

文章编号: 1674-5566(2010)04-0495-10

# 西北太平洋柔鱼渔场与水温垂直结构关系

陈峰<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2,3</sup>, 刘必林<sup>1,2,3</sup>, 钱卫国<sup>1,2,3</sup>, 田思泉<sup>1,2,3</sup>

(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可持续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:** 根据 2003—2007 年 8—10 月西北太平洋海域不同水层的温度和我国鱿钓船的生产资料, 对柔鱼作业渔场分布及其与不同水层 (5 m、50 m、100 m、200 m) 的温度、水温垂直结构 (100—200 m 水温差) 进行分析。结果表明, 8—10 月柔鱼中心渔场主要分布在 151°~156°E、41°~44°N 海域, 各月柔鱼中心渔场形成的水温垂直结构有所差异。8 月中心渔场各水层 (5 m、50 m、100 m、200 m) 的水温及 100~200 m 水温垂直梯度的适宜范围分别为 17~21℃、9~12℃、3~9℃、2~7℃ 和 0~0.03℃/m, 9 月分别为 15~18℃、8~11℃、3~6℃、2~5℃ 和 0~0.02℃/m, 10 月分别为 14~17℃、7~9℃、2~8℃、3~6℃ 和 0~0.02℃/m。分析还认为, 中心渔场主要分布在各水层水温锋面的暖水一侧。

**关键词:** 柔鱼; 水温垂直结构; 北太平洋; 渔场

**中图分类号:** S 931.4      **文献标识码:** A

## Relationship between fishing ground of *Ommastrephes bartramii* and vertical temperature structure in the northwestern Pacific Ocean

CHEN Feng<sup>1</sup>, CHEN Xin-jun<sup>1,2,3</sup>, LIU Bi-lin<sup>1,2,3</sup>, QIAN Wei-guo<sup>1,2,3</sup>, TIAN Si-quan<sup>1,2,3</sup>,

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

2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission Shanghai Ocean University Shanghai 201306, China;

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

**Abstract:** In this study the temperature at different layers (5 m, 50 m, 100 m and 200 m) and the temperature structure (difference of water temperature between 100m and 200m) in the fishing ground of *O. bartramii* are analyzed based on the fishing data from Chinese squid jigging fleets in the northwestern Pacific Ocean and temperature data from August to October in 2003—2007. The results indicate that the fishing ground of *O. bartramii* is distributed in the waters of 151—156°E and 41—44°N during August and October and the monthly temperature vertical structure is different in the fishing ground of *O. bartramii*. The optimal range of temperature at 5 m, 50 m, 100 m and 200 m layers and the difference of temperature from 100m to 200 m in the fishing ground of *O. bartramii* are 17—21℃, 9—12℃, 3—9℃, 2—7℃ and 0—0.03℃/m.

收稿日期: 2009-10-19

基金项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划 (2007AA092201); 国家发改委专项 (2060403); 教育部博士点基金 (20093104110002); 上海市捕捞学重点学科 (S30702)

作者简介: 陈峰 (1986—), 男, 硕士研究生, 专业方向为渔业资源学。E-mail: fchen@stmail.shou.edu.cn

通讯作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

m respectively in August And they are 15—18 °C, 8—11 °C, 3—6 °C, 2—5 °C and 0—0.02 °C /m respectively in September 14—17 °C, 7—9 °C, 2—8 °C, 3—6 °C and 0—0.02 °C /m respectively in October The results also indicate that the fishing ground is distributed in the warm side of front at different water layers

Key words: *Ommastrephes bartramii* vertical temperature structures North Pacific Ocean; fishing ground

柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*)广泛分布在北太平洋,该资源于 20 世纪 70 年代初首先由日本鱿钓船开发。中国大陆于 1993 年开始利用该种类,1994 年进行较大规模的商业性生产,目前柔鱼已成为我国远洋鱿钓渔船的主要捕捞对象<sup>[1]</sup>。150°E~165°E, 38°N~46°N 海域是中国、日本、韩国等鱿钓船的传统作业渔场<sup>[2]</sup>。国内外诸多学者如 Yatsu 等<sup>[3]</sup>、Bower 等<sup>[4]</sup>、Rodhouse<sup>[5]</sup>和陈新军等<sup>[2,6-8]</sup>对北太平洋渔场分布与表温之间的关系做了相关研究。柔鱼是一种暖水性种类,且有着昼夜垂直移动习性,因此水温垂直结构可能对柔鱼分布及渔场形成产生一定的影响,有必要从水温垂直结构来分析和探讨北太平洋柔鱼渔场形成的水文条件,其研究结果可为渔业生产和资源评估提供科学依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

### 1.1.1 生产数据

本研究的生产数据来自上海海洋大学鱿钓技术组,时间为 2003—2007 年 8—10 月;经纬度范围为 150°E~165°E, 38°N~45°N,内容包括日期、经度、纬度、产量和作业次数;空间分辨率 1°×1°,时间分辨率为月。

### 1.1.2 环境数据

本研究的水温数据来自美国哥伦比亚海洋环境数据库<sup>[9]</sup>。时间跨度为 2003—2007 年 8—10 月,经纬度范围为 150°E~165°E, 38°N~45°N,水深范围为 5~200 m;时间分辨率为月,空间分辨率为 0.5°×0.5°。

### 1.1.3 数据预处理

由于生产数据和水温数据的空间和时间分辨率不同,为此统一按空间分辨率 1°×1°和时间分辨率月对生产数据和水温数据进行预处理。

170°E 以西海域,冬春生柔鱼群体通常在夜晚栖息在 0~50 m 水层,白天下沉至 100 m 以下<sup>[2]</sup>。研究认为<sup>[10-11]</sup>, 5 m 水层温度 ( $T_5$ ), 50 m

水层温度 ( $T_{50}$ ), 100 m 水层温度 ( $T_{100}$ ), 200 m 水层温度 ( $T_{200}$ )及 100—200 m 水温梯度 ( $T_{100-200}$ )是影响柔鱼渔场的关键因子。为此,本文统计上述因子作为水温垂直结构的指标。

