

东海北部鱼类群落多样性及其结构特征的变化

姜亚洲^{1,2,3}, 程家骅², 李圣法²

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100038)

摘要: 根据 1991 年 1 月和 2004~2006 年 1 月东海北部水域渔业资源底拖网调查资料, 从物种和同功能种团两个层面分析了东海北部鱼类群落多样性及其结构组成特征的变化。同功能种团是生态系统中起着相似生态作用、并占据相近或相似生态位的若干物种集合体, 本研究结合各鱼种的摄食习性和活动能力差异, 将该水域内的鱼类划分为 8 个同功能种团, 分别为浮游动物食性种团、浮游 / 底栖动物食性种团、底栖动物食性种团、底栖 / 游泳动物食性种团、杂食性种团、活动能力强的游泳动物食性种团、软骨鱼类种团、活动能力弱的游泳动物食性种团。结果显示, 冬季东海北部鱼类群落的物种多样性和同功能种团多样性呈显著线性正相关。经过十余年后, 尽管该群落的物种多样性和同功能种团多样性均未发生显著变化, 但各同功能种团内的物种数发生了明显变化, 物种多样性与同功能种团多样性之间的关系曲线斜率由 0.547 增加到 0.627, 群落的生态冗余性有所降低。经相似性分析检验法 (ANOSIM) 分析, 两时段群落间的物种和同功能种团结构组成均发生了显著变化, 带鱼、龙头鱼、小黄鱼、黄鲫、灰鲳等物种和软骨鱼类种团、浮游 / 底栖动物食性种团的相对量的变化是造成其变化的主要因素。结论认为, 东海北部鱼类群落结构已显现出向以浮游动物食性和活动能力强的游泳动物食性鱼种为主体的方向发展的变化趋势。[中国水产科学, 2008, 15 (3): 453~459]

关键词: 鱼类群落; 同功能种团; 生物多样性; 多元分析

中图分类号: S931 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2008)03-0453-07

东海北部海区受台湾暖流和长江冲淡水的综合作用的影响, 基础饵料丰富, 多种鱼类在此栖息和繁殖, 是中国重要的渔场^[1]。近几十年来随着过度捕捞和环境污染等人为干扰因素的不断加剧, 该海区鱼类群落的种类组成和多样性状况发生了显著变化^[2]。虽然这一结果已为现实所佐证, 但国内相关理论研究目前大多数仍停留在物种组成、多样性指标的简单差异描述等方面, 而群落层面的功能结构变异过程及其影响的系统分析尚不多见^[3-4]。鉴此, 本研究拟从物种和同功能种团两个水平来分析研究东海北部鱼类群落多样性和结构组成的变化, 并探讨引起其变化的可能原因, 进而为中国海洋渔业逐步向生态系统管理方向发展提供前期理论工作准备。考虑到东海为复合型渔场, 多种鱼类的补充主要发生在夏秋季的特点^[5], 为减少年间鱼类发生数量波动对群落表征的影响, 本研究选用群落季相较于稳定的冬季调查资料来进行分析。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于 1991 年 1 月和 2004~2006 年 1 月东海北部 (31°00'~32°30'N, 123°00'~128°00'E) 底拖网渔业资源调查结果, 两时段的调查站点相似, 均为 16 个。1991 年调查船为“海邦”丸, 船只功率为 1 176 kw, 每站拖网时间为 1 h, 平均拖速为 3.5 kn, 网口高度 4.5 m, 宽度为 19.8 m, 网目为 25 mm。2004~2006 年 1 月调查船功率为 183.25 kW, 每站拖网时间为 1 h, 拖网速度为 3 kn, 网口高度 4.5 m, 宽度为 96 m, 网目为 25 mm。各站调查样品的渔获种类鉴定到种, 记录各种类的重量和尾数。为了消除两时段调查因网口宽度与拖速不同对生物量和个体数量所产生的系统误差, 以 2004~2006 年调查的网次扫海面积为标准, 对 1991 年的调查数据进行标准化^[6]: 标准化数据 = 调查数据 × (1991 年网次扫海面积 / 2004 ~ 2006 年网次扫海面积)。

收稿日期: 2007-11-08; 修订日期: 2008-01-09.

