

东海蓝圆鲹的摄食习性

蒋日进^{1,2}, 徐汉祥^{1*}, 金海卫¹, 周永东¹, 贺舟挺¹

(1. 浙江省海洋水产研究所, 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室, 浙江 舟山 316100;
2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要:以2008年5月至2009年2月东海灯光围网采集到的叉长范围为52~276 mm的444尾蓝圆鲹为对象,对其胃含物进行分析,应用K-W非参数检验、卡方检验、聚类分析等方法,对不同季节和发育阶段条件下蓝圆鲹的食性进行了研究。结果表明,蓝圆鲹的摄食种类有80余种,浮游甲壳类(主要包括浮游甲壳类幼体、磷虾和桡足类等)和小型鱼类为其主要食物类群。若按相对重要性指数百分比(IRI%)排序,优势饵料种类最高的是七星底灯鱼(IRI%为40.44%),其次是口虾蛄 *Alima* 幼体(IRI%为14.24%)、太平洋磷虾(IRI%为11.26%)等。统计分析检验表明,蓝圆鲹的空胃率和平均胃饱满系数有显著的季节变化和叉长变化($P < 0.01$),摄食强度春季最高,秋季和夏季相对较高,而冬季最低;叉长50~99 mm和200~299 mm的蓝圆鲹的摄食强度较高,其余叉长的强度相对较低。食物组成也随季节和发育阶段的不同而有所变化,在春季主要以七星底灯鱼和口虾蛄 *Alima* 幼体为食,夏季主要以甲壳类幼体为食,秋季主要以七星底灯鱼和太平洋磷虾为主食,冬季食物匮乏,小型桡足类丽隆剑水蚤和糠虾类占其食物组成的很大比例。聚类分析的结果表明,蓝圆鲹叉长200 mm是其摄食取向的拐点,小于这个叉长的蓝圆鲹以浮游甲壳类为主,大于这个叉长的以捕食小型鱼类为主,随着叉长的增大,蓝圆鲹更多的以游泳动物为食。根据蓝圆鲹摄食饵料的类群变化,东海蓝圆鲹的营养级为3.55,属于浮游动物和游泳动物混合食性的肉食性鱼类。

关键词:蓝圆鲹;食性;营养级;东海

中图分类号:S 917.4

文献标志码:A

鱼类摄食为其自身的生长、繁殖提供了必要的营养和能量,其摄食生态学是鱼类生态学研究的基本内容之一,对鱼类摄食习性随季节和体长变化的研究是摄食生态学研究的重要组成部分^[1]。通过研究海洋鱼类的食物分配和竞争关系,不仅可以了解该水域鱼类群落结构种内和种间的相互作用关系,还可以了解种群资源的变动情况^[2]。蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi* Temminck et Schlegel)隶属鲈形目(Perciformes),鲹科(Carangidae),体纺锤形,稍侧扁,齿细,鳃耙较密具刺,胃呈Y型,系暖水性中上层鱼类,生长快,种群易于恢复,在中国沿海以及日本、朝鲜等周边海域均有分布。蓝圆鲹是我国非常重要的经济鱼类,东海和南海为其重要产

区,台湾海峡和浙江中北部近海资源尤为丰富。由于近海底层渔业资源的严重衰退,如今我国对蓝圆鲹等中上层经济鱼类的利用进一步加强,自1964年灯光围网作业实验成功之后,蓝圆鲹渔业资源得到快速开发利用,产量逐年上升^[3]。至今,国内外学者对蓝圆鲹生物学和渔业资源利用方面的研究较多^[4-8],对其摄食习性及营养级的研究相对较少,以往的调查主要集中在20世纪七八十年代的台湾海峡、浙江中北部等部分海域^[9-13],当时蓝圆鲹资源初步得到开发利用,其种群结构尚较稳定。然而,自20世纪80年代以来,随着渔业捕捞强度的不断加大,东海渔业资源已经严重衰退,一些重要的经济鱼类个体越来越小型化,性成熟时间提

收稿日期:2011-07-20 修回日期:2011-11-23

资助项目:国家科技支撑计划项目(2007BAD43B01,2007BAD43B03);国家海洋局海洋公益性行业科研专项(200905019,201005013);浙江省科技厅公共服务专项(2011F30001);海洋渔业科学与技术浙江省重中之重学科开放课题(20100201)资助

通讯作者:徐汉祥,E-mail:hxxu@vip.sina.com

前^[14], 鳀 (*Engraulis japonicus*) 等关键饵料生物的种群结构也发生了很大的变化^[15], 食物网中高级肉食性海洋鱼类的营养级下降, 食物链缩短^[16], 一些鱼类的食性已经发生了改变^[17-18], 蓝圆鲈的食性也可能发生了变化。为了研究东海鱼类食物网的结构及其变化, 分析中上层鱼类在食物网中的地位和作用, 本研究以 2008 年 5 月至 2009 年 2 月东海灯光围网采集到的蓝圆鲈为研究对象, 采用多元统计分析方法, 探讨其在不同季节和发育阶段的食物组成和摄食强度的变化情况, 了解其食物选择和转换等摄食生态变化规律, 旨在为东海海洋生态系统物质循环和能量流动的研究提供基础依据, 也可为进一步研究和掌握蓝圆鲈的种群资源动态提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查时间、地点及方法

所用蓝圆鲈取自 2008 年 5 月—2009 年 2 月“东海区主要渔场重要渔业资源的调查与评估”课题信息调查船的灯光围网渔获物, 取样时间分别为春季(5 月)、夏季(8 月)、秋季(11 月)、冬季(2 月), 采样范围为东海 26°00' ~ 33°00'N, 禁渔区线以东 ~ 127°00'E, 每网都随机取样, 最多取 30 尾。四个季度共分析样品 444 尾, 其中春季 62 尾, 夏季 225 尾, 秋季 50 尾, 冬季 107 尾。样品鱼的叉长范围 52 ~ 276 mm, 其中 100 ~ 149 mm 占 41.31%, 为最优势叉长, 200 ~ 249 mm 占 18.74%, 为次优势叉长。春季以优势叉长为 80 mm 的幼鱼和 260 mm 的两龄鱼为主, 夏季主要以优势叉长为 140 mm 的当龄鱼为主, 秋季以 260 mm 的成鱼为主, 也有部分体长较小的当龄鱼, 冬季以 200 和 260 mm 的成鱼为主(图 1)。

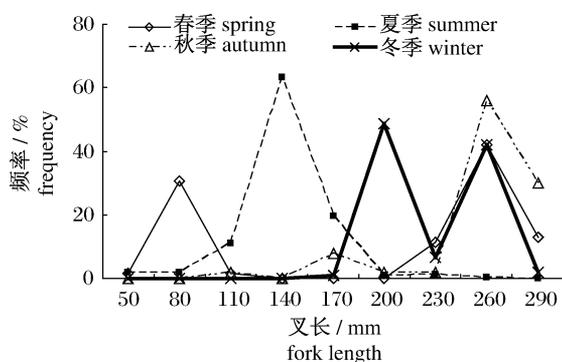


图 1 用于胃含物分析的蓝圆鲈的叉长分布的季节变化
Fig. 1 Seasonal change in fork length of *D. maruadsi*

1.2 室内胃含物分析

将留取的蓝圆鲈样品带回实验室内进行生物学测定, 分别测量其叉长 (mm)、体质量以及纯体质量 (g)。为了分析不同大小个体蓝圆鲈的摄食差异, 将所得到的蓝圆鲈样本以 50 mm 为组距进行叉长分组, 共分为 5 个叉长组: 50 ~ 99、100 ~ 149、150 ~ 199、200 ~ 249、250 ~ 299 mm。经生物学测定后, 摘取蓝圆鲈的胃, 然后将摘取的胃置于 5% 的甲醛溶液中固定保存。

