

我国夏季最低表层水温海区——琼东 沿岸上升流区的研究

韩舞鹰 王明彪[†] 马克美

(中国科学院南海海洋研究所, 广州)

([†] 国家海洋局南海分局, 广州)

提要 在琼东沿岸, 夏季存在风生上升流, 流速达 $3.8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$, 由于强烈的海水上升, 使地处热带海区的琼东沿岸夏季表层海水水温低于 20°C , 是我国夏季最低的表层水温, 形成一年中出现两个“冬天”的独特生态环境。海水上升的“施肥”作用可提高海水的初级生产力, 但上升流的变异, 却会给海洋生物的生态环境带来不利的影响。

上升流是重要的海洋学现象, 近年来我国对上升流的研究日渐增多^[1,2,4-6,8-10], 其中以研究沿岸上升流的居多。韩舞鹰等在研究粤东沿岸上升流时指出^{[8],1)}, 粤东沿岸上升流的中心位置在 20 m 以浅区域, 并指出这种上升流是西南季风与粤东西南走向岸线平行而产生海水离岸运动所形成的。在南海, 与粤东岸线平行的是海南岛东部岸线, 那么, 当夏季盛行西南季风时, 是否也应出现类似的沿岸上升流呢? 本文根据 1984—1985 年琼东海岸带四个季节的调查资料, 并参考 1984—1985 年南海分局的调查资料, 研究琼东沿岸上升流, 调查站位见图 1。

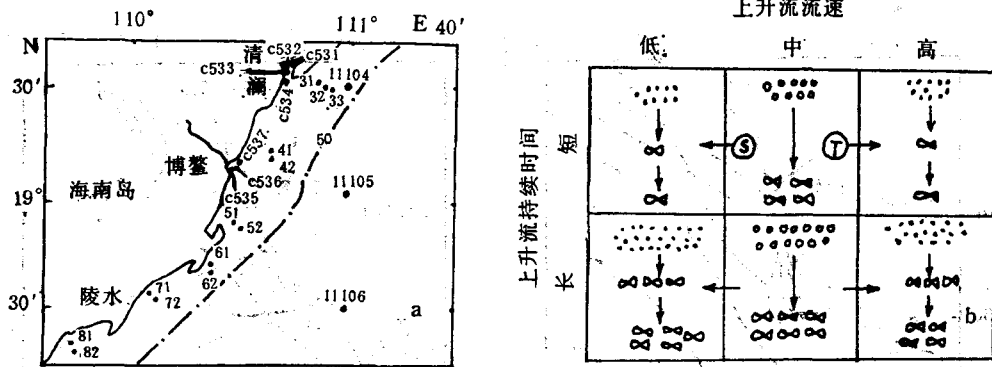


图 1 调查站位和上升流系统分类图

Fig.1 Locations of investigation stations and sketch of upwelling system

a. 调查站位; b. 上升流分类。

1) 韩舞鹰, 王明彪等, 1986. 广东省海岸带海水化学专业调查报告。

收稿日期: 1988年12月30日。

一、上升流的中心位置

由图2清楚看到,在陵水湾至清澜港外,水深10—30m范围存在一个水温低于24.5℃、盐度高于34.3的低温高盐区。其中在港北港外测得最低水温为19.46℃、最高盐度为34.73。这股低温高盐水不可能来自河水或其他表层海水,其唯一的来源是底层水的涌升。从图3,4可看到南海次表层的低温高盐水沿海底涌升,海水上升的中心位置是紧靠岸边30m以浅的沿岸地区。图5描绘了底层和表层海水运动方向。底层水除了低温高盐特征外,同时还具备低氧、低pH和高磷酸盐的特征,图6,图7a分别是pH、溶解氧、磷酸盐的表层平面分布图。由图6和图7a可以看到,由于海水的涌升,也形成pH和溶解氧的低值区、磷酸盐的高值区。

