

中国海域海洋生物的营养级指数变化特征

杜建国¹ 叶观琼² 陈 彬^{1*} 郑新庆¹

¹ (国家海洋局第三海洋研究所, 福建厦门 361005)

² (新加坡国立大学生物科学系, 新加坡 117543)

摘要: 利用联合国粮农组织(FAO)1950–2011年渔获物捕捞量资料, 分析了我国海域(包括大陆海域、台湾海域、香港海域和澳门海域)129种渔获物的营养级指数变化特征。研究表明, 1950–1974年我国海洋营养级指数在3.45左右波动, 1975–1978年下降至3.35左右, 1982–1987年急剧下降到3.25并维持到1996年, 1997–2011年平稳回升至3.34。与全球海洋营养级指数相比, 1984年之前我国高于全球水平, 而1984年之后则低于全球水平。就生物类群而言, 鱼类对我国海洋营养级指数的贡献最大, 达73.1–85.8%; 甲壳动物次之, 为9.2–15.5%; 软体动物较小, 为3.3–11.6%; 其他无脊椎动物的贡献最小, 不超过1.8%。过度捕捞使我国部分渔获物由原来的长寿命、高营养级的底层鱼类变为现在的短寿命、低营养级的无脊椎动物和中上层鱼类。渔业捕捞许可管理制度、禁渔期和禁渔区制度、海洋捕捞产量“零增长”和“负增长”计划、增殖放流、扩大海洋保护区面积等措施的实施可能是我国海洋营养级指数回升的主要原因。

关键词: 中国沿海, 海洋生物多样性, 营养级指数, 海洋食物网

Changes in the marine trophic index of Chinese marine area

Jianguo Du¹, Guanqiong Ye², Bin Chen^{1*}, Xinqing Zheng¹

¹ Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen, Fujian 361005, China

² Department of Biological Sciences, National University of Singapore, Singapore 117543, Singapore

Abstract: Using the fishery catches and landings data from Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Fishery Statistics (1950 to 2011) for 129 marine species, we analyzed changes in the trophic index of captured species in China (including 4 sea areas: Mainland, Taiwan, Hong Kong and Macau). The results showed the following: the marine trophic index remained stable from 1950 to 1974, fluctuating around 3.45, then declined to 3.35 during the period 1975–1978, declined again sharply to 3.25 between 1982 and 1987, remained stable in the following 10 years, and then increased gradually to 3.34 from 1997 to 2011. Comparing to global marine trophic index, China's marine trophic index was higher than the global level before 1984, but became lower after 1984. Comparing the contributions of the 4 main biological groups used in the calculation of the index showed that fish species contributed the mostly at 73.1–85.8%, crustaceans contributed 9.2–15.5%, molluscs contributed 3.3–11.6%, and other invertebrates contributed less than 1.8%. The general decline we observed in China's marine trophic index is associated with shifts in fishery catches from benthic fishes with a long lives and high trophic levels, to invertebrates and pelagic fishes with short lives and low trophic levels. Increasing Chinese marine trophic index from 1997 to 2011 may be attributed to a series of fishery management countermeasures, including new fishing permits regulations, closed fishing seasons, “zero and negative growth plans” for marine fishery catches and landings, artificial breeding and stocking of juveniles fishes, and marine protected areas for spawning and feeding grounds.

Key words: Chinese marine area, marine biodiversity, marine trophic index, marine food web

收稿日期: 2013-09-04; 接受日期: 2014-07-16

基金项目: 国家自然科学基金(31101902)、福建省自然科学基金(2012J05074)、国家留学基金(201309660067)、国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费专项资金(海三科 2011006)、国家海洋局“中国海洋生物多样性保护战略与行动计划”项目

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: chenbin@tio.org.cn

近年来, 监测和评估海洋生态系统的变化已经成为海洋科学的核心课题(Edwards & Richardson, 2004; Perry *et al.*, 2005), 其中营养动力学变化机制的研究是揭示整个系统变化过程至关重要的内容(IMBER, 2005)。营养级(trophic level)表示生物在生态系统食物链/食物网中的位置, 既可用来表示一个特定种群同化能源的能力, 也可用以表示一大类群的能量消费等级(张波和唐启升, 2004)。以营养级为基础的海洋营养级指数(海洋渔获物平均营养级)能准确地反映渔获物及其营养层次的变化趋势(<http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-10/information/sbstta-10-inf-18-en.pdf>), 成为《生物多样性公约》评估2010年生物多样性目标实现与否的8个指标之一(<http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-10/official/sbstta-10-09-en.pdf>)。海洋营养级指数高说明海洋生物多样性较高, 且海洋生态系统完整性处于较高水平(<http://www.cbd.int/doc/meetings/sbstta/sbstta-10/information/sbstta-10-inf-18-en.pdf>)。

