

•生物多样性监测网络专题•

鱼类多样性监测的理论方法及中国内陆 水体鱼类多样性监测

刘焕章^{1*} 杨君兴² 刘淑伟² 高 欣¹ 陈宇顺¹ 张春光³
赵 凯⁴ 李新辉⁵ 刘 伟⁶

1 (中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

2 (中国科学院昆明动物研究所, 昆明 650223)

3 (中国科学院动物研究所, 北京 100101)

4 (中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810008)

5 (中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380)

6 (中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 哈尔滨 150076)

摘要: 近年来, 生物多样性监测网络的建设得到广泛重视, 全球、地区或国家生物多样性观测网不断组建。生物多样性观测的理论框架得到发展, 提出了生物多样性核心监测指标(Essential Biodiversity Variables, EBV)。鱼类多样性监测的理论框架包含于生物多样性核心监测指标之内, 在遗传、物种、生态系统等多层次进行。基于鱼类监测提出的生物完整性指数(index of biotic integrity, IBI)强调不同物种的生态功能, 可以综合反映群落结构和功能的变化, 得到广泛应用。鱼类多样性的监测方法是传统网具和现代水声学等方法的结合。监测结果的分析可以进行简单的指数比较, 也可以进行长期的趋势分析, 寻找关键节点, 探讨宏观生态格局的变化。中国内陆水体鱼类多样性监测网隶属于中国生物多样性监测与研究网络, 拟选取长江、黄河、黑龙江、珠江、澜沧江、怒江、塔里木河及青海湖8大流域, 对25个重要区域和24个重点物种(类群)进行监测, 从重要区域鱼类群落结构、重点物种(类群)种群动态和个体生物学特征、遗传多样性、早期资源等不同层次, 全面监测我国内陆水体鱼类生物多样性状况。

关键词: 内陆水体鱼类; 监测网络; 物种多样性; 生物学特征

Theory and methods on fish diversity monitoring with an introduction to the inland water fish diversity observation in China

Huanzhang Liu^{1*}, Junxing Yang², Shuwei Liu², Xin Gao¹, Yushun Chen¹, Chunguang Zhang³, Kai Zhao⁴, Xinhui Li⁵, Wei Liu⁶

1 Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072

2 Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223

3 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

4 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008

5 Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Guangzhou 510380

6 Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Harbin 150076

Abstract: In recent years, the establishment of biodiversity observation networks (BON) has been of great concern. The global scale GEO-BON (Global Earth Observation—Biodiversity Observation Network), regional EBONE (European Biodiversity Observation Network) and AP BON (Asia-Pacific BON), and local networks such as the J-BON (Japanese BON) and French BON have been successful. The introduction of Essential Biodiversity Variables (EBV) has laid a theoretical foundation for biodiversity observations. The fish biodiversity observation theory is embedded in the EBV, and includes work at the genetic, species, and ecosystem levels. Originally designed for fish monitoring, the index of biotic integrity (IBI) has become the

收稿日期: 2016-11-11; 接受日期: 2016-11-23

基金项目: 中国生物多样性监测与研究网络(Sino BON)和长江三峡生态与环境监测系统(JJ [2015]-042)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: hzliu@ihb.ac.cn

most popular index, and emphasizes the identification of different ecological functional groups, which can reflect changes in community structure and function. Fish diversity survey methods include both traditional nets and modern instruments such as a hydroacoustic sonar system. Analysis of monitoring data can be completed as simple comparisons of various indices, modeling long term trends to identify change-points, and exploring ecological regime shifts. As a part of the Chinese Biodiversity Monitoring and Research Network (Sino BON)—Inland Water Fish is designed to conduct fish monitoring work in 8 major drainage basins in China including the Yangtze River, the Yellow River, the Heilongjiang River, the Zhujiang River, the Lancang River, the Nujiang (Salween) River, the Tarim River, and the Qinhaihu Lake. A total of 25 focused areas and 24 targeted species (groups) have been selected as sampling sites and crucial indicators, respectively, and monitoring variables including community structure, population structure and dynamics, biological traits, genetic diversity, and fish early resources.

