

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20180404001

http://www.yykxjz.cn/

刘鸿, 牛建功, 刘春池, 谢鹏, 梁杰锋, 蔡林钢, 马徐发, 张人铭. 新疆博尔塔拉河冬季鱼类群落空间分布及其与环境因子的关系. 渔业科学进展, 2019, 40(3): 11–20

Liu H, Niu JG, Liu CC, Xie P, Liang JF, Cai LG, Ma XF, Zhang RM. Spatial distribution of the fish community and its relationship with environmental factors in the Bortala River in winter. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(3): 11–20

# 新疆博尔塔拉河冬季鱼类群落空间分布 及其与环境因子的关系\*

刘 鸿<sup>1</sup> 牛建功<sup>1</sup> 刘春池<sup>1</sup> 谢 鹏<sup>2</sup>  
梁杰锋<sup>2</sup> 蔡林钢<sup>1</sup> 马徐发<sup>2</sup> 张人铭<sup>1①</sup>

(1. 新疆维吾尔自治区水产科学研究所 农业农村部西北地区渔业资源环境科学观测实验站 乌鲁木齐 830000;  
2. 华中农业大学 武汉 430000)

**摘要** 为完善新疆博尔塔拉河流域的渔业生态评估及体系养护, 2016 年 11 月在博尔塔拉河流域展开资源调查, 于干流设置 4 个监测断面, 对该水域鱼类群落结构进行研究。本调查共采集鱼类 1515 尾, 隶属于 3 目 5 科 14 属, 共计 15 种, 均为硬骨鱼类; 通过相对重要性指数(IRI 指数)获得的博尔塔拉河干流的鱼类优势种共计 3 种, 分别为麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、棒花鱼(*Abbottina rivularis*)和新疆高原鳅(*Triplophysa strauchii*)。基于 Bray-Curtis 相似性指数的二维聚类分析结果显示, 在 60%相似水平上空间聚类, 可将博尔塔拉河分为上游及下游 2 组, 物种聚类在 50%相似水平上可分为 I~IV 共计 4 组。典范对应分析(CCA)表明, 影响冬季鱼类群落空间结构的主要环境因子为海拔、温度和溶氧。对照历史资料结果表明, 博尔塔拉河流域的土著鱼类种类减少; 外来鱼类种类逐年增加; 经济鱼种减少; 鱼类群落小型化明显。本研究可为该流域生态环境评估、水资源开发利用及渔业资源养护提供基础数据, 具有一定的参考价值。

**关键词** 鱼类; 群落结构; 环境因子; 博尔塔拉河

中图分类号 S932.4 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2019)03-0011-10

博尔塔拉河是中国新疆博尔塔拉蒙古自治州的一条内流河, 发源于阿拉套山与别珍套山交界处的洪林达坂(苏宏超等, 2006), 地理位置介于 44°02'N~45°23'N、79°53'E~83°53'E 之间(卡米拉, 2004), 全长 252 km, 面积约 12506 km<sup>2</sup>, 系一条常年流水河。博尔塔拉河北部主要支流为哈拉吐鲁克河和保尔得河, 南部主要支流仅鄂托克赛尔河(蔡林钢等, 2009)。博尔塔拉河自西向东依次流经温泉县、博乐市和精河县, 最后注

入艾比湖(朱永生等, 2010)。

鱼类群落是特定水域内鱼类种群相互结合的结构单元, 即鱼类与周围环境及其他物种相互依赖、相互作用、具有特定功能的生物复合体(叶富良, 2002; 李捷等, 2010)。鱼类是水生生态系统的高级消费者, 其群落的演替过程能够反映栖息地环境条件的变动。历史上对于博尔塔拉河的研究主要涉及环境评价(张兆永等, 2015; 摆晓虎等, 2017)、径流量(董煜等,

\* 国家自然科学基金(31702348)资助 [This work was supported by National Natural Science Fund (31702348)]. 刘 鸿, E-mail: lhallbymyself@163.com

① 通讯作者: 张人铭, 研究员, E-mail: xj01zrm@163.com

收稿日期: 2018-04-04, 收修改稿日期: 2018-05-02

2014)、气候(古丽吉米丽·艾尼, 2012)及土壤(比拉力等, 2014)等方面, 关于水生生物的研究较少, 冬季水生生物群落结构未见报道。据记载, 博尔塔拉河土著鱼类数量较少, 受气候持续干旱和人类活动等因素的影响, 该流域鱼类群落结构演替明显(蔡林钢等, 2009)。博尔塔拉河由高山溶雪补充水源, 冬季水量充沛, 部分高山鱼类随雪山融水进入河道, 对该流域冬季鱼类资源状况的调查能够较好反映部分土著鱼类的种群数量及空间分布(李国刚等, 2017)。

博尔塔拉河春夏季鱼类群落已有报道, 缺少冬季数据, 故本研究定位于冬季群落结构, 基于冬季数据, 拟通过博尔塔拉河冬季鱼类资源调查数据, 并结合历史资料分析其种群结构、空间格局以及环境相关性, 为该流域生态环境评估、水资源开发利用及渔业资源养护提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 断面设置

本次调查按照等间距原则设置监测断面。即自上游到下游分别于呼鲁斯托汗系日格、祖莫墩、哈日乌

勒以及夏日勒津设置4个调查断面, 依次为S1、S2、S3和S4(图1), 调查时间为2016年11月。

### 1.2 样品采集及分析

由于调查河段均属于可涉水河流, 为全面采集各个水层鱼类, 渔获物捕捞采用挂网(20 m × 2 m)和地笼(5 m × 0.3 m × 0.3 m)结合的方法, 各调查断面均使用地笼5个, 挂网2片。各采样断面均平行设置2个站点进行采集, 各断面作业时间均覆盖全天24 h, 以消除昼夜节律影响。对所采集的渔获物分别进行种类鉴别、体长和体重记录等, 测量数据现场记录, 部分种类样品使用福尔马林固定后带回实验室分析并保存。标本鉴定及分类依据《中国动物志: 硬骨鱼纲鲤形目(中卷、下卷)》(陈宜瑜, 1998、2000)、《青藏高原鱼类》(武云飞等, 1992)和《新疆鱼类志》(中国科学院动物研究所, 1979; 郭焱等, 2012)。

