

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16354

黄海南部不同体长鳀对食物粒级的选择

左涛^{1,2,3}, 时永强^{1,2,3}, 彭亮¹, 王俊^{1,2,4}, 卞晓东^{1,3}

1. 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;
2. 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋生态与环境科学功能实验室, 山东 青岛 266237;
3. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 山东 青岛 266071;
4. 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 山东 青岛 266071

摘要: 基于2000年6月和2014年11月黄海南部采集的浮游动物和不同生长阶段鳀(*Engraulis japonicus*)的胃含物(饵料)组成分析资料, 研究鳀的饵料粒级分布与摄食粒级选择性及其与环境生物组成的关系, 旨在推进粒级在传统摄食生态分析中的应用。结果显示: 黄海南部鳀的饵料种类组成与环境生物种类组成有关; 各体长组中, 鳀的饵料粒级多样性与种类多样性分布趋势相似; 体长为110 mm左右的鳀的饵料种类多样性和粒级多样性水平最高; 鳀的饵料粒级均值随鱼体体长增加而增加; 体长约为30 mm和 ≥ 70 mm的鳀有明显的饵料粒级转换。根据上述结果, 认为在鳀胃含物分析过程中, 整合环境中饵料生物的相对组成和粒级大小, 可有效评价鱼类对饵料的粒级选择性。

关键词: 鳀; 体长; 食物粒级; 食物选择性

中图分类号: S93

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)04-0824-07

在海洋浮游生态系统中, 生物个体粒级大小是捕食过程的关键限制因子, 决定了生物被捕食的概率和可捕食的生物营养级范围^[1]。因此捕食过程表现为粒级选择过程。常用的鱼类摄食分析方法有胃含物分析、示踪物质(如脂肪酸、碳/氮)的跟踪等。其中, 胃食物种类分析的资料积累最为丰富。该法主要基于饵料种类的组成来开展的。而鱼类食物组成多元化, 且随发育、季节、地域的改变。特别是在早期补充阶段, 鱼类捕食个体对象小, 摄食的种类不易辨别。因此, 胃含物的种类分析在研究中存在一定的局限性。粒级是生物个体固有的形态参数, 易于获取。若在鱼类摄食分析中增加粒级参数的采集, 可以有效降低种类分析难度, 从而弥补传统摄食生态学研究方法的不足, 为定量鱼类与其他生物间的营养关系提供

有效的途径。

鳀(*Engraulis japonicus*)是黄海资源较为丰富的小型中上层鱼类。在黄海生态系统中, 鳀处于中间营养级, 分别对顶层鱼食性生物和浮游生物产生上行和下行调控作用, 是黄海具有蜂腰控制作用的种群, 是将物质和能量从浮游动物传递到高营养层次的枢纽, 因此它曾被列为中国海洋生态动力学(GLOBEC)研究计划的资源关键种群^[2]。诸多研究者采用不同的分析方法, 如传统胃含物分析法^[3-7], 碳氮同位素分析法^[8]以及脂肪酸分析法^[9]等, 就鳀的摄食生态开展了深入的研究, 已基本明确了鳀各个发育阶段的食性特征。相较而言, 鳀食性简单, 它从体长2.5 mm左右时开口摄食到成鱼时期, 一生大多数时间均以浮游动物为食。本研究即以鳀作为研究对象, 结合之前研究

收稿日期: 2016-11-28; 修订日期: 2017-01-19.

基金项目: 国家自然科学基金项目(40976103); 国家基金委-山东省联合基金项目(U1606404); 中国水产科学研究院黄海水产研究所基本科研业务费资助项目(20603022016020); 中国科学院海洋生态与环境科学重点实验室、青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室开放基金项目(KLMEEES201605).

