

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2017.16164

基于渔获物统计的中国近海鱼类营养级结构变换及其与捕捞作业的关系

李继龙, 曹坤, 丁放, 杨文波, 沈公铭, 李应仁

中国水产科学研究院 资源与环境研究中心, 北京 100141

摘要: 为了解我国东部海域(渤海、黄海和东海)和南海的鱼类生态结构和渔业资源变化特征, 本研究在 1983—2013 年中国海洋渔船渔获统计数据的基础上, 首先将渔获物中的鱼类按照营养级归类, 然后计算其平均营养级(TL)和 FiB 指数, 并结合海洋捕捞作业方式, 对鱼类的营养级结构长期变化进行分析。结果表明, 在东部海域捕捞的 25 种主要鱼类渔获中, 31 年间 TL 呈现下降趋势, 低营养层级鱼类比例增长了 60%, 中营养层级鱼类比例增长了 129%, 高营养级鱼类则下降了近 51%; 而在南海, 31 年间 TL 变化不明显, 低营养级鱼类比例下降了 6%, 中营养级鱼类下降了 43%, 高营养级鱼类增长 198%。东部海域和南海的渔获物鱼类生态结构变化说明, 就营养级水平而言, 东部海域近海渔业资源呈现明显的衰退现象, 而南海则还未出现这种现象。

关键词: 营养级; 鱼类生态结构; 渔业资源; 捕捞作业方式; 东部海域; 南海

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2017)01-0109-11

海洋渔业资源的动态变化情况, 是合理安排海洋捕捞生产、科学利用和养护海洋渔业资源的依据, 也是制定可捕量和实施限额捕捞的基础。中国具有辽阔的海域, 海洋中生态系统多样, 生物种类繁多, 海洋渔业资源较为丰富, 形成了许多天然的良好渔场^[1]。由于近岸鱼类栖息地被侵占、海洋环境污染、气候变化和过度捕捞等原因, 中国近岸渔业资源出现了严重衰退的现象, 主要表现为生物多样性降低, 群体组成低龄化与小型化, 渔获物营养层级下降等现象^[2]。目前, 营养级研究已成为现代渔业生态学领域和海洋生态系统动力学的重要内容^[3], 在利用鱼类营养层级及食性开展生态和资源评估等方面, 国内学者开展了许多研究, 其中, 邓景耀等^[4]、杨纪明^[5]和张波等^[6]研究了渤海鱼类食物关系, 韦晟等^[7]、张波等^[8-10]研究了黄海鱼类的食性, 张波等^[9-11]研究

了东海鱼类的食性, 张其永等^[12]、丘书院等^[13]研究了闽南-台湾浅滩鱼类食物关系, 张月平等^[14-15]研究了南海岛礁及北部湾海域的鱼类营养级结构, 张波等^[16]、郭斌等^[17]、江胜锋等^[18]、蒋日进等^[19]分别对小黄鱼、黄鲫幼鱼、带鱼、蓝圆鲀、发光鲷的摄食习性和食物竞争进行了研究; 张波等^[9-10]不仅研究了海洋高营养层次重要生物资源种类的营养级, 同时对已有的鱼类营养级进行了修正; 徐汉祥等^[20]用鱼类营养级的营养动态模式估算了东海区大陆架渔场渔业资源蕴藏量, 刘勇等^[21]对东海、黄海秋季渔业生物群落结构及其平均营养级变化特征进行了初步分析, 张忠等^[22]基于渔获量平均营养级对东南大西洋渔业资源状况进行了分析。在国际上, Pauly 等^[23]在 1998 年曾研究了捕捞对海洋食物链的影响, Ortiz 等^[24]针对智利 Tongoy 海湾的 4 种底栖群落的营养模型进行研

收稿日期: 2016-05-25; 修订日期: 2016-07-07.

基金项目: 国家 863 计划项目(2009AA09Z401); 科技部国际科技合作专项(2013DFA31410); 农业财政专项(2130135-01011); 国家海洋事业发展“十三五”规划研究课题(OSS 2014-20).

作者简介: 李继龙(1958–), 男, 研究员, 主要从事水生生物资源、生态环境以及遥感应用研究. E-mail: lijilong@cafs.ac.cn

究。但目前尚未见对鱼类渔获物营养层级结构变化的系统分析,以及根据渔获物的营养层级结构变化研究资源状况的报道。本研究拟分别对 1983—2013 年中国东海、黄海、渤海和南海的渔获物鱼类营养级的结构变化进行研究,并探讨捕捞方式对渔获物营养层级结构变化的影响,以期今后相关研究和渔业资源管理提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究采集渤海、黄海、东海和南海 1983—2014 年的渔获物数据,数据来源于《中国渔业统计年鉴》^[25]海洋捕捞生产统计,其中包括分省市不同种类渔获、分海区渔获和分不同捕捞网具渔获。渔获种类主要包括带鱼、小黄鱼和鳀鱼等 25 种;捕捞作业方式主要有拖网、围网、定置网、流刺网、钓具和其他。

不同种类鱼类营养级划分,主要依据邓景耀等^[4]对渤海鱼类食物关系的初步研究,韦晟等^[7]对黄海鱼类食物网的研究,张月平等^[14-15]对南沙岛礁周围水域以及南海北部湾主要鱼类食物网等的研究结果,在上述文献中未查获的鲷鱼、梭鱼、金线鱼和鲈鱼的营养级划分采用 Fishbase (<http://www.fishbase.org>)的结果。

1.2 方法

1.2.1 鱼类营养级 鱼类营养级按照 Pauly^[23]的方法计算:

$$TL_i = 1 + \sum_{j=1}^n DC_{ij} \times TL_j$$

式中, TL_i 为生物 i 的营养级; TL_j 为生物 i 摄食的食物 j 的营养级, DC_{ij} 为食物 j 在生物 i 的食物中所占的比例,本研究食物成分的出现频率用百分比组成表示:

某成分出现频率百分比组成(%) =

$$\frac{\text{某成分的出现频率}}{\text{各成分出现频率的总和}} \times 100$$

某成分出现频率(%) =

$$\frac{\text{含有某种成分的实胃数}}{\text{总胃数}} \times 100$$

营养层次营养级(TL_k)根据下列公式计算:

$$TL_k = \sum_{j=1}^m TL_i \times Y_{ik} / Y_k$$

式中, TL_i 表示 i 种类的营养级; Y_{ik} 表示 i 种类在 k 年的生物量; Y_k 表示 k 年 m 个种类的总生物量。

1.2.2 渔获物营养级分级 本研究只选取渔获物中的鱼类进行分析,按照邓景耀等^[4]的方法将鱼类营养级分为 3 大类,即低营养级肉食性鱼类(carnivorous fishes in low class, low predator)、中营养级肉食性鱼类(carnivorous fishes in middle class, middle predator)和高营养级肉食性鱼类(carnivorous fishes in advanced class, advanced predator)。其中,低营养级肉食性鱼类的营养级指数范围定为 2.0~2.8,中营养级肉食性鱼类的营养级指数范围定为 2.9~3.4,高营养级肉食性鱼类的营养级指数范围定为 3.5~4.0。

