

# 达里诺尔湿地水环境和鱼类多样性调查

## II. 达里湖水体的碱度、pH和硬度

杨富亿<sup>1</sup>, 文波龙<sup>1</sup>, 李晓宇<sup>1</sup>, 杨艳丽<sup>1</sup>, 万斯昂<sup>1</sup>, 欧阳玲<sup>2</sup>, 刘文虎<sup>3</sup>,  
王昭伟<sup>3</sup>, 孟祥鹏<sup>3</sup>, 李重祥<sup>3</sup>, 阿拉木斯<sup>3</sup>

(1. 中国科学院湿地生态与环境重点实验室, 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102;

2. 赤峰学院, 内蒙古 赤峰 024000; 3. 内蒙古自治区赤峰市生态环境监测站, 内蒙古 赤峰 024000)

**摘要:**达里湖是达里诺尔湿地的重要组成部分。根据2019年对达里湖水体的碱度、pH和硬度的调查结果,研究了达里湖水体碱度、pH和硬度的特征及其相互关系,并将研究结果与以往的达里湖相对应的调查资料进行比较,探讨了达里湖水体的水化学特点的形成及其对鱼类物种多样性的影响。研究表明,2019年7月,达里湖水体的碱度为69.34 mmol/L, 1975~2019年明水期其平均每年增加1.01%;水体的pH为8.80, 1975~2019年明水期其平均每年下降0.16%;水体的硬度为2.61 mmol/L, 1975~2019年明水期其平均每年增加0.38%。1975年以来,达里湖水体的碱度和pH都不符合渔业对水质的一般要求,其水的硬度较适宜渔业;达里湖水体的高碱度和高pH对湖中的原有鱼类多样性尚无负面影响,但是其有可能限制普通淡水鱼类物种的移植。

**关键词:**达里湖; 水体; 碱度; pH; 硬度

**中图分类号:**S932      **文献标识码:**A      **文章编号:**1672-5948(2020)06-646-07

水体的含盐量、碱度、pH和硬度是水环境化学和水产养殖水化学的重要指标。水体的碱度和pH常先于水体的含盐量对鱼类等水生动物的生存与繁殖起限制作用。鱼类只能生活在含盐量、碱度和pH都适宜的水体中,而且不同的鱼类或同一种鱼类的不同生命阶段所能适应这些指标的最大值是存在差异的,即各种鱼类的耐受限度不同,在鱼类生命的某一阶段,其中任何一种指标超过了其耐受极限,鱼类都无法生存和繁殖,以至物种在该水域灭绝。除了单一因素的限制作用之外,水体的含盐量、碱度和pH之间或其它水化学因子之间还存在协同作用,这进一步增强了这些因素对鱼类的毒性影响。因此,了解和掌握水体的含盐量、碱度和pH现状与动态,对生活在内陆盐碱水域的鱼类极其重要。在以往对达里湖进行的水化学调查中,都包括了对水体含盐量、碱度、pH和硬度的调查内容<sup>[1-4]</sup>。

2019年,本研究对达里诺尔湿地的水环境和

鱼类多样性进行了野外调查,采集了水样,测定了达里湖水体的各项指标,旨在保护达里诺尔湿地,实现高原湖泊渔业绿色发展。

### 1 调查方法

采样水域与采样点设置、水样的采集、处理、运输及其测试都参见文献[5]。在采样现场,利用YSI-6600V2-2型多参数水质监测仪,测定了水样的pH。

水体的碱度是指水中所含的能与强酸发生中和反应的全部物质的总量,主要是指碳酸根和碳酸氢根含量的总和。

水体的硬度表示水中所含二价和二价以上金属离子的总量,通常以水体中的Ca<sup>2+</sup>含量和Mg<sup>2+</sup>含量之和计算。

依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)<sup>[6]</sup>中的III类水域标准和《渔业水质标准》(GB 11607—89)<sup>[7]</sup>,对达里湖水体的相关水质指标进行