作者简介: 左涛, 副研究员, 主要从事渔业生态方面研究. E-mail: zuotao@ysfri.ac.cn

基础,从粒级的角度,分析不同体长鳀胃含物内饵料的粒级组成,对比饵料和环境中的浮游动物种类组成,确定鳀摄食对象的粒级分布及其与鱼体自身体长的关系,确定不同体长的鳀在摄食过程中的粒级选择性,尝试将粒级分析应用于海洋鱼类摄食生态学中。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

主要数据来源于2000年6月山东半岛南岸(鳀产卵场)调查航次所获的不同发育阶段的鳀饵料分析数据^[4-5]。另外,将2014年11月5日在黄海南部鳀越冬场内采集到的逾500尾、体长介于32~52 mm鳀鱼样和浮游动物样作为补充,该批次样品是依托农业部“黄渤海渔业资源调查”专项、搭载渔业科学调查船“北斗”号采集到的,采集点地理位置坐标为31.5°N、125.5°E。所有样用5%福尔马林海水溶液固定保存。实验室内测量记录鱼的标准体长(mm),以2 mm为间隔将鱼样分为10个体长组,进行常规胃含物分析。鳀胃含物中的饵料生物多为残缺个体,所以各饵料生物种类的粒级大小取同期采集到的浮游动物样品中相应种类完整个体对应的体长。最后将单个胃内饵料生物计数转换成相对丰度(即百分比)。浮游动物样是分别于2000年6月和2014年11月在上述的鳀样采集站位同期获得的,方法是用网孔径160 μm的浮游生物网垂直由底到表拖曳采集,之后固定保存于5%福尔马林海水溶液中。实验室内进行浮游动物计数、体长测量。

1.2 数据处理

胃含物中饵料生物和环境中的浮游动物的种类多样性指数采用以e为底的Shannon-Wiener指数,公式如下:

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

粒级多样性指数按以下公式^[10]计算:

$$H_c = -\left(\frac{1}{\ln N}\right) \sum_{i=1}^m \left(\frac{c_i}{R}\right) P_i \ln P_i \quad (2)$$

式(1)和(2)中, P_i 为种类或粒级*i*在饵料或浮游动物中的个数百分比; m 为生物的种类数或粒级数;

N 为总粒级数; $\frac{c_i}{R}$ 为饵料*i*粒级的粒级宽度与总粒级宽度比值。饵料生物的粒级取其相应的体长(mm)。

各个鳀体长组的饵料平均体长的计算方法为,首先计算该体长组所有鳀样的饵料生物丰度×相应饵料生物个体体长,再将它们的和去除以组内饵料生物总丰度。根据饵料生物个体体长大小和相对丰度,计算各个鳀体长组的饵料丰度-粒级大小的线性对数回归方程(粒径谱, size spectrum)的斜率值。斜率值可以反映饵料组成中优势粒级组的分布。

各体长组鳀对饵料粒级选择性指数 ε_i (electivity index)计算公式^[11]为:

$$\varepsilon_i = -(ma_i - 1) \{(m - 2)a_i + 1\}^{-1} \quad (3)$$

ε_i 介于-1至1间,1表示对该饵料正向选择,-1则表示对该饵料负向选择(被动摄食),0表示随机选择。 a_i 的计算公式为:

$$a_i = \left(r_i \times n_i^{-1}\right) \left(\sum r_i \times n_i^{-1}\right)^{-1} \quad (4)$$

式中, r_i 和 n_i 分别是粒级*i*生物在饵料中和环境浮游动物样中所占的比例, m 为粒级数,式(1)~(4)中的*i*=1,⋯, m 。

2 结果与分析

2.1 饵料粒级多样性

从表1可得到,鳀饵料组成中均包含了同期环境水体中存在的浮游动物大多数类属;两个不同时期样品中,环境中和鳀胃含物中浮游动物种类组成差异较大。2014年11月鳀的饵料和环境样中,出现的浮游动物包含较多的偏暖水性种类,如波水蚤、锚哲水蚤等,种类数比2000年6月相应种类数多。饵料浮游动物的种类多样性指数或粒级多样性指数,都比同期环境中浮游动物的相应值高。