使用WTW Multi 3630 IDS水质分析仪测定环境因子, 测定内容包括溶解氧(DO)、pH、电导率(Res)和水温(T); 使用Garmin Orenon 550测量海拔及经纬度; 使用测距仪测量河道宽; 使用SVR雷达枪测量流速。

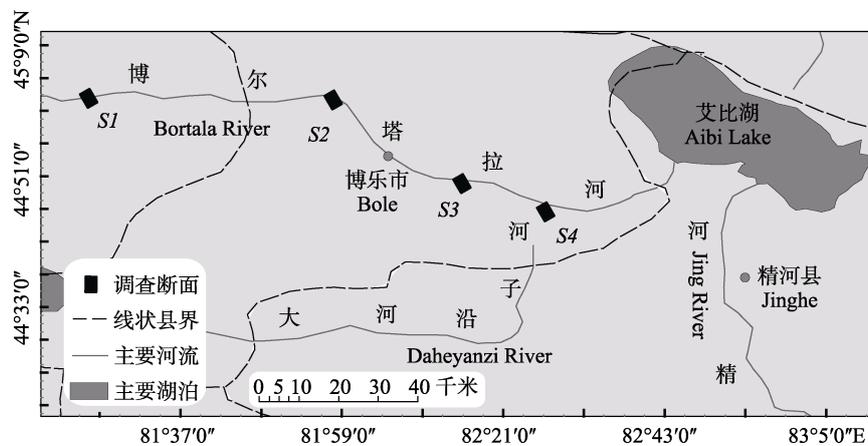


图1 博尔塔拉河调查断面示意图

Fig.1 Sampling sections in mainstream of Bortala River, Xinjiang

### 1.3 数据处理

用Margalef的种类丰富度指数 $D$ 、香农-威纳(Shannon-Wiener)多样性指数 $H'$ 以及Pielou均匀度指数 $J$ 分析鱼类群落的物种多样性(毛志刚等, 2011)。由于鱼类不同种类及同种类个体间差异很大, Wilhm(1968)提出, 用生物量表示的多样性更接近种类间能量的分布, 因此, 本研究中根据生物量计算群落物种多样性。其计算公式如下:

$$D = (S - 1) / \log_2 N$$

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

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

式中,  $S$ 为种类数,  $W$ 为总渔获量(g),  $P_i$ 为第 $i$ 种鱼所占总渔获量的比例。

选用Pinkas的相对重要性指数(IRI)判断各资源种类优势种(Young *et al*, 1998), 相对重要性指数包含生物的个体数、生物量和出现频率三方面的重要信息,

常被用作研究群落种类的生态优势度(刘鸿等, 2017; 孙鹏飞等, 2015; 杨尧尧等, 2016), 其计算公式如下:

$$IRI = (N + W) \times F$$

式中,  $N$  为某一种类的数量占总数量的百分比(%);  $W$  为某一种类的质量占总质量的百分比(%);  $F$  为某一种类出现的站数占调查总站数的百分比(%)。IRI 值大于 1000 定为优势种, 100~1000 为重要种, 10~100 的为常见种, 小于 10 为罕见种(Shan *et al.*, 2011)。

Bray-Curtis 相似性矩阵(Bray *et al.*, 1957)能够较科学地反应生物群落之间的差异性, 基于该指数的聚类分析是研究鱼类空间聚集类型的主要方法(Chambers *et al.*, 2005)。相似性分析之前对原始数据进行  $\log(x+1)$  变换, 以便对稀有种给予不同程度的加权(周红等, 2003)。

典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)(Braak, 1986、1987)是将 CA/RA 和多元回归结合起来的排序方法, 其每一步计算结果都与环境因子进行回归, 进而详细研究物种与环境的关系, 其结合多个环境因子更好地反映群落与环境的关系, 其分析结果可将样方、种类以环境因子排序综合表示, 可更直观地分析群落结构(张金屯, 2011)。其结果一般是将种类、样方和环境因子绘制在一张排序图, 环境因子用带箭头实线表示, 箭头所处象限表示环境因子与排序轴间的正负相关性, 箭头连线的长度代表某个环境因子与群落分布和种类分布之间相关程度的大小, 连线越长相关性越大; 反之越小。连线与排序轴的夹角代表着某个环境因子与排序轴的相关性大小, 夹角越小, 相关性越高, 反之越低(张金屯, 2011)。

数据分析前使用流量对数据进行标准化,

$$D = \text{尾数} / F_v \times T \times H$$

式中,  $D$  为资源密度,  $F_v$  为流速(m/s),  $T$  为时间,  $H$  为水深(m)。

采用 ArcGIS 10.2 绘制调查断面分布图, 底图来源于 ArcGIS-Esri 中国, 坐标系为 GCS\_WGS\_1984, 多样性指数图使用 Origin 9.1 绘制。运用 Primer 5.1 统计软件进行空间聚类分析。CCA 分析前使用 Pearson 显著性检验对环境因子进行筛选, 后通过 R3.4.2 vegan package 实现, 三序图采用 2 (species)型标尺, 即样方坐标等比例于相对特征根(Borcard *et al.*, 2014)。

