

中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区大型底栖动物多样性和生态位研究

姜海霞¹, 郭东昌¹, 刘曼红^{1*}, 赵振柱², 陈福元², 邱国良²

(1. 东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 黑龙江中央站黑嘴松鸡自然保护区管理局, 黑龙江 嫩江 161499)

摘要:为了探究中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区大型底栖动物群落结构及其优势物种生态位特点,在保护区3条主要入嫩江河流(十站河、十五里小河和卧都河),共设置了19个采样点,于2022年春季、夏季和秋季,进行了大型底栖动物样本采集和水质理化因子监测;利用Shannon-Wiener指数和Pianka重叠指数,对大型底栖动物优势物种进行了生态位分析;采用冗余分析和非度量多维尺度分析方法,分析了大型底栖动物摄食功能群与水体理化因子的关系及不同河流群落间差异性。研究表明,在19个采样点的样品中,共鉴定出大型底栖动物94种(属),隶属于3门5纲15目46科,大型底栖动物群落物种丰富度和摄食功能群存在季节差异,而其Shannon-Wiener指数、Margalef指数和Pielou指数的季节差异不显著;十站河、十五里小河和卧都河大型底栖动物优势物种分别有10种、6种和3种,都属于窄生态位种,其中,前突摇蚊属一种(*Procladius* sp.)为3条河流共有的优势物种;十站河和十五里小河各优势物种之间的生态位重叠值比较宽泛,卧都河生态位重叠值较集中;影响大型底栖动物摄食功能群的主要水质理化因子为硝酸根离子含量、透明度、水温、pH和溶解氧含量;非度量多维尺度结果显示,3条入江河流大型底栖动物群落结构具有较高的相似性。

关键词:大型底栖动物;群落结构;摄食功能群;生态位;中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区

中图分类号:Q958.15 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-5948(2024)04-508-10

大型底栖动物是河流生态系统中的关键组成部分,也是水生态系统食物链的中间环节,在促进河流生态系统的物质交换、能量流动等方面起着不可或缺的作用^[1]。大型底栖动物具有生活场所固定、迁移能力弱、分布范围广且对水环境变化敏感等特点,大型底栖动物群落的结构和多样性能够反映水体的健康状况^[2-4],因此,研究河流生态系统底栖动物群落结构和多样性具有重要意义。

摄食功能群(Functional feeding groups)可以反映大型底栖动物群落结构特征和生境适应性特征^[5],对研究大型底栖动物群落结构和河流生态系统的生态过程具有重要作用。大型底栖动物功能群可以更有效地反映生物与环境的关系^[6-7]。基

于大型底栖动物获取食物来源的形态学和行为适应的摄食功能群分类方法已经作为评估环境条件对水生生物影响的重要手段^[8]。

生态位是监测群落结构、物种多样性、种间关系、物种分布和群落演替的重要生态指标。优势种的生态位宽度和重叠指数是生态位研究中的重要参数^[9-10]。国内对大型底栖动物群落生态位的研究已在溪流、河流和湖泊等方面开展^[11-13]。研究发现,山溪性河流冬季的大型底栖动物群落可能存在生态位重叠,种间竞争较大^[14];平原溪流大型底栖动物可以利用的生态位资源越多,生物群落对资源的竞争就越少^[15];高原河流中等侧向水文连通性能为大型底栖动物提供较多生态位,从而有

收稿日期:2023-09-04; 修订日期:2023-11-08

基金项目:黑龙江省中央站黑嘴松鸡保护区底栖动物多样性与水质监测项目(020-43220043)和黑龙江省重点专项多尺度多目标生物栖息地功能协同恢复提升技术项目(2022YFF1300903)资助。

作者简介:姜海霞(1999—),女,辽宁省大连人,硕士研究生,从事湿地生态学研究。E-mail: haixia@nefu.edu.cn

*通讯作者:刘曼红,副教授。E-mail: manhong@nefu.edu.cn

利于增加物种多样性^[16]。在洪泽湖,对污染较为敏感的大型底栖动物生态位宽度较大,其适应环境的能力也在增强^[17]。因此,通过生态位宽度和重叠值对大型底栖动物群落间的相互关系进行综合分析,可以进一步了解河流底栖动物群落的种间关系,进而得出群落间交叉演替模式^[18]。

中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区位于嫩江上游,保护区森林覆盖率高,溪流众多,其中十站河、十五里小河和卧都河是3条主要河流,汇入嫩江。河溪是比较脆弱的生态系统,对环境变化敏感,生物栖息地的变化容易使大型底栖动物敏感种极易濒危或易危。目前,北美和欧洲对于河溪功能多样性的研究较多^[19]。本研究以中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区的十站河、十五里小河和卧都河大型底栖动物为研究对象,研究其群落多样性的时空分布特征,并分析其与环境因子的相关性,采用生态位的参数评价生物利用环境资源的多样性,为生态环境保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区及采样点设置

中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区(48°30'N至48°50'N, 126°0'E至126°45'E)位于黑龙江省黑河市嫩江县境内,地处大小兴安岭过渡地带的伊勒呼里山南麓,松嫩平原北部,总面积为988.6 km²。保护区由嫩江县林业局中央站林场的全部和卧都河林场、嘎拉山林场的一部分组成,是嫩江市重要的水源涵养地和生态屏障^[20],主要保护对

象是黑嘴松鸡(*Tetrao urogalloides*)及栖息的生态环境。该区气候属温带大陆性季风气候,生态系统是非常典型的温带针阔天然次生林森林生态系统,森林覆盖率达82.4%^[21],保护区内有森林、灌丛、湿地和草甸。嫩江干流纵贯保护区西界,水源丰富,有十几条支流,保护区是嫩江上游一级支流十五里小河和十站河的源头。

本研究选取保护区内的十站河、十五里小河和卧都河的大型底栖动物为研究对象。共设置了19个采样点,都位于保护区的缓冲区,河流两岸5 km范围内的植被覆盖率大于95%,总体上,无人干扰(图1,表1)。

