

1998 年 8 月台湾海峡温度和叶绿素 a 含量的垂直分布特征*

张 钊¹ 黄邦钦² 陈照章³ 林学举² 张彩云³

(1 福建海洋研究所 厦门 361012)

(2 厦门大学环境科学研究中心 361005)

(3 厦门大学海洋学系 361005)

摘要 根据 1998 年 8 月台湾海峡温度、盐度、叶绿素 a 的观测结果, 讨论了调查期间叶绿素 a 的垂直分布特征。结果表明, 夏季台湾海峡西部海域存在明显的上升流, 较高的叶绿素 a 含量均位于低温高盐的涌升水中。叶绿素 a 最大值出现在上升流区边缘、温跃层附近。台湾海峡东部海域由高温、低盐、低营养盐水占据, 叶绿素 a 含量明显较海峡西部海域低。

关键词 叶绿素 a, 垂直分布, 台湾海峡, 温度, 盐度

台湾海峡具有独特的自然地形特征, 加之夏季盛行的西南季风和海流运动的作用, 大陆一侧近岸海域和台湾浅滩南部都存在明显的上升流^[1,2]。上升流使富营养盐的深层水涌升到真光层, 促进了浮游植物的大量繁殖生长, 从而影响叶绿素 a 的分布状况。本文根据 1998 年 8 月台湾海峡温度、盐度、叶绿素 a 的观测结果, 讨论了调查期间台湾海峡叶绿素 a 的垂直分布特征。

1 材料与方 法

1998 年 8 月中旬, 福建海洋研究所和厦门大学利用“延平 2 号”海洋考察船在台湾海峡进行了海洋调查。调查期间采用 SBE 19 型 CTD 仪(加装叶绿素 a 探头)进行了 16 个测站的温度、盐度和叶绿素 a 垂向观测。观测站位见图 1。

在用 CTD 仪观测叶绿素 a 数据的同时, 不定期采集相应水层的水样, 在实验室进行过滤、萃取, 用荧光法测量叶绿素 a 含量, 对 CTD 仪的叶绿素 a 数据进行校正。实验室叶绿素数据与 SBE 19 CTD 仪的叶绿素 a 数据间的关系为: $Y = 0.398 X$ ($r = 0.8068$, $n = 48$, $\alpha < 0.001$)。本文所采用的叶绿素 a 数据均为校正后的数据。

2 结 果

2.1 温、盐的垂直分布

台湾海峡西部海域温度垂直变化如图 2 所示。由图可见, 温度跃层存在于 5~15 m 层之间, 温跃层强度较大, 范围为 0.33~0.89 °C/m。在此跃层的上部和下部分, 温、盐垂直分布均匀。由此可见, 这一海域存在两个性质不同水团的上下叠置。上层为高温水, 水温

在 26~28 °C 之间, 盐度为 33.5~34.3 范围。下层为低温高盐水, 水温在 22~24 °C 之间, 盐度在 34.3~34.5 范围。台湾海峡西部海域, 厦门以南测站(T16, T11, T13)的温跃层强度及底层水的低温高盐特征较北部测站(T08, T06, T04, T01)更强、更明显。前者温跃层强度均大于 0.80 °C/m, 平均为 0.96 °C/m, 底层水温小于 23 °C, 盐度大于 34.4; 后者温跃层强度均小于 0.50 °C/m, 底层水温大于 23 °C, 盐度小于 34.4。

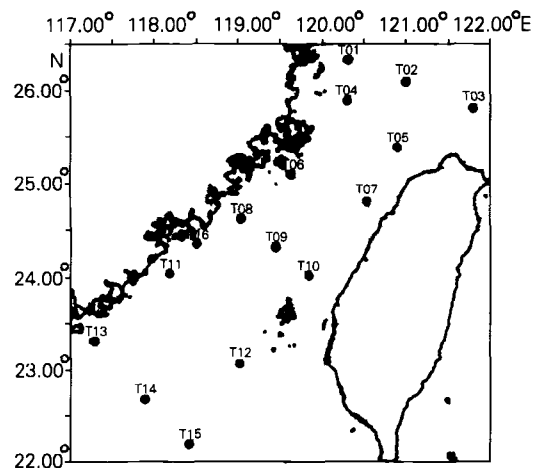


图 1 调查站位分布
Fig. 1 Observation stations

* 国家自然科学基金重点资助项目 49636220 号;
福建省科技项目 98-Z-179 号。
收稿日期: 2001-05-14; 修回日期: 2001-05-31

