

东辽河水质演化及其对环境酸化的响应

严登华¹, 何岩^{1,2}, 邓伟¹, 翟金良^{1,2}

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院, 北京 100864)

摘要: 根据东辽河流域的自然特征,以二龙山水库为界,将东辽河分成山区和平原区河流两段进行研究。采用主成分分析的方法,探讨了不同统计口径水质演化的年际和月变化特征。采用相关分析法,分析了水质演化与环境酸化之间的关系。东辽河流域水质污染较为严重,必需进行及时有效的综合整治;流域水质演化的动力学因子主要为有机污染类物质,平原片和全流域统计口径污染因素类似程度较高,从整个流域来看,二龙山水库以下的污染(包括公主岭市的城市污水和梨树县的农业污染)是一个不可忽视的因素;水质演化具有明显的逐月和年际变化规律;水质演化对环境酸化具有很好的响应。

关键词: 东辽河; 水质演化; 环境酸化

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)04-0001-05

中图分类号: X522; X517

Evolution of River Water Quality and Its Response to Environment Acidification in Dongliao Basin

YAN Deng-hua¹, HE Yan^{1,2}, DEN G Wei¹, ZHAI Jinliang^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China; 2. Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China)

Abstract Based on physical features of the basin, the Dongliao river is divided into two parts, namely hill-river and plain-river with the Erlongshan lake as the bound. The monthly and yearly evolution of water quality were studied by means of PCA, and its response to environment acidification is analyzed by means of correlation. The water is seriously polluted and must be renovated. The primary pollution factor is organic matter. The pollution of lower reach must not be neglected. The evolution of water quality is monthly and yearly, and the response to the acidification of environment is strong.

Keywords Dongliao river; evolution of water quality; acidification of environment

水是流域内一种重要的污染物传输介质和归宿,河流水质演化是流域环境系统演变的重要表征。研究河流水质演化规律及其与环境演变之间的关系具有重要的意义^[1-2],陈静生等对长江部分河段水质演化进行了研究^[3,4]。目前对我国东北地区河流水质演化方面的研究报道较少^[5,6]。东辽河是辽河干流上游地区的大支流,从东向西流经山地、丘陵和平原地区,其流域是整个吉林省自然环境的一个缩影。自然和人类非理性活动破坏了水资源可持续的地域耦合空间结构和流域正常的生态水文过程^[6,7],河流水质污染严重。同时,城市排放的大量酸性气体使得降水呈现出酸性特征。研究东辽河水质演化及其与环境酸化的响应关系,对整个辽河流域水质治理、吉林省水质保护都有十分重要的理论和现实意义,同时对中等流域的水质管理具有一定的参考价值。

东辽河发源于吉林省东辽县宴平乡哈达岭山脉的小汗葱顶子峰的东南,流经吉林省辽源市、东辽、梨树、公主岭、双辽县和辽宁省的西丰、昌图、康平县,以及内蒙古的科尔沁左翼后旗,在富德店与西辽河汇合。干流全长 360km,其中在吉林省的河长占总河长的 80% 以上,流域面积 11 450 km²,整个河道的比降为 1/1 400。流域多年平均径流深为 102.54 mm,平均径流量为 2.10 × 10⁸ m³。多年平均蒸发量为 1 600 mm。全流域四季分明,属于温带大陆性季风气候,春季干燥多风,夏季湿热多雨,秋季凉爽晴朗,冬季严寒漫长。盛行西南风,平均风速为 3~5 m/s。多年平均气温 4℃~8℃,无霜期 125~140d。多年平均降雨量 470~700 mm,6~8 月降雨量占全年降雨量的 70% 以上。多年平均雷暴天数约 30d。降雨集中,强度大,相当部分形成地表径流,易造成水土流失。

收稿日期: 2002-03-12

资助项目: 中国科学院重大资源环境研究项目(KZ952-J1-067)

作者简介: 严登华(1976-),男(汉族),安徽省太湖人,博士研究生,主要从事水资源与水环境研究。已经发表论文 30 篇。电话(0431) 5542210, E-mail denghuay@yeah.net

