

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20180723.001

李相林,谢华,彭波,等.大藤峡水利枢纽施工初期对冬季水鸟群落的影响[J].广西科学,2018,25(6):684-693.

LI X L, XIE H, PENG B, et al. Impact of Datengxia gorge water conservancy on waterfowl communities in winter at the early stage of construction[J]. Guangxi Sciences, 2018, 25(6): 684-693.

大藤峡水利枢纽施工初期对冬季水鸟群落的影响* Impact of Datengxia Gorge Water Conservancy on Waterfowl Communities in Winter at the Early Stage of Construction

李相林^{1,2}, 谢华^{1,2**}, 彭波¹, 杨瑞刚^{1,2}, 谢洲¹

LI Xianglin^{1,2}, XIE Hua^{1,2}, PENG Bo¹, YANG Ruigang^{1,2}, XIE Zhou¹

(1. 广西环境保护科学研究院,广西南宁 530022;2. 广西高校西江流域生态环境与一体化发展协同创新中心,广西南宁 530022)

(1. Scientific Research Academy of Guangxi Environmental Protection, Nanning, Guangxi, 530022, China; 2. The Collaborative Innovation Center of the Ecological Environment & Integration Development in the Xijiang River Basin, Nanning, Guangxi, 530022, China)

摘要:【目的】探讨水利枢纽施工初期水鸟群落多样性以及不同类群水鸟在施工活动影响下的变化趋势,可为后续开展深入的课题研究以及制定更为有针对性的水鸟群落保护措施提供参考依据和数据支撑。【方法】2015—2018年的冬季(1—2月),研究区域内共选取4条代表性样带(施工区域3条、背景区域1条)进行水鸟种类、数量、生境状况、取食方式等野外调查,计算水鸟丰富度、物种多样性、优势度、取食生态位宽度等指数。【结果】在大藤峡水利枢纽主要影响区域共记录到水鸟12种,隶属6目9科,其中留鸟5种(占41.7%)、冬候鸟5种(占41.7%)、旅鸟2种(占16.6%)。研究区域水鸟群落优势种($R_B > 10$)为矶鹬(*Actitis hypoleucos*)、白鹡鸰(*Motacilla alba*)、理氏鸫(*Anthus richardi*)、黑喉鸫石鸫鸟(*Saxicola torquata*);普通种($1 < R_B \leq 10$)为普通翠鸟(*Alcedo atthis*)、灰鹡鸰(*Motacilla cinerea*);其余为稀有种。其中背景区域的水鸟种类(6.00 ± 0.00 种)、数量(840.50 ± 9.29 只)、多样性指数(1.485 ± 0.004)趋于平稳,变动较小;施工区域的水鸟种类(8.00 ± 1.85 种)、数量(601.50 ± 287.76 只)、多样性指数(1.589 ± 0.220)波动相对较大,且随着施工进程的推进均出现了不同程度的减少。不同优势度水鸟的取食生态位宽度差别较大,表现为优势种(6.79 ± 1.27) > 常见种(3.63 ± 0.07) > 稀有种(2.48 ± 0.30)。【结论】大藤峡水利枢纽主要影响区域的冬季水鸟群落结构以冬候鸟为主,且各物种的体型较小。体型较大的游禽、鹭科种类以及大型鸫鹛类在研究区域基本未有出现的记录。施工活动明显造成了冬季水鸟种类和数量的减少,水鸟群落多样性与施工强度呈现显著负相关关系。生态位宽度值较高的优势种对环境适应程度较高,故施工活动对其的影响较小,而对常见种的影响次之,对生态位宽度值较低的稀有种影响最大。

关键词:水利枢纽 施工初期 水鸟群落 多样性 取食生态位

中图分类号:Q959.7 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2018)06-0684-10

收稿日期:2018-01-29

作者简介:李相林(1980—),男,高级工程师,主要从事生物多样性研究工作。

* 广西科学研究与技术开发计划项目(2015BC14018)资助。

** 通信作者:谢华(1978—),女,博士,高级工程师,主要从事生态规划及环境保护研究工作,E-mail: xiehuagx@139.com。

Abstract: [Objective] The purpose of this study was to survey the variation trend of waterfowl community diversity and species of different dominance at the early stage of construction, and provide reference and data support for further in-depth research and the formulation of more tar-

geted protection measures for waterfowl communities. **【Methods】**The fieldwork was conducted in the winter(January—February)of 2015—2018. Four representative sample strips (3 transects in the construction area and 1 transect in the background area) were selected to investigate the species, number, spatial distribution, and forging patterns of waterfowl in the fixed transect. The richness, species diversity, dominance and forging niche breadth index of waterfowl were calculated based on the information of birds, species and habitats. **【Results】**Through field investigation, A total of 12 species of waterfowl were recorded in the main impact area of Datengxia gorge water conservancy, belonging to 9 families and 6 orders. Among them, 5 species were resident birds (41. 7%), 5 species were winter birds (41. 7%), and 2 species were travelers (16. 6%). The dominant species (frequency index $R_B > 10$) were Common Sandpiper (*Actitis hypoleucos*), White Wagtail (*Motacilla alba*), Richard's Pipit (*Anthus richardi*), Siberian Stonechat (*Saxicola torquata*). The common species ($1 < \text{frequency index } R_B \leq 10$) were Common Kingfisher (*Alcedo atthis*) and Grey Wagtail (*Motacilla cinerea*). The rest were rare species. The waterfowl species (6.00 ± 0.00), the number (840.50 ± 9.29) and the diversity index (1.485 ± 0.004) in the background area tended to be stable. The waterfowl species (8.00 ± 1.85), the number (601.50 ± 287.76) and the diversity index (1.589 ± 0.220) in the construction area fluctuated relatively large, and with the progress of the construction, they all decreased in varying degrees. The forging niche breadth of waterfowl with different dominance was different, showing the dominant species (6.79 ± 1.27) > common species (3.63 ± 0.07) > rare species (2.48 ± 0.30). **【Conclusion】**Winter birds was the main component of the winter waterfowl community in the main impact area of Datengxia gorge water conservancy. They were small size, larger types of swimming birds, herons, and large scale snipe were basically not recorded in the study area. The construction activities significantly reduced the species and number of waterfowl in winter. There was a significant negative correlation between the diversity of waterfowl communities and the intensity of construction. The dominant species with higher niche breadth value had a higher degree of adaptation to the environment, and the construction activities had less influence on them, while the influence on common species was second, and the impact on the rare species with low niche breadth was the greatest.

