

东海带鱼渔获量对捕捞压力和气候变动的响应

王跃中^{1,2}, 贾晓平^{1*}, 林昭进¹, 孙典荣¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300;

2. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306)

摘要: 为了解捕捞压力和气候变动对东海带鱼渔业产量的共同影响, 对1956—2006年东海带鱼渔获量进行了分析。东海带鱼渔获量时间序列可划分成变化趋势和年间变动。变化趋势主要归因于捕捞努力量的单调增长, Fox模型拟合结果, 东海带鱼渔获量与捕捞努力量关系显著($P < 0.01$)。移除趋势后, 其年间变动与陆地降水、季风风速、海表水温和热带气旋影响指数相关($P < 0.05$)。结果表明, 气候变动影响到东海带鱼渔获量年间变动: 陆地降雨和径流携带大量营养盐进入沿岸生态系统; 而季风则驱动营养盐的扩散和循环, 影响着营养盐的利用效率; 水温的升高不仅有利于带鱼的性腺发育与成熟, 还能增加带鱼的饵料供应; 热带气旋所形成的水团流动、风生混合、上升流等能促进营养盐供应并增加水域的生物量。从捕捞努力量和气候变量拟合东海带鱼渔获量的结果来看, 与实际渔获量显著相关($P < 0.01$), 并且能够很好地反映出实际带鱼渔获量的变化趋势和年间变动。这说明渔获量的变化受到捕捞效应和气候变动的双重影响, 未来气候变化将有利于东海带鱼渔业产量的增加, 且渔获量年间变动幅度将会比以往更大。

关键词: 带鱼; 渔获量; 捕捞努力量; 气候变动; 东海

中图分类号: S 937.3

文献标志码: A

带鱼(*Trichiurus japonicus*)为暖水性近底层鱼类。带鱼是东海最重要的海洋捕捞对象, 东海带鱼资源从20世纪50年代起开始得到开发利用, 50年代后期以来, 其渔获量始终居于首位。从东海带鱼渔获量的变化来看, 存在着明显的年际变化: 1956—1974年渔获量呈波动上升趋势, 1974年达 52.81×10^4 t, 之后呈波动下降状态, 1988年仅 29.37×10^4 t。1988年之后, 由于捕捞能力的快速增长, 带鱼渔获量也大幅增加, 2000年达90.99万t, 之后开始呈波动下降状态^[1-2](图1)。从东海带鱼的生物特性来看, 也发生了较大变化, 明显地表现在带鱼群体组成低龄化和小型化, 高龄鱼数量减少, 低龄鱼比例日益上升^[3]。

此前, 有关的研究结果认为带鱼已捕捞过度, 资源呈明显衰退趋势^[4], 但单考虑捕捞效应未能得到很好的解释, 应充分考虑气候环境的作用

用^[5]。近年来, 有关气候变化对渔业产量的影响在国内外得到较多的关注。1983年川崎健^[6]指出, 以十几年为间隔观察世界主要鱼类资源的变动时, 可以看到种群兴衰交替的全球协同现象, 此现象背后的因素正是气候变迁。FOGARTY等^[7]指出大多数海洋鱼类存活到特定大小和生活阶段的补充量的年间波动是显著的, 与环境条件的变化有着必然的联系。QIU等^[8]分析了东海1956—1984年间总渔获量变化, 表明渔获量的变化趋势可用捕捞能力的增长加以解释, 而年间波动与降水和季风变化具有相关性。

渔获量的变化受捕捞压力和气候变动的共同影响。东海海域捕捞努力量呈单调增长的趋势, 基于传统的渔业理论, 相对应的是带鱼渔获量呈曲线型变化趋势。在消除捕捞努力量引起的变化趋势后, 渔获量年间变动应与气候环境的变动有

收稿日期: 2011-05-29

修回日期: 2011-09-21

资助项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(2010YD01)

通讯作者: 贾晓平, E-mail: wuhu30@sohu.com

关。本研究采用回顾性分析的技术路线,解析捕捞压力和气候变动对东海带鱼渔获量的影响。充分利用可靠的渔业统计数据,分析渔获量与捕捞努力量和气候变动时间序列的相关性,论证影响东海带鱼渔获量变动的主要因素和作用机制,在此基础上,结合已有的研究成果,预测未来气候变化对东海带鱼渔获量可能造成的影响。

1 材料与方法

1.1 渔业时间序列资料

研究资料来源为《中国渔业统计年鉴》中1956—2006年共51年浙江省、福建省、江苏省和上海市的带鱼年渔获量及捕捞努力量统计数据^[1-2]。其中,带鱼年渔获量为东海带鱼种群分布范围内的渔获量,含东海和黄海南部(江苏省);捕捞努力量含机动渔船和非机动渔船,非机动渔船的捕捞努力量是按非机动渔船CPUE与机动渔船CPUE的比例标准化而来。

