

# 新疆额尔齐斯河大型底栖动物的群落结构及水质生物学评价\*

王军<sup>1,2</sup> 周琼<sup>1,2\*\*</sup> 谢从新<sup>1,2</sup> 李君<sup>1,2</sup> 韦丽丽<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>华中农业大学水产学院, 农业部淡水生物繁育重点实验室, 武汉 430070; <sup>2</sup>淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心, 武汉 430070)

**摘要** 新疆额尔齐斯河是中国唯一流入北冰洋的河流, 整个流域有着极为丰富的底栖动物资源。2012年7月、8月、10月与2013年5月分别对额尔齐斯河干流、5条主要支流以及附属水库的大型底栖动物群落结构特征进行了调查。结果表明: 共采集大型底栖动物117种, 其中水生昆虫106种(90.6%), 软体动物6种(5.1%), 寡毛类3种(2.6%), 其他大型底栖动物2种(1.7%); 优势种主要为似动蜉(*Cinygmula* sp.)、四节蜉(*Baetis* sp.)、直突摇蚊(*Orthocladius* sp.)、蜉蝣科(*Ephemera* sp.)、多足摇蚊(*Polypedilum* sp.)、摇蚊(*Apedilum* sp.)、霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)、短脉纹石蛾(*Cheumatopsyche* sp.)、小蜉(*Ephemerella* sp.)、寡角摇蚊(*Diamesa* sp.); 大型底栖动物的密度( $P = 0.558$ )与生物量( $P = 0.464$ )季节性差异不显著, 年平均密度与生物量分别为  $519.05 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $3.30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , 大型底栖动物密度存在明显的空间差异, 整体上上游( $604.53 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ )高于下游( $447.82 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ); 大型底栖动物年平均 Margalef 指数、Shannon 指数、Simpson 指数、Pielou 指数分别为 1.12、0.53、0.65、0.52; 聚类分析显示, 多样性指数较低的 185 团北湾、布尔津河口、盐池、小 635 采样点聚为一类, 其余各点聚为一类; 利用科级生物指数(FBI)、Beck 指数、Chandler 生物记分制(CS)以及 BMWP 指数评价额尔齐斯河各段水质, 整体上水质属轻度污染; Spearman 相关性分析显示, 水生昆虫的分布与水体透明度呈显著正相关, 而寡毛类的分布与盐度、电导率和矿化度呈显著正相关, 与电阻呈显著负相关, 软体动物的分布与环境因子的关系不显著。

**关键词** 额尔齐斯河; 大型底栖动物; 群落结构; 多样性; 水质评价

**中图分类号** S932 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2014)9-2420-09

**The community structure of macrozoobenthos and biological assessment of water quality in the Irtysh River of Xinjiang.** WANG Jun<sup>1,2</sup>, ZHOU Qiong<sup>1,2\*\*</sup>, XIE Cong-xin<sup>1,2</sup>, LI Jun<sup>1,2</sup>, WEI Li-li<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup> College of Fishery, Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; <sup>2</sup> Freshwater Aquaculture Collaborative Innovation Center of Hubei Province, Wuhan 430070, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(9): 2420–2428.

**Abstract:** Irtysh River in Xinjiang Uygur Autonomous Region is the only river in China that discharges into Arctic Ocean and tremendously abundant in natural resources of zoobenthos throughout the drainage basin. In the present study, we conducted an investigation on the community structure of macrozoobenthos in Irtysh River in July, August and October 2012 and May 2013, which focused on the mainstream, five main tributaries and one affiliated reservoir. We identified 117 macrozoobenthos species, of which 106 species were aquatic insects (90.6%), 6 species were Mollusca (5.1%), 3 species were Oligochaeta (2.6%) and 2 species belonged to other macroinvertebrates (1.7%). The dominant species were composed primarily of *Cinygmula* sp., *Baetis* sp., *Orthocladius* sp., *Ephemera* sp., *Polypedilum* sp., *Apedilum* sp., *Limnodrilus hoffmeisteri*.

\* 国家科技基础性工作专项(2012FY112700)和华中农业大学大学生科技创新基金项目(2014190)资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: hainan@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2014-01-06 接受日期: 2014-04-24

teri, *Cheumatopsyche* sp., *Ephemerella* sp., and *Diamesa* sp. The density ( $P=0.558$ ) and biomass ( $P=0.464$ ) of macrozoobenthos showed no significant seasonal difference. The average density and biomass of macrozoobenthos were  $519.05 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$  and  $3.30 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ , respectively. The density showed a significant spatial difference, with a higher mean value in the upstream ( $604.53 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ) than in the downstream ( $447.82 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Annual mean values of Margalef, Shannon, Simpson and Pielou's indices were 1.12, 0.53, 0.65 and 0.52, respectively. Clustering analysis was applied for assessing the diversity status of macrozoobenthos at different sampling sites of Irtysh River. The results showed that the community structure of macrozoobenthos was divided into two types: (i) one group had low diversity index at sampling sites 1, 6, 8 and 9; (ii) the other group exhibited relatively high diversity at other sampling sites. Based on the biological indices (FBI index, Beck Index, BMWP index and Chandler score system (CS)) of macrozoobenthos, water quality in Irtysh River was assessed. The results indicated that the water quality in Irtysh River was characterized as slight pollution. Spearman correction analysis showed that the distribution of aquatic insects was correlated positively with water transparency. Oligochaeta was correlated positively with salinity, conductivity and total dissolved solid (TDS), and had a negative relation with resistance. There was no significant relationship between the distribution of Mollusca and environmental factors.