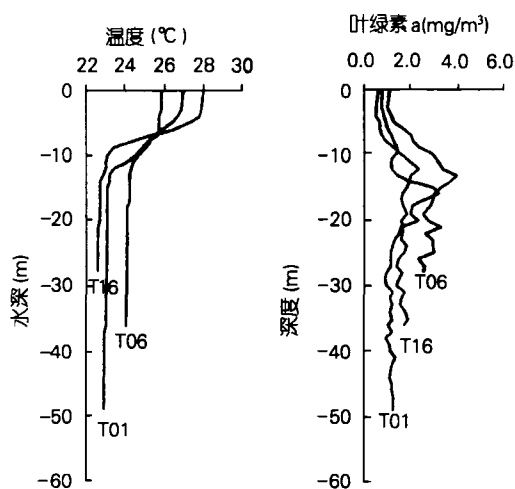


图2 台湾海峡西部海域测站温度、叶绿素a垂直分布
Fig.2 Vertical distribution of temperature and chl. a in the Western Taiwan Strait

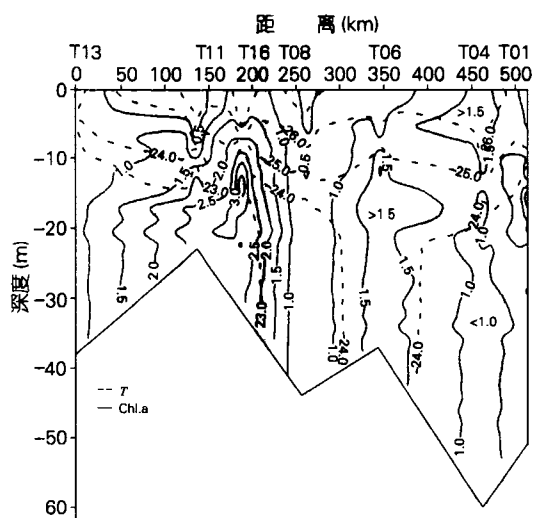


图3 台湾海峡西部海域测站温度、叶绿素a断面分布
Fig.3 Section distribution of temperature and chl. a between Station T13 and Station T01 in the Western Taiwan Strait

图3为台湾海峡西部海域测站T13~T01断面水温的分布。由图可见,水深10m以浅,水温较高($>25^{\circ}\text{C}$),等温线较密集并呈水平分布,水体具明显的分层现象。10m以深,大部分水体温度低于 24°C ,等温线呈垂直分布。同时可清楚地看出,在该海域的南北两

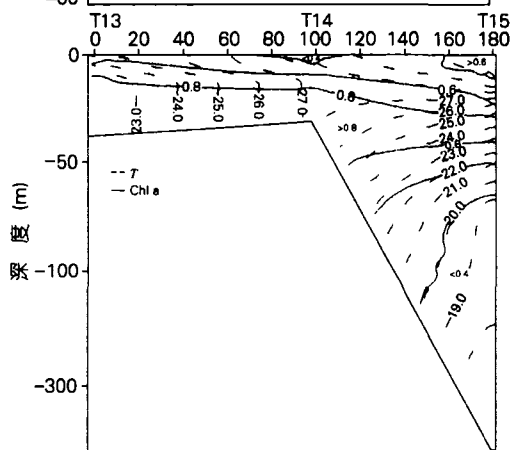
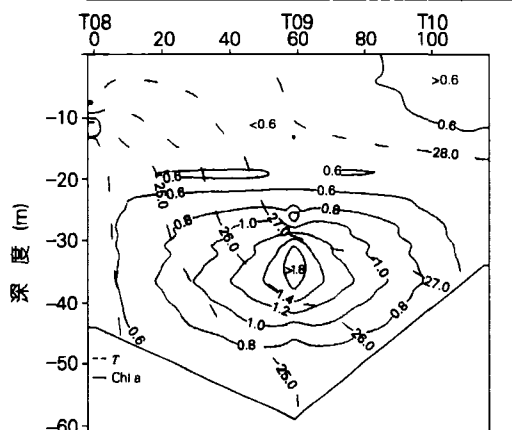
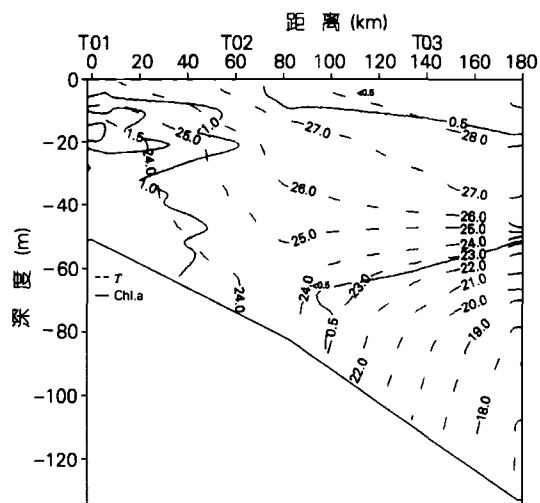


