

文章编号: 1674 - 5566(2014)06 - 0920 - 10

三维海洋数值模型在东中国海鲈鱼渔场预报中的应用

林 军^{1,2}, 闫 庆¹, 李 纲^{1,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 国际海洋研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 大洋生物资源开发和利用上海市高校实验室, 上海 201306; 4. 上海海洋大学 大洋渔业资源可持续发展省部共建教育部重点实验室, 上海 201306)

摘 要: 根据 1998 - 2011 年 7 - 12 月的东中国海鲈鱼渔业数据, 应用数理统计方法对中心渔场作业位置与海区表温的关系进行了定量分析。以北纬 32° 为界, 将东中国海鲈鱼渔场分为北部黄海渔场和南部东海渔场两部分, 分别给出了各月份北部和南部渔场的最适表温范围。基于海洋模式 ECOM-si 建立了东中国海区的三维温盐流数值模型, 结合各月份的最适表温数据, 初步建立了鲈鱼渔场渔情预报模块。应用此预报模块, 对鲈鱼主要作业期(7 - 12 月)的中心渔场位置进行了回报, 结果与历史捕捞作业数据符合良好。数值模型结果再现了北部渔场 8 月份起在黄海深水区周边发展, 10 月达到最盛, 11 月渔场位置南移, 12 月基本位于黄海海盆深水区的过程; 以及南部渔场 8 月最盛, 10 月起大降, 11 月和 12 月远离黑潮主轴西侧海域, 西撤至 100 m 等深线附近的发展过程。结果表明所建立的三维温盐流海洋数值模型和初步建立的渔场、渔情预报模块适用于东中国海重要渔业渔场和渔情的预测、预报应用。

研究亮点: 目前鲈鱼渔场预报研究多以遥测 SST 作为依据。本文将东中国海鲈鱼渔场分为南北两部分, 以正态分布统计分析法分别给出了 7 - 12 月适宜海表温度, 并依此作为渔场判定依据, 初步建立东中国海鲈鱼渔场的数值预报模型。模型很好地再现了下半年鲈鱼渔场的发展、变化过程。

关键词: 东中国海; 鲈鱼渔场; 海洋数值模型; 最适表温; 正态分布
中图分类号: Q 178. 53; S 931. 41
文献标志码: A

鲈鱼是暖水性中上层鱼类, 广泛分布于太平洋、大西洋和印度洋沿岸至大陆坡的热带、温带水域, 栖息水层 0 ~ 300 m, 为北太平洋西部主要经济鱼类之一。分布在我国近海海域的为鲈 (*Scomber japonicas*; Houttun, 1782) 和澳洲鲈 (*Scomber australisicus*; Cuvier, 1832), 具有分布广、生长快、产量高等特点^[1-7]。东海鲈鱼资源自 20 世纪 70 年代初期被开发以来, 产量一直处于持续波动上升之势, 90 年代中后期, 鲈鱼已成为我国近海具有重要地位的经济鱼种之一。

鲈鱼是一种短寿命的中上层的鱼类, 目前其渔获以当龄鱼和 1 龄鱼为主^[1-2]。短寿命的鱼类繁殖力通常很高, 当产卵场的环境条件适宜时可产生大量幼鱼, 使补充量成为决定资源状况的主

要因素。鲈鱼为暖水性海洋鱼类, 游泳能力强, 每年进行远距离洄游。春夏时多栖息于中上层, 活动在温跃层以上, 在生殖季节常结成大群到水面活动。东中国海鲈鱼的产卵场主要分布在东海中南部及浙江近海鱼山、舟山和长江口渔场。每年 3 - 5 月为产卵季节, 之后当龄鱼及亲鱼在产卵场附近及其外海索饵^[1]。东中国海的鲈鱼渔场主要集中在 50 m 以下的海域, 利于大型围网作业, 渔期则为下半年的 7 - 12 月。产卵场和索饵场环境的年际变动直接影响着鲈鱼资源的年际波动, 包括温盐场、环流场、温盐和叶绿素 a 锋面等, 其中水温条件, 特别是海表面水温 (SST) 是主要的渔场环境影响因子^[6-17]。

ECOM-si 是目前发展成熟、且应用广泛的海

收稿日期: 2014-08-24 修回日期: 2014-09-08

基金项目: 上海市教育委员会科研创新项目(12YZ127); 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室开放研究基金资助课题(MATHAB20120210); 公益性行业(农业)科研专项经费(201303047)

作者简介: 林 军(1976—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为海洋环境与生态动力学, 生物海洋学。E-mail: jlin@shou.edu.cn

洋数值模式之一^[17-20]。该模式采用曲线正交网格,可一定程度上拟合岸线及进行局部加密。经 WU 等^[18-19]的改进,模式平流项计算采用了具有 3 阶精度的 TVD 格式,使模式对温盐的计算精度大大提高,并在开边界处的黑潮、台湾暖流、对马暖流等主要环流采用了流量边界,保证了水量、热量和盐量平流运输的准确性和物质能量平衡。林军等^[20]则耦合了一个可用于实时计算的太阳辐射和海面热通量计算模块,使模式具备了在高时间精度气象条件下模拟三维温盐流的能力。本文基于针对陆架海域和高精度温盐流计算改进的海洋模式 ECOM-si 建立了东中国海三维温盐流数值模式,并应用于鲈鱼渔场的预测、预报研究。

1 材料与方法

1.1 鲈鱼渔业与 SST 数据来源

本文采用了海洋数值模式与数理统计等手段相结合的研究方法。1998 年至 2011 年间鲈鱼渔业捕捞地点、捕捞努力量、CPUE 等渔业数据来自于上海海洋大学鱿钓技术组。结合文献和历史资料,应用统计学手段对鲈鱼渔业资料进行分析,假设 CPUE 或捕捞努力量在渔场表层水温(SST)上的分布服从正态分布,则可通过式(1)计算其概率密度函数:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

