

文章编号:1000-0615(2009)05-0770-08

秘鲁外海茎柔鱼渔场分布和水温结构的关系

胡振明¹, 陈新军^{1,2,3}, 周应祺^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学大洋生物资源开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306;

3. 上海海洋大学大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要:分布在东南太平洋海域的茎柔鱼是重要的经济性头足类,是我国鱿钓船队的主要捕捞对象之一。研究茎柔鱼渔场分布及其与水温的水平、垂直结构等关系,是探索渔场形成机制及其规律的重要内容。本文根据2006年1-12月我国鱿钓船在秘鲁外海的渔捞记录、表温(SST)和5~180 m垂直水温等资料,用3种方法计算SST的水平梯度(D_{max} , D_{square} 和 D_{mean}),用ArcGIS 9.0和Sufer 8.0软件分析绘制单船平均日产量(CPUE)和SST、SST水平梯度关系的分布图、水温垂直结构分布图,分析茎柔鱼渔场分布及其与水温结构的关系。结果表明,全年中心渔场分布在80~85°W、10~17°S, SST为18~28℃,产量分布呈现明显的空间变化。其中,6-8月为全年最高产时期,其中心渔场分布在81~83°W、12~13°S,相应的SST为18~23℃。SST水平梯度与渔场分布关系密切,水平梯度 D_{square} 和产量的拟合度为最优($P < 0.001$),中心渔场相应的 D_{square} 为0.6~1.7℃。水温垂直结构分析认为,6-8月通常在81°W、12~13°S附近形成上升流中心,中心渔场基本位于上升流冷水团边缘81°30'~82°30'W。研究认为,该渔场因上升流而形成,主要分布在上升流引起冷水与外洋暖水的交汇区,与SST、SST水平结构、水温垂直结构关系极为密切。

关键词:茎柔鱼;表温;表温水平梯度;水温垂直结构;渔场分布;秘鲁外海

中图分类号:S 931.4

文献标识码:A

茎柔鱼(*Dosidicus gigas*)属大洋性浅海种,资源量大,广泛分布于东太平洋的加利福尼亚(37°N)到智利(47°S)的海域中^[1-3]。秘鲁外海的茎柔鱼于上世纪90年代初被大规模开发。国内外的诸多学者就秘鲁外海茎柔鱼的生物学^[3-7]、渔场分布^[7-12]、及其与海洋环境的关系^[6, 10-11, 13-15]等方面进行了研究。在海洋环境因子方面,主要集中在表温(sea surface temperature, SST)资料。根据渔场形成的原理, SST水平梯度以及水温的垂直结构也是影响渔场的重要因子^[16],特别是在秘鲁外海的上升流海域。为此,本文根据2006年1-12月我国鱿钓船在秘鲁外海的渔捞记录,利用数理统计方法和地理信息系统(GIS),对秘鲁外海茎柔鱼渔场分布

与SST、SST水平梯度和垂直水温结构的关系进行分析,从水温结构来进一步探讨秘鲁外海茎柔鱼渔场形成机制及其规律,为鱿钓生产作业和渔情预报提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

渔捞记录来自上海水产大学鱿钓技术组,采集自2006年1-12月在秘鲁外海(图1)生产的我国鱿钓船,包括作业日期、作业经纬度、日产量。按月份的SST和垂直水温数据(5~180 m)来自哥伦比亚大学网站 <http://iridl.ldeo.columbia.edu>,空间分辨率分别为1°×1°和1.5°×1°。

收稿日期:2007-11-16 修回日期:2008-01-21

资助项目:国家科技支撑计划(2006BAD09A05);2006年度教育部新世纪优秀人才计划(NCET-06-0437);上海市捕捞学重点学科资助(T1101)