1 材料与方 法

1.1 地表水质监测

在干流河段辽河源、气象站、拦河闸、河清、城子和太平(焦家街)布设了 6 个监测点,在二龙山水库的大坝和水库中心布设了 2 个监测点。对这 8 个监测点,在 1984—1998 年间进行了 15 a 的水质监测,异常水文年(枯水年和丰水年)还在山区河段的支流(梨树河、莲泉河等)上进行水质监测,满足 Gert Knutsson 提出的研究水质变化所要求的观测年限^[8]。水样采集的频次为每月(每月中旬)一次,异常水文过程则进行隔日采样。水质分析按照常规水质分析方法。在采集水样的同时,还进行了断面水文特征的监测(径流量、水位和含沙量)。

1.2 环境酸化特征监测

为研究河流水质演化的成因,在平原区的公主岭市及对之影响密切的四平市、梨树县和山区的辽源市进行了次大气降水的降水量、pH 值、电导率及有关离子的含量监测,1988 年后还采用碱片—重量法监测了大气硫酸盐化速率。

1.3 水质数据处理方法

根据流域的环境特征及其所受到的人类活动的影响,以二龙山水库为界,将研究区划分出山区河段(二龙山水库以上)和平原区河段(二龙山水库以下)来进行研究。数据的处理是采用 Excel 2000, SPSS 9.0 和 Minitab 13.0 软件包完成的。将数据输入工作数据库,首先进行 CRUBBS 检验法,剔除异常值,然后再进行加权平均值和有关统计计算。

河流水质指标的加权平均值的计算公式为:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij} q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (1)$$

表 1 水质加权平均值统计(1984—1998 年)

项目	EC	pH	TSS	TH	DO	COD	BOD	NO ₂ -N	NO ₃ -N
山区	1440.98	7.49	182.42	14.07	7.38	58.35	26.50	0.088	1.086
二龙山水库	442.96	7.83	59.64	5.41	8.48	12.44	3.59	0.027	0.280
平原区	381.79	7.53	361.32	14.65	7.55	31.89	7.85	0.064	0.393
GHZB1-1999(III)	—	7.5~8.50	—	—	5.00	20.00	4.00	0.150	20.000

注:① EC 单位为 $\mu\Omega/\text{cm}$;② TH 为德国度;③ 除 pH 值外,表中各项均为 mg/L 。

2 河流水质演化

2.2.1 河流水质演化动力因素 选取 EC, pH, TSS, TH, DO, COD, BOD, NO₂-N 和 NO₃-N 等 9 个水质参数对全流域、山区河段和平原区河段 3 个统计口

式中: p_i —— i 断面的加权平均值; p_{ij} —— i 断面 j 次监测的水质数据; q_j —— j 次监测时河流径流量。

pH 值的加权平均值首先将其换算成 $[\text{H}^+]$,按上述公式计算其 $[\text{H}^+]$ 的加权平均值后再换算成 pH 值。大气降水水质的加权平均值就是将上述公式中的径流量换成降水量,为节省篇幅,不再赘述。

表征水质演化的指标很多,为探讨水质演化特征,采用主成分分析法进行水质演化。取特征值大于 1,累积方差解释量大于 55% 的前 3 个主成分进行分析。根据各主成分中不同水质参数的载荷,分析水质演化的动力因素。根据各主成分的得分,分析水质逐月和年际变化。采用相关分析法探讨水质演化与环境酸化之间的关系。

2 结果讨论

2.1 水质基本概况

河流湖泊水质的基本情况如表 1 表示。从表 1 可以看出,东辽河水质污染十分严重。特别是有机类污染物(COD, BOD)都超过地表水 III 级标准。在各种环境因素下,作为河水和污染物滞留区的二龙山水库的水质明显好于其上下游的平均水质的水准。在二龙山水库上游,由于受到辽源市排放的大量污水影响,使得其平均水质水平比平原地区要差许多。

从大气降水水质情况来看,由于平原区地形开阔,污染物容易扩散;相反在山区,地形较为封闭,盆地地形及其形成的逆温层,使得污染物很难在短期扩散。这样导致山区流域的大气降水比平原地区大气降水的水质要好。山区大气降水的 pH 值为 6.33,平原区大气降水的 pH 值的加权平均值为 6.98,明显好于山区流域的大气降水。从大气硫酸盐化速率来看,山区为 $0.59 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ 碱片日,平原区为 $0.89 \text{ mg}/100 \text{ cm}^2$ 碱片日。

