

密云水库上游河流底栖动物群落结构与水质评价*

张楠 王永刚 徐菲 王旭 范清 潘涛 孙长虹

(北京市环境保护科学研究院,国家城市环境污染控制工程技术研究中心,北京 100037)

摘要 于2013年5月至10月对密云水库上游河流中大型底栖无脊椎动物(以下简称底栖动物)进行了采样调查。结果表明,采集到的底栖动物隶属于4门10纲16目45科,其中以节肢动物种类最多,占总数的80%,且水生昆虫占总数的67%,出现频率最高的是节肢动物门蜉蝣目蜉蝣科的昆虫,出现频率达87%;从分布来看,白河流域采集到的底栖动物种类最多、密度最高,而潮河流域采集到的底栖动物生物量最大;以底栖动物为指示生物的水质评价结果显示,密云水库上游河流中50%采样点的水质为Ⅰ级(清洁),其余50%为Ⅱ级(轻微污染),水质整体较好,与现场生境调查和水质监测的结果相吻合。

关键词 底栖动物 群落结构 密云水库上游河流 水质评价

Benthic macroinvertebrates community structure and water quality assessment of upstream rivers of Miyun Reservoir ZHANG Nan, WANG Yonggang, XU Fei, WANG Xu, FAN Qing, PAN Tao, SUN Changhong. (Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, National Center of Urban Environmental Pollution Control Engineering Research, Beijing 100037)

Abstract: The investigation of benthic macroinvertebrates community structure in upstream rivers of Miyun Reservoir was carried out during May to October 2013. The samples of benthic macroinvertebrates belonged to 4 phyla, 10 classes, 16 orders, 45 families. The most species of macroinvertebrate was arthropod, which accounted for 80% of the total benthic macroinvertebrates, and aquatic insects accounted for 67%. The commonly occurred macroinvertebrate was naiads of order *Ephemeroptera*, family *Ephemeridae*, its occurrence frequency was 87%. From the species distribute, Baihe river basin had the highest diversity and density of macroinvertebrate species while Chaohe river basin got the most biomass of macroinvertebrate. The results by three indices of benthic macroinvertebrates showed that 50% of the water samples belonged to level I (clean) and the rest of water samples were level II (light pollution). Overall, the water quality in upstream rivers of Miyun Reservoir was good. The water quality assessment results coincided with field habitat survey and water monitoring results.

Keywords: benthic macroinvertebrates; community structure; upstream rivers of Miyun Reservoir; water quality assessment

大型底栖无脊椎动物(以下简称底栖动物)生活在水体底部,主要包括节肢动物(昆虫纲、甲壳纲)、环节动物(水栖寡毛类、水蛭类)、软体动物(螺类、蚌类)、扁形动物(涡虫)和线形动物(线虫)^[1]。水生昆虫是底栖动物的重要类群,底栖动物中全水生的昆虫包括蜉蝣目(*Ephemeroptera*)、襀翅目(*Plecoptera*)、毛翅目(*Trichoptera*)、蜻蜓目(*Odonata*)、广翅目(*Megaloptera*)的全部种类,双翅目(*Diptera*)、鞘翅目(*Coleoptera*)、膜翅目(*Hymenoptera*)、半翅目(*Hemiptera*)、鳞翅目(*Lepidoptera*)的部分种类,半水生的昆虫包括直翅目(*Orthoptera*)、弹尾目(*Collembola*)的部分种类^[2]。底栖动物具有耐污差异、分布广泛、个体较大、相对易于辨别等特点,因

此自1955年以来,基于底栖动物的河流生态健康评价成为水质评价的重要方法之一,底栖动物也成为国际上水质生物评价规范中最常用的指示生物之一^[3-4]。

密云水库流域由潮河、白河两水系组成。潮河流域面积为6 277.5 km²,多年平均径流量为2.0×10⁸ m³,白河流域面积为9 227.5 km²,多年平均径流量达3.1×10⁸ m³。密云县境内有主要河流15条,分属潮白河水系和蓟运河水系,同属海河流域。水库上游河流中,潮河水系的支流有安达木河、小汤河、清水河、忙牛河等;白河水系的支流有菜食河、琉璃河、白马关河、天河、汤河等。

