



•研究报告•

# 新疆阿勒泰地区额尔齐斯河和乌伦古河流域 鱼类多样性演变和流域健康评价

李雪健<sup>1,2</sup> 贾佩尧<sup>2</sup> 牛诚祎<sup>2</sup> 邢迎春<sup>3</sup> 李浩林<sup>4</sup>  
刘海波<sup>2</sup> 唐文乔<sup>1\*</sup> 赵亚辉<sup>2\*</sup>

1 (上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306)

2 (中国科学院动物研究所, 北京 100101)

3 (中国水产科学研究院, 北京 100039)

4 (天津自然博物馆, 天津 300201)

**摘要:** 为了解阿勒泰地区额尔齐斯河和乌伦古河流域的鱼类多样性现状和历史演变, 本研究于2013–2016年间在该流域的鱼类多样性进行了连续调查, 并结合历史资料和标本, 以Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数、Pielou均匀度指数分析评估了流域内鱼类的多样性水平和时空变化。该流域历史上分布有土著鱼类23种, 当前记录到19种, 流域内还有外来鱼类15种。阿勒泰鱼类的区系组成以鲤科种类为主, 其中特有和珍稀濒危物种占比高, 具有重要的保护价值。多样性指数计算结果显示, 2013–2016年鱼类多样性情况整体稳定, 额尔齐斯河鱼类物种数多于乌伦古河。研究还基于鱼类生物完整性指数(Fish Index of Biological Integrity, F-IBI)对34个采集点的河流健康状况进行了评价, 结果显示额尔齐斯河流域大多数调查点的健康状况处于“亚健康”或“一般”水平, 乌伦古河流域多数调查点的健康状况处于“健康”水平。水利工程、外来物种、过度捕捞是影响阿勒泰地区鱼类多样性的重要因素。未来应通过水利工程的联合调度、下泄合理生态流量、布设鱼类通道、规范养殖渔业、严控外来物种、本地土著鱼类的人工增殖放流, 以及合理的就地保护措施对阿勒泰地区的鱼类多样性加以保护, 提升水体健康程度。

**关键词:** 北冰洋水系; 淡水鱼类; 生物完整性指数; 河流健康; 中国

## Species diversity of freshwater fish and assessment on watershed health in the Irtysh River and Ulungur River basins in Xinjiang, China

Xuejian Li<sup>1,2</sup>, Peiyao Jia<sup>2</sup>, Chengyi Niu<sup>2</sup>, Yingchun Xing<sup>3</sup>, Haolin Li<sup>4</sup>, Haibo Liu<sup>2</sup>, Wenqiao Tang<sup>1\*</sup>, Yahui Zhao<sup>2\*</sup>

1 College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306

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

3 Chinese Academy of Fishery Sciences, Beijing 100039

4 Tianjin Natural History Museum, Tianjin 300201

**Abstract:** We conducted yearly field surveys between 2013 and 2016 in Altay Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region to understand the current status of fish species diversity and its change in the Irtysh River and the Ulungur River basins. The Margalef richness index, the Shannon-Wiener diversity index, and the Pielou evenness index were applied to assess the species diversity and temporal and spatial variation of freshwater fishes, based on the data collected from our field investigations, museum collection, and research literature. There were 23 native fish species distributed in the Irtysh River and the Ulungur River basins. And 19 of them were collected with 15 exotic species during our surveys. The fish fauna is dominated by cyprinid fishes. High proportions of endemic and endangered fish are distinct characteristics of fish composition in Altay Prefecture. Our results showed that the fish diversity in the basins was generally stable between 2013 and 2016. Species richness in the Irtysh River was higher than one in the Ulungur River. Additionally, the Fish

收稿日期: 2019-11-11; 接受日期: 2020-01-14

基金项目: 国家科技基础性工作专项(2013FY110300)和生态环境部生物多样性调查评估项目(2019HJ2096001006)

\* 共同通讯作者 Co-authors for correspondence. E-mail: wqtang@shou.edu.cn; zhaoyh@ioz.ac.cn

Index of Biological Integrity (F-IBI) of 34 sampling sites indicated that the river health of most sites in the Irtysh River basin was at the “sub-health” or “general” level, while that of most ones in the Ulungu River basin was “healthy”. Water infrastructures, exotic species, and overexploitation of fish resources were key factors to influence freshwater fishes in the region. Aiming at the protection of fish biodiversity and improvement of river healthy, several ways should be applied in future including ecological scheduling of multi-scale coupling of reservoir group, construction of fish pass, scientific management of aquaculture to control the exotic species, artificial enhancement and releasing of endemic and endangered fish, and in situ conservation.

**Key words:** Arctic water system; freshwater fish; IBI; river health; China

阿勒泰地区位于新疆维吾尔自治区最北部,地处阿尔泰山南麓、准噶尔盆地北缘,西北与哈萨克斯坦、俄罗斯相连,东北与蒙古国接壤。额尔齐斯河和乌伦古河是阿勒泰地区的两条重要河流。额尔齐斯河发源于富蕴县境内的阿尔泰山,全长4,248 km,在中国境内长546 km,流域面积5.7万km<sup>2</sup>,年径流量约111亿m<sup>3</sup>,是阿勒泰地区最大的河流,也是新疆第二大河。额尔齐斯河是中国唯一一条流入北冰洋的河流,也是中国一条非常重要的国际河流(杜曼·木拉提汗和娜迪拉·木拉提汗, 2017),中国段包括克兰河、布尔津河、哈巴河、别列则克河等支流。乌伦古河发源于青河县境内阿尔泰山,全长821 km,流域面积6.14万km<sup>2</sup>,年径流量约10.7亿m<sup>3</sup>,是阿勒泰地区第二大河(努尔兰·哈再孜, 2014),也是中国一条非常重要的内陆河,并在尾闾处形成乌伦古湖。乌伦古湖可分为两部分,即大海子(布伦托海)和小海子(吉力湖),大海子属咸水湖,小海子则是淡水湖。额尔齐斯河和乌伦古河本为两个独立的水系,但由于在1986–1987年间兴建了“引额济海”工程,开凿了3 km的长渠,事实上现在乌伦古湖已成为额尔齐斯河的附属水体(刘建军, 2015)。

中国对于额尔齐斯河流域的鱼类区系组成和多样性的研究始于20世纪60年代。严安生(1964)报道了额尔齐斯河等地的鱼类14种。之后李思忠等(1966)发表了《新疆北部鱼类调查研究》,记录了额尔齐斯河流域的鱼类23种,是当时甚为完善的工作。中国科学院动物研究所等(1979)出版了《新疆鱼类志》,记录额尔齐斯河流域鱼类23种。张开翔(1991)发表了《乌伦古湖鱼类》。任慕莲等在1999–2001年间对额尔齐斯河考察的基础上发表了《中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业》一书(任慕莲等, 2002b),书中不但对各个物种进行了描述,还增加了很多生物学方面的内容。郭焱等(2003)、阿达可

白克·可尔江(2005)、霍堂斌等(2010)等都不同程度地对额尔齐斯河流域的鱼类进行了资源调查,这些都为本项研究提供了重要的历史数据。

鱼类是水域生态系统中重要的组成部分,鱼类的多样性、时空变化等指标能在很大程度上反映水体健康程度的变化和水利设施建设等人类活动对鱼类资源的影响。阿勒泰地区蕴藏着丰富的鱼类资源,享有“塞外鱼乡”的美称。但近几十年来,随着该地区人口数量的不断增加,渔业捕捞更加频繁,加之大量水利设施修建及外来种入侵等因素,鱼类资源呈下降的趋势(孙玉英, 2013a)。因此作者于2013–2016年对阿勒泰地区额尔齐斯河和乌伦古河两大流域的鱼类多样性进行了逐年调查,同时结合历史数据,对鱼类多样性的现状和变化进行了分析,以期能为流域鱼类资源保护工作提供科学支持。

由于生物完整性指数(Index of Biotic Integrity, IBI)可定量描述人类干扰和生物特性之间的关系,间接反映干扰对生态系统的影响程度,以鱼类生物完整性指数(F-IBI)建立的评价体系可以较为准确地反映河流生态系统的健康状况(裴雪蛟等, 2010)。所以作者根据野外调查结果,构建了额尔齐斯河和乌伦古河的F-IBI评价体系,并进一步对河流健康做出评价,以期能为未来流域水生生态环境治理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查点

调查区域及各调查点分布如图1所示。调查河流除额尔齐斯河、乌伦古河干流外,还包括额尔齐斯河支流布尔津河、哈巴河、别列则克河和乌伦古河支流小青格里河等。根据调查流域内各河流域的不同水生生境,共设置34个调查点,其中额尔齐斯河流域有20个调查点,乌伦古河流域有14个调查点。