研究海洋营养级指数的年间变动对于了解海洋生态系统的状况有非常重要的意义。国外在这方面的研究比较多, 如Pauly等利用联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)的资料研究了全球220种海洋生物的平均营养级在1950–2000年间的变化, 由此提出“Fishing Down Marine Food Webs”的理论(Pauly *et al.*, 1998, 2002; Pauly & Watson, 2005)。另外, 加拿大、乌拉圭和葡萄牙等海域营养级指数的下降已经影响到该地区渔业的可持续发展(Pauly *et al.*, 2001; Milessi *et al.*, 2005; Baeta *et al.*, 2009)。国内对海洋生物营养级的研究较多(张其永等, 1981; 丘书院等, 1991; 韦晟和姜卫民, 1992; 程济生和朱金声, 1997; 杨纪明, 2001; 卢振彬和黄美珍, 2004; 黄良敏等, 2008), 但对海洋营养级指数及其变化的研究较少(邓景耀等, 1997; 张波和唐启升, 2004; 晁敏等, 2005; 杜建国等, 2010, 2012)。而且研究区域仅限于某个海区, 空间尺度较小; 历史数据也仅限于某些特定的年份, 时间序列较短。Xu等(2009)虽然初步研究了我国海洋营养级指数在1950–2006年间的变化, 但对其变化的具体特征并没有做深入的研究。因此, 本文利用FAO 1950–2011年的连续统计资料, 筛选出我国在西北太平洋的捕捞量数据, 研究我国(包括大陆海域、台湾海域、香港海域和澳门海域)

的海洋营养级指数长期变化趋势, 以期为我国海洋生物多样性保护和管理提供科学依据。值得注意的是, 由于FAO统计资料的全面性与真实性本身就是一个值得研究的课题(Powers, 2010; Branch *et al.*, 2010; Pauly *et al.*, 2013), 因此本文所筛选的数据具有一定的潜在风险。

1 材料与方法

1.1 材料

从FAO的网站下载1950–2011年期间渔获物捕捞量资料 [http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en\(FishStatJ_2.0.0_win32\)](http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en(FishStatJ_2.0.0_win32))。我国海域(包括大陆海域、台湾海域、香港海域和澳门海域)在此期间捕获鱼类、甲壳动物、软体动物和其他无脊椎动物共129种。依据国际通用的FishBase (<http://www.fishbase.org>) 和 Sea Around Us(<http://www.seaaroundus.org>)数据库确定129种海洋生物的营养级, 由于无法确认上述种类历年的种群结构, 同时为了与全球研究结果进行比较, 本文中每个物种采用固定的营养级数据进行分析。每个年份所用到的物种数见附表1。

1.2 数据处理

海洋营养级指数(\overline{TL}_k)分析采用以下公式计算(Pauly *et al.*, 1998):

$$\overline{TL}_k = \sum_{i=1}^m TL_i Y_{ik} / Y_k \quad (1)$$

式中 TL_i 为第*i*个物种的营养级, Y_{ik} 表示*i*物种在第*k*年的生物量, Y_k 表示*k*年*m*个物种的总生物量。

各类群(海域)营养级指数(TL_a)采用以下公式计算:

$$TL_a = \sum_{i=1}^j TL_i X_{ik} / X_k \quad (2)$$

式中 X_{ik} 表示类群(海域)*a*中*i*物种在第*k*年的生物量, X_k 表示类群(海域)*a*中*k*年*j*个物种的总生物量。

各类群(海域)营养级指数占总营养级指数的百分比采用以下公式:

$$C_k = TL_a X_k / \overline{TL}_k Y_k \quad (3)$$

2 结果

2.1 我国海洋营养级指数变化特征

1950–2011年, 中国总体(包括大陆海域、香港

海域、澳门海域和台湾海域)海洋营养级指数变化较大(图1)。1950–1974年比较稳定,在3.45左右波动;1975–1978年下降至3.35左右;1982–1987年急剧下降到3.25,而后的10多年间一直在3.25左右波动;1997–2011年平稳回升至3.34,但还远低于20世纪70年代之前的水平。1950–1997年我国海洋营养级指数下降幅度为7.18%,下降速率为每十年下降0.05;1997–2011年增幅为5.2%,增加速率为每十年增加0.12。大陆海域的营养级指数变化趋势与中国总体变化趋势基本趋于一致,只是每年比中国总体值低约0.024。