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼类群落种类组成

2016年11月博尔塔拉河调查共采集鱼类1515尾, 共计15种, 隶属于3目5科14属, 均为硬骨鱼类, 其

中以鲤形目鱼类最多, 共计12种, 占总种类数的85.71%; 鲤形目以鲤科鱼类为主, 共计9种, 其余均为鳅科鱼类。鲈形目共计出现2种, 分别为黄魮(*Hypseleotris swinhonis*)和波氏栉虾虎鱼(*Ctenogobius cliffordpopei*)。鲱形目仅出现1种, 即青鲱(*Oryzias latipes*) (表1)。

### 2.2 群落物种多样性及优势种

分析博尔塔拉河鱼类群落物种多样性指数(图2), 结果显示, 博尔塔拉河上游 S1 断面 Shannon-Wiener 指数最高, S2 断面最低。而 S1~S3 断面丰富度指数差异较小, 下游 S4 断面最高。S2 断面 Pielou 均匀度指数仅为 0.59, 而调查河段上游 S1 断面均匀度指数最高, 为 0.95。

相对重要性指数 IRI 分析结果显示, 博尔塔拉河优势种共 3 种, 即麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、棒花鱼(*Abbottina rivularis*) 和新疆高原鳅(*Triplophysa strauchii*)。其中, 麦穗鱼和棒花鱼于 4 个断面均有采集到样品, 而新疆高原鳅仅在 S1 和 S2 断面出现, 数量在该断面占绝对优势(图3)。鲫(*Carassius auratus*)、波氏栉虾虎鱼、黄魮和短尾鳊(*Phoxinus brachyurus*) 为重要种, 其中, 黄魮于 4 个断面均有出现, 但数量较少。斯氏高原鳅(*Triplophysa stoliczkae*)、中华鲮鱼(*Rhodeus sinensis*)和青鲱在博尔塔拉河占比较低, 均仅出现于 1 个调查断面, 系罕见种。由此可见, 博尔塔拉河鱼类群落已演化为以外来鱼种为主导的结构。

### 2.3 群落空间格局及其与环境因子的关系

博尔塔拉河鱼类群落二维聚类分析结果见图3。在 60%相似水平上空间聚类可将博尔塔拉河分为 Group1 和 Group2 两组, 前者为博尔塔拉河上游, 即 S1 和 S2 断面, 后者为博尔塔拉河下游, 即 S3 和 S4 断面。物种聚类在 50%相似水平上可分为 4 组, Group I 包括无须鲮(*Acheilognathus gracilis*)、黄魮、麦穗鱼、波氏栉虾虎鱼和棒花鱼 5 种, 其中, 麦穗鱼和波氏栉虾虎鱼空间分布相似水平最高, 达 90%。Group II 仅包括斯氏高原鳅和北方泥鳅(*Cobitis granoci*) 2 种, 主要分布于博尔塔拉河中游。Group III 包括新疆裸重唇鱼(*Gymnodiptychus dybowskii*)、新疆高原鳅和短尾鳊 3 种。Group IV 共有鱼类 5 种, 分别为青鲱、准噶尔雅罗鱼(*Leuciscus merzbacheri*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、中华鲮鱼和鲫。该组鱼类主要分布于 Group2 (图3)。

Pearson 显著性检验结果显示, 海拔(Altitude)、温度和溶解氧(DO)为主要影响博尔塔拉河鱼类群落结构的环境参数。使用以上 3 个环境因子进行典范对

表1 2016年博尔塔拉河调查冬季鱼类名录  
Tab.1 The fish species in Bortala River in winter during 2016

目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	类别 Category			
				BRNS	BRAS	XJAS	NRAS
鲮形目 Cyprinodontiformes	鲮科 Cyprinodontidae	青鲮属 <i>Oryzias</i>	青鲮 <i>O. latipes</i>				√
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	棒花鱼属 <i>Abbottina</i>	棒花鱼 <i>A. rivularis</i>		√		
		鲮属 <i>Hemiculter</i>	鲮 <i>H. leucisculus</i>				√
		鲮属 <i>Phoxinus</i>	短尾鲮 <i>P. brachyurus</i>	√			
		鲫属 <i>Carassius</i>	鲫 <i>C. auratus</i>		√		
		裸重唇鱼属 <i>Gymnodiptychus</i>	新疆裸重唇鱼 <i>G. dybowskii</i>	√			
		麦穗鱼属 <i>Pseudorasbora</i>	麦穗鱼 <i>P. parva</i>		√		
		鳊鲂属 <i>Rhodeus</i>	中华鳊鲂 <i>R. sinensis</i>				√
		雅罗鱼属 <i>Leuciscus</i>	准噶尔雅罗鱼 <i>L. merzbacheri</i>	√			
		鲮属 <i>Acheilognathus</i>	无须鲮 <i>A. gracilis</i>				√
	鳅科 Cobitidae	高原鳅属 <i>Triplophysa</i>	斯氏高原鳅 <i>T. stoliczkae</i>	√			
			新疆高原鳅 <i>T. strauchii</i>	√			
		花鳅属 <i>Cobitis</i>	北方泥鳅 <i>C. granoci</i>				√
鲈形目 Perciformes	塘鳢科 Eleotridae	黄魮属 <i>Hypseleotris</i>	黄魮 <i>H. swinhonis</i>				√
	虾虎鱼科 Gobiidae	虾虎鱼属 <i>Ctenogobius</i>	波氏栉虾虎鱼 <i>C. cliffordpopei</i>				√

注：BRNS：博尔塔拉河土著鱼类；BRAS：博尔塔拉河记录的外来种；XJAS：新疆记录但博尔塔拉河无记录的外来种；NRAS：新外来种，新疆无记录

Note: BRNS: Native species in Bortala River; BRAS: Alien species in Bortala River; XJAS: Alien species in Xinjiang; NRAS: New record alien species

