

湛江港湾水域富营养化与赤潮浅析

张立柱, 余 雷, 唐谋生

(中国人民解放军湛江地区环境监测站, 广东 湛江 524064)

摘要 重点对 2002 ~ 2006 年湛江港湾水域的环境因子进行分析, 讨论港湾水质状况, 表层和底层无机氮、无机磷质量浓度的年际变化趋势, 以及水体富营养化的形成与赤潮的关系。分析湛江港湾水体富营养化的成因。结果表明, 湛江港湾水质状况较好, 但氮、磷浓度都较高, 且有逐年升高的趋势, 赤潮产生除与水体富营养化、赤潮生物有关外, 还包含诸多因素的综合作用。最后提出了控制水体富营养化和防止赤潮发生的具体措施。

关键词 湛江港; 营养盐; 富营养化; 赤潮

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2009)02-0050-05

Eutrophication and red tide in coastal waters of Zhanjiang port

ZHANG Li-zhu, YU Lei, TANG Mou-sheng

(Zhanjiang Environmental Monitoring Station, PLA, Zhanjiang 524064, China)

Abstract Through investigation of the environmental indices of coastal waters in the Port of Zhanjiang from 2002 to 2006, the water quality status, the annual variations of inorganic nitrogen and inorganic phosphorus concentrations in shallow and deep water, and the relationship between eutrophication and red tide are discussed. The causes of the eutrophication are also described. The results indicate that the water quality condition was good except for the high and increasing concentration of nitrogen and phosphorus, and the red tide is related not only with eutrophication and red tide organisms, but also with other factors. Finally, methods are presented for avoiding eutrophication and red tide.

Key words Zhanjiang Port; nutrient; eutrophication; red tide

湛江港湾位于广东省西南沿海, 为一个半封闭型港湾, 海域总面积为 90 km²。湛江港是军民合用港口, 每年向港池排放的舰船油污水、城市生活污水、工业废水给港内水体带来严重污染并产生一定的危害, 海水富营养化有逐年升高趋势, 如不尽快采取治理措施, 湛江港湾的赤潮将更加频繁, 对湛江海水养殖、旅游业发展和可持续发展港口经济将产生一定的影响。为此, 笔者拟对港湾水质富营养化状况进行调查和分析, 供决策部门参考。

1 调查区域和方法

2002 ~ 2006 年对湛江港湾海域水体状况进行了调查。沿港湾内主航道共布 8 个监测站位进行采样监测。每年两期, 一为丰水期, 即 3 ~ 9 月, 气温高,

雨水多, 采样监测选在 4 月底到 5 月初; 二为枯水期, 即 10 月到翌年 3 月, 气候温和, 雨水少, 采样监测选在 11 月底到 12 月初。由于港湾水深, 潮差平均为 2.16 m, 最高有 3 m 以上, 所以, 每个站位都采表层、底层水样进行分析, 监测项目共 18 项, 除环境条件、水温、水色、透明度为现场监测外, 其余项目在实验室进行, 除对底层水样不做油类分析外, 其余项目在表、底层海水样中均做监测分析。监测方法均按 GB 17378.4—1998《海洋监测规范》中规定的方法进行。水质监测数据统计结果见表 1。

2 港湾水质状况和水体富营养化分析

2.1 港湾水质单一环境因子分析

由表 1 可见, 2002 ~ 2006 年港湾海水 pH 值表层

表 1 湛江港 2002 ~ 2006 年海水水质监测数据统计结果

| 年份 | 水层 | pH | $\rho(\text{SS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{COD})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{DO})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{DIN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{DIP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | $\rho(\text{油类})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ |
|------------|----|-----------|---|--|---|--|--|---|
| 2002 | 表层 | 7.97 | 33.25 | 1.07 | 5.75 | 0.623 | 0.035 | 0.096 |
| | 底层 | 7.97 | 37.55 | 1.05 | 5.81 | 0.552 | 0.038 | |
| 2003 | 表层 | 8.13 | 48.10 | 0.98 | 7.75 | 0.309 | 0.038 | 0.080 |
| | 底层 | 7.90 | 55.50 | 0.76 | 5.76 | 0.406 | 0.047 | |
| 2004 | 表层 | 7.81 | 63.30 | 0.44 | 6.32 | 0.630 | 0.037 | 0.079 |
| | 底层 | 7.71 | 67.50 | 0.59 | 5.79 | 0.753 | 0.050 | |
| 2005 | 表层 | 8.06 | 100.50 | 0.99 | 6.02 | 0.682 | 0.058 | 0.080 |
| | 底层 | 8.06 | 111.20 | 0.68 | 5.07 | 0.964 | 0.080 | |
| 2006 | 表层 | 7.78 | 44.00 | 2.31 | 6.36 | 0.583 | 0.063 | 0.075 |
| | 底层 | 7.79 | 45.30 | 1.22 | 4.24 | 0.760 | 0.082 | |
| 海水水质标准(三类) | | 6.8 ~ 8.8 | ≤ 100 | ≤ 4 | > 4 | ≤ 0.40 | ≤ 0.030 | ≤ 0.30 |