台湾海域营养级指数比中国总体和大陆海域营养级指数高,1950–2003年在3.55–3.65之间波动,2004–2007年上升到3.72,而后又下降到2011年的3.59。香港海域营养级指数1950–1963年在3.60左右波动,而后下降到1970年的3.37;除了1991和1992年突然升至3.58外,1970–2011年一直维持在3.45左右。澳门海域营养级指数1950–1987年在2.79–2.86之间波动,而后上升至1995年的3.18并一直维持在3.16。

2.2 我国海洋营养级指数与渔获量的关系

我国海洋营养级指数与同年渔获量的关系见图2。1950–1974年,我国的海洋渔获量从 0.83×10^6 t增加到 3.68×10^6 t,但捕捞对海洋营养级指数的影响并不是很明显,此时我国的海洋渔业还是可持续的。1975–1987年,我国的海洋渔获量增加到 5.51×10^6 t,过度捕捞使我国海洋营养级指数急剧下

降至3.25。1988–1997年,我国海洋渔获量快速增加至 13.77×10^6 t,但渔获量的快速增加并没有使营养级指数下降很多,主要是因为经过20世纪70年代的过度捕捞,高营养级物种的渔获量到达并维持在一个非常低的比例,渔获量的增加主要是低营养级种类产量增加的结果。1998–2011年,渔获量在 12.49×10^6 t和 13.77×10^6 t之间波动,海洋营养级指数开始快速上升至3.34。

2.3 各生物类群对海洋营养级指数的贡献

鱼类、甲壳动物、软体动物和其他无脊椎动物每年对我国海洋营养级指数的贡献也不同(图3)。鱼类的贡献最大,达73.1–85.8%,尤其是1950–1982年,鱼类的贡献超过80.0%;1983–2011年在75.0%左右波动。甲壳动物的贡献次之,在9.2–15.5%之间波动。软体动物的贡献较小,在3.3–11.6%之间变化。其他无脊椎动物的贡献更小,不超过1.8%。

3 讨论

3.1 与全球海洋营养级指数的比较

Pauly等(1998, 2002)深入研究过全球海洋营养级指数的变化,发现其由1950年的3.42下降到1994年的3.34(Pauly & Watson, 2005)。我国海洋营养级指数在1950年与全球一致。1950–1974年,全球海洋营养级指数在3.42左右波动,我国在3.45波动;1975–1984年,全球海洋营养级指数下降到3.35左右,我国也在下降,但都在3.35以上,高于全球水平。1984–1987年,我国海洋营养级指数急剧下降到

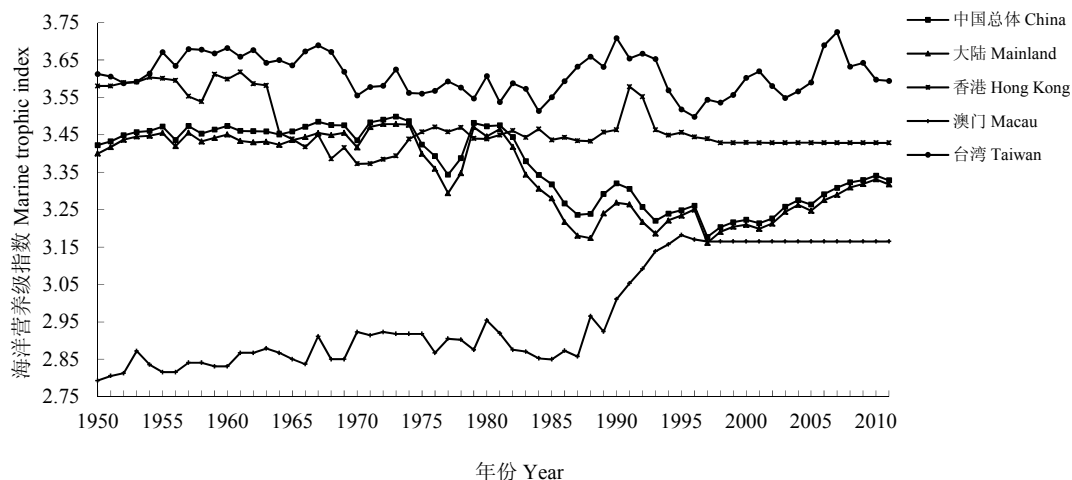


图1 我国沿海不同海域历年营养级指数变化趋势

Fig. 1 Changes of marine trophic index in different sea areas of China from 1950 to 2011