胃含物内的饵料种类分析之前先用吸水纸吸去胃表面水分, 在电子天秤上称出整个胃重量, 然后剥离胃, 确定鱼的摄食等级, 再在电子天秤 (精度 0.001 g) 上称出去食物后的胃重量, 采用去皮法得出食物重量。胃含物的饵料种类分析原则上尽量鉴定到最小分类阶元。少数用肉眼可鉴别且消化程度较低的大的食物种类, 直接鉴定并计数和称重, 消化较为充分的胃含物可以根据剩余的耳石、眼珠、残肢等确定每种饵料的个数, 个体较小或消化较为充分的胃含物在体视显微镜 (> 40) 下鉴别饵料生物种类并分别计数, 对能称重的食物进行称重, 称重前将饵料表面的水分尽可能的吸干。饵料种类鉴定过程中同时记录食物的消化程度。

1.3 定量指标

用于评价饵料重要性的指标有饵料的重量百分比 ($W, \%$)、个数百分比 ($N, \%$)、出现频率 ($F, \%$)、出现频率百分比组成 ($FO_i, \%$)、相对重要性指数 (IRI) 和相对重要性指数百分比 ($\%IRI$), IRI 和 $\%IRI$ 较好的综合了前三个指数的优点^[19-20]; 摄食强度用空胃率和胃饱满系数来表示, 上述指数在国内外食性研究中使用较多^[21-25], 其计算公式如下:

$$\text{重量百分比}(W, \%) = \frac{\text{某饵料生物的实际重量}}{\text{胃含物总重量}} \times 100$$

$$\text{个数百分比}(N, \%) = \frac{\text{某饵料生物的个数}}{\text{胃含物饵料生物总个数}} \times 100$$

$$\text{出现频率}(F, \%) = \frac{\text{含有某饵料生物的实胃数}}{\text{总胃数}} \times 100$$

$$IRI = (N\% + W\%) \times F\% \times 10^4$$

$$\%IRI = \frac{IRI_i \times 100}{\sum_{i=1}^n IRI_i}$$

$$FO_i\% = \frac{F_i\% \times 100}{\sum_{i=1}^n F\%_i}$$

$$\text{胃饱满系数}(\%) = \frac{\text{食物团实际重量} \times 1000}{\text{纯体质量}}$$

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

营养级采用下列公式计算^[26]：

$$TL_i = 1 + \sum_{j=1}^n DC_{ij} TL_j$$

式中, TL_i 为生物 i 的营养级; TL_j 为生物 i 摄食的食物 j 的营养级。计算使用的初始营养层次(绿色植物)营养级数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,植食者为第 2 营养层次(初级消费者),营养级定为 2 级,以植食动物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。 DC_{ij} 为饵料种类 j 在生物 i 食物中所占的比例,本研究用食物成分的出现频率百分比组成表示。

1.4 数据分析

本研究应用多元统计分析方法研究蓝圆鲀的食物组成和摄食强度的变化。为了便于分析蓝圆鲀的食物组成随季节和叉长的变化,采用同食物资源种团(diet trophic guild)的研究方法对蓝圆鲀的食物归类,共分为六大类群,对饵料类群的相对重要性指数百分比(%IRI)进行比较。鱼类摄食强度和食物组成的数据大部分情况下都是非正态分布的^[17,27],因此,分别用 Kruskal-Wallis 非参

数秩次检验(nonparametric rank test)和卡方检验(chi-square test)分析平均胃饱满系数和空胃率随季节和叉长的变化。上述统计分析采用 SPSS 11.5 软件进行。

为了比较不同发育阶段食物组成的相似性,应用 Primer 5.0 软件进行聚类分析,所用的指数是 Bray-Curtis 相似性系数,其中指标间的距离采用欧式距离(Euclidean distance)^[28-29]。聚类分析时采用的分类阶元是“种”或“属”,并除去不可辨认的饵料以减少对计算结果的影响,相似性系数计算变量为 $F\%$,因为 $F\%$ 比能较好地解释鱼类的摄食行为和对饵料的喜好程度,分析前先将饵料的出现频率百分比作平方根变换,以便对稀有种给予一定程度的加权^[30-31]。

2 结果

2.1 食物组成

食物组成分析结果表明(表 1),蓝圆鲀主要摄食海洋生物中的鱼类、浮游幼体(主要是浮游甲壳类幼体)、磷虾类、桡足类、长尾类、头足类 6 种饵料类群,饵料生物种类数有 89 种(包括无法鉴定到种的饵料),其中桡足类最多有 23 种,其次是鱼类有 17 种,端足类有 10 种,虾类有 9 种。

表 1 东海蓝圆鲀的食物组成
Tab. 1 Diet compositions of *D. maruadsi* in the East China Sea

饵料种类 prey items	重量百分比 W%	个数百分比 N%	出现频率 F%	相对重要性指数百分比 IRI%
水母类 Medusa	0.01	0.09	0.35	+
水母水螅体 <i>Hydromedusae polyp</i>	0.01	0.09	0.35	+
多毛类 Polychaeta	0.03	0.07	0.35	+
拟突齿沙蚕 <i>Paraleonnates uschakovi</i>	0.03	0.07	0.35	+
头足类 Cephalopoda	5.69	2.76	5.24	1.50
多钩腕乌贼 <i>Abralia multihamata</i>	0.26	0.12	1.05	0.02
日本枪乌贼仔 <i>Loligo japonica</i>	5.10	2.50	3.50	1.47
双喙耳乌贼仔 <i>Sepioida birostrata</i>	0.22	0.09	0.35	0.01
耳乌贼科 <i>Sepiolidae spp.</i>	0.11	0.05	0.35	+
介形类 Ostracoda	+	0.09	1.05	+
不规则海萤 <i>Cypridinodes bairdi</i>	+	0.02	0.35	+
针刺真浮萤 <i>Euconchoecia aculeata</i>	+	0.02	0.35	+
细长真浮萤 <i>Euconchoecia elongata</i>	+	0.05	0.35	+
桡足类 Copepoda	0.12	20.15	43.01	4.24
精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	0.01	0.80	3.15	0.14
海洋真刺水蚤 <i>Euchaeta marina</i>	0.01	0.59	1.75	0.06

