

DOI: 10.12264/JFSC2022-0312

乌伦古湖鱼类群落特征及其与环境因子的关系

王乐¹, 于雪峰², 窦乾明¹, 赵晨¹, 宋聃¹, 都雪¹, 王慧博¹, 霍堂斌¹

1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江流域渔业生态省野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150070;
2. 福海县水产技术推广站, 新疆维吾尔自治区 阿勒泰 836400

摘要: 为查明乌伦古湖鱼类组成现状、群落结构及其影响因素, 本研究利用多网目复合刺网于 2019—2021 年对乌伦古湖开展鱼类群落调查研究。春、夏、秋 3 季共采集鱼类 22 种, 隶属于 4 目 6 科, 以鲤科鱼类最多, 为 15 种, 占比 68.2%。其中历史土著种 7 种, 占鱼类种数的 31.8%; 优势种为湖拟鲤(*Rutilus rutilus*)和东方欧鳊(*Abramis brama*), 其 Pinkas 相对重要性指数(IRI)分别为 7355.28 和 765.65。本次调查的水域中, 布伦托海全年优势种为湖拟鲤和东方欧鳊, 吉力湖全年优势种为湖拟鲤、河鲈(*Perca fluviatilis*)和东方欧鳊; 鱼类群落的 Shannon-Wiener 指数(H')、Margalef 指数(D)和 Pielou 指数(J')的变化范围分别为 0.91~1.76、0.24~0.54 和 0.23~0.45。春季鱼类的多样性指数 H' 、 D 、 J' 显著低于夏、秋两季。布伦托海的鱼类多样性指数整体略高于吉力湖; 丰度-生物量比较曲线(ABC)分析结果表明丰度曲线整体均位于生物量曲线上方, W 统计值均为负值, 介于 -0.104~-0.371 之间。秋季($W = -0.226$)受干扰程度最高, 其次是春季($W = -0.2$), 夏季最低($W = -0.104$)。其中, 吉力湖($W = -0.307$)的鱼类群落受干扰程度显著高于布伦托海($W = -0.191$); 冗余分析(RDA)结果表明, 水深、硝酸盐氮和水温为影响布伦托海鱼类群落的主要环境因子, 通过影响鱼类繁殖、摄食等习性从而调控鱼类群落分布。而吉力湖鱼类群落主要受叶绿素 a 和总氮的影响, 小型杂食性鱼类的分布与叶绿素 a 浓度、营养物质成正相关。研究结果表明乌伦古湖鱼类群落结构呈现优势种单一化、鱼类小型化及生物多样性下降的态势。

关键词: 乌伦古湖; 鱼类组成; 群落结构; 环境因子

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)05-0533-15

乌伦古湖(46°51'N~47°25'N, 87°02'E~87°35'E)位于新疆准噶尔盆地北部, 是中国十大淡水湖之一, 也是北疆最大的内陆湖泊, 在维持当地生态系统、保护生物多样性方面发挥着巨大的作用, 同时也是新疆第二大渔业基地。受农业发展、水电水利建设、气候变化、渔业捕捞及其他人类活动影响, 乌伦古湖的成鱼类资源及水生态环境在近 50 年退化得较为明显, 鱼类的群落结构及其生物多样性也发生了显著的变化^[1]。

乌伦古湖鱼类资源调查研究始于 20 世纪 60 年代, 1964 年 4—7 月, 李思忠等^[2]开展了北疆鱼类的资源调查, 初步记述乌伦古湖鱼类的分类和分

布。此后的 1986—1987 年、1999—2001 及 2006—2008 年中国水产科学研究院黑龙江水产研究所、新疆水产科学研究所等单位又先后 3 次对吉力湖、额尔齐斯河及乌伦古湖水域的鱼类资源开展了详尽的调查, 并出版《新疆吉力湖的渔业》《中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业》等著作^[3-5]。这些调查工作的重点集中在鱼类组成的历史变迁、渔业资源组成演替等方面。近些年, 一些学者聚焦乌伦古湖的水生态环境^[6]、水质变化^[7]以及白斑狗鱼(*Esox lucius*)^[8]、河鲈(*Perca fluviatilis*)^[9]等经济鱼类的生物学特征, 并开展了较为深入的研究。目前, 关于乌伦古湖鱼类群落结构特征的探讨较

收稿日期: 2022-09-01; 修订日期: 2022-12-13.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0900602); 农业农村部“西北地区重点水域渔业资源与环境调查”项目。

作者简介: 王乐(1988—), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向为渔业生态与环境. E-mail: wangle@hrfri.ac.cn

通信作者: 霍堂斌, 博士, 副研究员, 研究方向为渔业生态与环境. E-mail: tbhuo@163.com

少，特别是鱼类群落与环境因子的关系的研究还未见报道。因此，本研究以乌伦古湖鱼类群落为研究对象，试图掌握乌伦古湖鱼类群落现状、物种多样性特征及其与环境因子之间的关系，为乌伦古湖渔业资源与环境的可持续发展和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

本次调查水域为乌伦古湖，主要由布伦托海(又名乌伦古湖、喀勒尔扎什淖尔、大海子)和吉力湖(又名波特港湖、考勒湖、巴勒湖、小海子)组成，两个湖区在全新世时期曾为统一的湖体，后因面积逐渐缩减演变为两个湖泊。湖面平均高程 468 m，水域总面积为 927.0 km²，蓄水量为

77.4×10⁸ m³。其中布伦托海面积 753.0 km²，蓄水量 60.2×10⁸ m³，吉力湖面积 174.0 km²，蓄水量 17.2×10⁸ m³[10]。

1.2 样品采集

调查时间为 2019 年春季(4—5 月)、夏季(7 月)、秋季(10 月)，2020 年夏季(7 月)、秋季(10 月)和 2021 年春季(4—5 月)，共计 6 次。在乌伦古湖共设置 14 个采样点，其中布伦托海 10 个，吉力湖 4 个(图 1)。利用多网目复合刺网进行鱼类群落采样，复合刺网由 12 种网目的网片顺次连接组成，网目依次为 8.6 cm、3.9 cm、1.3 cm、2.0 cm、11.0 cm、1.6 cm、2.5 cm、4.8 cm、3.1 cm、1.0 cm、7.0 cm、5.8 cm。每种网目的网长 2.5 m，总长 30 m，网高 5 m。采样时以每个采样点串联的方式放置 3 条沉性和 3 条浮性复合刺网。此外，在湖区水草茂盛

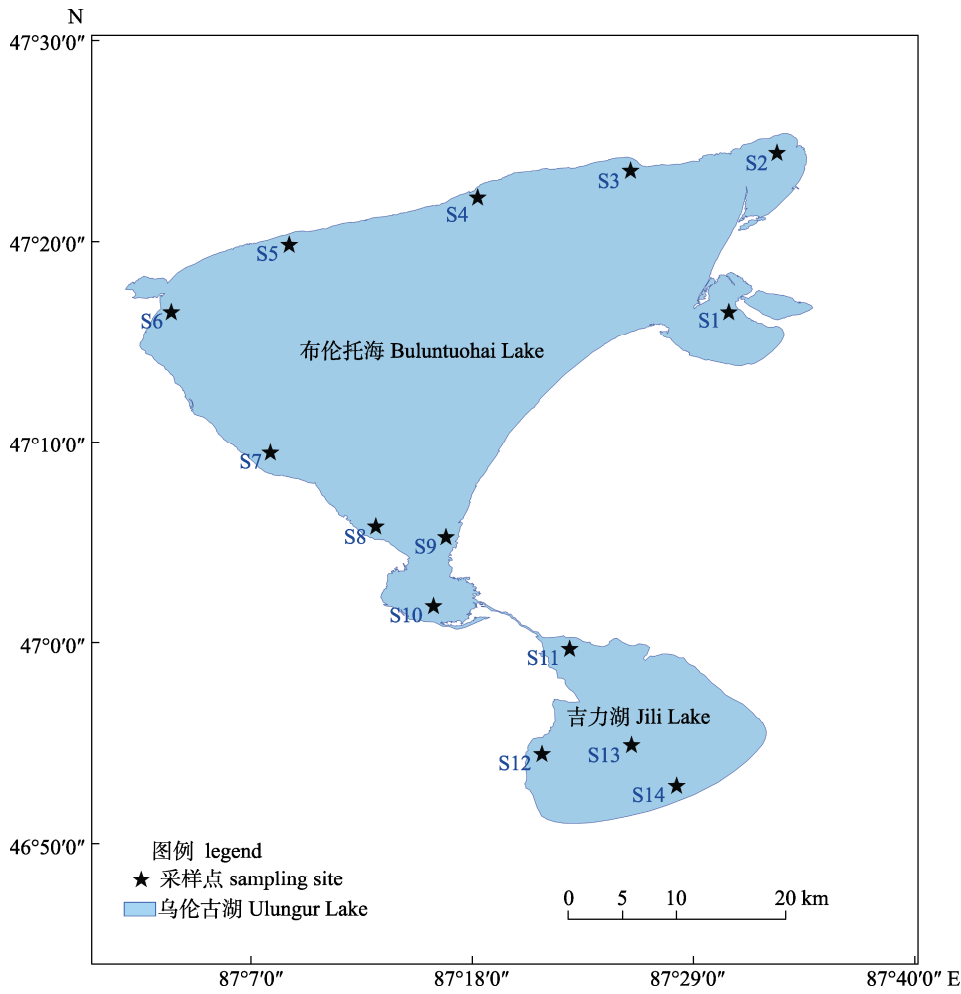


图 1 乌伦古湖调查点位分布图
Fig. 1 Distribution of sampling stations in the Ulungur Lake

的浅水区串联投放 2 个地笼, 用以收集小型鱼类, 每个地笼长 20 m, 网目尺寸为 1 cm。所有渔具于下午 8:00 左右放置在采样点, 次日早晨 8:00 收回。将每个渔具的渔获物单独收集存放并带回实验室。依据《新疆鱼类志》和《中国内陆鱼类物种与分布》进行种类鉴定及生态学类型分析^[11-12]。并逐尾测量鱼类样本的全长(精确到 0.1 mm)和体重(精确到 0.1 g)。