通讯作者:陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

1.2 方法

数据预处理 定义经纬度 $1^\circ \times 1^\circ$ 为一个渔区。按月计算一个渔区内的单船平均日产量 (CPUE), 单位为 t/d 。

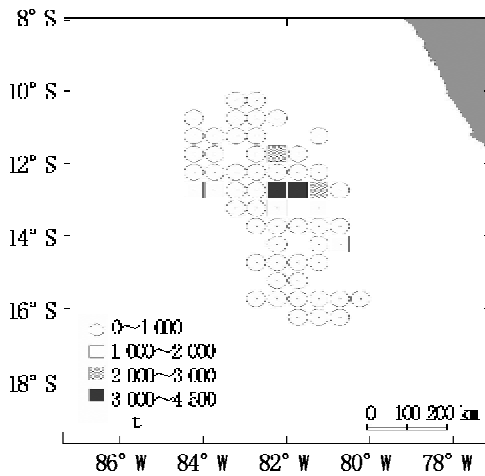


图1 2006年我国鱿钓船队在秘鲁外海生产海区分布图

Fig.1 The fishing area of Chinese squid fishing fleet off Peru in 2006

SST、SST 水平梯度插值 利用 ArcGIS 9.0 软件对 SST 及 SST 水平梯度数据进行插值, 插值方法为普通克里格插值, 其计算公式为^[17-19]

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

式中, $Z(x_0)$ 为未知样本点的值, $Z(x_i)$ 为未知样本点周围的已知样本点的值, λ_i 为第 i 格已知样本点对未知样本点的权重, n 为已知样本点的个数。

在确定权重时, 先考虑样本点和未知样本点的距离, 通过变异函数和结构分析来获得, 具体计算步骤见参考文献[18]。

渔区 (i, j) 的 SST 水平梯度 (D) 采用以下 3 种模式计算:

差值绝对值的最大值 ($D_{\max(i,j)}$)

$$D_{\max(i,j)} = \text{Max}(|T_{i+m,j+n} - T_{i,j}|) \quad m, n = -1, 0, 1$$

差值绝对值的平均值 ($D_{\text{mean}(i,j)}$)

$$D_{\text{mean}(i,j)} = \frac{1}{8} \sum (|T_{i+m,j+n} - T_{i,j}|) \quad m, n = -1, 0, 1$$

差值平方之和的平方根 ($D_{\text{square}(i,j)}$)

$$D_{\text{square}(i,j)} = \sqrt{\sum (|T_{i+m,j+n} - T_{i,j}|)^2} \quad m, n = -1, 0, 1$$

式中, $T_{i,j}$ 表示 $3^\circ \times 3^\circ$ 区域内中心点渔区的 SST; $T_{i+m,j+n}$ 分别表示周围 8 个栅格的 SST。

分析方法

(1) 产量和 CPUE 的时空分布。分析各月、每一经度和纬度与产量、CPUE 的关系, 以了解捕捞茎柔鱼的主要渔汛, 以及中心渔场分布海域;

(2) 鱼类资源分布与海洋环境因子关系密切, 通常认为渔获量与其对应的环境因子呈现出正态性分布^[19]。为此, 我们利用正态函数来拟合 D 与产量的关系, 并检验其显著性, 从而获得最适的 D 表示方法;

(3) 利用 ArcGIS 9.0 分别绘制各月 CPUE、SST 及 D 空间分布图, 分析 CPUE 空间分布及其与 SST、 D 的关系;

(4) 本文仅以最高产量月份 (6-8 月) 为案例, 利用 Sufer 8.0 绘制水温垂直剖面图, 分析 6-8 月中心渔场的垂直水温结构。

2 结果

2.1 产量和 CPUE 的时空分布

时间分布 统计认为 (图 2), 6-11 月累计产量为 20 686 t, 约占全年产量的 70%, 其中产量较高的为 6-8 月。从 CPUE 分析 (图 2), 3 月份 CPUE 最高, 为 6.93 t/d ; 其次为 8 月份 (6.57 t/d); 6 月份为 6.56 t/d ; 其余月份的 CPUE 均在 6 t/d 以下。

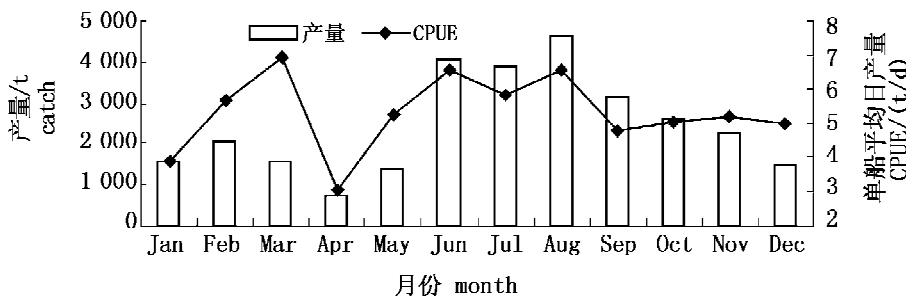


图2 各月茎柔鱼产量和 CPUE 分布

Fig.2 The monthly distribution of catch and CPUE of *D. gigas*

空间分布 产量分布呈现明显的空间变化(图3,图4)。在81~83°W、12~13°S海区产量最高。CPUE在经度方向上似乎自西向东逐渐减小;在纬度方向北高南低,10~15°S海域的CPUE在4.5 t/d以上,15~17°S海域的CPUE小于4 t/d。