续表 1

饵料种类 prey items	重量百分比 W%	个数百分比 N%	出现频率 F%	相对重要性指数百分比 IRI%
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	+	0.24	1.75	0.02
粗新哲水蚤 <i>Neocalanus robustior</i>	+	0.02	0.35	+
普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i>	0.01	0.64	4.90	0.17
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	+	0.09	1.40	0.01
强真哲水蚤 <i>Eucalanus crassus</i>	+	0.07	0.70	+
亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>	0.02	1.08	6.64	0.40
哲水蚤属 <i>Calanus</i> sp.	0.04	4.01	1.40	0.31
丹氏厚壳水蚤 <i>Scolecithrix danae</i>	+	0.31	1.05	0.02
尖额唇角水蚤 <i>Labidocera acuta</i>	+	0.02	0.35	+
瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>	0.01	0.92	1.05	0.05
厚指平头水蚤 <i>Candacia pachydactyla</i>	+	0.02	0.35	+
截平头水蚤 <i>Candacia truncata</i>	0.02	1.86	2.45	0.25
锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i>	+	0.80	5.24	0.23
异尾宽水蚤 <i>Temora discaudata</i>	+	0.02	0.35	+
美丽大眼剑水蚤 <i>Corycaeus speciosus</i>	+	0.42	2.45	0.06
丽隆剑水蚤 <i>Oncaea venusta</i>	0.01	8.04	5.59	2.49
玛瑙叶剑水蚤 <i>Sapphirina opalina</i>	+	0.07	0.70	+
金叶剑水蚤 <i>Sapphirina metallina</i>	+	0.02	0.35	+
叶剑水蚤属 <i>Sapphirina</i> sp.	+	0.05	0.35	+
猛水蚤目 Harpacticoida gen sp.	+	0.02	0.35	+
不可辨认桡足类 unidentified Copepoda spp.	+	0.02	0.35	+
糠虾类 Mysidacea	0.38	2.12	5.24	0.20
漂浮小井伊糠虾 <i>Iiella pelagicus</i>	0.01	0.05	0.35	+
深凹小井伊糠虾 <i>Iiella ohshimai</i>	0.14	0.75	0.70	0.03
圆凹小井伊糠虾 <i>Iiella hibii</i>	0.10	0.57	1.75	0.06
长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>	+	0.02	0.35	+
不可辨认糠虾 unidentified Mysidacea spp.	0.13	0.73	2.10	0.10
端足类 Amphipoda	0.30	6.25	18.88	0.93
细足法蚴 <i>Themisto gracilipes</i>	0.04	1.04	5.24	0.31
孟加蛮蚴 <i>Lestrignus bengalensis</i>	0.05	1.32	6.29	0.48
大眼蛮蚴 <i>Lestrignus macrophthalmus</i>	0.02	0.42	2.10	0.05
裂颚蛮蚴 <i>Lestrignus schizogeneios</i>	+	0.12	1.75	0.01
蛮蚴属 <i>Lestrignus</i> sp.	0.11	3.02	0.35	0.06
克氏尖头蚴 <i>Oxycephalus clausi</i>	0.02	0.05	0.35	+
贪婪短腿狼蚴 <i>Brachyscelus rapax</i>	0.05	0.14	1.05	0.01
不可辨认蚴 unidentified Amphipoda spp.	+	0.09	1.05	0.01
外海新诺钩虾 <i>Synopia lutramarina</i>	+	0.02	0.35	+
拟钩虾属 <i>Gammaropsis</i> sp.	+	0.02	0.35	+
磷虾类 Euphausiacea	5.01	22.13	12.24	11.81
太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>	4.48	19.77	8.39	11.26
中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	0.52	2.31	3.50	0.55
不可辨认磷虾 unidentified Euphausiacea spp.	0.01	0.05	0.35	+
长尾类 Natantia	6.30	8.08	29.37	3.99
中国毛虾 <i>Acetes chinensis</i>	0.80	0.45	2.45	0.17
日本毛虾 <i>Acetes japonicus</i>	0.04	0.02	0.35	+

续表 1

饵料种类 prey items	重量百分比 W%	个数百分比 N%	出现频率 F%	相对重要性指数百分比 IRI%
中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i>	0.02	0.21	0.70	0.01
刷状莹虾 <i>Lucifer penicillifer</i>	0.05	0.61	1.40	0.05
莹虾属 <i>Lucifer</i> sp.	0.08	1.11	4.90	0.32
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	4.63	4.38	4.90	2.44
尖尾细螯虾 <i>Leptochela aculeocaudata</i>	0.15	0.14	0.70	0.01
蝉虾科 Scyllaridae gen sp.	0.32	0.07	0.35	0.01
不可辨认虾类 unidentified Decapoda spp.	0.20	1.08	13.64	0.97
歪尾类 Anomura	0.07	0.05	0.70	+
寄居蟹属 <i>Pagurus</i> sp.	0.07	0.05	0.70	+
短尾类 Brachyura	1.17	0.66	3.15	0.21
七刺栗壳蟹 <i>Arcania heptacantha</i>	0.01	0.02	0.35	+
馒头蟹属 <i>Calappa</i> sp.	0.28	0.02	0.35	0.01
不可辨认短尾类 unidentified Anomura spp.	0.88	0.61	2.45	0.20
毛颚类 Sagittoidea	+	0.05	0.35	+
箭虫属 <i>Sagitta</i> sp.	+	0.05	0.35	+
鱼类 Pisces	77.48	16.17	43.36	50.97
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	0.85	0.38	1.05	0.07
蛇鲻属 <i>Saurida</i> sp.	0.10	0.07	0.70	0.01
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	7.44	3.65	4.20	2.58
七星底灯鱼 <i>Benthoema pterotum</i>	41.15	7.45	15.03	40.44
海鳗 <i>Muraenosox bagio</i>	0.02	0.02	0.35	+
麦氏犀鲂 <i>Bregmaceros maclellandi</i>	3.59	0.21	1.40	0.29
香鲭 <i>Callionymus olidus</i>	0.21	0.09	0.70	0.01
油鲚 <i>Sphyraena pinguis</i>	0.07	0.02	0.35	+
发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	0.21	0.02	0.35	+
斑鳍天竺鲷 <i>Apogonichthys carinatus</i>	0.43	0.09	0.35	0.01
细条天竺鲷 <i>Apogonichthys lineatus</i>	4.91	0.54	2.80	0.84
矛尾虾虎鱼 <i>Acanthogobius hasta</i>	1.99	0.73	0.70	0.11
红狼牙虾虎鱼 <i>Odontamblyopus rubicundus</i>	0.03	0.02	0.35	+
鲈鲶属 <i>Auxis</i> sp.	0.77	0.64	0.70	0.05
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	8.80	1.34	4.55	2.55
舌鳎属 <i>Cynoglossus</i> sp.	0.11	0.02	0.35	+
不可辨认鱼类 unidentified Pisces	6.79	0.85	9.44	3.99
浮游幼体 Planktonic larvae	3.42	21.33	75.52	26.14
幼蛤 Lamellibranchia larva	+	0.02	0.35	+
口虾蛄 <i>Alima</i> 幼体 <i>Squilla</i> <i>alima</i> larva	1.77	9.38	23.08	14.24
长尾类溞状幼体 <i>Macrura zoea</i> larva	0.01	0.12	0.70	0.01
长尾类糠虾幼体 <i>Macrura mysis</i> larva	0.49	3.28	19.93	4.16
海螯虾幼体 <i>Palinuridae</i> larva	0.03	0.02	0.35	+
短尾类溞状幼体 <i>Brachyura zoea</i> larva	0.11	1.51	6.99	0.63
短尾类大眼幼体 <i>Brachyura megalopa</i> larva	0.98	4.74	21.33	6.75
鱼卵 fish eggs	0.02	2.26	2.80	0.35

注：“+”代表<0.01。

Notes: “+” indicates that the ratio was smaller than 0.01.