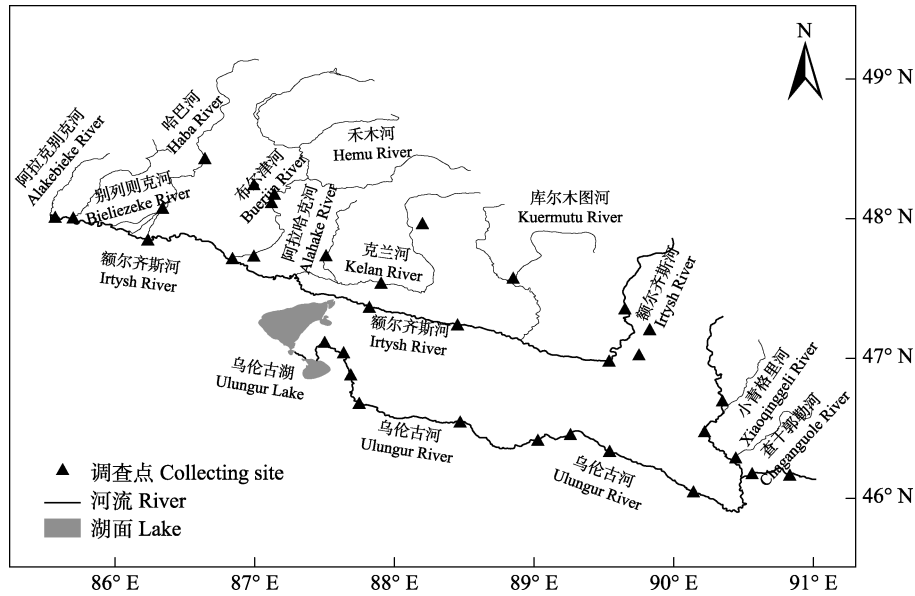


图1 额尔齐斯河流域和乌伦古河流域鱼类采集点分布图(2013–2016)

Fig. 1 Collecting sites of the Irtys River and Ulungur River basins between 2013 and 2016

## 1.2 鱼类标本采集

作者于2013–2016年连续4年对上述流域34个调查点进行了详细的野外鱼类采集工作,采集时间为夏季7–9月。根据调查水体和水生生境的具体情况选择合适的渔具和采集方式,在水流较缓的水域,采用围网、地笼、定置刺网等方法,在水流较湍急的水域采取手抄网、手撒网等方法收集鱼类样本。每个调查点的采集时间控制在30 min左右。采集过程中详细记录采集地点、时间和工具等信息,使用GPS记录采集点的经纬度和海拔。同时还进行了一定的市场收集,以补充鱼类标本。采集所得标本均使用10%甲醛溶液或95%以上酒精保存。

## 1.3 鱼类标本鉴定

鱼类标本带回实验室后置换至75%酒精中,标本固定后鉴定种类,获得种类组成和数量信息。标本全部保藏于中国科学院动物研究所国家动物博物馆鱼类标本分馆中。鱼类的鉴定和分类依据《新疆鱼类志》(中国科学院动物研究所等,1979)、《中国鲤科鱼类志》(伍献文,1981,1982)和《中国动物志》鱼类已出版各卷册(陈宜瑜,1998;乐佩琦,2000;伍汉霖和钟俊生,2008);鱼类有效名称及分类系统均依据《中国内陆鱼类物种与分布》(张春光和赵亚辉,2016)。

## 1.4 数据分析

多样性分析采用以下公式(马克平和刘玉明,

1994):

Margalef丰富度指数( $D$ ):  $D = (S - 1)/\ln N$ 。公式中, $S$ 为野外采集所得鱼类标本的种类总数, $N$ 为野外采集所得鱼类标本总个体数。

Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ ):  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ 。公式中, $P_i$ 为第*i*种鱼类占鱼类总数的比例。

Pielou均匀度指数( $E$ ):  $H_{\max} = \ln S$ ,  $E = H'/H_{\max}$ 。公式中, $H_{\max}$ 为群落最大多样性指数。

优势种的确定:将渔获物中单个物种个体数占渔获物总数10%以上的物种定为优势种(郁尧山等,1986)。

## 1.5 历史数据统计

鱼类历史研究资料主要有《新疆北部鱼类调查研究》(李思忠等,1966)、《新疆鱼类志》(中国科学院动物研究所等,1979)、《我国额尔齐斯河的鱼类及鱼类区系组成》(任慕莲等,2002a)、《额尔齐斯河中国段鱼类资源现状及合理开发》(阿达可白克·可尔江,2005)、《乌伦古湖鱼类资源现状及保护与开发对策》(阿达可白克·可尔江等,2006);历史鱼类标本均来自中国科学院动物研究所国家动物博物馆鱼类标本馆藏。

## 1.6 F-IBI体系的构建

### 1.6.1 参照点位选择

参照点位一般采用无人干扰的原始河段或利用历史数据(Barbour et al, 1996; Maxted et al,

2000; Blocksom et al, 2002; Morley & Karr, 2002), 但由于本次调查区域内无人干扰样点数量有限, 而历史数据又缺乏统一性, 再加上调查时间跨度较大, 因此选取采集时间较早、相对受人类干扰较小的2013年的调查数据作为参照。

### 1.6.2 生物指标筛选

根据本次鱼类调查采集工作的实际情况, 综合参考相关研究, 首先选取五大类型(物种组成、营养结构、耐受性、繁殖共位群、鱼类数量)共20个相关鱼类指标作为候选生物指标(附录1)。之后对候选的20个生物指标依次利用分布范围和判别能力进行优化和筛选。其中分布范围筛选剔除在90%以上的样点得分为0和标准差过大或过小的指标; 判别能力分析是比较参照点和观测点在25%–75%分位数范围内重叠的情况, 并进行生物判别能力(Interquartile, IQ)赋值。首先分别计算参照点和观测点的25%分位数、75%分位数、中位数, 之后判断两者之间的重叠情况, 如无重叠, 即参照点25%–75%分位数区间与观测点的无重叠情况, 则 $IQ = 3$ ; 部分重叠但双方中位数不在对方25%–75%分位数区间内,  $IQ = 2$ ; 仅1个中位数在对方25%–75%分位数之内,  $IQ = 1$ ; 都在对方之内, 则 $IQ = 0$  (裴雪姣等, 2010; 王军等, 2015)。

### 1.6.3 生物指标赋值

生物指标赋值采用由Karr (1981, 1993)提出的1、3、5赋值法, 将参照点和受损点内的同一生物指标排序并按大小进行三等分: 对于受干扰下降的生物指标, 最上部分赋值5分, 中间部分赋值3分, 而最下部分赋值1分; 对于受干扰而上升的生物指标, 最上部分赋值1分, 中间部分赋值3分, 最下部分赋值5分。

### 1.6.4 F-IBI评价标准的确立

根据已经求出的参照点的各点分值进行统计, 对于各生物指标, 以参照点得分的中位数为分界点, 中位数之上的评价为健康(即认为如果一个观测点的得分高于50%参照点的得分, 视其为健康); 中位数之下进行三等分, 评价分别为: 亚健康、一般、差。

## 2 结果

### 2.1 鱼类多样性

综合历史文献资料和馆藏标本统计, 阿勒泰地区额尔齐斯河流域和乌伦古河流域土著鱼类合计

23种, 隶属于7目9科19属(附录2)。其中鲤形目鱼类物种最多, 共有12种, 占研究流域鱼类物种总数的52%; 鲑形目鱼类次之, 共有4种; 鲟形目、鲈形目鱼类各有2种; 狗鱼目、鳊形目和鲇形目均只有1种。科级组成方面, 鲤科鱼类物种数最多, 共有8种; 鲑科鱼类有4种; 条鳅科鱼类有3种; 鲟科、鲈科有2种; 狗鱼科、花鳅科、江鳊科、杜父鱼科均只有1种。

2013–2016年本底调查共采集到鱼类标本6,989尾, 隶属于7目12科30属34种, 其中土著鱼类有6目8科16属19种。采集所得土著鱼类中, 鲤形目鱼类种类最多, 为12种, 占现有土著鱼类物种总数的63%; 其次是鲑形目和鲈形目, 各有2种; 狗鱼目、鳊形目和鲇形目各有1种。从科级水平看, 鲤科鱼类有8种; 条鳅科鱼类有3种; 鲈科、鲑科鱼类各有2种; 剩余各科均只有1种。本次调查共采集到外来鱼类15种, 隶属于3目7科15属。外来种中, 鲤形目占主要地位, 共有10种, 其中鲤科8种, 花鳅科2种; 鲈形目3种, 分别是属于鲈科鲈属的梭鲈(*Lucioperca lucioperca*)、属于沙塘鳢科小黄黝属(*Micropercops*)的小黄黝鱼(*Micropercops swinhonis*)和虾虎鱼科吻虾虎鱼属的褐吻虾虎鱼(*Rhinogobius brunneus*); 胡瓜鱼目2种, 分别是属于胡瓜鱼科公鱼属的池沼公鱼(*Hypomesus olidus*)和银鱼科大银鱼属的大银鱼(*Protosalanx hyalocranium*)。

### 2.2 优势种和多样性指数

整体来看, 2013和2016年采集到的鱼类物种数最多, 为23种, 2015年采集到的鱼类物种数最少, 仅有15种; 丰富度指数、多样性指数和均匀度指数的计算结果与区域鱼类物种数变化趋势基本相同, 最低值均出现在2015年, 丰富度指数为2.06, 多样性指数为1.68, 均匀度指数为0.62(表1)。

从两个流域比较来说, 额尔齐斯河流域历年采集物种数均超过乌伦古河, 其中2014年两流域物种数差距最大, 额尔齐斯河共有20种鱼类, 乌伦古河仅有8种。丰富度指数方面, 额尔齐斯河历年丰富度指数均超过乌伦古河, 其中额尔齐斯河2013年丰富度指数最高(3.42), 2015年最低(2.14); 乌伦古河2013年丰富度指数最高(3.08), 其余各年均较低且相差不大, 在1.53–1.63之间。多样性指数方面, 额尔齐斯河2015年多样性指数最低(1.75), 其余3年多样性指数接近, 在1.92–2.00之间; 乌伦古河流域2013年多样性指数最高(2.08), 2015年最低(1.32)。均