图4 T01~T03,T08~T10,T13~T15断面温度和叶绿素a分布
Fig.4 Section distribution of temperature and chl. a between Station T01 and Station T03, Station T08 and Station T10, Station T13 and Station T15 in the Taiwan Strait

端,各有一低温高盐水分自南向北 ($T < 23^{\circ}\text{C}$, $S > 34.4$) 和自北向南 ($T < 24^{\circ}\text{C}$, $S > 34.2$) 进入台湾海峡。两水体似乎在 T06 站附近海域相汇。另外,从 T01~T03 断面、T08~T10 断面、T13~T15 断面的温度分布(图 4)可看出,台湾海峡西部海域,等温线由大陆一侧近岸向外海下倾,可以判断出在该海域显然存在上升流。

在台湾海峡东部海域,各测站温度垂直变化如图 5 所示。位于该海域南北两端的 T15, T03(未示出)测站的温跃层分别出现在 15~70 m 和 45~75 m。温跃层强度分别为 $0.20^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 和 $0.28^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。跃层以上为高温低盐水,水温大于 29°C ,盐度小于 33.5。跃层以下为低温高盐水,温度小于 18°C ,盐度大于 34.5。该海域其他测站(T05, T07, T10, T12),盐度均小于 34.0,基本呈垂直均匀分布。除 T12 测站水温略低于 26°C 外, T05, T07, T10 测站均高于 27°C ,水温的垂直变化较小,达不到浅海温跃层的最低标准^[3]。

台湾海峡东部海域测站 T15~T03 断面水温的分布如图 6 所示。由图可见,该海域南端 30 m 以深水温低于 24°C ,这一水体似乎沿陆坡涌升。低于 26°C 的水体影响到 T12 测站附近海域的上层,使该处水温明显低于周围海域的同等水层。海峡东部海域北端, T05~T03 站之间海域的 50 m 以深水温低于 24°C 。台湾海峡东部海域大部分为水温大于 26°C ,盐度小于 34 的高温低盐水所占据。

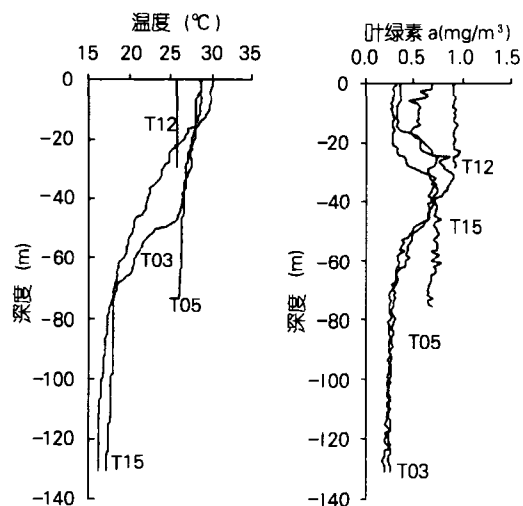


图 5 台湾海峡东部海域测站温度、叶绿素 a 垂直分布
Fig. 5 Vertical distribution of temperature and chl. a in the Eastern Taiwan Strait

