

温瑞塘河河网地区水质时空分布与评价

纪晓亮¹, 朱元励¹, 商 栩¹, 张明琴²

(1. 温州医学院 温州市水域科学与环境生态重点实验室, 浙江 温州 325035; 2. 温州环保局环境监测站, 浙江 温州 325001)

摘 要:以典型的南方平原河网——温瑞塘河为研究对象,对河网区 39 个监测点的 DO、TN、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N、TP 和 COD 含量进行了为期 1 a 的监测,揭示了其水质时空变化特征,并利用水质标识指数法对水体污染程度进行了评价。结果表明:温瑞塘河水质已经达到了劣 V 类的程度,水体中氮磷含量严重超标,分别是国家 V 类水标准的 3.52 倍和 1.68 倍。河网区水体水质时空分布特征明显,空间上污染程度呈现出三级河道>二级河道>主河道>郊区湿地的分布特征;时间上水质指标的变化较为复杂,与降雨量密切相关,大量降雨能够对河网区水体水质起到明显的改善作用。主河道的污染程度随流向具有累加作用。水体中氮磷比处于适合藻类生长的比值,具有发生水华的营养条件。

关键词:温瑞塘河;水质;时空分布;水质标识指数

中图分类号:X832

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)05-0241-06

Spatiotemporal Variation and Assessment of Water Quality in Wenruitang River Network Areas

JI Xiao-liang¹, ZHU Yuan-li¹, SHANG Xu¹, ZHANG Ming-qin²

(1. Wenzhou Key Lab of Watershed Science and Environmental Ecology, Wenzhou Medical College,

Wenzhou, Zhejiang 325035, China; 2. Wenzhou Environmental Monitoring Station, Wenzhou, Zhejiang 325001, China)

Abstract: Based on the analysis of 6 hydrochemical variables that were monitored in 39 sites of the Wenruitang River in 2010, spatiotemporal variation features of water quality were investigated, the water quality status of Wenruitang River was also assessed with the comprehensive pollution index method. The results showed that the water quality in the river network areas was inferior to class V, the concentrations of N and P exceeded the standard limits greatly and were 3.52 and 1.68 times of the class V standard of the water quality, respectively. The temporal and spatial variations of water quality constituents in the river network areas were obvious. Pollution degree showed the trend that the third channel>the second river channel>the mainstream>suburb wetland; Seasonal change of water quality constituents was complex and closely related to precipitation. Heavy rains can improve the water quality obviously. The pollution degree was accumulated along with the water flow in the mainstream. The ratio of the N to P was suitable for algae growth, so the river network areas have the nutritional conditions of algal boom.

Key words: Wenruitang River; water quality; spatiotemporal distribution; water quality identification index

近年来,随着城市化和工业化进程的加快,建设用地不断的扩张,越来越多的生活、工业和农业排放物进入到河流中,引起地表水质的污染和恶化^[1-3]。水体中过量的营养元素(主要包括氮、磷)是引起水体污染和恶化的主要原因^[4-5]。温瑞塘河流域地处温瑞平原,地势平缓,河网密布,是典型的南方平原河网。其很多支流河道狭窄,流速缓慢,经常出现滞留现象,

这些河道又穿越居民区,环绕农田,流经市郊的小工厂及畜禽养殖场,水质受到人类活动的影响很大,污染严重,制约了温州市的经济和社会发展。河网区接纳的大量污水最终通过水网汇聚到飞云江中,进而流入东海,破坏近海的海洋生态系统。以往对于水质时空分布的研究主要集中在海洋、湖泊、水库及大江大河水体^[6-10],对于水体流动缓慢、水流流向多变、闸坝

多、河流湖库化的南方平原河网的研究相关报道还很少。

本研究以典型的南方平原河网——温瑞塘河为研究对象,通过对为期 1 a 的水质监测结果进行统计和分析,揭示河网地区的水质时空分布特征,探讨其变化原因,并采用水质标识指数法评价河网区水体的水质情况,为今后河网区水资源的合理开发利用提供科学依据。