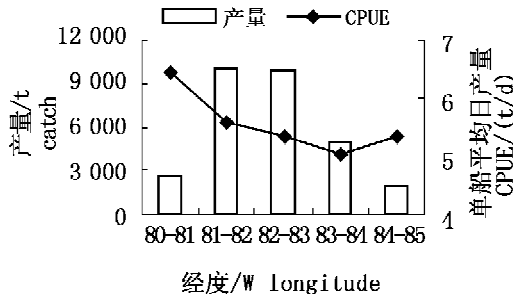


图3 茎柔鱼产量和 CPUE 按经度分布

Fig. 3 The distribution of CPUE and production of *D. gigas* by longitude

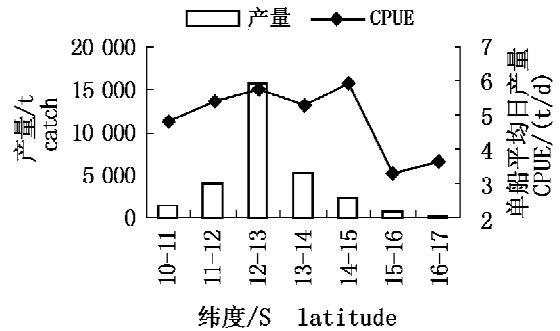


图4 茎柔鱼产量和 CPUE 按纬度分布

Fig. 4 The distribution of CPUE and production of *D. gigas* by latitude

2.2 产量与 SST、D 的关系

通过正态函数的拟合,3种水平梯度计算方法中以 D_{square} 拟合度最佳 ($P < 0.001$) (表1)。 D_{square} 在 1.0~1.4 °C 范围内产量较高(图5)。

表1 利用正态函数对3种表温水平梯度计算结果

Tab.1 The results of fitting for the three horizontal gradients of temperatures with normal distribution function

名称 indicators	相关系数(R) relative coefficient	拟合度(R^2) fitting value	F 值 F value	显著性水平 P P-level
D_{max}	0.962 9	92.71%	32.069 82	0.001 56
D_{square}	0.978 6	95.76%	56.479 18	0.000 37
D_{mean}	0.733 3	53.77%	2.907 33	0.145 34

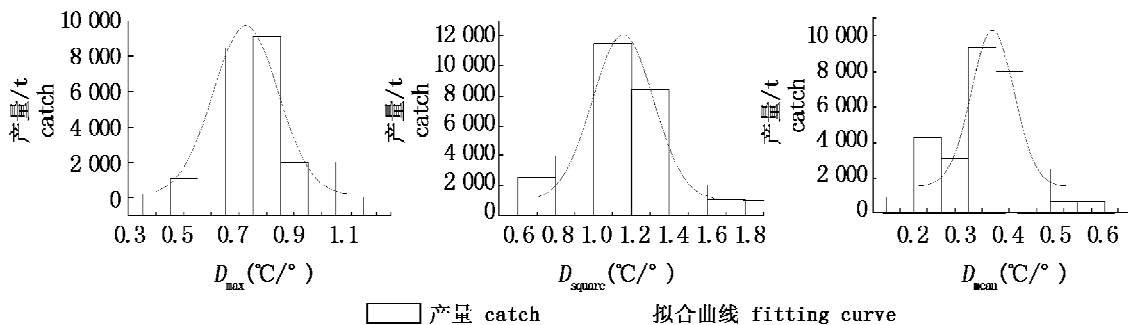


图5 产量和3种表温水平梯度的关系

Fig. 5 The relationship between catch and three horizontal gradients of sea surface water temperatures

2.3 空间分析

CPUE 的空间分布和 SST、D 的关系 1-5月,等温线弯曲明显,D等值线分布密集,基本与海岸平行。其中,4月份的D等值线最为密集。此时,中心渔场主要处于冷暖海流交汇区的暖水一侧,SST范围在22~28 °C(图6,表2)。产量较低,CPUE变化起伏大。

