

甬江干流水体主要理化因子的时空变化 及水质评价

包薇红¹, 杨国靖², 滕丽华², 商卫纯¹, 包文辉³, 许银春¹, 谭大鹏¹, 黄平沙²
(1 宁波市环境保护科学研究设计院, 浙江 宁波 315012; 2 浙江万里学院 生物与环境学院,
浙江 宁波 315100; 3 宁波市鄞州区环境监测站, 浙江 宁波 315100)

摘要:通过对宁波市甬江干流 13 个断面周年性水样分析, 研究了甬江干流水体中溶解氧(DO)、生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})、总氮(TN)、总磷(TP)和叶绿素 a(Chl-a)含量的时空变化, 结合模糊数学手段, 综合评价了甬江干流不同断面和季节的水质状况. 结果显示, 甬江干流中 DO 含量与 BOD₅、COD_{Cr}、TN 和 TP 呈负相关; BOD₅、COD_{Cr}、TN、TP 以及 Chl-a 等主要水质理化因子呈上游较低、中游较高、下游再次下降的变化规律; 各主要理化因子多呈单峰型或双峰型的季节性变化模式. 模糊数学综合分析表明, 整个干流不同断面的水质由优到劣依次为: 断面 1 > 断面 2 > 断面 13 > 断面 9 > 断面 11 > 断面 12 > 断面 5 > 断面 10 > 断面 8 > 断面 4 > 断面 7 > 断面 6 > 断面 3, 除断面 1、2 和 9 外, 其他断面水质均为 V 类, 不同季节间的水质状况表现为冬季 > 春季 > 夏季 > 秋季.

关键词:理化因子; 季节变化; 模糊数学; 水质; 综合评价; 甬江
中图分类号:X82 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2013)03-0324-06

Spatio-Temporal Variations of Main Physical and Chemical Factors and Water Quality Evaluation of Yongjiang River

BAO Weihong¹, YANG Guojing², TENG Lihua², SHANG Weichun¹,
BAO Wenhui³, XU Yinchun¹, TAN Dapeng¹, HUANG Pingsha²
(1 Ningbo Environment Protection Science Research and Design Institute, Ningbo 315012, China;
2 College of Biology and Environment, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China;
3 Environmental Monitoring Station of Yinzhou District of Ningbo, Ningbo 315100, China)

Abstract: In order to evaluate the water quality in Yongjiang River, Ningbo, the spatio-temporal changes of DO, BOD₅, COD_{Cr}, TN, TP and Chl-a were studied by analyzing water samples from 13 sections within 12 months. Comprehensive evaluation of water quality in different sections was made in fuzzy mathematics methods. The results showed that DO content was negative correlate with contents of BOD₅, COD_{Cr}, TN and TP. The main water environmental factors, e. g. BOD₅, COD_{Cr}, TN, TP and Chl-a, were at lower levels in the upper reaches of the river, at higher levels in middle reaches and at lower levels again at the lower reaches. The seasonal changes of main physical and chemical factors displayed unimodal or bimodal patterns in different sections. Fuzzy mathematics comprehensive analysis revealed that the water qualities of the different sections from the superior to the inferior were described in the following order: section 1 > section 2 > section 13 > section 9 > section 11 > section 12 > section 5 > section 10 > section 8 > section 4 > section 7 > section 6 > section 3. Water quality at the most sections, except for section 1, 2 and 9, met level V, and the seasonal change was presented as winter > spring > summer > autumn.

Key words: physical and chemical factor; seasonal variation; fuzzy mathematics; water quality; comprehensive assessment; Yongjiang River

作为重要的生态系统类型,河流生态系统是生物圈物质循环连接陆地与海洋的重要通道之一,很多营养盐及污染物在河流中得以迁移和降解^[1-2],并伴随着河水的下泄,大量多余的营养盐和污染物被带到海洋,进而对海洋特别是近海的海水造成生态危害.随着工业文明的迅速发展,人类对水资源的需求量与日俱增,很多河流因用水过度而面临断流或枯竭,此外,大量污染物的排入以及河岸缓冲带的乱砍乱伐严重影响了河流环境,其结构受到极大破坏,诸多生态功能也因人类活动的干扰而逐渐丧失^[3-6].因此,了解河流生态系统的健康状况和相关的生态系统内部组分的特点,对于维持河流生态系统正常的服务功能,修复受损河流生态系统,促进河流及其流域的经济、社会和环境的可持续发展具有极为重要的意义.

