

北太平洋长鳍金枪鱼延绳钓渔场分布 及其与海水表层温度的关系

张 衡 樊 伟* 崔雪森

(中国水产科学研究院东海水产研究所 渔业资源遥感信息技术重点开放实验室, 上海 200090)

摘 要 根据北太平洋长鳍金枪鱼渔获量、海水表层温度等数据,研究了长鳍金枪鱼渔获量的分布区及其海水表层温度(SST)的统计特征。结果表明,北太平洋长鳍金枪鱼渔场主要分布于 25~40°N 之间的海域。长鳍金枪鱼渔场区平均 SST 为 23.6 °C,中位数为 24.5 °C,多数渔场区位于暖温带海域,其平均 SST 多数为 16~28 °C,产量数据分布为正偏。海水表层温度为 16~23 °C 的海域,长鳍金枪鱼的平均产量和平均 CPUE 变化趋势类似,且表层温度为 18~20 °C 的海域,长鳍金枪鱼的平均产量最高。渔获量分布于表层温度为 16~23 °C 和 24~27 °C 海域,但主要集中于 16~23 °C 的范围。交叉相关分析表明长鳍金枪鱼 CPUE 同太平洋年际振荡指数具有相关性。

关键词 北太平洋 长鳍金枪鱼 延绳钓 海水表层温度

中图分类号 S931 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)06-0001-06

Relationship of distribution of albacore *Thunnus alalunga* longline fishery grounds and sea surface temperature in the North Pacific Ocean

ZHANG Heng FAN Wei* CUI Xue-sen

(Key Laboratory of Fisheries Resources Remote Sensing and Information Technology Resources,
East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090)

ABSTRACT The albacore *Thunnus alalunga* longline fishery is one of the important fisheries in the Pacific Ocean. According to the collected catch data of the albacore, sea surface temperature(SST) derived from satellite 3-level production and literatures, the distribution of albacore longline fishery grounds and its relationship with SST were analyzed quantitatively or qualitatively by using GIS technology. The results showed that the distribution of longline albacore fishing-grounds was latitudinal zones, and mainly located in the area of 25~40°N. The average SST and median SST of albacore longline fishing-grounds were 23.6 °C and 24.5 °C respectively. In addition, average SST of most fishing grounds was 16~28 °C. The distribution curve of SST was a negative skew and the distribution curve of catch was a positive skew. Variation of the average CPUE and the average yields were similar and they were the highest when the SST was

国家“863”计划项目(2007AA092202)、大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室开放基金(KF200908)和中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2009T08)共同资助

* 通讯作者。E-mail: fanwei@126.com

收稿日期:2011-03-24;接受日期:2011-05-09

作者简介:张 衡(1979-),男,博士,主要从事鱼类生态学和渔业遥感研究。E-mail: zheng615@sina.com.cn, Tel: (021)65682395

between 18~20°C. The catch of fishing is different at lower SST area (16~23°C) and higher SST area (24~27°C), but mainly distributed at lower SST area (16~23°C). There was a correlation between CPUE of albacore and PDO index by time series analysis.

KEY WORDS The North Pacific Ocean Albacore Longline fishery
Sea surface temperature

长鳍金枪鱼 *Thunnus alalunga* 是金枪鱼延绳钓渔业的重要捕捞种类之一,为中型大洋性鱼类,在太平洋、大西洋和印度洋的热带和温带水域均有分布。1980 年以来,整个太平洋长鳍金枪鱼延绳钓的年捕捞量维持在 5~10 万 t,其中北太平洋约 1~2.5 万 t(IATTC 2001)。有关太平洋长鳍金枪鱼资源及其基础生物学,国外学者已有研究(Ramon *et al.* 1996;Watanabe *et al.* 2004;Fournier *et al.* 1998;Murray *et al.* 1994;Yeh *et al.* 1996),认为太平洋长鳍金枪鱼可分为南、北两个种群,但对于其渔场与环境关系的研究报道极少(戴芳群等 2006)。