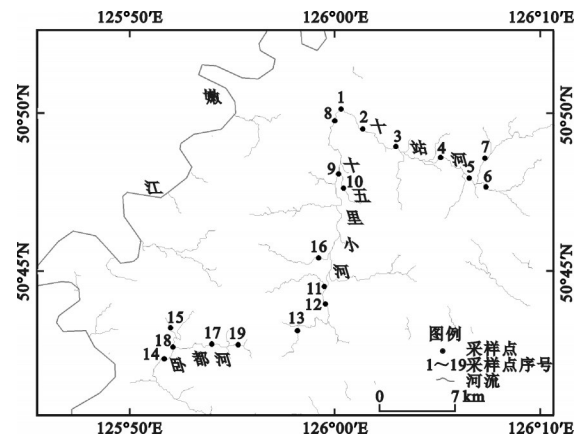


图1 中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区研究区水系及采样点分布

Fig.1 Distribution of water system and sampling points in the study area of Zhongyangzhan Black-Billed Capercaillie National Nature Reserve

表1 3条河流各采样点的生境类型

Table 1 Habitat types at three stream sampling sites

采样点	生境类型
十站河 采样点1至采样点7	采样点1至采样点4位于十站河干流,河宽约3~15 m,流速较快,周围植被为草甸和灌木;采样点5至采样点7位于河流上游的支流,河宽约1~2 m,流速缓慢,周围植被为乔木和灌丛。河流底质主要为砾石和沙石,部分采样点为淤泥,含有较多腐殖质。
十五里小河 采样点8至采样点13,采样点16	采样点8和采样点9位于十五里小河干流,流速较快,周围植被为草甸;采样点10位于支流,河宽约2 m,周围有少量农田;采样点11至采样点13位于河流上游,河宽约1~3 m,保护区成立之前这些采样点的河段曾用于淘金和矿业开采,现处于恢复中,周围植被为灌木,流速较快;采样点16位于支流,河宽约2 m,流速较快,周围植被为灌木和草甸。十五里小河河流底质类型主要为砾石质,少有采样点为淤泥含腐殖质。
卧都河 采样点14和采样点15,采样点17至采样点19	采样点14和采样点15位于卧都河干流,河宽约18~20 m,流速较快,周围植被主要为草甸,少有乔木,底质以砾石为主;采样点17至采样点19位于支流,河宽约1~3 m,流速较缓,周围植被为草甸,底质以淤泥为主。

1.2 样品的采集与处理

于2022年春季(5月)、夏季(8月)和秋季(10月),对大型底栖动物进行调查。在每个采样点,利用D型网,取1 m²底质样品;利用0.5 mm的筛网,将底质样品进行筛洗,以便将大型底栖动物挑选出来。将采集的大型底栖动物样品装在标本瓶中,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。在实验室中,对样品进行分拣、计数、称量和种类鉴定。利用体式显微镜,对大型底栖动物进行鉴定、计数,样品尽可能鉴定至最低分类单元。

1.3 水体理化因子的测定

采集大型底栖动物样品的同时,现场测定环境指标并采集水样,分析水化学参数。利用塞氏盘,测量水深。利用YSI6600-02(USA)便携式水质分析仪,测定水体的pH、溶解氧含量、水温、电导率、氨氮含量、硝酸根离子含量、浊度、透明度、叶绿素a含量和氯离子含量。将采集的水样带回实验室,利用多参数水质分析系统(HCAH, DR1900),测定水体中总磷含量、总氮含量和化学需氧量^[22]。

1.4 摄食功能群划分

根据大型底栖动物的摄食习性(包括食物颗粒大小和摄食方式),将其划分为以吞食和刺食方式捕食猎物的捕食者(PR)、以鳃或者皮肤吸收水中溶解的有机物的杂食者(OM)、以河底有机颗粒为食的集食者(GC)、以水流中0.45 mm≤粒径<1 mm的有机颗粒为食的滤食者(FC)、以固着生活类群为食的刮食者(SC)和以粒径≥1 mm的有机颗粒和凋落物为食的撕食者(SH)共6种摄食功能群^[23]。

1.5 数据处理

利用PASTv2.17软件,计算Shannon-Wiener多样性指数^[24]、Margalef丰富度指^[25]、Pielou均匀度指数^[26]。利用Excel 2021软件,计算物种优势度指数和生态位指数。使用R软件中的mateMDS,完成非度量多维尺度分析(NMDS)。利用Canoco5.0软件,进行RDA冗余分析,分析前对数据进行标准化处理以消除量纲的影响,并作RDA排序图,部分图表采用Origin 2021软件绘制。

物种优势度指数计算公式^[27]为:

$$Y = P_i \times f_i \quad (1)$$

公式(1)中, P_i 为物种*i*的个体数占总个体数的比例; f_i 为物种*i*在各采样点出现的频率。当优势度指数*Y*大于0.02时,则视该种为优势物种。

生态位宽度反映一个种群在群落中所利用的各种不同资源的总和,其大小反映种群对环境的适应状况和对资源的利用程度^[28]。其计算公式为:

$$B_i = - \sum_{j=1}^N P_{ij} \cdot \ln P_{ij} \quad (2)$$

生态位重叠值反映了两个或两个以上生态位相似的物种生活于同一空间时,分享或竞争共同资源的现象,采用Pianka的重叠指数^[29]。

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{ij} \cdot P_{kj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^N P_{ij}^2 \cdot \sum_{j=1}^N P_{kj}^2}} \quad (3)$$

公式(2)和(3)中, P_{ij} 和 P_{kj} 为物种*i*和*k*的个体数占*j*采样点总个体数的比例,表示方式用小数; N 指采样点的总数。 B_i 的大小为0~ N , B_i 值越大,生态位宽度越大。 B_i 可以分为广生态位种($B_i \geq 2.0$)、中生态位种($1.0 \leq B_i < 2.0$)和窄生态位种($0 < B_i < 1.0$)^[30]。 O_{ik} 的大小为0~1, O_{ik} 值越大,生态位重叠值越大。当 $O_{ik} > 0.6$ 时,表明生态位重叠较严重。

