

东海高营养层次鱼类功能群及其主要种类

张波, 唐启升, 金显仕

(农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 中国水产科学研究院 黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:在2000年秋季和2001年春季东海120°~126.75°N、25.75°~31°E范围内的两次大面积调查基础上,以占渔获量90%的鱼类为研究对象,分析东海春、秋两季2个鱼类群落的功能群。结果表明,东海高营养层次鱼类群落包括7个功能群,即鱼食性鱼类、虾/鱼食性鱼类、虾食性鱼类、虾蟹食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游动物食性鱼类和广食性鱼类。其中东海近海春季鱼类种群由浮游动物食性鱼类、底栖动物食性鱼类、鱼食性鱼类和虾食性鱼类4个功能群组成,秋季鱼类种群由虾/鱼食性鱼类、虾食性鱼类、广食性鱼类、虾蟹食性鱼类、鱼食性鱼类和浮游动物食性鱼类6个功能群组成;东海外海春季鱼类种群由鱼食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游动物食性鱼类和虾食性鱼类4个功能群组成,秋季鱼类种群由浮游动物食性鱼类、虾/鱼食性鱼类、鱼食性鱼类、虾食性鱼类和底栖动物食性鱼类5个功能群组成。从生物量组成上分析,在各鱼类群落中发挥主要作用的功能群不同,春季东海鱼类群落以浮游动物食性鱼类功能群为主,而秋季以鱼食性鱼类功能群为主。其中带鱼、白姑鱼、六丝矛尾、虎鱼、多棘腔吻鳕、龙头鱼、小黄鱼、细条天竺鱼、发光鲷、花斑蛇鲻、短鳍红娘鱼、竹荚鱼、条尾绯鲤、黄鳍马面、黄条等15种鱼为各功能群的主要种类。群落种类组成的差异,同种类体长分布的差异,以及饵料基础的时空变化是导致东海各鱼类群落功能群组成差异的主要原因。[中国水产科学,2007,14(6):939-949]

关键词:功能群;同食物资源种团;鱼类群落;东海

中图分类号:Q145;S92.9

文献标识码:A

文章编号:1005-8737-(2007)06-0939-11

食物联系是海洋生态系统结构与功能的基本表达形式,能量通过食物链-食物网转化为各营养层次生物生产力,形成生态系统生物资源产量,并对生态系统的服务和产出及其动态产生影响。从生物学的角度看,海洋生态系统对物理和化学过程的响应常常表现为食物网的变化,而且海洋食物网又直接与生态系统的多样性、脆弱性和生产力相关联,因此食物网研究在海洋生态系统整合研究中也具有不可替代的重要地位^[1-2]。当前,食物网及其营养动力学过程研究已成为国内外海洋生态系统动力学研究的重要内容和前沿领域^[3-4]。中国从20世纪60年代就开始进行鱼类摄食习性的研究^[5-6],并且用食性分析的方法,对中国近海各海域的鱼类食物关系进行了研究^[7-11]。这些研究以鉴别和计量研究海区主要资源种的摄食种类及组成,分析计算营养级和食物关系为主^[1],为进一步开展食物网及其营养动力学过程的研究提供了丰富的历史资料。

由于海洋生态系统生物种类的多样性和食物关系的复杂性,使得全种类的食物网定量研究和定性

分析变得十分困难,选择在食物关系、营养层次转化中发挥重要功能作用的关键种以及重要的生物种类中开展有选择研究,即“简化食物网”的研究策略已逐渐成为一种新的研究趋势^[1]。为了使选用种类有一个合理的判别标准并使简化食物网有真实的代表性,在中国近海生态系统动力学研究中采用了食物网关键种为研究策略,以各营养层次关键种为核心展开研究。以关键种为核心的研究策略实际还包括若干重要种类和相关的生物群落。对各营养层次来说,所谓的关键种和重要种类就是在食物网能量流动中发挥关键作用的功能群,及生物群落中发挥关键作用的部分^[2]。在这一研究策略的指导下,本课题组对中国近海各海域高营养层次重要生物资源种类的营养级进行了研究^[12]。在此基础上,本研究对东海近海鱼类群落(春季近海鱼类群落SG3和秋季近海鱼类群落AG3)和外海鱼类群落(春季外海鱼类群落SG4和秋季外海鱼类群落AG4)^[13]的功能群进行划分和研究,以便进一步分析研究在中国近海高营养层次食物网能量流动中发挥关键作用的

收稿日期:2006-11-17; 修订日期:2007-03-27.

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2006CB400600).

作者简介:张波(1971-),女,博士,副研究员,主要从事鱼类摄食生态及食物网结构的研究. E-mail: zhangbo@ysfri.ac.cn

通讯作者:唐启升. E-mail: ysfri@pulic.qd.sd.cn

种类,为定量建立简化食物网提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析

选取占渔获量 90% 的鱼类为研究对象。样品是 2000 年 10~11 月和 2001 年 4 月中国水产科学

研究院黄海水产研究所“北斗”号海洋科学调查船在东海 120°~126.75°N、25.75°~31°E 范围内进行大面积调查时所采集,取样站位如图 1 所示,AG3 和 AG4 为 2000 年秋季采样站位,SG3、SG4 为 2001 年春季采样站位。采用传统的胃含物分析方法^[12,14-15]对样品鱼的摄食进行分析。

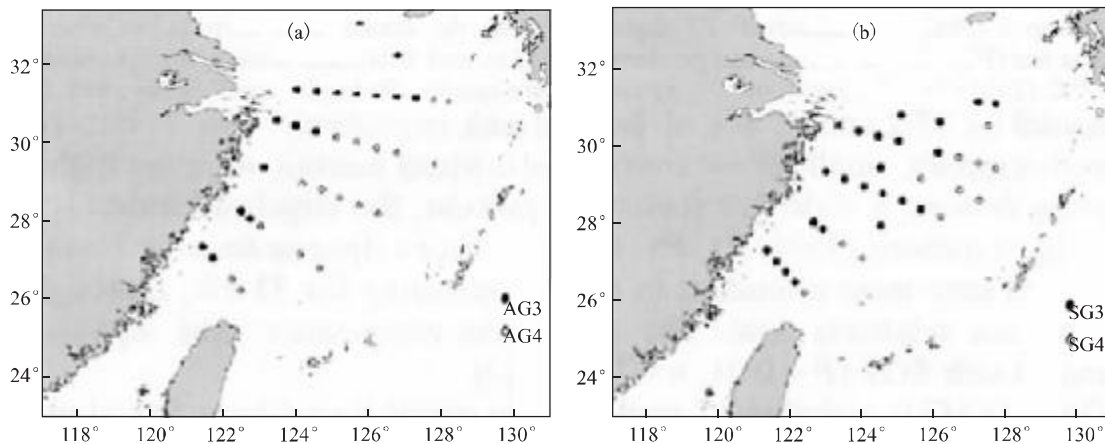


图 1 2000 年秋季 (a) 和 2001 年春季 (b) 东海调查站位和群落分布图

AG3 和 SG3 为近海鱼类群落;AG4 和 SG4 为外海鱼类群落^[13]。

Fig.1 Survey stations of the East China Sea in autumn 2000 (a) and spring 2001 (b)

