

文章编号:1000-0615(2005)02-0178-10

南黄海三种石首鱼类的食性

薛莹^{1,2}, 金显仕¹, 张波¹, 梁振林²

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所,农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室,山东青岛 266071;
2. 中国海洋大学水产学院,山东青岛 266003)

摘要:根据2000-2002年秋季和冬季在南黄海进行的定点底拖网调查,利用多元统计分析方法,研究了黑鳃梅童(*Collichthys niveatus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)和小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)的食物组成及其差异,摄食随海区、季节和体长的变化,以及3种石首鱼类摄食器官的形态差异对摄食的影响。结果表明:(1)3种鱼的优势饵料生物各不相同,食物组成存在显著差异;(2)3种鱼的食物组成均随海区和季节的不同而有显著的差异;(3)3种鱼的食物组成和饵料多样性都有明显体长变化,黑鳃梅童和皮氏叫姑鱼的饵料多样性随体长的增大而升高,小黄鱼则相反;(4)黑鳃梅童和小黄鱼种内不同体长间的食物重叠指数较高,而皮氏叫姑鱼则较低,3种鱼的种间食物重叠指数位于0.50~0.56;(5)主成分分析(PCA)表明,黑鳃梅童和小黄鱼摄食器官的形态特征与皮氏叫姑鱼存在一定的差异。

关键词:石首鱼类;食物组成;食物重叠;摄食器官;南黄海

中图分类号:S931.1

文献标识码:A

Feeding habits of three sciaenid fishes in the southern Yellow Sea

XUE Ying^{1,2}, JIN Xian-shi¹, ZHANG Bo¹, LIANG Zhen-lin²

(1. Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fisheries Resource Certificated by the Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;
2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Based on the bottom trawl surveys conducted in the southern Yellow Sea in autumn and winter from 2000 to 2002, feeding habits of three sciaenid fishes (*Collichthys niveatus*, *Johnius belengerii* and *Pseudosciaena polyactis*) were studied. The multivariate statistical technique was used to study the seasonal, spatial and ontogenetic variations in the diets of each species and the morphological differences in the feeding apparatus of three species. The results indicate that the food compositions of three species differed significantly from each other. *C. niveatus* was a planktivorous predator feeding mainly upon euphausiids, shrimps and copepods, whereas *J. belengerii* was a benthivorous predator consuming primarily benthic shrimps as well as small fish and polychaetes. In comparison with these two species, *P. polyactis* was a generalist feeding upon both benthic and pelagic preys. Although the diets of *J. belengerii* and *P. polyactis* were strongly influenced by habitat type and season, the former variable was more important. The ontogenetic differences in the food composition and dietary diversity were also detected. The dietary diversity increased progressively with increasing body size of *C. niveatus* and *J. belengerii*. However, the reverse applied to *P. polyactis*. The intraspecific values for Schoener's dietary overlap indexes between each size class of *C. niveatus* and *P. polyactis* were relatively high, whereas those of *J. belengerii* were lower. The highest intraspecific dietary overlap values of *C. niveatus* and *P. polyactis* were recorded between the smaller size classes of both species. The values for interspecific dietary overlap between each size class of the three species were from 0.50 to 0.56. The principal component analysis (PCA) indicates that the morphological characters of the feeding apparatus were similar between *C. niveatus* and *P. polyactis*, whereas these two species showed some differences from *J. belengerii*. The relative lengths of the lower jaw extension and mouth height were smaller for *J. belengerii* than the other two species.

Key words: sciaenid fishes; diet composition; dietary overlap; feeding apparatus; the southern Yellow Sea

收稿日期:2003-12-08

资助项目:国家自然科学基金基金项目(30371104);国家重点基础研究规划项目(G19990437)

作者简介:薛莹(1977-),男,山东胶南人,博士研究生,从事鱼类摄食生态学研究

通讯作者:金显仕, Tel: 0532-5849430, E-mail: jin@ysfri.ac.cn

鱼类食物关系的研究是海洋生态学研究的主要组成部分,是了解海洋生态系统,提高水域生产力和实施多鱼种渔业管理的基础^[1],还能为研究鱼类群落的结构和功能及其变化提供科学依据^[2,3],因此具有较高的理论研究价值和现实意义。黑鳃梅童(*Collichthys niveatus*)、皮氏叫姑鱼(*Johnius belengerii*)和小黄鱼(*Pseudosciaena polyactis*)同属鲈形目,石首鱼科,系暖温性底层鱼类^[4],它们在黄海渔业中占有重要的地位^[5]。由于这3种鱼在洄游和分布区域上有一定的重叠^[6],因而可能存在食物竞争关系。国内有关这3种鱼食性研究的报道有许多^[7-11],然而有关它们食物关系的报道却较少。王军等^[12]曾研究过罗源湾大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)等5种石首鱼类的食性,发现虽然它们的食物组成比较相似,但其主要饵料种类却各有不同。本文利用多元统计

分析方法,研究了南黄海黑鳃梅童、皮氏叫姑鱼和小黄鱼的摄食习性及其食物关系,摄食随海区、季节和体长的变化以及3种鱼摄食器官的形态差异及其对摄食的影响。

1 材料与方法

1.1 样品收集

样品取自2000-2002年秋季(10-11月)和冬季(1月)在南黄海(32°30'~36°30' N, 120°30'~125°00' E)进行的定点底拖网调查。调查船为黄海水产研究所的海洋资源调查船“北斗”号,调查海区水深为20~100 m。为了比较食物组成随海区的变化,以34°00' N线为界^[6],将南黄海划分为中部和南部两个海区。共收集3种鱼的样品3174尾,其中1883尾是空胃,空胃率为59.3%。各个鱼种的样品数及体长范围见表1。

表1 3种鱼的样品数及体长范围

Tab.1 Sample size and size range of three fish species

| | 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | | | 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengerii</i> | | | 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | | |
|----------------------------|-------------------------|-------------|-------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|
| | 中部 central | 南部 south | 合计 total | 中部 central | 南部 south | 合计 total | 中部 central | 南部 south | 合计 total |
| 总胃数 number of stomachs | 330 | 624 | 954 | 415 | 270 | 685 | 1070 | 465 | 1535 |
| 空胃数 empty stomachs | 143 | 298 | 441 | 345 | 202 | 547 | 610 | 285 | 895 |
| 空胃率(%) percentage of empty | 43.3 | 47.8 | 46.2 | 83.1 | 74.8 | 79.9 | 57.0 | 61.3 | 58.3 |
| 体长范围(mm) range of size | 40~128 | | | 40~127 | | | 81~180 | | |