2 结果与分析

2.1 大型底栖动物群落结构特征

春季、夏季和秋季3次野外调查共采集到大型底栖动物1926只,隶属3门5纲15目94种。主要由节肢动物门、软体动物门和环节动物门组成。其中以节肢动物门种类最多(昆虫纲74种);其次是软体动物门(由腹足纲11种和瓣鳃纲2种组成);种类最少的为环节动物门(由寡毛纲4种和蛭纲3种组成)。

大型底栖动物物种丰富度存在季节差异。春季采集到大型底栖动物53种,夏季和秋季都为46种。由图2可知,3个季节大型底栖动物都是昆虫纲种类最多,其次为腹足纲,瓣鳃纲的种类最少。

由表2可知,春季、夏季和秋季大型底栖动物群落的Shannon-Wiener多样性指数平均值分别为1.61、1.23和1.20;Margalef丰富度指数平均值分别为2.11、1.68和1.62;Pielou均匀度指数平均值分别为0.84、0.75和0.73。春季大型底栖动物群落的生物多样性明显高于夏季和秋季。3种多样性指数

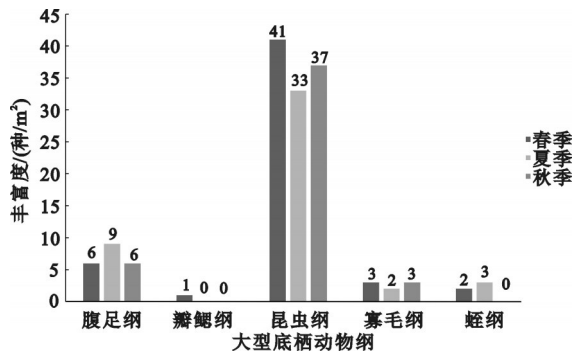


图2 中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区大型底栖动物群落结构

Fig.2 Macroinvertebrates community structure in the Zhongyangzhan Black-Billed Capercaillie National Nature Reserve

表2 不同季节大型底栖动物生物多样性指数方差分析
Table 2 Analysis of variance of macroinvertebrates biodiversity indices in different seasons

多样性指数	季节			F	p
	春季(n=19)	夏季(n=19)	秋季(n=19)		
Shannon-Wiener 多样性指数	1.61±0.35	1.23±0.65	1.20±0.73	2.726	0.076
Margalef 丰富度指数	2.11±0.54	1.68±0.83	1.62±1.15	1.753	0.184
Pielou 均匀度指数	0.84±0.10	0.75±0.28	0.73±0.24	1.160	0.322

注:表中多样性指数数值为平均值±标准差。

的季节差异都不显著($p > 0.05$)。

2.2 大型底栖动物群落优势物种

由表3可知,十站河采样点采集到的大型底栖动物优势物种有10种,十五里小河有6种,卧都河有3种。其中,前突摇蚊属一种为3条河流共有的优势物种;纹沼螺为十站河和卧都河共有的优势物种,真龙虱属一种为十站河和十五里小河共有的优势物种。伊尔克真开式摇蚊和若西摇蚊仅在秋季出现。

2.3 大型底栖动物群落优势物种的生态位宽度

由图3可知,十站河、十五里小河和卧都河的大型底栖动物优势物种生态位宽度值分别为0.11~0.60、0.16~0.71、0.17~0.59,3条河流大型底栖动物优势物种生态位的宽度值变化有差异,且生态位宽度值都小于1,属于窄生态位物种。3条河流的纹沼螺和前突摇蚊属一种生态位宽度值

表3 3条河流大型底栖动物优势物种及优势度指数

Table 3 Dominant species and dominance index of macroinvertebrates in three rivers

优势物种	优势度指数		
	十站河	十五里小河	卧都河
赤豆螺 <i>Bithynia fuchsiana</i>	0.08		
纹沼螺 <i>Parafossarulus striatulus</i>	0.11		0.58
湖球蚬 <i>Sphaerium lacustre</i>	0.14		
管石蛾科一种 <i>Psychomyiidae</i> sp.	0.03		
四节蜉属一种 <i>Baetis</i> sp.	0.04		
真龙虱属一种 <i>Cybister</i> sp.	0.07	0.06	
前突摇蚊属一种 <i>Procladius</i> sp.	0.09	0.10	0.04
德永雕翅摇蚊 <i>Glyptotendipes tokunagai</i>	0.02		
多齿斑摇蚊 <i>Stictochironomus multannulatus</i>	0.03		
前黄斑布摇蚊 <i>Brillia flavifrons</i>	0.02		
凹缺隐摇蚊 <i>Cryptochironomus defectus</i>	0.02		
伊尔克真开式摇蚊 <i>Eukiefferiella ilkleyensis</i>	0.05		
若西摇蚊 <i>Chironomus yoshimatusi</i>	0.11		
喜盐摇蚊 <i>Chironomus salinarius</i>	0.05		
大脐圆扁螺 <i>Hippeutis umbilicalis</i>			0.03

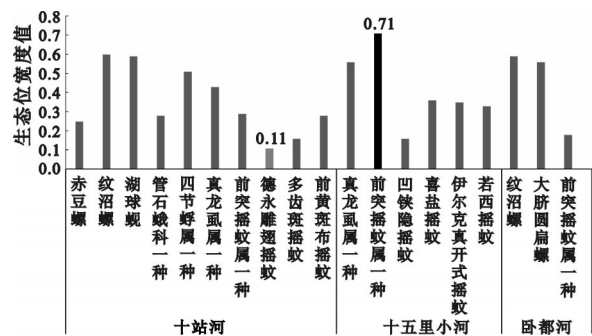


图3 大型底栖动物群落优势物种生态位宽度

Fig.3 Ecological niche width of dominant species in macroinvertebrates communities

