

DOI: 10.12264/JFSC2024-0394

黑龙江上游鱼类群落结构及多样性的时空变化

潘靓涵^{1,2}, 张泽鹏¹, 赵言哲^{1,3}, 李慎辉^{1,4}, 鲁万桥¹, 金洪宇¹, 邢悦^{1,3}, 王海鹏¹, 李雷^{1*}

1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 农业农村部黑龙江流域渔业资源环境科学观测实验站, 黑龙江 哈尔滨 150070;
2. 大连海洋大学海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023;
3. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁 大连 116023;
4. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306

摘要: 于 2020—2024 年对黑龙江上游洛古河村、开库康、呼玛和黑河江段及部分支流开展鱼类调查。采集鱼类共 67 种, 隶属于 8 目、14 科、49 属, 其中鲤科鱼类最多, 为 39 种, 占总种数的 58.21%; 其次为鳅科 8 种(10.45%)。濒危鱼类 7 种, 其中国家一级保护野生动物 1 种, 为达氏鳇(*Huso dauricus*), 国家二级保护野生动物 6 种, 分别为施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)、细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)、哲罗鲑(*Hucho taimen*)、日本七鳃鳗(*Lampetra japonica*)、雷氏七鳃鳗(*Lampetra reissneri*)和下游黑龙江茴鱼(*Thymallus tugarinae*)。此外, 日本七鳃鳗为黑龙江上游的新记录种。结果显示, 2020 年秋季黑龙江上游鱼类的物种多样性指数(H')变化范围为 1.81~2.47, 丰富度指数(D')变化范围为 1.52~2.78, 均匀度指数(J')变化范围为 0.60~0.74。鱼类组成存在空间和季节差异, 其中黑河江段的鱼类物种最多, 优势种丰度较高; 黑河江段春秋两季鱼类种类组成存在较大差异。研究结果可为黑龙江上游鱼类多样性及资源的保护、管理与利用提供基础资料。

关键词: 黑龙江上游; 鱼类; 群落结构; 多样性; 时空变化

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2025)06-0859-17

黑龙江为中国和俄罗斯界江, 自漠河市洛古河村至黑河市为上游, 长 923 km^[1], 流经中国最北端的漠河市, 为我国的最北水域。黑龙江上游两岸树木茂密, 为山区性江段; 气温较低, 部分江段位于寒温带, 其中漠河市历史最低气温达到 -53 ℃; 水温较低, 冰封期较长, 一般为每年的 11 月初至翌年的 4 月末, 其中黑龙江上游支流呼玛河冰封期最长可达 191 d, 冰厚可以达到 1.5 m^[2]。黑龙江上游作为我国寒温带水域生态系统的重要组成部分, 其鱼类资源丰富, 尤其是冷水性鱼类,

该水域栖息着哲罗鲑(*Hucho taimen*)、细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)、乌苏里白鲑(*Coregonus ussuriensis*)、大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)、黑斑狗鱼(*Esox reicherti*)等大中型珍贵冷水性鱼类。很多种濒危鱼类历史上栖息在黑龙江上游, 其中包括国家一级保护野生动物达氏鳇(*Huso dauricus*), 国家二级保护野生动物施氏鲟(*Acipenser schrenckii*)、雷氏七鳃鳗(*Lampetra reissneri*)、下游黑龙江茴鱼(*Thymallus tugarinae*)、哲罗鲑、细鳞鲑等, 占黑龙江省濒危鱼类种类数的 85.71%^[3]。

收稿日期: 2025-01-27; 修订日期: 2025-04-22.

基金项目: 农业农村部农业财政专项“东北地区重点水域渔业资源与环境常态化监测专项”; 中国水产科学研究院基本科研业务费(2024GH01); 黑龙江省博士后科研启动金项目(LBH-Q21200); 黑龙江省鱼类增殖放流效果评估项目。

作者简介: 潘靓涵(2001-), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源保护. E-mail: pan18737535111@163.com

通信作者: 李雷, 副研究员, 研究方向为渔业资源及鱼类生态学. E-mail: lilei12100821@163.com

近年来,对鱼类群落时空分布格局及多样性的研究,已经成为开展渔业资源管理、保护及合理利用的科学基础^[4-8]。关于黑龙江上游鱼类群落结构及多样性的研究,在历史上有零星报道,主要集中在 20 世纪 80—90 年代,但仅对黑龙江上游鱼类的种类组成进行了报道,其成果包括 1981 年出版的《黑龙江鱼类》^[9]、1985 年出版的《黑龙江水系渔业资源》^[10]和 1995 年出版的《黑龙江省鱼类志》^[11]等。最近一次是 2001—2002 年董崇智等^[2]对黑龙江、绥芬河、兴凯湖等边境水域进行的渔业资源调查,距今已有近 30 年历史。如今,随着气候变化等多种因素的影响,黑龙江上游鱼类群落结构发生了哪些变化,尚未得知。目前,关于黑龙江上游鱼类的研究主要集中在分类学^[1,11]、种类组成^[12]、个体生物学^[13-14]、遗传多样性等方面^[15-17],关于黑龙江上游群落结构和多样性的报道未曾可见。名贵鱼类大麻哈鱼在 80—90 年代尚有发现,但在 2001 年的调查中未发现。近年来,大麻哈鱼增殖放流工作在黑龙江上游呼玛河等地有序开展,但大麻哈鱼是否回归?增殖放流是否有效?哲罗鲑等濒危鱼类现状如何?要解答这些问题,亟需开展黑龙江上游渔业资源监测调查。

本研究于 2020 年秋季(9—10 月)、2021 年春

季(5 月)、2023 年春季(5 月)、2023 年夏季(7 月)和 2024 年春季(5 月),在黑龙江上游洛古河村至黑河江段和部分支流,通过走访、网捕和地笼等调查获取了体长(mm)、全长(mm)、体重(g)等数据,统计分析了该区域鱼类群落的物种相对重要性指数、多样性指数及种类组成相似性指数,并深入解析了黑龙江上游鱼类群落的结构组成及时空变化特征,旨在为黑龙江上游鱼类多样性保护,以及鱼类资源的养护与利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

于 2020 年秋季(9—10 月)、2021 年春季(5 月)、2023 年春季(5 月)、2023 年夏季(7 月)和 2024 年春季(5 月),在黑龙江上游干流漠河市洛古河村江段、塔河县开库康江段、呼玛县呼玛江段和黑河市爱辉江段,以及部分支流(包括额尔木尔河下游、盘古河下游、呼玛河下游和宽河下游)开展鱼类资源调查,具体调查范围为 $50^{\circ}23'N-53^{\circ}21'N$, $122^{\circ}21'E-127^{\circ}35'E$ (图 1)。鱼类种类组成数据主要通过渔民捕捞、定点渔获物抽样调查及走访调查等方式采集,并尽量覆盖当地渔获物中的所有鱼类种类。为定量评价黑龙江上游鱼类群落优势种、多样性及相似性,在此次调查中统一网具和