1.3 水质数据收集

采用多参数水质检测仪(YSI ProPlus 型)现场测定各采样点的水温、溶解氧、pH、电导率等理化因子, 透明度采用塞氏盘(SD30 型)测定, 水深利用便携式测深仪(SM-5 型)测量。总磷、总氮、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、可溶性磷酸盐、叶绿素 a 及高锰酸盐指数等环境因子的含量, 参照《水和废水监测分析方法(第四版)》的测量方法, 在实验室测定分析^[13]。

1.4 数据处理

1.4.1 多样性指数及优势种 鱼类群落多样性采用 Shannon-Wiener 指数(H')^[14]、Margalef 指数(D)^[15]和 Pielou 指数(J')^[16]进行评价。鱼类群落中的优势种组成分析利用 Pinkas 相对重要性指数(IRI)^[17]。各指数的计算公式如下:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \log_2 P_i \quad (1)$$

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (2)$$

$$J' = H' / \log_2 S \quad (3)$$

$$IRI = (N_i \% + W_i \%) \times F_i \% \quad (4)$$

式中, S 为种类数; N 为总个体数; P_i 为第 i 种鱼个体数占总个体数的比例; $N_i\%$ 为第 i 种鱼的数量占总个体数的百分比; $W_i\%$ 为第 i 种鱼的重量占总体重量的百分比; $F_i\%$ 为第 i 种鱼的调查出现次数占总调查次数的百分比。

根据 Pinkas 相对重要性指数分类标准^[18], 将 $IRI \geq 500$ 的物种定为优势种, $100 \leq IRI < 500$ 的物种定为常见种, $10 \leq IRI < 100$ 的物种定为一般种, $IRI < 10$ 的物种定为少见种。

1.4.2 群落稳定性分析 采用 PRIMER5.0 软件绘制丰度-生物量比较曲线(abundance biomass

comparison curve, ABC)并分析统计量 W , 以此分析乌伦古湖鱼类群落结构的受干扰状态^[19]。计算公式为:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{(B_i - A_i)}{50(S - 1)} \quad (5)$$

式中, A_i 和 B_i 分别为第 i 种物种对应的丰度、生物量累计百分比, S 为采集鱼类的种类数。

当生物量优势度曲线位于数量优势度曲线上方时, $W > 0$, 此时群落结构稳定, 受干扰程度较低。当生物量优势度曲线位于数量优势度曲线下方时, $W < 0$, 此时群落受干扰程度则较高^[20]。

1.4.3 鱼类群落结构与环境因子相关性分析 将鱼类个体调查数据进行统计整理, 选取出现频次 ≥ 3 鱼类的 $N\%$ 数据, 经 Hellinger 转换后进行去趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA), 根据第一轴的梯度长度(lengths of gradient, LGA), 选择相应的分析方法^[21]。若长度值大于 4, 则选择典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA); 若长度值小于 3, 则选择冗余分析(redundancy analysis, RDA); 若长度值介于 3~4, 则两种分析方法均可。经 DCA 处理, 所得第一轴的梯度长度值均小于 3, 故选择 RDA, 并运用 R 软件的“Vegan”安装包进行分析。将除 pH 以外水环境因子数据进行 $\log(x+1)$ 转换, 以去除极端数值所造成的误差影响。为减小环境因子间的多重共线性影响, RDA 分析筛选各环境因子, 并从中去除具有高膨胀因子(VIF>20)的环境因子。采用向前引入法确定与物种组成显著相关的环境因子。通过蒙特卡洛检验(Monte Carlo test, MCT)(999 次)验证环境因子对鱼类群落结构的显著性, 选取 P 值小于 0.05 的环境因子并绘制 RDA 二维排序图。

2 结果与分析

2.1 种类组成与生态类型

本次调查, 春、夏、秋季在乌伦古湖共采集鱼类样本 15387 尾, 统计渔获物 546585.1 g, 经分类鉴定隶属于 4 目 6 科 22 种(表 1), 以鲤科鱼类最多, 为 15 种, 占比 68.2%; 鲈科 3 种, 占比

13.6%; 狗鱼科、胡瓜鱼科、鳕科、鳅科各 1 种, 分别占比为 4.5%; 历史土著种 7 种, 占鱼类种数的 31.8%。布伦托海采集到鱼类 4 目 6 科 20 种, 吉力湖采集到鱼类 3 目 3 科 14 种。乌伦古湖春、夏、秋季分别采集到 13、15、16 种, 各季节差别较小(表 2)。

按摄食类型划分, 本次调查渔获物可分为杂食性(omnivore)、肉食性(carnivore)、浮游植物食性(planktivore)和植食性(herbivor), 分别有 14、5、2、1 种, 主要以杂食性为主, 占比 63.6%。其中布伦托海采集的各食性鱼类分别为 13、4、2、1 种, 吉力湖采集的各食性鱼类分别为 7、4、2、1

种。按栖息水层分为中上层、中下层和底层, 乌伦古湖分别有 5、6、11 种, 主要以底层栖息鱼类为主, 占比 50.0%。其中布伦托海分别采集 5、5、10 种, 吉力湖分别采集 3、6、5 种(表 2)。

2.2 优势种组成

根据 Pinkas 相对重要性指数分类标准, 乌伦古湖的全年优势种为湖拟鲤(*Rutilus rutilus*)和东方欧鳊(*Abramis brama*)。以湖拟鲤为绝对优势种, IRI 指数高达 7355.29, 其数量、重量占比分别达 81.11%及 32.44%。东方欧鳊 IRI 指数为 765.65, 其数量、重量占比分别为 2.94%及 13.10% (表 3)。常见种为白斑狗鱼、河鲈、银鲫(*Carassius gibelio*)、

表 1 乌伦古湖鱼类种类组成
Tab. 1 Composition of fish species in the Ulungur Lake

目 order	科 family	种 species	1986–1987	2000–2001	2006–2008	2019–2021
鲑形目 Salmoniformes	狗鱼科 Esocidae	白斑狗鱼 <i>Esox lucius</i>	+	+	+	+
	胡瓜鱼科 Osmeridae	西太公鱼 <i>Hypomesus nipponensis</i>		+	+	+
	鲑科 Salmonoidae	哲罗鲑 <i>Hucho taimen</i>		+		
鲈形目 Perciformes	鲈科 Percidae	河鲈 <i>Perca fluviatilis</i> ★	+	+	+	+
		梭鲈 <i>Sander lucioperca</i>		+	+	+
		粘鲈 <i>Acerina cernua</i>	+	+	+	+
鳕形目 Gadiformes	鳕科 Gadidae	江鳕 <i>Lota lota</i>	+	+	+	+
鲤形目 Cypriniformes	鲤科 Cyprinidae	贝加尔雅罗鱼 <i>Leuciscus baicalensis</i> ★	+	+	+	+
		高体雅罗鱼 <i>Leuciscus idus</i>		+	+	
		银鲫 <i>Carassius gibelio</i> ★	+	+		+
		丁鲃 <i>Tinca tinca</i> ★	+	+	+	+
		尖鳍鲃 <i>Gobio acutipinnatus</i> ★	+	+	+	+
		湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	+	+	+	+
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	+	+	+	+
		高体雅罗鱼 <i>Leuciscus idus</i>				+
		鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	+	+	+	+
		草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>		+	+	+
		鳊 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	+	+	+	+
		鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	+	+	+	+
		麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>		+	+	+
		棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>				+
		鲤×鲫 <i>Cyprinus carpio</i> × <i>Carassius gibelio</i>				+
		湖拟鲤×东方欧鳊 <i>Rutilus rutilus</i> × <i>Abramis brama</i>	+	+	+	+
	鳅科 Cobitidae	北方泥鳅 <i>Misgurnus mohoity</i>				+
		北方须鳅 <i>Barbatula nuda</i> ★	+	+	+	
		北方花鳅 <i>Cobitis sibirica</i> ★	+	+	+	

注: ★表示历史土著种, +表示采集到的种。
Note: ★ indicates indigenous fishes; + indicates the species collected.

