

北京动物园水生野生动物多样性调查与分析

张蕾^{1,2} 肖洋^{1,3} 倪艳霞^{1,3} 周娜^{1,3}

1 北京动物园圈养野生动物技术北京市重点实验室

2 北京市水科学技术研究院

3 北京动物园管理处

DOI:10.12238/eep.v7i9.2240

[摘要] 北京动物园是城市生态系统重要的生境斑块,对野生物种资源保护至关重要,但对动物园内水生野生动物分布情况少有报道。2023年调查得到园区内水生野生动物中浮游动物63种,密度范围为7-2865 ind./L。底栖动物34种,密度范围为10-424 ind./m²,以一般耐污类群为主。鱼类19种,其中包含《北京市重点保护野生动物名录》(2023年)中收录物种花鲢。鱼类中以杂食性最多,优势种为麦穗鱼、鳊和似鲮。两栖动物和爬行动物中黑斑侧褶蛙和无蹼壁虎分别为IUCN近危和易危物种。动物园水生野生动物物种数普遍高于北运河水系内其它河湖,体现了动物园对水生野生动物资源保护的重要作用,更为北运河水系其它河湖保护措施的完善提供参考价值。

[关键词] 北京动物园; 水生态系统; 水生野生动物; 生物多样性

中图分类号: Q95-339 **文献标识码:** A

Investigation and analysis of aquatic wildlife Diversity In Beijing Zoo

Lei Zhang^{1,2} Yang Xiao^{1,3} Yanxia Ni^{1,3} Na Zhou^{1,3}

1 Beijing Key Laboratory of Captive Wildlife Technology

2 Beijing Water Science and Technology Institute

3 Beijing Zoo Management Office

[Abstract] The Beijing Zoo serves as a crucial habitat patch within the urban ecosystem and[] plays an essential role in the conservation of wild species resources; however, there are few reports on the distribution of aquatic wildlife in the zoo. A survey conducted in 2023 revealed 63 species of zooplankton within the Beijing zoo, with a density range of 7-2865 ind./L. A total of 34 species of Zoobenthos were identified, with a density range of 10-424 ind./m², predominantly consisting of generalist pollution-tolerant groups. 19 species of fish were recorded, including the *Hemibarbus maculatus*, which is listed in the "Beijing Key Protected Wildlife List" (2023). Omnivores fish were the most prevalent, with the *Pseudorasbora parva*, *Hemiculter leucisculus* and *Toxabramis swinhonis* being the dominant species. The *Pelophylax nigromaculatus* and *Gekko swinhonis* were identified among amphibians and reptiles, which are classified as Near Threatened and Vulnerable by the IUCN, respectively. The Beijing zoo's aquatic wildlife species richness is generally higher than other rivers and lakes Beiyunhe water system, highlighting the significance of wildlife conservation efforts within the Beijing zoo's aquatic habitats and providing valuable reference for the of protection improvement in the Beiyunhe water system.

[Key words] Beijing Zoo; Water ecosystem; Aquatic Wildlife; Biodiversity

北京动物园位于北京市区,南长河及园内水域从西向东贯穿园区,总水量约6.5万m³^[1]。动物园一方面是动物物种资源的培育的关键区域,承担着濒危物种繁育和保护的职能;另一方面,作为城市重要公园节点和绿色空间,动物园是城市生态系统重要的生境斑块,有助于改善城市微气候,更是野生生物的良好栖

息地^[2]。城市建设给资源环境带来了巨大压力,对生态系统生物多样性也造成一定威胁,栖息地的丧失造成了野生生物物种资源流失^[2]。由于水系连通,动物园内水体在水流过程中与其它水系统发生物质、能量及物种资源的交换,同时,动物园较好的封闭性和其它圈养生物的生存,可能会对水生态系统组成与结构

造成一定影响,为野生生物提供栖息环境^[3]。水生野生动物是动物园内重要的物种资源,是维护生物多样性和生态系统稳定性的关键组成部分,保护水生野生动物对于提升生态文明水平具有重要意义^[4]。

近年来,动物园先后开展了植物、鸟类等的调查分析,但水生野生动物的分布情况并不明确^[5-7]。因此,通过调查北京动物园内浮游动物、底栖动物、鱼类、两栖类和爬行类等水生野生动物,并开展群落特征、多样性、均匀度等研究分析,对于北京动物园水生生态系统保护及物种资源挖掘具有重要意义。