**Key words:** Irtysh River; macrozoobenthos; community structure; diversity; water quality assessment.

额尔齐斯河位于新疆北部阿勒泰地区,源出富蕴县阿尔泰山西南坡,分布于  $85^{\circ}30' \text{ E}—90^{\circ}30' \text{ E}$ ,  $46^{\circ}55' \text{ N}—49^{\circ}10' \text{ N}$ ,由山间两支源头喀依尔特河和库依尔特河汇合而成,全年冷暖悬殊、年较差大、日较差明显,多年平均气温在  $4^{\circ} \text{ C}$  左右。额尔齐斯河上游主要靠融雪、融冰和降水补给;下游主要来源于融雪、降水和土壤中水。额尔齐斯河全长 4248 km,在中国境内 546 km,流域面积  $5.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,年径流量多达  $119 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,水量仅次于伊犁河居中国新疆第二位。其支流喀拉额尔齐斯河、克兰河、布尔津河、哈巴河、别列则克河等从北岸汇入后,流入哈萨克斯坦境内斋桑湖,再向北经俄罗斯的鄂毕河注入北冰洋(任慕莲等,2002)。

大型底栖动物是水生生态系统中重要的群体,影响着水生生态系统的物质循环和营养流动,具有加速水底碎屑的分解,促进水体自净等功能,在水生生态系统中起着关键作用(戴纪翠和倪晋仁,2008)。由于大型底栖动物普遍存在,数量多,分类多样性大,对多种压力有较大的适应范围(Resh *et al.*, 1995; 宁怡等,2012;蔡永久等,2014),对环境的变化也相当敏感,其群落结构的变化可以反映水体特征的变化,研究大型底栖动物与环境因子的关系成为生态学的热点(迟国梁等,2010)。已有的研究仅报道过额尔齐斯河上游河段(薛俊增等,2011)及其流域中的湖泊和水库(谭一粒,2011)的大型底栖动物。本研究通过系统调查新疆额尔齐斯河全流域的

大型底栖动物群落结构,掌握该流域的水生生物基础资源现状,以期为更好地保护新疆跨境河流土著及重要经济鱼类资源提供基础数据与科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点与采样时间

根据额尔齐斯河的气候、生态及地理特征,选取 2012 年的 7 月、8 月、10 月与 2013 年 5 月作为采样时间,在全流域干流、5 条主要支流以及附属水库选取 11 个典型的采样点对大型底栖动物进行定性和定量采集。各采样点的设置综合考虑河道情势、交通条件、采样条件等因素。采样点的分布及相关地理环境特征见图 1 和表 1。

### 1.2 样品采集与处理

使用索伯网(面积  $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ ,孔径  $0.5 \text{ mm}$ )和  $1/16 \text{ m}^2$  彼得逊采泥器进行定量采集,每个样点采集 3~5 次,定性样品采用 D 形拖网(面积  $0.3 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$ ,孔径  $0.5 \text{ mm}$ )进行采集,采集的定性和定量样品用 60 目网筛洗净,倒入白瓷盘中挑选,并用 10% 的福尔马林溶液对样品进行保存。所有标本带回实验室鉴定、计数称其湿重。其中水生昆虫鉴定到属,软体动物和寡毛类鉴定到种,其他底栖动物鉴定到较低分类阶元(刘月英等,1979; Morse *et al.*, 1994; Epler, 2001)。水质指标采用 Alalis MP3500 便携式 pH/电导率/溶氧仪现场测定。

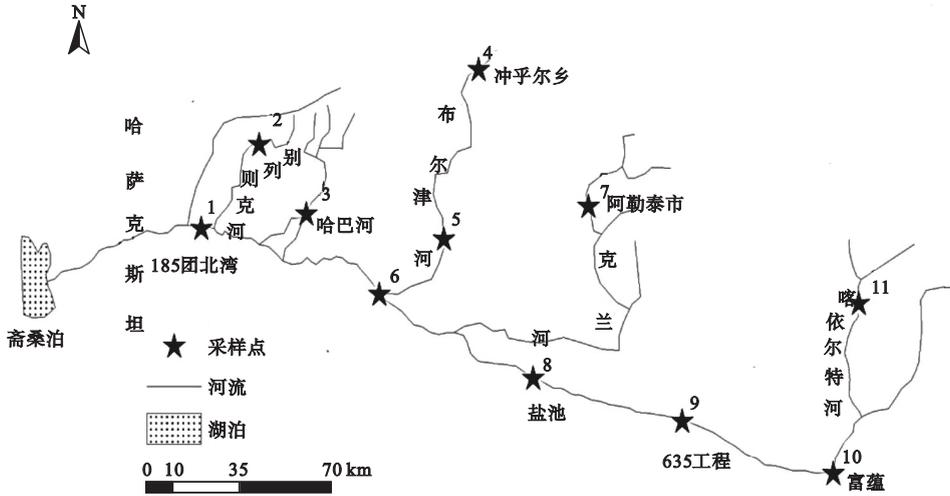


图1 新疆额尔齐斯河采样点分布示意图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Irtys River

表1 额尔齐斯河采样位置的地理与环境特征

Table 1 Geographic and environmental characteristics of sampling sites in Irtys River