表 2 乌伦古湖鱼类空间分布及生态类型

Tab. 2 Spatial distribution and ecological types of the fishes in the Ulungur Lake

物种 species	生态类型 ecological type	春季 spring		夏季 summer		秋季 autumn	
		布伦托海 Buluntuohai Lake	吉力湖 Jili Lake	布伦托海 Buluntuohai Lake	吉力湖 Jili Lake	布伦托海 Buluntuohai Lake	吉力湖 Jili Lake
白斑狗鱼 <i>Esox lucius</i>	U, C	+	+	+			+
西太公鱼 <i>Hypomesus nipponensis</i>	D, O	+		+		+	
河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	D, C	+	+	+	+	+	+
梭鲈 <i>Sander lucioperca</i>	L, C						+
粘鲈 <i>Acerina cernua</i>	L, C	+	+	+		+	+
江鳕 <i>Lota lota</i>	D, C					+	
贝加尔雅罗鱼 <i>Leuciscus baicalensis</i>	U, O	+					
银鲫 <i>Carassius gibelio</i>	D, O	+	+	+	+	+	+
丁鲃 <i>Tinca tinca</i>	D, O			+	+		
尖鳍鲃 <i>Gobio acutipinnatus</i>	D, O	+		+			+
湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	L, O	+	+	+	+	+	+
东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	L, O	+	+	+	+	+	+
高体雅罗鱼 <i>Leuciscus idus</i>	U, O					+	
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	D, O	+		+			
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	L, H					+	+
鳊 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	U, P	+		+	+	+	+
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	U, P	+	+				
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	D, O			+			
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	D, O						+
鲤×鲫 <i>Cyprinus carpio</i> × <i>Carassius gibelio</i>	D, O			+			
湖拟鲤×东方欧鳊 <i>Rutilus rutilus</i> × <i>Abramis brama</i>	L, O	+	+	+		+	+
北方泥鳅 <i>Misgurnus mohoity</i>	D, O			+			

注: +表示采集到的种类; O 为杂食性, C 为肉食性, P 为浮游植物食性, H 为植食性; U 为中上层, L 为中下层, D 为底层。
Note: + indicates the species collected; O means omnivore, C means carnivore, P means planktivore, H means herbivor; U means upper fishes, L means lower fishes, D means demersal.

表 3 乌伦古湖不同湖区的鱼类优势种组成

Tab. 3 Composition of dominant fish species in different lake regions of the Ulungur Lake

区域 waters	季节 season	优势种 dominant fish species	尾数 number	重量/g weight	数量百分比/% percentage of number	质量百分比/% percentage of weight	出现频率 百分比/% percentage of frequency	相对重要性指数 IRI
乌伦古湖 Ulungur Lake	全年 annual	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	12481	177319.6	81.11	32.44	64.77	7355.28
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	453	71592.2	2.94	13.10	47.73	765.65
	春季 spring	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	9253	130025.0	87.14	43.13	73.81	9614.91
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	166	56708.5	1.56	18.81	54.76	1115.71
	夏季 summer	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	1639	23655.3	66.57	27.36	85.71	8051.18
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	274	12451.3	11.13	14.40	85.71	2188.26
		鳊 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	20	33020.5	0.81	38.19	50.00	1950.11
		河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	161	5846.2	6.54	6.76	64.29	855.05
		湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	1589	23639.3	68.91	14.90	63.64	5333.20
	秋季 autumn	白斑狗鱼 <i>Esox lucius</i>	38	38278.9	1.65	24.13	27.27	702.97
		草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	56	19119.1	2.43	12.05	40.91	592.34
		河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	93	18059.1	4.03	11.38	36.36	560.58

(待续 to be continued)

(续表 3 Tab. 3 continued)

区域 waters	季节 season	优势种 dominant fish species	尾数 number	重量/g weight	数量百分比/% percentage of number	质量百分比/% percentage of weight	出现频率百分比/% percentage of frequency	相对重要性指数 IRI
布伦托海 Buluntuohai Lake	全年 annual	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	9436	129163.7	80.24	32.56	66.07	7453.44
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	376	40324.6	3.20	10.17	60.71	811.38
	春季 spring	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	7413	97861.6	88.96	51.61	65.52	9210.00
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	94	25962.6	1.13	13.69	58.62	868.83
	夏季 summer	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	1564	22127.7	66.64	28.93	84.62	8086.14
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	270	11958.6	11.50	15.63	84.62	2296.14
		鳊 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	17	26810.2	0.72	35.05	46.15	1650.95
		河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	130	4873.4	5.54	6.37	61.54	732.89
		湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	459	9174.4	42.54	7.03	50.00	2478.36
	秋季 autumn	白斑狗鱼 <i>Esox lucius</i>	38	38278.9	3.52	29.32	42.86	1407.61
		河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	76	17170.2	7.04	13.15	35.71	721.29
吉力湖 Jili Lake	全年 annual	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	3045	48155.9	83.93	32.12	90.91	10549.78
		河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	131	14225.8	3.61	9.49	77.27	1012.16
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	77	31267.7	2.12	20.85	36.36	835.49
	春季 spring	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	1840	32163.4	80.49	28.75	92.31	10083.80
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	72	30745.9	3.15	27.48	46.15	1413.86
		河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	83	12364.1	3.63	11.05	100.00	1468.32
		粘鲈 <i>Acerina cernua</i>	238	2309.4	10.41	2.06	46.15	575.80
		湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	75	1527.6	65.22	15.33	100.00	8054.81
	夏季 summer	鳊 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	3	6210.3	2.61	62.33	100.00	6493.42
		河鲈 <i>Perca fluviatilis</i>	31	972.8	26.96	9.76	100.00	3671.94
		东方欧鳊 <i>Abramis brama</i>	4	492.7	3.48	4.94	100.00	842.29
		银鲫 <i>Carassius gibelio</i>	3	657.9	0.87	6.60	100.00	747.21
	秋季 autumn	湖拟鲤 <i>Rutilus rutilus</i>	1130	14464.9	92.09	51.47	87.50	12561.50
		草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	25	6775.4	2.04	24.11	75.00	1960.81
		银鲫 <i>Carassius gibelio</i>	7	3797.0	0.57	13.51	37.50	528.00

注：表中仅列出了各区域的鱼类优势种(IRI>500)。
Note: Only the dominant fish species in each region were listed in the table (IRI>500).

鲤(*Cyprinus carpio*)、鳊(*Hypophthalmichthys nobilis*)和湖拟鲤×东方欧鳊(*Rutilus rutilus*×*Abramis brama*)自然杂交种, 其余为一般种和少见种。布伦托海全年优势种为湖拟鲤和东方欧鳊, 优势种数量、重量占比可达 83.44%及 42.73%。吉力湖全年优势种为湖拟鲤、河鲈和东方欧鳊, 优势种数量、重量占比可达 89.66%及 67.28%; 各湖区、各季节的优势种分布也略有差别。春季布伦托海的优势种只有湖拟鲤和东方欧鳊, 而吉力湖的优势种除这两种鱼之外, 还包含河鲈和粘鲈(*Acerina cernua*); 夏季布伦托海的优势种为湖拟鲤、东方欧鳊、河鲈、鳊, 吉力湖的优势种除这 4 种鱼之

外, 还包含了银鲫; 秋季布伦托海的优势种为湖拟鲤、白斑狗鱼、河鲈, 而吉力湖的优势种则为湖拟鲤、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)和银鲫。布伦托海的优势种在春、夏、秋的数量占比分别达 90.09%、84.419%、53.109%, 重量占比分别达 65.319%、85.979%、49.509%; 吉力湖的优势种在春、夏、秋的数量占比分别达 97.689%、99.139%、94.709%, 重量占比分别达 69.359%、98.979%、89.089%。

2.3 多样性特征

乌伦古湖鱼类 Shannon-Wiener 指数(*H'*)波动范围为 0.91~1.76, Margalef 指数(*D*)波动范围为

0.24~0.54、Pielou 指数(J')波动范围为 0.23~0.45。春季鱼类的多样性指数 H' 、 D 、 J' 均低于夏、秋季,而夏、秋季较为相近,无显著差异($P>0.05$)。布伦托海 Shannon-Wiener 指数(H')波动范围为 0.76~2.42, Margalef 指数(D)波动范围为 0.21~0.72, Pielou 指数(J')波动范围为 0.20~0.61。多样性指数整体表现为秋季>夏季>春季;而吉力湖 Shannon-Wiener 指数(H')波动范围为 0.61~1.10, Margalef 指数(D)波动范围为 0.15~0.34, Pielou 指数(J')波动范围为 0.18~0.33。多样性指数整体表现为夏季>春季>秋季;不同湖区间的多样性指数表现为,布伦托海鱼类的 3 种多样性指数整体略高于吉力湖,但各季节间又有所不同。春季吉力湖鱼类的 3 种多样性指数高于布伦托海。夏季布伦托海鱼类的多样性指数 H' 、 D 均略高于吉力湖,而多样性指数 J' 略低于吉力湖。秋季布伦托海鱼类的 3 种多样性指数均高于吉力湖(图 2)。双因素方差分析结果显示,3 种多样性指数间无显著性差异($P>0.05$)。

