

黄海生态系统高营养层次生物群落 功能群及其主要种类

张 波, 唐启升*, 金显仕

(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, 青岛 266071)

摘要: 根据 2000 年秋季和 2001 年春季在黄海的两次大面调查, 选取生物量占总生物量 90% 的生物种类为研究对象, 分析了黄海生态系统以及 3 个生态区 (冷水团海域、近岸水域和黄海南部水域) 春秋两季高营养层次生物群落的功能群组成及其主要种类。结果表明, 黄海生态系统高营养层次生物群落包括 6 个功能群。按生物量排序为: 浮游生物食性功能群、底栖动物食性功能群、鱼食性功能群、虾食性功能群、广食性功能群和虾/鱼食性功能群, 各功能群营养级范围分别为 3.22 ~ 3.35、3.30 ~ 3.46、4.04 ~ 4.50、3.80 ~ 4.00、3.38 ~ 3.79 和 4.01。黄海生态系统的主要功能群为浮游生物食性功能群和底栖动物食性功能群, 占总生物量的 79.6%; 主要种类包括 13 种: 小黄鱼、鲱、细巧仿对虾、银鲳、细点圆趾蟹、带鱼、黑鳃梅童、黄鲫、龙头鱼、双斑螭、细纹狮子鱼、三疣梭子蟹和凤鲚, 约占总生物量的 70.6%。从不同季节看, 春季黄海不同生态区高营养层次的营养级接近, 而秋季差别较大, 这主要与生物繁殖和索饵群体组成及摄食习性相关。从不同生态区看, 黄海冷水团海域高营养层次生物群落以浮游生物食性功能群为主, 受季节变化的影响较小, 其高营养层次的营养级接近。黄海近岸水域和黄海南部水域高营养层次生物群落功能群组成受季节的影响较大, 秋季的营养级均高于春季的营养级。这表明黄海冷水团海域较近岸水域和南部水域稳定, 是黄海的一个典型的生态区域。

关键词: 功能群; 主要种类; 高营养层次; 生物群落; 黄海生态系统

文章编号: 1000-0933(2009)03-1099-13 中图分类号: Q145; S92.9 文献标识码: A

Functional groups of communities and their major species at high trophic level in the Yellow Sea ecosystem

ZHANG Bo, THANG Qi-Sheng*, JIN Xian-Shi

Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1099 ~ 1111.

Abstract: Based on two bottom trawl surveys conducted in autumn of 2000 and spring of 2001 in the Yellow Sea, functional groups at high trophic levels in the Yellow Sea ecosystem and its three sub-ecoregions, i. e. the Yellow Sea cold water mass region, the Yellow Sea coastal water region and the southern Yellow Sea region, were analyzed. Species picked out for analysis covered more than 90% of the total catch in biomass, which were divided into six functional groups according to their feeding habits, planktivores, benthivores, piscivores, shrimp predators, generalist predators and shrimp/fish predators in order of biomass. The trophic levels of these functional groups were estimated as 3.22 — 3.35, 3.30 — 3.46, 4.04 — 4.50, 3.80 — 4.00, 3.38 — 3.79 and 4.01, respectively. In the Yellow Sea ecosystem, there were two major functional groups, planktivores and benthivores, which accounted for 79.6% of total biomass, and 13 major species, small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*), anchovy (*Engraulis japonicus*), *Parapenaeopsis tenella*, silver pomfret (*Pampus argenteus*), *Ovalipes punctatus*, largehead hairtail (*Trichiurus haumela*), croaker (*Collichthys niveatus*), half-fin anchovy

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2006CB400607)

收稿日期: 2008-09-18; 修订日期: 2008-11-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tangqs@public.qd.sd.cn

(*Setipinna taty*), Bombay duck (*Harpodon nehereus*), *Charybdis bimaculata*, sea snail (*Liparis tanakae*), *Portunus trituberculatus* and long-tailed anchovy (*Coilia mystus*), which accounted for 70.6% of total biomass. The average trophic level of the populations at high trophic levels varied slightly between the three sub-ecoregions in spring, but greatly in autumn, as a reflection of the feeding habits of the migratory spawning and foraging populations. Planktivores formed the major functional group in the sub-ecoregion of the Yellow Sea Cold Water Mass. The average trophic level of the populations at high trophic levels in this region was quite steady during a year, while that in both the sub-ecoregions of the Yellow Sea coastal water and the southern Yellow Sea changed much seasonally, higher in autumn than in spring. It indicates that the Yellow Sea cold water mass bring about a typical sub-ecoregion with more stable environment than others regions in the Yellow Sea ecosystem.

Key Words: functional groups; major species; high trophic level; community; Yellow Sea ecosystem

海洋生态系统中的生物种类繁多,食物关系错综复杂,并易受海洋理化环境变化的影响,但大量研究表明尽管生态系统中生物群落的种类组成会有显著的变化,但食物资源的利用方式,即功能群的组成还是相对稳定的^[1]。因此,采用划分“功能群(Functional group)”的方法来研究生物群落结构可以大大简化海洋生态系统的食物网及其营养动力学过程研究。另一方面,“简化食物网”的研究策略^[2]中关键种和重要种类需要在食物网能量流动中发挥关键作用的类群中选择,即选择生物群落中发挥关键作用的功能群及其主要种类^[3]。可见,海洋生态系统中生物群落的功能群及其主要种类的研究已成为当前我国海洋生态系统的食物网及其营养动力学过程研究重要内容。目前,本课题组已对东海高营养鱼类功能群及其主要种类进行了研究^[4],在此基础上,本研究拟对黄海高营养生物群落的功能群及其主要种类进行研究,以期为我国海洋生态系统的食物网及其营养动力学过程研究提供重要的基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析

本研究的样品是2000年10~11月和2001年4月黄海水产研究所“北斗”号科学调查船在黄海120°~126.75°E,31°~36°N范围内执行973项目大面积调查任务时所采集的,取样站位如图1所示。根据唐启升等^①对黄海的生态划区,即将黄海划为冷水团海域(YR1)、近岸水域(YR2)和黄海南部水域(YR3)3个亚生态区,本研究进行了包括春季3个区域(SYR1、SYR2和SYR3)和秋季3个区域(AYR1、AYR2和AYR3)的生物群落的功能群研究。

根据“简化食物网”的原则^[2,4],选取生物量占总生物量90%(范围在89%~91%之间)的生物种类为研究对象,本研究共包括30种鱼类(种类及平均体长见表1),15种无脊椎动物(脊腹褐虾 *Crangon affinis*、鹰爪虾 *Trachypenaeus curvirostris*、戴氏赤虾 *Metapenaeopsis dalei*、细巧仿对虾 *Parapenaeopsis tenella*、细螯虾 *Leptochela gracilis*、鲜明鼓虾 *Alpheus distinguendus*、葛氏长臂虾 *Palaemon gravieri*、口虾蛄 *Oratosquilla oratoria*、三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus*、细点园趾蟹 *Ovalipes punctatus*、双斑螯 *Charybdis bimaculata*、日本枪乌贼 *Loligo japonica*、金乌贼 *Sepia esculenta*、双喙耳乌贼 *Sepiolo birostrata*、短蛸 *Ocellatus ochellatus*)。其中SYR1包括10种鱼,2种无脊椎动物;SYR2包括9种鱼,8种无脊椎动物;SYR3包括11种鱼,5种无脊椎动物;AYR1包括2种鱼;AYR2包括14种鱼,5种无脊椎动物;AYR3包括10种鱼,6种无脊椎动物。各生物群落(SYR1、SYR2、SYR3、AYR1、AYR2和AYR3)所选生物种类分别占总生物量的90.80%、90.52%、90.25%、89.29%、90.69%和90.34%。

划分功能群的食性基本资料主要根据作者等对27种鱼类,共6220个胃含物样品摄食状况的分析结

① 唐启升等. 东、黄海的生态划区. 待发表

果^[5,6]。刺鲷、银鲷和斑鲷等 3 种鱼类的胃含物组成分别引自张其永等^[7]和韦晟等^[8]的研究结果,无脊椎动物功能群根据程济生等^[9]对黄海主要经济无脊椎动物摄食特征的研究结果划分。