Key words: water conservancy, early stage of construction, waterfowl communities, diversity, forging ecological niche

0 引言

【研究意义】水利枢纽工程建设对鸟类群落多样性的影响,很早就已经受到生态学者的关注^[1-3]。由于鸟类在野外较为容易观察且对生态环境较为敏感,常被作为指示性物种用于研究工程建设对野生动物的生态效应^[4-6]。随着施工活动的推进,不同的施工阶段对鸟类群落结构会产生怎样的影响,鸟类群落多样性又是如何变化的,一直以来都鲜有报道。本研究在大藤峡水利枢纽施工初期(施工开始后的3年里)开展鸟类群落调查研究,拟找出施工初期的不同施工阶段对鸟类群落影响的一些基本规律,为科学提出施工期的野生动物保护对策提供参考依据和数据支撑。

【前人研究进展】目前,在水利枢纽工程建设对鸟类群落影响研究的领域,大致可分为工程建设前后对比分析型以及工程建设前预测型。在工程建设前后对比分析型的研究中,周放等^[7]分别在岩滩水电站建设前(1985—1986年)以及电站建成蓄水后(1995—1996年)进行了鸟类群落多样性的调查,并对水域中的鸟类群落、常见鸟类多度、群落鸟种多样性进行对比分

析。周材权等^[8]在二滩水电站建成前后,根据植被状况对不同生境的鸟类多样性进行了研究分析。张荣^[9]通过分析澜沧江漫湾水电站建设前后的生态专项调查成果,对其物种多样性回顾性地进行了评价以及变化趋势预测。在工程建设前预测型的研究中,周放等^[10]依据在长洲水利枢纽建设前的3次调查成果,并结合以往的研究经验对水库蓄水后游禽、涉禽的多样性变化进行了预测分析。伍自力等^[11]在火溪河水牛家水电站建设前开展鸟类分布状况调查,并在此基础上预测水电工程在施工期以及运营期对库区鸟类,尤其是对珍稀特有种的影响,提出了相应的避害促利措施。李明辉等^[12]在鄱阳湖水利枢纽工程建设前,通过分析候鸟的栖息地环境、食物条件以及对湖区各站多年实测水位资料,预测了鄱阳湖水利枢纽工程对候鸟栖息环境的影响,并提出了相应对策。**【本研究切入点】**以往有关水利枢纽工程对鸟类群落多样性的影响研究基本是采用对比分析工程建设前、后调查数据进行分析的方法。然而,在工程施工期间,鸟类群落结构现状及其多样性是如何动态变化的,尚没有学者进行过专门的研究。因此,本研究在

工程施工初期进行鸟类群落多样性的跟踪调查,探讨水利枢纽工程施工对鸟类群落多样性影响的一些基本规律。【拟解决的关键问题】在大藤峡水利枢纽主要影响范围内,对施工区域以及背景区域的鸟类的种类、数量、空间分布及其活动情况进行详细调查,通过对比分析工程建设前(2015年)以及工程施工开始后的3年(2016—2018年)的鸟类群落多样性数据,找出在施工活动影响下,鸟类群落多样性的动态变化过程及其原因,并为科学提出施工期的野生动物保护对策提供参考依据和数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

大藤峡水利枢纽工程位于珠江流域西江水系的黔江河段,坝址在广西桂平市黔江彩虹桥上游 6.6 km 处,地理坐标为东经 110°01',北纬 23°29'。坝址上游控制流域面积 198 612 km²,约占西江水系流域总面积的 56.2%。研究区域地处我国低纬度地带,属亚热带季风气候区,区域气候特点主要体现如下:春季阴雨连绵,雨日较多;夏季高温湿热,暴雨频繁;秋季常受台风入侵影响;冬季严寒天气很少。在坝址上游地带,由于地壳隆升强烈,沿黔江两岸形成陡峭的 V 字形峡谷,地势陡峭,两岸植被覆盖率较高,植被类型以常绿阔叶林及灌丛为主;坝址往下游方向,附近河谷由 V 字形峡谷形态迅速变化为 U 字形宽谷形态,大小不一的浅滩分布较多。研究区域地处广西黔江河谷地带,河谷两岸一级阶地主要为农田生境及稀疏林地灌丛。区域人类耕作、牧渔等活动频繁,人为干扰较大;河道水流湍急,且运输货船来往较频繁,每 15~20 min 便有一艘货船经过研究区域河段。

大藤峡水利枢纽工程是国务院批准的《珠江流域综合利用规划》《珠江流域防洪规划》中的珠江流域防洪控制性枢纽工程,是红水河十大梯级规划中的最后一级。大藤峡水利枢纽工程施工总工期为 9 年,施工开始后的 3 年为施工初期。本研究在工程施工建设前(2015年)以及施工初期(2016—2018年)进行。2015年主要为征地拆迁、移民安置等前期准备工程,动土施工量很少;2016年主要为“三通一平”以及少量的土方开挖工程;2017—2018年主要为大量的土方开挖,以及主体工程逐步开始动工等。