均匀度指数方面, 额尔齐斯河流域均匀度指数变化不大, 在0.63–0.67之间; 乌伦古河2014年均均匀度指数最高(0.88), 2015年最低(0.55) (表1)。

各流域鱼类优势种的统计结果如表2所示, 额尔齐斯河流域的优势种是尖鳍鮡(*Gobio acutipinnatus*)、阿勒泰鱊(*Phoxinus ujmonensis*)等。乌伦古河流域的优势种主要有贝加尔雅罗鱼(*Leuciscus baicalensis*)、北方须鳅(*Barbatula nuda*)等。

## 2.3 生物完整性评价结果

### 2.3.1 参数指标筛选结果

根据实地调查结果, 调查流域内两条河流及其支流均较浅, 难以区分中上层、中下层和底层鱼类, 所以对M7 (中上层鱼类物种数百分比)、M8 (中下层鱼类物种数百分比)、M9 (底层鱼类物种数百分比) 三项生物指标进行了剔除; M6 (鲈科鱼类物种数百分比)、M11 (植食性鱼类个体百分比)、M20 (麦穗鱼个体总数)因90%分值为0, 所以剔除, 而M18 (鱼类个体总数)因标准差过大而剔除, M15 (漂流性卵鱼类物种数百分比)因标准差过小而剔除。

将剩余的生物指标进行判别能力筛选, 额尔齐斯河和乌伦古河流域在参照点和观测点的各参数指标值如附录3所示。根据结果可筛选出生物指标, 因为额尔齐斯河没有生物判别能力(IQ) ≥ 2 的点, 所以将IQ = 1的生物指标作为核心生物指标, 即M3、M16、M17、M19共4个。而乌伦古河经过判别可筛选出M4、M5、M13、M14、M17、M19共6个核心生物指标。

### 2.3.2 鱼类完整性评价标准和评价结果

根据参数指标的筛选结果, 针对阿勒泰地区额

尔齐斯河和乌伦古河流域建立2套不同的F-IBI体系分别评价。将各项参数指标进行排序赋值后, 额尔齐斯河流域鱼类完整性评价标准为: 健康(≥ 14), 亚健康(10–13), 一般(5–9), 差(0–4); 乌伦古河流域鱼类完整性评价标准为: 健康(≥ 17), 亚健康(13–17), 一般(7–12), 差(0–6)。根据上述标准, 额尔齐斯河2014年的平均得分最高(11.2), 2个调查点评价为一般, 无较差点位; 2016年的平均得分最低(9.8), 11个调查点中有5个评价为一般或较差(表3)。乌伦古河流域2016年的平均得分最高(20.4), 9个调查点中8个点评价为健康, 1个调查点为亚健康; 2014年平均得分最低(19.2), 5个调查点中有3个评价为健康, 2个评价为亚健康或一般(表4)。

## 3 讨论

### 3.1 阿勒泰地区鱼类多样性现状

#### 3.1.1 鱼类区系组成简单, 多样性较为稳定

根据标本鉴定的结果, 在阿勒泰地区额尔齐斯河水系和乌伦古河水系采集到的土著鱼类中鲤形目鱼类最多(12种), 从科级水平比较结果也显示鲤科鱼类为优势类群(8种)。在鲤科鱼类当中, 亚科的数量非常单调, 以雅罗鱼亚科的鱼类占据优势。

额尔齐斯河的鱼类以北方冷水性鱼类为代表, 充分反映了古北区北冰洋水系的鱼类区系特点, 代表性的种类有北鲑(*Stenodus leucichthys*)、江鳕(*Lota lota*)、北极茴鱼(*Thymallas arcticus*)、白斑狗鱼(*Esox lucius*)等。这些鱼类当中, 有西伯利亚分区的种类, 如北鲑、北极茴鱼、尖鳍鮡等, 还具有北欧分区的鱼类, 如丁鲋(*Tinca tinca*)、河鲈(*Perca fluviatilis*)、

表1 2013–2016年额尔齐斯河流域和乌伦古河流域的鱼类物种数、均匀度指数、丰富度指数和多样性指数

Table 1 Number of species, evenness index, species richness index and diversity index in the Irtysh River and Ulungur River basins between 2013 and 2016

	2013			2014			2015			2016		
	整体 Total	额尔齐斯河 Irtysh River	乌伦古河 Ulungur River	整体 Total	额尔齐斯河 Irtysh River	乌伦古河 Ulungur River	整体 Total	额尔齐斯河 Irtysh River	乌伦古河 Ulungur River	整体 Total	额尔齐斯河 Irtysh River	乌伦古河 Ulungur River
物种数 No. of species	23	22	18	20	20	8	15	14	11	23	21	13
均匀度指数 Evenness index	0.67	0.64	0.72	0.70	0.67	0.88	0.62	0.66	0.55	0.70	0.63	0.76
丰富度指数 Richness index	3.28	3.42	3.08	2.71	2.79	1.53	2.06	2.14	1.63	2.64	2.55	1.62
多样性指数 Diversity index	2.09	1.99	2.08	2.11	2.00	1.83	1.68	1.75	1.32	2.20	1.92	1.96

表2 2013–2016年额尔齐斯河流域和乌伦古河流域鱼类优势种统计

Table 2 Dominant species in the Irtysh River and Ulungur River basins between 2013 and 2016

优势种 Dominant species	2013			2014			2015			2016		
	整体 Total	额尔齐斯河 Irtysh River	乌伦古河 Ulungur River	整体 Total	额尔齐斯河 Irtysh River	乌伦古河 Ulungur River	整体 Total	额尔齐斯河 Irtysh River	乌伦古河 Ulungur River	整体 Total	额尔齐斯河 Irtysh River	乌伦古河 Ulungur River
尖鳍鮡 <i>Gobio acutipinnatus</i>	++++	++++	+++	+++	+++	+++	++++	++++	++++	++++	+++	++++
贝加尔雅罗鱼 <i>Leuciscus baicalensis</i>	+++	+++	++	+	+	+	+++	++	+++	+	+	++
阿勒泰鲢 <i>Phoxinus ujmonensis</i>	++	++	++++	++++	++++	+	++	+++	-	+++	++++	-
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i> *	++	++	+	+	+	-	+	+	++	++	+	+++
湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus lacustris</i>	+	+	-	+	+	++++	-	-	-	+	+	-
北方须鲈 <i>Barbatula nuda</i>	+	+	+	+	+	++	-	-	-	++	++	++
东方欧鳊 <i>Abramis brama</i> *	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+	++	-

++++ 第一优势种; +++ 第二优势种; ++ 优势种; + 出现; - 未出现; \* 外来种。

++++ First dominant species; +++ Second dominant species; ++ Dominant species; + Present; - Absent; \* Alien species.

表3 额尔齐斯河流域鱼类完整性评价结果

Table 3 Results of fish index of biological integrity in the Irtysh River Basin

点位编号 Point number	M3	M16	M17	M19	总分 Total score	平均分 Average score	评价结果 Evaluation results
2014-1	5	5	5	1	16	11.2	健康 Health
2014-2	1	3	3	5	12		亚健康 Subhealth
2014-3	5	1	1	5	12		亚健康 Subhealth
2014-4	3	1	3	3	10		亚健康 Subhealth
2014-5	3	5	3	1	12		亚健康 Subhealth
2014-6	3	1	1	1	6		一般 General
2014-7	3	3	3	3	12		亚健康 Subhealth
2014-8	3	1	1	3	8		一般 General
2014-9	1	3	1	5	10		亚健康 Subhealth
2014-10	3	3	3	5	14		健康 Health
2015-1	3	1	1	1	6	10.8	一般 General
2015-2	5	3	3	5	16		健康 Health
2015-3	1	5	3	5	14		健康 Health
2015-4	1	1	1	5	8		一般 General
2015-5	5	1	3	1	10		亚健康 Subhealth
2016-1	1	1	1	5	8	9.8	一般 General
2016-2	5	1	1	1	8		一般 General
2016-3	1	1	1	1	4		差 Poor
2016-4	1	3	3	1	8		一般 General
2016-5	1	5	5	3	14		健康 Health
2016-6	5	1	3	5	14		健康 Health
2016-7	5	1	1	1	8		一般 General
2016-8	3	1	1	5	10		亚健康 Subhealth
2016-9	1	1	3	5	10		亚健康 Subhealth
2016-10	3	1	3	5	12		亚健康 Subhealth

表4 乌伦古河流域鱼类完整性评价结果

Table 4 Results of fish index of biological integrity in the Ulungur River Basin

点位编号 Point number	M4	M5	M13	M14	M17	M19	总分 Total score	平均分 Average score	评价结果 Evaluation results
2014-1	5	5	3	3	5	5	26	19.2	健康 Health
2014-2	5	3	1	1	1	3	14		亚健康 Subhealth
2014-3	5	1	1	1	3	3	24		健康 Health
2014-4	3	1	1	1	5	1	12		一般 General
2014-5	1	3	5	5	3	3	20		健康 Health
2015-1	5	5	1	1	1	1	14	20	亚健康 Subhealth
2015-2	3	1	5	5	1	5	20		健康 Health
2015-3	1	1	5	5	3	5	20		健康 Health
2015-4	5	1	5	5	5	1	22		健康 Health
2015-5	1	3	5	5	5	5	24		健康 Health
2016-1	5	5	1	1	3	5	20	20.4	健康 Health
2016-2	5	5	1	1	1	3	16		亚健康 Subhealth
2016-3	5	5	1	1	1	5	18		健康 Health
2016-4	1	3	5	5	5	5	24		健康 Health
2016-5	3	5	1	1	3	5	18		健康 Health
2016-6	5	5	1	1	1	5	18		健康 Health
2016-7	5	5	1	1	3	5	20		健康 Health
2016-8	1	3	5	5	3	5	22		健康 Health
2016-9	3	5	5	5	5	5	28		健康 Health

