

台风暴雨影响期间厦门湾海水盐度、pH、溶解氧和 COD 变化特征*

郭卫东 杨逸萍 弓振斌 胡明辉

(厦门大学海洋学系 361005)

摘要 研究了在两次台风和一次暴雨期间及随后的恢复期内,厦门湾表层海水盐度、pH、溶解氧以及 COD 的变化特征。结果表明,台风暴雨期间两站位盐度、pH 和溶解氧呈下降趋势而 COD 则正好相反。随后几日这些参数逐渐回落到风雨前的水平。对影响这些参数变化的机制进行了初步探讨。

关键词 台风,暴雨,海水化学,厦门湾

台风是影响我国沿海地区的主要海洋动力灾害之一。在台风影响期间,风、波浪、风暴潮以及河流径流等多种动力因素的耦合作用极大地增强了海洋各界面的物质和能量交换。特别是台风期间常伴随暴雨,而暴雨径流对地表的强烈冲刷可将大量化学物质从陆地输送到河口近海,使海水水质出现突发性变化,可能对海洋生态环境产生重要影响。在当前点源污染逐渐得到控制的情况下,包括台风暴雨影响所造成的非点源污染已日益引起人们的重视。但有关台风暴雨对河口港湾海水化学影响的研究尚未见报道。

作者于两次台风和一次特大暴雨影响期间,在厦门湾设置定点观测站,对表层海水主要物理、化学及生物学因子进行比较全面的观测。本文首先报道海水盐度、pH、溶解氧和 COD 的变化特征,并对其影响机制作初步探讨。

1 实验与方法

1.1 采样站位

两个现场观测站设于厦门湾九龙江口和西海域南部,具体位置见文献[1]。

九龙江口站位于河口区鸡屿北侧水道,鼓浪屿西南方,水深约 10 m。本站位是厦门外港海水与九龙江水,以及河口区与西海域水体混合交换的区域,水动力交换条件良好。

西海域站位于筶筴湖汇水区出口处西南方,水深 6 m 左右。主要依靠潮汐作用经厦鼓海峡和嵩鼓海峡与河口区进行水体交换,水动力条件较差。

1.2 水样采集及要素的测定

分别于 1998 年 10 月 26 日至 11 月 3 日,2000 年 6 月 19~24 日,2000 年 8 月 23~29 日在上述两站位采集高低平潮时(间隔约 6 h)表层海水样品。除溶解氧在现场固定外,其余水样立即运回实验室,2 h 内按“海洋监测规范”推荐方法^[2]测定盐度、pH 值、溶解氧和 COD。

2 结果与讨论

2.1 水文气象概况

台风暴雨期间厦门沿海主要水文气象条件见表 1。为讨论方便起见,以下分别把 1998 年 10 月 27~28 日,2000 年 8 月 23~24 日,2000 年 6 月 19 日称为“台风期间”或“暴雨期间”,之后称为“恢复期”。两者统称为“观测期间”。

2.2 盐度变化特征

两站位表层海水盐度呈现台风暴雨期间急剧下降,而进入恢复期后又逐渐回升的共同变化特征(图 1A)。但在 3 次事件中,盐度的变化幅度和恢复情况存在较明显的差异。

在九龙江口站,暴雨和 9810 号台风期间,海水盐度均大幅下降,最低值分别达 1.26 和 3.40,台风 Bilis 期间仅降至 9.20。在西海域站,9810 号台风和暴雨期间海水盐度都只降至 8 左右,而台风 Bilis 期间,本站

* 国家自然科学基金资助项目 49776301 号;
方志山、薛健宏、钱华、李俊、陈立军、易军、郑佩如等参加现场采样和分析测试工作。
收稿日期:2000-11-20;修回日期:2001-03-20

表 1 台风暴雨期间厦门沿海主要水文气象资料

Tab.1 Hydrological and meteorological data in Xiamen Bay during typhoon and rainstorm period

事件名称	时间 (年.月.日)	风力 (级)	风速 (m/s)	风向	降水量 (mm)	浪高 (m)	说明
9810 号台风	1998.10.27~10.28	6~8(9~13)*	55	NE	350	3.0~5.0	近 10 a 对厦门沿海影响最大的台风, 10.27 正面袭击厦门地区
台风 Bilis	2000.8.23~8.24	6~7(9~10)*	45	NE	200	1.5~3.0	8.23 在晋江围头登陆, 8.23~8.24 其尾流对厦门沿海影响较大
特大暴雨	2000.6.18~6.19	2~3		E	400	1.0~1.5	过程降水量达 1892 年厦门地区有气象记录以来最高值