甬江水系是浙江省七大水系之一.奉化江和姚江分别是甬江的干流和主要支流^[5].甬江全长130.96 km,流域面积4 572.00 km².姚江发源于四明山夏家岭,全长105 km,流域面积1 934 km².奉化江发源于四明山东麓的秀尖山,干流长98 km,流域面积2 223 km².奉化江有剡江、县江、东江和鄞江四大支流.奉化江流经奉化、鄞州和市区的海曙区、江东区,在宁波市三江口与源于上虞境内四明山的姚江汇合成甬江,并于宁波镇海口流入东海.甬江指姚江、奉化江汇合于宁波市区的三江口后至镇海大小游山出口段,全长26 km,流域面积361 km².由于自1959年起,在姚江与奉化江汇合前筑有一大坝,该坝的阻隔使姚江实际上成为了一个相对静止的蓄水库.除汛期以外,姚江基本上呈闭闸或少量放流^[7].整个甬江水系的主要功能包括饮用水源、水产养殖、农业灌溉、船舶运输以及景观用水等多个方面.

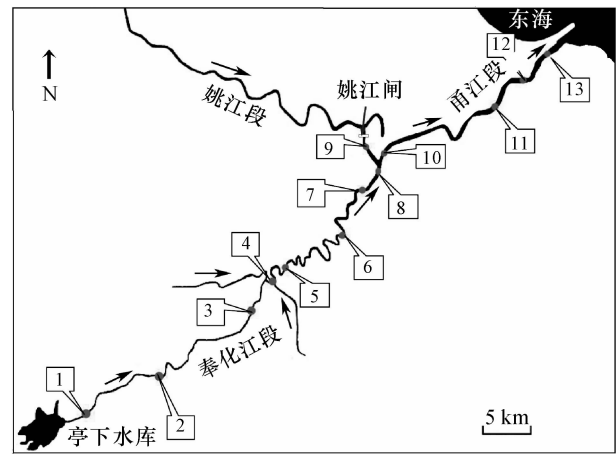
本文以甬江干流(奉化江和甬江段)为研究主体,对水体主要理化因子进行了周年性的监测,以期对甬江干流水质现状做出客观评估,其结果对于甬江水系的可持续管理以及区域的生态环境建设具有非常重要的意义,同时也为决策者管理河流提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 采样点及样品分析

本研究的采样点设置在奉化江段和甬江段,共设置了13个采样断面(图1),其中断面9位于姚江

段与奉化江汇合之前.



1:29°39.26'N、121°14.42'E,水浅、河道狭窄;水清澈可见底;2:29°38.39'N、121°19.86'E,水浅、河道狭窄;水清澈可见底;3:29°43.70'N、121°24.61'E,河道明显变宽,水变浑浊;4:29°45.45'N、121°25.96'E,水浑浊,河面上有很多漂浮物;5:29°45.53'N、121°27.83'E,水浑浊,河面上有漂浮物;6:29°48.34'N、121°31.00'E,水浑浊,含有大量泥沙;7:29°52.22'N、121°34.84'E,水浑浊,泥沙量不大;8:29°52.40'N、121°33.52'E,水浑浊,泥沙量不大;9:29°53.54'N、121°32.87'E,水清,流速很慢;10:29°52.48'N、121°33.73'E,河面宽,水中有泥沙;11:29°53.68'N、121°35.44'E,河面宽,水中有泥沙;12:29°56.72'N、121°43.23'E,河面宽,泥沙量较大;13:29°47.44'N、121°44.94'E,河面宽,泥沙含量高.

图1 13个采样点断面示意图
Fig. 1 Sketch of 13 sampling sections in Yongjiang River

现场采样自2011年3月至2012年2月,采样频率为每月1次.采样方式及水样分析均参照国家有关标准进行^[8-9].测定的理化因子有水温、透明度、溶解氧(DO)、生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})、总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素a(Chl-a)及盐度等.

