

海河水环境质量及污染物入海通量

刘国华,傅伯杰,杨平(中国科学院生态环境研究中心,北京 100085)

摘要:在 1993~1997 年海河水质监测资料的基础上,计算了各污染因子的污染指数和入海通量.结果表明,海河的污染较严重,各断面的水质等级均在 IV 级和 V 级的水平,主要的污染因子为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 以及有机物污染.5 年间海河的水质有所改善,综合污染指数由 1993 年的 17.21 降为 1997 年的 13.39.前 4 年中污染物的入海通量加大,尤其以 COD_{Mn} 、 BOD 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$ 最为严重,分别由 1993 年的 1555、655、337、156 和 $25\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ 上升到 1996 年 8710、4317、2516、1528 和 $188\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$.而 1997 年又分别急剧下降至 1331、973、572、355 和 $31\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$,这可能主要是由于海河径流量的变化所引起的.

关键词:水环境质量;入海通量;海河

中图分类号:X52 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2001)04-05-0046

Quality of Aquatic Environment at Haihe River and the Pollutant Fluxes Flowing into Sea

Liu Guohua, Fu Bojie, Yang Ping (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: On the basis of the data of water quality monitored from 1993 to 1997, the pollution indexes of each pollutant was computed. The results showed that the pollution at Haihe river was severe. The rank of water quality at all monitoring site were between IV and V grade. The main pollution factors were $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ and organic contaminants. During the 5 years, water quality of Haihe River was improved, however, the pollutant fluxes flowing into Bohai Bay, especially COD_{Mn} , BOD , $\text{NH}_3\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$, were increased, they were increased from 1555, 655, 337, 156 and $25\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ in 1993 to 8710, 4317, 2516, 1528 and $188\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ in 1996, and sharply decreased to 1331, 973, 572, 355 and $31\text{ t}\cdot\text{a}^{-1}$ in 1997, respectively. It may be mainly due to the change of runoff at Haihe River.

Key words: aquatic environmental quality; pollution flux; Haihe River

陆地和海洋的相互作用已成为全球环境变化研究的重点问题,入海河流的水质状况和污染物输送通量作为陆地对海洋影响的中心问题已日益受到广泛的关注^[1,2].英国从 1993 年起在北海沿岸实施了一系列陆地海洋相互作用的研究计划进行长期研究^[3~6].河流的污染主要来自工业和生活废水以及农业非点源污染,由于人类活动强度的增加,农业非点源污染的程度也在不断地加强^[7,8].因此,研究河流的水质现状,对污染防治措施制订以及水资源的合理开发利用等具有重要的意义.我国是一个河流水系相对发达的国家,但是我国在海陆相互作用方面的研究还很少,仅在少数河流进行了相

关的研究^[9],此外,徐嵩龄等人^[10]和方精云等人^[11]将河流碳输运作为碳循环的一个环节,对我国河流的碳输运进行了计算.海河是我国华北地区主要河流之一,其干流长 72 km,流域面积 2 066 km²,流域内大中城市多,人口密度大,工业较为发达.随着工农业经济的发展和人民生活水平的提高,产生的污水量也相应增加^[12,13].本文以该流域为研究对象,研究了海河干流 1993~1997 年间的水质状况并初步估

基金项目:国家自然科学基金重点项目(49831020)

作者简介:刘国华(1965~),男,助研,主要从事全球变化、景观生态学等方面的研究.

收稿日期:2000-08-15

算了污染物的入海通量,以此说明 90 年代海河的污染状况、变化趋势以及对渤海湾近海海域的污染情形。

1 数据来源

选用 1993~1997 年海河干流的三岔口、大良子、柳林 3 个断面的水质监测数据。水质监测的项目主要有 COD_{Mn}、BOD、NH₃-N、NO₂-N、NO₃-N、挥发酚 (Volatile hydroxybenzene, VHB)、CN⁻、As、Hg、Cr⁶⁺、Pb、Cd。收集海河的水文资料,计算年入海通量。

2 数据处理

2.1 污染指数计算

污染指数包括污染因子的污染指数、平均污染指数(Average Contaminative Index, ACI)和综合污染指数(Integrated Contaminative Index, ICI)等,其计算方法见(1)~(3)式。

污染因子的污染指数:

$$P_i = c_i / S_i \tag{1}$$

式中,*i* 为污染因子,*c_i* 为污染因子 *i* 的实测含量,*S_i* 为污染因子 *i* 的评价标准值,采用国家地面水环境质量标准(GB3838-88)中的 III 类水

