

DOI: 10.20152/j.np.202401120013

王宇航, 龚明昊, 文苑玉, 刘刚, 李惠鑫. 自然保护区野生动物监测技术应用现状及研发需求. 国家公园(中英文), 2024, 2(3): - .

Wang Y H, Gong M H, Wen W Y, Liu G, Li H X. Current application and research demand of wildlife resource monitoring technology in natural protected areas, China. National Park, 2024, 2(3): - .

自然保护区野生动物监测技术应用现状及研发需求

王宇航^{1,2}, 龚明昊^{1,2,*}, 文苑玉^{1,2}, 刘刚^{1,2}, 李惠鑫^{1,2}

1 中国林业科学研究院生态保护与修复研究所, 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091

2 湿地生态功能与恢复北京市重点实验室, 北京 100091

摘要:生物多样性监测是了解资源动态、掌握保护对象生存状况和保护成效的主要途径,也是建设和管理国家公园及保护地的主要手段,其技术状况反映其管理能力和科技水平。较其他行业和林草行业其他领域,野生动物资源监测工作的技术较为滞后,相关技术缺陷一定程度上制约了国家公园及保护地监测工作的开展。围绕主要野生动物监测技术的发展进行综述,对已有技术缺陷的总结和评估,提出利用信息技术、人工智能技术赋能国家公园和保护地监测技术的研发思路,建议将系统地整合现有监测技术,并将自由定位、空间测量、自动记录和传输等作为主要性能及指标。在此基础上,针对已有智能监测技术存在的问题和使用缺陷,提出了构建以国家公园为主体的自然保护区体系中野生动物资源监测中需要着重考虑的问题,以期为国家公园和保护地动物资源监测技术研发提供参考,推动监测工作有序开展,助力高质量发展。

关键词:生物多样性;野生动物调查;自然保护区;监测系统;移动端应用 App

Current application and research demand of wildlife resource monitoring technology in natural protected areas, China

WANG Yuhang^{1,2}, GONG Minghao^{1,2,*}, WEN Wanyu^{1,2}, LIU Gang^{1,2}, LI Huixin^{1,2}

1 Institute of Ecological Conservation and Restoration, Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Beijing Key Laboratory of Wetland Services and Restoration, Beijing 100091, China

Abstract: Biodiversity monitoring, considered a primary method for understanding resource dynamics, recognizing the survival status of conservation objects, and assessing conservation outcomes, plays a vital role in constructing and managing national parks and reserves. The technological state in this area is an indicator of management capability and scientific proficiency. Wildlife resource monitoring technology lags behind in comparison to other industries and other domains within forestry. The limitations of the current technologies to some extent hinder the progress of monitoring tasks in national parks and reserves. An overview of the development of primary wildlife monitoring technologies has been provided, with existing technical deficiencies summarized and evaluated. Subsequently, strategies for developing monitoring technologies for national parks and reserves using information technology and artificial intelligence have been presented. It is advised to systematically integrate existing monitoring technologies, and consider free positioning, spatial measuring, automatic recording, and transmission as main performance indicators. Based on this, considering the issues and usage deficiencies of existing intelligent monitoring technologies, crucial considerations for wildlife resource monitoring in a natural reserve system—primarily composed of national parks—have been proposed. The aim is to provide a reference for the research and development of animal resource monitoring technologies in national parks and protected areas, and promote orderly conduct

基金项目:国家自然科学基金青年项目(42001103);面上项目(31971430);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2020SY045)

收稿日期:2024-01-12; **采用日期:**2024-04-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gongmh2005@hotmail.com

and high-quality development of monitoring work.

Key Words: biodiversity; wildlife investigation; nature reserve; monitoring system; Mobile terminal application

监测工作是国家公园和保护地的日常保护管理任务和手段,主要为保护对象、生境及区域生物多样性等信息的数据采集活动,也是进行物种多样性保护研究的主要手段^[1-3]。该工作是一项保护行业的传统工作,主要依靠专业人员在野外采集、测量和记录数据进行调查和监测,该方法起源久远,最早在《山海经》中就有物种记录的内容,早于生态学等学科的诞生^[4-6]。动物是生态系统的重要组成部分,开展资源监测是对其进行保护的重要基础^[7-9]。作为一门传统手段和方法,其流程、手段、内容都较为固定,至产生以来在数据采集、记录、管理等方面的技术变化和革新较少,其技术进步较森林资源监测明显滞后,在智能化方面则处于起步阶段,亟待加强^[10]。

随着监测的需求和应用场景变化,新技术的不断涌现和融合进野生动物监测技术,监测方法、设备、手段也在不断更新和迭代,一些新的方法也不断诞生,给监测工作提供了多样的技术选择^[11-12]。目前,我国动物资源监测技术主要有样点/线/方监测、eDNA、诱捕、红外相机监测、视频监控、声纹监测、足迹监测及智能监测等(图1),以上技术在我国国家公园及保护地的监测工作中得到了不同程度的应用,推动了监测工作的开展,但也存在专业门槛、场景限制、数据质量等问题^[14]。为此,本文就我国主要野生动物监测方法、技术及发展进行综述,包括对已有技术性能和缺陷的总结,并对未来国家公园及保护地野生动物监测技术研发提出建议。