1.2 胃含物分析

将鱼类样品带回实验室作生物学测定,分别测量每尾鱼的体长(mm)和体重(g),并取出消化道。饵料种类鉴定在解剖镜下进行,原则上尽可能鉴定到最低的分类阶元,根据残体确定每种饵料的个数。再用1/10000电子天平称量其实际重量,称重前先用滤纸将饵料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。

1.3 数据处理

用于评价饵料重要性的指标有重量百分比、个数百分比和出现频率^[13],计算公式如下:

$$\text{重量百分比}(\%) = \frac{\text{某种饵料成分的重量}}{\text{所有饵料成分的总重量}} \times 100$$

$$\text{个数百分比}(\%) = \frac{\text{某种饵料成分的个数}}{\text{所有饵料成分的总个数}} \times 100$$

$$\text{出现频率}(\%) = \frac{\text{某种饵料成分出现的次数}}{\text{有食物的胃的个数}} \times 100$$

采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J')来研究饵料的多样性^[14]。

Shannon-Wiener 指数对于稀有饵料很灵敏,是描述生境宽度的较好的指数^[15]。

Schoener 重叠指数(D_{ij})^[16]用于分析各个体长组间食物组成的相似性:

$$D_{ij} = 1 - 0.5(\sum |P_{ik} - P_{jk}|)$$

式中, P_{ik} 、 P_{jk} 分别为共有饵料 k 在鱼种 i 和 j 的胃含物中所占的重量百分比, D_{ij} 值介于0(没有重叠)和1(完全重叠)之间, D_{ij} 值若大于或等于0.60则表示达到显著重叠^[17]。

饵料分类阶元的不同会对分析结果产生影响,本文分析时采用的分类阶元是“种”或“属”。不可辨认的饵料会使分析结果产生误差^[18],分析前先将它们除去。

1.4 多元统计分析

PRIMER v5 是以样品组间的等级相似性为基础的非参数多元统计分析软件^[19,20]。分析前要先将胃含物样品(有食物的胃)进行适当的分组:

(1)为了比较3种鱼食物组成的差异,将3种鱼分别以50尾为单位进行随机分组,每一组即代表一个样品;(2)为了研究每种鱼的食物组成随海区和季节的变化,将在各个海区和季节捕获的3种鱼分别以25尾(黑鳃梅童和小黄鱼)和10尾(皮氏叫姑鱼)为单位进行随机分组,这样分组的目的是为了产生足够数量的样品以便进行统计分析^[21]。皮氏叫姑鱼的样品较少,因此以10尾鱼为单位进行分组。

进行多元统计分析时,所用的指数是饵料的重量百分比,分析前要先将其进行平方根变换,以便对稀有种给予一定程度的加权^[19]。利用 Bray-Curtis 相似性系数构造样品间食物组成的相似性矩阵^[19],并以此为基础进行了如下的统计分析:(1)非度量性 MDS 标序分析(non-metric multidimensional scaling);(2)相似性分析(ANOSIM);(3)相似性百分比分析(SIMPER)。

1.5 摄食器官形态的测量和分析

根据 Schafer 等^[18]的报道,本文选取6个形态指标(即前颌骨长、上颌伸展度、下颌伸展度、口高、口宽和肠长)进行测定。各项指标均用游标卡尺进行测量,精确度为0.02 mm。每种鱼分别选取20尾大小不等的鱼进行测量,测量鱼的体长范围与用于食性分析鱼的体长范围相一致。

将每尾鱼的形态测量数据与其体长的比值作为形态度量分析的性状,以消除鱼体大小差异对形态特征的影响^[18]。利用 PRIMER 软件对6个形态性状的所有数据进行主成分分析(PCA),并绘出所有样品的主成分散布图,进而比较3种鱼类摄食器官在形态上的差异。

2 结果

2.1 食物组成

根据重量百分比、个数百分比和出现频率综合分析的结果来看,在6种饵料生物类群中,3种鱼均以甲壳类为主要食物,但其优势饵料生物却各不相同(表2)。黑鳃梅童是以浮游动物为主的肉食性鱼类,主要摄食甲壳类中的磷虾类、虾类和桡足类。摄食的饵料种类有26种,优势饵料生物是太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)和细螯虾(*Leptochela gracilis*)。皮氏叫姑鱼是以底栖动物为主的肉食性鱼类,主要以甲壳类中的虾类为食,其次是鱼类和多毛类,摄

食的饵料种类有28种,优势饵料生物是安乐虾(*Eualus* spp.)和脊腹褐虾(*Crangon affinis*)。小黄鱼既能摄食浮游动物和底栖动物,又能摄食鱼类等游泳动物,是混合动物食性的鱼类。它主要摄食甲壳类中的虾类和磷虾类,其次是鱼类,摄食的饵料种类有41种,优势饵料生物是太平洋磷虾和脊腹褐虾,其次是鳀(*Engraulis japonicus*)、赤鼻稜鳀(*Thryssa kammalensis*)和细长脚蛾(*Themisto gracilipes*)(表2)。

2.2 食物组成的比较

图1是以 Bray-Curtis 相似性系数矩阵转化而成的 MDS 图,所得压力系数(stress)的值为0.09,说明该图可以用来解释3种鱼食物组成的相似性^[22]。MDS 图清晰地显示出,代表黑鳃梅童(10个)、皮氏叫姑鱼(3个)和小黄鱼(13个)的样品点被分为3个明显不同的聚类组,而且3个聚类组间的距离较远,表明3种鱼的食物组成差异较大。进一步的单因子相似性分析也表明3种鱼的食物组成存在显著的差异($R = 0.994, P = 0.001$)。表3列出了用 SIMPER 分析选出的对3种鱼两两之间食物组成的非相似性贡献率达10.0%以上的饵料生物(按递减的顺序排列)。例如,皮氏叫姑鱼与黑鳃梅童的食物组成之所以存在差别,主要是因为前者摄食了较多的安乐虾,而后者则摄食了较多的太平洋磷虾和中华哲水蚤。

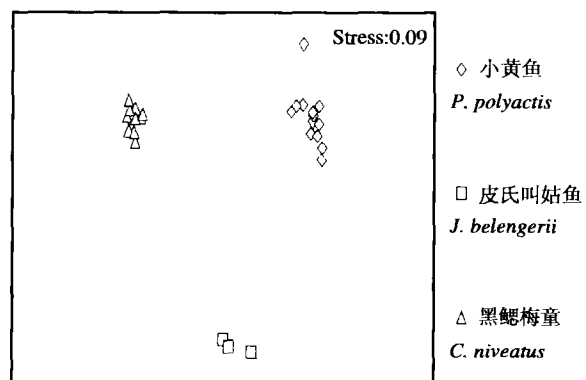


图1 三种鱼食物组成的 MDS 图

Fig. 1 MDS plot of the dietary samples of three fish species

2.3 食物组成随季节和海区的变化

两因子相似性分析表明,黑鳃梅童、皮氏叫姑鱼和小黄鱼的食物组成随季节和海区的不同而有显著的差异。食物组成随季节和海区变化的统计量 R 值和显著水平 P 值见表4。Clarke 和