序号	采样点	经度(E)	纬度(N)	海拔(m)	底质	水体类型
1	185团	85°33'600"	48°01'486"	410	砂质	干流
2	别列克	86°03'535"	48°20'593"	415	砂质	支流
3	哈巴河大桥	86°20'686"	48°04'546"	529	砂质	支流
4	冲乎尔大桥	87°06'914"	48°07'194"	672	鹅卵石	支流
5	托洪台水库	86°54'326"	47°48'163"	485	泥沙	水库
6	布尔津河口	86°50'169"	47°42'875"	463	鹅卵石	支流
7	克兰河上游	88°12'309"	47°58'469"	1308	砂石	支流
8	盐池	87°19'968"	47°29'504"	483	泥沙	干流
9	小635	88°25'348"	47°14'883"	578	砾石	干流
10	富蕴县	89°30'494"	46°59'136"	791	砾石	干流
11	可可托海	89°42'134"	47°14'131"	1170	鹅卵石	支流

### 1.3 数据处理

(1) 多样性指数(赵永晶等,2010):

$$\text{Shannon 指数: } H' = - \sum (N_i/N) \log_2(N_i/N)$$

$$\text{Simpson 指数: } D = 1 - \sum [N_i(N_i - 1)/N(N - 1)]$$

(2) 丰富度指数(Margalef index)(赵永晶等,2010):

$$\text{Margalef 指数: } d = (S - 1) / \log_2 N$$

(3) 均匀度指数(Pielou index)(赵永晶等,2010):

$$\text{Pielou 指数: } J = H' / \log_2 S$$

式中, $N_i$ 为*i*种的个体数, $N$ 为所有种类总个体数, $S$ 为物种数。

(4) 优势种的确定(张超文等,2012):

优势种根据每个种的优势度值( $Y$ )来确定:

$$Y = (N_i/N) \times F_i$$

式中, $N_i$ 为*i*种的个体数, $N$ 为所有种类总个体数, $F_i$ 为第*i*种出现的频率。 $Y > 0.02$ 的种类为全年调查的优势种。

(5) 生物指数的计算: $\text{FBI} = \sum N_i t_i / N$

式中, $N_i$ 为科*i*的个体数, $t_i$ 为科*i*的耐污值, $N$ 为总体个数(Hilsenhoff,1988);Chandler记分制根据采样点出现的指示生物及其个体数量的多少,确定各指示生物应得分值,通过累加后的总分值评价水质(Chandler,1970)。

Beck指数: $\text{BI} = 2n_1 + n_2$ , $n_1$ 为敏感种类的物种数, $n_2$ 为耐污种类的物种数(Beck,1955);BMWP =  $\sum t_i$ , $t_i$ 是科*i*的BMWP分数(Hellawell,1978);基于生物指数的水质评价标准见表2。

表 2 基于大型底栖动物生物指数的水质评价标准

Table 2 Assessment criterion of water quality based on the index of macrozoobenthos

Beck 指数		FBI		Chandler		BMWP	
数值	分级	数值	分级	数值	分级	数值	分级
≥30	非常清洁	0.00 ~ 3.75	健康	>700	清洁	≥81	健康
21 ~ 30	清洁,但栖息地质量不好	3.51 ~ 5.00	良好	400 ~ 700	轻污染	51 ~ 80	清洁
11 ~ 20	中度污染	5.01 ~ 5.75	一般	200 ~ 400	中污染	25 ~ 50	一般
		5.76 ~ 7.25	较差	50 ~ 200	重污染	10 ~ 24	较差
0 ~ 10	严重污染	7.26 ~ 10.00	极差	0 ~ 50	严重污染	0 ~ 9	极差

水质标准参考文献 Beck, 1955; 陆国强, 1985; Hilsenhoff, 1988; 耿世伟等, 2012。

## 1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 R 2.15 完成,大型底栖动物密度、生物量差异的检验用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA)。采用 Spearman 相关性分析对底栖动物与环境因子的关系进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 种类组成与优势种

本研究共采集大型底栖动物 117 种,其中水生昆虫 106 种,软体动物 6 种,寡毛类 3 种,其他底栖动物 2 种,分别占总量的 90.6%、5.1%、2.6% 和 1.7%。蜉蝣目、襁翅目和毛翅目(EPT)种类数为 31 种,摇蚊科 44 种,分别占水生昆虫总数的 29.2% 和 41.5%。不同季节大型底栖动物的物种数存在差异,总体上变化趋势为 7 月>8 月>5 月>10 月(图 2)。

大型底栖动物的优势种属存在季节性差异。2012 年 7 月的优势种为似动蜉(*Cinygmula* sp.)、四节蜉(*Baetis* sp.)、直突摇蚊(*Orthocladius frigidus*)。8 月主要以蜉蝣(Ephemeridae sp.)、似动蜉(*Cinygmula* sp.)、四节蜉(*Baetis* sp.)、多足摇蚊属一种(*Polypedilum* sp.)、直突摇蚊(*Orthocladius* sp1.)、霍

甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)为主。10 月主要为扁蜉(*Heptagenia* sp.)、短脉纹石蛾(*Cheumatopsyche* sp.)、霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)。2013 年 5 月主要以小蜉(*Ephemerella* sp.)、多足摇蚊属一种(*Polypedilum* sp.)、寡角摇蚊 C 种(*Diamesa* sp. C)、霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)为主(表 3)。

### 2.2 密度和生物量

由图 3 可知,大型底栖动物的年平均密度和生物量为 519.05 ind·m<sup>-2</sup> 和 3.30 g·m<sup>-2</sup>,密度为 2012 年 8 月最高(678.67 ind·m<sup>-2</sup>),7 月最低(288.50 ind·m<sup>-2</sup>),而生物量则是 2012 年 10 月最高(5.45 g·m<sup>-2</sup>),8 月最低(2.12 g·m<sup>-2</sup>)。就大型底栖动物生态类群而言,水生昆虫的密度与生物量最高,平均分别为 379.15 ind·m<sup>-2</sup> 和 2.663 g·m<sup>-2</sup>。额尔齐斯河大型底栖动物密度和生物量的季节性差异不显著(密度, $P=0.558$ ;生物量, $P=$