在所有饵料种类中出现频率较高的有口虾蛄 *Alima* 幼体 ($F\%$ 为 23.08%)、短尾类大眼幼体 ($F\%$ 为 21.33%)、长尾类糠虾幼体 ($F\%$ 为 19.93%)、七星底灯鱼 ($F\%$ 为 15.03%) 和太平洋磷虾 ($F\%$ 为 8.39%); 饵料个数最多的是太平洋磷虾 ($N\%$ 为 19.77%), 其余饵料个数均低于 10%; 根据更正重量计算所得的重量百分比排序依次是七星底灯鱼 ($W\%$ 为 41.15%)、带鱼的幼鱼 ($W\%$ 为 8.80%)、龙头鱼的幼鱼 ($W\%$ 为 7.44%)、日本枪乌贼的幼体 ($W\%$ 为 5.10%)、细条天竺鲷 ($W\%$ 为 4.91%)、细螯虾 ($W\%$ 为 4.63%) 和太平洋磷虾 ($W\%$ 为 4.48%), 口虾蛄 *Alima* 幼体和短尾类大眼幼体由于个体较小, 因此重量百分比比较低, 分别为 1.77% 和 0.98%; 按照相对重要性指数百分比 ($IRI\%$) 排序, 最高的是七星底灯鱼 ($IRI\%$ 为 40.44%), 其次是口虾蛄 *Alima* 幼体 ($IRI\%$ 为 14.24%)、太平洋磷虾 ($IRI\%$ 为 11.26%)、短尾类大眼幼体 ($IRI\%$ 为 6.75%)、龙头鱼的幼鱼 ($IRI\%$ 为 2.58%)、丽隆剑水蚤 ($IRI\%$ 为 2.49%) 和细螯虾 ($IRI\%$ 为 2.44%)。

鱼类是蓝圆鲀最重要的饵料类群, 它的种类共计 17 种、属, 占总种类的 19.10%, 其中大部分摄食的是七星底灯鱼, 其它的也主要是小型鱼类或者幼鱼, 其重量百分比 ($W\%$ 为 77.48%) 和相对重要性指数百分比 ($IRI\%$ 为 50.97%) 都最高, 个数百分比 ($N\%$ 为 16.17%) 和出现频率 ($F\%$ 为 43.36%) 也很高。浮游幼体是第二重要的饵料类群, 主要是口虾蛄 *Alima* 幼体和十足类的幼体, 其个数百分比很高 ($N\%$ 为 21.33%), 口虾蛄 *Alima* 幼体的出现频率在所有饵料中最高 ($F\%$ 为 23.08%)。磷虾类是第三重要的饵料类群, 仅发

现太平洋磷虾和中华假磷虾两种, 主要以前者为

2.2 食物组成随季节的变化

蓝圆鲀在春季摄食饵料生物共 17 种, 按照相对重要性指数百分比 ($IRI\%$) 排序, 依次是七星底灯鱼 ($\%IRI$ 为 59.03%)、龙头鱼的稚幼鱼 ($\%IRI$ 为 16.94%) 和口虾蛄 *Alima* 幼体 ($\%IRI$ 为 16.58%); 在夏季饵料生物的种类最多达 65 种, 常见饵料包括口虾蛄 *Alima* 幼体 ($\%IRI$ 为 23.73%)、短尾类大眼幼体 ($\%IRI$ 为 21.21%) 和长尾类糠虾幼体 ($\%IRI$ 为 13.43%) 等甲壳类幼体, 细螯虾 ($\%IRI$ 为 12.99%)、中华假磷虾 ($\%IRI$ 为 2.43%)、亚强真哲水蚤 ($\%IRI$ 为 1.61%)、细足法蛾 ($\%IRI$ 为 1.26%) 和一些不可辨认的鱼类比例也很高; 在秋季饵料种类较少共 16 种, 常见饵料是七星底灯鱼 ($\%IRI$ 为 47.39%) 和太平洋磷虾 ($\%IRI$ 为 34.73%), 带鱼 ($\%IRI$ 为 7.59%) 和日本枪乌贼 ($\%IRI$ 为 6.50%) 的仔稚幼体也占一定的比例, 桡足类和十足类的浮游幼体很少; 冬季的饵料匮乏, 桡足类的贡献最大, 饵料共 32 种, 甲壳类共 27 种, 其中桡足类 15 种, 主要以丽隆剑水蚤 ($\%IRI$ 为 38.93%) 和糠虾 ($\%IRI$ 为 19.18%) 为主, 鱼类及其卵和浮游甲壳类幼体仅占很少一部分。

按照蓝圆鲀饵料类群的划分方法, 从表 2 中可以看出, 蓝圆鲀的食物组成随季节的变化有所不同。根据重量百分比、个数百分比和出现频率排序, 在春季, 蓝圆鲀的饵料类群中鱼类的比例都是最高的, 其次是浮游幼体, 其它的饵料类群相对较少; 在夏季, 浮游幼体的个数和出现频率都最高, 长尾类和桡足类次之, 其它几种饵料类群出现频率也较高, 说明夏季饵料丰富, 可供蓝圆鲀摄食

表 2 蓝圆鲀主要饵料类群重量百分比、个数百分比和出现频率的季节变化
Tab. 2 Seasonal variation in the percentage weight, number and the occurrence frequency for major prey groups to the diets of *D. maruadsi*

饵料类群 prey group	春季 spring			夏季 summer			秋季 autumn			冬季 winter		
	W%	N%	F%	W%	N%	F%	W%	N%	F%	W%	N%	F%
鱼类 Pisces	95.39	43.61	76	57.44	8.17	17.28	78.53	23.25	81.82	42.21	0.54	7.32
浮游幼体 Planktonic larvae	3.74	37.06	22	9.23	34.79	68.52	0.01	0.09	3.03	8.76	10.17	31.71
桡足类 Copepoda	0.06	11.82	4	0.18	13.43	27.78	+	+	+	3.51	73.76	48.78
磷虾类 Mysidacea	0.15	1.28	10	3.87	10.22	8.64	8.68	65.17	39.39	0.60	0.27	2.44
长尾类 Natantia	0.10	0.96	12	20.95	17.22	38.89	1.83	2.33	33.33	20.91	2.01	17.07
其它饵料 others	0.56	5.27	14	8.34	16.17	23.46	10.95	9.16	27.27	24.01	13.25	7.32

注: “+”代表 <0.01 。

Notes: “+” indicates that the ratio was smaller than 0.01.