所有体长组中,110 mm体长组鳀的饵料生物种类多样性指数和粒级多样性指数值最高。饵料粒级多样性指数在10 mm至110 mm体长间,随个体增大而增大;而在110 mm至140 mm体长间,则鳀随个体增大而减小。种类多样性指数在<80 mm的体长组中波动起伏较多,在鳀体长>110 mm

表 1 黄海南部鳀胃含物和网采样中浮游动物种类组成

Tab. 1 Species composition in diet of anchovy and net zooplankton sampled in southern part of the Yellow Sea

浮游动物 zooplankton	2000 年 6 月 June, 2000		2014 年 11 月 November, 2014	
	饵料 prey items	浮游动物网样 net zooplankton sample	饵料 prey items	浮游动物网样 net zooplankton sample
枝角类 Cladocera				
三角溞属 <i>Pseudevadne</i>		+		
桡足类 Copepoda				
拟哲水蚤属 <i>Paracalanus</i>	+	+	+	+
纺锤水蚤属 <i>Acartia</i>	+	+		+
宽水蚤属 <i>Temora</i>				+
哲水蚤属 <i>Calanus</i>	+	+	+	+
波水蚤属 <i>Undinula</i>			+	+
丽哲水蚤属 <i>Calocalanus</i>				+
锚哲水蚤属 <i>Rhincalanus</i>			+	+
平头水蚤属 <i>Candacia</i>			+	+
胸刺水蚤属 <i>Centropages</i>	+	+	+	
基齿哲水蚤属 <i>Clasusocalanus</i>			+	+
真刺哲水蚤属 <i>Euchaeta</i>	+		+	+
真哲水蚤属 <i>Eucalanus</i>				+
唇角水蚤属 <i>Labidocera</i>	+			
厚壳水蚤属 <i>Scolecithrix</i>				+
长腹剑水蚤属 <i>Oithona</i>	+	+		+
大眼水蚤属 <i>Corycaeus</i>	+	+	+	+
隆水蚤属 <i>Oncaea</i>			+	+
叶水蚤属 <i>Sapphirina</i>			+	+
小毛猛水蚤属 <i>Microsetella</i>			+	+
桡足类未定种 unidentified copepod			+	
介形类 Ostracoda				
真浮萤属 <i>Euconchoecia</i>			+	+
磷虾属 <i>Euphausia</i>	+	+	+	+
假磷虾属 <i>Pseudeuphausia</i>	+		+	
端足类 Amphipoda				
法蛾属 <i>Themisto</i>	+	+	+	+
十足类 Decapoda	+	+		
毛颚类 Chaetognatha				
滨箭虫属 <i>Aidasagitta</i>	+	+	+	+
被囊类 Tunicata				
住囊虫属 <i>Oikopleura</i>		+		+
浮游幼体 Planktonic larva				
桡足幼体 Copepodite larva	+		+	+
桡足类无节幼体 Copepod nauplius larva	+	+	+	+
卵 eggs			+	
蚤状幼体 zoea larva	+		+	+
糠虾幼体 Mysidacea larva	+			+
种类多样性指数 species diversity index	2.306	1.253	1.194	0.4288
均匀度指数 evenness index	0.7164	0.4423	0.3665	0.1091
粒级多样性指数 size diversity index	0.7016	0.0669	0.1169	0.0145

注：“+”表示出现。

Note: “+” stands for occurring.