高体雅罗鱼(*Leuciscus idus*)等,甚至还有一些青藏高原区的种类,如新疆高原鳅(*Triplophysa strauchii*)和小体高原鳅(*T. minuta*)。其中很多种类在我国只分布在额尔齐斯河流域。

同历史数据相比较,2013–2016年的调查结果显示出4种土著鱼类没有采集到,分别是西伯利亚鲟(*Acipenser baeri*)、小体鲟(*A. ruthenus*)、北鲑和细鳞鲑(*Brachymystax lenok*) (附录2)。前3种鱼类在流域内已经多年不见(中国科学院动物研究所等,1979;霍堂斌等,2010),细鳞鲑则在我们连续4年的调查中未有发现。在调查期间,整体鱼类多样性变化不大。物种数方面,除去2015年鱼类物种数(15种)较少之外,其余各年均均在20种左右。鱼类多样性指数、均匀度指数和丰富度指数的变化规律与鱼类物种数的变化相似。综上分析可知,阿勒泰地区鱼类物种数较少,多样性现状较稳定。

### 3.1.2 额尔齐斯河鱼类多样性高于乌伦古河

鱼类物种数和丰富度指数可以直观地反映流域内鱼类多样性的程度。根据历年鱼类调查结果,额尔齐斯河鱼类物种数均高于乌伦古河,丰富度指

数也高于乌伦古河。一般来说,水生生境的异质性程度可影响鱼类的物种数和丰富度,生境异质性程度高则物种数和丰富度也较高。额尔齐斯河流域面积广,流经地区多,水生生境复杂,而乌伦古河作为内陆河流无论从河流长度还是径流量各方面均低于额尔齐斯河,且径流量呈逐年下降的趋势(杨霞,2015)。另一方面水生生境的稳定程度也是影响鱼类物种数和丰富度的原因之一。鱼类生存繁殖依赖于稳定的生境,乌伦古河流经区域人类活动较为频繁且出现过断流的情况,而额尔齐斯河流经区域多为边境地区,人烟稀少,流域内又有阿勒泰科克苏湿地国家级自然保护区等,受保护程度较高,相应的生境稳定程度也较高。

均匀度指数可以反映群落中每个物种分类的均匀程度。从计算结果来看,额尔齐斯河在物种数和丰富度指数均显著高于乌伦古河的情况下,其均匀度指数却较低,原因可能是少数鱼类资源量大,数量占比大,成为该河流的优势种。根据流域优势种的统计结果(表2),额尔齐斯河流域的优势种尖鳍鲟、阿勒泰鲃等每年的标本采集数量均占到采集标

本总数的20%以上,其中2014年阿勒泰鱈的标本量接近标本总数的40%;相应的乌伦古河流域的优势种如贝加尔雅罗鱼、北方须鳅等,其总数均不超过采集鱼类总数的20%,优势种的优势程度相对于额尔齐斯河流域来说并不明显,因而导致乌伦古河鱼类均匀度较高。

### 3.1.3 特有种和珍稀种占比高

根据鱼类物种的鉴定和历史资料梳理的结果来看,阿勒泰地区额尔齐斯河和乌伦古河流域是部分物种在中国境内的唯一自然分布区域,如粘鲈(*Acerina cernua*)、丁鱈、白斑狗鱼等,此外还有额尔齐斯河流域特有种2种,分别是阿勒泰杜父鱼(*Cottus sibiricus altaicus*)和阿勒泰鱈。

额尔齐斯河和乌伦古河流域有珍稀濒危鱼类8种(表5),隶属于4目4科7属。其中根据IUCN红色名录的评估结果,这些鱼类当中野外灭绝(EW)1种、濒危(EN)1种、易危(VU)2种;根据2016年《中国脊椎动物红色名录》的评估结果(蒋志刚等,2016),这些鱼类当中极危(CR)1种、濒危(EN)2种、易危(VU)3种;此外,列入《新疆维吾尔自治区水生野生动物保护名录》的5种,占到该保护名录的36%;列入新修订的《国家野生动物保护名录(征求意见稿)》的物种有5种。这些珍稀濒危种类合计8种,占该地区土著鱼类总数(23种)的35%;占新疆受威胁鱼类总数(17种)的47%。流域内珍稀濒危物种的比例甚至高于中国的一些主要江河(曹亮等,2016),说明阿勒泰地区鱼类的保护在新疆乃至全国都有重要的意义。

### 3.1.4 外来种占比高

调查结果显示,阿勒泰地区额尔齐斯河和乌伦

古河流域鱼类外来种共计15种,隶属于3目7科15属(附录2),阿勒泰地区外来种鱼类多由于养殖原因主动引入或混杂在养殖鱼苗中进入天然水体而自然繁殖,其原产地大部分来自于中国东部地区,如鲤(*Cyprinus carpio*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)等,少部分来自于里海等水系,如东方欧鳊(*Abramis brama*)、梭鲈等。

此外,结合历史资料可以看出,阿勒泰地区外来鱼类的数量也处在逐渐增多的过程中。20世纪60年代,外来物种仅记录有鲤和东方欧鳊(李思忠等,1966);而到2010年前的调查显示,外来鱼类的数量为11种(霍堂斌等,2010);而我们连续多年的调查使得记录的外来鱼类数量更是达到了15种。目前阿勒泰地区的外来物种数量至少已经占到土著鱼类总数的65%,这一比例显著高于中国其他主要江河。

### 3.2 F-IBI体系评价分析

根据F-IBI体系对额尔齐斯河和乌伦古河流域水体健康程度的评价分析结果,乌伦古河流域水体健康程度较高,且平均得分呈逐年上升趋势;而额尔齐斯河流域水体健康程度一般,多处调查点被评价为亚健康或一般水平,平均得分也呈逐年下降的趋势。结合鱼类多样性的研究结果,额尔齐斯河流域鱼类物种数多且多样性较高,鱼类生境复杂,而其水体的健康程度却呈逐年下降的趋势,因而相对于乌伦古河来说,更应加强对额尔齐斯河流域的生境保护。

王军等(2015)曾基于大型底栖动物完整性指数对额尔齐斯河进行健康评价,尽管与我们依据的指标动物和评价等级均有所不同,但仍可以反映出一

表5 额尔齐斯河和乌伦古河流域珍稀保护鱼类名录

Table 5 Endangered and protected fish in the Irtysh River and Ulungur River basins

物种 Species	IUCN红色名录 IUCN Red List	中国脊椎动物红色名录 Red List of China's Vertebrates	国家重点保护野生 动物名录(征求意见稿) WASPC	新疆重点保护水生 野生动物名录 AWSPX
西伯利亚鲟 <i>Acipenser baerii</i> *	濒危 Endangered	濒危 Endangered	II级	I级
小体鲟 <i>Acipenser ruthenus</i> *	易危 Vulnerable	极危 Critically Endangered	II级	I级
哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	易危 Vulnerable	易危 Vulnerable		
细鳞鲑 <i>Brachymystax lenok</i> *		濒危 Endangered	II级	
北鲑 <i>Stenodus leucichthys</i> *	野外灭绝 Extinct in the Wild		II级	
北极茴鱼 <i>Thymallus arcticus</i>	无危 Least Concern	易危 Vulnerable	II级	II级
高体雅罗鱼 <i>Leuciscus idus</i>				II级
阿勒泰杜父鱼 <i>Cottus sibiricus altaicus</i>		易危 Vulnerable		II级

\* 本次野外调查未采集到的鱼类物种 \* Uncollected fish species in this survey; WASPC: Wild Animals under Special State Protection in China; AWSPX: Aquatic Wildlife under Special State Protection in Xinjiang.



些一致的趋势。本项研究中通过F-IBI指数评价的结果显示, 额尔齐斯河中, 评价为一般(不含)等级以上的位点在2014、2015、2016三年间所占比重分别为80%、60%和55%, 总体显示额尔齐斯河流域水体在健康和亚健康之间(表3)。王军等(2015)对额尔齐斯河2012–2013年间水体健康的评价结果显示, 一般(不含)等级以上的位点占比为60%, 与我们的评价结果类似。本项研究同时还显示出, 额尔齐斯河的水体健康状况有逐年下降的趋势, 应该引起有关方面的高度重视。

底栖动物是鱼类的重要饵料来源, 在水体生态系统中和鱼类的关系最为密切, 未来应进一步将底栖动物和鱼类结合起来, 引入食物链关系, 进行IBI联合评价, 使得评价结果更能反映水体的健康程度, 为流域环境保护提供依据。同时还应建立固定监测网络进行长期跟踪, 反映水环境治理的效果。

