

· 研究报告 ·

基于声音监测的鄱阳湖典型湿地鸟类多样性 及对人类活动的响应

游海林¹, 吴永明¹, 徐力刚^{2*}, 刘丽贞¹, 姚忠¹, 辛在军¹

(1. 江西省科学院鄱阳湖研究中心, 江西 南昌 330096; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 中国科学院流域地理学重点实验室, 江苏 南京 210008)

摘要:在鄱阳湖典型人控湖汊芳兰湖湿地选取人类活动差异性较大的两个区域分别设置鸟类声音监测点, 利用声音采集仪器 Song Meter SM4 收集长时间序列的鸟类声音数据, 基于声音处理程序包将声音数据转化为具有生态学信息的声学指标, 用以表征鸟类多样性特征, 并定量分析鸟类多样性与人类活动之间的关联性程度。结果表明: 鸟类声音数据为 WAV 格式的音频文件, 文件名称由仪器编号、监测日期和监测时间组成。在监测期间同一时间监测点 1 (人类活动较弱区域) 对应的声学指标 ACI、ADI、AEI 和 NP 的指数值均高于监测点 2 (人类活动较强区域) 对应的声学指标值。监测点 1 的 NDSI 与 ACI、ADI 呈极显著正相关, 与 AEI、NP 呈极显著负相关; 监测点 2 的 NDSI 与 ACI 呈极显著正相关, 与 AEI、NP 呈极显著负相关。

关键词: 鸟类多样性; 鸟类声音监测; 声学指标; 芳兰湖湿地; 鄱阳湖

中图分类号: X121; X503.224

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2021)06-0014-05

Bird Diversity and Its Response to Human Activities in Typical Wetland of Poyang Lake Based on Soundscape Monitoring

YOU Hai-lin¹, WU Yong-ming¹, XU Li-gang^{2*}, LIU Li-zhen¹, YAO Zhong¹, XIN Zai-jun¹

(1. Poyang Lake Research Centre, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang, Jiangxi 330096, China;

2. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008, China)

Abstract: This study set up bird sound monitoring sites in two areas with great differences in human activities in typical human controlled Fanglan Lake wetland of Poyang Lake, collected long time series of bird sound data by a sound acquisition instrument Song Meter SM4, and converted sound data into acoustic indexes with ecological information based on sound processing packages, so as to characterize bird diversity and quantitatively analyze the relevance between bird diversity and human activities. The results showed that the bird sound data was an audio file in WAV format. The file name consisted of instrument number, monitoring date and monitoring time. At the same time during the monitoring period, the values of ACI, ADI, AEI and NP of monitoring site 1 (area with weak human activities) were all higher than those of monitoring site 2 (area with strong human activities). The NDSI of monitoring site 1 had a very significant positive correlation with ACI and ADI, and a very significant negative correlation with AEI and NP. The NDSI of monitoring site 2 had a very significant positive correlation with ACI, and a very significant negative correlation with AEI and NP.

收稿日期: 2020-11-06; 修订日期: 2021-09-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31860119, 41661018); 江西省青年学科带头人培养基金资助项目 (20204BCJL23040); 国家重点研发计划基金资助项目 (2018YFE0206400); 江西省重点研发计划基金资助项目 (20192BBGL70042, 20181BBG70036); 江西省科学院对外合作基金资助项目 (2020-YZD-26); 江西省中央引导地方科技发展专项基金资助项目 (20192ZDD01001)

作者简介: 游海林 (1985—), 男, 江西上饶人, 副研究员, 博士, 研究方向为湿地生态水文过程。

* 通信作者: 徐力刚 E-mail: lgxu@niglas.ac.cn

Key words: Bird diversity; Bird sound monitoring; Acoustic index; Fanglan Lake wetland; Poyang Lake