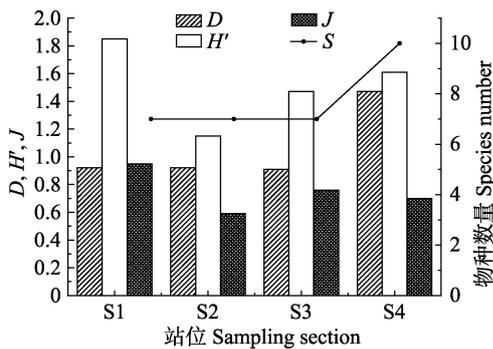


图2 博尔塔拉河鱼类群落物种多样性指数

Fig.2 The value of Shannon-Wiener ( $H'$ ), richness index ( $D$ ), species evenness ( $J$ ), and species number of fish communities in the Bortala River, Xinjiang

应分析(CCA)。结果显示，第1排序轴解释比例为63.90%，第2排序轴解释比例为21.93%，而第3排序轴解释比例仅为14.16%，前两轴累计解释贡献率达85.84%(表3)，即前2轴可用以表征排序结果。

CCA 排序结果见图4，溶氧和海拔与第1排序轴正相关，而温度与之负相关；海拔和温度与第2排序轴正相关，而溶氧与之负相关。对比发现，海拔箭头连线最长，温度与溶解氧次之，表明海拔是影响博尔塔拉河鱼类群落结构的主要环境因子，即海拔越高，鱼类丰度越高。进一步分析显示，斯氏高原鳅与海拔箭头连线夹角最小，相关性最高，即该鱼类分布主要受海拔影响；此外，新疆裸重唇鱼、新疆高原鳅和短尾鲮与温度正相关，鲫与溶解氧相关性较高，而麦穗鱼与3个环境因子均表现出较高的相关性。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 鱼类群落演化

对比历史资料发现，博尔塔拉河鱼类群落变化较为明显，体现在以下几方面。

土著鱼类种类减少。李思忠等(1966)对新疆北部

表 2 博尔塔拉河鱼类群落优势种  
Tab.2 Dominant fish in each sampling section of Bortala River, Xinjiang

种类 Species	N	W	F (%)	IRI	类别 Category
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	0.42	0.22	1	6363	优势种
新疆高原鳅 <i>Triplophysa strauchii</i>	0.31	0.43	0.5	3684	Dominant species
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	0.11	0.12	1	2325	
鲫 <i>Carassius auratus</i>	0.03	0.14	0.5	873	重要种
波氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius cliffordpopei</i>	0.08	0.01	0.75	692	Important species
黄魮 <i>Hypseleotris swinhonis</i>	0.02	0.01	1	294	
短尾鲢 <i>Phoxinus brachyurus</i>	0.01	0.04	0.25	132	
新疆裸重唇鱼 <i>Gymnodiptychus dybowskii</i>	0	0.01	0.5	56	常见种
无须鲮 <i>Acheilognathus gracilis</i>	0	0	0.5	34	Common species
北方泥鳅 <i>Cobitis granoci</i>	0	0	0.5	26	
准噶尔雅罗鱼 <i>Leuciscus merzbacheri</i>	0	0.01	0.25	23	
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	0	0	0.25	12	
斯氏高原鳅 <i>Triplophysa stoliczkae</i>	0	0	0.25	9	罕见种
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	0	0	0.25	7	Rare species
青鳉 <i>Oryzias latipes</i>	0	0	0.25	6	

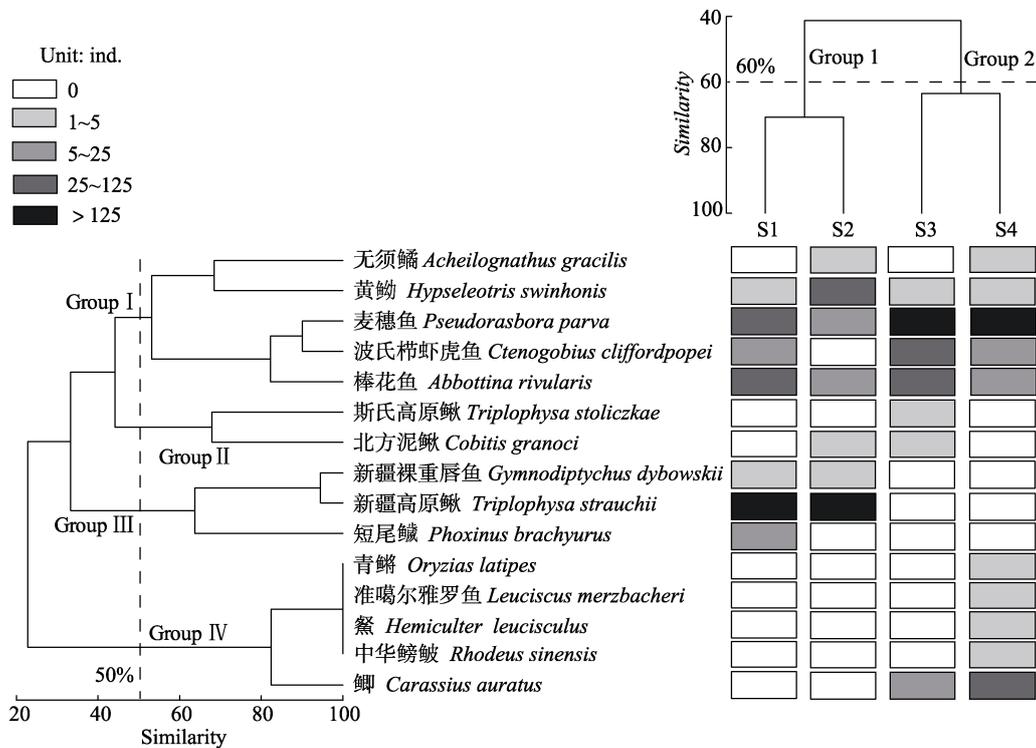


图 3 博尔塔拉河鱼类种群聚类与空间分布的关系

Fig.3 Relationship between station clusters and fish assemblages in the Bortala River, Xinjiang

表 3 博尔塔拉河各断面 CCA 排序解释变量得分及特征值

Tab.3 Eigenvalue and scores for constraining variables in each sampling section of Bortala River, Xinjiang

项目 Items	CCA1	CCA2	CCA3
溶解氧 DO (mg/L)	0.6310	-0.0853	-0.7711
温度 T (°C)	-0.6273	0.0806	0.7746
海拔 Altitude (m)	0.6731	0.5228	-0.5231
特征值 Eigenvalue	0.5057	0.1736	0.1121
解释比例 Proportion explained	0.6390	0.2193	0.1416
累计贡献率 Cumulative proportion	0.6390	0.8584	1.000

表4 新疆博尔塔拉河各采样断面环境数据  
Tab.4 Environmental data in each sampling section of Bortala River, Xinjiang.