1.2 数据分析

1.2.1 功能群划分

在鱼类功能群划分中,将各种鱼的食物组成归为以下饵料类群:浮游植物、桡足类、磷虾类、毛虾类、糠虾类、箭虫、虫戎类、底层虾类、蟹类、口足类、蛇尾类、腹足类、双壳类、多毛类、钩虾类、头足类、鱼类和其它类(包括不可辨认的饵料生物,以及在食物中相对重要性指数百分比未达到 1% 的饵料类群)后,采用各饵料组成所占的相对重要性指数百分比(% IRI)^[1,4,10]进行聚类分析。采用 PRIMER v5.0 进行聚类分析,用 Bray-Curtis 相似性系数为标准来划分功能群。由于饵料相似性系数的大小受饵料生物的分类阶元影响较大,因此

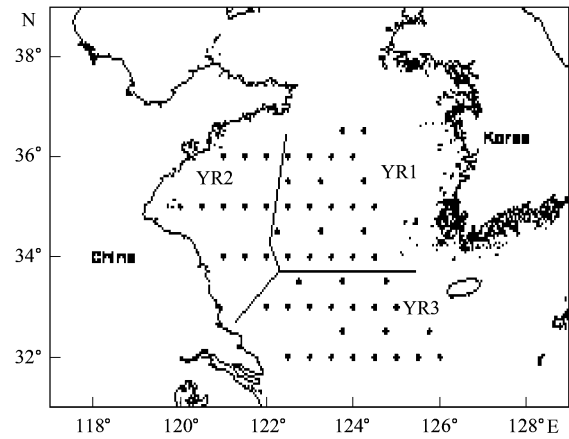


图 1 取样站位图

Fig.1 Sampling stations

表 1 黄海不同生态区的主要鱼种及其平均长度

Table 1 The average length of major fish species in sub-ecoregions of the Yellow Sea

鱼种 Fish species	标准长度 Standard body length (mm)					
	SYR1	SYR2	SYR3	AYR1	AYR2	AYR3
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	75.97 ± 10.37	—	—	109.40 ± 11.21	—	—
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakae</i>	—	—	443.75 ± 91.23	286.11 ± 59.35	323.34 ± 55.89	—
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	124.77 ± 17.45	128.16 ± 16.78	115.37 ± 13.73	—	132.18 ± 22.76	121.51 ± 17.71
黄鲛鰈 <i>Lophius litulon</i>	262.56 ± 25.32	—	—	—	—	—
银鲷 <i>Pampus argenteus</i>	111.70 ± 19.56	90.47 ± 13.97	144.24 ± 29.55	—	135.31 ± 26.29	126.07 ± 22.33
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	85.12 ± 9.44	—	—	—	206.90 ± 23.28	192.06 ± 41.50
黑鳃梅童 <i>Collichthys niveatus</i>	—	67.32 ± 8.95	74.88 ± 13.94	—	57.80 ± 9.46	60.23 ± 9.35
龙头鱼 <i>Harpodon nehereus</i>	—	—	135.60 ± 38.69	—	144.03 ± 27.56	112.30 ± 42.98
棘头梅童 <i>Collichthys lucidus</i>	—	—	—	—	64.26 ± 7.61	—
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	145.08 ± 21.51	107.28 ± 23.40	122.82 ± 31.19	—	122.87 ± 24.88	140.22 ± 15.76
凤鲚 <i>Coilia mystus</i>	—	254.57 ± 25.59	—	—	131.80 ± 15.36	131.78 ± 12.34
细条天竺鱼 <i>Apogonichthys lineatus</i>	—	—	—	—	39.50 ± 8.95	36.82 ± 4.78
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys kumu</i>	—	—	—	—	175.12 ± 12.37	—
长蛇鲻 <i>Saurida elongate</i>	—	—	—	—	161.37 ± 78.35	—
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	—	—	—	—	401.96 ± 22.53	—
孔鲷 <i>Raja porosa</i>	—	—	—	—	165.50 ± 28.52	—
鲈鱼 <i>Scomber japonicus</i>	—	—	—	—	—	217.77 ± 19.45
刺鲷 <i>Psenopsis anomala</i>	—	—	—	—	—	158.82 ± 8.57
斑鲷 <i>Clupanodon punctatus</i>	144.40 ± 9.05	—	—	—	—	—
大头鲷 <i>Gadus macrocephalus</i>	185.15 ± 73.83	—	—	—	—	—
小带鱼 <i>Trichiurus muticus</i>	95.21 ± 13.67	—	99.29 ± 11.18	—	—	—
高眼鲷 <i>Cleisthenes herzensteini</i>	149.29 ± 34.91	—	—	—	—	—
斑鲷 <i>Raja kenoei</i>	—	185.00 ± 17.52	—	—	—	—
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	—	76.48 ± 3.96	—	—	—	—
矛尾鰕虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	—	89.22 ± 9.32	—	—	—	—
刀鲚 <i>Coilia ectenes</i>	—	88.12 ± 23.49	—	—	—	—
赤鼻棱鳀 <i>Thryssa kammalensis</i>	—	—	96.59 ± 14.22	—	—	—
虹鲷 <i>Erisphex pottii</i>	—	—	46.08 ± 11.77	—	—	—
鲛 <i>Miichthys miiuy</i>	—	—	416.80 ± 132.59	—	—	—
华鲷 <i>Raja chinensis</i>	—	—	197.50 ± 35.83	—	—	—

本研究采用 60% 的相似性系数为标准,同时结合在食性分析中采用的一般多数原则(将平均饵料组成比例超过 60% 的饵料种类定义为主要摄食对象)^[4,5]来划分鱼类群落的功能群,以及各功能群中的同食物资源种团(Diet trophic guild,即功能群中利用相似食物资源的物种集合^[4])。

1.2.2 主要功能群和主要种类的确定

按照多数性原则,根据各种类生物量组成资料^[11],以占总生物量 80% 左右的功能群为各生物群落的主要功能群,同时以占总生物量 70% 左右的种类为各生物群落的主要生物种类。

1.2.3 功能群营养级的计算

各功能群的营养级($\overline{TL}_k$)根据下列公式计算:

$$\overline{TL}_k = \sum_{i=1}^m TL_i Y_i / Y$$

式中, TL_i 表示*i*种类的营养级,计算方法见 Zhang 等^[12]。 Y_i 表示*i*种类的生物量, Y 表示*m*个种类的总生物量。

2 结果

2.1 黄海冷水团海域(YR1)生物群落的功能群及其主要种类

2.1.1 春季(SYR1)的基本状况

聚类分析表明 SYR1 的 10 种鱼由 3 个功能群组成,包括浮游生物食性、虾食性和鱼食性功能群(图 2)。浮游生物食性功能群的 7 种鱼又分为 2 个同食物资源种团,一个同食物资源种团包括带鱼、黄鲫、小带鱼、鲢和小黄鱼,摄食的相似性水平为 66.17%,主要以磷虾类为食,占食物的 89.40% (范围为 78.36% ~ 99.63%) (图 3a)。其中带鱼、黄鲫和小带鱼摄食的相似性水平最高,达 81.47%,摄食的磷虾类均占食物的 90% 以上;而鲢还摄食较多的桡足类,占食物的 21.63%,小黄鱼还摄食较多的底层虾类,占食物的 14.98%。另一个同食物资源种团包括银鲳和斑鲳,摄食的相似性水平为 79.70%,主要摄食浮游植物和桡足类(图 3a)。高眼鲷和大头鲷属虾食性功能群,摄食的相似性水平为 61.97% (图 2),摄食的底层虾类占食物的 86.21% (范围为 72.49% ~ 99.93%) (图 3b)。大头鲷主要摄食底层虾类,占食物的 99.93%,以脊腹褐虾为主;高眼鲷摄食的底层虾类以脊腹褐虾和大螯蛄虾为主,另外还摄食一定比例的头足类、蛇尾类和双壳类。黄鲛属鱼食性功能群(图 2),摄食的鱼类以方氏云鲷为主。

