

应用鱼类生物完整性指数评价松花江 干流健康状况

王春峰^{1,2}, 李培伦², 孟祥生², 王庆奎^{1*}, 王继隆^{2*}

(1. 天津农学院 水产学院 天津, 300384; 2. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨, 150070)

摘要: 为了研究松花江干流的河流健康状况, 采用地笼网和刺网相结合的调查方法, 于2024年4月—8月对松花江干流9个采样点的鱼类群落分布开展调查。结果表明: 调查共采集鱼类71种, 隶属8目18科; 选取了包含5个生态类群的22项候选指标数据库, 通过完整性检验、相关性分析及取值范围, 筛选确定7项核心生物指标, 包括鱼类总种类数(M1)、Shannon-Wiener多样性指数(M2)、鲈形目鱼类种类数占比(M4)、鳅科鱼类种类数占比(M6)、中下层鱼类物种数占比(M10)、杂食性鱼类个体数占比(M14)和产漂流性卵鱼类物种数占比(M19), 构建松花江干流鱼类生物完整性指数(F-IBI)综合评价体系; 采用赋分法构建松花江干流生态系统健康评价标准并进行评价, 松花江干流有66.7%的采样点生态状态处于“好”以上水平($IBI \geq 48$), 且均处于松花江干流下游; 中游呈现过渡特征, 生态健康状况整体较好; 上游生态状况相对平稳, 但整体处于“一般”水平, 生态质量有待提升; 综合来看, 松花江干流生态健康状况呈现“下游优质、中游过渡、上游待提升”的梯度分布特征。研究表明, 基于上述7个指标构建的松花江干流F-IBI综合评价体系, 能较好地反映松花江干流生态系统健康状况, 可作为评价该流域生态系统健康状况的工具。

关键词: 松花江; 生物完整性指数; 健康状况; 生态评价

中图分类号: S 931

文献标志码: A

河流生态系统健康评价作为水体环境监测与诊断的重要手段, 对于准确把握水生态系统的健康状况、及时发现潜在问题并指导受损生态的修复与保护具有不可替代的重要作用^[1]。在此背景下, 建立科学合理的河流健康评价体系已成为当前河流健康修复研究的重要方向。生物完整性指数(index of biological integrity, IBI)由Karr^[2]提出后, 因其能够通过生物群落特征有效弥补传统理化指标在全面表征生态过程方面的不足, 可更准确地反映生态系统的健康状况, 现已成为水生态系统健康评价的核心指标^[3-4]。其中, 鱼类作为水生生态系统的顶级消费者, 具有分类体系完善、生活史周期长、对环境变化敏感性强及群落结构具有显著地域特异性等特点, 被广泛作为理想的生物指示类群^[5]。基于鱼类群落的完整性指数(F-IBI)评价体系, 能

够系统反映水生态系统的健康状况、生境演变动态及其发展趋势, 尤其在受人类活动强烈干扰的水体评价中展现出独特优势, 对实现河流生态系统的可持续管理具有重要实践意义^[6-7]。目前, 国内学者已在辽河^[8-9]、长江^[10]、黄河^[11-12]等主要流域采用F-IBI体系开展生态系统完整性评估。然而, 受流域地理异质性及人类干扰强度空间分异的影响, 不同流域鱼类群落结构存在显著差异, 这使得基于某一流域建立的F-IBI体系在其他流域应用时可能无法准确反映当地水生态系统的真实状况, 导致现有F-IBI体系普遍面临流域适应性的挑战^[8, 13-14]。这一现实问题迫切需要在跨流域或大尺度空间评价中建立具有流域针对性的F-IBI评价体系, 以提高评价结果的准确性和可靠性, 为不同流域的河流生态保护和管理提供更有效的支持。

收稿日期: 2025-07-16

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; 中国水产科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2023TD07)

作者简介: 王春峰(2001—), 男, 硕士研究生。E-mail: 3406171872@qq.com

通信作者: 王庆奎(1978—), 男, 博士, 副教授。E-mail: wangqk@tjau.edu.cn

王继隆(1984—), 男, 副研究员。E-mail: wangjilong@hrfri.ac.cn (并列通信作者)

松花江作为黑龙江最大支流,全长 1 927 km,流域面积 $55.68 \times 10^4 \text{ km}^2$,流经吉林、黑龙江两省主要经济发展区域,其生态环境状况对区域经济发展和生态安全具有重要影响^[15]。资料显示,该流域曾有鱼类 90 余种^[16-18],丰富的鱼类资源是该流域水生生态系统健康的重要标志之一,然而在水利工程阻隔效应、过度捕捞等人为干扰下,鱼类群落结构的复杂性降低、稳定性下降^[17,19-20],这不仅影响了鱼类自身的生存和繁衍,也破坏了水生生态系统的平衡和稳定,由此松花江生态系统健康状况备受关注^[16-18,21]。尽管近年来通过流域综合治理使水质显著改善^[22-23],但基于生物完整性指数评价该流域健康状况的研究相对缺乏。本研究中基于 2024 年春季夏季松花江干流系统性渔获物及生境质量调查数据,通过解析松花江干流鱼类物种组成及多样性分布格局,筛选适应性指标构建松花江干流 F-IBI 体系,并定性评估了该河流水生态健康水平,以期对松花江鱼类资源保护提供管理决策依据,同时为鱼类生物完整性评价范式发展提供流域案例参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域与采样点

松花江发源于长白山天池,流经吉林、黑龙江两省,下游河曲发育、湿地广布,是东北地区重要生态廊道^[15]。根据河流地势地貌特征及人类活动干扰强弱在其干流共设置 9 个采样点,以两大水利枢纽(哈达山和大顶子山水利枢纽)为界线,分为 3 个调查区段:上游段(哈达山水利枢纽以上)包括十八盘和镇江口采样点,中游段(哈达山水利枢纽与大顶子山航电枢纽之间)包括孟克里和老山头采样点,下游段(大顶子山航电枢纽以下)包括新闻、汤原、桦川、富锦及同江采样点(图 1)。