Key words: inland water fish; Sino BON; species diversity; biological traits

近年来, 人类活动的影响造成了生物多样性的丧失, 特别是水生生态系统中鱼类物种的濒危与灭绝, 物种多样性下降, 鱼类小型化, 生态系统结构、功能发生变化, 遗传多样性减少等(陈宜瑜, 1990; Sarkar et al, 2012)。为了保护生物多样性, 遏制其下降的趋势, 许多国际组织和各国政府采取了诸多措施, 特别是建立观测网络, 监测生物多样性的多项指标, 评估生物多样性的状况。当前, 广泛关注的一项工作是在地球观测组织(Global Earth Observation, GEO)框架内, 联合IUCN、BIODIVERSITAS等多个国际组织形成的生物多样性观测网络(Biodiversity Observation Network, BON) (Scholes et al, 2008, 2012)。该组织致力于建立一个全球性的科学框架, 以观测生物多样性的变化, 包括收集生物多样性的资料, 从事长时间的连续观测, 进行预测和相关分析。在GEO BON的框架建议被提出以后, 得到了世界各国政府和非政府组织的响应, 并提出了多个地区性的观测网络, 如欧洲观测网络(EBONE)、亚太观测网络(Asia-Pacific BON, AP BON), 以及多个国家的观测网络, 例如日本的J-BON, 法国的French BON等(Scholes et al, 2012; Nakano et al, 2014)。这些观测网络期望通过整体的合作, 切实地了解和保护生物多样性。特别值得高兴的是, 2014年在中科院创新项目的支持下, 成立了中国生物多样性监测与研究网络(Biodiversity Observation Network of China, Sino BON) (马克平, 2015), 包含10个专项网和1个综合监测管理中心, 以期对中国的生物多样性进行全面的监测和研究。

鱼类是生物多样性的一个重要组分。据Fish-Base的统计, 全世界的鱼类物种数已达3万多种

(Froese & Pauly, 2016), 它们在全球生态系统中起着极其重要的作用。新成立的中国生物多样性监测与研究网络中也包含对鱼类的监测, 即内陆水体鱼类多样性监测网(Sino BON-Inland Water Fish)。本文拟综述世界鱼类多样性监测的理论基础和方法, 介绍中国内陆水体鱼类多样性监测网的设计框架和拟进行的工作, 期望藉此推进我国鱼类多样性监测和保护工作的开展。

1 鱼类多样性监测的理论与方法

1.1 鱼类多样性监测的指标体系

在GEO BON的框架建议被提出以后, 为配合相关的工作, Pereira等(2013)提出了配套的生物多样性核心变量(Essential Biodiversity Variables, EBV), 期望从遗传、物种、群落、生态系统结构、功能等多尺度反映生物多样性的变化(表1)。在这一体系中, 既包括我们常规使用的遗传多样性、物种数目、群落物种多样性等内容, 也包含了物种的特征, 例如植物叶子的颜色变化时间, 类比于鱼类的生长、繁殖状况等。我们认为这一指标体系将会对GEO BON的监测工作起到重要的理论指导作用。

在很多情况下, 为了反映某地区生物多样性的总体状况, 生物多样性的监测非常强调群落层次物种多样性的监测。传统的群落物种多样性衡量方法是计算各种生物多样性指数, 如Shannon-Wiener指数、Simpson多样性指数等。但是, 有学者认为, 单纯计算笼统的生物多样性指数仅能反映物种的总体状况, 而忽略了群落中物种的生态类型和生态功能的变化(Karr, 1981)。因此, Karr (1981)提出了生物完整性指数(index of biotic integrity, IBI)的指标体系

表1 生物多样性的核心变量说明(引自Pereira et al, 2013)
Table 1 Examples of candidate Essential Biodiversity Variables (EBV) (adopted from Pereira et al, 2013)