1.2 气候时间序列资料

因为没有主要河流径流量的时间序列资料,故用长江流域和东海沿岸降水时间序列来做替代。陆地降雨是基于全球降水气候中心(GPCC)网格数据V4 $1^\circ \times 1^\circ$,并利用Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl>)选择长江流域和东海沿岸地区网格化数据集时间序列资料。

海面风速和海表水温时间序列数据是利用Climate Explorer从每月的 $2^\circ \times 2^\circ$ COADS获取,主要选择黄海海域($119^\circ \text{E} \sim 127^\circ \text{E}$, $33^\circ \text{N} \sim 39^\circ \text{N}$)和东海海域($117^\circ \text{E} \sim 131^\circ \text{E}$, $23^\circ \text{N} \sim 33^\circ \text{N}$)范围内的数据。海表水温取东海海表温度距平的年平均值。东海和黄海的海面风速,取两个季节的风速,每年的6月到8月的平均风速和10月至次年3月的平均风速分别代表夏季和冬季季风。无论季风和海表水温都显示增强趋势,增强趋势很大程度上由于观测技术发展造成的结果^[9-10],因此,在季风和海表水温与渔获量变化分析中,任何变化趋势都将被消除。

热带气旋分析数据来自日本气象厅区域专业气象中心(RSMC)东京台风中心数据文档(<http://www.jma.go.jp/>)。热带气旋分析数据主要使用热带气旋影响指数(tropical cyclone index, TCI),TCI可反映热带气旋影响时长、最大风速和大风区域的综合效应^[11], $TCI = \sum T(1.010 -$

$P_{\min})^2$,其中 P_{\min} 为最低气压, T 为热带气旋持续时长。这种热带气旋量度指标优于热带气旋发生的频率、持续时间或强度。TCI时间序列数据选取范围为 $120^\circ \text{E} \sim 130^\circ \text{E}$, $22^\circ \text{N} \sim 37^\circ \text{N}$,其运算结果基于每6小时的最低气压 P_{\min} 、热带气旋在该区域的持续时长,并将一年中所有的气旋数据进行累加。

降水、季风、海表温度和TCI时间系列数据经过标准化处理,均符合正态性,柯尔莫诺夫—斯米尔诺夫检验(Kolmogorov-Smirnov test)显著性水平为0.20,因此这些数据能直接用来与渔业时间序列数据计算相关性和进行回归分析。

1.3 数据分析

1956—2006年的东海带鱼年渔获量存在年际变化趋势。根据传统渔业理论,渔获量年际变化趋势主要由渔业捕捞能力单调增长所引起,可用Fox指数趋势模型拟合^[12]。Fox模型通常可表示为 $Y_e = Cf_e e^{-df_e}$,Fox模型是由Fox(1970)对Schaefer模型作了修改,并发展成国际上公认,应用较广泛的资源评估数学模型。式中, Y_e 为平衡渔获量, f_e 为捕捞努力量, C 、 d 为参数。

通过Fox模型移除东海带鱼渔获量年际变化趋势之后,其年间变动与气候变量相关。用多元线性回归方法把渔获量变动与气候变量联系起来,回归中的偏相关系数用于反映气候变量影响正负效应和强度。对气候变量及其后5年内的带鱼渔获量各时滞段进行相关性和回归分析检验,分析时滞是基于以下假设:即气候因素通过控制海洋初级生产所需的营养盐来影响渔业产量,并且渔获物是存在年龄结构的。尽管东海带鱼被捕获的鱼类年龄小于3龄的占优势,但仍对较长的时滞进行检验,是因为从营养盐的输入到进入生态系统中循环和从增进初级生产量到转变为鱼类的食饵生产量阶段需要时间。食饵供应影响鱼类的整个生命阶段,包括幼鱼成活、补充、生长和繁殖,甚至通过亲体补充关系影响到下一个生命周期。

2 结果

2.1 渔获量变化趋势与捕捞努力量关系

1956—2006年间东海带鱼渔获量及捕捞努力量变化见图1。从我国东海带鱼年渔获量的变化情况看,1956—1974年渔获量呈波动上升趋势

势,1974—1988 年呈波动下降趋势。1988 年之后,随着捕捞能力的快速增长,东海带鱼渔获量也大幅增加,2000 年东海带鱼渔获量达 90.99 万 t,之后开始呈波动下降状态。运用 SPSS 软件进行迭代计算,东海带鱼渔获量与捕捞努力量的 Fox 模型为 $Y_i = 3.692f_i^{0.472}e^{-1.024 \times 10^{-3}f_i^{0.472}}$ (式中, Y_i 为第 i 年的 FOX 模型估算渔获量, f_i 为第 i 年的捕捞努力量),模型回归系数为 0.91,统计检验的相伴概率 $P < 0.01$,说明捕捞努力量的变化显著影响到东海带鱼渔获量的变化。