基金项目: 农业部专项 - 东海区渔业资源动态监测 (2006-2007).

作者简介: 姜亚洲 (1983-), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源与生态研究. E-mail: yazhoujiang@163.com

通讯作者: 程家骅. E-mail: ziyuan@sh163.net

为尽可能反映现时段的东海北部冬季鱼类群落实际状况,研究中以 2004 ~ 2006 年 3 年的调查资料均值为现时段的基础数据源与 1991 年调查资料进行对比分析。

1.2 同功能种团的划分

同功能种团 (Functional group) 是指在系统中起着相似生态作用、并占据相近或相似生态位的若干物种集合体。它是对群落结构表述的一种简化方式,其组合方式决定着群落的稳定性以及群落功能的发挥^[7-8]。其划分方式通常依据物种的摄食习性和成体的活动能力差异等因素决定^[9-10]。一般地,摄食习性决定各鱼种在生物网能量传递中所起的作用,是决定种间关系的重要因素;成体的活动能力决定各鱼种对于捕捞等干扰因素的耐受性能,

活动能力弱的鱼种逃避干扰的能力弱,离开强干扰区域建立新“领域”的能力也弱,对干扰因素比较敏感。据此,本研究依据即有鱼种食性的文献资料和实验观察^[5,11-14],同时结合泳速和是否进行较长距离洄游等活动能力强弱指标^[9],并兼顾软骨鱼类主要为游泳动物食性、卵胎生、繁殖能力弱的繁殖特性、以及受干扰后恢复能力弱的特点^[15],将东海北部两时段调查的所有鱼种划分为 8 种同功能种团,分别为浮游动物食性种团 (FG1)、浮游 / 底栖动物食性种团 (FG2)、底栖动物食性种团 (FG3)、底栖 / 游泳动物食性种团 (FG4)、杂食性种团 (FG5)、活动能力强的游泳动物食性种团 (FG6)、软骨鱼类种团 (FG7) 和活动能力弱的游泳动物食性种团 (FG8)。其中各种团的主要鱼种如表 1 所示。

表 1 东海北部鱼类群落各同功能种团的主要鱼种
Tab.1 Functional groups and major species in the north of the East China Sea

同功能种团 Functional group	主要种类 Major species	
浮游动物食性种团 (FG1) Planktivores	鳀,凤鲚,黄鲫,七星底灯鱼,青鳞小沙丁鱼,银鲳等 16 种	<i>Engraulis japonicus</i> , <i>Coilia mystus</i> , <i>Setipinna taty</i> , <i>Benthoosema pterotum</i> , <i>Sardinella zunasi</i> , <i>Pampus argenteus</i>
浮游 / 底栖动物食性种团 (FG2) Planktivores /Benthivores	绿鳍马面鲀,棘头梅童鱼,黑鳃梅童鱼等 8 种	<i>Thamnaconus septentrionalis</i> , <i>collichthys lucidus</i> , <i>Collichthys niveatus</i>
底栖动物食性种团 (FG3) Benthivores	角木叶鲽,六丝钝尾鰕虎鱼,前肛鳗,翼红娘鱼,绿鳍鱼,深海红娘鱼等 16 种	<i>Pleuronichthys cornutus</i> , <i>haeturichthys hexanema</i> , <i>Dysomma anguillar</i> , <i>Lepidotrigla alata</i> , <i>Chelidonichthys spinosus</i> , <i>Lepidotrigla abyssalis</i>
底栖 / 游泳动物食性种团 (FG4) Benthivores/ Piscivores	白姑鱼,皮氏叫姑鱼,半滑舌鳎,康吉星鳎,斜带髯鲷,黄姑鱼等 11 种	<i>Argyrosomus argentatus</i> , <i>Johnius grypotus</i> , <i>Areliscus semilaevis</i> , <i>Astroconger myriaster</i> , <i>Hapalogenys nitens</i> , <i>Nibea albiflora</i>
杂食性种团 (FG5) Omnivores	小黄鱼,大黄鱼,鰕齿鱼,短尾大眼鲷等 7 种	<i>Pseudosciaena polyactis</i> , <i>Pseudosciaena crocea</i> , <i>Champsodon capensis</i> , <i>Priacanthus macracanthus</i>
活动能力强的游泳动物食性种团 (FG6) Mobile piscivores	带鱼,龙头鱼,细纹狮子鱼,长条蛇鲻,花斑蛇鲻,海鳗等 15 种	<i>Trichiurus japonicus</i> , <i>Harpadon nehereus</i> , <i>Liparis tanakai</i> , <i>Saurida filamentosa</i> , <i>Saurida undosquamis</i> , <i>Muraenesox cinereus</i>
软骨鱼类种团 (FG7) Elasmobranch	斑鲛,赤魃,孔鲛,白斑星鲨等 9 种	<i>Raja kenojei</i> , <i>Dasyatis akajei</i> , <i>Raja porosa</i> Güther, <i>Mustelus manazo</i>
活动能力弱的游泳动物食性种团 (FG8) Roving piscivores	黑鲛,黄鲛,棘茄鱼等 8 种	<i>Lophiomus setigerus</i> , <i>Lophius litulon</i> , <i>Halieutaea stellata</i>