收稿日期:2020-08-08; 修订日期:2020-11-07

基金项目:内蒙古自治区赤峰学院院士专家工作站项目(cfxys 201701)和吉林省委组织部人才团队项目(2016)资助。

作者简介:杨富亿(1964-),男,吉林省九台人,研究员,主要从事湿地鱼类与渔业研究。E-mail: yangfuyi@iga.ac.cn

评价。

## 2 结果与分析

### 2.1 水体的碱度、pH和硬度

在达里湖的各采样水域中,中北部水体的碱度最大,为77.82 mmol/L(表1);亮子河入口水体的碱度最小,为57.36 mmol/L;达里湖水体的碱度平均值为69.34 mmol/L。

表1 2019年7月达里湖各采样点水体的碱度、pH和硬度  
Table 1 The alkalinity, pH and hardness of the water at each sampling point in Dali Lake in July 2019

采样水域	碱度(mmol/L)	硬度(mmol/L)	pH
北河口	71.40	2.70	8.86
北河口大岗	72.42	2.72	8.54
烧锅木	70.68	2.73	8.71
一棵树	58.08	2.21	8.81
耗来河入口	72.6	2.78	9.06
亮子河入口	57.36	2.22	8.95
小水泉	70.52	2.64	9.05
中东部	72.90	2.62	8.67
南河口	69.60	2.65	8.66
中北部	77.82	2.78	8.68
达里湖	69.34	2.61	8.80

耗来河入口和中北部水体的硬度最大,都为2.78 mmol/L;一棵树水体的硬度最小,为2.21 mmol/L;达里湖水体的硬度平均值为2.61 mmol/L。

耗来河入口水体的pH最高,为9.06;北河口大岗水体的pH最低,为8.54;达里湖水体的平均pH为8.80。

### 2.2 水体碱度、pH和硬度的空间分布

在达里湖的东部湖区(包括中东部、南河口和中北部采样水域)水体的碱度最大,其平均值为73.44 mmol/L;其次为北部湖区(包括北河口和北河口大岗采样水域),水体碱度的平均值为71.91 mmol/L;西南部湖区(包括一棵树、耗来河入口和亮子河入口采样水域)水体碱度最小,其平均值为62.68 mmol/L。

南部湖区(小水泉采样水域)水体的pH最高,其值为9.05;其次为西南部湖区,其平均值为8.94;东部湖区水体的pH最低,其平均值为8.67。

西部湖区(烧锅木采样水域)水体的硬度最大,

其值为2.73 mmol/L;其次为北部湖区,其平均值为2.71 mmol/L;西南部湖区的最小,其平均值为2.40 mmol/L。

西南部湖区水体的碱度和硬度都相对最小,这与耗来河和亮子河注入达里湖,稀释了湖水中的离子浓度有关。

### 2.3 水体碱度、pH和硬度间的关系

分析各采样点水体碱度、pH和硬度两两之间的关系发现,碱度与硬度显著正相关( $n=20, r=0.97, p<0.01$ );碱度与pH和硬度与pH都不相关( $p>0.05$ )。

### 2.4 水体碱度、pH和硬度与离子含量的关系

分析各采样点水体碱度、pH和硬度与阴离子含量和阳离子含量之间的关系发现,碱度分别与主要阴离子( $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ )含量、主要阳离子( $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ )含量都显著正相关( $n=20$ ,所有 $r$ 都大于0.92,  $p<0.01$ );硬度分别与主要阴离子含量、主要阳离子含量都显著正相关( $n=20$ ,所有 $r$ 都大于0.93,  $p<0.01$ );pH分别与主要阴离子含量、主要阳离子含量都不相关( $p>0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 达里湖湖水的水化学特点

#### 3.1.1 碱度和pH偏高

按照碳酸盐类钠组I型水的水化学特征,达里湖为苏打湖;若按 $8.5<pH\leq 9.5$ 的天然水体分类标准,达里湖则属于碱性湖泊<sup>[8-9]</sup>。

1975~1976年,在明水期,达里湖水体碱度的平均值为44.50 mmol/L<sup>[1]</sup>;1994年,其为44.90 mmol/L<sup>[2]</sup>;2004~2007年,其为53.57 mmol/L<sup>[3]</sup>;2009年,其为57.82 mmol/L(2009年的数据来源于赤峰市生态环境监测站,下同);2019年,其为69.34 mmol/L(2019年的数据为本研究结果,下同)。1975~2019年,在明水期,达里湖水体的碱度平均每年增加1.01%,而且达里湖水体的碱度大于渔业对水体碱度的一般要求(1.0~3.0 mmol/L)。2009~2019年,达里湖水体碱度平均每年增加1.83%,即2009年以来达里湖水体的碱度增大的速度在加快,这与同期该湖水域面积减小有关。