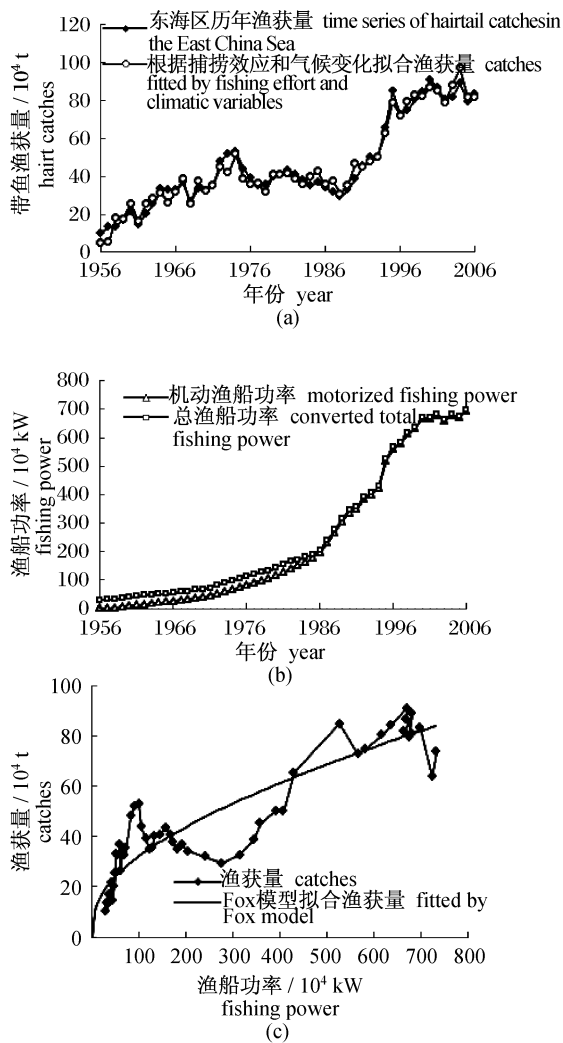


图1 东海带鱼渔获量和捕捞努力量时间序列
Fig.1 Time series of *T. japonicus* catches and fishing effort in the East China Sea

2.2 渔获量变动与气候环境时间序列的相关性

通过拟合 Fox 剩余产量模型,移除捕捞效应引起的东海带鱼渔获量年际变化趋势后,得出东海带鱼渔获量年间变动值(残差)(图2)。



图2 东海带鱼渔获量的年间变动值(残差)
Fig.2 Interannual fluctuation of *T. japonicus* catches(residual error) in the ECS

移除趋势后的渔获量年间变动可以用气候变量的组合来拟合,气候变量含陆地降雨量、东海海表水温、季风风速和热带气旋影响指数(图3)。用多元线性回归方法把渔获量年间变动和气候变动时间序列联系起来,对相应气候变量后 0~5 年时间间隔的渔获量变动进行了分析,渔获量年间变动和气候变量的多元线性回归模型为

$$\begin{aligned} \Delta Y_i = & 4.663T_{i-4} + 9.488S_{i-3} + 8.705S_{i-5} + 7.948W_i + \\ & 6.628W_{i-2} - 6.084X_{i-1} - 4.652X_{i-2} - \\ & 8.600Y_{i-2} - 5.771Y_{i-3} - 5.252Z_{i-3} - \\ & 6.275Z_{i-4} + 2.593P_{i-1} + 3.128P_{i-2} + 4.164 \end{aligned}$$

式中, ΔY_i 为第 i 年的渔获量年间变动估算值; T_i 为第 i 年的热带气旋影响指数; S_i 为第 i 年的东海海表温度; W_i 为第 i 年的东海夏季季风; X_i 为第 i 年的东海冬季季风; Y_i 为第 i 年的黄海夏季季风; Z_i 为第 i 年的黄海冬季季风; P_i 为第 i 年的长江流域和东海沿岸降雨。

渔获量年间变动和气候变量多元线性回归模型的回归系数为 0.915,方差分析结果表明其统计量 F 为 14.725,相伴概率 $P < 0.001$,回归方程中各气候变量对渔获量年间变动的偏相关分析见表1,回归模型中各气候变量都具有显著性偏相关($P < 0.05$),且共线性分析容差都大于 0.56,从中可以看出,该回归方程有意义。回归分析结果表明,渔获量年间变动除了与热带气旋影响指数、东海海表温度、东海夏季季风以及长江流域和东海沿岸降雨呈正偏相关外,还与东海冬季季风、黄海夏季季风和黄海冬季季风呈负偏相关(表1)。