SYR1“简化食物网”的生物群落包括 10 种鱼,2 种无脊椎动物,分属浮游生物食性、虾食性、广食性、鱼食性和底栖动物食性 5 个功能群,各功能群营养级分别为 3.22、3.83、3.72、4.50 和 3.30,根据各功能群的生物量组成,春季黄海冷水团海域高营养层次生物群落营养级为 3.35 (表 2)。SYR1 中浮游生物食性功能群所占的比例最大,为 81.32% (图 13),该功能群的主要种类为小黄鱼和鲢,生物量比例分别为 39.88% 和 13.33%。根据各种类生物量排序,春季黄海冷水团海域的主要种类为小黄鱼、鲢、斑鲳、银鲳和日本枪乌贼,分属浮游生物食性功能群和广食性功能群,占总生物量的 70.08% (表 3)。

表 2 黄海高营养层次各功能群及各生物群落的营养级

Table 2 The trophic level of each functional groups and each communities at high trophic level in the Yellow Sea

生物群落 Communities	各功能群营养级 The trophic level of each functional groups						各生物群落营养级 The trophic level of each communities
	鱼食性 Piscivores	虾/鱼食性 Shrimp/fish predators	虾食性 Shrimp predators	底栖动物食性 Benthivores	浮游动物食性 Planktivores	广食性 Generalist predators	
SYR1	4.50	—	3.83	3.30	3.22	3.72	3.35
AYR1	—	—	3.95	—	3.27	—	3.34
SYR2	—	—	3.80	3.34	3.35	3.38	3.36
AYR2	4.32	4.01	3.88	3.46	3.35	3.79	3.65
SYR3	4.44	—	3.95	3.33	3.22	—	3.34
AYR3	4.04	—	4.00	3.37	3.35	3.57	3.56

表 3 黄海各生物群落的主要种类

Table 3 The major species of each communities in the Yellow Sea

生物群落 Communities	生物种类 Species	生物量(%) Biomass	所属功能群 Functional group	生物群落 Communities	生物种类 Species	生物量(%) Biomass	所属功能群 Functional group
SYR1	小黄鱼	39.88	浮游生物食性	AYR1	鳀	79.51	浮游生物食性
	鳀	13.33	浮游生物食性	AYR2	银鲱	17.46	浮游生物食性
	斑鲈	6.54	浮游生物食性		带鱼	16.48	鱼食性
	银鲱	5.48	浮游生物食性		黑鳃梅童	12.74	浮游生物食性
	日本枪乌贼	4.85	广食性		龙头鱼	5.06	浮游生物食性
SYR2	细巧仿对虾	35.40	底栖动物食性		三疣梭子蟹	4.03	底栖动物食性
	双斑蟳	13.08	底栖动物食性		棘头梅童	4.00	浮游生物食性
	黑鳃梅童	5.63	浮游生物食性		黄鲫	3.97	浮游生物食性
	脊腹褐虾	4.59	底栖动物食性		凤鲚	3.69	浮游生物食性
	银鲱	4.39	浮游生物食性		细条天竺鱼	3.22	浮游生物食性
	细螯虾	4.36	底栖动物食性	AYR3	细点圆趾蟹	15.81	底栖动物食性
	斑蟊	4.05	虾食性		小黄鱼	11.65	广食性
					龙头鱼	11.63	鱼食性
					三疣梭子蟹	8.11	底栖动物食性
					黄鲫	6.41	浮游生物食性
SYR3	小黄鱼	40.52	浮游生物食性		带鱼	6.14	虾食性
	细点圆趾蟹	8.95	底栖动物食性		鲈鱼	5.06	鱼食性
	赤鼻棱鳀	8.34	浮游生物食性		鹰爪虾	4.10	底栖动物食性
	黄鲫	4.71	浮游生物食性		银鲱	3.33	浮游生物食性
	虹鲮	4.05	浮游生物食性				
	细纹狮子鱼	3.59	虾食性				

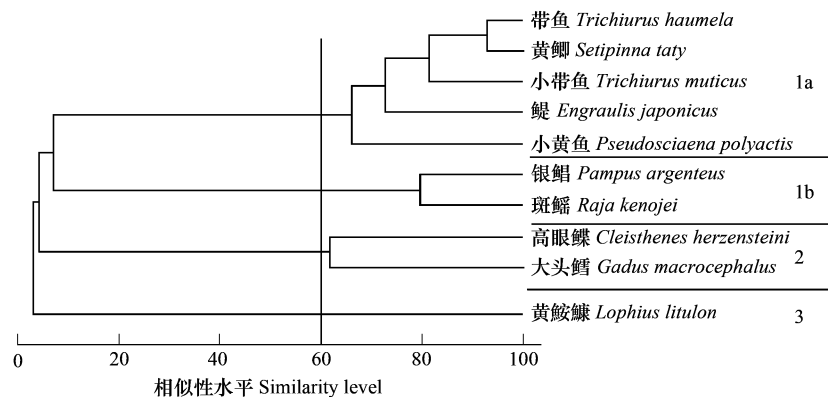


图 2 春季黄海冷水团海域(SYR1)鱼类功能群的聚类分析图

Fig. 2 Dendrogram of different functional groups in spring fish assemblages of Yellow Sea Cold Water Mass region (SYR1) defined by cluster analysis

1a - 1b: 浮游生物食性 planktivores; 2: 虾食性 shrimp predators; 3: 鱼食性 piscivores

2.1.2 秋季 (AYR1) 的基本状况

聚类分析表明 AYR1 的 2 种鱼由 2 个功能群组成, 包括浮游生物食性和虾食性功能群, 摄食完全不同, 各功能群营养级分别为 3.27 和 3.95 (表 2)。鳀属浮游生物食性功能群, 摄食较多的磷虾类, 占食物的 76.61%, 同时还摄食较多的桡足类, 占食物的 23.00% (图 4a)。细纹狮子鱼属虾食性功能群, 摄食 78.64% 的底层虾类, 主要是脊腹褐虾; 细纹狮子鱼还摄食较多的鱼类, 主要是鳀和方氏云鳕 (图 4b)。

根据各功能群的生物量组成, 秋季黄海冷水团海域高营养层次生物群落的营养级为 3.34 (表 2), 其中浮游生物食性功能群所占的比例最大, 达 89.05% (图 13), 该功能群的主要种类为鳀, 生物量比例高达 79.51%。根据各种类生物量排序, 鳀也是秋季黄海冷水团海域的主要种类 (表 3)。

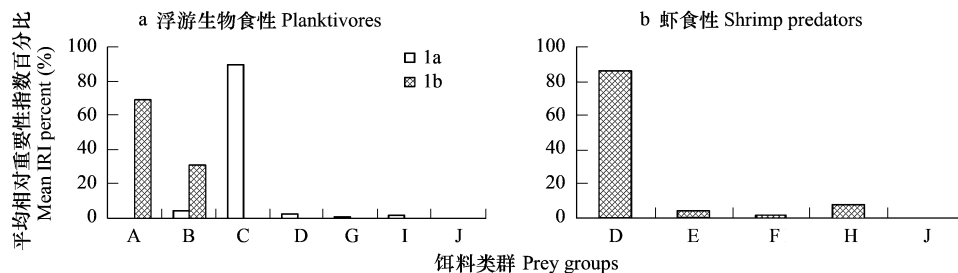


图3 春季黄海冷水团海域(SYR1)各鱼类功能群的食物组成

Fig. 3 Diet composition of each functional groups in spring fish assemblages of Yellow Sea Cold Water Mass region (SYR1)

A: 浮游植物; B: 桡足类; C: 磷虾类; D: 底层虾类; E: 蛇尾类; F: 双壳类; G: 钩虾类; H: 头足类; I: 鱼类; J: 其它类 A: Phytoplankton; B: Copepoda; C: Euphausiacea; D: Demersal shrimp; E: Ophiuroidea; F: Bivalvia; G: Gammarid amphipod; H: Cephalopoda; I: Fish; J: Others