* 括号内为阵风级数。

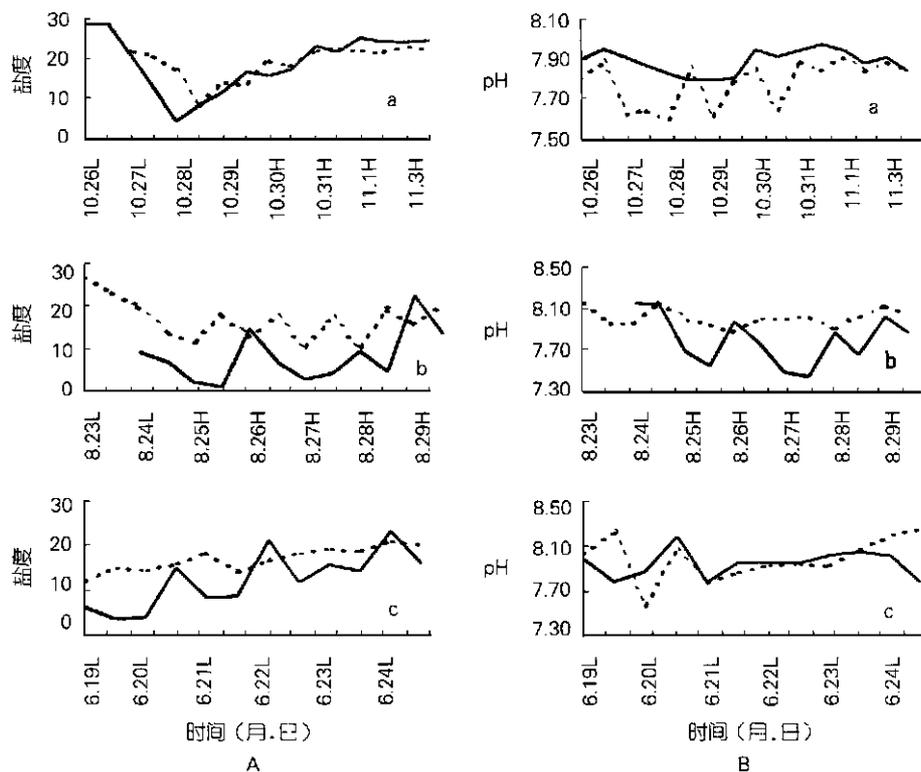


图 1 台风暴雨过程盐度 (A) 和 pH (B) 随时间变化

Fig.1 Variation of S (A) and pH (B) during typhoon and rainstorm process

图中 a, b, c 分别代表 9810 号台风、Bilis 台风和暴雨, 实线为九龙江口站, 虚线为西海域站, 横坐标日期后 L 表示低潮, H 表示高潮, 未标注者为同日另一潮位, 图 2 同。

位还高达 27, 仅略低于非台风时的盐度值。可见, 台风暴雨期间西海域站盐度的降幅明显低于河口区。

9810 号台风过后, 两站位表层海水盐度几乎按指数关系迅速回升, 而暴雨过后, 盐度仍有较大波动, 几乎是按低潮时低, 高潮时高的规律波浪式回升, 恢复速度明显低于 9810 号台风。台风 Bilis 的情况较为特殊, 登陆后其尾流仍处于台湾海峡和厦门沿海上空, 受其影响, 厦门地区降水量比登陆前还大, 所以在恢复期内, 盐度又进一步下降, 之后才逐步上升。尽管 3 次事件盐度恢复的速度有所不同, 但它们对厦门湾表层海水盐度影响的持续时间都较长, 风雨过后 7 d 均仍未恢复到 (或刚接近于) 非风雨时海区的盐度水平。

以上结果表明, 台风暴雨期间巨大的集中降水使九龙江径流和其他地表径流剧增是造成厦门湾表层海水盐度大幅下降的主要因素, 降水量大的 9810 号台风和特大暴雨期间的降幅明显高于台风 Bilis 期间。此外, 台风增水及由台风引起的海洋水文结构的变化对盐度也有重要影响。由风场强度及登陆路径所决定, 9810 号台风在厦门沿海产生较强的台风增水, 使大量高盐度外海水涌入河口港湾, 在一定程度上削弱了九龙江径流的冲淡作用, 所以, 其降水量虽与暴雨时差不多, 而盐度的降幅却略低于后者; 在随后的恢复期, 海区可能还存在一系列“余振”, 外海水的影响仍较强劲, 相比之下, 风力较小的台风 Bilis 和暴雨过后, 只能依靠潮余流的作用进行水体交换、更新, 所以盐度的恢复速度都不如 9810 号台风。