2.3 带鱼渔获量拟合结果

根据东海带鱼渔获量与捕捞努力量以及气候变量之间的关系,对东海带鱼渔获量进行了拟合。东海带鱼渔获量变动拟合值 $Y'_i = Y_i + \Delta Y_i$,其中 Y_i 为捕捞效应引起的渔获量趋势变动值,而 ΔY_i

则由气候变动影响下的渔获量年间变动值。该方程拟合的渔获量与实际渔获量之间的回归系数达 0.99, 置信水平达到 99% 以上, 并且能够很好地

反映出实际带鱼渔获量的变化趋势和年间变动情况(图 1-a,c)。

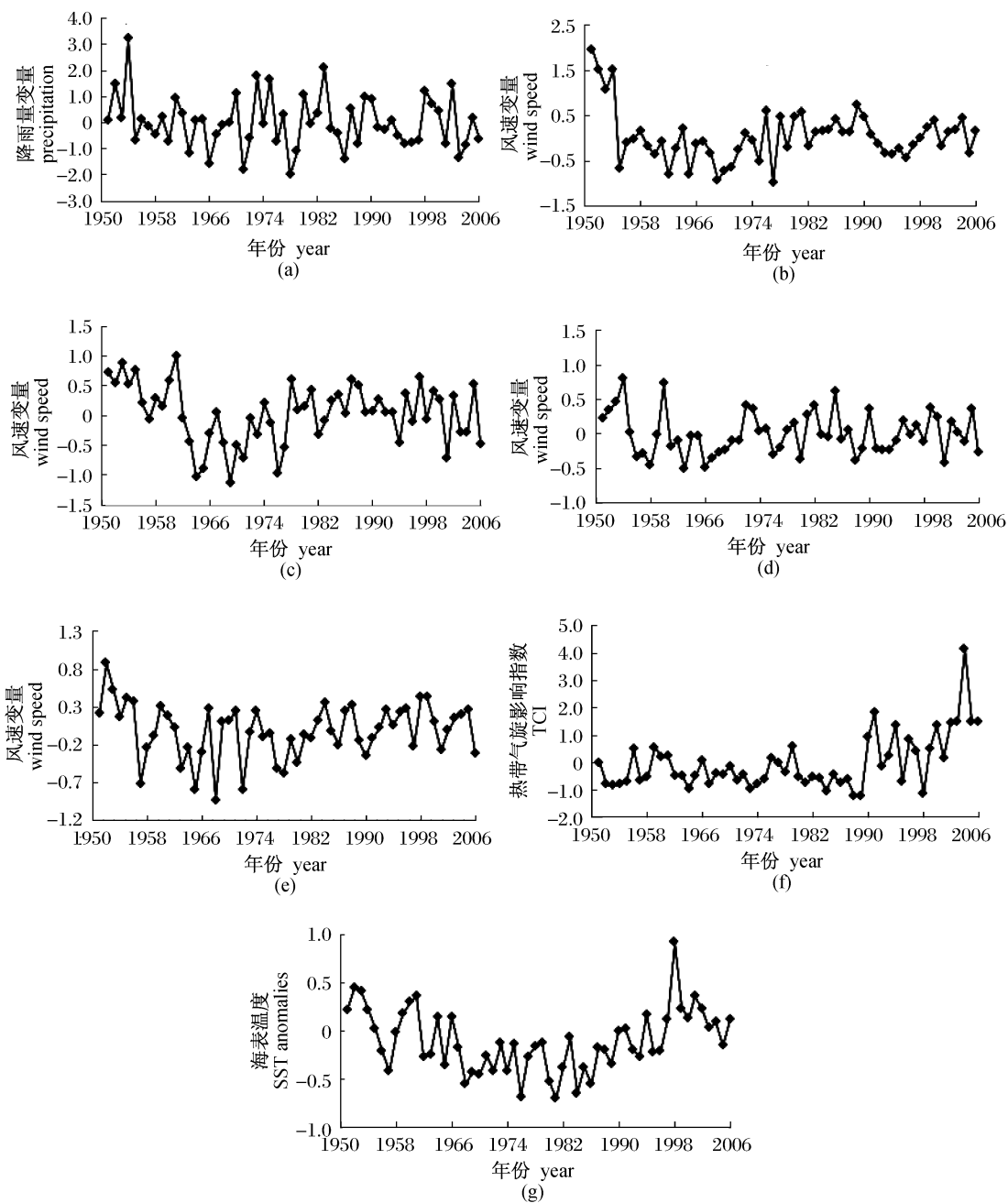


图 3 气候变量年间变化

(a) 长江流域和东海沿岸降雨; (b) 黄海夏季季风; (c) 黄海冬季季风; (d) 东海夏季季风; (e) 东海冬季季风; (f) 热带气旋影响指数; (g) 东海海表温度。

Fig. 3 Interannual variations of the climatic variables

(a) Annual precipitation in Yangtze River Valley and coastal region of East China Sea; (b) Summer wind speed in the Yellow Sea; (c) Winter wind speed in the Yellow Sea; (d) Summer wind speed in the East China Sea; (e) Winter wind speed in the East China Sea; (f) Index of tropical cyclones influences; (g) Sea Surface Temperature(SST) in the East China Sea.