我国大陆地区金枪鱼渔业发展起步晚、规模小,缺少专门对北太平洋长鳍金枪鱼延绳钓生产及资源的调查,对其渔场分布和环境特征的研究还十分欠缺(戴芳群等 2006)。鉴于此,本研究主要根据所收集的捕捞生产数据和卫星遥感海水表层温度(SST)数据,对北太平洋长鳍金枪鱼延绳钓渔场分布与 SST 的关系进行了综合分析,以期为我国太平洋金枪鱼延绳钓渔业的进一步发展提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 数据

太平洋长鳍金枪鱼延绳钓生产数据来自太平洋共同体秘书处(The Secretariat of the Pacific Community,以下简称 SPC, <http://www.spc.int/oceanfish/>),数据项内容包括年、月、作业区域的经度和纬度、分品种产量、尾数和投放钩数等,并由投放钩数和尾数计算得到单位捕捞努力量渔获量(CPUE 单位:尾数/100 钩)。其空间分辨率为 5°×5°经、纬度,即一个渔区单元,时间跨度自 1952 年 1 月~2001 年 12 月。海水表层温度数据是美国国家大气海洋局(National Oceanic & Atmospheric Administration,NOAA)提供的 1982 年 1 月~2001 年 12 月太平洋海域月平均海水表层温度(SST),空间分辨率为 1°×1°。渔场分布采用地理信息系统软件 ArcGIS 8.1 进行制图。在对渔获产量和 SST 进行数据匹配的过程中,对渔获量出现频次的统计按照 SST 0.5 °C 间隔进行分析,如 24.75~25.25 °C 的温度区间代表 25 °C 温度值。太平洋年代际振荡(Pacific Decadal Oscillation,PDO)最早由 Mantua 等在 1997 年提出,也有一些研究称之为年代际太平洋涛动(Interdecadal Pacific Oscillation,简称 IPO)或北太平洋涛动(The North Pacific Oscillation,简称 NPO),太平洋年代际振荡是北太平洋海水温度年代际循环的海洋现象,其指数数据由 <http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest> 下载获取。

1.2 统计特征与累计频率计算

渔获量出现频次和 SST 之间的统计采用两种方法,一是对所有数据进行频率统计分析,二是把所有数据分为 3 组进行分析:(a) 渔获量等于零为一组(3 663 个记录);(b) 渔获量大于零而小于或等于 13.96t 的为一组(10 697 个记录);(c) 渔获量大于 13.96 t 的为一组(3 566 个记录)。13.96 为大于零的产量的上四分位数下限。对分组数据分别计算其中位数、平均值、标准差、方差、偏度、最大值和最小值,了解其分布特征。

渔场区 SST 的累计频率分布采用下述方法进行计算(Perry *et al.* 1994;Andrade *et al.* 1999;陈新军 2006)。其中累计频率分布函数表示为:

$$f(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l(x_i) \quad l(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i \leq t \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

$$g(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{y} l(x_i) \quad (2)$$

$$D = | f(t) - g(t) | \quad (3)$$

式中, n 为作业记录数, x_i 为第 i 次作业时 SST 观测值, t 为分组(以 0.5°C 为组距)后从低到高排列的 SST 数值。 y_i 为 i 次作业的捕捞量, \bar{y} 为所有作业记录的捕捞量平均值。 D 为累积频率曲线 $f(t)$ 和 $g(t)$ 之间的差异度。

渔获产量和 SST 之间的关联特征可以由产量加权后 SST 的累计频率计算并进行 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验得到, 主要是进行比较 $f(t)$ 和 $g(t)$ 之间的差异程度, 即通过 K-S 来检验在某显著性水平下 $f(t) = g(t)$ 是否成立。 K-S 检验属于非参数化检验方法, 假定数据服从一个常规连续分布, 用来对两个经验累计频率分布间的最大垂直距离进行统计。