1975~1976年,在明水期,达里湖水体的平均pH为9.43<sup>[1]</sup>;1994年,其为9.60<sup>[2]</sup>;2004~2007年,其为9.65<sup>[3]</sup>;2009年和2019年其分别为9.51和8.80。

1975~2019年,在明水期,达里湖水体的pH平均每年减小0.16%,其中1975~2009年,其始终维持在9.40以上;2009~2019年,其平均每年减小0.77%,2019年仍接近《地表水环境质量标准》的下限(6.0~9.0),超过《渔业水质标准》的上限(6.5~8.5)。

2020年1月和3~6月,赤峰市生态环境监测站对达里湖水体pH的监测结果显示,水体pH的最大值为9.72,最小值为9.00,平均值为9.43,其平均值超过《地表水环境质量标准》和《渔业水质标准》的上限。

### 3.1.2 硬度适宜

在俄罗斯,养殖鲤科(Cyprinidae)鱼类的池塘的水体硬度为1.78~2.85 mmol/L,养殖淡水鲑科(Salmonidae)鱼类的池塘的水体硬度为2.85~4.28 mmol/L<sup>[8]</sup>。在中国内陆,渔业对水体硬度的一般要求为1.0~3.0 mmol/L<sup>[8-9]</sup>。达里湖水体的硬度为2.61 mmol/L,则符合上述要求。

1975~1976年,在明水期,达里湖水体硬度的平均值为2.20 mmol/L<sup>[1]</sup>;1994年,其为2.24 mmol/L<sup>[2]</sup>;2004~2007年,其为2.54 mmol/L<sup>[3]</sup>;2009年和2019年其分别为3.42 mmol/L和2.61 mmol/L。1975~2019年,达里湖水体硬度虽然平均每年增加0.39%,但是其始终处在适宜渔业的范围内。

### 3.2 水化学特点的形成

达里湖是一个典型的高原堰塞湖,位于西拉木伦河深大断裂带上,是在构造下陷所形成的构造湖的基础上,受到玄武岩流堰塞河道而形成的湖泊。达里湖湖水的水化学特点是在湖泊形成与环境演化的漫长地质过程中逐渐形成的<sup>[1,10]</sup>。

补给达里湖的湖(河)水的水化学类型都为碳酸盐类I型(表2)。由于玄武岩的喷溢活动,使水体中的 $c(1/2\text{CO}_3^{2-})+c(\text{HCO}_3^-) > c(1/2\text{Mg}^{2+})+c(1/2\text{Ca}^{2+})$ 。在水体浓缩和水生生物作用过程中,水体中不断析出 $\text{CaCO}_3$ 或 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ 的结晶体<sup>[11]</sup>,水体中的含盐量增加, $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 和碳酸盐不断积累,致使水体中的 $\text{Ca}^{2+}$ 含量和 $\text{Mg}^{2+}$ 含量减少, $\text{K}^+$ + $\text{Na}^+$ 含量远大于 $\text{Ca}^{2+}$ + $\text{Mg}^{2+}$ 含量, $\text{CO}_3^{2-}$ 含量和 $\text{HCO}_3^-$ 含量增加,从而使水体的碱度增大,硬度减小, $[c(\text{Na}^+)+c(\text{K}^+)][c(1/2\text{Mg}^{2+})+c(1/2\text{Ca}^{2+})]$ 和 $[c(1/2\text{CO}_3^{2-})+c(\text{HCO}_3^-)][c(1/2\text{Mg}^{2+})+c(1/2\text{Ca}^{2+})]$ 值增大<sup>[5]</sup>。另外,由于水体中的 $\text{MgCO}_3$ 的溶解度高于 $\text{CaCO}_3$ ,使得水体中的 $c(1/2\text{Mg}^{2+})/c(1/2\text{Ca}^{2+})$ 值也逐渐增大。现在,在捕捞作业时,常常从湖底捞出碳酸盐所形成的葵花状石块,这就是古达里湖产生碳酸盐沉积的证据。