径分别进行主成分分析,结果如表 2。

从表 2 可以看出,各统计口径 PC1 的影响最大的水质参数都是 BOD 和 COD,即为有机类的污染因素。全流域和平原统计口径 PC2 的 2 个影响最大的

水质参数是 TSS 和 pH,即为影响悬浮物类和水体酸碱度类的污染因素。其中, pH 的载荷分别为 -0.62 和 -0.60,而 TSS 的载荷分别为 -0.53 和 0.61,即分别起到正面和负面的影响。山区河段 PC2 的 2 个影响最大的水质参数为 pH 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,即为影响酸碱度和硝酸盐类污染物。对于 PC3 来说,全流域统计口径的两个影响最大水质参数为 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 和 TH,载荷分别为 0.53 和 0.42 还原性无机盐类;山区河段影

响最大的 2 个水质参数为 TSS 和 TH,载荷分别为 0.57 和 -0.46,即为悬浮物类污染因素;平原片为 DO 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$,载荷分别为 -0.60 和 0.55,即为氧化性无机盐类。

平原片和全流域统计口径污染因素类似程度较高,从整个流域来看,二龙山水库以下的污染(包括公主岭市的城市污水和梨树县的农业污染)是一个不可忽视的因素。

表 2 河流水质主成分分析结果统计

变 量	全流域			山区片			平原片		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
影响最大的	<u>BOD</u> 0.53	<u>pH</u> 0.62	<u>$\text{NO}_2^- - \text{N}$</u> 0.53	<u>COD</u> 0.59	<u>pH</u> 0.59	<u>TSS</u> 0.57	<u>BOD</u> 0.46	<u>pH</u> 0.60	<u>DO</u> 0.60
水质参数	<u>COD</u> 0.51	<u>TSS</u> 0.53	<u>TH</u> 0.42	<u>BOD</u> 0.54	<u>$\text{NO}_3^- - \text{N}$</u> 0.51	<u>TH</u> 0.46	<u>COD</u> 0.47	<u>TSS</u> 0.61	<u>$\text{NO}_3^- - \text{N}$</u> 0.55
EIGEN	2.51	1.28	1.14	2.45	1.64	1.31	2.62	1.49	1.21
CUM U	0.28	0.42	0.55	0.27	0.45	0.60	0.29	0.46	0.59

注:表中 EIGEN 特征值,CUM U 表示累积方差解释量,“—”之上表示水质指标,之下为主成分得分。

2.2.2 河流水质演化特征 为进行对比,将全流域水质进行 PCA 分析后所得到的每次监测结果的 PC1-PC3 的得分进行统计,以便进行年际和月份变化之间的对比。

(1) 逐月变化。通过对月平均值进行 2 次多项式趋势分析,平原区和山区的 PC1 和 PC3 都出现倒“U”字形规律。平原地区接纳的有机质和悬浮物的范围较广,使得平原区 PC1 和 PC3 的值较之山区要高一些。山区土地利用类型较为复杂,其用水和排水的组合方式较为复杂;平原区域主要是梨树灌区,土地利用方式较为单一,使得多年平均的月平均变化幅度山区较之平原地区要小。PC1 和 PC3 的高值区均出现在 5-9 月份,低值区出现在 11 月至翌年 2 月份。相对于农业生产而言,工业污水和城市生活污水排放的季节性要低一些,扣除 11 月至翌年 2 月份因河道封冻而导致的污水接纳量减少的影响,而东辽河水水质有明显的季节变化,这证实了东辽河水水质污染在很大程度上是因为农业生产引起的。PC1 和 PC2 均呈现出波状变化的特征,但平原区的变化较山区的变化有近一个月的时滞。这是因为下游河段不但要接纳相对稳定的下游汇水区污染物的汇入,同时还要接纳上游污染物的汇入,而根据多年监测结果,上游河段污染物到达下游的时间平均需要一个月。由于河道的自净作用,使得下游河段的污染物不是上下游污染物的数学相加。平原区的 PC2 的变化规律与 PC1 和 PC3 相类似,其成因也相同。山区河段 PC2 的多年平均逐月变化却呈现出抛物线形的规律,这是因为在东辽河流

域降水量与地形高度呈现出正比的缘故。同时,山区森林覆盖率较高,四平市和东辽县森林覆盖率分别为 19.62% 和 39.2%^①,在作物的生长季林地对悬浮物类的物质具有很大滞留作用,而在非生长季却产生许多悬浮类污染物。

