

李培伦,刘伟,王继隆,等. 呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物多样性及水质评价[J]. 江苏农业科学,2021,49(6):219-225.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.06.039

# 呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物多样性及水质评价

李培伦,刘伟,王继隆,鲁万桥,唐富江

(中国水产科学研究院黑龙江水产研究所,黑龙江哈尔滨 150076)

**摘要:**为了解呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物多样性及其水质状况,2018 年 5 月采用常规方法对呼玛河韩辉套子进行详细调查。结果发现,大型底栖动物共 3 门 5 纲 36 种,其中,昆虫纲 17 种、腹足纲 12 种、寡毛纲 5 种、软甲纲和蛭纲各 1 种,平均丰度为  $106.76 \text{ ind/m}^2$ ,平均生物量为  $5.01 \text{ g/m}^2$ 。优势种共 10 种,主要以齿角石蚕、渐变长跗摇蚊、蚊型前突摇蚊及卵萝卜螺为主。均匀度指数( $J$ )指示水体污染状态为清洁,而丰富度指数( $d$ )、多样性指数( $H'$ )及生物学污染指数(BPI)均指示水体为中污染,且水质指标中总磷含量超标,为 V 类水质标准,说明呼玛河韩辉套子水体呈现一定程度污染。典范对应分析(CCA)结果显示,水温、硝酸盐、总氮、氨氮和磷酸盐是影响韩辉套子底栖动物多样性的主要水质指标,但这些指标对各类底栖动物的影响又存在一定差异。

**关键词:**呼玛河;大型底栖动物;CCA 分析;水质评价

**中图分类号:**S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)06-0219-06

底栖动物栖息在河流、湖泊等水体底质表层或底质的土壤、泥沙、砾石之中,具有生命周期长、迁徙能力弱、环境敏感度高、样本易采集等特点,能够参与水体物质循环和能量流动,是水域生态系统中诸多鱼类的天然饵料<sup>[1]</sup>,同时底栖动物亦是进行河流生态系统结构、功能及健康状况评价的关键生物类群<sup>[2-4]</sup>。呼玛河发源于我国大兴安岭地区北部,是黑龙江上游较大支流,其沿岸森林资源丰富、植被覆盖率高达 70% 以上,其下游水域河网密布、水量充沛且水质清澈。呼玛河为典型山溪冷水性河流,是大麻哈鱼等重要冷水性鱼类的产卵场、育肥场及洄游通道<sup>[5-6]</sup>,韩辉套子位于呼玛河下游,其原始产卵场功能已得到验证,能够保障大麻哈鱼繁殖群体筑巢产卵及完成受精卵孵化出膜等一系列生命过程<sup>[7-8]</sup>。研究表明,河流中生活的大麻哈鱼幼鱼主要摄食水生昆虫、桡足类和圆虫类,其中摇蚊幼虫为其摄食的优势种类,而呼玛河韩辉套子作为大麻哈鱼的原始产卵场,虽具备产卵孵化功能,但能否为大麻哈鱼幼鱼降海洄游之前生长发育提供充足饵料尚未可知<sup>[9]</sup>,故本研究对韩辉套子春季大

型底栖动物种类及水质特征进行了系统的研究,不仅能够摸清春季大麻哈鱼幼鱼的饵料状况,还可对其水质状况进行综合评价,为呼玛河水生生物资源保护管理提供科学的参考依据。

## 1 研究方法

### 1.1 样品采集

由图 1 可知,2018 年 5 月(春季),在呼玛河韩辉套子大麻哈鱼原始产卵场采集大型底栖动物,共设置 10 个采样站点,从韩辉套子上游向下将各站点依次标记为 H1、H2、H3、H4、H5、H6、H7、H8、H9 和 H10。采用 40 目(孔径 0.425 mm)的索伯网和 D 型网采集样品,每个站点随机采集 3 次,挑取底栖动物样品并固定于 5% 甲醛溶液中,带回实验室分类鉴定、计数及称质量(精确到 0.001 g)。

现场采用 HQd 便携式水质分析仪测定各站点温度(TEM)、酸碱度(pH 值)、溶解氧(DO)。实验室内测定总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(AN)、磷酸盐(PS)、硝酸盐(NS)等水化指标,其测定方式参照第 4 版《水和废水监测分析方法》<sup>[10]</sup>,依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)对水质指标分类。