厦门西海域是一个半封闭海湾, 不象河口区那样能直接地受到九龙江水和外海水的影响, 海水盐度比较稳定, 在非风雨情况下, 夏、秋、冬季九龙江冲淡水很难进入, 只有在春季汛期, 当鼓浪屿至嵩屿一带海域受淡水影响较大时, 才有部分九龙江水进入, 但最低也只降到 24~25 左右。而本文的观测表明, 在台风和特大暴雨期间, 西海域南部海水盐度可降低到 8, 且 8~25 的低盐度可持续 1 周左右, 这种盐度的突发变化对已适应本海区盐度条件的海洋生物的生态环境到底会产生什么样的影响, 值得我们关注。

由于条件所限, 本文未能对台风暴雨期间厦门湾水文结构进行同步观测, 所以难以对盐度变化作更深入的讨论。不过, 盐度的变化从观上指示了台风暴雨影响期间水动力交换情况, 有助于认识和探讨其他水化学要素的变化特征。

2.3 pH 值变化特征

如图 1 B 所示, 在九龙江口站, 9810 号台风期间海水 pH 值由 7.95 降至 7.80, 台风过后 1 d, 便恢复到

7.85~8.05 的水平。台风 Bilis 期间, 海水 pH 值的低值不是出现在台风期间, 而是在尾流影响期间 (8 月 24~27 日), 此时本站位海水 pH 值降至 7.45~7.70, 直到 8 月 29 日才回升到 7.80 以上。此次台风对 pH 值影响较大, 其变化幅度也超出本海区 pH 值正常变动范围 (7.7~8.4) 0.2 pH 单位。暴雨期间, 本站位海水 pH 值的最低值达 7.55, 但雨后 3 h 便恢复到 7.80; 在恢复期内, pH 值虽有一定波动, 但均落在 7.80~8.07 的范围内。

在西海域站, 9810 号台风期间海水 pH 值降至 7.6 左右并持续近 2 d, 第 3 天才回升到 7.8~7.9 之间。而在台风 Bilis 和暴雨期间及其恢复期内, 本站位海水 pH 值的波动幅度比同期九龙江口站小, 除个别情况出现低值 (如暴雨恢复期 6 月 20 日为 7.56) 外, 整个观测期间均落在 7.80~8.29 之间。

综上所述, 台风和暴雨期间两站位表层海水 pH 值的影响程度和恢复情况存在一定差异, 但总的来看, 均使两站位海水发生不同程度的下降, 有的持续时间还较长, 说明台风暴雨期间淡水输入和雨水对表层海水 pH 值有一定影响。吴兑等^[3]指出, 广州地区汛期台风降水的 pH 值平均为 5.0, 最低值为 3.5。所以降水对水交换条件较差的局部海域的 pH 值可能造成一定影响, 但由于海水的缓冲作用, 这种影响不会太大。陆源酸性物质的注入则应引起重视。在 3 次风雨事件的恢复期内, 九龙江水的影响已逐渐减弱, 降水也已停止或降水量不大, 但两站都出现一些 7.4~7.6 的较低值, 可能主要因陆源酸性物质排放的影响所致。

2.4 溶解氧 (DO) 变化特征

由图 2 A 可见, 在台风期间及恢复期中, 九龙江口站表层海水溶解氧基本落在 6~8 mg/dm³ 的范围内, 呈过饱和状态, 饱和度达 110%~140%。暴雨期间 DO 含量也比较高, 但进入恢复期其含量低于台风恢复期的水平, 也普遍低于非风时作者在本海区的最低测定值 5.94 mg/dm³。在西海域站, 台风和暴雨的影响也有较大差异。9810 号台风期间, 本站海水溶解氧落在 6~8 mg/dm³ 范围内, 在恢复期内有所下降, 最低值达 4~5 mg/dm³, 至 11 月 3 日才恢复到 6 mg/dm³ 以上。台风 Bilis 及尾流影响期间, 溶解氧值波动较小, 基本落在 5~6 mg/dm³。暴雨对本站 DO 影响较大, 观测期间 DO 大都在 6 mg/dm³ 以下波动, 在恢复期持续 4 d 保持 2.76~5.00 mg/dm³ 的低值, 已低于国家海水水质一类标准。