式中: x 为服从正态分布的变量; μ 为 x 平均值的最佳估计; σ 为标准差。服从正态分布的随机变量的概率规律为:取与 μ 邻近值的概率大,而取离 μ 越远的值的概率越小; σ 越小,分布越集中在 μ 附近, σ 越大,分布越分散。正态分布的概率密度函数关于 μ 对称,并在 μ 处取最大值,即渔场最佳表层水温;且可以 $\mu \pm \sigma$ 为渔场适宜表层水温的范围。概率计算在 MATLAB 软件中调用以下命令:

$$[mu, sigma] = normfit(x, 0.05) \quad (2)$$

式中: mu 即为对平均值 μ 的最佳估计, $sigma$ 即为对标准差 σ 的估计, x 为作业点的表层水温值(SST 等),0.05 表示估计的置信区间为 95% 可信。作业期间的月平均海表面水温数据 SST 来源于美国 NASA (PO. DAAC, <http://poet.jpl.nasa.gov>) 高分辨率辐射计 (AVHRR) 的遥感数

据,空间分辨率为 $9 \text{ km} \times 9 \text{ km}$ 或 $4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$,以平面插值至作业点坐标。

1.2 温盐流数值模式

本文采用了基于改进的 ECOM-is 模式建立了东中国海三维温盐流数值模式。模式网格见图 1 所示,水平网格 208×208 ,垂向分为 31 层,做到了空间分辨率和计算效率之间较好的平衡。参考 WU 等的方案^[19],以全网格模式计算内网格边界处(图 1 第一岛链一线粗虚线所示边界)的潮流调和参数。根据表 1 给出的主要环流流量,以下式给定内网格模式的流量边界: $V_{\text{法向}} = V_{\text{陆架环流}} + V_{\text{潮流}}$,以此保证了海域陆架环流和温盐平流运输的精度和物质能量守恒。

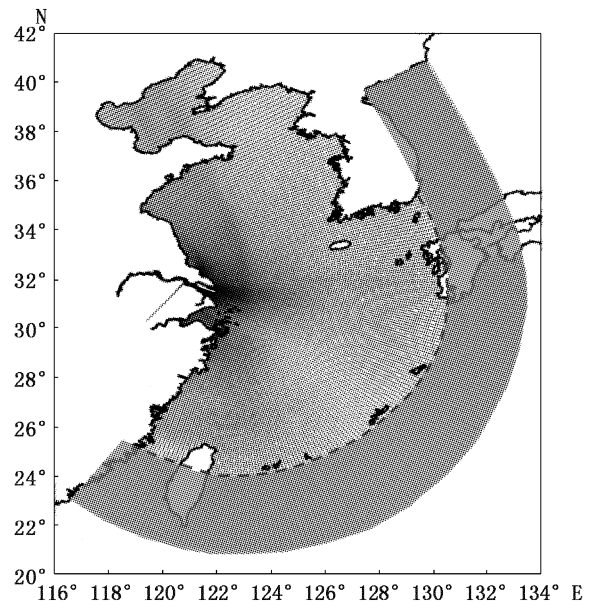


图 1 海洋数值模式网格划分及内开边界位置(图中虚线所示)

Fig. 1 The mesh of numerical ocean model and the position of the inner open boundary (The dotted line)

模式外海开边界采用 11 个主要分潮 (M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_2 、 K_1 、 O_1 、 P_1 、 Q_1 、 M_4 、 MS_4 、 M_6) 驱动,开边界潮位由式(3)合成:

$$\xi = \sum_{i=1}^n f_i H_i \cos[\sigma_i t + (V_0 + u)_i g_i] \quad (3)$$

式中: ξ 为某时刻的潮位; H_i 和 g_i 为各分潮的振幅和迟角; f_i 、 σ_i 、 $(V_0 + u)_i$ 分别为各分潮的多年变化因子、角速率和天文初相角。

数值模式中,太阳辐射及海面热通量计算模块详情参见文献[20]。气温、气压、相对湿度、风

应力等气象资料来源于 NOAA 网站的 NCEP/NCAR Reanalysis 资料 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>)。云量资料来自于 NASA 的 NEO (NASS Earth Observation) Cloud Fraction 资料 (<http://neo.sci.gsfc.nasa.gov>)。

表 1 模型中主要环流各月平均流量

Tab.1 The monthly mean flow of the circulation in the model Sv

月份	台湾暖流	黑潮/ (流入)	黑潮/ (流出)	对马暖流	长江
1	0.50	22.00	-20.24	-2.27	0.009 9
2	0.50	22.00	-20.62	-1.89	0.012 8
3	1.50	22.50	-22.27	-1.75	0.015 8
4	1.50	23.00	-22.63	-1.89	0.022 7
5	2.20	24.00	-23.96	-2.28	0.036 4
6	2.30	23.50	-23.04	-2.80	0.041 4
7	2.30	23.50	-22.53	-3.32	0.049 3
8	2.40	28.00	-26.74	-3.71	0.044 3
9	2.40	28.00	-26.59	-3.85	0.042 4
10	1.50	22.00	-19.83	-3.71	0.036 4
11	0.50	21.00	-18.20	-3.33	0.024 6
12	0.50	22.00	-19.72	-2.80	0.015 8

2 结果

2.1 数值模式环流及温盐场

东中国海三维温盐流数值模式建立后,进行了大量的验证率定工作,包括太阳高度角和太阳辐射强度的周日验证^[20];表层水温的周年验证和 水位、表底层盐度、流速的周日验证等。2009 年夏末,长江口外海域多站点大面的表底层水温、盐度和以及表底层温盐差验证见图 2、3 所示。结果表明,无论是温盐的量值还是水平分布态势,数值模式对温盐场的模拟都达到了良好精度。模式采用 NCEP(时间精度 6 h)气象资料后,数值模拟结果计算的海面热通量、水温的三维时空分布具有了更高的时空精度。为说明模式对深层水温和背景环流模拟的精度,给出东中国海夏季的 10 m 和 50 m 层水温与陆架环流,如图 4 所示,表明数值模式很好地再现了东中国海的水温和环流场,主要的背景环流如黑潮、台湾暖流、对马暖流等均与文献资料符合良好,具有较高精度,数值模式可用于渔场学等应用研究。