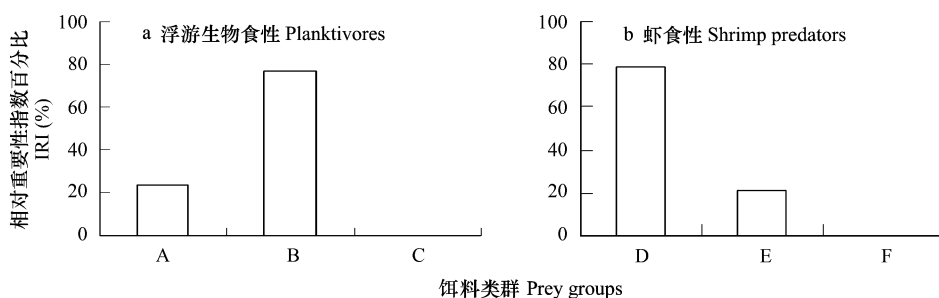


图4 秋季黄海冷水团海域(AYR1)鱼类各功能群的食物组成

Fig. 4 Diet composition of each functional groups in autumn fish assemblages of Yellow Sea Cold Water Mass region (AYR1)

A: 桡足类; B: 磷虾类; C: 虫戎类; D: 底层虾类; E: 鱼类; F: 其它类 A: Copepoda; B: Euphausiacea; C: Hyperiid amphipods; D: Demersal shrimp; E: Fish; F: Others

2.2 黄海近岸水域(YR2)生物群落的功能群及其主要种类

2.2.1 春季(SYR2)的基本状况

聚类分析表明 SYR2 的 9 种鱼由 3 个功能群组成,包括底栖动物食性、虾食性和浮游生物食性功能群(图 5)。矛尾鰕虎鱼属底栖动物食性功能群,主要摄食双壳类、钩虾类和等足类等底栖动物(图 6a)。斑鳍属虾食性功能群,摄食的底层虾类以鹰爪虾和戴氏赤虾为主。其它 7 种鱼均属浮游生物食性功能群,包括大银鱼、黑鳃梅童、银鲳、刀鲚、小黄鱼、黄鲫和风鲚,摄食的浮游生物种类差异较大,食物的相似性水平很低,可分为 4 个同食物资源种团(图 5)。小黄鱼、黄鲫和风鲚属同一同食物资源种团,均摄食 90% 以上的磷虾类,食物的相似性水平高达 89.68%;大银鱼和黑鳃梅童所属的同食物资源种团以桡足类为主要食物,摄食的相似性水平为 74.99%;刀鲚摄食的浮游动物的种类较多,包括桡足类、糠虾类、磷虾类和箭虫类;银鲳以浮游植物和桡足类为主要食物(图 6b)。

SYR2“简化食物网”的生物群落包括 9 种鱼,8 种无脊椎动物,分属底栖动物食性、浮游生物食性、广食性和虾食性 4 个功能群,各功能群营养级分别为 3.34、3.35、3.38 和 3.80(表 2)。根据各功能群的生物量组成,春季黄海近岸水域高营养层次生物群落的营养级为 3.36(表 2)。SYR2 的主要功能群为底栖动物食性功能群和浮游生物食性功能群,分别占功能群生物量的 68.15% 和 22.69%(图 13)。底栖动物食性功能群包括 6 种虾蟹类和 1 种鱼类,其中主要种类为细巧仿对虾和双斑螯,生物量比例分别为 35.40% 和 13.08%;浮游生物功能群包括 7 种鱼类,主要种类为黑鳃梅童和银鲳,生物量比例分别为 5.63% 和 4.39%。根据各种类生物量排序,春季黄海近岸水域的主要种类为细巧仿对虾、双斑螯、黑鳃梅童、脊腹褐虾、银鲳、细螯虾和斑鳍,分属浮游生物食性功能群、底栖动物食性功能群和虾食性功能群,占总生物量的 71.50%(表 3)。

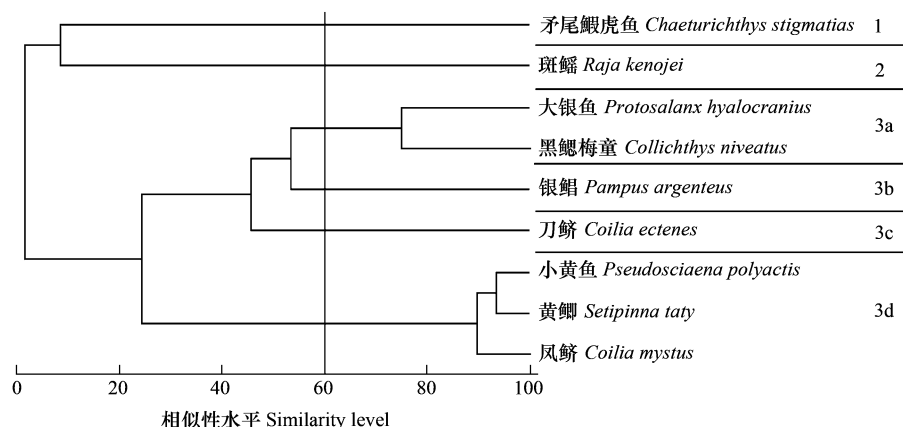


图5 春季黄海近岸水域(SYR2)鱼类功能群的聚类分析图

Fig. 5 Dendrogram of different functional groups in spring fish assemblages of Yellow Sea coastal water region (SYR2) defined by cluster analysis

1:底栖动物食性 benthivores; 2:虾食性 shrimp predators; 3a-3d:浮游生物食性 planktivores

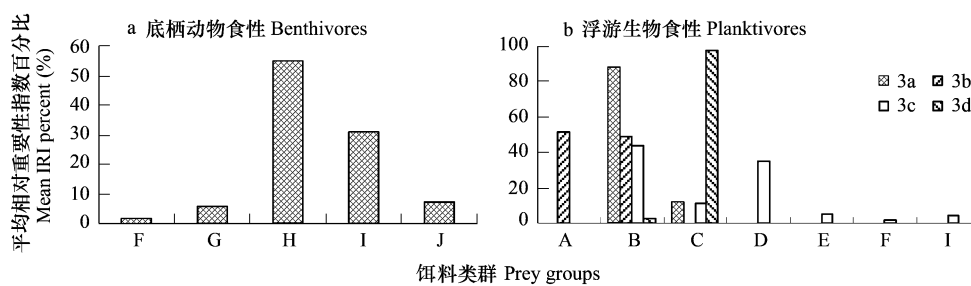


图6 春季黄海近岸水域(SYR2)鱼类各功能群的食物组成

Fig. 6 Diet composition of each functional groups in spring fish assemblages of Yellow Sea coastal water region (SYR2)

A:浮游植物; B:桡足类; C:磷虾类; D:糠虾类; E:箭虫类; F:底层虾类; G:等足类; H:双壳类; I:钩虾类; J:鱼类 A: Phytoplankton; B: Copepoda; C: Euphausiacea; D: Mysidae; E: Sagitta; F: Demersal shrimp; G: Isopoda; H: Bivalvia; I: Gammarid amphipods; J: Fish

2.2.2 秋季(AYR2)的基本状况

聚类分析表明 AYR2 的 14 种鱼由 4 个功能群组成,包括鱼食性、虾/鱼食性、虾食性和浮游生物食性功能群(图 7)。鱼食性功能群摄食的相似性水平为 60.71%,包括长蛇鲻、小黄鱼、带鱼和蓝点马鲛(图 7),摄食鱼类占食物的 80.11%(范围为 71.53%~91.46%)(图 8a)。其中蓝点马鲛摄食鱼类的比例最高,占食物的 91.46%,以鳀、赤鼻棱鳀和细条天竺鱼为主。长蛇鲻、小黄鱼和带鱼摄食鱼类的比例在 70~80%之间,长蛇鲻摄食鱼类以鳀、细条天竺鱼、黄鲫和方氏云鳎为主,另外还摄食底层虾类和头足类;小黄鱼摄食鱼类以细条天竺鱼为主,另外还摄食磷虾类和底层虾类;带鱼摄食鱼类以鳀和幼带鱼为主,另外还摄食毛虾类和底层虾类。绿鳍鱼为虾/鱼食性功能群(图 7),摄食的食物包括鱼类、底层虾类、口足类和蟹类(图 8b)。虾食性功能群包括孔鳐和细纹狮子鱼,摄食的相似性水平为 68.44%(图 7),摄食的底层虾类占食物的 87.38%(范围为 77.24%~97.52%)(图 8c)。孔鳐主要以底层虾类为食,占食物的 97.52%,摄食的底层虾类的种类较多,以细巧仿对虾和戴氏赤虾为主;细纹狮子鱼摄食的底层虾类以脊腹褐虾为主,摄食鱼类占食物的 22.24%,以尖海龙为主。浮游生物食性功能群包括细条天竺鱼、黄鲫、龙头鱼、凤鲚、黑鳃梅童、棘头梅童和银鲳 7 种鱼,由于摄食的浮游生物种类差异较大,食物的相似性水平很低,可分为 6 个同食物资源种团(图 7)。凤鲚和黑鳃梅童同属一个同食物资源种团,摄食的相似性水平为 82.47%,均摄食 90% 以上的桡足类。其余 5 种鱼分属不同的同食物资源种团,细条天竺鱼摄食 76.24% 的磷虾类,还摄食 20.38% 的幼鱼;黄鲫摄食 55.39% 的磷虾类,还摄食毛虾类、钩虾类和底层虾类;龙头鱼以毛虾类为主要食物,占食物的 95.48%;棘头