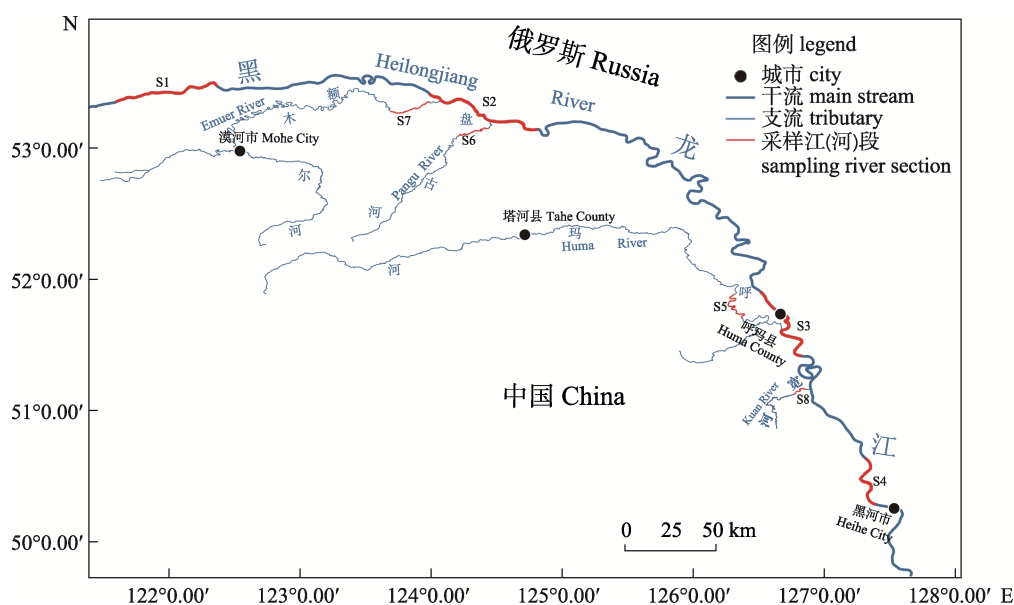


图 1 黑龙江上游采样点

Fig. 1 Sampling sites in the upper reaches of the Heilongjiang River

数量, 参考李雷等^[8]研究方法, 把固定数量定置刺网和地笼称为 1 组, 本研究把每 10 张网和 10 个地笼合为 1 组, 其中定置刺网网目为 5.0 cm、7.5 cm、10.0 cm、12.5 cm、15.0 cm, 网长 60 m; 地笼网目为 4 mm, 长 25 m, 每个江段连续两天作业, 每天下午下网, 上午收网, 连续作业时间为 12 h。定点进行渔获物的抽样调查和走访调查, 获得的数据主要用于鱼类种类组成的分析, 其中定点进行渔获物的抽样调查针对当地从事商业捕捞的渔民获得渔获物进行种类鉴定。当地从事商业捕捞的渔民主要选择三层流刺网进行作业, 作业时间每次约为 1~2 h, 距离约为 2~3 km; 走访调查针对当地渔民、钓友等进行种类咨询, 时间和地点与定点进行渔获物的抽样调查同步。鱼类优势种和空间多样性利用 2020 年秋季的数据进行分析, 季节的变化特征利用鱼类物种数相对较多的黑龙江段的 2020 年秋季和 2021 年春季进行分析。所有鱼类参考《黑龙江省鱼类志》^[1]、《东北地区淡水鱼类》^[18]和《黑龙江省鱼类原色图鉴》^[19]现场进行鉴定, 现场无法鉴定的未知鱼类, 保存带回实验室以待分子鉴定。

1.2 计算公式

1.2.1 优势种分析 对鱼类群落优势种结构的组成采用 Pinkas 等^[20]提出的相对重要性指数 (index of relative important, IRI) 进行分析, 公式如下:

$$IRI = (N + W) \times F \times 10^4$$

式中, N 为某一种类的尾数占总渔获物尾数的比例(%), W 为某一种类的重量占总重量的比例(%); F 为某一种类出现的站位数量占总调查站位数量的比例(%)。本研究将 $IRI \geq 1000$ 的物种定为优势种, $100 \leq IRI < 1000$ 的物种为重要种^[21]。

1.2.2 鱼类多样性分析 对于黑龙江上游鱼类物种多样性, 采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H'), Margalef 种类丰富度指数(D')和 Pielou 均匀度指数进行表征(J')^[22]。本研究根据 Wilhm^[23]提出的观点, 选择用鱼类物种生物量计算物种多样性。

Shannon-Wiener 多样性指数:

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

Margalef 物种丰富度指数:

$$D' = (S - 1) / \ln W$$

Pielou 均匀度指数:

$$J' = H' / \ln S$$

式中, S 为鱼类种类数, W 为总渔获物重量, P_i 为第 i 种鱼占总渔获物重量的比例。

1.2.3 聚类分析 本研究利用 PRIMER 6.0 软件, 采用等级聚类和非度量多维标度法(NMDS)分别构建聚类分析图和 NMDS 排序图。模型拟合的好坏可以通过应力值(Stress 值)来评估: Stress 值小于 0.05 表示拟合效果非常好; Stress 值在 0.05 到 0.1 之间表示拟合效果良好; Stress 值在 0.1 到 0.2 区间内表明拟合效果一般; 而 Stress 值大于等于 0.2 且小于 0.3, 则说明拟合效果较差^[24]。

2 结果与分析

2.1 种类组成

2020—2024 年, 于黑龙江上游共发现鱼类 67 种, 其中土著鱼类 66 种, 隶属于 8 目、14 科、48 属; 外来物种 1 种(鳙 *Aristichthys nobilis*)。鲤形目 46 种, 占总种类数的 68.66%; 鲑形目 7 种, 占比为 10.45%; 鲇形目 4 种, 占比为 5.97%; 鲈形目 3 种, 占比为 4.48%; 七鳃鳗目、鲟形目和鲴形目均 2 种, 鲴形目仅 1 种。按科级阶元分类: 鲤科占比最大为 39 种, 占总种类的 58.21%; 其次鳅科 7 种、鲑科 4 种和鲈科 3 种, 占比依次为 10.45%、5.88%和 4.41%; 鲟科、七鳃鳗科、茴鱼科和杜父鱼科均为 2 种, 各占比 2.99%; 鮠科、鲇科、鰻科以及狗鱼科各 1 种, 均占比 1.49% (如表 1)。被列入《国家重点保护野生动物名录(水生野生动物)》的鱼类有 7 种, 包括国家一级保护野生动物达氏鳇, 国家二级保护野生动物施氏鲟、雷氏七鳃鳗、日本七鳃鳗(*Lampetra japonica*)、细鳞鲑、哲罗鲑以及下游黑龙江茴鱼。日本七鳃鳗、拉林棒花鱼(*Abbottina lalinensis*)、红鳍鲌(*Chanodichthys erythropterus*)、高体鳊鱼(*Rhodeus ocellatus*)、克氏鳊(*Sarcocheilichthys*)、银鲌(*Squalidus argentatus*)、北鳊(*Lefua costata*)、大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)和下游黑龙江茴鱼等 9 种鱼类首次被发现于黑龙江上游, 但历史上出现的 10 种鱼类在此江段没有被发现, 包括青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、

蒙古鲌 (*Culter mongolicus*)、鳊 (*Elopichthys bambusa*)、鲢 (*Megalobrama skolkovii*)、赤眼鲮 (*Squaliobarbus curriculus*)、卡达白鲑 (*Coregonus chadary*) 等 6 种大型鱼类, 以及 1 种外来鱼类湖拟鲤 (*Rutilus rutilus lacustris*)。

本研究将最大个体体长大于 20 cm 的鱼类称为大中型鱼类。按体型大小划分, 2020—2024 年, 黑龙江上游以小型鱼类(56.72%)为主, 大中型鱼类(43.28%)次之; 按摄食习性划分, 主要以杂食性(55.22%)为主, 其次为肉食性(37.31%)、草食性(4.48%)以及滤食性(2.99%); 以生活水层划分, 主要以底层鱼类(53.73%)为主, 其次为中下层鱼类(29.41%); 按生活习性划分, 83.58%的鱼类为定居性鱼类, 洄游性鱼类占比较少(16.42%), 其中江海洄游性鱼类 2 种, 为大麻哈鱼和日本七鳃鳗(表 1)。2023 年据渔民反映在呼玛江段发现了大麻哈鱼的踪迹, 这是近 30 年来的首次发现。

2.2 优势种

基于 2020 年秋季数据分析, 黑龙江上游各江段鱼类群落优势种种类组成存在空间差异。黑龙江上游优势种有 3 种, 其中洛氏鲮 (*Rhynchocypris lagowskii*) 为绝对优势种, 其次为黑龙江鲮 (*Rhodeus sericeus*) 和棒花鱼 (*Abbottina rivularis*), 分别占 2020 年秋季黑龙江上游鱼类总数量的 50.08%、34.30% 和 3.28%, 占总重量的 24.06%、22.63% 和 10.69%; 重要种 9 种, 包括瓦氏雅罗鱼 (*Leuciscus waleckii waleckii*)、拟赤梢鱼 (*Pseudaspius leptocephalus*)、银鲴 (*Xenocypris argentea*)、唇鲮 (*Hemibarbus labeo*)、马口鱼 (*Opsariichthys bidens*)、葛氏鲈塘鳢 (*Perccottus glenii*)、大鳍鱮 (*Acheilognathus macropterus*)、拉林棒花鱼、贝氏鲮 (*Hemiculter bleekeri*)。黑河江段的优势种种类最多(6 种), 开库康江段的优势种种类最少(3 种)。从季节角度分析, 优势种组成也存在差异。黑河江段, 2021 年春季(7 种)和 2020 年秋季(6 种)的优势种组成明显不同, 除银鲴和唇鲮在两个季节均为优势种外, 其余优势种均不相同(表 2)。

2.3 多样性

2.3.1 空间差异 2020 年秋季黑龙江上游鱼类的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')的变化范围为

1.81~2.47; Margalef 物种丰富度指数(D')的变化范围为 1.52~2.78; Pielou 均匀度指数(J')的变化范围为 0.60~0.74。其中黑河江段的 H' 和 D' 均最高(图 2), 黑河江段秋季的鱼类生物多样性高于春季(图 3)。

