

永定河和滦河水系浮游动物 多样性调查与分析

黎洁¹ 单保庆² 宋芬¹ 周洁¹ 王卫民¹

1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

摘要 对海河流域永定河、滦河水系的34个站点的浮游动物进行了生物多样性调查和水质分析。结果发现:永定河水系和滦河水系浮游动物均以原生动物为主,分别占浮游动物种类组成的36.84%、45.07%;轮虫次之,分别为31.58%、39.44%;枝角类较少,分别为21.05%、8.45%;桡足类种类最少,分别为10.53%、7.04%。Shannon-Weaver多样性指数和Simpson指数显示,永定河中下游及永定新河为中度污染,桑干河、洋河及永定河上游段为严重污染;滦河下游及青龙河为中度污染,滦河中上游及武烈河为严重污染。采用SAS软件对2个水系34个站点的浮游动物四大类的数量和生物量进行系统聚类分析,结果显示,永定河与滦河各被聚成2类,其中永定河中下游的各站点均为中度污染,支流桑干河、洋河及永定河上游的各站点均为严重污染;滦河下游及其支流青龙河的各站点均为中度污染,滦河中上游及武烈河的各站点均为严重污染。使用SPSS软件对永定河、滦河浮游动物四大类的数量和生物量进行主成分分析,并选取2个主成分产生二维交互式散点图,结果与聚类图基本吻合。

关键词 永定河水系; 滦河水系; 浮游动物; 生物多样性; 聚类分析; 主成分分析

中图分类号 S 917.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)06-0768-07

海河流域是我国政治文化中心的所在地和经济发达地区,由于水资源开发利用程度的增强和降水减少,大量未经处理的污水直接或随水土流失排入河道,整个流域生态环境的恶化不断加剧^[1]。这直接影响着流域内1亿多人民的正常生活和生产,也关系到所流经的8个省(市)区经济社会的持续健康发展。因此,海河流域水生态系统的修复迫在眉睫。永定河、滦河水系同属海河流域,近年来水质污染状况较为严重,现对这2个水系浮游动物的群落结构进行初步分析,以对其水质污染程度进行综合评价,为海河流域的河流污染治理提供基础数据支持。

1 材料与方法

1.1 采样

2009年7—10月分别对各采样点进行取样。永定河水系共设置15个采样点,分别为Y1~Y15,其中,Y1、Y2、Y5、Y6、Y7、Y14、Y15分布于永定河主干流,Y3、Y4位于永定新河,Y11分布于支流洋河,Y8、Y9、Y10、Y12、Y13分布于支流桑干河(图

1-A)。滦河水系共设置了19个采样点,分别为L1~L19,其中,L1~L5、L8~L11、L14~L19均分布于滦河主干流,L6、L7分布于滦河支流青龙河,L12、L13分布于支流武烈河(图1-B)。样品的采集与鉴定参见参考文献[2-5],生物量的计算参见文献[6]。

1.2 生物学评价

多样性指数选取Shannon-Weaver多样性指数^[7]和Simpson指数^[8],评价标准参见文献[9]。

1.3 聚类分析

将永定河、滦河水系各站点浮游动物四大类的生物量作为变量,利用SAS软件进行系统聚类,采用欧氏距离(Euclidean distance)和离差平方和(sum of deviation square)的方法^[10-12]。