EBV 类别 EBV class	EBV举例 EBV examples	度量与尺度 Measurement and scalability	时间敏感性 Temporal sensitivity
遗传组成 Genetic composition	基因型多样性 Allelic diversity	选定的物种(濒危或家养物种)在代表性分布区的基因型 Genotypes of selected species (e.g. endangered, domesticated) at representative locations	世代时间 Generation time
物种种群 Species populations	丰度或分布 Abundances and distributions	进行计数或出现与否调查, 主要针对大范围网络尺度上容易监测的物种、生态系统服务重要的物种等 Counts or presence surveys for groups of species easy to monitor or important for ecosystem services (ES), over an extensive network of sites	1年–10年以上 1 to >10 years
物种特征 Species traits	形态学 Phenology	遥感监测植物叶子颜色变化的时间, 需要现场核实。在鱼类可以采用生长、繁殖等特征 Timing of leaf coloration by remote sensing (RS), with <i>in situ</i> validation. Growth and reproduction traits in fish.	1年 1 year
群落组成 Community composition	分类单元多样性 Taxonomic diversity	多个分类单元的调查以及选定区域的宏基因组研究 Consistent multitaxa surveys and metagenomics at select locations	5年–10年以上 5 to >10 years
生态系统结构 Ecosystem structure	生境结构 Habitat structure	全球或区域尺度的生物量或覆盖度遥感 RS of cover (or biomass) by height (or depth) globally or regionally	1–5年 1 to 5 years
生态系统功能 Ecosystem function	营养物质保留 Nutrient retention	选定区域的营养物输出/输入比例测量 Nutrient output/input ratios measured at select locations	1年 1 year

表2 基于生物完整性指数(IBM)评价鱼类群落生物完整性的指标及评分级别(修改自Karr, 1981, 1991)
Table 2 Metrics used to assess biological integrity of fish communities based on the Index of Biotic Integrity (IBM) (from Karr, 1981, 1991 with modifications)

评价指标 Metrics	评分级别 Rating of metrics		
	5	3	1
A. 物种组成与丰富度 Species richness and composition			
1. 鱼类物种总数(土著物种) Total number of fish species (native fish species)	根据调查河流的大小或区域特征设定评价指标1-5的期望值, 大型河流鱼类物种期望值高; 中国的河流鲤科鱼类物种多。 Expectations for metrics 1-5 vary with stream size and region. Large rivers are with more species, and more cyprinids in Chinese waters		
2. 鲈类物种单元与数量(底栖物种) Number and identity of darter species (benthic species)			
3. 太阳鱼科物种单元与数量(中层鱼类) Number and identity of sunfish species (water-column species)			
4. 亚口鱼科物种单元与数量(长寿命鱼类) Number and identity of sucker species (long-lived species)			
5. 非耐受型鱼类物种单元与数量 Number and identity of intolerant species			
6. 蓝绿鳞鲃太阳鱼个体组成百分比(耐受型鱼类) Percentage of individuals as green sunfish (tolerant species)			
B. 营养类型组成 Trophic composition			
7. 杂食性鱼类个体组成百分比 Percentage of individuals as omnivores	<20	20-45	>45
8. 昆虫食性鲤科鱼类个体组成百分比 Percentage of individuals as insectivorous cyprinids (insectivores)	>45	45-20	<20
9. 凶猛肉食性鱼类个体组成百分比(顶级捕食者) Percentage of individuals as piscivores (top carnivores)	>5	5-1	<1
C. 鱼类丰度与状况 Fish abundance and condition			
10. 采集到的样本个体数 Number of individuals in sample	指标10随河流大小等因子变化 Expectations for metric 10 vary with stream size and other factors		
11. 杂交个体百分比 Percentage of individuals as hybrids	0	>0-1	>1
12. 带病、肿瘤、鳍条损伤、或骨骼畸形的个体百分比 Percentage of individuals with disease, tumors, fin damage, and skeletal anomalies	0-2	>2-5	>5

(表2)。该指标体系强调不同物种的生态功能, 其内容包括总的物种数目、不同生态类型鱼类物种数, 以及受影响的物种的数量等。因此IBM指数可以综合反映群落结构和功能的变化。该指标体系提出以后, 立刻得到积极响应, 并得到各种修正和改进, 不仅适用于鱼类的监测分析, 也被用于底栖动物等类群的分析。目前, 许多地区和单位在进行河流的监测

时, 均以IBM指数作为基本的指标, 使得该指标体系成为当前使用最广泛的指标体系。

实际监测工作中, 不同的人类活动产生的影响是不一样的, 监测的指标内容也需要进行适当的调整。如大坝的修建、鱼类栖息地的改变等会导致鱼类群落结构的变化, IBM指数应该是合适的选择; 捕捞压力过大会造成鱼类的小型化, 因此监测的内容

表3 鱼类调查方法及其适用水体(修改自Giles et al, 2005)
Table 3 Methods for fish surveying and applied water body (From Giles et al, 2005 with modifications)