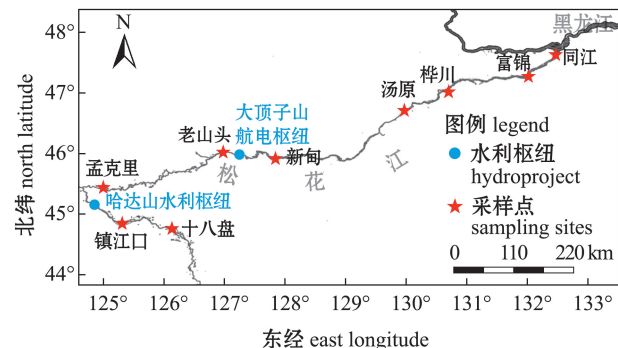


图 1 松花江干流采样点

Fig. 1 Sampling sites in the main stream of the Songhua River

1.2 方法

1.2.1 样品采集与种类鉴定 本研究分别于 2024 年 4、5、7、8 月在松花江干流进行 4 次调查取样。鱼类样品采集主要在当地渔民协助下进行,在采样点上下游 0.5 km 范围内进行连续采样。采用不同规格定置刺网(网具尺寸为 $80 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,网目尺寸为 1、2、3、5 cm)、流刺网(网具尺寸为 $200 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,网目尺寸为 1、3、5、7、9 cm)、地笼(网具尺寸为 $15 \text{ m} \times 40 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$,网目尺寸为 0.5 cm)进行鱼类样品采集。刺网作业时间 2 h,地笼作业时间 12 h。参照《黑龙江省鱼类志》^[24]、《黑龙江省鱼类原色图鉴》^[25]和《东北淡水鱼类》^[26]等文献资料对鱼类样品进行分类鉴定,对不能现场鉴定的鱼类样本,采用 5%~10% 的福尔马林溶液固定后带回实验室鉴定。对所有渔获物进行生物学测量,体长测量精确到 0.1 mm,体质量测量精确到 0.1 g。

1.2.2 参考点选择 参考点选择是构建 IBI 的核心前提^[27]。根据淡水生态系统健康评价规范,理想情况下应选取未受或仅受轻度人为干扰的采样点作为参考点^[28]。然而,松花江干流作为东北地区重要水系,沿岸人口密集、渔业活动频繁,人类干扰强度大,导致流域内几乎不存在符合传统标准的理想参考点。同时,松花江干流鱼类历史资料相对较少。因此,本研究中根据 Bozzetti 等^[29]提出的方法,采用假设的参照数值作为期望值,即将实际采样中某一指标的最优数据作为该指标的期望值。

1.2.3 候选指标体系构建 根据松花江干流的鱼类种类组成及生态功能群划分,本研究借鉴 Karr^[2]的完整性指数构建范式,初步设置了 5 大类 22 个初选指标(表 1),包含物种组成和丰度、营养结构、耐受性、繁殖共位群、鱼类数量和健康状况。在各指标值的统计和筛选分析中,参考已有指标筛选方法和原则^[27-29],结合松花江的实际情况,拟定了初选指标的筛选标准:在数据预处理阶段,进行分布范围检验,对采样点中超过 88.9% 为零值或取值范围过窄的候选指标视为不适用于构建 F-IBI,予以删除;随后将候选指标进行正态检验,对符合正态分布的指标进行 Pearson 相关性检验 ($|r| > 0.75, P < 0.01$),实施指标冗余度优化,优先保留信息熵值最大的候选指标;不符合正态分布的指标使用 Spearman 相关性检验 ($|r| > 0.75, P < 0.01$) 实施指标冗余度优化,优先保留信息熵值最大的候选指标^[30];最后将候选指标经冗余检验

表 1 F-IBI 评价体系候选指标及其对干扰的响应

Tab.1 Candidate indicators of F-IBI evaluation system and their responses to interference

候选参数指标 candidate indicator classification	候选指标 candidate indicator	指标代码 indicator code	对干扰的响应 response to interference
种类组成 与丰度 species composition and abundance	鱼类总种类数	M1	D
	Shannon-Wiener 多样性指数	M2	D
	鲤形目鱼类种类数占比	M3	I
	鲈形目鱼类种类数占比	M4	D
	鲤科鱼类种类数占比	M5	I
	鳅科鱼类种类数占比	M6	D
	鰕虎鱼科鱼类种类数占比	M7	D
	底层鱼类物种数占比	M8	I
	中上层鱼类物种数占比	M9	D
	中下层鱼类物种数占比	M10	D
	小型鱼类种类数百分比	M11	I
营养结构 trophic structure	滤食性鱼类种类数占比	M12	D
	肉食性鱼类个体数占比	M13	I
	杂食性鱼类个体数占比	M14	I
	植食性鱼类个体数占比	M15	D
环境耐受性 environmental tolerance	敏感性鱼类 个体数占比	M16	D
	耐受性鱼类 个体数占比	M17	I
	繁殖共位群 reproductive guild		
鱼类数量与 健康状况 fish quantity and health status	产黏性卵鱼类 物种数占比	M18	I
	产漂流性卵鱼类 物种数占比	M19	D
	外来鱼类个体数占比	M20	I
	畸形、患病鱼类 个体数占比	M21	I
	总个体数	M22	D

注: D 为下降; I 为上升。Note: D is down; I is up.

后最终获得构建松花江干流 F-IBI 体系的指标。

1.2.4 评价指标构建 参数标准化处理流程采用三分位法: 对各监测指标实测值进行三分位区间划分, 基于生态质量梯度原理将指标量程划分为三个区间^[31]。最优生态区间 (十分接近期望值) 赋 5 分, 一般生态区间 (接近期望值) 赋 3 分, 临界生态阈值区间 (远离期望值) 赋 1 分。各监测站位 IBI 指数通过多维指标赋分加权求和获得, 其计算式可表述为 F-IBI 总分 = (各指标总分/指标个数) × 12^[32]。依据 Karr^[2] 基于鱼类完整性划分河流的 6 个等级: 无鱼 (0), 极差 (12~22), 差 (28~34), 一般 (40~44), 好 (48~52), 极好 (58~60)。若某采样点的 F-IBI 总分介于 2 个评价等级的分之间, 则该河段的健康状况也处于 2 个评价等级之间。

