

东海渔获量受捕捞努力与气候因子影响的年际变动分析

张志敏, 徐年军*

(宁波大学 海洋学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为研究捕捞努力和气候因子对东海渔获总量变动的影响, 采用长时间序列的渔业统计资料 and 气候变化数据对 1955~2013 年的东海渔获量进行分析. 用 FOX 剩余产量模型拟合捕捞努力的影响, 结果显示渔获总量与捕捞努力间相关性显著($R^2=0.967$, $P<0.05$); 分析东海典型的气候因子(海表温度、降水、冬季风、夏季风)与渔获总量的耦合性, 结果显示东海渔获总量与各气候因子间的相关性显著($P<0.05$), 说明气候因子对渔获总量的变化具有显著影响; 最后对渔获总量在捕捞努力与气候因子的共同作用下进行拟合, 建立了比FOX模型拟合度更高的模型($R^2=0.976$, $P<0.05$), 使其可用于研究气候因子和捕捞努力对东海渔获总量影响相关的研究.

关键词: 渔获总量; 捕捞努力; 气候因子; FOX 模型

中图分类号: S932

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2016) 04-0112-05

东海南接台湾海峡, 北临黄海, 东临太平洋, 以琉球群岛为界, 南边由台湾海峡连接南海, 濒临中国的沪、苏、浙、闽 4 省市. 海域内渔场众多, 为海洋捕捞与海洋产品加工及贸易提供了后备保障. 1990 年前, 东海的平均年捕捞量为 1.25×10^7 t, 而到了 2000 年, 东海的捕捞量达到了 6.25×10^7 t, 增长了近 5 倍. 据统计年鉴统计可知, 1998~2006 年年捕捞量一直居于 6×10^7 t 以上. 然而由于近些年沿海海域地区捕捞过渡, 2006 年以后捕捞总量开始大幅度下降^[1]. 尽管近 60 年的东海捕捞总量的增加与捕捞努力的增长有关, 但是传统的渔业理论并不能完全解释渔获量的全部变动^[2].

除捕捞努力影响渔获量变动外, 气候环境变动同样也影响渔获量^[3-4]. 近年来越来越多的国内外学者通过研究发现海表温度、降水、季风等气候因子对海洋鱼类的影响比较突出^[5], 因此从气候变化上来研究捕捞量变动成为了本领域科学研究的一个新趋势. 东海地区的渔业历史比较悠久, 对于捕捞产量有着长时间序列的记录, 因此相对与其他分散和不连续的海洋生物, 长时间序列的气候

变化统计资料是研究海洋生物的一种有效方法^[6].

本研究将东海时间序列的渔获量分成因捕捞努力和因气候变化所引起的变动, 并将两者有效地联合起来, 说明渔业生产是如何受两者影响的, 并以此为基础, 对未来的气候变化趋势, 提供分析和预测东海渔获量的变动趋势与变动幅度的参考.

1 数据来源与方法

1.1 渔业统计资料

东海捕捞总量的资料来源于《中国渔业统计年鉴》和《中国海洋渔业区划》, 包括 1955~2013 年间江苏省、浙江省、福建省、上海市的渔获总量和作业渔船的数量. 作业渔船的捕捞努力量分为机动渔船与非机动渔船两种, 两者的单位统一采用千瓦(kw)表示, 换算公式如下:

$$f_w = T_w \times Q_w / Q_m, \quad (1)$$

式中, f_w 为非机动渔船的捕捞努力量(kw); T_w 为非机动渔船的总吨位(t); Q_w 为非机动渔船的捕捞效率(%), 其由非机动渔船的捕捞量除以 T_w 获得; Q_m 为机动渔船的捕捞效率($t \cdot kW^{-1}$), 由机动渔船渔

收稿日期: 2016-03-14.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江海洋高效健康养殖协同创新中心项目.