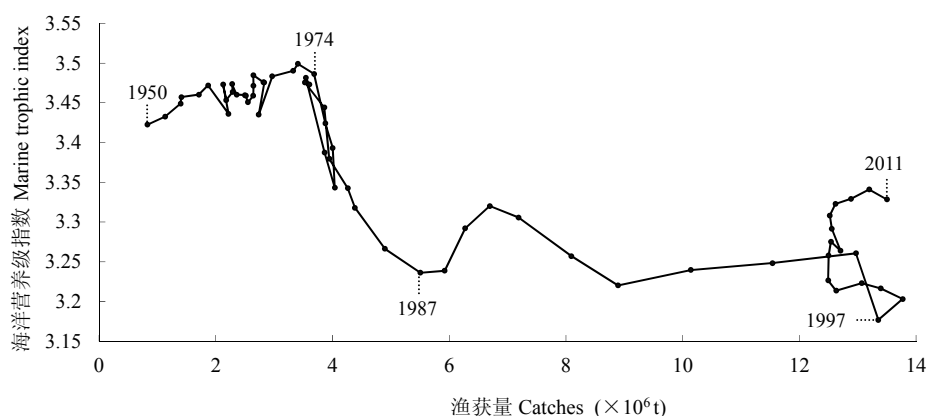


图2 我国海洋营养级指数与渔获量的关系

Fig. 2 Relationship of marine trophic index and the fishery catches ($\times 10^6$ tons) in China

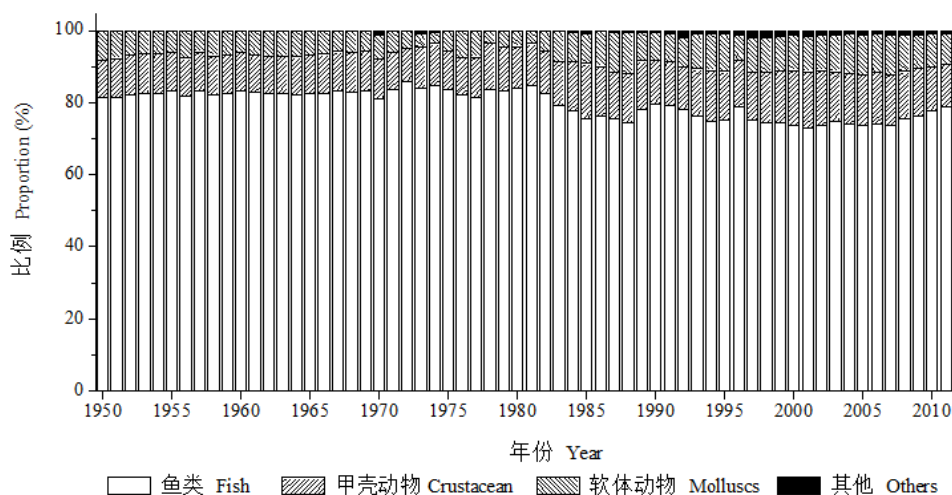


图3 海洋生物各类群对全国海洋营养级指数的贡献

Fig. 3 The contributions of four marine biological groups to the marine trophic index in China

3.25, 而后的十多年间一直在3.25左右波动, 低于同期全球平均水平。

就下降速率而言, 1950–2000年, 全球海洋营养级指数的下降幅度为3.21%, 速率是每十年下降0.02; 同期我国的下降幅度为5.83%, 速率是每十年下降0.04, 均高于全球水平。值得注意的是, 我国海洋营养级指数从1997年的3.18开始平稳回升, 到2010年已升至3.34, 增幅为5.2%, 增加速率为每十年增加0.12。

从区域的角度来看, 全球海洋营养级指数出现了大幅区域变动。1970年以后, 世界各地的沿海地区、北大西洋和东南太平洋、东南大西洋、南极印度洋的海洋营养级指数均出现了降低的情况; 然而