本研究以作业次数作为捕捞努力量,并以作业次数作为中心渔场分布的因子 (Andrade 和 Garcia 1999)<sup>[12]</sup>,分析柔鱼渔场与环境的关系。

## 1.2 分析方法

1.2.1 采用频度分析法,分析作业次数分布与各月不同水层温度的关系,获得 8—10 月各月柔鱼中心渔场分布的最适水温结构,即  $T_5$ 、 $T_{50}$ 、 $T_{100}$ 、 $T_{200}$ 及  $T_{100-200}$ 的适宜范围。

1.2.2 利用 Marine explorer 绘制产量与各水层温度的空间分布图,得出中心渔场与各水层温度的关系。由于篇幅有限,仅列出 2005 年 8~10 月渔场空间分布图。

1.2.3 统计发现,151°~156°E, 41°~44°N 海域的产量约占其总产量的 77% 以上,为此选取 151.25°E、152.25°E、153.25°E、154.25°E、155.25°E 和 156.25°E 经度向断面,来剖析其中心渔场的水温垂直结构。利用克里格插值法<sup>[14]</sup>对 8—10 月中心渔场经度向垂直水温进行插值,公式为

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

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;  $\lambda_i$  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。

利用 Surfer 8.0 绘制中心渔场垂直水温剖面图,分析其水温垂直结构与中心渔场分布的关系。

## 2 结果

### 2.1 作业次数分布与水温垂直结构关系

统计分析发现(图 1), 8 月柔鱼作业渔场的

适宜水温结构如下:  $T_5$  为  $17\sim 21\text{ }^\circ\text{C}$ , 约占作业次数的  $75.9\%$ ;  $T_{50}$  为  $9\sim 12\text{ }^\circ\text{C}$ , 约占作业次数的  $48.7\%$ ;  $T_{100}$  为  $3\sim 9\text{ }^\circ\text{C}$ , 约占作业次数的  $87.2\%$ ;

$T_{200}$  为  $2\sim 7\text{ }^\circ\text{C}$ , 约占作业次数的  $89.9\%$ ;  $T_{100-200}$  为  $0\sim 0.03\text{ }^\circ\text{C}/\text{m}$ , 约占作业次数的  $82.1\%$ 。

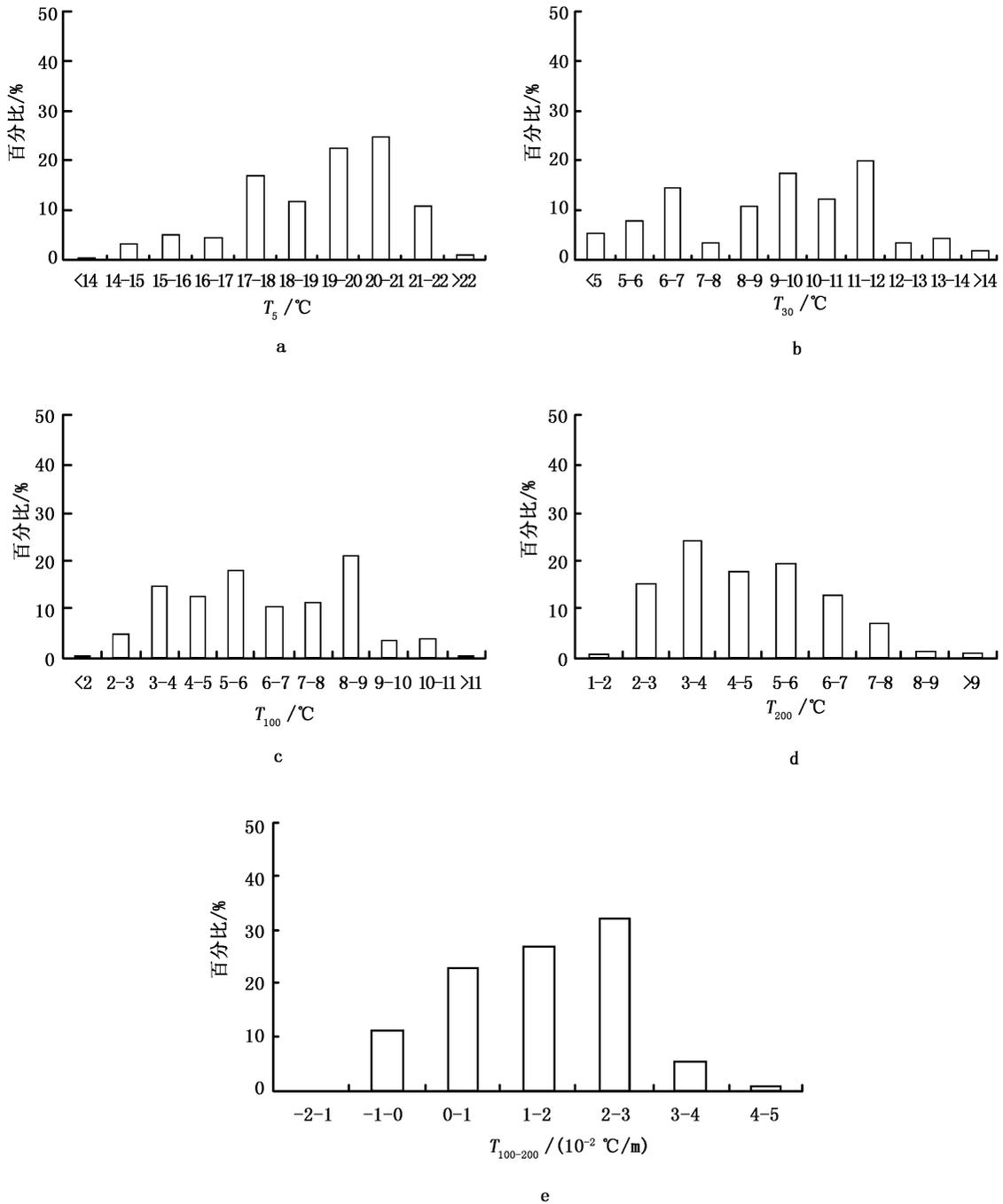


图 1 8月柔鱼渔场作业次数与水温垂直结构的关系

Fig 1 The relationship between fishing effort for targeting *O. bartramii* and water temperature structure in August  
a 5 m; b 50 m; c 100 m; d 200 m; e 100–200 m.

