

台风暴雨对厦门港湾海水溶解无机氮、磷含量的影响^{*}

杨逸萍 郭卫东 方志山 吴国琳 弓振斌

(厦门大学海洋系, 亚热带海洋研究所 厦门 361005)

摘要 于1998年10号台风、2000年10号台风碧利斯和2000年6月厦门地区特大暴雨影响期间,在厦门港湾对表层海水溶解无机氮(DIN)、溶解无机磷(DIP)以及盐度、DO、Chl a等相关环境因子进行定点连续观测。描述了台风暴雨期间和恢复期DIN、DIP的变化特征。对水动力因素、底质再悬浮、有机物氧化降解及生物活动等因素的影响进行了初步的探讨。

关键词 溶解无机氮, 溶解无机磷, 台风, 暴雨, 厦门湾

中图分类号 P734.4*4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)07-0052-07

河口港湾位于陆海过渡带,强烈地承受地表径流以及工农业废水、城市生活污水和海水养殖废水排放等自然和人为活动的影响。在台风、暴雨、洪水等突发事件期间,更有大量陆源物质(包括营养盐,各类污染物和病原体等)被冲刷入海,据Nollkaemper1994年统计,每年由暴雨冲刷、并经径流携带入海的物质占全球陆源物质入海通量的50%以上。

台风是沿海地区常见的自然灾害。由于台风期间常伴随大雨,并引起海域水体强烈运动,必然对近岸海域海水化学产生重大影响,但迄今国内外未见有关这方面内容的专门研究报道。

本文综合1998年10号台风(9810号台风)、2000年10号台风(台风碧利斯)和2000年6月厦门地区特大暴雨影响期间对厦门港湾海水溶解无机氮(DIN)、溶解无机磷(DIP)和盐度、DO、Chl a等其他相关环境因子的现场观测结果,首次报道了台风暴雨期间厦门港湾DIN、DIP的变化特征,并对其调控机制进行了初步的探讨。

1 实验与方法

1.1 采样站位

由于台风暴雨期间海上采样难度很大,本文仅在厦门港九龙江河口区和西海域选择两个站点进行定点连续监测。选择这两个观测站是因为它们均有由陆地伸向海域的人工栈桥,可以不用船只即可采到离岸较远的海水样品。此外,九龙江河口区和西海域的海洋环境质量是近年来人们关注的焦点之一,而台风期间海水运动剧烈,水体混合良好,虽然只有两个观

测站,其监测结果可大致反映这两个海区DIN、DIP及其他环境因子的变化状况。

两站的具体位置见图1。其中X1站位于厦门鼓浪屿西南方,鼓浪别墅码头栈桥海端,离岸约100 m,水深10 m左右。根据厦门海域功能划分,本站位于厦门南部海域(或称厦门外港)与九龙江河口区中下段的交汇处,本文称其为“河口站”。本站涨潮时主要受外海水影响,退潮时则受九龙江径流和厦门西海域海水的共同影响,水动力交换条件较好。X2站位于厦门西海域南部,厦门海关调查局码头栈桥海端,离岸约200 m,水深6 m左右,本文称其为“西海域站”。本站的主要水动力因素为潮汐动力。在潮汐作用下,与厦门外港和西海域北部海水进行水体交换,水动力条件较河口站差。特别应当指出,厦门西海域是厦门本岛、鼓浪屿和杏林、海沧等地工农业和生活废污水的主要承纳水体,“西海域站”又靠近筑篱湖汇水区排水口,海水水质受人类活动影响较大。

1.2 水样的采集与要素的测定

分别于1998年10月26日~11月3日,2000年

* 国家自然科学基金项目49776301号;陈立军、李俊、薛健宏、钱华、易军、温裕云等参加现场采样和分析测试工作。
第一作者:杨逸萍,出生于1943年,教授,主要从事河口化学和海洋生物地球化学研究。