1 实验材料和方法

1.1 研究区概况

温瑞塘河发源于温州西部山区,总体流向为自西向东流经温州城区,随后自北向南,流经城乡结合区及农业种植区,之后在瑞安汇入飞云江,最后流入东海。温瑞塘河流域面积 740 km²,水域面积 22 km²,蓄水量 6 500 万 m³,水系河网总长度 1 178.4 km,其中主河道长 33.8 km。该区属亚热带海洋性季风气候,年平均温度 17.9℃,年日照时数 1 850 h,雨热同季,7—9 月气温较高,同时台风活动频繁,也是降水的高峰期,年均降雨量 1 800 mm;全年以西北、东南风向为主。

1.2 样品采集与分析

本研究以整个温瑞塘河为研究区域,结合温瑞塘河的河网及地形地貌特征选取 39 个监测点。其中,A 类点表示主河道的监测点,其中 A0、A00 两个监测点位于塘河的发源区;B 类点表示二级河道的监测点;C 类点表示三级河道的监测点;W 类点表示位于三垟湿地的监测点;A8B1 和 A9B1 表示位于郊区支流的对照监测点(图 1)。

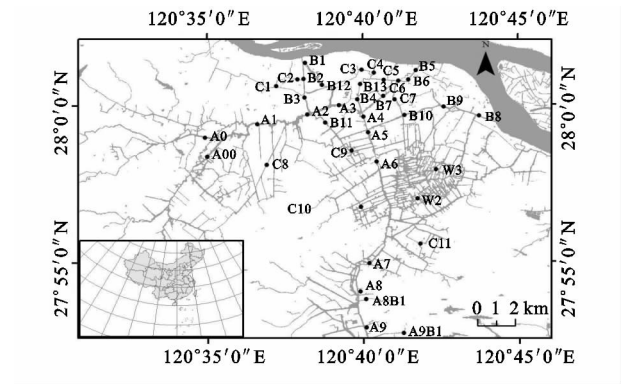


图 1 监测点位置

监测时间从 2010 年 1 月至 2010 年 11 月,每个月的中下旬采集水样。每个采样点用有机玻璃采样器在表层 0.5 m 处采集水样,样品采集后加入 HgCl₂ 保存,当天带回实验室根据《水和废水监测分析方法》的有关规定和要求分析总氮(TN)、硝氮(NO₃⁻-N)、氨氮(NH₄⁺-N)、总磷(TP)和化学需氧量(COD)^[11]。

实验室分析的总氮(TN)采用过硫酸钾消解—紫外分光光度法,硝氮(NO₃⁻)采用紫外分光光度法,氨氮(NH₄⁺-N)采用纳氏试剂比色法,总磷(TP)采用钼锑抗分光光度法,COD 采用重铬酸钾滴定法,每个样品设置 3 个平行,最后取平行样的平均值作为各指标值。每次采样前用 YSI6920 多参数水质监测仪现场测定温度、溶解氧(DO)、pH 等参数。对水体质量的评价参考中国国家标准地表水环境质量标准 GB3838-2002^[12]。

1.3 数据分析

本研究采用 Excel 和 Origin 8.0 软件对数据进行统计分析和作图,用水质标识指数法对水质进行评价。水质标识指数法是徐祖信提出的一种简单实用,能完整表达河流总体水质信息的一种评价方法^[13]。本文结合温瑞塘河的污染特点,选用 DO、NH₄⁺-N、TP、TN、COD 五个指标作为评价指标。

2 结果与分析

2.1 河网区水质指标年平均值

对河网区水体进行为期 1 a 的定点监测,其水质指标的年平均值见表 1。参照我国地表水环境质量标准 GB3838-2002,TN、TP、NH₄⁺-N 和 COD 的浓度都已经超过了国家 V 类水标准,其中,氮素污染尤为严重,TN 含量是国家 V 类水标准 3.52 倍,DO 的浓度优于 V 类水最小允许值,但含量也仅仅为 2.77 mg/L,应考虑到监测时间是在白天,到夜间随着光合作用的终止,表层水体的溶解氧浓度还会大幅下降^[14]。