第一作者: 张志敏 (1989-), 男, 江苏扬州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 海洋生物资源与环境生态. E-mail: 75635911@qq.com

*通信作者: 徐年军 (1973-), 男, 湖北赤壁人, 研究员, 主要研究方向: 海洋生物资源与环境生态. E-mail: xunianjun@nbu.edu.cn

获量除以机动渔船的总功率获得。

1.2 气候时间序列资料

海表温度时间序列的数据来源于英国气象局网格分析资料^[7], 并选择区域在(117°~131°E, 23°~33°N)范围内的数据。由于东海南北跨度较大, 文中采用降水量来替代径流量。从全球降水气候中心(GPCC, V3)1°×1°的分析资料中获取了降水量的数据^[8], 选择区域为 106°~135°E, 21°~35°N 的降水数据。由于东海临海的 4 个省市的降水主要集中在 5~9 月, 所以采用该几个月份中的平均降水量来分析。东海的季风数据有 2 个时间序列, 一个是 6~8 月的夏季风; 另一个是冬季风数据, 从 10 月到来年的 3 月, 相应数据获取来源于文献^[8], 从每月的 2°×2°的 COADS 获取表面风速, 随着季风检测技术的进步, 由人工检测产生的误差已经被剔除。在利用海表温度、降水量、夏季风风速、冬季风风速进行回归分析时, 已将数据进行了标准化处理, 并经过 K-S 检验表明, $P < 0.05$, 符合正态分布。

1.3 数据分析

根据传统渔业理论, 可运用 FOX 模型来拟合捕捞努力量引起的渔获量的变化趋势^[9]。文中在排除捕捞努力带来的渔获量变化后, 加入海表温度、降水、夏季风风速、冬季风风速等气候因子, 使用多元线性回归分析法将渔获量的变动与气候因子相联系; 鉴于回归分析中偏相关系数反映了气候因子的强度与特征, 因此通过逐步进入法求出偏相关系数。气候变化既对海洋生物生存环境产生影响, 又对海洋生物群落的分布也起到至关重要的决定^[10]。渔获量的变化不仅与捕捞努力有关, 还跟气候因子有关。因此文中对 FOX 剩余产量模型引入气候因子进行优化:

$$Y = f \times e^{-df} \left(\sum_{i=1}^n a_i X_i + a_0 \right), \quad (2)$$

式中, Y 表示渔获量(受捕捞努力与气候因子共同作用); f 为捕捞努力量; X_i 为第 i 个气候因子; a_i 为第 i 个因子的系数; d 和 a_0 为常数项。

2 分析结果

2.1 东海的捕捞努力量与总量两者之间的关系

由图 1 可知, 东海渔获量的变化与捕捞努力量的增长有着非常紧密的关系, 从 1957~1984 年这近

30 年的时间内捕捞努力量增长缓慢, 相对应的渔获量的上升也比较平缓。1984 年以后, 随着机动渔船的大幅度增加, 捕捞努力量上涨幅度非常迅速, 同时渔获量也跟随着捕捞努力量飞速增长; 到了 2003 年左右, 捕捞努力量比较稳定, 但是渔获量却大幅度下降; 而在 2007 年以后, 捕捞努力量有所下降以后, 渔获量反而有所上涨。

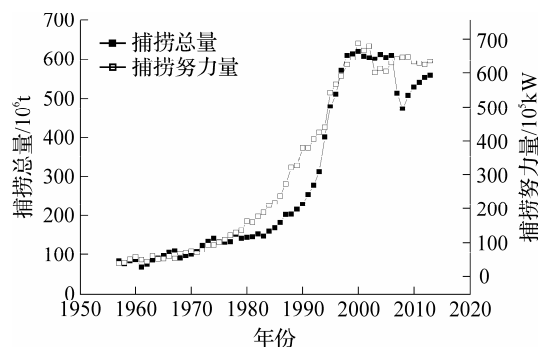


图 1 1957~2013 年东海捕捞总量与捕捞努力量

根据 FOX 剩余产量模型对渔获量进行拟合(图 2), SPSS 软件计算结果为:

$$Y' = 82.64 f_i e^{-0.03 f_i}, \quad (3)$$

式中, Y' 为第 i 年的 FOX 剩余产量模型耦合的渔获量; f_i 则是第 i 年的捕捞努力量。该模型拟合的渔获量与实际渔获量的回归系数达到 0.967, 说明东海渔获量与捕捞努力量之间的相关性显著。