调查方法 Survey methods	适用水环境 Applied water body
目测调查 Visual surveys	小型水体或清澈的溪流 Small pools and clear streams
渔获物调查 Catch returns	流水或静水水体 Running and still waters
定置网等诱捕型网具 Traps	流水或静水水体 Running and still waters
撒网等网具 Lift, throw and push netting	流水或静水水体 Running and still waters
电鱼 Electrofishing	流水或静水水体 Running and still waters
刺网 Gill netting	缓流或静水水体 Slow-flowing or still waters
围网 Seine netting	缓流或静水水体 Slow-flowing or still waters
拖网 Trawl netting	缓流或静水水体 Slow-flowing or still waters
水声学计数 Hydroacoustic sonar counters	缓流或静水水体 Slow-flowing or still waters
电子计数 Electronic counters	流水水体 Running waters

应该增加物种特征, 如个体的生长情况等; 近亲繁殖可能造成遗传多样性的丧失, 不同分子标记的遗传多样性监测与分析就是必不可少的内容。

1.2 鱼类多样性监测的采样方法

目前鱼类监测系统中比较系统的工作有美国陆军工程兵团(US Army Corps of Engineers, USACE)、美国地质调查局(US Geological Survey, USGS)、美国鱼类与野生动物局(US Fish and Wildlife Service, USFWS)及相关单位开展的密西西比河干流及主要支流的监测工作(Barko et al, 2004; Killgore et al, 2007; Steuck et al, 2010; Miranda & Killgore, 2013)。另外在加拿大、欧洲、澳大利亚等国家和地区, 也有很多的鱼类监测系统。在进行这些监测工作时, 许多部门提出了非常具体的监测方法或手册, 特别是《生物多样性工作手册》(*Handbook of Biodiversity Methods*)中对鱼类监测方法有详细和具体的描述(Giles et al, 2005)(表3)。这些方法有传统的渔具, 如刺网、拖网、各种诱捕网具(定置网、地笼、虾笼)等, 也有现代的鱼探仪等水声学设备, 在不同的水环境(河流、溪流、湖泊)条件下, 以及服务于不同目的(物种识别、种群估算)的时候, 可以分别参考使用。此外, 最近中国环保部也颁布了生物多样性观测技术导则·内陆水域鱼类(HJ 710.7-2014), 也可以供参考使用。

1.3 多样性观测数据的分析方法

在获得了大量的监测数据以后, 如何分析、评价这些数据, 并对未来的工作进行指导, 是生物监测需要解决的重要问题。最简单的办法是对获得的评价结果进行直接的对比。例如, Miller等(1988)对美国加州Fresno河Hidden大坝下游某地点1970–

1985年的调查数据进行IBI评分, 比较结果发现该地的评分级别由1970年的良好变成1985年的一般。从评分内容也可以看出, 土著鱼类百分比变化尤其大, 反映出土著鱼类受到了极大的影响。

随着生物多样性监测工作的开展, 许多学者对生物多样性长期变化趋势和变化节点进行了研究。例如, Fewster等(2000)利用the British Trust for Ornithology's Common Birds Census (CBC)的调查数据, 对12种鸟类的丰度变化趋势和关键变化点进行了分析, 发现这些物种的丰度存在增加和减少的关键变化点(图1)。

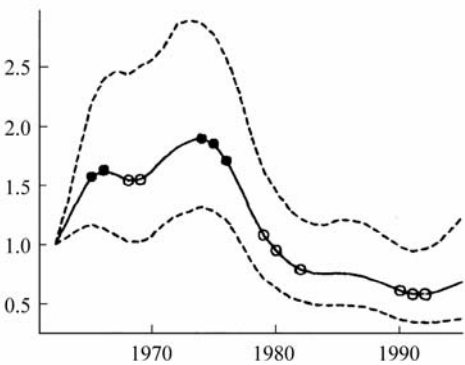


图1 基于不列颠鸟类调查数据库分析的红腹灰雀丰度指数变化趋势图示(实线为丰度指数变化曲线, 虚线为95%置信区间, 黑点表示上升的变化点, 圆圈表示下降的变化点, 引自Fewster et al, 2000)

Fig. 1 Index curves from CBC data for the Bullfinch. The solid lines give the index curves from a GAM and the dashed lines represent upper and lower 95% bootstrapped confidence limits. A solid circle denotes a point at which the second derivative is significantly negative (a downturn in the index curve), and an open circle denotes a point at which the second derivative is significantly positive (an upturn in the index curve) (Fewster et al., 2000).