的个体中, 它随鳀个体增大而减小(图 1)。将种类和粒级多样性指数分别标准化后, 进行两者间的成组配对 *t*-test, 两者间的差异未达显著水平($P>0.05$)。

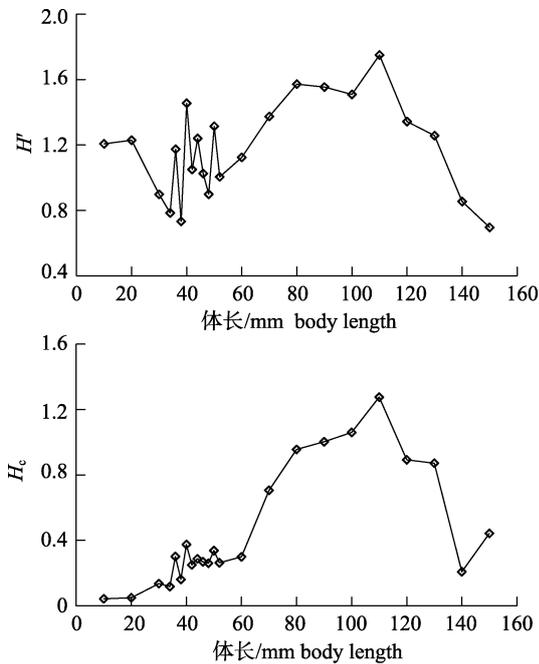


图 1 各体长组鳀的浮游动物饵料种类多样性指数(H')和粒级多样性指数(H_c)分布

Fig. 1 Shannon-Wiener species diversity (H') and size diversity (H_c) of diets of anchovy for each body size class

2.2 饵料粒级与体长的相对分布

个体越大, 鳀摄食的饵料粒级也越大。其中, ≥ 70 mm 体长的鳀的饵料生物粒级随体长增加而增加的幅度较大, 尤其以 90~120 mm 体长个体相应地增幅最大。体长 ≤ 90 mm 的鳀的饵料粒级随体长增幅较缓(图 2)。

体长 < 30 mm 的鳀摄食对象以较小的浮游生物(< 1 mm)为主; 体长为 40~80 mm 的鳀摄食对象中, 以体长 < 2 mm 的中型桡足类或其他浮游生物幼体居多; 体长 > 100 mm 的鳀则以较大型的甲壳类磷虾类、十足类等的幼体为其主要饵料来源。相应饵料生物体长占鳀体长百分比的波动范围介于 1.5%~6.2%, 统计平均值为 $(3.4 \pm 1.4)\%$; 100 mm 以下的鳀的饵料生物体长占鳀相应体长的百分比值较低($< 4\%$)。

饵料粒级-丰度回归分布的斜率值也是随鳀体长增大而增加; 鳀饵料粒级分布的斜率值在体长 100 mm 的个体内开始发生转换, 体长 < 100 mm 的

各相应值均为负数, 体长 ≥ 100 mm 的相应值为正值(图 3)。20 mm 体长组的鳀饵料粒级数太少, 无法构建方程, 故图 3 中未显示其值。2000 年 6 月和 2014 年 11 月浮游动物的粒级回归方程的斜率分别为 -2.428 和 -2.327 , 绝对值都远高于饵料粒级方程斜率值。

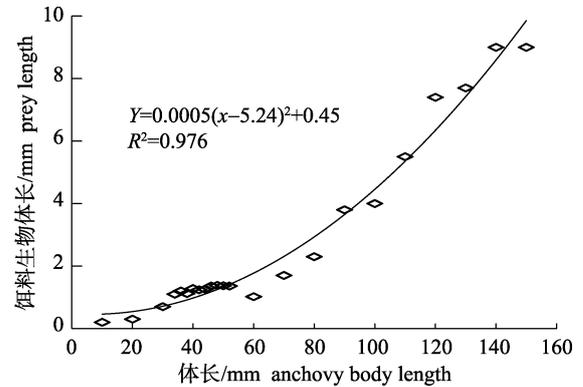


图 2 鳀各体长组的胃含物浮游动物平均体长分布
Fig. 2 Mean size of zooplankton in the diets along anchovy's body size class