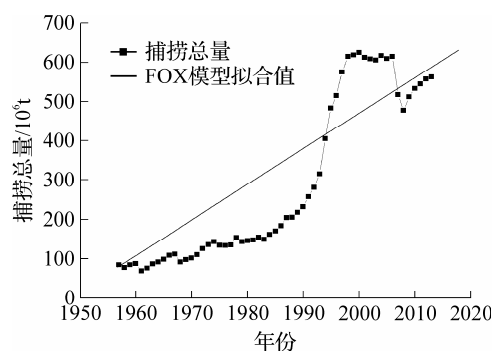


图 2 1957~2013 年东海捕捞总量及模型拟合值

2.2 气候因子与捕捞总量的回归分析

除捕捞努力量对渔获总量的影响后, 本节进一步研究气候环境变化与渔获总量的相关性。气候因子主要选用海表温度、东海 4 省市降水量、夏季风平均风速以及冬季风风速。为便于分析处理, 以上数据都采用标准化处理(无量纲), 相关数据如图 3~6 所示。利用这些数据采用逐步回归法对气候变量进行有效检验与筛选, 并建立逐步回归模型。

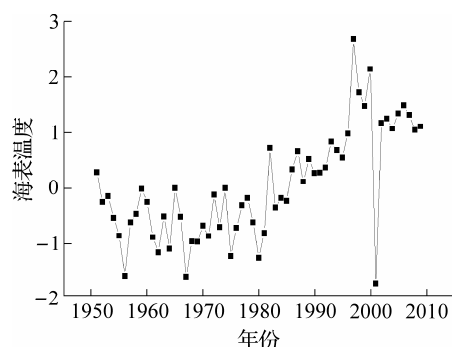


图3 1952~2010年东海海域海表温度

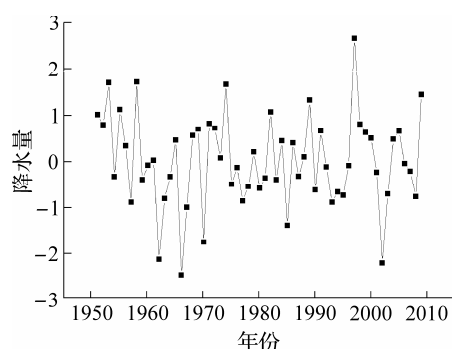


图4 1952~2010年东海区域降水量

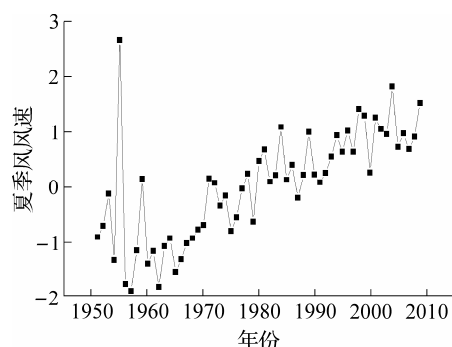


图5 1952~2010年东海海域夏季风风速

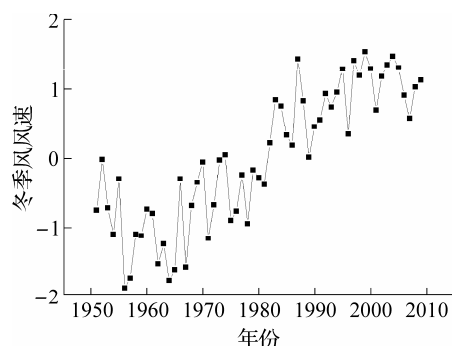


图6 1952~2010年东海海域冬季风风速

由表1可见,气候因子显著性 P 值都小于0.02,说明影响显著,而且回归模型中各气候因子的容忍度和VIF值都接近于1.0.可见气候因子影响有

滞后性;而偏相关性方面,冬季风影响是负相关的.通过表2也可以看出,在气候因子中海表温度是第一贡献因子,紧接着是夏季风、降水和冬季风.