1 研究区域概况

北京动物园地处北京市中心城区园区占地面积86.2万m²,其中水面面积8.6万m²(含南长河),占公园总面积的9.98%。依据《内陆鱼类多样性调查与评估技术规定》,鱼类调查宜每年开展两次,为保证调查内容一致性,结合研究区域气候特征和水体生态系统特点,分别于2023年春季(6月)和夏秋季(9月)开展浮游动物、底栖动物和鱼类调查。根据研究区域内部水体连通特点和补水条件,在动物园内湖泊和河流两类生境共设置7个采样点(见图1)。两栖动物和爬行动物调查依据《湿地监测技术规程》(DB63/T 1359—2015),于夏季(7月和8月)开展。

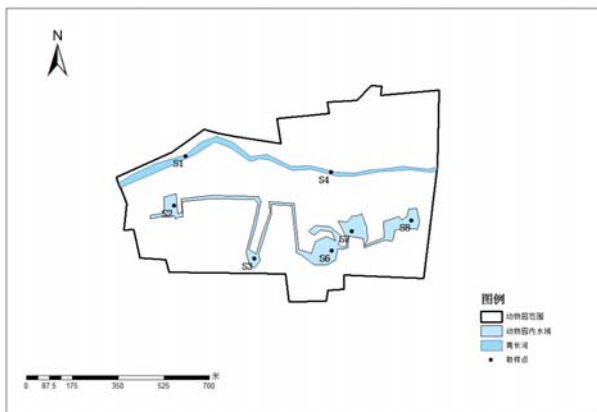


图1 采样点位示意

2 研究方法

2.1 样品采集与处理

2.1.1 浮游动物

采集0.5m处表层水10L,经13号浮游生物网过滤浓缩后注入样品瓶中,加入约占水样5%(V/V)的甲醛固定。样品处理后,在光学显微镜下采用计数框进行鉴定分析。

2.1.2 底栖动物

用改良式彼得森采泥器采集底泥,经0.3mm金属筛过滤以去除泥沙和杂物,将筛网上肉眼可见的底栖动物使用钟表镊子挑拣后,放入盛有75%乙醇溶液的样品瓶内固定。按不同类别准确鉴定并统计个体数(均按头部计数);软体动物的死壳不计数。

2.1.3 鱼类监测

采用鱼笼法开展鱼类调查,将地笼网(0.5m×0.5m×10m)置于水中过夜(约10h),渔获物按种类进行鉴定和统计后放回。

2.1.4 两栖和爬行动物监测

调查采用样线法,以目视法为主,结合使用强光手电和手持热成像夜视仪。白天开展预调查,晚上开展正式调查。

2.2 分析与评价方法

2.2.1 浮游动物

浮游生物生物多样性采用Shannon-wiener、Margalef丰富度和Pielou均匀度指数评价。优势种分析以优势度指数评价。

(1) Shannon-wiener多样性指数(H')

$$H' = -\sum (n_i / N) \times \ln(n_i / N)$$

式中: n_i 为第*i*种的浮游生物的个体数, N 为采集样品中的所有种类总个体数。常用评价标准见表1。

表1 Shannon-wiener多样性指数评价标准

Shannon-wiener 指数值	$0 < H' < 1$	$1 < H' < 2$	$2 < H' < 3$	$H' > 3$
评价结果	群落结构简单	群落结构复杂度居中	群落结构较为复杂	群落结构复杂

(2) Margalef丰富度指数(R)

$$R = (S - 1) / \ln N$$

式中: N 为采集样品中的所有种类总个体数; S 为采集样品中的种类总数。常用评价标准见表2。

表2 Margalef丰富度指数评价标准

Margalef丰富度指数值	$0 < R < 1$	$1 < R < 3$	$R > 3$
评价结果	物种丰富度较低	物种丰富度居中	物种丰富度较高

(3) Pielou均匀度指数(J)

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

式中: S 为采集样品中的种类总数; H' 为Shannon-wiener指数。常用评价标准见表3。

表3 Pielou指数评价标准

Pielou指数值	$0 < J < 0.3$	$0.3 < J < 0.5$	$0.5 < J < 0.8$	$0.8 < J < 1$
评价结果	物种均匀度较小	物种均匀度居中	物种均匀度较高	物种均匀度最高

(4) 优势度指数(Y)

$$Y = (n_i / N) \times f_i$$

式中: n_i 为第*i*种物种个体数; N 为样品总个体数; f_i 为第*i*种物种出现的频率。

2.2.2 底栖动物

底栖动物生物多样性评价与优势种分析同浮游动物。底栖动物耐污种分析采用耐污值、BI指数、BPI指数。

(1)耐污值

指生物对污染因子的忍耐力,根据底栖大型无脊椎动物耐污值的高低,可将其分为3类:耐污值小于等于3,为敏感类群;耐污值在3~7之间,为一般耐污类群;耐污值大于7,为耐污类群。

