

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00177

黑龙江中游底栖动物群落结构与水质生物评价

霍堂斌^{1,2}, 李喆¹, 姜作发¹, 马波¹, 于洪贤²

1. 中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所, 农业部黑龙江流域渔业资源与环境重点野外科学观测试验站, 黑龙江 哈尔滨 150070;
2. 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150040

摘要: 2010—2011 年对黑龙江中游底栖动物群落结构进行调查, 共采集到底栖动物 16 目 49 科 117 种, 其中水生昆虫种类最多, 为 79 种, 分属 7 目 34 科, 占总数 67.52%。黑龙江中游底栖动物平均密度为 58.37 ind/m², 生物量为 34.62 g/m²。2010 年平均密度以春季最高, 秋季次之, 夏季最低, 平均生物量以秋季最高, 夏季次之, 春季最低。2011 年秋季平均密度和平均生物量均高于夏季。黑龙江短沟蜷(*Semisulcospira amurensis*)、东北田螺(*Viviparus chui*)、圆顶珠蚌(*Unio douglasiae*)、截口土蜗(*Galba truncatula*)和生米蜉(*Ephemera shengmi*) 是现阶段黑龙江中游底栖动物的优势种。聚类分析将 7 个调查断面分为 3 组, 多维标度分析结果支持了聚类分析结果。多样性分析结果表明, Shannon-Weiner 指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 指数均以 2010 年春季最高, 2010 年秋季最低。功能摄食类群以刮食者占优, 共计为 41 种。采用 BI 生物指数和 FBI 生物指数对黑龙江中游水质的评价结果基本一致, 黑龙江中游水质处于清洁—轻度污染等级。

关键词: 黑龙江中游; 底栖动物; 群落结构; 水质; 生物学评价

中图分类号: Q178; S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)01-0177-12

底栖动物作为水生生态系统的重要组成部分, 具有生命周期较长、分布广泛、形体较易辨认、对污染的逃避能力弱和对环境变化较为敏感等特征, 其群落结构作为预测环境质量的重要指标, 已广泛应用于生物监测和生态评价^[1]。20 世纪 70 年代北美和欧洲已开始应用底栖动物群落结构对河流水质进行生物学评价^[2-3], 并取得了理想的科研成果。中国已于 20 世纪 90 年代陆续开始相关研究, 涉及的水域主要有黄河^[4]、珠江^[5]、长江^[6-10]、辽河^[11]等流域, 涉及黑龙江的研究相对匮乏, 仅见于松花江^[12-14]。

黑龙江是中国最长的国界河流, 位于中国东北部, 流域位于北纬 42°00'~55°45', 东经 108°28'~141°20'之间, 地跨中国、俄罗斯和蒙古三国。从

发源地到鄂霍次克海, 全长 4 344 km(包括额尔古纳河)^[15]。黑龙江目前是中国唯一未建设水利工程, 基本保持原生态的河流。关于黑龙江底栖动物的研究, 目前仅见于黑河江段^[16]和勤得利湾^[17], 尚未见关于黑龙江底栖动物水质评价的研究。本研究以 2010—2011 年黑龙江中游底栖动物生态调查为依据, 分析该水域底栖动物群落结构及多样性变化规律, 并由此反映黑龙江中游水生态环境质量现状。

1 研究方法

1.1 样品采集与处理

2010 年 4 月至 2011 年 11 月, 即 2010 年春季(4—5 月)、夏(7—8 月)、秋(9—11 月)3 个季节,

收稿日期: 2012-02-19; 修订日期: 2012-05-28.

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(200903048-06); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(201011); 中国水产科学研究院冷水性鱼类增殖生物学与鱼类生理学重点开放实验室项目(201006).

作者简介: 霍堂斌(1980-), 男, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事鱼类增殖与保护研究. E-mail: tbhuo@163.com

通信作者: 姜作发, 研究员. E-mail: jzffish@163.com

2011 年夏季和秋季 2 个季节, 对黑龙江中游黑河至抚远段(48°22.358'~50°15301'N, 127°29.681'~134°18.232'E)底栖动物进行了调查。根据黑龙江中游生境特点, 共设置 7 个固定调查断面, 分别为黑河(HM-1)、逊克(HM-2)、嘉荫(HM-3)、萝北(HM-4)、绥滨(HM-5)、同江(HM-6)和抚远(HM-7)和若干定性观测点(图 1)。采样时采用 GPS 定位, 每个调查断面分别进行底栖动物的定量、定性采集。定量采集方法一种是泥底断面使用 1/16 m²彼得逊采泥器采集底泥, 每个调查断面随机采集 5~10 次, 底泥采用 40 目和 60 目分样筛进行筛选; 另一种是在河滩及浅水处用刷石法取样, 通过测量附着面石头的面积进行定量计算。定性样品的采集是在河岸及浅水处拾取底栖动物。所采集底栖动物用 4%甲醛溶液固定后带回实验室, 再移入 75%酒精中长期保存。在室内进行种类鉴定、个体计数、称重(0.000 1 g)和生物量计算。

1.2 数据分析

1.2.1 优势种 采用相对重要性指数(IRI)确定底栖动物优势种类^[18]。

$$IRI=(W+N) \times F$$

式中: W 为相对生物量, 即某一物种的生物量占

底栖动物总生物量的百分比; N 为相对丰度, 即该物种的丰度占底栖动物总丰度的百分比; F 为该物种出现的频率。

本研究采用程济生^[19]的划分方法, 将 IRI 值 >1 000 的种定为优势种; 100~1 000 的种为重要种; 10~100 的种为常见种; <10 的种为少见种。

1.2.2 群落生物多样性指数 用 K-优势曲线^[20-21]来评估底栖动物的多样性, 同时结合以下 3 个多样性指数对各调查断面不同季节底栖动物的多样性进行比较:

Shannon-Wiener 指数^[22]:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

Pielou 均匀度指数^[23]:

$$J = (- \sum P_i \log_2 P_i) / \log_2 S;$$

Simpson 指数^[24]:

$$D = 1 - \sum [n_i(n_i - 1) / N(N - 1)]$$

式中: S 为总物种数; P_i 为 i 物种的个体数占总个体数的比例; n_i 为 i 物种的个体数; N 为所有种的个体总数。

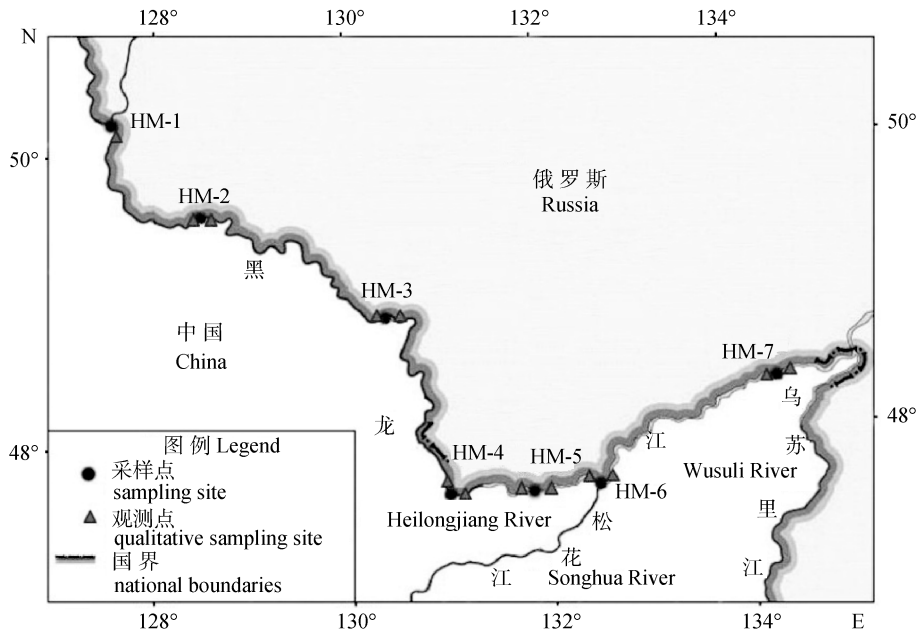


图 1 黑龙江中游调查断面分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites in the middle reaches of Heilongjiang River

1.2.3 群落结构多元统计分析 利用 PRIMER5.0 进行数据统计分析。聚类分析和多维标度分析(MDS)均以 Bray-Curtis 相似性系数^[25] S_B 为基础进行计算,采用非加权组平均法(UPGMA)对不同调查断面底栖动物密度进行聚类分析。由于不同种类密度差异较大,分析时将密度进行对数标准化以消除量纲的差别^[26]。用胁强系数(stress)来检验 MDS 分析结果的优劣,通常认为 $stress < 0.2$ 时,可用 MDS 的二维散点图来表示,其图形有一定的意义; $stress < 0.1$ 时,可以认为是一个好的排序; $stress < 0.05$, 具有很好的代表性^[27]。

Bray-Curtis 相似性系数 S_B 的计算公式:

$$S_B = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^S |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^S (x_{ij} + x_{ik})} \right]$$

式中: S 为总物种数; x_{ij} 表示第 i 物种在第 j 样方的数量; x_{ik} 表示第 i 物种在第 k 个样方中的数量。

1.3 水质的生物学评价指标及标准

根据黑龙江中游底栖动物群落的特点及取样数据,选择以下生物指数进行水质评价。

1.3.1 FBI 生物指数^[28]

$$FBI = \frac{\sum_{i=1}^F t_i n_i}{N}$$

式中: n_i 为第 i 科的个体数; t_i 为第 i 科的耐污值; N 为各科个体总和; F 为科数。

水质评价标准: FBI=0.00~3.75 极清洁; 3.76~4.25 很清洁; 4.26~5.00 清洁; 5.01~5.75 一般; 5.76~6.50 轻度污染; 6.51~7.25 污染; 7.26~10.00 严重污染^[7]。

1.3.2 BI 生物指数^[29]

$$BI = \frac{\sum_{i=1}^S n_i a_i}{N}$$

式中: n_i 为第 i 分类单元(属或种)的个体数; a_i 为第 i 分类单元(属或种)的耐污值; N 为各分类单元(属或种)的个体总和; S 为种类数。

水质评价标准: BI=0.00~3.50 极清洁; 3.51~4.50 很清洁; 4.51~5.5 清洁; 5.51~6.50 一般; 6.51~7.50 轻度污染; 7.51~8.50 污染; 8.51~10.00 严重污染^[7]。

2 结果与分析

2.1 黑龙江中游底栖动物群落结构及动态

2.1.1 种类组成和优势种 调查共采到底栖动物 117 种,隶属于 16 目 49 科。其中水生昆虫 79 种,分属 7 目 34 科,占总数 67.52%; 软体动物 21 种,4 目 8 科,占总数 17.95%; 环节动物 14 种,4 目 5 科,占总数 11.97%; 甲壳动物 3 种,1 目 2 科,占总数 2.56% (附录 1)。调查发现,黑龙江中游优势种主要有黑龙江短沟蜷(*Semisulcospira amurensis*)、东北田螺(*Viviparus chui*)、圆顶珠蚌(*Unio douglasiae*)、截口土蜗(*Galba truncatula*)和生米蜉(*Ephemera shengmi*)。

2.1.2 密度和生物量时空变化 2010—2011 年黑龙江中游底栖动物平均密度为 58.37 ind/m², 平均生物量为 34.62 g/m²。调查结果表明,2010 年平均密度以春季最高,秋季次之,夏季最低,平均生物量以秋季最高,夏季次之,春季最低。2011 年秋季平均密度和生物量均高于夏季(表 1)。

各断面群落密度和生物量动态如图 2、3 所示,各调查断面 3 个季节密度和生物量变化趋势大体一致。2011 年夏季 HM-2 采集的底栖动物中寡毛类和摇蚊幼虫比重都很大,导致其密度较高。HM-7 生物量很高,与这个断面采集的底栖动物中大型软体动物比重较大有关。