1.3 物种多样性和同功能种团多样性

(1) 各调查站位的物种多样性指数采用以下公式分别计算^[3,16]:

Margalef 丰富度指数 (R): $R=(S-1)/\ln N$

Shannon-Weiner 多样性指数 (H'):

$$H'=-\sum_{i=1}^S \frac{w_i}{W} \ln \left(\frac{w_i}{W} \right)$$

Pielou 均匀度指数 (J'): $J' = H'/\ln S$

式中: S 为某调查站点的种类数, N 为该站点的鱼类尾数, w_i 为该站点第 i 种鱼类的生物量, W 为该站点鱼类的总生物量。

(2) 同功能种团多样性

利用 Shannon-Weiner 指数的公式计算群落的同功能种团多样性, 其中 w_i 值代表第 i 同功能种团的生物量^[10]。

(3) 物种多样性和同功能种团多样性的关系

同功能种团多样性与群落的功能及稳定性密切相关, 它与物种多样性的关系问题是近年来各海域研究的热点问题^[17], 本研究分别利用两时段各调查站点的物种多样 (Shannon-Weiner 指数) 和同功能种团多样性指数进行曲线拟合, 以分析物种多样性和同功能种团多样性之间的关系, 所用拟合方程分别为直线方程、对数方程和指数方程, 曲线拟合的优劣程度根据决定系数 R^2 进行评判^[10]。

1.4 鱼类群落组成变化分析

生物多样性指标是描述群落结构组成的一种综合性指标, 利用此类指标进行群落结构变化研究存在一定的不足, 即无法反映群落中具体物种的变化状况^[18]。为此同时利用多元分析检验群落结构差异, 应用相似性分析检验 (One-way analysis of similarity, ANOSIM) 对不同时段间群落结构差异进行显著性检验, 旨在权衡稀有物种和优势物种的权重, 在此分析前对原始数据进行二次方根转化; 利用百分比相似性分析 (Similarity of percentage analysis, SIMPER) 区分引起两时段群落结构组成差异的主要种类或同功能种团^[19]。以上计算和统计过程利用 SPSS14.0 和 Primer 5.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 群落多样性指数的变化

1991 年和 2004~2006 年研究海域鱼类群落所含物种数分别为 83 种和 61 种。经过十几年的时间, 物种丰富度和 Shannon-Weiner 指数的均值都有不同程度的变化 (表 2), 其中物种丰富度减小幅度较大, 其均值由 1991 年的 4.78 降到现阶段的 1.59; Shannon-Weiner 指数变化幅度较小, 均值由 1991 年 1.74 降低到目前的 1.71; 物种均匀度没有发生明显变化。均数差异显著性检验 (t 检验) 显示 1991 年和现时段之间物种丰富度存在极其显著的差异 ($t = 8.44, P < 0.001$); Shannon-Weiner 指数和物种