AG3 and SG3 represent inshore groups; AG4, SG represent offshore groups^[13]。

1.2 数据分析

采用同食物资源种团 (Diet trophic guild) 的研究方法^[16-19]对鱼类群落功能群进行划分和研究 (所谓同食物资源种团是指群落中利用相似的食物资源的物种的集合^[20-23],常用聚类分析的方法来进行研究)。本研究采用 PRIMER v5.0 进行聚类分析,用 Bray-Curtis 相似性系数为标准来划分。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^[24],通常分类阶元越低,相似性系数越小,同食物资源种团划分越细。因此在划分时所采用的相似性系数并没有一个统一的标准^[16,19]。本研究将每种鱼的食物组成归为 16 种饵料类群:桡足类、磷虾类、蟹类、甲壳类幼体、介形类、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、鱼类和其他类 (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 5% 的饵料类群) 来进行聚类分析,因此采用 60% 的相似性系数为标准来划分鱼类群落的同食物资源种团。

在同食物资源种团划分的基础上进行功能群的研究。基本方法是:根据饵料特性,将这 16 种饵料

类群划分为鱼类,底层虾类,蟹类,底栖动物以及浮游动物 5 大类;同时采用一般多数的原则,将各同食物资源种团的平均饵料组成比例超过 60% 的定义为主要摄食对象^[14],并以此将各鱼类群落的同食物资源种团归入各功能群中。根据各种类生物量组成资料^[25]确定每一功能群的主要种类。各饵料组成所占的比例采用相对重要性指数百分比 (IRI)^[18-19]表示。

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

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

其中 IRI、W%、N% 和 F% 分别为各饵料生物的相对重要性指数、质量百分比、个数百分比以及出现频率。

2 结果与分析

2.1 样品情况

样品采集与体长测量结果如表 1 所示,共采样鱼样 30 种,其中 AG3 有 13 种,AG4 有 14 种;SG3 有 7 种,SG4 有 18 种,共 6435 个胃含物样品。

表 1 东海不同鱼类群落中的主要鱼种及其标准体长

Tab.1 Major fish species and their standard body length for each fish assemblage in the East China Sea

 $n = 6\,435; \bar{X} \pm SD$

鱼种 Fish species	标准长度 /mm Standard body length			
	AG3	AG4	SG3	SG4
鲈 <i>Scomber japonicus</i>	216.09 ± 19.19	186.64 ± 19.74	102.91 ± 63.68	67.36 ± 4.17
发光鲷 <i>Acropoma japonicum</i>	43.94 ± 5.18	69.10 ± 21.08	64.18 ± 9.17	59.55 ± 6.64
带鱼 <i>Trichiurus haumela</i>	185.82 ± 47.15	192.33 ± 40.12	150.31 ± 30.84	195.73 ± 41.61
竹荚鱼 <i>Trachurus japonicus</i>	153.34 ± 6.56	157.76 ± 8.37	—	142.76 ± 48.12
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	110.83 ± 16.61	137.83 ± 15.11	—	—
小黄鱼 <i>Pseudosciaena polyactis</i>	130.03 ± 21.71	—	115.10 ± 38.69	—
细条天竺鱼 <i>Apogonichthys lineatus</i>	39.14 ± 7.47	—	53.86 ± 10.95	—
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	197.11 ± 34.71	—	—	—
六丝矛尾虎鱼 <i>Chaeturichthys hexanema</i>	69.52 ± 15.59	—	—	—
七星底灯鱼 <i>Myxophum pterotum</i>	30.73 ± 5.18	—	—	—
皮氏叫姑鱼 <i>Johnius belangerii</i>	87.96 ± 36.86	—	—	—
多棘腔吻鳕 <i>Coelorhynchus multispinulosus</i>	184.81 ± 23.84	—	—	—
海鳗 <i>Muraenesox cinereus</i>	345.63 ± 51.93	—	—	—
花斑蛇鲻 <i>Saurida undosquamis</i>	—	105.13 ± 25.55	164.12 ± 24.71	140.96 ± 28.42
短尾大眼鲷 <i>Priacanthus macrocanthus</i>	—	178.52 ± 24.40	—	161.84 ± 15.14
长蛇鲻 <i>Saurida elongate</i>	—	196.11 ± 48.24	—	215.80 ± 76.87
短鳍红娘鱼 <i>Lepidotrigla microptera</i>	—	138.50 ± 23.99	—	100.23 ± 8.80
条尾绯鲤 <i>Upeneus bensasi</i>	—	107.51 ± 22.94	—	130.47 ± 19.19
叉斑狗母鱼 <i>Synodus macrops</i>	—	111.35 ± 34.34	—	126.85 ± 16.29
黄鳍马面鲀 <i>Thamnaconus hypargyreus</i>	—	118.09 ± 68.04	—	118.78 ± 30.46
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	—	392.29 ± 49.43	—	—
棕斑腹刺鲀 <i>Gastrophysus spadiceus</i>	—	276.14 ± 23.71	—	—
黑 <i>Engraulis japonicus</i>	—	—	132.75 ± 12.20	—
黄条 <i>Seriola lalandi</i>	—	—	—	630.43 ± 203.83
日本 <i>Sphyrna japonica</i>	—	—	—	277.98 ± 17.11
拟穴奇鳗 <i>Alloconger anagoides</i>	—	—	—	131.58 ± 22.06
尖牙鲈 <i>Synagrops argyrea</i>	—	—	—	49.16 ± 5.12
日本海鲂 <i>Zeus japonicus</i>	—	—	—	159.62 ± 51.59
高体若 <i>Caranx equula</i>	—	—	—	154.38 ± 28.32
黑 <i>Lophiomus setigerus</i>	—	—	—	144.42 ± 42.74

2.2 近海鱼类群落的功能群

2.2.1 AG3 的功能群 聚类分析表明 AG3 的 13 种鱼类可分为 7 个同食物资源种团, 由 6 个功能群组成。6 个功能群包括虾/鱼食性鱼类、虾食性鱼类、广食性鱼类、虾蟹食性鱼类、鱼食性鱼类和浮游动物食性鱼类(图 2)。虾/鱼食性鱼类的相似性水平为 64.61%, 包括海鳗和带鱼, 摄食 40.37% (范围为 25.96%~54.78%) 的底层虾类和 43.20% (范围为 41.86%~44.54%) 的鱼类, 同时还摄食一定比例的蟹类和口足类(图 3a)。虾食性鱼类包括皮氏叫姑鱼和白姑鱼, 摄食的相似性水平为 67.63%; 摄食 64.61% (范围为 64.20%~65.02%) 的底层虾类, 同时还摄食一定比例的鱼类和口足类(图 3b)。