表 2 南黄海黑鳃梅童、皮氏叫姑鱼和小黄鱼的食物组成

Tab.2 Diet composition of *C. niveatus*, *J. belengerii* and *P. polyactis* in the southern Yellow Sea

| 饵料种类 prey items | 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | | | 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengerii</i> | | | 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | | |
|---|-------------------------|------|------|----------------------------|------|------|-------------------------|------|------|
| | W% | N% | F% | W% | N% | F% | W% | N% | F% |
| 鱼类 Pisces | 3.4 | 0.2 | 0.8 | 10.2 | 3.5 | 8.0 | 29.0 | 1.4 | 12.5 |
| 鳀 <i>Engraulis japonicus</i> | - | - | - | 4.1 | 2.2 | 5.1 | 10.2 | 0.7 | 5.4 |
| 凤鲚 <i>Coilia mystus</i> | - | - | - | - | - | - | 1.1 | + | 0.5 |
| 黄鲫 <i>Setipinna taty</i> | 2.3 | 0.2 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.7 | - | - | - |
| 玉筋鱼 <i>Ammodytes personatus</i> | - | - | - | - | - | - | 0.3 | + | 0.3 |
| 七星底灯鱼 <i>Benthosema pterotum</i> | - | - | - | - | - | - | 0.1 | + | 0.2 |
| 皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belengerii</i> | 1.1 | + | 0.2 | - | - | - | 3.7 | + | 0.2 |
| 长颌棱鳀 <i>Thryssa setirostris</i> | - | - | - | - | - | - | 1.7 | 0.1 | 0.8 |
| 赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kamoharui</i> | - | - | - | - | - | - | 9.2 | 0.4 | 4.1 |
| 方氏云鳀 <i>Enedrius fangi</i> | - | - | - | - | - | - | 1.7 | + | 0.5 |
| 细条天竺鱼 <i>Apogon lineatus</i> | - | - | - | 5.8 | 0.9 | 2.2 | 1.0 | 0.1 | 0.6 |
| 不可辨认鱼类 unidentified pisces | - | - | - | - | - | - | + | + | 0.2 |
| 甲壳类 Crustacea | 95.7 | 99.5 | 99.0 | 81.8 | 86.8 | 84.8 | 70.7 | 97.7 | 89.0 |
| 虾类 Decapoda | 28.1 | 5.6 | 15.4 | 70.2 | 53.5 | 57.3 | 36.9 | 7.5 | 26.2 |
| 海蛭虾 <i>Latreutes anoplonyx</i> | 1.7 | 0.2 | 0.8 | 2.5 | 2.5 | 5.1 | 0.3 | 0.1 | 0.5 |
| 细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i> | 11.2 | 1.8 | 6.2 | 2.2 | 2.2 | 3.6 | 5.7 | 4.9 | 8.8 |
| 七腕虾 <i>Heptacarpus</i> spp. | - | - | - | 3.7 | 4.1 | 3.6 | - | - | - |
| 安氏白虾 <i>Exopalaemon annandalei</i> | - | - | - | - | - | - | 0.2 | + | 0.2 |
| 戴氏赤虾 <i>Metapenaeopsis dalet</i> | 2.1 | 0.1 | 0.2 | - | - | - | 1.3 | 0.1 | 1.1 |
| 中国毛虾 <i>Aetes chinensis</i> | 1.0 | 0.4 | 1.6 | - | - | - | 0.1 | + | 0.3 |
| 鲜明鼓虾 <i>Alpheus distinguendus</i> | - | - | - | 0.8 | 0.3 | 0.7 | 2.3 | 0.1 | 0.8 |
| 日本鼓虾 <i>Alpheus japonicus</i> | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 5.8 | 3.1 | 6.5 | 0.1 | + | 0.2 |
| 脊腹褐虾 <i>Crangon affinis</i> | 2.8 | 0.8 | 2.3 | 19.2 | 8.2 | 14.5 | 22.1 | 1.2 | 11.0 |
| 圆尾褐虾 <i>Crangon cassiope</i> | - | - | - | - | - | - | 0.6 | + | 0.3 |
| 大螯蛄虾 <i>Upogebia major</i> | - | - | - | - | - | - | 0.2 | + | 0.2 |
| 长臂虾 <i>Palaemon</i> spp. | - | - | - | - | - | - | 0.4 | 0.1 | 0.6 |
| 葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i> | 2.8 | 0.1 | 0.2 | 1.3 | 1.3 | 2.2 | 0.9 | 0.1 | 0.8 |
| 放氏长臂虾 <i>Palaemon ortmanni</i> | - | - | - | 1.2 | 0.3 | 0.7 | - | - | - |
| 细巧仿对虾 <i>Parapenaeopsis tenella</i> | - | - | - | - | - | - | 1.6 | 0.1 | 0.8 |
| 安乐虾 <i>Eualus</i> spp. | 3.3 | 0.4 | 1.4 | 32.1 | 26.7 | 21.7 | 0.4 | 0.1 | 1.2 |
| 中华安乐虾 <i>Eualus sinensis</i> | - | - | - | - | - | - | 0.3 | 0.1 | 0.5 |
| 疣背宽额虾 <i>Latreutes planirostris</i> | 0.5 | 0.1 | 0.2 | - | - | - | - | - | - |
| 不可辨认虾类 unidentified decapoda | 2.2 | 1.8 | 2.3 | 1.4 | 4.7 | 4.4 | 0.5 | 0.2 | 1.1 |
| 蟹类 Brachyura | - | - | - | 0.9 | 1.3 | 2.2 | 0.1 | + | 0.2 |
| 双斑蟹 <i>Charybdis bimaculata</i> | - | - | - | 0.6 | 0.6 | 1.5 | - | - | - |
| 中华豆蟹 <i>Pinnotheres serrignathus</i> | - | - | - | - | - | - | 0.1 | + | 0.2 |
| 不可辨认蟹类 unidentified brachyura | - | - | - | 0.2 | 0.6 | 1.5 | - | - | - |
| 十足类 Stomatopoda | - | - | - | 2.8 | 3.5 | 7.3 | 0.2 | + | 0.5 |
| 日虾蛄 <i>Oratosquilla oratoriu</i> | - | - | - | 2.8 | 3.5 | 7.3 | 0.2 | + | 0.5 |
| 磷虾类 Euphausiacea | 50.8 | 41.7 | 56.7 | 4.8 | 16.4 | 7.3 | 29.4 | 67.5 | 59.1 |
| 太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i> | 50.6 | 41.2 | 55.0 | 4.8 | 16.4 | 7.3 | 28.9 | 66.0 | 58.1 |
| 不可辨认磷虾 unidentified euphausiacea | 0.2 | 0.5 | 1.8 | - | - | - | 0.5 | 1.5 | 1.1 |
| 糠虾类 Mysidacea | 4.1 | 2.2 | 6.0 | 1.1 | 1.6 | 2.9 | 0.3 | 0.2 | 1.1 |
| 刺糠虾 <i>Acanthomysis</i> spp. | - | - | - | - | - | - | + | 0.1 | 0.3 |
| 长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i> | 3.5 | 2.0 | 5.3 | 1.1 | 1.6 | 2.9 | 0.1 | + | 0.2 |
| 黄海刺糠虾 <i>Acanthomysis huanghaiensis</i> | 0.5 | 0.2 | 0.6 | - | - | - | 0.1 | + | 0.3 |
| 儿岛囊糠虾 <i>Gastrosaccus kojimaensis</i> | - | - | - | - | - | - | + | 0.1 | 0.3 |
| 不可辨认糠虾 unidentified mysidacea | + | 0.1 | 0.2 | - | - | - | - | - | - |
| 桡足类 Copepoda | 12.3 | 48.8 | 40.4 | - | - | - | 0.1 | 0.9 | 3.5 |
| 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> | 7.9 | 26.4 | 26.5 | - | - | - | 0.1 | 0.6 | 2.1 |
| 小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i> | - | - | - | - | - | - | + | + | 0.2 |

