江苏省主要入海河口水质评价与分析

周 崴[1,2],王国祥[1,2],刘金娥[1,2],毛志刚[1,2]

(1.南京师范大学地理科学学院,江苏 南京 210046;2.江苏省环境演变与生态建设重点实验室,江苏 南京 210046)

摘要:采集江苏省沿海 30 处主要入海河口断面水样,分析 TN、NH_3-N、TP、pH 值等污染指标,分别利用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法对水质现状进行评价和分析,以确定污染程度和主要污染物。结果表明:江苏省 90%的入海河口断面水质无法满足 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水标准,其中 63%的断面为轻度污染,27%的断面为中度污染,主要污染物为 TN 和 TP。

关键词:入海河口;水质评价;污染指数;江苏省

中图分类号:X824 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-6933(2009)04-0016-04

Assessment and analysis of water quality of main estuaries in Jiangsu Province

ZHOU Wei[1,2], WANG Guo-xiang[1,2], LIU Jin-e[1,2], MAO Zhi-gang[1,2]

(1. *School of Geography Science, Nanjing Normal University, Nanjing* 210046, *China*; 2. *Jiangsu Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Nanjing* 210046, *China*)

Abstract: Water samples were collected from 30 main estuaries in Jiangsu Province and the main pollution indexes (TN, NH_4^+-N, TP and pH value) were analyzed. The water quality conditions were assessed with a single factor pollution index method and the Nemerow comprehensive pollution index method in order to characterize the pollution degree and the main pollutants. The results indicated that the water quality in 90% of the estuaries does not meet Class III water quality standards according to the *Environmental Quality Standards for Surface Water in China*. 63% of those estuaries were slightly polluted and 27% were moderately polluted. The major pollutants were TN and TP.

Key words: estuary; water quality assessment; pollution indexes; Jiangsu province

江苏省沿海河口地区地处长江、淮河和沂沭泗河下游,是主要江河的入海口,有大量的陆地径流由此入海。伴随着江苏省社会经济的飞速发展,沿海地区陆源污染物排海量逐年增多,这些入海河流已成为沿海地区城镇工业污水和生活污水的主要排放通道,陆源污染物排海已成为造成江苏省近岸海域环境污染和生态损害的主要原因之一。每年大量含氮、磷营养盐污染物以及一些耗氧性污染物被排入河流并通过入海河流排海,导致主要入海河流河口区域以及近海海域污染范围不断扩大,污染程度加深,河口海岸带环境压力增大,近岸海洋环境尤其是河口环境整体质量有所下降。因此,研究江苏省主要入海河流的污染情况,分析评价河口地区的水污染状况,对于缓解对河口海岸带不合理开发利用所带来的环境压力,为海岸带环境治理提供依据具有重要意义,可以为江苏省沿海经济布局及整个苏北、苏中地区的经济可持续发展提供科学的技术支持。

1 研究区域和研究方法

1.1 研究区域

江苏省沿海河口地区所处的海岸带,北起南黄海海州湾的平岛,南至长江口北支的苏沪分界线,是南北海上交通的通道。江苏省海岸带以季风气候为背景,处于暖温带向北亚热带过渡,并受海洋性、大陆性气候双重影响,气候更倾向于海洋性。

江苏省沿海地区水系纵横交错,内陆一侧的边界是新沭河、盐河、响水河、通榆河、老通扬运河。除新沭河外,其余 4 条河流均属沿海地区的南北向调

基金项目:江苏省海洋与渔业局江苏近海海洋综合调查与评价专项(JS-908-02-07)

作者简介:周崴(1980—),男,江苏常州人,硕士研究生,研究方向为水环境与生态学。E-mail:zhw2050@163.com

度河。新沭河以北为独流入海诸河,主要有绣针河、龙王河、兴庄河、沙旺河等,沂北地区的河流有淮沭新河、排淡河、大浦河、烧香河和五图河等,均为工业、生活污水的排放通道。沂南地区的主要河道有灌河、南潮河等。淮河水系主要以淮河入海水道为主要排污通道。里下河地区排水入海河流有射阳河、黄沙港、新洋港、斗龙港。沿海垦区以单独排水为主的河流,北部是运粮河、运煤河等;南部有二卯酉河、王港河、川东河、东台河、梁垛河、三仓河、北凌河。这些河流除了能沟通江苏省与外省的水路交通外,更重要的是带来了大量径流、泥沙、营养盐和污染物,对江苏省河口地区的自然环境、生态环境以及社会经济发展有深刻的影响[1]。