1.2 水鸟类型、取食生境及取食方法的划分

水鸟是指在生态学上依赖湿地生存的鸟类^[13]。根据研究区域水鸟活动的特点,本研究将经常在河流

湿地生境取食以及与河流湿地生境密切相关的鸟类(主要为傍河鸟类以及溪流鸟类)划分为水鸟类群。根据水鸟取食活动特点,将调查样带划分为浅水砂石区、河漫滩、河岸灌草丛等 3 类生境。其中,(1)浅水砂石区生境:河面与河岸交界处,水位较浅,出露部分多为裸露的砂石;(2)河漫滩生境:洪水来时被淹没,洪水退去时出露,并间杂有一定数量的灌木和草本植物;(3)河岸灌草丛生境:紧邻河面,草本植被以狗牙根(*Cynodon dactylon*)、粘人草(*Bidens pilosa* L.)为主,灌木植被则以水柳(*Homonoia riparia*)、黄荆(*Vitex negundo* L.)为主。根据鸟类取食行为特点,将取食方法分为拾取、探取、追捕 3 种方式^[14]。其中,(1)拾取:用嘴直接从基层表面啄取静止或移动极缓慢的食物;(2)探取:用嘴或爪探取基层表面之下的食物,然后啄食;(3)追捕:在空中、地面或水面追赶捕食移动的猎物。

1.3 调查方法

除冬季外,春季、夏季、秋季的鸟类群落由于迁徙等因素影响,鸟类群落结构波动性较大,稳定性相对较差,对于分析施工活动对水鸟产生的影响会存在一定偏差,故本研究选择在当地鸟类越冬期(1—2月)进行水鸟群落多样性研究。研究组于工程施工前期(2015年)以及施工初期(2016—2018年)调查工程主要影响区域的水鸟群落,主要采用样带法,根据施工区域的实际影响范围以及鸟类分布相对较多的区域,共选取了 4 条代表性样带,样带长度均为 2.5 km(图 1、表 1)。样带选取在坝址施工主要影响范围以及未受施工影响的河谷地带。采用步行方法进行样带调查,步行速度为 1.5 km/h,利用 10×24 倍双筒望远



图 1 研究区域及样带位置

Fig. 1 Location of study area and bird survey line transect

表 1 研究区域样带基本情况

Table 1 Sample lines informations in research area

样带 Transect	长度 Length (km)	样带特点 Transect features	调查区域 Investigation area
1	2.5	河岸一侧为龙屈塘、徐屋坝两处较为平缓的河漫滩,并伴有少量草本植物;河岸另一侧为以狗牙根、粘人草为主的草本植被,以及低矮灌丛、次生竹林、阔叶林等林地 On the side of the riverbank, there were two relatively gentle flood plain along the Longqutang and Xuwuba villange, accompanied by a small amount of herbaceous plants. On the other side of the riverbank, herbaceous vegetation dominated by <i>Cynodon dactylon</i> and <i>Bidens pilosa</i> L., and low woodland shrubs, bamboo forests and broad-leaved forests	背景区域 Background area
2	2.5	河岸一侧为较开阔的努滩,并生长有大量的草本植物;河岸另一侧主要为次生林植被,主要为竹林、用材林、经济林、果类作物等 On the side of the riverbank, it was the relatively open Nutan, growing a large number of herbaceous plants. On the other side of the riverbank, it was the secondary forest vegetation, the main tree species were bamboo forest, timber forest, economic forest, fruit crops and so on	施工区域 Construction area
3	2.5	样带所在河流为南木江(汇入黔江的支流),河流较窄(宽约 8 m),河岸两侧主要为草坪和灌草丛,以及农田、次生林区 The river where the transect was located was Nanmujiang (the tributary of the Qianjiang). The river was narrow (about 8 m wide). The banks of the river were mainly lawns and shrubs, as well as the farmland and the secondary forest	施工区域 Construction area
4	2.5	河岸一侧为白兰村河漫滩,河漫滩长有大片以水柳为主的灌木;河岸另一侧为以狗牙根为主的草本植被,往外为次生林地及农田 On the side of the riverbank, it was the flood plain near the Bailan village. The floodplain has large shrubs dominated by <i>Homonioia riparia</i> . On the other side of the riverbank, herbaceous vegetation dominated by <i>Cynodon dactylon</i> . Secondary forestland and farmland was near the village	施工区域 Construction area

镜观察记录样带两侧 50 m 范围鸟类的种类、数量、取食方式、生境状况等信息。野外调查在天气较好的工作日进行,每月选择 15 d 进行调查,每天的调查时段选择鸟类活动相对较活跃的时段,一般为 6:00—10:00 和 15:00—19:00。

1.4 统计方法

度量鸟类群落多样性的指标主要有丰富度指数、Shannon-Wiener 指数等。根据调查记录的鸟类种类、数量、生境状况等信息,计算各样带内鸟类群落多样性指数。

(1)丰富度指数(S):即物种的总数。

(2)物种多样性指数(H'),采用 Shannon-Wiener 指数: $H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$ 。式中, H' 为多样性指数, P_i 为物种的相对频度。

(3)取食生态位宽度(B),采用 Simpson 指数:

$$B = 1 / \sum_{i=1}^n P_{ij}^2, P_{ij} \text{ 代表 } j \text{ 种在 } i \text{ 项中出现的频率。}$$

(4)频率指数(R_B), $R_B = (d/D) \times (n/D)$ 。式中, d 为遇见该种鸟类的天数, n 为遇见该种鸟的总数量, D 为工作总天数。频率指数 $R_B > 10$ 为优势种, $1 < R_B \leq 10$ 为普通种, $R_B \leq 1$ 为稀有种。

样带受施工影响的面积变化,通过遥感影像数据进行识别计算。数据分析采用 SPSS13.0 的独立样本 T 检验对施工区域与背景区域的鸟类群落多样性进行差异性检验,采用相关分析方法检验样带面积变化与鸟类群落多样性变化的相关性。