9月柔鱼作业渔场的适宜水温结构如下(图2);  $T_5$  为  $15\sim 18\text{ }^\circ\text{C}$ , 约占作业次数的  $64.6\%$ ;  $T_{50}$  为  $8\sim 11\text{ }^\circ\text{C}$ , 约占作业次数的  $55.4\%$ ;  $T_{100}$  为  $3\sim 6$

$^\circ\text{C}$ , 约占作业次数的  $56.2\%$ ;  $T_{200}$  为  $2\sim 5\text{ }^\circ\text{C}$ , 约占作业次数的  $77.6\%$ ;  $T_{100-200}$  为  $0\sim 0.02\text{ }^\circ\text{C}/\text{m}$ , 约占作业次数的  $64.9\%$ 。

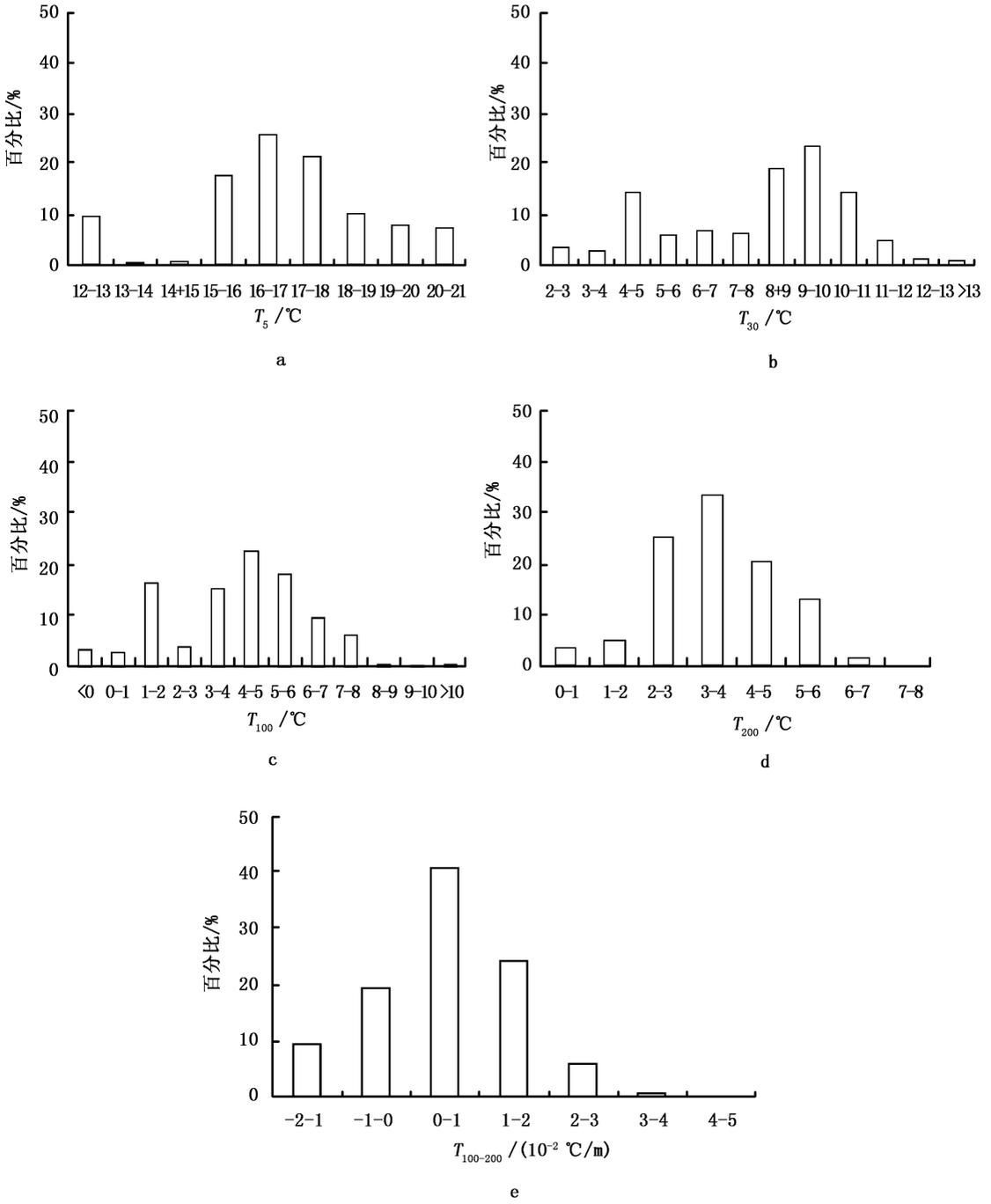


图 2 9月柔鱼渔场作业次数与水温垂直结构的关系

Fig 2 The relationship between fishing effort for targeting *O. bartramii* and water temperature structure in September  
a 5 m; b 50 m; c 100 m; d 200 m; e 100-200 m.

10月柔鱼作业渔场的适宜水温结构如下(图3):  $T_5$ 为14~17°C, 约占作业次数的72.3%;  $T_{50}$ 为7~9°C, 约占作业次数的43.8%;  $T_{100}$ 为2~8

°C, 约占作业次数的86.5%;  $T_{200}$ 为3~4°C、5~6°C, 约占作业次数的55.3%;  $T_{100-200}$ 为0~0.02°C/m, 约占作业次数的71.7%。