表 1 河网区水质指标 2010 年均含量

水质指标	平均值±标准差	变异系数/%	地表水 V 类标准
T/℃	20.08±6.7	33.36	—
pH	6.9±0.16	2.38	6~9
DO/(mg·L ⁻¹)	2.77±1.44	52.00	2
TN/(mg·L ⁻¹)	7.03±1.85	26.25	2
TP/(mg·L ⁻¹)	0.67±0.26	39.42	0.4
NH ₄ ⁺ -N/(mg·L ⁻¹)	5.38±2.42	45.01	2
NO ₃ ⁻ -N/(mg·L ⁻¹)	1.11±0.57	50.94	—
COD/(mg·L ⁻¹)	42.88±14.24	33.21	40

2.2 水质指标的时空变化

2.2.1 水质指标的时间变化 河网区水体中 TN、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 的质量浓度随时间变化趋势显著(图 2)。TN 的变化范围为 4.26~11.39 mg/L,浓度从 1 月份的最高值逐渐下降到 7 月份的最低值,之后逐渐上升至 10 月份的次高值。NH₄⁺-N 的浓度随时

间变化与 TN 相似,1 月份为最高值(11.05 mg/L),7 月份为最低值(2.33 mg/L)。NO₃⁻-N 浓度的变化与 TN 呈现相反的趋势。1 a 内出现两次波动,1 月份逐渐升高,3 月份达到最高值(2 mg/L),4 月份显著下降,5 月份又升高至次高值(1.86 mg/L),之后逐渐下降至 11 月份达到最低值(0.29 mg/L)。DO 的质量浓度有着明显的时间分布差异,在 1 a 内出现三次波动。1 月份 DO 浓度处于较低的水平,2 月份突然升高到最高值(6.14 mg/L),3 月、4 月份逐渐下降,5

月、6 月份又升高,之后波浪性地下降到 10 月份的最小值(1.39 mg/L)。TP 的质量浓度随时间有明显的变化趋势,1 月份 TP 的质量浓度达到次高值(1.12 mg/L),2—7 月逐渐下降到最低值(0.67 mg/L),之后又逐渐上升至 10 月份的最高值(1.18 mg/L)。COD 的浓度变化范围为 30.7~73.6 mg/L,除 1 月份和 11 月份浓度很高外,其余月份浓度较为稳定,随时间变化不明显,说明 COD 与人工污染排放关系密切,受季节因素影响较小。