(2)BI指数

生物指数 (biotic index, BI), BI指数计算公式:

$$BI = \sum_{i=1}^n n_i t_i / N$$

式中: n_i 为第 i 种分类单元 (通常为属级或种级) 的个体数; t_i 为第 i 种分类单元的耐污值; N 为各分类单元个体数总和; n 为分类单元个体数。常用评价标准见表4。

表4 BI指数评价标准

BI值	≤4.2	4.3-5.6	5.7-7.0	7.1-8.4	>8.4
评价结果	清洁	良好	轻污染	中污染	重污染

(3)生物学污染指数 (BPI)

$$BPI = \lg(N_1 + 2) / (\lg(N_2 + 2) + \lg(N_3 + 2))$$

式中: N_1 为寡毛类、蛭类和摇蚊幼虫个体数; N_2 为多毛类、甲壳类、除摇蚊幼虫以外的其它水生昆虫的个体; N_3 为软体类个体数。常用评价标准见表5。

表5 BPI指数评价标准

BPI 指数值	$BPI < 0.1$	$0.1 \leq BPI < 0.5$	$0.5 \leq BPI < 1.5$	$1.5 \leq BPI < 5$	$BPI \geq 5$
评价结果	优秀	良好	中等	较差	很差

3 结果与分析

3.1浮游动物群落特征与多样性分析

浮游动物是水生动物中关键消费者,能够捕食浮游植物,同时为大型水生动物提供饵料。共调查得到63种,6月和9月分别为45和54种,均以轮虫为主,分别占比73.33%和77.78%。在各监测点位中,种类数平均值最大(S3)和最小(S2)分别为34种和8种(见图2)。

浮游动物密度6月和9月平均值分别为1324和382 ind./L,其中6月以原生动物为主,占比达到91.57%;9月以轮虫为主,占比82.21%。6月密度最高值(S7)和最低值(S4)分别为2865和19 ind./L。9月分别为168(S6)和7 ind./L(S2)。

浮游动物生物量6月和9月平均值分别为143.41和85.95 μ g/L,6月以原生动物和轮虫为主,分别占比41.94%和43.55%;9月以桡足类占比最高,为56.34%。6月生物量最高值(S6)和最低值(S1)分别为264.88和10.97 μ g/L。9月分别为245.67(S6)和

18.66 μ g/L(S1)。

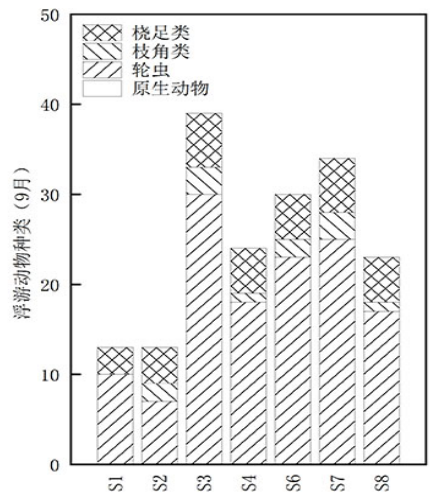
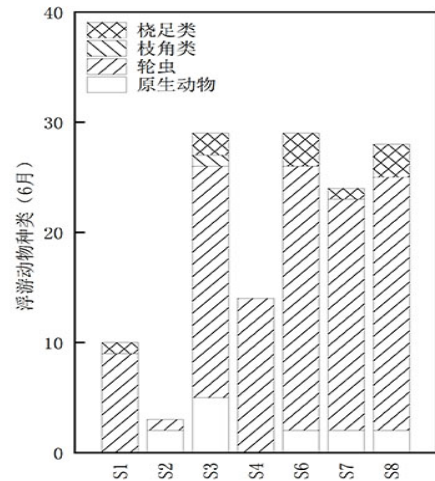
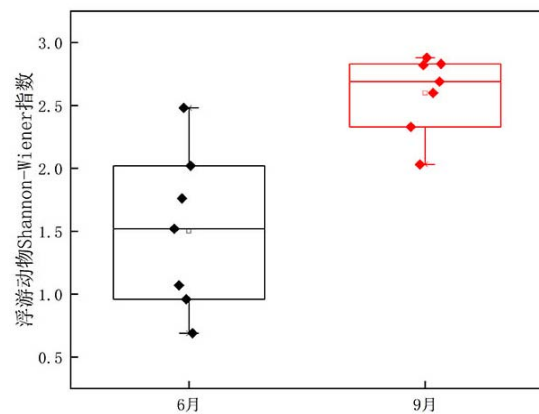