从空间角度分析, 黑河江段与其他 3 个江段之间的 H' 均不存在显著性差异, 但其他三个江段之间的 H' 存在显著性差异($P<0.05$); 仅呼玛江段与开库康江段的 D' 存在显著性差异($P<0.05$), 其余江段之间的均不存在显著性差异; 除黑河江段与洛古江段, 呼玛江段与洛古江段的 J' 不存在显著差异外, 其余江段之间的 J' 存在显著性差异($P<0.05$)。

2.3.2 季节差异 黑河江段 2020 年春季和 2021 年秋季的 H' 分别为 2.53 和 2.47, D' 分别为 2.43 和 2.78, J' 分别为 0.76 和 0.74。通过 t 检验得, 春、秋两季的 H' 、 D' 和 J' 均存在显著性差异($P<0.05$)(图 3)。

2.4 种类组成相似性

聚类分析结果显示(图 4), 2020 年秋季黑龙江上游干流鱼类群落的整体相似度较低, 为 26.9%; 可分为 2 组: I 组为开库康江段和洛古江段, II 组为呼玛江段和黑河江段。其中开库康江段和洛古江段的相似度最高(62.04%)。NMDS 分析结果(图 5)与聚类分析结果基本一致, 本次检验的 Stress=0, 表明数据的排序结果非常准确, 具有很高的解释力度和可信度。

3 讨论

3.1 黑龙江上游鱼类的种类组成

本研究于黑龙江上游共发现鱼类 67 种, 略低于历史纪录的 70 种, 鱼类的种类组成存在差异, 其中日本七鳃鳗等 9 种鱼类为首次发现。原因可能有以下三个方面。第一, 分子生物技术的迅猛发展推动了多种先进检测方法在鱼类品种鉴定中的广泛应用^[25]。这种技术提高了鉴定的准确性, 弥补了传统形态学鉴定的不足。如下游黑龙江茴鱼是通过分子鉴定技术发现的中国黑龙江水系茴鱼属新纪录种^[26]。第二, 捕捞工具的差异可能导致调查结果的不同。杨海乐等^[27]在对禁捕后长江

表 1 黑龙江上游鱼类名录
Tab. 1 List of fish species in the upper reaches of the Heilongjiang River

目 order	科 family	属 genus	种 species	濒危等级 endangerment category	生态类型 ecological type	2020–2024	2001–2002	1980–1990
鲟形目 Acipenseriformes	鲟科 Acipenseridae	鲟属 <i>Huso</i>	**达氏鲟 <i>Huso dauricus</i>	CR	P, L	+	+	+
		鲟属 <i>Acipenser</i>	*施氏鲟 <i>Acipenser schrenckii</i>	CR	P, D	+	+	+
鲱形目 Gadiformes	鲱科 Gadidae	江鲱属 <i>Lota</i>	江鲱 <i>Lota lota</i>	VU	P, D	+	+	+
		七鳃鳗属 <i>Lampetra</i>	*日本七鳃鳗 <i>Lampetra japonica</i>	VU	O, D	+	–	–
			*雷氏七鳃鳗 <i>Lampetra reissneri</i>	VU	O, D	+	+	+
鲈形目 Siluriformes	鲈科 Bagridae	黄颡鱼属 <i>Pelteobagrus</i>	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	LC	O, D	+	+	+
			光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	LC	P, L	+	+	+
		拟鲈属 <i>Pseudobagrus</i>	乌苏里拟鲈 <i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	LC	P, D	+	+	+
			鲇 <i>Silurus asotus</i>	LC	P, D	+	+	+
		鲈塘鳢属 <i>Percottus</i>	葛氏鲈塘鳢 <i>Percottus glenii</i>	LC	P, D	+	+	+
鲈形目 Perciformes	沙塘鳢科 Odontobutidae	鲈属 <i>Siniperca</i>	鲈 <i>Siniperca chuatsi</i>	LC	P, D	+	+	+
			乌鳢 <i>Channa argus</i>	LC	P, D	+	+	+
		棒花鱼属 <i>Abbottina</i>	棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	LC	O, D	+	+	+
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	鳊属 <i>Parabramis</i>	拉林棒花鱼 <i>Abbottina lalinensis</i>	LC	O, D	+	–	–
			鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	LC	O, L	+	+	+
			红鳍鲌 <i>Chanodichthys erythropterus</i>	LC	P, U	–	–	–
		鲃属 <i>Culter</i>	翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	LC	P, U	+	+	+
			蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	LC	O, U	–	+	+
		鲮属 <i>Hemiculter</i>	鲮 <i>Hemiculter leuciscus</i>	LC	O, U	+	+	+
			贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	LC	O, U	+	+	+
		草鱼属 <i>Ctenopharyngodon</i>	草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	LC	H, U	+	+	+
			青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	LC	P, L	–	+	+
		鲴属 <i>Xenocypris</i>	银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	LC	H, L	+	+	+
			细鳞斜颌鲴 <i>Xenocypris microlepis</i>	LC	O, L	–	+	+

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

目 order	科 family	属 genus	种 species	濒危等级 endangerment category	生态类型 ecological type	2020–2024	2001–2002	1980–1990
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	鲮属 <i>Phoxinus</i>	湖鲮 <i>Rhynchocypris percunurus</i>	LC	O, D	+	+	+
			真鲮 <i>Phoxinus phoxinus</i>	LC	O, D	+	+	+
			花江鲮 <i>Phoxinus czezanowskii</i>	LC	O, D	+	+	+
			洛氏鲮 <i>Rhynchocypris lagowskii</i>	LC	O, D	+	+	+
		颌须鲮属 <i>Gnathopogon</i>	东北颌须鲮 <i>Gnathopogon manischuricus</i>	LC	O, D	+	+	+
			唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	LC	O, L	+	+	+
		鲮属 <i>Hemibarbus</i>	花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	LC	O, L	+	+	+
			银鲫 <i>Carassius gibelio</i>	LC	O, L	+	+	+
		鲫属 <i>Carassius</i>	犬首鲫 <i>Gobio cynocephalus</i>	LC	P, D	+	+	+
			高体鲫 <i>Gobio soldatovi</i>	LC	P, D	+	+	+
		鲃属 <i>Gobio</i>	细体鲃 <i>Gobio tenuicarpus</i>	LC	P, D	+	+	+
			凌源鲃 <i>Gobio lingyuanensis</i>	LC	P, D	–	+	+
			鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	LC	O, D	+	+	+
			△湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus lacustris</i>	LC	O, L	–	–	+
		鲢属 <i>Hypophthalmichthys</i>	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	LC	F, U	+	+	+
			鲂 <i>Megalobrama skolkovii</i>	LC	O, L	–	+	+
		鳊属 <i>Elopichthys</i>	鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	LC	P, U	–	+	+
			马口鱼属 <i>Opsariichthys</i>	LC	O, U	+	+	+
		麦穗鱼属 <i>Pseudorasbora</i>	麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	LC	O, L	+	+	+
			拟赤梢鱼 <i>Pseudaspius leptoccephalus</i>	LC	P, L	+	+	+
		赤眼鲮属 <i>Squaliobarbus</i>	赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	LC	O, L	–	+	+
			高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	LC	O, U	+	–	–
		鲮属 <i>Rhodeus</i>	黑龙江鲮 <i>Rhodeus sericeus</i>	LC	O, D	+	+	+
			平口鲮 <i>Ladislavia taczanowski</i>	LC	O, L	+	+	+
		鲮属 <i>Sarcocheilichthys</i>	东北鲮 <i>Sarcocheilichthys lacustris</i>	LC	O, L	+	+	+
			黑鳍鲮 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	LC	O, L	+	–	+
			克氏鲮 <i>Sarcocheilichthys czeraskii</i>	LC	O, L	+	+	–

(待续 to be continued)

(续表 1 Tab. 1 continued)