1.4 主成分分析

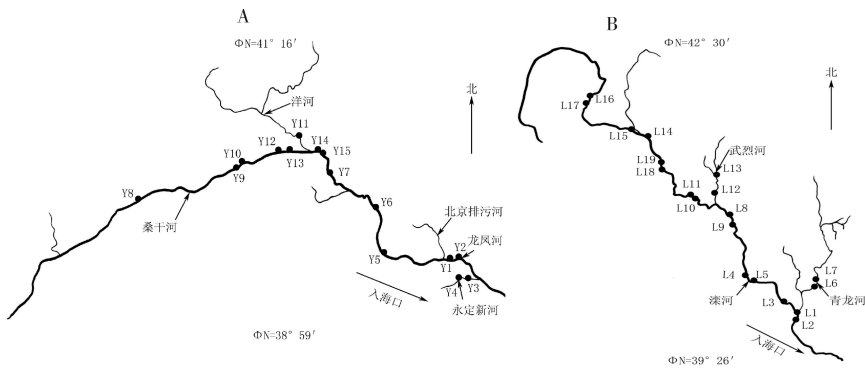
应用SPSS13.0软件对2个水系各站点的浮游动物四大类的数量和质量进行主成分分析。在主成分分析中,根据8个因子的计算结果确定2个主成分并重新计算,得到最终结果^[10-12]。

收稿日期: 2010-10-09

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07209-010)

黎洁, 硕士研究生, 研究方向: 水生生物学, E-mail: diren1011@163.com

通讯作者: 王卫民, 博士, 教授, 研究方向: 水产动物遗传育种, E-mail: wangwgm@mail.hzau.edu.cn



A. 永定河 Yongding River; B. 滦河 Luanhe River

图 1 采样点分布

Fig. 1 Distribution chart of sample locations

2 结果与分析

2.1 浮游动物的种类组成与分布

永定河水系共检测到浮游动物 58 属 76 种,其中以原生动物为主,共计 28 种 24 属,占种类组成的 36.84%;其次是轮虫 17 属 24 种,占种类组成的 31.58%;枝角类 9 属 16 种,占 21.05%;桡足类及其无节幼体 8 属 8 种,占 10.53%(表 1)。该水系的优势种有微型裸腹蚤 *Moina micrura*、多刺裸腹蚤 *Moina macrocopa*、角突网纹蚤 *Ceriodaphni cornuta*、角突臂尾轮虫 *Brachionus angularis*、壶状臂尾轮虫 *Brachionus urceolaris*、萼花臂尾轮虫 *Brachionus calyciflorus*、花篮臂尾轮虫 *Brachionus calyciflorus*、针簇多肢轮虫 *Polyarthra trigla*、旋回侠盗虫 *Strombilidium gyrans*,其中 Y2、Y4 站点多刺裸腹蚤和微型裸腹蚤呈绝对优势,Y1~Y5 站点臂尾轮属的种类均较多。

滦河水系浮游动物的种类组成与永定河类似,共检测到浮游动物 58 属 71 种,同样表现为以原生动物为主,共计 26 属 32 种,占种类组成的 45.07%;其次是轮虫,21 属 28 种,占种类组成的 39.44%;枝角类 6 属 6 种,占 8.45%;桡足类及其无节幼体种类最少,仅 5 属 5 种,占 7.04%(表 1)。该水系的优势种主要有:裂足臂尾轮虫 *Brachionus diversicornis*、前节晶囊轮虫 *Asplanchna priodonta* Gosse、曲腿龟甲轮虫 *Keratella valga*、螺形龟甲轮虫 *Keratella cochlearis*、缘板龟甲轮虫 *K. ticinensis*、针簇多肢轮虫、大肚须足轮虫 *Euchlanis dilatata*、长刺异尾轮虫 *Trichocerca longiseta*、方块鬼轮虫 *Trichotria tetractis*、迈氏三肢轮虫 *Filinia maior*,主要集