### 1.2 数据分析

**1.2.1 优势种** 采用 Pinkas 相对重要性指数(IRI)<sup>[11]</sup>确定呼玛河韩辉套子底栖动物的优势种类。具体公式如下:

$$IRI = (W_i + N_i) \times F_i \times 10^4;$$

收稿日期:2020-07-14

基金项目:农业农村部财政专项物种资源保护项目(编号:2130135)。

作者简介:李培伦(1989—),男,河南平顶山人,硕士,助理研究员,主要从事水域生态学方面的研究。E-mail:lp19890925@163.com。

通信作者:刘伟,博士,研究员,主要从事渔业资源保护与利用方面的研究。E-mail:liuwei\_1020@aliyun.com。

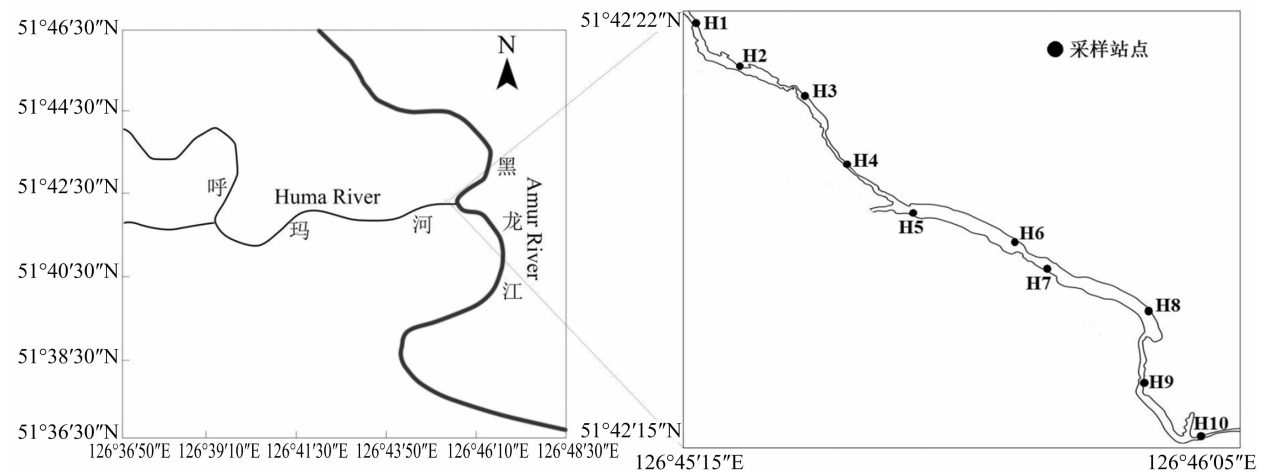


图1 呼玛河韩辉套子采样站点示意

其中,  $W_i$  为第  $i$  种底栖动物的生物量在总生物量中所占百分比,  $N_i$  为第  $i$  种底栖动物的数量在样品总数量中所占百分比,  $F_i$  为第  $i$  种底栖动物出现的频率。本研究参照霍堂斌等的划分方法<sup>[12]</sup> 将  $IRI > 1\ 000$  的底栖动物种类列为优势种。

1.2.2 多样性指数 通过以下 4 个指数对呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物进行多样性分析并评价水质, 水质评价标准见表 1:

(1) Margalef 种类丰富度指数 ( $d$ )<sup>[13]</sup>

$$d = \frac{S-1}{\log_2 N};$$

(2) Shannon - Wiener 多样性指数 ( $H'$ )<sup>[14]</sup>

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

(3) Pielou 均匀度指数 ( $J$ )<sup>[15]</sup>

$$J = \frac{H'}{\log_2 S};$$

上述式中,  $S$  为底栖样品的种类总数,  $N$  为所有底栖种类的总个体数,  $P_i$  为第  $i$  中底栖的个体数与样品中的总个体数的比值。

(4) 生物学污染指数 ( $BPI$ )<sup>[16]</sup>

$$BPI = \frac{\lg(N_1 + 2)}{\lg(N_2 + 2) + \lg(N_3 + 2)};$$

式中:  $N_1$  指底栖动物中寡毛类、蛭类及摇蚊幼虫的个体数,  $N_2$  指底栖动物中多毛类、甲壳类及除摇蚊幼虫以外的其他水生昆虫个体数,  $N_3$  指底栖动物中软体类个体数。

表 1 生物指数的评价标准

生物指数	污染状态
丰富度指数	0~1, 重污染; >1~2, 中污染; >2~3, 轻污染; >3, 清洁
多样性指数	0~1, 重污染; >1~2, 中污染; >2~3, 轻污染; >3, 清洁
均匀度指数	0.0~0.3, 重污染; >0.3~0.5, 轻污染; >0.5, 清洁
生物学污染指数	0.0~0.1, 清洁; >0.1~0.5, 轻污染; >0.5~1.5, $\beta$ -中污染; >1.5~5.0, $\alpha$ -中污染; >5.0, 重污染