(续表 2)

| 饵料种类 prey items | 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | | | 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengerii</i> | | | 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | | |
|---------------------------------------|-------------------------|------|-----|----------------------------|-----|------|-------------------------|------|------|
| | W% | N% | F% | W% | N% | F% | W% | N% | F% |
| 精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i> | 0.2 | 1.1 | 2.3 | - | - | - | + | 0.1 | 0.5 |
| 海洋真刺水蚤 <i>Euchaeta murina</i> | 2.7 | 10.1 | 7.0 | - | - | - | - | - | - |
| 双毛纺锤水蚤 <i>Acartia bifilosa</i> | + | 0.3 | 0.4 | - | - | - | + | + | 0.2 |
| 胸刺水蚤 <i>Centropages</i> spp. | 0.5 | 3.2 | 2.5 | - | - | - | + | + | 0.2 |
| 瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremus</i> | - | - | - | - | - | - | + | + | 0.2 |
| 墨氏胸刺水蚤 <i>Centropages memmurruchi</i> | - | - | - | - | - | - | + | 0.2 | 0.5 |
| 真哲水蚤 <i>Eucalanus</i> spp. | + | 0.2 | 0.2 | - | - | - | - | - | - |
| 真刺犀角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i> | 0.9 | 7.4 | 4.5 | - | - | - | - | - | - |
| 芦氏拟真刺水蚤 <i>Pareuchaeta russelli</i> | + | 0.1 | 0.2 | - | - | - | - | - | - |
| 不可辨认挠足类 unidentified copepoda | + | 0.2 | 0.2 | - | - | - | - | - | - |
| 端足类 Amphipoda | 0.3 | 1.1 | 2.7 | 1.7 | 9.1 | 9.4 | 3.6 | 21.5 | 29.0 |
| 拟钩虾 <i>Gammaropsis</i> spp. | + | 0.3 | 0.6 | 0.4 | 4.1 | 4.4 | 0.1 | 0.1 | 0.6 |
| 细长脚蛾 <i>Themisto gracilipes</i> | 0.1 | 0.4 | 1.4 | 0.3 | 1.3 | 1.5 | 3.0 | 20.1 | 26.1 |
| 双眼钩虾 <i>Ampelisca</i> spp. | 0.1 | 0.4 | 0.8 | 0.9 | 3.8 | 3.6 | 0.2 | 0.9 | 1.8 |
| 博氏双眼钩虾 <i>Ampelisca bocka</i> | - | - | - | - | - | - | 0.4 | 0.4 | 0.8 |
| 轮双眼钩虾 <i>Ampelisca cyclops</i> | - | - | - | - | - | - | + | + | 0.3 |
| 等足类 Isopoda | - | - | - | 0.4 | 0.6 | 1.5 | 0.2 | 0.1 | 0.5 |
| 涟虫类 Cumacea | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.9 | 0.7 | + | + | 0.2 |
| 细长涟虫 <i>Iphinoe tenera</i> | 0.1 | 0.1 | 0.4 | - | - | - | + | + | 0.2 |
| 不可辨认涟虫 unidentified cumacea | - | - | - | 0.1 | 0.9 | 0.7 | - | - | - |
| 头足类 Cephalopoda | - | - | - | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.2 | + | 0.2 |
| 双喙耳乌贼 <i>Sepiolo birostrat</i> | - | - | - | 0.3 | 0.3 | 0.7 | 0.2 | + | 0.2 |
| 毛颚类 Chaetognatha | 0.2 | 0.2 | 0.6 | - | - | - | 0.2 | 0.9 | 2.1 |
| 强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i> | 0.2 | 0.2 | 0.6 | - | - | - | 0.2 | 0.9 | 2.1 |
| 多毛类 Polychaeta | 0.8 | 0.1 | 0.4 | 7.0 | 6.3 | 11.6 | + | + | 0.2 |
| 索沙蚕 <i>Lumbrineris</i> spp. | - | - | - | 1.9 | 2.2 | 2.9 | - | - | - |
| 吻沙蚕 <i>Glycera</i> spp. | - | - | - | 0.8 | 1.6 | 2.9 | - | - | - |
| 欣努非虫 <i>Onuphis eremita</i> | - | - | - | 0.1 | 0.3 | 0.7 | - | - | - |
| 背鳞虫 <i>Lepidonotus</i> spp. | - | - | - | 3.3 | 0.6 | 1.5 | - | - | - |
| 齿吻沙蚕 <i>Nephtys</i> spp. | - | - | - | 0.1 | 0.3 | 0.7 | + | + | 0.2 |
| 日本刺梳鳞虫 <i>Leauro japonica</i> | - | - | - | 0.6 | 0.6 | 1.5 | - | - | - |
| 角吻沙蚕 <i>Goniada</i> spp. | 0.6 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.7 | - | - | - |
| 不可辨认多毛类 unidentified polychaeta | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.7 | - | - | - |
| 双壳类 Bivalvia | - | - | - | 0.7 | 3.1 | 2.9 | - | - | - |
| 樱蛤 Tellinidae | - | - | - | 0.1 | 0.6 | 0.7 | - | - | - |
| 镜蛤 <i>Dosima</i> spp. | - | - | - | 0.6 | 1.9 | 1.5 | - | - | - |
| 不可辨认双壳类 unidentified bivalvia | - | - | - | + | 0.6 | 0.7 | - | - | - |
| 其它 others | - | - | - | - | - | - | + | + | 0.2 |