表 3 额尔齐斯河大型底栖动物优势种的季节变化

Table 3 Seasonal variation of dominant species in Irtysh River

优势种	密度(ind·m <sup>-2</sup> )				优势度 Y
	2012-7	2012-8	2012-10	2013-5	
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	20.9	1156.0	2144.4	2287.1	0.2545
摇蚊一种 <i>Apedilum</i> sp.	-	1764.0	2.3	-	0.0803
短脉纹石蛾 <i>Cheumatopsyche</i> sp.	91.9	150.7	1188.0	-	0.0650
似动蜉 <i>Cinygmula</i> sp.	580.1	671.2	71.5	27.3	0.0614
多足摇蚊 <i>Polypedilum</i> sp.	188.0	221.4	-	741.6	0.0523
蜉蝣 Ephemeridae sp.	39.8	754.2	200.0	140.7	0.0516
多足摇蚊 <i>polypedilum flavum</i>	113.3	703.9	-	283.1	0.0500
小蜉 <i>Ephemerella</i> sp.	74.7	35.1	59.5	597.4	0.0349
直突摇蚊 <i>Orthocladius</i> sp1.	136.0	450.7	55.6	6.2	0.0295
-没有数据。					

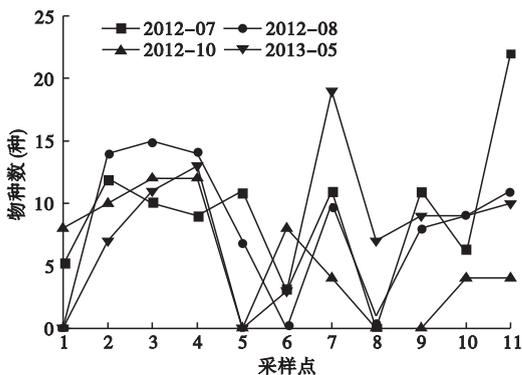


图 2 额尔齐斯河不同季节大型底栖动物的物种数

Fig. 2 Species number of macrozoobenthos at different sampling dates in Irtysh River

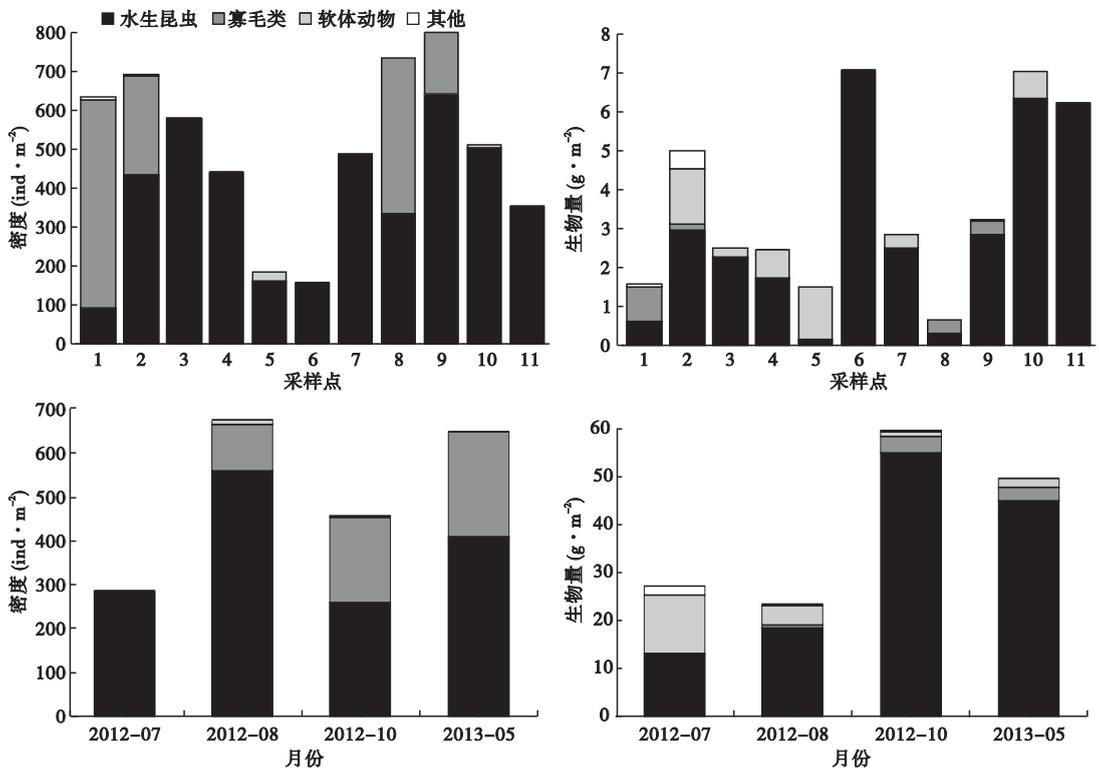


图3 大型底栖动物各生态类群密度和生物量的时空变化

Fig. 3 Tempo-spatial variations in the density and biomass of different ecological categories for macrozoobenthos in Irtys River

0.464)。不同类群的密度季节性差异各有不同,水生昆虫( $P=0.409$ )和寡毛类( $P=0.614$ )季节性差异不显著,而软体动物的季节性差异显著( $P < 0.05$ )。