图2 浮游动物种类组成

如图3所示,Shannon-wiener多样性指数6月和9月平均值分别为1.50和2.60,表明浮游动物群落结构复杂度分别为居中和较为复杂。Margalef丰富度指数平均值分别为3.05和6.88,表明浮游动物物种丰富度较高。Pielou均匀度指数平均值分别为0.40和0.57,表明浮游动物物种均匀度居中。以多样性指数分析,9月浮游动物多样性高于6月。



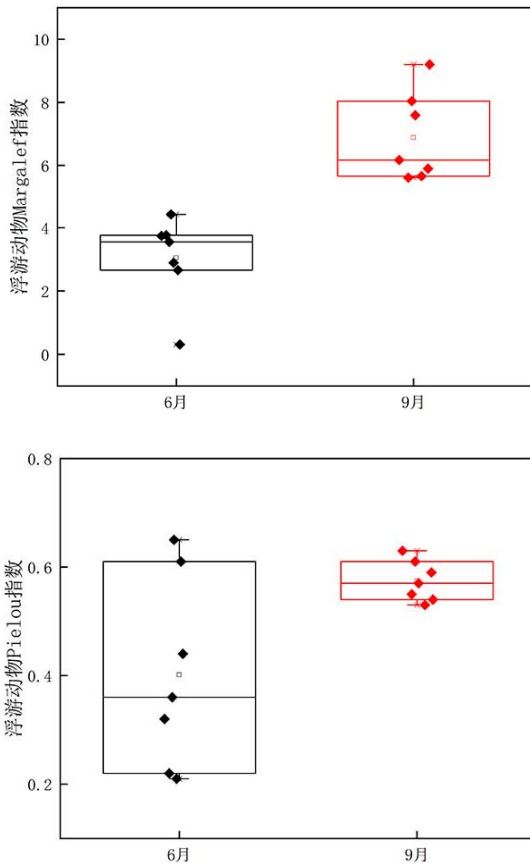


图3 浮游动物多样性变化

6月浮游动物优势种主要为四膜虫 (*Tetrahymena* sp.)、钟虫 (*Vorticella* sp.)、栉毛虫 (*Didinium* sp.)、砂壳虫 (*Diffflugia* sp.), 9月为蓴花臂尾轮虫 (*Brachionus forficula*)、蒲达臂尾轮虫 (*Brachionus budapestinensis*)、广布多肢轮虫 (*Polyarthra vulgaris*)、剑水蚤幼体 (*Cyclopoidea* larva)、尖尾疣毛轮虫 (*Synchaeta stylata*) 等。

3.2 底栖动物群落特征与多样性分析

底栖动物是水生态系统的重要指示种,是分解者同时也为大型水生动物提供饵料。共调查得到34种,包括扁形动物门1种、环节动物门6种、软体动物门6种、节肢动物门21种,6月和9月分别为34种和30种。在各监测点位中,S7种类数最少,平均3种;S1种类数最多,平均17种(见图4)。

6月和9月密度平均值分别为123和57 ind./m²,均以节肢动物门和软体动物门为主,6月两者占比分别为59.28%和35.25%,9月为57.38%和37.70%。6月密度最高值(S1)和最低值(S3和S8)分别为424和10 ind./m²。9月分别为138 ind./m²(S2)和16 ind./m²(S8)。

6月和9月生物量平均值分别为15.55和7.63 g/m²,均以软体动物门占主要优势,占比分别为95.44%和98.48%。6月最高值(S1)和最低值(S8)分别为53.34和0.03 g/m²,9月分别为27.17(S2)和0.04 g/m²(S6)。