2 结果与分析

2.1 水鸟群落结构及多样性

由表 2 可知,2015—2018 年冬季调查期间,大藤峡水利枢纽工程研究区域 4 条样带共记录到水鸟 12 种,隶属 6 目 9 科。从居留型来看,留鸟有黑水鸡(*Gallinula chloropus*)、普通翠鸟(*Alcedo atthis*)、白鹤鸕(*Motacilla alba*)、红尾水鸕(*Rhyacornis fuliginosus*)、褐河乌(*Cinclus pallasii*)等 5 种,占 41.7%;冬候鸟有金眶鸕(*Charadrius dubius*)、矶鸕(*Actitis hypoleucos*)、灰鸕鸕(*Motacilla cinerea*)、理氏鸕(*Anthus richardi*)、黑喉石鸕鸟(*Saxicola torquata*)等 5 种,占 41.7%;旅鸟有凤头鸕鸕(*Podiceps cristatus*)、中华秋沙鸕(*Mergus squamatus*)等 2 种,占 16.6%,二者在调查期间仅有一次观察记录。从保护级别来看,属于国家 I 级重点保护的鸟类有中华秋沙鸕。从地理区系统统计结果可知,古北界种有 4 种,占 33.3%;广布种有 6 种,占 50%;东洋界种有 2 种,占 16.7%。在本研究中,由于理氏鸕主要在河岸灌草丛、河漫滩的灌草丛活动取食,而黑喉石鸕鸟除了在上述生境活动取食外,也常见其在河面上空采用追捕的方式取食昆虫,与河流湿地生境关系密切,故本研究将二者纳入水鸟种类统计范围。频率指数 R_B 计算结果表明,研究区域优势种($R_B > 10$)有矶鸕、白鹤鸕、理氏鸕、黑喉石鸕鸟等 4 种;普通种($1 < R_B \leq 10$)有普通翠鸟、灰鸕鸕等 2 种;其余 6 种类为稀有种。

表 2 水鸟群落组成及数量

Table 2 Avian community composition and number

物种 Species	个体数 Individual number				频率指数 R_B Frequency index	地理区系 Avifauna	居留型 Residence type
	2015	2016	2017	2018			
凤头鸊鷉 <i>Podiceps cristatus</i>	1	0	0	0	0.000 069	Pa	P
中华秋沙鸭 <i>Mergus squamatus</i>	4	0	0	0	0.000 3	O	P
黑水鸡 <i>Gallinula chloropus</i>	22	18	3	0	0.060	Ws	R
金眶鸬 <i>Charadrius dubius</i>	41	34	17	0	0.275	Pa	W
矶鹬 <i>Actitis hypoleucos</i>	811	775	532	407	15.431	Pa	W
普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>	221	210	121	76	5.233	Ws	R
白鹡鸰 <i>Motacilla alba</i>	1 174	1 150	838	698	32.167	Ws	R
灰鹡鸰 <i>M. cinerea</i>	95	93	54	34	1.142	Ws	W
理氏鸫 <i>Anthus richardi</i>	509	496	340	257	10.903	Ws	W
红尾水鸲 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	47	44	15	0	0.294	O	R
黑喉石鸻鸟 <i>Saxicola torquata</i>	465	437	314	242	10.125	Pa	W
褐河乌 <i>Cinclus pallasi</i>	8	7	0	0	0.016	Ws	R

注: R—留鸟, W—冬候鸟, P—旅鸟, Pa—古北界种, O—东洋界种, Ws—广布种

Note: R—Resident, W—Winter migrant, P—Passage migrant, Pa—Palearctic species, O—Oriental species, Ws—Widespread species

在未受施工影响的情况下(2015年),对比分析4条样带水鸟群落的多样性。根据表3中2015年4条样带的统计数据计算,研究区域的水鸟群落种类和数量偏少,多样性指数(H')总体偏低(1.517 ± 0.339),小于大多河流湿地水鸟群落^[15-17]。研究区域水鸟群落多样性指数(H')表现为样带2(1.882) > 样带4(1.702) > 样带3(1.632) > 样带1(1.481),这主要与各样带生境的复杂性有较大的关系。研究者调查发现,样带1有一大片面积约为84 hm²、名为弩滩的河漫滩礁石,弩滩上长有多种灌草丛植被,生境类型复杂多样,并且高矮不一的礁石具备很好的隐蔽条件,非常利于各种水鸟的栖息、取食以及躲避捕食。样带4也分布有一片面积约为12 hm²的河漫滩,虽然其河漫滩上灌草丛植被相对单一,主要以水柳为主,但是大片的灌草丛仍然为水鸟提供了很好的栖息以及躲避捕食场所。样带1生境相对最为简单,且其河漫滩较为平缓,少有灌草丛植被分布,其多样性指数处于最低值。

2.2 施工区域与背景区域水鸟群落的比较分析

将调查样带分为未受电站施工影响的背景区域(样带1)以及在施工影响范围内的施工区域(样带2、样带3、样带4)2大类,对比研究出现在不同区域水鸟种类、个体数量以及多样性指数的差异性。由表3可知,在2015—2018年样带调查中,背景区域的水鸟种类(6.00 ± 0.00 种)较为稳定,未出现种类减少的现象。施工区域中3条样带的水鸟种类(8.00 ± 1.85 种)变化明显,均出现不同程度的减少。其中,样带2

中的黑水鸡、金眶鸬、红尾水鸲在2018年已无观察记录,褐河乌则从2017年开始无观察记录;样带3中黑水鸡在从2017年开始已无观察记录;样带4中黑水鸡、金眶鸬、红尾水鸲在2018年已无观察记录。数据分析显示,背景区域与施工区域的水鸟种类数量存在显著性差异($t = 3.728, P = 0.003$)。

对于水鸟群落的个体数量,背景区域(840.50 ± 9.29 只)趋于平稳,数量变动较小。施工区域3条样带水鸟个体数量(601.50 ± 287.76 只)波动较大,均出现了不同程度的减少,且每条样带在2016年(3.22%~8.61%)减少的幅度最低,在2017年(38.82%~58.65%)减少幅度次之,在2018年(57.01%~79.89%)减少幅度最大。数据分析显示,背景区域与施工区域的水鸟个体数量存在显著性差异($t = 2.873, P = 0.015$)。因此,从水鸟群落的种类和数量上看,背景区域与施工区域均存在显著性差异,对施工影响水鸟群落有较好的指示作用。