六丝矛尾虎鱼是广食性鱼类, 摄食 30.15% 的鱼类, 29.99% 的底层虾类和 28.93% 的底栖动物(图 3c)。多棘腔吻鳕是虾蟹食性鱼类, 摄食 54.09% 的蟹类, 18.03% 的底层虾类和 19.57% 的口足类(图 3d)。鱼食性鱼类的相似性水平为 71.58%, 包括竹荚鱼、龙头鱼、小黄鱼和鲈, 摄食 87.64% (范围为 66.58%~99.70%) 的鱼类(图 3e)。浮游动物食性鱼类的相似性水平为 50.59%, 包括 2 个同食物资源种团, 一个同食物资源种团包括细条天竺鱼和发光鲷, 主要以磷虾类为食, 占食物的 89.87% (范围是 86.27%~93.47%), 相似性水平为 83.48%; 另一同食物资源种团为七星底灯鱼, 摄食 72.67% 的桡足类, 同时摄食相当比例的磷虾类(图 3f)。

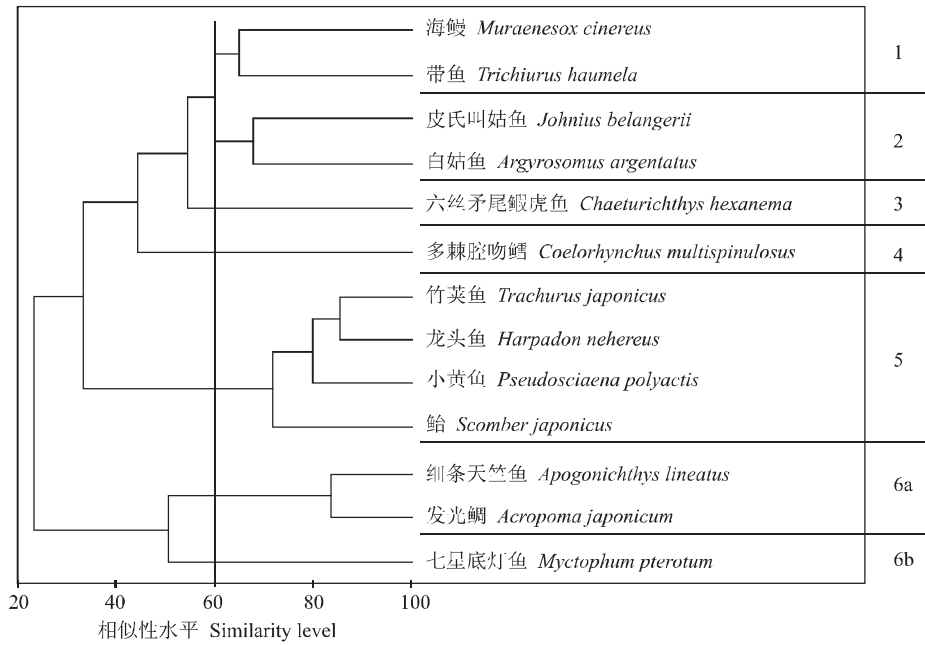
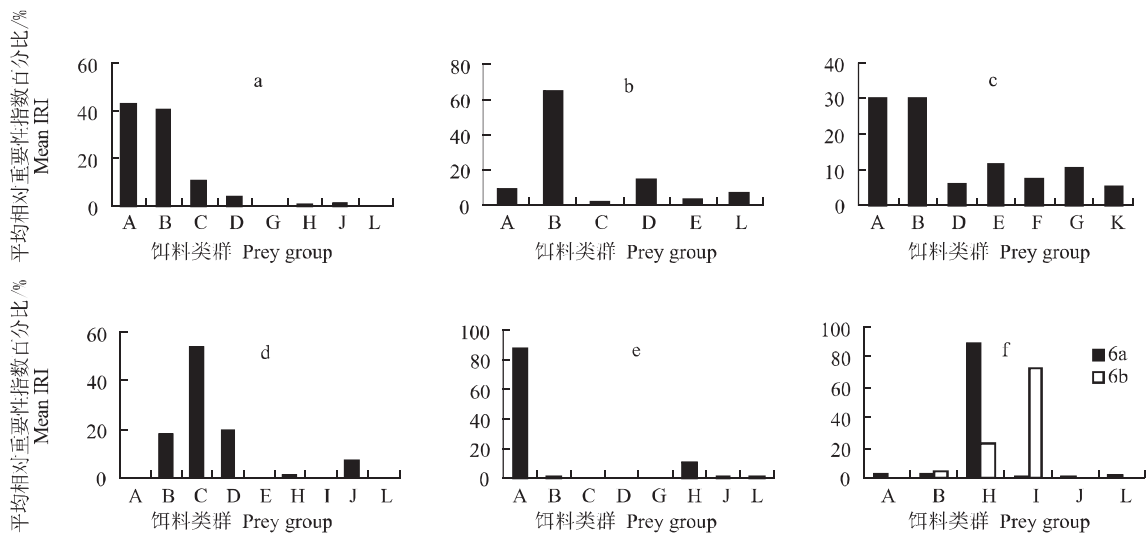


图 2 秋季东海近海 (AG3) 功能群的聚类分析图

1: 虾/鱼食性鱼类; 2: 虾食性鱼类; 3: 广食性鱼类; 4: 虾蟹食性鱼类; 5: 鱼食性鱼类; 6a-6b: 浮游动物食性鱼类

Fig.2 Dendrogram of different functional groups in autumn inshore fish assemblages (AG3) defined by cluster analysis

1: shrimp /fish predators; 2: shrimp predators; 3: generalist predators; 4: shrimp /crab predators; 5: piscivores; 6a - 6b: zooplanktivores.



A: 鱼类; B: 底层虾类; C: 蟹类; D: 口足类; E: 多毛类; F: 蛇尾类; G: 双壳类; H: 磷虾类; I: 桡足类; J: 介形类; K: 介形类; L: 其他。
A: Fish; B: Shrimp; C: Crab; D: Stomatopoda; E: Polychaeta; F: Ophiuroidea; G: Bivalvia; H: Euphausiacea; I: Copepoda; J: Hyperiid amphipods; K: Ostracoda; L: Others.

图 3 秋季东海近海 (AG3) 各功能群的食物组成

a- 虾/鱼食性鱼类; b- 虾食性鱼类; c- 广食性鱼类; d- 虾蟹食性鱼类; e- 鱼食性鱼类; f- 浮游动物食性鱼类。

Fig.3 Diet composition of each functional groups in autumn inshore fish assemblages (AG3)

a - shrimp /fish predators; b - shrimp predators; c - generalist predators; d - shrimp /crab predators; e - piscivores; f - zooplanktivores.