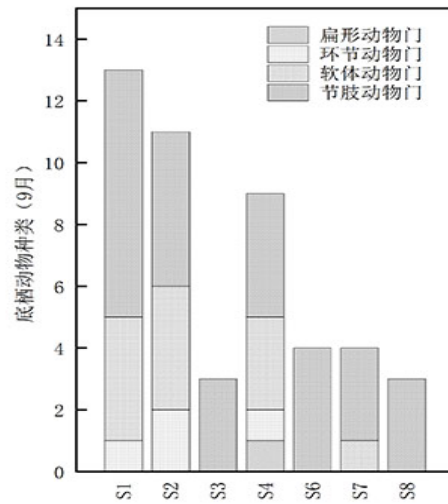
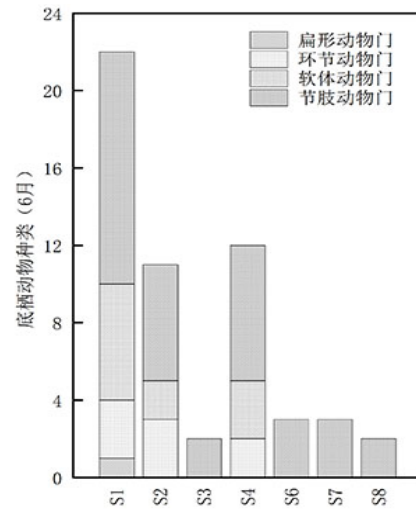
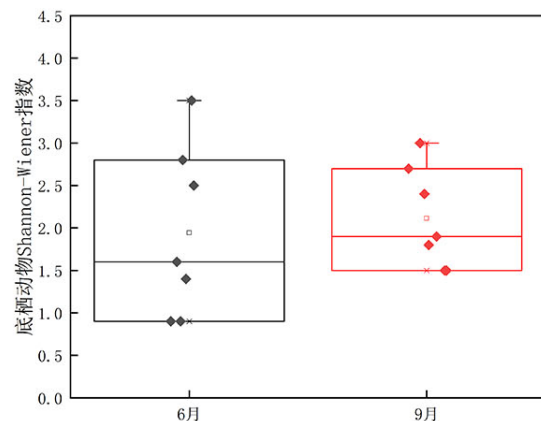


图4 底栖动物种类变化

如图5所示,6月和9月Shannon-wiener多样性指数平均值分别为1.95和2.13, Margalef丰富度指数平均值分别为1.40和1.41,表明底栖动物群落结构复杂度和物种丰富度均处于居中水平。Pielou均匀度指数平均值分别为0.86和0.88,表明底栖动物物种均匀度较高。以多样性指数分析,6月和9月底栖动物多样性变化不大。



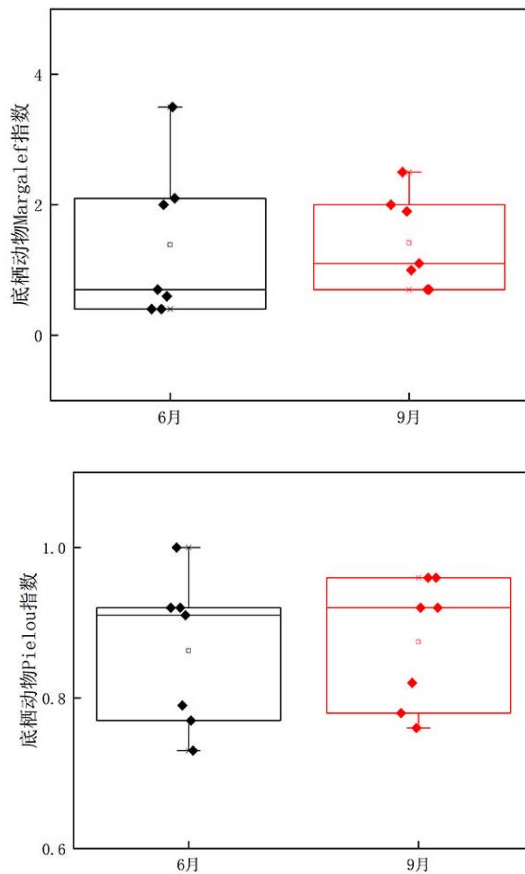


图5 底栖动物生物多样性变化

根据底栖动物耐污值分析,未出现敏感类群,均以一般耐污类群为主。在各监测点位中,S2、S6和S8出现耐污类群。

底栖动物BI指数平均值分别为5.8和5.9,按此指标评价为中污染水平。BPI指数6月和9月平均值均为1.3,按此指标评价生物学污染指数为中等。在各监测点位中,S1和S4点位BI指数平均值小于5.60,且BPI指数小于0.5,以此评价污染水平为良好,优于其它点位。

底栖动物优势种6月主要为湖沼股蛤(*Limnoperna lacustris*)、小石蛾属(*Hydroptila* sp.)、黑点细蟚蛄(*Caenis nigropunctata*),9月为湖沼股蛤(*Limnoperna lacustris*)、铜锈环棱螺(*Sinotaia aeruginosa*)、德永雕翅摇蚊(*Glyptotendipes tokunagai*)、黑头二叉摇蚊(*Dicrotendipes nigrocephalicus*)。