在分析中首先利用 3 大类营养级鱼类渔获量在渔获物中的比例进行分析,同时,采用 Pauly 等^[23]所提出的平均营养级以及 Pauly 等^[26]所提出的 FiB 指数评估渔获量平均营养级的变化对生态系统的影响,平均营养级计算公式为:

$$TL_y = \sum_i (TL_i \times Y_{iy}) / \sum_i Y_{iy}$$

式中, TL_y 为 y 年的渔获量平均营养级; TL_i 为渔获物种类 i 的营养级, Y_{iy} 为渔获物种类 i 第 y 年的渔获量。

FiB 指数计算公式为:

$$FiB = \ln \left[y_i \left(\frac{1}{TE} \right)^{TL_i} \right] - \ln \left[y_0 \left(\frac{1}{TE} \right)^{TL_0} \right]$$

式中, y_i 为 i 年的渔获量; TE 为转换效率,通常取定值 0.1; TL_i 为第 i 年的渔获量平均营养级; 0 代表基准年(本研究取 1983 年)。

1.2.3 资源结构分析的海区划分 关于渤海、黄海、东海和南海鱼类区系,专家认为主要划分为渤黄海、东海和南海三大区系^[1],但由于天津、河北、辽宁、山东、江苏、上海、浙江和福建沿海各省市渔民在渤海、黄海、东海中存在较大的跨海区作业,渔获物统计未将不同种类跨海区作业分开。因此,在本研究的分析中,将渤海、黄海、东海的鱼类视作同一区系(分析中称为东部海域,

the eastern seas of China); 而南海的捕捞生产作业, 其生产船只主要是来自于广东、海南和广西的捕捞船只, 在渔获物统计中相对独立, 所以在渔获物各类别营养级鱼类所占的比例变化分析中, 对南海进行单独分析(分析中称为南海, South China Sea), 这也比较符合南海鱼类构成的特征。

1.2.4 捕捞作业方式 为分别分析东部海域和南海鱼类的营养级结构变换及其与捕捞作业的关系, 本研究将捕捞作业方式按照拖网、围网、流刺网、定置网和钓具 5 种类型划分, 并根据这 5 种类型统计渔获量, 然后利用 SPSS 统计分析软件, 对不同作业类型的渔获比例与鱼类营养级结构(低、中、高级肉食性鱼类的构成比例)进行相关性分析,

获得二者之间的相关性(显著性水平 P 、相关系数 r 以及标准差)。在渔具选择性分析中, 根据我国渔具作业特点, 将拖网、定置网归为非选择性渔具, 围网、流刺网、钓具归为选择性渔具。

2 结果与分析

2.1 渔获物鱼类营养层级划分

中国近岸海域(渤海、黄海、东海以及南海)海洋捕捞渔获物主要鱼类营养级划分见表 1。表 1 表明, 中国在渤海、黄海、东海以及南海陆缘以内的渔获物种类, 就其种类数量而言, 主要是低营养级肉食性鱼类(9 种)、中营养级肉食性鱼类(10 种)和高营养级肉食性鱼类(6 种)。

表 1 渤海、黄海、东海以及南海主要鱼类渔获物营养级分类
Tab. 1 Trophic level type of main fishes in the catches of Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea and South China Sea

营养级类别 trophic level type	中英文名 Chinese/English name	拉丁名 scientific name	综合营养级 average trophic level	营养级偏差 stdev
低营养级 肉食性鱼类 carnivorous fishes in low class	鲮鱼 flathead grey mullet *	<i>Mugil cephalus</i>	2.00	0.17
	梭鱼 grey mullet*	<i>Mugil soiyu</i>	2.00	0.19
	鲱鱼 herring	<i>Clupea pallasii</i>	2.20	0.20
	沙丁鱼 sardine	<i>Sardina melanostictus</i>	2.28	0.50
	玉筋鱼 sandlance	<i>Ammodytes personatus</i>	2.30	0.10
	鲷鱼 pomfret	<i>Pampus argenteus</i>	2.53	0.10
	马面鲀 filefishes	<i>Navodon septentrionalis</i>	2.70	0.40
	鳓鱼 long-finned herring	<i>Ilisha elongata</i>	2.73	0.64
	鳀鱼 anchovy	<i>Engraulis japonicus</i>	2.75	0.50
中营养级 肉食性鱼类 carnivorous fishes in middle class	鲷鱼 sea bream	<i>Chrysophrys major</i>	2.90	0.49
	梅童鱼 spinyhead croaker	<i>Collichthys lucidus</i>	2.93	0.60
	白姑鱼 silver croaker	<i>Argyrosomus argentatus</i>	3.00	0.43
	竹荚鱼 Japanese jack mackerel	<i>Trachurus japonicus</i>	3.00	0.00
	金线鱼 golden threadfin bream*	<i>Nemipterus virgatus</i>	3.00	0.57
	黄姑鱼 yellow drum	<i>Paranibea semiluctuosa</i>	3.15	0.20
	蓝圆鲹 Japanese scad	<i>Decapterus maruadsi</i>	3.18	0.45
	小黄鱼 small yellow croaker	<i>Pseudosciaena polyactis</i>	3.26	0.63
	方头鱼 tilefish	<i>Branchiostegus japonicus</i>	3.35	0.50
高营养级 肉食性鱼类 carnivorous fishes in high class	大黄鱼 large yellow croaker	<i>Pseudosciaena crocea</i>	3.47	0.56
	石斑鱼 banded grouper	<i>Epinephelus drummondhayi</i>	3.50	0.60
	鲈鱼 chub mackerel*	<i>Pneumatophorus japonicus</i>	3.50	0.80
	鲢鱼 miiuy croaker	<i>Miichthys miiuy</i>	3.70	0.37
	马鲛 spanish mackerel	<i>Scomberomorus niphonius</i>	3.73	0.80
	带鱼 hairtail	<i>Trichiurus haumela</i>	3.80	0.40
	海鳗 morey eel	<i>Muraenesox cinereus</i>	3.83	0.67

注: *营养级数据采自于 FishBase (<http://www.fishbase.org>), 其他采自于邓景耀等^[4]、韦晟等^[7]和张月平等^[14-15], 并取综合数值。
Note: * trophic level data adopted from FishBase (<http://www.fishbase.org>). Other trophic level data adopted from Deng et al.^[4], Wei et al.^[7] and Zhang et al.^[14-15].