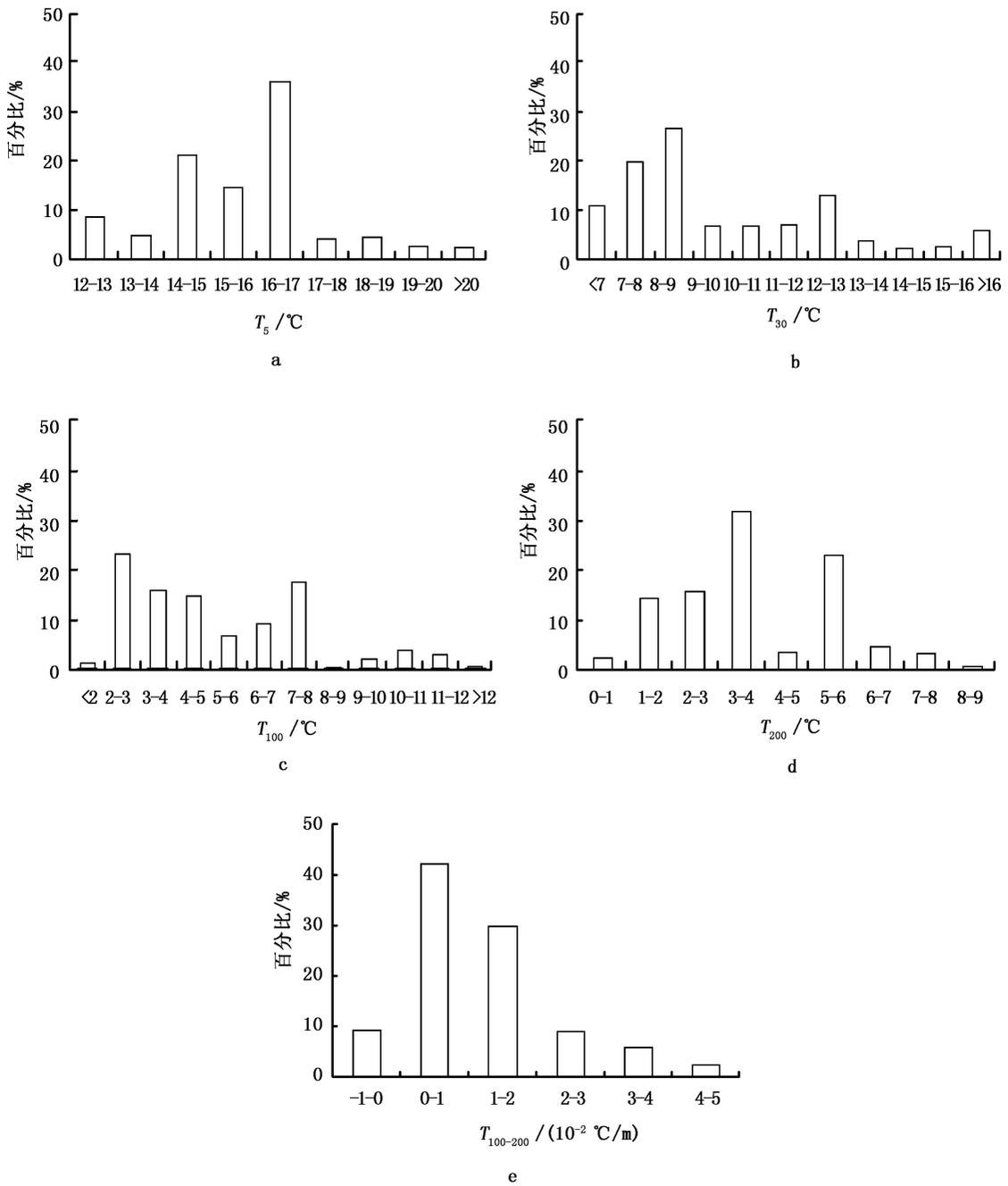


图3 10月柔鱼渔场作业次数与水温垂直结构的关系

Fig 3 The relationship between fishing effort for targeting *O. bartramii* and vertical temperature structure in October  
a 5 m; b 50 m; c 100 m; d 200 m; e 100—200 m.

## 2.2 柔鱼中心渔场与水温垂直结构的空间分布

2003—2007年8—10月柔鱼中心渔场基本上分布在 $150^{\circ}\sim 165^{\circ}\text{E}$ 、 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 海域。由于篇幅所限,本节仅列出了2005年8—10月各月柔鱼中心渔场分布及其与各水层温度、100~200 m

水层温度梯度的叠加图,并分析各水层温度的适宜范围。

分析认为,8月柔鱼中心渔场主要位于 $151^{\circ}\sim 156^{\circ}\text{E}$ 、 $41^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$ 海域(图4a),其产量约占月总量的65%以上,相应的5 m、50 m、100 m、200 m水层温度分别为 $17\sim 21^{\circ}\text{C}$ 、 $9\sim 12^{\circ}\text{C}$ 、 $3\sim 9^{\circ}\text{C}$ 和 $2\sim 7^{\circ}\text{C}$ (图4a-d)。分析发现,在 $151^{\circ}\sim 153^{\circ}\text{E}$ 、