2.1.3 物种多样性变化 春季时寡毛类和摇蚊幼虫开始大量出现,Shannon-Weiner 指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 指数均以 2010 年春季最高,2010 年秋季最低。Shannon-Weiner 指数变动幅度最大,与其他两种指数的变化趋势相吻合。

根据各种类占总生物量的百分比绘制的 K-优势度曲线(图 4),利用优势度曲线及多样性指数比较分析不同季节的多样性,从 K-优势曲线可以看出,2010 年春季所有站点均位于其他曲线之下,且曲线明显长于其他曲线,这说明 2010 年春季物种丰富度高于调查期间其他各季,且物种的个体分布更均匀,这与表 2 多样性指数分析结果相吻合。

2.1.4 群落结构的变化 为了揭示不同调查断面

表 1 黑龙江中游底栖动物密度和生物量季节变化

Tab. 1 Seasonal change of density and biomass of macrozoobenthos in the middle reaches of Heilongjiang River

指标 parameter	2010 年春季	2010 年夏季	2010 年秋季	2011 年夏季	2011 年秋季	平均值 average
	2010 spring	2010 summer	2010 autumn	2011 summer	2011 autumn	
密度/(ind·m ⁻²) density	69.64±114.15	47.19±49.43	61.26±48.42	52.55±112.48	61.18±46.46	58.37
生物量/(g·m ⁻²) biomass	35.35±86.35	46.64±106.11	48.94±66.03	16.62±36.26	27.52±40.44	34.62

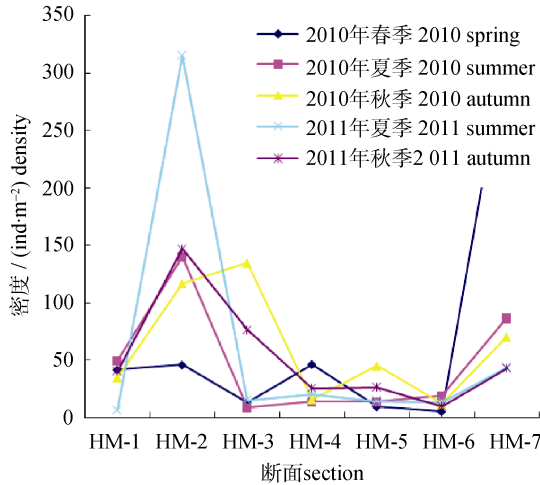


图 2 黑龙江中游底栖动物群落密度的空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of density of macrozoobenthos community in the middle reaches of Heilongjiang River

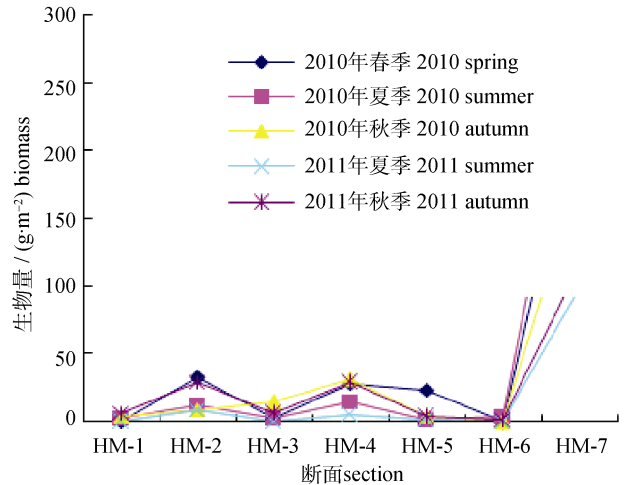


图 3 黑龙江中游底栖动物群落生物量的空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of biomass of macrozoobenthos community in the middle reaches of Heilongjiang River

表 2 黑龙江中游底栖动物多样性指数

Tab. 2 The diversity indexes of macrozoobenthic community in the middle reaches of Heilongjiang River

季节 season	多样性指数 diversity index		
	Shannon-Wiener 指数 <i>H'</i>	Pielou 均匀度指数 <i>D</i>	Simpson 指数 <i>J</i>
	2010 年春季 2010 spring	2.81±0.51	0.82±0.15
2010 年夏季 2010 summer	2.26±0.92	0.78±0.25	0.72±0.19
2010 年秋季 2010 autumn	2.09±0.52	0.65±0.19	0.47±0.23
2011 年夏季 2011 summer	2.76±0.57	0.82±0.15	0.71±0.10
2011 年秋季 2011 autumn	2.27±0.83	0.79±0.19	0.65±0.13

底栖动物群落的差异, 以各调查断面底栖动物的密度数据构造 Bray-Curtis 相似矩阵, 在 Bray-Curtis 相似矩阵的基础上, 对底栖动物群落进行聚类分析和群落多维标度分析(MDS), 结果如图 5、6 所示。若以 35%的相似性来划分, 7 个调查断面分成 3 组, 第 1 组包括 HM-7、HM-3 和 HM-2; 第 2 组包括 HM-6、HM-5 和 HM-2; 第 3 组包括 HM-1。这些调查断面的聚类分组表明, 组内的各断面底栖动物群落的相似性不高, HM-6 和 HM-5

相似性最高, 仅为 50%。MDS 排序结果与聚类分析结果基本一致。

2.2 功能摄食类群分析

本研究底栖动物功能摄食类群的划分, 主要依据 Cummins^[30]、Cummins 等^[31]、Wetzel^[32]和刘健康^[33]提出的划分规则, 并参照其他学者对部分底栖动物功能摄食类群的划分^[34]。各断面功能摄食群分布见表 3, 在采集到的 117 种底栖动物中, 功能摄食类群以刮食者占优, 共计为 41 种, 撕食