1.3 交叉相关分析

交叉相关分析是指某一时间序列变量与另一个或一些时间序列变量的各对应观测值的相关分析。交叉相关分析用于长鳍金枪鱼 CPUE 和 PDO 指数间的时间序列分析, 了解长鳍金枪鱼资源状况波动受海洋大尺度环境变化的关系。其计算公式为:

$$r_m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_{i+m} - \bar{y}_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_{i+m} - \bar{y}_m)^2}}$$

式中, r_m 为交叉相关系数, m 为时间步长(月), x_i 为第 i 月的 PDO 指数, y_{i+m} 为 $i+m$ 月的 CPUE。 \bar{x} , \bar{y} 分别为相应变量的平均值。

2 结果

2.1 渔场及海表温度空间分布

北太平洋长鳍金枪鱼延绳钓渔场主要分布在 $25\sim 40^\circ\text{N}$ 的北太平洋海域, 东、西范围从日本沿岸向东扩展到 130°W 附近, 尤其集中于 30°N 两侧的海域, 并且以 180°W 为界, 分为东、西两个集中分布区(图 1)。多年累计总产量超过 1×10^4 t 的渔区数量为 25 个。其中, 超过 2×10^4 t 的高产渔区为 9 个, 单个渔区最高产量约 3.5×10^4 t。结合 SST 等温线分布, 可看出渔场分布区年平均 SST 约为 $16\sim 28^\circ\text{C}$, 渔获产量集中分布区域的年平均 SST 为 $16\sim 24^\circ\text{C}$, 从该海域的流系分布来看(Yasuda 2003; Polovina *et al.* 2001), 渔场分布主要受强大的黑潮暖水、亲潮冷水所控制, 位于亚极锋区和亚热带锋区之间的过渡区, 其渔场分布同强大的黑潮流系及其向东的尾流分布较为一致。

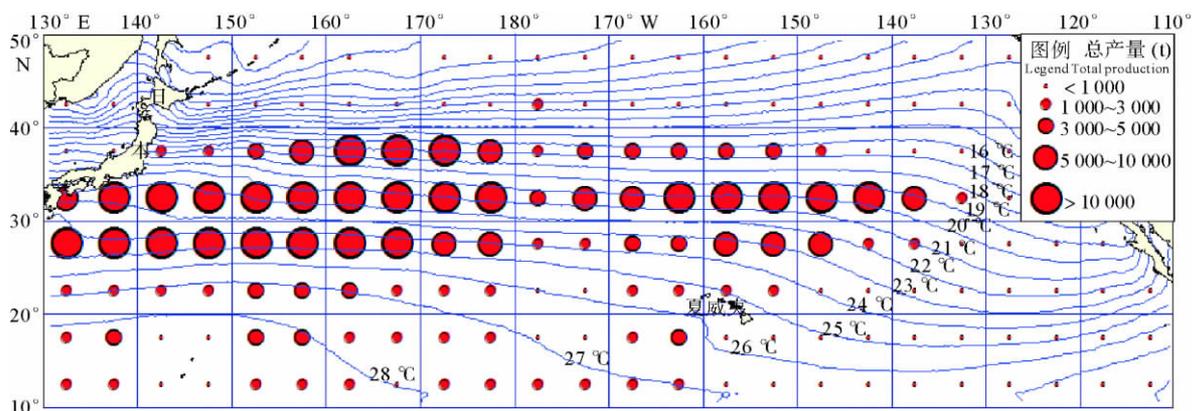


图 1 北太平洋延绳钓长鳍金枪鱼多年累计渔获总产量与 SST 分布

Fig. 1 Total catch and SST distribution of albacore longline fishery in North Pacific Ocean