表 1 渔获量变动与气候变量多元线性回归方程中的偏相关分析
 Tab.1 Partial correlations between variations of *T. japonicus* catches and the climatic variables in multivariate linear regression equation

气候变量 climatic variables	偏相关系数(时滞/年) partial correlation coefficient(time lag)	显著性(<i>P</i>) significance
热带气旋影响指数 index of tropical cyclones influences	0.61(4)	0.00
东海海表温度 sea surface temperature in the ECS	0.52(3); 0.50(5)	0.01
东海夏季季风 summer wind speed in the ECS	0.46(0); 0.38(2)	0.02
东海冬季季风 winter wind speed in the ECS	-0.42(1); -0.33(2)	0.04
黄海夏季季风 summer wind speed in the Yellow Sea	-0.66(2); -0.49(3)	0.00
黄海冬季季风 winter wind speed in the Yellow Sea	-0.44(3); -0.50(4)	0.00
长江流域和东海沿岸降雨 annual precipitation in Yangtze River Valley and coastal region of ECS	0.48(1); 0.56(2)	0.00

3 讨论

3.1 捕捞效应

20 世纪 60 年代前期,东海海洋捕捞以木帆船为主,主要在近岸捕捞,捕捞能力低下,带鱼渔获量维持在较低水平。60 年代中后期,机动渔船数量和功率数迅速增长,年渔获量不断上升。进入 70 年代,捕捞力量连年增长,带鱼渔获量不断增加,1974 年达 52.81 万 t。1974 年后,单位功率渔获量下降,生物学、生态学捕捞过度的迹象产生,带鱼资源结构发生明显变化,小型化逐渐明显,年渔获量逐步下降,至 1988 年,仅有 29.37 万 t。1988 年后,渔业渔船大功率钢质化步伐明显加快,作业渔场由沿岸和近海逐渐向外海转移。一批高捕捞强度渔具渔法得到广泛推广应用,渔获量又开始大幅回升,2000 年东海带鱼渔获量创历史最高,达 90.99 万 t。2000 年后,东海带鱼资源总体状况呈现捕捞过度,沿岸、近海和东海渔场资源均出现明显衰退,全海区带鱼资源密度下降,东海带鱼渔获量开始逐步下降^[13]。

3.2 气候变化

东海海域处于温带和亚热带,受陆地降雨和径流、气温、气旋和季风等气候因素影响。气候变化对渔业的影响主要是通过影响海洋物理和生物环境条件来实现。

沿海陆地降雨和径流 沿海陆地降雨和径流携带大量氮、磷等营养盐及其他无机物质进入海洋,丰富的营养盐是河口及邻近海域浮游植物营养补充的主要来源,能够促进海洋初级生产力的提高^[14]。长江流域和东海沿岸降雨与东海带鱼渔获量变动呈显著正偏相关($P < 0.01$),说明

长江流域和东海沿岸降雨对东海带鱼渔业产量有着显著影响。长江流域水量丰沛,大量的入海径流在长江口海区形成了大范围的长江冲淡水,给渔场注入丰富的营养盐和饵料^[15]。长江径流入海后与东海的外海水相混合形成长江冲淡水,径流量的变化与东海渔场的温度和盐度时空变化和分布关系十分密切,流量的增大能增加入海的营养盐数量,扩大渔场混合水区范围,能促进浮游植物尤其是低盐性的浮游植物生长,故径流量的增加有利于带鱼发生数量的增加^[16]。长江径流变化与东海渔获量有密切的关系,长江径流量大时,东海渔获量随之增加,反之则减少,1960 年以来东海渔获量的 4 次长期波动与长江径流年际的变化基本一致^[17]。