表 1 永定河水系和滦河水系浮游动物的相对密度

Table 1 The relative densities of zooplankton in Yongding

River system and Luanhe River system		%			
水系 System	采样点号 Localities	原生动物 Protozoa	轮虫 Rotifer	枝角类 Cladocera	桡足类 Copepods
永定河水系 Yongding River system	Y1	—	94.96	0.45	4.59
	Y2	73.76	23.64	2.31	0.29
	Y3	68.84	30.69	0.28	0.19
	Y4	34.37	64.57	0.99	0.07
	Y5	81.99	17.84	0.17	0.03
	Y6	73.72	17.20	1.44	7.64
	Y7	99.12	0.88	—	—
	Y8	99.99	—	—	0.01
	Y9	100.00	—	—	—
	Y10	—	—	—	100.00
	Y11	99.99	—	—	0.01
	Y12	—	—	—	100.00
	Y13	—	—	—	100.00
	Y14	99.96	—	—	0.04
	Y15	—	—	—	100.00
平均 Average		55.45	16.65	0.37	27.52
滦河水系 Luanhe River system	L1	23.58	74.73	0.01	1.68
	L2	91.79	8.21	—	—
	L3	—	98.79	—	1.21
	L4	99.86	—	0.06	0.08
	L5	99.98	—	0.01	0.01
	L6	75.00	25.00	—	—
	L7	93.60	6.24	0.06	0.09
	L8	99.99	—	—	0.01
	L9	97.82	2.17	—	0.01
	L10	99.99	—	0.01	—
	L11	98.36	1.64	—	—
	L12	—	99.83	—	0.17
	L13	99.98	—	—	0.02
	L14	95.01	4.75	0.17	0.06
	L15	—	—	79.41	20.59
平均 Average		67.10	22.18	4.19	6.52

中在 L1、L3、L4、L5、L7、L8、L9、L12 站点。

2.2 浮游动物数量分布

本次调查(表 1)表明,永定河浮游动物在各采样点的分布不均匀,其中处于永定河中下游的 Y5、Y3、Y8、Y2、Y7、Y4、Y1 站点浮游动物密度较大,介于 1 800.7~16 648.6 个/L 之间,而永定河支流桑干河下游段的 Y10、Y12、Y13 站点浮游动物密度则极小,仅为 0.05~0.10 个/L,其他站点居中,在 300.00~610.45 个/L 间浮动。永定河浮游动物的组成以原生动物所占比重最大,平均相对密度达到 55.45%。而滦河 19 个采样点浮游动物的分布差异较大,各采样点浮游动物的总密度在 0.05~34 156.05 个/L 之间浮动(表 1)。滦河的浮游动物组成同样以原生动物所占比重最大,平均相对密度达 67.10%;其次是轮虫,平均密度为 22.18%,枝角类和挠足类的平均密度仅占 4.19%和 6.52%。

从永定河各采样点浮游动物的密度和生物量分布情况(图 2)来看,站点 Y2 的浮游动物生物量最大,站点 Y6 形成次高峰,到站点 Y7 曲线急转直下,一直保持在极低的水平;浮游动物的密度在 Y5 出现最大值,自 Y9 密度急剧下降,之后一直持平。其中,在密度较大的 Y5、Y7 和 Y8,生物量反而较低,而密度较小的 Y6 却出现了生物量的次高峰,这是因为大型动物占多数的水体,其总生物量与总密度呈正相关;反之,总生物量与总密度则呈负相关。

滦河各采样点浮游动物的密度和生物量的分布极为不均(图 3),除 L1 和 L2 的浮游动物密度、生物量较大外,其他站点的浮游动物密度普遍偏低,其中,L2 出现了最大密度,而 L1 的生物量达到最高点。与永定河类似的是,滦河浮游动物的密度和生物量分布亦不呈正相关,这也是由各样点浮游动物种类的组成差异所致。

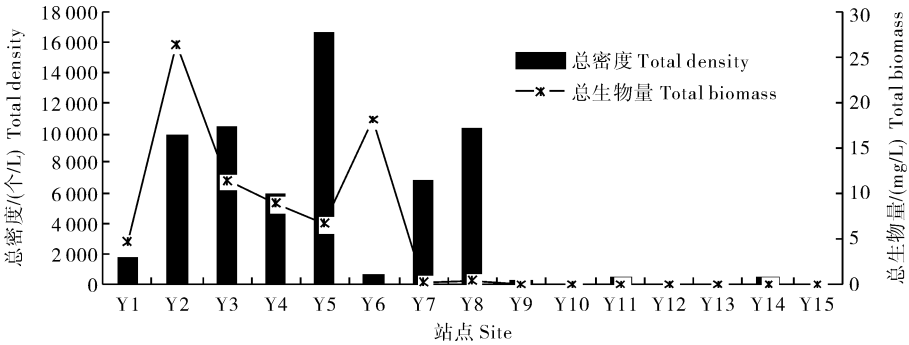


图 2 永定河浮游动物各样站总密度和总生物量的分布

Fig. 2 Distribution of density and biomass of zooplankton in Yongding River system