2.2 一般统计特征

统计结果表明,北太平洋长鳍金枪鱼延绳钓渔场区的平均 SST 为 23.6 °C,中位数为 24.5 °C,最高温度为 30.5 °C,最低温度为 2.7 °C,从温度的偏度 -0.72 可知,所有渔区 SST 的分布为负偏,即偏向较暖温度区间(表 1)。单个渔区月平均渔获量为 17.5 t,中位数为 0.96 t,月最高渔获量为 950.07 t,最低产量为 0,从渔获量的偏度 6.28 可知,渔获量大小的分布为正偏,即偏向较低产量区间。零产量渔区的 SST 月平均为 24.0 °C,中位数为 25.3 °C,;低产量渔区的月平均 SST 为 24.1 °C,中位数为 25.2 °C,;高产量渔区的月平均 SST 为 21.6 °C,中位数为 21.0 °C。从整体上看,当渔获产量为零或产量较低时,北太平洋长鳍金枪鱼产量的大小和 SST 的高低差异不显著,但高产量渔场区的月平均 SST 为 21.6 °C,中位数为 21.0 °C,表现出与低产量渔场区的明显差异。从各数据序列的标准差和方差变化来看,SST 的变动程度比较小,而渔获产量的差异程度相当大。

表 1 北太平洋延绳钓长鳍金枪鱼产量和渔场区海水表层温度(SST)的统计特征

Table 1 Statistical characteristics of SST and yield of albacore longline fishery in North Pacific Ocean

统计特征值 Statistical characteristics	全部渔区 All fishing areas		零产量渔区 Zero yield areas	低产量渔区 Low yield areas		高产量渔区 High yield areas	
				0<Y≤13.96		Y>13.96	
	SST	Y	SST	SST		SST	Y
平均值 Mean	23.6	17.5	24	24.1	2.53	21.6	80.47
中位数 Median	24.5	0.96	25.3	25.2	0.99	21	45.33
标准差 Standard deviation	4.25	52.78	4.65	4.09	3.31	3.66	94.97
方差 Variance	18.05	2 785.37	21.65	16.71	10.93	13.41	9 018.27
偏度 Skew	-0.72	6.28	-1.18	-0.91	1.63	0.3	3.16
最大值 Maximum	30.5	950.07	30.2	30.5	13.96	30.1	950.07
最小值 Minimum	2.7	0	2.7	7.6	0.003	10.6	13.97
记录数 Record	17 925	17 925	3 662	10 697	10 697	3 566	3 566

注:Y 为产量(吨) Note: Y: Yield (t)

渔获产量和 SST 频次之间的关系表明(图 2),长鳍金枪鱼延绳钓渔场区 SST 分布为负偏态分布型(图 2a),多数渔场区的 SST 大致在 16~28 °C 之间,渔场出现频次最多的渔区 SST 为 27 °C 左右。从月渔获产量分布可见(图 2b),渔获量集中分布在两个海域,一个是 16~23 °C 之间的相对低温海域,产量相对较高,另一个是 24~28 °C 之间的相对高温海域,产量相对较低。图 3 同样可见,不同表层温度下,累积总产量也主要分布上述两个温度区间的海域,但 16~23 °C 区间的低温海域累计总产量在 2 万 t 左右,20 °C 附近海域的累计渔获量接近 2.5 万 t,而相对高温海域累计总渔获量仅在 7 000 t 左右。由图 4 可见,不同 SST 下,平均产量和平均捕捞努力量渔获量(CPUE)的变化基本一致,考虑到低温和高温区边缘捕捞数据少而不具代表性,16~23 °C 海域的平均渔获产量较高,以 18.5 °C 的海域产量最高,为 71.3 t,较高的 CPUE 主要出现在 12~22 °C 的海域,约为 1.0~1.5 尾/100 钩。

2.3 累计频率分布

图 5 为 SST 及产量加权后的累计频率分布。SST 累计频率变化曲线比较平稳,约 10% 累计频率的 SST 小于 17 °C,约超过 50% 累计频率的 SST 小于 24 °C,超过 75% 累计频率的 SST 小于 26.5 °C。产量加权后的 SST 累计频率变化则显著不同,当 SST ≤ 17 °C 时,累计频率约占 10.5%,当 SST 大于 17 °C 时,加权的累计频率快速上升,当 SST ≤ 23 °C 时,累计频率已达到约 78%,当 SST ≤ 26 °C,累计频率约为 91%。当 SST = 22.5 °C 时, $f(t)$ 和 $g(t)$ 之间差异达到最大,最大差异值 $D=0.367$ 。采用标准两样本 K-S 检验,在显著性水平 $\alpha=0.15$ 的水平下, $D_{0.15}=0.256$,由 $D=0.205 < D_{0.15}$ 可知,其差异不显著,表明所得结论是可以接受的。