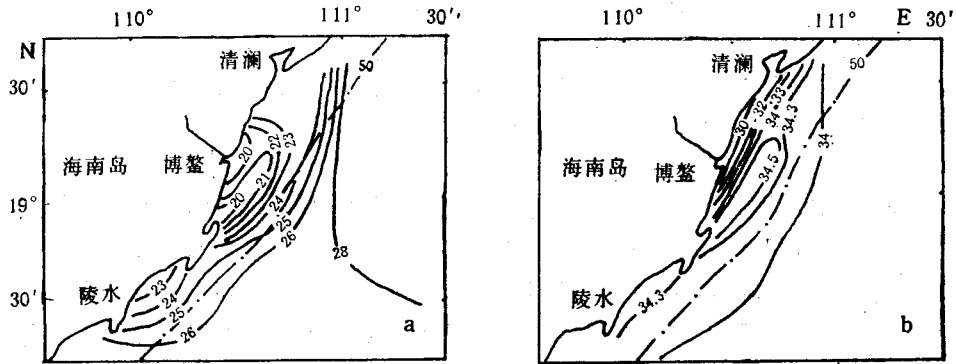


图2 1984年7月表层海水温度、盐度平面分布

Fig.2 Distribution of temperature and salinity at sea surface in July, 1984
a. 温度(°C); b. 盐度。

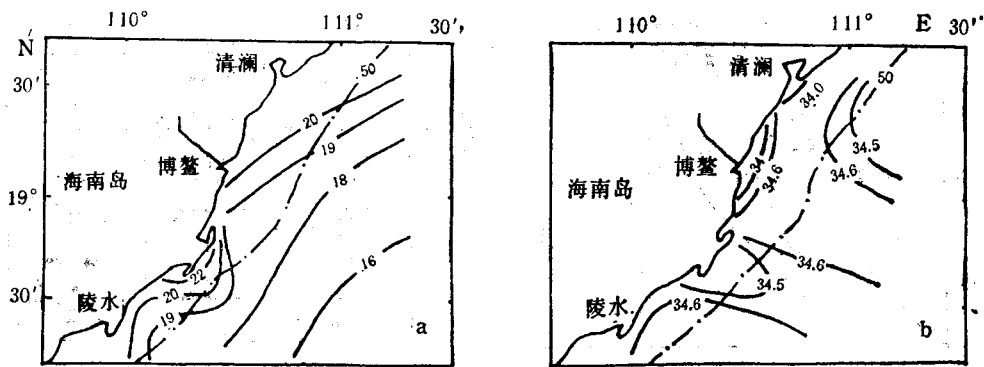


图3 1984年7月底层海水温度、盐度平面分布

Fig.3 Distribution of temperature and salinity at sea bottom in July, 1984
a. 温度(°C); b. 盐度。

二、琼东沿岸上升流的形成机制及其消长

琼东沿岸夏季盛行西南风,5—8月为季风风向稳定期,6月份4级以上的西南风出

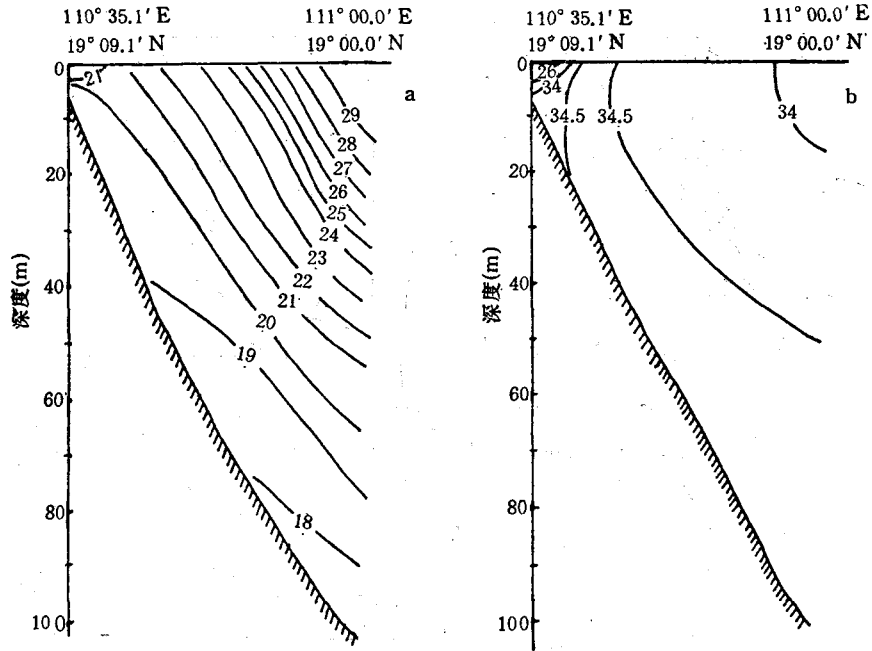


图4 1984年7月博鳌港外温度、盐度断面分布

Fig.4 Sectional distribution of temperature and salinity outside the Boao harbour in July, 1984