1.2.3 与水质指标相关分析 运用 Canoco 5 软件对韩辉套子春季大型底栖动物的丰度与水质指标间的关系进行典范对应分析 (canonical correspondence analysis, CCA)<sup>[17]</sup>, 为降低干扰, 选取  $IRI \geq 10$  的底栖动物的丰度与水质指标进行典范对应分析, 由表 2 可知, 进行 CCA 分析前, 先将各站点底栖动物丰度数据作去趋势对应分析 (DCA), 观看结果中第一轴梯度, 若  $>4.0$ , 则选 CCA 分析; 若介于  $3.0 \sim 4.0$  间, 则选冗余分析 (redundancy analysis, RDA) 或 CCA 分析均可; 若  $<3.0$ , 则选择 RDA 分

析。此外, 对底栖动物丰度和水质指标数据进行  $\lg(x+1)$  转换, 以避免各指标单位不同造成统计偏差<sup>[18]</sup>。

2 结果与分析

2.1 种类、数量组成及优势种

调查水域呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物共鉴定出 3 门 5 纲 36 种 (表 2)。其中节肢动物门昆虫纲底栖动物种类最多, 为 17 种, 占种类总数的 47.33%; 其次为软体动物门的腹足纲, 有 12 种底栖

动物,占种类总数的 33.33%;环节动物门寡毛纲底栖动物 5 种,占种类总数的 13.89%;节肢动物门软甲纲和环节动物门蛭纲种类最少,均为 1 种,分别占种类总数的 2.78%。

由表 2 可知,在调查水域 10 个采样站点中,渐变长跗摇蚊出现频率最高,为 0.8。其次为齿角石蚕和卵萝卜螺,出现频率均为 0.7。底栖动物丰度范围介于 3.33~1 047 ind/m<sup>2</sup>,平均 106.76 ind/m<sup>2</sup>,其中丰度最高的是蚊型前突摇蚊,而生物量范围介

于 0.05~81.49 g/m<sup>2</sup>,平均 5.01 g/m<sup>2</sup>,其中生物量最高的为齿角石蚕。从相对重要性指数( IRI) 可得出,韩辉套子春季底栖动物优势种共 10 种,分别为昆虫纲的齿角石蚕、渐变长跗摇蚊、蚊型前突摇蚊、双色矮突摇蚊、日新叶石蚕、湖生短丝蜉、拟细裳蜉及塔马特维摇蚊,软甲纲的钩虾及腹足纲的卵萝卜螺,此外 IRI>10 的底栖动物有 24 种,用于 CCA 排序分析。

表 2 呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物特征

物种	丰度 ( ind/m <sup>2</sup> )	生物量 ( g/m <sup>2</sup> )	频率	相对重要性 指数	CCA 分析序号
节肢动物门					
昆虫纲					
小蜉 <i>Ephemera</i> sp.	10.00	0.15	0.1	3.45	—
* 湖生短丝蜉 <i>Siphonurus lacustris</i>	146.67	7.87	0.3	245.37	1
* 拟细裳蜉 <i>Paraleptophlebia</i> sp.	90.00	4.47	0.4	192.75	2
纯石蝇 <i>Paragnetina</i> sp.	16.67	0.35	0.1	6.28	—
大山石蝇 <i>Oyamia</i> sp.	20.00	0.47	0.1	7.83	—
黄褐巨石蝇 <i>Megarcys ochracea</i>	150.00	1.86	0.1	49.35	3
* 齿角石蚕 <i>Psilotreta</i> sp.	150.00	81.49	0.7	3434.31	4
* 日新叶石蚕 <i>Neophylax japonicas</i>	33.33	13.74	0.3	254.44	5
纹石蚕 <i>Hydropsyche</i> sp.	20.00	11.77	0.1	70.43	6
短线短脉纹石蚕 <i>Cheumatopsyche brerilineata</i>	40.00	0.40	0.1	12.61	7
横纹划蝽 <i>Sigare sbustriata</i>	3.33	0.57	0.1	4.01	—
* 渐变长跗摇蚊 <i>Tanytarsus mendax</i>	616.67	4.34	0.8	1 476.01	8
* 双色矮突摇蚊 <i>Nanocladius dichromus</i>	263.33	1.63	0.5	387.84	9
* 蚊型前突摇蚊 <i>Procladius culiciformis</i>	1 470.00	7.46	0.3	1 271.40	10
* 塔马特维摇蚊 <i>Tvetenia tamafulva</i>	126.67	0.66	0.4	146.39	11
碧翠似伟蜉 <i>Anaciaeschna jaspidea</i>	3.33	0.06	0.1	1.20	—
锥长足虻 <i>Rhaphium</i> sp.	6.67	0.14	0.1	2.53	—
软甲纲					
* 钩虾 <i>Gammaridea</i> sp.	103.33	10.19	0.5	416.67	12
环节动物门					
寡毛纲					
苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiura sowerbyi</i>	10.00	0.05	0.1	2.88	—
中华颤蚓 <i>Tubiex sinicus</i>	13.33	0.08	0.1	3.91	—
正颤蚓 <i>Tubifex tubifex</i>	3.33	0.08	0.1	1.31	—
瑞士水丝蚓 <i>Limnodrilus helveticus</i>	16.67	0.09	0.3	14.45	13
奥特开水丝蚓 <i>Limnodrilus udekemianus</i>	70.00	0.30	0.1	19.89	14
蛭纲					
八目石蛭 <i>Herpobdella octoculata</i>	3.33	1.97	0.1	11.77	15
软体动物门					
腹足纲					
中国圆田螺 <i>Cipangopaludma chinensis</i>	10.00	5.66	0.1	33.97	16
* 卵萝卜螺 <i>Radix ovata</i>	63.33	8.74	0.7	454.24	17