图1 野生动物调查及监测方法

Fig.1 Wildlife survey and monitoring methods

依据 Panigrahi 等 (2023) ^[13] 改绘

1 监测技术主要类型及发展状况

1.1 样点/线/方监测技术

样点/线/方监测方法是野生动物监测的传统和主要监测方法及形式,包括在此基础上衍生的截线法、样带法^[15-17]。调查人员通过样点/线/方进行踏查,沿途收集记录痕迹点类型、数量、栖息地植被、食物资源、干扰源及强度等监测指标,通过纸质表格记录监测信息,调查中借助地图进行定位和导航,后期引入GPS获取动物的空间位置信息,该方法是最经典和传统的监测方式,也是我国开展全国性野生动物调查、大熊猫等珍稀物种调查和监测的主要方法^[15,18]。样点/线/方监测可以较为全面掌握一个区域及不同生境中物种和生物多样性的概况,可记录物种实体以及足迹、食迹、毛发等多种痕迹信息,遗漏信息较少,是种群数量、密度估计的重要基础。该方法起源久远,方法、过程都较为稳定,也可用于动物外的其他类群调查和监测,是目前我国国家公园及保护地主要使用的监测方法。

1.2 诱捕技术

诱捕技术通过使用食物、声音或其他吸引动物的手段来捕捉动物,是野生动物研究和管理的一种常用方法^[19],这种方法可以用于收集动物的生理本(如血液、毛发等),从而进行遗传、健康状况以及种群结构的分析。诱捕不仅用于野生动物的研究,包括行为学研究、种群监测、健康评估等,还广泛应用于狩猎、害虫控制以及保护濒危物种等领域。传统的诱捕技术主要依靠物理陷阱和手工操作,如夹子、网等,主要针对特定的几种害虫或狩猎对象;随着技术的发展,现代诱捕技术融合了电子、机械、化学等多种技术,如使用遥控技术、自动相机监测、化学吸引剂(诱饵)、声音诱导等方法,已经能够针对广泛的物种进行特定的设计和调整,调查物种包括鸟类、哺乳动物、昆虫等多个类群。

1.3 环境 DNA

环境 DNA (Environmental DNA, eDNA) 指的是从环境样本(如水、土壤、空气等)中提取的 DNA, 主要包括生物体通过皮肤、排泄物、体表黏液、鳞屑分泌物等释放出来的 DNA 及其细胞破裂死亡后释放到环境中的 DNA^[20]。eDNA 技术可以识别物种种类与数量, 还可以监测生物繁殖活动。目前, eDNA 分析方法被广泛应用于监测水生和陆生动物, 包括稀有、濒危和难以观察的物种。

1.4 红外相机监测技术

2000 年以来, 部分保护区开始引入红外相机作为监测手段开展动物资源和生物多样性监测工作。红外相机可定点、自动记录物种影像, 应属于样点监测方法范畴, 该方法记录物种活动信息不受时间限制, 可为研究动物种群状况和活动节律提供完整、连续和丰富的数据支持^[21-23]。尤其是无需工作人员长期在野外工作, 使监测可在一定时间内摆脱对人的依赖。目前, 红外相机已成为国家公园和大多保护区最普及和最常用的监测方式和设备^[24-25]。在硬件设备生产上, 也有许多厂家提供了不同型号和性能的产品供大家选择, 如优威视讯、大红鹰、欧尼卡等品牌。在研究上, 基于红外相机监测数据研究动物节律, 已经在白鹇 (*Lophuranycthemera*)^[26]、血雉 (*Ithaginis cruentus*)^[27]、红腹角雉 (*Tragopan temminckii*)^[28] 等物种上得到了应用。

1.5 视频监控技术

视频监控是近几年发展起来的可远程采集监测地实时影像, 通过影像了解动物种群及栖息地状况的监测技术^[29-30]。该技术主要由摄像、传输、控制、显示、记录存储 5 部分组成, 借助物联网和监控系统软件可远程进行影像采集控制、数据传输和管理, 该技术多为保护区基础设施建设的主要内容, 主要设施为摄像头、显示屏、数据传输网络, 软件为管理及控制系统^[31]。该技术可实时了解主要保护对象的生存状况、种群动态, 也能为研究节律、空间利用提供详实数据, 正成为又一重要的监测和研究手段^[32]; 同时, 该方法较红外相机覆盖的区域更大, 获取的信息更多, 视频监控较红外相机可以更完整地记录动物的行为活动^[33-34]。尤其是, 该技术及设施可实时浏览远程场景, 实时了解动物资源及种群状况, 展示形式直观、多样, 深受管理者和公众的喜爱, 视频监控系统已经成为国家公园和各保护区基础设施建设不可或缺的内容^[35-36]。目前, 该系统硬件和软件的集成供应商和品牌也较多, 如海康威视和中国电信等。