都较大,最大值出现在十五里小河,其中前突摇蚊属一种宽度值为0.71,纹沼螺宽度值为0.60(出现在十站河);生态位宽度最小值出现在十站河,为德永雕翅摇蚊的0.11。

2.4 大型底栖动物优势物种的生态位重叠值

图4结果表明,十站河和十五里小河大型底栖动物各优势物种之间的重叠值变化幅度较大(重叠值为0~1)。在十站河,管石蛾科一种、德永雕翅摇蚊、多齿斑摇蚊和前黄斑布摇蚊两两之间的

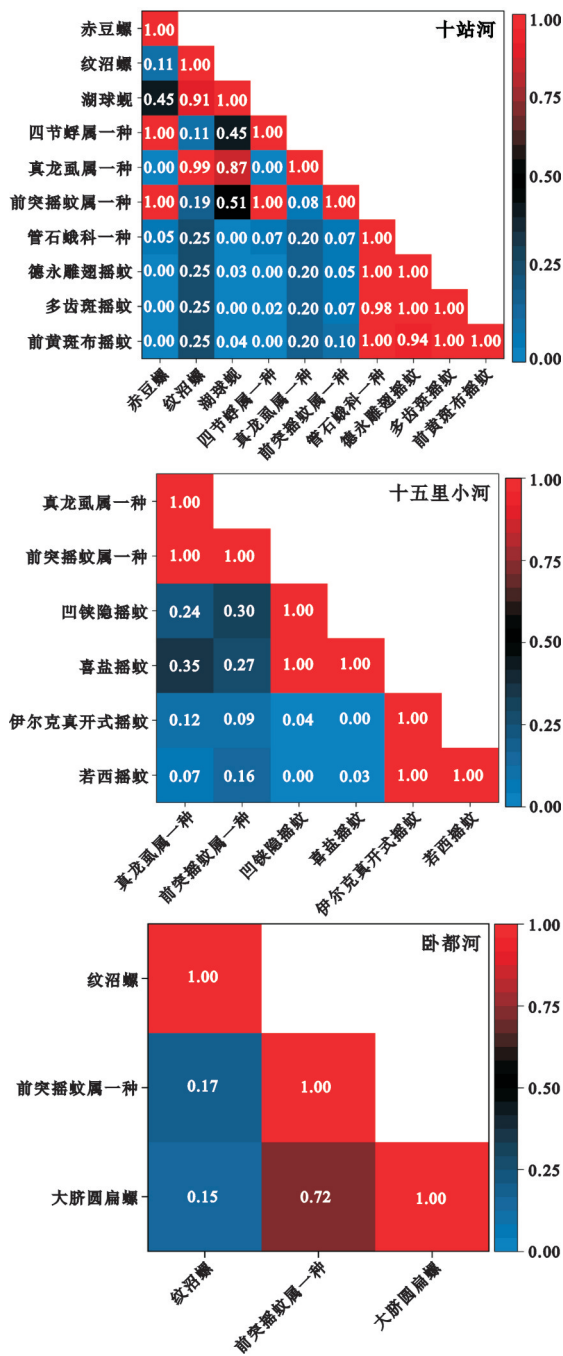


图4 大型底栖动物优势物种生态位重叠值
Fig.4 Ecological niche overlap values for dominant macroinvertebrates species

生态位重叠值接近1;十五里小河的6个优势物种之间(除个别物种有较大重叠)的生态位重叠值小于0.6;卧都河大型底栖动物优势物种之间的生态位重叠值为0.15~0.70。整体上,某些物种生态位重叠值为0,如赤豆螺与多齿斑摇蚊、前黄斑布摇蚊等,表明物种的生态位完全分离,且物种的生态位宽度较窄。

2.5 大型底栖动物摄食功能群分布特征

由图5可知,春季、夏季和秋季3条河流底栖动物摄食功能群的相对丰度存在明显差异。卧都河摄食功能群的最大相对丰度出现在夏季,为刮食者,占91.50%;十五里小河摄食功能群的最大相对丰度在秋季,为集食者,占81.40%,其次为夏季的捕食者,占68.18%;十站河在春季、夏季和秋季的主要摄食功能群分别为捕食者、刮食者和集食者。综上,3条河流春季大型底栖动物的优势功能群主要为捕食者,夏季的优势功能群主要为刮食者,秋季的优势功能群主要为集食者。

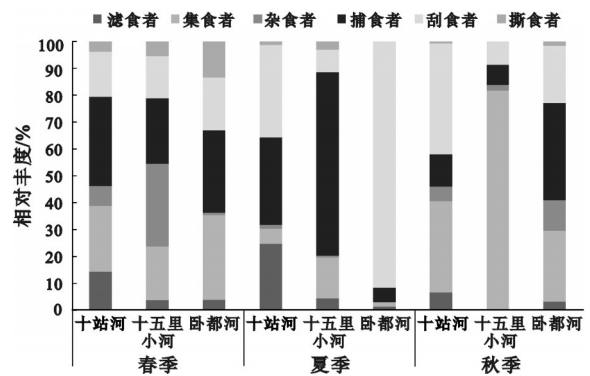


图5 大型底栖动物摄食功能群时空分布
Fig.5 Spatial and temporal distribution of macroinvertebrates feeding functional groups

2.6 大型底栖动物摄食功能群与水质理化因子的关系

影响大型底栖动物摄食功能群的水质理化因子存在季节差异。水温、溶解氧含量、透明度和氯离子含量对春季大型底栖动物摄食功能群的影响较大(图6a)。摄食功能群杂食者与透明度、水温正相关;摄食功能群捕食者与氨氮含量负相关,与氯离子含量和水温正相关;摄食功能群刮食者和滤食者与总磷含量负相关;摄食功能群撕食者和集食者与溶解氧含量、总氮和叶绿素a含量正相关。