1.2 甬江干流水环境质量的的评价

除参照国标对甬江干流水环境质量进行评价外,本文还利用了模糊综合评价模型进行水质评价^[10-11].

2 结果与分析

2.1 各断面水质基本理化特点

各采样断面水的基本水质理化因子的变化范围见表1.从表1可见,各采样断面间除了盐度和透明度有较大差异外,水温和水的pH并没有明显差异.由于河口区域潮汐的作用,故近出海口附近的几个

采样断面上盐度有一定幅度的变化. 从各采样断面的透明度看, 上游的透明度较下游的高很多.

表 1 甬江水质基本理化因子

Tab.1 The basic physical and chemical factors of water quality in Yongjiang River

采样断面	pH	水温/℃	盐度/‰	透明度/cm
1	6.81 ~ 7.02	8.5 ~ 24.8	0	见底 ~ 70.0
2	6.76 ~ 7.20	9.7 ~ 25.7	0	见底 ~ 100.0
3	6.64 ~ 6.96	7.8 ~ 29.3	0	13.0 ~ 57.0
4	6.70 ~ 7.11	6.8 ~ 29.8	0	9.0 ~ 35.0
5	6.76 ~ 7.21	7.2 ~ 33.4	0	7.0 ~ 42.0
6	6.86 ~ 7.21	7.4 ~ 31.5	0	3.0 ~ 13.0
7	7.01 ~ 7.16	7.7 ~ 31.4	0	3.5 ~ 16.0
8	7.00 ~ 7.80	7.4 ~ 31.2	0	3.0 ~ 23.0
9	6.91 ~ 7.30	6.8 ~ 32.2	0	19.0 ~ 60.0
10	7.03 ~ 7.38	7.7 ~ 31.2	0	4.5 ~ 16.0
11	7.04 ~ 7.46	8.9 ~ 32.3	0 ~ 21.6	3.0 ~ 15.0
12	7.02 ~ 7.76	8.7 ~ 31.8	0 ~ 23.3	3.0 ~ 16.0
13	7.09 ~ 7.62	7.6 ~ 31.4	0 ~ 22.8	3.0 ~ 20.5

表 2 甬江反映水质状况的理化因子

Tab.2 The physical and chemical factors reflecting water quality in Yongjiang River

采样断面	$\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$					$\rho(\text{Chl-a})/$
	DO	BOD ₅	COD _{Cr}	TP	TN	$(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$
1	5.8 ~ 11.9	0.33 ~ 2.11	1.03 ~ 6.02	0.000 ~ 0.053	0.929 ~ 3.857	1.082 ~ 5.398
2	5.1 ~ 10.5	0.37 ~ 2.28	3.17 ~ 10.0	0.007 ~ 0.125	1.207 ~ 4.576	0.849 ~ 5.721
3	3.1 ~ 7.9	0.45 ~ 4.36	7.06 ~ 26.7	0.741 ~ 3.112	1.853 ~ 6.381	1.506 ~ 11.293
4	1.4 ~ 5.6	0.45 ~ 5.28	12.80 ~ 32.3	0.504 ~ 1.745	2.353 ~ 7.937	1.506 ~ 20.615
5	1.0 ~ 5.8	1.48 ~ 4.34	14.90 ~ 36.3	0.494 ~ 1.361	3.729 ~ 8.450	2.355 ~ 20.337
6	0.6 ~ 5.3	1.30 ~ 6.00	10.30 ~ 38.8	0.452 ~ 2.662	3.291 ~ 8.207	2.396 ~ 10.594
7	1.2 ~ 5.8	2.62 ~ 6.38	16.50 ~ 44.2	0.325 ~ 1.869	4.405 ~ 8.571	2.862 ~ 8.896
8	1.4 ~ 7.2	3.38 ~ 6.53	9.26 ~ 57.5	0.277 ~ 1.332	4.319 ~ 8.571	3.327 ~ 12.370
9	2.2 ~ 8.1	2.19 ~ 5.00	1.19 ~ 84.0	0.150 ~ 0.398	3.421 ~ 7.722	5.066 ~ 27.533
10	1.0 ~ 5.9	3.79 ~ 7.52	12.10 ~ 90.9	0.348 ~ 1.552	3.651 ~ 7.377	2.438 ~ 9.743
11	1.9 ~ 7.3	0.36 ~ 6.03	2.76 ~ 15.6	0.402 ~ 0.980	2.026 ~ 6.641	0.849 ~ 8.622
12	1.6 ~ 9.0	0.51 ~ 4.89	2.56 ~ 13.7	0.298 ~ 0.833	1.559 ~ 5.958	0.849 ~ 9.319
13	3.5 ~ 9.9	0.74 ~ 5.37	2.59 ~ 13.2	0.239 ~ 0.805	1.032 ~ 6.897	0.849 ~ 9.741