根据生物量组成(图4),AG3中鱼食性鱼类、虾/鱼食性鱼类和浮游动物食性鱼类3个功能群所占的比例较大。鱼食性鱼类功能群的主要种类为小黄鱼和龙头鱼,虾/鱼食性鱼类功能群的主要种类为带鱼,浮游动物食性鱼类功能群的主要种类为细条天竺鱼。

2.2.2 SG3的功能群 聚类分析表明SG3由5个同食物资源种团,4个功能群组成。4个功能群包括浮游动物食性鱼类、底栖动物食性鱼类、鱼食性鱼类和虾食性鱼类(图5)。浮游动物食性鱼类功能群摄食的相似性水平为56.29%,包括2个同食物资源种团。1个同食物资源种团包括发光鲷和鳀,相似性水平为64.84%,摄食46.29%(范围为39.48%~53.11%)的磷虾类和38.88%(范围为17.47%~60.29%)的桡足类(图6a-1a);另1个同食物资源种团包括带鱼和鲷,相似性水平为75.66%,主要摄食磷虾类,占食物的89.08%(范围为83.07%~95.08%)(图6a-1b)。细条天竺鱼为底栖动物食性鱼类,摄食67.42%的钩虾和11.41%的涟虫(图6b)。花斑蛇鲻属鱼食性鱼类,摄食96.67%

的鱼类饵料(图6c)。小黄鱼为虾食性鱼类,摄食85.32%的底层虾类(图6d)。

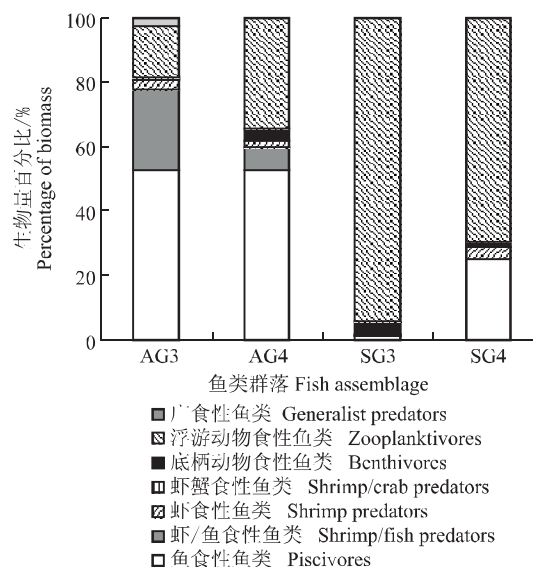


图4 东海各鱼类群落中各功能群的生物量组成

Fig.4 Biomass composition of functional groups in each fish assemblage in the East China Sea

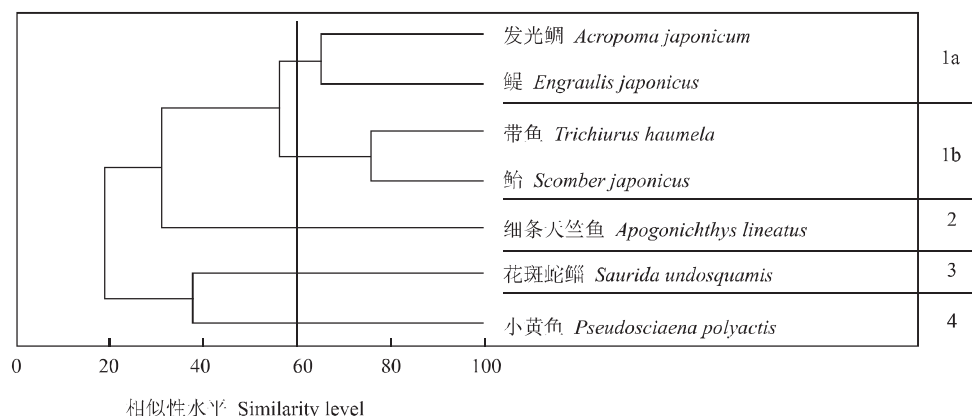


图5 春季东海近海(SG3)功能群的聚类分析图

1a、1b: 浮游动物食性鱼类; 2: 底栖动物食性鱼类; 3: 鱼食性鱼类; 4: 虾食性鱼类。

Fig.5 Dendrogram of different functional groups in spring inshore fish assemblages (SG3) defined by cluster analysis

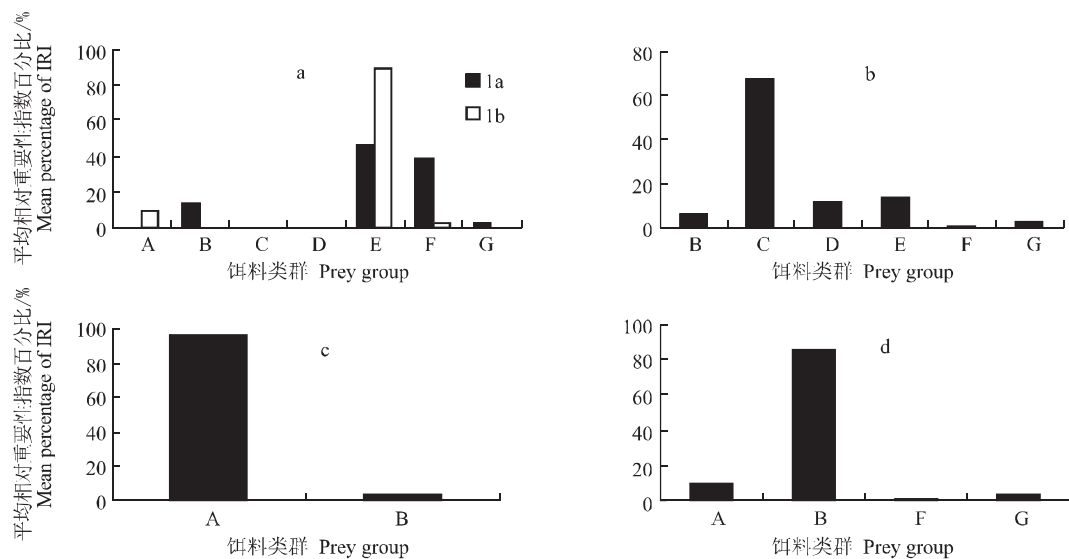
1a, 1b: zooplanktivores; 2: benthivores; 3: piscivores; 4: shrimp predators.

根据生物量组成(图4),SG3中浮游动物食性鱼类功能群所占的比例较大,其主要种类为发光鲷和鳀。

2.3 外海鱼类群落的功能群

2.3.1 AG4的功能群 聚类分析表明AG4的14种鱼类可分为7个同食物资源种团,5个功能群。5个功能群包括浮游动物食性鱼类、虾/鱼食性鱼类、鱼

食性鱼类、虾食性鱼类和底栖动物食性鱼类(图7)。浮游动物食性鱼类的相似性水平为47.41%,包括2个同食物资源种团。其中1个同食物资源种团包括发光鲷和带鱼,摄食58.32%的磷虾类和6.08%的桡足类,鱼类和底层虾类也是其重要的饵料种类,分别占食物的19.70%和15.44%(图8a-1a);另一个同食物资源种团主要包括鲷,主要摄食磷虾类和桡



A: 鱼类; B: 底层虾类; C: 钩虾类; D: 涟虫类; E: 磷虾类; F: 桡足类; G: 其他; 1a、1b: 浮游动物食性鱼类功能群的 2 个同食物资源种团。

A: Fishes; B: Shrimps; C: Cammarid amphipods; D: Cumacea; E: Euphausiacea; F: Copepoda; G: Others. 1a - 1b: zooplanktivores.