均匀度的差异达不到显著性水平 (分别为 $t=0.203, P>0.05$ 和 $t=0.088, P>0.05$)。

两时段同功能种团多样性均值变化不大, 1991 年和现时段的同功能多样性指数分别为 1.09 和 1.03。通过均数差异显著性检验 (t 检验), 两时段的同功能多样性指数的差异达不到显著性水平 ($t=0.661, P>0.05$)。尽管同功能多样性种团没有发生显著的变化, 但是两时期不同调查站点各种团的平均所含物种数变化明显 (图 1)。与 1991 年相比, 除杂食性种团所含物种数没有明显变化外, 现时段东海北部海域冬季鱼类群落中浮游动物食性和底栖动物食性种团所含物种数明显增多; 其余各同功能种团所含物种数明显减少。

表 2 东海北部鱼类群落多样性指数变化
Tab. 2 Variation in biodiversity of fish community in the north of the East China Sea

多样性指数 Diversity index	时段 Period	
	1991	2004-2006
物种丰富度指数 Species richness index	4.78 ± 1.41	1.59 ± 0.42
Shannon-Weiner 指数 Shannon-Weiner index	1.74 ± 0.50	1.71 ± 0.31
物种均匀度 Species evenness	0.60 ± 0.11	0.59 ± 0.97
同功能种团多样性 Functional diversity	1.09 ± 0.32	1.03 ± 0.21

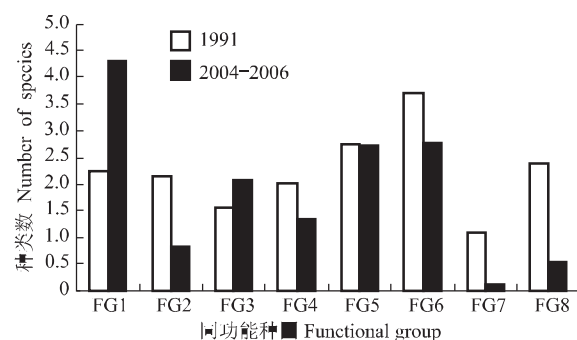


图 1 1991 年和 2004~2006 年同功能种团平均所含物种数变化

(各同功能团代码含义见表 1)

Fig.1 Variation of average numbers of species within functional groups in 1990 and 2004-2006

(The meaning of each functional group is in Tab.1)

2.2 物种多样性和同功能种团多样性之间的关系

分别对 1991 年和 2004 ~ 2006 年东海北部冬季鱼类群落物种多样性与同功能种团多样性进行回归分析,利用直线方程、对数方程和指数方程对二者关系进行曲线拟合。结果显示 1991 年直线方程对该海域物种多样性和同功能种团多样性的拟合效果最优 ($R^2=0.672$, $F=28.724$, $df=14$, 斜率为 0.547, $P<0.001$); 2004 ~ 2006 年同样是直线方程对两者关系的拟合效果最优 ($R^2=0.776$, $F=48.607$, $df=14$, 斜率为 0.627, $P<0.001$)。与 1991 年相比,现阶段物种多样性与同功能种团多样性关系曲线的斜率有所升高,由 1991 年的 0.547 提高到 2004 ~ 2006 年的 0.627。

2.3 群落种类组成变化

采用相似性分析检验 (ANOSIM) 对两时段间

群落结构差异进行显著性检验,结果显示两时段间的种类组成差异达到显著性水平 ($P<0.001$)。与 1991 年相比,现阶段该海域鱼类群落结构发生了显著性变化。