3.3 鱼类群落特征

鱼类是水生态系统中重要消费者和指示物种,共调查得到19种,6月和9月均为17种。以鲤形目(Cypriniformes)为主,占比68.42%(13种);鲈形目(Perciformes)4种(21.05%);鲇形目(Siluriformes)和合鳃目(Synbranchiiformes)各1种。鲤形目中鲤科(Cyprinidae)和花鳅科(Cobitidae)分别占比84.62%和15.38%。鲈形目中沙塘鳢科(Odontobutidae)、虾虎鱼科(Gobiidae)、斗鱼科(Belontiidae)、鳢科(Chaniidae)各1种。鲇形目为鲿科(Bagridae),合鳃目为合鳃科(Synbranchidae)。

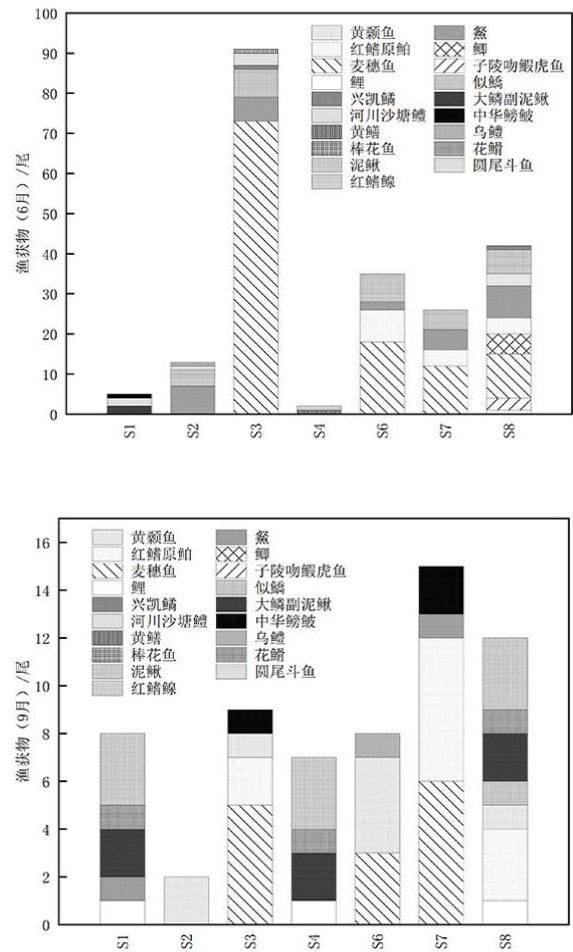


图6 渔获物数量图

共采集到鱼类275尾,6月和9月分别为214和61尾。渔获物中麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)最多,128尾占比46.55%;鳊(*Hemiculter leucisculus*)和似鲮(*Toxabramis swinhonis*)均为30尾,分别占比10.90%;红鳍原鲌(*Cultrichthys erythropterus*)27尾,占比9.82%。根据渔获数量,优势种为麦穗鱼、鳊和似鲮,鱼类数量都占到所采集鱼类总数的10%以上^[8]。在各监测点位中,S3(6月)渔获物最多,为91尾;S4(6月)和S2(9月)最少,分别为2尾(见图6)。

鱼类按摄食食性可分为植食性、肉食性、碎屑食性和杂食性,动物园野生鱼类中杂食性最多,共10种,分别为鲤(*Cyprinus carpio*)、麦穗鱼、鲫(*Carassius auratus*)、鳊、似鲮、棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)、大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)和红鳍鲮(*Sarcocheilichthys sciistius*);肉食性鱼类8种,分别为花鲢(*Hemibarbus maculatus*)、红鳍原鲌、圆尾斗鱼(*Macropodus chinensis*)、黄颡鱼(*Tachysurus fulvidraco*)、子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*)、乌鳢(*Channa argus*)、河川沙塘鳢(*Odontobutis potamophila*)和黄鳊(*Monopterus albus*);碎屑食性鱼类2种,为中华鲮(*Rhodeus sinensis*)、兴凯鲮

(*Acheilognathus chankaensis*)。

3.4 两栖和爬行动物分布特征

两栖和爬行动物是食物链的中级消费者,更是环境变化的重要指示器。共调查得到两栖动物1目1科2种,占历史记录物种的25%,均属无尾目(*Anura*)蛙科(*Ranidae*)。从个体数量看,调查记录到27只,其中,黑斑侧褶蛙(*Pelophylax nigromaculatus*)25只,美洲牛蛙(*Lithobates catesbeiana*)2只。黑斑侧褶蛙92%主要分布于S8北岸百木园溪流两侧,8%分布于S3岸边附近。非洲牛蛙全部发现于S4岸边附近。