以上结果表明, 台风期间及恢复期内, 海水 DO 含量普遍高于暴雨及非风时期, 说明在风场作用下强

烈的海气界面交换和水体运动是影响厦门湾表层海水 DO 值的重要因素。然而,在 3 次风雨事件中,都出现九龙江口站海水 DO 值高于西海域站,而西海域站又大多出现在恢复期低潮时的现象,说明陆源污水排放和海区的水动力交换条件对台风暴雨影响期间表层海水 DO 也有重要影响。在九龙江河口区,虽然径流、鼓浪屿西部污水排放和其他工业生活污水亦可能对 DO 产生一定影响,但由于水交换能力强,水体更新较快,污水排放的影响较小。而西海域的水交换条

件较差,加上周边有众多城市排污口和网箱养殖区,台风暴雨期污水排放量又会高于非风雨时,所以其 DO 含量明显下降。

至于生物活动的影响,由于台风暴雨期间,水体不稳定且透明度低,又均为阴雨天气,光合作用较弱。在恢复期内,虽然天气转晴,气温回升,但从 Chl a 变化特征还看不出生物活动与 DO 之间的关系,所以,作者认为,观测期间,与海气交换、水体运动等物理因素相比,生物活动不是影响厦门湾表层 DO 的重

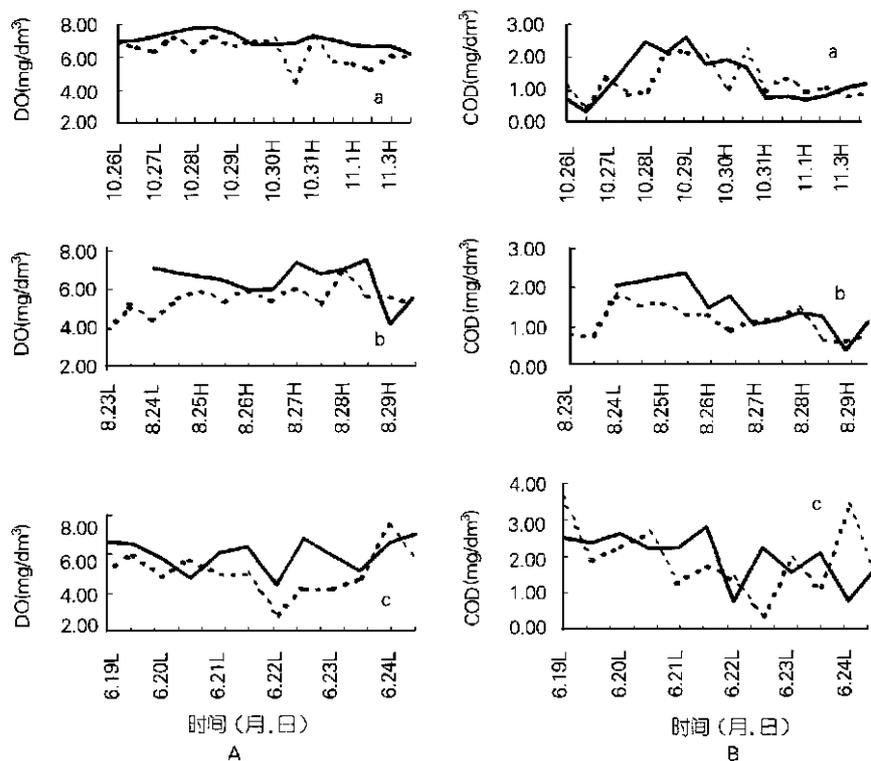


图 2 台风暴雨过程溶解氧(A)和 COD(B)随时间变化

Fig.2 Variation of DO (A) and COD (B) during typhoon and rainstorm process

要因素。

2.5 化学耗氧量(COD)变化特征

台风暴雨影响期间,九龙江口站表层海水 COD 升高,出现峰值(图 2 B)。其中,暴雨期间的峰值高达 3.58 mg/dm^3 ,而两次台风期间的峰值仅略高于非台风时本海区全年最高值 2.01 mg/dm^3 ^[4]。风雨过后,COD 均呈回落趋势,但恢复速度有所不同,暴雨后恢复最慢,而台风过后仅约 24 h 便回落至 2 mg/dm^3 以下。