由水体二氧化碳平衡可知,碳酸盐类I型水在蒸发浓缩过程中,水体的pH也在不断增大<sup>[8-9]</sup>,达里湖的水体即为该类型水体,且 $[c(1/2\text{CO}_3^{2-})+c(\text{HCO}_3^-)][c(1/2\text{Mg}^{2+})+c(1/2\text{Ca}^{2+})]$ 值较大,表明其I型水质特征较强。基于上述原理,便形成了水体碱度、pH和含盐量都较大,水体硬度较适宜的达里湖水化学特征。

### 3.3 达里湖水体的水化学特点对鱼类多样性的影响

#### 3.3.1 与鱼类物种数的关系

研究“三北”地区盐碱湖泊鱼类群落中的物种数与水化学因子的关系发现,鱼类群落中的总物种数、土著种数都分别与水体的含盐量、碱度、硬

表2 达里湖补给水的水化学成分  
Table 2 The hydrochemical composition of the inflow water of Dali Lake

湖泊/河流名称	时期	离子浓度(mmol/L)								水化学类型
		$1/2\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$1/2\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$1/2\text{Mg}^{2+}$	$1/2\text{Ca}^{2+}$	
岗更湖	2019年 <sup>[5]</sup>	0.23	3.99	1.00	0.22	1.70	0.19	1.82	1.15	$\text{C}_1^{\text{Na}}$
	1975~1976年 <sup>[1]</sup>	0.61	1.67	0.29	0.15	0.83	—	1.10	0.80	$\text{C}_1^{\text{Mg}}$
鲤鱼湖	2019年 <sup>[5]</sup>	0.09	2.93	0.91	0.14	1.34	0.21	1.49	0.53	$\text{C}_1^{\text{Na}}$
	1975~1976年 <sup>[1]</sup>	0.97	0.80	0.31	0.43	0.76	—	0.71	0.69	$\text{C}_1^{\text{Na}}$
贡格尔河	2019年 <sup>[5]</sup>	0.05	2.11	0.74	0.21	0.69	0.07	0.49	1.33	$\text{C}_1^{\text{Ca}}$
	1975~1976年 <sup>[1]</sup>	0.16	3.01	0.40	0.20	1.12	—	0.91	1.66	$\text{C}_1^{\text{Ca}}$
亮子河	2019年 <sup>[5]</sup>	0.06	2.24	0.54	0.05	0.43	0.05	0.69	1.28	$\text{C}_1^{\text{Ca}}$
	1975~1976年 <sup>[1]</sup>	0	2.75	0.34	0.07	0.83	—	1.13	1.18	$\text{C}_1^{\text{Ca}}$

度显著正相关( $n=15$ , 其相关系数  $r$  都大于 0.66,  $p<0.01$ )<sup>[12]</sup>。

对松嫩平原盐碱湖泊鱼类多样性的研究结果表明, 鱼类群落中的土著物种数与水体碱度显著负相关( $n=20$ ,  $r=0.50$ ,  $p<0.05$ )<sup>[13]</sup>。

### 3.3.2 碱度的影响

目前, 国内外渔业用水标准都没有对水体的碱度做出规定。但是, 许多研究表明, 水体的碱度对于渔业水体的鱼类生产性能有显著影响。一般, 水体碱度过小, 鱼类生产力相对较低, 通常建议将渔业水体的碱度确定为 1.0~3.0 mmol/L。中国也将此标准作为对内陆渔业水体碱度的一般要求。文献[14]曾提出, 当水体碱度为 10.0 mmol/L 时, 渔业水体即达到危险状态。2019年7月, 达里湖水体的碱度达到 69.34 mmol/L, 已远高于上述指标。

水体的碱度除了影响鱼类生产力之外, 碱度大的水体还对鱼类具有毒性。当水体碱度足够大时, 水体中的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  形成碳酸盐沉淀, 水体的硬度减小, 水化学类型转化为碳酸盐类 I 型, 对鱼类具有毒性, 达里湖湖水即属于该类型水。