利用 SIMPER 区分两时段间群落组成的主要差异性种类,结果显示,两时段间东海北部冬季鱼类群落的平均相异性 (Average dissimilarity) 为 80.8%,造成两时段群落组成差异的种类见表 3。为区分两时段差异性种类的变化趋势,在表 3 中同时列出这些种类在两时期生物量所占总渔获的百分比^[19]。与 1991 年相比,现时段该海域冬季鱼类群落中,带鱼、龙头鱼、小黄鱼、黄鲫、细条天竺鲷、七星底灯鱼所占的生物量百分比显著增加,而灰鲳、黄鲛鲷、赤鲷等所占生物量百分比有减小的趋势。

表 3 1990 年和 2004~2006 年两时段间的物种相异性及其生物量百分比变化
Tab. 3 Variation of discriminating species composition (percentage) and biomass during 1990 and 2004~2006

种名 Species	相异性贡献百分比 Percent contribution of average dissimilarity	生物量百分比 ^[19] Percentage of biomass in total catch ^[19]	
		1991	2004~2006
		%	
带鱼 <i>Trichiurus japonicus</i>	8.23	13.6	22.06
龙头鱼 <i>Harpadon nehereus</i>	7.00	6.08	20.68
小黄鱼 <i>Larimichthys polyactis</i>	6.19	9.85	21.55
黄鲫 <i>Setipinna taty</i>	4.65	0.67	8.59
灰鲳 <i>Pampus cinereus</i>	3.93	3.76	0
细纹狮子鱼 <i>Liparis tanakai</i>	3.44	4.14	0.30
黄鲛鲷 <i>Lophius litulon</i>	3.22	3.08	1.13
细条天竺鲷 <i>Apogon lineatus</i>	3.14	0.02	3.64
赤鲷 <i>Dasyatis akajei</i>	2.86	3.45	0
七星底灯鱼 <i>Benthosema pterotum</i>	2.39	0	1.62
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	2.33	2.24	1.37
黑鳃梅童鱼 <i>Collichthys niveatus</i>	2.31	0.95	0
鳀 <i>Engraulis japonicus</i>	2.21	0.21	0.46
绿鳍鱼 <i>Chelidonichthys spinosus</i>	2.18	0.16	1.55

2.4 群落同功能种团组成变化

经过 ANOSIM 分析发现,经过十几年的时间,东海北部冬季鱼类群落的同功能种团组成发生了显著变化 ($P<0.001$)。SIMPER 分析表明,两时段的平均相异性为 37.25%,软骨鱼类和浮游/底栖动物食性种团是两时段间的主要差异性种团(表 4)。与 1991 年相比,现时段该海域冬季鱼类群落

中活动能力强的游泳动物食性和浮游动物食性种团的生物量所占总渔获比例明显增加,其中浮游动物食性种团的增加幅度尤其明显(由 8.84%增加到 23.38%);杂食性种团所占生物量百分比基本不变;除此之外,其余各种种团所占总渔获的生物量百分比都有不同程度的减少(图 2)。

表 4 1990 年和 2004~2006 年两时段间同功能种团的相异性
Tab.4 Discriminating functional groups during 1990 and 2004~2006

同功能种团 Functional group	平均相异性	相异性贡献百分比 /%
	Average dissimilarity	Percent contribution of dissimilarity
软骨鱼类种团 (FG7)	6.76	18.13
浮游 / 底栖动物食性种团 (FG2)	6.14	16.48
活动能力强的游泳动物食性种团 (FG6)	5.09	13.66
游泳能力弱的游泳动物食性种团 (FG8)	4.67	12.53
浮游动物食性种团 (FG1)	4.30	11.53
底栖 / 游泳动物食性种团 (FG4)	3.73	10.01
杂食性种团 (FG5)	3.32	8.91

注: 各同功能种团含义见表 1。
Note: The meaning of each functional group listed in Tab.1.