鄱阳湖作为我国第一大淡水湖,是一个季节性涨水湖泊,不同季节经历干—湿—干交替自然过程,形成“洪水一片,枯水一线”的大面积湿地,为鸟类提供了良好的栖息环境。目前,鄱阳湖已记录的鸟类有310种,其中国家一级保护鸟类10种,二级保护鸟类44种,是白鹤、东方白鹤、鸿雁和小天鹅等珍稀水禽全球最大种群的越冬场所,被誉为“候鸟天堂”和“白鹤王国”,是一个极为珍贵的天然环境实验室,是研究鸟类种群动态及其迁徙性行为的理想场所^[1]。鄱阳湖鸟类监测最初可追溯到Gee和Moffett对长江中下游流域的鸟类调查^[2]。从1980年起对鄱阳湖鸟类调查逐渐增多,包括由江西省山江湖开发治理委员会办公室牵头的鄱阳湖第一次和第二次综合科考,原国家林业局和世界自然基金会北京办事处共同组织的长江中下游水鸟调查等^[3-4]。传统的鸟类调查通常有标图法、样线法、样点法和标志重捕法等^[5-6]。这些方法虽然在鸟类综合调查中起到了一定的作用,但也存在局限性,如需耗费大量的人财物力及对鸟类具有较高的损伤性^[7-8]。因此,亟待发展新的监测手段和方法,提升生物多样性监测能力。

声音是大自然的基本属性,是研究生态系统关系的有效手段之一^[9]。近年来,随着人工智能和大数据技术的快速发展,国内外发展基于声音的装备或系统,通过监听生物叫声,如鸟叫、虫鸣等,来监测陆地和水体生态系统中的生物多样性已变得可能^[10]。利用大容量的自动录音设备收集鸟类鸣声,结合机器学习方法将鸟类声音数据转化为具有生态学特征和生态学信息的声学指标(声音指数),进而揭示鸟类多样性特征及其与周围环境因子之间的相关关系^[11]。因而,将声音技术应用于研究鸟类多样性的调查和研究,既有利于减小鸟类调查过程中出现的随机性误差,也有利于弥补传统鸟类多样性调查方法的不足。目前,在国内利用声音监测技术研究鸟类多样性的报道并不多见,将该技术用于湿地鸟类多样性调查的报道则更加稀少^[12-13]。今以鄱阳湖典型湿地——芳兰湖湿地为研究区域,利用专业的声音采集仪器在野外湿地实地收集长时间序列的鸟类声音基础数据,运用机器学习将鸟类声音数据转化为具有生态学信息的声学指标,通过计算声学指标值阐明鸟类多样性特征

及演变趋势,分析人类声音与鸟类多样性之间的相关性程度,揭示鸟类多样性对人类活动的响应关系。研究结果可为鄱阳湖湿地生物多样性和越冬鸟类的保护提供数据支撑,同时为湿地鸟类多样性调查与研究提供一种新的技术途径。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

芳兰湖是鄱阳湖典型的人控湖汊,水位调节方式以人工控制为主,自然调节为辅助,在丰水期可与鄱阳湖连成一片,枯水期可独立成湖,其性质与鄱阳湖的碟型洼地湖泊相似。由于芳兰湖湿地周围布有大片的“国家级九江彭泽鲫良种场”养殖基地、泥滩地及稻田等,可以为候鸟提供良好的栖息环境,故每年10月起有大量的候鸟在该湿地停留和中转。

1.2 研究方法

1.2.1 鸟类声音数据采集

在芳兰湖湿地选取两个监测点开展长时间序列的鸟类声音数据监测和收集。监测点1(人类活动较弱区域)位于芳兰湖湿地中的一片小型灌木林,周边无人居住,人类活动相对较弱。监测点2(人类活动较强区域)位于九江市水产科学研究所侧面,白天有人上班,人类活动较强。在人类活动差异较大的两个监测点分别安置1台声音采集仪器 Song Meter SM4(见图1),对周围鸟类声音基础数据进行动态采集。Song Meter SM4声音采集仪在录制声音时有一定降噪功能,可消除工作时仪