1.6 智能监测技术

随着移动互联网和移动技术的发展, 使得监测数据的获取更加便捷; 云计算技术则提供了强大的数据存储、处理和分析能力; 人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 的应用使得物种的图像识别和声音识别成为可能。AI 在动物监测领域的应用正在快速发展, 这一进展主要得益于机器学习、深度学习技术的进步以及大数据处理能力的提高^[13]。AI 技术正在改变传统的动物监测方法, 提供更为高效、准确且低干扰的监测手段, 主要包括图像和视频分析、声音监测和数据集成和模式识别等^[37]。其中, 图像和视频分析能够识别物种类别, 还能分析动物的行为模式, 包括迁徙、觅食、交配等; 声音监测能够分析野生动物的声音, 识别不同物种的叫声, 还能分析动物的叫声变化, 可以监测种群的健康状态和生态系统的变化; 数据集成和模式识别能够整合来自各种源的数据, 包括遥感影像、地面监测站数据、个体 GPS 追踪数据等, 以建立更加全面的生态系统模型^[38]。在此基础上, 利用历史数据和实时监测数据, 借助 AI 可以预测动物种群的变化趋势、迁徙路径以及对环境变化的响应。

1.6.1 移动端监测软件

随着网络设施的完善、信息技术的发展和学科融合深入, 利用信息技术、人工智能在数据采集、传输和分析中的优势赋能传统监测技术, 已成为行业管理部门和学界的共识^[39-40]。近年来, 在传统监测技术方法基础上, 通过信息技术与保护生物学、生态学等学科的融合, 一些互联网企业及科研单位陆续开发了一些基于信息技术、WebGIS 等技术的监测数据采集移动端应用 (Applications, App), 如北京图锐、西安三图、广州澳盾、广州林猫等单位的产品 (表 1)。这些 App 大多集成了空间定位、数据采集、图片存储、数据导出等功能, 数据以文本格式导出, 可以直接进行统计分析; 在数据采集上通过完善数据库, 引入人工录入和自动采集手段, 使数

据采集和管理初步具备了一些人工智能属性,有效地提升了数据采集质量和效率,减少监测工作劳动强度。

表 1 相关软件开发单位及其产品
Table 1 Software development organization and their products

开发单位 Development unit	产品名称 Product name
图锐(北京)信息技术有限公司 Turui(Beijing) Information Technology Co., LTD	虫先知、野保通等
西安三图信息技术有限公司 Xi'an Suntoon Information Technology Co.	林调通、草调通、鸟调通、水保通和虫情宝等
广州澳盾智能科技有限公司 Guangzhou Aodun Intelligent Technology Co.	鸟类智能识别软件、兽类图片 AI 识别物种软件等
广州林猫自然科技有限公司 Guangzhou Linmao Nature Technology Co.	灵慧识别、野猪防治智能一体化平台等
中国林业科学研究院生态保护与修复研究所 Institute of Ecological Conservation and Restoration, Chinese Academy of Forestry	监测通、鹤调通、红外通和植调宝等

1.6.2 声纹监测技术

声纹识别技术是数字录音技术、信息技术与动物学科融合的动物识别手段,由声学数据采集和智能分析两部分组成,通过拾音器记录和传输物种声音,并将声音信息转换为可视化的语图,通过语图来训练物种识别模型^[41]。该技术以前主要依赖国外设备和分析软件,如 BirdNet、eBird 等。近年来,国内成功研发出了指向性话筒和集音罩话等声学传感器,降低了应用成本,使该技术逐渐应用到各保护地^[42]。

1.6.3 AI 数据库、平台及软件

AI 在动物监测领域的应用已经催生了多个平台、数据库和软件,这些工具能够自动处理和分析从相机陷阱、无人机、地面监测设备等收集到的大量图像和声音数据。以下是一些应用 AI 技术的动物监测软件示例,它们利用机器学习、深度学习等技术,改善了物种识别、行为分析和种群监测等任务的效率和准确性(表 2)。

表 2 相关平台及产品介绍
Table 2 Related companies and their products

产品名称及网址 Product name and website	开发者 Developer	功能简介 Function profile
Wildlife Insights https://www.wildlifeinsights.org/	国际自然保护联盟、谷歌、史密森尼国家动物园和保护生物学研究所、野生动物保护学会、北卡罗来纳州自然科学博物馆、世界自然基金会、伦敦动物学会和耶鲁大学生命地图	全球最大的相机陷阱数据库,使用 AI 技术帮助用户从相机陷阱图像中识别动物
iNaturalist https://www.inaturalist.org/	加州大学伯克利分校信息学院 Ken-ichi Ueda、Nate Agrin 和 Jessica Kline	是一个自然爱好者和科研人员共享观察记录的社区和应用,采用机器学习技术帮助用户识别拍摄的植物、动物和其他自然物种
eBird https://ebird.org/	康奈尔大学鸟类学实验室和美国国家奥杜邦协会	鸟类观测数据提交和存档的平台
LILA BC https://lila.science/	Ecologize、Zooniverse、Evolving AI Lab、Snapshot Safari 和 Microsoft AI for Earth	生物多样性和保护领域的 AI 训练数据集库
DeepSqueak https://github.com/DrCoffey/DeepSqueak/blob/master/DeepSqueak.m	华盛顿大学医学院的研究人员 Russell Marx 和 Kevin Coffey	使用深度学习分析啮齿类动物叫声的软件