图 6 春季东海近海 (SG3) 各功能群的食物组成

a - 浮游动物食性鱼类; b - 底栖动物食性鱼类; c - 鱼食性鱼类; d - 虾食性鱼类。

Fig. 6 Diet composition of each functional groups in spring inshore fish assemblages (SG3)

a - zooplanktivores; b - benthivores; c - piscivores; d - shrimp predators.

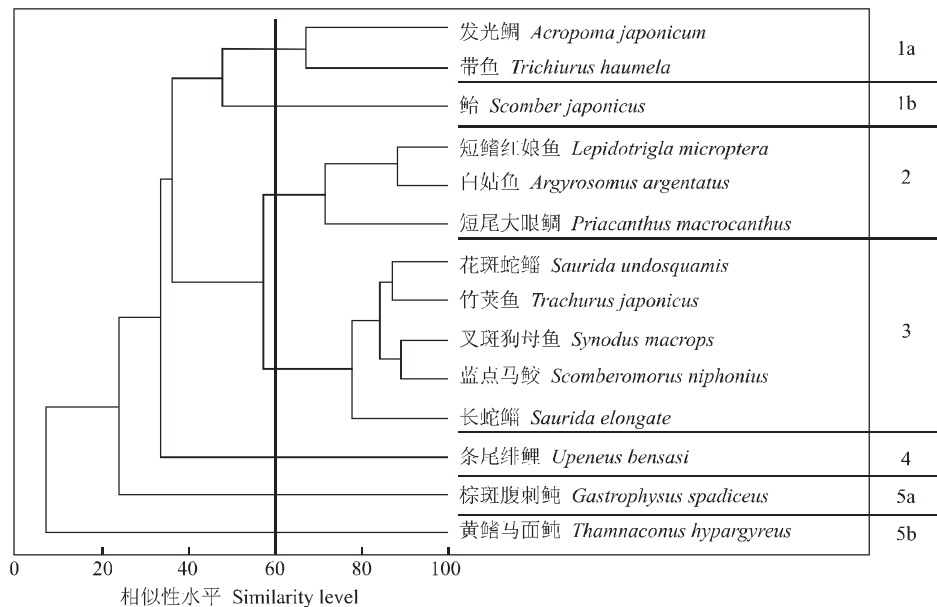


图 7 秋季东海外海 (AG4) 功能群的聚类分析图

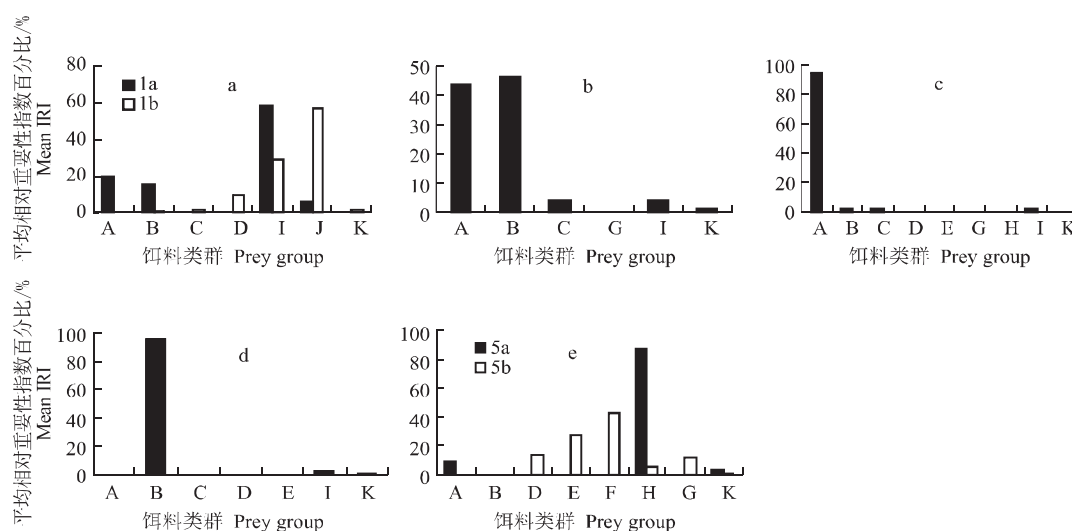
1a、1b: 浮游动物食性鱼类; 2: 虾/鱼食性鱼类; 3: 鱼食性鱼类; 4: 虾食性鱼类; 5a、5b: 底栖动物食性鱼类。

Fig. 7 Dendrogram of different functional groups in autumn offshore fish assemblages (AG4) defined by cluster analysis

1a - 1b: zooplanktivores; 2: shrimp / fish predators; 3: piscivores; 4: shrimp predators; 5a - 5b: benthivores.

足类,分别占食物的 29.27% 和 57.04% (图 8a—1b)。虾/鱼食性鱼类的相似性水平为 71.19%,包括短鳍红娘鱼、白姑鱼和短尾大眼鲷;摄食 43.74% (范围为 35.79%~54.97%) 的鱼类和 46.23% (范围为 37.22%~56.43%) 的底层虾类(图 8b)。鱼食性鱼类的相似性水平为 77.14%,包括花斑蛇鲻、竹荚鱼、叉斑狗母鱼、蓝点马鲛和长蛇鲻,摄食 94.31% (范围为 86.88%~98.43%) 的鱼类(图

8c)。条尾绯鲤为虾食性鱼类,摄食 96.23% 的底层虾类(图 8d)。棕斑腹刺鲈[▲]和黄鳍马面鲀[▲]均为底栖动物食性鱼类,但由于摄食的优势饵料种类各不相同,属于该功能群中的不同同食物资源种团。棕斑腹刺鲈[▲]摄食 86.94% 的腹足类(图 8e—5a);而黄鳍马面鲀[▲]摄食 42.40% 的蛇尾类和 26.71% 的双壳类,同时还摄食相当比例的多毛类、钩虾类和腹足类等底栖动物(图 8e—5b)。



A: 鱼类; B: 底层虾类; C: 头足类; D: 多毛类; E: 双壳类; F: 蛇尾类; G: 钩虾类; H: 腹足类; I: 磷虾类; J: 桡足类; K: 其他; 1a、1b: 浮游动物食性鱼类功能群的 2 个同食物资源种团; 5a、5b: 底栖动物食性鱼类功能群的 2 个同食物资源种团。

A: fishes; B: shrimps; C: cephalopoda; D: polychaeta; E: bivalvia; F: ophiuroidea; G: gammarid amphipods; H: gastropoda; I: euphausiacea; J: copepoda; K: others; 1a—1b: zooplanktivores; 5a—5b: benthivores.

图 8 秋季东海外海 (AG4) 各功能群的食物组成

a—浮游动物食性鱼类; b—虾/鱼食性鱼类; c—鱼食性鱼类; d—虾食性鱼类; e—底栖动物食性鱼类。

Fig.8 Diet composition of each functional groups in autumn offshore fish assemblages (AG4)

a—zooplanktivores; b—shrimp/fish predators; c—piscivores; d—shrimp predators; e—benthivores.