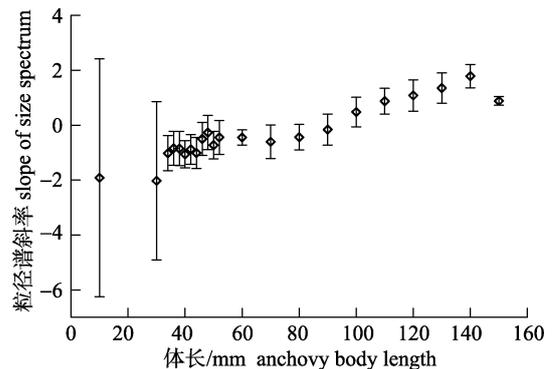


图 3 各体长组鳀的饵料粒级线性回归方程斜率
Fig. 3 Slope from linear regression analysis between preys size and abundance along the anchovy's body size class

2.3 饵料粒级选择性

根据饵料粒级选择性指数值, 体长 30 mm 以下的鳀个体对粒级 ≤ 1 mm 的饵料为正向选择; 体长介于 30~70 mm 鳀对于粒级在 3~5 mm 的饵料为正向选择, 其中 34 mm、36 mm 和 42 mm 体长组的鳀还分别对粒级介于 1~2 mm、1~3 mm 和 2~3 mm 的饵料具有不同程度的正向选择, 但它们对于粒级小于 1 mm 的饵料呈负向选择, 即被动选择; 体长在 70 mm 以上的鳀正向选择 5 mm 以上的粒级的饵料生物, 对于粒级小于 5 mm 的饵料生物为负向选择(表 2)。

表 2 各体长组鳀对饵料粒级选择性指数
Tab. 2 Prey size selectivity (electivity index) of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* of each size class

体长/mm body length	饵料粒级上限值/mm upper limit of prey size class					
	0.5	1	2	3	5	>5
10	1.00	-0.93	—	—	—	—
20	0.94	0.39	—	—	—	—
30	0.94	0.39	-0.68	—	—	—
34	-0.77	-0.99	0.20	-0.51	0.91	—
36	-0.93	-0.99	-0.12	-0.10	0.92	—
38	-0.88	-0.97	0.89	0.01	0.11	—
40	-0.89	-1.00	-0.60	-0.65	0.98	—
42	-0.89	-1.00	-0.42	-0.67	0.97	—
44	-0.19	-0.98	0.67	0.67	-0.27	—
46	-0.97	-1.00	-0.59	-0.67	0.98	—
48	-0.99	-1.00	-0.72	-0.90	0.99	—
50	-0.96	-1.00	-0.70	-0.80	0.99	—
52	-0.97	-1.00	-0.65	-0.76	0.99	—
60	—	-0.69	—	-0.90	0.99	—
70	—	-0.97	—	-1.00	-0.15	0.98
80	—	-0.99	—	-1.00	-0.53	0.99
90	—	-0.99	—	-1.00	-0.35	0.99
100	—	-1.00	—	-0.99	-0.19	0.98
110	—	-1.00	—	-0.99	-0.73	1.00
120	—	-1.00	—	-1.00	-0.96	1.00
130	—	-1.00	—	-1.00	-0.98	1.00
140	—	-1.00	—	-1.00	—	1.00
150	—	—	—	-1.00	—	1.00

注：“—”代表未出现该粒级饵料；表中正值数字用黑体表示。

Note: “—” stands for no prey items of the size class occurred. Positive selectivity values are showed in bold style.

3 讨论

鱼类饵料生物种类组成极易受周围环境的影响，是由栖息海域内浮游生物组成所决定的。鳀的饵料种类组成具有明显的区域性差异和季节变化^[6-7, 12-14]。本研究中，鳀样本是于两个不同时期、水域采集的，且它们体长分布范围也不相同。从表 1 中可以看到，鳀饵料生物种类组成基本反映了同期水域内大部分的浮游动物种类组成。因此，在分析鱼类饵料生物组成过程中，有必要分析同期水环境中生物的相对组成，探讨饵料生物可获得的难易性，及捕食者对被捕食者是否具有主动选择性。