为 7.78 ~ 8.13, 底层为 7.71 ~ 8.06, 均达海水水质二类标准(7.8 ~ 8.5); 悬浮物(SS)除 2005 年表层为 100.5 mg/L, 底层为 111.2 mg/L(均大于 100 mg/L), 超过三类海水水质标准外, 其他年份均达三类海水水质标准; 溶解氧(DO)除 2006 年底层(大于 4 mg/L)达三类海水水质标准外, 其他年份无论表层还是底层均达二类海水水质标准(大于 5 mg/L); 化学需氧量(COD)除 2006 年表层(不大于 3 mg/L)达二类海水水质标准外, 其他年份无论表层还是底层均达一类海水水质标准(不大于 2 mg/L); 油类在 2002 ~ 2006 年间变化都在二、三类海水水质标准之间(0.05 ~ 0.30 mg/L); 无机氮(DIN)与无机磷酸盐(DIP)在 2002 ~ 2006 年间, 不仅呈逐年上升趋势, 而且严重超标(下节重点分析)。因此, 湛江港湾水质除无机氮与活性磷酸盐严重超标外, 其他环境因子年际间变化都在二、三类海水水质标准之间。

2.2 港湾水质无机氮、磷的年际变化

2.2.1 无机氮的年际变化

2002 ~ 2006 年港湾海水 DIN 质量浓度表层分别为 0.623、0.309、0.630、0.682、0.583 mg/L, 底层分别为 0.552、0.406、0.753、0.964、0.760 mg/L。港湾海水 DIN 的质量浓度年际变化见图 1。由图 1 可见港湾海水 DIN 质量浓度变化规律: ①除 2002 年外, 其他年际都是底层高于表层; ②除 2003 年表层偏低外, 其他年际变化趋于平稳; ③除 2003 年底层低于其他年际外, 整体上其年际变化有逐年上升趋势; ④无论表层还是底层均高于海水水质三类标准。

2.2.2 无机磷的年际变化

2002 ~ 2006 年港湾海水 DIP 质量浓度, 表层分别为 0.035 mg/L、0.038 mg/L、0.037 mg/L、0.058 mg/L、0.063 mg/L, 底层分别为 0.038 mg/L、0.047 mg/L、0.050 mg/L、0.080 mg/L、0.082 mg/L。港湾海水 DIP 质量浓度的年际变化见图 2。从图 2 发现港湾 DIP 质量浓度变化规律: ①每年都是底层高于表层; ②无