1.2 研究方法

2007 年 8 月对江苏省沿海连云港、盐城、南通 3 市主要入海河流的河口地区进行了水质污染状况采样调查,采样点位如图 1 所示,共 30 个采样点,基本覆盖了江苏省沿海地区的所有重要河口。这些采样点均为河流入海口或入海前的最后一道控制闸,可以代表河流的最终入海水质。

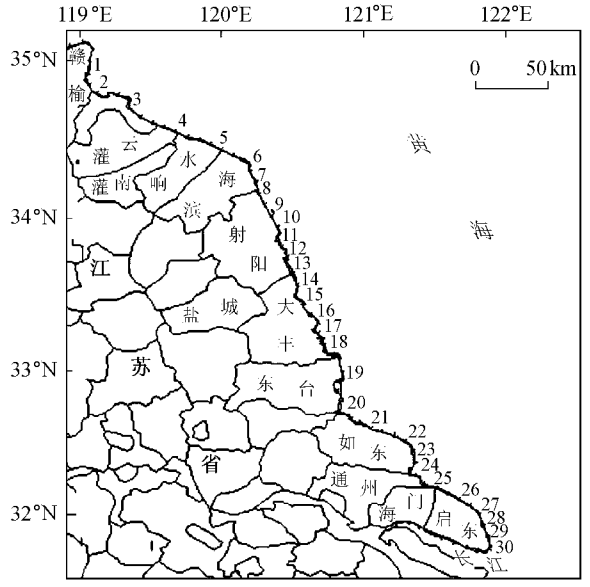


图 1 采样点位示意图

水样用聚乙烯瓶采水器采集,测定参数包括 TOC(总有机碳)、TN、NH_3-N、TP、pH 值。其中,TOC 采用美国 OI1030 型总有机碳分析仪测定,TN、NH_3-N、TP 采用荷兰 SKALAR SAN 连续流动分析仪测定,pH 值采用意大利 HANNA HI98127 酸度计测定。

2 单因子污染指数评价结果及分析

单因子污染指数法是将某种污染物实测浓度与该种污染物的评价标准进行比较以确定水质类别的方法。计算公式为:

$$I_j = \rho_j / S_j \quad (1)$$

式中:I_j 为单因子 j 的污染指数;ρ_j 为评价因子 j 的实际监测值;S_j 为评价因子 j 的标准值,这里采用 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水标准。

pH 值污染指数的计算方法较为特殊,由于本次调查的河流断面的 pH 值检测结果均高于 7.0,因此 pH 值的污染指数采用式(2)计算:

$$I_{pH} = (Z - 7.0)/(Z_{su} - 7.0) \quad (2)$$

式中:Z 为 pH 值的实测值;Z_{su}为地表水质标准中规定的 pH 值上限。

江苏省主要入海河口水质的单因子污染指数计算结果见表 1。

表 1 江苏省主要入海河口单因子污染指数

编号	采样断面	I_{TN}	$I_{NH_3\text{-}N}$	I_{TP}	I_{pH}
1	兴庄闸	3.048	0.360	1.329	0.45
2	临洪河闸	1.983	0.088	0.791	0.60
3	板跳闸	2.999	0.668	2.680	0.50
4	陈家港	2.271	0.027	0.511	0.65
5	中山河大桥	1.328	0.015	0.425	0.80
6	翻身河闸	2.244	0.240	0.621	0.55
7	振东河闸	2.896	0.659	1.428	0.70
8	扁担港	2.333	0.312	0.556	0.60
9	双洋河闸	0.971	0.270	1.645	0.40
10	运粮河闸	1.735	0.545	1.173	0.90
11	射阳河大桥	2.417	0.121	0.675	0.55
12	黄沙港闸	1.932	0.592	1.756	0.40
13	新洋港	1.409	0.285	1.767	0.45
14	斗龙港闸	1.743	0.380	1.330	0.60
15	四卯酉闸	1.873	0.401	1.473	0.75
16	王港闸	2.125	0.536	1.597	0.70
17	川东港闸	3.021	0.708	2.529	0.55
18	川水港	2.163	0.391	2.067	0.80
19	方塘河闸	1.545	0.542	4.842	0.95
20	北凌新闸	0.575	0.209	0.212	0.65
21	小洋口港	1.632	0.652	2.577	0.75
22	刘埠新闸	3.852	1.363	4.192	1.00
23	安东闸	3.193	0.968	2.988	0.45
24	遥望港	1.778	0.442	1.779	0.55
25	团结河闸	1.728	0.431	1.883	0.70
26	东灶港	1.644	0.206	1.359	0.70
27	吕四港闸	1.915	0.432	0.890	0.60
28	蒿枝港闸	1.018	0.482	0.850	0.55
29	塘芦港新闸	0.576	0.262	0.120	0.55
30	协兴闸	1.395	0.380	1.537	0.50