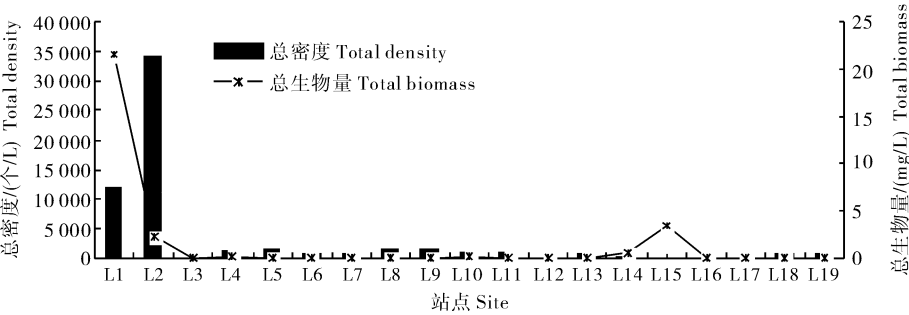


图 3 滦河浮游动物各样站总密度和总生物量的分布

Fig. 3 Distribution of density and biomass of zooplankton in Luanhe River system

2.3 各采样点生物学评价

表 2 结果显示,永定河、滦河水系各采样点中水质多为中度和严重污染。根据 Shannon-Weaver 指数(H'),永定河水系永定新河属轻度污染,永定河下游属轻度和中度污染,其中河北沧州段的 Y5 属

重污染。属重污染的河段还有永定河上游、东洋河、桑干河,其中位于河北逐鹿县的桑干河 Y12 和河北怀来县的永定河上游 Y15 均属严重污染。根据 Simpson 指数(D),永定河水系中永定新河和永定河下游均属轻度污染,其中永定新河 Y4 属清洁水

表 2 永定河、滦河水系浮游动物生物学评价¹⁾

Table 2 Biological evaluations of zooplankton in Yongding River system and Luanhe River system