注: + 表示 < 0.1, - 表示没有出现

Notes: + indicates less than 0.1, - indicates absence

表 3 对鱼种间食物组成的非相似性贡献率在 10.0% 以上的饵料生物

Tab.3 Prey items which contributed more than 10.0% to the difference in diets of each pair of species

| 鱼种 fish species | 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengerii</i> |
|----------------------------|---|--|
| 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengerii</i> | 太平洋磷虾 <i>E. pacifica</i> 中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i> 安乐虾 * <i>Eualus</i> spp. | |
| 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | 中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i> 细长脚蛾 * <i>T. gracilipes</i> | 太平洋磷虾 * <i>E. pacifica</i> 安乐虾 <i>Eualus</i> spp. |

注: * 表示第一列鱼种区别于第一行鱼种的优势饵料生物, 没有 * 则表示第一行鱼种区别于第一列鱼种的优势饵料生物

Notes: * indicates the prey items which distinguished the species in the vertical column, while the absence of * indicates the reverse situation from those in the horizontal column

Warwick^[19]指出在两因子相似性分析中, R 值越大表明受该因子的影响就越大。由表 4 可见, 皮氏叫姑鱼和小黄鱼的食物组成受海区的影响要大于受季节的影响, 而黑鳃梅童则相反。表 5 列出了用 SIMPER 分析选出的对每种鱼在不同季节和海区之间食物组成非相似性贡献率达 10.0% 以

上的饵料生物(按递减的顺序排列)。例如, 黑鳃梅童在冬季黄海中部和秋季黄海中部食物组成的差异主要是因为冬季摄食的中华哲水蚤和太平洋磷虾较多, 而秋季摄食的真刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta*) 较多。

表 4 不同季节和海区间两因子相似性分析的统计量 R 值和显著水平 P 值

Tab.4 The R -statistic values and P values in the two-way ANOSIM test for pairwise comparisons between different seasons and areas

| 鱼种 fish species | 季节 seasons | | 海区 areas | |
|---------------------------|------------|-------|----------|-------|
| | R | P | R | P |
| 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | 0.891 | 0.001 | 0.575 | 0.001 |
| 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengeri</i> | 0.462 | 0.003 | 0.634 | 0.001 |
| 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | 0.304 | 0.008 | 0.991 | 0.001 |

表 5 对每种鱼在不同季节和海区间食物组成的非相似性贡献率在 10.0% 以上的饵料生物

Tab.5 Prey items which contributed more than 10.0% to the differences between the diet of each fish species in different seasons and areas

| 季节和海区 seasons and areas | 秋季黄海中部 autumn in the central Yellow Sea | 冬季黄海南部 winter in the southern Yellow Sea |
|---|--|--|
| 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | | |
| 冬季黄海中部 winter in the central Yellow Sea | 真刺唇角水蚤 <i>L. euchaeta</i> 太平洋磷虾 <i>E. pacifica</i> 中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i> | 海洋真刺水蚤 <i>E. marina</i> 长额刺糠虾 <i>A. longirostris</i> |
| 秋季黄海南部 autumn in the southern Yellow Sea | 真刺唇角水蚤 <i>L. euchaeta</i> 中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i> 细螯虾 <i>L. gracilis</i> | 精致真刺水蚤 <i>E. concinna</i> 海洋真刺水蚤 <i>E. marina</i> |
| 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengeri</i> | | |
| 冬季黄海中部 winter in the central Yellow Sea | 脊腹褐虾 <i>C. affinis</i> 七腕虾 <i>Heptacarpus</i> spp. 鳃 <i>E. japonicus</i> | 太平洋磷虾 <i>E. pacifica</i> 安乐虾 <i>Eualus</i> spp. 双眼钩虾 <i>Ampelisca</i> spp. |
| 秋季黄海南部 autumn in the southern Yellow Sea | 脊腹褐虾 <i>C. affinis</i> | 太平洋磷虾 <i>E. pacifica</i> 双眼钩虾 <i>Ampelisca</i> spp. |
| 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | | |
| 冬季黄海中部 winter in the central Yellow Sea | 鳃 <i>E. japonicus</i> 脊腹褐虾 <i>C. affinis</i> 赤鼻稜鳃 <i>T. kammalensis</i> | 赤鼻稜鳃 <i>T. kammalensis</i> 脊腹褐虾 <i>C. affinis</i> |
| 秋季黄海南部 autumn in the southern Yellow Sea | 细螯虾 <i>L. gracilis</i> | 赤鼻稜鳃 <i>T. kammalensis</i> 细螯虾 <i>L. gracilis</i> |

注: * 表示第一列季节和海区区别于第一行季节和海区的优势饵料生物, 没有 * 则表示第一行季节和海区区别于第一列季节和海区的优势饵料生物

Notes: * indicates the prey items which distinguished the season and area in the vertical column, while the absence of * indicates the reverse situation from those in the horizontal column

2.4 食物组成随体长的变化

3 种鱼类的食物组成都有明显体长变化(图 2)。个体最小的黑鳃梅童主要摄食磷虾类和桡足类, 二者的重量百分比之和为 85.2%, 其它饵料的重量百分比均不超过 2.0% (图 2)。而个体最大的黑鳃梅童只摄食磷虾类和虾类, 其它饵料则