2 监测技术面临的问题及挑战

2.1 样点/线/方监测技术面临的挑战

样点/线/方监测技术具有性能稳定、应用广泛的优势,但受技术、设备和应用场景的局限,传统样线监测技术存在数据质量和使用方式的缺陷,如足迹、食迹等的确定和数量估计依赖监测人员的工作经验和专业判断^[43],无法定位湖泊、沼泽、悬崖、山脊流石滩等无法抵达环境中动物的空间位置,无法准确测量物种所在栖

息地的面积、与干扰源距离等参数主要采用估测值代替,这些缺陷导致调查和监测数据大多存在不同程度的误差,调查和监测数据的不准确影响后续数据分析和研究结果的准确性,也使长年耗费大量人力、物力和时间所收集的监测数据价值大打折扣^[44—45]。同时,样点/线/方方法需携带表格、地图等材料,无限接近动物分布地,填写表格耗费时间、效率低下,爬山涉水劳动强度极大,既给调查人员带来痛苦和安全风险,又对野生动物造成干扰。尤其是该方法对人的依赖较大,需要调查人员到野外实地采集数据,劳动强度大,且对工作人员专业能力和野外工作能力要求也较高^[46]。以上原因使其应用和推广受到局限,导致当前部分缺少人力资源的保护地不能持续开展样点/线/方监测,转而使用红外相机、无人机等手段替代样点/线/方监测。在基础进展方面,虽然,样点/线/方监测方式和手段与生态学、动物学等学科初期有了一定进步,但仍需通过技术进步提升监测系统化的集成程度,促进监测内容的规范化和智能化,以提高监测数据质量和效率,减少劳动强度,改善工作体验。

2.2 诱捕存在问题

诱捕技术也存在一系列问题和挑战:①动物福利:物理捕获可能会造成动物受伤或死亡,也可能对动物造成压力和行为干扰,引发动物福利和伦理问题。②选择性问题:一些诱捕方法存在选择性,可能会对特定的性别、年龄段或种群具有更高的捕获率,导致样本偏差。③环境影响:诱饵的使用可能会改变目标物种或其他非目标物种的自然行为,甚至可能对环境造成污染。④技术门槛和成本:一些现代诱捕技术相对复杂度和成本更高,会限制其在资源有限的情况下的应用。

2.3 eDNA 存在问题

虽然 eDNA 技术具有诸多优势,但也存在一些限制和挑战^[47]:①降解和稳定性:eDNA 在环境中很容易降解,可能限制了样本收集的时间窗口和空间范围,影响结果的准确性。②背景噪音和污染:环境样本可能包含大量非目标物种的 DNA,这些背景 DNA 可能干扰目标物种的检测。此外,样本在采集、运输或处理过程中容易受到污染,进一步影响检测结果的可靠性。③物种鉴定的局限性:eDNA 技术的物种鉴定依赖于已知的 DNA 序列数据库。如果数据库不完整或者更新不及时,可能会导致某些物种被错误鉴定或无法鉴定。④定量问题:虽然 eDNA 技术可以检测到物种的存在,但将 eDNA 浓度直接转化为物种的丰度或密度存在挑战。环境因素和样本处理过程中的变量都可能影响 eDNA 的浓度,使得从 eDNA 数据中精确估计物种丰度变得复杂。

2.4 红外相机监测技术存在的问题及其与样点/线/面监测方法的关系

红外相机可提供丰富和高质量的监测信息,但其数据类型、格式和应用场景局限也十分明显。首先,红外相机只能记录固定监测点的数据,不能反映大范围的状况,以此估算种群数量会引起较大误差;其次,红外相机只能记录实体数据,对痕迹、卧迹、毛发等信息无法采集,也会导致分布、数量估计等信息遗漏;尤其是,红外相机采集的是影像数据,该数据需要转化为数字数据才能进行统计分析,而数据转化过程同样费时费力,导致许多保护区都积累了海量的红外相机数据需要处理^[10, 48];此外,红外相机的使用会受到野外天气影响、人为盗窃损坏或动物无意破坏,无法避免的严重缩短了红外相机设备的使用寿命;同时,红外相机在应用上对人的依赖仍然强烈,若想获取高频率、短时段的监测数据,仍然需要人前往野外下载监测数据或更换存储卡,通过网络实现大范围、大容量数据的传输较为困难,经常有传输因网络原因中断的情况^[49—50]。

较传统样线/方/点监测方法,红外相机则仅能在固定位置贡献丰富和高质量的监测数据,而样线/方/点监测可以较为全面地掌握一个区域及不同生境中动物和生物多样性的信息和数据,两项技术各具优势,是“面和点”的互补关系,二者协同将才会提供更加丰富和完整的监测数据^[51]。