表1 东海气候因子与渔获总量回归模型的偏相关分析

项目	时间滞后	偏相关系数	显著性 P	容忍度	VIF
海表温度	2	0.59	0.001 6	0.667	1.499
降水量	2	0.09	0.018 3	0.998	1.002
冬季风	1	-0.14	0.019 2	0.612	1.253
夏季风	0	0.303	0.001 3	1.000	1.000

表2 各气候因子主成分及其贡献率

主成分	初始特征值		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
海表温度	2.236	41.728	45.728
夏季风	1.889	27.677	69.405
降水	0.842	21.045	90.45
冬季风	0.359	9.35	99.82

所以经过捕捞努力和气候因子共同作用下的FOX修正模型如下:

$$Y' = 82.64 f_i e^{-0.03 f_i} (128.34 - 2.15T_{i-2} + 1.27P_{i-2}), \quad (4)$$

$$Y' = 82.64 f_i e^{-0.03 f_i} (0.59T_{i-2} + 0.09P_{i-2} -$$

$$0.14W_{i-1} + 0.303S_i + 1.136), \quad (5)$$

其中,(4)式为1957~1985年算式,(5)式为1985~2013年算式. T 为海表温度; P 为降水; W 为冬季风风速; S 为夏季风风速.用拟合后的模型重新修正拟合捕捞总量(图7),拟合优度 $R_1^2 = 0.923, R_{12}^2 = 0.976$,说明模型拟合度较高,可以解释气候因子和捕捞努力对捕捞量影响显著相关($P < 0.005$).

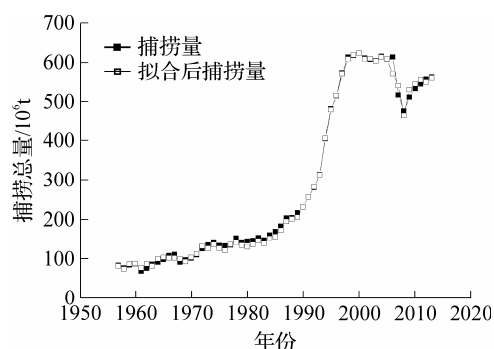


图7 1957~2013年捕捞量与拟合后的捕捞量

3 讨论

3.1 捕捞努力对捕捞总量的影响

东海海域捕捞总量的变化与捕捞努力量的关

系显著($P<0.05$),从1957~1984年这近30年的时间内捕捞努力量增长缓慢,相对应的渔获量上升也比较平缓.1984年后,随着机动渔船的大幅度增加,捕捞渔具的更新,捕捞效率也大幅度提高,捕捞努力量迅速上涨,同时渔获量飞速增长,导致1984~2005年这20年的过度捕捞.2005年以后,捕捞量大幅度下滑,而且捕捞鱼类的大小普遍比前20年的体重要小,鱼类资源出现衰竭^[11].并且东海鱼类资源补充机制受到了严重的破坏^[12].捕捞努力还会导致渔获的大龄鱼数量减少,作为补充群体的低龄鱼数量显著增加^[2].用SPSS软件对渔获量与捕捞努力量进行拟合,结果显示东海渔获量与捕捞努力量的FOX模型回归系数达0.967,统计检验的相伴概率 $P<0.01$,说明东海渔获量与捕捞努力量关系显著.