季风影响 东海沿岸冬季盛行偏北风,夏季盛行偏南风,春、秋季为过渡性季节,具有典型的季风特性。虽然东海夏季风的持续时间短,持续仅六月至八月,但却处于长江径流量的高峰期^[18]。东海夏季季风与东海带鱼渔获量变动呈正偏相关($P < 0.03$),夏季季风的正面效应是由于其增加海洋生态系统营养盐的分布并提高了营养盐的使用效率。在近岸海域,无机氮的浓度很高,但浮游植物的生产能力主要受到磷和光穿透能力限制,而在长江冲淡水团锋面处可观察到非常高的叶绿素 a 和过饱和氧^[19],这说明夏季季风驱使含丰富硝酸盐的沿海水与含丰富磷酸盐的底层水混合来提升海域的初级生产力,海域初级生产力的提升为鱼类和其它海洋生物的生长和繁殖提供更多有利条件,可增加海域鱼类的年生产能力。

东海带鱼渔获量变动与东海冬季季风和黄海

冬季风呈负偏相关($P < 0.05$),此负面影响应与冬季环流相关的营养盐动态变化有关,冬季季风驱动沿岸流向南流动,将富含营养盐的沿岸水贴着海岸流动,沿岸水无法向外海扩展^[20]。暨卫东等^[21]研究表明,在冬季季风的作用下,东海南部台湾海峡西面的沿海水域具有高营养盐,但是浮游生物量不高,这表明,南向沿岸流所携带的营养盐没有被有效地利用。东海带鱼渔获量变动与黄海夏季季风呈负偏相关($P < 0.01$),此负面效应与营养盐的流失有关,由于黄渤海沿岸构造,在夏季季风作用下,形成一个偏北的沿岸流,并造成夏季长江冲淡水低盐水伸向东北,引起东海北部和长江口种群栖息地水域的营养盐损失^[22]。

水温 水温是影响渔业的重要因素之一,水温不仅对鱼类的繁育、生长和新陈代谢有影响,而且对鱼类的洄游影响也较大^[23]。东海海表水温与东海带鱼渔获量变动呈显著正偏相关($P < 0.02$),说明水温对带鱼渔获量有重要影响。渔场水温的提高,促进海洋中浮游植物的光合作用和繁殖生长,进而促进食物链上处于更高级海洋生物的生长发育和生物量的增加,这样带鱼的饵料就会有较多的保障;另一方面渔场水温的提高有利于带鱼亲体的性腺提前发育与成熟,产卵带鱼亲体的数量可以大大增加,这些因素都有利于秋冬汛带鱼补充群体数量的增加^[15]。目前多数学者认为全球变暖对近岸和近海的鱼类影响较大,暖水可能增加许多地区的渔获量,因为在温度较高的区域,所有生物活动都较强,鱼类能够得到较多的食物,生长快,而繁殖期缩短^[24]。

热带气旋 影响东海海域的热带气旋主要集中在5—10月。尽管热带气旋相对于海洋来说是一个偶发事件,但却对海洋生态系统带来极大的影响,热带气旋带来的强风和降雨等增加海洋生态系统营养盐的供应并促进海洋生物量的增长^[25]。热带气旋影响指数与带鱼渔获量变动呈显著正偏相关($P < 0.01$)表明热带气旋是引起带鱼渔获量变动的一个重要影响因素。CHANG等^[26]对台湾北部沿岸海域研究发现,热带气旋开始时,水体浮游植物的生物量大量减少,而硝酸盐、磷酸盐等浓度显著增加,热带气旋过后,各种藻类和浮游植物水华先后出现。说明热带气旋一方面大幅度降低水域中浮游植物数量,另一方面搅动水体中沉底部的有机颗粒物,增加溶解的

营养盐,从而促进营养盐在上层和底层食物网中的循环,增强新的生产力。SHIAH等^[27]研究表明,以贫营养盐为主的台湾西北大陆架海域,在热带气旋过后,硝酸盐浓度增加超过2倍以上,初级生产力达6倍,变为一个更富有生产力的海域。热带气旋过后,风生混合,再悬浮,陆地径流被认定为主要因素。LEE CHEN等^[28]指出,台风引起的水体表面的运动结果就是大量扩散和传输含氮丰富的河口水团,由热带气旋带来的河口水团扩散会增加氮的分布及海洋初级生产中氮的利用效率。

3.3 变化趋势分析

世界主要商业渔业长期变化与大规模气候变迁有关^[29],但是气候变迁如何影响鱼类仍不确定。从捕捞努力量和气候变量拟合东海带鱼渔获量的结果来看,与实际渔获量显著相关($R = 0.99, P < 0.01$),并且能够很好地反映出实际带鱼渔获量的变化趋势和年间变动,说明渔获量的变化受到捕捞效应和气候变动的双重影响。