海洋浮游生态系统中，捕食者与被捕食者之

间的粒级关系是相对稳定的，被捕食者的个体体长一般不超过捕食者个体大小的 7%^[16]。本文结果中显示，饵料体长介于鳀体长的 1.5%~6.2%。受不同海洋生态系统的种类组成差异影响，鱼类摄食的种类带有不确定性。基于传统饵料种类分析来定义鳀饵料选择性和营养转换存在着不确定性。已有的报道中，关于鱼类营养级定义中，往往建立在对饵料种类营养级人为赋值的基础上^[3, 15]。粒级参数作为生物体的形态参数，比较容易获取，且可以实现不同海区的统一和标准化。在鱼类饵料分析过程中，加入环境中饵料粒级参数，可以有效地弥补单纯种类分析所带来的不足。图 1 和图 2 即清晰地反映了鳀饵料粒级大小和多样性随鳀个体体长变化的规律，鳀饵料组成的变化在粒级水平得以很好的体现。表 1 中饵料生物种类水平多样性指数或粒级多样性指数，均比环境中浮游动物的相应值高，可能的原因是，自然环境中，饵料生物的密度往往远高于鱼胃内相应的值，特别是小型生物个体。环境中浮游动物粒级-丰度回归方程的低斜率值(2.2)，显示了环境中小型浮游动物个体具有丰度优势。环境中生物丰度在粒级间和种类中分布不均匀，从而导致环境中浮游生物多样性指数较低。

鳀摄食具有选择性，特别在发育后期倾向于从环境中捕食更大的饵料生物^[17]，而对小型饵料生物并没有表现明显选择性^[18]。如在日本海南部体长在 4.1~8 mm 鳀幼鱼中，其饵料大小上限值在鳀体长达到 4.1~5.6 mm 时出现明显的提高，但下限值变化并不明显^[19]。但随鳀个体增大，大型饵料在其食物中所占的比例逐渐上升，小型饵料的比例逐渐下降^[5]。图 2 显示，鳀摄食的饵料个体的平均体长逐渐增大。表 2 中的结果也证实，随体长增加，鳀表现了对小粒级饵料生物的负向选择、及对更大粒级的饵料生物的正向选择。如图 1 所示，鳀从开口至体长达到 110 mm 左右时，其饵料的粒级多样性是逐渐增加的，之后随体长增加而降低。一般认为，饵料多样性水平越高，其营养生态位越宽，即饵料来源越多。中间体长大小的鳀个体在开始主动捕食大粒级饵料生物过程中，不排除随机或被动摄取小粒级生物个体，这可能

是它们的饵料多样性水平较高的原因所在。但随着个体继续增大, 鲢摄食主动性和粒级选择性增加, 小型饵料生物可能被其主动摒弃, 或者因大个体的消化能力加强, 小粒级饵料生物在胃内停留时间短、不易被分辨出, 故而观察到的大个体鲢的饵料多样性降低。

鲢对饵料食物粒级具有选择性, 特别是体长约为 30 mm 和 70 mm 的鲢存在着饵料粒级的明显转换(表 2)。孟田湘^[5]认为, 黄海中南部鲢饵料转换大体发生在鲢体长 20 mm 左右和 90 mm 左右。Lindsay 等^[20]利用同位素分析的结果与本文相似, 即鲢的营养级在体长范围从 14 mm 至 30 mm 间、30 mm 至 80 mm 间有较大幅度的提升。

本研究在已报道的鲢胃含物分析^[4-5]的数据基础上, 补充了同期环境中食物中饵料生物粒级相关资料, 尝试地开展了鲢不同生长阶段对饵料生物粒级的选择性研究。与之前种类分析结果^[4-5]比较分析, 我们可以看到, 本研究将饵料粒级参数加入到种类分析数据中, 可以更为清楚地数值化鲢的食物选择性和转换过程。但是, 若要更为有效和准确地定量鲢摄食对象的粒级特征, 还需要采集不同区域不同时期不同发育阶段的鲢样品进行系统的分析。此外, 在海洋生态系统中, 很多鱼类变水层分布、其食物来源变化大, 食性较鲢更为复杂, 如何有效地开展它们的饵料粒级分析, 还需要进一步地探讨相关的理论和方法。