41°~42°N海域,水温锋面向东南方向倾斜,暖水团向东北移动。而在 153°~156°E、42°~43°N

海域,水温锋面向西北倾斜。中心渔场主要分布在各水层温度等值线密集的锋面处(图 4)。

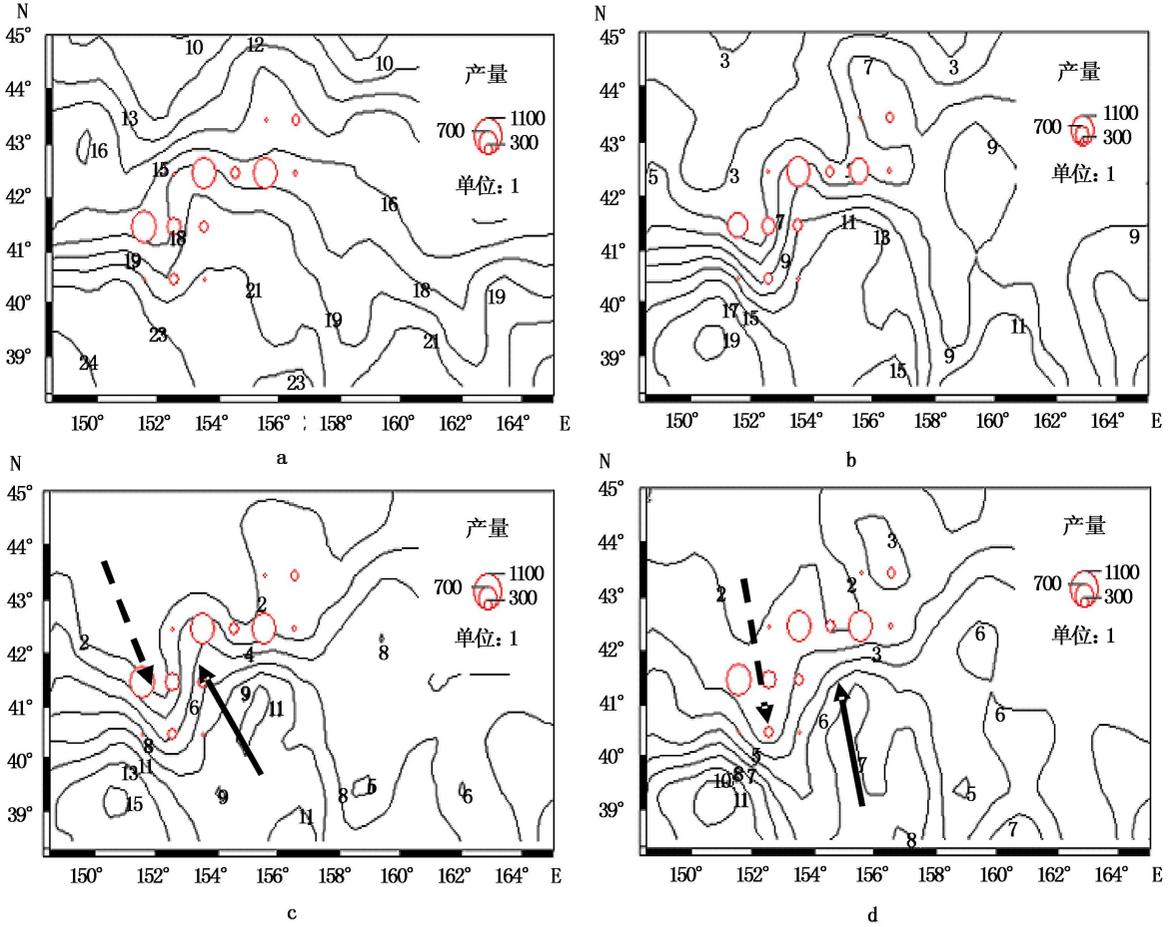


图 4 8月柔鱼中心渔场与各水层温度分布图

Fig 4 Relationship between fishing ground of *O. bartramii* and water temperature of 5 m, 50 m, 100 m and 200 m in August

a 5 m; b 50 m; c 100 m; d 200 m; e 100-200 m; 图中虚线箭头为冷水南下分支;实线为暖水北上分支。

9月柔鱼中心渔场主要位于 155°~158°E、43°~45°N海域,其产量约占月总量的 88%。作业海域比 8月较集中,且明显向北偏移,相应的 5 m、50 m、100 m、200 m 水层温度分别为 15~17 °C、8~10 °C、3~6 °C和 2~5 °C (图 5a-d)。由图 5a-d可知,中心渔场主要位于各水层等温线密集且向北的突出水舌处,为典型的锋面渔场。

上存在明显向南入侵的两个亲潮分支,而同时 153°E和 157°E方向存在着向北的黑潮分支,这样在此海域形成较明显锋面(图 6)。

### 2.3 中心渔场与水温垂直结构关系

10月柔鱼中心渔场主要分布在 155°~156°E、43°~44°N海域,其产量约占月总量的 47%以上,也有部分产量分布在 152°~154°E、41°~43°N海域。相应的 5 m、50 m、100 m 水层温度分别为 14~17 °C、7~9 °C、2~6 °C和 3~5 °C (图 6a-d)。从图 6a-d可知,在 152°E和 158°E方向

8~10月中心渔场主要分布在 151°~156°E、41°~44°N海域,现从纬度向垂直断面的水温结构来分析其中心渔场。8月以 151.25°E、153.25°E和 155.25°E 3个断面为代表,分析认为,8月冷暖水势力较强,中心渔场在 41°~42°N海域的锋面附近很明显,4 °C等温线向南弯曲较大,且最南端到达 40°N左右(图 7a),60 m以内等温线较密集,温跃层较强。同时暖水势力普遍到达 42°N海域(图 7a b c)。