梅童摄食 56.42% 的桡足类、31.47% 的毛虾类和 10.99% 的底层虾类;银鲳则以浮游植物和桡足类为主要食物(图 8d)。

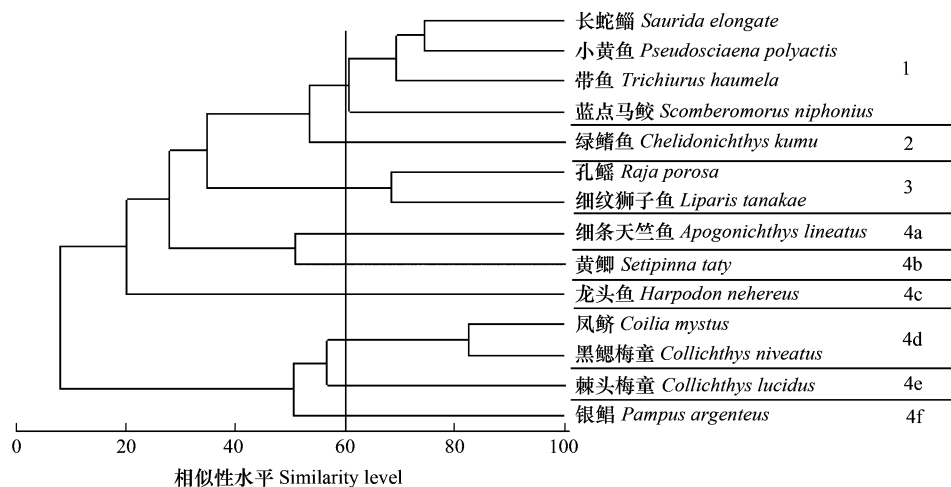


图 7 秋季黄海近岸水域(AYR2)鱼类功能群的聚类分析图

Fig. 7 Dendrogram of different functional groups in autumn fish assemblages of Yellow Sea coastal water region (AYR2) defined by cluster analysis

1: 鱼食性 piscivores; 2: 虾/鱼食性 shrimp/fish predators; 3: 虾食性 shrimp predators; 4a-4f: 浮游生物食性 planktivores

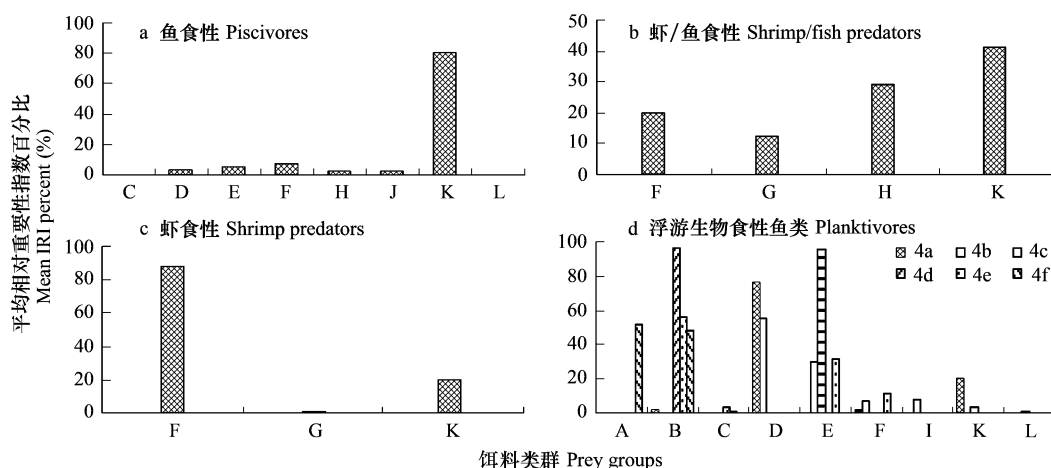


图 8 秋季黄海近岸水域(AYR2)鱼类各功能群的食物组成

Fig. 8 Diet composition of each functional groups in autumn fish assemblages of Yellow Sea coastal water region (AYR2)

A: 浮游植物; B: 桡足类; C: 糠虾类; D: 磷虾类; E: 毛虾类; F: 底层虾类; G: 蟹类; H: 口足类; I: 钩虾类; J: 头足类; K: 鱼类; L: 其它类 A: Phytoplankton; B: Copepoda; C: Mysidae; D: Euphausiacea; E: Acetes; F: Demersal shrimp; G: Crab; H: Stomatopoda; I: Gammarid amphipods; J: Cephalopoda; K: Fish; L: Others

AYR2“简化食物网”的生物群落包括 14 种鱼, 5 种无脊椎动物, 分属浮游生物食性、鱼食性、底栖动物食性、虾食性、广食性和虾/鱼食性 6 个功能群, 各功能群营养级分别为 3.35、4.32、3.46、3.88、3.79 和 4.01 (表 2)。根据各功能群的生物量组成, 秋季黄海近岸水域高营养层次生物群落的营养级为 3.65 (表 2)。AYR2 的主要功能群为浮游生物食性功能群和鱼食性功能群, 分别占功能群生物量的 55.29% 和 23.87% (图 13)。浮游生物食性功能群有 7 种鱼类, 其中主要种类为银鲳和黑鳃梅童, 生物量分别占 17.46% 和 12.74%; 鱼食性功能群的主要种类为带鱼, 生物量所占比例为 16.48%。根据各种类生物量排序, 秋季黄海近岸水域的主要种类为银鲳、带鱼、黑鳃梅童、龙头鱼、三疣梭子蟹、棘头梅童、黄鲫、凤鲚和细条天竺鱼, 分属浮游生物食性功能群、底栖动物食性功能群和鱼食性功能群, 占总生物量的 70.65% (表 3)。

2.3 黄海南部水域(YR3)生物群落的功能群及其主要种类

2.3.1 春季(SYR3)的基本状况

聚类分析表明 SYR3 的 11 种鱼由 3 个功能群组成, 包括虾食性、鱼食性和浮游生物食性功能群(图 9)。虾食性功能群包括龙头鱼、细纹狮子鱼和华鲮, 摄食的相似性水平为 64.94%。除主要摄食底层虾类以外, 还摄食较多的鱼类饵料(图 10a), 但它们摄食的主要食物种类有较大差异。龙头鱼摄食的底层虾类以细螯虾为主, 鱼类以细条天竺鱼和七星鱼为主; 细纹狮子鱼摄食的底层虾类的种类较多, 包括葛氏长臂虾、鲜明鼓虾、日本鼓虾、脊腹褐虾、以及细巧仿对虾等, 鱼类以黄鲫和小黄鱼为主; 华鲮摄食的底层虾类以口虾蛄和脊腹褐虾为主, 鱼类以矛尾鰕虎鱼为主。鲈鱼为鱼食性功能群, 摄食的鱼类以小黄鱼为主(图 10b)。浮游生物食性功能群包括小带鱼、虹鲮、黄鲫、黑鳃梅童、赤鼻棱鲮、小黄鱼和银鲳 7 种鱼, 分为 2 个同食物资源种团。银鲳以浮游植物和桡足类为主要食物, 单独为一同食物资源种团; 其余 6 种鱼均属另一同食物资源种团, 摄食的相似性水平为 82.88%, 主要摄食磷虾类, 占食物的 96.97% (范围为 89.75% ~ 99.92%) (图 10c)。