2.1 氮、磷污染状况

2.1.1 TN 和 NH_3-N 污染状况

从表 1 可以看出,江苏省入海河口的 TN 污染指数在 0.575 ~ 3.852 之间,除双洋河闸、北凌新闸、塘芦港新闸以外,所有断面的 TN 污染指数均大于 1,表明这些断面的 TN 质量浓度均超出了 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水标准,50% 的断面的 TN 污染指数介于 1 ~ 2 间,表明这些入海

河口的 TN 质量浓度符合Ⅳ～Ⅴ类水标准，而兴庄闸等 12 个断面的 TN 污染指数超过了 2，最高的刘埠新闸断面达到了 3.852，表明这些入海河口无法满足Ⅴ类水标准。90% 的断面达不到Ⅲ类水标准，说明江苏省主要入海河口的 TN 污染已相当严重。江苏省主要入海河口的 NH_3-N 污染较轻，污染指数在 0.015～1.363 之间，除刘埠新闸外，其余入海河口污染指数均小于 1，即符合Ⅲ类水质标准。从污染物来源上来看，在农村地区，NH_3-N 污染主要来源于生活污水的排放，而 NO_3-N 污染主要受农田径流的影响较大，鱼塘等养殖水体的氮素排放主要以有机氮为主[2]。江苏省沿海各市均进行了大范围的围垦，围垦土地被开发为农场和养殖水体，开发利用的强度和规模较大而人口相对较少。江苏省主要入海河口 NH_3-N 污染较轻、TN 污染严重的情况说明，这些河流的氮素污染主要来源于农业，包括受雨水冲刷进入水体的农田地表径流和各类养殖水体所排放的养殖废水。

2.1.2 TP 污染状况

所有断面的 TP 污染指数在 0.120～4.842 之间，其中 33% 的断面 TP 污染指数小于 1，符合Ⅲ类水标准，43% 的断面的 TP 污染指数介于 1～2 之间，符合Ⅳ～Ⅴ类水质标准，24% 的断面 TP 污染指数超出了Ⅴ类标准。总体上，TP 污染情况好于 TN，污染指数小于 1 的断面远多于 TN 的，但 TP 的最大污染程度高于 TN，污染最严重的方塘河闸 TP 污染指数达到了 4.842，严重超出了Ⅴ类水标准。

2.1.3 氮、磷污染来源

TN 和 TP 均是衡量水体富营养化状况的主要指标，其含量过高会造成其排入的海湾、湖泊等水体出现富营养化状态，引发赤潮和藻华。江苏省沿海地区近年来每年均会出现数量、面积不等的赤潮，甚至还出现了罕见的、面积达几千 km^2 的大范围赤潮，这与经入海河流排入近海的大量含氮、磷污染物质有着直接的关系。

氮、磷污染来源主要有工业污水、生活污水和农业面源 3 个方面，其中农业面源是最为主要的一个来源，江苏省沿海地区由农业面源向水环境排放的氮、磷分别占沿海地区排放总量的 54.8% 和 70%。入海河流及近岸海域氮、磷污染主要来自农业面源和水产养殖[3]。农业是江苏省沿海地区的传统产业，从农业对氮、磷的需求来看，光畜牧业就能提供土壤所需营养的 50% 以上[4]，如将农田中施用的化肥计入，则超标情况非常严重。因此，与其他产业相比，农业成了对江苏省沿海地区水环境影响最大的产业。