6-9月,海区水温降低,等温线趋向平直,D等值线稀疏。此时,秘鲁外海主要由冷水所占据。中心渔场的D在0.6~1.3 °C,SST为18~23 °C(图6,表2),产量较高。6-9月累计占全年产量的53%以上,CPUE也较高。

10月,随着南赤道暖流的增强,作业海域的SST逐渐升高,并开始向南推移,等温线弯曲度明

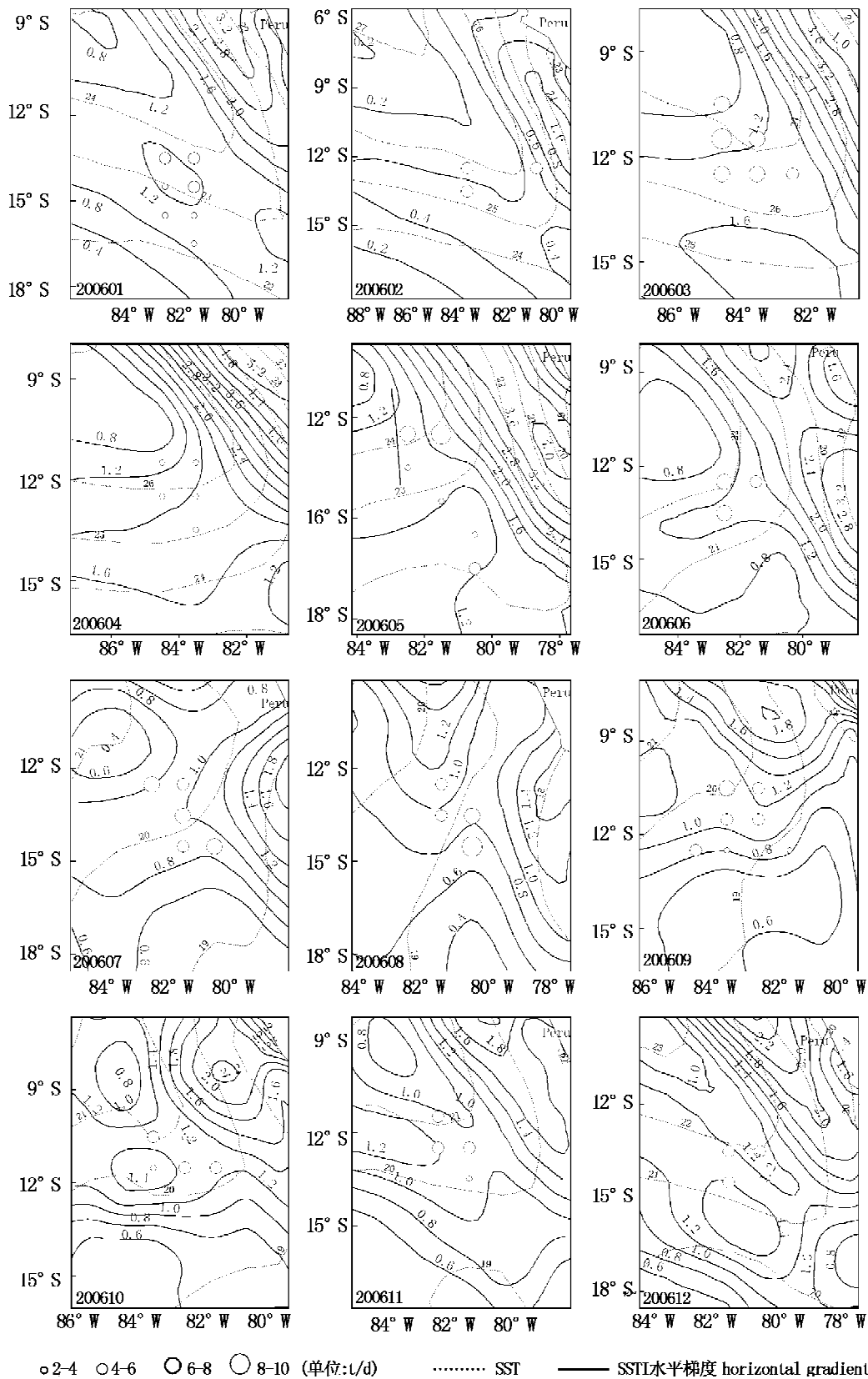


图 6 2006 年 1-12 月秘鲁外海茎柔鱼 CPUE 空间分布及其与 SST、SST 水平梯度的关系
 Fig. 6 The spatial distribution of CPUE of *D. gigas* and its relationship with SST and horizontal gradient of SST off Peru from January to December in 2006