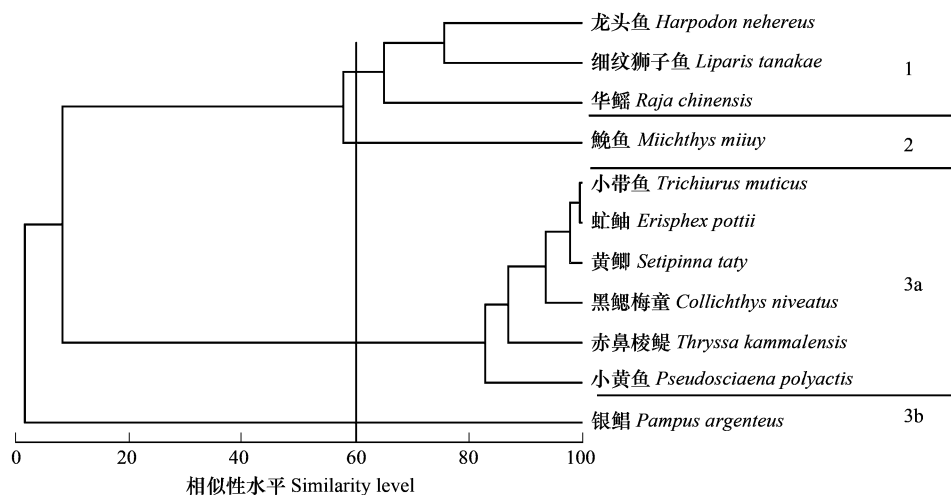


图 9 春季黄海南部水域(SYR3)鱼类功能群的聚类分析图

Fig. 9 Dendrogram of different functional groups in spring fish assemblages of the region encompassing the southern Yellow Sea and Changjiang Estuary (SYR3) defined by cluster analysis

1: 虾食性 shrimp predators; 2: 鱼食性 piscivores; 3a-3b: 浮游生物食性 planktivores

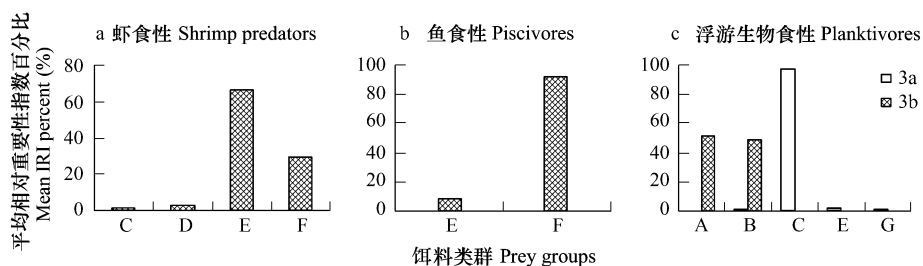


图 10 春季黄海南部水域(SYR3)鱼类各功能群的食物组成

Fig. 10 Diet composition of each functional groups in spring fish assemblages of the region encompassing the southern Yellow Sea and Changjiang Estuary (SYR3)

A: 浮游植物; B: 桡足类; C: 磷虾类; D: 毛虾类; E: 底层虾类; F: 鱼类; G: 其它类 A: Phytoplankton; B: Copepoda; C: Euphausiacea; D: Acetes; E: Demersal shrimp; F: Fish; G: Others

SYR3“简化食物网”的生物群落包括 11 种鱼, 5 种无脊椎动物, 分属浮游生物食性、底栖动物食性、虾食性和鱼食性 4 个功能群, 各功能群营养级分别为 3.22、3.33、3.95 和 4.44 (表 2)。根据各功能群的生物量组

成,春季黄海南部水域高营养层次生物群落的营养级为 3.34(表 2)。SYR3 的主要功能群为浮游生物食性功能群和底栖动物食性功能群,分别占功能群生物量的 70.23% 和 18.02%(图 13)。浮游生物食性功能群包括 7 种鱼类,主要种类为小黄鱼,生物量比例为 40.52%;底栖动物食性功能群包括 5 种无脊椎动物,主要种类为细点圆趾蟹,生物量比例为 8.95%。春季黄海南部水域的主要种类为小黄鱼、细点圆趾蟹、赤鼻棱鲷、黄鲫、虹鲃和细纹狮子鱼,分属浮游生物食性功能群、底栖动物食性功能群和虾食性功能群,占总生物量的 70.16%(表 3)。

2.3.2 秋季(AYR3)的基本状况

聚类分析表明 AYR3 的 10 种鱼由 4 个功能群组成,包括虾食性、鱼食性、广食性和浮游生物食性功能群(图 11)。鲈鱼和龙头鱼属鱼食性功能群,摄食的相似性水平为 79.64%。鲈鱼摄食 60.98% 鱼类,以七星鱼和细条天竺鱼为主,另外还摄食 37.52% 的磷虾类;龙头鱼摄食 61.52% 的鱼类,以细条天竺鱼为主;同时还摄食较多的毛虾类和底层虾类(图 12a)。小黄鱼属广食性功能群,小黄鱼摄食的食物种类包括磷虾类、底层虾类、鱼类和钩虾类等(图 12b)。浮游生物食性功能群包括细条天竺鱼、黄鲫、黑鳃梅童、刺鲃、凤鲚和银鲳,摄食的浮游生物种类差异较大,食物的相似性水平很低,可分为 5 个同食物资源种团(图 11)。细条天竺鱼和黄鲫为一同食物资源种团,食物的相似性水平为 87.54%,以磷虾类为主要食物,占食物的 90.89%(范围为 84.82%~96.95%);黑鳃梅童主要摄食磷虾类和桡足类;刺鲃以大型水母为食;凤鲚主要摄食桡足类;银鲳以浮游植物和桡足类为主要食物(图 12c)。带鱼属虾食性功能群,摄食的底层虾类占食物的 64.64%,以细螯虾为主;还摄食较多的鱼类,摄食的鱼类中以龙头鱼为主(图 12d)。

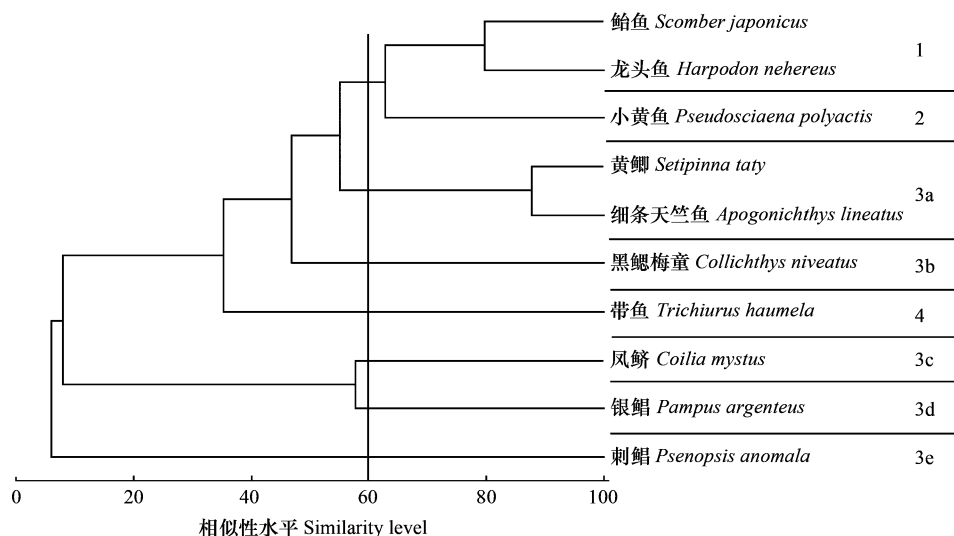


图 11 秋季黄海南部水域(AYR3)鱼类功能群的聚类分析图

Fig. 11 Dendrogram of different functional groups in autumn fish assemblages of the region encompassing the southern Yellow Sea and Changjiang Estuary (AYR3) defined by cluster analysis

1: 鱼食性 piscivores; 2: 广食性 generalist predators; 3a-3e: 浮游生物食性 planktivores; 4: 虾食性 shrimp predators