3.2 气候变化对捕捞总量的影响

3.2.1 海表温度

海表温度是直接或者间接影响海洋鱼类的一个环境因子.海表温度的变化可能是由于气候变化引起暖水期和冷水期的位相转变,这样的改变会使得暖水鱼和冷水鱼的生物群落发生改变^[13-14].严利平等^[15]在对东海海域2003年的带鱼研究中发现,因为2003年的海水温度相对往年都偏低,导致当年的带鱼产量和分布的密集度都不及往年,同时带鱼个体偏小.唐后升的研究发现^[16],随着黄海温度周期的变化黄海的鲱鱼资源量也随着产生显著的变化,形成了变动周期.海表温度的变化不仅影响鱼类的生长与发育,同时与海表温度相关的海水的压强、氧气含量等都与海表温度有着密切的影响^[17-19].有学者研究发现,在热带气旋下海表温度会大幅度的下降,鱼类的集群与摄食及洄游会受到影响^[20-22].并且海表温度影响了鱼类的生长速度与代谢作用.

3.2. 降水

降水主要通过陆地的降水来增加海水中的营养盐,进一步促进海洋初级生产力的提高来影响海洋中的生物量^[9,23].王跃中等发现珠江流域降水多的年份比降水少的年份中,带鱼数量与个头都具有优势^[24].

3.2.3 夏季风与冬季风

东海海域一般在夏季(6~8月)盛行偏南风(东

南风),在冬季(10月~翌年3月)则是偏北风(西北风).海流的发生与壮大与季风有着密切关系,而海里的营养物质输送与扩散则需要海流的推动;海洋中一些鱼类的卵和幼体会被季风带到其他海域,带来鱼类生存环境的改变,因此鱼类的补充量也受到了影响^[25-26].李小斌等的研究发现,由于受冬季风影响,南海海水的垂直混合强于水平混合强度,使得下层营养物质流入到表层,给浮游植物带来了营养物质,加快了浮游生物的生长和繁殖,初级生产力也得到了提高.而夏季风会带来大量降水的同时,也使得洋流发生变化,在河流水与洋流的大量混合下,海区的浮游生物会普遍提高.在粤东地区发现其生物量基本大于 $100\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,同样在海南岛海域发现的生物量也比较高.季风在影响着营养物质扩散和输送的同时,也影响着鱼类补充量.

4 结论

本文利用捕捞努力和典型气候因子对传统的FOX剩余产量模型进行优化.东海的捕捞量受捕捞努力、海表温度、降水、季风等因子的影响;在气候因子中海表温度对渔业捕捞量的影响贡献率最高,其影响鱼类的生长和代谢速度;然后是夏季风,其会影响鱼类的补充量;接着是降水影响着鱼类的营养盐,从而影响着初级生产力;最后是冬季风,冬季风的风速对渔业资源捕捞量的影响是负相关的,说明冬季风不利于经济鱼类生长.

参考文献:

- [1] 农业部渔业局.中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,1955~2010.
- [2] 詹秉义.渔业资源评估[M].北京:中国农业出版社,1995:121-233.
- [3] 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.
- [4] 黄长江,董巧香,林俊达.全球变化对海洋渔业的影响及对策[J].台湾海峡,1999,18(4):481-484.
- [5] QIU Y S, WANG Y Z, CHEN Z Z. Runoff- and monsoon-driven variability of fish production[J]. Estuarine Coastal & Shelf Science, 2008, 77(1):23-34.
- [6] 乐凤凤,孙军,宁修仁,等.2004年中国南海北部浮游生物[J].海洋与湖沼,2006,37:238-248.
- [7] MET OFFICE. Met office Hadley centre observations