2.4 丰度和生物量优势度曲线特征

乌伦古湖鱼类群落的 ABC 曲线及 W 统计值如图 3 所示。乌伦古湖不同湖区、不同季节的 W 统计值均为负值,介于-0.104~-0.371,鱼类群落的丰度曲线整体均位于生物量曲线上方,最终呈现交叉趋势。全年丰度优势度占比前 3 位的为湖拟鲤、湖拟鲤×东方欧鳊、西太公鱼(*Hypomesus nipponensis*),累计百分比为 88.61%;生物量优势度占比前 3 位的为湖拟鲤、白斑狗鱼、东方欧鳊,累计百分比为 59.73%。各季节间,春季丰度优势度占比前 3 位的为湖拟鲤、湖拟鲤×东方欧鳊、粘鲈,累计百分比为 93.94%;生物量优势度占比前 3 位的为湖拟鲤、东方欧鳊、鲤,累计百分比为 68.66%。夏季丰度优势度占比前 3 位的为湖拟鲤、东方欧鳊、河鲈,累计百分比为 84.24%;生物量优势度占比前 3 位的为湖拟鲤、鳊、东方欧鳊,累计百分比为 79.95%。秋季丰度优势度占比前 3 位的为湖拟鲤、西太公鱼、河鲈,累计百分比为 86.90%;生物量优势度占比前 3 位的为白斑狗鱼、湖拟鲤、梭鲈(*Sander lucioperca*),累计百分比为 53.81%。

乌伦古湖春、夏、秋季 W 统计值分别为-0.2、

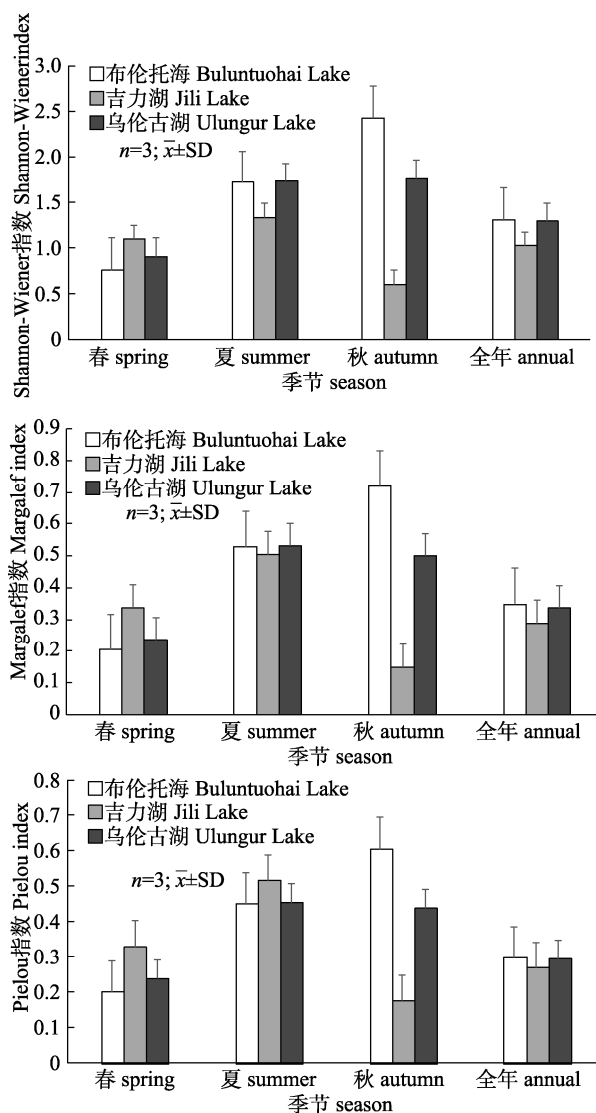


图2 乌伦古湖鱼类多样性指数季节变化
Fig. 2 Seasonal variation of fish diversity indexes in the Ulungur Lake

-0.104 和-0.226,其中春、秋季的 W 统计值的绝对值较为相近,高于夏季,整体表现为秋季受干扰程度最高,其次是春季,夏季最低。各湖区间,布伦托海、吉力湖的全年 W 统计值分别为-0.191和-0.307,表明吉力湖的鱼类群落受干扰程度显著高于布伦托海。各季节间,布伦托海春、夏、秋季的 W 统计值分别为-0.168、-0.115和-0.108, W 统计值较为接近,布伦托海鱼类群落各季节受干扰程度较为稳定。而吉力湖春、夏、秋季的 W 统计值分别为-0.371、-0.12和-0.139,其春季 W 统计值的绝对值显著高于夏季和秋季,表明吉力湖鱼类群落春季受干扰程度相对高于春季和夏季。

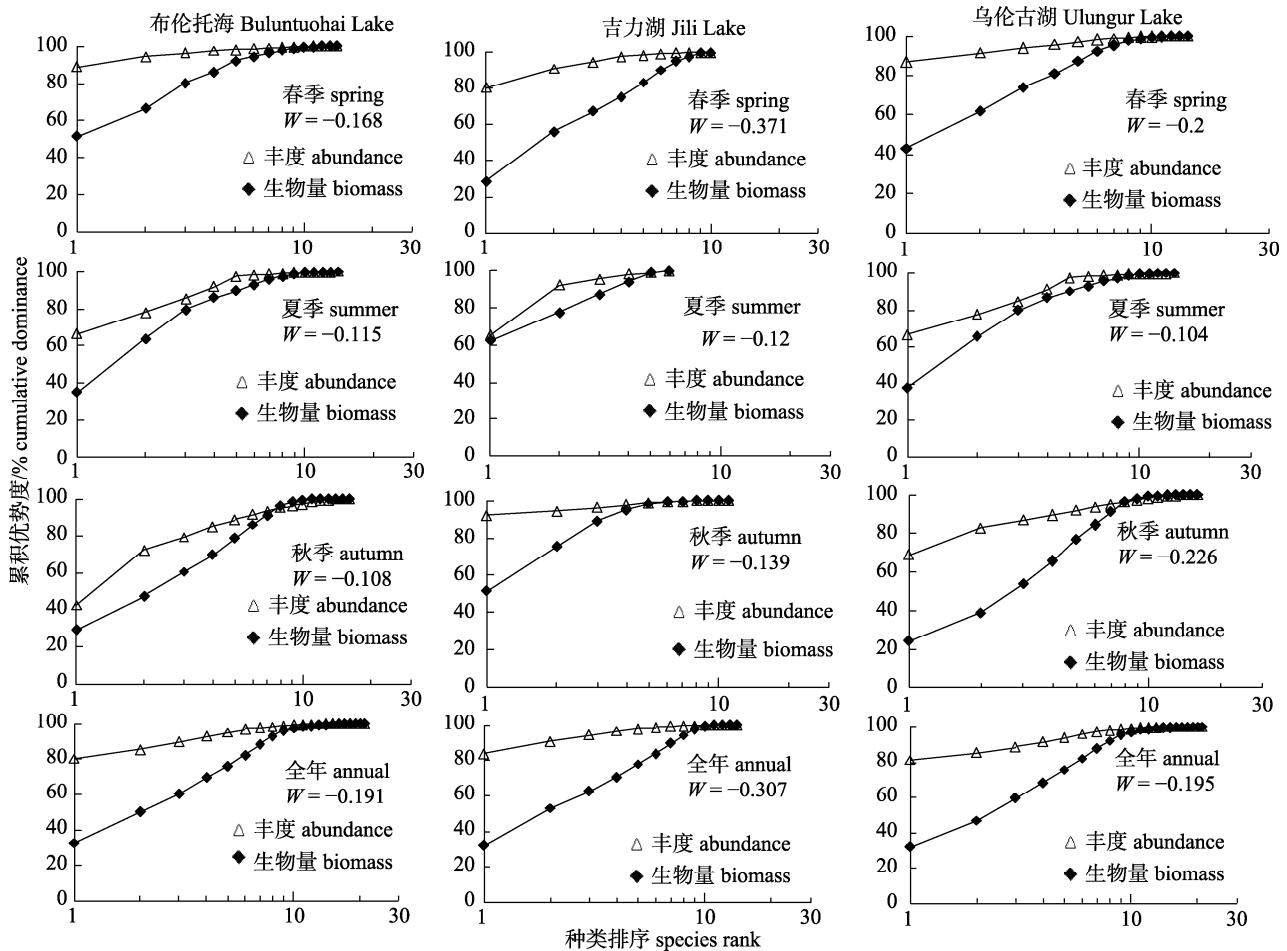


图 3 乌伦古湖鱼类群落的丰度-生物量曲线

Fig. 3 Abundance-biomass comparison curve of the fish community in the Ulungur Lake