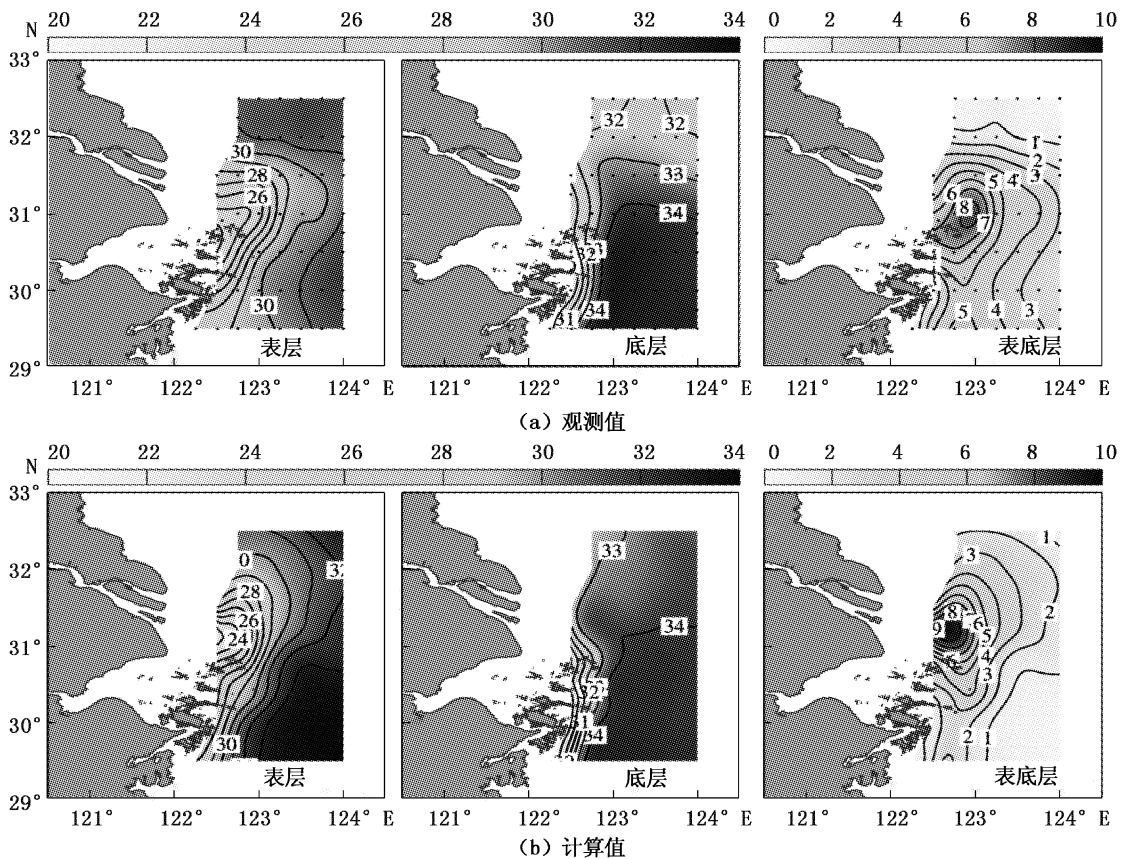


图 2 2009 年长江口夏末表底层盐度观测值 (a) 和计算值 (b)

Fig.2 The observed (a) and simulated (b) salinity off the Changjiang Estuary in later summer, 2009

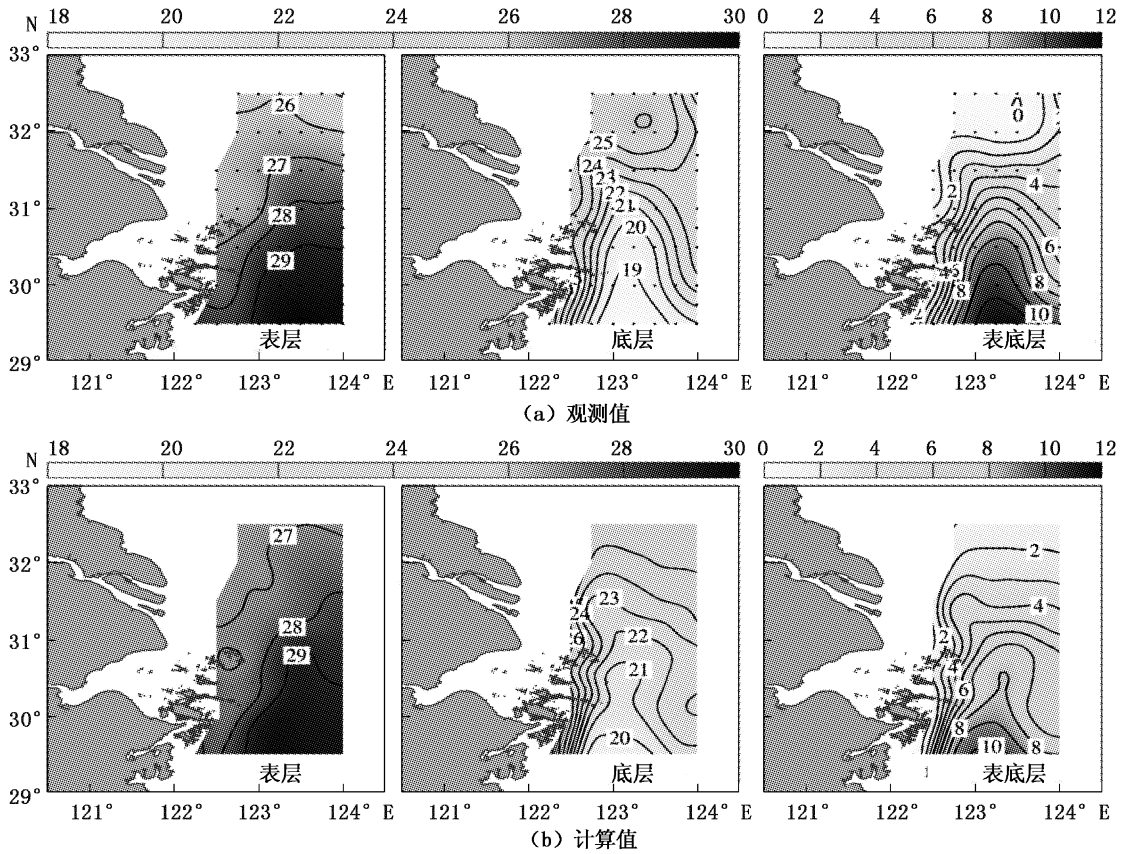


图 3 2009 年长江口夏末表底层水温 (°C) 观测值 (a) 和计算值 (b)