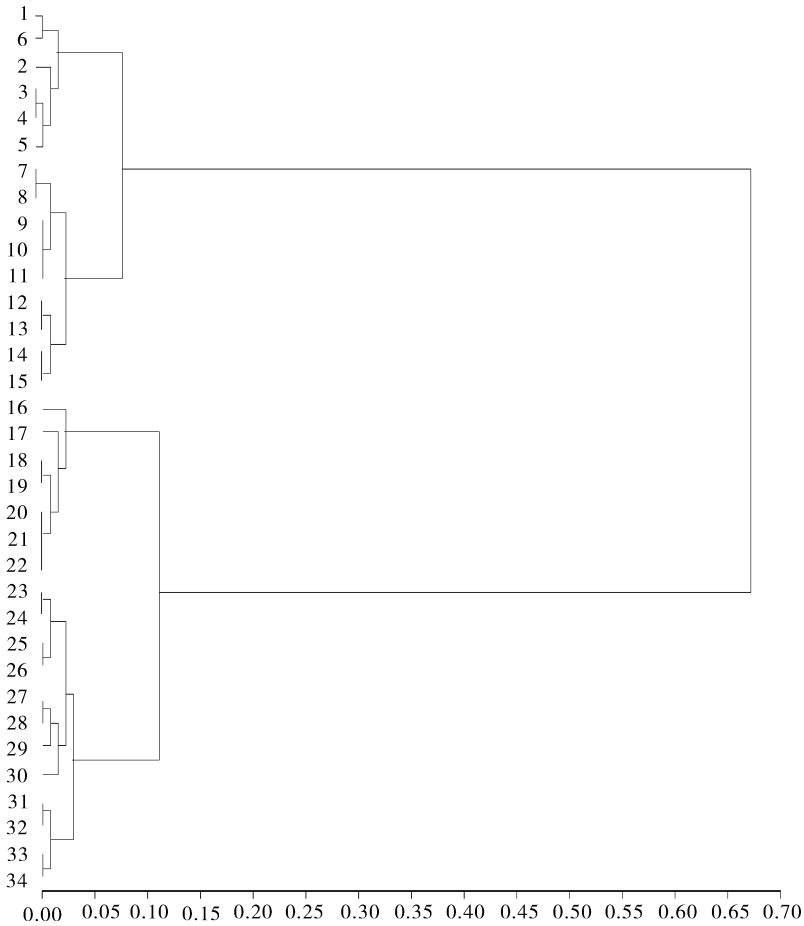
采样点 Locality	H'	D	采样点 Locality	H'	D
Y1	LP	LP	L3	MP	LP
Y2	MP	LP	L4	MP	LP
Y3	LP	LP	L5	MP	MP
Y4	LP	CW	L6	MP	LP
Y5	HP	HP	L7	HP	MP
Y6	MP	LP	L8	MP	LP
Y7	HP	HP	L9	MP	LP
Y8	HP	MP	L10	HP	HP
Y9	HP	MP	L11	MP	LP
Y10	HP	MP	L12	HP	MP
Y11	HP	HP	L13	MP	LP
Y12	HP	HP	L14	HP	HP
Y13	HP	MP	L15	HP	HP
Y14	HP	HP	L16	HP	HP
Y15	HP	HP	L17	HP	H
PL1	LP	CW	L18	HP	HP
L2	MP	LP	L19	HP	HP

1) LP:轻污染 Light pollution; MP:中污染 Moderately pollution; HP:重污染 Heavy pollution; CW:清洁 Clean water.

体;支流桑干河中上游属中度污染,桑干河下游、洋河及永定河上游均属严重污染,此外永定河中游的性较高。聚类分析的结果与实际情况基本吻合,较Y5也属严重污染。根据 Shannon-Weaver 指数(H'),滦河中下游及支流青龙河基本属中度污染,滦河上游及武烈河属严重污染区段。根据 Simpson 指数(D),滦河中下游和支流青龙河属轻度污染,其中位于青龙河、滦河交汇处的昌黎县朱各庄 L1 为清洁水体;滦河下游位于河北迁西县的 L5、青龙河位于河北秦皇岛的 L7 及武烈河位于河北承德的 L12 均为中度污染,滦河上游则基本属严重污染区段。

2.4 聚类分析

从系统聚类分析结果(图 4)可以看出,2 个水系 34 站点分别聚为两大类,其中,永定河 Y1~Y6 自成一类,Y7~Y15 为永定河第 2 类;滦河 L1~L7 聚为一类,L8~L19 为滦河第 2 类。各站点在 0.01 处基本聚合完毕,说明 2 个水系各自采样点间的相似



图中 1~15 号站点分别对应永定河 1~15 号站点,16~34 号站点分别对应滦河 1~19 号站点。1-15 sites can be put into a one-to-one correspondence with Y1-Y15 sites in Yongding River system,while 16-34 sites correspond to L1-L19 sites in Luanhe River system.