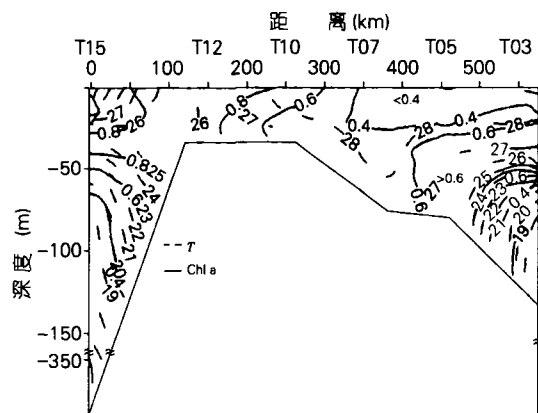


图 6 台湾海峡东部海域测站温度、叶绿素 a 断面分布
Fig. 6 Section distribution of temperature and chl. a between Station T15 and Station T03 in the Eastern Taiwan Strait

2.2 叶绿素 a 的垂直分布

在台湾海峡西部海域,各测站叶绿素 a 垂直分布如图 2 所示。由图可看出,该海域主要存在两种类型的叶绿素 a 垂直分布。一种类型是叶绿素 a 含量呈“L”字形垂直分布。这一类型主要出现在 T13~T06 站。在这些测站中,叶绿素 a 含量的垂直最大值(或跃变层)出现在 10 m 层左右。最大值(或跃变层)以下水体中,叶绿素 a 含量略低于最大值,但远高于最大值(或跃变层)以上水体中叶绿素 a 含量。如 T06 测站,最大值为 $2.40 \text{ mg}/\text{m}^3$,最大值以上水体中叶绿素 a 含量平均为 $0.65 \text{ mg}/\text{m}^3$,以下水体则为 $1.76 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。另一种类型是叶绿素 a 含量的垂直分布存在最大值,呈单峰垂直变化。这一类型主要出现在 T01 和 T04 站。在这两个测站中,最大值出现的水层分别在 15 m 和 10 m 层。最大值以上及以下水体中的叶绿素 a 含量相近,并远低于最大值。如 T01 测站,叶绿素 a 含量最大值为 $3.22 \text{ mg}/\text{m}^3$,最大值以上及以下水体中的叶绿素 a 含量分别平均为 $1.06 \text{ mg}/\text{m}^3$ 和 $1.26 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

图 3 为台湾海峡西部海域测站 T13~T01 断面叶绿素 a 的分布。由图 3 可见,在台湾海峡西部海域,10 m 以深,叶绿素 a 含量基本呈垂直均匀分布。在 T13~T06 测站之间的海域,10 m 以深,叶绿素 a 含量明显较高,基本大于 $1.0 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。并在 15 m 层左右存在一大于 $3.0 \text{ mg}/\text{m}^3$ 的叶绿素 a 含量最大值。在 T04~T01 测站之间的海域,20 m 以深叶绿素 a 含量明显较低,并在 10 m 层左右存在叶绿素 a 含量最大值,大于 $3.0 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。

在台湾海峡东部海域,各测站叶绿素 a 垂直分布如图 5 所示。由图 5 可看出,除 T12 测站叶绿素 a 含量呈垂直均匀分布外,该海域主要叶绿素 a 垂直分布类型与海峡西部海域相似。T05 和 T07 测站的叶绿素 a 含量呈“L”字形垂直分布,叶绿素 a 含量的垂直跃变层在 20~35 m 层。如 T05 测站,25 m 以浅,叶绿素 a 含量平均为 0.32 mg/m^3 ,在 35 m 至底层,叶绿素 a 含量平均为 0.76 mg/m^3 ,明显较 25 m 层以浅高。T03, T15 测站,叶绿素 a 含量的垂直分布存在最大值,呈单峰垂直变化。在这两个测站中,叶绿素 a 含量最大值分别为 0.77 mg/m^3 和 0.93 mg/m^3 ,出现在 30 m 和 45 m 层。最大值层以上及以下水体中的叶绿素 a 含量明显较低,如 T15 测站,分别平均为 0.32 mg/m^3 和 0.21 mg/m^3 。