站 位 Station	pH	溶解氧 DO (mg/L)	电导率 Res ( $\Omega\cdot\text{m}$ )	温度 Temp ( $^{\circ}\text{C}$ )	海拔 Altitude (m)	河流宽度 River width (m)	河流流速 Flow velocity (m/s)	水深 Water depth (m)
S1	8.41	11.42	4.15	7.20	351	30	0.6	1.4
S2	8.35	12.42	2.78	5.93	411	24	0.8	0.8
S3	8.46	12.92	2.03	5.30	945	13	1.0	1.1
S4	8.25	12.64	1.37	5.67	572	15	0.8	0.6

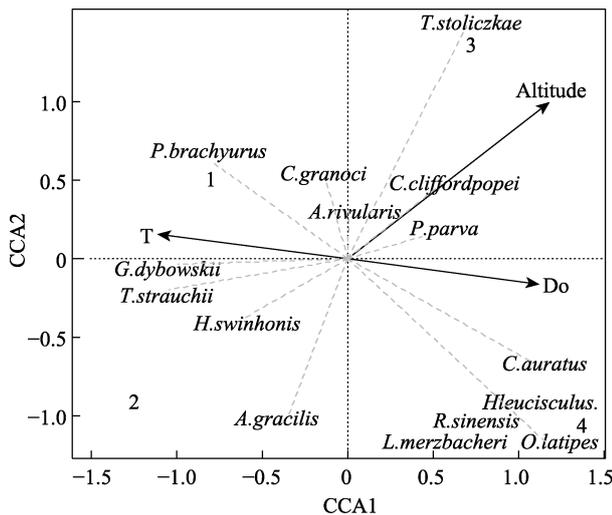


图4 博尔塔拉河 CCA 三序图(2 型标尺)

Fig.4 CCA triplot of Bortala River, Xinjiang(scaling 2)

鱼类调查结果显示,博乐水系有新疆裸重唇鱼(裸黄  
瓜鱼)、准噶尔雅罗鱼、短尾鲢、小眼须鳅(小眼条  
鳅)(*Barbatula microphthalmia*)、新疆高原鳅(黑斑条  
鳅)、小体高原鳅(小体条鳅)(*Triplophysa minuta*)以及  
斯氏高原鳅(施氏条鳅)共计 7 种土著鱼类。2005 年,  
蔡林钢等(2009)在对博州河流生态调查中,于博尔塔  
拉河仅采集到新疆裸重唇鱼、新疆高原鳅、小体高原  
鳅以及斯氏高原鳅 4 种土著鱼类。本次调查所采集到  
的土著鱼类包括新疆裸重唇鱼、准噶尔雅罗鱼、短尾  
鲢、新疆高原鳅和斯氏高原鳅 5 种。其中,以鳅科鱼  
类种类减少较为明显。

外来鱼类种类逐年增加。2005 年,蔡林钢等(2009)  
调查中采集到的非土著鱼类主要有虹鳟(*Salvelinus*  
*gairdneri*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫、鲢(*Hypophthalmi-*  
*chthys molitrix*)、棒花鱼以及麦穗鱼(蔡林钢等,2009),  
共计 6 种,而本次调查中采集到青鳉等 10 种外来鱼  
种(表 1),麦穗鱼、棒花鱼占优较大比重,已于博尔  
塔拉河形成一定的种群。外来鱼种主要分布于 S4 断  
面(图 3),该断面位于大河沿子河汇合口(图 1),大河  
沿子河水温相对较高,适宜水产养殖,为博尔塔拉蒙  
古自治州主要养殖水系之一,大量的养殖逃逸及附带

鱼种在该断面聚集(蔡林钢等,2009;郭焱等,2012)。  
自 20 世纪 60 年代至今,博尔塔拉河鱼类群落已由原  
本土著鱼类逐渐演化为外来鱼种为主土著鱼类为辅  
的结构,且自然河道中的外来物种种类仍在不断增加  
(蔡林钢等,2009)。新疆地理相对隔离,生态系统较为  
脆弱(韩茜,2005),外来物种天敌较少,极易对土著鱼  
类造成威胁,进而影响本地水生生态结构,对新疆各  
天然水系外来物种的风险评估及防治须予以重视。

经济鱼种减少。历史上准噶尔雅罗鱼及新疆裸重  
唇鱼是该流域的主要渔业对象(郭焱等,2012),尽管  
本次采集鱼类标本达 1515 尾,但准噶尔雅罗鱼及新  
疆裸重唇鱼均未超过 10 尾(表 1),已难以形成渔业捕  
捞种群。

鱼类群落小型化。武云飞等(1992)记载,20 世纪  
中叶新疆裸重唇鱼全长范围为 110~345 mm,本次调  
查最大全长为范围为 51~132 mm。短尾鲢体长范围  
为 22~69 mm,平均体长仅 28 mm,多以小个体为主。  
栖息环境的改变及过度捕捞导致性成熟提前可能是  
鱼类小型化的主要原因。