图 4 永定河、滦河水系各采样点浮游动物聚类树状图

Fig. 4 Cluster dendrogram of zooplankton at all sampling points in Yongding River and Luanhe River

好地反映了 2 大水系的水质污染状况。

2.5 主成分分析

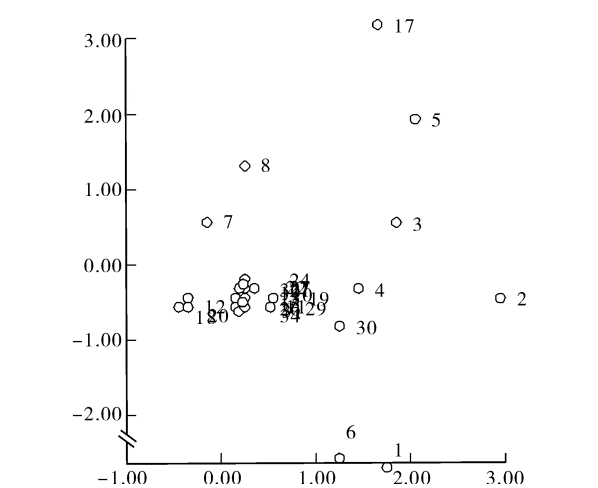
从主成分统计信息表(表 3)可知,因子 1 和因子 2 特征根均大于 1,且 2 个因子累计贡献率达 73.563%,基本包含了全部指标具有的数据信息,可以较准确地反映各站点的水质状况。同时考虑到结果分析时的便捷性,确定第 1、2 个因子为主成分。按 2 个主成分的方式重新计算,得到因子载荷矩阵。若以 0.7 为分界点,则第一主成分涉及的因素有轮虫数量(0.888)、轮虫质量(0.869)、枝角类数量(0.736)、挠足类数量(0.714)和挠足类质量(0.726)。第二主成分涉及的因素有原生动物数量(0.861)和原生动物质量(0.864)。

表 3 主成分统计信息

因子 Factor	初始特征根 Initial eigenvalues		
	特征根 Latent root	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Accumulative contribution rate
1	3.758	46.974	46.974
2	2.127	26.589	73.563
3	1.227	15.334	88.898
4	0.618	7.724	96.622
5	0.169	2.113	98.735
6	0.070	0.881	99.616
7	0.029	0.364	99.980
8	0.002	0.020	100.000

根据提取的 2 个主成分得分情况作二维交互式散点图(图 5)。从图 5 可知,永定河 Y9~Y15 的距离较近,近乎重叠,说明永定河 Y9~Y15 的水质较类似,与聚类结果基本一致。此外,滦河 L3~L14、L16~L19 间的距离亦较近,表明滦河各采样点除 L1、L2、L15 外,其他站点的水质状况较相似。

滦河 L1、L2 位于滦河下游,离入海口最近,其上游是滦河与青龙河交汇处,水流量增大,水流相对较缓,高等水生植物丰富,加之上游生活污水的汇入,水体中有机质的含量均高于上游各点。滦河 L15 虽然自成一类,但其在图 5 的位置与其他各点的重叠处相距较近,表明水质差异并不大。该点处于河北省隆化县的郭家屯镇,采样记录表明,此处水色浑浊,生活垃圾较多,水体有机质含量较多,且浮游动物生物量出现了一个小高峰(图 3),大型甲壳动物较其他站点多。因此,图 5 将滦河 L1、L2、L15 与其他站点区分开来。主成分分析结果与聚类分析基本一致,具有较强的可靠性。



图中 1~15 号站点分别对应永定河 1~15 号站点,16~34 号站点分别对应滦河 1~19 号站点。1-15 sites can be put into a one-to-one correspondence with Y1-Y15 sites in Yongding River system, while 16-34 sites correspond to L1-L19 sites in Luanhe River system.