(2) 逐年变化。PC1 有增加的趋势,PC2 和 PC3 均有逐年下降的趋势,即除影响悬浮物类、pH 值污染因素和还原性无机盐类污染因素外,有机污染仍然有加大的趋势。但从 1994 年以来,PC1 有下降的趋势,即东辽河水水质污染状况仍然不容乐观。除在 20 世纪 90 年代初外,山区和平原区的 PC1、PC3 年际变化的节律较为一致,1992 年以后,山区的变化较平原地区要缓和一些。山区和平原区 PC2 的变化几乎是同步进行的。

3 水质演化对环境酸化的响应

吉林省中西部城市大气降水基本呈中性,东部的图们江地区降水酸化严重^[9]。而作为图们江地区西侧酸化阴影区的东辽河流域,降水亦呈酸性,部分时段还有酸雨发生。环境酸化导致环境中的各种化学平衡发生变化。由于酸化的环境使得下垫面的部分阳离子和阴离子更容易溶出,使得水体中离子的数量呈现出增加的趋势。因而有必要对比研究水质演化与环境酸化的关系。

① 据四平市国土规划(1999年)及东辽县国土规划(1999年)。

3.1 酸化环境的演化规律

东辽河流域降水的季节变化不明显,但山区大气降水 pH 值较之平原地区要低一些,同时平原区降水在 8 月份有一明显的低值点。在冬季因取暖和天气干燥,使得流域内的硫酸盐化速率呈现出明显的倒“U”字形规律。平原区硫酸盐化速率在 4—10 月份的变化不明显。

20 世纪 90 年代以后,随着对城市环境综合整治,酸性物质的排放量逐渐减少,东辽河流域大气降水的 pH 值有逐渐增加的趋势。对于硫酸盐化速率来看,平原区硫酸盐化速率有增加的趋势。随着辽源市城市环境综合整治的开展,其硫酸盐化速率有减小的趋势。

3.2 水质演化对环境酸化的响应

选取同期的水体 pH 值, TH, COD, 大气降水 pH 值和硫酸盐化速率进行相关分析。

3.2.1 平原区水质演化对环境酸化的响应 分别将

平原区水质参数与平原区降水酸碱度和硫酸盐化速率及全流域平均降水酸碱度和硫酸盐化速率进行相关分析,结果见表 3 和表 4

从区域水质与区域大气降水酸碱度和硫酸盐化速率来看,区域月平均水质参数与区域大气降水酸碱度和硫酸盐化速率之间的相关性较弱。但区域年平均 E_c 与 VS 有很大的相关性,相关系数达到 0.861,同时区域 COD 与 VS 也有很大的相关性,相关系数为 -0.776。从区域水质与全流域大气降水酸碱度和硫酸盐化速率来看,区域月平均 pH 与全流域 VS 有很好的相关性,相关系数为 -0.532,区域 E_c 与 COD 与全流域硫酸盐化速率均有较高的相关性,相关系数为 0.608 和 -0.871。这说明平原区河流水质演化与环境酸化具有很好的响应关系。

3.2.2 山区水质演化对环境的响应 将山区水质参数与大气降水酸碱度和硫酸盐化速率进行相关分析,结果如表 5

表 3 平原区水质与区域降水相关分析统计

指标	项 目	月 平 均					年 平 均				
		E_c	rpH	TH	COD	ppH	E_c	rpH	TH	COD	ppH
rpH	相关系数	0.740					-0.217				
	P- 值	0.006					0.640				
TH	相关系数	0.202	-0.045				0.401	0.353			
	P- 值	0.530	0.889				0.372	0.437			
COD	相关系数	-0.351	0.018	-0.503			-0.483	-0.664	-0.365		
	P- 值	0.263	0.955	0.095			0.273	0.104	0.421		
ppH	相关系数	0.252	-0.047	0.044	0.249		0.199	-0.412	0.061	0.204	
	P- 值	0.430	0.884	0.893	0.435		0.669	0.358	0.897	0.662	
VS	相关系数	-0.355	-0.434	0.315	0.380	0.305	0.861	0.139	0.339	-0.776	0.273
	P- 值	0.258	0.159	0.318	0.223	0.336	0.013	0.767	0.457	0.040	0.554