质标准*作为标准值。

ACI 定义如下:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \tag{2}$$

式中,*P_i* 为污染因子的污染指数,*n* 为监测断面数。

ICI 定义如下:

$$K = \sum_{j=1}^m P_j \tag{3}$$

式中,*P_j* 为平均污染指数,*m* 为污染因子数。

2.2 污染趋势分析

应用 Spearman 秩相关系数(*R_s*)分析。

2.3 污染物入海通量估算

利用(4)式估算污染物每年的入海通量:

$$T_i = c_i \times Q \tag{4}$$

式中 *c_i* 为某种污染物在河海界面处的年平均浓度,本文近似取柳林断面的值,*Q* 为河流当年的入海径流量。

3 结果分析

3.1 污染趋势的分析

根据公式(1)、(2)、(3)计算的各污染因子的污染指数及年计间的秩相关系数见如表 1。

表 1 海河干流 1993~1995 年平均污染指数

Table 1 Average contaminative index in Haihe River from 1993 to 1997

年度	COD _{Mn}	BOD	NH ₃ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	VHB	CN ⁻	As	Hg	Cr ⁶⁺	Pb	Cd	ICI
1993	2.99	1.89	7.78	1.95	0.09	1.29	0.05	0.23	0.05	0.07	0.29	0.53	17.21
1994	1.57	1.47	9.96	1.64	0.08	0.68	0.01	0.18	0.00	0.11	0.56	1.29	17.54
1995	1.48	1.74	8.95	1.93	0.08	0.53	0.02	0.13	0.33	0.05	0.06	0.07	15.36
1996	1.26	1.36	6.50	1.15	0.06	0.73	0.02	0.09	0.57	0.04	0.07	0.06	11.91
1997	1.20	1.48	6.59	1.71	0.09	0.43	0.01	1.37	0.33	0.07	0.05	0.07	13.39
Rs	-1.0	-0.5	-0.6	-0.5	-0.3	-0.7	-0.4	0.00	0.80	-0.6	-0.6	-0.8	-0.80

从污染因子的平均污染指数的含义可知,值大于 1 时,即表明该项指标已超标。从表 1 中平均污染指数是一无量纲值,各因子的分指数数值可以看出,1993 年的主要污染物及其平均

* 国家环境保护区科技标准司编.水环境标准工作手册.1997.1~8.

污染指数分别为 $\text{NH}_3\text{-N}$ (7.78)、 COD_{Mn} (2.99)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ (1.95) .1994 年的主要污染物及其平均污染指数分别为 $\text{NH}_3\text{-N}$ (9.96)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ (1.64)、 COD_{Mn} (1.57) .1995 年的主要污染物及其平均污染指数分别为 $\text{NH}_3\text{-N}$ (8.95)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ (1.93)、 BOD (1.74) .1996 年的主要污染物及其平均污染指数分别为 $\text{NH}_3\text{-N}$ (6.50)、 BOD (1.36)、 COD_{Mn} (1.25) .1997 年的主要污染物及其平均污染指数分别为 $\text{NH}_3\text{-N}$ (6.59)、 $\text{NO}_2\text{-N}$ (1.71)、 BOD (1.48) .据此说明,影响海河的主要污染因子为 $\text{NH}_3\text{-N}$,其次为 $\text{NO}_2\text{-N}$ 以及表征有机污染的 BOD 和 COD_{Mn} .即:①三氮类($\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$) 污染严重.②有机类污染不容忽视,这可从 COD_{Mn} 、 BOD 、 VHB 、 CN^- 等污染指数上看出.③重金属(Pb 、 Cr 、 As 、 Hg) 污染程度较轻.

根据秩相关系数的定义,秩相关系数的绝对值越大则变化趋势越明显,负值表示呈下降趋势,正值表示呈增加的趋势.从各污染因子的秩相关系数上看(见表 1),在 1993 年到 1997 年间,除 Hg 呈现明显的上升趋势以及 As 的变化趋势不明显外,其余的或多或少都呈下降趋势,其中以 COD_{Mn} 的下降趋势最为明显,此外, Cd 、 VHB 也有较明显的下降趋势.综合污染指数表征了河流总体的水质状况,从各年的综合污染指数上看,总体上海河的水环境质量有所提高,污染状况有所缓解,但这主要可能是因为后面几年中海河径流量的增加所导致.众所周知,由于河水对污染物具有稀释作用,因此,河流水环境质量与河流径流量的大小密切相关,在污染物排放强度相同的条件下,径流量越大,水环境质量越好,反之亦然.

3.2 水质评价

根据国家地面水环境质量标准(GB3838-88)对断面进行水质分级,结果见表 2 .

根据污染物的等级分类,Ⅰ级为清洁水质,Ⅱ级为较清洁水质,Ⅲ级为轻污染水质,Ⅳ级为中污染水质,Ⅴ级为重污染水质.从表 2 中数据可以看出,1993 ~ 1997 年中各断面的水质等级都在 Ⅳ ~ Ⅴ 级之间,说明海河的污染是相当

严重的.造成海河污染严重的原因很多,海河流经了工业比较发达的城市及农业地区,工业废水排放和城市污水排放还没得到很好得控制,而且农业的非点源污染也对河流的污染影响很大.