2.2 全国鱼类渔获营养层级总体构成

图 1 表明, 1983—2013 年东部海域和南海鱼类渔获量总体呈上升趋势。其中, 渤海、黄海和东海的总渔获量在 2003 年前增长明显, 随后从 2006 年开始呈下降趋势; 所不同的是, 南海在 2006 年出现明显下降后, 又开始逐步上升。

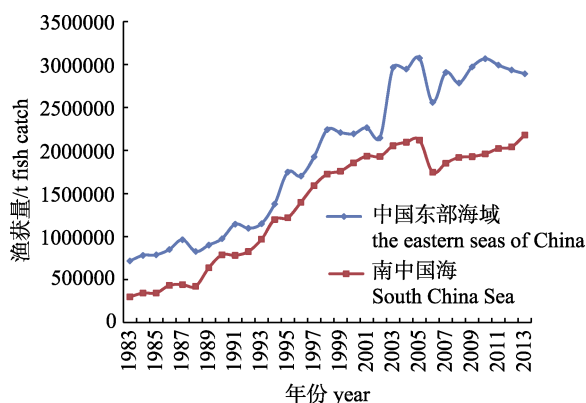


图 1 东部海域和南海鱼类渔获量 1983—2013 年的变化情况

Fig. 1 Changes of fish catches in the eastern seas of China and South China Sea from 1983 to 2013

就全国鱼类渔获营养级构成而言, 低营养级肉食性鱼类的营养级构成比例在 1983 年至 1997 年期间呈明显上升趋势, 从 1983 年的 18% 多上升至 1997 年接近 40%, 随后逐渐下降到 2013 年的 30% 左右; 中营养级肉食性鱼类的营养级构成比例总体呈现上升趋势, 从 1983 年的 26% 上升到 2013 年的 32%; 而高营养级肉食性鱼类的营养级

构成比例, 尽管期间有波动出现, 但总体呈显著下降趋势, 从 1993 年的 57% 下降至 2013 年的接近 38% (图 2)。

就具体渔获物种类而言 (图 3), 低营养级肉食性鱼类除马面鲷下降明显和鳀鱼起伏波动外, 其他鱼类的渔获比例都呈上升趋势; 中营养级肉食性鱼类中, 常见的蓝圆鲹、竹荚鱼比例明显下降, 而其他小鱼种的比例呈上升趋势; 大部分小鱼种高营养级肉食性鱼类的渔获比例在上升, 而占渔获比例较大的带鱼和鲈鱼则在明显下降。

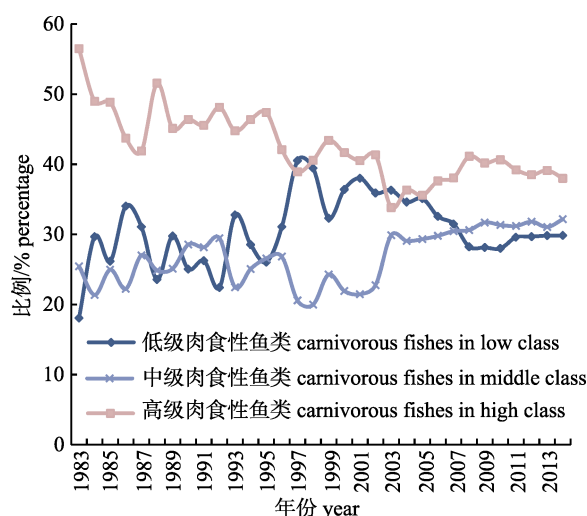


图 2 全国渔获物中不同营养级类别鱼类所占比例及其变化情况

Fig. 2 Composition changes of fishes with different type trophic levels in the eastern seas of China and South China Sea as a whole

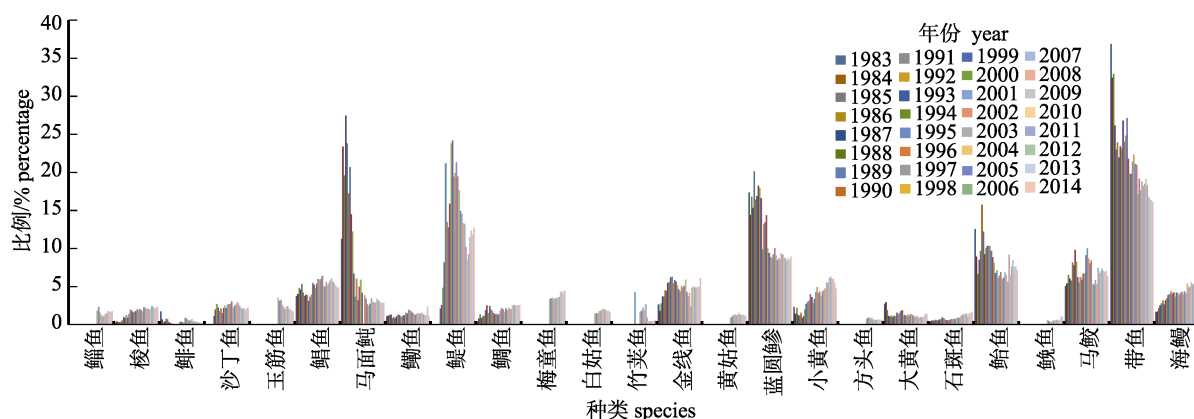


图 3 全国不同种类鱼类渔获物构成比例变化
各鱼种拉丁名详见表 1。

Fig. 3 Composition changes of fish catches in the eastern seas of China and South China Sea as a whole
The scientific names of the fishes were shown in Tab.1.

2.3 东部海域鱼类渔获营养层级构成

各年代东部海域各海区(渤海、黄海和东海)鱼类渔获量总体呈上升趋势。其中, 各海区在 1999 年前增长明显, 随后开始呈下降趋势, 东海在 2005 年前后下降明显(图 4)。