密云水库及其上游水源地的保护对北京市的供

第一作者:张楠,女,1977年生,博士,副研究员,研究方向为水污染控制与生态修复。

* 国家水体污染控制与治理科技重大专项(No. 2012ZX07203-001-01)。

表 1 采样点布设说明
Table 1 Description of sampling point layout

采样点编号	河流名称	所属流域	采样点编号	河流名称	所属流域
1	黑河	白河	13	汤河上段	白河
2	白河上段	白河	14	汤河下段	白河
3	八道河-1	白河	15	白河下段-1	白河
4	八道河-2	白河	16	琉璃河	白河
5	清水河-1	潮河	17	菜食河	白河
6	清水河-2	潮河	18	天河	白河
7	清水河-3	潮河	19	白河下段-2	白河
8	清水河-4	潮河	20	潮河上段	潮河
9	清水河-5	潮河	21	小汤河	潮河
10	安达木河下段-1	潮河	22	安达木河上段	潮河
11	潮河下段	潮河	23	安达木河下段-2	潮河
12	白马关河	白河	24	潮河中段	潮河

水安全、防洪减灾、生态屏障构建等均有重要的战略意义。本课题组自 2013 年 5 月至 2013 年 10 月对密云水库上游河流的底栖动物进行了现场采样调查,统计分析的底栖动物的群落组成与分布特征,并利用底栖动物为指示生物评价了水质状况,以期为南水北调进京后密云水库水质及底栖动物生境的变化比较提供本底参考值,为北京市河道生境的保护、治理、研究提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

本研究采样河段的流量较稳定,为大型底栖动物的生存提供了较好的生境,底栖动物群落发育较充分,因此样本采集较为容易。根据流域水系分布特征,在密云水库上游共设置采样河段 14 条,采样时以 GPS 定位,共有 24 个采样点(见表 1)。

利用索伯网(30 cm×30 cm,60 目)采集底栖动物样本,每个采样点设 3 个平行样。采到的样本集中后,经过 60 目筛网粗选并分拣,用 75%(质量分数)酒精保存,带回实验室做进一步分类和鉴定。

1.2 水质监测

采集底栖动物样本的同时,在采样点取水样进行水质分析,以便与以底栖动物为指示生物的水质评价结果进行比较。现场利用多功能水质检测仪(DR-2800)监测水温、DO、pH。其他水质指标送外机构检测,检测项目包括 BOD₅、COD、高锰酸盐指

数、氟化物、硫化物、氰化物、阴离子合成洗涤剂、石油类、NH₃-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、TN、总凯氏氮(TKN)、TP、铜、锌、砷、汞、镉、铅、硒、六价铬等。

1.3 生境调查

采样过程中还对河道生境做了详细调查,主要包括采样点周边 100 m 内的可利用的植被种类、河流底质、水流特征、河道受人为因素扰动情况、河道内部及岸边植被优势种、河岸带生物丰度、河岸带林冠覆盖状况、主要土地利用类型、潜在污染物及其类型、河道水体外观特征等。

1.4 水质评价方法

采用 ASPT 指数(I_{ASPT})、科级水平生物指数(FBI)、Margalef 多样性指数($D_{Margalef}$)对密云水库上游河流的水质进行评价。相应的水质等级评价标准^[5-6]见表 2。各指数的计算方法如下:

$$I_{ASPT} = \sum_{i=1}^n t_i / n \quad (1)$$

$$FBI = \sum_{i=1}^n N_i t_i / N \quad (2)$$

$$D_{Margalef} = (n-1) / \lg N \quad (3)$$

式中: t_i 为*i*物种的耐污值,取值为 0~10,无量纲,每个物种耐污值的确定参照文献[7]; n 为总物种数,种; N_i 为*i*物种的个体数,个; N 为总个体数,个。