目 order	科 family	属 genus	种 species	濒危等级 endangerment category	生态类型 ecological type	2020–2024	2001–2002	1980–1990
鲢形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	蛇鲇属 <i>Saurogobio</i>	蛇鲇 <i>Saurogobio dabryi</i>	LC	O, D	+	+	+
		似白鲇属 <i>Paraleucogobio</i>	条纹似白鲇 <i>Paraleucogobio strigatus</i>	LC	PD	+	+	+
		突吻鲇属 <i>Rostrogobio</i>	突吻鲇 <i>Rostrogobio amurensis</i>	LC	O, D	+	+	+
		雅罗鱼属 <i>Leuciscus</i>	瓦氏雅罗鱼 <i>Leuciscus waleckii waleckii</i>	LC	O, L	+	+	+
		银鲇属 <i>Squalidus</i>	银鲇 <i>Squalidus argentatus</i>	LC	O, L	+	+	+
		鲌属 <i>Aristichthys</i>	兴凯银鲇 <i>Squalidus chankaensis</i>	LC	P, L	+	+	+
		鲈属 <i>Gobiobotia</i>	△ 鲌 <i>Aristichthys nobilis</i>	LC	F, U	+	+	+
		鲈属 <i>Acheilognathus</i>	潘氏鲈 <i>Gobiobotia pappenheimi</i>	DD	P, D	+	+	+
		鲈属 <i>Acheilognathus</i>	大鳞鲈 <i>Acheilognathus macropterus</i>	LC	H, U	+	+	+
		鲈属 <i>Acheilognathus</i>	兴凯鲈 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	LC	H, U	+	+	+
		北鲈属 <i>Lefua</i>	北鲈 <i>Lefua costata</i>	DD	O, D	+	+	+
		副泥鳅属 <i>Paramisgurnus</i>	大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	LC	O, D	+	+	+
		花鲈属 <i>Cobitis</i>	北方花鲈 <i>Cobitis granoei</i>	LC	O, D	+	+	+
		泥鳅属 <i>Misgurnus</i>	黑龙江花鲈 <i>Cobitis lutheri</i>	LC	O, D	+	+	+
		泥鳅属 <i>Misgurnus</i>	黑龙江泥鳅 <i>Misgurnus mohoi</i>	LC	O, D	+	+	+
鲑形目 Salmoniformes	狗鱼科 Esocidae 茴鱼科 Thymallidae 鲑科 Salmonidae	须鲈属 <i>Barbatula</i>	北方须鲈 <i>Barbatula nuda</i>	LC	O, D	+	+	+
		狗鱼属 <i>Esox</i>	黑斑狗鱼 <i>Esox reicherti</i>	LC	P, L	+	+	+
		茴鱼属 <i>Thymallus</i>	黑龙江茴鱼 <i>Thymallus grubii</i>	LC	P, L	+	+	+
		大麻哈鱼属 <i>Oncorhynchus</i>	* 下游黑龙江茴鱼 <i>Thymallus tugarinae</i>	–	PL	+	–	–
		白鲑属 <i>Coregonus</i>	大麻哈鱼 <i>Oncorhynchus keta</i>	LC	P	+	–	+
		细鳞鲑属 <i>Brachymystax</i>	卡达白鲑 <i>Coregonus chadary</i>	NT	F, L	+	+	+
		哲罗鲑属 <i>Hucho</i>	* 细鳞鲑 <i>Brachymystax lenok</i>	EN	P, D	+	–	+
		杜父鱼属 <i>Cottus</i>	* 哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	EN	P, D	+	+	+
		中杜父鱼属 <i>Mesocottus</i>	杂色杜父鱼 <i>Cottus poecilopus</i>	LC	P, D	+	+	+
		杜父鱼科 Cottidae	黑龙江中杜父鱼 <i>Mesocottus haiteji</i>	LC	P, D	+	+	+

注: P: 肉食性; O: 杂食性; H: 草食性; F: 滤食性; U: 中上层; L: 中下层; D: 底层; CR: 极危; EN: 濒危; VU: 易危; NT: 近危; LC: 无危; DD: 数据缺乏; △: 外来鱼类; –: 未发现; **: 国家一级保护野生动物; *: 国家二级保护野生动物。表中部分数据参考文献《黑龙江鱼类志》^[1]、《黑龙江、绥芬河、兴凯湖渔业资源》^[2]、《东北地区淡水鱼类》^[18]。

Note: P: carnivorous; O: omnivorous; H: herbivorous; F: filterability; U: middle upper layer; L: middle and lower layers; D: ground floor; M: migratory; S: sedentary; CR: extremely dangerous; EN: endangered; VU: vulnerable; NT: near danger; LC: least concern; DD: data deficient; “–” is not observed; **: first-class national protected wild animals; *: wildlife under second-class national protection. Some data in the table please refer to: *Heilongjiang Fishes*^[1], *Fishery Resources of Heilongjiang, Suifen River, and Xingkai Lake*^[2], and *Freshwater Fishes in Northeast China*^[18].

表 2 2020 秋季黑龙江上游鱼类群落组成
Tab. 2 Composition of fish communities in the upper reaches of the Heilongjiang River in autumn of 2020

种类 species	N/%					W/%					F/%					IRI				
	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream
洛氏鲮 <i>Rhynchocypris lagowskii</i>	4.52	1.02	71.66	17.20	50.08	1.32	2.31	36.01	14.23	24.06	100	100	100	100	100	583.91	332.81	10766.95	3143.57	7413.69
黑龙江鲢 <i>Rhodeus sericeus</i>	—	—	22.44	69.69	34.30	—	—	18.07	45.92	22.63	—	—	100	100	50	—	—	4051.56	11560.55	2846.46
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	1.13	6.18	1.62	6.95	3.28	2.99	11.00	12.22	9.73	10.69	100	100	100	100	100	412.01	1717.58	1384.63	1667.69	1397.36
瓦氏雅罗鱼 <i>Leuciscus waleckii</i>	0.90	5.50	0.46	1.84	1.04	3.79	15.74	5.93	11.55	8.25	100	100	100	100	100	468.60	2123.67	638.56	1339.59	928.25
唇鲮 <i>Hemibarbus labeo</i>	10.04	3.05	1.15	0.87	1.61	3.15	3.95	6.10	2.32	4.62	100	100	100	100	100	1318.87	699.98	724.66	319.17	622.31
银鲮 <i>Xenocypris argentea</i>	2.92	1.35	0.47	0.03	0.50	12.64	2.59	6.98	0.58	5.24	100	100	100	100	100	1556.55	394.79	745.10	61.87	574.36
葛氏鲈塘鳢 <i>Percottus glenii</i>	0.19	49.92	0.15	1.53	2.05	0.36	19.64	0.54	4.72	3.50	100	100	100	100	100	55.01	6955.26	69.09	624.62	554.39
拟赤梢鱼 <i>Pseudaspius leptocephalus</i>	0.52	—	0.72	0.73	0.69	2.06	—	7.65	4.49	5.61	100	—	100	100	75	258.22	—	837.75	522.29	472.95
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	1.93	7.70	0.09	—	0.39	10.21	26.25	1.25	—	3.98	100	100	100	—	75	1214.18	3395.20	133.12	—	327.92
拉林棒花鱼 <i>Abbottina lalinensis</i>	28.70	—	0.51	—	1.87	16.61	—	1.21	—	1.97	100	—	100	—	50	4530.45	—	172.37	—	192.01

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

种类 species	N/%				W/%				F/%				IRI			
	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	IRI
大鳍鱮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	16.40	2.71	—	—	0.97	24.71	2.17	—	—	2.15	100	100	—	—	50	4110.88 488.22 155.78
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	0.24	0.76	0.43	—	0.31	0.67	1.03	2.75	—	1.66	100	100	100	317.75	75	90.70 178.81 147.44
黑龙江泥鳅 <i>Misgurnus mohoii</i>	2.68	18.70	—	0.18	0.76	1.22	8.94	—	0.29	1.02	100	100	—	—	50	390.27 2763.40 89.3
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	14.09	—	0.02	—	0.77	5.40	—	0.03	—	0.44	100	—	100	—	50	1949.02 4.55 60.54
鲫 <i>Carassius auratus</i>	—	1.02	0.05	0.15	0.10	—	4.56	0.07	0.72	0.67	—	100	100	11.41	75	— 557.96 86.59 57.91
鲇 <i>Silurus asotus</i>	0.24	0.34	0.02	0.08	0.06	0.10	0.04	0.27	1.31	0.52	100	100	100	28.16	100	33.53 38.21 139.20 57.68
江鲢 <i>Lota lota</i>	1.32	—	—	0.03	0.08	4.97	—	—	1.65	0.85	100	—	—	—	50	629.42 167.17 46.24
鲮 <i>Hemiculter leuciscus</i>	—	0.68	0.12	—	0.09	—	1.16	0.79	—	0.55	—	100	100	91.01	50	— 183.37 31.99
红鳍鲌 <i>Chanodichthys erythropterus</i>	0.38	—	—	0.03	0.03	3.16	—	—	0.35	0.34	100	—	—	—	50	354.15 37.20 18.62
蛇鮈 <i>Saurogobio dabryi</i>	2.83	—	0.05	—	0.19	0.48	—	0.06	—	0.07	100	—	100	11.07	50	330.45 12.74
日本七鳃鳗 <i>Lampetra japonica</i>	0.14	0.34	0.02	0.07	0.05	0.15	0.11	0.02	0.13	0.07	100	100	100	3.14	100	29.64 19.76 11.42