论表层还是底层都是逐年上升, 而且 2005、2006 两年上升较快, 特别是 2006 年为三类海水水质标准的 2 倍以上。

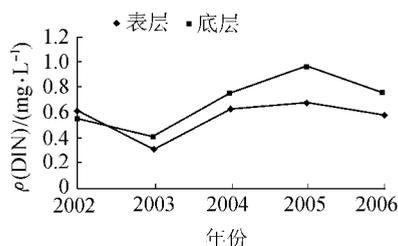


图 1 2002 ~ 2006 海水中无机氮的年际变化趋势

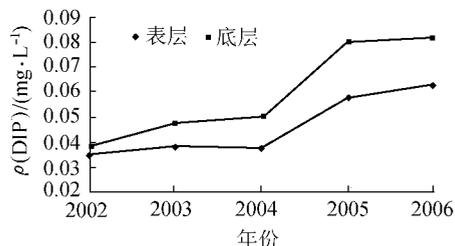


图 2 2002 ~ 2006 年海水中无机磷酸盐的年际变化趋势

2.2.3 港湾海水富营养化分析

由于目前尚无统一的水体营养状况评价指标和方法, 为此采用较为常见的单项指数法和营养状态综合指数法^[1-2]对湛江港湾水体营养状况进行评价。根据单项指数, 各营养盐富营养化阈值为: $\rho(\text{COD}_{\text{Cr}}) = 1 \sim 3 \text{ mg/L}$; $\rho(\text{DIN}) = 0.2 \sim 0.3 \text{ mg/L}$; $\rho(\text{DIP}) = 0.015 \sim 0.020 \text{ mg/L}$ 。2006 年测得湛江港湾水体 COD 表、底层质量浓度分别为 2.31 mg/L 和 1.22 mg/L; DIN 表、底层质量浓度分别为 0.583 mg/L 和 0.760 mg/L; DIP 表、底层质量浓度分别为 0.063 mg/L 和 0.082 mg/L, 以上各营养盐都超过营养化阈值。根据营养状态综合指数(E)公式:

$$E = \frac{\rho(\text{COD})\rho(\text{DIN})\rho(\text{DIP})}{4500} \times 10^6$$

若 $E \geq 1$, 则为富营养化。以 2006 年实测数据计算: 表层 E 值为 18.9, 底层 E 值为 16.9, 均大于 1, 而且

超标 16 ~ 18 倍,表明湛江港湾水体早已富营养化。

2.3 湛江港湾水体富营养化的形成原因

水体富营养化尽管与诸多环境因子有关,但与其密切相关的还是水体中的氮、磷含量。因为湛江港是一个半封闭港,只有一面通向大海,水体交换能力差,尽管港池纳潮量大,也无法将污染物完全排入大海,致使港湾水体中的氮、磷积蓄,水体富营养化。因此,要探讨湛江港湾水体富营养化的形成就必须了解港湾水域氮、磷等营养成分的来源。

2.3.1 沿岸工业废水的排放

20 世纪 80 年代以后,湛江市工业发展主要有石油、机械、造船、制糖和食品加工等工业。在港湾周围就有南海西部石油基地和油船码头、造船厂、发电厂和港务局作业区等大型企业。据调查,每年产生工业废水 1050 万 t,而向港池直接排放工业废水达 534 万 t^[3],工业废水成分很复杂,现已检出的有机物多达 230 多种,除油外,还有酚、腈、胺、有机氯化物、有机磷化物、有机酸、醛、酮、有机硫化物等,COD 质量浓度高达 3.6 万 ~ 25 万 mg/L,氮、磷等营养盐也占有相当大的比例。

2.3.2 城市生活污水和舰船生活污水的排放^[3]

湛江市区人口近 100 万,居民住宅三面环抱港池,城市生活污水主要来自居民小区的污水排放和宾馆、酒店等废水的排放,这部分废水未进入污水处理厂处理,而是直排港池,每年的排放量达 5670 万 t。生活污水来自居民的各种洗涤水、化粪池水,其 COD、氮、磷等浓度都较高,经分析不加处理的城市生活污水 COD 平均质量浓度为 253.40 mg/L,悬浮物质量浓度为 173.40 mg/L, DIN 质量浓度为 50.40 mg/L。因此,城市生活污水排放也是水体富营养化形成的原因之一。

据调查,湛江港舰船每年向港池排放生活污水达 548 万 t,这些污水中含有大量的无机氮、磷酸盐和有机物。这些污水长期排放,也会使港池海水富营养化。

2.3.3 沿岸垃圾和舰船垃圾的倾倒

沿岸倒入港池的固体废弃物主要为有机质类垃圾(厨房垃圾、纸张、塑料、织物和生物体)和无机质类垃圾(含灰土砖石、玻璃、金属等);与此同时舰船无论在航行、锚泊或停靠码头时都要产生生活用品垃圾和工业用品垃圾。两者比较,沿岸倒入港池的固体废弃物有机质含量较低,而舰船垃圾中有机质含量高达 85% 以上。这些固体废弃物每年多达 4083 t 以上,废弃物中的有机质也是港口水域富营养化形成的原因之一。

2.3.4 沿岸农业污染源和港池网箱养殖的污染

农业污染源是指由于农业生产而产生的水污染源,如降水所形成的径流和渗流把土壤中的氮、磷(大部分源于化肥的使用)和农药带入港池水体;此外湛江港湾由于牧场、养殖场、农副产品加工厂产生的有机废物(畜禽的粪尿等)排入港池水体,也造成水体污染,导致水体富营养化。

湛江港港池网箱养殖不断发展,网箱增多,饲养过程中部分饵料的下沉和鱼类粪便排泄物长期在海底沉积,富营养化程度极高,氮、磷比严重失调(正常比为 15:1),就像海底埋藏有定时“炸弹”,一旦气候反常,有适宜赤潮生物暴发性增殖的条件,赤潮发生是很难避免的。