各采样点先进行上述 3 个指数的评价,再经过标准化后得出综合水质评价等级,标准化过程采用 SPSS 20 软件进行。

表 2 水质评价等级标准
Table 2 The graded standards of water quality assessment

指数	I (清洁)	II (轻微污染)	III (轻度污染)	IV (中度污染)	V (重度污染)
I_{ASPT}	>4.0	3.6~4.0	3.1~3.5	2.1~3.0	<2.0
FBI	<3.75	3.76~5.00	5.01~5.75	5.76~7.25	>7.25
$D_{Margalef}$	≥3.5	2.5~3.5	1.5~2.5	0.5~1.5	<0.5

表 3 密云水库上游河流采集到的底栖动物的名称及其归属
Table 3 Species of benthic macroinvertebrates in the upstream rivers of Miyun Reservoir

门	纲	目	科
节肢动物门(Arthropoda)	昆虫纲(Insecta)	蜉蝣目	蜉蝣科(Ephemeridae)
			河花蜉科(Potamanthidae)
			扁蜉科(Heptageniidae)
			细蜉科(Caenidae)
			四节蜉科(Baetidae)
			小蜉科(Ephemerellidae)
			细裳蜉科(Leptophlebioidea)
			等蜉科(Isonychiidae)
		襁翅目	石蝇科(Perlidae)
		毛翅目	纹石蛾科(Hydropsychidae)
			正角石蛾科(Stenopsychidae)
		蜻蜓目	箭蜓科(Gomphidae)
			大蜓科(Macromiidae)
			伪蜓科(Corduliidae)
			河螳科(Calopterygidae)
	广翅目	广翅目	丝螳科(Lestidae)
			鱼蛉科(Corydalidae)
			摇蚊科(Chironomidae)
			大蚊科(Tipulidae)
		双翅目	虻科(Tabanidae)
			长足虻科(Dolichopodidae)
			蚋科(Simuliidae)
			划蝽科(Corixidae)
		半翅目	仰泳蝽科(Notonectidae)
			负子蝽科(Belostomatidae)
			潜水蝽科(Naucoridae)
			尾蝽科(Microvelia)
		鞘翅目	溪泥甲科(Elmidae)
			长角泥甲科(Embiidae elmidae)
			龙虱科(Dytiscidae)
			豉甲科(Gyrinidae)
			水龟甲科(Hydrophilidae)
			萤科(Lightningbugs)
环节动物门(Annelida)	甲壳纲(Crustacea)	端足目(Amphipoda)	钩虾科(Gammaridae)
	软甲亚纲(Malacostraca)	十足目(Decapoda)	匙指虾总科(Atyioidea)
	蛛形纲(Arachnida)	螨形目(Acari-formes)	水螨科(Lebertiidae)
	蛭纲(Hirudinidae)	颤蛭目(Gnathobdellida)	水蛭科(Hirudinidae)
	寡毛纲(Oligochaeta)	颤蚓目(Tubificida)	颤蚓科(Tubificidae)
软体动物门(Mollusca)	腹足纲(Gastropoda)	基眼目(Basommatophora)	椎实螺科(Lymnaeidae)
	肺螺亚纲(Pulmonata)		扁卷螺科(Planorbidae)
			膀胱螺科(Physidae)
			觔螺科(Hydrobiidae)
	双壳纲(Bivalvia)	帘蛤目(Veneroidea)	黑螺科(Melaniidae)
			蜆科(Corbiculidae)
扁形动物门(Platyhelminthes)	涡虫纲(Turbellaria)	三肠目(Tricladida)、淡水亚目(Paludicola)	扁涡虫科(Planariidae)

2 结果与讨论

2.1 底栖动物的群落组成

密云水库上游河流采集到的底栖动物隶属于 4 门 10 纲 16 目 45 科,各类底栖动物的名称及其归属详见表 3。

可见,密云水库上游河流分布的底栖动物中以节肢动物种类最多,占总数的 80%,且水生昆虫占总数的 67%;软体动物次之,占总数的 13%;其他包括环节动物 2 种、扁形动物 1 种。样本中出现频率最高的是节肢动物门蜉蝣目蜉蝣科的昆虫,出现频率达 87%;节肢动物门的毛翅目纹石蛾科和软体动物门腹足纲椎实螺科的出现频率均为 83%;节肢动物门蜉蝣目扁蜉科、蜉蝣目四节蜉科、蜉蝣目小蜉科、蜻蜓目箭蜓科、广翅目鱼蛉科、鞘翅目长角泥甲科、双翅目大蚊科、双翅目摇蚊科、十足目匙指虾总科的出现频率均超过 50%;蜉蝣目稚虫为密度优势种,毛翅目稚虫为生物量优势种。