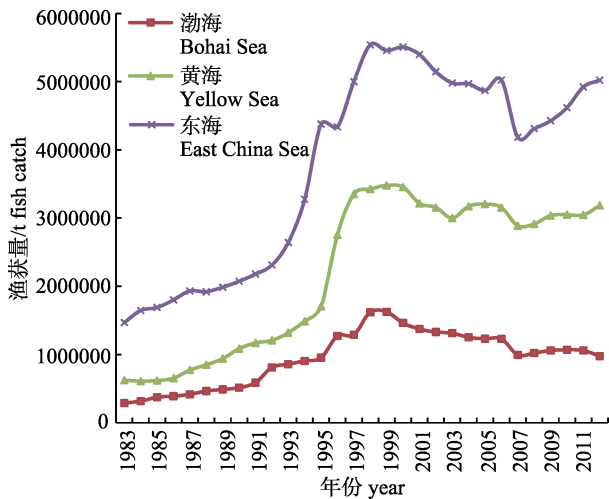


图 4 东部海域各海区鱼类渔获量变化情况
Fig. 4 Changes of fish catches in the eastern seas of China

东部海域渔获物低营养级肉食性鱼类的营养级构成比例总体呈现明显先升后降、总体上升的趋势, 从 1983 年的 16%左右上升到 2013 年的 30%; 中营养级肉食性鱼类的营养级构成比例总体上呈上升趋势, 从 20 世纪 80 年代的 14%左右, 上升到 2010 年前后的 26%; 高营养级肉食性鱼类的营

养级构成比例在 1983—2013 年期间呈显著下降趋势, 1983 年为 71%, 到 2010 年前后下降至 40%(图 5)。

其中, 在低营养级肉食性鱼类的渔获物中, 除马面鲀、鳎鱼出现下降以及鳀鱼出现先升后降的波动外, 其他鱼类的渔获比例都呈上升趋势; 中营养级肉食性鱼类的渔获物比例普遍呈上升趋势; 高营养级肉食性鱼类的渔获物比例除鲛鱼、海鳗和石斑鱼、鲑鱼外, 鲐鱼、带鱼和大黄鱼的渔获则呈显著下降趋势(图 6)。

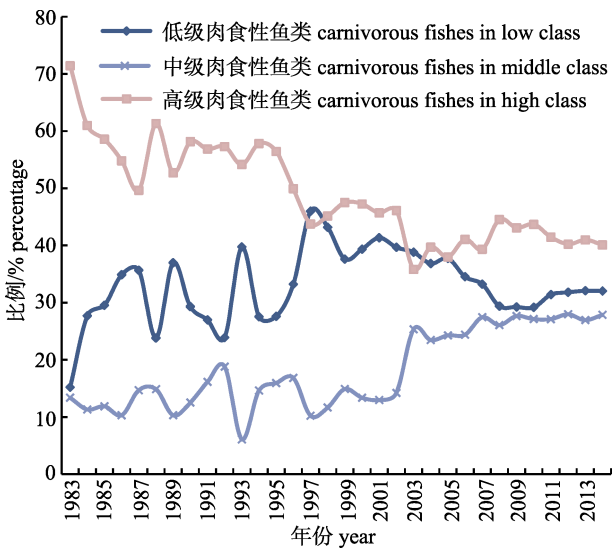


图 5 东部海域不同营养级鱼类渔获物构成变化
Fig. 5 Composition changes of different fish trophic level clusters of the eastern seas of China

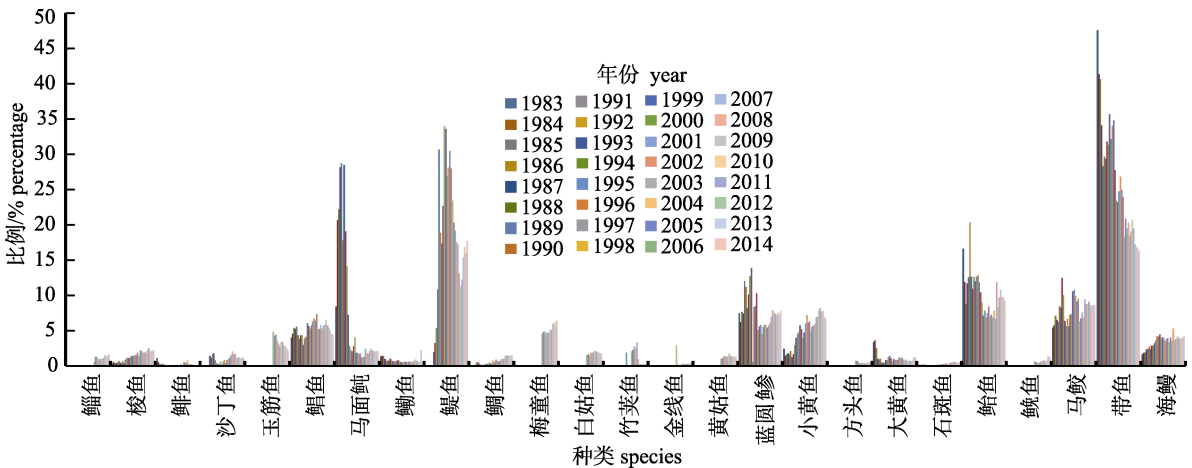


图 6 东部海域捕捞种类构成变化
各鱼种拉丁名详见表 1.

Fig. 6 Composition changes of fish catch of the eastern seas of China
The scientific names of the fishes were shown in Tab.1.

2.4 南海鱼类渔获营养层级构成

在南海捕捞的鱼类渔获营养级构成中,低营养级肉食性鱼类的比例波动较大;中营养级肉食性鱼类的比例总体上呈明显下降趋势,从 20 世纪 80 年代的 60% 左右,下降到 2013 年的 40%;高营养级肉食性鱼类的比例一直保持明显上升趋势,从 1983 年的 10% 上升到了 2013 年的 35% 多(图 7)。其中,低营养级肉食性鱼类的比例除鲳鱼和鳓鱼上升外,其他鱼类都呈下降趋势;中营养级肉食性鱼类的比例除蓝圆鲀外,其他鱼类都呈上升趋势;高营养级肉食性鱼类的比例除鲈鱼、大黄鱼和鲷鱼外,其他鱼类都呈上升趋势(图 8)。

2.5 不同作业方式与鱼类渔获营养层级构成

在不同作业方式构成中,东部海域以非选择性渔具为主,非选择性渔具和选择性渔具尽管在数量上相差不大(2003—2013 年期间平均约各占 50% 左右),但其总吨位和总功率所占比例明显高于选择性渔具;而在南海则以选择性渔具为主,尽管它在总吨位和总功率上与非选择性渔具不相上下,但其数量则远大于非选择性渔具(图 9)。

不同捕捞作业方式的渔获构成中,拖网渔获在全国渔获量中占主导地位(占 40%~50%),拖网渔获比例在 2000 年前呈上升趋势,2000 年后则略有下降;流刺网渔获量比例上升明显;定置网和围网渔获比例呈总体下降趋势;钓具渔获比例也呈一定的上升趋势(图 10)。