1.2.5 群落多样性 采用 Margalef 丰富度指数 (D)、Pielou 均匀度指数 (J) 和 Shannon-Wiener

多样性指数 (H') 分析群落多样性特征^[33]。上述指数的计算公式为

$$D = (S - 1) / \ln N, \quad (1)$$

$$J = H / \ln S, \quad (2)$$

$$H' = \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i。 \quad (3)$$

式中: S 为种类数; N 为渔获总个体数; P_i 为第 i 种鱼类的数量占总渔获物数量的百分比。

1.3 数据处理

物种数据通过 Excel 软件完成; 相关性分析运用 SPSS 26.0 软件进行处理; 采样点图绘制借助 ArcGIS Pro 软件完成, 显著性差异设为 0.05, 极显著性差异设为 0.01。

2 结果与分析

2.1 鱼类物种组成及多样性特征

本研究调查过程中共监测到鱼类 71 种, 隶属于 8 目 18 科 (附表 1)。总体而言, 鲤形目占据绝对优势地位, 包含 48 种, 占总种类数的 67.6%; 鲈形目、鲇形目和鲑形目次之, 分别拥有 9、5、4 种, 占比依次为 12.7%、7.0% 和 5.6%; 七鳃鳗目 2 种, 占比 2.8%; 而刺鱼目、鲑形目与鲟形目为稀有种群, 各仅包含 1 种, 各占 1.4%。空间分布上, 物种丰度差异明显, 下游 (65 种) > 上游 (48 种) > 中游 (47 种) (附图 1)。季节差异同样明显, 春季的物种数高于夏季, 春季记录物种 69 种, 而夏季则为 56 种。就鱼类多样性而言, 松花江干流鱼类的 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数分别为 3.78、0.70 和 3.62。空间差异明显, 同江的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均最高, 分别为 4.65 和 0.85; 新甸的 Margalef 丰富度指数最高, 为 4.62。相反, 老山头的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均最小, 分别为 3.13 和 0.58; 镇江口的 Margalef 丰富度指数最小, 为 3.17。

2.2 F-IBI 参考指标分析及筛选

基于鱼类生态功能群划分原则, 将静水/缓流适应型物种 (鲇形目、鲿科、沙塘鳢科、鲤科、鳅科) 中具有高度环境耐受力的个体划分为耐污种; 急流/清水指示型物种 [(如湖鲢 (*Rhynchocypris percunurus*)、黑鳍鳊 (*Sarcocheilichthys nigrip-*

innis)、马口鱼 (*Opsariichthys bidens*) 等)] 则归类为敏感种^[5]。依据预设指标筛选准则, 对 22 项初筛指标实施多维度评估: 首阶段通过数据质量控制模型, 剔除监测缺失率 $\geq 90\%$ 的指标 (M20 和 M21); 根据取值范围宽窄^[29,31], 删除取值范围过窄的 M3、M5、M7、M12、M15、M16、M17 和 M18 指标。对余留指标执行正态检验, 均符合正态

分布并进行 Pearson 相关性检验, 相关系数矩阵 (表 2) 显示: M2 与 M13 和 M22 存在显著相关性 ($P < 0.05$), 因此选择只保留信息量较大的 M2; 另外, M8 与 M9 和 M19 存在显著相关性 ($P < 0.05$), 同时 M19 与 M11 存在显著相关性 ($P < 0.05$), 保留信息量较大 M19。综合以上分析, 最终筛选得到 7 个指标: M1、M2、M4、M6、M10、M14、M19。

表 2 松花江干流候选指标的 Pearson 相关性分析

Tab. 2 Pearson correlation analysis of candidate indicators in the main stream of the Songhua River

	M1	M2	M4	M6	M8	M9	M10	M11	M13	M14	M19	M22
M1	1	0.162	-0.142	0.633	0.052	-0.234	0.232	-0.148	0.266	-0.391	0.081	0.317
M2	0.162	1	-0.062	-0.279	-0.239	0.308	-0.057	-0.579	0.784*	-0.346	0.587	-0.698*
M4	-0.142	-0.062	1	-0.529	0.023	0.104	-0.178	0.074	0.287	0.201	0.211	0.123
M6	0.633	-0.279	-0.529	1	0.087	-0.536	0.598	0.137	-0.272	0.084	-0.296	0.447
M8	0.052	-0.239	0.023	0.087	1	-0.776*	-0.502	0.282	-0.246	-0.240	-0.784*	0.502
M9	-0.234	0.308	0.104	-0.536	-0.776*	1	-0.156	-0.128	0.245	-0.078	0.637	-0.652
M10	0.232	-0.057	-0.178	0.598	-0.502	-0.156	1	-0.262	0.040	0.487	0.350	0.113
M11	-0.148	-0.579	0.074	0.137	0.282	-0.128	-0.262	1	-0.728*	0.476	-0.692*	0.084
M13	0.266	0.784*	0.287	-0.272	-0.246	0.245	0.04	-0.728*	1	-0.410	0.652	-0.330
M14	-0.391	-0.346	0.201	0.084	-0.240	-0.078	0.487	0.476	-0.410	1	-0.122	-0.130
M19	0.081	0.587	0.211	-0.296	-0.784*	0.637	0.35	-0.692*	0.652	-0.122	1	-0.426
M22	0.317	-0.698*	0.123	0.447	0.502	-0.652	0.113	0.084	-0.330	-0.130	-0.426	1

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上显著相关。

Note: * means a significant correlation at the 0.05 level; ** means a significant correlation at the 0.01 level.