表 2 2006 年 1-12 月秘鲁外海我国鱿钓船生产作业情况及其 SST、SST 水平梯度范围
Tab. 2 Monthly fishing situation for Chinese squid jigging fleet and ranges of SST and its gradient off Peru from January to December in 2006

时间 month	作业范围 fishing area	最高 CPUE(t/d) highest CPUE	D_{square} 范围($^{\circ}\text{C}/^{\circ}$) range of D_{square}	SST 范围($^{\circ}\text{C}$) range of SST
1 月 Jan.	81°W ~ 83°W 13°S ~ 17°S	7.8	0.6 ~ 1.2	22.2 ~ 23.5
2 月 Feb.	81°W ~ 84°W 12°S ~ 14°S	7.6	1.1 ~ 1.4	25.3 ~ 25.8
3 月 Mar.	82°W ~ 85°W 10°S ~ 13°S	12.7	0.9 ~ 1.3	26.6 ~ 27.2
4 月 Apr.	83°W ~ 85°W 11°S ~ 14°S	5.0	1.0 ~ 1.7	25.1 ~ 26.5
5 月 May	80°W ~ 83°W 12°S ~ 17°S	14.5	0.7 ~ 1.0	22.1 ~ 24.2
6 月 Jun.	81°W ~ 83°W 12°S ~ 14°S	16.5	1.0 ~ 1.3	21.6 ~ 22.2
7 月 Jul.	80°W ~ 83°W 12°S ~ 15°S	13.0	0.7 ~ 1.0	19.7 ~ 20.7
8 月 Aug.	80°W ~ 82°W 12°S ~ 15°S	18.0	0.6 ~ 1.2	18.7 ~ 19.4
9 月 Sep.	81°W ~ 85°W 10°S ~ 13°S	21.0	0.8 ~ 1.3	18.8 ~ 19.9
10 月 Oct.	81°W ~ 84°W 10°S ~ 12°S	19.0	1.1 ~ 1.6	20.1 ~ 21.1
11 月 Nov.	81°W ~ 83°W 11°S ~ 14°S	15.0	1.0 ~ 1.3	20.0 ~ 21.0
12 月 Dec.	80°W ~ 82°W 13°S ~ 15°S	16.0	1.1 ~ 1.5	21.3 ~ 22.0

显增大。11 月,开始出现与海岸平行的 D 等值线。12 月 D 等值线开始密集,并和海岸平行,等温线弯曲程度加大。期间,中心渔场主要位于 SST 为 19 ~ 22 $^{\circ}\text{C}$ 海域(图 6,表 2),产量逐渐下降,CPUE 基本在 5 t/d 左右。

综上所述,2006 年 1 ~ 12 月茎柔鱼中心渔场分布在 80 ~ 85°W,10 ~ 17°S,SST 为 18 ~ 28 $^{\circ}\text{C}$, D_{square} 为 0.6 ~ 1.7 $^{\circ}\text{C}/^{\circ}$,主要位于 D 等值线密集区边缘(表 2,图 6)。

中心渔场分布与水温垂直结构的关系 分析认为,产量最高为 6-8 月(图 2),高产区在 81 ~ 83°W、12 ~ 13°S 海区(图 3,图 4)。因此,对其高产区的水温垂直结构做一分析。以 13 $^{\circ}\text{C}$ 等温线作为上升流强度的指标,20 $^{\circ}\text{C}$ 等温线作为暖水团势力的指标。

6 月,中心渔场位于 81 ~ 83°W 海区内,海区内有较为明显的上升流,13 $^{\circ}\text{C}$ 等温线弯曲明显,顶端最高达到约 80 m 水层,上升流较为强盛。中心渔场等温线密集区在 12 ~ 13°S,40 m 水深处。此时暖水势力达到 83°W 海域,20 $^{\circ}\text{C}$ 等温线达到 50m 水层处(图 7-a,b)。