参考文献:

- [1] Lundvall D, Svanbäck R, Persson L, et al. Size-dependent predation in piscivores: interactions between predator foraging and prey avoidance abilities[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1999, 56(7): 1285–1292.
- [2] Tang Q S, Su J L, Sun S, et al. A study of marine ecosystem dynamics in the coastal ocean of China[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(12): 1288–1299. [唐启升, 苏纪兰, 孙松, 等. 中国近海生态系统动力学研究进展[J]. *地球科学进展*, 2005, 20(12): 1288–1299.]
- [3] Yang J M. A study on food and trophic levels of Bobai 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.]
- [4] Meng T X. Studies on the feeding of anchovy (*Engraulis japonicus*) post larva in the spawning ground in the Southern waters of Shandong peninsula[J]. *Marine Fisheries Research*, 2001, 22(2): 21–25. [孟田湘. 山东半岛南部鲢鱼产卵场鲢鱼仔、稚鱼摄食的研究[J]. *海洋水产研究*, 2001, 22(2): 21–25.]
- [5] Meng T X. Studies on the feeding of anchovy (*Engraulis japonicu*) at different life stages on zooplankton in the Middle and Southern Waters of the Yellow Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 2003, 24(3): 1–9. [孟田湘. 黄海中南部鲢鱼各发育阶段对浮游动物的摄食[J]. *海洋水产研究*, 2003, 24(3): 1–9.]
- [6] Zhang B, Jin X S. Seasonal variations of the functional groups of fish community and their consumption of zooplankton in the Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(4): 548–558. [张波, 金显仕. 黄海鱼类功能群及其对浮游动物捕食的季节变化[J]. *水产学报*, 2010, 34(4): 548–558.]
- [7] Jiang R J, Li P F, Liu Z J, et al. Seasonal variation in feeding habits of *Engraulis japonicas*[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2015, 34(5): 439–443. [蒋日进, 李鹏飞, 刘志坚, 等. 鲢鱼摄食习性的季节变化[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2015, 34(5): 439–443.]
- [8] Guo X P, Li Z Y, Jin X S, et al. Feeding habit study of Anchovy (*Engraulis japonicus*) in the central and southern part of the Huanghai Sea with stable isotope technique[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(2): 98–104. [郭旭鹏, 李忠义, 金显仕, 等. 采用碳氮稳定同位素技术对黄海中南部鲢鱼食性的研究[J]. *海洋学报*, 2007, 29(2): 98–104.]
- [9] Wan R, Wu Y, Huang L, et al. Fatty acids and stable isotopes of a marine ecosystem: Study on the Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) food web in the Yellow Sea[J]. *Deep-Sea Res PT II*, 2010, 57(11-12): 1047–1057.
- [10] Ruiz J. The measurement of size diversity in the pelagic ecosystem[J]. *Sci Mar*, 1994, 58(1–2): 103–107.
- [11] Qin J G, Hillier T. Live food and feeding ecology of larval snapper (*Pagrus auratus*)[C]// McKinnon D, Rimmer M, Kolkovski S(eds). *Hatchery Feeds: Proceedings of a Workshop on Hatchery Feeds*, Cairns, Australia: The Fisheries Research Development Corporation, 2000: 63–68.
- [12] Deng J Y, Meng T X, Ren S M. Food webs of fishes in Bohai Sea [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1986, 6(4): 356–364. [邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究[J]. *生态学报*, 1986, 6(4): 356–364.]
- [13] Park K J, Cha S S. Food organisms of post larvae of Japanese Anchovy (*Engraulis japonica*) in Kwangyang Bay[J]. *J Korean Fish Soc*, 1995, 28(3): 247–252.
- [14] Tanaka H, Takasuka A, Aoki I, et al. Geographical variations