的种类较多;在秋季,蓝圆鲈主要摄食鱼类和磷虾类,鱼类的出现频率最高,而磷虾类的个数最多,桡足类和浮游幼体的数量都很少;在冬季,饵料匮乏,可供蓝圆鲈摄食的饵料主要是小型桡足类,浮游幼体和长尾类的出现频率也较高。

2.3 食物组成随叉长的变化

蓝圆鲈的食物组成随叉长变化有所不同,根据相对重要性指数百分比(图2),叉长50~99 mm的蓝圆鲈主要以鱼类(%IRI为39.09%)和磷虾类(%IRI为26.63%)为食,长尾类和桡足类(%IRI为11.33%)也占很大比例,摄食的饵料种类共16种,其中主要代表种类是太平洋磷虾(%IRI为26.63%)和鳀鱼仔鱼(%IRI为12.13%);叉长100~149 mm的蓝圆鲈主要摄食浮游幼体(%IRI为74.95%),摄食的饵料种类共59种,主要代表种类是口虾蛄 *Alima* 幼体(%IRI为29.03%)、短尾类大眼幼体(%IRI为25.35%)、长尾类糠虾幼体(%IRI为16.74%)等浮游甲壳类幼体;叉长150~199 mm时主要以桡足类(%IRI为34.84%)、鱼类(%IRI为31.46%)和长尾类(%IRI为27.18%)为食,摄食的饵料种类共40种,主要代表种类是七星底灯鱼(%IRI为27.33%)和细螯虾(20.36%);叉长200~249 mm时主要以鱼类(%IRI为77.95%)为食,摄食的饵料种类共31种,主要代表种类是七星底灯鱼(%IRI为66.19%)、太平洋磷虾(%IRI为8.01%)和口虾蛄 *Alima* 幼体(10.04%);当叉长范围250~299 mm时主要以鱼类(%IRI为69.66%)和磷虾类(%IRI为25.31%)为食,摄食的饵料种类共21种,主要代表种类是七星底灯鱼(%IRI为53.58%)、太平洋磷虾(%IRI为25.31%)、带鱼幼鱼(%IRI为6.19%)、细条天竺鲷(%IRI为6.20%)、龙头鱼(%IRI为4.19%)和日本枪乌贼(%IRI为3.91%)的幼体等游泳动物。

聚类分析将蓝圆鲈不同叉长的食物组成分为3组(图3),50~99 mm为一组;100~149 mm和150~199 mm为一组,200~249 mm和250~299 mm为一组。其中200~249 mm和250~299 mm的相似性最高为64.221%,50~99 mm和250~299 mm的相似性系数最低为23.379%。

2.4 摄食强度

蓝圆鲈的摄食强度季节变化明显,经检验分

析发现,其空胃率($X^2 = 81.042, P < 0.001$)和平均胃饱满系数($X^2 = 26.986, P < 0.001$)季节间差异极其显著。由图4可以看出,蓝圆鲈春季的平

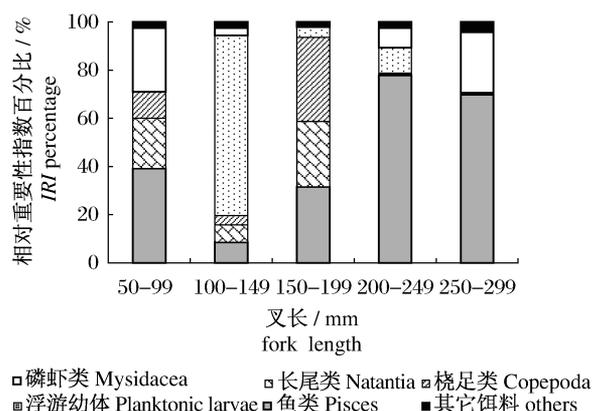


图2 蓝圆鲈的主要饵料类群的%IRI随叉长的变化

Fig. 2 Variations in the %IRI for major prey groups to the diet of each size class of *D. maruadsi*

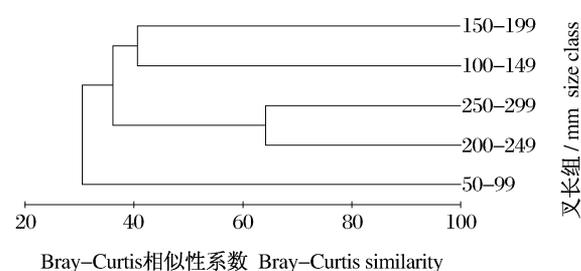


图3 蓝圆鲈各个叉长组食物组成的聚类分析图

Fig. 3 Dendrogram of the cluster analysis of the dietary composition of *D. maruadsi* in each size class

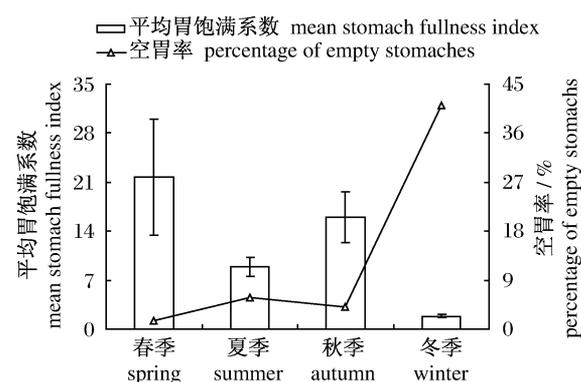


图4 蓝圆鲈各个季节的平均胃饱满度系数和空胃率(竖线表示标准误)

Fig. 4 Mean stomach fullness index and percentage of empty stomachs of *D. maruadsi* in each season (vertical bars indicate SE)

均胃饱满系数最高,秋季次之,冬季最低。而空胃率的变化趋势正好相反,是冬季最高,夏季次之,春季最低。全年的平均胃饱满度系数为 12.85‰,空胃率是 13.13%。平均胃饱满度系数与摄食强度成正比,因此,蓝圆鲈的摄食强度在春季最高,秋季和夏季次之,冬季最低。

不同发育阶段的蓝圆鲈的摄食强度也存在明显的变化(图 5),平均胃饱满系数随叉长的变化差异极显著($X^2 = 19.730, P < 0.01$),其空胃率差

异也极显著($X^2 = 76.706, P < 0.001$)。叉长 50 ~ 199 mm 的蓝圆鲈的空胃率都很低,而 200 ~ 299 mm 的蓝圆鲈的空胃率相对较高。叉长 50 ~ 99 mm 和 200 ~ 299 mm 的蓝圆鲈的平均胃饱满度系数相对较高(13.65‰ ~ 15.22‰),这两个发育阶段的摄食强度较高;叉长 100 ~ 199 mm 的蓝圆鲈的平均胃饱满度系数相对较低(9.48‰ ~ 10.10‰)。