2.5 视频监控技术存在的问题

作为动物资源监测手段,视频监控技术的长期使用存在以下问题,首先,建设成本高、投入大,需要购买大量的摄像头、大型显示屏;其次,设备损毁率高,在一些高寒、高湿等环境中设备寿命较短;另外,运维成本高,除了传输网络需要维护外,采集、显示设备的更新也快,维护成本较高^[33—34]。与红外相机类似,该方法也存在

数据的问题,一是该方法获取的仍然是固定点数据,尽管监测面大,但不能完全代表所在区域的全部信息;二是该方法采集到的是影像数据,但这些数据不能直接用于统计分析,需要将相关数据解译为数字格式后方能进行数量和空间分析,同样需要对数据进行处理后才能发挥价值,也需要继续投入大量的人力、物力,数据处理的难度较红外相机数据更大。目前,保护区监控系统用于展示、宣教的报道较多,鲜有基于监控数据进行资源监测及成果的报道,没有发挥对资源监测的价值。

2.6 智能监测技术的研发存在的问题及研发需求

2.6.1 移动端监测软件存在问题

移动端监测软件取得积极进展的同时,已有研发产品及软件也存在功能性、使用性和适用性方面的问题^[52]:①数据采集方面:很多 App 大都由信息系统专业人员主导开发,对动物资源监测的专业需求、应用场景理解不足;②使用友好度差:由于对野外工作流程不熟悉,软件的数据设置和采集过程混乱,使用不友好,尤其是基层人员难以操作;③无网络使用受限:大多 App 基于在线网络地图定位,在无网络环境无法使用,而国家公园大部分地区是信号盲区;④采集效率有待提高:记录方式、数据管理对人的依赖仍然较大,对监测人员工作强度的解放和效率提升仍需加强,导致这些 App 所采集监测数据质量较低,性能与行业需求仍存在较大差距。目前尚未出现适用于国家公园及保护地不同生态系统、景观类型、保护对象监测需求的旗舰软件。

2.6.2 声纹监测技术存在问题

目前,该技术已经解决了采集和传输问题,尽管有“灵感”、“图音识鸟”等识别模型,但语图识别模型准确率偏低仍是该技术推广和应用的瓶颈^[53]。语图识别模型资源及研发面临的问题和图像模型类似,国外模型不匹配、国内模型误判率高,并且动物声音类型和变化更多样,尤其是不同生活史阶段和区域声音差异较大,模型训练难度更大。

2.6.3 AI 数据库、平台及软件存在问题

尽管 AI 在动物监测领域的应用取得了显著进展,但也存在一些问题和挑战:①数据质量和可用性:高质量、标注准确的训练数据是 AI 模型成功的关键。对于大型兽类样本数据则相对容易获取,而对小型动物足够的样本获取则较为困难。②模型泛化能力:AI 模型可能在训练环境以外表现不佳,需要针对不同的环境和目标物种开发或调整算法。③行为监测需要加强:在识别物种类别和数量上已取得较大进展,而在行为识别与分析方面仍需要进一步研究,以期实现对活动轨迹、觅食行为、交流互动等行为的实时记录与分析,从而更深入地了解动物的生态行为。

3 主要监测技术对比

基于上述内容,将文中涉及主要监测技术的优缺点汇总至表 3,具体如下:

4 满足国家公园和保护地高质量发展的动物资源监测技术研发需求

国家公园建设是践行习近平生态文明思想的重要顶层设计,是新时期林草行业的主体职能。截止目前,我国已经建立了三江源、大熊猫、东北虎豹、海南热带雨林和武夷山 5 个国家公园^[54-55]。动物资源是这些国家公园的主要保护对象,对这些公园动物资源的监测既是日常管理的基础工作,也是重要的保护措施和行动,高性能的监测技术是确保监测数据质量和监测结果的前提。若监测技术存在瑕疵,除了不能为国家公园的建设和管理提供有效支持外,还导致耗费大量人力、物力所收集数据的价值大打折扣,造成保护资源的浪费和损失,也制约保护成效的进一步提升^[52]。随着我国建设高质量国家公园和保护地目标的提出,监测技术也需提供更为有价值的支持和保障,但已有的技术进展和创新与该目标还有一定差距。

针对已有野生动物监测技术的研发进展和面临的问题,未来研发应重点考虑以下因素:(1)国家公园及保护地地貌和环境复杂,气候类型多样,工作环境较为恶劣,未来国家公园及保护地高性能监测技术研发中贯彻以人为本理念,利用信息技术、人工智能赋能的优势减少监测工作的劳动强度和安全风险;(2)在保障数据

表 3 文中涉及野生动物监测技术优缺点对比

Table 3 Comparison of advantages and disadvantages of wildlife monitoring techniques covered in the text