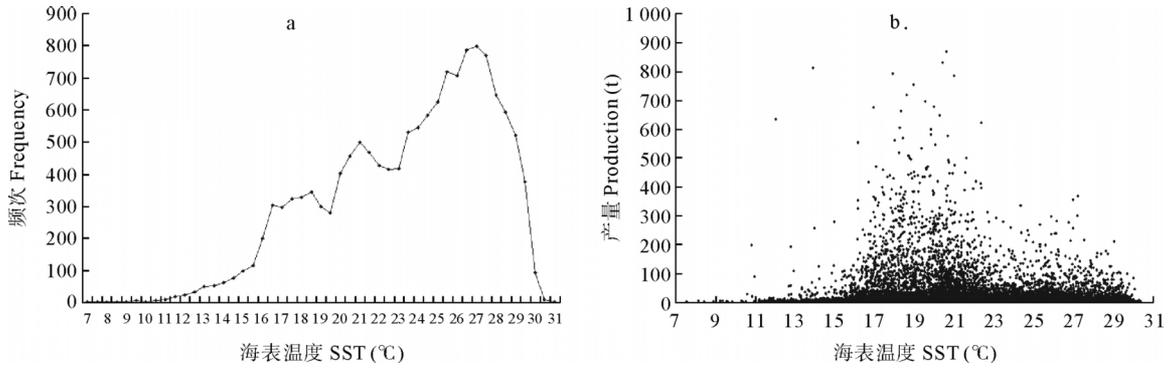


图 2 北太平洋长鳍金枪鱼产量与 SST 频次统计关系

Fig. 2 The relationship of SST and production of albacore in North Pacific Ocean

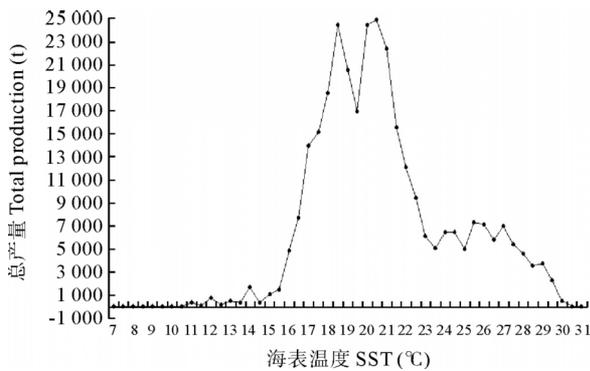


图 3 不同 SST 情况下的总捕捞产量

Fig. 3 Total capture production of albacore at different SST

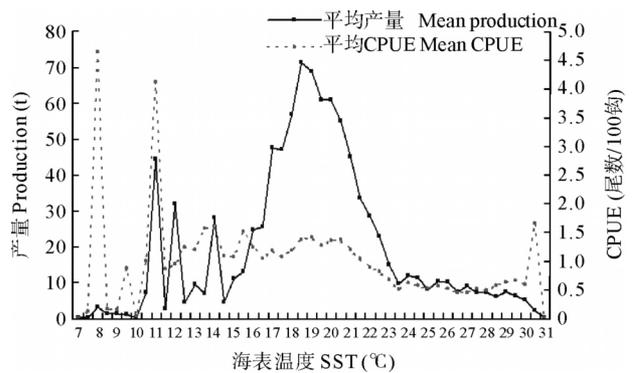


图 4 不同 SST 情况下的平均产量及 CPUE 变化

Fig. 4 Mean production and mean CPUE at different SST

2.4 时间序列分析

图 6 为北太平洋长鳍金枪鱼 CPUE 同 10 年际太平洋指数(PDO)的时间序列变化,可见在开发初期 CPUE 较高,1955 年后至 20 世纪 90 年代初期,CPUE 相对稳定在 0.4~0.6 尾/100 钩之间。1994 年后,CPUE 又迅速升高,1996 年达到最高,为 1.2 尾/100 钩。PDO 指数变化较大,呈现出两个显著不同的阶段,20 世纪 70 年代中期前,PDO 多数为负值,处于冷阶段,之后为正值,处于暖周期。采用交叉相关分析方法,计算二者的交叉相关系数,两变量的普通相关系数(时间步长 Lag=0)为 0.127,CPUE 的变化滞后 PDO 指数 13 个月时,二者最大相关系数为 0.435。

3 讨论