收稿日期:2001-12-06;修回日期:2002-04-20

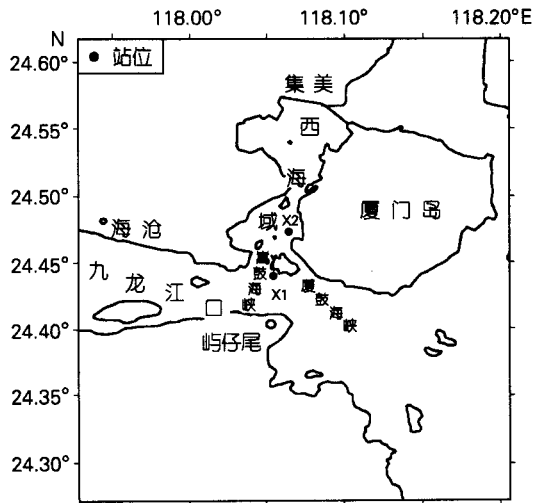


图1 采样站位
Fig. 1 Sampling stations

6月19~24日, 2000年8月23~29日在上述两站采集高低潮时表层海水样品, 除溶解氧在现场固定外, 其他样品立即送回实验室, 各要素均按“海洋监测规范”推荐方法测定^[1]。

2 台风暴雨事件水文气象状况简介

9810号台风于1998年10月14日在菲律宾以东西太平洋洋面形成, 10月25日起向台湾海峡方向移动, 10月26日起厦门沿海风力明显增强。10月27日正面袭击厦门地区, 中心风力9~13级, 最大风速 $55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向东北, 海区浪高3~5 m。厦门地区过程降水量350 mm。期间, 九龙江流域各县市也出现大到暴雨。10月28日台风警报解除。

台风碧利斯于2000年8月23日穿过台湾岛进入台湾海峡, 当日11时在晋江围头登陆。此次台风对厦门地区影响较大。8月23日风力达6级, 并有大雨。台风登陆后, 其结构仍较完整, 尾流还位于台湾海峡和闽南沿海, 8月24~25日, 受其尾流影响, 厦门沿海风力继续增强, 风力6~7级, 最大风速 $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向东北, 并有大雨。厦门地区过程降水量200 mm左右。但同期九龙江流域并无大的降水。

特大暴雨事件发生于2000年6月18~19日, 过程总降水量400 mm。为1892年厦门地区有气象记录以来最大的一次集中降水。九龙江流域尤其是漳州地区也同时出现暴雨。仅漳州市降水量累计达300 mm左右。观测期间, 厦门沿海风力2~3级, 风向东。

为讨论方便, 下文把1998年10月27~28日称为“台风期间”, 2000年8月25日称为“尾流影响期间”, 2000年6月19日称为“特大暴雨期间”, 台风暴雨结束后至最后一个观测日称为“恢复期”, 两者合称“观测期间”。

3 结果

3.1 观测期间表层海水 DIN 变化特征

厦门近岸海域 DIN 含量较高, 通常, 河口区略高于西海域, 并有较明显的季节变化。根据陈水土等1993年现场观测结果, 河口区中下段和西海域南部夏季表层海水 DIN 分别为 $0.296 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (以 N 计, 下同) 和 $0.236 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 秋季分别为 $0.354 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 和 $0.310 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。为便于比较, 下文把这些观测值称为“正常”值。

观测期间两站 DIN 时序变化见图 2。

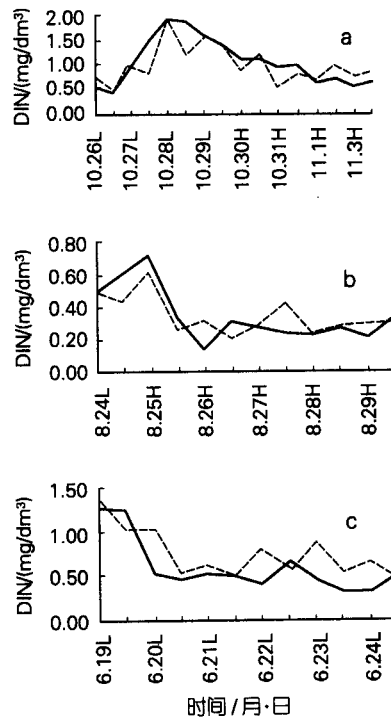


图2 台风暴雨过程 DIN 时序变化

Fig. 2 Variation of DIN during typhoon and rainstorm process
a. 9810号台风, b. 碧利斯台风, c. 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