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

种类 species	N/%				W/%				F/%				IRI			
	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	黑河 Heihe	呼玛 Huma	开库康 Kaikukang	洛古 Luogu	上游 upstream	IRI
	Heihe	Huma	Kaikukang	Luogu	upstream	Heihe	Huma	Kaikukang	Luogu	upstream	Heihe	Huma	Kaikukang	Luogu	upstream	IRI
细鳞鲑 <i>Brachymystax lenok</i>	-	-	-	0.03	0.008	-	-	-	1.57	0.43	-	-	-	159.23	11.01	
银鮡 <i>Squalidus argentatus</i>	5.89	-	-	-	0.31	1.04	-	-	-	0.08	100	-	-	-	25	10.00
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	2.50	0.42	-	-	0.15	0.35	0.02	-	-	0.03	100	100	-	-	50	8.87
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	0.57	-	-	0.03	0.04	1.23	-	-	0.11	0.13	100	-	-	-	50	8.20
东北鲈 <i>Sarcocheilichthys lacustris</i>	-	-	-	0.46	0.14	-	-	-	0.26	0.07	-	-	-	-	25	5.14
条纹似白鮡 <i>Paraleucogobio strigatus</i>	-	-	0.02	0.03	0.02	-	-	0.04	0.04	0.03	-	-	100	7.22	50	2.73
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	0.66	-	-	-	0.04	0.93	-	-	-	0.07	100	-	-	-	25	2.72
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	0.24	-	-	-	0.01	1.12	-	-	-	0.09	100	-	-	-	25	2.52
北方花鮡 <i>Cobitis granoei</i>	0.38	-	-	0.03	0.03	0.15	-	-	0.01	0.01	100	-	-	-	50	2.25
达氏鲿 <i>Huso dauricus</i>	0.24	-	-	-	0.01	0.97	-	-	-	0.08	100	-	-	-	25	2.22

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

种类 species	N/%						W/%						F/%						IRI			
	黑河	呼玛	开库康	洛古	上游	黑河	呼玛	开库康	洛古	上游	黑河	呼玛	开库康	洛古	上游	黑河	呼玛	开库康	洛古	上游		
	Heihe	Huma	Kaikukang	Luogu	upstream	Heihe	Huma	Kaikukang	Luogu	upstream	Heihe	Huma	Kaikukang	Luogu	upstream	Heihe	Huma	Kaikukang	Luogu	upstream		
鳊	—	0.34	—	—	0.01	—	0.48	—	—	0.05	—	100	—	—	25	—	81.82	—	—	1.39		
<i>Siniperca chuatsi</i>																						
北鲈	0.24	—	—	—	0.01	0.15	—	—	—	0.01	100	—	—	—	25	39.06	—	—	—	0.62		
<i>Lefua costata</i>																						
北方须鲈	—	—	—	0.03	0.008	—	—	—	0.04	0.01	—	—	—	100	25	—	—	—	4.32	0.50		
<i>Barbatula nudus</i>																						
突吻鲈	—	—	0.02	—	0.01	—	—	0.02	—	0.008	—	—	100	—	25	—	—	3.15	—	0.46		
<i>Rostrogobio amurensis</i>																						
犬首鲈	0.14	—	—	—	0.008	0.05	—	—	—	0.004	100	—	—	—	25	19.45	—	—	—	0.30		
<i>Gobio cynocephalus</i>																						

注: N 为某一类尾数占总渔获物尾数的比例(%), W 为某一类重量占总重量的比例(%); F 为某一类出现的站数占总调查站数的比例(%), IRI 为相对重要性指数. 上游为四个江段的汇总.

Note: N is the ratio of a species' catch count to the total number of individuals captured. W is the ratio of a species' catch weight to the total weight captured. F is the proportion of stations occupied by a particular species relative to the total surveyed stations. IRI is index of relative important. The upstream is the summary of the four river sections.

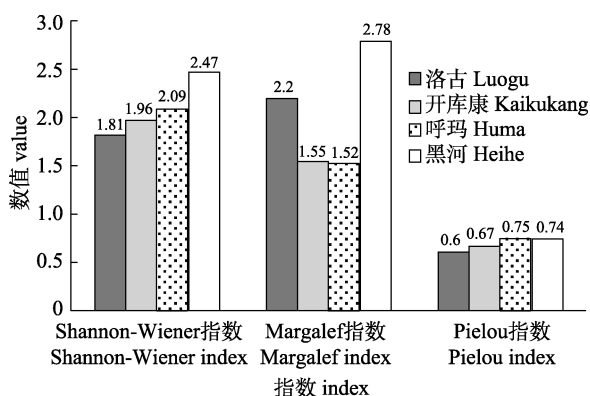


图 2 2020 年秋季黑龙江上游鱼类物种多样性空间变化
Fig. 2 Spatial variations in fish species diversity in the upper reaches of the Heilongjiang River in autumn of 2020

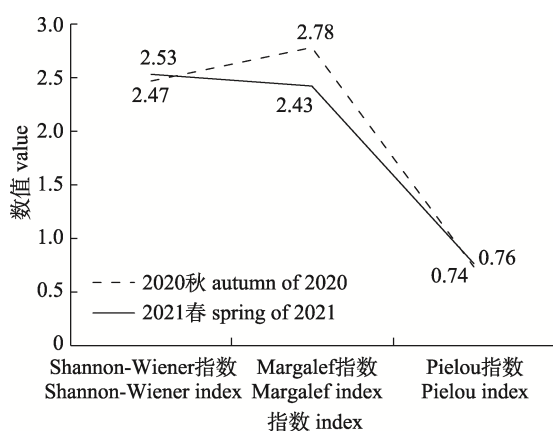


图 3 黑河江段鱼类物种多样性季节差异
Fig. 3 Seasonal variation in fish species diversity in the Heihe section of the upper reaches of the Heilongjiang River

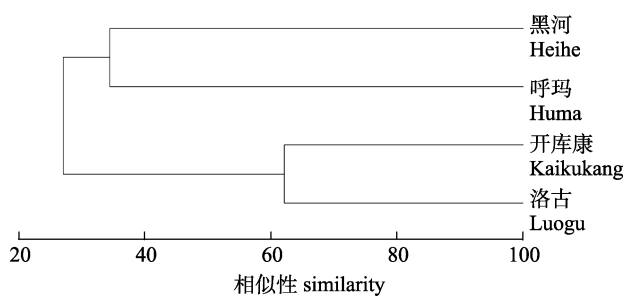


图 4 2020 年秋黑龙江上游鱼类群落结构聚类
Fig. 4 Clustering of fish community structure in the upper reaches of the Heilongjiang River in autumn of 2020

的鱼类资源监测的技术指标建议中提到网具的材质和设计、网具类型和规格的使用以及捕捞的时间和地点均会影响到捕捞结果。第三, 历史调查的时间和地点与本研究不同, 这在其他水域鱼类群落结构的研究中已有相关报道, 如姜成朴^[28]在对漳江口红树林区鱼类群落结构变化的研究中发

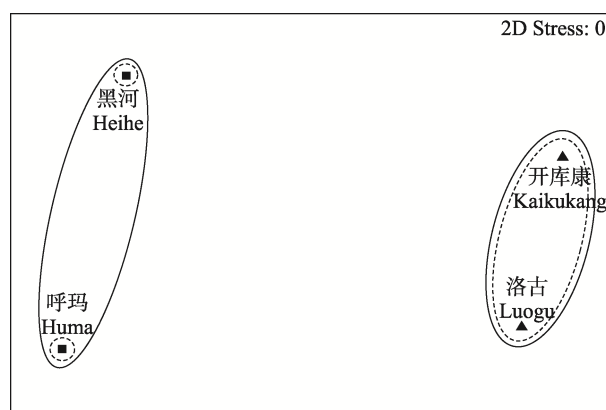


图 5 2020 年秋黑龙江上游鱼类群落结构 NMDS 排序
实线椭圆表示相似度为 30%; 虚线椭圆表示相似度为 60%.
Fig. 5 NMDS ranking of fish community structure in the upper reaches of the Heilongjiang River in autumn of 2020
Ellipses in solid line denote 30% similarity; and ellipses in dotted line denote 60% similarity.