在碳酸盐类盐碱湖泊中, 较大的水体碱度常常先于盐度而限制淡水生物的生存。当水体碱度达到一定值后, 即可引起鱼体溃烂、瞎眼, 进而中毒致死<sup>[15]</sup>。在普通淡水鱼类中, 鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)、草鱼(*Ctenopharyngodonidella*)对水体的碱度较为敏感, 其致死碱度为 20.0~30.0 mmol/L; 鲤(*Cyprinus carpio*)次之, 其致死碱度为 30.0~40.0 mmol/L; 青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii przewalskii*)、瓦氏雅罗鱼(*Leuciscus waleckii waleckii*)、鲫(*Carassius auratus*)的耐碱能力较强, 其致死碱度为 40.0~50.0 mmol/L<sup>[15-16]</sup>。

据报道, 鲫、瓦氏雅罗鱼和青海湖裸鲤的耐碱极限分别在 50.0 mmol/L、68.0 mmol/L 和 73.0 mmol/L<sup>[14]</sup>。达里湖水体的碱度从 1975~1976

年的 44.5 mmol/L, 上升到 2019 年的 69.34 mmol/L, 虽然已经超过鲫和瓦氏雅罗鱼的耐碱极限, 而接近青海湖裸鲤的耐碱上限, 但是因水体碱度在持续而缓慢的增大, 可以使鱼类得到适应性驯化, 使其自身获得对高盐碱水环境的适应性机制。达里湖中的两种经济鱼类鲫和瓦氏雅罗都能正常繁殖与生长, 同时还可见到麦穗鱼(*Pseudoras bora parva*)和达里湖高原鳅(*Triplophysa dalaica*)在全湖分布, 这表明达里湖水体的碱度增大对湖中的原有鱼类多样性无负面影响。

### 3.3.3 pH的影响

碳酸盐类盐碱湖泊水体的 pH 常大于 9.0。在淡水水体中, 因水生植物的光合作用而引起的周期性 pH 增大, 可以使鱼类产生较强的适应能力。例如, 一般情况下, 普通淡水经济鱼类鲢、鳙和草鱼等可以在 pH 为 10.2 的水体中存活, 鲤可以在 pH 为 10.4 的水体中生存<sup>[15,17]</sup>。由于水体的碱度与 pH 存在协同作用, 上述这些普通淡水鱼类对于像达里湖这样的因碱度大而导致水体 pH 增大的湖泊, 往往难于适应。在普通内陆水体中, 水体 pH 达到 9.0~9.5, 就会对鱼类产生不良影响, 在  $\text{pH} \geq 9.5$  的水体中, 能够生存的鱼类物种逐渐减少, 鱼类多样性水平也相对较低<sup>[1,11]</sup>。

1975~2009 年, 达里湖水体的 pH 稳定在 9.43~9.65<sup>[1-3]</sup>, 湖中的鱼类生存与繁衍并未受到影响。2009 年以来, 水体 pH 在减小, 至 2019 年, 水体 pH 已经小于 9.0, 但仍然超出了养鱼的安全范围。由于湖中的鱼类长期接受水体 pH 较大的适应性驯化, 达里湖水体的 pH 并未对湖中原有鱼类的多样性造成负面影响, 但是, 很可能限制普通淡水鱼类的移殖。

### 3.3.4 pH与碱度的联合影响

1975~1976 年, 当达里湖水体的含盐量为 5.55 g/L 时, 通过实验, 得出不同 pH 下碱度对麦穗

表3 不同pH下水体碱度对4种鱼类的半致死浓度<sup>[15]</sup>和安全阈值

Table 3 The semi-lethal concentration<sup>[15]</sup> and safety threshold of water alkalinity to 4 fish species under different pH levels

淡水鱼类名称	实验水体的 pH	碱度的半致死浓度(mmol/L)			碱度的安全阈值 (mmol/L)
		24 h	48 h	96 h	
麦穗鱼	9.7	78.8	74.5	72.2	19.98
瓦氏雅罗鱼	9.6	78.8	73.9	69.2	19.50
青海湖裸鲤	9.6	—	99.9	99.9	—
鲫	9.6	73.9	73.9	72.2	22.17

表4 不同水体碱度下鲢鱼的半致死pH<sup>[15]</sup>和安全阈值Table 4 The semi-lethal pH<sup>[15]</sup> and safety threshold to silver carp under different water alkalinity