技术名称 Name of technology	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
样点/线/方监测 Sample point/line/ square monitoring	1. 宝贵的一手资料: 直接观察和识别物种, 可以获取关于物种行为、生理状态和生态位的详细信息; 2. 定量数据: 能够提供关于物种丰度、分布和群落结构的定量数据; 3. 适用性广: 适用于多种类型的生态系统和物种, 包括陆地、水生和海洋环境; 4. 长期监测: 适合于长期监测, 可以用来评估物种群落随时间的变化、生态干扰的影响和恢复过程。	1. 耗时费力、成本高: 需要大量的人力和时间来实地收集数据, 投入成本高; 2. 易对动物造成干扰: 人类介入可能对动物或其栖息地造成干扰; 3. 部分物种的监测局限: 难以有效监测那些隐蔽或行动隐秘的物种, 会导致对这些物种存在性的低估; 4. 数据的代表性问题: 调查地点的设置会受到主观判断的影响, 从而影响数据的准确性和可靠性; 5. 专业知识要求高: 数据收集人员专业水平要求较高。
诱捕 Trapping	1. 物种识别和数据收集: 可近距离观察、识别和收集关于个体动物的详细数据, 包括健康状况、生理测量和生殖状况等; 2. 人工标记和跟踪: 通过诱捕, 可以给动物安装跟踪设备, 有助于研究动物的迁徙模式、栖息地使用和社交行为; 3. 种群管理: 在特定情况下, 如控制入侵物种或重新引入濒危物种到其原生栖息地, 诱捕是实施有效管理措施的关键步骤; 4. 疫病监测和控制: 通过对野生动物进行健康检查及时发现和控制可能对野生动物群体或人类健康构成威胁的疾病。	1. 动物福利: 可能会造成动物受伤或死亡, 也可能对动物造成压力和行为干扰, 引发动物福利和伦理问题; 2. 选择性问题: 一些诱捕方法存在选择性, 可能会对特定的性别、年龄段或种群具有更高的捕获率, 导致样本偏差。 3. 环境影响: 诱饵的使用可能会改变目标物种或其他非目标物种的自然行为, 甚至可能对环境造成污染。 4. 技术门槛和成本: 一些现代诱捕技术相对复杂度和成本更高, 会限制其在资源有限的情况下的应用。
环境 DNA eDNA	1. 非侵入性: eDNA 采样不需要直接接触或捕捉动物, 对野生动物和生境干扰小; 2. 灵敏度高: 在物种数量极少或难以直接观察的情况下, eDNA 也能有效检测到物种的存在; 3. 成本效益: 采样和分析的成本较低; 4. 应用范围广: 可以应用于多种环境; 5. 物种识别准确: eDNA 分析可以提供准确的物种识别, 有助于发现新物种或记录稀有物种。	1. 降解和稳定性: eDNA 在环境中很容易降解, 限制了样本收集的时间窗口和空间范围, 影响结果的准确性; 2. 背景噪音和污染: 环境样本可能包含大量非目标物种的 DNA, 可能干扰目标物种的检测。样本在采集、运输或处理过程中容易受到污染, 进一步影响检测结果的可靠性; 3. 物种鉴定的局限性: 依赖于已知的 DNA 序列数据库, 可能会导致某些物种被错误鉴定或无法鉴定; 4. 定量问题: 将 eDNA 浓度转化为物种的丰度或密度存在挑战。
红外相机 Infrared camera	1. 非侵入性: 可在不干扰动物自然行为的情况下进行监测, 对动物及其生境影响极小; 2. 连续监测: 可以不间断连续监测; 3. 数据丰富: 能够提供动物活动的直观图像和视频资料, 在此基础上可研究动物的行为模式、种群数量、栖息地利用等。 4. 成本效益较低: 一旦安装和设置, 维护成本相对较低, 且能够长时间收集大量数据。	1. 设备成本和维护: 初期设备投资相对较高, 且在野外工作的相机需要定期检查和维护; 2. 数据处理工作量大: 需大量时间查看、分类和分析数据; 3. 存在误触发: 外界环境可引起错误触发, 会产生无用数据; 4. 数据质量差异大: 有时难以精确识别物种, 尤其是在夜晚或动物距离相机较远时; 5. 极端环境限制: 在极端天气或环境中, 相机运行受限。
视频监测 Video monitoring	1. 详细的行为记录: 可提供连续的记录, 可以捕捉到动物的详细行为模式; 2. 全天候监控: 视频监测可以在夜间或低光条件下继续进行, 全天候监控; 3. 减少人为干扰: 减少了对动物自然行为的干扰, 监测人员不需要身处现场; 4. 远程访问和分析: 可远程访问和分析, 可以在任何地方查看和研究录制的视频; 5. 监测效率高: 多个摄像头可以同时在不同地点进行监测, 提高了数据收集的效率和范围。	1. 数据存储和管理要求高: 数据量巨大, 需要大量的存储空间, 并且管理和分析这些数据需要专门的软件和技术知识; 2. 成本高: 高质量的视频监控设备和存储设施需要投资大。维护和运行这些设备也需要持续的资金支持; 3. 技术故障: 设备故障或数据丢失可能导致监测断层, 影响长期研究项目的连续性; 4. 环境因素: 极端天气条件和恶劣环境可能影响设备的功能和视频质量。 5. 处理能力需求高: 数据的分析和处理需要高水平的专业知识人员, 和强大的硬件和软件支持。