从水鸟群落多样性指数进行分析,背景区域(1.485 ± 0.004)的多样性指数值变化很小,无明显波动。施工区域3条样带的指数值(1.589 ± 0.220)变化不大,数据分析显示,背景区域与施工区域的水鸟群落多样性指数不存在显著性差异($t = 0.925, P = 0.079$),对施工影响水鸟群落的指示作用不明显,但施工活动造成3条样带的多样性指数下降是明显的,可见施工活动对水鸟群落多样性的影响仍然是客观存在的。

表 3 水鸟类群落指数观察值

Table 3 Observation value of avian community index

样带编号 Transect number	样带面积被 占用比例 Proportion of the transect area being occupied(%)	种类数 Species(number)	个体数 Individual number	多样性指数 H' Diversity index
样带 1(2015) Transect 1(2015)	0	6	852	1.481
样带 1(2016) Transect 1(2016)	0	6	844	1.490
样带 1(2017) Transect 1(2017)	0	6	832	1.486
样带 1(2018) Transect 1(2018)	0	6	834	1.483
样带 2(2015) Transect 2(2015)	0	11	778	1.882
样带 2(2016) Transect 2(2016)	2	10	711	1.836
样带 2(2017) Transect 2(2017)	35	9	476	1.654
样带 2(2018) Transect 2(2018)	78	6	256	1.437
样带 3(2015) Transect 3(2015)	0	7	711	1.632
样带 3(2016) Transect 3(2016)	2	7	687	1.622
样带 3(2017) Transect 3(2017)	44	6	294	1.549
样带 3(2018) Transect 3(2018)	80	6	143	1.036
样带 4(2015) Transect 4(2015)	0	10	1 056	1.702
样带 4(2016) Transect 4(2016)	5	9	1 022	1.687
样带 4(2017) Transect 4(2017)	25	9	632	1.608
样带 4(2018) Transect 4(2018)	36	6	454	1.426

2.3 不同施工强度对水鸟群落的影响分析

栖息地破坏是导致鸟类群落多样性减少的主要原因^[18]。根据现场调研,研究区域的施工活动对水鸟群落最直接的影响因子为施工挖填方对水鸟栖息地的侵占,导致水鸟栖息地丧失,进而造成水鸟种类和数量的减少,故本研究采用调查样带面积被占用比例这一参数衡量施工强度的大小。由表 3 可知,施工区域的 3 条样带面积从 2016 年开始,被施工侵占的面积逐年增加,相应的水鸟种类、数量以及多样性指数总体均呈现减少的趋势。2016 年施工区域的 3 条样带被占用面积的比例较小,仅为 2%~5%,相应的水鸟种类及数量减少的比例也较低。从 2017 年开始,样带被占用的面积比例增幅较大,面积比例达 25%~80%,相应水鸟减少的数量较为明显。其中,广西科学 2018 年 12 月 第 25 卷第 6 期

样带 2、样带 3 以及样带 4 在 2017—2018 年的水鸟数量较 2015 年分别减少了 38.82%、67.71%、58.65%、80.31%、40.16%、56.91%,尤其是样带 3 水鸟数量减少幅度较大,这与该样带面积被占用的比例(44%~80%)较高有较大的关系。

对施工区域 3 条样带水鸟群落的种类、数量以及多样性指数与不同施工强度进行相关性分析(表 4),结果显示,施工区域 3 条样带的水鸟群落多样性指数、数量与施工强度均呈现显著负相关关系,说明随着施工强度的增加,水鸟群落多样性指数与数量呈现相应减少的趋势,存在明显的线性关系。而水鸟种类则在样带 3 与样带 4 无显著相关关系,这说明样带 3 与样带 4 的水鸟种类变化相对较小,不存在明显的线性变化关系,但其种类数量总体减少的趋势仍然是客

观存在的。

表 4 施工强度与水鸟群落多样性指数的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of construction strength and diversity index of waterfowl communities

类别 Category	样带 2 Transect 2	样带 3 Transect 3	样带 4 Transect 4
多样性 Diversity	$r = 0.995$ $P = 0.005$	$r = 0.957$ $P = 0.043$	$r = 0.983$ $P = 0.017$
种类 Species	$r = 0.980$ $P = 0.020$	$r = 0.923$ $P = 0.770$	$r = 0.854$ $P = 0.146$
数量 Quantity	$r = 0.990$ $P = 0.010$	$r = 0.985$ $P = 0.015$	$r = 0.997$ $P = 0.003$

2.4 电站施工对不同优势度水鸟的影响分析

从表 5 可知,不同优势度水鸟的取食生态位值差别较大,其值表现为优势种(6.79 ± 1.26) > 常见种(3.63 ± 0.07) > 稀有种(2.04 ± 0.72)。本研究发现,稀有种的取食生境以及取食方式相对较为单一,其取食生态位值最低,对环境变化最为敏感,对施工干扰