表 2(续)

物种	丰度 (ind/m <sup>2</sup> )	生物量 (g/m <sup>2</sup> )	频率	相对重要性 指数	CCA 分析序号
椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>	3.33	0.43	0.1	3.23	—
耳萝卜螺 <i>Radix auricularia</i>	10.00	3.21	0.3	61.11	18
狭萝卜螺 <i>Radix lagotis</i>	6.67	0.24	0.1	3.05	—
静水椎实螺 <i>Lstagnalis</i>	16.67	1.40	0.1	12.08	19
截口土蜗 <i>Galba truncatula</i>	6.67	0.25	0.1	3.10	—
赤豆螺 <i>Bithynia fuchsiana</i>	60.00	1.15	0.1	21.97	20
纹沼螺 <i>Parafossarulus striatulus</i>	26.67	3.14	0.3	73.02	21
白旋螺 <i>Gyraulus albus</i>	93.33	1.51	0.2	65.30	22
凸旋螺 <i>Gyraulus convexiusculus</i>	130.00	2.33	0.2	93.44	23
泉膀胱螺 <i>Physa fontinalis</i>	30.00	2.23	0.2	40.36	24
均值	106.76	5.01			

注：\* 表示优势种。

2.2 多样性指数

由表 3 可知,调查水域底栖动物丰富度指数(*d*)平均值为 1.685 7,水体污染状态划分为中污染,其中 H2 站点 *d* 值最高(2.266 8),H1 站点 *d* 值最低(0.874 9)。多样性指数(*H'*)平均值为 1.468 8,水体污染状态划分为中污染,其中 H8 站点 *H'* 值最高(2.087 9),H6 站点 *H'* 值最低(0.764 7)。均匀度指数(*J*)平均值为 0.718 8,水体污染状态划分为清洁,其中 H4 站点 *J* 值最高(0.965 6),H6 站点 *J* 值最低(0.348 1)。生物学污染指数(BPI)平均值为 0.785 6,水体污染状态划分为β-中污染,其中 H1 站点 *J* 值最高(1.484 7),H3 站点 *J* 值最低(0.372 8)。

表 3 呼玛河韩辉套子大型底栖动物多样性指标统计

站位	丰富度指数 ( <i>d</i> )	多样性指数 ( <i>H'</i> )	均匀度指数 ( <i>J</i> )	生物学污染 指数(BPI)
H1	0.874 9	1.380 4	0.709 4	1.484 7
H2	2.266 8	1.845 1	0.801 2	0.471 2
H3	1.861 2	1.298 9	0.624 7	0.372 8
H4	0.910 2	1.060 9	0.965 6	1.056 6
H5	1.916 4	1.784 9	0.812 4	1.161 7
H6	1.402 6	0.764 7	0.348 1	1.459 2
H7	1.711 3	1.551 6	0.647 1	0.950 6
H8	2.216 8	2.087 9	0.870 7	0.356 2
H9	1.970 8	1.401 6	0.720 3	0.234 6
H10	1.726 1	1.512 0	0.688 2	0.308 1
均值	1.685 7	1.468 8	0.718 8	0.785 6
污染状态	中污染	中污染	清洁	β-中污染