7 月上升流强度有所减弱,13 $^{\circ}\text{C}$ 等温线顶端在 120 m 水层。暖水势力范围逐步扩大。中心渔场所在水域等温线密集区深度下降,位于 60 m 左右,且向东移动。中心渔场也随着等温线密集区而东移(图 7-c,d)。

8 月暖水团的厚度加大,在 82°W 以西海域的 80 m 以上水域被广泛的暖水团占据。上升流强度和 7 月基本一致。中心渔场等温线密集区继

续东移,位于 60 m 水深(图 7-e,f)。

因此,6-8 月高产海区基本位于上升流所引起的冷水团边缘,在 40 ~ 60 m 水层的等温线密集,且存在温跃层。这一深度的等温线倾斜呈东南-西北走向,作业渔场随着暖水团的推移(上升流势力减弱)向东南方向移动(图 7)。

3 讨论和分析

3.1 SST 和渔场分布的关系

2006 年 1-12 月产量主要分布在 80 ~ 85°W、10 ~ 17°S 海域,其 SST 在 18 ~ 28 $^{\circ}\text{C}$,高产海区 SST 在 18 ~ 23 $^{\circ}\text{C}$,和其他学者的研究结果基本一致^[2,13,15]。但 2004 年我国鱿钓船主要分布在 77 ~ 83°W、9 ~ 19°S 海区^[15],2006 年比 2004 年向西偏了 2 个经度左右,且南北方向分布更为集中。尽管作业渔场在空间上发生变化,但是其适宜 SST 范围并未因此而发生改变,这说明 SST 是影响作业渔场分布的重要因子。

3.2 SST 水平梯度、水温垂直结构和渔场分布的关系

一般认为在 SST 水平梯度较大即 SST 等值线密集的海区,冷暖水交汇激烈,初级生产力高,有利于鱼类的生长^[16]。在秘鲁外海的茎柔鱼渔场,其高产海区位于 SST 水平梯度等值线密集区的边缘靠暖水一侧, D_{square} 为 1.1 ~ 1.3 $^{\circ}\text{C}$,符合北原渔况法则^[16],即在流界或锋面附近形成中心渔场。但是中心渔场分布还与水温垂直结构有着密切的关系。根据图 6 和图 7,在 SST 水平梯度大的海区,垂直水温的等值线十分密集,且等值线基

本呈水平,温跃层深度较浅(20~30 m左右)。而在高产海区的 SST 水平梯度相对适中,垂直水温的等值线会向暖水一侧倾斜,温跃层深度较 SST 水平梯度大的海区则有所下降(40~60 m左右)。由此推测,茎柔鱼可能喜欢待在 SST 水平梯度适中(1.1~1.3 °C/°)、垂直水温等值线倾斜的海区。而在 SST 水平梯度大、垂直水温等值线密集且水平的海区,由于温跃层深度浅,使适合茎柔鱼

栖息的上层水层缩小,迫使其向 SST 水平梯度小的海区移动,寻求更为开阔的栖息水域,从而在 SST 水平梯度等值线密集区边缘形成良好的渔场。因此,南赤道逆流和上升流引起的冷水所形成的交汇区(图 6,图 7)共同左右着茎柔鱼渔场的分布,是茎柔鱼中心渔场形成的机制,具体可用 SST 水平梯度和水温垂直结构得到体现。