根据生物量组成(图 4), AG4 中鱼食性鱼类和浮游动物食性鱼类 2 个功能群所占的比例较大。鱼食性鱼类功能群的主要种类为竹荚鱼, 浮游动物食性鱼类功能群的主要种类为带鱼。

2.3.2 SG4 的功能群 聚类分析表明, SG4 由 5 个同食物资源种团, 4 个功能群组成。4 个功能群包括鱼食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游动物食性鱼类和虾食性鱼类(图 9)。鱼食性鱼类的相似性水平为 75.10%, 包括日本海鲂、长蛇鲻、黑鲷、黄条、日本和拟穴奇鲷 6 种鱼, 摄食 93.01% (范围在 85.79%~100%) 的鱼类(图 10a)。黄鳍马面鲀[▲]为底栖动物食性鱼类, 摄食 45.46% 的双壳类和 23.07% 的腹足类(图 10b)。浮游动物食性鱼类包

括的种类较多, 共 9 种, 相似性水平为 65.83%。根据优势饵料生物的不同, 又可分为 2 个同食物资源种团: 一个同食物资源种团包括发光鲷、鲈、高体若、尖牙鲈和竹荚鱼, 相似性水平为 75.73%, 主要摄食磷虾类, 占食物的 96.19% (范围为 87.43%~100%) (图 10c—3a); 另一同食物资源种团包括花斑蛇鲻、带鱼、叉斑狗母鱼和短尾大眼鲷, 相似性水平为 78.78%, 摄食 76.27% (范围为 66.76%~89.39%) 的磷虾类, 还摄食相当比例的鱼类和头足类(图 10c—3b)。虾食性鱼类的相似性水平为 71.71%, 包括条尾绯鲤和短鳍红娘鱼, 摄食 72.81% (范围为 61.92%~83.71%) 的底层虾类(图 10d)。

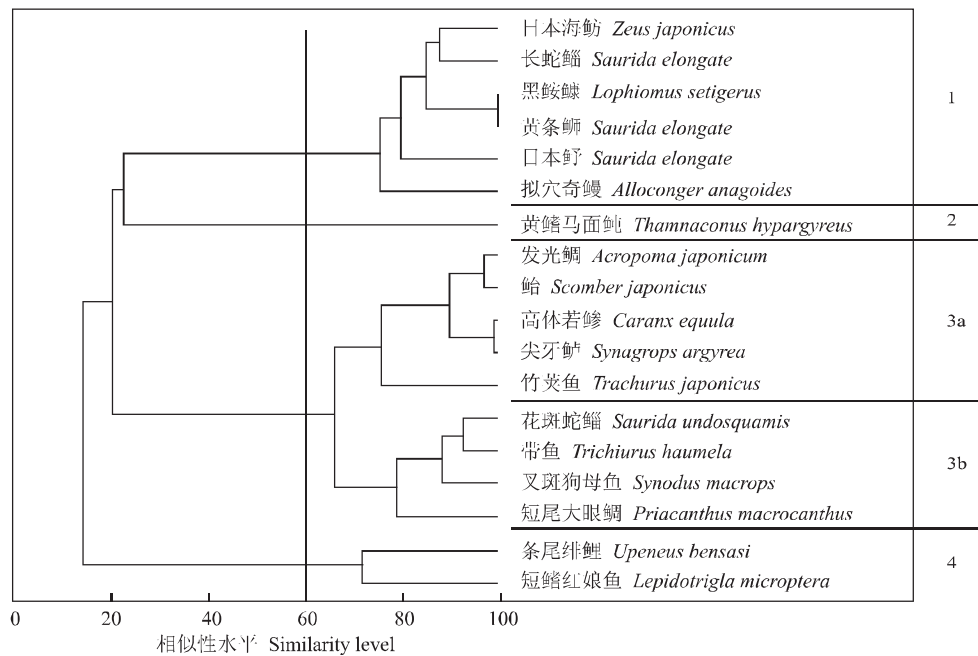
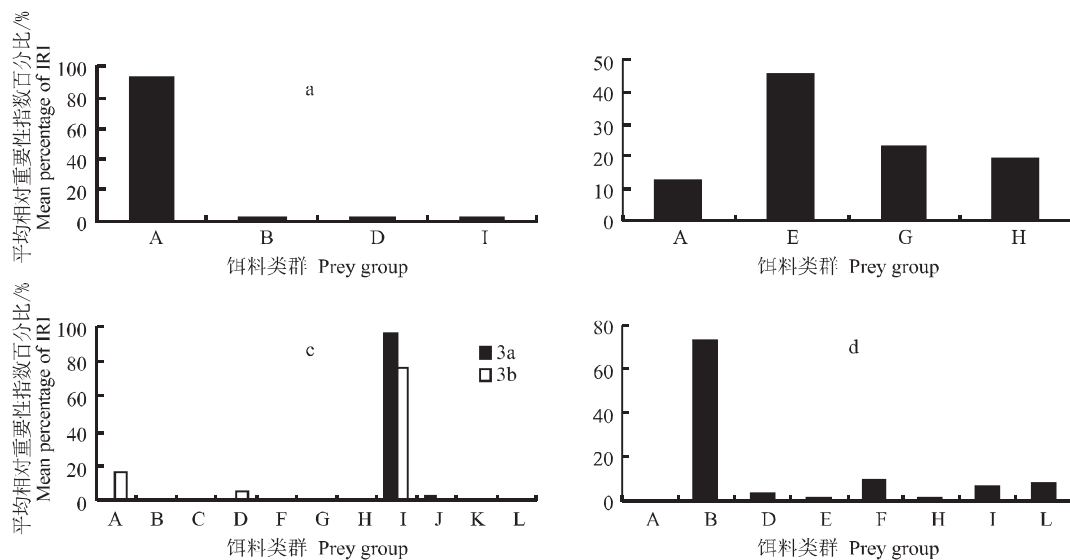


图 9 春季东海外海 (SG4) 功能群的聚类分析图

1: 肉食性鱼类; 2: 底栖动物食性鱼类; 3a, 3b: 浮游动物食性鱼类; 4: 虾食性鱼类。

Fig.9 Dendrogram of different functional groups in spring offshore fish assemblages (SG4) defined by cluster analysis

1: piscivores; 2: benthivores; 3a – 3b: zooplanktivores; 4: shrimp predators.



A: 鱼类; B: 底层虾类; C: 口足类; D: 头足类; E: 双壳类; F: 钩虾类; G: 腹足类; H: 甲壳类幼体; I: 磷虾类; J: 桡足类; K: 其他; L: 其他; 3a, 3b: 浮游动物食性鱼类功能群的 2 个同食物资源种团。

A: Fishes; B: Shrimps; C: Stomatopoda; D: Cephalopoda; E: Bivalvia; F: Gammarid amphipods; G: Gastropoda; H: Crustacea larva; I: Euphausiacea; J: Copepoda; K: Hyperiid amphipods; L: Others; 3a – 3b: zooplanktivores.