2.3 水质特征

由表 4 可知,调查水域 TEM 变化范围较大,介于 5.2~9.8℃间,平均值为 7.42℃;pH 值范围较小,主要介于 7.14~8.52 间,平均值为 7.971;DO 值介于 8.92~13.36 mg/L 间,平均值为 12.381 mg/L, H1 站点明显低于其他站点。其余水化指标变化幅度均较小,其中 TN 介于 0.053~0.174 mg/L 间,平均值为 0.093 1 mg/L;TP 介于 0.209~0.578 mg/L 间,平均值为 0.327 5 mg/L;AN 介于 0.068~0.123 mg/L 间,平均值为 0.086 9 mg/L;PS 介于 0.001~0.098 mg/L 间,平均值为 0.015 5 mg/L;NS 介于 0.004~0.265 mg/L 间,平均值为 0.103 1 mg/L。整体观察,参照《地表水环境质量标准(GB 3838—2002)》,可以得出调查水域 TP 含量较高,为 V 类水质,而 TEM、pH、DO、AN 和 TN 值均符合Ⅲ类水质标准。

2.4 CCA 排序分析

通过 IRI 指数筛选后得到 24 种底栖动物并进行编号对其丰度与水质指标之间的关系进行 CCA 排序分析(表 2)。去趋势对应分析(DCA)中第一轴的梯度长度为 3.50,介于 3~4 之间,说明可以选用 CCA 排序分析。由表 5 可知,CCA 排序结果显示第 1 轴和第 2 轴与水质指标之间的相关关系分别达到 0.9 807 和 0.9 745,说明 CCA 的排序结果能够较好地反映出呼玛河韩辉套子底栖动物丰度与水质指标之间的关系。此外,前 2 个排序轴对物种和环境因子关系的累计贡献率为 49.39%,而所有排序轴对物种和环境因子关系的累计贡献率达到 73.34%。

表 4 呼玛河韩辉套子 10 个站点的水质理化指标

站点	TEM (℃)	pH 值	DO (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	AN (mg/L)	PS (mg/L)	NS (mg/L)
H1	6.8	7.16	8.92	0.174	0.578	0.068	0.098	0.265
H2	7.2	7.21	11.67	0.104	0.390	0.079	0.001	0.103
H3	7.8	7.14	13.36	0.056	0.311	0.099	0.006	0.056
H4	8.3	7.92	12.31	0.060	0.345	0.123	0.011	0.041
H5	8.1	8.22	13.14	0.054	0.292	0.079	0.010	0.144
H6	9.8	8.27	12.97	0.053	0.221	0.072	0.006	0.102
H7	7.6	8.31	13.24	0.056	0.209	0.089	0.005	0.082
H8	7.1	8.48	12.71	0.056	0.344	0.097	0.007	0.227
H9	6.3	8.48	12.85	0.150	0.268	0.075	0.009	0.004
H10	5.2	8.52	12.64	0.168	0.317	0.088	0.009	0.007
均值	7.42	7.971	12.381	0.093 1	0.327 5	0.086 9	0.015 5	0.103 1

表 5 大型底栖动物与环境因子的典范对应分析 (CCA) 结果

统计项	轴 1	轴 2	轴 3	轴 4
特征值	0.525 3	0.407 0	0.254 6	0.197 5
物种 - 环境关系的相关系数	0.980 7	0.974 5	1.000 0	0.958 6
物种方差变异累计百分比 (%)	24.19	42.94	54.66	63.76
物种 - 环境关系方差解释的累计百分比 (%)	27.83	49.39	62.88	73.34

由图 2 可知,TEM 与第 1 排序轴之间的相关性最高,而 TN、NS 和 PS 与第 2 排序轴之间的相关性较大。入选的 24 种底栖动物主要分布于第一、三和四象限,其中优势种齿角石蚕、双色矮突摇蚊、蚊型前突摇蚊、塔马特维摇蚊与 NS、TEM 和 PS 呈现正相关,而与 AN、TN 呈负相关;拟细裳蜉、齿角石蚕和卵萝卜螺与 TN 和 PS 呈正相关,而与 NS 和 TEM 呈负相关;湖生短丝蜉、钩虾与 NS、AN 和 TEM 呈正相关,而与 PS 和 TN 呈现负相关。