没有摄食。随着体长的增加, 桡足类的比例下降, 而糠虾类和磷虾类的比例则有所上升, 虾类的比例没有明显的变化。

个体最小的皮氏叫姑鱼主要以多毛类为食, 其它饵料如: 虾类、磷虾类、端足类、涟虫类和双壳类的比例相同, 各占 14.3%。个体最大的皮氏叫

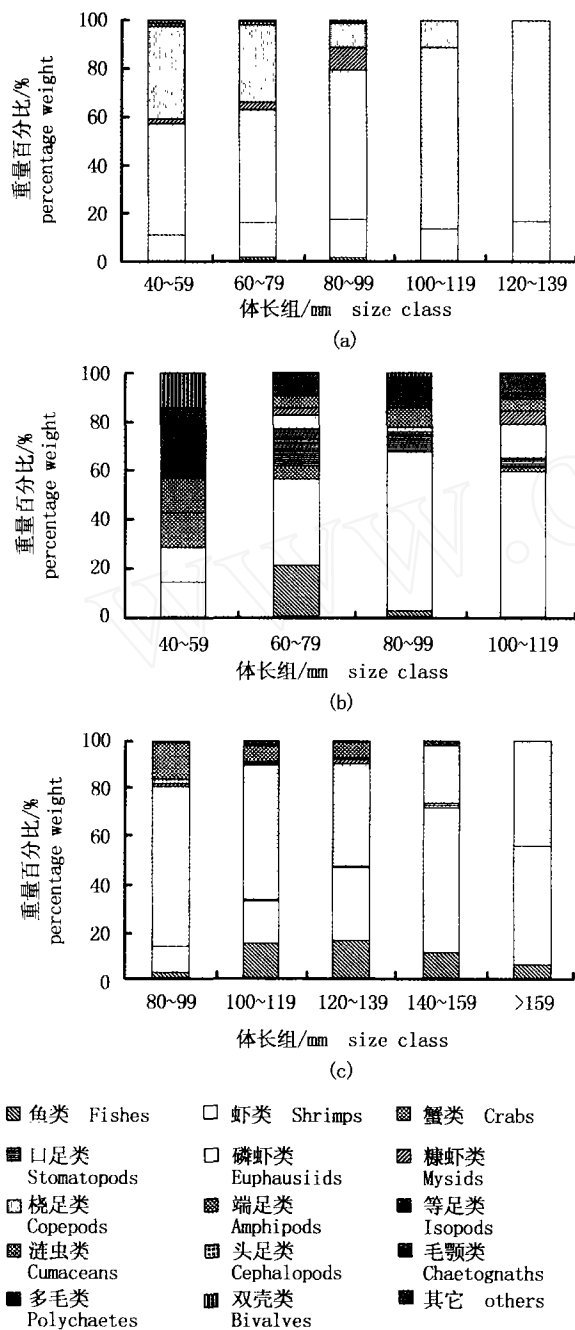


图2 黑鳃梅童(a)、皮氏叫姑鱼(b)和小黄鱼(c)食物组成的体长变化
 Fig.2 Variations in the diet composition of each size class of *C. niveatus* (a), *J. belengerii* (b) and *P. polyactis* (c)

姑鱼主要摄食虾类。随着体长的增大,虾类的比例有所增加,而端足类、多毛类和双壳类的比例则有所下降,其它饵料的比例没有明显的变化。

个体最小的小黄鱼主要摄食磷虾类,其次是端足类和虾类,而其它饵料的重量百分比都不超

过3.0%。个体最大的小黄鱼主要摄食虾类和磷虾类,二者的重量百分比之和为94.4%。随着体长的增大,虾类的比例有所增加,而磷虾类、桡足类、端足类和糠虾类的比例则有所下降(图2)。

由表6可见,黑鳃梅童和皮氏叫姑鱼的 H' 和 J' 值均随体长的增大而逐渐减小,而小黄鱼的 H' 和 J' 值则随体长的增大而有所上升(大于159 mm 体长组除外)。

由表7可见,黑鳃梅童的各个体长组之间的 Schoener 食物重叠指数较高,除两对体长组以外,其它体长组间的重叠指数均超过0.60,重叠指数的最高值(0.84)出现在两个最小的体长组之间。皮氏叫姑鱼各个体长组之间的重叠指数较低,均不超过0.60,随着体长的增大重叠指数也逐渐增大,最高值(0.52)出现在两个最大的体长组之间。小黄鱼各个体长组间的重叠指数也较高,有6对体长组间的重叠指数超过0.60,最高值(0.75)出现在两个最小的体长组之间(表7)。

表7还列出了3种鱼各个体长组之间的 Schoener 食物重叠指数。由表中可见,它们之间的重叠指数位于0.50~0.56,均不超过0.60。重叠指数的最大值(0.56)出现在皮氏叫姑鱼的最大体长组和小黄鱼的各个体长组之间。

2.5 摄食器官形态特征的比较

以3种鱼的6个形态性状进行主成分分析(PCA),这6个性状对前4个主成分的负荷值及主成分的特征值和方差贡献率见表8。前两个主成分的累积贡献率达83.0%,第一主成分受下颌伸展度和口高的影响最大,其次是口宽、前颌骨长和上颌伸展度。而第二主成分受肠长的影响最大,其次是前颌骨长。

3种鱼的6个形态性状的第一、第二主成分散布图见图3。由图中可见,黑鳃梅童和小黄鱼有较多的重叠,而皮氏叫姑鱼却与二者有明显的分离。在PCA I轴上,皮氏叫姑鱼与黑鳃梅童和小黄鱼的差异较大,分布在二者的右部。由于对PCA I轴影响较大的性状有下颌伸展度和口高,而这两个性状的负荷值均为负值,因此皮氏叫姑鱼的下颌伸展度和口高要小于黑鳃梅童和小黄鱼。在PCA II轴上,有少数皮氏叫姑鱼分布在黑鳃梅童和小黄鱼的下部。由于对PCA II轴影响较大的性状是肠长和前颌骨长,而且它们的负荷值分别为负值和正值,说明皮氏叫姑鱼的肠长要

表6 3种鱼各个体长组的饵料多样性指数和均匀度指数

Tab.6 The dietary diversity index and evenness index of each size class of three fish species

| 体长组 (mm) size class | 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | | 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengeri</i> | | 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | |
|------------------------|-------------------------|------|---------------------------|------|-------------------------|------|
| | H' | J' | H' | J' | H' | J' |
| 40~59 | 0.75 | 0.66 | 1.20 | 0.93 | | |
| 60~79 | 0.76 | 0.53 | 0.92 | 0.93 | | |
| 80~99 | 0.62 | 0.52 | 0.85 | 0.71 | 0.40 | 0.31 |
| 100~119 | 0.35 | 0.50 | 0.73 | 0.69 | 0.51 | 0.32 |
| 120~139 | 0.06 | 0.21 | | | 0.55 | 0.37 |
| 140~159 | | | | | 0.74 | 0.57 |
| >159 | | | | | 0.37 | 0.45 |