- datasets[EB/OL]. [2015-02-23]. <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/data/download.html>.
- [8] KNMI CLIMATE EXPLORER. Historical observations [EB/OL]. [2014-05-06]. <http://climexp.knmi.nl/>.
- [9] 王继隆, 李继龙, 杨文波, 等. 利用气候因子变化对 FOX 模型计算东海总经济鱼类的 CPUE 的优化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(1):136-144.
- [10] 王跃中, 贾晓平, 林昭进, 等. 东海带鱼渔获量对捕捞努力和气候变化的响应[J]. 水产学报, 2011, 35(12): 1881-1889.
- [11] 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, 2007:3-299.
- [12] 郑元甲. 绿鳍马面鲀资源衰退原因分析[J]. 东海渔业资源动态, 1992, 5(1):10-12.
- [13] 王慧, 周晓丹. 气候变化对海洋生物资源的影响及其应对之策[J]. 环境保护与循环经济, 2015(10):4-9.
- [14] 彭欣, 宁修仁, 孙军, 等. 南海北部浮游植物生长对营养盐的响应[J]. 生态学报, 2006, 26(12):3960-3967.
- [15] 严利平, 程家骅, 凌建忠. 2003 年夏季东海区带鱼资源状况及其秋冬汛渔况的分析[J]. 海洋渔业, 2003, 25(4): 173-176.
- [16] 唐后升. 黄海鲱鱼世代数量波动原因的初步探讨[J]. 海洋湖沼通报, 1981(2):37-45.
- [17] 杨晓明, 戴小杰, 田思泉, 等. 中西太平洋鲹鱼围网渔业资源的空间热点和空间异质性分析[J]. 生态学报, 2014, 34(13):3771-3781.
- [18] 朱德坤, 俞存根. 冬汛浙江中部渔场环境与带鱼汛期的关系[J]. 水产学报, 1987, 11(3):195-203.
- [19] 姚翠鸾, SMOERO G N. 海洋暖化对海洋生物的影响[J]. 科学通报, 2015, 60(9):805-816.
- [20] 孙松, 孙晓霞. 海洋生物功能群变动与生态系统演变[J]. 地球科学进展, 2014, 29(7):854-858.
- [21] CRUZ P V, VAN T B I. Simulation of hurricane-like disturbances on a Caribbean seagrass bed[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2005, 324(1): 44-60.
- [22] 王兆礼, 陈晓宏, 张灵, 等. 近 40 年来珠江降水量的时刻演变特征[J]. 水文, 2006, 26(6):71-75.
- [23] 王跃中, 孙典荣, 陈作志, 等. 气候环境因子和捕捞努力对南海北部带鱼渔获量变动的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(24):7948-7957.
- [24] 王跃中, 孙典荣, 贾晓平, 等. 捕捞努力和气候变化对东海马面鲀渔获量的影响[J]. 南方水产科学, 2013, 9(1):8-15.
- [25] 王学昉, 许柳雄, 周成, 等. 中西太平洋金枪鱼围网鲹鱼自由鱼群捕获成功率与温跃层特性的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2013(5):763-769.
- [26] 李冠军, 邱永松, 王跃中. 自然环境变动对北部湾渔业资源的影响[J]. 南方水产, 2007, 3(1):7-13.

Effect of Climate Factors and Fishing Pressure on Total Fishery Resources in East China Sea

ZHANG Zhi-min, XU Nian-jun*

(School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to study the changes of the total catch in the East China Sea, the fishery statistical data and the climate change data are collected and analyzed from 1955 to 2013 in the East China Sea. The fishing effect caused by the fishing pressure can be fitted with FOX model, and the model fitting results indicate that the total fishery catch is in significant correlation with fishing pressure ($R^2=0.967$, $P<0.05$). The correlation between typical climate factors including SST, precipitation, winter wind and summer wind, and the total catches of the East China Sea is also studied. Results demonstrate the significant correlation between the fish amount and the three climate factors ($P<0.05$). In the end, the total catch is fitted with the joint effects of the fishing pressure and climate factors. It is found that the fitting degree is higher than that in the FOX model ($R^2=0.976$, $P<0.05$).

Key words: total catch; fishing pressure; climate factor; FOX model

(责任编辑 章践立)