2.2 底栖动物的空间分布

从密云水库上游各河段底栖动物的分布来看,白河(特别是在中下游)采到的种类最多、密度最高,汤河次之;潮河的底栖动物生物量最大,小汤河其

次。这主要是由于白河、汤河采集的底栖动物是以蜉蝣目、毛翅目为优势种,这些水生昆虫的质量较轻;而潮河、小汤河中采集到的基眼目螺类和十足目虾类的生物量均较大。在各采样点中,清水河的底栖动物种类最少,其部分采样点以摇蚊为优势种,而其他采样点多以蜉蝣目稚虫为优势种。

结合底栖动物的分布状况可知,在环境较稳定、水生植物多见、岸边带受人为影响小的天然生境中采集到的底栖动物种类多、分布广;相反,在人工护坡的河流中采集到的底栖动物种类较为单一,又以摇蚊科、颤蚓科等耐污种为主。调查中还发现,在以砾石或细沙为主要底质的河流中,底栖动物数量要多于以淤泥或黏土为底质的河流,这与它们的生存特点有关^[8]。这也证明了底栖动物的分布受生境与水质的共同作用,底栖动物可以作为评价水质的重要指示生物。

2.3 水质评价结果

密云水库上游河流各采样点的水质评价结果见表 4。

由表 4 可见,根据 ASPT 指数的评价结果,除了 7 个采样点的水质等级为Ⅱ级(轻微污染)之外,其他各采样点均为Ⅰ级(清洁),占 71%。FBI 评价

表 4 各采样点的水质评价结果
Table 4 Water quality evaluation results of each sample site

采样点编号	I_{ASPT}	I_{ASPT} 水质等级	FBI	FBI 水质等级	$D_{Margalef}$	$D_{Margalef}$ 水质等级	综合水质等级
1	4.1	I	3.33	I	6.5	I	I
2	5.4	I	5.75	III	4.4	I	II
3	4.0	II	4.66	II	7.0	I	II
4	4.2	I	3.97	II	7.5	I	I
5	4.6	I	4.06	II	2.9	II	II
6	3.6	II	3.30	I	3.4	II	II
7	4.2	I	3.01	I	4.7	I	I
8	4.6	I	4.79	II	6.1	I	I
9	5.5	I	5.75	III	4.8	I	II
10	4.5	I	3.13	I	4.6	I	I
11	5.9	I	5.26	III	5.8	I	II
12	4.4	I	4.08	II	6.3	I	I
13	4.0	II	4.03	II	7.4	I	II
14	3.6	II	4.18	II	6.4	I	II
15	3.6	II	3.86	II	6.2	I	II
16	3.8	II	3.40	I	7.4	I	I
17	4.9	I	3.84	II	6.0	I	I
18	4.7	I	3.94	II	4.7	I	I
19	4.4	I	3.67	I	5.8	I	I
20	4.4	I	4.21	II	5.5	I	I
21	4.1	I	5.65	III	5.1	I	II
22	3.7	II	4.44	II	6.1	I	II
23	5.0	I	4.57	II	6.8	I	I
24	5.3	I	5.06	III	6.2	I	II

结果表明,5个采样点的水质等级为Ⅲ级(轻度污染);13个采样点为Ⅱ级(轻微污染);其他各采样点均为Ⅰ级(清洁),占25%。 $D_{Margalef}$ 评价结果显示,仅清水河上2个采样点的水质等级为Ⅱ级(轻微污染),其他均为Ⅰ级(清洁),占92%。

现场生境调查表明,清水河上游修筑水坝,河道已被人工渠道化,导致河流局部的生境不利于底栖动物的生存,3项指数的评价结果均显示清水河(采样点5至9)的水质为Ⅱ级(轻微污染)至Ⅲ级(轻度污染)。白河水质的评价结果总体较好,流域远离生活区,受人为活动影响少。综合水质等级评价结果表明,50%的采样点的水质为Ⅰ级(清洁),其余50%为Ⅱ级(轻微污染),可见密云水库上游河流的水质整体较好。