### 3.3 影响阿勒泰地区鱼类多样性变化的因素

#### 3.3.1 水利水电工程的建设

受到当地经济社会迅猛发展的影响, 目前阿勒泰地区流域水资源综合利用矛盾突出, 农业用水需求量大, 占到额尔齐斯河水资源利用总量的90%, 因此在额尔齐斯河已建山区、平原水利工程达40多处, 包括7座骨干水库、25座生态闸和7条牧业大渠(邓铭江等, 2017), 如位于额尔齐斯河上游干流的可可托海水电站、位于乌伦古河中游的萨尔铁列克电站、富蕴峡口水电站等。在7座骨干水库中包括大I型水库2座、大II型水库4座、中型水库1座(姜旭新等, 2019)。水利水电工程的建设直接导致了水生境的变化, 对栖居于其中的鱼类产生了诸多不利影响。水坝的存在打断了河流的纵向连通性, 阻隔了一些洄游鱼类的通道。例如北鲑曾经分布于额尔齐斯河布尔津以下河段, 在20世纪60年代还是额尔齐斯河的主要捕捞对象(李思忠等, 1966), 但受到哈萨克斯坦20世纪70年代以后修建的波赫塔尔明斯柯水电站、舒列宾斯克水电站(水库)等水利设施的影响, 该鱼不能上溯到中国境内产卵, 因此北鲑已在中国境内消失(郭焱等, 2003), 成为中国区域灭绝物种(曹亮等, 2016)。

有限水资源的过度利用, 加之“引额济海”工程引水以及各水库的水量调节, 使得额尔齐斯河不同河段经常发生断流现象。事实上, 额尔齐斯河中国段下游近年来所面临的重大生态问题就是河道断

流(努尔兰·加列力, 2017)。河道断流、或是主河道水量急剧减少, 水面缩小, 影响了河道两侧的苇塘、沼泽、坑洼等适宜中小型鱼类繁衍的微生境(阿达可白克·可尔江, 2005)。如果断流发生在鱼类繁殖季节, 更将对鱼类的生存繁衍产生不利影响。

水电站建设的另一直接的环境影响就是改变了水体形态, 使得原先流动的河流形态转变为几近静止的水库–湖泊形态, 因此使得那些适合急流生活的种类(如细鳞鲑)逐渐退出原水体, 而一些适合静水生活的种类(在当地主要是一些外来物种)得到了更好发展。而一系列水库群的存在, 也使得现存的流水河段间断而不连续, 这样一些产漂流性卵的鱼类如湖拟鲤(*Rutilus rutilus lacustris*)等则会因流速和流程不够而不能完成生活史。

#### 3.3.2 外来种的影响

早在20世纪30年代, 前苏联为发展斋桑泊渔业, 向额尔齐斯河移殖了鲤, 鲤于50年代出现在中国境内; 20世纪60年代初前苏联又相继引入了东方欧鳊和梭鲈, 自此东方欧鳊逐渐成为额尔齐斯河最主要的捕捞鱼类之一(郭焱等, 2003)。之后又陆续向阿勒泰地区的自然水体引入鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、草鱼等。1991年, 池沼公鱼被引入了吉力湖, 至1999年, 产量达到1,800 t, 占乌伦古湖和吉力湖总产量的60.4% (郭焱等, 2003)。

外来鱼类对土著鱼类多样性的影响不容忽视, 大量外来鱼类的生存与繁殖挤压了土著鱼类的生存空间, 造成土著鱼类物种数和资源量减少甚至消失。在阿勒泰地区的大部分外来鱼类已经稳定繁殖, 形成了相当大的种群规模。例如20世纪50年代额尔齐斯河的渔获物中以湖拟鲤和白斑狗鱼为主(李思忠等, 1966), 到60年代逐渐演变为以鲤和东方欧鳊为主(中国科学院动物研究所等, 1979)。而在我们调查中, 一些调查点的优势类群则是以小型的麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)等为主。当前外来鱼类已经对土著鱼类的种群数量产生了较大的影响, 是威胁阿勒泰地区鱼类多样性的重要因素。此外, 额尔齐斯河流域中还存在湖拟鲤和东方欧鳊的自然杂交种, 可见外来鱼类在生态和遗传上都对本地土著鱼类产生了多方面的影响。

#### 3.3.3 渔业活动

额尔齐斯河和乌伦古河(湖)是新疆传统的渔业

产区, 20世纪50年代以后, 分别成立了哈巴河渔场和阿勒泰盐池渔场从事捕鱼生产。1960–1968年间, 渔业产量在年产200–300 t之间波动; 随后进入较快上升期, 到1971年达到了464 t, 并在1982年达到了峰值500 t。之后尽管有很多其他地区的渔民来此作业, 捕捞量持续增大, 但由于有限的野生鱼类资源, 渔业产量经历剧烈波动后, 在1994年后迅速下滑, 由1994年的438 t降到1999年的138 t (任慕莲等, 2002b)。近年来年产量更是下降到100 t以下, 甚至远低于20世纪60年代初期。无论采取什么措施, 产量都不能得到提高, 说明整个渔业正处于崩溃状态。持续高强度的捕捞压力造成重要中大型经济鱼类如白斑狗鱼、河鲈等资源严重受损, 鱼类多样性和种群数量也随之降低且个体整体小型化。此外养殖渔业的发展以及湖泊的增殖放流活动, 使得外来鱼类通过直接引入或是间接逃逸进入自然水体, 进一步加剧了外来物种对土著鱼类的不良影响。

### 3.4 保护建议

额尔齐斯河和乌伦古河均为阿勒泰地区的重要河流, 额尔齐斯河还是中国主要国际河流之一, 在当前全球化的趋势下, 维护国际河流中国段的河流健康对整个额尔齐斯河流域的合作管理和资源共享、维护生物多样性的稳定和促进水生生态环境的可持续发展均有重要意义。因此基于本次研究, 提出以下保护建议。

#### (1) 优化水库调度、建设过鱼设施

目前研究显示, 受水利工程建设等因素的综合影响, 额尔齐斯河流域河谷生态系统整体水文情势已达到中度改变(姜旭新等, 2019)。然而随着天山北坡经济带的发展, 水资源利用压力持续增大, 在这样的背景下, 大规模改变水利工程布局、拆除现有一些水坝等都是不现实的, 因此科学合理地进行水库/水利设施的联合调度, 将可在一定程度上降低水利工程给水生生态带来的不利影响。

首先应根据水生生物(特别是鱼类)的生态需求制定流域(如额尔齐斯河)水库群联合调度规划; 根据河流自然状态下丰水期、平水期和枯水期的历史水量规律, 结合鱼类空间活动需求和繁殖条件需求(水量、流速、水温等往往是鱼类性腺发育和产卵繁殖的信号), 计算合理的生态流量, 在河段不断流的前提下重点保障鱼类繁殖期(当地约为4–6月间)的水量需求。同时通过水库间的联合调度, 将高、低

流量脉冲发生次数控制在合理范围内, 避免影响鱼类等水生生物的正常生命周期(姜旭新等, 2019)。

已建大型水坝如位于额尔齐斯河上游干流的可可托海水电站、位于布尔津河上游干流的冲乎尔水电站等可以采取修建过鱼设施的方式, 恢复大坝上下鱼类种群间的沟通。过鱼设施的选择要因地制宜, 根据过鱼对象的生态学和生物学习性决定。在地形条件允许的情况下, 仿自然的旁路式鱼道应该是首要考虑的选项。

此外, 新建(拟建)水利设施一定要做好环境影响评价工作, 将鱼类保护作为一个重要前提, 切实落实规划的水生生态影响减免措施, 将水利设施建设对鱼类的影响降到最低。只有水生生物多样性得到长久的维持和提高, 才是水体(河流)健康得到提升的重要标志。

#### (2) 合理发展渔业、控制外来物种

渔业是阿勒泰地区的重要经济产业之一, 但近年来由于过度捕捞的原因, 鱼类多样性和资源量呈严重的下降趋势。建议设置完善休渔禁渔制度, 控制渔业作业时间和规模。当前该区域已颁布《伊犁哈萨克自治州伊犁河、额尔齐斯河渔业资源保护条例》, 规定每年4月1日至6月30日为额尔齐斯河禁渔期(孙玉英, 2013b)。禁渔期制度可在全流域进行推广, 已建立禁渔期制度的在原有基础上应适当提前禁渔开始时间, 以避免生殖洄游鱼类如北极茴鱼、江鳕等的洄游产卵高峰期。

推进鱼类养殖业的发展, 通过养殖手段可减少对流域内野生鱼类的影响, 实现渔业的可持续发展(杨君兴等, 2013)。养殖鱼类的选择应以本地具有高附加值的土著鱼类为主, 不能盲目引种。养殖过程应该做好防逃防漏工作, 同时保证养殖废水不向自然水体直接排放。当前阿勒泰地区已成功研发地方经济种白斑狗鱼、河鲈、江鳕等的人工养殖技术(武菲等, 2016; 李胜, 2016)。此外, 在流域内水库数量较多的背景下, 应严格控制或禁止水库网箱养殖, 以免破坏水体的自我净化功能, 甚至诱发水体富营养化污染整片水域(卢春娇和陈君, 2013)。

#### (3) 进行合理增殖放流

增殖放流可以补充鱼类资源种群与数量, 改善因过度捕捞或水利工程建设等遭受破坏的水生生态环境, 延续濒危珍稀鱼类种群, 保持鱼类生物多样性(杨君兴等, 2013)。针对阿勒泰地区鱼类多样性

的现状,增殖放流工作应逐步从经济鱼类的增殖向珍稀濒危鱼类种群的恢复转变。鼓励周边养殖企业以本地土著鱼类(特别是一些经济价值有限的种类)为亲本进行人工繁育,作为土著鱼类增殖放流种苗的来源。在增殖放流过程中应针对不同水域特性,科学规划放流鱼类的品种和数量,严防引发外来物种入侵问题。当前流域内增殖放流主要集中在乌伦古湖和额尔齐斯河干流,其中由福海县成立的水生野生动物救护中心每年可向乌伦古湖投放约一千万尾土著鱼苗(孙玉英, 2013b), 2018年新疆在包括额尔齐斯河在内的3条河流放流8万尾高体雅罗鱼,并首次对放流苗种开展标记工作(刘鸿等, 2019)。当地渔业相关部门应借鉴相关经验,以保护土著鱼类、发展当地特色渔业资源为导向,加强种质资源监测,积极开展以阿勒泰杜父鱼、河鲈、粘鲈等当地土著和经济鱼类为主的全流域的增殖放流工作。此外还应做好人工增殖放流效果评价,监测放流种群的存活情况和放流工作对野外种群的恢复效果。