渔获量变动与热带气旋影响指数、东海海表温度、东海夏季季风以及长江流域和东海沿岸降雨呈显著正偏相关,说明这些气候环境的变化对带鱼渔获量变动产生正面效应,故此推测未来全球气候变暖所引起的海水水温升高^[30]以及人类活动通过降雨和径流输入海洋生态系统营养盐的增加^[31]都可能有利于东海带鱼渔业产量的增加。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的评估报告显示,过去50年中,极端天气事件呈现不断增多增强的趋势,预计今后这种极端事件的出现将更加频繁^[32]。极端天气频繁发生的结果就是造成陆地降雨和径流、海水温度、季风以及热带气旋等变动加剧,最终将引起东海带鱼资源量的变动幅度加大。综合以上各种因素,可推知未来气候变化将有利于东海带鱼渔业产量的增加,且渔获量年间变动幅度将会比以往更大。

4 结论

东海带鱼渔获量时间序列可划分成趋势变化和年间变动。趋势变化主要归因于捕捞努力量的单调增长,Fox模型拟合结果,东海带鱼渔获量与捕捞努力量关系显著($P < 0.01$)。移除趋势后的东海带鱼渔获量变动与长江流域和东海沿岸降雨、东海海表水温、热带气旋影响指数和东海夏季

季风时间序列呈显著正偏相关($P < 0.03$),与东海冬季季风、黄海冬季和夏季季风呈负偏相关($P < 0.05$)。这种相关表明,气候变动影响到东海带鱼渔获量年间变动:陆地降雨和径流携带大量营养盐进入沿岸生态系统,而季风驱动营养盐的扩散和循环,东海夏季季风通过驱使含丰富硝酸盐的海水与含丰富磷酸盐的低层水混合来提升海域的初级生产力。水温的升高,能促进海洋中浮游植物的光合作用和繁殖生长,进而促进食物链上处于更高级别的生物量增加,这样带鱼的饵料供应就会有较多的保障,另一方面水温的提高有利于带鱼亲体的性腺提前发育与成熟。热带气旋是一个强烈的因素,热带气旋所形成的水团流动,风生混合、上升流等能促成营养盐供应并增加水域的生物量。

从捕捞努力和气候变量拟合东海带鱼渔获量的结果来看,与实际渔获量显著相关($P < 0.01$),并且能够很好地反映出实际带鱼渔获量的变化趋势和年间变动,这说明渔获量的变化受到捕捞效应和气候变动的双重影响。根据全球气候变化和人类活动的影响,推测未来气候变动可能有利于东海带鱼渔业产量的增加,并且在今后极端天气事件频繁发生的情况下,东海带鱼资源数量的变动将会加剧,渔获量年间变动幅度将会比以往更大。

参考文献:

- [1] 农业部水产司. 中国渔业统计四十年[M]. 北京:海洋出版社,1991:7-185.
- [2] 农业部渔业局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2006:10-80.
- [3] 吴家骅. 东海带鱼资源初步评析[J]. 浙江水产学院学报,1985,4(2):119-126.
- [4] 陈卫忠,李长松,胡芬. 东海区海洋渔业资源近况浅析[J]. 中国水产科学,1997,4(3):39-43.
- [5] 刘允芬. 气候变化对我国沿海渔业生产影响的评价[J]. 中国农业气象,2000,21(4):1-5.
- [6] 川崎 健. 鱼の资源学[M]. 东京:大月书店,1983:2-206.
- [7] FOGARTY M J, POWELL T M. An overview of the U. S. GLOBEC program[J]. Oceanography,2002,15(2):4-12.
- [8] QIU Y S, WANG Y Z, CHEN Z Z. Runoff-and monsoon-driven variability of fish production in East China Seas[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2008,77:23-34.
- [9] CARDONE V J, GREENWOOD J G, CANE M A. On trends in historical marine wind data[J]. Journal of Climate,1990,3:113-127.
- [10] KENT E C, TAYLOR P K. Toward estimating climatic trends in SST. Part I: methods of measurement [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology,2006,23:464-473.
- [11] QIU Y S, LIN Z J, WANG Y Z. Responses of fish production to fishing and climate variability in the northern South China Sea [J]. Progress in Oceanography,2010,85:197-212.
- [12] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京:中国农业出版社,1995:176-178.
- [13] 张秋华,程家骅,徐汉祥,等. 东海区渔业资源及其可持续利用[M]. 上海:复旦大学出版社,2007:147-168.
- [14] 罗秉征,薛频,陆继武,等. 三峡工程对河口及邻近海域渔业影响的初步探讨[C]//海洋科学集. 青岛:中国科学院海洋研究所,1992,33:341-351.
- [15] 刘子藩,徐汉祥,周永东. 东海带鱼补充群体数量预报及冬汛渔获量预报的改进研究[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2004,23(1):14-18.
- [16] EDMOND J M, SPIVACK A, GRANT B C, et al. Chemical dynamics of the Changjiang estuary [J]. Continental Shelf Research,1985,4(1-2):17-36.
- [17] 陈永利,王凡,白学志,等. 东海带鱼渔获量与邻近海域水文环境变化的关系[J]. 海洋与湖沼,2004,35(5):404-411.
- [18] 孙湘平,姚静娴. 中国沿岸海洋水文气象概况[M]. 北京:科学出版社,1981:159.
- [19] GONG G C, LEE-CHEN Y L, LIU K K. Chemical hydrography and chlorophyll a distribution in the East China Sea in summer: implications in nutrient dynamics[J]. Continental Shelf Research,1996,16(12):1561-1590.
- [20] 唐启升. 中国海洋生态系统动力学研究[M]. 北京:科学出版社,2000:252.
- [21] 暨卫东,黄尚高. 台湾海峡西部营养盐变化特征[J]. 海洋学报,1990,12:324-332.
- [22] 朱建荣,李永平,沈焕庭. 夏季风场对长江冲淡水扩展影响的数值模拟[J]. 海洋与湖沼,1997,28(1):72-77.
- [23] 周甦芳,樊伟,崔雪森,等. 环境因子对东海区帆式张网主要渔获物渔获量影响[J]. 应用生态学报,2004,15(9):1637-1640.
- [24] 樊伟,程炎宏,沈新强. 全球环境变化与人类活动对渔业资源的影响[J]. 中国水产科学,2001,8