### 3.2 土著鱼类分布现状

新疆裸重唇鱼为高山冷水性经济鱼类(武云飞等,  
1992),为新疆分布最广泛的土著鱼类,该鱼种产卵  
场多位于河流上游(郭焱等,2012),近年来,受河道  
引水工程的影响,该鱼种已开始向各栖息地支流上游  
支流迁移(李国刚等,2017),本研究该鱼种也是出现  
于调查水域的上游。准噶尔雅罗鱼为新疆准噶尔盆  
地独有土著鱼类,系广温性湖泊型鱼类,准噶尔雅罗  
鱼应为湖泊型鱼类,受艾比湖水质盐化的影响,迫使  
该鱼迁栖至入湖三角洲低洼坑塘或河道之中(郭焱等,  
2005),主要出现于 S4 断面。博尔塔拉河短尾鲢分  
布存在出入,李思忠等(1966)与中国科学院动物研  
究所(1979)分别对该流域调查,均认为该河段存在短  
尾鲢,而蔡林钢等(2009)于 2005 年的调查中未采  
集到样品,其结合 2006 年天山北坡准噶尔盆地调查  
数据,认为准噶尔盆地可能没有短尾鲢分布。结合  
历史资料综合分析认为,该河段短尾鲢存在是必然  
的,且 20 世纪

中叶资源量较高,随后种群数量逐渐下降,故而在监测过程中未采集到样品。短尾鱈喜好生活于流速较弱的小河汉浅水区,以倒灌流河汉最甚,对生境相对较高的选择性限制该鱼种形成大规模种群,而对生境的依赖性则导致该鱼种的生存容易受到影响,进而反作用于种群,影响其分布和种群数量。高原鳅属鱼类系高海拔小型浅水型鱼类,无洄游习性,分布范围相对稳定,其中,新疆高原鳅多分布与中上游河段,斯氏高原鳅则多以下游为主,鳅科鱼类繁殖能力强、经济价值低、开发利用少,资源量相对丰富(郭焱等,2012)。

### 3.3 鱼类群落与环境因子的关系

鱼类群落的空间格局除受其本身生活习性影响外,还受环境因子空间异质性的影响(李捷等,2012)。新疆地理环境复杂,河流多发源于山脉,有多种于高山产卵鱼类分布,已知的海拔分布次序为新疆裸重唇鱼>新疆高原鳅>斯氏高原鳅>准噶尔雅罗鱼,进而使海拔与鱼类群落结构相关性较高。此外,斯氏高原鳅属广布种,于新疆塔里木河、伊犁河、额敏河以及天山北坡水系均有分布(李国刚等,2017)。S3在4个断面中海拔最高(表4),而本次调查仅于S3断面采集到斯氏高原鳅(图3),采样断面设置也可能对相关分析造成一定的影响。新疆裸重唇鱼、新疆高原鳅和短尾鱈主要集中于研究水域上游,该河段距温泉县较近,且少有支流汇入,水温高于下游,为适宜的越冬区,使鱼类在该区域聚集而其余河段分布较少,进而表现为与温度正相关。鲫主要分布于河口区,河口区淡水注入可能使得该区域水体溶解氧含量升高。此外,鲫为杂食性鱼类,偏重于植物性,喜摄食浮游植物(郭焱等,2012),S4断面有大河沿子河注入,夏秋季水温在20℃以上。一般而言,温带河口区浮游生物种类丰度较高(杨宇峰等,2006),丰富的浮游植物能够为鲫提供充足的饵料,使得鱼类聚集,浮游植物的光合作用也能为水体提供较高的溶氧,进而使得鲫与溶解氧表现为较高的相关性。其余鱼种与所测定环境因子未表现出显著相关,这可能受到鱼类生活习性及相关环境因子参数设置等多方面因素的影响,其原因有待进一步探索。

### 参 考 文 献

- Bai XH, Li HJ, Bai ZL. Evaluation of aquatic ecosystem health in Bortala River basin. *Environmental Protection of Xinjiang*, 2017, 39(3): 48–54 [摆晓虎, 李慧菁, 白泽龙. 博尔塔拉河流域水域生态健康评估. *新疆环境保护*, 2017, 39(3): 48–54]
- Bilali, Yi M, Wang YH, *et al.* Riparian zone of lower reaches of the Bortala River. *Arid Zone Research*, 2014, 31(2): 216–221 [比拉力, 依明, 王勇辉, 等. 博尔塔拉河下游河岸带土壤养分特征及其相关性分析. *干旱区研究*, 2014, 31(2): 216–221]
- Borcard D, Gillet F, Legendre P, *et al.* Lai JS (Translated by). *Numerical ecology with R*. Beijing: Higher Education Press, 2014 [博卡德, 吉莱, 勒让德, 等. 赖江山(译). *数量生态学: R语言的应用*. 北京: 高等教育出版社, 2014]
- Bray JR, Curtis JT. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 1957(27): 325–349
- Braak CJFT. Correspondence analysis of incidence and abundance data: Properties in terms of a unimodal response model. *Biometrics*, 1985, 41(4): 859–873
- Braak CJFT. Canonical correspondence analysis: A new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167–1179
- Cai LG, Li H, Han SW, *et al.* The river ecosystem and fish resources of Bortala Mongol Autonomous Prefecture of Xinjiang. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2009 [蔡林钢, 李红, 韩生玮, 等. *新疆博尔塔拉蒙古自治州河流生态与鱼类资源(第1版)*. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2009, 173]
- Chambers CA, Dick TA. Trophic structure of one deep-sea benthic fish community in the Eastern Canadian Arctic: Application of food, parasites and multivariate analysis. *Environmental Biology of Fishes*, 2005, 74(3–4): 365–378
- Chen YY. *Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes II*. Beijing: Science Press, 1998 [陈宜瑜. *中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(中卷)(第1版)*. 北京: 科学出版社, 1998, 531]
- Chen YY. *Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes III*. Beijing: Science Press, 2000 [陈宜瑜. *中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(下卷)(第1版)*. 北京: 科学出版社, 2000, 661]
- Dong Y, Haimiti Y, Ba Y, *et al.* Analysis on concentration and correlation of runoff and precipitation in Bortala River basin. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2014, 25(4): 28–34 [董煜, 海米提·依米提, 巴音查汗, 等. 博尔塔拉河径流与降水的集中性及关联性分析. *水资源与水工程学报*, 2014, 25(4): 28–34]
- Gulijimi A. Climate change in Xinjiang Bortala River basin and its effects on runoff Bortala River in recent 50 years. Master's Thesis of Xinjiang Normal University, 2012, 63 [古丽吉米丽·艾尼. 近50年博尔塔拉河流域气候变化对径流量的影响研究. 新疆师范大学硕士研究生学位论文, 2012, 63]
- Guo Y, Cai LG, Zhang RM, *et al.* The native fisher distributed and made of evolution in the Yili River (China's Section). *Arid Zone Research*, 1999, 16(2): 31–35 [郭焱, 蔡林刚,