在不同作业方式渔获量与不同营养级别类渔

获量占总渔获量的比例关系中,东部海域拖网、围网、定置网、流刺网和钓具作业的渔获量比例均与高营养级肉食性鱼类的渔获量比例呈极显著负相关($P<0.01$),而与低、中级营养级肉食性鱼类的渔获量比例呈一定的正相关(表 2);南海海域拖网、围网、定置网、流刺网和钓具作业的渔获量均与高营养级肉食性鱼类的渔获量比例呈极显著正相关关系($P<0.01$),同时,拖网、定置网、钓具渔获与低营养级肉食性鱼类的渔获量比例也呈一定的正相关关系,而与中级营养级肉食性鱼类的渔获量比例呈极显著的负相关关系($P<0.01$, 表 2)。

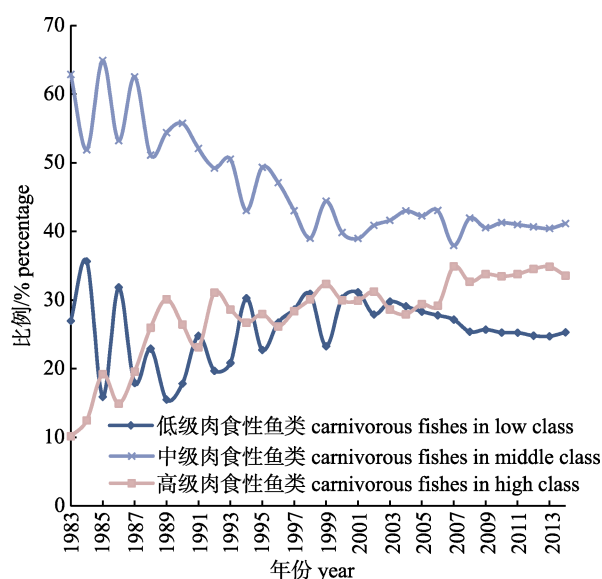


图 7 南海渔获物不同营养级种类构成变化

Fig. 7 Composition changes of different fish trophic level clusters in South China Sea

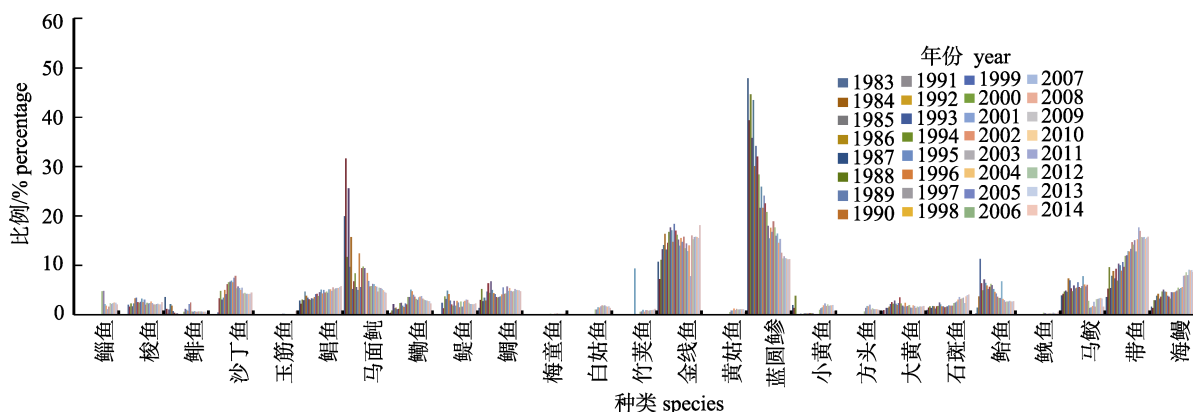


图 8 南海捕捞种类构成变化

各鱼种拉丁名详见表 1.

Fig. 8 Changes of fish catch composition in South China Sea
The scientific names of the fishes were shown in Tab.1.

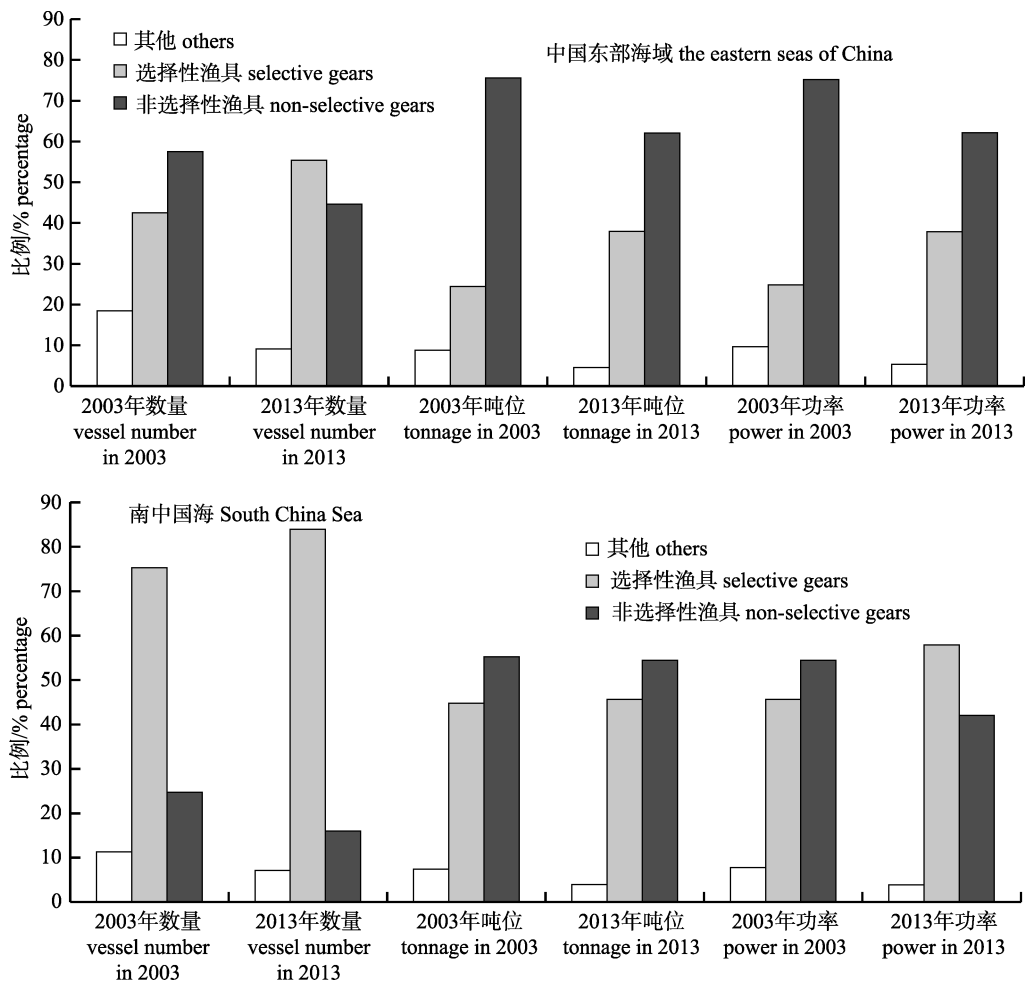


图 9 东部海域和南海选择性和非选择性渔具的渔船数量、吨位、功率在各区全部作业类型中所占的比例及变化情况
Fig. 9 Vessel number, tonnage and power composition and changes of selective and non-selective fishing gears in the eastern seas of China and South China Sea