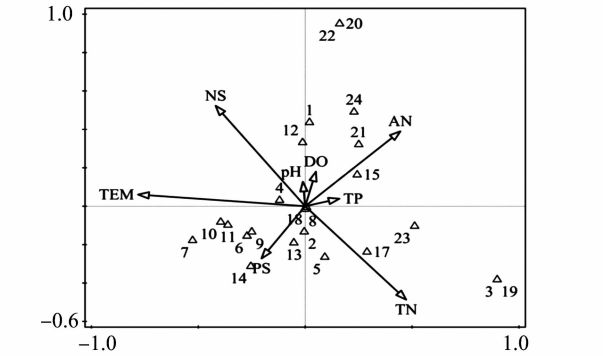


图2 呼玛河韩辉套子大型底栖动物与环境因子关系的 CCA 排序

3 讨论

3.1 大型底栖动物种类多样性

呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物共鉴定出 3

门 5 纲 36 种,其中昆虫纲底栖动物种类最多,其次为腹足纲,而寡毛纲、软甲纲和蛭纲种类相对较少。目前,有关呼玛河底栖动物研究报道较少,唐富江等对呼玛河干流的底栖动物种类进行了调查,结果显示昆虫纲底栖动物的种类最多,其次为腹足纲,而其他种类均较少<sup>[19]</sup>,本研究的调查结果与之相一致。推测呼玛河下游干、支流水体中主要以昆虫纲和腹足纲底栖动物为主,这与黑龙江中游及松花江干流的研究结果相似,符合东北地区山溪性冷水型河流底栖动物的生态类群特征<sup>[12,20]</sup>。

研究发现,底栖动物依据其生态类型不同,在水域空间分布上会存在一定差异和不均匀性<sup>[21-22]</sup>。春季,在韩辉套子 10 个采样站点中出现频率较高的底栖动物分别为渐变长跗摇蚊、齿角石蚕和卵萝卜螺,而其他种类出现频率均较低,说明采样河段底栖动物种类丰富,但其分布具有一定的空间差异。从生物多样性指标来看,韩辉套子底栖动物丰富度指数(*d*)均值为 1.685 7,多样性指数(*H'*)均值为 1.468 8,两者均指示水体呈现出中污染状态,生物学污染指数(BPI)均值为 0.785 6,指示水体呈现 β - 中污染状态,而均匀度指数(*J*)均值为 0.718 8,指示水体清洁无污染,从这些水质生物评价指标来看,呼玛河韩辉套子春季水体呈现一定程度污染状

态,这与距离较近的黑龙江干流黑河段春季水质状况相似<sup>[12]</sup>。此外,研究还发现春季韩辉套子水质指标中大多数指标正常,显示水质良好,而总磷含量严重超标,指示水质为 V 类,这结果与生物评价结果类似,推测造成该水域水体污染的原因可能为沿岸农田使用化肥、农药的土壤经雨水冲刷流入河道所致,相关部门应加强对沿岸农田施肥撒药的管控,以逐步恢复呼玛河支流韩辉套子的水质状况。

### 3.2 大型底栖动物与水质指标的关系

诸多研究表明,水体底质生境特征及水质理化因子均会对底栖动物的种类分布、丰度等造成重要的影响<sup>[23-24]</sup>。Belinda 等指出水温可直接影响底栖动物的群落特征,如摇蚊类和寡毛类水生昆虫均以幼虫形式越冬,故春季幼虫羽化数量较少,导致其丰度相对较高,而生物量较低<sup>[25]</sup>。本研究 CCA 排序结果显示,水温是影响第 1 排序轴最关键的水质指标,且与摇蚊类及齿角石蚕等优势种相关性较高,说明韩辉套子春季水温差异对该类底栖动物的丰度和分布造成了显著影响。优势种中卵萝卜螺的主要影响指标是总氮,说明该类螺能够适应偏酸性水域,推测与其栖息水域底泥肥厚、有机质丰富有关,与李朝等的研究结果<sup>[26]</sup>相似。湖生短丝蜉、钩虾等底栖动物主要栖居于较清洁的河流、湖泊或湿地中<sup>[27]</sup>,作为呼玛河支流韩辉套子春季底栖动物优势种,主要出现在站点 H2、H3 和 H4,可能与该河段较窄、底质主要为砾石及有机碎屑有关,而且湖生短丝蜉、钩虾均受水质指标中氨氮和硝酸盐的影响较大。此外,CCA 分析结果中相对重要性指数 (IRI) > 10 的种类主要分布于第一和第三象限,分别受氨氮和磷酸盐的主要影响。总体来讲,呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物丰度和分布区域主要受水温、硝酸盐、总氮、氨氮和磷酸盐的影响,这些指标是影响韩辉套子底栖动物多样性变化的关键水质指标,但这些指标对各类底栖动物的影响存在一定差异。