图 10 春季东海外海 (SG4) 各功能群的食物组成

a – 肉食性鱼类; b – 底栖动物食性鱼类; c – 浮游动物食性鱼类; d – 虾食性鱼类。

Fig.10 Diet composition of each functional groups in spring offshore fish assemblages (SG4)

a – piscivores; b – benthivores; c – zooplanktivores; d – shrimp predators.

根据生物量组成(图4),SG4中包括浮游动物食性鱼类和鱼食性鱼类2个功能群所占的比例较大。浮游动物食性鱼类功能群的主要种类为发光鲷,鱼食性鱼类功能群的主要种类为黄条魮。

3 讨论

本研究结果表明,东海鱼类群落可分为7个功能群:鱼食性鱼类、虾/鱼食性鱼类、虾食性鱼类、虾蟹食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游动物食性鱼类和广食性鱼类。大量研究表明,尽管鱼类群落中种类组成会有显著的变化,但食物资源的利用方式,以及功能群的结构组成还是相对稳定的^[19]。因此功能群的研究对分析食物网的能量和物质的流动,简化海洋生态系统的食物网结构具有重要的意义^[26]。各鱼类群落功能群在组成上具有明显的季节和区域差异,从生物量组成角度分析显示(图4),各鱼类群落中发挥主要作用的功能群不同,春季东海鱼类群落主要为浮游动物食性鱼类功能群,而秋季以鱼食性鱼类功能群为主。东海近海春季由浮游动物食性鱼类、底栖动物食性鱼类、鱼食性鱼类和虾食性鱼类4个功能群组成,各功能群的主要种类分别为发光鲷和、细条天竺鱼、花斑蛇鲻、小黄鱼;秋季由虾/鱼食性鱼类、虾食性鱼类、广食性鱼类、虾蟹食性鱼类、鱼食性鱼类和浮游动物食性鱼类6个功能群组成,各功能群的主要种类分别为带鱼、白姑鱼、六丝矛尾、虎鱼、多棘腔吻鳕、龙头鱼、小黄鱼和细条天竺鱼。东海外海春季由鱼食性鱼类、底栖动物食性鱼类、浮游动物食性鱼类和虾食性鱼类4个功能群组成,各功能群的主要种类分别为黄条魮、黄鳍马面、发光鲷和竹荚鱼、短鳍红娘鱼;秋季由浮游动物食性鱼类、虾/鱼食性鱼类、鱼食性鱼类、虾食性鱼类和底栖动物食性鱼类5个功能群组成,各功能群的主要种类分别为带鱼、短鳍红娘鱼、竹荚鱼、条尾绯鲤、黄鳍马面。

东海鱼类群落是根据鱼类栖息环境的差异以及季节性洄游分布特点来划分的^[13],其优势种类的数量及组成有很大的差异(表1),这是导致东海各鱼类群落功能群组成差异的主要原因。另外,同种类体长组成的差异也是影响功能群划分的重要因素,因为摄食会随体长发生变化。大量研究表明,鱼类摄食随体长的变化是一个普遍的现象,不论是不同体长组之间食物来源的不同^[27],还是随着体长增加,摄食的食物种类增多或食物体积不断扩大,同种

类的大个体和小个体之间,摄食的优势食物种类或食物大小产生了完全或一定程度的分隔^[15,28-30]。因此,由于食物资源利用的差异,同种类不同体长组的个体在生态系统的营养关系中就有可能占有不同的功能地位,因而属于不同的功能群。Munoz等^[18]研究发现,如果完全基于分类或种的基础上划分功能群,智利沿岸潮间带的10种肉食性鱼类仅能划分出1个明显的功能群,而如果考虑体长,就可以划分出4个功能群。由于功能群内的竞争比功能群间的竞争更强^[21],如果同种类大个体和小个体属于不同功能群,它们之间的食物竞争就有可能小于不同物种之间的竞争。因此,忽略资源利用的体长差异会人为地高估资源重叠,或过多地关注种间的相互关系^[29]。本研究发现,4个鱼类群落的30种鱼类中,有9种鱼在不同的鱼类群落归属不同的功能群,其中细条天竺鱼在秋季鱼类群落中体长较小,属浮游动物食性鱼类,而在春季的鱼类群落中,体长增加,属于底栖动物食性鱼类。另外体长较小的鲈、带鱼、短尾大眼鲷和竹荚鱼在鱼类群落中属于浮游动物食性,体长较小的小黄鱼和短鳍红娘鱼在鱼类群落中属于虾食性,而这些种类随体长增大,则属于鱼食性或虾/鱼食性了。可见体长在功能群划分,以及考察食物资源的利用和分配中是非常重要的,在研究中应更多地注意考虑这一重要因素^[16,19,32]。

另外,各鱼类群落功能群的食物组成差异也很大。例如,发光鲷在4个鱼类群落中均属于浮游动物食性鱼类这一功能群,在秋季近海鱼类群落和春季外海鱼类群落主要摄食磷虾类,占食物组成的90%,而在秋季外海鱼类群落和春季近海鱼类群落摄食磷虾类和桡足类,还兼食一些底层虾类;属于虾食性鱼类功能群的条尾绯鲤,在秋季外海鱼类群落中主要摄食细螯虾,而在春季外海鱼类群落摄食虾类的种类较多,包括米虾、安乐虾、细螯虾和长臂虾等;底栖动物食性鱼类功能群的黄鳍马面,春季外海鱼类群落主要摄食双壳类和腹足类,而在秋季外海鱼类群落主要摄食蛇尾类和双壳类,还摄食多毛类、钩虾和腹足类等。可见季节以及栖息地的差异,导致饵料种类存在显著的时空变化,这是导致同一种类在不同鱼类群落中其食物组成不同的主要原因,在其他海域的研究中也有类似现象的发现^[19]。同样,这一差异也是导致东海各鱼类群落功能群组成差异的另一主要原因。