Fig.3 The observed (a) and simulated (b) water temperature (°C) off the Changjiang Estuary in later summer, 2009

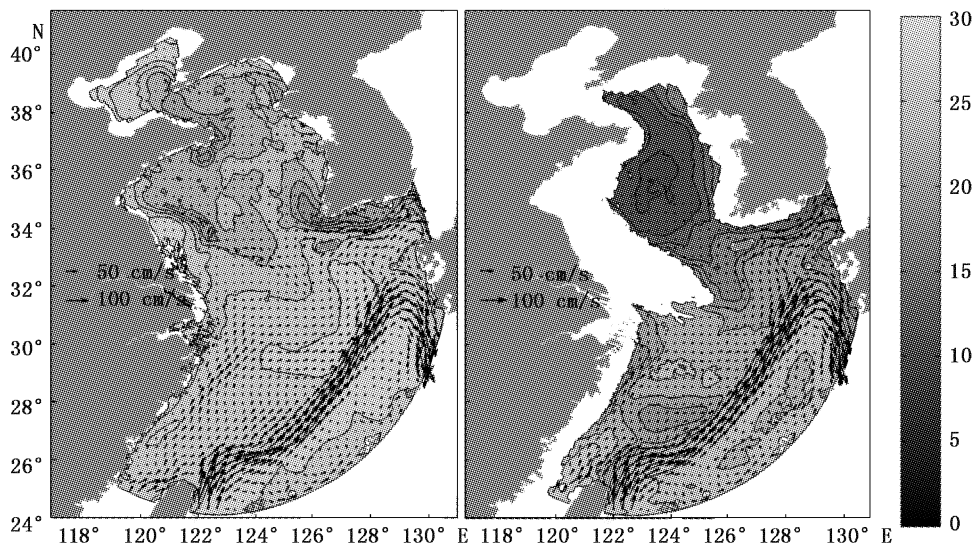


图 4 夏季 (8 月) 10 m 和 50 m 层水温 (°C) 与陆架环流数值模拟结果

Fig.4 The simulated water temperature (°C) and shelf circulation on layers of 10 m (left) and 50 m (right) beneath the surface in summer (August)

2.2 东中国海鲈鱼渔场与水温的关系

东中国海的鲈鱼共有两个种群:闽南-粤东近海地方群系和东海群系。前者栖息于福建南部

沿海水域,不做长距离洄游,无明显越冬洄游迹象。后者主要在东海中南部黑潮流系西侧大洋主温跃层以上水层内越冬,本文研究即以东海群

系为主。每年春季,随着近海水温回升,在东海中南部海域越冬的东海群系由越冬场向浙江近海产卵洄游,性腺成熟的即在鱼山、舟山和长江口渔场产卵,未成熟的继续北上进入黄海。4-6月,孵化的幼鱼就地索饵,体长增加后逐步游向东海外海和黄海。9-10月部分鱼群北上至东海

北部和黄海南部索饵,部分进入黄海;10月以后,随着黄海水温下降,进入黄海索饵的鱼群逐步南下;11月基本分布在黄海中部和南部;12月继续南下返回东海越冬场。在黄海的部分当年生幼鱼12月以后不返回其亲鱼越冬场,而停留在大、小黑山西部深海区越冬,翌年春季回归北上^[1]。