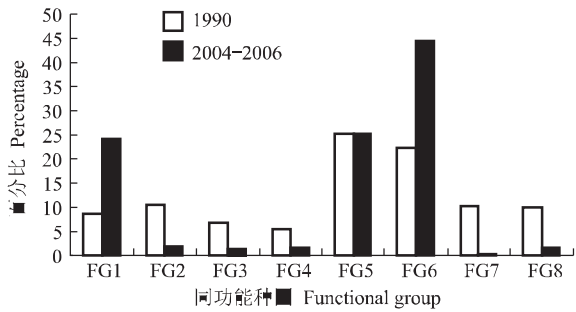


图 2 1990 年和 2004~2006 年冬季东海北部鱼类群落同功能种团的生物量组成变化
Fig.2 Variations of proportion of different functional groups (by biomass) in north of the East China Sea in winter (January), 1991 and 2004~2006

Note: The meaning of each functional group listed in Tab.1.

3 讨论

3.1 海域生态冗余性能降低

东海北部海域是中国重要的渔场,也是人为干扰最为严重的海区之一,经过十几年的时间,该海域冬季鱼类群落的物种多样性和同功能种团多样性均值虽未发生显著变化,但物种多样性和同功能种团多样性关系曲线斜率有所升高,同时多数同功能种团所含物种数目明显减少,如若物种多样性丧失,该群落同功能种团多样性丧失的速度将会更快,说明该海域生态冗余性降低^[10,20]。在不断加剧的人为干扰下,东海北部鱼类群落所面临的威胁进一步的增加,小幅度的生物多样性丧失极有可能造成整个群落的发生演替。

3.2 物种组成结构的变化趋势

表 3 的多元分析结果显示,经过十几年的时间,

该海区的鱼类群落种类组成发生了显著变化。由于各鱼种对于捕捞等干扰因素的敏感程度不同,它们受到干扰后的反应方式将会在群体相对丰度增加或减少方面有所区别,这种区别进一步通过种间关系的“传递”,使群落结构发生变化。

与 1991 年相比,引起该海域鱼类群落种类组成变化的种类主要集中于活动能力强的游泳动物食性和浮游动物食性两种团的鱼种。首先,同属活动能力强的游泳动物食性的带鱼和龙头鱼是两时段相异性最高的鱼种,在它们的优势程度大幅增加的同时,其所属种团平均所含物种数却有所降低。这说明这两种鱼类对捕捞等干扰因素的耐受性较强,它们占据了同种团中耐受性较弱种类的生存空间;其次,现时段浮游动物食性种类所占的生物量比例变化显著,七星底灯鱼、黄鲫、鳀等生物量所占总渔获比例大幅增加。其原因一方面可能是由于它们个体较小,对于捕捞等干扰因素的敏感程度较低;另一方面可能是与高营养级生物减少,被捕食压力的减弱有关。

两时段间另一相异性较高的种类为小黄鱼。小黄鱼属于杂食性鱼种,虽然它的生物量百分比大量增加,但杂食性种团的内含物种数以及该种团所占总渔获的生物量百分比均未发生明显变化。表明该种团内部生物发生了重组,小黄鱼所占比例增加,而同种团内的其他种类所占比例减小。

除此之外,黄鲛鲛和赤鲛所占生物量百分比均有所减少。其原因可能是由于逃避敌害和补充恢复的能力较弱所致。

3.3 同功能种团组成结构的变化趋势

Bellwood 等和 Floete 等^[20-21]认为,在同功能种团水平上对群落结构进行研究更有利于理解鱼类群落结构变动与功能变化之间的关系。由于同功能种团内部物种间生态作用相似,种团内物种之间相对

丰度的变动虽不会影响到整个群落功能的发挥,但同功能种团整体的变动甚至某一种团消失,将会使群落的稳定性遭到破坏,群落将发生演替^[22]。表4和图2显示,浮游动物食性和活动能力强的游泳动物食性种团所占生物量百分比大幅增加;杂食性种团所占百分比变化不大;其他种团所占的生物量百分比份额均有不同程度的下降。可见,经过十几年的资源过度开发利用,东海北部的鱼类群落结构已显现出向以浮游动物食性和活动能力强的游泳动物食性为主体的方向发展的变动趋势。