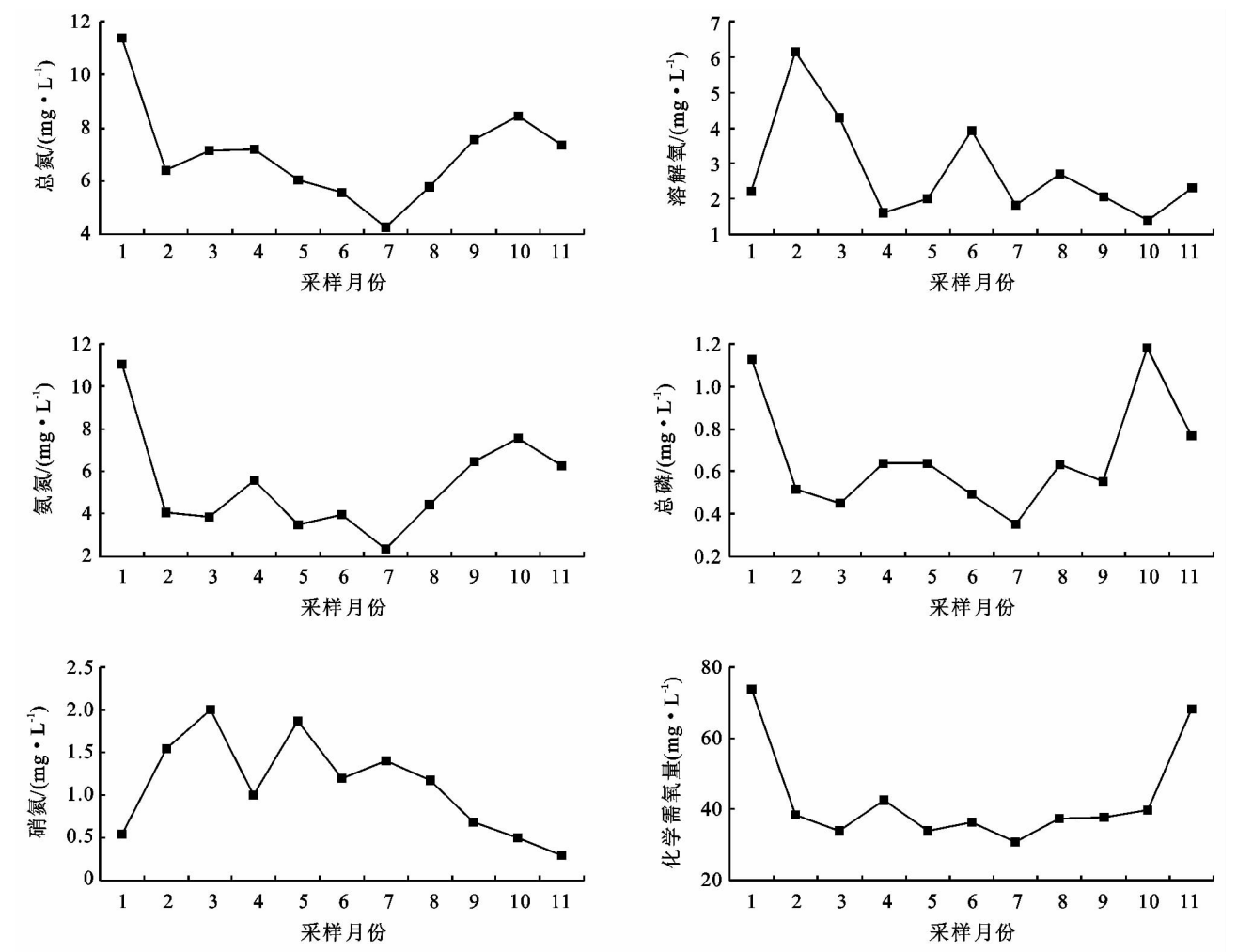


图 2 河网区水质指标的时间分布

2.2.2 水质指标的空间变化 从图 3 中可以看出, COD、TN、TP 和 NH₄⁺-N 的空间分布表现基本一致, 都呈现出三级河道>二级河道>一级河道>郊区湿地的趋势,塘河水体中 NH₄⁺-N 是主要的氮素形态, NH₄⁺ 占了 TN 的大部分比例,为 TN 的主要贡献者。DO 的浓度与 COD、TN、TP 和 NH₄⁺-N 的浓度在空间分布上呈现相反的变化趋势。NO₃⁻-N 的空间分布与 DO 的空间分布较为相似,其质量浓度呈现出一级河道>郊区湿地>二级河道>三级河道的分布特点。

2.3 综合水质标识指数的分布特征

根据综合水质标识指数和等级判别标准,2010

年温瑞塘河年均综合水质标识指数为 6.75,达到了劣 V 类水平,说明温瑞塘河水体污染已经相当严重。就时间分布而言,呈现出与降雨量相反的趋势。空间分布上,除了 A9B1 达到 II 类水标准,A8B1、A00 达到 IV 类水标准之外,其余采样点的水质情况都是 V 类或劣于 V 类,有很多站点甚至达到了黑臭的程度(>7),尤其是位于人口密度很大的 C1、C2 采样点,其综合水质标识指数达到了 10.955 和 10.155。水质污染程度呈现出三级河道>二级河道>一级河道>郊区湿地的分布特点(图 4)。