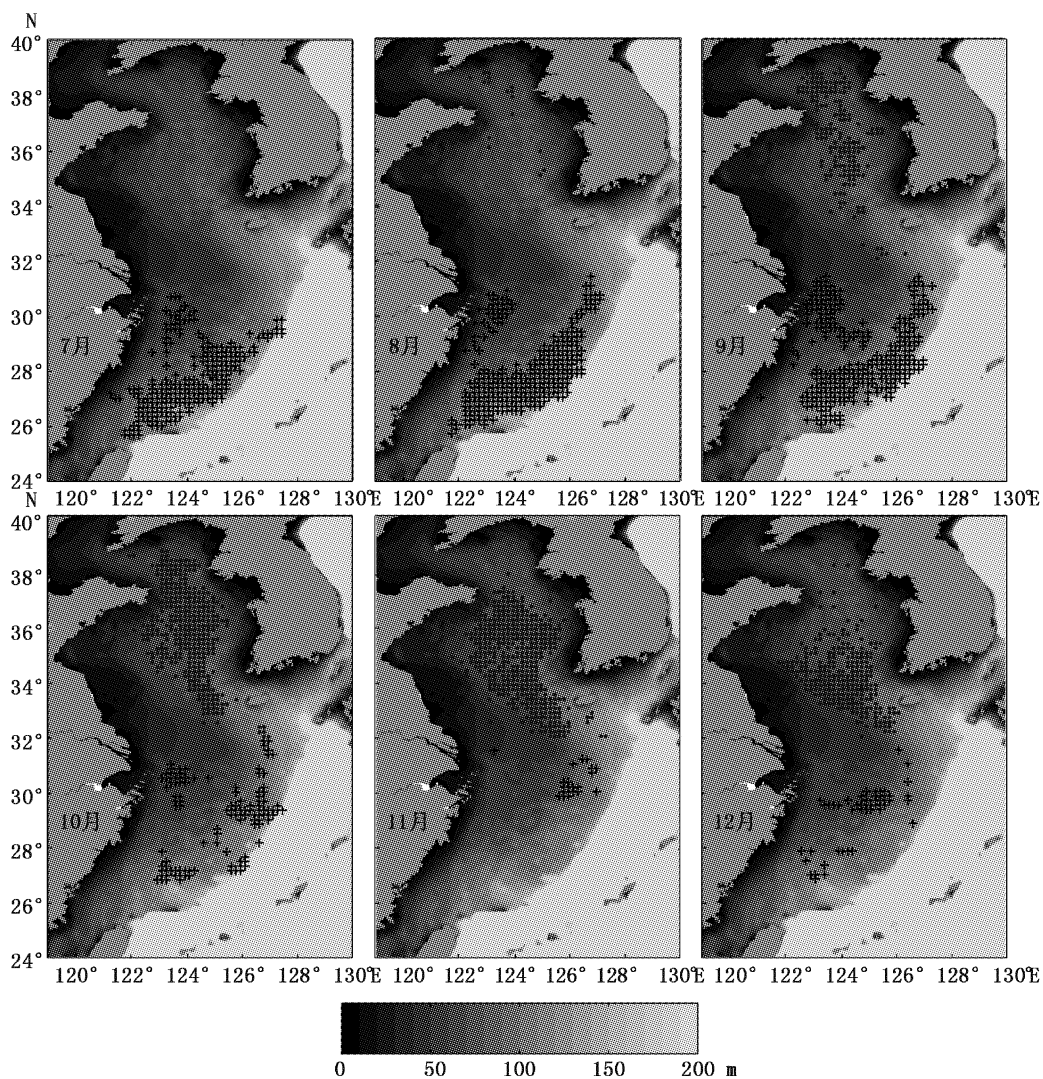


图5 7-12月东中国海鲈鱼渔场资料

Fig. 5 The fishing ground of chub mackerel in the East China Sea from July to December

●为北部渔场;+为南部渔场;海域底色为水深;水深单位m。

上海海洋大学鱿钓技术组提供了1998年至2011年间,时间分辨率为月、空间分辨率为 $10'$,进行整理汇总后的渔业数据共3 863条。每条数据包含年、月、经纬度、产量、放网次数、CPUE、SST等信息。去除零渔获的网次后,绘制了7-12月份鲈鱼大型灯光围网作业空间分布(图5),作业位置与上述鲈鱼东海群系在下半年的索饵、

越冬洄游路径相符。作业点全部位于东经 121° 以东,且以北纬 32° 附近长江口外沙洲50 m等深线为界,东中国海鲈鱼渔场明显分为了北纬 32° 以北的黄海渔场和北纬 32° 以南的东海渔场。南部渔场主要集中在7-9月作业,8月的平均CPUE最大(23.1吨/网),且南部渔场CPUE高于北部渔场;9月,北部渔场作业网次增加,10月

起北部黄海渔场作业网次开始高于南部东海渔场,且北部渔场的 CPUE 也开始高于南部渔场,11-12 月则主要在黄海渔场的深水区作业,12 月的平均 CPUE 最大,达 35.4 吨/网。作业水深基本集中在 50~200 m 范围内,与大型围网的作业特点以及鲈鱼主要栖息于黑潮西侧温跃层以上水层的特性有关。

本文尝试以 CPUE 来扩展作业海域的表层水温样本数据量,在适宜水温的求解上体现了 CPUE 的指示作用。原有作业网次(含零渔获站点),即作业海域 SST 数据样本量 3 863 个。对 CPUE 非零的数据点,如 CPUE 为 9.3 吨/网次,此作业点的 SST 值即以取整法以 10 个样本量计

入。由此,CPUE 化后的 SST 数据共计样本量为 84 412 个,此数值略超过历年的总渔获量(吨)。所得 7-12 月鲈鱼渔业表层水温概率分布如图 6 所示,北部渔场的概率密度自 9 月份起逐月下降,11 月和 12 月降至 0.2 左右;南部渔场 8 月的适宜温度幅度最窄,概率密度值最大,10 月降至最低,为 0.3 左右,11 月和 12 月回升至大于 0.4。最佳表温及其上下界等见表 2,8 月份的最佳表层水温达到最高,分别为北部渔场 25.5 °C,南部渔场 29.1 °C。之后,最佳表层水温逐月下降,12 月份达到最低,分别为北部渔场 13.8 °C,南部渔场 18.9 °C。

表 2 东中国海鲈鱼渔场适宜表层水温

Tab. 2 The optimal SST of chub mackerel fishing ground in the East China Sea

月份	渔场	表温下界/°C	表温上界/°C	最适表温/°C	网次	样本数	CPUE/(吨/网)
7	南	27.5	29.4	28.4	392	5 585	16.5
8	北	24.7	26.4	25.5	18	153	8.8
	南	28.6	29.6	29.1	647	14 036	23.1
9	北	22.4	24.8	23.6	210	3 084	15.1
	南	26.9	29.0	28.0	484	10 141	22.6
10	北	18.3	21.2	19.8	657	12 284	20.4
	南	24.3	27.1	25.7	128	2 227	18.3
11	北	15.2	19.1	17.1	794	19 548	24.9
	南	20.2	21.9	21.0	21	476	21.4
12	北	11.9	15.7	13.8	457	15 643	35.4
	南	18.1	19.8	18.9	55	1 235	19.6

2.3 温盐流数值模式在鲈鱼渔场预测中的应用

基于东中国海鲈鱼渔场分为南北两区,位于东经 121°以东、且作业区基本在 50~200 m 水深海区的特点,主要以表层适宜水温为判定依据来初步构建东中国海鲈鱼渔场数值预报模块。在东经 121°以东、水深为 50~200 m 东中国海海区,以 $\mu \pm \sigma$ 为渔场适宜表层水温的范围,以 $\mu \pm 0.1$ °C 为最佳适宜水温,根据东中国海鲈鱼渔业渔场数值预报模块的计算结果,以 2009 年为例,给出了 7-12 月鲈鱼渔场回报图(图 7),格点水平分辨率也为 10'×10'。对比图 5 与图 7 可见,7 月份,数值模型测算结果与历史资料的渔场位置对应良好;同样,数值模型测算结果再现了北部渔场 8 月份起黄海深水区周边发展,10 月达到最