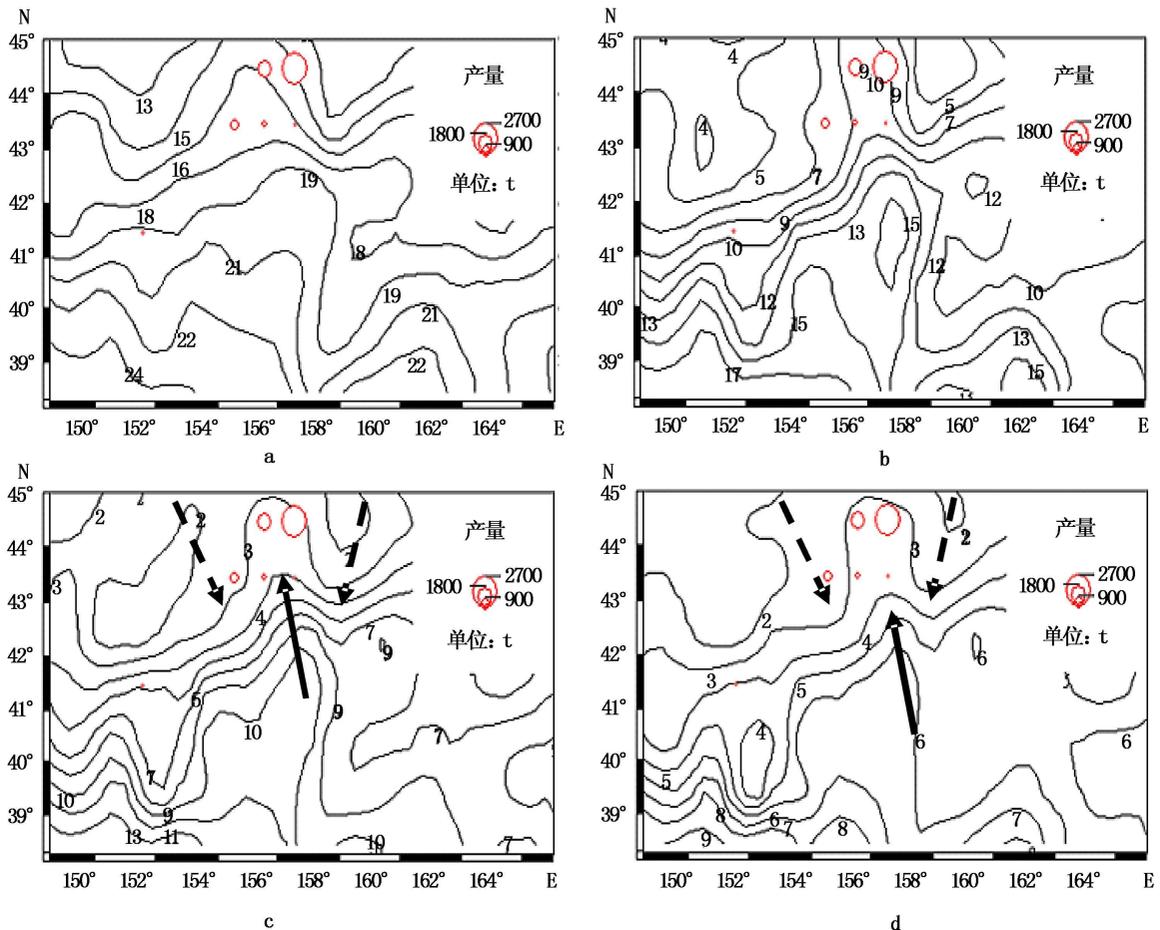


图 5 9月柔鱼中心渔场与各水层温度分布图

Fig 5 Relationship between fishing ground of *O. bartramii* and water temperature of 5 m, 50 m, 100 m and 200 m in September

a 5 m; b 50 m; c 100 m; d 200 m; e 100-200 m; 图中虚线箭头为冷水南下分支;实线为暖水北上分支。

9月以  $154.25^{\circ}\text{E}$ 、 $155.25^{\circ}\text{E}$ 和  $156.25^{\circ}\text{E}$  3个断面为代表,其暖水势力继续向北推进,锋面位置偏北,在  $43^{\circ}\sim 44^{\circ}\text{N}$ 海域形成锋面,较8月强度有所减弱,中心渔场仍位于锋面附近。 $4^{\circ}\text{C}$ 等温线向北偏移,最南端到达  $42^{\circ}\text{N}$ ,  $20\sim 70\text{m}$ 之间等温线较为密集(图 7d e f)。

10月以  $152.25^{\circ}\text{E}$ 、 $155.25^{\circ}\text{E}$ 和  $156.25^{\circ}\text{E}$  3个断面为代表,其冷水势力增强,在  $152^{\circ}\text{E}$ 、 $41^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$ 和  $155^{\circ}\sim 156^{\circ}\text{E}$ 、 $43^{\circ}\sim 44^{\circ}\text{N}$ 海域形成较强的锋面,中心渔场处于此锋面附近(图 7g i h)。而在  $155^{\circ}\text{E}$ 、 $41^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$ 海域  $100\text{m}$ 下层存在着一个较强的冷水团,与北下的冷水团夹击下在上层水体存在一个狭窄的暖水,在此形成涡流渔场。中心渔场  $30\sim 70\text{m}$ 水层间等温线较密集,

亲潮两分支之间的暖水势力最深达到  $230\text{m}$ (图 7h)。

### 3 讨论

通过对 2003—2007年 8—10月柔鱼中心渔场分布与各水层水温的分析,我们发现各水层(5 m、50 m、100 m和 200 m)各月的水温有所差异,5 m和 50 m的水温随月份而下降,从 8月份的  $17\sim 21^{\circ}\text{C}$ 、 $9\sim 12^{\circ}\text{C}$ ,分别下降到  $14\sim 17^{\circ}\text{C}$ 、 $7\sim 9^{\circ}\text{C}$ ,但  $100\sim 200\text{m}$ 水温差基本稳定在  $0\sim 0.03^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。分析还发现,各月柔鱼中心渔场均分布在各水层等值线密集区的暖水一侧或水舌处(图 4, 5, 6)。