AYR3“简化食物网”的生物群落包括 10 种鱼,6 种无脊椎动物,分属底栖动物食性、浮游生物食性、鱼食性、广食性和虾食性 5 个功能群,各功能群营养级分别为 3.37、3.35、4.04、3.57 和 4.00(表 2)。根据各功能群的生物量组成,秋季黄海南部水域高营养层次生物群落的营养级为 3.56(表 2)。AYR3 的主要功能群为底栖动物食性功能群、浮游生物食性功能群、鱼食性功能群和广食性功能群,分别占功能群生物量的 40.32%、21.52%、18.47% 和 12.90%(图 13)。底栖动物食性功能群包括该生物群落的 6 种无脊椎动物,其中主要种类为细点圆趾蟹和三疣梭子蟹,生物量比例分别为 15.81% 和 8.11%;浮游生物食性功能群包括 7 种鱼类,主要种类为黄鲫,生物量比例为 6.41%;鱼食性功能群的主要种类为龙头鱼所占的比例为 11.63%;广食性功能

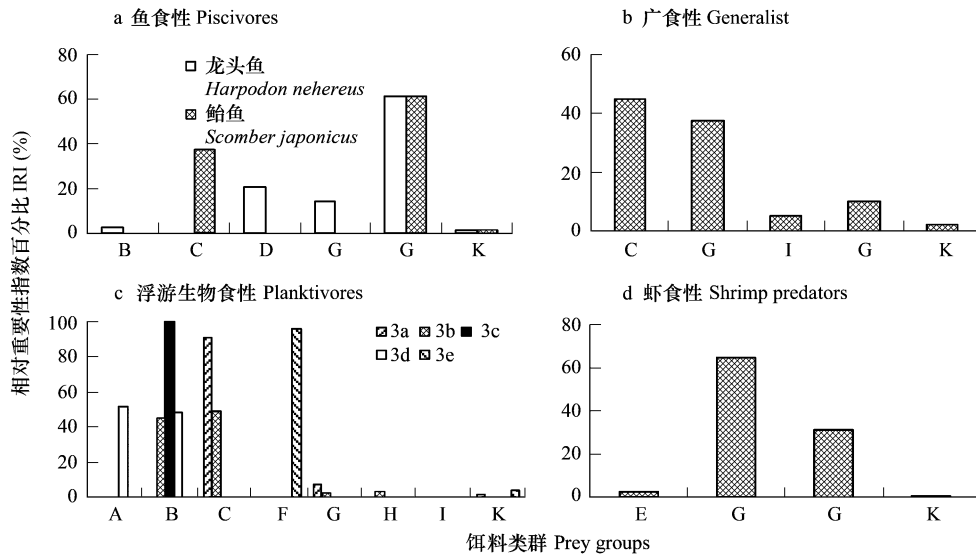


图 12 秋季黄海南部水域 (AYR3) 鱼类各功能群的食物组成

Fig. 12 Diet composition of each functional groups in autumn fish assemblages of the region encompassing the southern Yellow Sea and Changjiang Estuary (AYR3)

A: 浮游植物; B: 桡足类; C: 磷虾类; D: 毛虾类; E: 虫戎类; F: 水母; G: 底层虾类; H: 多毛类; I: 钩虾类; J: 鱼类; K: 其它类 A: Phytoplankton; B: Copepoda; C: Euphausiacea; D: Acetes; E: Hyperiid amphipods; F: Scyphozoa; G: Demersal shrimp; H: Polychaeta; I: Gammarid amphipods; J: Fish; K: Others

群的主要种类为小黄鱼, 生物量比例为 11.65%。秋季黄海南部水域的主要种类为细点圆趾蟹、小黄鱼、龙头鱼、三疣梭子蟹、黄鲫、带鱼、鲈鱼、鹰爪虾和银鲳, 分属该水域的 5 个功能群, 占总生物量的 72.24% (表 3)。

3 讨论与结语

根据对黄海冷水团海域、近岸水域和黄海南部水域 3 个区域春秋两季高营养层次生物群落的 30 种鱼类和 15 种无脊椎动物功能群的划分和主要种类的分析, 表明黄海生态系统高营养层次生物群落可分为 6 个功能群。根据生物量排序为: 浮游生物食性功能群、底栖动物食性功能群、鱼食性功能群、虾食性功能群、广食性功能群和虾/鱼食性功能群, 各功能群占总生物量的比例分别为 56.68%、22.90%、8.29%、7.15%、4.59% 和 0.40%, 各功能群营养级范围分别为 3.22 ~ 3.35、3.30 ~ 3.46、4.04 ~ 4.50、3.80 ~ 4.00、3.38 ~ 3.79 和 4.01。根据各生物种类和各功能群的生物量组成, 黄海的主要功能群为浮游生物食性功能群和底栖动物食性功能群, 主要种类包括 13 种, 按生物量排序为: 小黄鱼、鳀、细巧仿对虾、银鲳、细点圆趾蟹、带鱼、黑鳃梅童、黄鲫、龙头鱼、双斑螳、纹缟狮子鱼、三疣梭子蟹和凤鲚, 占总生物量的 70.57%。黄海高营养层次生物群落功能群的另

一个显著特点是浮游生物食性功能群包含多个同食物资源种团, 如黄海秋季近岸水域和南部水域以及春季近岸水域该功能群可分为 4 ~ 6 个同食物资源种团。各同食物资源种团摄食的浮游生物种类差异较大, 食物的相似性水平很低。这些同食物资源种团主要包括: (1) 主要以磷虾类为食, 这是该功能群重要同食物资源种

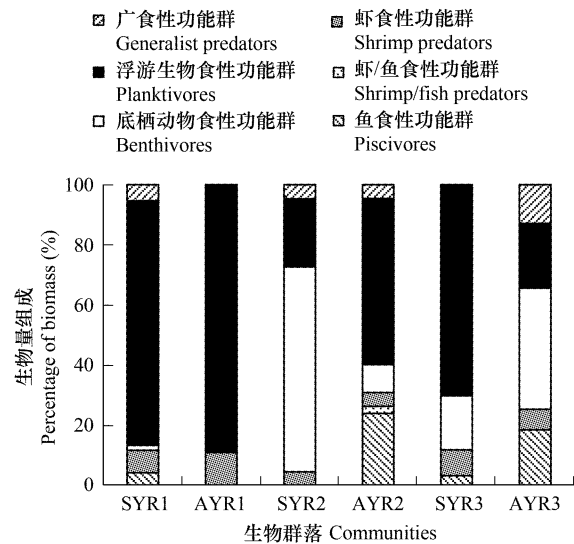


图 13 黄海各生物群落功能群的生物量组成

Fig. 13 Biomass composition of functional groups in each communities in the Yellow Sea

团,多数种类属此同食物资源种团;(2)主要以桡足类为食,如黄海秋季近岸水域和南部水域的风鲚;(3)主要摄食毛虾类,如黄海秋季近岸水域的龙头鱼(4)以浮游植物和桡足类为主要食物,如银鲳和斑鲈;(5)以大型水母为食,如刺鲅;(6)兼食多种浮游动物,如黄海秋季近岸水域的棘头梅童和春季近岸水域的刀鲚等。