综上所述,东海各鱼类群落功能群组成差异的

主要原因包括鱼类群落种类组成的差异,体长分布的差异,以及饵料基础的时空变化。

致谢:本研究的所有样品均由黄海水产研究所“北斗”号海洋科学调查船捕获,戴芳群、李延智等参加生物学测定工作,韦晟等参加胃含物分析工作,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 唐启升.海洋食物网与高营养层次营养动力学研究策略[J].海洋水产研究,1999,20(2):1-11.
- [2] 唐启升.海洋食物网及其在生态系统整合中的意义[R]//香山科学会议第228次学术讨论会,2004:19-24.
- [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.
- [4] IMBER. Science Plan and Implementation Strategy[R]//IGBP Report No. 52, IGBP Secretariat, Stockholm. 2005: 76.
- [5] 杨纪明,郑严. 浙江、江苏近海大黄鱼 *Pseudosciaena crocea* (Richardson) 的食性及摄食的季节变化[J]. 海洋科学集刊, 1962, 2: 14-30.
- [6] 杨纪明,林景祺. 烟台及其附近海区的摄食习性[C]//太平洋西部渔业研究委员会第七次全体会议论文集. 北京:科学出版社,1966:10-25.
- [7] 张其永,林秋眠,林允通,等. 闽南一台湾浅滩渔场鱼类食物网研究[J]. 海洋学报,1981,3:275-290.
- [8] 韦晟,姜卫民. 黄海鱼类食物网的研究[J]. 海洋与湖沼,1992, 23:182-192.
- [9] 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,1986,6:56-364.
- [10] 邓景耀,姜卫民,杨纪明,等. 渤海主要生物种间关系及食物网研究[J]. 中国水产科学,1997,4:1-7.
- [11] 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.
- [12] 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, 22:393-404.
- [13] Jin X, Xu B, Tang Q. Fish assemblage structure in the East China Sea and southern Yellow Sea during autumn and spring[J]. J Fish Biol, 2003, 62:1194-1205.
- [14] 张波,唐启升. 东、黄海六种鳗的食性[J]. 水产学报,2003, 27:307-314.
- [15] 张波. 东、黄海带鱼的摄食习性及其随发育的变化[J]. 海洋水产研究,2004, 25:6-12.
- [16] Garrison L P, Link J S. Dietary guild structure of the fish community in the Northeast United States continental shelf ecosystem[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2000, 202:231-240.
- [17] Simberloff D, Dayan T. The guild concept and the structure of ecological communities [J]. Annu Rev Ecol Syst, 1991, 22:115-143.
- [18] Munoz A A, Ojeda F P. Guild structure of carnivorous intertidal fishes of the Chilean coast: implications of ontogenetic dietary shifts[J]. Oecologia, 1998, 114:563-573.
- [19] Garrison P G. Spatial and dietary overlap in the Georges bank groundfish community[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2000, 57:1679-1691.
- [20] Root R B. The niche exploitation pattern of the blue-gray gnat-catcher[J]. Ecol Monogr, 1967, 37:317-350.
- [21] Pianka E R. Guild structure in desert lizards[J]. Oikos, 1980, 35:194-201.
- [22] Austen D J, Bayley P B, Menzel B W. Importance of the guild concept to fisheries research and management [J]. Fisheries, 1994, 19:12-20.
- [23] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 北京:北京师范大学出版社, 1992:363.
- [24] Greene H W, Jaksic F M. Food-niche relationships among sympatric predators: effects of level of prey identification[J]. Oikos, 1983, 40:151-154.
- [25] 唐启升. 黄、东海生态系统动力学调查图集[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [26] Hawkins C P, MacMahon J A. Guilds: the multiple meanings of a concept[J]. Annu Rev Entomol, 1989, 34:423-451.
- [27] Letourneur Y, Galzin R, Harmelin-Vivien M. Temporal variations in the diet of the damselfish *Stegastes nigricans* (Lacepede) on a reunion fringing reef[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1997, 217:1-18.
- [28] Labropoulou M, Machias A, Tsimenides N, et al. Feeding habits and ontogenetic diet shift of the striped red mullet, *Mullus surmuletus* Linnaeus, 1758[J]. Fish Res, 1997, 31:257-267.
- [29] Morato T, Serrao Santos R, Pedro Andrade J. Feeding habits, seasonal and ontogenetic diet shift of blacktail comber, *Serranus atricauda* (Pisces: Serranidae), from the Azores, north-eastern Atlantic[J]. Fish Res, 2000, 49:51-59.
- [30] 薛莹,金显仕,张波,等. 黄海中南部小黄鱼摄食习性的体长变化与昼夜变化[J]. 中国水产科学,2004, 11:420-425.
- [31] Piet G J, Pet J S, Guruge W A H P, et al. Resource Partitioning along three niche dimensions in a size-structured tropical fish assemblage[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1999, 56:1241-1254.
- [32] Livingston R J. Trophic organization of fishes in a coastal seagrass system [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1982, 7:1-12.

Functional groups of fish assemblages and their major species at high trophic level in the East China Sea

ZHANG Bo, TANG 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)

Abstract: The fish samples, which accounted for 90 % of total biomass, were collected during two bottom trawl surveys in the East China Sea in autumn of 2000 and spring of 2001 which covered the range of 120° – 126.75°N and 25.75° – 31°E. Diet trophic guild was used to analyze the functional groups of fish assemblages at high trophic levels in the East China Sea. In cluster analysis, 60 % of similarity level was used as criterion to divide diet trophic guild of fish assemblages. And according to majority rule, prey species of each diet trophic guild was defined as major predatory item when the mean percentage was greater than 60 % of total preys, then each diet trophic guild of fish assemblages were divided into each functional group. Functional groups of two fish assemblages in spring and autumn (including inshore fish assemblages SG3 in spring and inshore fish assemblage AG3 in autumn, offshore fish assemblages SG4 in spring and AG4 in autumn) in the East China Sea were analyzed.

Seven functional groups were investigated among fish assemblages at high trophic levels in the East China Sea, including piscivores, shrimp /fish predators, shrimp predators, shrimp /crab predators, generalist predators, benthivores and zooplanktivores. Thereinto, SG3 consisted of four functional groups: zooplanktivores, shrimp predators, benthivores and piscivores, whose dominant species were firefly-fish (*Acropoma japonicum*), anchovy (*Engraulis japonicus*), small yellow croaker (*Pseudosciaena polyactis*), cardinal fish (*Apogonichthys lineatus*) and brushtooth lizardfish (*Saurida undosquamis*), respectively. AG3 included zooplanktivores, shrimp /fish predators, shrimp predators, shrimp /crab predators, generalist predators and piscivores, whose dominant species were cardinal fish, largehead haitail (*Trichiurus haumela*), white croaker (*Argyrosomus argentatus*), spearnose grenadier (*Coelorhynchus multispinulosus*), pinkgray goby (*Chaeturichthys hexanema*), bomday duck (*Harpadon nehereus*) and small yellow croaker, respectively. Functional groups in SG4 included zooplanktivores, shrimp predators, benthivores and piscivores, whose major species were horse mackerel (*Trachurus japonicus*), firefly-fish, redwing searobin (*Lepidotrigla microptera*), *Thamnaconus hypargyreus*, yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*), respectively. AG4 included zooplanktivores, shrimp /fish predators, shrimp predators, benthivores and piscivores, whose major species were largehead haitail, redwing searobin, fin-striped goatfish (*Upeneus bensasi*), *T. hypargyreus*, horse mackerel in each functional group, respectively.

The composition of functional groups in each fish assemblage of the East China Sea showed remarkable seasonal and spatial difference. According to the biomass, zooplanktivorous fish was the major functional group in the East China Sea in spring, and piscivorous fish was major functional group in autumn. Different inhabit and seasonal migration were the major reasons causing the difference in dominant species composition and different composition of functional groups. Therefore, it is concluded that the difference in species composition of fish assemblages, the difference in size distribution of the same species, and the spatial and temporal changes of prey were the main reasons causing the difference in composition of functional groups in each fish assemblages of the East China Sea. [Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14 (6): 939 – 949]

Key words: functional groups; diet trophic guild; fish assemblage; East China Sea

Corresponding author: TANG Qi-sheng. E-mail: ysfri@pulic.qd.sd.cn