表 2 各断面的水质评价

Table 2 Evaluation of water quality in each section					
断 面	1993	1994	1995	1996	1997
三岔口	Ⅴ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅳ
大良子	劣 Ⅴ	Ⅴ	劣 Ⅴ	劣 Ⅴ	Ⅳ
柳 林	Ⅴ	劣 Ⅴ	劣 Ⅴ	Ⅴ	劣 Ⅴ

3.3 与其它河流水质的比较

从河流污染物入海的角度出发,仅考虑河流下游的水质上,将海河的水质与环渤海区域中较大的入海河流如大辽河下游水质和黄河下游水质比较结果见表 4 .其中大辽河水水质断面取样为黑英台及营口入海口断面.黄河水质断面取样为济南段的洛口及利津断面.

表 3 渤海湾主要入海河流的综合污染指数

Table 3 Integrated contaminative indexes of major rivers in Bohai Bay				
河流	1994	1995	1996	1997
海 河	17.544	15.364	11.913	13.391
大辽河	15.260	10.810	18.070	12.325
黄 河	2.2200	8.2300	16.240	10.310

从表 4 中数据来看,海河与大辽河下游的水质污染较严重.除个别年份外,黄河下游的水质稍好.但是,从几年的变化趋势来看,海河与大辽河的水环境状况虽在波动,但总体趋势有所改观,而黄河下游的水环境质量则呈上升的势头.

3.4 污染物入海通量的估算

据海河闸站 1960 - 1979 年的 15 年的资料统计,多年平均径流量为 21.1 亿 m^3 .图 1 为 90 年代海河的年入海径流量.从图 1 中可以看出,在 1993 ~ 1997 年间,海河经历了不同的水文年份,是对计算污染物入海通量具有代表性的时

段.

根据公式(4) 计算的各污染物的入海通量值见表 4. 其中, COD_{Mn} 和 BOD 的入海通量值表征的是有机污染物的入海通量.

从表 4 可知, 在 1993 ~ 1996 年间, 海河中各污染物的入海通量几乎都呈逐年增加的趋势, 尤以 1995 和 1996 年增加的量最大, 而在 1997 年各污染物的入海通量又急剧下降. 由于污染物入海通量的大小与河流中污染物的浓度和河流的径流量成正比关系. 再从图 1 可知, 在 1993 ~ 1996 年间, 海河的径流量持续增加,

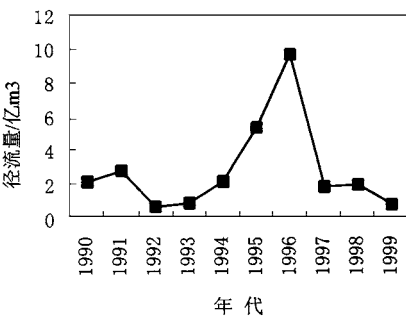


图 1 海河 90 年代入海径流量

Fig.1 Runoff of Haihe River during 1990s

表 4 污染物入海通量的估算/ $t \cdot a^{-1}$

Table 4 Estimate of pollutant fluxes flowing into Bohai Bay

年度	COD_{Mn}	BOD	NH_3-N	NO_2-N	NO_3-N	VHB	CN^-	As	Hg	Cr^{6+}	Pb	Cd
1993	1555	655.5	337.26	25.400	156.06	0.52	0.87	1.04	0.00	0.30	1.26	0.23
1994	2413	1248	657.28	37.650	326.56	0.83	0.62	2.08	0.00	0.83	0.00	0.02
1995	6008	3242	1475.5	196.56	1059.6	2.12	4.24	3.71	0.00	1.33	2.38	0.27
1996	8710	4317	2516.4	188.14	1528.0	4.78	3.82	3.82	0.06	1.91	4.78	0.33
1997	1331	972.7	572.44	31.240	355.00	0.53	0.36	0.71	0.00	0.71	0.53	0.07
平均	3737	2087	1111.8	95.796	685.04	1.76	1.98	2.27	0.01	1.02	1.79	0.18