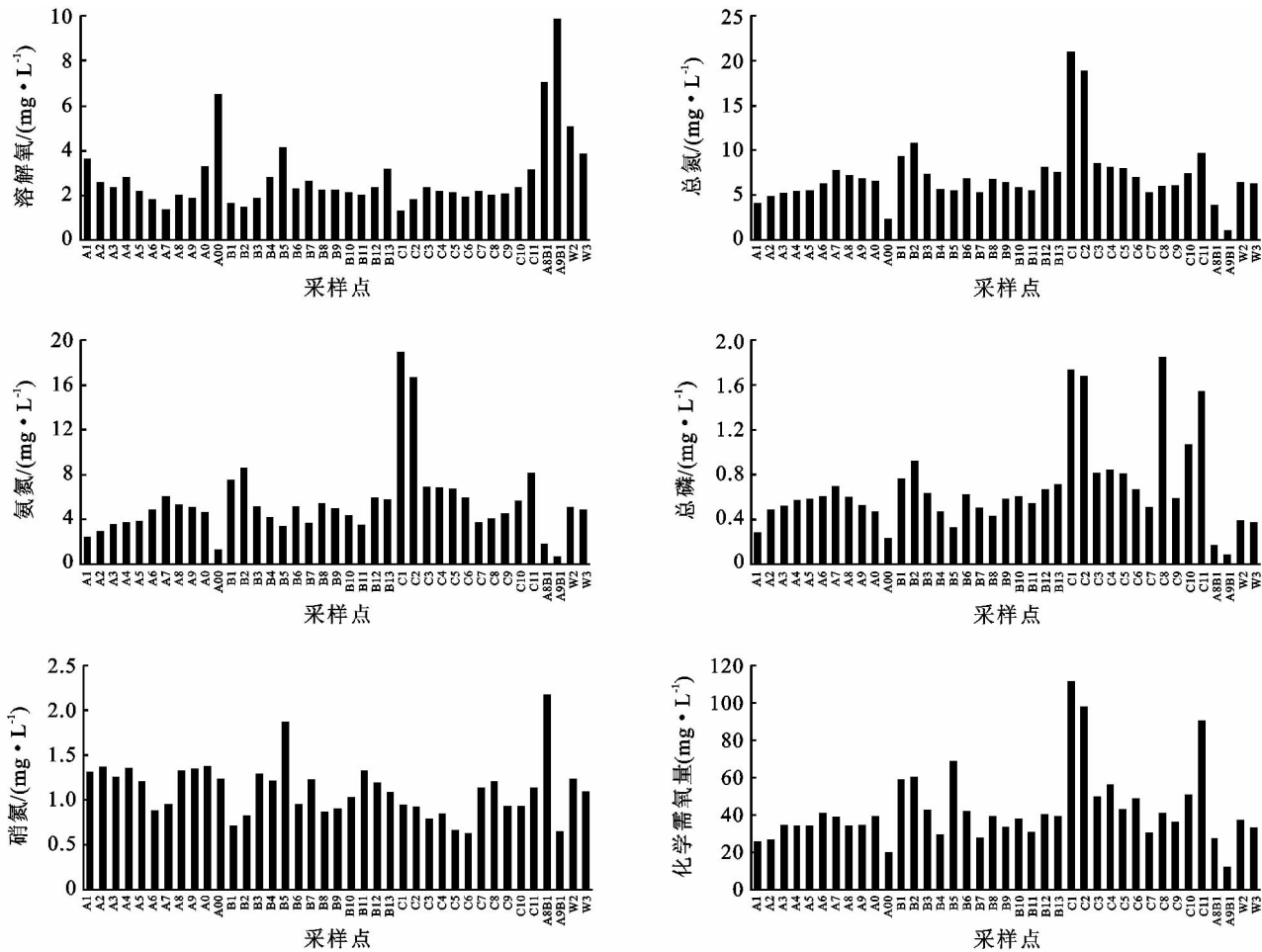


图 3 河网区水质指标的空间变化

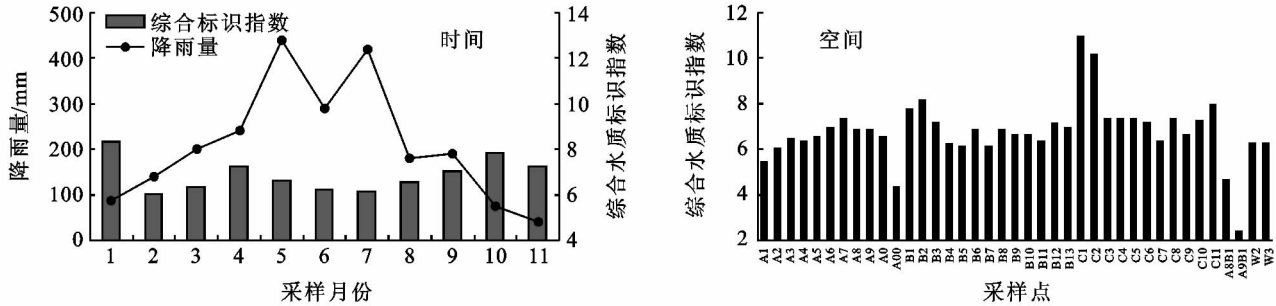


图 4 河网区综合水质标识指数值

2.4 主河道的污染情况

河网区中主河道水体从上游向下游的污染程度变化显著(图 5)。塘河水体进入市区后污染程度逐渐增高,在市区南端城乡结合处(A7)达到最高,随后由于鱼潭前溪(A8B1)和仙岩水库(A9B1)来水的汇入,污染程度降低,但降低效果不明显。说明市区的生活废水与工业废水的排放与汇聚是造成塘河主河道污染的主要原因,其污染程度随流向具有累加作用。