图1 声音数据采集仪 Song Meter SM4

Fig. 1 Sound data acquisition instrument Song Meter SM4

器内部发出的噪声,该仪器可监测半径500 m范围内人耳可听到的所有鸟类声音。将仪器设置为1次/h,2 min/次,24 h连续监测。

1.2.2 声学指标分析与计算

选取与生物多样性相关程度较高的4个基本声学指标,即声音复杂性指数(ACI)、声音多样性指数(ADI)、声音均匀度指数(AEI)和频率峰值数(NP),用以分析芳兰湖湿地两种人类活动不同类型区域内鸟类声学指标随时间序列的变化特征^[14-15]。ACI是表示声音复杂性程度的指标,根据声音信号强度的变化确定生物声音的异质性。ADI用于反映声音的多样性,即不同频率声音的香农多样性指数。AEI反映声音的均匀程度,即不同频率声音的基尼指数。NP是出现在声音频谱中主要峰值的数量,通常是指感兴趣声音的平均频谱,声音差异性越大产生NP越多。由于背景噪声的能量在不同频段差异一般而言都较小,对声学指标的影响也较低,故所选的声学指标对噪声敏感性较低,可以在高背景噪声下应用^[16]。

归一化声景指数(NDSI)是通过计算人类活动声音与生物声音之间的比值来衡量人类对生物声音的影响程度。因此,可通过计算芳兰湖湿地两种不同类型区域内鸟类声音的NDSI,以及该指数与上述4个基本声学指标的相关性程度,来研究两种不同类型区域内人类活动对鸟类多样性的影响及鸟类多样性对人类活动强弱程度的响应关系^[15]。

鸟类声音数据的声学指标计算实现手段是基于采集的声音数据文件(WAV音频文件),结合机器学习方法,并利用统计软件R中seewave、sound-ecology和tuneR等专业声音处理程序包计算得到^[17]。

1.3 数据分析

以2018年11月15日—29日的鸟类声音数据为分析对象,每个监测点每小时采集1个声音数据,两个监测点共采集720个鸟类声音数据。基于这720个音频文件分析鄱阳湖典型湿地鸟类声音数据的声学指标随时间序列变化的演变特征,以及对不同强度人类活动程度的响应关系。声音数据文件处理与生态信息提取在R中实现,声学指标作图与分析采用Origin 8.5分析得到,各声学指数之间的相关性分析通过SPSS 16.0实现。

2 结果与讨论

2.1 采集的声音数据文件组成结构与内部属性

Song Meter SM4收集的鸟类声音数据是WAV格式的音频文件。以2018年11月15日00:00采集的声音数据为例来说明鸟类声音数据组成和结构。在2018年11月15日00:00采集的声音数据文件名称为“S4A07166_20181115_000000.wav”,其中“S4A07166”是Song Meter SM4的编号,每一台Song Meter SM4都对应一个专门编号便于标记;“20181115”指2018年11月15日,即声音数据的采集日期;“000000”表示声音数据采集时间为00:00:00;“.wav”表示声音数据的格式为wav音频文件。音频文件由2 880 000个声音样本数据组成,声音文件持续时长为120 s(即设置的声音监测时长),采样频率为24 kHz,声音文件频道为双声道,脉冲编码调制为整数格式,位深为16位。

2.2 两种类型区域鸟类声学指标特征比较

图2(a)~(d)分别为芳兰湖湿地两种类型区域内鸟类声音ACI、ADI、AEI和NP等指数比较。由图2(a)可见,在2018年11月15日—29日监测期间,监测点1的ACI在149.59~210.17之间变动,平均值为165.79;监测点2的ACI在130.72~186.53之间变动,平均值为156.42,同一时刻监测点1的ACI高于监测点2的比例为82.2%。另外,监测期间监测点1的ACI呈现平缓增加趋势,监测点2呈现平缓降低趋势。可见,人类活动强弱对ACI有一定的影响,人类活动越强对应的ACI越小,这与文献[18]报道一致。