2.5 渔业资源变化

乌伦古湖的增殖放流量及捕捞产量数据来自于福海县农业农村局。2017—2020 年乌伦古湖增殖放流的种类以土著鱼类为主，期间根据白斑狗鱼、梭鲈等大型土著肉食性鱼类在湖区自繁情况和资源量，对增殖放流数量进行了调整。主要放流的经济鱼类有鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙和草鱼。其间，2017—2018 年鲢、鳙增殖放流总量较高，草鱼的投放量相对较低。而 2019 年开始在降低鲢、鳙增殖放流总量的同时，增加了草鱼和鲤的投放量(表 4)。

2017—2021 年的鱼类捕捞情况如图 4 所示，捕捞渔具主要为拖网、刺网、网围等。以 2019 年捕捞量最高，达 2195.4 t。受布伦托海承包企业变更影响，2019—2021 年部分种类没有捕捞，导致捕捞量有所下降，2021 年仅为 1458.7 t。主要捕捞

表 4 2017—2020 年乌伦古湖渔业增殖情况

Fig. 4 Enhancement of fishery resources from 2017 to 2020 in the Ulungur Lake

物种 species	2017	2018	2019	2020
鲢、鳙/t <i>Hypophthalmichthys molitrix/Hypophthalmichthys nobilis</i>	537	449	341	309
草鱼/t <i>Ctenopharyngodon idella</i>	54	38.7	173.6	39.977
湖拟鲤/×10 ⁴ 尾 <i>Rutilus rutilus</i>	143	104	10	—
河鲈/×10 ⁴ 尾 <i>Perca fluviatilis</i>	125	230	390	—
梭鲈/×10 ⁴ 尾 <i>Sander lucioperca</i>	24	0	420	—
东方欧鳊/×10 ⁴ 尾 <i>Abramis brama</i>	30	180	150	—
贝加尔雅罗鱼/×10 ⁴ 尾 <i>Leuciscus baicalensis</i>	345.6	408	245	76
高体雅罗鱼/×10 ⁴ 尾 <i>Leuciscus idus</i>	93.6	96	30	34.875
其他/×10 ⁴ 尾 others	52	24	250.7	—

注：—表示当年未增殖放流该物种。
Note: — indicates the species was not the fish involving in enhancement and releasing in that year.

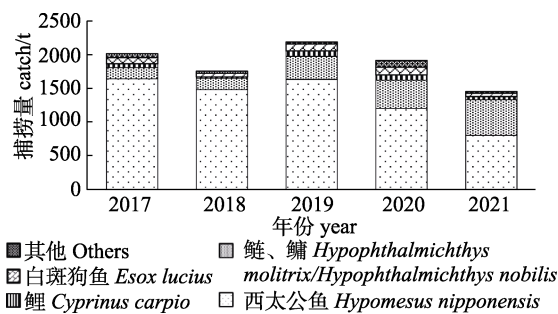


图 4 2017—2021 年乌伦古湖渔业捕捞情况

Fig. 4 Fish catches from 2017 to 2021 in the Ulungur Lake

鱼类为西太公鱼、鲢、鳙、白斑狗鱼和鲤, 这 5 种经济占年捕捞量的 97.3%~98.6%, 其中又以西太公鱼占年捕捞量的绝对优势地位, 2017—2021 年平均捕捞量可达 1357.5 t, 占比均在 50%以上, 2017—2018 年甚至已超过 80%。其次为鲢、鳙, 2021 年达到捕捞峰值的 527.8 t, 占比高达 36.2%。白斑狗鱼的捕捞量在 2020 年达到最高, 为 115.0 t, 占比 4.2%。鲤的捕捞量则在 2019 年最高, 为 81.9 t, 占比 15.5%。

2.6 鱼类群落结构与环境因子的关系

根据 DCA 分析结果, 布伦托海和吉力湖的 LGA 分别为 0.84 和 2.08, 均小于 3, 所以选择 RDA 分析方法。布伦托海鱼类群落与各环境因子 RDA 的第 1 排序轴与第 2 排序轴的特征值分别为 0.067 和 0.035, 分别解释了 59.5%与 31.4%的鱼类群落差异性。经 MCT 分析, 环境因子中水深对布伦托海水域的鱼类群落结构的影响达到了极显著水平($P<0.01$), 硝酸盐氮和水温的影响达到了显著水平($P<0.05$), 故选取这 3 个环境因子绘制布伦托海鱼类群落结构与环境因子的 RDA 排序图(图 5)。其中环境因子水深与第一排序轴成正相关, 硝酸盐氮和水温与第一排序轴成负相关。优势种湖拟鲤和东方欧鳊的分布与环境因子硝酸盐氮、水温成正相关, 而与水深成负相关。

吉力湖鱼类群落与各环境因子 RDA 的第 1 排序轴与第 2 排序轴的特征值分别为 0.082 和 0.056, 分别解释了 59.2%与 40.7%的鱼类群落差

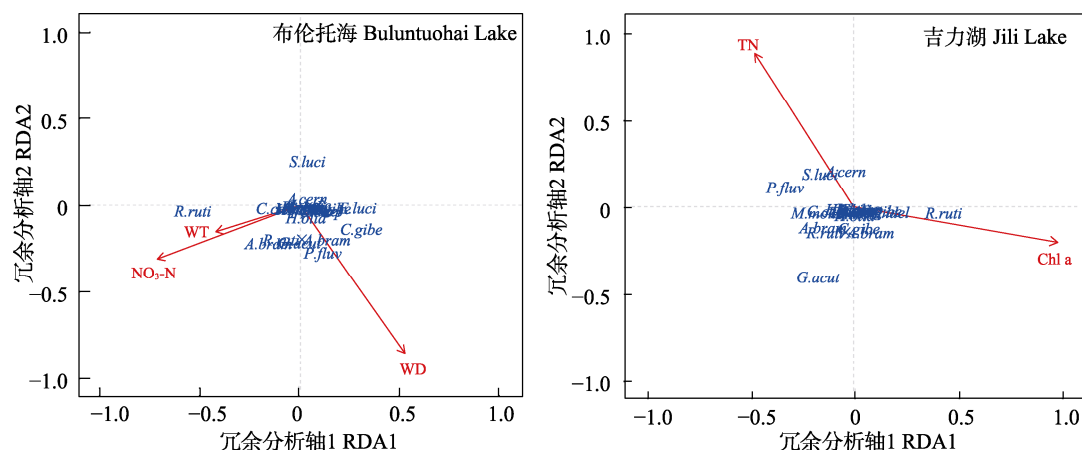


图 5 布伦托海和吉力湖鱼类群落结构与环境因子的 RDA 排序图

WT: 水温; WD: 水深; $\text{NO}_3\text{-N}$: 硝酸盐氮; TN: 总氮; Chl a: 叶绿素 a. *R. ruti*: 湖拟鲤; *S. luci*: 梭鲈; *G. acut*: 尖鳍鲈; *A. bram*: 东方欧鳊; *C. gibe*: 银鲫; *R. ruti*×*A. bram*: 湖拟鲤×东方欧鳊; *C. carp*×*C. gibe*: 鲤×银鲫; *C. idel*: 草鱼; *P. parv*: 麦穗鱼; *A. cern*: 粘鲈; *M. moho*: 北方泥鳅; *H. moli*: 鲢; *A. rivu*: 棒花鱼; *H. nobi*: 鳙; *L. baic*: 贝加尔雅罗鱼; *T. tinc*: 丁鲷; *H. nipp*: 西太公鱼; *C. carp*: 鲤; *E. luci*: 白斑狗鱼; *L. lota*: 江鲢; *P. fluv*: 河鲈。

Fig 5 RDA ordination diagram of the relationship between the fish community structure and environmental factors in Buluntuohai Lake and Jili Lake

WT: water temperature; WD: water depth; $\text{NO}_3\text{-N}$: nitrate nitrogen; TN: total nitrogen; Chl a: Chl a contents. *R. ruti*: *Rutilus rutilus*; *S. luci*: *Sander lucioperca*; *G. acut*: *Gobio acutipinnatus*; *A. bram*: *Abramis brama*; *C. gibe*: *Carassius gibelio*; *R. ruti*×*A. bram*: *Rutilus rutilus*×*Abramis brama*; *C. carp*×*C. gibe*: *Cyprinus carpio*×*Carassius gibelio*; *C. idel*: *Ctenopharyngodon idella*; *P. parv*: *Pseudorasbora parva*; *A. cern*: *Acerina cernua*; *M. moho*: *Misgurnus mohoity*; *H. moli*: *Hypophthalmichthys molitrix*; *A. rivu*: *Abbottina rivularis*; *H. nobi*: *Hypophthalmichthys nobilis*; *L. baic*: *Leuciscus baicalensis*; *T. tinc*: *Tinca tinca*; *H. nipp*: *Hypomesus nipponensis*; *C. carp*: *Cyprinus carpio*; *E. luci*: *Esox lucius*; *L. lota*: *Lota lota*; *P. fluv*: *Perca fluviatilis*.