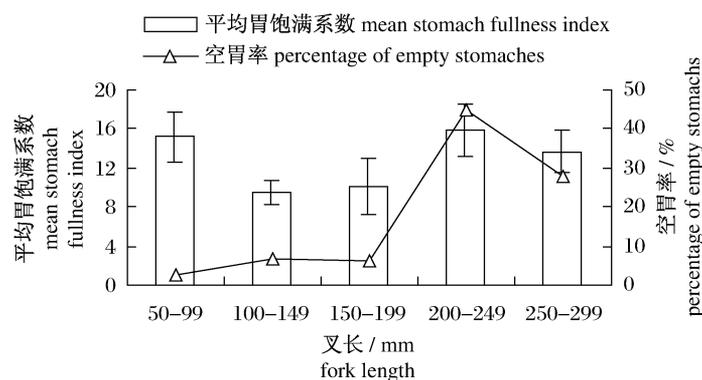


图 5 蓝圆鲈各个季节的平均胃饱满度系数和空胃率(竖线表示标准误)

Fig. 5 Mean stomach fullness index and percentage of empty stomachs of *D. maruadsi* for each size class (vertical bars indicate SE)

2.5 营养级

由营养级计算公式并对部分饵料种类的营养级进行修订^[26],计算得到东海蓝圆鲈的平均营养级为 3.55。

3 讨论

3.1 蓝圆鲈的摄食习性及营养级

研究结果表明,蓝圆鲈的饵料类群多达 14 类,除多毛类、水母类、头足类、箭虫和鱼类之外的饵料都属于甲壳类,包括浮游甲壳类幼体、磷虾类、桡足类、长尾类、歪尾类、糠虾类、端足类和介形类。浮游甲壳类的种类最多,共计 63 属、种,占总种类的 70.79%,其出现频率和个数百分比($N\%$ 为 78.6%)都最高,相对重要性指数百分比($IRI\%$ 为 47.18%)也很高,仅低于鱼类的相对重要性指数百分比($IRI\%$ 为 50.97%)。通过相对重要性指数百分比($IRI\%$)来衡量,优势饵料生物种类是七星底灯鱼、口虾蛄 *Alima* 幼体和太平洋磷虾,其它饵料生物的相对重要性指数都相对较低。由此可见,浮游甲壳类和小型鱼类是蓝圆鲈的主要食物,头足类、水母类、箭虫和多毛类等是

其次要食物,鱼卵、底栖的蟹类和双壳类等是其偶然性食物。在蓝圆鲈的胃中还发现了若干的圆筛藻、鱼鳞、无法消化的塑料杂质和泥沙等物质,由于浮游植物重量太小或杂质无营养等因素未能统计在食物种类组成分析中。

若按饵料生物的生态习性来划分,则可将蓝圆鲈的饵料生物划分为 3 种生态类群,即游泳生物(包括鱼类、头足类)、浮游动物(包括桡足类、糠虾类、水母类、介形类、端足类、磷虾类、毛颚类、浮游幼体和浮游的长尾类)和底栖动物(包括多毛类、歪尾类和短尾类),它们在食物中所占的重量百分比分别是 83.16%、15.57% 和 1.27%,个数百分比分别是 18.93%、80.29% 和 0.78%,出现频率百分比组成分别是 26.21%、71.74% 和 2.05%。因此,蓝圆鲈是以浮游动物和游泳动物为主的混合动物食性的鱼类,兼食少量底栖虾蟹类。按捕食方式和食物种类的多少可以将蓝圆鲈划分为追击型的广食性鱼类。

海洋生态系统中鱼类营养级可以为食物网能量流动研究提供必要的参考信息。参照张其永等^[9]所定的营养级之上加 1 级的方法,经计算东

海蓝圆鲀的平均营养级为 3.55, 高于台湾海峡的蓝圆鲀的平均营养级 2.8^[9,13], 一方面的原因是后者叉长范围 139 ~ 260 mm 小于本研究标本叉长, 营养级随个体的增大而提高; 另一方面, 是由于过度捕捞等人为因素的干预, 近几十年来我国近海生态系统的生物资源的结构组成发生很大变化, 高级肉食性鱼类的资源量降低, 捕食者的减少导致七星底灯鱼等低营养层次小型鱼类的生物量不断增加, 从而促使蓝圆鲀等中级肉食性鱼类捕食小型鱼类变得容易, 其营养级也随之有所提高。

3.2 蓝圆鲀的摄食强度

蓝圆鲀的摄食强度在春季最高, 秋季次之, 在夏季相对较低, 冬季最低; 不同发育阶段的蓝圆鲀有两个摄食强度的最高峰: 50 ~ 99 mm 的幼鱼和 200 ~ 299 mm 的繁殖个体。将季节和发育阶段两个因素综合考虑会发现: 蓝圆鲀的摄食强度在春季最高, 而春季以优势叉长为 80 mm 的幼鱼和 260 mm 的两龄鱼为主, 鱼类在个体发育早期为了快速成长以及在繁殖期为了性腺的发育摄食强度一般都较大; 叉长小于 200 mm 的蓝圆鲀的空胃率很低, 而大于 200 mm 的空胃率较高, 主要原因是前者主要采集于饵料丰富的春、夏季, 后者部分采集于食物匮乏的冬季(图 1)。经统计检验分析发现, 蓝圆鲀的空胃率和平均胃饱满系数随季节和发育阶段的变化都有显著的变化。有许多研究表明鱼类的空胃率与平均胃饱满系数的变化趋势相反^[32-35], 本研究中蓝圆鲀平均胃饱满系数的季节变化趋势与空胃率变化趋势相反, 而不同发育阶段的蓝圆鲀的平均胃饱满系数与空胃率的变化相关性较小, 这说明蓝圆鲀的摄食强度受饵料丰度的影响较大。蓝圆鲀夏季平均胃饱满度系数较低, 空胃率也很低, 考虑到其食物组成主要是易于消化的甲壳类幼体, 极可能是夏季水温较高, 蓝圆鲀的消化速率很快导致其平均胃饱满度系数的值较低; 秋季蓝圆鲀摄食强度的增高与其为过冬进行能量储备有很大的关系; 冬季饵料生物量和水温过低导致许多鱼类在越冬期很少摄食^[32-33], 蓝圆鲀也是如此。因此, 蓝圆鲀的摄食强度随季节和叉长的变化与其自身的生理特点以及海洋中饵料丰度等环境因素的变化有很大的关系。

综上所述, 可以将蓝圆鲀的周年摄食周期分为 4 个阶段: (1) 产卵期。春季, 叉长大于 200 mm 的两龄鱼随着性腺发育的加快, 需要大量的

营养物质补充, 才能促使性腺迅速发育成熟, 蓝圆鲀具有较高的生殖力和分批产卵的习性, 首次产完卵的亲鱼也要增强摄食, 性腺方能迅速恢复并再次产卵, 因此, 产卵群体的摄食强度相对较高, 而又长小于 100 mm 的幼鱼的新陈代谢很旺盛, 摄食强度也较大。(2) 索饵育肥期。夏季叉长 100 ~ 199 mm 的当龄鱼虽然摄食的饵料种类很多, 但是主要以浮游甲壳类为主, 而且新陈代谢快, 消化速率也很快。(3) 越冬前育肥期。秋季主要以叉长大于 200 mm 的生殖后群体为主, 为了越冬储存能量, 捕食能力很强, 因此摄食强度最大; (4) 越冬期。冬季随着水温的下降饵料丰度的降低, 蓝圆鲀的活动减少, 摄食强度也随之减弱。