温度是影响海洋鱼类活动最重要的环境因子之一,水温的变化会直接或间接影响到鱼类的分布、洄游和集群活动。研究显示,北太平洋长鳍金枪鱼渔场主要分布于 25~40°N 之间的北太平洋海域。戴芳群等(2006)研究发现,SST 为 15~22 °C 时,太平洋长鳍金枪鱼的 CPUE 较高,在 24~30 °C 时,CPUE 仅为前者的 1/3。这与本研究结果类似。从作业频次看,虽然多数分布在 20 °C 以上的温暖海域,但低温海域多年累积渔获产量、平均渔获产量和平均 CPUE 均较高(图 3、图 4)。因此,应充分重视和开发 16~23 °C 较低温度海区的长鳍金枪鱼资源。

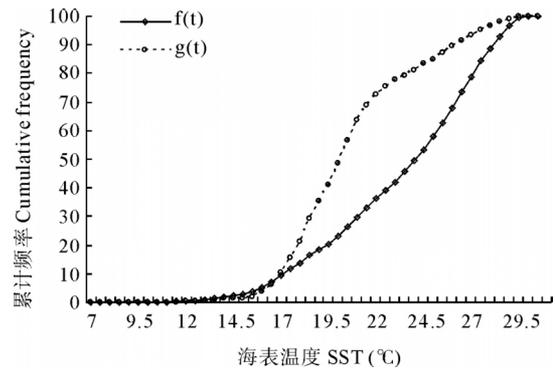


图 5 SST 与产量加权的 SST 累计频率分布

Fig. 5 Cumulative frequency distribution of SST and catch-weighted SST

此外,研究表明(Laurs *et al.* 1991; Graham *et al.* 1981),长鳍金枪鱼的渔场分布及其洄游除受海水表层温度影响外,还受到大尺度海洋事件、溶解氧等环境因素的影响。北太平洋长鳍金枪鱼延绳钓的捕捞水层会受黑潮、加利福尼亚流及转换区等流系的影响,主要捕捞水层在 200~280 m,其表层水温为 16~19 °C。声学跟踪研究表明,3~5 龄成年长鳍金枪鱼多位于温跃层内,其

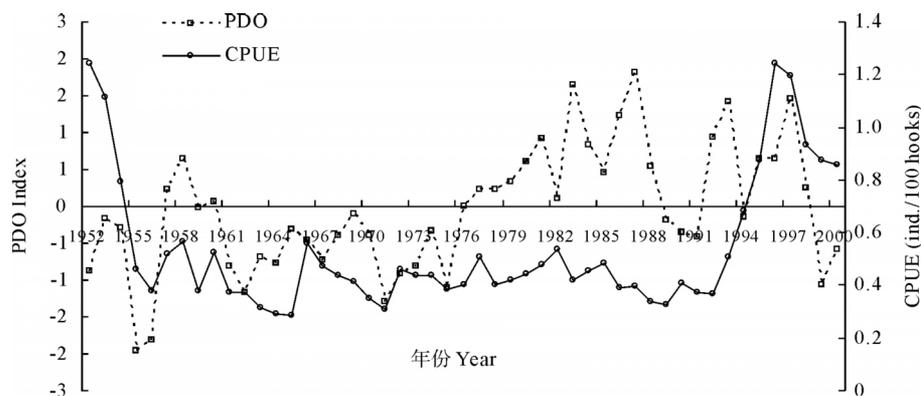


图 6 北太平洋长鳍金枪鱼 CPUE 同 PDO 指数的时间序列变化

Fig. 6 The time courses of CPUE and PDO index of albacore in North Pacific Ocean

变化对长鳍金枪鱼捕捞水层有重要影响。研究表明(Graham *et al.* 1981),长鳍金枪鱼因受溶解氧影响,其主要活动范围是在 60% 以上的溶解氧范围内,更倾向于活动在清澈的海域,这可能有利于它们逃避捕食者。