台风暴雨期间, 两站表层海水 DIN 值均为观测期间的最高值(峰值), 这些峰值一般出现在台风正面袭

击的第2天或暴雨后的第2天。不同站和不同事件其增幅不同。在河口站, 9810号台风期间DIN值最高, 达 $1.756 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 其次为暴雨期间, 为 $1.242 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 台风碧利斯尾流影响期间, 达 $0.725 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。三者分别为非台风暴雨时同季节本海区“正常值”之4.9, 4.2和2.5倍。

在西海域站, 台风暴雨期间DIN峰值由大到小也依次为9810号台风($1.715 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), 暴雨($1.320 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), 台风碧利斯($0.625 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), 分别为同季节本海区“正常值”之5.5, 5.6和2.6倍。

台风暴雨事件结束之后, 两站表层海水DIN都出现不同程度的回落。在河口站, 台风碧利斯尾流影响期间出现的DIN峰值大约经过6h之后便降低到 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 左右, 随后有所波动, 到8月29日还高达 $0.440 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。暴雨停止后1天, DIN从峰值下降到 $0.550 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 然后一直维持在 $0.3 \sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 之间。9810号台风警报解除后, 本站DIN不像其余两事件那样有明显的回落, 而是呈现逐步下降的趋势, 到11月3日DIN值为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。以上结果表明, 虽然各事件DIN的恢复速度各有差异, 但在风雨结束后4~7d, 本站DIN还明显高于“正常”水平。

在西海域站, DIN的恢复情况与河口站相似之处在于, 3次事件的最后一个观测日, 也均未恢复到“正常”水平。不同的是恢复期本站DIN波动较大, 并有高潮时低、低潮时高的规律。

3.2 观测期间DIP的变化特征

厦门近岸属“高氮低磷”海域, 海水DIP含量较低, 西海域略高于河口区, 并有较明显的季节变化。据陈水土等1994年监测结果, 河口站附近(河口区中下段)夏秋季节DIP分别为 0.008 和 $0.015 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (以P计, 下同), 西海域站(西海域南部)夏秋季分别为 0.015 和 $0.018 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。

由图3可见, 台风暴雨期间, 河口站出现DIP峰值, 其中, 台风碧利斯尾流影响期间DIP值为 $0.197 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 9810号台风期间次之, 为 $0.187 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 特大暴雨期间仅达 $0.069 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 三者分别为同季节本海区“正常”DIP值之24, 12和8.6倍。

在西海域站, 台风碧利斯尾流影响期间, DIP峰值达 $0.053 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 9810号台风期间为 $0.107 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 特大暴雨期间为 $0.074 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, 分别为同季节“正常”值之3.5, 5.9和4.9倍。必须指出的是, 尽管以上DIP值都比“正常”值高出数倍, 但它们并非观测期间的峰值, 在恢复期本站还出现更高的DIP值。