溶解氧含量、水温、硝酸根离子含量和氯离子含量对夏季大型底栖动物摄食功能群影响较大(图6b)。摄食功能群捕食者、撕食者、杂食者和集食者与硝酸根离子含量正相关,与溶解氧含量、pH和水温负相关;摄食功能群刮食者与氯离子含量正相关;摄食功能群滤食者与溶解氧含量、氯离子含量、pH和水温正相关,与硝酸根离子含量负相关。

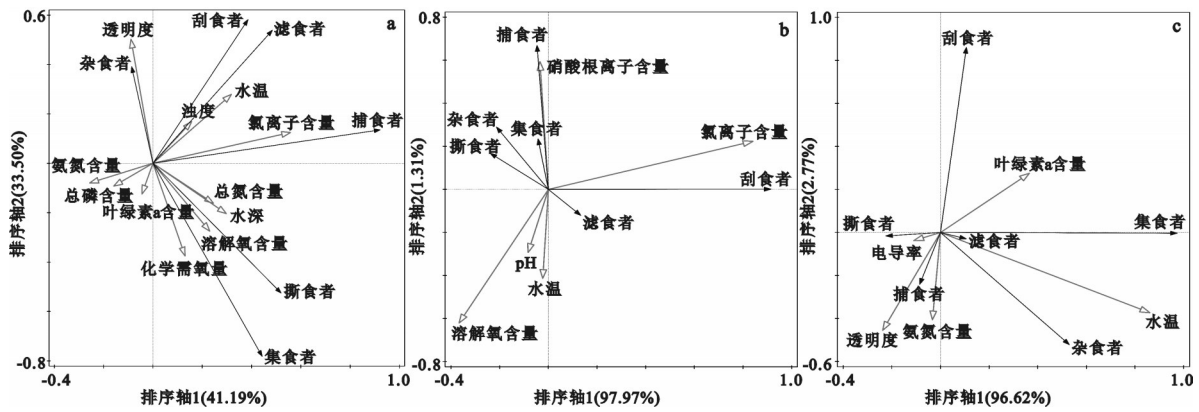


图6 大型底栖动物摄食功能群与水质理化因子的冗余分析图

Fig.6 Redundancy analysis map of macroinvertebrates feeding functional groups in relation to physico-chemical factors of water quality

水温、叶绿素a含量、氨氮含量和透明度是影响秋季大型底栖动物摄食功能群的主要因子(图6c)。摄食功能群刮食者与叶绿素a含量呈正相关;摄食功能群集食者、滤食者和杂食者与叶绿素a含量和水温正相关;摄食功能群捕食者和撕食者与透明度、氨氮含量和电导率呈正相关,与叶绿素a含量和水温负相关。

2.7 非度量多维尺度分析

将3条河流采样点分别按照3个季节进行非度量多维尺度分析。非度量多维尺度分析图中采样点间距大小代表了采样点底栖动物群落的差异大小^[22],各组置信椭圆重叠部分的大小也代表了组间相似性的大小,由此可以比较不同河流之间大型底栖动物群落的差异。

春季,3条河流的大型底栖动物群落间既有相似也有不同,三者的置信椭圆重合区域都较大,3

个置信椭圆中都有不同河流的采样点出现(图7a)。春季3条河流大型底栖动物群落较相似。夏季,十站河与十五里小河、卧都河大型底栖动物群落结构相似程度较高,十五里小河与卧都河部分相似(图7b)。秋季,卧都河与十站河、十五里小河置信椭圆重合区域较大,十五里小河与十站河部分重合(图7c)。卧都河的置信椭圆内包含所有采样点。秋季十五里小河、十站河与卧都河大型底栖动物群落结构相似程度较高,十五里小河与十站河较相似。

3 讨论

大型底栖动物群落优势种的组成与分布可体现其对环境的适应性,某种环境下优势物种组成越丰富,表明群落结构越稳定^[1]。大型底栖动物有底内生活型、底上生活型和底游生活型3种生活

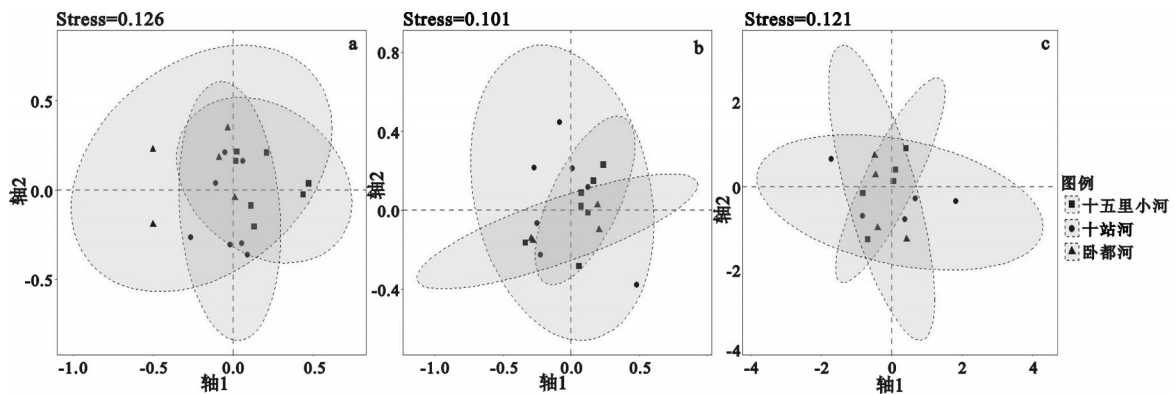


图7 大型底栖动物采样点的非度量多维度分析图

Fig.7 Non-metric multidimensional analyses map of macroinvertebrates sampling sites