表 2 不同渔具渔获量与不同营养级类型鱼类渔获量在总渔获中所占比例的相关性
Tab. 2 Correlation between the percentages of different trophic level fish catches and the percentages of different fishing gear catches in total catches

海域 seas	渔具 fishing gear	低营养级	中营养级	高营养级
		carnivorous fishes in low class	carnivorous fishes in middle class	carnivorous fishes in high class
中国东部海域 the eastern seas of China	拖网 trawler	$r=0.596^{**}, P<0.001, n=30$	$r=0.485^{**}, P<0.007, n=30$	$r=-0.837^{**}, P<0.001, n=30$
	围网 purse seine	$r=0.335, P<0.071, n=30$	$r=0.695^{**}, P<0.001, n=30$	$r=-0.797^{**}, P<0.001, n=30$
	刺网 gill net	$r=0.427^{*}, P<0.019, n=30$	$r=0.724^{**}, P<0.001, n=30$	$r=-0.891^{**}, P<0.001, n=30$
	定置网 set net	$r=0.705^{**}, P<0.001, n=30$	$r=0.173, P<0.361, n=30$	$r=-0.891^{**}, P<0.001, n=30$
	钓具 tangle	$r=0.551^{**}, P<0.002, n=30$	$r=0.495^{**}, P<0.005, n=30$	$r=-0.679^{**}, P<0.001, n=30$
南海 South China Sea	拖网 trawler	$r=0.416^{*}, P<0.022, n=30$	$r=-0.878^{**}, P<0.001, n=30$	$r=0.727^{**}, P<0.001, n=30$
	围网 purse seine	$r=0.215, P<0.253, n=30$	$r=-0.605^{**}, P<0.001, n=30$	$r=0.556^{**}, P<0.001, n=30$
	刺网 gill net	$r=0.342, P<0.064, n=30$	$r=-0.880^{**}, P<0.001, n=30$	$r=0.786^{**}, P<0.001, n=30$
	定置网 set net	$r=0.395^{*}, P<0.031, n=30$	$r=-0.778^{**}, P<0.001, n=30$	$r=0.624^{**}, P<0.001, n=30$
	钓具 tangle	$r=0.452^{**}, P<0.012, n=30$	$r=-0.769^{**}, P<0.002, n=30$	$r=0.569^{**}, P<0.001, n=30$

注: **表示极显著相关($P<0.01$); *表示显著相关($P<0.05$).
Note: ** denotes extremely significant correlation ($P<0.01$); * denotes significant correlation ($P<0.05$).

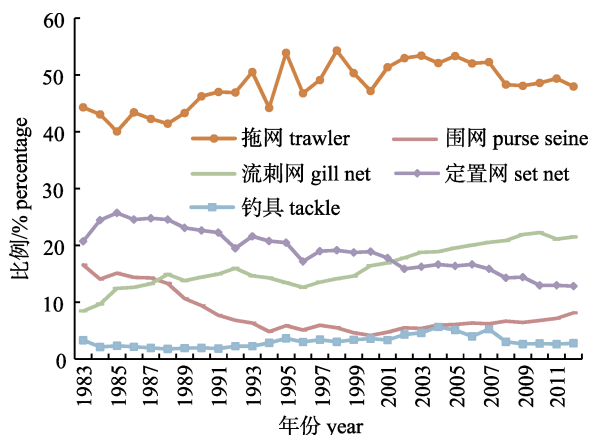


图 10 不同捕捞作业方式的鱼类渔获量在全国海洋渔获量中所占比例的变化情况

Fig. 10 Percentages of different fishing gear catches in total catches of the eastern seas of China and South China Sea as a whole

2.6 整体营养级水平和 FiB 指数

东部海域整体平均营养级水平(TL)在下降, 从 1983 年至 2013 年间下降了 8% 左右, 同时, 其 FiB 指数在 1983—2002 年呈上升趋势, 1983—1995 年上升明显, 2002 年后则开始下降。而在南海, 其渔获物整体 TL 基本保持在 3.08 左右, FiB 始终呈现总体上升趋势, 其中在 1983—1995 年上升也比较明显(图 11)。

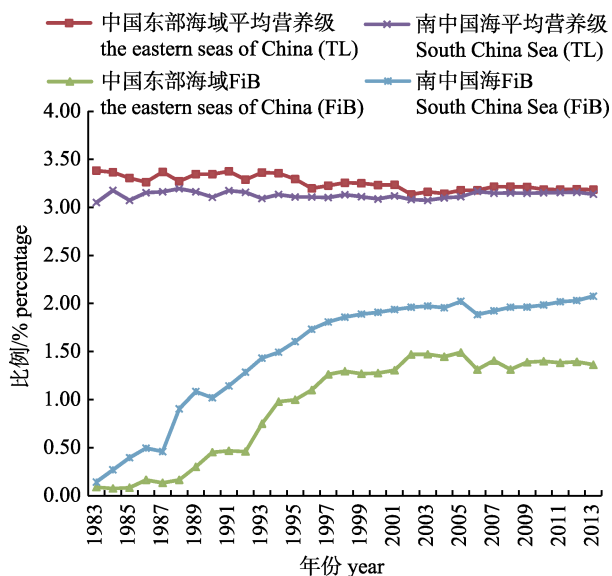


图 11 东部海域和南海鱼类渔获物营养级(TL)与 FiB 指数年际变化

Fig. 11 Changes of FiB and mean trophic level for the eastern seas of China and South China Sea

3 讨论

在东部海域, 低营养级肉食性鱼类的营养级构成比例在上升; 中营养级肉食性鱼类的营养级构成比例总体呈现上升趋势; 而高营养级肉食性鱼类的营养级构成比例总体呈显著下降趋势。

东部海域低营养层级鱼类比例增长了 60%, 中营养层级鱼类比例增加突出(129%), 而高营养级鱼类则下降了 51%, 整体平均营养级水平(TL)在下降, 根据当渔获量平均营养级随着渔获量增长而下降。而 FiB 指数也呈现下降趋势时, 表明渔业资源受到破坏的结论^[23], 以及在过度开发的水域, 生活史较长的大型肉食性鱼类的生物量会明显减少的规律^[24, 26], 说明就营养级水平而言, 东部海域鱼类资源自 2000 年后呈现了衰退现象, 这可能是由于底拖网等非选择性渔具所占比例较大的原因所致。