淡水鱼类名称	实验水体的碱度 (mmol/L)	半致死pH				pH的安全阈值
		24 h	48 h	72 h	96 h	
鲢鱼	8.8	10.14	10.10	—	9.84	9.54
	15.8	9.64	9.62	9.54	9.38	9.10

鱼、瓦氏雅罗鱼、鲫、青海湖裸鲤的半致死浓度值(表3)和不同碱度下pH对鲢鱼的半致死浓度值(表4)<sup>[15]</sup>。

可以看出,2019年7月,达里湖水体的碱度平均值(69.34 mmol/L)明显高于上述几种淡水鱼类生存的安全碱度;2020年1~6月,赤峰市生态环境监测站监测到的达里湖水体pH的平均值(9.43)也大于pH为9.10的安全阈值。对于水体碱度和pH都较大的达里湖盐碱水体,虽然可能限制鲤、鲢、鳙和草鱼等普通淡水鱼类的移殖,但是湖中的原有鱼类如麦穗鱼、瓦氏雅罗鱼、鲫的正常生长与繁殖并未受到负面影响,这显然是它们长期生活在高盐碱水体中得到自然驯化与适应的结果。

研究表明,在碱度与pH的联合影响作用中,随着水体的碱度增大,鱼类所能适应的水体pH将减小<sup>[14]</sup>。在许多情况下,碱度和pH成为盐碱水体中鱼类多样性的主要限制因子<sup>[11,16]</sup>。例如,黄河流域碳酸盐类水质的红碱淖和河口水库,其水体的含盐量分别为2.56 g/L和3.75 g/L,水体的碱度分别为16.2 mmol/L和33.0 mmol/L,水体的pH分别为9.0和9.4,鱼类物种数分别有14种和5种;氯化

物类水质的岱海水体盐度为3.68 g/L,与之相近,但是碱度(8.52 mmol/L)和pH(8.7)较小,鱼类物种数达到27种<sup>[18]</sup>。又例如,在达里湖全湖分布的鱼类物种只有5种;黄河流域氯化物类水质的前进湖水体的含盐量(5.47 g/L)与1975~1976年达里湖水体的含盐量基本相同,但是前进湖水体的碱度(15.5 mmol/L)和pH(9.06)却比同期达里湖水体的小得多,鱼类物种则有16种<sup>[18]</sup>。

### 3.3.5 pH与含盐量的联合影响

鲢、鳙、鲤和草鱼等淡水经济鱼类对水体pH的变化具有极大的适应能力,为盐碱水体增养殖提供了生态位优势。但是,另一方面,pH对鱼类的影响在不同条件下往往是存在差异的。在自然条件下,水体pH常与其它环境因子相结合,而形成错综复杂的关系,鱼类对pH的适应性也将发生变化。水体含盐量正常但pH小、含盐量正常但pH大、含盐量和pH都大的水体,对鱼类都具有一定的毒性影响,当水体含盐量与pH各自达到一定值时,两者对鱼的毒性有加强效应<sup>[19]</sup>。研究结果显示,水体含盐量对鲢、鳙的24 h半致死浓度与pH存在负相关关系<sup>[17]</sup>,即随着水体pH的增大,鲢、

表5 不同pH下水体含盐量对2种淡水鱼类的半致死浓度值

Table 5 The semi-lethal concentration and safety threshold of water salt content to 2 species of freshwater fishes under different pH levels

实验水体的 pH	含盐量对鲢的半致死浓度(g/L)			含盐量对鲢的 安全阈值(g/L)	含盐量对鳙的半致死浓度(g/L)			含盐量对鳙的安全阈 值(g/L)
	24 h	48 h	96 h		24 h	48 h	96 h	
7.00	13.56	10.79	8.60	—	16.59	14.60	13.05	—
7.58	11.14	9.22	7.32	—	/13.20	11.84	10.50	—
8.00	9.55	8.06	6.50	—	10.80	9.94	9.06	—
8.46	7.90	7.10	6.30	—	8.30	7.80	7.22	—
8.70	6.82	6.23	5.62	—	6.91	6.30	6.02	—
8.98	5.60	5.40	5.02	1.51	5.65	5.45	5.06	1.52
9.45	4.10	3.83	3.71	—	4.32	4.00	3.93	—
9.90	2.50	2.33	2.24	—	3.00	2.40	2.32	—