DIP的恢复情况与DIN大致相似, 主要表现在以下3个方面: (1) 在河口站, 风雨事件结束后, DIP一

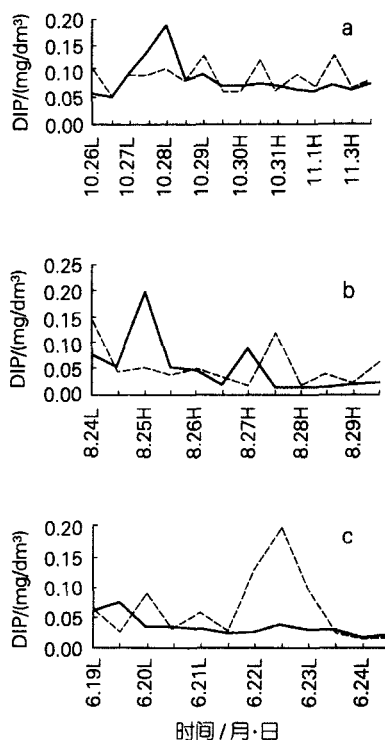


图3 台风暴雨过程DIP随时间变化

Fig. 3 Variation of DIP during typhoon and rainstorm process

旦回落, 随后变化较为平稳; (2) 在西海域站, DIP波动较大, 并同样有高潮时低、低潮时高的规律; (3) 到最后一个观测日, 两站DIP均未恢复到“正常”水平。

4 讨论

4.1 台风暴雨期间地表径流输入对DIN、DIP含量的影响

根据多年来监测结果, 九龙江径流输入是厦门近岸海域DIN的主要来源。对DIP而言, 除径流输入外, 也受城市生活污水排放和农业面源污染等其他因素的影响^①。

台风暴雨期间, 由于降水集中, 降水面积大, 降水量多, 在雨水冲刷下必有更多氮、磷化合物(包括溶解态和颗粒态)被径流携带进入河口近岸海域。

由于海水盐度在水体混合交换中的“保守性”, 使其在指示陆源冲淡水与海水的交换混合以及指示河

① 厦门市环境质量年报, 2001

口海湾化学物质的来源,迁移和归宿等方面具有独特作用。在“正常”情况下,常利用 DIN、DIP 与盐度的相关关系来判断径流输入的影响。但因为台风暴雨为短时间尺度事件,相关分析的方法难以适用。加上台风暴雨期间两站海水既受九龙江冲淡水影响,又受直接降水影响,也可能使 DIN、DIP 与盐度的关系变得比较复杂。

台风暴雨期间对两站表层海水的观测结果表明(图 4),两站盐度都比“正常”值下降 15~20,而直接降水不可能对盐度产生这么大的影响。以西海域为例,在“正常”时期,海水盐度相对稳定。蔡清海等 1993 年指出,只有在春季汛期(3~5 月),嵩鼓海峡一带才比较明显地受到九龙江水的影响,并有部分冲淡水进入西海域南部,但此时该海域盐度最多仅降低 2~3。所以,3 次事件期间九龙江径流对两站尤其是西海域站所处海区的入侵程度远大于非台风暴雨期间。比较 DIN、DIP 和盐度的时序变化图可见,台风暴雨期间,两站盐度都降到观测期间的最低值,与此同时, DIN 和 DIP 出现峰值(或高值),说明九龙江径流和其他地表径流输入是两站 DIN 和 DIP 的主要(或重要)来源。

表 1 列出台风暴雨期间两站 DIN、DIP 增幅与盐度减少值。对 DIN 而言,9810 号台风期间和特大暴雨期间,由于九龙江流域和厦门地区都出现大到暴雨,而台风碧利斯及尾流影响期间仅厦门地区有较大降雨,所以前两事件入海径流量比后者大得多,导致前两事件两站盐度减少 20~25,而后者仅减少 15~17,相应地,前两事件 DIN 的增幅明显高于后者。盐度的