图 6 为台湾海峡东部海域测站 T15~T03 断面叶绿素 a 的分布。由图可见,该海域叶绿素 a 含量较低,变化范围较小,大部分在 $0.4 \sim 0.8 \text{ mg/m}^3$ 之间。T15 测站附近海域 30 m 层左右至 T12 测站附近海域存在一大于 0.8 mg/m^3 的最大值区。在 T10~T07 测站之间海域,叶绿素 a 含量小于 0.6 mg/m^3 。T07~T03 测站之间海域,叶绿素 a 含量大于 0.6 mg/m^3 的高值带从 T03 测站附近海域的 20~50 m 层延伸至 T05 测站的 35 m 以深。

3 讨论

图 2 和图 3 表明,在台湾海峡西部海域,存在两个性质不同水团的上下叠置,上层为高温中盐水 ($T > 26^\circ\text{C}$, $S > 33.5$),下层为低温高盐水 ($T < 24^\circ\text{C}$, $S > 34.2$)。同时图 4 也显示出在该海域 10 m 层以下,等温线由大陆一侧近岸向外海下倾。由此表明,台湾海峡西部海域低温高盐底层水具有明显的涌升现象。许多研究也表明,东山至汕头之间近岸海域夏季经常存在上升流^[2];在 6~8 月,湄洲岛至海坛岛东北部间连线以西海域为上升流区;8 月,泉州外海也存在下层海水的涌升^[4,5]。本航次调查结果进一步证实了上述各海域上升流现象的存在,并表明在整个台湾海峡西部海域存在下层海水的涌升现象,同时整个涌升水是由南部 ($T < 23^\circ\text{C}$, $S > 34.4$) 和北部 ($T < 24^\circ\text{C}$, $S > 34.2$) 两个不同温盐性质的水体组成,两水体在海坛岛南部相汇。

将台湾海峡西部海域叶绿素 a 含量的垂直分布及断面分布与温、盐的分布(图 2, 3)进行比较,可看出,叶绿素 a 含量垂直分布的跃变层与温跃层相一致,高叶绿素 a 含量位于跃变层以下的低温高盐的涌升水中,叶绿素 a 含量最大值出现在温跃层附近。图 4

中叶绿素 a 含量也具有类似的分布。进一步表明夏季上升流带来的营养物质对浮游植物增长的促进作用^[6]。同时也可看到,在该海域,南部与北部叶绿素 a 含量的分布具有一定的差异。在测站 T13~T08 之间的海区,高叶绿素 a 含量主要位于涌升水中(图 2, 3),并在温跃层出现叶绿素 a 含量最大值。一般说来,营养盐和光的利用无疑是提供浮游植物生长的主要控制因素。涌升水中营养盐丰富,因此,它不成为该海区限制浮游植物生长的决定因素,而光的利用往往是限制浮游植物生长的主要因素。当涌升水到达真光层后,光的利用也不再是限制浮游植物生长的主要因素了。该海域南部测站水深较浅,大部分在 30 m 左右,海水透明度较高,光照可达水柱底层,浮游植物于是可在整个涌升水中大量繁殖生长,使得叶绿素 a 含量明显较高。在该海域的北部,叶绿素 a 含量最大值主要位于涌升水顶部的温跃层附近(图 5, 6),这是因为上升流把深层水中的营养盐带到真光层中,由于上升流的辐散作用,使其边缘区中被浮游植物消耗的营养盐得以补充,促成了浮游植物的生长繁殖,形成了叶绿素 a 含量的最大值^[7]。南部和北部两个不同温盐性质水体的相汇处,叶绿素 a 含量也明显较高,大于 1.5 mg/m^3 。总之,台湾海峡西部海域,受涌升水的影响,叶绿素 a 含量明显较高,平均为 1.32 mg/m^3 。