额尔齐斯河大型底栖动物的平均密度和生物量存在空间变化。平均密度变化趋势为干流( $703.45 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ )大于支流( $452.06 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ),上游( $604.53 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ )大于下游( $447.82 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ )。而生物量变化趋势为支流( $4.34 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ )大于干流( $3.12 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ),上游( $3.98 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ )大于下游( $3.35 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ )。

大型底栖动物各生态类群的密度和生物量也有所差异(图3),水生昆虫在密度和生物量上占据了绝对优势,密度8月较高,生物量10月较高,7月的密度与生物量均较低。7月密度和生物量最高的为可可托海、别列则克河,8月为小635、冲乎尔,10月为185团、布尔津河口,5月为盐池、可可托海。

### 2.3 功能摄食类群

参照文献(Merritt *et al.*, 1996; 刘建康, 2002)对大型底栖动物按照功能摄食方式进行分类。功能群的划分有利于认识系统的结构和功能,弱化物种的

个别作用(段学花等, 2010)。研究期间,各功能摄食类群所占的比例为捕食者 31.75%, 收集者 28.57%, 刮食者 15.87%, 滤食者 14.29%, 撕食者 9.52%。其中捕食者和收集者在各个月份所占的比例均占有较大多数,其次为刮食者,撕食者的比例最少。这是因为额尔齐斯河沿岸分布着大量的河岸植被,捕食者和收集者如毛翅目幼虫可以直接或间接地从其落叶中获取能量,而卵石上的附着藻类也为刮食者提供了相当一部分的能量来源(段学花等, 2010)。各月份的功能摄食类群比例如图4所示。

### 2.4 生物多样性指数

额尔齐斯河大型底栖动物年平均 Margalef 指数( $d$ )、Shannon 指数( $H'$ )、Simpson 指数( $D$ )、Pielou 指数( $J$ )和分别为 1.12、0.93、0.65、0.52,变化范围为 Margalef 指数 1.08 ~ 1.19, Shannon 指数 0.49 ~ 1.19, Simpson 指数 0.39 ~ 0.78, Pielou 指数 0.45 ~ 0.62。各采样点年平均生物多样性指数变化趋势如图5所示。多样性指数在干流随海拔的升高而升高,而支流则没有这样的变化趋势(图6)。

### 2.5 聚类分析

使用优势种和 4 种多样性指数对额尔齐斯河的

11 个采样点进行聚类分析(图 7),结果显示,采样点 1(185 团),6(布尔津河口),8(盐池),9(小 635)聚类一类,这几类多样性指数较低,以霍甫水丝蚓为第一优势种,其余 7 个点聚为一类,多样性指数均较高。

### 2.6 底栖动物与环境因子的关系

各采样点的环境指标见表 4,底栖动物与环境因子的 Spearman 相关性分析结果见表 5。

Petridis 和 Sinis(1995)指出,水深、透明度、温度以及营养水平等环境因子对大型底栖动物的群落结构有着重要的影响。本研究结果显示,额尔齐斯河水生昆虫的分布与水体透明度呈显著的正相关,而寡毛类的分布与盐度、电导率和矿化度成显著的正相关,与电阻呈显著的负相关,软体动物的分布与环境因子的相关性不显著(表 5)。

### 2.7 水质评价

依据大型底栖动物生物指数对额尔齐斯河水质

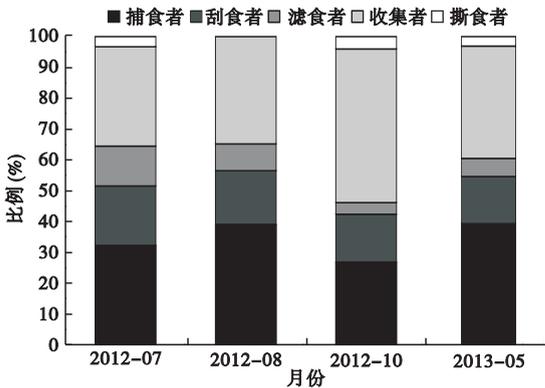


图 4 额尔齐斯河不同季节的大型底栖动物功能摄食类群比例组成

Fig. 4 Proportions of different FFG for macrozoobenthos at different seasons in Irtysh river

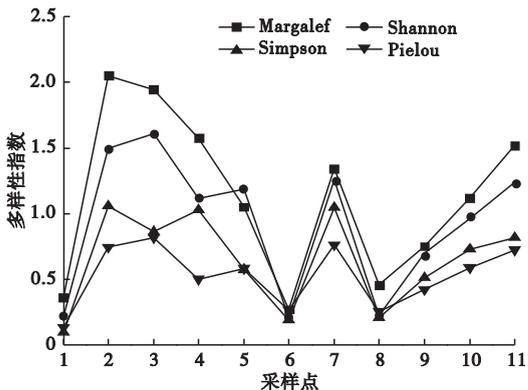


图 5 额尔齐斯河不同采样点大型底栖动物的多样性指数  
Fig. 5 Species diversity index of macrozoobenthos at different sample sites in Irtysh River

进行评价结果见表 6,综合评价为哈巴河大桥、冲乎尔大桥、克兰河、可可托海采样点为清洁,列则克、布尔津河口、小 635、富蕴采样点为轻度污染,185 团采样点为中度污染,托洪台水库、盐池采样点为重度污染。