从整体上讲,经十几年的人类捕捞活动干扰,游泳动物食性、游泳/底栖动物食性、软骨鱼类等营养级别较高的鱼种所占比例有所减少,这些物种减少的同时则会造成浮游动物食性鱼类的被捕食压力降低,加之它们个体通常较小,对捕捞等因素的敏感性较低,从而致使它们的群体得以扩张。其他种团生物量百分比变化的原因各有不同。具体而言,软骨鱼类生殖方式为卵胎生,种群的繁殖补充能力弱,受到干扰后的恢复能力也弱,故种团内各种群规模逐步缩小;活动能力弱的游泳动物食性鱼类,逃避捕捞等干扰因素的能力较差,故种团内各自的群体规模也存在缩小的趋势;底栖动物食性鱼类一方面活动能力较弱,另一方面它们摄食的底栖生物栖息环境受底拖网作业的破坏严重,捕食对象减少,捕食成本增加,造成群体萎缩。而活动能力强的游泳动物食性和浮游动物食性种团,由于其生命周期相对较短、种群自身生存策略调节能力强,加之竞争压力减小,因此它们在群落中的生物量百分比得以显著增加。

综上所述,相对于20世纪90年代初期,东海北部鱼类群落的物种和同功能种团结构组成已发生了显著变化,生态冗余性进一步降低。优势种群数目出现减少的势态,现主要集中体现在带鱼、小黄鱼、龙头鱼等少数种类上,且其优势程度大幅提高。因此,面对海域中各优势种群均处于低龄结构的现实,年间发生数量受环境波动影响较大的特点^[23-24],为制止或延缓东海鱼类群落进一步向不稳定的方向发展,从恢复海洋生态系统角度考虑,降低捕捞强度当是建立该海域友好型生态人类所能主动承担的责任。

参考文献:

[1] Lie H J, Cho C H. Recent advances in understanding the

circulation and hydrography of the East China Sea [J]. *Fish Oceanogr*, 2002, 11 (6): 318-328.

[2] Lin C, Xu B, Huang S. Long-term variations in the oceanic environment of the East China Sea and their influence on fisheries resources. In: Beamish R J. *Climate change and northern fish populations* [C]. *Can Spec Publ Fish Aquat Sci*, 1995, 121: 307-315.

[3] 程家骅,丁峰元,李圣法,等. 夏季东海北部近海鱼类群落结构变化 [J]. *自然资源学报*, 2006, 21 (5): 775-781.

[4] 李建生,李圣法,丁峰元,等. 长江口近海鱼类多样性的年际变化 [J]. *中国水产科学*, 2007, 14 (4): 637-643.

[5] 庄平,王幼槐,李圣法,等. 长江口鱼类 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006: 256-385.

[6] 程济生,俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化 [J]. *水产学报*, 2004, 28 (1): 29-34.

[7] 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.

[8] Garrison L P. Spatial and dietary overlap in the Georges Bank groundfish community [J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 2000, 57: 1 679-1 691.

[9] Bellwood D R, Hughes T P, Folke C, et al. Confronting the coral reef crisis [J]. *Nature*, 2004, 429: 827-833.

[10] Micheli F, Halpern B S. Low functional redundancy in coastal marine assemblages [J]. *Ecol Lett*, 2005, 8: 391-400.

[11] 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.

[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 (4): 393-404.

[13] 蔡德陵,李红燕,唐启升,等. 黄东海生态系统食物网连续营养谱的建立: 来自碳氮稳定同位素方法的结果 [J]. *中国科学 (C 辑)*, 2005, 35 (2): 123-130.

[14] 张波,唐启升. 东、黄海六种鳗的食性 [J]. *水产学报*, 2003, 27 (4): 307-314.

[15] Macpherson E, Gordoa A. Biomass spectra in benthic fish assemblages in the Benguela System [J]. *Mar Ecol Prog Ser*, 1996, 138: 27-32.