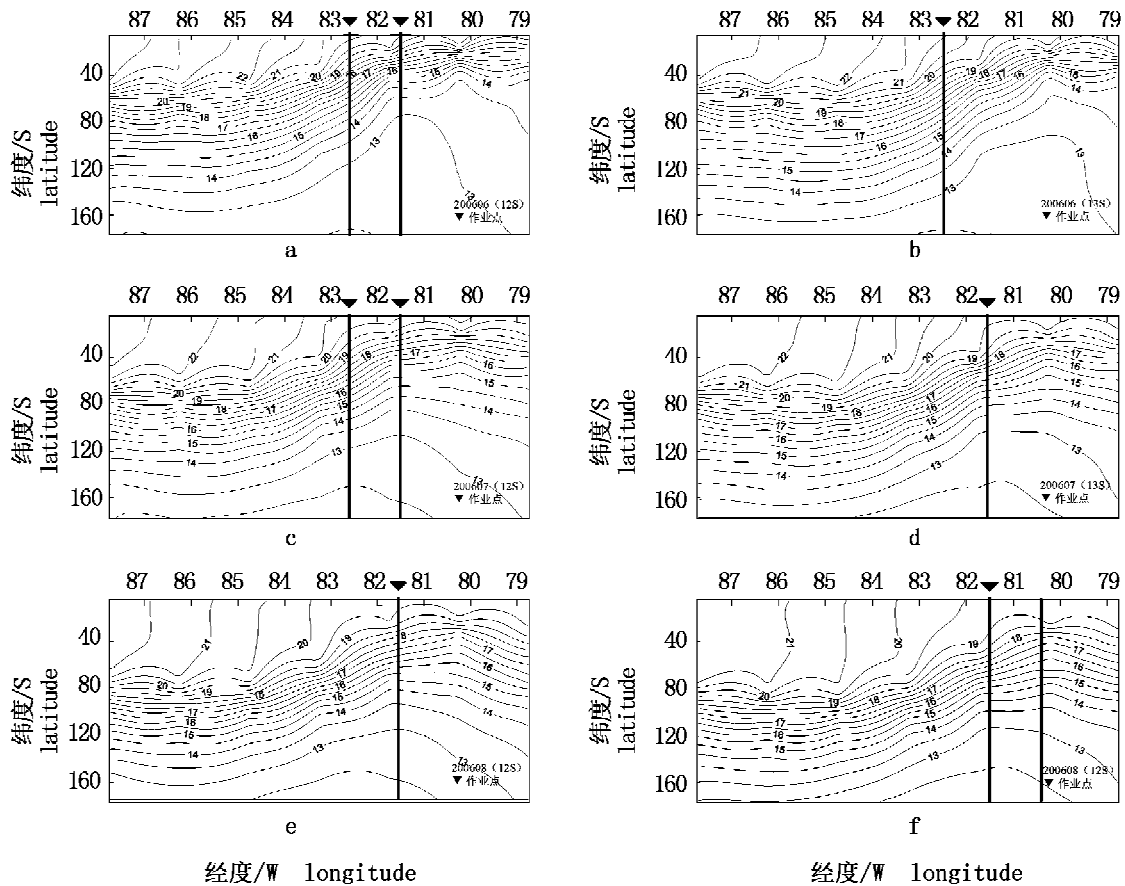


图 7 6-8 月茎柔鱼作业渔场和水温垂直结构的关系
 Fig. 7 The relationship between fishing ground of *D. gigas* and vertical temperature structure during June and August

3.3 秘鲁外海海洋环境特征和渔场形成机制的关系

在秘鲁沿岸有广泛的上升流,外海暖水(南赤道逆流)与上升流引起的冷水形成海洋锋,锋面由沿岸向外海一侧倾斜。根据海洋学原理,该类锋属于沿岸上升流锋,是前进锋的一种。沿岸上升流锋向岸一侧存在高密度的上升流海水,向海侧则是低密度的表层水^[20]。这可以用来解释秘鲁外海的水温结构特征。在沿岸由于存在高密

度上升流海水, SST 水平梯度大,温跃层深度浅。而在锋面向海侧则被低密度暖水占据, SST 水平梯度相对较小,温跃层深度增加。由此可见,秘鲁外海的海洋环境特征(尤其是上升流)对茎柔鱼渔场分布有重要影响。

参考文献:

[1] 王尧耕,陈新军. 世界大洋性经济柔鱼类资源及其渔业[M]. 北京:海洋出版社,2005:240-264.