a. 温度(°C); b. 盐度。

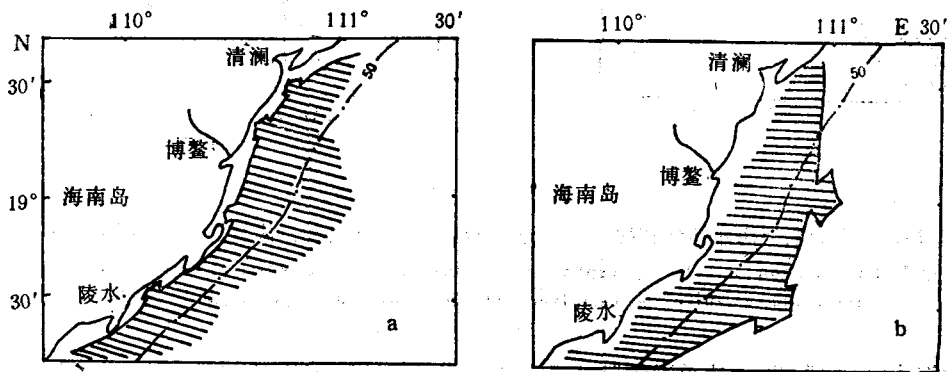


图5 1984年7月上流区底层、表层水运动示意图

Fig.5 Sketch of water movement in the upwelling area in July, 1984

a. 底层; b. 表层。

现频率为 59%、7 月份为 30%、8 月份为 50%。当风向与岸线平行，海岸位于风的左侧，根据厄克曼理论，在北半球将会出现海水离岸运动，岸边海水的“空缺”，将由底层海水的涌升来补充，形成沿岸上升流，这种上升流是紧靠着岸边发生的。当然海水离岸运动

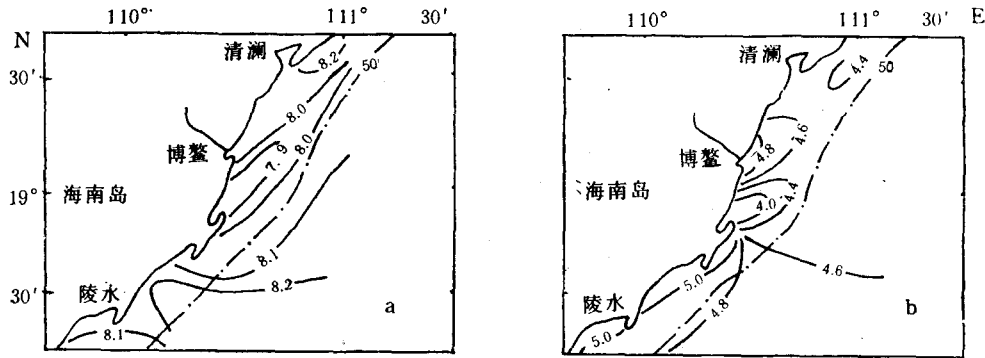


图 6 1984年7月表层海水 pH 值、溶解氧平面分布

Fig. 6 Distribution of pH value and dissolved oxygen (DO) at sea surface in July, 1984
a. pH; b. 溶解氧。