爬行类2目3科4种,占历史记录物种的15.38%。从目的组成上看,分别为龟鳖目(*Testudines*)和有鳞目(*Squamata*);从科的组成上看,包括地龟科(*Geoemydidae*)、泽龟科(*Emydidae*)、壁虎科(*Gekkonidae*)等。从个体数量看,记录到爬行类50只,其中,无蹼壁虎(*Gekko swinhonis*)42只,密西西比红耳龟(*Trachemys scripta elegans*)5只,台湾花龟(*Mauremys sinensis*)2只,黄腹滑龟(*Trachemys scripta scripta*)1只。无蹼壁虎主要发现于园区内S1、S3、S6附近有灯光区域。密西西比红耳龟、黄腹滑龟、台湾花龟均出现在S8附近水面。

4 讨论

4.1 动物园对城市水生野生动物栖息的作用

在人类活动的影响下,城市生态系统生物多样性保护存在着栖息地丧失及生境破碎化等众多挑战^[9]。动物园水体与长河相连接,属于北京北运河水系。根据《2022年北京市水生生态监测及健康评价报告》,北运河水系全年监测到浮游动物种类为13-50种,密度为255-1629 ind./L;大型无脊椎底栖动物种类为4-29种,密度为2-137 ind./m²;累计鱼类物种数20-32种。相比之下,动物园浮游动物和底栖动物种类数高于北运河水系监测结果,浮游动物和底栖动物密度处于北运河水系监测范围内^[10]。动物园鱼类物种数与北运河水系2022年监测结果较为吻合^[10]。有研究表明,北运河水系南沙河及北运河下段鱼类组成以鲤形目为主,占比为64.2%,与动物园调查结果接近,与北京整体鱼类群落组成结构特征一致^[11]。不同的是,北运河优势种主要为大鳞副泥鳅、麦穗鱼和泥鳅,动物园优势种为麦穗鱼、鲮和似鲮,优势种均为杂食性鱼类,研究表明,鲮和似鲮更多以大型浮游动物为食,相比泥鳅而言,所生活水体环境更优^[12]。调查得到的动物园相对更多的水生动物种类与清洁指示物种表明,作为城市生态系统的生境斑块,动物园在区域生态环境中为生物栖息提供了良好的重要环境^[9]。

4.2 季节变化下水生动物群落特征与多样性指数演变

季节变化是水生动物群落结构和特征变化的主要因素之一^[13]。浮游动物由于个体小和发育时间短,对环境变化较为敏感,有研究表明,浮游动物丰度自春季开始增长,于夏季达到高峰,秋季逐渐呈下降趋势,而与丰度变化不同,多样性指数呈现相反的变化过程,即春季较高而秋季降低^[14]。动物园的调查中发现,浮游动物密度和生物量春夏季高于夏秋季,多样性指数夏秋季高于春夏季,变化规律较为一致。底栖动物以节肢动物门和

软体动物门为主,密度和生物量春夏季高于夏秋季,而多样性指数变化不显著,这与北运河区域其他研究结果较为一致^[15]。调查得到两栖类和爬行类动物种类数较少,与调查期间降雨偏少可能有关^[16]。

4.3 重要指示物种分析

动物园底栖动物种类和多样性指数变化不大,但各监测点位间存在差异,这与底栖动物长期栖息于水体底质中,活动场所相对固定,生物迁移能力较弱的生活习性有关,因此以底栖动物评价群落及生态系统健康水平是国内学者常用的评价方法^[17,18]。底栖动物多样性指数处于居中水平(平均值1.95和2.13),远高于北运河流域0-1.01的多样性指数值,与动物园来水水质较好,园区水体受扰动少有关^[19]。北运河水系底栖动物优势种群为软体动物门,而动物园底栖动物优势种群为软体动物门和节肢动物门^[9]。底栖动物耐污值是生物对外界各种污染因子的忍耐力,是生物在长期适应环境的过程中逐渐演化形成的^[20]。动物园中底栖动物主要为耐污类群,未发现耐污能力较差的敏感种,这与动物园水体流动性较小有关,更容易造成污染物质附着和沉积在水体底部,应加强水体流动,以提升水生生物栖息环境质量^[21]。

2023年1月1日起开始实施的《北京市重点保护野生动物名录》,对北京市两栖类、鱼类等物种均进行了更新修订。此次调查记录到的红鳍鲌已被移出名录,但新增的物种花鲮在本次调查中有被发现。同时黑斑侧褶蛙和无蹼壁虎分别为IUCN近危和易危物种,体现了动物园水生野生动物资源保护的重要性^[22]。本次记录到外来入侵物种美洲牛蛙,同时发现大量的河川沙塘鳢被认为是外来物种^[23]。随着近些年北京市水生态环境质量持续提升,水生生物栖息环境逐渐改善,外来物种传播风险监测与防范是需要重点关注的内容。