- 张人铭, 等. 伊犁河(中国境内)土著鱼类的分布与演化. 干旱区研究, 1999, 16(2): 31–35]
- Guo Y, Cai LG, Zhang RM, *et al.* Preliminary study on the biological properties of *Leuciscus merzbacheri* Zugmayer in the Sayram Lake, Xinjiang. *Arid Zone Research*, 2005, 22(2): 197–200 [郭焱, 蔡林钢, 张人铭, 吐尔逊, 张北平. 新疆赛里木湖准噶尔雅罗鱼生物学特征观测. 干旱区研究, 2005, 22(2): 197–200]
- Guo Y, Zhang RM, Cai LG, *et al.* Fauna Xinjiang. Urumqi: Xinjiang People's Publishing Press, 2012 [郭焱, 张人铭, 蔡林钢, 等. 新疆鱼类志(第 版). 乌鲁木齐: 新疆科技出版社, 2012, 220]
- Han Q. Evaluation of fragile environment and study of typical region. Master's Thesis of Xinjiang University, 2005 [韩茜. 新疆脆弱生态区评价及典型区研究. 新疆大学硕士研究生学位论文, 2005, 75]
- Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences. Fauna Xinjiang. Urumqi: Xinjiang People's Publishing Press, 1979 [中国科学院动物研究所. 新疆鱼类志(第 版). 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1979, 71]
- Ka ML. The hydrological characteristics of Bortala River. Beijing: the 5th youth academic annual meeting of the China association of science and technology, 2004, 139–140 [卡米拉. 博尔塔拉河水文特性. 北京: 中国科协第五届青年学术年会, 2004, 139–140]
- Li GG, Feng CG, Tang YT, *et al.* Survey of native fish resources in inland river system in Xinjiang. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2017, 52(3): 22–27 [李国刚, 冯晨光, 汤永涛, 等. 新疆内陆河土著鱼类资源调查. 甘肃农业大学学报, 2017, 52(3): 22–27]
- Li J, Li XH, Jia XP, *et al.* Evolvement and diversity of fish community in Xijiang River. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(2): 298–311 [李捷, 李新辉, 贾晓平, 等. 西江鱼类群落多样性及其演变. 中国水产科学, 2010, 17(2): 298–311]
- Li J, Li XH, Jia XP, *et al.* Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(18): 5795–5805 [李捷, 李新辉, 贾晓平, 等. 连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系. 生态学报, 2012, 32(18): 5795–5805]
- Li SZ, Dai DY, Zhang SY, *et al.* Notes on a collection of fishes from north Sinkiang, China. *Acta Zoologica Sinica*, 1966, 18(1): 41–56 [李思忠, 戴定远, 张世义, 等. 新疆北部鱼类的调查研究. 动物学报, 1966, 18(1): 41–56]
- Liu H, Niu JG, Liu CC, *et al.* Fish community structure and relationship with environmental factors of mainstream, Emin River, Xinjiang. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(12): 3558–3563 [刘鸿, 牛建功, 刘春池, 等. 新疆额敏河干流鱼类群落结构及其与环境因子的关系. 生态学杂志, 2017, 36(12): 1–6]
- Mao ZG, Gu XH, Zeng QF, *et al.* Community structure and diversity of fish in Lake Tai. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(12): 2836–2842 [毛志刚, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 太湖鱼类群落结构及多样性. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2836–2842]
- Shan XJ, Jin XS, Zhou Z, *et al.* Fish community diversity in the middle continental shelf of the East China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2011, 29(6): 1199–1208
- Su HC, Ba Y, Pang CH, *et al.* Change in Ebinur Lake area and its impact on eco-environment. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2006, 28(6): 941–949 [苏宏超, 巴音查汗, 庞春花, 等. 艾比湖面积变化及对生态环境影响. 冰川冻土, 2006, 28(6): 941–949]
- Sun PF, Dai FQ, Chen YL, *et al.* Seasonal variations in structure of fishery resource in the Yangtze River estuary and its adjacent waters. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(6): 8–16 [孙鹏飞, 戴芳群, 陈云龙, 等. 长江口及其邻近海域渔业资源结构的季节变化. 渔业科学进展, 2015, 36(6): 8–16]
- Wilhm JL. Use of biomass units in Shannon's formula. *Ecology*, 1968, 49(1): 153–156
- Wu YF, Wu CZ. The fishes of the Qinghai-Xizang Plateau. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1992 [武云飞, 吴翠珍. 青藏高原鱼类(第 版). 成都: 四川科学技术出版社, 1992]
- Yang YF, Wang Q, Chen JF, *et al.* Research advance in estuarine zooplankton ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 576–585 [杨宇峰, 王庆, 陈菊芳, 等. 河口浮游动物生态学研究进展. 生态学报, 2006, 26(2): 576–585]
- Yang YY, Li ZY, Wu Q, *et al.* Interannual variations in community structure and species diversity of fishery resources in the Laizhou Bay. *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(1): 22–29 [杨尧尧, 李忠义, 吴强, 等. 莱州湾渔业资源群落结构和多样性的年际变化. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 22–29]
- Ye FL. Fish ecology. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 2002 [叶富良. 鱼类生态学. 广州: 广东高等教育出版社, 2002]
- Young LJ, Young JH. *Statistical Ecology*: Springer US, 1998
- Zhang JT. *Numerical Ecology*. Second Edition. Beijing: Science Press, 2011, 372 [张金屯. 数量生态学(第 II 版). 北京: 科学出版社, 2011, 372]
- Zhang ZY, Jilili A, Jiang FQ, *et al.* Pollution and potential ecology risk evaluation of heavy metals in river water, top sediments on bed and soils along banks of Bortala River, Northwest China. *Environmental Science*, 2015, 36(7): 2422–2429 [张兆永, 吉力力·阿不都外力, 姜逢清. 博尔塔拉河河水、表层底泥及河岸土壤重金属的污染和潜在危害评价. 环境科学, 2015, 36(7): 2422–2429]
- Zhou H, Zhang ZN. Rationale of the multivariate statistical software PRIMER and its application in benthic community ecology. *Journal of Ocean University of Qingdao (Natural*