在甬江干流的不同采样断面, 虽然各重要理化因子存在着较大的差异, 但就一个具体的采样断面讲, 理化因子的季节性变化也是很明显的, 基本上成单峰或双峰型变化规律. 这种变化规律与甬江地处我国温带地区有直接关系.

环境状况的改变是多种因素综合作用的结果, 从甬江干流的实际监测也有所反映. 在 Chl-a 质量浓度较高的断面(如断面9)和季节中, 水中的 $\rho(\text{TN})$; $\rho(\text{TP})$ 均

2.2 各断面水质理化因子变化特点

参照国家有关标准, 能够反映水质状况的主要理化因子有水中的 DO、BOD₅、COD_{Cr}、TP、TN 以及 Chl-a 含量等. 甬江干流各采样断面的有关理化因子年度变化范围见表 2.

综合本研究所获得的甬江干流周年数据, 可以看出该干流由上游到下游, DO 的变化呈现由高到低再有所升高的规律, 这种变化规律与水中其他因子, 特别是营养盐含量的增加有一定的关系, 相关性分析显示: 甬江干流中 DO 含量与 BOD₅、COD_{Cr}、TN 和 TN 呈显著负相关($P < 0.05$), 其相关系数(r)分别是 $-0.869\ 3$ 、 $-0.923\ 2$ 、 $-0.922\ 6$ 和 $-0.639\ 2$.

从国家标准衡量地表水质的几个重要指标看, 甬江干流的不同断面间 BOD₅、COD_{Cr}、TN、TP 以及 Chl-a 均呈现出上游较低, 中游段(进入市区后)较高, 下游段(近河口区域)又降低的变化规律. 这种不同断面间的变化规律与我国其他流经城市的河流类似, 它反映了城市经济发展和人口激增对水环境的直接影响.

接近 16, 这一结果也验证了国内外学者所报道的 N 和 P 作为环境限制因子, 其对浮游植物的作用更多地是通过两者间的比例反映出来的观点^[12].

2.3 各断面水质理化因子季节性变化

甬江干流各断面水中 DO 质量浓度的季节变化见图 2a. 由图 2a 可见, 在不同季节中, 位于水库附近甬江源头的上游断面 1 和 2、下游断面 13、12 和 11 以及姚江中断面 9 的 DO 质量浓度始终保持在一个

较高的水平上;市中心的断面5、6、7、8和10的DO质量浓度由于受到城市生活的影响则较低.各断面的DO质量浓度季节变化基本上保持一致的趋势,即在冬春季较高、夏秋季较低.

图2b显示,不同季节甬江干流中的BOD₅在各断面变化规律虽不明显,但上游断面1~3的BOD₅质量浓度较中下游的要低很多.下游断面11~13明显表现出夏季最高,秋季最低,冬季又升高的双峰特点.同时市区中心各断面6~10(除9号断面被大坝隔断),都有高于上下游的BOD₅质量浓度,最高值均发生在冬季.

图2c显示,在甬江干流的中游段(市中心区断

面8~10)中存在着COD_{Cr}的夏季高峰,而在其他断面上,COD_{Cr}虽然存在着一定程度的季节性波动,但升级的幅度还是较小的,且上游断面1和2以及下游断面11~13的COD_{Cr}较低,均未超过15 mg/L.导致8月份断面10的COD_{Cr}质量浓度远远高于其他断面的原因可能有以下几个方面的因素:一是该断面沿岸有众多的餐饮店、露天酒吧和居民社区,虽然该地区已经铺设了污水管道,但生活污水的无组织排放导致了该断面较多的营养物和较高的BOD₅和COD_{Cr};另外一个可能是与采样时间段的潮汐有关,8月份采样时,该断面的河水受潮汐上升顶推的作用,水流下泄受到影响,因而水的稀释作用没有反映出来.