地中海、黑海、西中太平洋和西南太平洋的海洋营养级指数则出现增加的情况, 虽然这些增幅可能表明处于食物链高端的肉食物种得到了恢复, 但更可能是捕鱼船队扩大了活动区域, 因而遇到了尚未大量消失的大型食肉鱼类(Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010)。我国大陆海域营养级指数下降符合全球的区域格局; 台湾海域濒临西太平洋, 其营养级指数1970年后并没有明显下降也符合全球的区域格局。

3.2 与其他海域营养级指数的比较

在1990–2001年间, 乌拉圭海域60种渔业资源的营养级指数每十年下降0.28(Milessi *et al.*, 2005)。同期我国每十年下降0.09, 低于乌拉圭海域。在

表1 我国不同海域不同年份营养级指数的比较(括号内为鱼类营养级指数)
Table 1 Comparisons of marine trophic index in different sea areas and times in China (data in brackets are fish trophic indices)

	年份 Year							文献来源 Reference
	1959	1982–1983	1985–1986	1992–1993	1998–1999	2000–2001	2008–2010	
渤海 Bohai Sea	4.06	3.70	–	3.51	3.41	–	–	张波和唐启升, 2004
黄海 Yellow Sea	–	–	3.66	–	–	3.40	–	张波和唐启升, 2004
东海 East China Sea	–	–	–	–	–	3.68	–	张波和唐启升, 2004
闽东 East Fujian	–	–	–	–	3.57	–	–	李雪丁和卢振彬, 2008
闽中 Middle Fujian	–	–	–	–	3.55	–	–	李雪丁和卢振彬, 2008
闽南 South Fujian	–	–	–	–	3.54	–	–	李雪丁和卢振彬, 2008
泉州湾 Quanzhou Bay	–	3.79	3.79	–	3.58	3.58	3.54	杜建国等, 2010
九龙江口 Jiulongjiang Estuary	–	3.82	3.82	–	3.58	3.58	3.55	杜建国等, 2012
全国 China	3.46 (3.65)	3.44 (3.59)	3.32 (3.58)	3.26 (3.51)	3.22 (3.47)	3.23 (3.48)	3.34 (3.53)	

1970–2006年间, 葡萄牙海洋渔业的营养级指数每十年下降0.05(Baeta *et al.*, 2009), 同期我国每十年下降0.04, 略低于葡萄牙海域。即使是在中国台湾海域, 各地区的营养级变化也是不同的。如台湾花莲沿岸定置网渔场营养级指数自1998年起至2005年间有下降趋势, 下降幅度约为每十年0.17–0.23^①, 而台湾贡寮地区营养级指数在1995–2007年上下波动且有上升趋势, 每十年上升0.25个营养级^②。加拿大海域营养级指数在1873–1997年以每十年0.03–0.1的速度下降, 与全球变化趋势相似(Pauly *et al.*, 2001)。

我国大陆海域、台湾海域、香港海域和澳门海域的营养级指数占全国营养级指数的百分比明显不同, 分别为76.5–95.9%、3.0–18.4%、1.0–5.1%和小于0.5%。具体到大陆海域, 与渤海、黄海、东海(张波和唐启升, 2004)、福建主要渔场(李雪丁和卢振彬, 2008)、泉州湾(杜建国等, 2010)和九龙江口(杜建国等, 2012)相比(表1), 全国海洋营养级指数均较同期以上海域低约0.2–0.3, 而鱼类营养级指数则与以上各值更接近。这可能是由于渤海的营养级指数由27种重要生物资源得来, 其中24种是鱼类; 黄海的营养级指数由15种鱼类得来; 东海的营养级指数由23种鱼类得来; 福建主要渔场的营养级指数由52种鱼类得来。1959年以及1982–1983年, 全国海洋鱼类营养级指数远低于渤海; 1985–1986年, 略低于黄海, 远低于泉州湾和九龙江口; 1992–1993年, 与渤海一

致; 1998–1999年, 略高于渤海, 但略低于闽东、闽中、闽南渔场、泉州湾和九龙江口; 2000–2001年, 高于黄海, 但低于东海、泉州湾和九龙江口。2008–2010年, 与泉州湾和九龙江口的相近。近年来的数据表明(表1), 由FAO获取的数据所研究出来的我国海洋营养级指数与实际调查的海洋营养级指数是非常接近的, 但这需要渤海、黄海、东海和南海等大海区长期连续的数据验证。