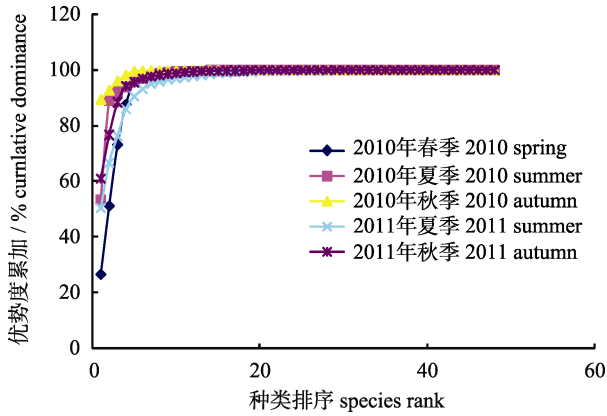


图 4 黑龙江中游底栖动物的生物量优势度曲线

Fig. 4 K-dominance curves of biomass of macrozoobenthos in the middle reaches of Heilongjiang River

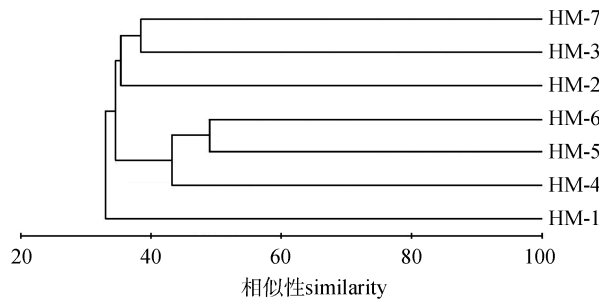


图 5 的 7 个调查断面底栖动物密度聚类分析树状图(基于 Bray-Curtis 相似性系数)

Fig. 5 Dendrogram showing the hierarchical clustering of 7 sampling sites in Heilongjiang River based on Bray-Curtis similarity coefficients of density

者 11 种, 收集者 32 种, 捕食者 33 种。HM-5 以滤食较细颗粒有机质的收集者较多, HM-2 以刮食者和捕食者种类最多, 而处于三江口的 HM-6 由于水流急, 生境较为单一, 4 种生态类型数量都相对较少。

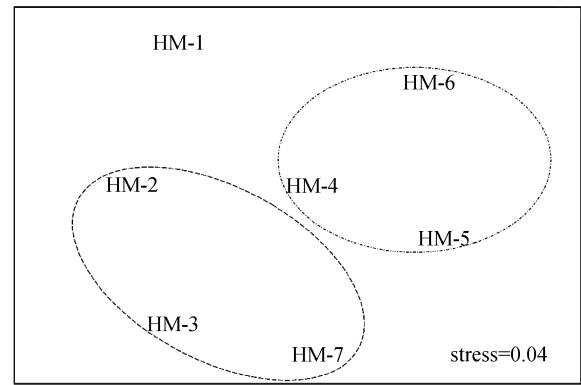


图 6 7 个调查断面底栖动物密度的 Bray-Curtis 相似性系数 MDS 分析结果

Fig. 6 MDS of 7 sampling sites in Heilongjiang River based on Bray-Curtis similarity coefficients of density

2.3 基于底栖动物的水质生物学评价

采用 BI 生物指数和 FBI 生物指数对黑龙江中游水质评价结果见表 4。从表 4 可见, BI 生物指数和 FBI 生物指数的水质评价结果基本一致, 只是在不同季节和不同断面存在一些差异, 但都不超过 1 个等级。从水质评价结果来看, 黑龙江中游在不同断面、不同季节存在轻度污染情况, 但总体来看黑龙江中游水质还是比较清洁的。

3 讨论

3.1 底栖动物种类组成及群落结构

关于黑龙江底栖动物的研究相对较少, 陈其羽^[16]于 20 世纪 50 年代最早报道黑龙江河段底栖动物为 17 科, 其调查表明黑龙江中上游的底栖动物在不同河段, 其底栖动物的组成、数量都有明显的差别, 这与本研究结果相似。本研究黑河段底栖动物平均生物量为 3.09 g/m^2 , 比陈其羽报

表 3 各调查断面底栖动物的功能摄食类群数量

Tab. 3 Functional feeding group amount in different sampling sites in the middle reaches of Heilongjiang River

功能摄食类群 functional feeding group	断面 section						
	HM-1	HM-2	HM-3	HM-4	HM-5	HM-6	HM-7
撕食者 shredder	5	6	6	4	6	4	6
收集者 collector	10	14	15	15	17	12	14
刮食者 scraper	21	23	14	8	15	11	8
捕食者 predator	9	18	7	9	10	3	6
总计 grand total	45	61	42	36	48	30	34

表 4 各断面的生物指数和水质评价
 Tab. 4 Bioassessment of water quality of different sections in the middle reaches of Heilongjiang River

断面 river section	季节 season	BI 指数 BI index			FBI 指数 FBI index		
		指数值 index value	水质级别 water quality level	洁净度排序 purity degree sorting	指数值 index value	水质级别 water quality level	洁净度排序 purity degree sorting
HM-1	10 年春季 spring	6.66	S	5	5.80	S	4
	10 年夏季 summer	5.78	O	4	5.74	O	3
	10 年秋季 autumn	5.56	O	3	6.01	S	5
	11 年夏季 summer	5.12	C	2	5.16	O	2
	11 年秋季 autumn	4.65	C	1	4.57	C	1
HM-2	10 年春季 spring	5.58	O	4	5.53	O	1
	10 年夏季 summer	5.31	C	3	6.01	S	4
	10 年秋季 autumn	5.67	O	5	6.06	S	5
	11 年夏季 summer	5.26	C	2	5.73	O	3
	11 年秋季 autumn	4.99	C	1	5.65	O	2
HM-3	10 年春季 spring	5.75	O	5	5.87	S	5
	10 年夏季 summer	4.79	C	4	4.75	C	3
	10 年秋季 autumn	4.74	C	3	5.19	O	4
	11 年夏季 summer	3.69	V	1	3.40	E	1
	11 年秋季 autumn	4.21	V	2	4.17	V	2
HM-4	10 年春季 spring	4.55	C	1	5.54	O	4
	10 年夏季 summer	6.33	O	5	5.33	O	3
	10 年秋季 autumn	5.80	O	4	6.20	S	5
	11 年夏季 summer	5.02	C	2	4.98	C	2
	11 年秋季 autumn	5.26	C	3	4.95	C	1
HM-5	10 年春季 spring	4.91	C	2	4.77	C	1
	10 年夏季 summer	4.79	C	1	5.70	O	5
	10 年秋季 autumn	5.33	C	3	5.28	O	3
	11 年夏季 summer	5.65	O	5	5.38	O	4
	11 年秋季 autumn	5.45	C	4	5.26	O	2
HM-6	10 年春季 spring	6.30	O	4	6.39	S	4
	10 年夏季 summer	5.31	C	2	5.25	O	2
	10 年秋季 autumn	7.06	S	5	6.54	P	5
	11 年夏季 summer	6.15	O	3	6.02	S	3
	11 年秋季 autumn	5.05	C	1	5.21	O	1
HM-7	10 年春季 spring	5.92	O	3	6.00	S	3
	10 年夏季 summer	5.00	C	1	5.00	C	2
	10 年秋季 autumn	5.21	C	2	4.64	C	1
	11 年夏季 summer	7.11	S	5	6.41	S	4
	11 年秋季 autumn	6.41	O	4	6.45	S	5