2.5 水质指标的时空变化原因

河网区中各个河道的污染物来源和总量不同,主要受周围人类活动的影响,导致其在空间上存在明显

的差异,相关研究证明如今的温瑞塘河水域的污染以生活污水污染为主^[15]。其中,主河道从发源区开始,就受到了从农田中排入水体的农业面源污染的影响。然后流经市区,城乡结合部,汇入大量未经处理的城市生活污水,A5—A7 河段是塘河从市区流入郊区的城乡结合部地段,该段水体的污染源主要来源于大量的生活污水,导致了主河道上游低氮、低磷的河水在流经市区后成为高氮、高磷的被严重污染的水体。但由于一级河道河流流速相对较快,有利于污染物的自净和转移,污染程度相对较低。二级河道监测点位于市区河段,人口密度比较大,河流流速较慢。三级河道监测点主要位于人口密集的居民生活区内,有大量

生活污水直接排入河道,而且河流流速非常缓慢,有些河道几乎滞留,无法将污染物及时迁移、转化,导致其聚集,因此造成严重污染。其中 C1、C2 有机质污染非常严重,常年水体成黑色,经常发出浓厚的臭味。各级河道间污染程度的差异反映了不同类型河道纳污强度的不同,同时也是污染物在水体中的迁移、转化的结果。 NH_4^+-N 是生活排放污水中氮素的主要形态,因此在深入居民点的各条三级河道水体中 NH_4^+-N 的浓度最高。大量有机污染的降解则使水体中溶解氧被消耗,缺氧抑制了 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 转化的途径,从而表现为三级河道最低的 NO_3^--N 浓度。随着三级河道水体汇入二级,进而进入一级主河道,水体 NH_4^+-N 浓度降低,而 NO_3^--N 浓度则增加。 NH_4^+-N 浓度的降低部分是由于污染程度较低的上游来水的汇入,另外随河道宽度和流速增加而增强的水—气界面交换对水体的充氧行为,有部分 NH_4^+-N 在有氧状态下被硝化成为 NO_3^--N 。从对郊区湿地的监测情况来看,水质数据较好,因为郊区湿地人口密度较小,且水体的自净能力强,因此污染程度较小。W2、W3 位于三垟湿地,内有桔园、农田、家庭小作坊等污染源,为保护湿地水资源,此处与塘河污染水体几乎处于截断状态,有类似于“湖泊”的独立体;A8B1、A9B1 分别是鱼潭前溪及仙岩风景区的出口,上游无人居住,A8B1 周围是农田,A9B1 是仙岩水库的出口之一。

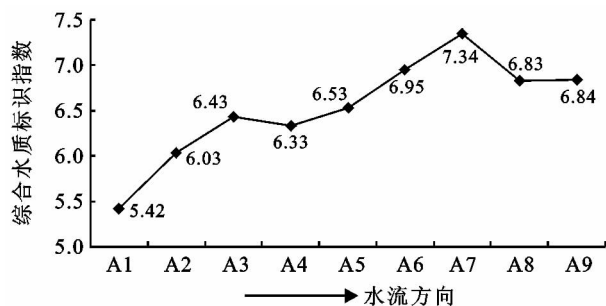


图5 主河道综合水质标识指数沿水流方向变化

2010 年降雨充沛全年累计降雨超过 2 420 mm,比多年平均值高出近 700 mm,超出 2009 年的降雨量达 1 000 mm。2010 年河网区氮磷营养盐的时间变化模式与降水量的时间变化趋势呈负相关,其中,氮营养盐的变化原因如下:降雨对水体各种离子浓度起到了稀释作用^[16];降雨量大的季节,降雨增强了水—气界面的氧气交换,而且夏季阳光强烈,日照时间长,浮游植物光合作用旺盛,产生溶解氧,水体自净能力增强,促进了水体中 NH_4^+-N 向 NO_3^--N 转化^[17];夏季温度高,增强了硝化细菌和反硝化细菌的活性,促进了硝化作用和反硝化作用^[18],但是由于 NO_3^--N 含量