长鳍金枪鱼的分布同多种环境要素有关,本研究仅就渔场分布及其变化同 SST 的关系进行了统计分析,尚未涉及叶绿素等其他环境因子对渔场变化的影响。到目前为止,人们对金枪鱼渔场时空分布与变化的了解相当有限,因此,在开发利用金枪鱼渔业的同时,需要进一步获取多种环境参数,进行多角度综合分析,以期渔业生产和管理服务。

致谢:美国 NOAA 和南太平洋共同体秘书处(SPC)为本研究提供了 SST 和渔场生产资料,谨致谢忱!

参 考 文 献

- 陈新军, 赵小虎. 2006. 秘鲁外海茎柔鱼产量分布及与表温关系的初步研究. 上海水产大学学报, 15(1): 65~70
- 戴芳群, 李显森, 王凤臣, 徐玉成, 李 桥. 2006. 中太平洋长鳍金枪鱼延绳钓作业分析. 海洋水产研究, 27(6): 37~42
- Andrade, H. A., and Eiras, G. C. A. 1999. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast. Fisheries Oceanography, 8(4): 245~254
- Fournier, D. A., Hampton, J., and Sibert, J. R. 1998. MULTIFAN-CL: a length-based, age-structured model for fisheries stock assessment, with application to South Pacific albacore, *Thunnus alalunga*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55(9): 2105~2116
- Graham, J. B., and Laurs, R. M. 1982. Metabolic rate of the albacore tuna *Thunnus alalunga*. Marine Biology, 72(1): 1~6
- IATTC. Status of albacore tuna in the Pacific Ocean. IATTC Stock Assessment Report 1. 2001: 255~283
- Laurs, R. M., and Lynn, R. J. 1991. North Pacific albacore ecology and oceanography, NOAA Tech. Rep. National Marine Fisheries Service, 105: 69~87
- Mantua, N. J., Hare, S. R., Zhang, Y., Wallace, J. M., and Francis, R. C. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. Bull. Amer. Meteor. Soc. 78: 1069~1073
- Murray, T. 1994. A review of the biology and fisheries for albacore (*Thunnus alalunga*), in the South Pacific Ocean. Interactions of Pacific tuna fisheries, vol. 2, papers on Biology and Fisheries, FAO Fisheries Technical Paper 336/2, 188~206
- Perry, R. I., Stocker, M., and Fargo, J. 1994. Environmental effects on the distributions of ground fish in Hecate Strait, British Columbia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51(6): 1401~1409
- Polovina, J. J., Howell, E., and Kobayashi, D. R. 2001. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. Progress in Oceanography, 49(1-4): 469~483
- Ramon, D., and Bailey, K. 1996. Spawning seasonality of albacore, *Thunnus alalunga*, in the south Pacific Ocean. Fishery Bulletin, 94(4): 725~733
- Watanabe, H., Kubodera, T., Masuda, S., and Kawahara, S. 2004. Feeding habits of albacore *Thunnus alalunga* in the transition region of the central North Pacific. Fisheries Science, 70(4): 573~579
- Yasuda, I. 2003. Hydrographic structure and variability in the Kuroshio-Oyashio transition area. Journal of Oceanography, 59(4): 389~402
- Yeh, Y. M., and Wang, C. H. 1996. Stock assessment of the South Pacific albacore by using the generalized production model, 1967-1991. AC-TA Oceanographica Taiwanica, 35(2): 125~139