异性。经 MCT 分析, 环境因子中叶绿素 a 和总氮对吉力湖的鱼类群落结构的影响达到了显著水平 ($P<0.05$), 故选取这 2 个环境因子绘制吉力湖鱼类群落结构与环境因子的 RDA 排序图(图 5)。其中叶绿素 a 与第一排序轴成正相关, 总氮与第二排序轴成正相关。优势种湖拟鲤的分布与叶绿素 a 成正相关, 与总氮负相关。而河鲈的分布方式与之相反。

3 讨论

3.1 乌伦古湖鱼类种类组成及资源量历史变迁

据 1964 年调查研究记载, 乌伦古湖的土著鱼类仅 2 目 3 科 7 种, 为贝加尔雅罗鱼(*Leuciscus baicalensis*)、河鲈、丁鲃(*Tinca tinca*)、银鲫、花丁鲃、西伯利亚花鲈和北方条鲈^[2]。后经过《新疆鱼类志》核验, 将花丁鲃、西伯利亚花鲈和北方条鲈分别改为尖鳍鲃(*Gobio acutipinnatus*)、北方花鲈(*Cobitis sibirica*)和北方须鲈(*Barbatula nuda*)。贝加尔雅罗鱼是可以形成产量的绝对优势种, 其次是河鲈^[3]; 20 世纪 60 年代, 福海渔场先后从额尔齐斯河将湖拟鲤、鲤引入吉力湖, 从长江流域引入草鱼至布伦托海; 70 年代, 经苏联波赫坦尔姆斯柯依水库扩散到我国境内额尔齐斯河流域的东方欧鳊已可以逐步形成产量, 并移殖引入吉力湖中。此外, “引额济海”渠道工程投入使用, 额尔齐斯河每年向乌伦古湖大量补水的同时, 也陆续掺杂引入了梭鲈、粘鲈、江鳕(*Lota lota*)、白斑狗鱼和高体雅罗鱼(*Leuciscus idus*) 5 种鱼类进入乌伦古湖^[4]; 80 年代开始在湖中人工放养鲢、鳙, 伴随带入的还有麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、棒花鱼(*Abbottina rivularis*)等一些中国平原复合体的小型鱼类^[2]。1986—1987 年任慕莲^[3]对吉力湖开展的渔业资源调查统计发现鱼类组成已达 16 种, 并首次采集到湖拟鲤与东方欧鳊的天然杂交种(表 1)。此阶段贝加尔雅罗鱼捕捞量仍可以占据首位, 但比重已降为 43.7%, 而湖拟鲤、河鲈的产量比重已逐步增加至 20%以上, 东方欧鳊的捕捞量也达到 8%左右。之后的 10 年里, 东方欧鳊与白斑狗鱼逐步取代了贝加尔雅罗鱼成为渔获物产量的优势种; 90 年代一种公鱼属鱼类移殖引入吉

力湖, 后经线粒体 DNA 条形码 CO I 基因序列鉴定为西太公鱼^[22]。由于西太公鱼属小型鱼类, 以浮游动物为食, 饵料转化为鱼产品的周期短, 饵料流通率高, 生长快, 其适应能力和繁殖力均较强, 迅速在湖中形成优势种群, 两年时间便形成了捕捞产量并成为新的优势种, 且产量持续增大, 一度高达 60%以上, 现已成为湖产区产值最大的经济鱼类^[23]。

近 20 年间, 阿达可白克·可尔江等^[1]于 2000—2001 年在乌伦古湖水域共采集鱼类 22 种, 霍堂斌等^[24]于 2006—2008 年在乌伦古湖共采集鱼类 20 种(表 1)。本次调查在乌伦古湖共采集鱼类 4 目 6 科 22 种, 在采集种类数量上与已有研究趋于一致, 鱼类种类数在 2000—2021 年间较为稳定。但在种类组成上却略有不同, 本次未采集到的种类为哲罗鲑(*Hucho taimen*)、北方花鲈、北方须鲈。其中哲罗鲑由于其对产卵繁殖环境的独特选择性, 在乌伦古湖中无法繁殖, 可能是由额尔齐斯河扩散至乌伦古湖中。而北方须鲈、北方花鲈等小型底栖鱼类主要分布于山区沙石底的乌伦古河中, 本次研究水域只统计了布伦托海和吉力湖的鱼类组成, 因此未统计到这两种鱼类组成^[25]。此外, 本次调查首次采集到北方泥鳅(*Misgurnus mohoit*)和鲤×鲫(*Cyprinus carpio*×*Carassius gibelio*)杂交种。其中北方泥鳅可能是在额尔齐斯河生态补水过程中无意引入, 鲤×鲫杂交种则可能为增殖放流时带入到湖中。

根据历史统计资料, 乌伦古湖土著鱼增殖主要可以分为 3 个阶段: 第一阶段以白斑狗鱼、河鲈、梭鲈、东方欧鳊为主。第二阶段对这 4 种鱼的增殖量急剧减少, 与此同时加大了对贝加尔雅罗鱼、高体雅罗鱼及丁鲃的增殖力度。第三阶段则只增殖贝加尔雅罗鱼及高体雅罗鱼。在此过程中, 鱼类产量也与增殖放流量相对应呈现波动性。白斑狗鱼、东方欧鳊的年产量一度可达到峰值的 350 t 以上, 而后随着增殖数量断崖式下跌的同时, 产量也在逐年减少。现状调查结果表明东方欧鳊、白斑狗鱼、河鲈增殖放流效果比较显著, 其繁殖种群显著增加。尤其白斑狗鱼主要以西太公鱼为食, 在西太公鱼形成稳定规模后, 白斑狗

鱼的产量也得到一定程度的保障^[8]。而受农业灌溉影响,目前乌伦古河已建福海、顶山等十余座大中型水库和几十座引水渠首,春季、夏季灌区引水量大,导致下游水域无法形成桃花汛,严重影响了贝加尔雅罗鱼、高体雅罗鱼的繁殖,虽然2017—2021年间逐步加大增殖力度,对照其捕捞数据,其产量仍然很低。而江鳕资源量无法恢复的主要原因则为吉力湖不具备江鳕产卵繁殖的条件。

3.2 乌伦古湖鱼类群落结构及多样性特征

本研究结果显示乌伦古湖的全年优势种仅有湖拟鲤和东方欧鳊2种($IRI > 500$),其数量、重量占比分别为84.06%及45.53%,又以湖拟鲤占绝对优势。其中布伦托海的优势种也为湖拟鲤和东方欧鳊,数量、重量占比分别为83.44%及42.73%;吉力湖的优势种为湖拟鲤、河鲈以及东方欧鳊,数量、重量占比分别为89.66%及62.46%(表2)。该结果也表明乌伦古湖的群落鱼类结构呈现优势种组成较为简单,且主要优势种呈现小型化的特点。而鱼类群落小型化的现象也广泛存在于我国的湖泊水域中^[26]。主要原因为引入的西太公鱼具有较强的生态竞争力,对丁鲶、粘鲈、尖鳍鲈等土著鱼类和其他移殖鱼类种群均构成较大影响,此外也与凶猛肉食性鱼类种群衰退有关。

根据调查结果,乌伦古湖具有经济价值的鱼类多达17种。研究表明采用不同网具捕获到的渔获物会存在鱼类群落结构的差异性,本次调查所用网具主要为多网目复合刺网,适合于乌伦古湖鱼类群落研究的定量取样,但受网目结构及人为干扰等因素的影响,会导致部分大中型活动能力较强的鱼类逃逸,所以渔获物主要以小型鱼湖拟鲤占绝对优势地位^[27]。而在乌伦古湖渔业生产中,所用的网具主要为拖网、刺网、网围。结合2017—2021年的捕捞数据,渔业生产相对重要性指数最高的为西太公鱼,其捕捞量平均占比为73.0%。其次为鲢、鳙、鲤、白斑狗鱼等大中型鱼类,这4种鱼类年捕捞量的平均占比可达25.0%。其余如草鱼、东方欧鳊、河鲈、梭鲈和湖拟鲤等经济鱼类的捕捞量则相对较低,占比只有2%。可见,乌