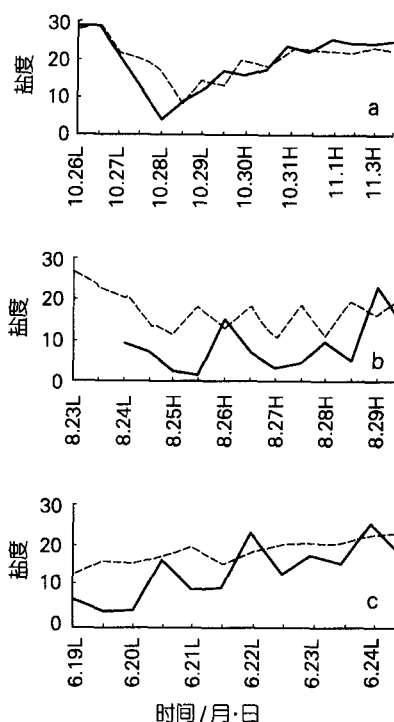


图 4 盐度时序变化

Fig. 4 Variation of salinity during typhoon and rainstorm process

减少与 DIN 的增加呈现一种近似于“负相关”关系。这又从另一方面说明,虽然集中的大直接降水会产生一定的稀释作用,但与暴雨对地表的强烈冲刷相比,其

表 1 台风暴雨期间 DIN 和 DIP 增幅与盐度减少值的比较

Tab.1 Comparison between increase magnitude of DIN and DIP and decrease magnitude of salinity during typhoon or rainstorm period

事件名称	DIN 增幅		DIP 增幅		盐度减少值	
	河口站	西海域站	河口站	西海域站	河口站	西海域站
9810 号台风	4.9	5.5	12	5.9	23.50	20.70
台风碧利斯	2.5	2.6	24	3.5	17.70	15.32
特大暴雨	4.2	5.6	8.6	4.9	25.64	20.80

注:1. DIN、DIP 增幅指台风暴雨期间 DIN、DIP 值增加的倍数,其中,台风碧利斯期间 DIP 取 2000 年 8 月 25 日数值。

2.“盐度减少值”为“正常”盐度值与台风暴雨期间盐度值的差值。

对 DIN 的影响显然要小得多。

但 DIP 的情况要比 DIN 复杂。首先,在 9810 号台风和特大暴雨事件中,河口站增幅均大于西海域站,这可能与径流对两站 DIP 的影响程度有所不同有关。在河口站, DIP 主要来源于九龙江径流或其他地表径流输入。在暴雨冲刷下,流域各地生活污水、工农

业废水被大量汇集到径流中,这是一种“面源”输入的方式, DIP 负载大,又不象点源排放那样易受“稀释”。而西海域站虽然紧邻筲箕湖汇水区排水口,附近还有许多市政排污口,但这种点源污水,在入海前和入海后都会不同程度受稀释,而此站径流的影响又较小,以致于 DIP 增幅反而不如河口站。

但 9810 号台风与特大暴雨期间两站盐度减少值相近,前者 DIP 增幅却明显高于后者,这可能与台风期间底质再悬浮对 DIP 的贡献有关。

由于九龙江径流携带的颗粒磷大部分在河口区中下段沉积,而西海域又长期接纳城市污水排放和海水养殖品种排泄物及残饵,使两站所处海区表层沉积物磷含量都比较高。陈水土等 1993 年发现,其中颗粒有机磷和“不稳定”颗粒无机磷(如 Fe-P)占了相当比例,这部分颗粒磷的矿化和转化,导致底层水、表层沉积物中 DIP 含量较高,加上水深较浅,在水动力作用下可通过再悬浮进入上层水柱。9810 号台风期间,风速达 $55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,在台风风场驱动下,水体会产生强烈的垂直涡动混合,促使底质反复再悬浮,更有利于底部 DIP 进入表层水中。Richard 等研究台风对日本最大淡水湖 Biwa 湖 DIP 的影响时发现,当风速达 $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,1 d 之内湖水 DIP 就上升 2~3 倍,使该湖泊磷限制状况得以解除,1 周之后才恢复到原来状态^[2]。不过,由于缺乏直接的相关观测数据,台风期间底质再悬浮对表层海水 DIP 的影响程度和持续时间尚需进一步研究。

此外,由表 1 可见,台风碧利斯尾流影响期间河口站 DIP 增幅均高于其余两事件,这可能与采样时受突发排污事件影响,或分析测定时样品受沾污所致,有待查证,因此,以上讨论中暂不考虑这次事件。

综上所述,台风暴雨期间,以九龙江入海径流为主的地表径流输入不仅是河口站,同时也是西海域站 DIN 的主要来源。DIP 除受径流输入和点源污水排放的影响外,台风期间,底质再悬浮对表层海水 DIP 的贡献也不容忽视。