- (4):91-94.
- [25] BABIN S M, CARTON J A, DICKEY T D, *et al.* Satellite evidence of hurricane-induced phytoplankton blooms in an oceanic desert [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109: C03043.
- [26] CHANG J, CHUNG C C, GONG G C, *et al.* Influences of cyclones on chlorophyll α concentration and *Synechococcus* abundance in a subtropical western Pacific coastal ecosystem [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 140: 199-205.
- [27] SHIAH F K, CHUNG S W, KAO S J, *et al.* Biological and hydrographical responses to tropical cyclones (typhoons) in the continental shelf of the Taiwan Strait [J]. *Continental Shelf Research*, 2000, 20(15): 2029-2044.
- [28] LEE CHEN Y L, CHEN H Y. Seasonal dynamics of primary and new production in the northern South China Sea: The significance of river discharge and nutrient advection [J]. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2006, 53 (6): 971-986.
- [29] KLYASHTORIN L B. Climate change and long-term fluctuations of commercial catches; the possibility of forecasting [C]. *FAO Fisheries Technical Paper*, 2001, 410: 1-86.
- [30] 王绍武, 谢志辉, 蔡静宁, 等. 近千年全球平均气温变化的研究 [J]. *自然科学进展*, 2002, 12 (11): 1145-1148.
- [31] 晏维金. 人类活动影响下营养盐向河口/近海的输出和模型研究 [J]. *地理研究*, 2006, 25 (5): 825-835.
- [32] IPCC. IPCC fourth assessment report: Climate change 2007 [R]. Geneva: IPCC, 2007: 104.

Responses of *Trichiurus japonicus* catches to fishing and climate variability in the East China Sea

WANG Yue-zhong^{1,2}, JIA Xiao-ping^{1*}, LIN Zhao-jin¹, SUN Dian-rong¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

2. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: To understand the responses of hairtail (*Trichiurus japonicus*) catches to fishing and climate variability in the East China Sea (ECS), the time series of hairtail catches between 1956 and 2006 in the ECS was analyzed, which could be partitioned into inter-annual variation and internal trend. The internal trend was attributed to the monotonic growth of fishing efforts, the result of which was fitted by the Fox model showed that the relation between hairtail catch and fishing efforts was significant ($P < 0.01$). After detrending the catch, variation in the catch was greatly affected by the climate fluctuation, which mainly included land precipitation, monsoon wind speeds, sea surface temperature and a proposed index of tropical cyclones ($P < 0.05$). Variation of those main climatic factors and fishing efforts were significantly correlated with the annual catch ($P < 0.01$). In conclusion, the land runoff brought nutrients to the coastal water, and the monsoons controlled the distribution and availability of the nutrients. In addition, the increase of water temperature was not only positive for the gonad development and maturity of hairtail, but also helpful to the availability of baits for hairtail. Thirdly, the tropical cyclones mobilized nutrient elements and enhanced biological production in many ways such as water mass moving, wind mixing, and upwelling. The paper concluded that both fishing efforts and climate change had influence on the variation of hairtail catch, and the climate changes in the future could be helpful to the increase of hairtail catch in the ECS, but also may result in a much bigger amplitude of catch variation.

Key words: *Trichiurus japonicus*; catch; fishing efforts; climate variability; the East China Sea

Corresponding author: JIA Xiao-ping. E-mail: wuhu30@sohu.com