰, 等. 东海鱼类志[M]. 北京: 科学出版社, 1963.
- [3] 孙瑞林, 陈志海. 浙江的龙头鱼定置刺网渔业[J]. 海洋渔业, 1986, 8(5): 215-216
- [4] 农业部东海渔政局. 2005 ~ 2009 年度渔业资源定点调查报告[R]. 东海区渔业资源动态监测网年会材料(内部资料)(2005-2009).
- [5] 郁尧山, 陈卫民. 从小型经济鱼虾类的合理利用看近海渔业的振兴[J]. 海洋渔业, 1985, 7(6): 245-247, 253.
- [6] 陈惠群, 焦海峰, 竺俊全, 等. 龙头鱼的外形特征与消化系统结构[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2004, 17(4): 389-392.
- [7] 孙亮, 陈娜, 沈向红, 等. 龙头鱼甲醛本底含量及其影响因素的研究[J]. 中国卫生监督杂志, 2009(3): 254-257.
- [8] 陈新新. 龙头鱼鱼片加工工艺技术[J]. 海洋科学, 2000, 24(11): 10-12.
- [9] Bhat J V, Albuquerque M J. Micro-organisms associated with the "Bombay Duck" or Bombil (*Harpodon nehereus* Buch) [J]. Proc: Plant Sci, 1953, 38(3): 101-108.
- [10] Shankar T J, Sokhansanj S, Bandyopadhyay S, et al. Storage properties of low fat fish and rice flour coextrudates [J]. Food Bioproc Technol, 2008, 3: 481-490.
- [11] 林龙山. 东海区龙头鱼数量分布及其环境特征[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(1): 66-71.
- [12] 林显鹏, 朱增军, 李鹏飞. 东海区龙头鱼摄食习性的研究[J]. 海洋渔业, 2010(3): 65-74.
- [13] 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 12763.6-1991. 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, 1991.
- [14] 薛莹. 黄海中南部主要鱼种摄食生态和鱼类食物网研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- [15] 小坂昌也. キアンコウの食生活[J]. 東海大学海洋学部紀要, 1966, 1: 51-71.
- [16] Laurenson C H, Priede I G. The diet and trophic ecology of anglerfish *Lophius piscatorius* at the Shetland Island, UK[J]. J Mar Biol Assoc UK, 2005, 85: 419-424.
- [17] Krebs C J. Ecological methodology[M]. New York: Harper and Row, 1989.
- [18] 薛莹, 金显仕, 张波, 等. 黄海中南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.
- [19] Odum W E, Heald E J. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community[J]. Estuar Res, 1975(1): 265-286.
- [20] FAO. Fishbase food item table [B/OL]. [2010-10-29]. http://www.fishbase.org/manual/Fishbase/The_FOOD_ITEMS_Table.htm
- [21] Madurell T, Fanelli E, Cartes J E. Isotopic composition of carbon and nitrogen of suprabenthic fauna in the NW Balearic Islands (western Mediterranean) [J]. J Mar Syst, 2008, 71: 336-345.
- [22] 张波, 唐启升, 渤, 黄. 东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究[J]. 海洋科学进展, 2004, 22(4): 393-404.
- [23] Schmit R J, Holbrook S J. Ontogeny of prey selection by black surfperch *Embiotoca jaeksoni* (Pisces: Embiotocidae): the roles of fish morphology, foraging behaviour, and patch selection[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1984, 18: 225-239.
- [24] Luczkovich J J, Norton S F, Gilmore R G J. The influence of oral anatomy on prey selection during the ontogeny of two percoid fishes, *Lagodon rhomboides* and *Centropomus undecimalis*[J]. Environ Biol Fish, 1995, 44: 79-9.
- [25] Wootton R J. Ecology of teleost fishes[M]. London: Chapman & Hall, 1990: 33-41.
- [26] Gerking S D. Feeding ecology of fish[M]. San Diego, California: Academic Press, 1994.
- [27] Brooks J L, Dodson S I. Predation, body size, and competition of plankton[J]. Science, 1965, 150: 28-35.
- [28] 张波, 唐启升, 金显仕. 黄海生态系统高营养层次生物群落功能群及其主要种类[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1099-1111.
- [29] 陈惠群, 焦海峰, 竺俊全. 龙头鱼的外形特征与消化系统结构[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2004, 17(4): 389-392.
- [30] Olaso I, Rauschert M, Broyer C D. Trophic ecology of the family Arledidraconidae (Pisces: Osteichthyes) and its impact on the eastern Weddell Sea benthic system [J]. Mar Ecol Prog Ser, 2000, 194: 143-158.
- [31] Letoumeur Y, Galzin R, Harmelin-Vivien M. Temporal variations in the diet of the damselfish *Stegastes nigricans* (Lacepede) on a Reunion fringing reef[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1997, 217: 1-18.
- [32] 沈国英, 施并章. 海洋生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 233-234.
- [33] 韦晟, 姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究[J]. 海洋与湖沼, 1992, 23(2): 99-108.

Feeding ecology of *Harpadon nehereus* in areas adjacent to Changjiang River estuary

PAN Xuwei^{1,2}, CHENG Jiahua¹

1. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China;

2. College of Marine Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: *Harpadon nehereus*, a benthic dwelling fish distributing throughout the Indian Ocean and Western Pacific, plays an important role in marine ecosystems. Despite its abundance and importance to fisheries, little is known about the biology of this species. We evaluated ontogenetic and diet variation in the feeding ecology of *H. nehereus* in the areas adjacent to the Changjiang River Estuary. We collected a total of 450 individuals ranging in size from 64–280 mm standard length (SL) during monthly surveys in the south Yellow Sea and the north East China Sea between September 2009 and August 2010. Based on stomach content analysis, *H. nehereus* was a generalist. We identified 39 prey species, of which other fish were the most abundant, accounting for 84.13% of the total food by weight. At the species level, the primary prey were *H. nehereus*, *Pseudosciaena polyactis*, *Aponichthys lineatus*, *Johnius belengerii*, and *Oratosquilla oratoria*. The feeding intensity, as indicated by the percentage of empty stomachs and the mean stomach fullness index, varied significantly among seasons. Feeding activity was the highest in autumn and lowest in winter. There were significant seasonal differences in the diet of *H. nehereus*. Decapods were more important in spring, whereas fish were more important during other seasons. Both the feeding intensity and diet composition varied significantly among different size classes. There were two abrupt changes in diet composition at about 100 and 250 mm SL, the latter characterized by a switch from euryphagy to stenophagy. The trophic level of *Harpadon nehereus* was 3.80, suggesting that this species was a high level predator within the food web in the Yellow Sea and East China Sea.

Key words: *Harpadon nehereus*; the areas adjacent to the Changjiang River estuary; nutrition ecology; feeding intensity; seasonal variation; length variation

Corresponding author: CHENG Jiahua. E-mail: ziyuan@sh163.net