低,对于反硝化的促进作用有限;春夏季节是浮游植物生长和繁殖的旺盛季节,藻类等浮游生物暴增,消耗了大量无机氮,且浮游植物生长对 NH_4^+-N 的吸收高于 NO_3^--N ^[6],秋冬季生物量降低,浮游生物大量死亡,生物有机体矿化为 NH_4^+-N , NH_4^+-N 浓度升高^[14]。降雨对水体中 TP 的稀释是其季节变化的重要原因,除此之外浮游植物的吸收利用和死亡降解,内源 P 的吸附和释放也是造成 TP 季节性变化的原因之一^[19-20]。

2.6 降水对水质的影响

天然降水是城市河湖的清洁水源之一,降水能够对河流水质起到改善作用,但是降雨引起的地表径流又会将污染物冲刷至河道中,一定程度上又污染了水质^[21]。2009 年降水量为 1 400 mm,属于偏枯年份;2010 年降水量为 2 400 mm,属于丰水年份。为简单评估降雨对于河网区水体的作用,将 2009 年 1—11 月水质数据(课题组内部监测数据)与 2010 年数据对比(图 6)。可以看出,水体中总氮、氨氮、化学需氧量和总磷含量较 2009 年均较大幅度降低,溶解氧、硝氮含量也有一定升高,说明大量降雨对温瑞塘河的水质改善起到了明显的作用。

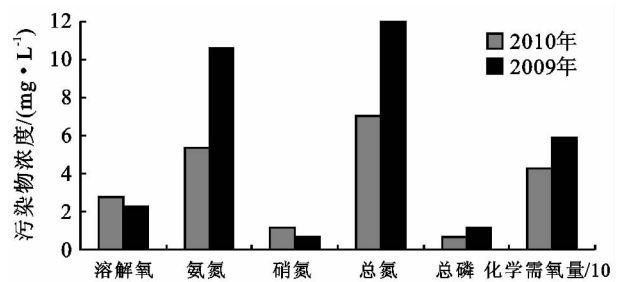


图6 河网区水体水质变化

2.7 营养盐结构

N/P 比是考察营养盐结构的主要指标^[22],营养盐之间的比例不同会导致营养盐对浮游植物生长的限制^[6]。Redfield 认为浮游植物在光合作用中吸收的氮磷原子比为 16,将其作为研究生态环境中缺乏氮或磷的重要依据^[23]。当淡水水体中 $\text{N/P} < 7$ 时,氮将限制藻类的生长; N/P 在 8~30 时,适合藻类生长; $\text{N/P} > 30$ 时,磷将成为藻类生长的限制因子^[20,24]。从图 7 中可以看出,除 3 月份 N/P 为 35.3,磷营养盐相对浓度略低外,其余月份氮磷比都处于适合藻类生长的比值,河网区水体具有发生水华的营养条件。

3 结论

(1) 温瑞塘河河网区水体污染严重,氮磷含量严重超标,分别是国家 V 类水标准的 3.52 倍和 1.68 倍。综合水质标识指数表明,河网区水体水质已经达

到了劣V类的程度,且主河道的污染程度随流向具有累加作用。

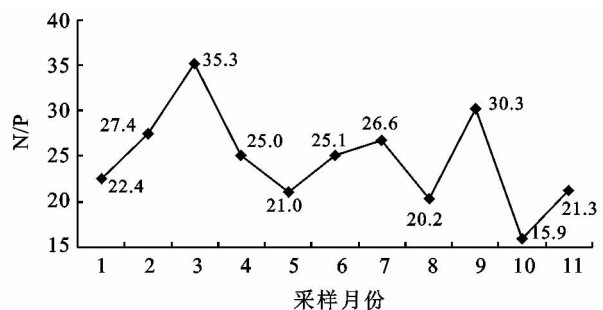


图7 河网区水体中N/P的时间变化

(2) 河网区水体中水质指标有明显的时空分布特征。时间分布上,水质指标的浓度与降雨情况密切相关;空间分布上,COD、TN、TP和 NH_4^+-N 的分布基本一致,都呈现出三级河道>二级河道>一级河道>郊区湿地的趋势。