本站位表层海水 COD 与盐度 (S) 呈现较显著的

负相关关系:

$$9810 \text{ 号台风: } \text{COD} = -0.088 S + 3.02, r = 0.93, n = 14$$

$$\text{Bilis: } \text{COD} = -0.068 S + 2.21, r = 0.62, n = 13$$

$$\text{暴雨: } \text{COD} = -0.084 S + 2.97, r = 0.87, n = 18$$

其中降水量较大的 9810 号台风和暴雨过程的相关性更为显著,说明由九龙江径流携带和陆源污水排放的有机污染物是观测期间本站位 COD 的主要来源。

受台风暴雨影响,西海域站表层海水 COD 也出

现峰值, 峰值由高到低依次为暴雨(3.28 mg/dm³), 9810号台风(2.25 mg/dm³), 台风 Bilis(2.20 mg/dm³)。暴雨和9810号台风过后, 约经过2 d COD便又回落到2 mg/dm³以下, 台风 Bilis的峰值仅3 h后就降低到1.6 mg/dm³。

观测期间西海域站表层海水 COD与盐度的相关方程如下:

9810号台风: $COD = -0.080S + 2.86$, $r = 0.76$, $n = 16$

Bilis: $COD = -0.015S + 1.46$, $r = 0.16$, $n = 17$

暴雨: $COD = -0.123S + 3.83$, $r = 0.48$, $n = 18$

可见西海域站 COD与盐度也存在负相关关系, 降水量较大的9810号台风和暴雨的负相关性比台风 Bilis显著, 但比九龙江口站差, 说明随九龙江冲淡水 and 陆源污水输入的 COD也有重要影响, 但本站位 COD的来源可能更为复杂, 例如, 西海域两侧的养殖污水排放。此外, 西海域底质有机物含量明显高于邻近海区, 通过水体垂直运动扩散到表层海水, 也是构成 COD的主要来源。

台风暴雨使大量有机污染物排放入海, 属非点源污染, 其污染面广, 排放量虽难以精确估算, 但已使厦门湾表层海水 COD在短时间内超过国家海水水质一类标准, 而且较高 COD的海水覆盖海区可达1~2 d(台风)以至5 d(暴雨)。陈砚等1990年发现, 从筶笠

湖排出的高 COD水舌从排水口向外延伸时急剧下降, 在污水与海水交界处(靠近本次观测站位)时已降至1.5 mg/dm³左右, 污水覆盖西海域主航道仅4~5 h之久。可见, 风雨过后西海域 COD恢复速度比非风雨时恢复慢, 证明有机污染源强度比非风雨时大得多。但总体而言, 台风暴雨并没有在厦门湾造成高强度的有机污染, 这可能是因为近年加强对工业污染源达标排放的管理以及部分生活污水经处理后才排放入海有关。特别是台风期间, 表层海水溶解氧充足, 水体自净能力强, 有利于有机污染物氧化降解。此外, 厦门湾属强潮海湾, 潮流流速快, 并且落潮流速高于涨潮流速, 也有利于污染物向外海扩散。陈春华等发现, 台风影响下琼州海峡和海口湾0~10 m水层约1/2的水流向海峡之外, 由此可使海水中污染物浓度降低15%左右^[5]。可见, 台风期间剧烈水体运动对保持水域的良好水质具有一定的作用。

主要参考文献

- 1 薛健宏等. 台湾海峡. 2000, 19(3): 269~275
- 2 国家海洋局. 海洋监测规范. 北京: 海洋出版社, 1991. 1~
- 3 吴兑等. 大气科学. 1998, 22(2): 228~233
- 4 东亚海域海洋污染预防与管理厦门示范区执行委员会办公室编. 厦门海岸带综合管理成果汇编(下册). 北京: 海洋出版社, 1998. 96~101
- 5 陈春华等. 海洋环境科学. 1997, 16(3): 8~13

VARIATION OF SALINITY, pH, DISSOLVED OXYGEN AND COD IN XIAMEN BAY DURING TYPHOON AND RAINSTORM PROCESS

GUO Wei-dong YANG Yi-ping GONG Zhen-bin HU Ming-hui
(Department of Oceanography, Xiamen University, 361005)

Received: Nov. 20, 2000

Key Words: Typhoon, Rainstorm, Sea water chemistry, Xiamen Bay

Abstract

Variation of salinity, pH, dissolved oxygen and COD in Jiulongjiang Estuary and Western Xiamen Harbour were studied during two typhoon process (9810# and Bilis) and one rainstorm process. The results indicated that salinity, pH and dissolved oxygen in both stations showed a decrease tendency during the typhoon or rainstorm process, while COD increased during the same period. They gradually recovered to pre-typhoon or pre-rainstorm levels in subsequent several days. The factors controlling variation of these parameters were discussed.

(本文编辑:张培新)