图 5 二维交互式散点图
Fig. 5 Interactive graph

3 讨 论

本研究中,2 种多样性指数的评价结果大致趋于一致,系统聚类 and 主成分分析的结果也与实际情况基本吻合。

其中,永定河干流桑干河、洋河为严重污染类型。据龚秀英^[13]报道,官厅水库上游是一个集中的工业区域,化工原料及化学品制造业居首位,其次为黑色金属冶炼、电力等。该区域 1999 年工业废水排放总量达 1.207 亿 m³,导致桑干河、洋河水生态环境遭受了极大的破坏。位于山西省的永定河由于排污口密布,整体水质较差,除册田水库水质尚好,其余均为劣 V 类水质^[14],失去使用功能。本次调查的采样记录表明,该河段沿途有化工厂、造纸厂,部分水域表面覆盖泡沫,水体呈黑色或褐色,部分水体还散发臭味,水流小,泥沙量大。另据资料表明,抽样检测洋河水质,有的水体 pH 值竟高达 13^[14],绝大多数生物不能生存,水生态系统严重失衡。浮游动物种类组成显示,桑干河及洋河浮游动物种类极少,密度和生物量均较低,情况稍好的 Y7、Y8 也以耐污性的棘变形虫、纤毛虫为主。系统聚类也将永定河水系中桑干河、洋河段各站点聚成一类。

永定河中下游及永定新河为轻度至中度污染类型。采样结果显示,该河段沿途植被茂密,高等水生

植物较多,部分水体漂有浮萍,由于水量增大,水流变缓,污染源主要为农业和生活污水,有机质丰富,浮游动物的密度和生物量均有明显提高。该河段浮游动物生物多样性较高,优势种主要为中污性、中腐性水体的代表种^[2-5]。系统聚类结果也显示,永定河下游的永定新河及龙凤河段各采样点水质状况较为类似,被聚为同一类。

滦河中上游为严重污染,武烈河为中度污染。有报道称,随着工业废水和生活污水负荷加重,滦河中游和武烈的污染程度一直居高不下^[15]。调查记录表明,滦河中上游大多数采样点附近均有砂厂,河砂的过度开采导致水土流失严重,河道变浅,多处出现浅滩,水流湍急,水体泥沙多,水色浑浊;中游沿途建有水泥厂、火电厂等,工业废水和生活污水大量注入,浮游动物难以生存。该河段浮游动物总密度及生物量均较低,种类稀少,原生动物以耐有机污染的种类为主。系统聚类将滦河中上游及支流武烈河各站点聚成一类,为严重污染。然而武烈河沿途环境虽与滦河上游类似,但由于水流较大,水体自净能力相应增强,水体中浮游动物种类和数量相对较多,因此武烈河综合评价为中度污染。

滦河下游及青龙河为轻度至中度污染。该河段水流量有所增加,但部分采样点采砂现象仍较严重,河中多处出现浅滩,沿岸有工厂,生活垃圾较多,系统聚类将该河段各站点聚成一类。经种类鉴定,滦河中下游段浮游动物主要以中污性-寡污性种类^[2-5]为主。

据1999年的资料表明,滦河全年接纳沿岸工业废水和城市生活污水约70 t,悬浮物0.255 t,此外还有少量的挥发酚、氰化物等^[16]。其中,迁安市至滦县段(即L4-L2段)污染最为严重。本次调查结果认为滦河中下游为中度污染类型,可见该河段水质较20世纪末有了一定的改善。虽然滦河中上游与下游沿岸的环境类似,水体的污染类型却不同,这可能是由于下游水流量增大,水体自净能力相应增强,因而污染程度较小。

由于不同多样性指数的偏重点不同,所作的评价也不可能完全一致,如根据Shannon-Weaver指数,2大水系各河段的水质均为轻度、中度或严重污染类型,而Simpson指数的评价结果则出现了清洁

类型的水体。这是由于多样性指数的计算公式均没有考虑到群落中各种群在个体数量上的绝对差异,因而并不能完全客观地反映群落生物多样性的现状^[17]。然而不可否认的是,多样性指数的计算确实在定量评价生物多样性现状方面起着不可替代的作用,仍具有较大的参考价值。