3 赤潮成因与湛江港湾水域赤潮分析

3.1 赤潮发生的成因

赤潮的定义有多种讲法,目前普遍认为赤潮是:“海水中某些微小的浮游植物、原生动物,在一定环境条件下,短时间内突发性增殖而引起的一种水体变色现象^[4]。有人认为赤潮发生的成因:①生物因素,即由赤潮生物的快速增殖、种类间的增殖竞争、赤潮生物的垂直移动以及微生物产生的维生素物质等引起;②化学因素,即由氮、磷、维生素、微量元素等引起;③物理因素,即由温度的控制引起。而事实上赤潮的发生是多种因素相互作用的结果,而不是单独某一因素的产物。

3.1.1 水域环境污染

港口沿岸工业废水、生活污水和地表径流将大量陆源污染物质排入港池,造成港池水体富营养化。而海水中大量氮、磷、微量元素和有机营养物质的增加,为赤潮生物快速生长繁殖提供了充足的物质基础。

3.1.2 赤潮生物的存在

能够大量繁殖并引发赤潮的生物称之为赤潮生物。赤潮生物包括浮游生物、原生动物和细菌等,目前已知全世界赤潮生物约 330 余种,其中广东沿海有记录的为 170 种,约占全国的 90% 以上^[5]。湛江港共发现赤潮生物 31 种,其中主要有中肋骨条藻、日本星杆藻、佛氏海毛藻、尖刺菱形藻和夜光藻等,中肋骨条藻和日本星杆藻曾形成水华^[6]。这就反映出其地处热带、亚热带,濒临广阔的南海海洋等特点。同时,海运业的发展也会使异地或异国新的赤潮生物物种随压舱水携带进来,一旦适应新的生活环境则可生存繁衍,为赤潮发生提供了潜在因素。

3.1.3 过度的海水养殖^[7]

目前港湾、港池水域已经形成了密集的海产养

殖产业,由于缺乏科学和规范的管理,导致养殖密度过高,过量的投饵和排泄物的增加,使得养殖海区有机污染加剧,也造成了水体富营养化,这是在养殖海区赤潮发生频率较高的根本原因之一。

3.1.4 水文气象和海水理化因子

赤潮生物的快速生长需要具备一定的环境条件,其中包括适宜的温度、盐度和充足的阳光等。此外,风、潮汐、海流等因素也有利于赤潮生物向某一个方向聚集,促使局部区域赤潮的形成。

3.2 湛江港湾水域赤潮的分析

海水的富营养化与赤潮的关系比较复杂,富营养化为赤潮的发生提供物质基础,但富营养化水体并不意味着发生赤潮。赤潮的形成除有充足的营养条件外,还要有诸如水文、气象、微量元素以及生物本身等因素能成为浮游植物爆发性繁殖和高度密集的条件。特别是赤潮生物的存在是赤潮发生的前提条件。湛江港浮游植物较为丰富,赤潮生物种类多,个体数量大,港内外优势种类有中肋骨条藻、日本星杆藻、佛氏海毛藻、菱形海线藻等。此外,港内优势种还有拟弯角刺藻、洛氏角刺藻、异角角刺藻、奇异菱形藻、尖刺菱形藻,港外优势种还有脆根管藻和洛氏菱形藻。这些浮游植物密度较高,港内外平均达1.3万个/L和73万个/L^[7],是赤潮发生的潜在因素。例如:1980年5月17日在湛江港内发生的一起细柱藻赤潮,港湾内幼鱼幼虾死亡后成片浮于水面上,水样中均检出单木宁质,持续了一周才恢复正常,给水产资源和海洋环境造成严重危害。2005年4月湛江港发生球形棕囊藻赤潮,由于发现及时,采取了有效措施,因此,波及海域不大,持续时间不长,仅对海产产生一定的影响,但损失不大。球形棕囊藻能分泌一种主要成分是十七碳二烯酰基的甘油溶血毒素,该毒素能使鱼类鳃组织的红细胞溶解破裂,同时,球形棕囊藻其胶质囊能向外释放可溶性有机碳并使水面形成缺氧泡沫,再加上藻体死亡分解产生二甲基丙磺酸(DMSP)和二甲硫醚(DMS),对鱼类及水体生态环境危害很大^[6,8]。球形棕囊藻赤潮曾在广东饶平柘林湾、汕头妈屿岛外海域、南澳一带及珠江口先后发生过6~7次^[9]。