## 3 讨论

### 3.1 大型底栖动物群落结构及其时空变化

额尔齐斯河大型底栖动物的平均密度为 8 月 > 5 月 > 10 月 > 7 月,生物量为 10 月 > 5 月 > 7 月 > 8 月。

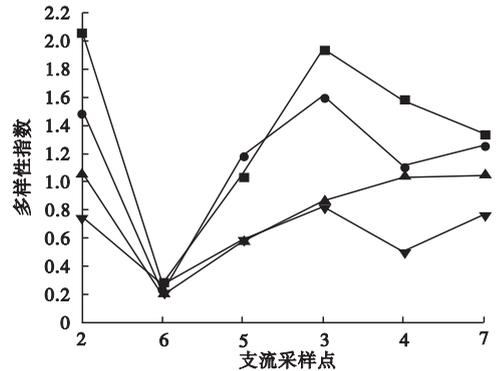
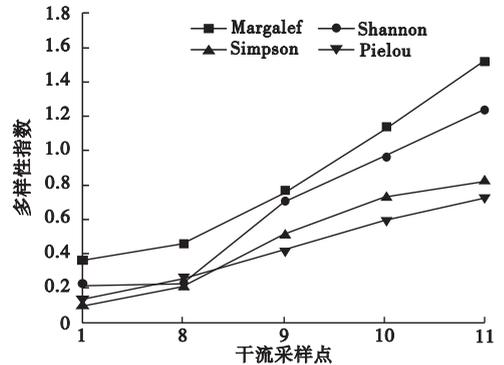


图 6 额尔齐斯河干流与支流的多样性指数变化  
Fig. 6 Variation in the diversity index of macrozoobenthos at the main stream and tributaries of Irtysh River

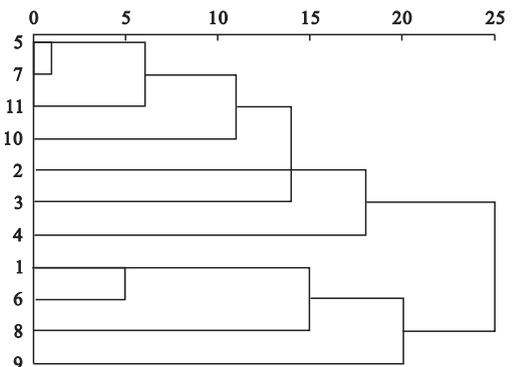


图 7 额尔齐斯河各采样点底栖动物的聚类分析  
Fig. 7 Clustering analysis of macrozoobenthos at different sampling dates

表4 额尔齐斯河各采样点的理化因子

Table 4 Environmental facts of different sampling sites in Irtysh River

采样点	水温 (°C)	水深 (m)	透明度 (cm)	流速 (m·s <sup>-1</sup> )	河宽 (m)	pH	mV	DO (mg·L <sup>-1</sup> )	电导率 (μS·cm <sup>-1</sup> )	TDS (mg·L <sup>-1</sup> )	盐度	电阻率 (Ω·m)
1	10.6	10.0	18	0.51	187	7.9	-71	9.45	119.6	85.0	0.06	8.57
2	7.7	1.3	75	0.41	49	7.6	-43	8.36	86.5	61.5	0.04	11.5
3	9.3	0.9	22	0.75	36	8.0	-63	10.30	90.4	64.5	0.04	11.0
4	9.0	1.5	56	0.63	113	7.7	-58	9.50	64.5	45.6	0.03	15.5
5	14.4	-	-	-	-	7.4	-34	8.89	122.4	87.1	0.06	8.13
6	10.6	2.6	44	0.78	143	7.7	-52	8.74	71.7	51.0	0.03	13.9
7	3.8	1.2	120	0.66	54	7.2	-20	9.50	36.5	26.1	0.02	27.0
8	18.3	1.7	60	0.03	80	8.4	-94	9.82	374.0	266.0	0.14	2.66
9	11.5	1.6	42	0.94	101	8.6	-101	8.81	224.0	160.0	0.11	4.39
10	12.0	2.0	150	0.92	94	7.8	-62	8.74	73.0	52.1	0.03	13.5
11	10.4	1.5	120	0.60	187	7.5	-42	8.62	57.9	41.1	0.03	17.3

表5 大型底栖动物与环境因子的 Spearman 相关性分析

Table 5 Spearman correlation between macrozoobenthos and environmental factors

底栖动物	水温	水深	河宽	透明度	流速	溶氧	电导率	矿化度	盐度	电阻
水生昆虫	-0.062	-0.050	-0.173	0.635 *	-0.246	-0.025	-0.232	-0.232	-0.253	0.232
寡毛类	0.541	0.230	0.135	-0.122	-0.526	-0.020	0.674 *	0.674 *	0.693 *	-0.674 *
软体动物	-0.301	-0.050	0.300	0.000	-0.100	0.200	-0.300	-0.300	-0.257	0.300
其他	-0.301	-0.050	0.300	0.000	-0.100	0.200	-0.300	-0.300	-0.257	0.300

\* 在置信度为0.05时,相关性显著。

表6 基于大型底栖动物生物指数的额尔齐斯河水质评价

Table 6 The assessment of water quality in Irtysh River based on the index of macrozoobenthos

生物指数	185 团	列则克	哈巴河 大桥	冲乎尔 大桥	托洪台 水库	布尔津 河口	克兰河	盐池	小635	富蕴	可可 托海
FBI	极差	较差	良好	良好	较差	良好	良好	较差	较差	一般	良好
Beck	中污	中污	清洁	清洁	重污	中污	清洁	重污	中污	中污	清洁
Chandler	中污	清洁	清洁	清洁	重污	轻污	清洁	重污	轻污	轻污	清洁
BMWP	良好	健康	健康	健康	一般	良好	健康	极差	良好	良好	健康
综合评价	中污	轻污	清洁	清洁	重污	轻污	清洁	重污	轻污	轻污	清洁