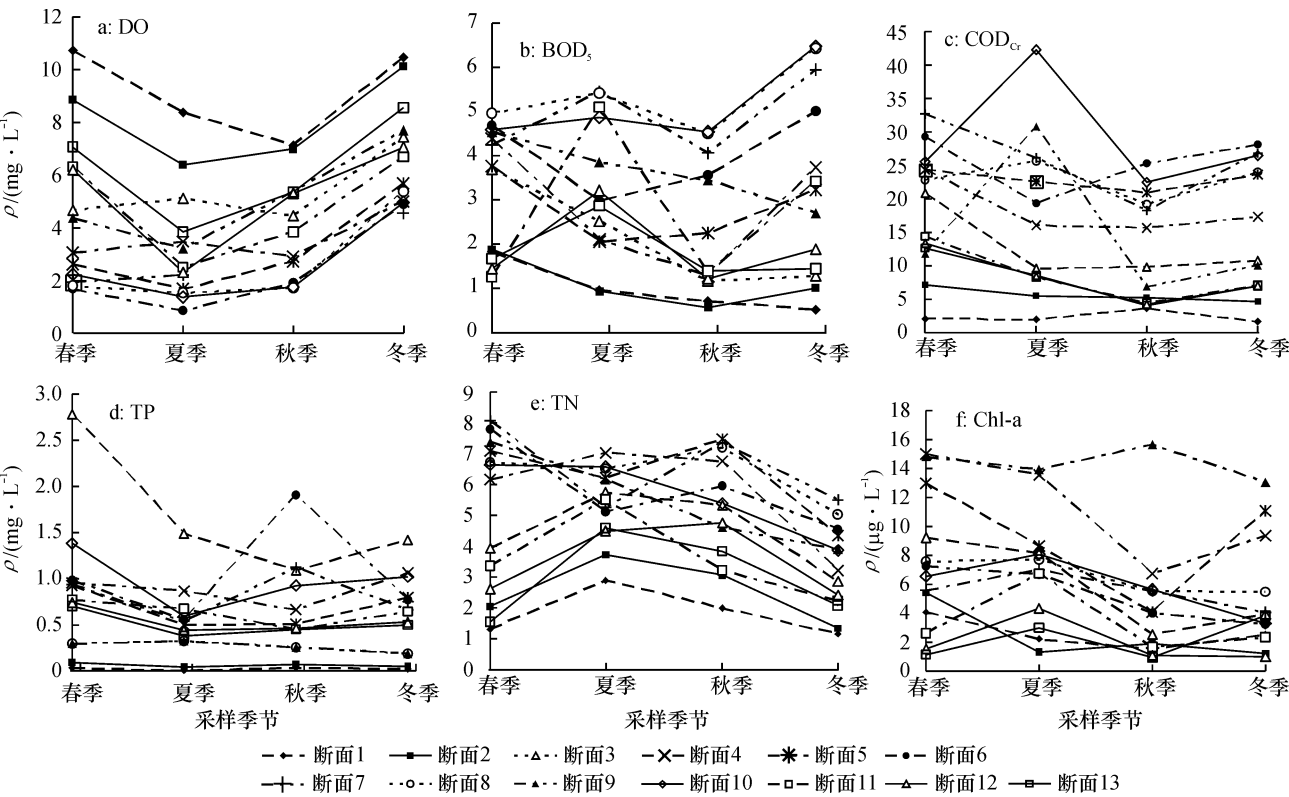


图2 各断面理化因子的季节变化
Fig. 2 The seasonal changes of physical and chemical factors in different sections

在甬江干流上游,断面1和2的TP一直很低,断面3的TP远远高于其他断面,特别是春季的峰值.断面3沿河两岸都是乡镇企业,工业污染较为严重,企业管理不善,缺乏治理.断面4受其上游断面3来水的影响,春季TP也较高.其他断面的TP在一个小范围内波动.TP在市区段断面10出现仅次于断面3的高值,随后迅速降低,下游断面11~13的TP略高于断面1和2(图2d).而断面9的TP低且波动性不明显,这与该断面的水交换缓慢有一定关系.