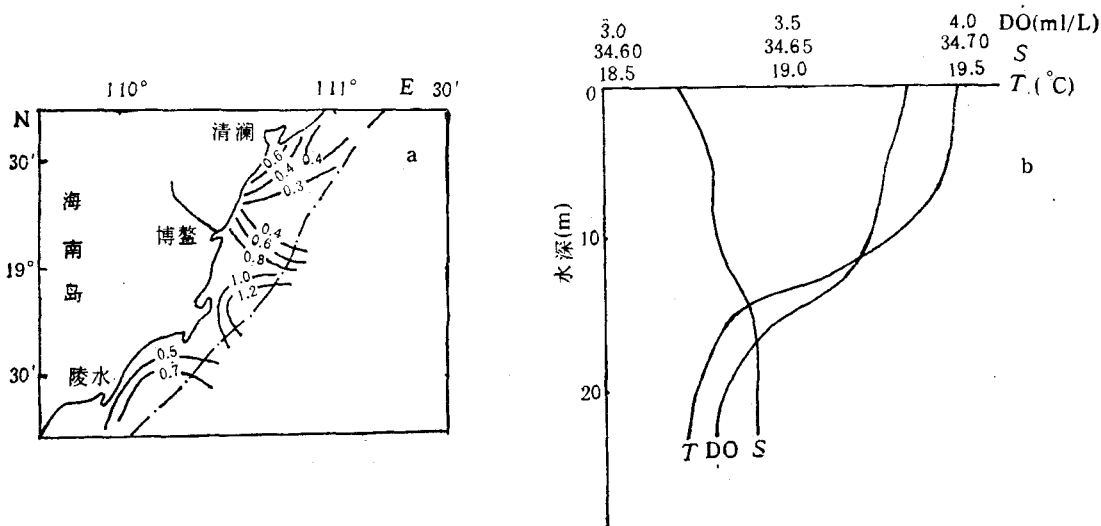


图 7 1984年7月表层海水活性磷酸盐平面分布 (a) 与 51 站温度、盐度、溶解氧垂直分布 (b)

Fig.7 Distribution of active phosphate at sea surface (a) and Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved oxygen at station 51 (b) in July, 1984