(3) 大量降雨能够对河网区水体污染程度起到明显的改善作用,降雨充沛的年份,水质污染程度较轻。

(4) 河网区水体除3月份磷营养盐浓度相对较低外,其余月份氮磷比都处于适合藻类生长的比值,具有发生水华的营养条件。

参考文献:

- [1] 周林飞,赵崧,孙佳竹,等.基于模糊模式识别的浑河水质评价研究[J].水土保持研究,2012,19(5):163-166.
- [2] Chang H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea[J]. Water Research, 2008,42(13):3285-3304.
- [3] 于兴修,杨桂山.典型流域土地利用/覆被变化及对水质的影响:以太湖上游浙江西苕溪流域为例[J].长江流域资源与环境,2003,12(3):211-217.
- [4] Biggs B J F. Eutrophication of streams and rivers: dissolved nutrient-chlorophyll relationships for benthic algae[J]. Journal of the North American Benthological Society,2000,19(1):17-31.
- [5] 孟伟,于涛,郑丙辉,等.黄河流域氮磷营养盐动态特征及主要影响因素[J].环境科学学报,2007,27(12):2046-2051.
- [6] 孙金水,王伟,雷立.深圳湾海域氮磷营养盐变化及富营养化特征[J].北京大学学报:自然科学版,2010,46(6):960-964.
- [7] Howarth R W, Swaney D P, Butler T J, et al. Climatic control on eutrophication of the Hudson River estuary

[J]. Ecosystems,2000,3(2):210-215.

- [8] 胡春华,周文斌,王毛兰,等.鄱阳湖氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养化评价[J].湖泊科学,2010,22(5):723-728.
- [9] 郭胜,李崇明,郭劲松,等.三峡水库蓄水后不同水位期干流氮、磷时空分异特征[J].环境科学,2011(5):1266-1272.
- [10] 崔莹,吴莹,邵亮,等.苏州河、黄浦江水体中有机物、营养盐季节变化及其环境效应[J].环境化学,2011,30(3):645-651.
- [11] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.
- [12] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局. GB3838-2002 地表水环境质量标准[S].北京:中国标准出版社,2002.
- [13] 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(4):482-488.
- [14] 胡雪峰,许世远,陈振楼,等.上海市郊中小河流氮磷污染特征[J].环境科学,2001,22(6):66-71.
- [15] 温州市人民政府.温瑞塘河水污染综合治理实施纲要[R].2004.
- [16] 朱映新.州市降雨径流关系及下垫面变化对径流量的影响研究[D].南京:河海大学,2007.
- [17] 范成新,王春霞.长江中下游湖泊环境地球化学与富营养化[M].北京:环境科学出版社,2007:245-249.
- [18] Ogilvie B, Nedwell D B, Harrison R M, et al. High nitrate, muddy estuaries as nitrogen sinks: the nitrogen budget of the River Colne estuary (United Kingdom) [J]. Mar. Ecol. Prog. Ser., 1997,150(1):217-228.
- [19] 周淑青,沈志良,李峥,等.长江口最大浑浊带及邻近水域营养盐的分布特征[J].海洋科学,2007,31(6):34-42.
- [20] 彭近新,陈慧君.水质富营养化与防治[M].北京:中国环境出版社,1988.
- [21] 郭婧,荆红卫,李金香,等.北运河地表水近10年来水质变化及影响因素分析[J].环境科学,2012,33(5):1511-1518.
- [22] 彭云辉,孙丽华,陈浩如,等.大亚湾海区营养盐的变化及富营养化研究[J].海洋通报,2002,21(3):44-48.
- [23] Redfield A C, Ketchum B H, Richards F A. The influence of organisms on the composition of seawater [M]. New York: Interscience,1963.
- [24] Bulgakov N G, Levich A. The nitrogen: phosphorus ratio as a factor regulating phytoplankton community structure: nutrient ratios[J]. Archiv. Fur. Hydrobiologie,1999,146(1):3-22.