各季节中,上游断面1和2的TN均维持较低水平,而下游断面11~13的TN则略高于断面1~2.断

面3和4的TN受当地工业影响水平较高,以上各断面均呈夏秋季的一个高峰;而断面5~9的TN全年均保持较高的质量浓度,季节变化很小,在夏季有个低谷,在春节和秋季则分别有一个小高峰,呈双峰型(图2e).

Chl-a是反映水体初级生产力的重要指标之一,也在一定程度上反映了水体的富营养化状况.图2f显示了甬江干流各断面Chl-a质量浓度的季节变化.由图2f可以看出在断面1~8,Chl-a质量浓度表现为单峰型,峰值出现在春季,且断面4、5的Chl-a质量浓度较高;断面10~13的Chl-a质量浓度虽然也呈单峰型,但高峰值出现在夏季,且下游断面Chl-a

质量浓度低于中段. 断面 9 因为其特殊的位置, DO 质量浓度较高且污染程度较低, 因此该点的 Chl-a 质量浓度在全年大多数时间里均是所有断面中最高的.

2.4 各断面主要水质理化因子比较

将各采样断面水体中 DO、BOD₅、COD_{Cr}、TP、TN 以及 Chl-a 质量浓度等取年度平均, 比较不同断面间的差异 (图 3). 图 3 表明, 除断面 9 以外, 甬江干流自上游向下 DO 质量浓度呈快速下降趋势, 在宁波市区各断面降为低谷; 随着河水离开城区, 水中的 DO 又呈上升趋势.

反映水中有机污染程度的 BOD₅ 和 COD_{Cr} 在甬江干流的上游段均较低, 并呈逐渐增加的趋势, 在宁波市区各断面达到峰值, 其中断面 6~8 越近市中心 BOD₅ 和 COD_{Cr} 越高 (断面 9 除外), 断面 10 的 BOD₅ 和 COD_{Cr} 达到最高. 随着河水离开城区, 水中的 BOD₅ 和 COD_{Cr} 均呈下降趋势. 特别需要指出的是断面 9 位于姚江大闸的下游, 此处的水流缓慢, 与外面的水很少交换, 该断面虽然在市中心, 由于大坝阻隔, 水流没有与来自于断面 6~8 的汇合交流, BOD₅ 较上述其他 4 个断面低, 而高于上下游其他断面.