造成的海水“空缺”，也可以通过大陆排水得到补充，但这种补充的数量很小，因此远不能补充海水的“空缺”，这点从图 2 和图 4 可以看出。

琼东沿岸上升流由于海岸线的变化，在港北港的南北形成二个中心，其中以北部的上升流中心更为明显。

琼东沿岸上升流是风生的，因此其大小及消长与风是密切有关的。由图 8 可以看出春季并未形成沿岸上升流。由图 9 可见 10 月份上升流的低温高盐区已消失。

综上所述，在琼东 30 m 以浅海区，存在一支上升流，该上升流是风生的、季节性的沿岸上升流。

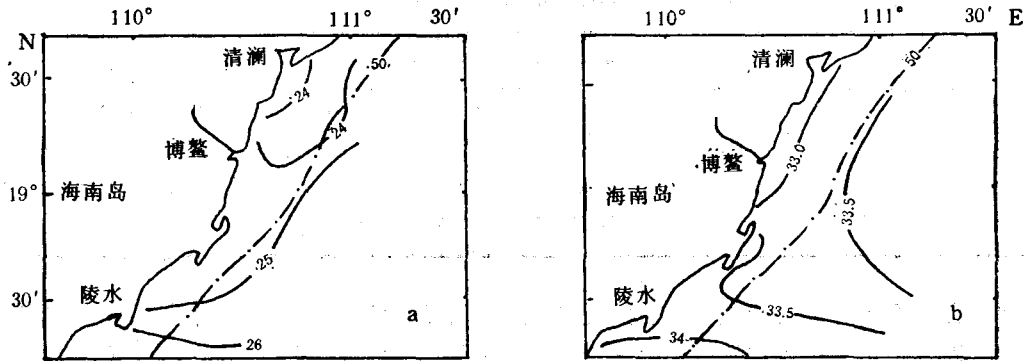


图 8 1984 年 4 月表层海水温度、盐度平面分布

Fig. 8 Distribution of surface temperature and salinity in April, 1984

a. 温度(°C); b. 盐度。

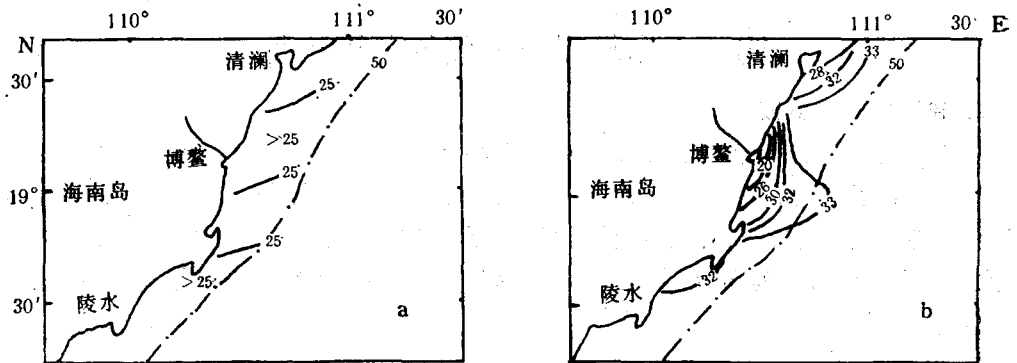


图 9 1984 年 10 月表层海水温度、盐度平面分布

Fig. 9 Distribution of surface temperature and salinity in October, 1984

a. 温度(°C); b. 盐度。

三、琼东沿岸上升流流速

琼东沿岸上升流紧靠岸边,除受风这个变动性很大的主要因素影响外,还受地形、潮汐、陆地排水等因素影响。因此,该上升流的随机性很大,海水的运动也很复杂,除了以垂直向上运动为主外,还存在混合、平流等运动。整个上升流区的海水上升速度是不均匀的,难以用一般文献常用的方法来计算,但是如果把研究范围缩小到港北港至清澜港外上升流最中心区,可以认为在该区海水主要运动方式是垂直向上,潮汐可引起海水的平移,并未能根本破坏海水的环流结构。引用文献[7]的计算公式,利用观测数据,求得该区海水上升速度为 $3.8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 。这上升流速是由当时当地实测资料计算的,因此只能反映当时当地上升流流速,不能无条件推广到其他时间或其他地区。由上升流中心区的温度和盐度的垂直梯度可定性比较上升流速的大小。表 1 列出粤东和琼东上升流观测到表层最低水温的两个测站的比较值。

表 1 粤东和琼东沿岸上升流特征值比较

Tab.1 Characteristic values of the upwelling areas along the east coast of Guangdong and the east coast of Hainan

海 区	站 号	水 深 (m)	上升速度 (cm/s)	表层水温 (°C)	水温垂直梯度 (°C/m)	表层盐度	盐度垂直 梯 度
粤 东	YH043	23	1.2×10^{-3}	22.24	0.082	34.50	0.003
琼 东	YH071	19	3.8×10^{-3}	19.46	0.031	34.73	0.001

由表 1 看到粤东沿岸上升流流速比琼东沿岸上升流流速小, 相应琼东沿岸上升流具有较低的表层水温和较高的表层盐度, 具有较小的水温和盐度垂直梯度。造成琼东沿岸上升流流速大于粤东沿岸的原因, 除风这因素外, 还有水深、岸线形状和径流量等因素, 琼东沿岸水深、岸线较平直, 因而较粤东沿岸更易形成海水的离岸运动。琼东径流量比粤东少, 因而海水离岸运动所造成的海水“空缺”主要是靠海水涌升。在相同的风的情况下, 琼东的沿岸上升流将强于粤东。

四、琼东沿岸上升流的环境特征

1. 独特的理化特征

表 2 已列出受上升流影响的陵水湾至清澜港 50 m 以浅海区理化特征的平均状况。由表 2 可见, 夏季在琼东沿岸形成了一个低温、高盐、低氧和高磷的独特的理化环境。由于琼东陆地径流量比粤东小很多, 因而上升流的影响更加靠近岸边。如在博鳌港 C 537 站, 水深只有 4.5 m, 测得的表层水温只有 22.85°C, 底层水温为 19.83°C, 因此对浅海养殖都会有直接的影响。

表 2 琼东沿岸上升流理化特征

Tab.2 Physical and chemical characteristic values in the upwelling area along the east coast of Hainan

季 节	层 次	温 度 (°C)	盐 度	溶解氧 (ml/L)	氧饱和度 (%)	pH	活性磷酸盐 (mmol/m ³)
冬	表	22.40	33.95	5.10	102.5	8.22	0.16
	底	22.04	33.98	5.07	101.1	8.23	0.14
	总层平均	22.31	33.97	5.10	102.3	8.24	0.16
春	表	24.63	33.53	5.07	105.8	8.08	0.32
	底	22.70	33.66	4.87	98.3	8.05	0.20
	总层平均	24.13	33.61	5.00	103.5	8.06	0.22
夏	上升流区表层	23.44	34.35	4.80	98.6	8.04	0.41
	上升流外表层	27.17	33.56	4.94	110.3	8.14	0.24
	底层	20.59	34.43	3.92	76.6	8.02	0.60
	总层平均	21.86	34.42	4.39	88.0	8.04	0.49
秋	表	25.39	32.81	4.80	100.9	8.18	0.44
	底	25.55	33.38	4.73	100.1	8.20	0.56
	总层平均	25.50	33.22	4.74	100.0	8.20	0.52