#### (4)建立鱼类自然保护区

鱼类自然保护区可以优化水生生态环境,缓解鱼类资源衰退,减少人类活动对鱼类及其生境的影响。自然保护区应选择在鱼类资源较丰富,多样性较高且水生生态环境较好的地区。在阿勒泰地区,对鱼类多样性进行就地保护的方式有两条途径:一是依托现有的以保护其他野生动物为主的保护区,扩大保护范围来实现。例如乌伦古河流域上游支流布尔根河已建立有布尔根河狸国家级自然保护区,建议将分布于保护区河流内的湖拟鲤、贝加尔雅罗鱼等鱼类纳入保护对象。二是在自然和社会条件允许的前提下,选择适当区域建设以保护阿勒泰地区特有珍稀濒危鱼类为主要目的的水生野生动物保护区。根据我们的调查结果,可以考虑在鱼类多样性较高的额尔齐斯河上游富蕴县境内的可可托海镇至富蕴县城河段建立鱼类自然保护区。

**致谢:** 国家动物博物馆鱼类标本分馆曹焕喜博士、孟小伟先生在标本检视过程中提供了很大支持与帮助,在此一并致谢。

#### 参考文献

Adakbek K (2005) Fish resources and development strategy in the China's section of the River Eerqisi. *Reservoir Fisheries*,

25(1), 48–50, 52. (in Chinese with English abstract) [阿达可白克·可尔江 (2005) 额尔齐斯河中国段鱼类资源现状及合理开发. *水利渔业*, 25(1), 48–50, 52.]

Adakbek K, Su DX, Yang Y, Ye SM, Huderat (2006) The current situation and the countermeasures of protection and development of fish resources in Ulungur Lake. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 15, 309–314. (in Chinese with English abstract) [阿达可白克·可尔江, 苏德学, 杨艳, 叶尚明, 呼德拉提 (2006) 乌伦古湖鱼类资源现状及保护与开发对策. *上海水产大学学报*, 15, 309–314.]

Barbour MT, Gerritsen J, Griffith GE (1996) A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 15, 185–211.

Blocksom KA, Kurtenbach JP, Klemm DJ (2002) Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LM II) for New Jersey lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77, 311–333.

Cao L, Zhang E, Zang CX, Cao WX (2016) Evaluating the status of China's continental fish and analyzing their causes of endangerment through the red list assessment. *Biodiversity Science*, 24, 598–609. (in Chinese with English abstract) [曹亮, 张鹏, 臧春鑫, 曹文宣 (2016) 通过红色名录评估研究中国内陆鱼类受威胁现状及其成因. *生物多样性*, 24, 598–609.]

Chen YY (1998) *Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes II*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [陈宜瑜 (1998) 中国动物志硬骨鱼纲鲤形目(中卷). 科学出版社, 北京.]

Deng MJ, Huang Q, Zhang Y, Zhang LP (2017) Study on ecological scheduling of multi-scale coupling of reservoir group. *Journal of Hydraulic Engineering*, 48, 1387–1398. (in Chinese with English abstract) [邓铭江, 黄强, 张岩, 张连鹏 (2017) 额尔齐斯河水库群多尺度耦合的生态调度研究. *水利学报*, 48, 1387–1398.]

Duman M, Nadila M (2017) Analysis of the spatial and temporal variation characteristics of hydrometeorological elements in Irtysh River Basin. *Energy and Energy Conservation*, (3), 119–120, 126. (in Chinese with English abstract) [杜曼·木拉提汗, 娜迪拉·木拉提汗 (2017) 额尔齐斯河流域水文气象要素时空变化特征分析. *能源与节能*, (3), 119–120, 126.]

Guo Y, Zhang RM, Li H (2003) Degeneration causes of the aboriginal fishes and some measures for protecting them in the Ergis River, Xinjiang, China. *Arid Zone Research*, 20, 152–155. (in Chinese with English abstract) [郭焱, 张人铭, 李红 (2003) 额尔齐斯河土著鱼类资源衰退原因与保护措施. *干旱区研究*, 20, 152–155.]

Huo TB, Jiang ZF, Kargan A, Ma B, Zhang LR, Tang FJ, Cai LG, Liu LZ (2010) Status of fish distribution and species diversity in Ertix River Basin in China. *Journal of Hydroecology*, 3(4), 16–22. (in Chinese with English abstract) [霍堂斌, 姜作发, 阿达可白克·可尔江, 马波, 张荣荣, 唐富

- 江, 蔡林钢, 刘立志 (2010) 额尔齐斯河流域(中国境内) 鱼类分布及物种多样性现状研究. 水生态学杂志, 3(4), 16–22.]
- Institute of Zoology of the Chinese Academy of Sciences, Xinjiang Institute of Biological Desert Research of Chinese Academy of Sciences, Bureau of Fisheries of Xinjiang Uygur Autonomous Region (1979) Fishes of Xinjiang. Xinjiang People's Press, Urumqi. (in Chinese) [中国科学院动物研究所, 中国科学院新疆生物沙漠研究所, 新疆维吾尔自治区水产局 (1979) 新疆鱼类志. 新疆人民出版社, 乌鲁木齐.]
- Jiang XX, Huang J, Zhang Y, Li JQ (2019) Impact analysis of hydrological regime changes in Irtysh River Basin valley ecosystem and suggestions for ecological restoration. China Rural Water and Hydropower, (10), 12–16. (in Chinese with English abstract) [姜旭新, 黄婧, 张岩, 李继清 (2019) 额尔齐斯河流域河谷生态系统水文情势变化影响分析及生态修复建议. 中国农村水利水电, (10), 12–16.]
- Jiang ZG, Jiang JP, Wang YZ, Zhang E, Zhang YY, Li LL, Xie F, Cai B, Cao L, Zheng GM, Dong L, Zhang ZW, Ding P, Luo ZH, Ding CQ, Ma ZJ, Tang SH, Cao WX, Li CW, Hu HJ, Ma Y, Wu Y, Wang YX, Zhou KY, Liu SY, Chen YY, Li JT, Feng ZJ, Wang Y, Wang B, Li C, Song XL, Cai L, Zang CX, Zeng Y, Meng ZB, Fang HX, Ping XG (2016) Red List of China's Vertebrates. Biodiversity Science, 24, 500–551. (in Chinese and in English) [蒋志刚, 江建平, 王跃招, 张鹏, 张雁云, 李立立, 谢锋, 蔡波, 曹亮, 郑光美, 董路, 张正旺, 丁平, 罗振华, 丁长青, 马志军, 汤宋华, 曹文宣, 李春旺, 胡慧建, 马勇, 吴毅, 王应祥, 周开亚, 刘少英, 陈跃英, 李家堂, 冯祚建, 王燕, 王斌, 李成, 宋雪琳, 蔡蕾, 臧春鑫, 曾岩, 孟智斌, 方红霞, 平晓鸽 (2016) 中国脊椎动物红色名录. 生物多样性, 24, 500–551.]
- Karr JR (1981) Assessment of biotic integrity using fish communities. Fisheries, 6, 21–27.
- Karr JR (1993) Defining and assessing ecological integrity: Beyond water quality. Environmental Toxicology and Chemistry, 12, 1521–1531.
- Le PQ (2000) Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes III. Science Press, Beijing. (in Chinese) [乐佩琦 (2000) 中国动物志硬骨鱼纲鲤形目(下卷). 科学出版社, 北京.]
- Li JM (2006) Causes and countermeasures for the decline of fish resources in the Irtysh River Basin in China. China Fisheries, (9), 76–78. (in Chinese) [李尽梅 (2006) 我国额尔齐斯河流域鱼类资源衰退的原因与对策. 中国水产, (9), 76–78.]
- Li S (2016) Artificial propagation technique and under blood release test of Irtysh River. China Agricultural Information, (4), 130. (in Chinese) [李胜 (2016) 额尔齐斯河江鳕的人工繁殖技术及冰下放流试验. 中国农业信息, (4), 130.]
- Li SZ, Dai DY, Zhang SY, Ma GZ, He ZW, Gao SD (1966) Notes on a collection of fishes from North Sinkiang, China. Acta Zoologica Sinica, 18, 41–56. (in Chinese with English abstract) [李思忠, 戴定远, 张世义, 马桂珍, 何振威, 高顺典 (1966) 新疆北部鱼类的调查研究. 动物学报, 18, 41–56.]
- Liu H, Niu JG, Shi CM, Zhang T, Jiao F, He JT, Wang S, Hu JW, Song MBo, Cai LG, Zhang RM (2019) Status of mark-recapture of indigenous fish in Xinjiang Uygur Autonomous Region. Tianjin Agricultural Sciences, 25(7), 56–60. [刘鸿, 牛建功, 时春明, 张涛, 焦飞, 贺疆滔, 王松, 胡江伟, 宋明波, 蔡林钢, 张人铭 (2019) 新疆维吾尔自治区土著鱼类标记放流现状. 天津农业科学, 25(7), 56–60.]
- Liu JJ (2015) Analysis on the water amount flowing into Ulungur Lake. Energy and Energy Conservation, (5), 103–105. (in Chinese with English abstract) [刘建军 (2015) 乌伦古湖入湖水量分析. 能源与节能, (5), 103–105.]
- Lu CJ, Chen J (2013) Analysis on the influence of freshwater net cage fish culture on water environment and countermeasures. Agriculture and Technology, 33(8), 153. (in Chinese) [卢春娇, 陈君 (2013) 浅析淡水网箱养鱼对水环境的影响及对策. 农业与技术, 33(8), 153.]
- Ma KP, Liu YM (1994) Measurement of biotic community diversity. I.  $\alpha$  diversity (part 2). Chinese Biodiversity, 2, 231–239. (in Chinese) [马克平, 刘玉明 (1994) 生物群落多样性的测度方法. I.  $\alpha$ 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2, 231–239.]
- Maxted JR, Barbour MT, Gerritsen J (2000) Assessment framework for mid-Atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates. Journal of the North American Benthological Society, 19, 128–144.
- Morley SA, Karr JR (2002) Assessing and restoring the health of urban streams in the Puget Sound Basin. Conservation Biology, 16, 1498–1509.
- Nuerlan J (2017) The influence of operation mode of reservoir on water environment in the downstream of Irtysh River. Energy and Energy Conservation, (6), 101–102, 133. (in Chinese with English abstract) [努尔兰·加列力 (2017) 水库运行模式对额尔齐斯河下游水环境的影响. 能源与节能, (6), 101–102, 133]
- Nurlan H (2014) Hydrological characteristics in the Ulungur River Basin. Arid Zone Research, 31, 798–802. (in Chinese with English abstract) [努尔兰·哈再孜 (2014) 乌伦古河流域水文特征. 干旱区研究, 31, 798–802.]
- Pei XJ, Niu CJ, Gao X, Xu C (2010) The ecological health assessment of Liao River Basin, China, based on biotic integrity index of fish. Acta Ecologica Sinica, 30, 5736–5746. (in Chinese with English abstract) [裴雪姣, 牛翠娟, 高欣, 徐琛 (2010) 应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康. 生态学报, 30, 5736–5746.]
- Ren ML, Guo Y, Zhang RM, Cai LG, Adak, Li H, Fu YL, Liu KL (2002a) Fishes and fish fauna composition in Ergis River, China. Arid Zone Research, 19, 62–66. (in Chinese