伦古湖整体优势群落仍以小型鱼类占主导地位。

乌伦古湖各湖区、各季节鱼类群落的多样性指数 H' 、 D 、 J' 均不高。根据Magurran^[28]提出的多样性指数的一般范围(1.5~3.5),吉力湖各季节鱼类群落多样性指数均偏低(0.61~1.33),只有布伦托海夏季(1.72)和秋季(2.42)略高,表明乌伦古湖鱼类群落生物多样性水平较低,尤以吉力湖更为典型。主要由于调查水域的鱼类种类数较少所导致,布伦托海和吉力湖在各季节的种类数均未超过15种。此外,也与湖拟鲤这一单一种群占绝对优势相关^[29-30]。结合鱼类群落ABC曲线的研究结果,乌伦古湖各湖区、各季节的鱼类群落结构均处于受干扰状态,丰度优势度占比前3位的优势种组成中,湖拟鲤、湖拟鲤×东方欧鳊、西太公鱼等小型鱼类占绝对优势,这一结果也与优势种的分析结论相互验证。除此之外,受鱼类群落生长繁育及捕捞活动的影响,乌伦古湖的鱼类群落受干扰程度呈现一定的规律性。布伦托海部分水域为常年禁渔区,受捕捞活动的影响小于吉力湖,所以布伦托海鱼类群落受干扰程度弱于吉力湖。而春季鱼类群落受干扰程度相对高于夏季和秋季,主要原因是每年季节性禁渔期和增殖放流活动使鱼类群落受到的捕捞压力得到缓解,这种季节性的变化规律也与其他开展渔业生产的湖泊水域相类似^[31]。

3.3 鱼类群落分布与环境因子的相关性

相关研究证实,环境因子对湖泊鱼类的群落结构具有较大的影响作用^[32-33]。本研究中,布伦托海的鱼类群落受水深、硝酸盐氮和水温的综合影响,吉力湖中叶绿素a和总氮对鱼类群落结构影响达到了显著水平。水深影响鱼类群落分布的空间格局,与透明度、浮游生物在水层的密度分布及植物碎屑的深层积累相互关联,同时水深还制约着肉食性鱼类摄食^[34]。无机氮中的硝酸盐氮是浮游植物的主要营养盐之一,水温可以直接影响鱼类的生长发育,同时也与硝酸盐氮相互关联,调控湖泊水库中浮游植物的水层分布和生长代谢^[35]。总氮和叶绿素a则是表征水体污染程度或初级生产力的重要环境因子,与湖泊水体的营养状态密

切相关^[36]。

湖拟鲤占据布伦托海鱼类群落的绝对优势地位,统计全年所采集的样本平均体重只有 13.7 g,根据生态习性,其小个体分布区域主要集中在沿岸较浅水层及水草茂密的静水中,其分布与水深成负相关。布伦托海水温四季变化幅度大,1 月与 7 月的气温差可达 42 ℃以上,鱼类组成对温度适应范围较广,各种鱼类摄食、繁殖期活动较频繁,水温对鱼类群落分布影响较为明显,调查发现湖拟鲤、东方欧鳊、湖拟鲤×东方欧鳊自然杂交种等杂食性鱼类的相对丰度与水温 and 硝酸盐氮成正相关,而白斑狗鱼、梭鲈等肉食性鱼类则更趋向于低温季节出现。这种结果受温度、摄食习性调控密切相关,白斑狗鱼、梭鲈等肉食性鱼类的繁殖季节较早,每年的 4 月末,湖水解冻即开始进入产卵繁殖期,使得鱼类在此期间被捕获的概率增加。而湖拟鲤、东方欧鳊、银鲫等杂食性鱼类的繁殖季节相对较晚,因此其相对丰度在 RDA 分析中显示与温度、硝酸盐氮呈现正相关。

吉力湖中优势种湖拟鲤的分布与叶绿素 a 成正相关,与总氮负相关。这一研究结果与多数湖泊水库鱼类群落研究结论相一致。已有研究表明,以小型杂食性鱼类为绝对优势种的湖泊中,叶绿素 a 浓度是决定物种丰度、优势鱼类数量和群落结构组成与分布的主要因子^[37]。浮游动物食性和杂食性鱼类的分布与叶绿素 a 浓度、营养物质成正相关,而肉食性鱼类的比例则随着湖泊生产力的增加而显著下降^[38]。

3.4 乌伦古湖水域鱼类群落优化建议

受过度捕捞、不科学引入外来种、水利工程等方面的综合影响,乌伦古湖鱼类群落呈现一定程度的衰退态势,主要体现在优势种单一化、鱼类小型化及生物多样性下降。因此,建议从以下几个方面改善乌伦古湖鱼类种群资源和生物多样性:(1) 调整湖拟鲤保护等级。本研究结果显示湖拟鲤单一种群已成为乌伦古湖绝对优势种,建议将湖拟鲤退出新疆二级重点野生动物名录。(2) 限制土著鱼捕捞。鉴于西太公鱼的引进和扩张,对乌伦古湖原有土著鱼类和其他移殖鱼类种群所造成的生态影响较大,建议在捕捞作业中,降低粘鲈、

丁鲷、尖鳍鲈的捕捞强度,严格限制土著鱼类捕捞规格,让土著鱼类资源得到休养生息。(3) 优化土著鱼增殖。继续增加丁鲷的增殖放流量,同时根据本研究结果,应科学地减少河鲈增殖放流量。在此基础上,开展增殖放流效果评估,最终实现土著鱼类资源养护。(4) 重视栖息地保护和修复。针对乌伦古湖由于生存环境恶化所导致的贝加尔雅罗鱼、高体雅罗鱼、梭鲈、白斑狗鱼、江鳕等优质种质资源量衰退的结果,建议开展鱼类栖息地的保护与修复工作,通过增加产黏性卵鱼类的产卵场和仔稚鱼庇护所面积,优化鱼类群落结构,维护鱼类多样性。

参考文献:

- [1] Adakbek·Karjan, Su D X, Yang Y, et al. The current situation and the countermeasures of protection and development of fish resources in Ulungur Lake[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2006(03): 3308-3314. [阿达可白克·可尔江, 苏德学, 杨艳, 等. 乌伦古湖鱼类资源现状及保护与开发对策[J]. 上海水产大学学报, 2006(03): 3308-3314.]
- [2] Li S Z, Dai D Y, Zhang S Y, et al. Notes on a collection of fishes from north sinkiang, China[J]. Current Zoology, 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[J]. 动物学报, 1966, 18(1): 41-56.]
- [3] Ren M L. Fishery in Jili lake, Xinjiang[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1990, 110-132. [任慕莲. 新疆吉力湖的渔业[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1990: 110-132.]
- [4] Ren M L, Guo Y, Zhang R M, et al. Fish resources and fishery in Irtysh River, China[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Health Press, 2002: 1-15, 47-221. [任慕莲, 郭焱, 张人铭, 等. 中国额尔齐斯河鱼类资源及渔业[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 2002: 1-15, 47-221.]
- [5] Jiang Z F, Huo T B. Survey and Study on the Aquatic Species Resources in Irtysh River, Tarim River and Ulungur Lake in Xinjiang Uygur Autonomous Region[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2014. [姜作发, 霍堂斌. 新疆额尔齐斯河、塔里木河、乌伦古湖水生生物物种资源调查与研究[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.]
- [6] Hilati·ALYDIARHAN, Peng X W, Liu X W, et al. Study on the countermeasures of water ecological environment protection of Ulungur Lake in Xinjiang[J]. Environmental protection of Xinjiang, 2021, 43(02): 15-21. [海拉提·阿力地阿尔汗, 彭小武, 刘晓伟, 等. 新疆乌伦古湖水生态环境保护对策研究[J]. 新疆环境保护, 2021, 43(2): 15-21.]