由于生物多样性不是孤立存在,而是存在于生态系统之中的,生态系统的稳态转换也可以用来分析生物多样性的变化情况。例如,Hare和Mantua(2000)对北太平洋(North Pacific Ocean)的100个环境因子(包括31个气候因子和69个生物因子)分析,发现其在1977和1989年有两次明显的稳态转换,特别是在1989年的稳态转换中,生物的转换非常明显(图2)。

生物多样性监测的目的是发现和评价监测指标的变化。如果相关指标发生了稳态转换,则意味着生物多样性的格局发生了变化。如果是群落特征发生变化,说明群落结构功能进入了新的格局;如果是物种特征发生变化,说明物种的生活史过程

进入了新的格局。在这种情况下,相关的研究和管理需要采取不同的措施。

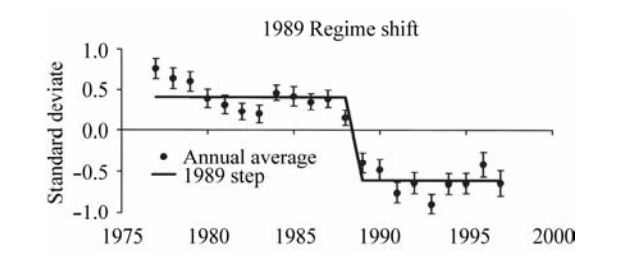


图2 基于100个环境因子分析的北太平洋生态稳态转换(引自Hare & Mantua, 2000)
Fig. 2 Regime shift analyses of a composite of the 100 environmental time series in North Pacific Ocean (Hare & Mantua, 2000)

表4 中国内陆水体鱼类多样性监测专项网空间布局、重要地区、重点物种及主要承担单位			
Table 4 The scheme of the Sino BON—Inland Water Fish, including focused areas, targeted species (groups) and lead institutions			
水系	重要地区	重点物种	主要承担单位
Water systems	Focused areas	Target species	Lead institutions
长江 Yangtz River	长江上游珍稀特有鱼类保护区(四川合江)、三峡库尾(重庆)、三峡大坝坝下(湖北宜昌)、中游湖泊区(江西湖口) Reserve for rare and endemic fishes of the Upper Yangtz River (Hejiang), end of the Three Gorges Reservoir (Chongqing), downstream of the Three Gorges Dam (Yichang), and floodplain of the middle Yangtz (Hukou)	洄游性鱼类(鲟鱼类)、长江上游特有鱼类(圆口铜鱼)、长江重要经济鱼类(四大家鱼) Anadromous fish (sturgeons), endemic fishes of the Upper Yangtz River, economic species (the four major Chinese carps)	中国科学院水生生物研究所 Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences
黄河 Yellow River	上游(巴彦淖尔)、中游(三门峡)、下游(东营) Upper reaches (Bayan Nur), middle reaches (Sanmenxia), and lower reaches (Dongying)	马口鱼或宽鳍鱲、裂腹鱼类、鲇类 <i>Opsariicthys bidens</i> or <i>Zacco platypus</i> , schizothroaxins, and catfishes	中科院动物研究所 Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences
黑龙江 Heilongjiang River	上游(呼玛)、中游(萝北)、下游(抚远) Upper reaches (Huma), middle reaches (Luobei), and lower reaches (Fuyuan)	施氏鲟或达氏鳇、鲑科鱼类 <i>Acipenser schrenckii</i> , <i>Huso dauricus</i> , salmonids	中国水产科学研究院黑龙江水产研究所 Heilongjiang River Fisheries Research Institute of Chinese Academy of Fishery Sciences
珠江 Zhujiang River	上游(合山)、中游(桂平)、下游(肇庆) Upper reaches (Heshan), middle reaches (Guiping), and lower reaches (Zhaoqing)	广东鲂、野鲮亚科代表种、鳅类代表种 <i>Megalobrama terminalis</i> , labeonins, loaches	中国水产科学研究院珠江水产研究所 Zhujiang River Fisheries Research Institute of Chinese Academy of Fishery Sciences
澜沧江 Lancang River	上游(维西)、中游(大理)、下游(景洪) Upper reaches (Weixi), middle reaches (Dali), and lower reaches (Jinghong)	裂腹鱼类、鲃类、鲴类代表种 Schizothroaxins, sisorins, barbinins	中科院昆明动物研究所 Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences
怒江 Nujiang River	上游(贡山)、中游(六库)、下游(永德) Upper reaches (Gongshan), middle reaches (Liuku), lower reaches (Yongde)	裂腹鱼类、鲃类、鳅类的代表种 Schizothroaxins, sisorins, loaches	中科院昆明动物研究所 Kunming Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences
塔里木河 Tarim River	上游(阿拉尔)、中游(沙雅)、下游(尉犁) Upper reaches (Alaer), middle reaches (Shaya), and lower reaches (Yuli)	裂腹鱼类、鳅科鱼类代表种 Schizothroaxins, loaches	中科院西北高原生物研究所 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences
青海湖 Qinghai Lake	湖北岸(刚察)、湖北岸(海晏)、湖西南岸(共和) Northwest bank (Gangcha), north bank (Haiyan), and south bank (Gonghe)	裂腹鱼类、鳅科鱼类代表种 Schizothroaxins, loaches	中科院西北高原生物研究所 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences

2 中国内陆水体鱼类多样性监测网介绍

2.1 总体设计

中国内陆水体鱼类多样性监测专项网将在长江等8大水系选择25个重要地区,对鱼类多样性的总体变化情况进行监测,并选择24个区域代表性物种(类群),监测它们的主要生物学特征状况。具体的重要地区、重点物种以及主要承担单位的信息见表4、图3。

8大河流选择的依据是:它们代表了我国不同的河流类型、不同的水环境条件,它们纵横交错,拥有丰富的鱼类多样性及渔业资源,形成了我国流域范围内的核心网络。除长江流域有4个重要地区外,其他流域均为3个,合计25个重要地区。每一水系3个重点物种(类群),合计24个重点物种(类群)。重点类群的选择依据是:它们为其分布水系的代表性类群,同时考虑优势类群和生态功能代表性。如长江流域选择了洄游性鱼类(鲟鱼类)、长江上游特有鱼类(圆口铜鱼 *Coreius guichenoti*)、长江重要经济鱼类(四大家鱼)。监测的内容包括群落、物种、遗传等不同层次的内容(表5)。监测内容在生物多样性核心变量(EBV)的框架下,结合IBI的理论,以及鱼类生物学特征进行了具体化,在群落层次上强调了物种数目、不同的生态功能类群;在物种层次上,

强调了个体生长、繁殖等特征。对这些特征的分析应该可以全面反映鱼类多样性的现状、发生的变化,并寻找导致变化的原因。

2.2 科学目标

中国内陆水体鱼类多样性监测专项网将通过多家单位的合作,进行长期的监测,实现其科学目标。首先,获取重要区域鱼类资源状况的第一手资料。在长江、黄河、黑龙江、珠江、澜沧江、怒江、塔里木河及青海湖8大流域选取代表性区域,建立鱼类监测和研究平台,运用渔获物调查、水环境监测等方法,结合水下机器人视频追踪、鱼探仪探测、声学信标监测等技术,获取各流域鱼类生物多样性总体概况的基本数据,包括总体的物种组成、总体的资源量状况、优势种的组成、不同分类单元和功能类群的组成、外来种的组成等,以及相关的环境因子参数。

其次,分析重点监测对象的生物学特征。代表性物种的状况可以反映生态系统的健康状况和环境的影响,是生物多样性监测的重要内容。内陆水体鱼类专项网将重点监测各流域代表性物种,获取大量第一手资料,分析它们的种群数量、年龄结构、个体大小、繁殖时间、繁殖群体组成、早期资源量(即繁殖的后代数量)等特征,并将采用线粒体DNA、

表5 中国内陆水体鱼类多样性监测专项网的监测内容、方法和主要指标
Table 5 Monitoring variables and methods of the Sino BON—Inland Water Fish