现, 鱼类群落结构具有较高的空间异质性和时间变化性; 在海州湾鱼类群落结构的研究中, 不同月份和站点的鱼类种类组成存在显著差异^[29]; 太湖流域的不同季节和水系间的鱼类多样性存在显著差异^[29]。日本七鳃鳗为洄游型鱼类, 每年秋冬季节, 性成熟的亲本溯河洄游^[30], 历史上在黑龙江上游没有发现日本七鳃鳗, 可能是由于调查时间没有覆盖秋季。

按温度适应性划分, 可将栖息水温为 $<20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或繁殖水温 $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的鱼类称为“冷水性鱼类”, 当水体温度超过 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时该鱼类会出现代谢紊乱甚至死亡的现象^[31]。我国黑龙江流域作为北半球重要的冷水性鱼类分布区, 拥有丰富的冷水性鱼类资源, 被记录的典型冷水性鱼类共 23 种^[32-33]。本研究发现, 黑龙江上游江段集中分布着 20 种冷水性鱼类, 占全流域该类群物种总数的 86.96%, 这一高比例分布特征揭示了该区域独特的生态环境优势。从水文地理特征分析, 黑龙江上游地处大兴安岭山地, 常年最高水温不超过 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 且水体溶解氧含量达 7.45 mg/L 以上, 具备典型冷水性鱼类所需的低温高氧环境^[34-35]。水质特征显示, 黑龙江上游漠河北极村至呼玛河段的水质评价结果表明, 其水质常年保持 I~II 类标准, 特别是溶解氧、高锰酸盐指数等关键指标显著优于中下游断面, 形成了冷水资源保护的天然屏障^[36]。这种

由低温环境、高溶氧水体、稳定水文情势构成的复合生境系统,为冷水性鱼类完成完整的生命周期提供了必要条件。然而,CMIP6 模型显示,黑龙江流域在未来 SSP2-4.5 情景下流域年径流量将增加 22.5%,可能通过改变热通量分布影响鱼类栖息地稳定性^[37];在 SSP5-8.5 情景下黑龙江流域 2070 年前径流量较基准期(1961—2010)将减少 15%~20%,而水温升幅可能超过 2 °C,进一步威胁冻土区和湿地生态系统^[37],这预示着在气候变化背景下黑龙江冷水性鱼类的生存空间将受到威胁与挑战,因此,需加强黑龙江上游生态敏感区的长期监测与适应性管理。鱼类的生态类型按照个体大小、栖息地水层和食性等进行分析,与历史数据对比,黑龙江上游小型鱼类、杂食性鱼类及底层鱼类占比均有所上升,大型鱼类、肉食性鱼类、滤食性鱼类和中下层鱼类占比略有下降,表明黑龙江上游鱼类资源衰退不明显。于 2024 年 10 月下旬在黑龙江呼玛江段发现了 2 尾大麻哈鱼,这是时隔 30 年在黑龙江呼玛江段再次发现大麻哈鱼的踪迹,其洄游距离是 30 年内在黑龙江干流洄游大麻哈鱼中最远的一次,推测可能是增殖放流的鱼类。历史上大麻哈鱼作为典型的江海洄游性鱼类,在渔业经济领域占有重要地位^[38]。据姜作发等^[39]的研究发现,在 20 世纪 50~60 年代,大麻哈鱼的平均产量为 100 万尾左右。但随着气候变化、过度捕捞以及人类活动等的影响,大麻哈鱼的现有资源量不及 20 世纪 80 年代的十分之一^[40]。通过增殖放流等保护措施的进行,大麻哈鱼目前的种群资源得到一定的恢复,但与历史数据相比仍维持在较低水平。根据大麻哈鱼在海洋中生长发育需 2~5 年,待性成熟后洄游到河流中进行繁殖的生态习性^[40]推测,本次发现的大麻哈鱼有很大可能是 2018—2021 年在呼玛河增殖放流的大麻哈鱼。此外,2019 年李培伦等^[41]验证了呼玛河原始产卵场生境功能,提出呼玛河内大麻哈鱼的产卵场生境功能尚存。结合大麻哈鱼具有洄游到出生地进行繁殖的特性^[40],本次在黑龙江呼玛江段发现的大麻哈鱼很大可能会进入呼玛河进行自然产卵,当然这一结论仍需要进一步监测印证,如

情况属实,这将成为突破大麻哈鱼种群恢复难题的关键。

3.2 黑龙江上游鱼类多样性的空间变化

调查发现,2020 年秋季,黑龙江上游鱼类多样性存在空间差异。黑河江段的 Shannon-Wiener 多样性指数(H')和 Margalef 物种丰富度指数(D')均为最高的数值。丰富度指数和均匀度指数可以反映一片水域中鱼类的物种数与种类的分布情况,较高的丰富度指数和均匀度指数意味着黑河江段鱼类种类较多且分布均衡,表明该水域鱼类群落结构复杂且稳定^[42]。这一现象可能与黑河江段的生境条件有很大关系。黑河江段位于黑龙江上游和中游的交界处,相较于更接近源头的洛古江段,该江段水体中有丰富的浮游植物,水质优良,为鱼类提供了优质栖息场所^[43]。此外,黑河江段的水质评价显示,该区域水质状况良好,达到国家 I~II 类标准,符合珍稀水生生物栖息、鱼类繁殖及幼鱼觅食的生态环境需求^[44]。

根据聚类分析结果显示,2020 年秋季洛古江段与开库康江段的鱼类种类组成相似度高达 62.04%,这一现象一方面可能是因为相邻地理位置的影响。Nekola 等^[45]提出两地的物种相似性随距离的增加而降低,即相似性随距离衰减。洛古江段与开库康江段地理位置接近,在地理位置邻近的水域中,鱼类可能共享相似的生态位,这种生态位的重叠使得这些水域中的鱼类群落具有较高的相似性^[45]。另一方面,可能是环境过滤作用引起的。环境过滤作用是影响鱼类群落结构的重要因素^[46]。Bower 等^[47]的分析显示,不同生境中的物理和化学条件,对鱼类的生存和分布产生筛选作用,导致相似环境条件下鱼类的群落结构是相似的。

3.3 黑河江段鱼类种类组成的季节变化

数据分析显示,黑河江段春秋两季的鱼类种类组成存在较大差异。首先,可能是因为季节变化导致水温等环境因子的变化,直接影响鱼类的分布和多样性^[44]。对作为黑龙江主要支流之一的穆棱河流域的研究显示,春季和秋季的水环境因子如溶解氧(DO)、pH、水温等在不同季节表现出显著差异,这些变化直接影响鱼类群落结构和多

样性^[48]。其次,鱼类的季节多样性不仅受到环境因素的影响,还与其自身繁殖周期相关^[49],如犬首鮡、泥鳅、葛氏鲈塘鳢和鲫在春季均为优势种,但在秋季均不是优势种。这一现象可能与其繁殖时间密切相关。犬首鮡、泥鳅、葛氏鲈塘鳢、鲫的繁殖时间主要集中在每年的5—7月,鱼类的集群行为可能导致在春季这几种鱼的捕捞量占比较大,从而成为春季的优势种。再者,可能与鱼类的产卵行为有关。如在本研究中,江鳕在2020年秋季为一般种,但在2021年春季并未监测到。作为鳕科中唯一的淡水栖息种,典型的冷水性鱼类,江鳕从10月底11月初开始陆续溯游江中进行冰下产卵,直到次年1月中上旬基本结束产卵,其后从1月底到3月中旬有零星产卵,到3月中下旬开始降游至河流或湖泊^[50];此外,2020年秋季发现达氏鳇,这可能与增殖放流这一措施有关。据报道,每年的七、八月为鲟鳇的增殖放流时间,这进一步印证了在秋季发现达氏鳇的可能性。

3.4 黑龙江上游鱼类保护建议

为进一步保护黑龙江上游的鱼类资源,建议可采取以下措施:加强渔业资源管理,继续实施禁渔制度,确保主要鱼类在繁殖期得到保护,维护渔业资源的可持续性。收集、保存珍稀濒危鱼类种质资源,开展人工繁育工作,加强施氏鲟、达氏鳇、细鳞鲑、哲罗鲑、大麻哈鱼等鱼类的增殖放流力度。加强对珍稀濒危鱼类栖息地的保护,让自然水域成为其天然种质资源库。本研究在黑龙江呼玛江段发现了大麻哈鱼,根据其生活洄游习性,推测可能会进入呼玛河等黑龙江支流进行产卵。如呼玛河,相关研究显示其具备大麻哈鱼的产卵场环境^[42]。因此,建议呼玛河等支流继续保持目前无控制性水利工程的状态,为大麻哈鱼提供洄游通道,以实现其资源的自然恢复。另外,由于黑龙江上游为中俄界江水域,建议加强中俄国际合作,建立长效合作机制,共同保护渔业资源。加强科学研究,针对达氏鳇、施氏鲟、哲罗鲑、细鳞鲑等珍稀濒危鱼类的生活史、关键栖息地及其修复技术开展研究工作,为保护这些鱼类提供基础资料和理论指导。

参考文献:

- [1] Zhang J M. Fish fauna of Heilongjiang Province[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1995. [张觉民. 黑龙江省鱼类志[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1995.]
- [2] Dong C Z, Jiang Z F. Fishery resources of Suifenhe xingkai lake in Heilongjiang Province[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 2004. [董崇智, 姜作发. 黑龙江·绥芬河·兴凯湖渔业资源[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2004.]
- [3] Heilongjiang Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs. Heilongjiang Province Aquatic Animal Protection Catalogue (2021 Revision)[M]. Harbin: Heilongjiang Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs, 2021. [黑龙江省农业农村厅. 黑龙江省水生动物保护名录(2021修订)[M]. 哈尔滨: 黑龙江省农业农村厅, 2021.]
- [4] Fu C Z. Spatial pattern and resource analysis of fish diversity in the Yangtze River Basin—with discussion on biodiversity and systematics of silverfish[D]. Shanghai: Fudan University, 2003. [傅萃长. 长江流域鱼类多样性空间格局与资源分析——兼论银鱼的生物多样性与系统发育[D]. 上海: 复旦大学, 2003.]
- [5] Li S F, Cheng J H, Yan L P. Spatial structures of fish communities on the continental shelf of the East China Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4377-4386. [李圣法, 程家骅, 严利平. 东海大陆架鱼类群落的空间结构[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4377-4386.]
- [6] Lin X Z, Li D M, Liu H Z, et al. Fish species diversity and its seasonal variations in the Chaozhou section of Hanjiang River, Guangdong Province[J]. Biodiversity Science, 2016, 24(2): 185-194. [林小植, 李冬梅, 刘焕章, 等. 广东韩江潮州江段鱼类多样性及季节变化[J]. 生物多样性, 2016, 24(2): 185-194.]
- [7] He W L, Liu P F, Zhan Z J, et al. Current status and seasonal variations in fish community structure in the Shijiu Lake, the Yangtze River-connected lake[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(6): 728-736. [贺婉路, 刘鹏飞, 詹政军, 等. 通江湖泊石臼湖鱼类群落结构现状及其季节变化[J]. 中国水产科学, 2021, 28(6): 728-736.]
- [8] Li L, Ma B, Jin X, et al. Structural and diversity characteristics of fish communities in the Motuo reach of the Yarlung Zangbo Grand Canyon[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(9): 1326-1336. [李雷, 马波, 金星, 等. 西藏雅鲁藏布江大峡谷墨脱江段鱼类群落结构及多样性的空间分布特征[J]. 中国水产科学, 2022, 29(9): 1326-1336.]
- [9] Ren M L. Heilongjiang fish[M]. Harbin: Heilongjiang People's Publishing House, 1981. [任慕莲. 黑龙江鱼类[M].

- 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1981.]
- [10] Zhang J M. Heilongjiang Fishery Resources[M]. Mudanjiang: Heilongjiang Korean Ethnic Publishing House, 1985. [张觉民. 黑龙江渔业资源[M]. 牡丹江: 黑龙江朝鲜民族出版社, 1985.]
- [11] Ma B, Sun J X, Jiang Z F. Taxonomic status of three fish species in *Thymallus* from upper Heilongjiang River based on mitochondrial control region sequence variation[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(2): 314-321. [马波, 孙家贤, 姜作发. 黑龙江上游3种茴鱼分类地位的线粒体 D-loop 序列变异分析[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 314-321.]
- [12] Dong C Z, Xia Z Z, Jiang Z F, et al. Fish composition characteristics of the Mohe section in the upper reaches of the Heilongjiang River[J]. Heilongjiang Fishery, 1996, (04): 19-22. [董崇智, 夏重志, 姜作发, 等. 黑龙江上游漠河江段的鱼类组成特征[J]. 黑龙江水产, 1996, 15(4): 19-22.]
- [13] Shao H L. Age, growth and diet of burbot (*Lota lota*) in the middle and upper reaches of the Heilongjiang River[D]. Dalian Ocean University, 2024. 邵慧丽. 黑龙江中上游江鳕(*Lota lota*)年龄、生长与食性研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2024.
- [14] Li Y S, Dong C Z, Zhao C G, et al. Fishery biology of lenok in the Heihe section of the upper reaches of the Heilongjiang River[J]. Journal of Fisheries, 2004, 17(1): 57-61. [李延松, 董崇智, 赵春刚, 等. 黑龙江上游黑河江段细鳞鱼渔业生物学研究[J]. 水产学杂志, 2004, 17(1): 57-61.]
- [15] Ma B, Fan Z T. Genetic diversity of Arctic grayling (*Thymallus* sp.) population from upper Heilongjiang River based on mitochondrial control region sequence[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2013, 26(6): 7-12. [马波, 范兆廷. 利用线粒体 D-loop 基因序列分析黑龙江上游北极茴鱼群体遗传结构[J]. 水产学杂志, 2013, 26(6): 7-12.]
- [16] Ma B, Jiang Z F, Huo T B. Analysis of genetic variation and geographic divergence of *Thymallus tugarinae* by microsatellite[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2009, 16(5): 678-688. [马波, 姜作发, 霍堂斌. 下游黑龙江茴鱼种群遗传变异及地理分化的微卫星分析[J]. 中国水产科学, 2009, 16(5): 678-688.]
- [17] Kuang Y Y, Tong G X, Yin J S, et al. Genetic structure of *Hucho taimen* (Pallas) from Heilongjiang River as inferred from mtDNA sequence[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(9): 4630-4639. [匡友谊, 佟广香, 尹家胜, 等. 线粒体序列分析黑龙江流域哲罗鲑的种群遗传结构[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4630-4639.]
- [18] Xie Y H. Freshwater fishes in northeast region of China[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2007. [解玉浩. 东北地区淡水鱼类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007.]
- [19] Zhao W G. Illustration of fish primary colors in Heilongjiang Province[M]. Beijing: Science Press, 2018. [赵文阁等. 黑龙江省鱼类原色图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 2018.]
- [20] 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.
- [21] Wan J H, Zhong C Y, Gao D C, et al. Structural characteristics of fish communities and their biodiversity in the cibi lake[J]. Wetland Science, 2024, 22(5): 727-734. [万家宏, 钟传艳, 高登成, 等. 苾碧湖鱼类群落结构特征及其生物多样性[J]. 湿地科学, 2024, 22(5): 727-734.]
- [22] Qiao Y L, Chen Z Z, Lin Z J. Changes of community structure of fishery species during spring and autumn in Beibu Gulf[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(5): 816-821. [乔延龙, 陈作志, 林昭进. 北部湾春、秋季渔业生物群落结构的变化[J]. 中国水产科学, 2008, 15(5): 816-821.]
- [23] Wilhm J L. Use of biomass units in Shannon's formula[J]. Ecology, 1968, 49(1): 153-156.
- [24] Wang Z Y, Zhu T B, Hu F F, et al. Fish community structure and species diversity in the main stream of the Jinsha River in the early ten-year fishing ban[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2024, 31(3): 286-300. [王忠原, 朱挺兵, 胡飞飞, 等. 十年禁渔初期金沙江干流鱼类群落结构及物种多样性[J]. 中国水产科学, 2024, 31(3): 286-300.]
- [25] Li Y Y, Liu Y G, Liu L X, et al. Germplasm identification techniques based on fish molecular systematics[J]. Genomics and Applied Biology, 2017, 36(1): 227-232. [李瑶瑶, 刘云国, 刘凌霄, 等. 基于分子系统学的鱼类种质鉴定技术[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(1): 227-232.]
- [26] Ma B, Huo T B, Jiang Z F. A new record species of the genus *Thymallus* (Salmoniformes, Thymallidae) in China[J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2007, 32(4): 986-988. [马波, 霍堂斌, 姜作发. 中国黑龙江水系茴鱼属一新纪录种(鲑形目, 茴鱼科)[J]. 动物分类学报, 2007, 32(4): 986-988.]
- [27] Yang H L, Yang J L, Fang D D, et al. Suggestions for the technical details of monitoring fish community in the Yangtze River after fishing-ban[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(2): 219-232. [杨海乐, 杨俊琳, 方冬冬, 等. 禁捕后长江鱼类资源监测的技术指标建议[J]. 水产学报, 2023, 47(2): 219-232.]
- [28] Jiang C P. The change of fish community structure and its stress factors analysing in Zhangjiang estuary mangrove area[D]. Xiamen: Xiamen University, 2019. 姜成朴. 漳江口红树林区鱼类群落结构变化及其压力因素分析研究[D].

厦门: 厦门大学, 2019.