3.3 我国海洋营养级指数下降的原因分析

海洋营养级指数下降的主要原因是过度捕捞, 使主要渔获物由原来的长寿命、高营养级的底层鱼类变为现在的短寿命、低营养级的无脊椎动物和中上层鱼类(Pauly *et al.*, 1998; Tang *et al.*, 2003; Xu *et al.*, 2009), 个体体长大小组成的变化和摄食的食物种类组成的变化也是引起营养级变化的重要原因(张波和唐启升, 2004)。1950–1994年, 我国海洋鱼类对营养级指数的贡献从81.27%下降到74.97%, 渔获物由原来长寿命、高营养级的鱼类向短寿命、低营养级的无脊椎动物转变。大陆海域营养级指数的下降与高营养级的带鱼(*Trichiurus lepturus*)和大黄鱼(*Larimichthys crocea*)的渔获量下降以及与低营养级的软体动物的渔获量上升密切相关, 如1974–1977年, 带鱼和大黄鱼的渔获量百分比由19.01%和6.50%分别下降到11.94%和2.77%, 而同期软体动物的渔获量百分比则由4.64%提高到9.11%。

台湾海域营养级指数的下降与高营养级的长鳍金枪鱼(*Thunnus alalunga*)和青干金枪鱼(*T. tonggol*)的渔获量下降以及低营养级的鲈鱼(*Scomber japonicus*)的渔获量上升密切相关, 如1990–1996年,

① 陈睨誉 (2008) 1995–2005 年间花莲沿岸定置网渔场渔获物平均营养位阶变动之研究. 硕士学位论文. 台湾海洋大学, 台北.
② 刘著月 (2009) 以贡寮地区捕捞渔业资料分析 1995–2007 年渔获季节性 & 营养位阶变化. 硕士学位论文. 台湾海洋大学, 台北.

长鳍金枪鱼、青干金枪鱼和红鳍圆鲹(*Decapterus russelli*)的渔获量百分比由9.31%、4.65%和3.58%分别下降到0.68%、0.13%和0.098%, 而低营养级的鲐鱼的渔获量百分比则由5.24%上升到13.79%。

香港海域营养级指数的下降与高营养级的金线鱼(*Nemipterus* spp.)的渔获量下降以及低营养级的虾类的渔获量上升密切相关, 如1963–1964年, 金线鱼的渔获量百分比由19.27%下降到14.26%; 而虾类的渔获量百分比由1.7%上升到14.93%。1964年之后, 金线鱼的渔获量百分比一直稳定在10%左右, 香港海域的营养级指数也稳定在3.43左右。

3.4 海洋营养级指数上升的原因分析

值得注意的是, 我国海洋营养级指数从1997年的3.18开始平稳回升, 到2010年已升至3.34, 增幅为5.2%, 增加速率为每十年增加0.12。这可能的原因是我国实施了渔业捕捞许可管理制度、禁渔期和禁渔区制度、海洋捕捞产量“零增长”和“负增长”计划, 这些措施的实施对海洋渔业资源的养护起到了积极作用(Xu *et al.*, 2009)。伏季休渔短时间缓解了海域的捕捞压力, 较好地保护了渔业资源的生殖群体和仔幼鱼群体, 有利于恢复生殖群体的集群行为, 提高了海域幼鱼的发生数量, 较好地保护了现有资源结构条件下的渔业资源数量, 渔业增殖效应明显(程家骅, 2008)。1998–2002年, 中国的海洋捕捞产量开始逐年下降(图2), 海洋营养级指数维持在3.22左右; 2002–2008年, 中国海洋捕捞产量相比前几年维持在较低的水平, 海洋营养级指数上升至3.32; 虽然2009–2011年的产量又略有增加, 但海洋营养级指数在2010年出现了1985年以来的最大值。这说明捕捞产量的变化反映到营养级指数的变化上是需要一定时间的。

海洋营养级恢复的其他原因可能是近几年来增殖放流的规模不断扩大, 对渔业资源的恢复也起到了积极作用。另外, 全国已建成各级、各类海洋保护区172个, 保护面积逾3.7万平方公里, 约占我国管辖海域的1.2%, 对我国各种典型脆弱海洋生态系统和海洋渔业资源的产卵场起到了一定的保护作用。这说明, 只要加强保护和管理, 渔业资源可以得到一定程度的恢复, 但要恢复到20世纪70年代之前的水平则仍然有很多的工作要做。