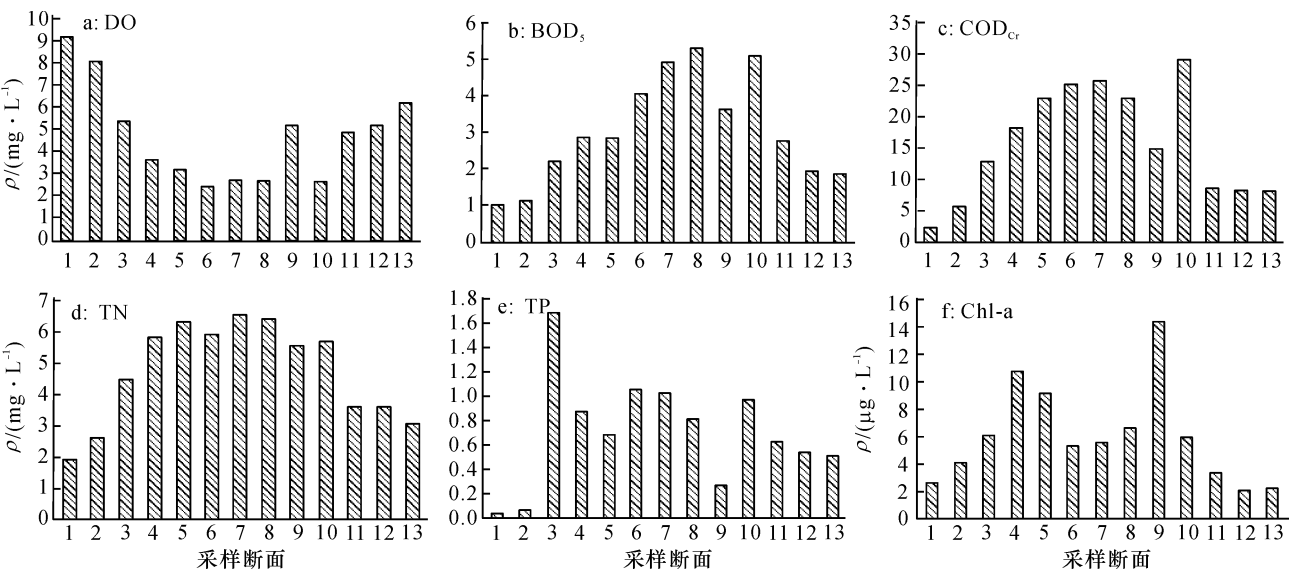


图 3 各断面水质理化因子的周年平均值

Fig. 3 The annual average of physical and chemical factors in different sections

应用模糊数学手段, 对 DO、COD_{Cr}、BOD₅、TP 和 TN 评价因子进行属度矩阵 *R* 和权重矩阵复合计算得出水质模糊综合评价向量 *B*; 经加权平均又得出水质综合评价级别 **B* 值. 依据文献 [10] 所划分的 **B* 值, 将地表水分为 I~V 类, 甬江干流各断面水质综合评价结果见表 3.

表 3 的结果表明, 断面 1 的春、夏、秋、冬四季水质评价级别为: **B*₁ = {1.306 8、3.554 2、3.382 3 和 1.230 2}; 其四季水质分别为: I 类水、IV 类水、III 类水和 I 类水. 断面 2 的水质评价级别为: **B*₂ = {2.586 6、4.534 1、4.242 7 和 1.532 4}; 其四季的水质分别为: III 类水、V 类水、IV 类水和 II 类水. 从断面 3 到断面 13, 除断面 9 冬季为 IV 类水外, 其余均为 V 类水, 四季水质都非常差. 整个干流不同断面的水质由优到劣依次为: 断面 1 > 断面 2 > 断面 13 > 断面 9 > 断面 11 > 断面 12 > 断面 5 > 断面 10 > 断面 8 > 断面 4 > 断面 7 > 断面 6 > 断面 3 号.

根据甬江干流水质评价级别 **B* 的最小值、最大

表 3 各断面不同季度水质评价级别 **B* 值及水质类别
Tab. 3 Evaluation parameter **B* and water quality level in different sections in different seasons

采样断面	春季		夏季		秋季		冬季	
	* <i>B</i>	水质类别	* <i>B</i>	水质类别	* <i>B</i>	水质类别	* <i>B</i>	水质类别
1	1.306 8	I	3.554 2	IV	3.382 3	III	1.230 2	I
2	2.586 6	III	4.534 1	V	4.242 7	IV	1.532 4	II
3	4.994 2	V	4.991 9	V	4.993 0	V	4.957 3	V
4	4.985 8	V	4.993 8	V	4.993 3	V	4.970 7	V
5	4.991 1	V	4.989 9	V	4.988 3	V	4.963 5	V
6	4.992 9	V	4.984 8	V	4.997 8	V	4.962 5	V
7	4.997 2	V	4.980 8	V	4.993 2	V	4.975 8	V
8	4.990 8	V	4.983 9	V	4.992 4	V	4.966 9	V
9	4.963 2	V	4.960 5	V	4.930 2	V	4.396 5	IV
10	4.994 5	V	4.997 2	V	4.987 7	V	4.975 2	V
11	4.951 5	V	4.992 6	V	4.984 2	V	4.931 1	V
12	4.945 9	V	4.988 4	V	4.979 6	V	4.853 3	V
13	4.815 5	V	4.957 0	V	4.973 8	V	4.705 0	V

值、平均值分析,甬江干流综合水体不同季度评价结果从优到劣依次为:冬季>春季>夏季>秋季。

对照有关的国标,甬江干流的段面4~10的水体 BOD_5 和 COD_{Cr} 这2个因子多表现为Ⅲ类水以下,个别断面处于Ⅳ类状态。各断面水中的TN和TP的质量浓度与 BOD_5 和 COD_{Cr} 的变化类似。但需要注意的是断面3的TP质量浓度平均值为全部断面中最高的。这与该断面沿岸的工业企业有着直接关系。