- [2] Anatolio T, Carmen Y, Mariategui L, et al. Distribution and concentrations of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) off the Peruvian coast between 1991 and 1999[J]. Fisheries Research, 2001, 54:21-32.
- [3] Nigmatullin Ch M, Nesis K N, Arkhipkin A I. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) [J]. Fisheries Research, 2001, 54:9-19.
- [4] Argüelles J, Rodhouse P G, Villegas P, et al. Age, growth and population structure of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in Peruvian waters[J]. Fisheries Research, 2001, 54:51-61.
- [5] Tafur R, Villegas P, Rabí M, et al. Dynamics of maturation, seasonality of reproduction and spawning grounds of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) in Peruvian waters[J]. Fisheries Research, 2001, 54:33-50.
- [6] Cairistiona I, Anderson H, Rodhouse P G. Life cycles, oceanography and variability: ommastrephid squid in variable oceanographic environments[J]. Fisheries Research, 2001, 54:133-143.
- [7] 叶旭昌. 秘鲁外海茎柔鱼生物学和渔场初步研究[D]. 上海:上海水产大学, 2004.
- [8] 柯欣玮. 东太平洋美洲大赤鱿资源现况简介[J]. 国际渔业资讯, 2007, 172:47-53.
- [9] 缪圣赐. 日本远洋大型鱿钓船在秘鲁外海生产茎柔鱼情况[J]. 远洋渔业, 2000, 6:4-13.
- [10] 张新军, 杨军勇, 连大军. 秘鲁外海茎柔鱼资源及渔业开发[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(3):44-45.
- [11] 叶旭昌. 2001年秘鲁外海和哥斯达黎加外海茎柔鱼探捕结果及其分析[J]. 海洋渔业, 2002, 4:165-168.
- [12] Waluda C M, Yamashiro C, Elvidge C D. Quantifying light-fishing for *Dosidicus gigas* in the eastern Pacific using satellite remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 91:129-133.
- [13] Waluda C M, Yamashiro C, Rodhouse P G. Influence of the ENSO cycle on the light-fishery for *Dosidicus gigas* in the Peru current: An analysis of remotely sensed data[J]. Fisheries Research, 2006, 79:56-63.
- [14] 陈新军, 赵小虎. 智利外海茎柔鱼产量分布及其与表温的关系[J]. 海洋渔业, 2005, 27(2):173-176.
- [15] 陈新军, 赵小虎. 秘鲁外海茎柔鱼产量分布及其与表温的关系初步研究[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(1):65-70.
- [16] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京:海洋出版社, 2004:119-120, 150.
- [17] 汤国定, 杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京:科学出版社, 2006:368-369.
- [18] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于地统计方法的气候要素空间插值研究[J]. 高原气象, 2005, 24(6):974-980.
- [19] Sundermeyer M A, Rothschild B J, Robinson A R. Using commercial landings data to identify environmental correlates with distributions of fish stocks[J]. Fisheries Oceanography, 2005, 14(1):47-63.
- [20] 唐逸民. 海洋学[M]. 北京:农业出版社, 1997:188-190.

Distribution of fishing ground of jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) and its relationship with structure of sea water temperature in the waters off Peru

HU Zhen-ming¹, CHEN Xin-jun^{1,2,3}, ZHOU Ying-qi^{1,2,3}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. The Key Laboratory of Shanghai Education Commission for Oceanic Fishery Resources Exploitation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;

3. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Jumbo flying squid (*Dosidicus gigas*) distributed in the southeastern Pacific is not only an important economic oceanic squid, but also one of the important fishing targets for Chinese jigging fleets. The researches on distribution of this squid and its relationship with environmental conditions such as water temperature and its structure are the key content in searching for the mechanism of fishing ground and inherent laws. In this study, based on the fishing data from Chinese squid jigging fleets in the waters off Peru from January to December 2006, and the environmental data including sea surface temperature (SST), the water temperatures between 5 and 180 m, and the horizontal gradient of temperature (D) calculated by three different methods (D_{\max} , D_{square} and D_{mean}), the spatial plots of CPUE, SST, D and the vertical temperature structure are drawn respectively by use of software ArcGIS 9.0 and Sufer 8.0 to analyze the distribution of fishing ground and its relationship with structure of sea water temperature. The result indicated that the main fishing ground was around 80 – 85°W and 10 – 17°S with the range of 18 – 28°C SST, and the spatial variations in the catch distribution were evident. From June to August, the monthly catch was relatively high in the waters of 81 – 83°W and 12 – 13°S with the range of 18 – 23 °C. The distribution of fishing ground was closely related to the D , the indicator D_{square} ($P < 0.001$) was better than the two others, and the range of D_{square} was 0.6 – 1.7 °C in the main fishing ground. The results also showed that the upwelling was centralized around 12 – 13°S and 81°W during June to August, and the fishing ground was mainly distributed at the edge of upwelling between 81°30' – 82°30'W. Therefore, it could be concluded that the fishing ground was formed by the upwelling, which was distributed at the mixed region between oceanic warm water and cool water caused by upwelling, and was closely related with the optimum SST, D and vertical temperature structure.

Key words: *Dosidicus gigas*; sea surface temperature; horizontal gradient of temperature; vertical temperature structure; distribution of fishing ground; waters off Peru