3.3 蓝圆鲀的食物保障及其食性转换

东海区丰富的饵料资源为蓝圆鲀的种群繁衍和增长提供了稳定可靠的食物保障^[36-37], 其主要饵料浮游甲壳类在东海区大陆架分布广泛, 数量较大, 丰度均值为 28.84 个/m³, 资源十分丰富。有资料显示, 随着捕捞强度的不断增大, 我国近海的重要经济鱼类的资源下降且日趋小型化, 而小型鱼类的资源量呈增长的态势^[38], 其中七星底灯鱼在一年中出现时间最长, 而且生物量变化均匀, 有关资料估算东海区大陆架七星底灯鱼的四季平均资源量为 1 000 t, 其中资源量秋季最高达 1 800 t^[14]。目前, 七星底灯鱼是小黄鱼、带鱼和鳀鱼等其它经济鱼类的主要饵料生物, 它是东海生态系统中的关键物种, 在东海鱼类食物网中的地位举足轻重^[39-41]。

同往年的研究相比, 东海区蓝圆鲀的食物组成也发生了一定的变化。周婉霞等^[12]研究 1982—1983 年浙江近海蓝圆鲀的摄食食性, 认为其属浮游生物食性兼营捕食性鱼类, 主要食物是浮游甲壳类和鱼类。黄美珍^[13]分析了 1965—1989 年台湾海峡的蓝圆鲀的调查资料, 发现其主要摄食是桡足类、小型鱼类等。与本研究中蓝圆鲀的优势饵料是七星底灯鱼所不同, 20 世纪 80 年代浙江中北部近海蓝圆鲀的优势饵料七星底灯鱼所占的比例低于本研究的结果^[12], 1965—1989 年台湾海峡蓝圆鲀的所摄食的鱼类主要是犀鲑、鳀科幼鱼等^[13]。优势饵料的变化表明, 一些关键饵料生物的生物量和可获得性因时空变化而发生了改变, 林龙山^[17]在研究长江口的小黄鱼食性时

就发现,七星底灯鱼从原来没有的饵料种类变为目前最主要的鱼类饵料种类。这与许多学者在研究不同海域和年代的小黄鱼、带鱼等鱼类的食性差异时所得到的结论是相一致的^[32-33]。

东海蓝圆鲈的食性的季节性转换与饵料生物的季节波动是相吻合的。蓝圆鲈在春季主要以七星底灯鱼和口虾蛄 *Alima* 幼体为食,夏季主要以甲壳类幼体为主食,秋季主要以七星底灯鱼和太平洋磷虾为主食,冬季食物匮乏,小型桡足类、隆剑水蚤和糠虾类占其食物组成的很大比例。蓝圆鲈的食物组成中有三种优势饵料生物七星底灯鱼、口虾蛄 *Alima* 幼体和太平洋磷虾,其中口虾蛄 *Alima* 幼体在春夏季所占的比例较大,而秋季较少,这与浮游幼体大发生的时间有关,春夏季是大部分海洋生物的生殖季节,是其幼体的旺发期。而磷虾在东海的总丰度秋季最高,春季次之,冬季最低,磷虾类的集群性在东海区主要鱼类的渔场形成过程中有重要的意义^[42-43]。因此,蓝圆鲈食物组成的季节变化与海区中饵料生物的季节变化有着密切的联系。石大康^[44]在研究 1975—1978 年北部湾海域的蓝圆鲈时发现其周年均摄食,无明显的索饵季节,这可能与调查海区的不同有关,东海隶属暖温带,饵料类群的时空分布有明显的季节变化。

蓝圆鲈的饵料组成随着其叉长的增大而变化,食性类型从浮游动物食性的鱼类转变为混合动物食性,其摄食的饵料类群的转换十分明显。鱼类是各个叉长组的主要摄食种类,但所占的比例有所变化,50~199 mm 的蓝圆鲈饵料中鱼类的比例明显小于 200 mm 以上的个体。叉长 50~99 mm 时主要摄食小型浮游甲壳类,同时摄食部分稚幼鱼;100~149 mm 的当龄鱼的随着其摄食器官的进一步发育,几乎捕食大部分的浮游甲壳类和小型鱼类,饵料种类最多,浮游幼体的比重很大;200~299 mm 的鱼类以大型浮游甲壳类和鱼类为主食。聚类分析的结果表明,叉长 200 mm 是其摄食取向的拐点,小于这个叉长的蓝圆鲈以浮游甲壳类为主,大于这个叉长以捕食小型鱼类为主,随着叉长的增大,蓝圆鲈更多的以游泳动物为食。周婉霞等^[12]认为叉长小于 170 mm 的当龄鱼主要以桡足类和十足类等浮游甲壳类为主食,其次是七星底灯鱼等小型鱼类,大于 170 mm 的成鱼主要以鱼类为主,同时兼食大型浮游甲壳

类,这与本研究的结果基本一致,区别主要是本研究中幼鱼的主要饵料并非桡足类,而是磷虾和浮游动物幼体等。

值得注意的是,本文所分析的蓝圆鲈主要摄食浮游生物,浮游生物有昼夜垂直移动的习性^[45],同时,不同海区内饵料生物的组成也不同^[42]。因此,蓝圆鲈分布的昼夜变化和海区变化也是造成其食性变化的不可忽视的因素,相关分析将在以后作进一步的阐述。

参考文献:

- [1] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京:海洋出版社,2004:68.
- [2] 唐启升,苏纪兰. 中国海洋生态系统动力学研究. I. 关键科学问题与研究发展战略[M]. 北京:科学出版社,2000:66-72.
- [3] 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,2007:219.
- [4] 俞文钊,何大仁,郑玉水. 蓝圆鲈和鲈鱼趋光行为的研究[J]. 海洋学报,1981,3(1):149-156.
- [5] 张杰,张其永. 闽南-台湾浅滩渔场蓝圆鲈种群的年龄结构和生长特性[J]. 台湾海峡,1985,4(2):209-218.
- [6] 颜尤明,卢振彬,戴泉水. 闽中、闽东渔场蓝圆鲈生长特性的研究[J]. 动物学杂志,1987,22(5):6-11.
- [7] Zheng J, Walters C J. Population dynamics and stock assessment of Wanshan Spring *Decapterus maruadsi* (T. & S.) in South China Sea [J]. Fisheries Research, 1988,6(3):217-231.
- [8] 陈国宝,邱永松. 南海北部陆架区蓝圆鲈的生长、死亡及合理利用研究[J]. 台湾海峡,2003,22(4):457-464.
- [9] 张其永,林秋眠,林尤通,等. 闽南-台湾浅滩渔场鱼类食物网的研究[J]. 海洋学报,1981,3(2):275-290.
- [10] 黄良敏,张雅芝,潘佳佳,等. 厦门东海域鱼类食物网研究[J]. 台湾海峡,2008,27(1):64-73.
- [11] 张月平,陈丕茂. 南沙岛礁周围水域主要鱼类食物网[J]. 南方水产,2005,1(6):23-33.
- [12] 周婉霞,薄治礼. 浙江近海蓝圆鲈食性的研究[J]. 东海海洋,1986,4(2):65-74.
- [13] 黄美珍. 台湾海峡蓝圆鲈的食性研究[J]. 台湾海峡,1995,14(4):399-405.
- [14] 郑元甲,陈雪忠,程家骅,等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海:上海科学技术出版社,2003.