随着水体中营养物和有机物含量的增加,水中Chl-a质量浓度也明显上升,整个干流中表现出上游断面较低,进入市区前的段面中有较高Chl-a,之后再次呈现出逐渐下降并保持在一个较低的水平(断面9除外)。对于断面9而言,由于 $\rho(TN):\rho(TP)$ 值更接近于16,故该断面水中的浮游植物具有更加适合的营养盐供给,导致其Chl-a质量浓度最高。需要指出的是:虽然甬江干流上游和下游的Chl-a质量浓度均较低,但引起的原因是完全不同的。在甬江上游段,虽然上游水的透明度较大,但由于营养盐和有机物的量均较低,故使得藻类的数量较少,因此Chl-a质量浓度不高。在下游各断面,虽然营养盐和有机物含量都较高,但由于水中存在大量的悬浮物,导致水的透明度很低,水中的藻类不能有效地进行光合作用,故Chl-a质量浓度也较低。

3 结论

从水生生态学以及环境科学角度来看,虽然国内外对于河流水体的理化因子都给予了关注^[1, 13-17],但完整地对一条河流不同断面理化因子的周年性监测的公开报道较少。本研究通过对甬江干流多个断面水环境理化因子周年性的采样测定,以及比较不同断面上理化因子的季节性变化,结合模糊数学手段分析,得出以下结论:反映水污染的各种理化因子均表现出上游小、中游(市区段)大、下游再次变小的趋势;甬江干流中 DO 质量浓度与 BOD_5 、 COD_{Cr} 、TN和TP质量浓度呈负相关($P<0.05$);各断面上污染因子均表现出明显的单峰或双峰型季节性变化;模糊数学分析显示除少数上游断面外,大多数断面周年的水质均为V类水,冬春季的水质好于夏秋季。

参考文献:

[1] KARR J R, CHU E W. Sustaining living rivers [J].

Hydrobiologia, 2000, 422/423: 1-14.

- [2] 王佳宁,晏维金,陈能汪,等.我国河流 N_2O 饱和度与释放系数变化及其与河流氮水平的关系研究[J].农业环境科学学报,2012,31(8):1576-1585.
- [3] FORE L S, KARR J R, WISSEMAN R W. Assessing invertebrate responses to human activities: Evaluating alternative approaches [J]. J N Am Benthol Soc, 1996, 15(2):212-231.
- [4] POFF N L. Landscape filters and species traits: Towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology [J]. J N Am Benthol Soc, 1997, 16(2):391-409.
- [5] 罗扬,赵杭美,王金凤,等.苏州河东风港河岸缓冲带中草地生态功能研究[J].生态科学,2007,26(1):1-5.
- [6] 王强,卢少勇,黄国忠,等.14条环太湖河流水质与茭草、水花生氮磷含量[J].农业环境科学学报,2012,31(6):1189-1194.
- [7] 冯利华,鲍毅新.甬江建闸的环境影响分析[J].自然灾害学报,2004,13(6):88-91.
- [8] 魏复盛.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.
- [9] 美国公共卫生协会.水和废水标准检验法[M].15版.宋仁元,译.北京:中国建筑工业出版社,1985.
- [10] 章炎麟.模糊数学在水环境评价中的应用[J].科学技术与工程,2005,5(15):1111-1113.
- [11] 裴廷权,王里奥,韩勇,等.三峡库区小江流域水体富营养化的模糊评价[J].农业环境科学学报,2008,27(4):1427-1431.
- [12] 刘建康.高级水生生物学[M].北京:科学出版社,1999.
- [13] 章予舒,王立新,张红旗,等.甘肃疏勒河流域环境因子变异对荒漠化态势的影响[J].资源科学,2003,25(6):60-65.
- [14] 游文荪,许新发.生境因子对河流生态系统胁迫程度探讨[J].中国农村水利水电,2011(12):43-45.
- [15] 李凤清,叶麟,刘瑞秋,等.香溪河流域水体环境因子研究[J].生态科学,2007,26(3):199-207.
- [16] 胡雪峰,许世远,陈振楼,等.上海市郊中小河流水污染现状及对策[J].农业环境保护,2002,21(3):204-207.
- [17] 张千千,王效科,郝丽岭,等.重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价[J].环境科学,2012,33(7):2251-2258.

【责任编辑 周志红】