2.3 指标赋值及健康评价

依据筛选的 7 个鱼类生物完整性指标的环境响应特征, 按生态响应梯度采用三分位法进行指标赋值, 标准见表 3。参照 Karr^[21] 的评价等级和内容对松花江干流实施生态系统健康诊断。生态评估表明 (表 4), 松花江干流生态健康状况整体达到“好”水平, 但区域差异明显。具体表现为松花江干流有 77.8% 的采样点生态状态处于“一般”以上水平

($IBI > 44$)。下游生态状况最好, 所有监测采样点均达到“好”及以上水平 ($IBI \geq 48$)。中游呈现过渡特征, 生态健康状况整体较好, 但存在采样点间差异。老山头采样点达到“好”水平 ($IBI \geq 48$), 而孟克里采样点处于“一般~好”过渡状态。上游地区生态状况相对平稳, 但整体处于“一般”水平, 生态质量有待提升。综合来看, 松花江干流生态健康状况呈现“下游优质、中游过渡、上游待提升”的梯度分布特征。

表 3 松花江干流核心指标赋值标准及对干扰的响应

Tab. 3 Scoring criteria of core indicators and response to interference of main stream of the Songhua River

核心指标 core indicator	赋值标准 scoring criteria			期望值 desired value	对于扰的响应 response to interference
	5	3	1		
鱼类总种类数 (M1) total number of fish species (M1)	>39.75	26.5~39.75	<26.5	53	下降
Shannon-Wiener 多样性指数 (M2) Shannon-Wiener diversity index (M2)	>3.49	2.33~3.49	<2.33	4.65	下降
鲈形目鱼类种类数占比 (M4) proportion of species in Perciformes (M4)	>0.11	0.08~0.11	<0.08	0.151	下降
鳅科鱼类种类数占比 (M6) loach species proportion (M6)	>0.13	0.09~0.13	<0.09	0.181	下降
中下层鱼类物种数占比 (M10) proportion of mid-and lower-level fish species (M10)	>0.15	0.1~0.15	<0.1	0.205	下降
杂食性鱼类个体数占比 (M14) individuals of omnivorous fish (M14)	<0.67	0.67~0.8	>0.8	0.538	上升
产漂流性卵鱼类物种数占比 (M19) proportion of species with drifting egg-laying fish (M19)	>0.17	0.11~0.17	<0.11	0.227	下降

表 4 松花江干流各采样点 F-IBI 得分及健康状况

Tab. 4 F-IBI scores and health status of each sampling sites in the main stream of the Songhua River

核心指标 core indicator	采样点 sampling site								
	富锦	桦川	老山头	孟克里	十八盘	汤原	同江	新甸	镇江口
M1	5	3	5	3	5	5	5	5	3
M2	5	5	3	5	3	3	5	5	5
M4	5	3	5	5	3	5	3	5	3
M6	3	5	5	1	5	5	5	5	3
M10	5	5	3	3	3	3	5	3	3
M14	5	5	5	5	5	5	5	5	5
M19	5	5	3	5	1	3	5	5	3
IBI 总分 (标准化) IBI total score (standardized)	56.6	53.1	49.7	46.3	42.9	49.7	56.6	56.6	42.9
等级 grade	好~极好	好~极好	好	一般~好	一般	好	好~极好	好~极好	一般

3 讨论

3.1 松花江干流鱼类组成

本次调查共记录鱼类 71 种,与魏春风等^[17]在同流域的调查结果相比,本次物种记录更丰富,其原因可能是此次调查采样点设置的辐射范围更广,但两者均以鲤科种类为优势鱼类,这也符合中国淡水鱼类资源的特点。空间格局上,下游物种丰富度(8 目 17 科 65 种)显著高于中上游(6 目 12 科 58 种),主要因为黑斑狗鱼 (*Esox reicherti*)、花羔白点鲑 (*Salvelinus malma*)、乌苏里白鲑 (*Coregonus ussuriensis*)、江鳕 (*Lota lota*) 及史氏鲟 (*Acipenser schrenckii*) 等鱼类仅在下游采集到,中上游均未采集到样本。分析表明,松花江干流中上游多个梯级水利枢纽(如大顶子山水利枢纽、哈达山水利枢纽)的建设,阻断了洄游性鱼类的传统洄游通道,是导致中上游缺失上述物种的生态限制关键因素。鱼类的季节动态与空间格局呈现明显协同变化,春季调查的鱼类种类数量(69 种)显著高于夏季(56 种)。这一差异可能由两方面驱动:一方面松花江春季禁渔期(5 月 16 日—7 月 31 日)减少了捕捞压力,有效保护了产卵群体;另一方面春季正值黑斑狗鱼等冷水性鱼类的繁殖期,活动强度大,易于被采集。而夏季禁渔期结束后,高强度渔业捕捞对资源量产生干扰,部分经济鱼类(如鲢、鳙)群体密度下降,导致夏季物种记录减少。综上,松花江鱼类资源时空分布受自然繁殖节律与人为工程(水利枢纽)的双重影响,未来需加强洄游通道修复、优化禁渔期管理,以维护干流鱼类生物多样性。另外,由于本次调查采样时间有限,缺乏秋冬季数据,因此未能采集到大马哈鱼 (*Oncorhynchus*

keta)、细鳞鲑 (*Brachymystax lenok*) 和哲罗鲑 (*Hucho taimen*) 等松花江特色冷水性鱼类,未来研究需补充秋冬季采样以全面评估其资源动态。

3.2 松花江 F-IBI 体系的建立及应用

参照点选取是河流 F-IBI 评价体系建立的关键。目前应用较多的有以下方式:(1) 采用水域的历史数据,选取人类干扰较小的点位作为参照点;(2) 采用定量标准化方法选取参照点;(3) 可根据评价目的选取某一区域或某区域内的一个采样点作为对照点。然而需要指出的是,松花江干流作为东北地区关键的水系廊道,其沿岸人口密度大、渔业活动强度高,叠加持续的高强度人类扰动,使得流域范围内基本不存在满足传统筛选标准的理想参考样点。更关键的是,松花江干流虽然已开展了阶段性鱼类资源普查,但依然缺少系统完整的定量数据。因此,只能在实际采样中将各个采样点某一指标的最优值作为参照值。本研究中筛选得到松花江干流的 F-IBI 核心指标,体现了种类组成与丰度、营养结构和繁殖共位群 3 方面的生物状况信息,与已有研究相比^[8],在属性层面具有相似性。从种类组成与丰度和营养结构方面看,本研究中筛选得到的指标分别有鱼类总种类数、Shannon-Wiener 多样性指数、鲈形目鱼类种类数占比、鳅科鱼类种类数占比、中下层鱼类物种数占比和杂食性鱼类个体数占比,体现了松花江干流鱼类群落的物种组成特征。因此,本研究中构建的 F-IBI 指标体系能够较全面地反映松花江干流鱼类群落结构的特征。由于本研究中仅对两季节、9 个采样点的指标进行了分析,可能存在一定的局限性和偶然性误差,因此,今后应不断补充调查时间和频次,进行更加准确的季节性和年度连续变化的研究。