由图2(b)可见,监测点1的ADI在0~2.303之间变动,平均值为0.999,ADI为0有3个时刻(11月18日5:00、6:00和11月19日2:00);监测点2的ADI在0~2.302之间变动,平均值为0.793,ADI为0也有3个时刻(11月16日2:00、3:30和4:00)。ADI为0,说明声音采集仪未录制到鸟类声音,当时鸟类在休息或者鸟类活动较弱^[19]。同一时刻监测点1的ADI高于监测点2的比例为65.8%。两监测点的ADI均呈现增加趋势,且增加程度几乎相同。值得一提的是,两监测点的ADI最大值均发生在11月20日的17:00,这在一定程度上说明,该时刻鸟类种群数目较多,以及鸟类活动性较强。

由图2(c)可见,监测点1的AEI在0.007~0.90之间变动,平均值为0.783;监测点2的AEI

在 0.006 ~ 0.90 之间变动, 平均值为 0.733。两监测点的 AEI 最大值均为 0.90, 监测点 1 的 AEI 达到最大值有 2 个时刻(11 月 16 日 3:30 和 4:00), 监测点 2 的 AEI 达到最大值有 3 个时刻(11 月 18 日 2:30、5:00 和 6:00)。同一时刻监测点 1 的 AEI 高于监测点 2 的比例为 69.2%。监测点 1 的 AEI 呈现增加趋势, 而监测点 2 呈现下降趋势。

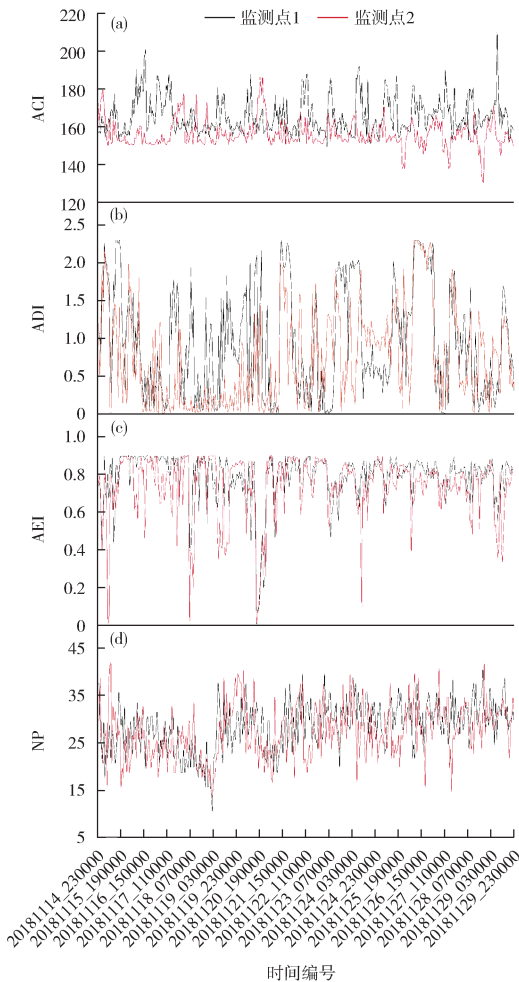


图2 芳兰湖湿地两种类型区域内鸟类声音 ACI、ADI、AEI 和 NP 等指数比较

Fig.2 Comparison of ACI, ADI, AEI and NP of bird sound in two types of area of Fanglan Lake wetland

由图 2(d) 可见, 监测点 1 的 NP 在 10 ~ 40 之间变动, 平均值为 28; 监测点 2 的 NP 在 13 ~ 42 之间变动, 平均值为 27。两个监测点 NP 最小值发生时间相同, 均为 11 月 19 日 2:00, 此时是大多数鸟类种群休息或活动性较弱的时刻。同一时刻监测点 1 的 NP 高于监测点 2 的比例为 55.0%, 且同一

时刻监测点 1 的 NP 等于监测点 2 的比例达 7.2%。监测点 1、2 的 NP 最大值分别出现在 28 日 20:00、15 日 10:00。两监测点的 NP 均呈现增加趋势, 且增加程度几乎相同。