盛(由图 7 中放大一倍的标记数可见,下同),11 月渔场位置南移,12 月基本位于黄海海盆深水区的过程;以及南部渔场 8 月最盛,10 月起大降,11 月和 12 月远离黑潮主轴西侧海域,西撤至 100 m 等深线附近的发展过程。可见,11-12 月在黄海深水区捕捞的鲈鱼应为部分当年生不返回其亲鱼越冬场、而停留在大、小黑山西部深水区越冬的幼鱼^[1]。上述分析表明,数值模型结果与历史捕捞作业数据符合良好,说明本文所建立的三维温盐流海洋数值模型和相应渔场、渔情预报模块适用于东海区鲈鱼渔业渔场和渔情预测、预报应用,待今后进一步深化和改进后,将具有一定的应用价值。

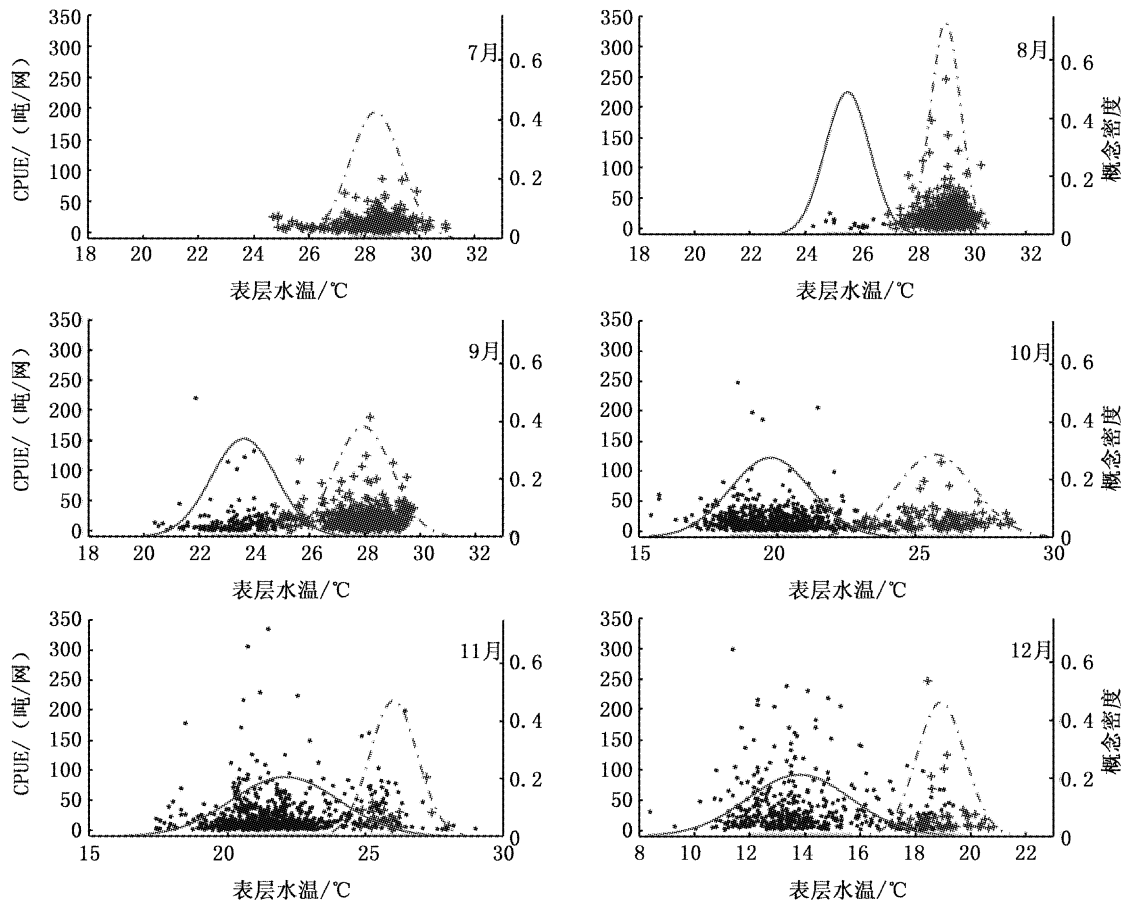


图 6 7-12 月东中国海鲈鱼渔场表层水温概率密度分布

Fig. 6 The probability density of the SST of chub mackerel fishing ground in the East China Sea from July to December

●、+ 分别为北部和南部渔场 CPUE, 纵坐标对应左坐标; 左侧实线和右侧虚线分别为北部和南部渔场概率密度。

讨论水温是重要的海洋环境要素, 其时空分布特性对海洋生物具有深刻影响。水温的年际、季节、昼夜等变化和差异都能影响渔场和渔情的分布与变化。特定海域的水温态势不仅受海面热通量的影响, 更是海洋水平环流、上升流和不同水团交汇混合的结果。东中国海的水温、特别是海洋热平流运动深受准周期性的多年际变化 ENSO^[8-9] 和北太平洋涛动 (NPO) 的影响, 研究这些多年变化对海域水温的影响是今后渔场、渔情预报的重要研究方向。

本文初步建立的东中国海区鲈鱼渔场预测预报模块, 仅以海表面水温作为预报因子, 数值模拟的结果表明对鲈鱼渔场的回报结果良好。然而, 渔场的分布除了受水温的季节性影响外, 还与水温的垂向分布, 以及叶绿素 a 浓度、盐度、

海面高度、海面风场等环境因子相关。因此, 在渔场渔情数值预报系统中, 需要考虑多种环境要素, 进行多角度综合分析, 以获得时间和空间尺度上更为精准的预报结果。以往关于鲈鱼渔场预报研究多以遥感的 SST 作为依据, 数值预报模型的优点在于可根据气象预报资料进行三维水温结构的预测预报。因缺乏渔场盐度等实测资料, 目前初步建立的渔场预报系统目前仅以表层水温和水深等信息为渔场判定标准, 而未包含海区盐度、垂向水温、高水平分辨率的温盐和叶绿素 a 锋面、中尺度涡流等信息, 这也是渔场预报系统今后发展、改进和完善的方向。同样, 渔业作业数据收集的同时, 除了使用卫星遥测等多途径的环境数据来源外, 现场海域多参数、高时空分辨率的环境参数收集也是必不可少的工作。