- with English abstract) [任慕莲, 郭焱, 张人铭, 蔡林刚, 阿达克, 李红, 付雅丽, 刘昆仑 (2002a) 我国额尔齐斯河鱼类及鱼类区系组成. 干旱区研究, 19, 62–66.]
- Ren ML, Guo Y, Zhang RM, Zhang XS, Cai LG, Li H, Adak, Fu YL, Liu KL, Deng GZ (2002b) Fish Resources and Fisheries of Irtysh River, China. Xinjiang Science and Technology Health Press, Urumqi. (in Chinese) [任慕莲, 郭焱, 张人铭, 张秀善, 蔡林刚, 李红, 阿达克, 付亚丽, 刘昆仑, 邓贵忠 (2002b) 中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业. 新疆科技卫生出版社, 乌鲁木齐.]
- Sun YY (2013a) Investigation on the current status of fish in the Altay region. *China Agriculture Information*, (15), 144. (in Chinese) [孙玉英 (2013a) 阿勒泰地区鱼类生存现状调查研究. 中国农业信息, (15), 144.]
- Sun YY (2013b) Survey of wild fish resources in the Altay region. *Agriculture & Technology*, 33(8), 164. (in Chinese) [孙玉英 (2013b) 阿勒泰地区野生鱼类资源调查. 农业与技术, 33(8), 164.]
- Wang J, Zhou Q, Xie CX, Li H, Adakbek K, Cai LG (2015) Health assessment of Irtysh River in Xinjiang Uygur Autonomous Region, northwest China, based on benthic-index of biotic integrity (B-IBI). *Research of Environmental Sciences*, 28, 959–966. (in Chinese with English abstract) [王军, 周琼, 谢从新, 李红, 阿达可白克·可尔江, 蔡林刚 (2015) 基于大型底栖动物完整性指数的新疆额尔齐斯河健康评价. 环境科学研究, 28, 959–966.]
- Wu F, Hu WG, Wang CH, Guo Y, Mo C (2016) Genetic diversity of the cultivated and natural *Perca fluviatilis*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 40, 181–188. (in Chinese with English abstract) [武菲, 胡文革, 王翠华, 郭颀, 莫超 (2016) 河鲈养殖与野生群体遗传多样性比较分析. 水生生物学报, 40, 181–188.]
- Wu HL, Zhong JS (2008) *Fauna Sinica, Osteichthyes, Perciformes. V. Gobioidae*. Science Press, Beijing. (in Chinese) [伍汉霖, 钟俊生 (2008) 中国动物志·硬骨鱼纲·鲈形目(五) 虾虎鱼亚目. 科学出版社, 北京.]
- Wu XW (1981) *Cyprinidae of China (Vol.1)*. Shanghai Scientific & Technical Publishers, Shanghai. (in Chinese) [伍献文 (1981) 中国鲤科鱼类志(上卷). 上海科学技术出版社, 上海.]
- Wu XW (1982) *Cyprinidae of China (Vol.2)*. Shanghai Scientific & Technical Publishers, Shanghai. (in Chinese) [伍献文 (1982) 中国鲤科鱼类志(下卷). 上海科学技术出版社, 上海.]
- Yan AS (1964) The main economic fishes of the Irtysh River, Ulungur Lake, and Bosten Lake. *Selected Papers of Xinjiang Zoological Society*, 1–20. (in Chinese) [严安生 (1964) 额尔齐斯河, 乌伦古湖, 博斯腾湖的主要经济鱼类. 新疆动物学会论文选集, 1–20.]
- Yang JX, Pan XF, Chen XY, Wang XA, Zhao YP, Li JY, Li ZY (2013) Overview of the artificial enhancement and release of endemic freshwater fish in China. *Zoological Research*, 34, 267–280. (in Chinese with English abstract) [杨君兴, 潘晓斌, 陈小勇, 王晓爱, 赵亚鹏, 李建友, 李再云 (2013) 中国淡水鱼类人工增殖放流现状. 动物学研究, 34, 267–280.]
- Yang X (2015) Research on impacts of climate change on runoff of Wulungu River Basin based on SWAT model. *Environmental Protection of Xinjiang*, 37(1), 45–50. (in Chinese with English abstract) [杨霞 (2015) 基于SWAT模型的乌伦古河流域气候变化对径流影响研究. 新疆环境保护, 37(1), 45–50.]
- Yu YS, Zhang QS, Chen WM, Xu YJ (1986) A preliminary study on dominant fish species and their interspecific relations in waters of islands off the northern Zhejiang. *Journal of Fisheries of China*, 10, 137–149. (in Chinese with English abstract) [郁尧山, 张庆生, 陈卫民, 许源剑 (1986) 浙江北部岛礁周围海域鱼类优势种及其种间关系的初步研究. 水产学报, 10, 137–149.]
- Zhang CG, Zhao YH (2016) Species diversity and distribution of inland fishes in China. Science Press, Beijing (in Chinese) [张春光, 赵亚辉 (2016) 中国内陆鱼类物种与分布. 科学出版社, 北京.]
- Zhang KX (1991) *Fishes in Ulungur Lake*. Science Press, Beijing (in Chinese) [张开翔 (1991) 乌伦古湖鱼类. 科学出版社, 北京.]

(责任编辑: 陈小勇 责任编辑: 时意专)

## 附录 Supplementary Material

### 附录1 鱼类生物完整性指数候选指标列表

Appendix 1 List of fish index of biological integrity candidate metrics

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019071-1.pdf>

### 附录2 阿勒泰地区额尔齐斯河流域和乌伦古河流域鱼类名录

Appendix 2 List of fish species in Irtysh River Basin and Ulungur River Basin, Altay Prefecture, Xinjiang

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019071-2.pdf>

### 附录3 额尔齐斯河流域和乌伦古河流域在参照点和观测点的各参数指标及其各项数值.

Appendix 3 Point parameter index value of reference point and observation in Irtysh River and Ulungur River basins.