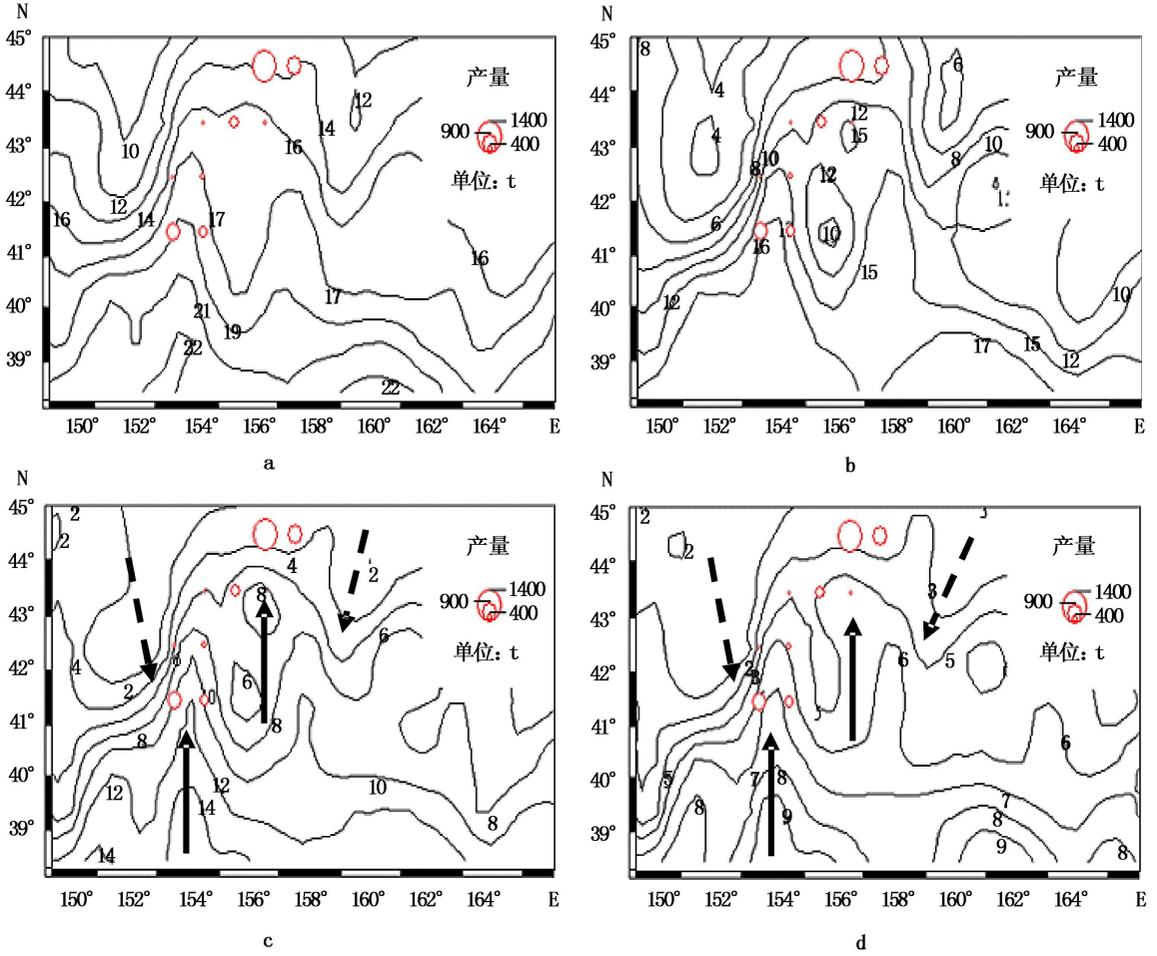
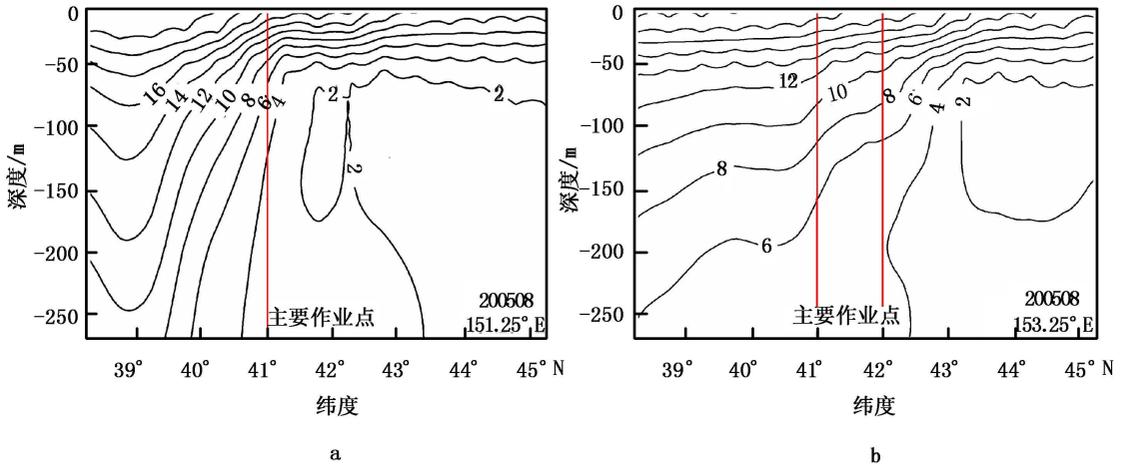


图 6 10月柔鱼中心渔场与各水层温度的分布图

Fig 6 Relationship between fishing ground of *O. bartramii* and water temperature of 5 m, 50 m, 100 m and 200 m in October