表 5 水鸟取食生态位宽度

Table 5 Foraging niche breadth of waerfowl

频率指数 R_B Frequency index	物种 Species	取食生境百分比 Forging habitats data (%)			取食方式百分比 Forging manoeuvre data (%)			取食生境生态位宽度 The niche breadth of foraging habitats	取食方式生态位宽度 The niche breadth of foraging manoeuvre	取食生态位宽度 The niche breadth of foraging
		浅水砂石 Benc-hland	河漫滩 Flood plain	河岸灌草丛 Riparian brush grass	拾取 Glean-ing	探取 Pro-bing	追捕 Pur-suit			
$R_B > 10$	白鹤鹑 <i>Motacilla alba</i>	36	40	24	41	23	36	2.88	2.85	8.22
	矶鹬 <i>Actitis hypoleucos</i>	40	42	18	44	36	20	2.71	2.75	7.47
	理氏鸫 <i>Anthus richardi</i>	5	32	63	42	38	20	1.99	2.77	5.52
	黑喉石鹀鸟 <i>Saxicola torquata</i>	6	39	55	37	19	44	2.18	2.73	5.95
$1 < R_B \leq 10$	普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>	16	46	38	16	0	84	2.62	1.37	3.58
	灰鹤鹑 <i>Motacilla cinerea</i>	42	58	0	68	25	7	1.95	1.89	3.68
$R_B \leq 1$	黑水鸡 <i>Gallinula chloropus</i>	0	4	96	38	51	11	1.08	2.40	2.60
	金眶鸻 <i>Charadrius dubius</i>	85	15	0	62	10	28	1.34	2.12	2.84
	红尾水鹁 <i>Rhyacornis fuliginosus</i>	0	100	0	43	6	51	1.00	2.23	2.23
	褐河乌 <i>Cinclus pallasii</i>	0	100	0	55	8	37	1.00	2.24	2.24
	凤头鹳鹬 <i>Podiceps cristatus</i>	0	100	0	95	5	0	1.00	1.10	1.10
	中华秋沙鸭 <i>Mergus squamatus</i>	0	100	0	90	10	0	1.00	1.22	1.22

的难受程度也最低。本文调研结果显示,电站施工对黑水鸡、金眶鸻、红尾水鹁、褐河乌等稀有种的水鸟影响是最为显著的。随着施工进程的推进,稀有种逐渐从调查样带中消失。例如稀有种中的褐河乌在 2017 年开始从调查样带中完全消失,其次是黑水鸡、金眶鸻、红尾水鹁则在 2018 年从调查样带中完全消失。

常见种与优势种的取食生态位比稀有种相对要高,对施工干扰的耐受程度也高一些,二者未出现种类从调查样带消失的现象。从不同年份水鸟数量减少的百分比分析,电站施工对常见种与优势种水鸟影响程度差异不明显。其中,常见种数量在 2016—2018 年相比 2015 年减少百分比分别为 2.51%, 31.25%, 44.52%, 而优势种数量减少百分比分别为 3.41%, 31.60%, 45.79%, 二者数量减少的百分比基本处于同一水平。但从其绝对数量而言,相比优势

种,施工活动对常见种的影响更为显著。样带 2、样带 3 以及样带 4 中灰鹡鸰在 2018 年的数量仅为 1 只、1 只、2 只,而普通翠鸟的数量不到 20 只,随着施工进程的推进,二者可能很快便会从调查样带中消失。而优势种除了其绝对数量为各种类最高外,其取食生态位宽度也是最高的,对施工干扰的耐受程度以及对环境的变化适应程度也最高。调查发现,当部分河岸灌草丛以及河漫滩生境被施工侵占后,常在上述生境进行取食活动的黑喉石鹡鸰则会迁移到浅水砂石生境,并采用追捕的方式取食空中昆虫,以此适应环境的变化。此外,当浅水砂石、河漫滩生境被施工侵占后,矶鹬则会迁往河岸灌草丛生境进行取食活动,以扩大其取食活动范围。

3 讨论

通过 2015—2018 年共 4 年的冬季调查分析,可在很大程度上反映研究区域冬季水鸟群落状况。大藤峡水利枢纽工程研究区域留鸟与冬候鸟的种类均为 5 种,但冬候鸟(5 951 只)的个体数量是留鸟(4 652 只)的 1.27 倍。在优势种类中,除了最为常见的留鸟白鹡鸰外,其余 3 种(矶鹬、理氏鸚、黑喉石鹡鸰)均为冬候鸟;在稀有种中,除了冬候鸟金眶鸞外,其余 3 种(黑水鸡、红尾水鸞、褐河乌)均为留鸟。可见,研究区域的冬季水鸟群落以冬候鸟为主。虽然研究区域所处的河流湿地并不位于候鸟的主要迁徙路线范围^[19],但研究期间仍观察到有中华秋沙鸭、凤头鸞等个别种类将其作为中途停歇地进行短暂补给。由此可见,尽管研究区域越冬候鸟的种类及数量偏少,但保护好当地河流湿地生境,最大程度地减小施工干扰,并及时进行施工后的生态恢复,对冬候鸟的越冬以及旅鸟的中途停歇具有重要意义^[20]。从水鸟体型的角度分析,除了偶见一次的风头鸞、中华秋沙鸭等个体较大的游禽外,其余均为体型较小的种类,这可能与当地较大的人为干扰以及相对较低的生物量有关。一方面,大藤峡水利枢纽所处河段的来往货船较为频繁,同时伴有船舶的汽笛声、马达声以及少量的尾气污染,人为干扰强度较大。另一方面,研究区域河漫滩礁石较多,缺少开阔平坦的沙洲,且水流湍急,沿河两岸可捕获的鱼虾资源较为有限,浅水砂石区也难见贝类踪迹。因此,对生物量需求较大并且对人为干扰相对敏感的体型较大的游禽、鹭科种类以及大型鸞类基本未在研究区域出现。

对背景区域以及施工区域水鸟群落的种类、数量以及多样性指数进行显著性检验的结果表明,这 3 种

参数对施工影响水鸟群落的指示作用存在一定的差异。其中,水鸟群落种类与数量在施工区域与背景区域均表现为显著性差异,对施工活动影响水鸟群落有较好的指示作用,而多样性指数在施工区域与背景区域表现为不存在显著性差异,其指示作用不明显。这主要与各样带多样性指数值之间较小的差异有较大的关系,施工区域的多样性指数方差值为 0.220,背景区域的方差值仅为 0.004,且多样性指数值变动幅度远没有种类以及数量明显,因此,背景区域与施工区域的多样性指数的差异性无法在统计学上体现出来。但施工活动造成 3 条样带的多样性指数下降是明显的,施工活动对水鸟群落的影响仍然是客观存在的。此外,除水鸟群落多样性指数及数量与施工强度均呈现显著负相关关系外,样带 3 与样带 4 的水鸟种类与施工强度无显著相关关系,其数据分析也只是说明不存在明显的线性变化关系,但其种类数量总体减少的趋势仍然是客观存在的。卢文龙^[21]在对独山湖与昭阳湖鸟类群落的研究也表明,鸟类群落的种类、多样性、均匀性指数对人为干扰强度的指示功能存在较大差异,其均匀性指数未表现出显著性的差异。汪红星等^[22]对升金湖越冬水鸟研究发现,在一个越冬期,不同地点越冬水鸟的多样性指数与栖息地质量无显著相关性,但从长期来看,却存在密切相关关系。因此,各种统计参数由于数据个体间的差异小等原因,其统计分析结果有时无法完全反映客观研究事实,还需要与客观事实相结合分析。