注: E-极清洁, V-很清洁, C-清洁, O-一般, S-轻度污染, P-污染。

Note: E-excellent water, V-very clean, C-clean water, O-ordinary pollution, S-slight pollution, P-pollution.

道的 0.29 g/m^2 高很多, 这可能是由于时间的推移, 水域生态环境发生改变, 该河段底栖动物中软体动物种类和数量比重增大, 导致黑河段底栖动物

生物量上升。张觉民^[35]报道黑龙江底栖动物为 8 目 17 科 29 种, 姜作发等^[17]对黑龙江中游附属水体勤得利湾底栖动物调查共采集 5 科 13 种(属),

本次调查所采集到的 117 种底栖动物,基本上涵盖了相关研究的调查种类。在国外仅见于对黑龙江入海口阿穆尔湾底栖动物的种类组成和数量分布的研究^[36]。

在底栖动物生态类群上,黑龙江中游与松花江干流^[14]相似,都是以水生昆虫和软体动物为主,这与黑龙江中游的河流特征是分不开的。黑龙江中游穿行于山地、平原之中。黑河市至乌苏里江口全长 996 km, 45%属典型平原性河道, 40%属于平原、山区过渡性河道, 15%属于山区性河道^[37]。由于黑龙江地处北方高寒地区,在初春和深秋季节,冷水性底栖动物种类较多,如思罗蜉属(*Thraulius* sp.)、扁蜉属(*Heptagenia* sp.)、纹石蚕(*Hydropsyche* sp.)、*Isoperla* sp.、*Perla tibialis*、*Paragnetina tinctipennis*、异环足摇蚊(*Acricotopus* sp.)等。

温度直接影响底栖动物群落分布^[38-40]。寡毛类和摇蚊类以幼虫越冬,春季摇蚊幼虫羽化较少,所以底栖动物密度最高,而生物量最低。大多数底栖动物在暮春产卵^[14],春季稀有种较多,随着温度的上升,底栖动物种类和数量增多,到了秋末北方地区水温下降很快,稀有种出现较少。由于黑龙江中游软体动物分布较广,数量较多,经过一个生长期的生长,秋季软体动物个体质量达到最大,所以秋季底栖动物的生物量达到全年的最高,这与李宝泉等^[41]的研究结果一致。

黑龙江中游底栖动物群落结构的聚类分析和 MDS 排序结果一致,7 个调查断面分成 3 组,但群落结构相似性程度不高。这是由于黑龙江中游生态环境存在差异,形成不同的生境,导致各个断面的底栖动物群落结构存在差异。黑龙江中游底栖动物多样性指数也存在季节差异,多样性指数与底栖动物的密度和种类组成直接相关^[42-43],K-优势曲线分析结果表明,2010 年春季物种丰富度高于调查期间其他各季,且物种的个体分布更均匀。K-优势曲线与多样性指数分析结果相吻合。

3.2 底栖动物水质评价

1972 年,Chutter^[28]提出 BI 生物指数,并应用于水质生物评价。1988 年,Hilsenhoff^[29]提出了科

级生物指数(FBI 生物指数)。目前,BI 生物指数是美国水质生物评价中最常用的生物指数之一^[29]。本研究采用 BI 生物指数和 FBI 生物指数,对水质评价的结果基本一致,只是在不同季节和不同断面存在一些差异,在黑龙江中游不同季节清洁的水体中(HM-1, HM-3, HM-4, HM-5, HM-7),FBI 生物指数比 BI 高,这与 Hilsenhoff^[29]、苏华武等^[44]和江晶等^[45]的结论相似。从本研究水质评价结果来看,黑龙江中游在不同断面、不同季节存在轻度污染情况,这与一些学者对黑龙江水环境分析结果相似^[46],因为黑龙江中游导致水体污染的原因主要有二方面:(1)点污染,由于中国一侧城市污水处理设施尚未健全,导致黑龙江水中污染物增加;(2)面源污染,由于黑龙江流经大小兴安岭山地植被覆盖率极高的林区,黑土土壤中腐殖质含量较高,同时农田、林地的有机质、化肥、农药随地表径流排入地面水体,导致水中污染物含量增加。但由于黑龙江中游径流量大,总体来看黑龙江中游水质还是比较清洁的。

参考文献:

- [1] 任淑智. 北京地区河流中大型底栖无脊椎动物与水质关系的研究[J]. 环境科学学报, 1991, 11(1): 31-46.
- [2] Berezina N A. Water quality estimation in the Kotorosl River Basin based on zoobenthos composition[J]. Water Res, 2000, 27(6): 654-662.
- [3] Moreno P, Callisto M. Benthic maroinvertebrates in the watershed of an urban reservoir in southeastem Brazil[J]. Hydrobiologia, 2006(56): 311-321.
- [4] 贾建华, 田家怡. 黄河三角洲淡水底栖动物名录[J]. 海洋湖沼通报, 2003 (2): 83-86.
- [5] 刘玉, Vermaat J E, Ruyter E D. 珠江、流溪河大型底栖动物分布和氮磷因子的相关分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2003, 42(1): 95-99.
- [6] 夏爱军, 陈校辉, 蔡永祥. 长江江苏段底栖动物群落结构现状及其水质的初步评价[J]. 海洋渔业, 2006, 28(4): 272-277.
- [7] 苏华武, 江晶, 温芳妮, 等. 湖北清江流域叹气沟河底栖动物群落结构与水质生物学评价[J]. 湖泊科学, 2008, 20(4): 520-528.
- [8] 江晶, 温芳妮, 顾鹏, 等. 湖北清江流域胡家溪大型底栖动物群落结构及水质评价[J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 547-555.

- [9] 朱迪, 郑海涛, 常剑波. 香格里拉岗曲河大型底栖动物群落和水质的快速生物评价[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(2): 56-66.
- [10] 吴东浩, 刘伟, 赵煜, 等. 秦淮河上游水体大型底栖无脊椎动物群落结构及水质生物评价[J]. 2010, 22(5): 19-22.
- [11] 张远, 徐成斌, 马溪平, 等. 辽河流域河流底栖动物完整性评价指标与标准[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 919-927.
- [12] 刘录三, 李中, 孟伟, 等. 松花江下游底栖动物群落结构与水质生物学评价[J]. 环境科学研究, 2007, 20(3): 81-86.
- [13] 张静, 于洪贤. 松花江哈尔滨段春季底栖动物群落结构研究及水质评价[J]. 水产学杂志, 2009, 22(2): 40-45.
- [14] 霍堂斌, 刘曼红, 姜作发, 等. 松花江干流大型底栖动物群落结构与水质生物评价[J]. 应用生态学报, 2012, 23(1): 247-254.
- [15] 苏洁, 姜作发, 李池陶, 等. 黑龙江浮游植物群落结构特征[J]. 水产学杂志, 2004, 17(2): 20-25.
- [16] 陈其羽. 黑龙江的底栖动物及水利枢纽建成后的预报[J]. 水生生物学集刊, 1959, 5(2): 147-156.
- [17] 姜作发, 唐富江, 董崇智, 等. 黑龙江勤得利湾底栖动物种群的结构特征[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 588-592.
- [18] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, blufefin tuna, and bonito in California waters[J]. Calif Dep Fish Game Fish Bull, 1971, 152: 1-105.
- [19] 程济生. 黄海无脊椎动物资源结构及多样性[J]. 中国水产科学, 2005, 12(1): 68-75.
- [20] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. Mar Biol, 1986, 92: 557-562.
- [21] 徐宾铎, 金显仕, 梁振林. 秋季黄海底层鱼类群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 2003, 10(2): 148-154.
- [22] Shannon C E, Weaver W W. The mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1963.
- [23] Pielou E C. Ecological diversity[M]. New York: John Wiley, 1975.
- [24] 马克平. 试论生物多样性的概念[J]. 生物多样性, 1993, 1(1): 20-22.
- [25] Bray R, Curtis T. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin[J]. Ecol Monogr, 1957, 27: 325-349.
- [26] Brazner J C, Beals E W. Patterns in fish assemblages from coastal wetland and beach habitats in Green Bay, Lake Michigan: a multivariate analysis of abiotic and biotic forcing factors[J]. Can J Fish Aquat Sci, 1997, 54(8): 1743-1761.
- [27] Khalaf A, Kochzius M. Changes on trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea[J]. Mar Ecol Prog Ser, 2002, 239: 287-299.
- [28] Chutter F M. An empirical Biotic index of the quality of water in south African streams and rivers[J]. Water Res, 1912, 6: 19-30.
- [29] Hilsenhoff W L. Rapid field assessment of organic pollution with a family level biotic index[J]. J N Am Benthol Soc, 1988, 7(1): 65-68.
- [30] Cummins K W. Structure and function of stream ecosystems[J]. Biol Sci, 1974(24): 631-641.
- [31] Cummins K W, Klug M J. Feeding ecology of stream invertebrates[J]. Ann Rev Ecol Systemat, 1979(10): 147-172.
- [32] Wetzel R G. Limnology [M]. 2nd ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983.
- [33] 刘健康. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [34] 王备新, 杨莲芳, 胡本进. 底栖动物生物完整性指数 B-IBI 溪流健康评价研究[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1481-1490.
- [35] 张觉民. 黑龙江省渔业资源[M]. 牡丹江: 黑龙江朝鲜民族出版社, 1985.
- [36] Belan T A, Belan L S. Composition and quantitative distribution of macrozoobenthos in Amur Bay[J]. Oceanology, 2006, 46(5): 685-694.
- [37] 李加伟, 戴艳文, 杜扬. 黑龙江干流上中游水文特性及水质状况[J]. 东北水电水利, 1998(8): 37-39.
- [38] Belinda W T, Martin J R, Jonathan S S. Cost-efficient methods for marine pollution monitoring at Casey Station, East Antarctica: the choice of sieve meshsize and taxonomic resolution[J]. Mar Poll Bull, 2003, 46: 232-243.
- [39] Westawski J M, Szymelfenig M, Zajaczkowski M, et al. Influence of salinity and suspended matter on benthos of an Arctic ridal flat[J]. ICES J Mar Sci, 1999, 56: 194-202.
- [40] Belinda W T, Martin J R, Jonathan S S. Cost-efficient methods for marine pollution monitoring at Casey Station, East Antarctica: the choice of sieve mesh-size and taxonomic resolution[J]. Mar Poll Bull, 2003, 46: 232-243.
- [41] 李宝泉, 李新正, 于海燕, 等. 胶州湾底栖软体动物与环境因子的关系[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(3): 193-198.
- [42] 安传光, 赵云龙, 林凌, 等. 长江口九段沙潮间带大型底栖动物季节分布特征的初步研究[J]. 水产学报, 2007, 31(增刊): 52-58.
- [43] 周晓, 王天厚, 葛振鸣, 等. 长江口九段沙湿地不同生境中大型底栖动物群落结构特征分析[J]. 生物多样性, 2006, 14(2): 165-171.