a 5 m; b 50 m; c 100 m; d 200 m; e 100—200 m; 图中虚线箭头为冷水南下分支;实线为暖水北上分支。



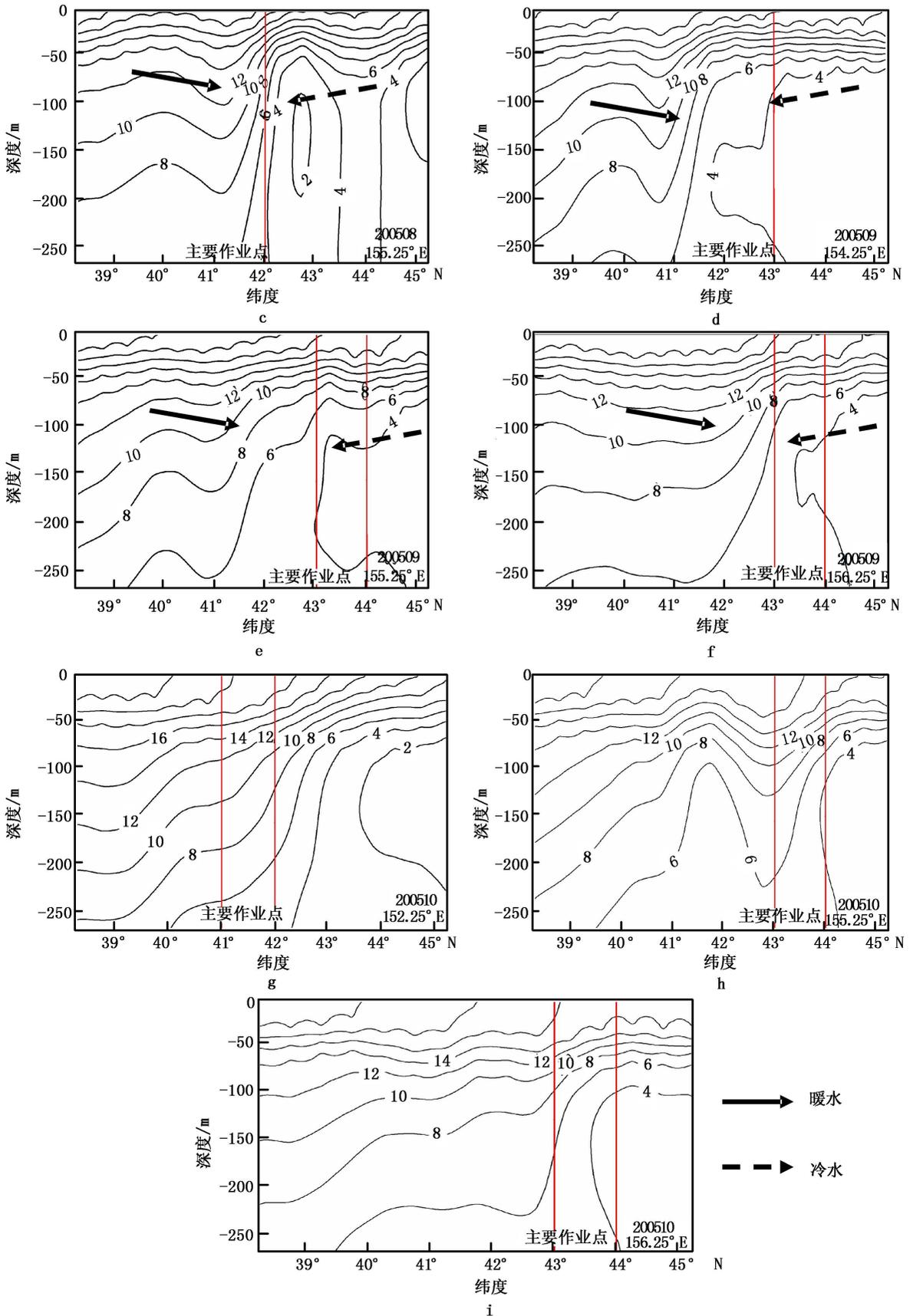


图 7 8—10月柔鱼中心渔场水温垂直结构

Fig 7 The vertical temperature structure of central fishing ground of *O. bartramii* during August and October

8—10月柔鱼中心渔场主要分布在海洋锋区暖水一侧,8月冷暖水较强,形成锋面较强,位置偏南。而9月锋面向北偏移,同时柔鱼中心渔场也随着锋面向北转移1~2纬度,但锋面强度较弱。10月由于冷暖涡流的存在形成涡流渔场。研究认为,较好的柔鱼渔场通常可通过水温垂直梯度来确定。高渔获率一般与锋区相关,如亚北极冷水和南方暖水的边界<sup>[14]</sup>,暖水的突出水舌处<sup>[14-15]</sup>。通常认为柔鱼集中在这些水舌的尖端,夜晚升至海表面被捕捞<sup>[14]</sup>。因此,可以通过检验锋区位置提高渔汛期预测中心渔场的准确性。

北太平洋存在黑潮和亲潮锋区相遇处形成锋区海洋涡流。在锋区涡旋场,温跃层中的等温面与等密度面的倾斜度及其相应的温度和密度的水平差都很大,柔鱼聚集的密度较高。涡流渔场分为暖涡渔场与冷涡渔场<sup>[8,16]</sup>。2005年8—10月中心渔场大多属于暖涡渔场(图7a-g)。8—10月是柔鱼北上索饵期间,主要集中在暖水区域。因此可以用水温垂直结构、温跃层及其锋面的变化综合地分析北太平洋中心渔场的迁移。

由于本文篇幅有限,仅对纬度向进行了分析,缺少经度向分析,因此还需要进一步对经度向进行分析,这样才能更加准确地了解柔鱼中心渔场的水温垂直断面状况。

## 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,2005:124—155.
- [2] 陈新军,许柳雄.北太平洋150°E~165°E海域柔鱼渔场与表温及水温垂直结构的关系[J].海洋湖沼通报,2004,(2):36—44.
- [3] Yatsu A, Watanabe T, Mori J et al. Interannual variability in stock abundance of the neon flying squid *Ommastrephes bartramii* in the North Pacific Ocean during 1979—1998; impact of driftnet fishing and oceanographic conditions[J]. *Fisheries Oceanography* 2000, 9(2): 163—170.
- [4] Bower J, Ichii T. The red flying squid (*Ommastrephes bartramii*): a review of recent research and the fishery in Japan [J]. *Fisheries Research* 2005, 76(1): 39—55.
- [5] Rodhouse P. Managing and forecasting squid fisheries in variable environments [J]. *Fisheries Research* 2001, 54(1): 3—8.
- [6] 陈新军.北太平洋(160°E~170°E)大型柔鱼渔场的初步研究[J].上海水产大学学报,1999,8(3):197—201.
- [7] 陈新军.北太平洋150°E以西海域柔鱼渔场与时空、表温及水温垂直结构的关系[J].上海水产大学学报,2004,13(1):78—83.
- [8] 陈新军,田思泉.西北太平洋海域柔鱼渔场分析探讨[J].渔业现代化,2001,(3):3—6.
- [9] IRIDL/DEO Climate Data Library CARTON-GIESE Simple Ocean Data Assimilation [EB/OL]. [2008-6-16]. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/CARTON-GIESE/SODA/>
- [10] Yatsu A, Watanabe T. Interannual variability in neon flying squid abundance and oceanographic conditions in the central North Pacific 1982—1992 [R]. *Bulletin of the national research institute for far seas fisheries* 1996, 33: 123—138.
- [11] 邓薇,张健,刘必林.基于信息增益技术的影响渔场环境因子的选定[J].上海海洋大学学报,2009,18(1):120—123.
- [12] Andrade H A, Garcia A E. Skipjack tuna in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast [J]. *Fish Oceanogr* 1999, 8(4): 245—254.
- [13] 郭祥,王谢. ArcGIS 中的地统计克里格插值法及其应用 [J]. 软件导刊, 2008, 7(12): 36—38.
- [14] Japan Marine Fishery Resources Research Center (JAMARC). Squid jigging (*Ommastrephes bartramii*). The 1998 New Fishery Ground Development Study Report (North Pacific Central Sea Area) [R]. Japanese, Tokyo 2000: 177.
- [15] Japan Marine Fishery Resources Research Center (JAMARC). Squid jigging (*Ommastrephes bartramii*). The 1999 New Fishery Ground Development Study Report (North Pacific central sea area) [R]. Japanese, Tokyo 2001: 184.
- [16] 陈新军. 渔业资源与渔场学 [M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 50—155.