型,底质类型决定了大型底栖动物类群差异,使不同生境下大型底栖动物优势物种存在差异。中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区3条主要入江河流中,与卧都河相比,十站河和十五里小河更适宜大型底栖动物栖息,河滨带植被覆盖度高以及底质类型多样的特点为大型底栖动物提供了优良的栖息、觅食和遮蔽场所,河流里凋落的树叶溶解后为其提供重要的食物资源^[31-32]。十站河中底质以沙石、砾石和淤泥为主,其中采样点1至采样点4流速较快,沙石和砾石的底质为优势物种软体动物和EPT水生昆虫(E蜉蛄目、P襁翅目和T毛翅目)提供附着点和稳定的食物来源^[33];采样点5至采样点7流速平缓,底质为淤泥和腐殖质,腐烂的枯枝落叶较多,为摇蚊科幼虫提供了很好的栖境。多样化的底质类型使得十站河的大型底栖动物优势物种更丰富,群落结构更稳定。十五里小河受历史上采矿的影响,河流底质发生了明显的改变,该河段基本没有大的砾石和卵石,尤其是采样点11至采样点13底质主要为小石块和砂粒,因此导致以EPT为主要水生昆虫的丰富度较小。

生态位宽度是生物对环境适应能力和利用环境资源能力的一个指标,其数值大小反映生物占据资源的能力强弱^[34-35]。中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区3条入江河流中,大型底栖动物优势种的生态位宽度的变化幅度存在差异,且为窄生态位,表明优势物种未能占据绝对优势,大型底栖动物竞争能力弱,其群落优势的地位可能会被逐步代替,群落会发生演替^[36]。其中,纹沼螺和前突摇蚊属一种在3条河流的生态位宽度值都较大,说明其对环境的适应能力较强。而德永雕翅摇蚊、多齿斑摇蚊和凹缺隐摇蚊幼虫的生态位宽度值较小,随着种间竞争的加剧,生态环境的改变,某些物种有可能丧失其优势物种的地位。

生态位重叠值可以反映群落中两个物种之间竞争相同资源的程度。研究认为,物种之间的重叠值大于0.6,说明二者重叠明显^[37]。十站河采样点各优势物种之间的生态位重叠值变化幅度较大,管石蛾科一种、德永雕翅摇蚊、多齿斑摇蚊和前黄斑布摇蚊幼虫两两之间的生态位重叠值为1,说明这4个物种在十站河中所利用的资源基本一致,在种群竞争过程中,物种种群可能会发生改

变。十五里小河大多数优势种之间的生态位重叠值小于0.6,说明这些物种虽然对资源利用有重叠,但它们在生活型和食性上仍存在某些差异,在群落中扮演不同的生态角色,其生态系统仍处在动态平衡之中^[36]。

在本研究中,大型底栖动物共划分出6种摄食功能群,以集食者占绝对优势,杂食者、滤食者、撕食者所占比例较低。集食者以有机碎屑为食,而3条河流流速整体平稳,有机碎屑易沉积,适宜集食者生存^[38]。河流连续体概念(River continuum concept, RCC)认为,摄食功能群的空间分布与自然生境中有机物沿河流的运输、利用和存储有密切的关系^[39],按照河流连续体概念的预测,集食者和滤食者比例自上游至下游增加,一般刮食者在河流中游的密度较大^[40]。中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区3条主要入江河流大型底栖动物摄食功能群分布规律与预测值基本一致。

从季节上来看,摄食功能群存在明显的季节分布差异。主要是由于岸边植被状态和河流水文随季节发生更替,进而使大型底栖动物的生境发生变化,最终导致其分布上的差异^[41]。在本研究中,在雨水丰沛的夏季和流速较高的河段,EPT水生昆虫出现的频次较高。研究表明,水体流速与这3个类群的EPT所占比例显著正相关^[42],EPT水生昆虫等敏感类群更适合急流中栖息^[43]。十站河是EPT水生昆虫的分布的核心区域,可以作为生态环境健康的指示物种,同时对于流域内的生物多样性保护具有重要意义。

在河流生态学研究,确定影响大型底栖动物摄食功能群的关键水质理化因子对分析河流生态健康起着重要作用^[44]。本研究通过冗余分析,得出水质理化因子对底栖动物摄食功能群组成与分布有关键影响,但不同季节水质理化因子与摄食功能群的对应关系不同。3条河流生境异质性会对水生生物的栖息环境和大型底栖动物群落分布造成影响,高寒地区的不同季节,会形成季节性的水温和溶解氧含量,水温和溶解氧通常情况下是限制大型底栖动物分布的主要影响因素。春季溶解氧含量对大型底栖动物摄食功能群起主要影响作用,由于良好的氧气环境促进浮游植物生长,使得以有机颗粒为食的撕食者和集食者丰度增

加。夏季水温升高促进有机物分解,溶解氧含量下降,使得夏季溶解氧含量与大型底栖动物摄食功能群呈负相关。研究区pH整体为7.76~8.72,在水体呈中性和碱性这两种条件下,水体反硝化过程形成硝酸盐,浓度较高的硝酸盐为微生物创造了有利的环境,为夏季撕食者和捕食者提供更优质的食物^[45]。因为偏碱的水体,适宜多数水生昆虫生长^[46],对大型底栖动物群落产生了影响。此外,pH还会影响凋落物的分解,从而间接影响大型底栖动物的生长^[5]。

十站河、十五里小河和卧都河大型底栖动物群落结构受到来自河段尺度的水质理化因子、底质类型以及生境异质性等环境因素的影响^[41]。本研究探明了大型底栖动物优势物种的生态位分布特征以及保护区内大型底栖动物群落的多样性,为研究大型底栖动物环境适应性及水质环境变动提供依据。随着保护区近几年保护力度的逐渐加大,以及退耕还林、退耕还湿等项目的大力推进,保证了大型底栖动物栖息地生境的完整和稳定^[47]。

4 结 论

在中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区的十站河、十五里小河和卧都河采样点,共记录到大型底栖动物94种(属)。大型底栖动物物种丰富度存在季节差异,春季有53种,夏季和秋季都有46种。主要以节肢动物和软体动物为优势类群,尤其是EPT水生昆虫占绝对优势,其次是摇蚊科幼虫,前突摇蚊属一种为3条河流共有的优势物种,都属于窄生态位种。十站河和十五里小河优势物种生态位重叠值变幅宽泛,卧都河生态位重叠值变幅较窄。

3条河流的大型底栖动物群落具有较高的相似性,捕食者和集食者广泛分布,并且集食者和滤食者占比自上游至下游增加,符合河流连续性理论关于底栖动物功能群分布的特点。水温、溶解氧含量、硝酸根离子含量、pH和透明度是影响大型底栖动物摄食功能群的主要水质理化因子。

参考文献

[1]BEAUCHENE M, BECKER M, BELLUCCI C J, *et al.* Summer

thermal thresholds of fish community transitions in connecticut streams[J]. *North American journal of fisheries management*, 2014, **34**(1): 119-131.