湛江港尽管水体早已富营养化,浮游植物较为丰富,赤潮生物种类多,但只在1980年和2005年发生两次短期的赤潮,表明赤潮产生除与水体富营养化、赤潮生物有关外,还包含诸多因素(水文、气象、微量元素、浮游植物爆发性繁殖和高度密集等)的综合作用。而湛江港水域已构成赤潮发生的潜在因素,对湛江港发生赤潮的时机和严重性不能掉以轻心。

4 结 语

根据对湛江港湾水域布点调查,进行了5年的跟踪监测,发现湛江港湾水质状况一般较好,但氮、磷含量都较高,并且有逐年升高的趋势,已达到水体富营养化程度。同时,对湛江港湾水域赤潮的形成进行了分析,提出防范湛江港湾水域赤潮的对策如下。

a. 减少废弃物对港湾水域的污染,避免富营养化发生:①尽快建立城市生活污水处理厂,控制工业废水和生活污水直排港池;②立法禁止向港池倾倒生活垃圾;③对进港舰船排污管系采取铅封和垃圾分类回收等实质性措施,控制港内船舶和舰艇向港池排放油污、生活污水和倾倒固体垃圾。控制氮、磷和其他有机物质的排放,避免港湾海域富营养化,是防范赤潮的一项根本措施。

b. 加强赤潮灾害监测预报系统建设。充分利用全国海洋环境监测网和渔业环境监测网,在现有工作基础上,增加赤潮监视监测内容,利用现有技术条件建立起监视船、浮标和监测岸站的赤潮监视监测体系。只有通过监测手段,做好预报,才能在赤潮来临之前,采取措施,尽可能减少经济损失。

c. 提高养殖技术,减缓养殖业的自身污染。其措施为:①选择养殖对水质有净化作用的品种(如海藻、贝类等),合理确定养殖密度;②进行多品种混养、轮养和立体养殖,避免单向增长;③提高养殖技术,改进投饵技术,改进饵料成分(如应用湿颗粒饵料等),使所投饵料更有利于养殖生物的摄食,减少颗粒的残存,提高饵料的利用率,减轻水质和底质的污染程度;④不能将养殖池塘的污水和废物直接排入港池,应采取逐步过滤等办法加以处理,避免养殖废水和废物的排放造成水域污染;⑤定时进行养殖区废物和底泥的人工清除。

d. 合理开发利用海洋资源,建立良好的海洋生态环境。要根据自然环境容量和资源状况,合理开发海洋资源和环境,防止过度开发或破坏性开发活动。加强湛江港区红树林的保护,因为红树林的吸氮能力较强,可以减弱由于鱼、虾过度养殖所产生的富营养化程度,起到生物净化的作用,减少赤潮发生频率。此外,要保护好沿岸林带和植被,防止水土中含有促使赤潮生物大量繁殖的物质流入海洋。

综上所述,只有采取了切实可行的措施,湛江港湾水域富营养化程度才能得到控制,才有可能减少赤潮发生的频率。

参考文献:

[1] 邹景忠,董丽萍,秦保平.渤海湾富营养化和赤潮问题的

探讨[J].海洋环境科学,1983,2(2):41-54.

- [2]唐谋生,方和平,路静,等.湛江港海水中氮磷含量及其营养盐分布特征[J].交通环保,2000,21(6):31-33.
- [3]詹发满,路静,唐谋生,等.湛江军港陆上污染源环境质量调查与分析[J].交通环保,1998,19(3):23-25.
- [4]梁松,钱宏林,齐雨藻.赤潮研究的现状和有关问题[C]/广东沿海赤潮研究.广州:《海洋与渔业》编辑部,2002:21-25.
- [5]钱宏林.广东沿海的赤潮生物与赤潮研究[C]/中国赤潮研究与防治.北京:海洋出版社,2005:11-13.
- [6]吕颂辉,钱宏林,齐雨藻,等.湛江港浮游植物与赤潮植

物的初步研究[C]/广东沿海赤潮研究.广州:《海洋与渔业》编辑部,2002:129-131.

- [7]吕颂辉,齐雨藻.中国的赤潮、危害、成因和防治[C]/中国赤潮研究与防治.北京:海洋出版社,2005:6.
- [8]何家苑,施之新,张银华,等.一种棕囊藻的形态特征与毒素分析[J].海洋与湖沼,1999,30(2):172-179.
- [9]齐雨藻,徐宁,王艳,等.中国赤潮研究的新进展——一种棕囊藻赤潮及其产硫的研究[J].中国基础科学,2002(4):23-28.