表7 3种鱼各个体长组间的 Schoener 食物重叠指数

Tab.7 Schoener's dietary overlap index between each size class of three fish species

| 体长组 (mm) size class | 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | | | | | 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengeri</i> | | | | 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | | | | |
|---------------------------|-------------------------|-------|-------|---------|---------|---------------------------|-------|-------|---------|-------------------------|---------|---------|---------|------|
| | 40~59 | 60~79 | 80~99 | 100~119 | 120~139 | 40~59 | 60~79 | 80~99 | 100~119 | 80~99 | 100~119 | 120~139 | 140~159 | >160 |
| 黑鳃梅童 <i>C. niveatus</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 40~59 | - | | | | | | | | | | | | | |
| 60~79 | 0.84 | - | | | | | | | | | | | | |
| 80~99 | 0.65 | 0.70 | - | | | | | | | | | | | |
| 100~119 | 0.66 | 0.67 | 0.74 | - | | | | | | | | | | |
| 120~139 | 0.46 | 0.46 | 0.62 | 0.67 | - | | | | | | | | | |
| 皮氏叫姑鱼 <i>J. belengeri</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 40~59 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.50 | - | | | | | | | | |
| 60~79 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.50 | 0.11 | - | | | | | | | |
| 80~99 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.51 | 0.50 | 0.11 | 0.37 | - | | | | | | |
| 100~119 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.51 | 0.23 | 0.47 | 0.52 | - | | | | | |
| 小黄鱼 <i>P. polyactis</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| 80~99 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 0.56 | - | | | | |
| 100~119 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 0.56 | 0.75 | - | | | |
| 120~139 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 0.56 | 0.61 | 0.72 | - | | |
| 140~159 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.51 | 0.50 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 0.56 | 0.36 | 0.44 | 0.56 | - | |
| >159 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.50 | 0.51 | 0.50 | 0.52 | 0.51 | 0.56 | 0.54 | 0.62 | 0.71 | 0.60 | - |

表8 3种鱼的6个形态性状对前4个主成分的负荷值以及前4个主成分的特征值和方差贡献率

Tab.8 Loadings, eigenvalues and percentage contribution explained by the first four principal components for six morphological characters of three fish species

| | 主成分 principal components | | | |
|----------------------------------|--------------------------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 特征值 eigenvalues | 3.47 | 1.51 | 0.79 | 0.17 |
| 方差贡献率(%) percentage contribution | 57.8 | 25.2 | 13.1 | 2.9 |
| 性状 characters | | | | |
| 前颌骨长 premaxilla length | -0.413 | 0.427 | 0.362 | 0.342 |
| 上颌伸展度 upper jaw extension | -0.402 | -0.384 | 0.110 | |
| 下颌伸展度 lower jaw extension | -0.485 | -0.208 | -0.338 | 0.244 |
| 口高 mouth height | -0.484 | 0.289 | 0.229 | 0.146 |
| 口宽 mouth width | -0.433 | -0.303 | 0.379 | -0.748 |
| 肠长 intestine length | 0.105 | -0.672 | 0.551 | 0.480 |

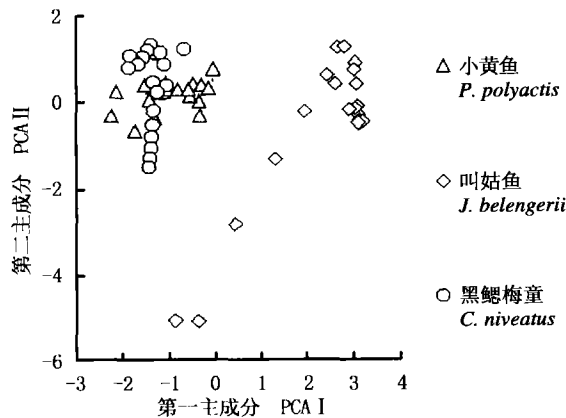


图3 3种鱼的6个形态性状的第一、第二主成分散布图

Fig.3 Scatter diagram for PCA I and PCA II of six morphological characters of three fish species

大于其它两种鱼,而前颌骨长则小于其它两种鱼。

3 讨论

3.1 食物组成及种间比较

南黄海的黑鳃梅童、皮氏叫姑鱼和小黄鱼皆为肉食性鱼类,它们的食物组成存在较大的差异。代表3种鱼类的样品点在MDS图上明显地分离,单因子相似性分析也进一步证实3种鱼的食物组成存在显著差异。

虽然3种鱼均主要以甲壳类(虾类和磷虾类)为食,但其优势饵料生物却各不相同。小黄鱼的优势饵料生物是太平洋磷虾、脊腹褐虾、鳀、赤鼻稜鳀和细长脚蛾;皮氏叫姑鱼的优势饵料生物是安乐虾和脊腹褐虾;黑鳃梅童的优势饵料生物是太平洋磷虾、中华哲水蚤和细螯虾。食物组成存在差异的原因可能与这3种鱼的摄食器官、摄食行为和栖息环境等因素的不同有关^[21]。由于物种长期进化等因素的影响,栖息于同一海域的鱼类会产生营养生态位的部分交错,从而缓和了它们对有限食物资源的竞争^[23, 21],有利于它们在同一栖息环境中共存^[25]。

同20世纪80年代中期相比^[10],3种鱼的食物组成都发生了较大的变化。在80年代中期,黑鳃梅童主要摄食中华哲水蚤、长额刺糠虾(*Acanthomysis longirostris*)和中国毛虾(*Acetes chinensis*)等;皮氏叫姑鱼主要摄食戴氏赤虾(*Metapenaeopsis dalei*)、脊腹褐虾、钩虾

(*Gammaridea* spp.)和口虾蛄(*Oratosquilla oratoria*)等;小黄鱼则主要摄食鳀、中华哲水蚤、脊腹褐虾和戴氏赤虾等。食物组成的年际变化表明,黄海生态系统中一些饵料生物的数量可能发生了一定的变化。

3.2 摄食随季节和海区的变化

两因子相似性分析表明,3种鱼的食物组成都随季节(秋季和冬季)和海区(黄海中部和南部)的不同而有显著的差异。食物组成的季节变化反映了栖息水域中而饵料生物的季节变化^[26]。例如,在黄海中部,黑鳃梅童在冬季摄食的中华哲水蚤要比秋季多,这是因为在黄海中部,中华哲水蚤在冬季的数量要高于秋季^[27]。

食物组成随栖息水域的不同而发生变化也是极为普遍的现象,这主要是由于水域环境中饵料生物的不同所致^[26]。一般来说,鱼类在其适合的食物范围内,总是以栖息水域中数量最多、出现时间最长的饵料生物为主要食物^[26]。例如,冬季皮氏叫姑鱼在黄海南部摄食的太平洋磷虾比黄海中部多,主要因为冬季黄海南部太平洋磷虾的数量高于黄海中部^[27]。秋季黑鳃梅童在黄海中部摄食的中华哲水蚤比黄海南部的多,是因为秋季黄海中部中华哲水蚤的数量要高于黄海南部^[27]。

3.3 摄食随体长的变化

3种鱼的食物组成都有明显的体长变化,然而体长变化的趋势却不尽相同。对于黑鳃梅童,随着体长的增加,磷虾类在食物中的比例逐渐上升而虾类的比例则没有变化;对于皮氏叫姑鱼和小黄鱼,随着体长的增加,磷虾类在食物中的比例有所下降而虾类的比例则有所上升。此外,黑鳃梅童和皮氏叫姑鱼的饵料多样性和均匀度指数都随着体长的增加而有所下降,说明体长较小的鱼类饵料种类组成复杂,而且均匀度也较高,饵料基础较稳定,而小黄鱼则正相反。