监测类别 Classes	监测方法 Methods	监测指标 Variables
重要区域鱼类资源监测(群落水平): 流域内鱼类种类组成、不同分类单元和功能类群组成比例、优势种成分变化、早期资源状况、鱼类生存的水环境因子。 Fish resources monitoring in focused areas (community level): species composition, taxonomic groups and ecological functional groups, dominant species, fish early resources, and environmental abiotic factors.	鱼类资源调查、渔获物调查、鱼类早期资源调查、水下声纳探测、水下机器人视频追踪、水环境因子调查。 Fish resource survey, fishing harvest survey, fish early resource survey, hydro acoustic survey, and environmental abiotic factor survey.	鱼类群落特征: 鱼类名录、鱼类多样性指数、不同物种的数量组成、重量组成、优势种类、不同分类单元、功能类群的成分变化等。早期资源的种类组成与资源量。鱼类生存环境: 水温、流速、水深、河面宽度、底质特征、溶氧、pH值、透明度、电导率, 水文站的水位、径流量等。 Community level characters: species list, diversity indices, proportion of different species in numbers and biomass, dominant species, proportion of different taxonomic groups and ecological functional groups. Species composition and abundance of fish early resources. Environmental abiotic factor: water temperature, flow velocity, water depth, river width, riverbed types, dissolved oxygen, pH, transparency, conductivity, water discharge, water level of the nearby hydrographic station.
重点物种鱼类生物学特征监测(物种水平): 重点鱼类物种(类群)的种群动态、个体生物学特征。 Target species biological monitoring: population dynamic and biological traits.	渔获物调查、鱼探仪、水下机器人视频追踪、声学信标。 Fishing harvest survey, sonar detection system, video monitoring with remotely operated vehicle (ROV), hydro acoustic survey.	鱼类种群特征: 种群数量、年龄结构、性比组成、体长和体重频数分布等。鱼类个体生物学特征: 鱼类的年龄与生长、鱼类的食物组成、性腺发育、繁殖力等个体生物学特征。鱼类行为特征: 鱼类洄游时间、线路; 鱼类繁殖、摄食等行为表现。 Population level characters: population size, age structure, sexual ratio, frequency distribution of body length and body weight. Fish biological traits: age and growth, diet composition, gonad development, fecundity. Fish behavior: migration time and route, breeding and feeding behavior.
重点物种遗传多样性监测: 种群遗传多样性现状 Genetic diversity monitoring of target species	线粒体DNA基因和微卫星分子标记 mtDNA and short sequence repeats (SSR) diversity analysis	线粒体DNA基因的单倍型数目、单倍型多样性、核苷酸多样性; 微卫星标记反映的等位基因频率、杂合度与近交状态、有效种群大小等。 MtDNA haplotype numbers and diversity, nucleotide diversity, SSR genotype frequency, heterozygosity and inbreeding coefficient, effective population size.

微卫星标记等分析其遗传多样性现状。

第三, 实现资源共享, 推动公众参与, 服务国家建设。为更好地发挥专项网的公益性, 内陆水体鱼类专项网将整理各流域监测数据及影像资料等并通过网络共享, 带动公众参与到环境保护、鱼类多样性保护、资料收集的各项进程。同时深入研究鱼类多样性的维持机制, 提高我国生物多样性科学研究水平, 为我国鱼类多样性保护、涉水工程开发的决策提供依据。

目前有关我国内陆水体鱼类多样性的监测工作在不同的水系、不同的区域均有一定程度的开展, 如珠江水系对鱼类早期资源的监测, 长江流域“三峡工程生态与环境监测系统”中水生动物和渔业资源的监测, 农业部“渔业资源与环境监测”等。已有的这些监测工作服务于不同的目的, 积累了大量的资料。但是, 目前还缺乏全国性的综合监测网络。中国内陆水体鱼类多样性监测网是在中国生物多样性监测与研究网络(Sino BON)的框架内搭建内陆水体鱼类多样性监测的平台, 期望现有的区域性监测网络能够相互合作, 通过数据共享, 形成全国性的监测网络, 为我国生物多样性的研究与保护做出贡献。