5 结论

动物园园区内水体水生野生动物调查得到浮游动物63种,密度范围为7-2865 ind./L。底栖动物34种,密度范围为10-424 ind./m²,以一般耐污类群为主。鱼类19种,杂食性最多,优势种为麦穗鱼、鲮和似鲮,调查得到《北京市重点保护野生动物名录》(2023年)中收录物种花鲮。两栖动物和爬行动物分别为2种和4种,黑斑侧褶蛙和无蹼壁虎分别为IUCN近危和易危物种。

[基金项目]

北京动物园圈养野生动物技术北京市重点实验室开放课题(ZDK202309)。

[参考文献]

- [1]孙双月,赵宁,王歆宇,等.北京动物园湖水MBR水处理系统改造工程的应用研究[J].当代化工研究,2020,(23):98-99.
- [2]蒙倩彬.基于生物多样性保护的城市生态廊道研究[D].北京林业大学,2016.
- [3]于亚男,亓畅,黄越,等.再生水补给型城市景观水体的水生生物群落特征——以圆明园为例[J].环境科学学报,2022,42(03):110-119.

- [4]时晓.北京水生野生动物保护工作探究[J].中国水产,2022,(04):69-72.
- [5]崔多英,滑荣,赵娟,等.北京动物园野生鸟类多样性调查[J].野生动物学报,2018,39(04):845-851.
- [6]李艳辉,崔雅芳,郭金辉,等.北京动物园植物应用调查与分析[J].林业调查规划,2023,48(06):201-206.
- [7]宋利培,牟宁宁,崔雅芳,等.北京动物园植物多样性调查分析[J].农业与技术,2016,36(22):184-185.
- [8]郁尧山,张庆生,陈卫民,等.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[J].水产学报,1986,(02):137-149.
- [9]蒙倩彬.基于生物多样性保护的都市生态廊道研究[D].北京林业大学,2016.
- [10]北京市水务局.2022年北京市水生态监测及健康评价报告.北京,2023.
- [11]杜龙飞,徐建新,李彦彬,等.北京市主要河流鱼类群落的空间格局特征[J].环境科学研究,2019,32(03):447-457.
- [12]刘鹏飞,景丽,任洸,等.固城湖鱼类群落结构现状及其与环境因子的关系[J].大连海洋大学学报,2022,37(05):841-849.
- [13]李瑞娇,齐喜荣,王益昌,等.黄河陕西段浮游动物群落结构时空动态及与环境因子的关系[J].水生态学杂志,2019,40(6):54-60.
- [14]张蕾,郭硕,晁春国,等.北京城市副中心新建景观水体的水生态环境变化规律[J].环境科学研究,2022,35(04):989-998.
- [15]王汨,张玥彤,汪冰,等.基于底栖动物群落季节性变化的北运河水环境监测评价[J].宜宾学院学报,2022,22(06):95-99.
- [16]李建,滕扬,赵建喜,等.北京市密云区两栖爬行动物多样性[J].野生动物学报,2023,44(01):146-152.
- [17]王琦琳,李亚翠,王旭,等.河流生态健康评价中底栖动物采样方法研究进展[J].环境生态学,2021,3(07):36-41.
- [18]李文君,康立新,赵燕楚,等.基于大型底栖动物完整性指数的白洋淀湿地水生态系统健康状况评价研究[J].环境科学与管理,2022,47(03):164-168.
- [19]胡小红,左德鹏,刘波,等.北京市北运河水系底栖动物群落与水环境驱动因子的关系及水生态健康评价[J].环境科学,2022,43(01):247-255.
- [20]邢树威,王俊才,丁振军,等.辽宁省大型底栖无脊椎动物耐污值及水质评价[J].环境保护科学,2013,39(03):29-33.
- [21]莫竞瑜,池仕运,王竹,等.城市人工浅水湖泊底栖动物群落结构及影响因素分析[J/OL].水生态学杂志,1-11[2024-04-02].
- [22]张春光,赵亚辉,邢迎春,等.北京及其邻近地区野生鱼类物种多样性及其资源保育[J].生物多样性,2011,19(5):597-604.
- [23]杨丹妮,王军红,常静.清水水生物状况监测成果分析及评价[J].水资源开发与管理,2024,10(01):45-52.

作者简介:

张蕾(1988-),女,汉族,山西大同人,硕士,高级工程师,研究方向:水生态环境科学研究与应用。