大型底栖动物的生殖季节及其发育越冬过程对底栖动物的密度和生物量有着重要的影响(刘保元和梁小民,1997)。洪水频率及洪峰峰值大小也会对底栖动物的群落结构造成一定的影响(Suren & Jowett,2006)。7月由于大型底栖动物原有的生境被洪水淹没,在既定采样位置采集到的底栖动物样品较少,导致该月的密度较低,而8月洪水退去,原有生境重新裸露出来,同时出现了大量的寡毛类并一直延续到10月,加上摇蚊科幼虫的繁殖使整体的平均密度大于7月(谢志才等,2000)。而7月采集到较多的螺类使其生物量比8月份要大;10月由于水生昆虫越冬,个体变大,单位面积上的密度变小,生物量变大。

平均密度变化趋势为干流大于支流,上游大于下游。生物量变化趋势为支流大于干流,上游大于

下游。这是由于干流河宽变宽,流速变缓,水深变深,底质以泥沙为主,有利于摇蚊类和寡毛类的生长,寡毛类物种密度大,但生物量较低,而支流河段多为山间河流,底质以大型卵石和砾石为主,适合附着藻类和苔藓植物的生长,这种底质中生活着大量的水生昆虫,其个体较大,虽然密度不高,但生物量较大。

额尔齐斯河大型底栖动物的多样性指数在干流随海拔的升高而升高,而支流则没有这样的变化趋势(图6),这是由于额尔齐斯河上游为典型高山冰山雪水形成的山间溪流,下游多为戈壁滩地,水流较缓(姜作发等,2009),上游为阶梯-深潭型的稳定型河流,可为底栖动物营造良好的生活环境(段学花等,2010),因而生物多样性会变高。而各支流的环境条件各有不同,大型底栖动物对环境的适应力不

表 7 不同调查时期额尔齐斯河大型底栖动物数据比较

Table 7 Comparison of the macrozoobenthos data during different periods in Irtysh River

调查时间	密度 (ind · m <sup>-2</sup> )	生物量 (g · m <sup>-2</sup> )	种类数	多样性指数				数据来源
				D	J	H'	d	
1999—2001	334.6 ~ 2828.4	2.10 ~ 29.88	112	-	-	-	-	任慕莲等,2002
2008—2009	336.4	5.6	48	-	0.7	0.9	1.9	谭一粒,2010
2008	136.3	3.6	52	4.2	0.7	1.5	-	薛俊增等,2011
2012—2013	600.2	5.5	56	0.7	0.6	1.0	1.1	本调查(上游)
2012—2013	519.0	3.6	117	0.7	0.5	1.0	1.2	本调查

同,多样性指数的规律还有待进一步研究。

### 3.2 大型底栖动物的群落演变

薛俊增等(2011)研究过额尔齐斯河上游河段9、10、11 采样点的大型底栖动物。本研究在该河段共发现大型底栖动物 56 种,与薛俊增等(2011)的 52 种相近,但优势种存在差异,丰水期(2013 年 5 月)以蜉蝣(*Ephemera* sp.),纹石蛾(*Macrostemum* sp.)为优势种,平水期(7 月)以四节蜉属一种(*Baetis* sp.)为优势种,枯水期(10 月)纹石蛾(*Cheumatopsyche* sp.)为优势种( $Y > 0.02$ )。首先,两次研究可能在采样点的选择上有所差异,本研究采样点主要集中在生态环境较为原始的区域,而薛俊增等(2011)的研究则主要针对人为干扰对底栖动物所造成的影响;其次,本研究在调查期间,也受到一些人类活动的干扰:采样点 10 靠近富蕴县城,采样点 9 在调查期间一直处于大坝的修建之中,这对结果也会造成一定的影响。

本研究主要调查区域为额尔齐斯河干流和 5 条较大支流,而任慕莲等(2002)和谭一粒(2011)的调查则主要集中在该流域的水库、湖泊和盐池,由于不同水体的水文和环境条件存在差异,因此导致研究结果不同(表 7)。

### 3.3 基于大型底栖动物生物指数的水质评价

多样性指数被用来进行水质的生物学评价已有多年,但其有一定的缺陷(颜京松等,1980;马徐发等,2004;赵永晶等,2010)。本研究利用 FBI 指数(Hilsenhoff, 1988)、Beck 指数(Beck, 1955)、Chandler 生物记分制(Chandler, 1970)和 BMWP 指数(Hellawell, 1978)对额尔齐斯河的水质进行评价,由于这 4 种指数只需鉴定到科级,并且考虑了大型底栖动物的耐污值,故而使用简便,评价结果比较准确。

评价结果表明,各指数评价标准不同,出现了一定的差异(表 6)。185 团、托洪台水库、盐池水质较差外,其余各点水质均处于良好的状态。这可能是

额尔齐斯河流域内以农牧业为主,牧业主要以牧羊为主,由于山区融雪及降水汇流把大量的地表的腐蚀质或牧业地区牧畜粪便带入河水中而引起(刘开华等,2002);另外,近年来额尔齐斯河大量的人类活动干扰也会对其造成一定的影响,例如,盐池水体流速变缓,底质退化,有机质含量增加,摇蚊幼虫和寡毛类的数量增加,其他敏感种类的水生昆虫逐渐减少甚至消失;别列则克点定为轻污染,这是由于该断面岸边有放牧,牛羊的粪便会排入河中,同时上游附近有铜矿的影响,加上河道里有人类挖石,破坏了河床,导致该点出现了大量的寡毛类,但也有敏感种类如蜉蝣目的幼虫出现;布尔津河口以及富蕴定为轻污,是因为该断面采样点处于布尔津县城和富蕴县城旁边,经常有居民在河边活动,仅在水量较大淹没河岸时出现较多敏感种;而小 635 虽然存在敏感种,但在一些水域也出现了大量的寡毛类,因而定为轻污。以上分析可知,最大限度地减小人为活动干扰是保持额尔齐斯河良好水质的重要途径。通过对 4 种指数的比较以及采样断面的环境条件,判定 Chandler 记分制能够较好的区分别尔齐斯河的水质状况,而 BMWP 也同样可以用于额尔齐斯河的水质评价。