- [44] 苏华武, 江晶, 温芳妮, 等. 湖北清江流域叹气沟河底栖动物群落结构与水质生物学评价[J]. 湖泊科学, 2008, 20(4): 520–528.
- [45] 江晶, 温芳妮, 顾鹏, 等. 湖北清江流域胡家溪大型底栖动物群落结构及水质评价[J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 547–555.
- [46] 郭锐, 陈思宇, 魏金城. 中俄界河黑龙江水环境分析与评价[J]. 干旱环境监测, 2005, 19(3): 139–141.

Macrozoobenthos community structure and water quality bioassessment in the mid-reaches of the Heilongjiang River

HUO Tangbin^{1,2}, LI Zhe¹, JIANG Zuofa¹, MA Bo¹, YU Hongxian²

1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Key Field Scientific Observation Station of Fisheries Resources and Environment in Heilong Jiang River Valley, Ministry of Agriculture, Harbin 150070, China;
2. Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: We evaluated the community structure of macrozoobenthos in the mid-reaches of the Heilongjiang River between 2010 and 2011. A total of 117 species of macrozoobenthos were collected, belonging to 16 orders and 49 families. Aquatic insects exhibited the highest species diversity, with 79 species (67.52% of the total) belonging to 34 families and 7 orders. The annual average density and biomass of macrozoobenthos was 58.37 ind/m² and 34.62 g/m², respectively. The average density was highest in spring, followed by autumn and summer, whereas the average biomass was highest in autumn and lowest in spring. *Semisulcospira amurensis*, *Viviparus chui*, *Unio douglasiae*, *Galba truncatula* and *Ephemera shengmi* were the dominant species in the mid-reaches of the Heilongjiang River. Cluster analysis classified the 7 sampling sites into three groups with different macrozoobenthic communities. The results of our MDA analysis was consistent with those of the cluster analysis. The Shannon-Weiner index, Pielou index, and Simpson index were highest in the spring of 2010 and lowest in the autumn of 2010. The collectors were the most abundant functional feeding group (41 species). We assessed water quality using the biotic index (BI) and family biotic index (FBI), both of which yielded similar outcomes. The water quality in the mid-reaches of the Heilongjiang River was generally good.

Key words: Heilongjiang River; macrozoobenthos; community structure; bioassessment; water quality

Corresponding author: JIANG Zuofa. E-mail: jzffish@163.com

附录 1 黑龙江中游不同调查断面底栖动物名录

Appendix 1 Species list of macrozoobenthos community in different section in the middle reaches of Heilongjiang River

种类 species	断面 section						
	HM-1	HM-2	HM-3	HM-4	HM-5	HM-6	HM-7
水生昆虫 insect							
鼓虫 <i>Gyrinus</i>	(+)						
洼龙虱 <i>Laccophilus</i> sp.		(+)					
膜螭属一种 <i>Hebrus</i> sp.	(+)						
日本负子螭 <i>Diplonychus japonicus</i>					(+)		
小划螭 <i>Corixa substriata</i>	+	+	+	+	+	+	+
滑手虫 <i>Aphelochirus</i>		(+)					
热水四节蜉 <i>Baetis thermicus</i>			+	+			
桑嘎蜉属 <i>Chankagenesia buldovskii</i>	+						
新蜉科一种 <i>Neoephemeridae</i> sp.		(+)					
<i>Potamanthus kamonis</i>				+			
生米蜉 <i>Ephemera shengmi</i>	+	+	+	+	+	+	
绢蜉 <i>Ephemera serica</i>			+				
红斑蜉 <i>Ephemera rufomaculata</i>	+			+			
萨夏林蜉 <i>Ephemera sachakinensis</i>		+		+	+	+	
<i>Ephemera japonica</i>						+	
<i>Ameletus</i> sp.				+			
<i>Oligoneuriella rhenana</i>			+				
<i>Paraleptophlebia</i> sp.			+				
红纹蜉属 <i>Rhoenanthus</i> sp.		+					
龙氏红蚊蜉 <i>Rhoenanthus youi</i>	+						
河花蜉属 <i>Paraleptophlebia</i> sp.	(+)						
<i>Ephemerella</i> sp.			+				
思罗蜉属 <i>Thraulius</i> sp.	+						
<i>Choroterpes</i> sp.	+	+					
动蜉属 <i>Cinygma</i> sp.	+	+			+		
<i>Cinygma hirasama</i>	+	+					
日本扁蜉属 <i>Rhithrogena japonica</i>	+	+	+		+		
扁蜉属 <i>Heptagenia</i> sp.	+				+		
扁蚰蜉属 <i>Ecdyonurus</i> sp.	+	+	+				
<i>Epeorus uenoi</i>			+				
<i>Trigomphus ogumai</i>		+			+		
<i>Davidius fujiana</i>		+		+			
<i>Davidius nanus</i>				+	+		+
<i>Megalogomphus</i> sp.		(+)					
<i>Nihonogomphus viridis</i>				(+)			+
<i>Gonphus postocularis</i>			(+)				(+)
蜓科一种 <i>Aeshnidae</i> sp.		(+)		(+)			
日本金光伪蜻 <i>Somatochlora japonica</i>		(+)			+		
<i>Athripsodes</i> sp.			+				
<i>Stenopsyche griseipennis</i>	+				+		
多距石蛾一种 <i>Nyctiophylax</i> sp.		+		+			