[16] Gislason H, Rice J. Modelling the response of size and diversity spectra of fish assemblages to changes in exploitation [J]. *ICES J Mar Sci*, 1998, 55: 362-370.

[17] Naeem S. Disentangling the impacts of diversity on ecosystem functioning in combinatorial experiments [J]. *Ecology*, 2002, 83: 2 925-2 935.

[18] Heatwole H, Levins R. Trophic structure stability and faunal change during recolonization [J]. *Ecology*, 1972, 53: 531-534.

- [19] Simon P R G, Hall S J. Fishing and the ground-fish assemblage structure in the north-western North Sea: an analysis of long-term and spatial trends [J]. *J Animal Ecol*, 1996, 65: 577–598.
- [20] Bellwood D R, Hoey A, Choat J H. Limited functional redundancy in high diversity systems: resilience and ecosystem function on coral reefs [J]. *Ecol Lett*, 2003, 6: 281–285.
- [21] Floeter S R, Ferreira C E L, Dominici-Arosemena A, et al. Latitudinal gradients in Atlantic reef fish communities: trophic structure and spatial use patterns [J]. *J Fish Biol*, 2004, 64: 1 680–1 699.
- [22] Walker B. Biological diversity and ecological redundancy [J]. *Conserv Biol*, 1992, 6: 48–23.
- [23] 林龙山, 程家骅, 任一平, 等. 东海区小黄鱼种群生物学特性的分析 [J]. *中国水产科学*, 2004, 11 (4): 333–338.
- [24] 徐汉祥, 刘子藩, 周永东. 东海带鱼生殖和补充特征的变动 [J]. *水产学报*, 2003, 27 (4): 322–327.

Variation in fish community structure and biodiversity in the north of the East China Sea between two periods

JIANG Ya-zhou^{1,2,3}, CHENG Jia-hua², LI Sheng-fa²

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100038, China)

Abstract: The coastal zone of northern East China Sea was the spawning and feeding grounds for many fish species, and was one of the most important fishing regions in China. But with increasingly intensified fishing activities and seawater quality deteriorating, the fish community structure changed consequentially during the last half century. Based on the data collected from bottom trawl surveys conducted in January of 1991 and 2004–2006, the temporal changes of fish community structure in the north of the East China Sea in winter were analyzed. The changes were described at two taxonomic levels: one was at species level and the other was at functional group level. A total of eight functional groups were identified within this system, which were based upon trophic levels and adult mobility. They are planktivores, planktivores/benthivores, benthivores, benthivores/piscivores, omnivores, mobile piscivores, elasmobranch and roving piscivores, respectively. The results indicated that there was a significant and positive relationship between species and functional diversity. Species and functional diversity underwent little significant changes through more than ten years, while the slope of the linear model explaining the relationship between species and functional diversity became steeper from 0.547 to 0.627 and the average number of species within most functional group became smaller except planktivores and benthivores. All these indicated that the level of redundancy of the fish assemble in the north of the East China Sea was lower than before. Multivariate analyses indicated that there were significant changes in both species and functional group composition for the fish assemblage between the two periods of 1991 and 2004–2006. The chief discriminating species were *Trichiurus japonicus*, *Harpadon nehereus*, *Pseudosciaena polyactis*, *Setipinna taty* and *Pampus cinereus*, while elasmobranch and planktivores/ benthivores were the main discriminating functional groups. The percentage of the total catch for planktivores/ benthivores, benthivores, benthivores/piscivores, omnivores, elasmobranch and roving piscivores decreased significantly in 2004–2006 compared to that in 1991, while the percentage of the total catch for the two other functional groups obviously increased. In summary, the fish community in the north of the East China Sea underwent structural and functional changes during the last decade. To protect the fishery resources effectively in the area, some measures must be taken as follows: releasing the fishing pressure and reducing environment pollution caused by human activities. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (3): 453–459]

Key words: fish community; functional group; biodiversity; multivariate analyses

Corresponding author: CHENG Jia-hua. E-mail: ziyuan@sh163.com