从种内食物重叠指数来看,黑鳃梅童和小黄鱼存在较高的种内重叠,说明这两种鱼的种内竞争程度较高。而皮氏叫姑鱼的种内重叠则较低,说明皮氏叫姑鱼不同体长组间食物组成存在较大的差异,种内竞争程度较低。从种间食物重叠指数来看,3种鱼各个体长组间的重叠指数均不超过0.60,食物重叠程度较低。其原因可能是由于3种鱼的食谱较广,饵料多样性较高,而饵料组成的多样性降低了种间食物重叠^[25],从而减弱

了食物竞争程度。

3.4 摄食器官形态与食物组成的关系

鱼类在长期演化的过程中,形成了一系列适应各自食性类型和摄食方式的形态学特征,一般来说,每种鱼对喜好的饵料生物都有特定的形态学适应^[26, 28]。通常,摄食鱼类等大型饵料的鱼类都有较大的口裂和较短的消化道;而摄食小型饵料的鱼类则有相对较小的口裂和较长的消化道^[29]。根据主成分分析对3种鱼摄食形态特征的分析结果,黑鳃梅童和小黄鱼的形态特征相似,而二者均与皮氏叫姑鱼存在较大的差异。其差异主要体现在前二者的下颌伸展度、前颌骨长和口高等口部形态特征要大于后者,而肠长则小于后者,这说明前二者摄食大型饵料生物的能力要高于后者。从3种鱼摄食的饵料生物来看,相同体长的小黄鱼摄食的鱼类要多于皮氏叫姑鱼,这一点与其形态特征相符;而黑鳃梅童与皮氏叫姑鱼相比,却摄食了较多的磷虾类和桡足类等小型饵料,这一点与其形态特征不符。产生这一现象的原因,可能与黑鳃梅童的栖息环境、摄食方式以及对饵料的选择性等因素有关。由此可见,鱼类的摄食不仅与其摄食形态有关,还受摄食习性等其他因素的影响。

本研究胃含物分析得到韦晟老师的大力帮助,戴芳群、李延智等老师参加生物学测定工作,程济生、万瑞景等老师协助鉴定一些疑难饵料种类,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 邓景耀,孟田湘,任胜民. 渤海鱼类食物关系[J]. 海洋水产研究,1988,9:151-172.
- [2] 窦硕增. 依食物关系研究鱼类群落生态学的方法[J]. 海洋科学,1992,5:12-14.
- [3] 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. 1-252
- [4] 孟庆闻,缪学祖,俞泰济,等. 鱼类学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1989. 1-298.
- [5] 唐启升,叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护[M]. 北京:农业出版社,1990. 1-214
- [6] 刘效舜. 中国海洋渔业区划[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1991. 1-234.
- [7] 张雅芝. 东山湾叫姑鱼食性研究[J]. 厦门水产学院学报,1996,18(1):25-31.
- [8] 林景祺. 小黄鱼幼鱼和成鱼的摄食习性及其摄食条件的研究[A]. 海洋渔业资源论文选集[C]. 1962. 34-43.
- [9] 邓景耀,姜卫民,杨纪明,等. 渤海主要生物种间关系及食物网的研究[J]. 中国水产科学,1997,4(4):1-7.
- [10] 韦晟,姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究[J]. 海洋与湖沼,1992,23(2):182-192.
- [11] 孟田湘. 渤海重要底层鱼类食物重叠系数与鱼类增殖[J]. 海洋水产研究,1989,10:1-7
- [12] 王军,苏永全,柳建英,等. 罗源湾五种石首鱼类的食性研究[J]. 厦门水产学院学报,1994,16(2):34-39.
- [13] Hyslop E J. Stomach contents analysis - a review of methods and their application[J]. J Fish Biol, 1980, 17: 411-429.
- [14] Krebs C J. Ecological methodology[M]. New York: Harper Collins Publishers, 1989. 1-654
- [15] Marshall S, Elliott M. A comparison of univariate and multivariate numerical and graphical techniques for determining inter and intraspecific feeding relationships in estuarine fish[J]. J Fish Biol, 1997, 51: 526-545.
- [16] Schoener T W. Non-synchronous spatial overlap of lizard in patchy habitats[J]. Ecology, 1970, 51: 408-418.
- [17] Scrimgeour G J, Winterbourn M J. Diet, food resource partitioning and feeding periodicity of two riffle-dwelling fish species in a New Zealand river[J]. J Fish Biol, 1987, 31: 309-324
- [18] Schafer L N, Platell M E, Valesinni 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]. J Exp Mar Biol Ecol, 2002, 278: 67-92.
- [19] Clark K R, Warwick R M. Change in marine communities. An approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition [M]. Plymouth, PRIMER-E Ltd, 2001. 1-144
- [20] 周红,张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用[J]. 青岛海洋大学学报,2003,33(1):58-64.
- [21] Clarke K R. Non-parametric multivariate analysis of changes in community structure[J]. Aust J Ecol, 1993, 18: 117-143
- [22] 马藏允,刘海,王惠卿,等. 底栖生物群落结构变化多元变量统计分析[J]. 中国环境科学,1997,17(4):297-300
- [23] Brewer D T, Blaber S J M, Salini J P, et al. Feeding ecology of predatory fishes from Groote Eylandt in the Gulf of Carpentaria, Australia, with special reference to predation on penaeid prawns[J]. Estuarine Coastal Shelf Science, 1995, 40: 577-600.
- [24] Platell M E, Potter I C. Partitioning of food resources amongst eighteen abundant benthic carnivorous fish species in marine waters on the lower west coast of Australia[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2001, 261: 31-54.
- [25] Platell M E, Sarre G A, Potter I C. The diets of two co-occurring marine teleosts, *Parequula melbournensis* and *Pseudocaranx wrighti*, and their relationships to body size and mouth morphology, and the season and location of capture[J]. Environ Biol Fish, 1997, 49: 361-376
- [26] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京:中国农业出版社,1995. 1-295.
- [27] 陈冠贤. 中国海洋渔业环境[M]. 杭州:浙江科学技术出版社,1991. 1-233.
- [28] Labropoulou M, Eleftheriou A. The foraging ecology of two pairs of congeneric demersal fish species: importance of morphological characteristics in prey selection[J]. J Fish Biol, 1997, 50: 324-340.
- [29] Nikolsky G V. The ecology of fish[M]. New York, London: Academic Press, 1963.