4.2 恢复期表层海水 DIN、DIP 主要调控因素初探

如 3.1、3.2 节所述,在恢复期,两站 DIN、DIP 表现以下共同特征:台风暴雨事件结束后,DIN、DIP 先出现明显回落,而后有所波动(西海域站波动尤为明显),在事件结束后 4~7 d,均未恢复到“正常”水平。这些变化特征与恢复期海区水动力交换条件、水环境理化条件处于调整恢复状态,而生物活动和生物地球化学过程渐趋活跃有关。

进入恢复期后,由于降水停止,九龙江冲淡水“来势凶猛”的状态得以缓解,径流输入的贡献下降。但由于厦门港湾是比较典型的感潮河口海湾,涨潮时外海水流向湾内,退潮时湾内水流向湾外,同时,退潮时被潮流带到湾外的海水及所携带的化学物质在涨潮时又有一部分返回湾内。受水体更新能力的限制,恢复期盐度并未迅速回升,而是经历一个波浪式逐步回升

的过程(图 4),在各事件的最后一个观测日,还未恢复到“正常”水平,说明在这段时间内,径流输入的影响还比较强,台风暴雨期间所接受的 DIN 和 DIP 还有相当部分停留在海区,这是事件结束后数日两站 DIN、DIP 仍“居高不下”的重要原因之一。

Eyre 和 Twing 1997 年对洪水影响期间澳大利亚 Richmond 河口氮行为的研究发现,洪水期间,该河口 DIN 主要来源于河流输入,其通量达 $599 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$,而此时河口水体内部生物地球化学过程受抑制,其对 DIN 的贡献很少。反之,在洪水过后的恢复期中,有机氮的氧化降解对 DIN 的贡献逐渐增大,在洪水过后 14 d,河流输入通量降低为 $385 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$,而由表层沉积物有机氮再生并向上输送的 DIN 通量增加到 $11\ 816 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。此外,Chrost 和 Riemann 1994 年在模拟风暴驱动的底质再悬浮的围隔生态系实验中发现,在这种特定的条件下,水体中氨肽酶(AMPase)和 β -葡萄糖(GLCase)活性和细菌生产力急剧增大,从而大大加快了有机物的氧化降解速度。这些研究结果提示,风暴之后,有机物的氧化降解速度较快,水体内部的生物地球化学过程对水柱 DIN、DIP 含量的影响逐渐增大。

厦门港湾长期接纳由九龙江径流输入和由周边城市废污水、海水养殖废水输入的有机污染物,致使有机污染已成为本海域的主要环境问题。两站所处海区底质有机质含量较高,其中,西海域有机质含量居全海域之首^[3]。根据现场观测结果,3 次事件期间,从外源输入的不仅仅是 DIN 和 DIP,而且还有相当部分是有机形态的氮、磷化合物。以磷为例,DOP 和 POP 在总磷中所占比例在 50% 以上(有关内容将另文报道)。这些“新鲜”有机物的输入,无疑更增加了海区水层和底质的有机负载。加之风雨之后,气温、水温明显升高,细菌活动增强,更有利于有机物的氧化降解。观测后期两站溶解氧明显下降(图 5A),可能就是有机物降解耗氧所致。由 NH_4^+-N 的时序变化图(图 5B)可见,在恢复期,河口站 NH_4^+-N 呈增大趋势,而在西海域站,则表现为大幅度的波动,高值出现在低潮时(DIP 也有类似现象)。以上结果表明,恢复期 NH_4^+-N 有新的来源,如“新”的外源输入,海洋生物的排泄,以及“新”“老”有机氮的氨化等。由于在恢复期,海区浮游植物的活动尚处于恢复状态(见下文),其对 NH_4^+ 的摄取和排泄对海水 NH_4^+ 含量的影响不大。此外,除非有突发排污事件,否则不可能有比台风暴雨期间更大的外源输入。初步结果显示,新增加的 NH_4^+ 很可能主要来自有机氮的氨化,而且其转化速度还比较快。