- in the trophic ecology of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, inferred from carbon and nitrogen stable isotope ratios[J]. *Mar Biol*, 2008, 154(3): 557–568.
- [15] Zhang B, Tang Q, Jin X. Decadal-scale variations of trophic levels at high trophic levels in the Yellow Sea and the Bohai Sea ecosystem[J]. *J Mar Syst*, 2007, 67(3–4): 304–311.
- [16] Sheldon R W, Sutcliffe Jr W H, Paranjape M A. Structure of pelagic food chain and relationship between plankton and fish production[J]. *J Fish Res Board Can*, 1977, 34(12): 2344–2353.
- [17] Islam M S, Tanaka M. Diet and prey selection in larval and juvenile Japanese anchovy *Engraulis japonicus*, in Ariake Bay, Japan[J]. *Aquat Ecol*, 2009, 43(2): 549–558.
- [18] Yasue N, Doiuchi R, Yoshimoto Y, et al. Diet of late larval Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in the Kii Channel, Japan[J]. *Fish Sci*, 2010, 76(1): 63–73.
- [19] Hirakawa K, Goto T, Hirai M. Diet composition and prey size of larval anchovy, *Engraulis japonicus*, in Toyama Bay, southern Japan Sea[J]. *Bull Jpn Sea Natl Fish Res Inst*, 1997 (47): 67–78.
- [20] Lindsay D J, Minagawa M, Mitani I, et al. Trophic shift in the Japanese anchovy *Engraulis japonicus* in its early life history stages as detected by stable isotope ratios in Sagami Bay, central Japan[J]. *Fish Sci*, 1998, 64(3): 403–410.

Prey size selectivity in relation to the body size of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) in the southern part of the Yellow Sea

ZUO Tao^{1,2,3}, SHI Yongqiang^{1,2,3}, PENG Liang¹, WANG Jun^{1,2,4}, BIAN Xiaodong^{1,3}

1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. Laboratory for Marine Ecology and Environmental Science, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China;
3. Key Laboratory for Developmental Utilization of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture of China, Qingdao 266071, China;
4. Key Laboratory for Fishery Resources and Eco-Environment of Shandong Province, Qingdao 266071, China

Abstract: The Japanese anchovy *Engraulis japonicus* is a dominant species in the food web of the Yellow Sea, China. It is not only a small pelagic zooplankton feeder, but also the prey for over 30 important higher trophic level species. Its population plays a crucial role as wasp-waist control functional group in the marine ecosystem in the Yellow Sea. In traditional ecological research, the diets of the anchovy were determined based on species analysis of the gut content or stable isotope, fatty acid analysis. In this study, the application of particle size in the food analysis of fishes was advanced by analyzing the prey size compositions of anchovy in relation to the fish species body size. Data for species and size classification of prey in the anchovy gut content were collected, and zooplankton sorting was performed between June 2000 and November 2014 in the southern part of the Yellow Sea. The anchovy body size (standard length) ranged from 10 mm to 150 mm. Results showed that the species composition of anchovy diet was mostly determined by the environmental living conditions. Most zooplankton species in the diets of anchovy could be found in the environmental waters. The species and size diversity of diets varied similarly along with the anchovy body size. Both diversity indices of species and particle size had the highest values at the anchovy body size class of 110 mm. The mean size of prey particles increased gradually with anchovy body size. Larger anchovy tended to prey on relatively bigger items. According to the prey selectivity, three prey size shifts were found for the anchovy with body size: ≤ 30 mm, 30–70 mm, and ≥ 70 mm. Thus, integrating particle size into anchovy prey analysis could be useful for the evaluation of feeding selectivity in the fish feeding ecology analysis.

Key words: Japanese anchovy; body size; prey size; prey selectivity

Corresponding author: ZUO Tao. E-mail: zuotao@ysfri.ac.cn