注:部分数据引自文献[19]。

表6 不同pH下水体碱度对4种淡水鱼类的半致死浓度值

Table 6 The semi-lethal concentration of water alkalinity to 4 species of freshwater fishes under different pH

实验水体的 pH	碱度对鲢的半致死 浓度(mmol/L)				碱度对鲢的安全 阈值(mmol/L)	实验水体 的pH	碱度对草鱼的半致死 浓度(mmol/L)	碱度对草鱼的 安全阈值 (mmol/L)
	24 h	48 h	72 h	96 h			24 h	
8.30	109	109	105	105	—	8.65	82.2	—
8.74	95.0	91.7	90.0	76.7	25.63	9.14	65.7	10.35
9.23	59.5	59.5	52.3	52.3	—	9.20	50.5	—
9.40	44.3	42.5	40.0	38.9	—	—	—	—
9.57	29.9	26.5	24.1	21.1	—	—	—	—

  

实验水体的 pH	碱度对草鱼的半致死浓度(mmol/L)		实验水体的pH	碱度对鲮的半致死浓度(mmol/L)			碱度对鲮的安全 阈值(mmol/L)
	48 h	96 h		24 h	48 h	96 h	
8.65	77.6	—	9.10	65.7	53.0	34.0	10.35
9.14	53.0	34.0	9.20	59.4	50.1	35.6	—

注: 有关鲢和鲮的部分数据引自文献[14]; 有关草鱼的部分数据引自文献[14]和[20]。

鲮对水体中含盐量的适应能力将减弱。

1975~2019年,在明水期,达里湖水体中的含盐量以平均每年1.06%的速度持续增加,且始终维持在含盐量大于5.0 g/L的半咸水状态。2019年,达里湖水体中的含盐量达到8.89 g/L<sup>[5]</sup>,已接近普通淡水鱼类的耐盐上限(10.0 g/L),但是湖中的原有鱼类多样性并未受到影响,主要经济鱼类鲫和瓦氏雅罗鱼仍可以正常生长与繁殖,这显然是长期驯化与适应的结果。

### 3.3.6 pH、碱度和含盐量的联合影响

本研究计算出了与2019年达里湖水体pH(8.80)相近条件下的含盐量与碱度对鲢、鲮和草鱼半致死浓度值(表5和表6),结果表明,能使鲢、鲮和草鱼安全生存的水体的含盐量和碱度值都明显低于2019年达里湖水体的含盐量和碱度。这表明,达里湖水体在保持当前pH(8.80)水平的前提下,其含盐量和碱度虽然对湖中的原有鱼类多样性尚不构成威胁,但很可能限制鲢、鲮和草鱼等普通淡水鱼类物种的移殖。

## 4 结论

自1975年以来,达里湖水体的碱度在逐渐增大,且始终超过渔业对水体碱度的一般要求范围;自2009年以来,水体的pH在不断减小,但是,2019年其仍接近地表III类水域标准的上限,而超过渔业对水质要求的上限;达里湖水体的硬度相对稳定且适宜渔业。

达里湖水体的碱度和pH对湖中的原有鱼类

多样性尚无负面影响,但是有可能限制普通淡水鱼类物种的移殖。

**致谢:**达里湖渔场和达里诺尔国家级自然保护区管理局给予野外采样工作的大力支持,内蒙古自治区水产技术推广站提供部分资料,在此一并表示感谢!

## 参考文献

- [1]何志辉,谢祚浑,雷衍之. 达里湖水化学和水生生物学研究[J]. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 341-357.
- [2]何志辉,姜宏,毕凤山. 达里湖水化学和水生生物学再研究[J]. 大连水产学院学报, 1996, 11(2): 1-13.
- [3]缪丽梅,刘鹏斌,张笑晨,等. 达里湖水水质和生物资源量监测及评价[J]. 内蒙古农业科技, 2013(6): 53-55.
- [4]杜蕾,李畅游,李文宝,等. 达里诺尔湖水中氢、氧稳定同位素组成的空间变化特征及影响因素[J]. 湿地科学, 2019, 17(2): 221-215.
- [5]杨富亿,文波龙,李晓宇,等. 达里诺尔湿地水环境和鱼类多样性调查 I. 达里湖水体中的主要离子、含盐量和电导率[J]. 湿地科学, 2020, 18(5): 507-515.
- [6]国家环境保护总局. 地表水环境质量标准: GB 3838—2002[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [7]中华人民共和国农业部渔业局. 渔业水质标准: GB 11607—89 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- [8]雷衍之. 淡水养殖水化学[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 1993: 6-16, 62-65.
- [9]陈佳荣. 水化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 22-35, 63-73.
- [10]韩国苍. 魅力达里诺尔[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 2012: 18-23.