综上得出, 在监测期间同一时刻监测点 1 (人类活动较弱区域) 对应的 4 个基本声学指标 (ACI、ADI、AEI 和 NP) 高于监测点 2 (人类活动较强区域) 的比例均大于 50%; 监测点 1 的 4 个基本声学指标均呈现增加趋势, 监测点 2 除了 NP 之外, 其余 3 个声学指标均呈现下降趋势。研究结果表明, 研究区的人类活动对鸟类多样性具有重要影响。

2.3 鸟类多样性与人类活动之间的相关性分析

鸟类声音的主要频率分布范围为 2.0 kHz ~ 8 kHz, 人类声音分布范围为 1.0 kHz ~ 2.0 kHz, 可通过计算 NDSI 来判断人类声音与鸟类声音之间的相互关系, 分析人类活动对鸟类的影响^[20]。通过分析两监测点 NDSI 与 4 个声学指标 (ACI、ADI、AEI 和 NP) 之间的相关性程度, 阐明人类活动对鸟类多样性的定量作用。结果表明, 监测点 1 的 NDSI 与 ACI 和 ADI 呈极显著正相关, 相关系数 (R) 分别为 0.299 和 0.218 ($P < 0.01$), 与 AEI 和 NP 呈极显著负相关, R 分别为 -0.319 和 -0.353 ($P < 0.01$); 监测点 2 的 NDSI 与 ACI 呈极显著正相关, R 为 0.284 ($P < 0.01$), 与 AEI 和 NP 呈极显著负相关, R 分别为 -0.222 和 -0.380 ($P < 0.01$)。鸟类数量越多, 其活动能力越强, 意味着鸟类多样性特征越高, 此时 ACI 和 ADI 也相应增大, 故这两个声学指标与 NDSI 呈正相关关系。AEI 反映鸟类均匀程度, AEI 越高, 鸟类群落越均匀, 意味着鸟类多样性相对单一, 故 AEI 与 NDSI 呈负相关关系。NP 是指声音中出现的峰值数量, 声音差异性越大产生频率峰值数也越多。然而, 也存在这样的情况: 同种生物由于受外部影响而发出不同频率的声音, 也就是说, 在鸟类多样性较低的情况下也可能会出现 NP 增大的现象。因此, 两监测点的 NP 与 NDSI 呈负相关关系^[21]。

通过比较发现, 监测点 1 的 NDSI 与 ACI 和 AEI 的 $|R|$ 要大于监测点 2, 进一步说明了在人类活动相对较弱的区域, 人类活动是影响鸟类多样性强弱的主要限制性因子; 而在人类活动较强的区域, 鸟类对周边的人类活动已经产生一定免疫性和习惯性, 故在该区域的鸟类多样性对人类活动的响

应程度要低于在人类活动较低的区域。总体来说,以声音为表现形式的人类活动对监测点1的鸟类多样性的影响程度要高于监测点2。

3 结论

(1) 针对传统的鸟类多样性调查存在的不足,提出一种通过监测鸟类声音来研究鸟类多样性的技术方法,该方法可以不受气候及其他环境因素的影响,较真实地还原了鄱阳湖典型湿地的鸟类多样性特征,具有较好的应用效果。

(2) 声学指标(ACI、ADI、AEI和NP)在一定程度上可反映鸟类群落数量、活动程度等鸟类多样性特征,NDSI可量化鸟类多样性特征与人类活动之间的相关关系。

(3) 用人类声音表征人类活动的强弱具有一定的科学性和可操作性,研究表明,在人类活动相对较弱的区域,人类活动是影响鸟类多样性强弱的主要限制性因子;而在人类活动较强的区域,鸟类多样性对人类活动的响应程度要低于在人类活动较低的区域。

(4) 文中为鸟类多样性及其他生物多样性研究提供了一种较新的技术途径,属于一种探索性研究,有一定的创新性,也存在较大的提升空间和改进之处。如收集的鸟类声音数据时间序列较长且数据量很大,数据的存储和预处理是一个难点;需要用专业的声音处理软件将鸟类鸣声部分提取出来,此工作量烦琐且难度较大,需要大量的人力支持,亟须研发实现鸟类鸣声自动提取的机器学习方法。另外,将声音监测技术和实地监测技术进行相互论证,取长补短,利用深度学习对两者建模,使其有机融合,科学真实地开展鸟类多样性监测及研究,这将是下一步研究重点。

[参考文献]

[1] 朱海虹,张本. 鄱阳湖[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1997.