2.2 有机污染状况

化学需氧量(COD)作为表征有机污染物浓度的指标得到了广泛的应用，但 COD 的检测存在费时、监测成本高等问题，且不能完全反应有机物污染程度。而总有机碳(TOC)的测定，其氧化效率非常高，对绝大多数有机成分的氧化率均可达到 80% 以上，与 COD 相比能更准确地反应水体有机污染的程度。

目前，美国、德国及我国的台湾地区对饮用水的 TOC 质量浓度提出的最高阈值为 4 mg/L。国内相关研究也认为，将生活饮用水 TOC 质量浓度的标准值定为 4 mg/L 是可行的[5]。从此次调查的结果来看，除了川东港闸所取水样的 TOC 值略微超过 4 mg/L 外，其他河流断面均符合以上标准，可见江苏省沿海地区入海河流有机污染情况较好，绝大部分断面可以达到饮用水的 TOC 标准，与 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中Ⅲ类以上水体作为集中式生活饮用水地表水源地的功能要求是相符的。

由于 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中没有 TOC 标准，为计算有机污染物的污染指数，可将 TOC 转换为 COD 值后再进行计算。针对不同地区的地表水、生活污水和工业废水的 TOC 和 COD 的关系研究[6-7]表明，不同类型的水体其 TOC 与 COD 均具有一定的相关性。在一种类型的水体中，$R = \rho(COD)/\rho(TOC)$ 存在一定的比值，一定条件下可由测定的 $\rho(TOC)$ 推算出 $\rho(COD)$。对于地表水，R 的范围在 0.54～2.67 之间，将 R 定为最大值 2.67，可以通过 $\rho(TOC)$ 换算出最大可能 $\rho(COD)$，然后对照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》计算出有机污染指数 $I_{有机}$，结果见表 2。

表 2 江苏省沿海主要入海河流 TOC 值及有机污染指数

编号	$\rho(TOC)/(mg\cdot L^{-1})$	$I_{有机}$	编号	$\rho(TOC)/(mg\cdot L^{-1})$	$I_{有机}$
1	1.833	0.245	16	3.514	0.469
2	1.792	0.239	17	4.043	0.540
3	2.391	0.319	18	3.345	0.447
4	1.638	0.219	19	3.916	0.523
5	1.891	0.252	20	0.363	0.048
6	2.554	0.341	21	2.482	0.331
7	2.984	0.398	22	3.954	0.528
8	1.588	0.212	23	2.856	0.381
9	2.128	0.284	24	3.962	0.529
10	2.947	0.393	25	2.733	0.365
11	2.299	0.307	26	2.37	0.316
12	2.839	0.379	27	1.781	0.238
13	3.209	0.428	28	2.167	0.289
14	2.882	0.385	29	1.037	0.138
15	3.764	0.502	30	3.773	0.504

2.3 酸碱污染状况

所有 30 条入海河口断面的 pH 值处在 7.8～9

之间，没有超标河流，因此所有断面的 pH 值污染指数均不大于 1，完全符合 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》的要求。

3 综合污染指数评价及分析

单因子污染指数法只能反映单种污染物的污染程度，无法通过其判断这些入海河口的总体污染状况，因此，在单因子污染指数评价的基础上，选择内梅罗综合污染指数对这些入海河口的污染状况作进一步的综合评价。用内梅罗污染指数法评价水环境质量的优点是计算简便，评价结果便于比较；它不仅考虑了单因子评价法中参加评价的各种污染物的污染指数，还考虑了最大污染物的污染指数，加大了最大污染物的权重，更合理地反映了水环境的污染性质和程度；该方法将邻近海域水环境划分为清洁、较清洁、轻污染、中度污染、严重污染，评价结果较为直观，可以更清楚地了解到水质现状与水质要求的差距。内梅罗综合污染指数的计算公式为：

$$P = \sqrt{\frac{(I_{j,\max})^2 + \left(1/k \sum_{j=1}^{k} I_j\right)^2}{2}} \qquad (3)$$