- [2]许维,梁舒汀,黄艳凤,等.基于大型底栖动物的大清河水系水体健康状况评价[J].*湿地科学*,2020,**18**(5):546-554.
- [3]龙振宇,孙世军,欧洋,等.吉林省西部10个浅水湖泊水环境质量和大型底栖动物群落特征[J].*湿地科学*,2018,**16**(5):642-650.
- [4]黄业辉,范存祥,吴中奎,等.广州市海珠湿地大型底栖动物群落物种组成和分布初探[J].*湿地科学*,2020,**18**(2):200-206.
- [5]于琪,王珂,郭杰,等.长江下游莲花洲港大型底栖动物摄食功能群时空分布及其影响因素[J].*淡水渔业*,2021,**51**(2):47-54.
- [6]李欢欢,鲍毅新,胡知渊,等.杭州湾南岸大桥建设区域潮间带大型底栖动物功能群及营养等级的季节动态[J].*动物学报*,2007(6):1011-1023.
- [7]韩洁,宋蒙蒙,张杰,等.浑河流域大型底栖动物摄食功能群对栖息地环境的选择适应性[J].*生态学报*,2019,**39**(6):2013-2020.
- [8]BRISBOIS M C, JAMIESON R, GORDON R, *et al.* Stream ecosystem health in rural mixed land-use watersheds[J]. *Journal of environmental engineering and science*, 2008, **7**(5): 439-452.
- [9]焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等.渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位[J].*生态学报*,2011,**31**(14):3928-3936.
- [10]彭欣,张华伟,唐久,等.浙南岛屿岩相潮间带大型底栖动物优势种生态位研究[J].*海洋学研究*,2021,**39**(1):79-85.
- [11]葛宝明,郑祥,程宏毅,等.灵昆岛围垦滩涂潮沟大型底栖动物群落和物种生态位分析[J].*水生生物学报*,2007(5):675-681.
- [12]张琳琳,周永东,蒋日进,等.浙江中南部近岸海域春季主要鱼类空间生态位[J].*应用生态学报*,2020,**31**(2):659-666.
- [13]赵祺,刘辉,张秀文,等.唐山海洋牧场浮游动物群落结构及生态位[J].*河北渔业*,2021(10):17-24,30.
- [14]郑彪.山溪性河流大型底栖动物集合群落聚合机制的研究[D].大连:大连海洋大学,2023.
- [15]李胜利.渭河山区与平原溪流底栖动物群落结构和功能多样性特征及其影响因素[D].南京:南京农业大学,2017.
- [16]周雄冬,刘逸博,徐梦珍,等.高原河流底栖动物对侧向水文连通性的响应:以泉吉河为例[J].*清华大学学报(自然科学版)*,2023,**63**(5):818-829.
- [17]李燕,汪露,张敏,等.洪泽湖底栖动物群落结构及水质季节变化分析[J].*四川环境*,2021,**40**(2):103-115.
- [18]马一明,李秋华,潘少朴,等.贵州高原花溪水库浮游植物优势种生态位及种间联结性动态分析[J].*湖泊科学*,2021,**33**(3):785-796.
- [19]SCHMERA D, HEINO J, PODANI J, *et al.* Functional diversity: A review of methodology and current knowledge in freshwater macroinvertebrate research[J]. *Hydrobiologia*, 2017, **787**(1): 27-44.
- [20]陈庆,李国富,尹伟平,等.黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区雀形目鸟类多样性研究[J].*野生动物学报*,2018,**39**(4):