(收稿日期:2007-09-12 编辑:徐娟)

(上接第17页)养鱼总数从2003年的25000箱激增到目前的5万箱,其中潘家口水库目前网箱总量为4万箱,投饵性鱼种1150箱,两库2000年网箱养鱼TN、TP污染占总污染负荷的20%、29%。

5 引滦入津工程水资源保护建议

针对以上引滦入津工程水质变化的原因,提出水资源保护建议如下:

a. 在点污染源治理中,统筹考虑工矿企业污染和生活污染,突出城市污水集中处理、重点企业治理和生活垃圾处理。上游承德等地的工矿企业要配套污水处理厂,环保部门要加强监督,保证污水处理设施的正常运转,新建企业要落实环保“三同时”制度;兴建城镇污水处理厂,健全污水管道,提高生活污水处理率;建设符合标准的卫生填埋场,杜绝垃圾的二次污染。

b. 在面污染源治理中,在上游伊逊河、蚂蚁吐河、武烈河、兴洲河等土壤侵蚀严重、对引滦工程水源地污染负荷贡献率大的地区,坚持治理和保护相结合,采取小流域综合治理和生态修复等有效措施,改善区域生态环境,减少水土流失。推广实施农村能源替代工程沼气池建设项目,减少植被的过度樵采,实行牲畜舍饲圈养,并根据区域植被情况合理控制牲畜养殖规模,减少上游植被破坏。沿河乡村生活垃圾要实行集中堆放和处理,主要乡村河道要建设绿化带(网)和防护带,固土护岸、建立防冲刷屏障,减少降雨冲刷造成的污染物入河量。

c. 在库区污染源治理中,加强库区及周边地区污染企业的整治,对排污量大、污染严重的企业实施搬迁或关闭措施,对污水排放量小、污染较轻的企业加强监管和治理,减少污染物排放。对潘家口水库库区居民生活污水进行集中处理,取缔网箱养鱼,对库区旅游加强管理,生活垃圾及时收集处理。

d. 在引滦入津工程水资源管理中,大力推动潘家口、大黑汀水库饮用水水源保护区划定工作,加强

水污染防治监督管理和水资源保护能力建设。恢复引滦入津工程水资源保护领导小组,鉴于引滦入津工程跨流域、跨行政区域调水和管理体制上的特殊性,建立统一的水资源保护领导机构和办事机构是非常必要的,建议恢复或重新建立多方参与的引滦入津工程水资源保护领导机构。

参考文献:

- [1]周光明.天津引滦入津水源保护与生态恢复技术[J].城市环境与城市生态,2004,17(5):30-31.
- [2]邢燕.引滦入津20年效益浅析[J].水利发展研究,2004(3):47-49.
- [3]纪炳纯,王新华,秦保平,等.引滦入津流域底栖动物研究及水质评价[J].南开大学学报:自然科学版,2002,35(2):106-112.
- [4]刘燕,胡安焱,邓亚芝.陕西省渭河流域水质时空演化特性[J].水资源保护,2007,23(3):11-13.
- [5]KNUISSON G. Trends in the acidification of groundwater[J]. Groundwater Quality Management,1994,220:107-118.
- [6]PERONA U E, BONILLA I, MATEO P. Spatial and temporal changes in water quality in a Spanish River[J]. Science of the Total Environment,1999,24:75-90.
- [7]FERRIER R C, EDWARDS A C, HIRST D, et al. Water quality of Scottish Rivers: spatial and temporal trends[J]. The Science of the Total Environment,2001,265:327-342.
- [8]ALBERTO W D, DÍAZ M P, AMÉ M V, et al. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality: A case study: Suquia River basin (Córdoba-Argentina) [J]. Water Research,2001,35(12):2881-2894.
- [9]JONNALAGADD A S B, MHERE G. Water quality of the Odzi River in the eastern highlands of Zimbabwe [J]. Water Research,2001,35(10):2371-2376.
- [10]DOMAGALSKI J, LIN Chao, LUO Yang, et al. Eutrophication study at the Panjiakou-Daheiting Reservoir system, northern Hebei Province, P R C: Chlorophyll-a model and sources of phosphorus and nitrogen [J]. Agricultural Water Management,2007,94:43-53. (收稿日期:2007-12-24 编辑:徐娟)