水质监测结果表明,各采样点的氮、磷等营养物质含量很低, $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度甚至在检测限以下,有机物、硫化物、阴离子合成洗涤剂类和重金属指标也普遍在检测限以下。这是由于本研究选取的采样点地处水源保护区,因此水质状况总体良好。但由于水系来源及所处地理环境不同,研究区域部分水体受到人为活动(如生活、农田灌溉)的影响。水质监测结果还显示,密云水库上游河流多为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅰ类水体,水质整体较好,个别的Ⅱ类水体出现在清水河、安达木河、潮河。清水河水体来自斋堂水库,该水库平时不放水,水量小、流速慢,且接近农田和生活区,因此水质相对略差。

综合以上分析可见,本研究以底栖动物为指示生物的水质评价结果与现场生境调查、水质监测结果基本一致。

3 结论

(1) 密云水库上游河流采集到的底栖动物隶属于4门10纲16目45科,其中以节肢动物种类最多,占总数的80%,且水生昆虫占总数的67%;出现频率最高的是节肢动物门蜉蝣目蜉蝣科的昆虫,出现频率达87%。

(2) 从分布来看,白河流域采集到的底栖动物种类最多、密度最高,而潮河流域采集到的底栖动物生物量最大。

(3) 以底栖动物为指示生物的水质评价结果显示,密云水库上游河流中50%采样点的水质为Ⅰ级

(清洁),其余50%为Ⅱ级(轻微污染),水质整体较好,这与现场生境调查和水质监测的结果相吻合。

参考文献:

- [1] 刘健康.高级水生生物学[M].北京:科学出版社,2000.
- [2] 王备新.大型底栖无脊椎动物水质生物评价研究[D].南京:南京农业大学,2003.
- [3] CHESSMAN B C. New sensitivity grades for Australian river macroinvertebrates [J]. Marine and Freshwater Research, 2003, 54(1): 95-103.
- [4] DOS SANTOS D A, MOLINERI C, REYNAGA M C, et al. Which index is the best to assess stream health? [J]. Ecological Indicators, 2011, 11(2): 582-589.
- [5] FELD C K, HERING D. Community structure or function: effects of environmental stress on benthic macroinvertebrates at different spatial scales [J]. Freshwater Biology, 2007, 52(9): 1380-1399.
- [6] MUNNE A, PRAT N. Use of macroinvertebrate-based multi-metric indices for water quality evaluation in Spanish Mediterranean rivers: an intercalibration approach with the IBMWP index [J]. Hydrobiologia, 2009, 628(1): 203-225.
- [7] 段学花,王兆印,徐梦珍.底栖动物与河流生态评价[M].北京:清华大学出版社,2010.
- [8] CHESSMAN B S, WILLIAMS B C. Bio-assessment of streams with macro-invertebrates: effect of sampled habitat and taxonomic resolution [J]. Journal of the North American Benthological Society, 2007, 26(2): 546-565.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2014-05-16)

(上接第33页)

- [9] 林建伟,朱志良,赵建夫.沸石和方解石复合覆盖层控制底泥氮磷释放的效果及机理分析[J].农业环境科学学报,2007,26(2):790-794.
- [10] 李佳凤,吕锡武,徐微,等.诱导结晶反应器回收磷上清液中磷的研究[J].中国给水排水,2010,26(1):13-15.
- [11] HOSNI K, BEN MOUSSA S, CHACHI A, et al. The removal of PO_4^{3-} by calcium hydroxide from synthetic wastewater: optimization of the operating conditions [J]. Desalination, 2008, 223(1/2/3): 337-343.
- [12] 林建伟,朱志良,赵建夫,等.方解石活性覆盖系统抑制底泥磷释放的影响因素研究[J].环境科学,2008,29(1):121-126.
- [13] 林建伟,朱志良,赵建夫,等.方解石去除水中磷酸盐的影响因素研究[J].中国给水排水,2006,22(15):67-70.

编辑:卜岩枫 (修改稿收到日期:2014-05-28)