而在南海, 由于捕捞作业范围的不断扩展, 低营养级鱼类比例有所下降(6%), 中营养级鱼类下降明显(40%), 高营养级鱼类比例上升突出(2013 年比 1983 年增长了 198%), 整体 TL 保持基本不变, FiB 指数始终没有出现下降现象, 说明鱼类资源还没有出现像东部海域那样的衰退现象, 其原因可能是由于南海陆架面积相对整个南海以及底拖网等非选择性渔具相对所有渔具所占比例较小。

本研究表明, 利用渔获物统计数据开展资源利用分析, 不仅可以获得建立在渔获物的增长或衰减基础上的资源状况, 同时, 通过对渔获物的营养层级分类分析, 还可以获得在海洋食物链中营养层级意义上的资源状况, 它有效地剔除了利用渔获物统计分析资源变动时, 人为主观因素对渔获物统计的干扰。

本研究利用鱼类营养层级构成的变化和不同作业方式渔获物比例的变化, 获得了鱼类资源的结构性变化, 说明了东部海域与南海渔业资源的利用状况, 其结果与姜亚洲等^[27]对东东北部鱼类群落多样性及其结构特征的变化分析、许思思等^[28]对渤海主要渔业资源结构的演变分析以及陈作志等^[29]在研究捕捞对北部湾海洋生态系统的影响时

的结论基本一致, 总体印证了在过度开发的水域, 生活史较长的大型肉食性鱼类的生物量会明显减少这一规律。

在东部海域渔业资源开发利用中, 高营养级鱼类的渔获物比例下降, 而中低营养级鱼类渔获量比例上升, 说明在营养级构成方面东部海域渔业资源呈现衰退现象, 但并不能够印证资源整体数量在下降, 刘勇等^[21]认为营养级与资源量呈负相关关系。东部海域的鱼类渔获营养层级下降, 主要与该海域较大的非选择渔具使用相关, 建议该海域应加强对拖网等非选择性渔具作业的控制和管理。

在南海渔业资源开发利用中, 中、高营养级别的鱼类渔获物比例上升, 而低营养级鱼类渔获物比例下降, 说明南海渔业资源在营养级构成方面还没有出现明显的衰退现象, 这可能与南海资源开发的地理范围逐渐从近海陆架作业向陆源外海域以及岛礁海域发展有关。陈作志等^[29]认为, 北部湾近 40 年来在捕捞强度不断增加的压力下, 长寿命、高营养级的肉食性鱼类生物量明显下降, 而小型鱼类和无脊椎动物则明显上升, 这一结论也反映了南海陆架内的资源状况。因此, 建议该海域的资源开发应当控制陆架内拖网作业, 适当加大对陆架外资源的开发利用。

由于本研究所采用的统计数据未能将东部海域和南海的不同渔具的分种类渔获量统计出来, 因此, 分析中所采用的利用全国不同渔具的分种类渔获量分别分析东部海域与南海的鱼类营养层级变化的关系, 其准确度可能会受到一定影响, 此外, 不同作业方式对鱼类营养级构成的影响机理还需要进一步深入探讨。

致谢: 中国水产科学研究院信息技术研究中心及王丽同志在渔业统计年鉴数据录入和整理过程中给予了大力协助, 在此表示衷心感谢。

参考文献:

[1] Editing Committee of China Marine Fishery Resources. Marine Fishery Resources of China-Investigation and Zonation of China Fishery Resource (No.6)[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1990. [中国海洋渔

业资源编委会. 中国海洋渔业资源-中国渔业资源调查和区划之六[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.]

- [2] Ji W W, Li S F, Chen X Z. Application of fish trophic level in marine ecosystem[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(4): 879-888. [纪炜炜, 李圣法, 陈雪忠. 鱼类营养级在海洋生态系统研究中的应用[J]. 中国水产科学, 2010, 17(4): 879-888.]
- [3] State Council. Action Plan of China Aquatic Living Resource Protection and Restoration[R]. 2006. http://www.gov.cn/zwgk/2006-02/27/content_212335.htm. [国务院. 中国水生生物资源养护行动纲要[R]. 2006. http://www.gov.cn/zwgk/2006-02/27/content_212335.htm.]
- [4] Deng J Y, Meng T X, Ren S M. Food web of fishes in Bohai Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 1986, 6(4): 356-364. [邓景耀, 孟田湘, 任胜民. 渤海鱼类食物关系的初步研究[J]. 生态学报, 1986, 6(4): 356-364.]
- [5] Yang J M. A study on food and trophic levels of Bohai Sea fish[J]. Modern Fisheries Information, 2001, 16(10): 10-19. [杨纪明. 渤海鱼类的食性和营养级研究[J]. 现代渔业信息, 2001, 16(10): 10-19.]
- [6] Zhang B, Wu Q, Jin X S. Interannual variation in the food web of commercially harvested species in Laizhou Bay from 1959 to 2011[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 22(2): 278-287. [张波, 吴强, 金显仕. 1959-2011 年莱州湾渔业资源群落食物网结构的变化[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 278-287.]
- [7] Wei S, Jiang W M. Study on food web of fishes in the Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1992, 23(2): 82-192. [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.]
- [8] Zhang B, Wu Q, Niu M X, et al. Variation in feeding ecology within the fish community in the north Yellow Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(6): 1343-1350. [张波, 吴强, 牛明香, 等. 黄海北部鱼类群落的摄食生态及其变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(6): 1343-1350.]
- [9] Zhang B, Tang Q S. Study on trophic level of important resources species at high trophic levels in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea[J]. Advances in Marine Science, 2004, 22(4): 393-404. [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.]
- [10] Zhang B, Tang Q S, Jin X S, et al. Feeding competition of the major fish in the East China Sea and the Yellow Sea[J]. Acta Zoologica Sinica, 2005, 51(4): 616-623. [张波, 唐启升, 金显仕, 等. 东海和黄海主要鱼类的食物竞争[J]. 动物学报, 2005, 51(4): 616-623.]
- [11] Zhang B, Tang Q S, Jin X S. Functional groups of fish assemblages and their major species at high trophic level in the East China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(6): 939-949. [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[J]. 中国水产科学, 2007,