2. “冷泉”型生态系统

图 7b 是上升流中心区一个测站的温、盐垂直分布图, 由图可以看到, 低温高盐水自海底上升至海表面。在港北港与博鳌港外形成一个表层水温平均值约 20.3°C 的冷中心。该温度比我国沿岸夏季表层水温最低的山东半岛成山角还要低 2°C 多^[3], 比粤东沿岸上升流所观测到的最低表层水温低约 2°C。由于琼东沿岸上升流的出现, 在地处热带气候带的海南岛夏季出现了全国表层海水最冷的海区。由于该上升流地处浅水区, 强度大而范围不大, 因而形象地称之为“冷泉”。

(1) “冷泉”独特的季节周期 表 3 列出不同月份港北港至清澜港“冷泉”水温。如果把水温作为季节划分的主要指标, 那么由于 7 月“冷泉”的出现, 将会出现第二个“冬季”, 而且这个“冬季”水温比真正的冬季的水温还要低。

表 3 “冷泉”水温(°C)

Tab. 3 Water temperature (°C) of “cold spring”

月 份	7	1	4	10
表 层	20.27	21.80	24.42	24.99
底 层	19.36	21.68	21.83	25.28

(2) “冷泉”的生态系统 上升流生产系统类似于温带生产系统。对于温带生产系统, 有向极地和向赤道两个边界区。向极地边界区不稳定性造成生物死亡主要因素是温度, 而向赤道边界区的不稳定造成生物死亡原因可能是赤潮在中间起了作用。对上升流生产系统来说, 则不存在两个边界在地理上的分隔, 而是存在时间上的分隔。

通常以上升流持续时间和上升流速度来表征上升流系统, 时间多以 250 天为界划分成二类。除秘鲁、本哥拉和哥斯达黎加等上升流持续时间超过 250 天外, 一般上升流持续时间少于 250 天。琼东沿岸上升流持续时间约在 150 天以内。上升流流速难以直接测定, 往往只能间接的估算, 因此把上升流流速分为低、中和高三级。图 1b 是根据上升流持续时间和速率分类的上升流生产系统图。琼东沿岸上升流位于第 2 到第 3 方块的过渡区, 其中心位置则位于第 3 方块中。

在上升流系统中, 上升速率中等时, 平均藻类细胞相对最大, 而当速率小或大时, 则细胞的大小相对小些。细胞大, 鱼的生产量相对就小^[11]。产生上升流的风场强度和方向是变化的, 因而上升流速率也是变化的。这就会产生图 1b 中向左和向右的移动(以 S 和 T 表示)。当向 T 时, 藻类变小, 在藻和鱼之间增加营养环节, 其极端情况会造成鱼类营养不足, 而且冷水涌升猛烈, 会给生物带来温度压力, 这就与温带生产系统向极边界情况类似; 当向 S 时, 由于流速变小, 将会使周围温度较高的海水及陆地排水漫入上升流区, 海水垂直稳定度加大, 则容易产生赤潮, 这和温带生产系统向赤道边界的情况类似。厄瓜多尔和秘鲁沿岸出现埃尔尼诺现象就是一个典型例子。上升流速率的异常, 往往会造成鱼类等大量死亡。

海南岛沿岸海区, 地处热带, 属热带生产系统, 一般不会出现温度压力和赤潮的问题, 但由于上升流的异常, 这两者都有可能出现, 因此有必要开展上升流的监测。

3. 富营养盐与高初级生产力

海水上升,把底层富营养盐海水带至表层,大大提高海水的初级生产力。

根据上升流流速和底层营养盐浓度,求得在上升流中心区磷酸盐的垂直通量为 2.0 mmol/(m²·d)。该上升流区的初级生产力计算,采用文献[7]的计算公式。考虑到上升流流速大,把营养盐再生项忽略,公式改写为:

$$G = b \cdot V \cdot [C_{底} - C_{表} + K \cdot C_{河}]$$

式中, G 为初级生产力 [mg/(m²·d)]; V 为上升流流速 (m/d); $C_{底}$, $C_{表}$, $C_{河}$ 分别为底层、表层和河水磷酸盐浓度; K 为冲淡系数,由径流量与上升流区面积求得; b 为常数,取值 1440。

由观测值用上式求得上升流中心区初级生产力为 2436 mg/(m²·d)。

4. 海水逆温现象

到 10 月份上升流开始消失,在上升流区普遍存在海水的逆温现象。这种逆温现象,不完全是因为空气降温而造成的,因为在上升流区北部 YH 0282 站、在南部的 YH 0391 站和在博鳌港内的 C 535 站观测到的表层水温分别为 25.4°C, 26.0°C 和 26.3°C。这些表层水温都高于上升流区表层水温。