3.3 松花江干流生态环境现状及保护建议

本研究中基于松花江干流 F-IBI 评价结果,对松花江干流生态健康状况展开系统性评估并提出针对性保护建议。评估显示,松花江干流生态健康整体达到“好”水平,但区域差异明显,呈现“下游优质、中游过渡、上游待提升”的梯度分布特征;下游区域的所有采样点均达到“好”及以上水平 ($IBI \geq 48$);同时,在全部监测采样点中,达到“好”及以上水平的采样点均分布于下游区域。这主要得益于其与黑龙江水系的良好连通性——水系交互为鱼类提供了广阔栖息空间,支撑了高物种多样性与繁殖活性;中游呈现过渡特征,老山头采样点因水利枢纽调蓄导致流水生境部分转为静水环境,栖息地功能受一定影响但仍达“好”水平 ($IBI \geq 48$),而孟克里采样点因局部水文或干扰因素处于“一般~好”过渡状态;上游生态相对平稳但整体处于“一般”水平 ($IBI > 44$),其面临河道采砂与违规渔具使用(如密网捕捞)等人为干扰压力,生态质量有待提升。

针对松花江干流生态系统的空间异质性特征,建议分区域实施精准保护:下游应重点维持水系连通性,加强珍稀物种监测与核心区保护,防范外来物种入侵;中游需重点打造近岸缓冲带微生物系统,通过生态廊道建设提升生境斑块连接度,实施污染物总量控制与动态溯源管理;上游应严格规范采砂与打击违规渔具,同时在破坏集中区人工投放产卵基质、种植本土水生植物,恢复河道自然形态。通过“维持优势-修复过渡-规范干扰”的分级策略,可有效提升松花江干流生态系统整体健康与可持续性。

4 结论

1) 通过调查松花江干流鱼类群落组成,构建了包含鱼类总种类数 ($M1$)、Shannon-Wiener 多样性指数 ($M2$)、鲈形目鱼类种类数占比 ($M4$)、鳅科鱼类种类数占比 ($M6$)、中下层鱼类物种数占比 ($M10$)、杂食性鱼类个体数占比 ($M14$) 和产漂流性卵鱼类物种数占比 ($M19$) 等 7 个核心指标的松花江干流鱼类生物完整性指数 (F-IBI),能较好地反映了松花江干流生态系统健康状况。

2) 松花江干流生态健康整体达到“好”水平,但区域差异显著。下游生态质量最优,所有采样点均达“好”及以上水平;中游呈过渡状态,部分点位达“好”水平,部分处于“一般~好”

过渡阶段;上游整体处于“一般”水平,受人为干扰影响,生态质量有待提升。综合来看,松花江干流生态健康状况呈现“下游优质、中游过渡、上游待提升”的梯度分布特征。

3) 针对健康状况差异,建议实施分级保护策略。下游重点维持水系连通性、监测珍稀物种;中游打造近岸缓冲带、控制污染物总量;上游规范采砂行为、恢复河道自然生境。通过“维持优势-修复过渡-规范干扰”,可有效提升流域生态系统整体健康与可持续性。

(附表参见网址 <https://xuebao.dlou.edu.cn>)

参考文献:

- [1] 张杰,苏航,盛楚涵,等.浑太河河流生态系统完整性评价体系的构建[J].环境科学研究,2020,33(2):363-374.
ZHANG J, SU H, SHENG C H, et al. Construction of an evaluation system to assess the ecosystem integrity of the Hun-Tai River [J]. Research of Environmental Sciences, 2020, 33 (2): 363-374. (in Chinese)
- [2] KARR J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. Fisheries, 1981, 6(6): 21-27.
- [3] 朱召军,吴志强,黄亮亮,等.漓江上游基于鱼类生物完整性指数的河流健康评价体系构建与应用[J].桂林理工大学学报,2016,36(3):533-538.
ZHU Z J, WU Z Q, HUANG L L, et al. Development and application of IBI based on fish to assess river health in the upper reaches of Lijiang River [J]. Journal of Guilin University of Technology, 2016, 36(3): 533-538. (in Chinese)
- [4] 侯晓丽,王云彪.湿地生态风险评价中生物完整性指数研究进展[J].生态毒理学报,2018,13(4):3-8.
HOU X L, WANG Y B. Research progress of index of biotic integrity for ecological assessment in wetlands [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2018, 13(4): 3-8. (in Chinese)
- [5] 康玲玲,马超,孙光,等.潮白河怀柔段鱼类多样性特征及水生生态系统健康评价[J].环境科学研究,2024,37(10):2214-2224.
KANG L L, MA C, SUN G, et al. Fish diversity and health assessment of the Huairou section of chaobai river [J]. Research of Environmental Sciences, 2024, 37(10): 2214-2224. (in Chinese)
- [6] 黄凯,姚垚,王晓宁,等.基于鱼类完整性指数的滦河流域生态系统健康评价[J].环境科学研究,2018,31(5):901-910.
HUANG K, YAO Y, WANG X N, et al. The ecosystem health assessment based on the fish index of biological integrity in the Luanhe River Basin [J]. Research of Environmental Sciences, 2018, 31(5): 901-910. (in Chinese)
- [7] 严大明,何佳洋,罗杰,等.基于鱼类多样性及完整性指数评价南河中游流域健康状况[J].淡水渔业,2021,51(5):3-12.
YAN T M, HE J Y, LUO J, et al. Assessment of ecosystem health on the upper and middle reaches of Nanhe River with the fish-based biotic integrity index [J]. Freshwater Fisheries, 2021, 51(5): 3-12. (in Chinese)
- [8] 裴雪姣,牛翠娟,高欣,等.应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康[J].生态学报,2010,30(21):5736-5746.