并于 1996 年达到最大值, 而 1997 年又急剧下降, 因此, 海河这几年污染物的入海通量的变化主要是受其径流量的影响. 此外, 从表 4 还可知, 海河入海的主要污染物为 COD_{Mn} 、BOD、 NH_3-N 、 NO_3-N 和 NO_2-N , 5 年之中其平均入海通量依次为 3737、2087、1112、685 和 96 $t \cdot a^{-1}$. 污染物入海的主要后果是造成对海洋的污染, 尤其是大量有机污染物和含氮的无机污染物进入海洋, 会导致海洋水体富营养化, 从而为近海水域赤潮的发生提供了物质基础; 此外, 虽然重金属污染物的入海通量较小, 但是由于重金属污染物具有难于分解、存留时间长等特点, 因此, 也是不容忽视的. 总之, 污染物对海洋的污染不仅会对海洋渔业和近海养殖业造成巨大的损失, 而且也会给人类的健康带来严重的威胁. 目前渤海湾水体的污染较严重, 水质等级为二类海水, 其中海河输入的污染物占了很大的比重. 因此, 加强对入海河流的污水治理有利于维

护海洋生态环境的平衡.

4 结论

- (1) 海河的污染是比较严重的, 污染等级都在 IV 级到 V 级的水平. 即使在径流量比较大的 1995 年和 1996 年, 各断面的污染等级也无较大的改善. 海河的主要的污染因子是 NH_3-N 、 NO_2-N 以及由 BOD 和 COD_{Mn} 所表征的有机污染.
- (2) 从 1993 年到 1997 年海河的水环境质量有所提高, 污染程度有所下降. 但从污染物的浓度值与河流水文状况的相互作用的关系来看, 这期间径流量有所提高, 表明各污染物的点源排放以及非点源污染强度依然很大. 今后, 海河污染控制的任務仍是很艰巨的.
- (3) 污染物的入海通量取决于河流的水质和入海径流量. 从 1993 年到 1996 年, 海河各污染物的入海通量基本上是呈逐年增加的趋势,

而 1997 年污染物的入海通量则急剧下降,通过对海河径流量的年际变化分析发现,在这几年中,污染物入海通量的变化主要受径流量影响.

(4) 海河入海的主要污染物为 COD_{Mn} 、 BOD 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2\text{-N}$, 5 年之中其平均入海通量依次为 3737、2087、1112、685 和 96 $\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$. 有机污染物和含氮无机污染物的增加,可能会导致海域水体的富营养化,为近海赤潮的发生提供物质基础,从而给海洋渔业和近海养殖业带来严重的危害. 因此,加强对河流水质的治理是势在必行的.

参考文献:

- 1 Zhou JL. Fluxes of organic contaminants from the river catchment into, through and out of the Humber Estuary, UK. *Marine Pollution bulletin*, 1998, **37**(3 ~ 7): 330 ~ 342.
- 2 Grimvall A. Time scales of nutrient losses from land to sea — a European perspective. *Ecological Engineering*, 2000, **14**(4): 363 ~ 371.
- 3 Webb BW, Phillips JM, Walling DE et al. Load estimation methodologies for British rivers and their relevance to the LOIS RACS(R) programme. *The Science of the Total Environment*, 1997, **194/ 195**: 379 ~ 389.
- 4 Neal C, House WA, Leeks GJL et al. UK fluxes to the North Sea, Land Ocean Interaction Study(LOUIS): river basins research, the first 2 years 1993 ~ 1995. *The Science of the Total Environment*, 1997, **194/ 195**: 1 ~ 4.
- 5 Neal C, House WA, Jarvie HP et al. The significance of dissolved carbon dioxide in major lowland rivers entering the North Sea. *The Science of the Total Environment*, 1998, **210/ 211**: 187 ~ 203.
- 6 Neal C, House WA, Whitton BA et al. Conclusions to special issue: Water quality and biology of United Kingdom rivers entering the North Sea: The Land Ocean Interaction Study(LOIS) and associated work. *The Science of the Total Environment*, 1998, **210/ 211**: 585 ~ 594.
- 7 Arheimer B. Watershed modeling of nonpoint nitrogen losses from arable land to the Swedish coast in 1985 and 1994. *Ecological Engineering*, 2000, **14**(4): 389 ~ 404.
- 8 陈利顶等. 农田生态系统管理与非点源污染控制. *环境科学*, 2000, **21**(2): 98 ~ 100.
- 9 段水旺等. 长江下游氮、磷含量变化及其输送量的估计. *环境科学*, 2000, **21**(1): 53 ~ 56.
- 10 徐嵩龄, 方精云, 刘国华. 黄河水系对流域碳分布的影响. *生态学报*, 1995, **15**(3): 287 ~ 295.
- 11 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳循环及其全球意义. 见: 温室气体浓度和排放监测及相关过程(王庚晨、温璞玉主编). 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 129 ~ 139.
- 12 吴凯. 环渤海区域水环境问题及其防治对策. *地理科学*, 1997, **17**(3): 231 ~ 236.
- 13 王裕玮. 海河流域水环境的主要问题及对策. *海河水利*, 1997, **2**: 21 ~ 23.