由于整个海河流域调查区域较广,本文仅采集一次水样,故所获资料仅能说明采样时间段各采样点的水质状况,全面、系统的水质分析还需进一步采样调查。

参 考 文 献

- [1] 李彦东. 海河流域生态环境建设浅见[J]. 海河水利, 2004, 6(12): 10-12.
- [2] 沈韞芬. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990: 314-524.
- [3] 王家辑. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社, 1961: 1-282.
- [4] 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志-节肢动物门-甲壳纲-淡水枝角类[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-297.
- [5] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 中国动物志-淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 1-450.
- [6] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 1-461.
- [7] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: Univ Illinois Press, 1949: 296.
- [8] SIMPSON E H. Measurement of diversity[J]. Nature, 1949, 163: 688.
- [9] 金德美, 宋玉珍, 刘文君, 等. 河流水质监测与评价中生物学指标研究[J]. 甘肃环境研究与监测, 1995, 8(1): 12-15.
- [10] 吕晋, 邬红娟, 林济东, 等. 主成分及聚类分析在水生态系统区划中的应用[J]. 武汉大学学报, 2005, 51(4): 461-466.
- [11] 龚路军, 张仕萍, 熊邦喜, 等. 不同类型湖泊夏季浮游生物多元聚类分析[J]. 水生生物学报, 2010, 34(1): 43-50.
- [12] 倪雪梅. 精通 SPSS 统计分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010: 220-259.
- [13] 龚秀英. 试谈永定河水系存在问题及建议[J]. 北京水利, 2005(1): 12-13.
- [14] 冯养云. 山西省海河流域永定河水系排污口水质评价[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18(35): 128-129.
- [15] 张华, 杨虹. 用纤毛虫的种群结构和数量分布评价滦河水质的研究[J]. 江苏环境科技, 2008, 21(1): 64-68.
- [16] 崔光华, 何燕青. 滦河污染及治理[J]. 煤矿环境保护, 1999, 13(5): 36-37.
- [17] 王寿兵. 对传统生物多样性指数的质疑[J]. 复旦学报: 自然科学版, 2003, 42(6): 867-868.

Investigation and analysis on biodiversity of zooplankton of Yongding River and Luanhe River in Haihe River Basin

LI Jie¹ SHAN Bao-qing² SONG Fen¹ ZHOU Jie¹ WANG Wei-min¹

1. *College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;*

2. *Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China*

Abstract The biodiversity of zooplankton and analysis of water in 34 locations of the two river systems in Haihe River basin were investigated in 2009. Results obtained in this study showed that: in the Yongding River system and Luanhe River system, the protozoa were the most abundant zooplankton, accounting for 36.84% and 45.07%, respectively; the second richest category was rotifer, accounting for 31.58% and 39.44%, respectively; the third richest ones were cladocera, accounting for 21.05% and 8.45%, respectively, and the least were copepods, accounting for 10.53% and 7.04%, respectively. Analysis results of Shannon-Weaver diversity and Simpson index demonstrated that: the middle and lower reaches of the Yongding River and the Yongding New River were moderately polluted while Sanggan River, Yang River and upstream of Yongding River were heavily polluted; downstream of Luanhe River and the Qinglong River were moderately polluted while the upper and middle reaches of the Luanhe River and the Wulie River were heavily polluted. The quantity and biomass of the four categories of zooplankton in 34 locations of the two river systems were analyzed by hierarchical cluster analysis using SAS software. The results revealed that: in Yongding River system, sample locations of the middle and lower reaches of Yongding River and the Yongding New River were moderately polluted while sample locations of the Sanggan River, Yang River and upstream of Yongding River were heavily polluted; in Luanhe River system, sample locations of the downstream of Luanhe River and the Qinglong River were moderately polluted while sample locations of the upper and middle reaches of the Luanhe River and the Wulie River were heavily polluted. The principal component analysis with SPSS was used to analyze the quantity and biomass of four categories of zooplankton of 34 locations in the two river systems. Two main factors were used for producing interactive graph. The results obtained from the principal component analysis were coincident with those of the hierarchical cluster analysis.

Key words Yongding River system; Luanhe River system; zooplankton; biodiversity; cluster analysis; principal component analysis

(责任编辑:边书京)