电站施工活动对不同优势种类水鸟的影响存在较大的差别,总体表现为对稀有种的影响最大,常见种次之,对优势种的影响最小,这主要与各种类的取食生态位宽度值有较大的关系。取食生态位宽度值决定了鸟类对环境的适应能力^[23],可在一定程度上衡量施工活动对具体种类的影响大小。在本文研究中,稀有种水鸟的取食生境以及取食方式均相对单一集中,取食生态位宽度值最小,对环境的适应程度最低,最明显地体现在其种类在调查样带中的消失,而常见种与优势种均未出现在调查样带消失的现象。李斌等^[24]在韶赣高速公路研究施工活动对鸟类群落影响研究也有类似结论,单一生境和单一食性鸟类的回避作用更显著,其丢失的比例显著高于两种及以上生境类型的鸟类和杂食性鸟类。这也从另外一个角度说明,取食生态位宽度能度量物种对资源利用的多样化程度,一定程度上也反映了该物种的适应能力^[25]。由此可见,在施工活动不可避免的情况下,施工结束后及时进行河流湿地生境恢复,并营造多样化

的生境类型,对于恢复水鸟种群,尤其是对环境敏感的稀有种,具有极其重要的作用。一个地区鸟类多样性演化的影响因素很多,有些是短期的,有些则需要经过长时间才能表现出来,因此,其多样性演化不可能短期内完成^[7]。本研究只是在大藤峡水利枢纽施工初期对水鸟多样性的演化进行初步研究,时间跨度可能稍微不够长,研究时间的连续性也不高,且选取的影响因子不多,仅仅是对比研究不同年份冬季水鸟群落的多样性,因此本研究结果还不能完全反映大藤峡水利枢纽施工活动对水鸟群落的影响及其原因,只是特定时间、特定尺度的研究结果。但大藤峡水利枢纽施工活动对水鸟群落造成的影响是很明显的,其研究结果对于后续开展相应深入的课题研究以及制定更为有针对性的水鸟群落保护措施提供参考依据。

4 结论

大藤峡水利枢纽大坝施工主要影响区域冬季水鸟群落结构以冬候鸟为主,各种类体型较小,体型较大的游禽、鹭科种类以及大型鸨鹬类基本未有在研究区域出现的记录。水鸟群落种类和数量总体偏少,多样性指数偏低,河漫滩生境对于维持水鸟群落结构及其多样性具有重要的作用。施工活动明显造成了冬季水鸟群落种类和数量的减少,水鸟群落多样性与施工强度呈现显著负相关关系。生态位宽度值较高的优势种对环境适应程度较高,施工活动对其影响较小,对常见种影响次之,对生态位宽度值较低的稀有种影响最大。

参考文献:

[1] 邓其祥,余志伟,李建国. 试论二滩水库对雅砻江下游地区脊椎动物的影响[J]. 南充师院学报:自然科学版, 1986(1):41-57.
DENG Q X, YU Z W, LI J G. Preliminary discussion of the influence of the ER-TAN reservoir on vertebrates in the lower Ya-Long river[J]. Journal of Nanchong Normal College: Natural Science, 1986(1):41-57.

[2] 王祖祥. 龙羊峡地区鸟类现状及水库蓄水后演化预测[J]. 动物学杂志, 1989, 24(4):16-22.
WANG Z X. Current situation of birds in Longyangxia area and prediction of reservoir impoundment evolution [J]. Chinese Journal of Zoology, 1989, 24(4):16-22.

[3] 周放,刘小华,曹指南,等. 桂西北红水河中上游流域鸟类考察初报[J]. 动物学杂志, 1989, 24(5):19-24.
ZHOU F, LIU X H, CAO Z N, et al. A preliminary report on birds in the middle upper basin of the red water river in Northwest Guangxi[J]. Chinese Journal of Zoology, 1989, 24(5):19-24.

[4] PETTI K. Birds as a tool in environmental monitoring [J]. Annals Zoological Fennici, 1989, 26(3):153-166.

[5] 赵洪峰,雷富民. 鸟类用于环境监测的意义及研究进展[J]. 动物学杂志, 2002, 37(6):74-78.
ZHAO H F, LEI F M. Birds as monitors of environmental change[J]. Chinese Journal of Zoology, 2002, 37(6):74-78.

[6] 郑孜文,张春兰,胡慧建. 广州农田灌丛区鸟类多样性调查分析[J]. 南方农业学报, 2014, 45(6):1079-1083.
ZHENG Z W, ZHANG C L, HU H J. Bird diversity of farmland and scrub region in Guangzhou[J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(6):1079-1083.

[7] 周放,房慧伶. 广西岩滩水电站建成后库区鸟类多样性变化的初步研究[C]//中国鸟类学研究论文集. 第二届海峡两岸鸟类学术研讨会. 北京:中国动物学会, 1996.
ZHOU F, FANG H L. A preliminary study of the change of bird diversity in the Yantan reservoir area of Guangxi after water retention[C]//Proceedings of Chinese ornithology. The 2nd Ornithological Symposium of Mainland & Taiwan, China. Beijing: China Zoological Society, 1996.