表 4 平原区水质与全流域降水相关分析统计

指标	项 目	月 平 均					年 平 均				
		E_c	rpH	TH	COD	ppH	E_c	rpH	TH	COD	ppH
rpH	相关系数	0.740					-0.308				
	P- 值	0.006					0.457				
TH	相关系数	0.202	-0.045				0.414	0.249			
	P- 值	0.530	0.889				0.308	0.552			
COD	相关系数	-0.351	0.018	-0.503			-0.378	-0.691	-0.317		
	P- 值	0.263	0.955	0.095			0.356	0.058	0.444		
ppH	相关系数	0.069	-0.127	0.000	0.406		0.048	-0.013	0.265	-0.033	
	P- 值	0.832	0.693	1.000	0.190		0.909	0.976	0.526	0.937	
VS	相关系数	-0.351	-0.532	0.126	0.385	0.573	0.608	0.391	0.273	-0.871	-0.075
	P- 值	0.264	0.075	0.697	0.216	0.051	0.110	0.338	0.514	0.005	0.860

表 5 山区水质与区域降水相关分析统计

指标	项 目	月 平 均					年 平 均				
		Ec	rpH	TH	COD	ppH	Ec	rpH	TH	COD	ppH
rpH	相关系数	0.249					0.572				
	P-值	0.460					0.139				
TH	相关系数	0.551	-0.097				-0.389	0.206			
	P-值	0.079	0.776				0.341	0.624			
COD	相关系数	0.776	0.052	0.828			0.191	-0.164	-0.127		
	P-值	0.005	0.879	0.002			0.651	0.697	0.764		
ppH	相关系数	0.434	0.451	0.164	0.369		-0.280	0.188	0.423	-0.608	
	P-值	0.183	0.164	0.630	0.265		0.502	0.657	0.296	0.110	
VS	相关系数	0.821	0.492	0.177	0.601	0.611	-0.135	-0.402	-0.167	-0.449	0.624
	P-值	0.002	0.124	0.602	0.050	0.046	0.750	0.323	0.692	0.264	0.098

从月平均统计口径来看,硫酸盐化速率与 Ec 和 COD 有着很大的相关性,相关系数分别为 0.821 和 0.601,这充分说明山区水质演化与环境酸化有着很好的响应。从年平均这一统计口径来看,其相关性较弱,这说明山区水质演化与环境酸化的关联程度较之平原地区要弱一些。

4 结 论

东辽河流域水质污染较为严重,必需进行及时有效的综合整治;东辽河流域水质演化的动力学因子主要为有机污染类物质,平原片和全流域统计口径污染因素类似程度较高,从整个流域来看,二龙山水库以下的污染是一个不可忽视的因素;水质演化具有明显的逐月和年际变化规律;东辽河流域水质演化对环境酸化具有很好的响应。

[参 考 文 献]

- [1] 陈静生. 环境酸化与陆地水质演化——一个有意义的新研究领域 [J]. 环境科学学报, 1997, 17(1): 1.
- [2] Meybeck M., Heimer R. The quality of river from pris-

tine stage to global pollution [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change)*, 1989, 75: 283-309.

- [3] 陈静生, 关文荣, 夏星辉. 长江中上游水质变化趋势与环境酸化关系 [J]. 环境科学学报, 18(3), 263-270.
- [4] 陈静生, 夏星辉. 川贵地区长江干流河水主要离子含量变化趋势及分析 [J]. 中国环境科学, 1998, 18(2): 131-135.
- [5] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 图们江流域水体 pH 值的变化特征及成因 [J]. 农业环境保护, 2001, 20(1):
- [6] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 生态水文过程对东辽河水环境系统的影响 [C]. 长春: 吉林省科学技术学会论文集, 2000年 10月.
- [7] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 水资源抵御耦合空间结构的初步构想 [J]. 东北师大学报 (自然科学版), 2000(4):
- [8] Gert Knutsson. Trends in the acidification of groundwater quality management [C]. Proceedings of the GOM 93 conference hold at Yallin, September, 1993.
- [9] 翟金良, 邓伟, 郭传新, 等. 吉林省城市大气降水 pH 值时空分异及成因 [J]. 城市环境与城市生态, 1999, 12(5): 50-53.