致谢: 感谢审稿专家提供宝贵的意见, 使本文的质

量得以有很大的提高。

参考文献

- Baeta F, Costa MJ, Cabral H (2009) Changes in the trophic level of Portuguese landings and fish market price variation in the last decades. *Fisheries Research*, **97**, 216–222.
- Branch TA, Watson R, Fulton EA, Jennings S, McGilliard CR, Pablico GT, Daniel Ricard D, Tracey SR (2010) The trophic fingerprint of marine fisheries. *Nature*, **468**, 431–435.
- Chao M (晁敏), Quan WM (全为民), Li CH (李纯厚), Cheng YH (程炎宏) (2005) Changes in trophic level of marine catches in the East China Sea region. *Marine Sciences* (海洋科学), **29**(9), 51–55. (in Chinese with English abstract)
- Cheng JH (程家骅) (2008) Summer Fishing Ban implementation review: the role of Summer Fishing Ban in resource conservation. *China Fisheries* (中国水产), (8), 17–19. (in Chinese)
- Cheng JS (程济生), Zhu JS (朱金声) (1997) The feeding characteristics and trophic level of main commercial invertebrates in the Yellow Sea. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), **19**, 102–108. (in Chinese)
- Deng JY (邓景耀), Jiang WM (姜卫民), Yang JM (杨纪明), Li J (李军) (1997) Species interaction and food web of major predatory species in the Bohai Sea. *Journal of Fishery Sciences of China* (中国水产科学), **4**, 1–7. (in Chinese with English abstract)
- Du JG (杜建国), Chen B (陈彬), Lu ZB (卢振彬), Song PQ (宋普庆), Xu ZC (许章程), Yu WW (俞炜炜), Song XK (宋希坤) (2010) Changes of fish diversity and trophic levels in Quanzhou Bay. *Biodiversity Science* (生物多样性), **18**, 420–427. (in Chinese with English abstract)
- Du JG (杜建国), Liu ZH (刘正华), Yu XG (余兴光), Xu ZC (许章程), Hu WJ (胡文佳), Chen B (陈彬), Ma ZY (马志远), Lin JL (林金兰) (2012) Fish species diversity and trophic level in the Jiulong Estuary. *Journal of Tropical Oceanography* (热带海洋学报), **31**(6), 76–82. (in Chinese with English abstract)
- Edwards M, Richardson AJ (2004) Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, **430**, 881–884.
- Huang LM (黄良敏), Zhang YZ (张雅芝), Pan JJ (潘佳佳), Cui YX (崔裕侠), Wu YJ (吴亚娟) (2008) Food web of fish in Xiamen eastern waters. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **27**, 64–73. (in Chinese with English abstract)
- IMBER (2005) *Science Plan and Implementation Strategy*. IGBP Report No. 52, IGBP Secretariat, Stockholm.
- Li XD (李雪丁), Lu ZB (卢振彬) (2008) The productivity of fishery resources and the maximum sustained yield in Fujian Coastal Water. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* (厦门大学学报 (自然科学版)), **47**, 596–601. (in