[8] 周材权,余志伟,李操,等. 二滩水电站建成前后库区流域鸟类多样性初步研究[J]. 四川动物, 2002, 21(4):214-218.
ZHOU C Q, YU Z W, LI C, et al. Birds diversity before and after the construction of Ertan Reservoir [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2002, 21(4):214-218.

[9] 张荣. 澜沧江漫湾水电站生态环境影响回顾评价[J]. 水电站设计, 2001, 17(4):27-32.
ZHANG R. Post-evaluation of ecological environment of Manwan Hydroelectric Station on the Lancang River [J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2001, 17(4):27-32.

[10] 周放,房慧伶. 长洲水利枢纽建坝后对库区水鸟影响的预测分析[J]. 生物多样性, 1998, 6(1):42-48.
ZHOU F, FANG H L. Prediction of impacts of Changzhou Water Conservancy Project on waterbird in the reservoir area[J]. Chinese Biodiversity, 1998, 6(1):42-48.

[11] 伍自力,何玲,潘树林. 四川平武火溪河水牛家水电站对库区鸟类的影响[J]. 宜宾学院学报, 2004, 4(6):171-172.
WU Z L, HE L, PAN S L. Effects on the birds of Shuiniujia Hydropower Station in Huoxi River, Pinwu Sichuan in reservoir quarter[J]. Journal of Yibin University, 2004, 4(6):171-172.

[12] 李明辉,李友辉,熊大衍. 鄱阳湖水利枢纽工程对候鸟栖息环境的影响与对策研究[J]. 江西农业学报, 2011, 23(2):153-155.

- LI M H, LI Y H, XIONG D K. Study on influence of water conservancy project on migratory birds reserve in Poyang Lake and countermeasure[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2011, 23(2):153-155.
- [13] 何小芳, 吴法清, 贺锋, 等. 中国水鸟研究现状及展望[J]. 环境科学与技术, 2013(6L):301-305.
HE X F, WU F Q, HE F, et al. Present status and prospects of water birds in China[J]. Environmental Science & Technology, 2013(6L):301-305.
- [14] 周放. 鼎湖山森林鸟类群落的集团结构[J]. 生态学报, 1987, 7(2):176-184.
ZHOU F. Guild structure of the forest bird community in Dinghushan[J]. Acta Ecologica Sinica, 1987, 7(2):176-184.
- [15] 陈军林, 周立志, 许仁鑫, 等. 巢湖湖岸带鸟类多样性的初步研究[J]. 动物学杂志, 2010, 45(3):139-147.
CHEN J L, ZHOU L Z, XU R X, et al. A preliminary study on bird diversity in shore habitats of Chaohu Lake[J]. Chinese Journal of Zoology, 2010, 45(3):139-147.
- [16] 李艳红. 嘉陵江中游南充段春、夏季水鸟多样性调查[J]. 西华师范大学学报:自然科学版, 2012, 33(3):240-245.
LI Y H. A survey on the water birds diversity in Nanchong section, the middle reaches of the Jialing River in summer and spring[J]. Journal of China West Normal University: Natural Sciences, 2012, 33(3):240-245.
- [17] 钟福生, 董婉未, 李威娜, 等. 梅江流域鸟类群落结构及其多样性[J]. 生态环境学报, 2012, 21(5):825-833.
ZHONG F S, DONG W W, LI W N, et al. Community structure and diversity of birds in Meijiang River valley[J]. Ecology and Environment Sciences, 2012, 21(5):825-833.
- [18] 邓立斌. 南四湖湿地生态系统服务功能初步研究[J]. 西北林学院学报, 2011, 26(3):214-219.
DENG L B. Valuation of ecosystem services in Nansi Lake wetland[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(3):214-219.
- [19] 谭均铭. 基于 DEM 的广西候鸟迁徙路线自然环境分析[J]. 贵州科学, 2015, 33(3):32-35.
TAN J M. The analysis of the environment in migration routes of the migrant birds in Guangxi Province based on DEM[J]. Guizhou Science, 2015, 33(3):32-35.
- [20] 张孚允, 杨若莉. 中国鸟类迁徙研究[M]. 北京:中国林业出版社, 1997.
ZHANG F Y, YANG R L. Birds migration research of China[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997.
- [21] 卢文龙. 人为干扰对独山湖和昭阳湖鸟类群落的影响[D]. 曲阜:曲阜师范大学, 2013.
LU W L. Effects of human disturbance on bird community in Dushan Lake and Zhaoyang Lake[D]. Qufu: Qufu Normal University, 2013.
- [22] 汪红星, 徐文彬, 钱法文, 等. 栖息地演变与人为干扰对升金湖越冬水鸟的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8):1832-1836.
WANG H X, XU W B, QIAN F W, et al. Impact of habitat evolvement and human disturbance on wintering water birds in Shengjin Lake of Anhui Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(8):1832-1836.
- [23] 黄杰, 原宝东, 闫永峰. 暗绿绣眼鸟春季和冬季取食生态位初步研究[J]. 四川动物, 2015, 36(1):82-86.
HUANG J, YUAN B D, YAN Y F. The feeding niche of *Zosterops japonicus* between spring and winter[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2015, 36(1):82-86.
- [24] 李斌, 马武昌, 陈建荣, 等. 邵赣高速公路(粤境段)建设对陆域生态系统鸟类群落的影响[J]. 四川动物, 2012, 31(5):834-840, 847.
LI B, MA W C, CHEN J R, et al. Influence of highway construction on avian community[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2012, 31(5):834-840, 847.
- [25] 陆舟, 杨岗, 舒晓莲, 等. 弄岗穗鹛与短尾鹩鹛冬季取食空间生态位比较[J]. 广西师范大学学报:自然科学版, 2015, 33(4):120-126.
LU Z, YANG G, SHU X L, et al. Spatial niches of Nonggang babbler and Streaked Wren babbler in winter[J]. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science, 2015, 33(4):120-126.

(责任编辑:陆 雁)