参考文献

- Barko VA, Herzog DP, Hrabik RA, Scheibe JS (2004) Relationship among fish assemblages and main-channel-border physical habitats in the unpounded upper Mississippi River. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133, 371–384.
- Chen YY (1990) Some aspects on biological diversity of freshwater ecosystem. *Bioscience Communciation*, 2, 197–200. (in Chinese) [陈宜瑜 (1990) 淡水生态系统中的若干生物多样性问题. *生物科学信息*, 2, 197–200.]
- Fewster RM, Buckland ST, Siriwardena GM, Baillie SR, Wilson JD (2000) Analysis of population trends for farmland birds using generalized additive models. *Ecology*, 81, 1970–1984.
- Froese R, Pauly D (2016) FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (10/2016).
- Giles N, Sands R, Fasham M (2005) Fish. In: *Handbook of Biodiversity Methods: Survey, Evaluation and Monitoring* (eds Hill D, Fasham M, Tucker G, Shewry M, Shaw P), pp. 368–386. Cambridge University Press, Cambridge..
- Hare SR, Mantua NJ (2000) Empirical evidence for North Pacific regime shifts in 1977 and 1989. *Progress in Oceanography*, 47, 103–145.
- HJ 710.7–2014 (2014) Technical Guidelines for Biodiversity Monitoring—Inland Water Fish. China Environmental Science Press, Beijing. (in Chinese) [HJ 710.7–2014 (2014) 生物多样性观测技术导则: 内陆水域鱼类. 中国环境科学出版社, 北京.]
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21–27.
- Karr JR (1991) Biological integrity: a long-neglected aspect of water resource management. *Ecological Applications*, 1, 66–84.
- Killgore KJ, Hoover JJ, George SG, Lewis BR, Murphy CE, Lancaster WE (2007) Distribution, relative abundance and movements of pallid sturgeon in the free-flowing Mississippi River. *Journal of Applied Ichthyology*, 23, 476–483.
- Ma KP (2015) Biodiversity monitoring in China: from CForBio to Sino BON. *Biodiversity Science*, 23, 1–2. (in Chinese) [马克平 (2015) 中国生物多样性监测网络建设: 从CForBio到Sino BON. *生物多样性*, 23, 1–2.]
- Miller DL, Hughes RM, Karr JR, Leonard PM, Moyle PB, Schrader LH, Thompson BA, Daniels RA, Fausch KD, Fitzhugh GA, Gammon JR, Halliwell DB, Angermeier PL, Orth DJ (1988) Regional applications of an index of biotic integrity for use in water resource management. *Fisheries*, 13(5), 12–20.
- Miranda LE, Killgore KJ (2014) Fish depth distributions in the Lower Mississippi River. *River Research and Applications*, 30, 347–359.
- Nakano SI, Yahara T, Nakashizuka T (2012) The Biodiversity Observation Network in the Asia-Pacific Region: Toward Further Development of Monitoring. *Ecological Research Monographs*, Springer, Tokyo.
- Pereira HM, Ferrier S, Walters M, Geller GN, Jongman RHG, Scholes RJ, Bruford MW, Brummitt N, Butchart SHM, Cardoso AC, Coops NC, Dulloo E, Fith DP, Freyhof J, Gregory RD, Heip C, Höft R, Hurr G, Jetz W, Karp DS, McGeoch MA, Obura D, Onoda Y, Pettorelli N, Reyers B, Sayre R, Scharlemann JPW, Stuart SN, Turak E, Walpole M, Wegmann M (2013) Essential biodiversity variables. *Science*, 339, 277–278.
- Sarkar UK, Pathak AK, Sinha RK, Sivakumar K, Pandian AK, Pandey A, Dubey VK, Lakra WS (2012) Freshwater fish biodiversity in the River Ganga (India): changing pattern, threats and conservation perspectives. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 22, 251–272.
- Scholes RJ, Mace GM, Turner W, Geller GN, Jürgens N, Larigauderie A, Muchoney D, Walther BA, Mooney HA (2008) Toward a Global Biodiversity Observing System. *Science*, 321, 1044–1045.
- Scholes RJ, Walters M, Turak E, Saarenmaa H, Heip CH, Tuama ÉÓ, Faith DP, Mooney HA, Ferrier S, Jongman RH, Harrison IJ, Yahara T, Pereira HM, Larigauderie A, Geller G (2012) Building a global observing system for biodiversity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4, 139–146.
- Steuck MJ, Yess S, Pitlo J, Van Vooren A, Rasmussen J (2010) Distribution and Relative Abundance of Upper Mississippi River Fishes. Upper Mississippi River Conservation Committee, Onalaska, Wisconsin.

(责任编辑: 陈小勇 责任编辑: 时意专)