- [11]何志辉, 赵文. 三北地区内陆盐生生物资源及其渔业利用[J]. 大连水产学院学报, 2002, **17**(3): 157-166.
- [12]黎道丰, 蔡庆化. 不同盐碱度水体的鱼类区系结构及主要经济鱼类生长的比较[J]. 水生生物学报, 2000, **24**(5): 493-501.
- [13]杨富亿, 吕宪国, 姜彦景, 等. 松嫩湖群鱼类群落多样性[J]. 生态学报, 2015, **35**(4): 1022-1036.
- [14]雷衍之, 董双林, 沈成钢, 等. 碳酸盐碱度对鱼类毒性作用的研究[J]. 水产学报, 1985, **9**(2): 171-183.
- [15]史为良. 我国某些鱼类对达里湖碳酸盐型半咸水的适应能力[J]. 水生生物学集刊, 1981, **7**(3): 359-369.
- [16]秦克静, 姜志强, 何志辉. 中国北方内陆盐生水域鱼类的种类和多样性[J]. 大连水产学院学报, 2002, **17**(3): 167-175.
- [17]章征忠, 张兆琪, 董双林. 鲢鱼幼鱼对盐、碱耐受性的研究[J]. 青岛海洋大学学报, 1999, **29**(3): 441-446.
- [18]何志辉, 谢祚浑, 张孝刚, 等. 黄河水系渔业资源[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1986: 67-73, 118-123.
- [19]臧维玲, 王武, 叶林, 等. 盐度对淡水鱼类的毒性效应[J]. 海洋与湖沼, 1989, **20**(5): 445-452.
- [20]章征忠, 张兆琪, 董双林, 等. pH、盐度、碱度对淡水养殖种类影响的研究进展[J]. 中国水产科学, 1999, **6**(4): 96-98.

## Investigation of Water Environment and Fish Diversity in Dalinor Wetlands II. Alkalinity, pH and Hardness of the Water of Dali Lake

YANG Fuyi<sup>1</sup>, WEN Bolong<sup>1</sup>, LI Xiaoyu<sup>1</sup>, YANG Yanli<sup>1</sup>, WAN Siang<sup>1</sup>, OUYang Ling<sup>2</sup>, LIU Wenhui<sup>3</sup>,  
WANG Zhaowei<sup>3</sup>, MENG Xiangpeng<sup>3</sup>, LI Chongxiang<sup>3</sup>, Alamus<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, Jilin, P.R.China; 2. Chifeng University, Chifeng 024000, Inner Mongolia Autonomous Region, P.R.China; 3. Ecological Environmental Monitoring Station in Chifeng City, Inner Mongolia Autonomous Region, Chifeng 024000, Inner Mongolia Autonomous Region, P.R.China)

**Abstract:** Dali Lake is an important part of the Dalinor wetlands. This paper reported the results of the investigation of alkalinity, pH and hardness of the water of Dali Lake in 2019. Comparing the results with the investigation data during 1975-1976, the effects of hydrochemical characteristics on the diversity of fish species were discussed in Dali Lake. In July 2019, the average alkalinity and hardness of the water in Dali Lake were 69.34 mmol/L and 2.61 mmol/L respectively, with an average pH 8.80. From 1975 to 2019, the average annual alkalinity and hardness increased by 1.01% and 0.38%, respectively, while the average annual pH decreased by 0.16%. The long-term acclimatization of high saline-alkaline water had no serious negative impact on the existing fish diversity in Dali Lake now, but it might limit the migration of other freshwater fish species.

**Keywords:** Dali Lake; waters; alkalinity; pH; hardness