- [15] 唐明芝,连大军,卢岩,等. 东黄海区鳀鱼资源变动及渔业管理[J]. 水产科学,2002,21(2):44-45.
- [16] 张波. 中国近海食物网及鱼类营养动力学关键过程的初步研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2005.
- [17] 林龙山. 长江口近海小黄鱼食性及营养级分析[J]. 海洋渔业,2007,29(1):44-48.
- [18] 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.
- [19] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters [J]. Calif Dep Fish Game Fish Bull, 1971, 152: 1-105.
- [20] Rosecchi E, Nouaze Y. Comparaison de cinq indices alimentaires utilises dans analyse des contenus stomacaux [J]. Rev Trav Inst Pêches Marit, 1987, 49(324):111-123.
- [21] Cortes 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 Aquatic Science, 1997, 54: 726-738.
- [22] Vollen T, Thomas A O, Nilssen E M. Diet composition and feeding behaviour of juvenile Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in the Svalbard area [J]. Journal of Sea Research, 2004, 51: 251-259.
- [23] 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.
- [24] 薛莹, 金显仕. 鱼类食性和食物网研究综述[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(2): 76-87.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Williams A, Koslow J A, Terauds A, et al. Feeding ecology of five fishes from the mid-slope micronekton community off southern Tasmania [J]. Marine Biology, 2001, 139: 1177-1192.
- [28] Clarke K R, Gorley R N. Primer v 5: user Manual/Tutorial [M]. Plymouth: Primer-E, 2001.
- [29] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation [M]. Plymouth: Plymouth Marine Laboratories, 1994.
- [30] Green H W, Jksic F M. Food-niche relationships among sympatric predators: effects of level of prey identification [J]. Oikos, 1983, 40: 151-154.
- [31] Schafer L N, Platell M E, Valesinni F J, et al. Compositions between the influence of habitat type, season and body size on the dietary compositions of fish species in nearshore marine waters [J]. J Exp Mar Bio Ecol, 2002, 278: 67-92.
- [32] 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.
- [33] 林龙山, 张寒野, 李惠玉, 等. 东海带鱼食性的季节变化[J]. 中国海洋大学学报, 2006, 36(6): 932-936.
- [34] Crozier W W. Observation on the food and feeding of the anglerfish, *Lophius piscatorius*, in the northern Irish Sea [J]. Journal of Fish Biology, 1985, 27: 655-665.
- [35] 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): 3170-3125.
- [36] 王飞, 钱伟国, 田思泉. 东、黄海鲈鱼渔场与海洋环境关系的研究[J]. 渔业科学进展, 2009, 30(4): 64-71.
- [37] 陈亚瞿, 朱启琴, 陈清潮. 黄海南部和东海浮游动物的分布与鲈鱼渔场关系[J]. 水产学报, 1980, 4(4): 371-383.
- [38] 江胜峰, 程家骅. 海洋小型鱼类研究进展[J]. 海洋渔业, 2006, 28(6): 336-341.
- [39] 李建生, 胡芬, 李圣法, 等. 东海区七星底灯鱼数量分布及其与温盐度的关系[J]. 海洋渔业, 2006, 28(2): 105-110.
- [40] 于振海, 金显仕, 李显森. 黄海中南部主要鱼种的生态位分析[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(6): 1-8.
- [41] 欧阳利剑, 郭学武. 东、黄海主要鱼类 Q/B 值与种群摄食量研究[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 23-29.
- [42] 王荣, 陈亚瞿, 左涛, 等. 黄、东海春秋季节磷虾的数量分布及其与水文环境的关系[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊): 31-38.
- [43] 徐兆礼, 李春鞠. 东海浮游磷虾类的数量分布[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 373-378.
- [44] 石大康. 北部湾蓝圆鲈生物学的研究[J]. 动物学杂志, 1984, 4: 2-6.
- [45] 王克, 王荣, 高尚武. 东海浮游动物昼夜垂直移动的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(5): 534-540.

Feeding habits of blue mackerel scad *Decapterus maruadsi* Temminck et Schlegel in the East China Sea

JIANG Ri-jin^{1,2}, XU Han-xiang^{1*}, JIN Hai-wei¹, ZHOU Yong-dong¹, HE Zhou-ting¹

(1. Marine Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Key Laboratory for Technology Research on Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Zhejiang Province, Zhoushan 316100, China;

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

Abstract: Blue mackerel scad, *Decapterus maruadsi* Temminck et Schlegel, is an important pelagic species which is distributed in the coastal areas of China. In the present paper, a total of 444 specimens of blue mackerel scad at fork length (FL) of 52–276 mm were sampled from seasonal light-purse seine surveys in the East China Sea from May 2008 to February 2009. By analyzing the stomach contents of *Decapterus maruadsi*, more information was provided on the East China Sea fish feeding ecology. The results showed that more than 80 prey species were ingested by blue mackerel scad, while planktonic crustaceans and small-scale marine fish constituted the dominant prey groups. Among the crustaceans, planktonic larvae, euphausiacea and copepoda made an important contribution to the diet. At the species level, as indicated by the percentage index of relative importance, *Benthosema pterotum* accounting for 40.44% was the most dominant prey, followed by the *Squillidae* alima larva accounting for 14.24%, *Euphausia pacifica* accounting for 11.26%. The percentage of empty stomachs and mean stomach fullness index, which were analyzed by applying the chi-square test and Kruskal-Wallis test, varied significantly among different seasons and size classes. It indicated that the feeding intensity was the highest in spring and lower in winter. Meanwhile, the feeding intensity was the highest in size classes of 50–99 mm and 200–299 mm while the lowest in other size classes. The major diet composition was significantly different among different seasons and size classes. The *B. pterotum* and *Squillidae* alima larva were the dominant prey in spring, whereas the planktonic crustacean larvae in summer, *B. pterotum* and *Euphausia pacifica* in autumn, *Oncaea venusta* and mysidacea in winter. Cluster analysis employing Bray-Curtis similarity index revealed there was an abrupt change in diet composition at about 200 mm FL. The planktonic crustaceans were the dominant prey groups of fish smaller than 200 mm FL, whereas small-size marine fish were the dominant prey for fish greater than 200 mm FL. It indicated that the percentage of nekton significantly increased with the increase of fish size. Compared with the previous studies, the diet composition of *D. maruadsi* varied significantly, the proportion of *B. pterotum* decreased markedly. In addition, the average trophic level of *D. maruadsi* in the East China Sea was 3.55, which was carnivorous fish feeding on plankton and nekton.

Key words: *Decapterus maruadsi*; feeding habit; trophic level; the East China Sea

Corresponding author: XU Han-xiang. E-mail: hxxu@vip.sina.com