- PEI X J, NIU C J, GAO X, et al. The ecological health assessment of Liao River Basin, China, based on biotic integrity index of fish [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (21): 5736-5746. (in Chinese)
- [9] 李法云, 吕纯剑, 魏冉, 等. 辽河典型支流水生态功能三级区水生生态系统健康评价[J]. *科技导报*, 2014, 32(1): 70-77.
- LI F Y, LÜ C J, WEI R, et al. Aquatic ecological health assessment of the third level aquatic eco functional zones for typical tributaries of Liaohe River [J]. *Science & Technology Review*, 2014, 32(1): 70-77. (in Chinese)
- [10] 谢志伟, 杨刚, 庄平, 等. 基于鱼类完整性指数(F-IBI)的长江口生态健康状况评价[J]. *海洋渔业*, 2024, 46(2): 140-150.
- XIE Z W, YANG G, ZHUANG P, et al. Ecological health assessment of the Yangtze Estuary based on fish index of biological integrity (F-IBI) [J]. *Marine Fisheries*, 2024, 46(2): 140-150. (in Chinese)
- [11] 周静, 白雪兰, 刘哲, 等. 基于大型底栖动物完整性指数和多样性综合指数评价黄河榆中段河流生态健康状况[J]. *甘肃农业大学学报*, 2021, 56(4): 103-111, 119.
- ZHOU J, BAI X L, LIU Z, et al. Ecological health evaluation for Yuzhong section of the Yellow River in based on integrity index and diversity index of macrobenthos [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2021, 56(4): 103-111, 119. (in Chinese)
- [12] 张芮, 徐宾铎, 薛莹, 等. 黄河口及其邻近水域鱼类生物完整性评价[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(5): 946-952.
- ZHANG R, XU B D, XUE Y, et al. Evaluation of the biotic integrity of fish assemblages in the Yellow River estuary and its adjacent waters [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(5): 946-952. (in Chinese)
- [13] ZHU D, CHANG J B. Annual variations of biotic integrity in the Upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI) [J]. *Ecological Indicators*, 2008, 8(5): 564-572.
- [14] 刘恺, 周伟, 李凤莲, 等. 广西河池地区河流基于鱼类的生物完整性指数筛选及其环境质量评估[J]. *动物学研究*, 2010, 31(5): 531-538.
- LIU K, ZHOU W, LI F L, et al. A fish-based biotic integrity index selection for rivers in Hechi Prefecture, Guangxi and their environmental quality assessment [J]. *Zoological Research*, 2010, 31(5): 531-538. (in Chinese)
- [15] 张许诺, 赵英, 郭亮. 基于数据融合技术的松花江流域水生态功能分区[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2019, 51(8): 80-87.
- ZHANG X N, ZHAO Y, GUO L. Aquatic ecological functional zoning of Songhua River Basin based on data fusion technology [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2019, 51(8): 80-87. (in Chinese)
- [16] 杨富亿, 阎百兴, 王强, 等. 松花江下游鱼类资源评估[J]. *湿地科学*, 2015, 13(1): 87-97.
- YANG F Y, YAN B X, WANG Q, et al. Assessment of fish stocks in the lower reaches of the Songhua River [J]. *Wetland Science*, 2015, 13(1): 87-97. (in Chinese)
- [17] 魏春凤. 松花江干流河流健康评价研究[D]. 哈尔滨: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2018.
- WEI C F. Study on the health evaluation of the main stream of Songhua River [D]. Harbin: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2018. (in Chinese)
- [18] 张蕊. 松花江中游(肇源至依兰段)鱼类物种多样性研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2022.
- ZHANG R. Study on fish diversity in the middle reaches of songhua river (Zhaoyuan to Yilan) [D]. Harbin: Harbin Normal University, 2022. (in Chinese)
- [19] 吕军, 汪雪格, 刘伟, 等. 松花江流域主要干支流纵向连通性与鱼类生境[J]. *水资源保护*, 2017, 33(6): 155-160, 174.
- LÜ J, WANG X G, LIU W, et al. Longitudinal connectivity and fish habitat of main tributaries in Songhuajiang River Basin [J]. *Water Resources Protection*, 2017, 33(6): 155-160, 174. (in Chinese)
- [20] 陈伟强, 高春山, 康学会, 等. 头道松花江鱼类群落结构及多样性研究[J]. *环境生态学*, 2021, 3(3): 19-25.
- CHEN W Q, GAO C S, KANG X H, et al. Research of the structure and diversity of fish community in Toudao Songhua River [J]. *Environmental Ecology*, 2021, 3(3): 19-25. (in Chinese)
- [21] 于宗灵, 董英莉, 袁欣, 等. 2012—2019年松花江干流底栖动物群落变化及其对水环境因子的响应[J]. *中国环境监测*, 2023, 39(6): 12-26.
- YU Z L, DONG Y L, YUAN X, et al. Changes of macroinvertebrate community and their responses to environmental factors in the main stream of the Songhua River from 2012 to 2019 [J]. *Environmental Monitoring in China*, 2023, 39(6): 12-26. (in Chinese)
- [22] 边境. 吉林省举办 2016 年松花江水生生物资源增殖放流[J]. *吉林水利*, 2016(6): 63.
- BIAN J. Jilin Province held the 2016 Songhua River aquatic biological resources enhancement and release [J]. *Jilin Water Resources*, 2016(6): 63. (in Chinese)
- [23] 崔德新, 秦国华, 佟凯光, 等. 吉林省敦化市牡丹江流域举行大规模水生生物资源增殖放流活动[J]. *渔业致富指南*, 2012(12): 10.
- CUI D X, QIN G H, TONG K G, et al. Large-scale release of aquatic organisms to increase water resources was held in the Mudanjiang River Basin, Dunhua City, Jilin Province [J]. *Fishery Guide to be Rich*, 2012, (12): 10. (in Chinese)
- [24] 张爱民. 黑龙江省鱼类志[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1995.
- ZHANG J M. Fish of Heilongjiang Province [M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1995. (in Chinese)
- [25] 赵文阁. 黑龙江省鱼类原色图鉴[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- ZHAO W G. Color atlas of fishes in Heilongjiang Province [M]. Beijing: Science Press, 2018. (in Chinese)
- [26] 解玉浩. 东北地区淡水鱼类[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2007.
- XIE Y H. Freshwater fishes in northeast region of China [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 2007. (in Chinese)
- [27] 蒋孝燕, 陈超, 冯志政, 等. 基于鱼类生物完整性指数的曹娥江流域水生生态系统健康评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2023, 39(6): 767-773.
- JIANG X Y, CHEN C, FENG Z Z, et al. A fish-based index of biotic integrity for the health assessment of aqua-ecological system in Cao'e River [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2023, 39(6): 767-773. (in Chinese)