整个额尔齐斯河虽然有些断面为轻污染至中污染,但典型水体还是处于清洁状态,加上水流较快,自净能力强,额尔齐斯河的水质整体上趋于清洁。

**致谢** 新疆水产科学研究所的各位老师对采样过程中的帮助以及中国科学院水生生物研究所“底栖生物与泛滥平原生态学科组”各位老师对标本鉴定方面给予的帮助。

### 参考文献

- 蔡永久,刘劲松,戴小琳,等. 2014. 长荡湖大型底栖动物群落结构及水质生物学评价. 生态学杂志, **33**(5): 1224-1232.
- 迟国梁,赵颖,官昭瑛,等. 2010. 广东横石水河大型底栖动物群落与环境因子的关系. 生态学报, **30**(11): 2836-2845.

- 戴纪翠,倪晋仁. 2008. 底栖动物在水生生态系统健康评价中的作用分析. *生态环境*, **17**(6): 2107-2111.
- 段学花,王兆印,徐梦珍. 2010. 底栖动物与河流生态评价. 北京:清华大学出版社.
- 耿世伟,渠晓东,张远,等. 2012. 大型底栖动物生物评价指数比较与应用. *环境科学*, **33**(7): 2281-2287.
- 姜作发,张丽荣,赵文,等. 2009. 新疆额尔齐斯河支流浮游植物种群结构特征. *水产学杂志*, **22**(4): 36-41.
- 刘保元,梁小民. 1997. 太平湖水库的底栖动物. *湖泊科学*, **9**(3): 237-242.
- 刘建康. 2002. 高级水生生物学. 北京:科学出版社.
- 刘开华,潘旭,谢立新. 2002. 额尔齐斯河水质现状. *西北水资源与水工程*, **13**(1): 46-49.
- 刘月英,张文珍,王跃先,等. 1979. 中国经济动物志·淡水软体动物. 北京:科学出版社.
- 陆国强. 1985. 利用底栖动物的群落结构进行洞庭湖水质的生物学评价. *环境科学*, **6**(2): 59-63.
- 马徐发,熊邦喜,王明学,等. 2004. 湖北道观河水库大型底栖动物的群落结构及物种多样性. *湖泊科学*, **16**(1): 49-55.
- 宁怡,高峰,邓建才,等. 2012. 巢湖流域水质生物学评价——以大型底栖动物为例. *生态学杂志*, **31**(4): 916-922.
- 任慕莲,郭焱,张人铭,等. 2002. 中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社.
- 谭一粒. 2010. 额尔齐斯河及邻近内陆河流域底栖动物生态学研究(硕士学位论文). 上海:上海海洋大学.
- 谢志才,王骥,梁彦龄. 2000. 长江流域若干水体寡毛类区系组成及相似性分析. *水生生物学报*, **24**(5): 451-457.
- 薛俊增,王宝强,吴惠仙,等. 2011. 额尔齐斯河上游河段大型底栖动物的多样性研究. *上海环境科学*, **30**(3): 98-104.
- 颜京松,游贤文,苑省三. 1980. 以底栖动物评价甘肃境内黄河干支流枯水期的水质. *环境科学*, **4**(1): 14-20.
- 张超文,张堂林,朱挺兵,等. 2012. 洪泽湖大型底栖动物群落结构及其与环境因子的关系. *水生态学杂志*, **33**(3): 27-33.
- 赵永晶,沈建忠,王腾,等. 2010. 基于大型底栖动物的乌伦古湖水质生物学评价. *水生态学杂志*, **3**(3): 7-11.
- Beck WM. 1955. Suggested method for reporting biotic data. *Sewage and Industrial Wastes*, **27**: 1193-1197.
- Chandler JR. 1970. A biological approach to water quality management. *Water Pollution Control*, **69**: 415-422.
- Epler JH. 2001. Identification manual for the larval chironomidae (Diptera) of north and south Carolina. North Carolina Department of Environmental and Natural Resources, Palatka.
- Hellawell JM. 1978. Biological surveillance of rivers: A biological monitoring handbook. Stevenage UK: Water Research Centre.
- Hilsenhoff WL. 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, **7**: 65-68.
- Merritt RW, Wallace JR, Higgins MJ, et al. 1996. Procedures for the functional analysis of invertebrate communities of the Kissimmee river-floodplain ecosystem. *Florida Scientist*, **4**: 216-274.
- Morse JC, Yang LF, Tian LX. 1994. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality. Nanjing: Hohai University Press.
- Petridis D, Sinis A. 1995. Benthos of Lake Mikri Prespa (North Greece). *Hydrobiologia*, **304**: 185-196.
- Resh VH, Norris RH, Barbour MT. 1995. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates. *Australian Journal of Ecology*, **20**: 108-112.
- Suren AM, Jowett IG. 2006. Effects of floods versus low flows on invertebrates in a New Zealand gravel-bed river. *Freshwater Biology*, **51**: 2207-2227.

作者简介 王军,男,1989年生,硕士研究生,主要从事底栖动物生态学研究。E-mail: yuzhoumanyoun@webmail.hzau.edu.cn

责任编辑 李凤芹