- [29] Tang Y L, Cheng S S, Ma S Y, et al. Temporal-spatial variability in the composition of catch by a stow net installed at Haizhou Bay and its influencing factors[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(4): 831-844. [唐衍力, 成沙沙, 马舒扬, 等. 海州湾张网渔获物种类组成的时空变化及其主要影响因子[J]. 中国水产科学, 2017, 24(4): 831-844.]
- [30] Li Q F, Yan Y Z, Chu L, et al. Spatial and temporal patterns of stream fish assemblages within Taihu Basin[J]. Journal of Lake Sciences, 2016, 28(6): 1371-1380. [李其芳, 严云志, 储玲, 等. 太湖流域河流鱼类群落的时空分布[J]. 湖泊科学, 2016, 28(6): 1371-1380.]
- [31] Liu S, Lu T Y, Li S W. Research progress on vaccines for coldwater fish[J]. Chinese Journal of Preventive Veterinary Medicine, 2017, 39(1): 74-79. [刘帅, 卢彤岩, 李绍戌. 冷水性鱼类疫苗研究进展[J]. 中国预防兽医学报, 2017, 39(1): 74-79.]
- [32] Jiang Z F, Yin J S, Xu W, et al. A preliminary study on the growth of *Hucho taimen* under artificial rearing conditions[J]. Journal of Fisheries of China, 2003, 27(6): 590-594. [姜作发, 尹家胜, 徐伟, 等. 人工养殖条件下哲罗鱼生长的初步研究[J]. 水产学报, 2003, 27(6): 590-594.]
- [33] Liu Y, Xu G F, Mou Z B, et al. Evaluation of nutritive quality and nutritional components of the muscle of *Brachymystax lenok*[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2010, 32(1): 99-100. [刘洋, 徐革锋, 牟振波, 等. 黑龙江水系细鳞鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 营养学报, 2010, 32(1): 99-100.]
- [34] Lu J S, Xia Z Z, Dong C Z. Investigation for the inland cold water domain and its resources in China I—Investigation for the cold water domain and its resources in Heilongjiang Province[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2004, 17(2): 1-10. [陆九韶, 夏重志, 董崇智. 我国内陆冷水水域及其资源利用调查研究 I—黑龙江省冷水水域分布及其资源现状调查[J]. 水产学杂志, 2004, 17(2): 1-10.]
- [35] Lu L, Liu Y, Zhao C X, et al. Water quality and evaluation of fishery waters of Heilongjiang[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2002, 15(2): 69-73. [卢玲, 刘永, 赵彩霞, 等. 黑龙江、绥芬河、兴凯湖渔业水域水质及评价[J]. 水产学杂志, 2002, 15(2): 69-73.]
- [36] Lu H J, Xu S Q, Su X. Evaluation and prediction of water quality of Heilongjiang River based on matter element analysis method and grey prediction model[J]. Water Saving Irrigation, 2017(3): 65-69. [路豪杰, 徐淑琴, 苏鑫. 黑龙江干流水质评价与预测[J]. 节水灌溉, 2017(3): 65-69.]
- [37] Wen K, Gao B, Li M L. Quantifying the impact of future climate change on runoff in the Amur River Basin using a distributed hydrological model and CMIP6 GCM projections[J]. Atmosphere, 2021, 12(12): 1560.
- [38] Wang J L, Liu W, Tang F J. Analysis of biological traits of Chum salmon (*Oncorhynchus keta*Walbaum) in the Amur River, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(1): 93-100. [王继隆, 刘伟, 唐富江. 黑龙江水系(中国)大麻哈鱼生物学特征分析[J]. 中国水产科学, 2013, 20(1): 93-100.]
- [39] Jiang Z F, Huo T B, Ma B, et al. The situation of fish resources and selection of releasing fishes in Heilongjiang drainage basin[J]. Fishery Modernization, 2009, 36(2): 64-69. [姜作发, 霍堂斌, 马波, 等. 黑龙江流域鱼类资源现状及放流鱼类选择[J]. 渔业现代化, 2009, 36(2): 64-69.]
- [40] Wang J L, Li P L, Tang F J, et al. Protecting the magical Pacific salmon[J]. China Fisheries, 2022(6): 107-110. [王继隆, 李培伦, 唐富江, 等. 保护神奇的大麻哈鱼[J]. 中国水产, 2022(6): 107-110.]
- [41] Li P L, Liu W, Wang J L, et al. Reproductive characteristics and verification of original spawning ground of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Huma River[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2019, 32(6): 11-17. [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.]
- [42] Wang Y P, Kuang Z, Lin D Q, et al. Community structure and species diversity of fish around the Xinzhou shoal in the Anqing section of the Yangtze River, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(7): 2417-2426. [王银平, 匡箴, 蔺丹清, 等. 长江安庆新洲水域鱼类群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2020, 40(7): 2417-2426.]
- [43] Liu K, Yu C G, Zheng J, et al. The spatial niche and differentiation of major fish species in the waters east of the Zhoushan Islands in spring and autumn[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 28(1): 100-111. [刘坤, 俞存根, 郑基, 等. 舟山群岛东侧海域春秋季节主要鱼类空间生态位及其分化[J]. 中国水产科学, 2021, 28(1): 100-111.]
- [44] Li Z, Jiang Z F, Huo T B, et al. Dynamics of phytoplankton diversity and water quality evaluation in the middle reaches of Heilongjiang River[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(4): 671-678. [李喆, 姜作发, 霍堂斌, 等. 黑龙江中游浮游植物多样性动态变化及水质评价[J]. 中国水产科学, 2012, 19(4): 671-678.]
- [45] Nekola J C, White P S. The distance decay of similarity in biogeography and ecology[J]. Journal of Biogeography, 1999, 26(4): 867-878.
- [46] Poff N L. Landscape filters and species traits: Towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology[J]. Journal of the North American Benthological

- Society, 1997, 16(2): 391-409.
- [47] Bower L M, Winemiller K O. Fish assemblage convergence along stream environmental gradients: An intercontinental analysis[J]. *Ecography*, 2019, 42(10): 1691-1702.
- [48] Sun X, Hou W J, Li X Y, et al. Fish species diversity in Muling River Basin of Heilongjiang Province[J]. *China Environmental Science*, 2019, 39(10): 4435-4443. [孙旭, 侯文久, 李晓钰, 等. 黑龙江省穆棱河流域鱼类物种多样性研究[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(10): 4435-4443.]
- [49] Chattopadhyay N R. A review on the reproduction and development in fish[J]. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 2017, 1(6): 1747-1751.
- [50] Yang S X, Li D K, Yang Y Z, et al. Age, growth, feeding habits and reproduction of the burbot *Lota lota* in the upper reaches of the Mudan river including lake jingbo, China[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1989, 13(1): 5-16, 58. [杨树勋, 李东奎, 杨雨壮, 等. 牡丹江上游(含镜泊湖)江鳕年龄、生长、食性和繁殖的研究[J]. *水产学报*, 1989, 13(1): 5-16, 58.]

Spatio-temporal variations in fish community structure and diversity in upper reaches of the Heilongjiang River

PAN Lianghan^{1,2}, ZHANG Zepeng¹, ZHAO Yanzhe^{1,3}, LI Shenhui^{1,4}, LU Wanqiao¹, JIN Hongyu¹, XING Yue^{1,3}, WANG Haipeng¹, LI Lei^{1*}

1. Scientific Observing and Experimental Station of Fishes Resources and Environment in the Heilongjiang River Basin, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;
2. College of Marine Science and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;
3. College of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;
4. College of Fisheries and Life Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: From 2020 to 2024, a fish survey was conducted in four sections (i.e., Luoguhe Village, Kaikukang, Huma, Heihe) and several tributaries in upper reaches of the Heilongjiang River. According to the survey statistics, 67 fish species live in these areas, consisting of 8 orders, 14 families, and 49 genera. Among them, 39 species belong to the Cyprinidae family, accounting for 58.21% of the total species number and making this family the biggest one in the fish community. Eight species belong to the loach family, contributing to 10.45% of the total species number and making it the second biggest family. Additionally, seven of the 67 fish species have been recognized as endangered species, including the national first-class protected wild animal *Huso dauricus*, the national second-class protected wild animal *Acipenser schrencki*, *Brachymystax lenok*, *Hucho taimen*, *Lampetra japonica*, *Lampetra reissneri* and *Thymallus tugarinae*; Furthermore, *Lampetra japonica* is a newly recorded species in the upper reaches of the Heilongjiang River. In the autumn of 2020, species diversity index (H') ranged from 1.81 to 2.47 for the fish community in the upper reaches of Heilongjiang Province, while its richness index (D') and evenness index (J') ranged from 1.52 to 2.78 and 0.60 to 0.74, respectively. Fish composition of the study areas varied with space and season, with the Heihe River section having the highest fish species richness and relatively high dominant species abundance. Meanwhile, fish species composition in the Heihe River section differed a lot between spring and autumn. These results provide fundamental information for the protection, management, and utilization of fish resources in the upper reaches of the Heilongjiang River.

Key words: upper reaches of Heilongjiang River; fish; community structure; diversity; spatio-temporal change

Corresponding author: LI Lei. E-mail: lilei12100821@163.com