- [7] Ji F F, Shen J Z, Ma X F, et al. Changes in water quality and analysis of underlying causes in Ulungur Lake[J]. Journal of Hydroecology, 2018, 39(3): 61-66. [吉芬芬, 沈建忠, 马徐发, 等. 乌伦古湖水质变化及成因分析[J]. 水生态学杂志, 2018, 39(3): 61-66.]
- [8] Huo T B, Ma B, Keerjiang A. et al. The Study on feeding behavior and ecological niche and of *Esox lucius* in Lake Ulungur[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2009, 22(3): 6-9. [霍堂斌, 马波, 阿达可白克·可尔江, 等. 乌伦古湖白斑狗鱼摄食生态的初步研究[J]. 水产学杂志, 2009, 22(3): 6-9.]
- [9] Tang F J, Jiang Z F, Karjan A, et al. Perch (*Perca fluviatilis* Linnaeus) growth variation and inducing reasons of Lake Ulungur, Xinjiang Province in the last two decades[J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(1): 117-122. [唐富江, 姜作发, 阿达可白克·可尔江, 等. 新疆乌伦古湖鲈二十年来种群生长变化及原因[J]. 湖泊科学, 2009, 21(1): 117-122.]
- [10] Wang S M, Dou H S. Chinese Limnology Record[M]. Beijing: Science Press, 1998: 346-351. [王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 中国科学出版社, 1998: 346-351.]
- [11] 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. Fishes of Xinjiang[M]. Urumqi: Xinjiang People's Press, 1979. [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. 新疆鱼类志[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1979.]
- [12] Zhang C G, Zhao Y H, et al. Species Diversity and Distribution of Inland Fishes in China[M]. Beijing: Science Press, 2016. [张春光, 赵亚辉, 等. 中国内陆鱼类物种与分布[M]. 北京: 科学出版社, 2016.]
- [13] Environmental Protection Administration, Editorial Board of Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods. Monitoring and Analysis Methods for Water and Wastewater[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. [国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.]
- [14] Ludwig J A, Reynolds J F. A Primer on Methods and Computing[M]. New York: Wiley, 1988
- [15] Threlkeld S. Perspectives in Ecological Theory[M]. New York: The University of Chicago Press, 1968.
- [16] Pielou E C. Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 10(2): 370-383.
- [17] Pinkas L. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters[J]. Fish Bulletin, 1971, 152: 1-105.
- [18] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Calif Fish Game, 1971(152): 109-112.
- [19] Clarke K R, Gorley R N, Somerfield P J, et al. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation[J]. 2014.
- [20] Clarke K R, Warwick R M. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation (2nded)[M]. Plymouth, UK: Primer-E, 2001.
- [21] Legendre P, Gallagher E D. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data[J]. Oecologia, 2001, 129(2): 271-280.
- [22] Gong X L, Wu Y, Cui Z K, et al. Molecular identification of transplanted *Hypomesus* species in seven places[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(12): 1802-1808. [龚小玲, 吴颖, 崔志凯, 等. 7处移植公鱼种类的分子鉴定[J]. 水产学报, 2012, 36(12): 1802-1808.]
- [23] Guo Y, Zhang R M, Li H. Degeneration causes of the aboriginal fishes and some measures for protecting them in the Ergis River, Xinjiang, China[J]. Arid Zone Research, 2003, 20(2): 152-155. [郭焱, 张人铭, 李红. 额尔齐斯河土著鱼类资源衰退原因与保护措施[J]. 干旱区研究, 2003, 20(2): 152-155]
- [24] Huo T B, Jiang Z F, Adakbek K J, et al. Status of fishes distribution and species diversity in Ertix River basin in China[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 31(4): 16-22. [霍堂斌, 姜作发, 阿达可白克·可尔江, 等. 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[J]. 水生态学杂志, 2010, 31(4): 16-22.]
- [25] Li W K, Luo X N, Ye S G, et al. Acute toxicity test of six commonly-used aquatic drugs on juvenile *Barbatula barbatula* Nuda[J]. Journal of Eastern Liaoning University (Natural Science Edition), 2021, 28(1): 15-21. [李文康, 骆小年, 叶仕根, 等. 6种常用水产药物对北方须鳊幼鱼的急性毒性试验[J]. 辽东学院学报(自然科学版), 2021, 28(1): 15-21.]
- [26] Wang P Z, Song D, Zhang Y Z, et al. Resource composition, length-weight relationship and condition factor of fishes in Bosten Lake[J]. Amino Acids and Biotic Resources, 2020, 42(2): 181-187. [王普泽, 宋聘, 张尹哲, 等. 博斯腾湖鱼类资源组成、体长与体重关系及生长状况[J]. 生物资源, 2020, 42(2): 181-187]
- [27] Guo C B, Wang R, Xiao Q U, et al. Assessing fish assemblages in a shallow yangtze river lake using multi-mesh gillnets and dense-mesh weirs[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018.
- [28] Magurran A E. Ecological Diversity and Its Measurement[M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.

- [29] Cai X W, Xiong Y, Guo C, et al. Studies on the characteristics of fish community structure and the control strategies of drinking water source Yanlong Lake[J]. *Freshwater Fisheries*, 2019, 49(2): 39-45. [蔡杏伟, 熊鹰, 郭超, 等. 饮用水水源地盐龙湖鱼类群落结构特征及调控策略研究[J]. *淡水渔业*, 2019, 49(2): 39-45.]
- [30] Song C, Hu L J, Zhao F, et al. Fish community structure and its relationship with environmental factors in offshore wind farm waters of the Yangtze Estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(3): 469-482. [宋超, 胡丽娟, 赵峰, 等. 长江口海上风电场水域鱼类群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. *中国水产科学*, 2022, 29(3): 469-482.]
- [31] Dang Y C, Dai X J, Wu F. Seasonal variations in fish community structure in the Dianshan Lake[J]. *Fisheries Science*, 2021, 40(3): 361-368. [党莹超, 戴小杰, 吴峰. 淀山湖鱼类群落结构季节性变化分析[J]. *水产科学*, 2021, 40(3): 361-368.]
- [32] Bondarev D, Fedushko M, Hubanova N, et al. Temporal dynamics of the fish communities in the reservoir: The influence of eutrophication on ecological guilds structure[J]. *Ichthyological Research*, 2023, 70(1): 21-39.
- [33] Kangur K, Tammiksaar E, Pauly D. Using the “mean temperature of the catch” to assess fish community responses to warming in a temperate lake[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2022, 105(10): 1405-1413.
- [34] Jia Y T, Jiang Y H, Liu Y H, et al. Unravelling fish community assembly in shallow lakes: Insights from functional and phylogenetic diversity[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2022, 32(2): 623-644.
- [35] Zhang P, Qiao Y, Schineider M, et al. Using a hierarchical model framework to assess climate change and hydropower operation impacts on the habitat of an imperiled fish in the Jinsha River, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 646: 1624-1638.
- [36] Li J W, Xu D P, Li W, et al. Spatial and temporal distribution of fish assemblages and its relationship with environmental factors in Lake Gehu[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(4): 546-556. [李经纬, 徐东坡, 李巍, 等. 漏湖鱼类群落时空分布及其与环境因子的关系[J]. *水产学报*, 2022, 46(4): 546-556.]
- [37] Hossain M, Arhonditsis G B, Hoyle J A, et al. Nutrient management and structural shifts in fish assemblages: Lessons learned from an Area of Concern in Lake Ontario[J]. *Freshwater Biology*, 2019, 64(5): 967-983.
- [38] Yu J L, Zhen W, Kong L Y, et al. Changes in pelagic fish community composition, abundance, and biomass along a productivity gradient in subtropical lakes[J]. *Water*, 2021, 13(6): 858.

Fish community structure and its relationship with environmental factors in the Ulungur Lake

WANG Le¹, YU Xuefeng², DOU Qianming¹, ZHAO Chen¹, SONG Dan¹, DU Xue¹, WANG Huibo¹, HUO Tangbin¹

1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Heilongjiang River Basin Fisheries Ecology Observation and Research Station of Heilongjiang Province, Harbin 150070, China;
2. Fuhai Fishery Technical Extension Center, Altay 836400, China

Abstract: To investigate the fish community structure and the factors influencing it in the Ulungur Lake, we collected fish samples using multi-mesh composite gill nets from 2019 to 2021. We identified 22 species in spring, summer, and autumn, belonging to four orders and six families, with seven historical indigenous species accounting for 31.8% of the total. Cyprinidae had the highest percentage of total species, with 15 species accounting for 68.2%. Throughout the year, *Rutilus rutilus* and *Abramis brama* were the dominant species in the Ulungur Lake, with Pinkas relative importance index (IRI) values of 7355.28 and 765.65, respectively. The dominant species in the Buluntuohai Lake were *Rutilus rutilus* and *Abramis brama* throughout the year, while in the Jili Lake, they were *Rutilus rutilus*, *Perca fluviatilis*, and *Abramis brama*. Calculation results of diversity indexes showed that the Shannon-Wiener index (H'), Margalef index (D), and Pielou index (J') of fish communities were 0.91–1.76, 0.24–0.54, and 0.23–0.45, respectively. All of the diversity indexes H' , D , and J' in spring were significantly lower than those in summer and autumn, and the Buluntuohai Lake had slightly higher diversity indexes than the Jili Lake. The analysis of the ABC curve showed that the abundance curve was generally above the biomass curve, and the statistical values of W ranged from -0.104 to -0.371 . The disturbance degree was the highest in autumn ($W=-0.226$), followed by spring ($W=-0.2$), and the lowest in summer ($W=-0.104$). Additionally, the disturbance degree in Jili Lake ($W=-0.307$) was significantly higher than that in Buluntuohai Lake ($W=-0.191$). The redundancy analysis (RDA) showed that the fish community structure of Buluntuohai Lake was primarily affected by water depth, nitrate nitrogen, and water temperature, which affected the habits of fish breeding and feeding. In contrast, in Jili Lake, chlorophyll a and total nitrogen mainly affected the fish community structure, and the distribution of small omnivorous fish was positively related to the concentration of chlorophyll a and nutrients. This study found that the fish community structure in Ulungur Lake showed a trend of simplification of dominant species, miniaturization of fish, and decline of biodiversity.

Key words: the Ulungur Lake; species composition; community structure; environmental factor

Corresponding author: HUO Tangbin. E-mail: tbhuo@163.com