- 834-844.
- [21]尹伟平, 李国富, 赵振柱, 等. 黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区兰科植物多样性及分布[J]. 齐齐哈尔大学学报(自然科学版), 2019, **35**(5): 52-56, 65.
- [22]刘旻旻. 挠力河保护区退耕湿地与自然湿地底栖动物群落比较研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2022.
- [23]CUMMINS K W. Trophic relations of aquatic insects[J]. Annual review of entomology, 1973, **18**(1): 183-206.
- [24]AI Y, JIANG N, QIAN W. Strengthened regulation of the onset of the south China Sea summer monsoon by the northwest Indian Ocean warming in the past decade[J]. Advances in atmospheric sciences, 2022, **39**(6): 943-952.
- [25]KUNDAJE A, MEULEMAN W, ERNST J, *et al.* Integrative analysis of 111 reference human epigenomes[J]. Nature, 2015, **518**(7539): 317-330.
- [26]PIELOU E C. Species- diversity and pattern- diversity in the study of ecological succession[J]. Journal of theoretical biology, 1966, **10**(2): 370-383.
- [27]徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989(4): 13-15, 19.
- [28]肖艳梅, 解婧媛, 姚义鹏, 等. 桂林岩溶石山常绿落叶阔叶混交林乔木层优势物种生态位研究. 生态学报, 2021, **41**(20): 8159-8170.
- [29]PIANKA E R. The structure of lizard communities[J]. Annual review of ecology and systematics, 1973, **4**(1): 53-74.
- [30]张亚洲, 张琳琳, 印瑞, 等. 浙江乐清湾浮游动物空间生态位[J]. 应用生态学报, 2021, **32**(1): 342-348.
- [31]刘莎, 蔡立哲, 许鹏, 等. 广州南沙十九涌三种植物生境的大型底栖动物群落[J]. 泉州师范学院学报, 2011, **29**(2): 1-4, 6-7, 15.
- [32]黄睿婧, 蔡立哲, 叶洁琼, 等. 广州南沙十四涌潮间带三种植物生境的大型底栖动物群落比较[J]. 生态学杂志, 2010, **29**(6): 1187-1192.
- [33]项珍龙, 杨璐, 李晨, 等. 浑河流域底质类型对硅藻群落分布特征的影响[J]. 环境科学学报, 2018, **38**(2): 570-578.
- [34]马宗仁, 阳承胜, 常向前, 等. 高尔夫球场草坪-杂草群落中主要杂草种类年消长动态及时间生态位[J]. 生态学报, 2004, **24**(10): 2230-2237.
- [35]黄相相, 任鹏, 李海宏, 等. 茅埏岛红树林生境中大型底栖动物优势种的生态位[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2017, **40**(4): 446-452.
- [36]戚诗婷, 唐以杰, 郑梓琼, 等. 广州南沙湿地大型底栖动物优势种生态位分析[J]. 湿地科学与管理, 2021, **17**(3): 13-17.
- [37]WATHNE J A, HAUG T, LYDERSEN C. Prey preference and niche overlap of ringed seals *Phoca hispida* and harp seals *P. groenlandica* in the Barents Sea[J]. Marine ecology progress series, 2000, **194**: 233-239.
- [38]MÉRIGOUX S, DOLÉDEC S. Hydraulic requirements of stream communities: A case study on invertebrates[J]. Freshwater biology, 2004, **49**(5): 600-613.
- [39]DORETTO A, PIANO E, LARSON C E. The river continuum concept: Lessons from the past and perspectives for the future [J]. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 2020, **77**(11): 1853-1864.
- [40]渠晓东, 蔡庆华, 谢志才, 等. 香溪河附石性大型底栖动物功能摄食类群研究[J]. 长江流域资源与环境, 2007(6): 738-743.
- [41]张宇航, 彭文启, 彭帅, 等. 永定河流域大型底栖动物功能摄食类群时空分布及生态评价[J]. 应用生态学报, 2022, **33**(12): 3433-3440.
- [42]任海庆, 袁兴中, 刘红, 等. 环境因子对河流底栖无脊椎动物群落结构的影响[J]. 生态学报, 2015, **35**(10): 3148-3156.
- [43]张宇航, 张敏, 彭文启, 等. 永定河流域大型底栖动物群落分布格局及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2020, **31**(11): 3880-3888.
- [44]NORRIS R H, HAWKINS C P. Monitoring river health[J]. Hydrobiologia, 2000(435): 5-17.
- [45]徐彬, 刘曼红, 于洪贤, 等. 大型底栖动物摄食功能群研究[J]. 环境保护前沿, 2021, **11**(2): 351-362.
- [46]徐丹丹, 彭敏锐, 王江丽, 等. 藻渡河大型底栖动物群落结构与功能摄食类群[J]. 淡水渔业, 2019, **49**(4): 50-55.
- [47]程智超, 杨立宾, 隋心, 等. 黑龙江中央站黑嘴松鸡国家级自然保护区不同森林类型土壤微生物功能多样性分析[J]. 环境科学研究, 2021, **34**(5): 1177-1186.

Diversity of Macroinvertebrates and Ecological Niche in Zhongyangzhan Black-Billed Capercaillie National Nature Reserve

JIANG Haixia¹, GUO Dongchang¹, LIU Manhong¹, ZHAO Zhenzhu², CHEN Fuyuan², QIU Guoliang²

(1. College of Wildlife and Nature Reserve, Northeast Forestry University, Harbin 150040, Heilongjiang, P.R.China;

2. Heilongjiang Zhongyangzhan Black-Billed Capercaillie Nature Reserve Management Bureau,

Nejiang 161499, Heilongjiang, P.R.China)

Abstract: In order to investigate the macroinvertebrates community structure and the ecological niche characteristics of the dominant species in the Heilongjiang Zhongyangzhan Black-Billed Capercaillie National Nature Reserve, 19 sampling sites were set up in three major rivers (Shizhan River, Shiwulixiao River, and Wodu River) entering the Nejiang River in the Reserve, and macroinvertebrates samples were collected and the physico-chemical factors of water quality were monitored in the spring, summer and autumn, respectively in 2022. The Shannon-Wiener index and Pianka overlap index were used to analyze the niche of the dominant species of macroinvertebrates species. Redundancy analysis and non-metric multi-dimensional scale analysis were used to analyze the correlation between macroinvertebrates feeding functional groups and physicochemical factors of water bodies and the variability between different river communities. The results showed that 94 species (genera) of macroinvertebrates were identified, belonging to 3 phylums, 5 phyla, 15 orders and 46 families, and there were seasonal differences in macroinvertebrates species richness and feeding function groups, while the seasonal differences were not significant in the Shannon-Wiener index, the Margalef index and the Pielou index. The dominant species of macroinvertebrates in the Shizhan River, Shiwulixiao River and Wodu River were 10, 6 and 3 species, respectively, all belonging to narrow ecological niche species, among which one species of *Procladius* sp. was the dominant species common to the three rivers. The ecological niche overlap values between the dominant species of the Shizhan River and the Shiwulixiao River were relatively broad, and the ecological niche overlap values of the Wodu River were more concentrated. The main physico-chemical factors of water quality affecting macroinvertebrates feeding function groups were nitrate ion content, transparency, water temperature, pH and dissolved oxygen content. The results of the non-metric multidimensional scale showed that the macroinvertebrates community structures of the three riverine rivers had high similarity.

Keywords: macroinvertebrates; community structure; functional feeding groups; ecological niche; Zhongyangzhan Black-Billed Capercaillie National Nature Reserve