- [28] 郜星辰,章群,韩博平,等.基于鱼类生物完整性指数的广东鉴江流域环境质量评估[J].湖泊科学,2015,27(4):679-685.
GAO X C,ZHANG Q,HAN B P, et al.Environmental quality assessment of Jian River Basin (Guangdong) based on fish biotic integrity index[J].Journal of Lake Sciences,2015,27(4):679-685.(in Chinese)
- [29] BOZZETTI M,SCHULZ U H.An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil[J].Hydrobiologia,2004,529(1):133-144.
- [30] 刘春池,牛建功,蔡林钢,等.伊犁河流域鱼类生物完整性指数构建初探[J].淡水渔业,2017,47(4):15-22.
LIU C C,NIU J G,CAI L G, et al.Preliminary study on fish index of biotic integrity (F-IBI) assessment for Ili River, Xinjiang[J].Freshwater Fisheries,2017,47(4):15-22.(in Chinese)
- [31] 周天舒,张亚,唐文乔,等.基于鱼类完整性指数的黄浦江水生生态系统评价[J].长江流域资源与环境,2016,25(6):895-903.
ZHOU T S,ZHANG Y,TANG W Q, et al.Ecological health assessment of Huangpu river based on fish index of biotic integrity [J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2016,25(6):895-903.(in Chinese)
- [32] 袁立来,王晓梅,杨文波,等.基于鱼类生物完整性指数的拒马河北京段河流健康评价[J].生态毒理学报,2021,16(4):160-169.
YUAN L L,WANG X M,YANG W B, et al.River ecosystem health evaluation of juma river in Beijing based on fish-index of biotic integrity[J].Asian Journal of Ecotoxicology,2021,16(4):160-169.(in Chinese)
- [33] 王越,任洸,凡迎春,等.澄湖鱼类群落结构特征及多样性分析[J].大连海洋大学学报,2024,39(6):1032-1041.
WANG Y,REN L,FAN Y C, et al.Characterization of the structure and diversity of fish community in Cheng Lake[J].Journal of Dalian Ocean University,2024,39(6):1032-1041.(in Chinese)

Application of fish biometric integrity index to assess the health of the main stream of the Songhua River

WANG Chunfeng^{1,2}, LI Peilun², MENG Xiangsheng², WANG Qingkui^{1*}, WANG Jilong^{2*}

(1. College of Fisheries, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China)

Abstract: To assess the health of the main stream of the Songhua River, we used the combined methods of gill nets and traps and investigate the fish communities in nine sampling sites from April to August 2024. 71 fish species belonging to eight orders and 18 families were collected. A candidate database of 22 indicators covering five ecological groups was selected. Through completeness tests, correlation analysis, and value range, seven core biological indicators were identified: total number of fish species (M1), Shannon-Wiener diversity index (M2), proportion of Perciformes species (M4), proportion of cobitidae species (M6), proportion of mid and lower water fish species (M10), proportion of omnivorous fish individuals (M14), and proportion of fish species laying free-floating eggs (M19). An integrated evaluation system (Fish Index of Biotic Integrity, F-IBI) for the main stream of Songhua River was constructed, and the ecological health evaluation standard was established by applying the scoring method. The assessment results showed that 66.7% of the sampling sites along the main stream of Songhua River were at the "good" or "better" status ($IBI \geq 48$), and all were in the downstream. The midstream showed some transitional characteristics, and the overall ecological health status was good. The upstream ecological status was relatively stable, but it was generally at the "average" level, and the ecological quality needed to be improved. Overall, the ecological health status of the main stream of Songhua River showed a gradient distribution from high quality downstream, transitional quality midstream, and upstream required improvement. The results indicated that the F-IBI system with the above seven indicators reflected the ecological health status of the main stream of Songhua River ecosystem and could be used as a tool for evaluating the ecological health in this river basin.

Key words: Songhua River; biological integrity index; health status; ecological evaluation