与粤东沿岸上升流区在 10 月份出现逆温现象一样,琼东沿岸上升流逆温现象的出现,是由于风向转换,海水出现下降运动而造成的。

五、结 论

1. 琼东沿岸上升流是风生的,并且是季节性的,只发生在夏季。
2. 琼东沿岸上升流中心位置紧靠岸边,一般在 30 m 以浅。由于地形原因,1984 年 7 月在港北港的北部和南部形成两个低温中心。在港北港北部的中心区,1984 年 7 月上升流速为 3.8×10^{-3} cm/s,磷酸盐的垂直通量为 2.0 mmol/(m²·d),初级生产力为 2436 mg/(m²·d)。
3. 强烈的上升流,使琼东沿岸成为全国夏季最低表层水温的地区,观测到表层最低水温为 19.46°C,且温度呈半年周期变化,7 月份低于 1 月份温度,形成独特的生长季节。
4. 上升流的变异,使地处低纬度的琼东沿岸海区会受到温度压力和赤潮的危害。
5. 上升流消失时,上升流区普遍会出现逆温现象。

参 考 文 献

- [1] 邓松,1987。七洲列岛南部海域上升流分析。南海海洋 1: 18—20。
- [2] 许建平、曹欣中、潘玉球,1983。浙江近岸存在沿岸上升流的证据。海洋湖沼通报 4: 21—25。
- [3] 孙湘平、姚静娴、黄易畅,1981。中国沿岸水文气象概况。科学出版社,1—159 页。
- [4] 陈金泉、付子琅、李法西,1982。关于闽南——台湾浅滩渔场上升流的研究。台湾海峡 1(2): 1—8。
- [5] 胡敦欣,1980。关于浙江沿岸上升流的研究。科学通报 25(3): 131—133。
- [6] 曾流明,1985。粤东沿岸上升流迹象的初步分析。热带海洋 5(1): 68—72。
- [7] 韩舞鹰、马克美,1988。粤东沿岸上升流的研究。海洋学报 10(1): 52—59。
- [8] 雷鹏飞,1984。浙江近岸上升流速及其营养盐通量计算。海洋湖沼通报 2: 22—26。
- [9] 潘玉球、曹欣中、许建平,1982。浙江沿岸上升流峰区特征及其成因的初步探讨。海洋湖沼通报 3: 1—16。
- [10] 潘玉球、徐端蓉、许建平,1985。浙江沿岸上升流区锋面变化及其原因。海洋学报 7(4): 401—411。
- [11] Wyatt, T., 1986. The oceanic growth season. *J. Plank. Res.* 2(1): 32—36。

ON THE LOWEST SURFACE WATER TEMPERATURE AREA OF CHINA SEA IN SUMMER — THE UPWELLING ALONG THE EAST COAST OF HAINAN ISLAND

Han Wuying Wang Mingbiao[†] and Ma Kemei

(*South China Sea Institute of Oceanology, Academia Sinica, Guangzhou*)

([†]*South China Sea Administration, SOA, Guangzhou*)

ABSTRACT

There is a wind-caused upwelling along the east coast of Hainan in Summer. Its central position is above the 30 m depth along the coast, and its annual variation is quite large. The upwelling appears early in summer, and disappears late in autumn. In July 1984, because the area was affected by upwelling water, the lowest sea water temperature of the upwelling center at sea bottom was 19.36°C, 19.46°C at sea surface, which were the lowest sea water temperature of China Sea in summer. And the value was lower than that in winter. As a result, a unique feature of ecological environment, i. e. two winters in one year, will appear in the area.

In July 1984, the velocity of the upwelling center in the north of Gangbei harbour was 3.8×10^{-3} cm/s, the vertical flux of active phosphate 2.0 m mol/(m²·d) and the primary productivity 2 436 mg/(m²·d). The physical and chemical characteristic values in the area of the upwelling were as follows: temperature 21.86°C, salinity 34.42, dissolved oxygen 4.39 ml/L, oxygen saturation degree 88.0%, pH value 8.04, and active phosphate 0.49 m mol/m³, on an average.

In the whole area, there was a phenomenon of upward water temperature inversion during the upwelling disappearance.