续附录 1

种类 species	断面 section						
	HM-1	HM-2	HM-3	HM-4	HM-5	HM-6	HM-7
<i>Polycentropus</i> sp.	+				+		+
低头石蚕 <i>Neureclipsis</i> sp.		(+)					
<i>Brachycentrus</i> sp.			+				
灰纹石蛾 <i>Hydropsyche ulmeri</i>	+						
<i>Hydropsyche echigoensis</i>	(+)						
纹石蚕 <i>Hydropsyche</i> sp.					+		
<i>Isoperla</i> sp.		+	+				
<i>Perla tibialis</i>		+					+
<i>Paragnetina tinctipennis</i>		+			+		
叉襁科一种 <i>Nemouridae</i> sp.	(+)						
螻蛄科一种 <i>Ceratopogonidae</i> sp.				+	+		
大蚊科一种 <i>Tipulidae</i> sp.					+		
幽蚊 <i>Chaoborus</i> sp.		+				+	+
虻科一种 <i>Tabanidae</i> sp.			(+)				
德永雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes tokunagai</i>	+						
大粗腹摇蚊 <i>Macropelopia nebulosa</i>		+		+			
项圈无突摇蚊 <i>Ablabesmyia monilis</i>					+		+
脊凸摇蚊属一种 <i>Cyphomella</i> sp.			+				
中国长足摇蚊 <i>Tanytus chinensis</i>							+
红裸须摇蚊 <i>Prosilocerus akamusi</i>		+	+				
细缺长足摇蚊 <i>Tanytus vilipennis</i>							+
异伪长足摇蚊一种 <i>Apsectrotanytus</i> sp.		+			+		+
秋月齿斑摇蚊 <i>Stictochironomus akizukii</i>	+	+			+		
黄色羽摇蚊 <i>Chironomus flaviplumus</i>					+	+	
背摇蚊 <i>Chironomus dorsalis</i>		+			+	+	+
花翅摇蚊 <i>Chironomus kiiensis</i>				+	+	+	+
中华摇蚊 <i>Chironomus sinicus</i>	+	+		+			+
墨黑摇蚊 <i>Chironomus anthracinus</i>	+		+	+			+
皱隐摇蚊 <i>Cryptochironomus supplicans</i>					+		
菱附摇蚊属 <i>Clinotanytus</i> sp.					+		+
异端齿斑摇蚊 <i>Stictochironomus cafferarius</i>	+			+		+	+
步行多足摇蚊 <i>Polypedilum pedestre</i>	+	+		+			+
小云多足摇蚊 <i>Polypedilum nubeculosum</i>		+			+		
蚊型前突摇蚊 <i>Procladius culiciformis</i>	+	+		+			+
淡绿二叉摇蚊 <i>Dicrotendipes pelochloris</i>					+		
拟隐摇蚊属一种 <i>Demicryptochironomus</i> sp.	+					+	
缺损拟隐摇蚊 <i>Demicryptochironomus vulneratus</i>					+	+	+
异环足摇蚊 <i>Acricotopus</i> sp.					+		
软体动物 Mollusca							
圆顶珠蚌 <i>Unio douglasiae</i>	+	+	+	+	+	+	+
背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana</i>					(+)		
褶纹冠蚌 <i>Cristaria plicata</i>			(+)				(+)
湖球蚬 <i>Phaerium lacustre</i>		+	+	+			

续附录 1

种类 species	断面 section						
	HM-1	HM-2	HM-3	HM-4	HM-5	HM-6	HM-7
球蚬 <i>Sphaerium</i> sp.	+				+		+
黑龙江短沟蜷 <i>Semisulcospira amurensis</i>	+	+	+	+	+	+	+
方格短沟蜷 <i>S. cancellata</i>		+	+	+			+
东北田螺 <i>Viviparus chui</i>	+	+	+	+	+	+	+
中国圆田螺 <i>Cipangopaludina chinensis</i>		+	+		+		+
乌苏里圆田螺 <i>Cipangopaludina ussuriensis</i>		(+)					(+)
铜锈环棱螺 <i>Bellamya aeruginosa</i>		+			+		
方形环棱螺 <i>Bellamya quadrata</i>						(+)	
梨形环棱螺 <i>Bellamya purificata</i>		+				+	
半球多脉扁螺 <i>Polypylis hemisphaerula</i>	+				+	+	
尖口圆扁螺 <i>Hippeutis cantori</i>		+	+				
折叠萝卜螺 <i>Radix plicatula</i>					+	+	
椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>		+			+		
耳萝卜螺 <i>Radix auricularia</i>		+				+	
卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>	+	+				+	
截口土蜗 <i>Galba truncatula</i>		+				+	
鱼盘螺 <i>Valvata piscinalis</i>	+	+		+	+	+	+
环节动物 Annelida							
苏式尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>		+	+	+	+	+	
正颤蚓 <i>Tubifex tubifex</i>	+	+		+		+	+
奥特开水丝蚓 <i>Limnodrilus udekemianus</i>	+	+	+	+	+	+	
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	+	+	+	+	+	+	+
克拉泊水丝蚓 <i>Limnodrilus claparedeianus</i>		+	+	+	+	+	
瑞士水丝蚓 <i>Limnodrilus helveticus</i>		+		+			
钝毛水丝蚓 <i>Limnodrilus amblysetus</i>		+		+	+		
普通仙女虫 <i>Nais communis</i>	+	+			+		
异面舌蛭 <i>Glossiphonia heteroclita</i>	+	+					
宽身舌蛭 <i>Glossiphonia lata</i>	+	+	+			+	
裸泽蛭 <i>Helobdella nuda</i>	+				+		
缘拟扁蛭 <i>Hemiclepsis marginata</i>		+		+			
金线蛭 <i>Whitmania</i> sp.		+					
八目石蛭 <i>Erpobdella octoculata</i>		+					
甲壳动物 Crustacean							
秀丽白虾 <i>Leander modestus</i>	+	+	+	+	+	+	+
中华小长臂虾 <i>Palaemon sinensis</i>	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
东北螯蛄 <i>Cambaroides dauricus</i>			(+)				

注：“+”表示定量采集样品，(+)表示定性采集样品，空白表示该断面没有采集到该物种。

Note: “+” donates quantitative samples, (+) donates qualitative samples. Blank donates no species in this section.