续表

技术名称 Name of technology	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
移动端监测 Mobile monitoring APPs	1. 易于使用:易于学习和使用,为公众参与监测提供了可能; 2. 实时数据收集和共享:可以快速收集和上传数据,实现数据的实时共享,有助于及时响应野生动物的保护需求; 3. 数据丰富性:收集包括地点、时间、照片、视频等在内的多维度数据,为研究和保护提供了丰富的信息; 4. 成本低:可以大幅降低数据收集和管理的成本。 5. 便于监测大范围区域:不再局限于特定地点,公众的参与能够覆盖更广阔的地理区域。	1. 数据采集需求理解不足:很多对动物资源监测的专业需求、应用场景理解不足; 2. 使用友好度差:部分软件的数据设置和采集过程混乱,使用不友好,尤其是基层人员难以操作; 3. 无网络使用受限:大多 App 在无网络环境无法使用; 4. 采集效率有待提高:部分 App 所采集监测数据质量较低,性能与行业需求仍存在较大差距。
声纹监测 Voice monitoring	1. 非侵入性:对动物和其生态环境的干扰小; 2. 连续监测:可以持续运行,能够用于研究动物的活动模式和行为习惯; 3. 远程监测:可远程收集和分析数据,有助于监测难以接近或敏感的地区; 4. 成本效益:维护成本相对较低,且能够长期收集大量数据; 5. 物种识别:可作为发声动物物种识别的有效工具。	1. 适用物种限制性:不常发声或声音难以捕捉的物种不适用; 2. 声音重叠问题:在生物多样性丰富的环境中,不同物种的声音可能会重叠,导致识别和分析困难; 3. 数据处理和分析:处理和分析需要专业的软件和技术知识,需要大量的时间和资源; 4. 环境噪声干扰:环境噪声可能干扰声纹捕捉和识别的准确性; 5. 数据的代表性和覆盖范围有限:可能无法全面反映大范围内的物种分布和密度。
AI 数据库、平台及软件 AI databases, platforms and software	1. 效率高:可自动处理和分析巨量数据,效率高; 2. 准确性增加:能够以较高的准确率识别不同物种、行为模式和健康状况,有时甚至超过人类专家的识别能力; 3. 连续监测能力:能够连续监测野生动物,尤其是在难以人工达到的地区或在恶劣的环境条件下; 4. 提供新发现:能够揭示传统方法难以捕捉的模式和趋势;	1. 数据质量和可用性:部分物种数据难以获取,可用性受限; 2. 模型泛化能力:可能在训练环境以外表现不佳,需要针对不同的环境和目标物种开发或调整算法; 3. 行为监测需要加强:在行为识别与分析方面仍需要进一步研究; 4. 高成本:需昂贵的计算资源和专业知识支持,投入成本较高。

质量的前提下,考虑制定统一的数据收集、处理和分享标准,建立开放的数据平台,以促进数据的可接入性和可用性,系统地集成数据采集技术和手段,优化数据采集的流程和方式,提升监测结果的规范化和智能化水平,提升数据传输、存储、管理的模式和方案,提高工作效率;(3)在减轻一线调查人员的劳动强度的基础上,整合监测数据类型和形式,优化数据采集、传输和管理过程,增加数据采集和记录的便捷程度,尤其是要考虑广大基层调查人员的使用习惯,使用户体验更加友好、和谐;(4)还要通过学科与技术融合提高数据采集的智能水平,多学科融合开发,促进生态学、动物学、数据科学和信息科学等不同领域专家的合作,以发展更适用、更准确的监测技术和算法,根据自然环境、保护对象的差异开发更多应用场景全面、使用友好、操作便捷的智能监测软件及产品;(5)建立对接其他监测方式和数据的途径和空间,根据监测方式、设备的技术进展,及时增加和拓展监测数据的类型和来源。(6)扩大监测技术普及和降低使用门槛,促进更多一线人员能够掌握新型监测技术,提高监测水平。总之,立足于提升监测数据和效率、纾解劳动强度和改善工作体验开展技术研发,通过技术进步实现监测工作便捷化、智能化、规范化,激励和培养一线人员对监测工作的热情,推动和保障国家公园及保护地监测工作的有序开展,为国家公园和保护地高质量发展提供野生动物监测技术方案。

构建以国家公园为主体的自然保护地体系,实施代表性生态系统保护、重要物种栖息地恢复连通、开展旗舰动物专项调查监测,亟需综合运用现有监测技术手段进行综合监测。通过布设样地、样线,统一监测标准,整合现代通信网络、人工智能等高新技术,运用有线无线融合网络、视频监控、红外相机、无人机等技术手段,结合遥感卫星影像数据,构建覆盖森林、草原、河湖、湿地、沙漠、海洋等关键生态系统的天空地一体化监测网络,建设全方位智慧化管理信息系统。