式中：P 为水环境质量综合污染指数；I_j 为单个因子 j 的污染指数，$I_{j,\max}$ 为该因子的最大污染指数；k 为污染因子个数。

根据内梅罗综合污染指数，可以将水质划分为 6 个等级，划分方法见表 3。

表 3 河流综合污染指数分级

分级	P 值	分级	P 值
清洁	< 0.5	中度污染	2.0 ~ 5.0
尚清洁	0.5 ~ 1.0	重度污染	5.0 ~ 10.0
轻度污染	1.0 ~ 2.0	严重污染	> 10.0

各断面的最高污染指数和平均污染指数经计算后得出综合污染指数（图 2）。从图 2 可以看出，江苏省沿海各主要入海河口的水质状况有所差别，严重污染的断面综合污染指数超过 3.5，而最清洁的断面综合污染指数不到 0.5。对照表 3，在所有 30 个采样断面中只有塘芦港新闸属于清洁水质，即符合 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类标准，北凌新闸和蒿枝港闸属于尚清洁水质，其余 90% 的入海河口均出现了不同程度的污染状况。其中，临洪河闸等 19 个断面的水质处于轻度污染状态，占采样断面总数的 63%，27% 的断面的水质处于中度污染状态，污染最严重的方塘河闸和刘埠新闸综合污染指数分别达到了 3.69 和 3.49。在主要污染物方面，70% 的断面 TN 污染指数最高，27% 的断面 TP 污染指数最高，表明 TN 和 TP 是江苏省入海河口的主要污染物，且在地域上有较明显差别，主要污染物为 TP 的入海河口集中于南部的南通市，北部的盐城市和连云港市的入海河口主要污染物基本上都是 TN，显示江苏省沿海 3 市的污染物来源有所不同。

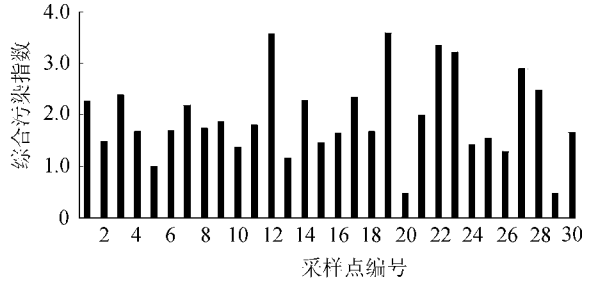


图 2 江苏省主要入海河口综合污染指数

4 结 论

通过对江苏省沿海主要入海河口地区的调查与采样，分析各条河流的主要水质指标，计算单因子和综合污染指数，得出结论：2007 年夏季，江苏省 90% 的入海河口入海断面的水质处于污染状态，以 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中的Ⅲ类水作为标准，63% 的断面处于轻度污染状态，27% 的断面处于中度污染状态，有机污染和酸碱污染状况较好，主要的污染物为 TN 和 TP，其主要来源可能是农业面源污染。

参考文献：

[1] 乔磊. 江苏沿海河口环境质量研究与生态风险评估[D]. 南京：河海大学，2006.

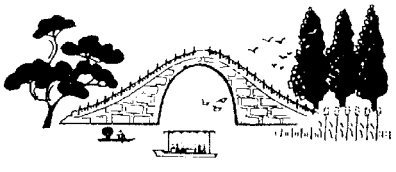
[2] 许海，刘兆普，焦佳国，等. 太湖上游不同类型过境水氮素污染状况[J]. 生态学杂志，2008，27(1)：43-49.

[3] 刘青松，李杨帆，朱晓东. 江苏省海岸带 N、P 污染特征分析与控制对策[J]. 环境导报，2003(9)：4-5.

[4] 邹欣庆. 江苏海岸带环境的压力分析与政策响应[J]. 海洋地质动态，2004，20(7)：20-24.

[5] 王严，杜红，盛金妹. 北京市饮用水 TOC 标准的研究[J]. 中国卫生工程学，2005，4 (5)：290-292.

[6] 陈光，刘廷良，孙宗光. 水体中 TOC 与 COD 相关性研究[J]. 中国环境监测，2005，21(5)：9-12.

[7] 刘云，邱晓国. 内插 TOC 系数法测定水体中 COD 研究[J]. 山东大学学报：工学版，2007，37(4)：108-117.

（收稿日期：2008-04-15 编辑：傅伟群）