- 14(6): 939–949.]
- [12] Zhang Q Y, Lin Q M, Lin Y T, et al. Food web of fishes in Minnan-Taiwanchientan fishing ground[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1981, 3(2): 275–290. [张其永, 林秋眠, 林允通. 闽南-台湾浅滩鱼类食物网研究[J]. *海洋学报*, 1981, 3(2): 275–290.]
- [13] Qiu S Y, Yang S Y. Food web of main pelagic fishes in Minnan Taiwan Qiantan Fishing Ground[C]// *Up-welling Ecology of Minnan Taiwan Qiantan fishing ground*[C]. Beijing: Science Press, 1991: 638–645. [丘书院, 杨圣云. 闽南-台湾浅滩渔场主要中上层鱼类食物关系的初步研究[C]// 闽南-台湾浅滩渔场上升流生态研究. 北京: 科学出版社, 1991: 638–645.]
- [14] Zhang Y P, Chen P M. Main fishes food web in the adjacent waters area of Nansha Islands and reefs[J]. *South China Fisheries Science*, 2005, 1(6): 23–33. [张月平, 陈丕茂. 南沙岛礁周围水域主要鱼类食物网的研究[J]. *南方水产*, 2005, 1(6): 23–33.]
- [15] Zhang Y P. Foods web for main fishes in Beibu Gulf of the South China Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2005, 12(5): 622–631. [张月平. 南海北部湾主要鱼类食物网[J]. *中国水产科学*, 2005, 12(5): 622–631.]
- [16] Zhang B. Feeding habits and ontogenetic diet shift of hairtail fish (*Trichiurus lepturus*) in East China Sea and Yellow Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 2004, 25(2): 6–12. [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(2): 6–12.]
- [17] Guo B, Zhang B, Dai F Q, et al. Food competition between juvenile *Pseudosciaena polyactis* and juvenile *Setipinna taty* in the Haizhou Bay[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, 32(1): 8–15. [郭斌, 张波, 戴芳群, 等. 海州湾小黄鱼幼鱼和黄鲫幼鱼的食物竞争[J]. *渔业科学进展* 2011, 32(1): 8–15.]
- [18] Jiang S F, Cheng J H. Biomass distribution of *Acropoma japonicum* and its relationship with environment in the East China Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2007, 29(3): 221–225. [江胜锋, 程家骅. 东海发光鲷生物量分布及其与环境的关系[J]. *海洋渔业*, 2007, 29(3): 221–225.]
- [19] Jiang R J, Xu H X, Jin H W, et al. Feeding habits of blue mackerel scad *Decapterus maruadsi* Temminck et Schlegel in the East China Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(2): 216–227. [蒋日进, 徐汉祥, 金海卫, 等. 东海蓝圆鲹的摄食习性[J]. *水产学报*, 2012, 36(2): 216–227.]
- [20] Xu H Y, Zhou Y D, He Z T. Biomass estimation of continental fishery resources in the East China Sea using trophic level method[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science*, 2007, 26(4): 404–409. [徐汉祥, 周永东, 贺舟挺. 用营养动态模式估算东海区大陆架渔场渔业资源蕴藏量[J]. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 2007, 26(4): 404–409.]
- [21] Liu Y, Cheng J H. A preliminary analysis of variation characteristics of structure and average trophic level of the main fishery species caught by paired bottom trawl in the East China Sea and the Yellow Sea during the fall season[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(5): 691–702. [刘勇, 程家骅. 东海、黄海秋季渔业生物群落结构及其平均营养级变化特征初步分析[J]. *水产学报*, 2015, 39(5): 691–702.]
- [22] Zhang Z, Yang W B, Chen X J, et al. On fisheries resources in the Southeast Atlantic based on the mean trophic level of catches[J]. *Marine Fisheries*, 2015, 37(3): 197–207. [张忠, 杨文波, 陈新军, 等. 基于渔获量平均营养级的东南大西洋渔业资源状况分析[J]. *海洋渔业*, 2015, 37(3): 197–207.]
- [23] Pauly D, Christensen V, Dalsgaard J. Fishing down marine food webs[J]. *Science*, 1998, 279 (5352): 860–863.
- [24] Ortiz M, Wolff M. Trophic models of four benthic communities in Tongoy Bay (Chile): comparative analysis and preliminary assessment of management strategies[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2002, 268(2): 205–235.
- [25] Bureau of Fisheries and Fishery Administration of Ministry of Agriculture. Statistics of China Fisheries (2013–2015)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016. [农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴(2013–2015)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.]
- [26] Pauly D, Christensen V. Primary production required to sustain global fisheries[J]. *Nature*, 1995, 374(16): 255–257.
- [27] Jiang Y Z, Cheng J H, Li S F. Variation in fish community structure and biodiversity in the north of the East China Sea between two periods[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(3): 354–459. [姜亚洲, 程家骅, 李圣法. 东海北部鱼类群落多样性及其结构特征的变化[J]. *中国水产科学*, 2008, 15(3): 354–459.]
- [28] Xu S S, Song J M, Duan L Q, et al. Structural changes of major fishery resources in the Bohai Sea[J]. *Marine Sciences*, 2010, 34(6): 59–65. [许思思, 宋金明, 段丽琴, 等. 渤海主要渔业资源结构的演变分析[J]. *海洋科学*, 2010, 34(6): 59–65.]
- [29] Chen Z Z, Qiu Y S, Jia X P, et al. Effects of fishing on the marine ecosystem of Beibu Gulf[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1604–1610. [陈作志, 邱永松, 贾晓平, 等. 捕捞对北部湾海洋生态系统的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1604–1610.]

Changes in trophic-level structure of the main fish species caught by China and their relationship with fishing method

LI Jilong, CAO Kun, DING Fang, YANG Wenbo, SHEN Gongming, LI Yingren

Center of Resource and Ecology Environment Research, Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100141, China

Abstract: The long-term changes in fish ecological structure and fishery resources were studied in the Eastern Seas of China (Bohai Sea, Yellow Sea, and East China Sea) and the South China Sea based on 1983–2013 catch statistical data, using fish trophic level (TL), the FiB index, and the main fish cluster caught by Chinese fishing vessels. A correlation analysis of the change in fish ecological structure based on fishing method was also conducted. The results show that mean TL has declined among the 25 main fish species caught in the Eastern Seas of China. The contribution of carnivorous fish in the lowest class to total catch has increased 60%, the contribution of carnivorous fish in the middle class to total catch has increased 129%, and the contribution of carnivorous fish in the advanced class to total catch has decreased 51%. No changes in mean TL have occurred in the South China Sea; however, the contribution of carnivorous fish in the lowest class to total catch has decreased 6%, the contribution of carnivorous fish in the middle class to total catch has decreased 43%, and the contribution of carnivorous fish in the advanced and middle classes to total catch has increased 198%. These results suggest that fisheries resources in the Eastern Seas of China, but not those in the South China Sea, are declining.

Key words: trophic level; fish ecology structure; fishery resource; fishing method; the eastern seas of China; South China Sea

Corresponding author: LI Jilong. E-mail: lijilong@cafs.ac.cn