呼玛河韩辉套子春季大型底栖动物平均丰度为 106.76 ind/m<sup>2</sup>,显著高于黑龙江中游春季底栖动物的平均丰度 (69.64 ind/m<sup>2</sup>)<sup>[12]</sup>,说明韩辉套子春季大型底栖动物资源量丰富,且调查水域大型底栖动物优势种中摇蚊幼虫种类较多,推断其能够满足大麻哈鱼幼鱼降海洄游前生长发育的饵料需求。

### 参考文献:

[1] 陈其羽,梁彦龄,吴天惠. 武汉东湖底栖动物群落结构和动态的

研究[J]. 水生生物学集刊,1980,7(1):41-56.

- [2] Morse J C, Yule C M. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia[J]. Front Ecol Environ, 2007, 5(1):33-42.
- [3] 宋 聃,霍堂斌,王秋实,等. 红旗河夏季大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J]. 水产学杂志,2020,33(3):42-49.
- [4] 李 宁,陈阿兰,杨春江,等. 城镇化对湟水河上游水质和底栖动物群落结构的影响[J]. 生态学报,2017,37(10):3570-3576.
- [5] 董崇智,夏重志,姜作发,等. 呼玛河、逊别拉河自然保护区珍稀名贵冷水性鱼类资源现状及其保护[J]. 黑龙江水产,1997(2):27-31.
- [6] 赵彩霞,卢 玲,战培荣,等. 呼玛河大麻哈鱼产卵场生态环境的监测初报[J]. 水产学杂志,2000,13(2):54-57.
- [7] 李培伦,刘 伟,王继隆,等. 大麻哈鱼繁殖特征及呼玛河原始产卵场生境功能验证[J]. 水产学杂志,2019,32(6):11-17.
- [8] 崔康成,刘 伟,高文燕,等. 大麻哈鱼产卵场适宜性指数构建及权重分析[J]. 生态学杂志,2019,38(12):3762-3770.
- [9] 解玉浩. 东北地区淡水鱼类[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2007.
- [10] 国家环境保护总局,《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002:1827-1835.
- [11] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Calif Dep Fish Game Fish Bull, 1971, 152:1-105.
- [12] 霍堂斌,李 喆,姜作发,等. 黑龙江中游底栖动物群落结构与水质生物评价[J]. 中国水产科学,2013,20(1):178-189.
- [13] Shannon E C, Weaver W. The mathematical theory of communication [M]. Illinois: Urbana University of Illinois Press, 1949.
- [14] Margalef D R. Information theory in ecology[J]. General Systems, 1957(3):36-71.
- [15] Pielou E C. Species - diversity and pattern - diversity in the study of ecological succession[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 10(2):370-383.
- [16] 池仕运,彭建华,万成炎,等. 湖北省三道河水库底栖动物的初步研究[J]. 湖泊科学,2009,21(5):705-712.
- [17] Terbraak C F. The analysis of vegetation - environment relationships by canonical correspondence analysis[J]. Vegetatio, 1987, 69(1/2/3):69-77.
- [18] 李少文,任中华,王田田. 黄河口海域夏季大型底栖动物的生态学特征[J]. 渔业科学进展,2017,38(6):9-17.
- [19] 唐富江,姜作发,董崇智,等. 呼玛河底栖动物种类组成[J]. 水产学杂志,2007(2):76-78.
- [20] 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.
- [21] 苟妮娜,边 坤,靳铁治,等. 秦岭丹江流域底栖动物生态学初步研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(8):25-31.
- [22] 沈 宏,石彭灵,吴 耀,等. 梁塘河大型底栖动物群落及其水

李尚志,薛华柱,李静茹,等. 基于 Google Earth Engine 平台的太湖围网养殖时空变化[J]. 江苏农业科学,2021,49(6):225-231.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.06.040

# 基于 Google Earth Engine 平台的太湖围网养殖时空变化

李尚志,薛华柱,李静茹,周利娟,谷佳贺

(河南理工大学测绘与国土信息工程学院,河南焦作 454000)