附表 1 松花江干流鱼类组成

Appendix Tab. 1 Fish composition in the main stream of the Songhua River

目 order	种 species	采样点 sampling sites								
		新甸	镇江口	同江	汤原	老山头	桦川	富锦	孟克里	十八盘
	鲤科 (Cyprinidae)									
	棒花鱼 (<i>Abbottina rivularis</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	贝氏鲮 (<i>Hemiculter bleekeri</i>)	+	+	+		+	+	+	+	+
	鳊 (<i>Parabramis pekinensis</i>)	+		+	+		+	+		+
	鲮 (<i>Hemiculter leucisculus</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	草鱼 (<i>Ctenopharyngodon idellus</i>)	+				+		+		
	唇鲮 (<i>Hemibarbus labeo</i>)	+							+	
	大鳞鲂 (<i>Luciobarbus capito</i>)			+						
	大鳍鱮 (<i>Acheilognathus macropterus</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	东北雅罗鱼 (<i>Leuciscus waleckii</i>)	+	+		+	+	+	+	+	+
	高体鳊 (<i>Rhodeus ocellatus</i>)	+	+					+		
	三角鲂 (<i>Megalobrama terminalis</i>)			+	+					+
	高体鮡 (<i>Gobio soldatovi</i>)								+	
	高体鳊 (<i>Rhodeus ocellatus</i>)									+
	黑龙江鳊 (<i>Rhodeus sericeus</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	黑鳍鳊 (<i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>)	+	+	+	+	+	+	+		
	红鳍原鲌 (<i>Chanodichthys erythropterus</i>)	+								
	湖鲮 (<i>Rhynchocypris percunus</i>)	+			+		+	+		+
	花鲮 (<i>Hemibarbus maculatus</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	鲫 (<i>Carassius auratus</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	克氏鳊 (<i>Sarcocheilichthys czerskii</i>)	+	+			+		+		+
	鲤 (<i>Gyrinus carpio</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鲤形目 (Cypriniformes)	鲢 (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	洛氏鲮 (<i>Phoxinus lagowskii</i>)	+		+	+	+	+	+		+
	马口鱼 (<i>Opsariichthys bidens</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	麦穗鱼 (<i>Pseudorasbora parva</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	蒙古鲌 (<i>Culter mongolicus</i>)	+								
	拟赤鲌 (<i>Pseudaspius leptcephalus</i>)			+			+	+		
	翘嘴鲌 (<i>Culter alburnus</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	青鱼 (<i>Mylopharyngodon piceus</i>)						+			
	青梢红鲌 (<i>Erythroculter dabryi</i>)			+				+		
	犬首鮡 (<i>Gobio cynocephalus</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	镜鲤 (<i>Cyprinus carpio var. Specularis</i>)		+				+			+
	蛇鮡 (<i>Saurogobio dabryi</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	条纹似白鮡 (<i>Paraleucogobio strigatus</i>)		+							+
	兴凯鲌 (<i>Acheilognathus chankaensis</i>)						+			
	细体鮡 (<i>Gobio tenuicorpus</i>)	+	+	+					+	+
	银鲌 (<i>Xenocypris argentea</i>)	+		+	+	+	+	+	+	
	银鮡 (<i>Squalidus argentatus</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	
	鲌 (<i>Aristichthys nobilis</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	
	中华鳊 (<i>Rhodeus sinensis</i>)					+				
	鳅科 (Cobitidae)									
	北方花鳅 (<i>Cobitis granoei</i>)	+		+	+	+	+	+	+	+
	北方条鳅 (<i>Nemacheilus nudus</i>)	+		+	+	+	+			+
	大鳞副泥鳅 (<i>Paramisgurnus dabryanus</i>)	+	+	+	+	+	+	+		+
	黑龙江花鳅 (<i>Cobitis lutheri</i>)	+	+	+	+	+	+	+		+
	黑龙江泥鳅 (<i>Misgurnus mohoity</i>)	+	+	+		+	+	+	+	+
	花斑副沙鳅 (<i>Parabotia fasciata</i>)	+		+	+	+	+	+		+
	北鳅 (<i>Lefua costata</i>)	+				+				+
	泥鳅 (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>)	+	+	+	+	+		+		+

续附表 1 松花江干流鱼类组成

Cont. Appendix Tab. 1 Fish composition in the main stream of the Songhua River

目 order	种 species	采样点 sampling sites								
		新甸	镇江口	同江	汤原	老山头	桦川	富锦	孟克里	十八盘
	塘鳢科 (<i>Eleotridae</i>)									
	葛氏鲈塘鳢 (<i>Percottus glehni</i>)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	黄黝鱼 (<i>Hypseleotris swinhonis</i>)	+	+	+	+	+		+	+	+
	鰕虎鱼科 (<i>Gobiidae</i>)									
鲈形目 (<i>Perciformes</i>)	波氏吻鰕虎鱼 (<i>Rhinogobius cliffordpopei</i>)	+	+		+	+			+	+
	褐吻鰕虎鱼 (<i>Rhinogobius Brunneus</i>)					+				
	子陵吻鰕虎鱼 (<i>Rhinogobius giurinus</i>)				+					+
	鳢科 (<i>Channidae</i>)									
	乌鳢 (<i>Channa argus</i>)	+		+	+	+		+	+	
	鲈科 (<i>Percidae</i>)									
	梭鲈 (<i>Sander lucioperca</i>)							+		
	鲈科 (<i>Serranidae</i>)									
	鳊 (<i>Siniperca Chuatsi</i>)	+		+				+	+	+
	斗鱼科 (<i>Belontiidae</i>)									
	圆尾斗鱼 (<i>Macropodus chinensis</i>)	+								
	鲢科 (<i>Bagridae</i>)									
鲢形目 (<i>Siluriformes</i>)	乌苏里拟鲢 (<i>Pseudobagrus ussuriensis</i>)	+	+	+	+			+	+	+
	纵带鲢 (<i>Leiocassis argentivittatus</i>)		+	+	+			+	+	
	黄颡鱼 (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	+	+	+	+			+	+	+
	光泽黄颡鱼 (<i>Pelteobagrus nitidus</i>)	+	+	+	+	+		+	+	+
	鲢科 (<i>Siluridae</i>)									
	鲢 (<i>Silurus asotus</i>)	+	+	+	+	+		+	+	+
刺鱼目 (<i>Gasterosteiformes</i>)	刺鱼科 (<i>Gasterosteidae</i>)									
	中华多刺鱼 (<i>Pungitius sinensis</i>)	+				+				
	银鱼科 (<i>Salangidae</i>)									
	大银鱼 (<i>Protosalanx hyalocranius</i>)					+		+	+	+
	狗鱼科 (<i>Esocidae</i>)									
鲑形目 (<i>Salmoniformes</i>)	黑斑狗鱼 (<i>Esox reicherti</i>)			+						
	鲑科 (<i>Salmonidae</i>)									
	乌苏里白鲑 (<i>Coregonus ussuriensis</i>)	+								
	胡瓜鱼科 (<i>Osmeridae</i>)									
	池沼公鱼 (<i>Hypomesus olidus</i>)									+
七鳃鳗目 (<i>Petromyzontiformes</i>)	七鳃鳗科 (<i>Petromyzonidae</i>)									
	雷氏七鳃鳗 (<i>Lainpetra reissneri</i>)	+	+	+	+	+		+		+
	日本七鳃鳗 (<i>Lampetra japonica</i>)	+			+			+		+
鲑形目 (<i>Gadiformes</i>)	鳕科 (<i>Gadidae</i>)									
	江鳕 (<i>Lota lata</i>)			+						
鲟形目 (<i>Acipenseriformes</i>)	鲟科 (<i>Acipenseridae</i>)									
	史氏鲟 (<i>Acipenser schrencki</i>)	+			+					