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019071-3.pdf>

## 附录 1 鱼类生物完整性指数候选指标列表

Appendix 1 List of fish index of biological integrity candidate metrics

属性归类 Attribute	候选参数指标 Candidate metrics	参数缩写 Abbreviation	对干扰的响应 Response to disturbances
物种组成 Species composition	鱼类总物种数 Number of fish species	M1	下降 Descent
	土著鱼总物种数 Number of native fish species	M2	下降 Descent
	土著鱼物种数百分比 Percentage of native fish species	M3	下降 Descent
	鲤科鱼类物种数百分比 Percentage of cyprinid species	M4	上升 Ascent
	条鳅科鱼类物种数百分比 Percentage of nemacheilid species	M5	下降 Descent
	鲈科鱼类物种数百分比 Percentage of of percid species	M6	下降 Descent
	中上层鱼类物种数百分比 Percentage of pelagic fish species	M7	下降 Descent
	中下层鱼类物种数百分比 Percentage of mesopelagic fish species	M8	上升 Ascent
	底层鱼类物种数百分比 Percentage of demersal fish species	M9	下降 Descent
	杂食性鱼类个体百分比 Percentage of omnivorous fish species	M10	上升 Ascent
营养结构 Nutrition structure	植食性鱼类个体百分比 Percentage of phytophagous fish species	M11	下降 Descent
	肉食性鱼类个体百分比 Percentage of carnivorous fish species	M12	下降 Descent
耐受性 Tolerance	敏感性鱼类个体百分比 Percentage of fish species with poor tolerance	M13	下降 Descent
	耐受性鱼类个体百分比 Percentage of fish species with high tolerance	M14	上升 Ascent
繁殖共位群 Reproductive co-	漂流性卵鱼类物种数百分比 Percentage of fish species with drifting eggs	M15	下降 Descent
	沉性卵鱼类物种数百分比 Percentage of fish species with demersal eggs	M16	下降 Descent
	黏性卵鱼类物种数百分比 Percentage of fish species with viscid egg	M17	上升 Ascent
鱼类数量 Number of fish species	鱼类个体总数 Number of fish individuals	M18	下降 Descent
	土著鱼类个体总数 Number of native fish individuals	M19	下降 Descent
	麦穗鱼个体总数 Number of individuals of <i>Pseudorasbora parva</i>	M20	上升 Ascent

附录 2 新疆阿勒泰地区额尔齐斯河流域和乌伦古河流域鱼类名录

Appendix 2 List of fish species in Irtysh River and Ulungur River basins, Altay Prefecture, Xinjiang, China

物种名 Species	历史分布 Historical	现有分布 Present	外来种 Exotic fish
<b>鲟形目 Acipenseriformes</b>			
鲟科 Acipenseridae			
鲟属 <i>Acipenser</i>			
西伯利亚鲟 <i>Acipenser baeri</i>	+		
小体鲟 <i>Acipenser ruthenus</i>	+		
<b>鲑形目 Salmoniformes</b>			
鲑科 Salmonidae			
哲罗鲑属 <i>Hucho</i>			
哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>	+	+	
细鳞鲑属 <i>Brachymystax</i>			
细鳞鲑 <i>Brachymystax lenok</i>	+		
北鲑属 <i>Stenodus</i>			
北鲑 <i>Stenodus leucichthys</i>	+		
茴鱼属 <i>Thymallus</i>			
北极茴鱼 <i>Thymallus arcticus</i>	+	+	
<b>胡瓜鱼目 Osmeriformes</b>			
胡瓜鱼科 Osmeridae			
公鱼属 <i>Hypomesus</i>			
池沼公鱼 <i>Hypomesus olidus</i>		+	+
银鱼科 Salangidae			
大银鱼属 <i>Protosalanx</i>			
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranium</i>		+	+
<b>狗鱼目 Esociformes</b>			
狗鱼科 Esocidae			
狗鱼属 <i>Esox</i>			
白斑狗鱼 <i>Esox lucius</i>	+	+	
<b>鲤形目 Cypriniformes</b>			
花鳅科 Cobitidae			
花鳅属 <i>Cobitis</i>			
花鳅 <i>Cobitis taenia</i>	+	+	
泥鳅属 <i>Misgurnus</i>			
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>		+	+
副泥鳅属 <i>Paramisgurnus</i>			
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>		+	+
条鳅科 Nemacheilidae			
须鳅属 <i>Barbatula</i>			
北方须鳅 <i>Barbatula nuda</i>	+	+	
高原鳅属 <i>Triplophysa</i>			
新疆高原鳅 <i>Triplophysa strauchii</i>	+	+	
小体高原鳅 <i>Triplophysa minuta</i>	+	+	
鲤科 Cyprinidae			
鲢亚科 Hypophthaemichthyinae			
鲢属 <i>Hypophthalmichthys</i>			

物种名 Species	历史分布 Historical	现有分布 Present	外来种 Exotic fish
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>		+	+
鳊属 <i>Aristichthys</i>			
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>		+	+
鲃亚科 Cultrinae			
鲃属 <i>Hemiculter</i>			
鲃 <i>Hemiculter leucisculus</i>		+	+
鲤亚科 Cyprininae			
鲤属 <i>Cyprinus</i>			
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>		+	+
鲫属 <i>Carassius</i>			
金鲫 <i>Carassius carassius</i>	+	+	
银鲫 <i>Carassius auratus gibelio</i>	+	+	
鮡亚科 Gobioinae			
麦穗鱼属 <i>Pseudorasbora</i>			
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>		+	+
鮡属 <i>Gobio</i>			
尖鳍鮡 <i>Gobio acutipinnatus</i>	+	+	
棒花鱼属 <i>Abbottina</i>			
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>		+	+
雅罗鱼亚科 Leuciscinae			
丁鲷属 <i>Tinca</i>			
丁鲷 <i>Tinca tinca</i>	+	+	
拟鲤属 <i>Rutilus</i>			
湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus lacustris</i>	+	+	
雅罗鱼属 <i>Leuciscus</i>			
贝加尔雅罗鱼 <i>Leuciscus baicalensis</i>	+	+	
高体雅罗鱼 <i>Leuciscus idus</i>	+	+	
鲢属 <i>Phoxinus</i>			
阿勒泰鲢 <i>Phoxinus ujmonensis</i>	+	+	
草鱼属 <i>Ctenopharyngodon</i>			
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>		+	+
鲃亚科 Cultrinae			
欧鳊属 <i>Abramis</i>			
东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>		+	+
<b>鲈形目 Perciformes</b>			
鲈科 Percidae			
鲈属 <i>Perca</i>			
河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	+	+	
梭鲈属 <i>Lucioperca</i>			
梭鲈 <i>Lucioperca lucioperca</i>		+	+
粘鲈属 <i>Acerina</i>			
粘鲈 <i>Acerina cernua</i>	+	+	
沙塘鳢科 Odontobutidae			
小黄鲈属 <i>Micropercops</i>			
小黄鲈 <i>Micropercops swinhonis</i>		+	+



李雪健, 贾佩尧, 牛诚祯, 邢迎春, 李浩林, 刘海波, 张春光, 唐文乔, 赵亚辉. 新疆阿勒泰地区额尔齐斯河和乌伦古河流域鱼类多样性演变和流域健康评价. 生物多样性, 28 (4): 422-434  
<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/2019071>

物种名 Species	历史分布 Historical	现有分布 Present	外来种 Exotic fish
<b>虾虎鱼科 Gobiidae</b>			
吻虾虎鱼属 <i>Rhinogobius</i>			
褐吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius brunneus</i>		+	+
<b>鱈形目 Gadiformes</b>			
江鱈科 Lotidae			
江鱈属 <i>Lota</i>			
江鱈 <i>Lota lota</i>	+	+	
<b>鲉形目 Scorpaeniformes</b>			
杜父鱼科 Cottidae			
杜父鱼属 <i>Cottus</i>			
阿勒泰杜父鱼 <i>Cottus sibiricus altaicus</i>	+	+	

附录 3 额尔齐斯河和乌伦古河流域在参照点和观测点的各参数指标及其数值(R: 参照点; O: 受损点)  
 Appendix 3 Point parameter index value of reference point and observation in in Irtysh River and Ulungur River basins. R: Reference point; O: Observation point

	参数指标 Metrics	标准差		最小值		最大值		25%分位数		中位数		75%分位数	
		Standard		Minimum		Maximum		25%		Median		75%	
		R	O	R	O	R	O	R	O	R	O	R	O
额尔齐斯河流域 Irtysh River Basin													
M1	3	3	2	1	10	11	3	3	4	4	6	8	
M2	2	2	2	1	6	8	3	3	3	4	5	6	
M3	17	15	60	56	100	100	69	85	88	100	100	100	
M4	26	23	0	33	100	100	50	50	58	64	73	77	
M5	12	13	0	0	30	33	0	2	6	16	23	25	
M6	12	12	0	0	33	33	0	0	0	0	19	14	
M10	34	19	0	33	100	100	77	91	96	95	98	100	
M11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
M12	34	19	0	0	100	67	2	0	4	5	23	9	
M13	33	29	0	0	100	90	4	5	18	12	54	34	
M14	33	29	0	10	100	100	46	66	82	88	96	95	
M15	8	3	0	0	25	10	0	0	0	0	8	0	
M16	26	18	0	0	100	67	21	18	29	24	46	27	
M17	25	18	0	33	100	100	50	71	67	75	77	82	
M18	37	47	4	6	125	147	22	40	40	65	72	115	
M19	31	41	4	6	93	147	15	40	32	63	60	88	
M20	9	7	0	0	24	25	0	0	0	0	9	2	
乌伦古河流域 Ulungur River Basin													
M1	3	2	3	2	13	7	4	4	4	6	7	7	
M2	2	2	2	2	8	7	3	4	3	5	5	6	
M3	7	8	62	83	86	100	67	86	73	100	75	100	
M4	11	34	57	0	100	100	69	29	73	50	75	71	
M5	13	33	0	0	33	100	0	29	0	29	18	50	
M6	10	0	0	0	25	0	11	0	19	0	25	0	
M10	8	6	77	86	100	100	90	100	96	100	98	100	
M11	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	
M12	8	6	0	0	23	14	2	0	4	0	9	0	
M13	19	12	0	0	59	33	13	0	29	4	32	14	
M14	19	12	41	67	100	100	68	86	71	96	87	100	
M15	9	17	0	0	29	50	0	14	0	14	2	25	
M16	11	15	0	0	33	33	11	0	15	29	25	29	
M17	14	9	57	50	100	75	73	57	76	57	89	67	
M18	20	34	8	28	73	132	28	65	43	71	51	86	
M19	18	34	7	28	71	132	27	65	36	65	40	76	
M20	4	4	1	0	12	10	1	0	2	0	3	6	