**摘要:**基于谷歌地球引擎(Google Earth Engine,简称 GEE)平台,以我国太湖水域为例,利用 30 年时间序列的 Landsat 系列卫星数据,结合光谱信息、多种遥感指数和纹理信息,利用分类与回归树的方法对 1985—2019 年之间的太湖围网养殖区域进行分类提取,并且探讨太湖围网养殖空间分布模式及时间序列上的面积变化情况。结果表明,分类与回归树方法可以用于提取围网养殖区域,同时提取精度较高,细节信息也较为丰富;在空间上,太湖围网养殖活动主要存在于东太湖水域,西太湖区域面积较小。在时间序列上,太湖围网养殖产业自 1985 年开始以来,围网养殖区面积逐年提高,至 2007 年达到峰值,然后逐年缩小,在近年保持稳定状态。养殖区最大面积达到 136.57 km<sup>2</sup>,经过近年来的一系列治理工作之后,太湖水产养殖区面积减少至 15 km<sup>2</sup> 以下。利用谷歌地球引擎遥感大数据平台提取围网养殖区对于太湖水资源保护具有极大的优势,主要表现在 GEE 平台降低了数据准备的时间,同时保证大数据量的高性能计算,在以后的水资源保护研究中有着极大的优势。

**关键词:**谷歌地球引擎;太湖;围网养殖;分类与回归树;时空分布

**中图分类号:** F323.21;S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)06-0225-07

水产养殖是指出于商业目的而饲养水生生物(包括鱼类、软体动物、甲壳类动物和水生植物等)的人类活动。我国是水产养殖大国,水产养殖规模处于快速增长状态<sup>[1]</sup>。太湖是我国著名的水产养殖基地,随着经济的发展和生活水平的提高,在太湖水域进行围网养殖的现象越来越普遍。常年围网养殖导致太湖水质恶化,已经严重威胁到太湖流域生态环境安全,也影响了太湖正常的蓄水防洪能力,加剧了洪涝灾害出现的可能性。利用卫星遥感手段对太湖围网养殖区域进行监测,为实现可持续发展提供了有力的技术支撑。众多学者基于遥感

手段围绕水体围网养殖行为导致的水域面积、养殖区面积及水质变化做了大量的研究工作。沈芳等利用 1986—1998 年的陆地卫星专题成像仪(Landsat TM)影像对太湖流域的溁湖、洮湖围网养殖面积变化进行了研究工作,并对养殖区水质进行了评价<sup>[2]</sup>。杨英宝等利用多时相 TM 数据对东太湖围网养殖区域进行了提取工作,并且确定了超密度围网养殖区域范围<sup>[3]</sup>。马艳娟等基于 ASTER 卫星遥感影像构建水体指数,结合波段运算提取了近海水产养殖区,为养殖区决策提供了参考依据<sup>[4]</sup>。贺秋华等利用高分二号遥感影像采用人机交互目视解译的方法提取了湖南省网箱养殖信息,研究了围网养殖的空间分布情况并且估算了养殖产生的氮、磷排放量<sup>[5]</sup>。黄帅等利用资源三号高分遥感影像,利用围网养殖区和非养殖区的光谱信息差异,采用梯度变换的方法提取养殖区,精度达到 90.66%<sup>[6]</sup>。王家伟等利用 5 期 TM 遥感影像,利用多段光谱数

收稿日期:2020-07-09

基金项目:国家自然科学基金(编号:41871333)。

作者简介:李尚志(1996—),男,山东泰安人,硕士,主要从事遥感应应用研究。E-mail:2695251752@qq.com。

通信作者:薛华柱,博士,副教授,主要从事地表参数定量遥感反演。E-mail:hpuxhz@163.com。

质生物学评价[J]. 水生生物学报,2016,40(1):203-210.

[23] 邹伟,李太民,刘利,等. 苏北骆马湖大型底栖动物群落结构及水质评价[J]. 湖泊科学,2017,29(5):1177-1187.

[24] 张华萍,张宇航,马凯,等. 河流微生物异质性与大型底栖动物空间分布的关系[J]. 应用生态学报,2017,28(9):3023-3031.

[25] Thompson B W, Riddle M J, Stark J S. Cost-efficient methods for

marine pollution monitoring at Casey Station, East Antarctica: the choice of sieve mesh-size and taxonomic resolution[J]. Marine Pollution Bulletin,2003,46(2):232-243.

[26] 李朝,杨靖,蔡吉林. 徐州京杭运河大型底栖动物群落结构变化及水质评价[J]. 环境科技,2016,29(6):47-50.

[27] 吕军,霍堂斌,汪雪格. 松辽流域大型底栖无脊椎动物生态学研究[M]. 长春:吉林大学出版社,2017.