夏季,台湾海峡盛行西南季风,在科氏力的作用下,大陆一侧近岸上层的高温低盐水发生离岸运动,引起底层水向上涌升补偿,形成海峡西部海域主要为低温高盐水分布,而在海峡东部海域则是受高温低盐水控制^[8]的趋势。测站 T08~T10 断面的温、盐分布(图 4~图 6)均表明,台湾海峡东部海域大部分为水温大于 26°C ,盐度小于 34(未示出)的高温低盐水占据。以往的研究认为,具有此温盐特征的水体为海峡暖流上层水,在夏季营养盐含量最低,相当多的测站几乎未检出^[1]。因此,在台湾海峡东部海域大部分水体中,营养盐限制了浮游植物的生长,叶绿素 a 含量明显较低,一般小于 0.6 mg/m^3 。在台湾海峡东部海域的两端,低温高盐的外海深层水沿陆坡向上涌升。在低温高盐的涌升水顶部出现叶绿素 a 含量最大值(图 6)。同理,这是由于涌升水中含有丰富的营养盐,进入真光层后,边缘区中的浮游植物得到了营养盐的补充,促进了其生长繁殖的缘故。在 T03 和 T15 测站的 50 m 以深,由于光利用及温度的限制,浮游植物不能够大量繁殖生长,叶绿素 a 含量也明显降低,小于 0.4 mg/m^3 。在台湾海峡东部海域,温度低于 24°C 、盐度高于 34.2 的低温高盐水仅到达 50 m 层,位于陆坡边缘。尽管该海域南部,温度低于 26°C 的水体似乎可影

响到台湾浅滩边缘海域(T12站)的表层,并形成一大于 0.8 mg/m^3 的叶绿素a高值区,但总的来看对台湾海峡东部海域的影响范围较小,而没有象海峡西部那样,低温、高盐、富营养盐的涌升水几乎占据了整个海域。因此,台湾海峡东部海域叶绿素a含量等值线较稀疏,含量较低,平均仅为 0.54 mg/m^3 。

4 总结

本次调查结果表明,几乎整个台湾海峡西部海域由低温高盐的涌升水所占据,而台湾海峡东部海域则为高温低盐水所控制。不同的水文特征,使两海域叶绿素a含量的分布变化具有明显的差异。海峡西部海域,高叶绿素a含量位于低温高盐、富营养盐含量的涌升水中。整个海峡西部海域叶绿素a含量明显较高,平均为 1.32 mg/m^3 。在台湾海峡东部海域,较高叶绿素a含量仅出现在涌升水顶部的温跃层中,大部分水体中浮游植物生长受到营养盐限制,叶绿素a含量明显较低,平均仅 0.54 mg/m^3 。在台湾海峡,温跃层附

近往往形成叶绿素a含量最大值。将海峡东、西海域叶绿素a分布加以比较,更进一步表明了夏季上升流对浮游植物繁殖生长的促进作用以及对叶绿素a分布的影响。

参考文献

- 1 福建海洋研究所。台湾海峡中、北部海洋综合调查报告。北京:科学出版社,1988。244~258
- 2 洪华生、丘书院、阮五崎等。闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究。北京:科学出版社,1991。1~18
- 3 胡建宇。物理海洋学基础教程。厦门:厦门大学出版社,1995。251~256
- 4 林奋强、胡建宇、张学斌等。厦门大学学报(自然科学版),1999,38(4):578~583
- 5 胡建宇、洪华生、贺志刚等。热带海洋,2000,19(4):15~22
- 6 张钊、杨尧、黄邦钦。营养盐物理输入对台湾海峡叶绿素a含量的调控作用。见:洪华生等编。中国海洋文集(7)。北京:海洋出版社,1997。81~87
- 7 陆赛英。海洋学报,1998,20(3):64~75
- 8 李虹、胡建宇、陈照章等。海洋通报,2000,19(4):8~19

VERTICAL DISTRIBUTION FEATURES OF TEMPERATURE AND CHLOROPHYLL a IN TAIWAN STRAIT IN AUGUST, 1998

ZHANG Fan¹ HUANG Bang-qin² CHEN Zhao-zhang³ LIN Xue-ju² ZHANG Cai-yun³

(¹Fujian Institute of Oceanology, Xiamen, 361012)

(²Environmental Science Research Center, Xiamen University, 361005)

(³Dept. of Oceanography, Xiamen University, 361005)

Received: May, 14, 2001

Key Words: Chlorophyll a, Vertical distribution, Taiwan Strait, Temperature, Salinity

Abstract

Vertical distribution features of chlorophyll a were discussed according to the CTD data obtained in the Taiwan Strait in August, 1998. The results showed that the high chlorophyll a values were situated upwelling water in the western part of Taiwan Strait. The chlorophyll a maximum were near the thermocline of upwelling in Taiwan Strait. The chlorophyll a values in the western part of Taiwan Strait was higher than that in the eastern part due to strong upwelling in the western part of Taiwan Strait.

(本文编辑:刘珊珊)