黄海冷水团海域、近岸水域和黄海南部水域 3 个区域春秋两季“简化食物网”高营养层次生物群落功能群组成各不相同,其中春季黄海冷水团海域包括浮游生物食性、虾食性、鱼食性、广食性和底栖动物食性 5 个功能群;秋季黄海冷水团海域包括浮游生物食性和虾食性 2 个功能群组成;春季黄海近岸水域包括浮游生物食性、虾食性、广食性和底栖动物食性 4 个功能群;秋季黄海近岸水域包括鱼食性、虾/鱼食性、虾食性、底栖动物食性、广食性和浮游生物食性 6 个功能群;春季黄海南部水域包括浮游生物食性、虾食性、鱼食性和底栖动物食性 4 个功能群;秋季黄海南部水域包括虾食性、鱼食性、底栖动物食性、广食性和浮游生物食性 5 个功能群组成。由于受栖息地水文环境和季节的影响,在黄海各生态区生物群落中发挥主要作用的生物种类和功能群各不相同。黄海冷水团海域春秋两季均以浮游生物食性功能群为主,但该功能群的主要种类各不相同,春季的主要种类是小黄鱼和鲢,秋季的主要种类为鲢。春季黄海冷水团海域的主要种类包括小黄鱼、鲢、斑鲈、银鲳和日本枪乌贼;秋季黄海冷水团海域的主要种类为鲢。春季黄海近岸水域的主要功能群为底栖动物食性功能群和浮游生物食性功能群,主要种类包括细巧仿对虾、双斑螯、黑鳃梅童、脊腹褐虾、银鲳、细螯虾和斑鲈;秋季黄海近岸水域的主要功能群为浮游生物食性功能群和鱼食性功能群,主要种类包括银鲳、带鱼、黑鳃梅童、龙头鱼、三疣梭子蟹、棘头梅童、黄鲫、凤鲚和细条天竺鱼。春季黄海南部水域主要功能群为浮游生物食性功能群和底栖动物食性功能群,主要种类包括小黄鱼、细点圆趾蟹、赤鼻棱鲷、黄鲫、虹鲃和细纹狮子鱼;秋季黄海南部水域的主要功能群包括底栖动物食性功能群、浮游生物食性功能群、鱼食性功能群和广食性功能群,主要种类包括细点圆趾蟹、小黄鱼、龙头鱼、三疣梭子蟹、黄鲫、带鱼、鲈鱼、鹰爪虾和银鲳。

唐启升等^①对黄海的生态划区研究表明黄海近岸水域受沿岸流的影响较大,黄海南部水域受东海黑潮和长江口冲淡水的影响较大,而黄海冷水团海域相对稳定,是黄海的一个典型的生态区域。Jin et al.^[13]在对黄海鱼类群落结构的研究中则认为黄海冷水团海域的水文环境终年相对稳定且又不同于其它区域,是导致该水域的种类组成的多样性低的主要原因。本研究对黄海各生态区生物群落功能群的分析也支持他们的研究结果。从不同季节看,春季黄海不同生态区高营养层次的营养级接近,而秋季差别较大,秋季近岸水域高营养层次营养级最高,秋季冷水团海域高营养层次营养级最低。从不同生态区看,黄海冷水团海域高营养层次生物群落种类组成有较大差异,但均以浮游生物食性功能群为主,受季节变化的影响较小,其高营养层次的营养级接近,分别为 3.34 和 3.35。而黄海近岸水域和黄海南部水域高营养层次生物群落功能群组成受季节的影响较大。秋季近岸水域以浮游生物食性功能群为主,春季以底栖动物食性功能群为主;秋季黄海南部水域的各功能群的作用较均衡,食物关系较为复杂,春季以浮游生物食性功能群为主;秋季的营养级(3.56~3.65)均高于春季的营养级(3.34~3.36)。

上述分析表明由于受不同季节和水域的影响,种类组成的变化是导致各生物群落功能群组成差异的重要原因。除此之外,大量研究表明同种类体长分布的差异,以及饵料基础的时空变化也能影响生物群落功能群的组成^[4,10,13~15]。比较本研究的 30 个鱼种中在黄海多个生态亚区的生物群落中出现的 13 种鱼可以发现其中有 7 种所属的同食物资源种团或功能群有一定差异。其中黑鳃梅童、黄鲫和凤鲚尽管都属浮游生物食性功能群,但在不同生态亚区所属的同食物资源种团有区别。小黄鱼在春季的 3 个生态区中均属浮游生物食性功能群的同一个同食物资源种团,而在秋季的 2 个生态区中则属不同功能群:在近岸水域属鱼食性功能群,在黄海南部水域属广食性功能群。带鱼在不同生态亚区所属的功能群也有很大差异:在秋季近岸水域属鱼食性功能群,在秋季黄海南部水域属虾食性功能群,而在春季冷水团海域属浮游生物食性功能群。龙头鱼在不同生态亚区所属的功能群也有很大差异:秋季近岸水域属浮游生物食性功能群,在秋季黄海南部水域属鱼食性功能群。

① 唐启升等. 东、黄海的生态划区. 待发表

能群,而在春季黄海南部水域属虾食性功能群。这些差异是受体长差异的影响大,还是受不同生态亚区饵料基础的时空变化的影响大,还需要针对不同的种进行更深入的研究。同时在摄食生态的研究中应更加关注这些种类的摄食状况和变化,以监测生物群落功能群组成的长期变化。

References:

- [1] Garrison P G. Spatial and dietary overlap in the Georges bank groundfish community. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 2000, 57 (8): 1679 – 1691.
- [2] Tang Q S. Strategies of research on marine food web and trophodynamics between high trophic levels. *Marine Fisheries Research*, 1999, 20 (2): 1 – 11.
- [3] Tang Q S, Su J L. China ocean ecosystem dynamics studies: I. Key Scientific Questions and Development Strategy. Beijing: Science Press, 2000. 252.
- [4] Zhang B, Tang Q, Jin X. Functional groups of fish assemblages and their major species at high trophic level in the East China Sea. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14 (6): 939 – 949.
- [5] Zhang B and Tang Q S. Feeding habits of six species of eels in East China Sea and Yellow Sea. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27 (4): 307 – 314.
- [6] Zhang B. Feeding habits and ontogenetic diet shift of hairtail fish (*Trichiurus lepturus*) in East China Sea and Yellow Sea. *Marine Fisheries Research*, 2004, 25 (2): 6 – 12.
- [7] Zhang Q Y, Lin Q M, Lin Y T, Zhang Y P. Food web of fishes in Minnan-Taiwanchientan fishing ground. *Acta Oceanologica Sinica*, 1981, 3 (2): 275 – 290.
- [8] Wei S and Jiang W. Study on food web of fishes in the Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1992, 23 (2): 182 – 192.
- [9] Cheng J, Zhu J, Jiang W. Study on the feeding habit and trophic level of main economic invertebrates in the Huanghai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1997, 19 (6): 102 – 108.
- [10] Munoz A A and Ojeda F P. Guild structure of carnivorous intertidal fishes of the Chilean coast: implications of ontogenetic dietary shifts. *Oecologia*, 1998, 114: 563 – 573.
- [11] Tang Q. Atlas of ecosystem dynamics in the Yellow Sea and East China Sea. Beijing: Science Press, 2004.
- [12] Zhang B, Tang Q, Jin X. Decadal-scale variations of trophic levels at high trophic levels in the Yellow Sea and Bohai Sea ecosystem. *Journal of Marine System*, 2007, 67 (3-4): 304 – 311.
- [13] Jin X, Xu B, Tang Q. Fish assemblage structure in the East China Sea and southern Yellow Sea during autumn and spring. *Journal of Fish Biology*, 2003, 62 (5): 1194 – 1205.
- [14] Simberloff D and Dayan T. The guild concept and the structure of ecological communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1991, 22: 115 – 143.
- [15] Garrison L P and Link J S. Dietary guild structure of the fish community in the Northeast United States continental shelf ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 202: 231 – 240.

参考文献:

- [2] 唐启升. 海洋食物网与高营养层次营养动力学研究策略. *海洋水产研究*, 1999, 20(2): 1 ~ 11.
- [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. 北京: 科学出版社, 2000. 252.
- [4] 张波, 唐启升, 金显仕. 东海高营养层次鱼类功能群及其主要种类. *中国水产科学*, 2007, 14(6): 939 ~ 949.
- [5] 张波, 唐启升. 东、黄海六种鳗的食性. *水产学报*, 2003, 27(4): 307 ~ 314.
- [6] 张波. 东、黄海带鱼的摄食习性及其随发育的变化. *海洋水产研究*, 2004, 25(2): 6 ~ 12.
- [7] 张其永, 林秋眠, 林允通, 张月平. 闽南-台湾浅滩渔场鱼类食物网研究. *海洋学报*, 1981, 3(2): 275 ~ 290.
- [8] 韦晟, 姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究. *海洋与湖沼*, 1992, 23(2): 182 ~ 192.
- [9] 程济生, 朱金声. 黄海主要经济无脊椎动物摄食特征及其营养层次的研究. *海洋学报*, 1997, 19(6): 102 ~ 108.
- [11] 唐启升. 黄、东海生态系统动力学调查图集. 北京: 科学出版社, 2004.