[2] GEE N G, MOFFETT L I. A key to the birds of the lower Yangtze Valley, with popular descriptions of the species commonly seen [M]. Shanghai: Biblio Life, 1917: 1 - 221.

[3] 胡振鹏,林玉茹. 鄱阳湖水生植被30年演变及其驱动因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(8): 1947 - 1955.

[4] 马克·巴特,陈立伟,曹磊,等. 长江中下游水鸟调查报告[M]. 北京:中国林业出版社,2004.

[5] 刁元彬,刘红,袁兴中,等. 水位变动影响下三峡库区汉丰湖鸟类群落及多样性[J]. 生态学报, 2018, 38(4): 1382 - 1391.

[6] HASELMAYER J, QUINN J S. A Comparison of point counts and sound recording as bird survey methods in Amazonian Southeast Peru [J]. The Condor, 2000, 102(4): 887 - 893.

[7] BIBBY C J. Bird diversity survey methods [M] // SUTHERLAND W J, NEWTON I, GREEN R E. Bird Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques. Oxford: Oxford University Press, 2004: 1 - 16.

[8] 黄燕,李言阔,纪伟涛,等. 鄱阳湖区鸟类多样性及保护现状分析[J]. 湿地科学, 2016, 14(3): 311 - 327.

[9] PIJANOWSKI B C, FARINA A, GAGE S H, et al. What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science [J]. Landscape Ecology, 2011, 26(9): 1213 - 1232.

[10] 伦可环,张雁云,夏灿玮. 基于声音指数的鸟类多样性监测[J]. 生物学通报, 2017, 52(11): 1 - 5.

[11] FARINA A. Soundscape ecology: Principles, patterns, methods and applications [M]. Berlin: Springer Science & Business Media, 2013.

[12] 牛志春,蔡琨,张宏,等. 太湖流域水生态监控系统平台构建研究[J]. 环境监测管理和技术, 2018, 30(1): 1 - 3.

[13] 艾雪,李中宇,赵然,等. 松花江流域生物完整性时空变化分析[J]. 环境监测管理和技术, 2020, 32(4): 34 - 37.

[14] PIERETTIA N, FARINA A, MORRI D. A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI) [J]. Ecological Indicators, 2011, 11(3): 868 - 873.

[15] RAJAN S C, ATHIRA K, JAISHANKER R, et al. Rapid assessment of biodiversity using acoustic indices [J]. Biodiversity and Conservation, 2019, 28: 2371 - 2383.

[16] FARINA A, PIERETTI N, PICCIOLI L. The soundscape methodology for long-term bird monitoring: A mediterranean europe case-study [J]. Ecological Informatics, 2011, 6(6): 354 - 363.

[17] VILLANUEVA-RIVERA L J, PIJANOWSKI B C, VILLANUEVA-RIVERA M L J. Package 'soundecology' [J]. R Package Version, 2018, 1(3): 3 - 8.

[18] VILLANUEVA-RIVERA L J, PIJANOWSKI B C, DOUCETTE J, et al. A primer of acoustic analysis for landscape ecologists [J]. Landscape Ecology, 2011, 26(9): 1233 - 1246.

[19] DEPRAETERE M, PAVOINE S, JIGUET F, et al. Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland [J]. Ecological Indicators, 2012, 13(1): 46 - 54.

[20] KASTEN E P, GAGE S H, FOX J, et al. The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: An archive for studying soundscape ecology [J]. Ecological Informatics, 2012, 12: 50 - 67.

[21] KHANAPOSHTANI M G, GASC A, FRANCOMANO D, et al. Effects of highways on bird distribution and soundscape diversity around Aldo Leopold's shack in Baraboo, Wisconsin, USA [J/OL]. Landscape and Urban Planning, 2019, 192: 103666 [2020-11-06]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204619307637>.