由于台风暴雨期间可能向海域输入大量有机物,特别是其中的颗粒有机物常积累在河口海湾表层沉积物中。这些有机物的持续循环再生,将成为海域营养盐的长期潜在影响因素。因此,研究台风暴雨对河

口海湾有机氮、磷含量的分布变化及其降解动力学的影响,是一项很有意义的研究课题,今后应作专门的探讨。

9810号台风恢复期中,两站表层海水 Chl a 含量

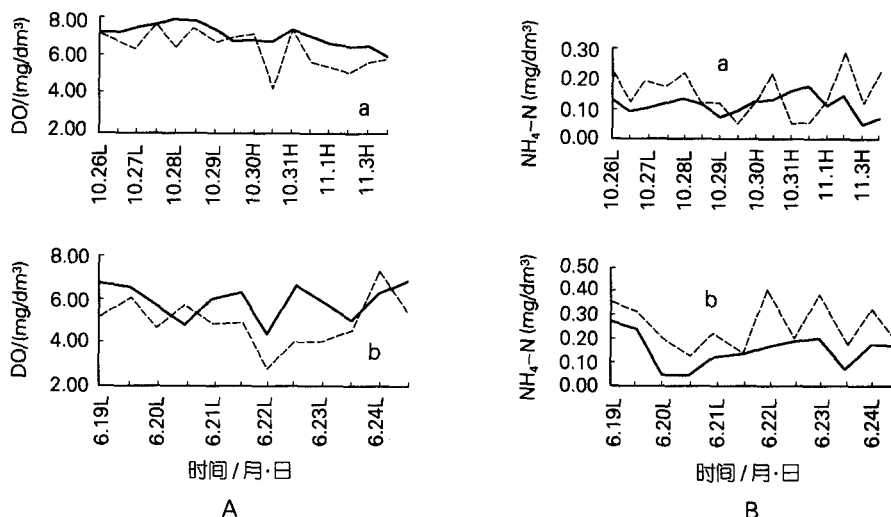


图5 9810号(a)和特大暴雨(b)期间DO(A)与NH₄-N(B)时序变化

Fig. 5 Variation of DO (A) and NH₄-N (B) during No. 9810 typhoon (a) and rainstorm (b) process

落在 0.5~2 mg·m⁻³之间,大多低于或接近于同季节两站 Chl a 的平均水平 (1.79 mg·m⁻³),特大暴雨后 3~4 d,两站 Chl a 含量低于 3 mg·m⁻³以下,仅为同季节 Chl a 正常变化范围之低限^[4]。从 Chl a 的观测结果,可以在一定程度上说明,台风暴雨之后,浮游植物要完全恢复到正常的生长繁殖状态还需要一段时间。所以,在观测期间内,浮游植物的摄取、利用、排泄,还不会对 DIN、DIP 含量产生主要影响。

但值得注意的是,在观测后期,Chl a 已有明显上升,特别是特大暴雨后第 5 天(6 月 24 日),河口站 Chl a 达 12 mg·m⁻³,西海域站达 95 mg·m⁻³,出现浮游植物异常繁殖的迹象。再过 3 天(6 月 27 日),国家海洋局三所科技人员在西海域发现一次赤潮。另据近年文献报道,不少赤潮是发生在大雨之后,如 1998 年胶州湾女姑山增养殖海域中肋骨条藻赤潮^[5],同年,深圳湾环节环沟藻赤潮^[6]和烟台四十里湾红色裸甲藻赤潮^[7]。厦门西海域自 1986 年以来已发生过多次赤潮,其中有些也是发生在大雨之后^[4]。

根据上述学者对赤潮的成因分析,这些赤潮均发生在水体交换不畅的海区(特别是海水增养殖区)。由于大雨的影响,海水 DIN、DIP 含量很高,加上雨后天

气连续放晴,光照充足,水温较高,盐度较低等因素的影响而诱发赤潮。本文对 3 次台风暴雨事件之恢复期以及水温等相关因子的观测也表明海区具有上述环境特征。赤潮发生的机制十分复杂,目前尚在探讨之中,但台风暴雨之后是诱发赤潮的一种“有利时机”。若能在台风暴雨之后主动在海区进行海洋生物、化学、水文气象等多学科综合连续观测,必将有助于赤潮生消机制的深入研究,提高赤潮预报水平。