Science), 2003, 33(1): 58–64 [周红, 张志南. 大型多元统计软件 PRIMER 的方法原理及其在底栖群落生态学中的应用. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2003, 33(1): 58–64]

Zhu YS, Zhang LP. The study of hydrology and water resource

of Bortala River basin. Modern Agricultural Science and Technology, 2010(7): 295–296 [朱永生, 张莉萍. 博尔塔拉河流域水文水资源分析. 现代农业科技, 2010(7): 295–296]

(编辑 冯小花)

## Spatial Distribution of the Fish Community and Its Relationship with Environmental Factors in the Bortala River in Winter

LIU Hong<sup>1</sup>, NIU Jiangong<sup>1</sup>, LIU Chunchi<sup>1</sup>, XIE Peng<sup>2</sup>, LIANG Jiefeng<sup>2</sup>,  
CAI Lingang<sup>1</sup>, MA Xufa<sup>2</sup>, ZHANG Renming<sup>1①</sup>

(1. Xinjiang Fishery Research Institute, Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in Northwest China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Urumqi 830000;  
2. Huazhong Agricultural University, Wuhan 430000)

**Abstract** Knowledge about the differences or variations in the fish community is important to assess and predict the effects of habitat loss or environment degradation on the river ecosystems. The Bortala River is an important interior river in Xinjiang, China. Although research regarding spring and summer fish communities has been reported, that regarding winter fish communities is lacking. Based on fishery resource surveys in November 2016 at the mainstream of the Bortala River, the fish community structure and diversity of the river were analyzed. The results indicated that a total of 1515 fishes were collected at 4 representative sections, which belonged to 3 orders, 4 families, 14 genera, and 15 species. The dominant species (IRI>1000) in the mainstream of the Bortala River were *Pseudorasbora parva*, *Abbottina rivularis*, and *Triplophysa strauchii*. A group-averaged hierarchical cluster based on the Bray-Curtis similarity index identified two spatial patterns of the fish assemblage at the 60% similarity level and four patterns of species composition at the 50% similarity level. The canonical correspondence analysis (CCA) suggested that altitude, temperature, and dissolved oxygen were the major environmental factors affecting the spatial patterns of fish assemblages in winter. The results of this study indicated that the species of native fish have declined, and the species of fish with low economic value have increased significantly. The aquatic ecosystem will be destroyed unless effective measures are taken to protect the native fish. Further studies are needed to investigate the mechanisms by which these factors operate together upon the fish assembles in the Bortala River in winter.

**Key words** Fish; Community structure; Environmental factor; Bortala River

① Corresponding author: ZHANG Renming, E-mail: xj01zrm@163.com

续附录1 博尔塔拉河各断面鱼类分布及体长体重范围

Appendix 1 The fish species, length range and weight range in each section of Bortala River, Xinjiang

物种 Species	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
	体长范围 Length range (mm)				体重范围 Weight range (g)			
青鳉 <i>Oryzias latipes</i>				25~28				0.19~0.21
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	21~60	32~71	21~81	23~58	0.05~4.12	0.50~6.51	0.12~7.93	0.23~2.88
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>				102				10.05
短尾鳊 <i>Phoxinus brachyurus</i>	22~69				0.09~6.70			
鲫 <i>Carassius auratus</i>			14~127	36~89			0.06~61.95	1.21~15.26
新疆裸重唇鱼 <i>Gymnodiptychus dybowskii</i>	105	66			19.89	4.79		
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	21~61	18~54	20~85	25~61	0.12~3.96	0.08~2.79	0.11~4.71	0.25~3.38
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>				42~43				1.57~1.71
准噶尔雅罗鱼 <i>Leuciscus merzbacheri</i>				67~80				4.14~7.10
无须鱏 <i>Acheilognathus gracilis</i>		39~46		50		1.22~1.93		2.55
斯氏高原鳅 <i>Triplophysa stoliczkae</i>			32~41				0.4~0.76	
新疆高原鳅 <i>Triplophysa strauchii</i>	24~78	25~114			0.14~5.03	0.11~18.41		
北方泥鳅 <i>Cobitis granoci</i>		95	32~49			4.76	0.25~1.09	
黄魮 <i>Hypseleotris swinhonis</i>	37	23~40	28~35	47	0.76	0.16~1.20	0.37~0.66	1.65
波氏栉虾虎鱼 <i>Ctenogobius cliffordpopei</i>	24~27		18~40	22~38	0.17~0.20		0.07~1.1	0.14~0.39