- Chinese with English abstract)
- Lu ZB (卢振彬), Huang MZ (黄美珍) (2004) Studies on trophic level and organic carbon contents of main economic nekton in Fujian coastal waters. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **23**, 153–158. (in Chinese with English abstract)
- Milessi AC, Arancibia H, Neira S, Defeo O (2005) The mean trophic level of Uruguayan landings during the period 1990–2001. *Fisheries Research*, **74**, 223–231.
- Pauly D, Christensen V, Dalgaard J, Froese R, Torres F (1998) Fishing down marine food webs. *Science*, **279**, 860–863.
- Pauly D, Christensen V, Guenette S, Tony JP, Sumaila UR, Walters CJ, Watson R, Zeller D (2002) Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, **418**, 689–695.
- Pauly D, Hilborn R, Branch TA (2013) Fisheries: does catch reflect abundance? *Nature*, **494**, 303–306.
- Pauly D, Palomares ML, Froese R, Sa-a P, Vakily M, Preikshot D, Wallace S (2001) Fishing down Canadian aquatic food webs. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **58**, 51–62.
- Pauly D, Watson R (2005) Background and interpretation of the ‘Marine Trophic Index’ as a measure of biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, **360**, 415–423.
- Perry AL, Low PJ, Ellis JR, Reynolds JD (2005) Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, **308**, 1912–1915.
- Powers JE (2010) Fisheries: measuring biodiversity in marine ecosystems. *Nature*, **468**, 385–386.
- Qiu SY (丘书院), Yang SY (杨圣云), Hong GC (洪港船) (1991) Food relationship of the principal pelagic fishes in Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground. In: *Minnan-Taiwan Bank Fishing Ground Upwelling Ecosystem Study* (闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究) (eds Hong HS (洪华生), Qiu SY (丘书院), Ruan WQ (阮五崎), Hong GC (洪港船)). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2010) *Global Biodiversity Outlook 3*. Montréal.
- Tang QS, Jin XS, Wang J, Zhuang ZM, Cui Y, Meng TX (2003) Decadal-scale variation of ecosystem productivity and control mechanisms in the Bohai Sea. *Fisheries Oceanography*, **12**, 223–233.
- Wei S (韦晟), Jiang WM (姜卫民) (1992) Study on food web of fishes in the Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), **23**, 182–192. (in Chinese with English abstract)
- Xu HG, Tang XP, Liu JY, Ding H, Wu J, Zhang M, Yang QW, Cai L, Zhao HJ, Liu Y (2009) China’s progress toward the significant reduction of the rate of biodiversity loss. *BioScience*, **59**, 843–852.
- Yang JM (杨纪明) (2001) A study on food and trophic levels of Bohai Sea fish. *Modern Fisheries Information* (现代渔业信息), **16** (10), 10–19. (in Chinese with English abstract)
- Zhang B (张波), Tang QS (唐启升) (2004) Study on trophic level of important resources species at high trophic levels in the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea. *Advances in Marine Science* (海洋科学进展), **22**, 392–404. (in Chinese with English abstract)
- Zhang QY (张其永), Lin QM (林秋眠), Lin YT (林允通), Zhang YP (张月平) (1981) Food web of fishes in Minnan-Taiwan Chientan Fishing Ground. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), **3**, 275–290. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 孙军 责任编辑: 闫文杰)

附录 Supplementary Material

附表1 中国4个海域海洋营养级指数研究所用物种数

Table S1 The species numbers used in the calculation for marine trophic index in four sea areas of China

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2013-200-1.pdf>

附表1 中国4个海域海洋营养级指数研究所用物种数

Table S1 The species numbers used in the calculation for marine trophic index in four sea areas of China

年份 Year	大陆物种数 Specie number in Mainland	台湾物种数 Specie number in Taiwan	香港物种数 Specie number in Hong Kong	澳门物种数 Specie number in Macau	年份 Year	大陆物种数 Specie number in Mainland	台湾物种数 Specie number in Taiwan	香港物种数 Specie number in Hong Kong	澳门物种数 Specie number in Macau
1950	9	31	22	2	1982	18	71	30	4
1951	9	32	22	2	1983	18	73	30	4
1952	9	34	22	2	1984	18	71	30	4
1953	9	34	23	2	1985	18	72	30	4
1954	9	35	24	2	1986	19	74	30	4
1955	9	36	24	2	1987	21	73	31	4
1956	9	44	22	2	1988	21	72	31	4
1957	9	44	24	2	1989	21	91	31	4
1958	9	58	22	2	1990	27	92	31	4
1959	9	58	22	2	1991	27	90	32	4
1960	9	57	22	2	1992	27	91	32	4
1961	9	59	22	2	1993	27	93	30	4
1962	9	61	23	2	1994	27	93	30	4
1963	9	60	23	2	1995	31	92	31	4
1964	9	61	25	2	1996	30	90	30	4
1965	9	60	24	2	1997	30	90	30	4
1966	9	63	24	2	1998	31	91	30	4
1967	9	65	27	2	1999	31	89	29	4
1968	9	63	29	2	2000	31	88	29	4
1969	9	65	29	2	2001	36	89	29	4
1970	14	69	29	2	2002	37	85	29	4
1971	13	73	29	2	2003	49	90	29	4
1972	14	71	29	2	2004	43	84	29	4
1973	11	71	29	4	2005	43	83	29	4
1974	10	70	29	4	2006	43	85	29	4
1975	10	71	29	4	2007	43	84	29	4
1976	12	70	29	4	2008	42	84	29	4
1977	13	71	30	4	2009	42	85	29	4
1978	17	73	30	4	2010	41	81	29	4
1979	18	72	30	4	2011	41	85	29	4
1980	18	75	30	4	总计	51	101	32	4
1981	18	73	30	4	Total				