5 结语

(1) 台风暴雨期间,九龙江河口站和西海域站表层海水 DIN 和 DIP 均呈数倍增长。DIN 和 DIP 的“峰值”或高值大都出现于台风暴雨袭击后的第 2 天。

(2) 台风暴雨期间河口站 DIN 和 DIP 都主要来源于以九龙江入海径流为主的地表径流的输入。而在西海域站, DIP 既来源于径流输入,也受点源污水排放影响。台风期间,两站 DIP 还可能来自底质再悬浮的贡献。

(3) 恢复期两站 DIN、DIP 先出现回落,后有所波动。西海域站的波动幅度大于河口站。台风暴雨结束后 4~7 d,两站 DIN、DIP 均未恢复到同季节海区“正

常”水平。

(4) 恢复期 DIN、DIP 含量的变化主要受控于潮汐作用下的水体更新能力,也可能与有机物的矿化再生有关。由于台风暴雨结束后浮游植物恢复生长繁殖需要一段时间,观测期间生物活动不是 DIN、DIP 的主要调控因素。

参考文献

- 1 国家海洋局. 海洋监测规范. 北京:海洋出版社, 1991
- 2 Richard D R, Marly J W. Relaxation of phosphorus limitation due to typhoon-induced mixing in two morphologically distinct basins of Lake Biwa. *Japan Limnol Oceaogr*, 1998, 43(6): 1 023-1 036
- 3 许昆灿. 厦门海洋环境综合监测. 见:东亚海域海洋污染防治与管理厦门示范区执行委员会办公室. 厦门海岸带综合管理(下册). 北京:海洋出版社, 1998
- 4 李少菁. 厦门沿海海水养殖污染的控制与管理. 见:东亚海域海洋污染防治与管理厦门示范区执行委员会办公室. 厦门海岸带综合管理(下册). 北京:海洋出版社, 1998
- 5 霍文毅,俞志明,邹景忠,等. 胶州湾中肋骨条藻赤潮与环境因子的关系. *海洋与湖沼*, 2001, 32(3): 311-317
- 6 王朝晖,齐雨藻. 1998年春深圳湾环节环沟藻赤潮及其发生原因的探讨. *海洋科学*, 2001, 25(5): 47-49
- 7 吴玉霖,周成旭. 烟台四十里湾海域红色裸甲藻赤潮发展过程及其成因. *海洋与湖沼*, 2001, 32(2): 159-167

INFLUENCE OF TYPHOON AND RAINSTORM PROCESS ON DISSOLVED INORGANIC NITROGEN AND DISSOLVED INORGANIC PHOSPHORUS OF SEAWATER IN XIAMEN BAY

YANG Yi-Ping GUO Wei-Dong FANG Zhi-Shan WU Guo-Lin GONG Zhen-Bin
(*Department of Oceanography, Institute of Subtropical Oceanography, Xiamen University, 361005*)

Received: Dec., 6, 2001

Key Words: Dissolved inorganic nitrogen, Dissolved inorganic phosphorus, Typhoon, Rainstorm, Xiamen Bay

Abstract

Dissolved inorganic nitrogen (DIN)、dissolved inorganic phosphorus (DIP) of surface water and other related environmental parameters (Salinity, DO, Chl a) were observed consecutively at two stations in the Xiamen Bay during No. 9810 typhoon(October, 1998), Bilis typhoon(August, 2000) and rainstorm (June, 2000) processes. Variation of DIN and DIP during the influence period and the recovery period were described. Influence of water dynamics, sediment resuspension, decomposition of organic matter and biological activity on variation of DIN and DIP were initially discussed.

(本文编辑:张培新)