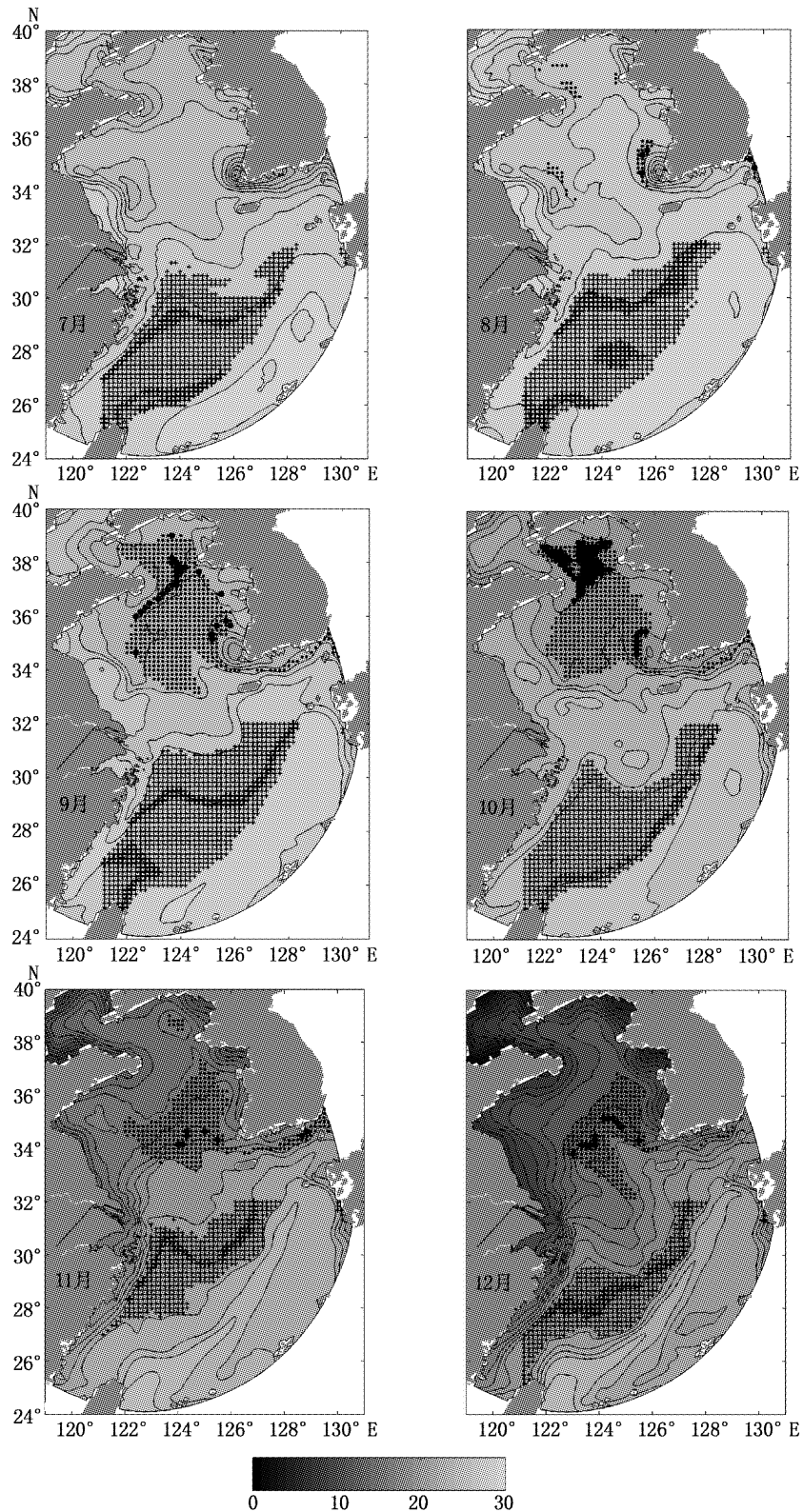


图 7 7-12 月东中国海数值模拟表层水温 (°C) 与鲈鱼渔场位置回报图

Fig. 7 The monthly simulated SST and the forecasted fishing ground of chub mackerel in the East China Sea from July to December

•为北部渔场, +为南部渔场;最佳水温 ± 0.1 °C 的格点处 •和 + 标记放大一倍。

此外,饵料生物发生的量及生物量高峰出现的时间点和维持的时段长短也是影响鲈鱼等中上层鱼类资源量的重要因素^[21]。建立海域三维温盐流数值模式,同时包含营养盐运输模块以及浮游植物、浮游动物和碎屑等变量(如 NPZD 型)的数值生态动力学模型是建立渔场预测预报数值模式的关键,也是当今世界渔业先进国家的发展方向。夏季至秋初是长江口外海等海域中底层水低氧现象高发季节^[22-26],低氧水团成为鱼类洄游路线上的屏障,今后,近河口区的渔场预报模型中引入水质模型考虑缺氧因素也是必不可少的一个环节。

上海海洋大学鱿钩技术组为本文提供了鲈鱼渔业和 SST 数据;华东师范大学朱建荣教授课题组提供了长江口外海温盐观测数据;NOAA 网站提供了气象数据,NASA 网站提供了云量数据。谨致谢忱。

参考文献:

- [1] 李纲,陈新军等. 东黄海鲈鱼资源评估与管理决策研究 [M]. 北京:科学出版社,2011:1-7.
- [2] 刘勇,严利平,胡芬,等. 东海北部和南海南部鲈鱼年龄和生长的研究[J]. 海洋渔业,2002, 27(2):133-138.
- [3] 李振太,许柳雄. 东海南部鲈鱼生物学特征研究[J]. 福建水产,2005,1:47-50.
- [4] 孙耀,于淼,刘勇,等. 现场胃含物法测定鲈的摄食与生态转换效率[J]. 水产学报,2003,27(3):245-250.
- [5] 程家骅,林龙山. 东海区鲈鱼生物学特征及其渔业现状的分析研究[J]. 海洋渔业,2004,73-78.
- [6] 苗振清. 东海北部鲈鱼渔场水文特征的统计学研究[J]. 海洋与湖沼,2003,34(4):397-406.
- [7] 张晶,韩仕鑫. 黄、东海鲈鱼渔场环境分析[J]. 海洋渔业,2004,26(4):321-325.
- [8] SUN C H, CHIANG F S, TSOA E, et al. The effects of El Nino on the mackerel purse-seine fishery harvests in Taiwan: An analysis integrating the barometric readings and sea surface temperature[J]. Ecological Economics, 2006(56):268-279.
- [9] 洪华生,何发祥. 厄尔尼诺现象和浙江近海鲈鱼渔获量变化关系[J]. 海洋湖沼通报,1997(4):8-16.
- [10] 崔科,陈新军. 东、黄海围网渔场鲈鱼产量的年际变动[J]. 海洋学研究,2005,23(2):41-49.
- [11] 曹欣中,浙江近海沿岸上升流与渔场的关系[J]. 海洋湖沼通报,1985(1):25-28.
- [12] 林传兰,徐炳荣,黄树生,等. 浙江沿海水域温盐度的年际变化和渔况变动的关系[J]. 水产学报,1993,17(2):85-93.
- [13] 郑建元. 纬向垂直环流在东海渔场形成过程中的作用[J]. 水产学报,1982,6(3):273-286.
- [14] 于洪华. 东海温跃层特征分析[J]. 东海海洋,1988,6(1):1-11.
- [15] 葛人峰,郭景松,于非,等. 黄、东海陆架海域水温垂向结构类型划分与温跃层分析[J]. 海洋科学进展,2006,24(4):424-435.
- [16] DU P J, ZHANG H, XIAO W J, et al. Analysis of thermohaline and current distribution characteristics of Zhejiang and Fujian waters in summer[J]. Acta Oceanologica Sinica,2011,30(5):71-83.
- [17] 朱建荣. 长江口外海区叶绿素 a 浓度分布及其动力成因分析[J]. 中国科学 D 辑地球科学,2004,34(8):757-762.
- [18] 朱建荣. 夏季长江口外水下河谷西侧上升流产生的动力机制[J]. 科学通报,2003,48(23):2488-2492.
- [19] WU H, ZHU J R, SHEN J, et al. Tidal modulation on the Changjiang River plume in summer [J]. Journal of Geophysical Research 116, C08017, doi: 10. 1029/2011JC007209, 2011.
- [20] 林军,章守宇,龚甫贤. 象山港海洋牧场规划区选址评估的数值模拟研究:滨海电厂温排水温升的影响[J]. 上海海洋大学学报,2012,21(5):816-824.
- [21] 官文江,陈新军,高峰,等. 东海南部海洋净初级生产力与鲈鱼资源量变动关系的研究 [J]. 海洋学报,2013,35(5):121-127.
- [22] LI D J, ZHANG D, HUANG Y, et al. Oxygen depletion off the Changjiang (Yangtze River) Estuary [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2002,45(12):1137-1146.
- [23] WEI H, HE Y C, LI Q J, et al. Summer hypoxia adjacent to the Changjiang Estuary [J]. Journal of Marine Systems, 2007,67:292-303.
- [24] ZHU Z Y, ZHANG J, WU Y, et al. Hypoxia off the Changjiang (Yangtze River) Estuary: Oxygen depletion and organic matter decomposition[J]. Marine Chemistry, 2011,125:108-116.
- [25] ZHANG J, GILBERT D, GOODAY A J, et al. Natural and human-induced hypoxia and consequences for coastal areas: synthesis and future development[J]. Biogeosciences,2010,7:1443-1467.
- [26] ZOU J J, YANG G, LIU J H, et al. Distribution Characteristics of Dissolved Oxygen in the Sea Area Adjacent to the Changjiang River Estuary in September[J]. Advances in Marine Science, 2008,26(1):65-73.

Study on the fishing ground forecasting of chub mackerel based on a 3D numerical ocean model in the East China Sea

LIN Jun^{1,2}, YAN Qing¹, LI Gang^{1,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. International Center for Marine Studies, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fisheries Resource Exploitation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The relationship between central fishing ground and sea surface temperature (SST) were analyzed quantitatively by a mathematical statistics method, based on the monthly (from July to December) fishery data of chub mackerel (*Scomber japonica*) in the East China Sea from 1998 to 2011. The fishing ground of chub mackerel in the East China Sea was divided into two parts, the northern and southern fishing ground, by a zonal boundary along 32° N, and the optimal SST of each fishing ground was obtained from the result of statistics. Based on the ocean model, ECOM-si, a three dimension (3D) numerical model coupled with modules of temperature, salinity and current simulation in the East China Sea was established to do fishing ground forecasting. Using the monthly optimal SST as criterion, the numerical model coupled with a preliminary? fishing ground forecasting module of chub mackerel. The fishing ground forecasting module successfully demonstrated the position variation of central fishing ground of chub mackerel during July to December, the result agreed well with the historical fishing data. The numerical model reproduced the process of the northern fishing ground developed surrounding deep water of the Yellow Sea since August, covered the maximum area of optimal SST in October, moved southward in November, and occupied the deep water area of the Yellow Sea Basin in December. On the southern fishing ground, maximum area of optimal SST occurred in August, then decreased dramatically in October, and moved from the west side of the Kuroshio mainstream and withdraw westward to near the isobaths of 100 m in November and December. The results show that the 3D numerical model with modules of temperature, salinity and current simulation and the preliminary? fishing fishery forecasting module could be applied to do studies on fishing ground forecasting of the important fisheries in the East China Sea.

Key words: East China Sea; fishing ground of chub mackerel; numerical ocean model; optimal SST; Gaussian distribution