参考文献(References):

- [1] 徐梦,田大栓,王易恒,何奕成,崔清国,李跃林,申小莉,原作强,王扬. 国家尺度自然保护地生态系统联网监测指标体系构建与应用研究. 植物生态学报, 2022, 46(10): 1219-1233.
- [2] 王伟,周越,田瑜,李俊生. 自然保护地生物多样性保护研究进展. 生物多样性, 2022, 30(10): 52-65.
- [3] 谢嘉淇,徐曼,王薇茜,虞依娜. 国家公园生态系统服务研究与展望. 生态学杂志, 2023, 42(01): 219-227.
- [4] 阮向东. 全国陆生野生动物资源调查和监测工作进展概况. 野生动物, 1996, 17(4): 7-9.
- [5] 邹存利. 野生动物资源的调查与监测. 林业勘查设计, 2001(1): 53-54.
- [6] 刘向. 山海经全集.第一版.长春:吉林文史出版社, 2017.
- [7] 王志恒,刘玲莉. 生态系统结构与功能: 前沿与展望. 植物生态学报, 2021, 45(10): 1033-1035.
- [8] 秦天宝. 全球生物多样性治理与中国的角色转变. 当代世界, 2021(11): 16-21.
- [9] Ripple W J, Estes J A, Beschta R L, Wilmers C C, Ritchie E G, Hebblewhite M, Berger J, Elmhagen B, Letnic M, Nelson M P, Schmitz O J, Smith D W, Wallach A D, Wirsing A J. Status and ecological effects of the world's largest carnivores. Science, 2014, 343(6167): 1241484.
- [10] 肖文宏,周青松,朱朝东,吴东辉,肖治术. 野生动物监测技术和方法应用进展与展望. 植物生态学报, 2020, 44(4): 409-417.
- [11] 申小莉,余建平,李晟,肖慧芸,陈小南,陈声文,刘鸣章,马克平. 钱江源国家公园红外相机监测平台进展概述. 生物多样性, 2020, 28(9): 1110-1114.
- [12] 余建平,王江月,肖慧芸,陈小南,陈声文,李晟,申小莉. 利用红外相机公里网格调查钱江源国家公园的兽类及鸟类多样性. 生物多样性, 2019, 27(12): 1339-1344.
- [13] Panigrahi S, Maski P, Thondiyath A. Real-time biodiversity analysis using deep-learning algorithms on mobile robotic platforms. PeerJ Computer Science, 2023, 9: e1502.
- [14] William J. McShea, 申小莉,刘芳,王天明,肖治术,李晟. 中国的野生动物红外相机监测需要统一的标准. 生物多样性, 2020, 28(9): 1125-1131.
- [15] 林川,葛潇钦,张蔚,陈志达. 生物多样性与自然资源调查监测体系融合的探讨. 地理信息世界, 2022, 29(4): 112-115.
- [16] 陈华豪,常虹. 哺乳类动物数量调查中的截线抽样法与逆向截线法. 兽类学报, 1987, 7(1): 58-66.
- [17] 崔岩,赵德怀. 野生动物定位监测数据处理方法研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2001, 29(5): 51-55.
- [18] 温战强,任毅,金学林,郑光美. 全国大熊猫及其栖息地监测技术探讨. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45(1): 70-74.
- [19] 赵娟,刘任涛,刘佳楠,常海涛,罗雅曦,张静. 北方农牧交错带退耕还林与还草对地面节肢动物群落结构的影响. 生态学报, 2019, 39(5): 1653-1663.
- [20] 李萌,尉婷婷,史博洋,郝希阳,徐海根,孙红英. 环境 DNA 技术在淡水底栖大型无脊椎动物多样性监测中的应用. 生物多样性, 2019, 27(5): 480-490.
- [21] 李晟,王大军,肖治术,李欣海,王天明,冯利民,王云. 红外相机技术在我国野生动物研究与保护中的应用与前景. 生物多样性, 2014, 22(6): 685-695.
- [22] Frey S, Fisher J T, Burton A C, Volpe J P. Investigating animal activity patterns and temporal niche partitioning using camera-trap data: challenges and opportunities. Remote Sensing in Ecology and Conservation, 2017, 3(3): 123-132.
- [23] 马亦生,马青青,孙亮,李帅,周刚,李涛,董乐乐,曹李华,朱大鹏. 基于红外相机技术对佛坪国家级自然保护区大熊猫季节性空间分布与活动模式的研究. 动物学杂志, 2020, 55(1): 20-28.
- [24] 肖治术,李欣海,姜广顺. 红外相机技术在我国野生动物监测研究中的应用. 生物多样性, 2014, 22(6): 683-684.
- [25] 张履冰,崔绍朋,黄元骏,陈代强,乔慧捷,李春旺,蒋志刚. 红外相机技术在我国野生动物监测中的应用: 问题与限制. 生物多样性, 2014, 22(6): 696-703.
- [26] 余建平,钱海源,陈小南,李晟,申小莉. 基于红外相机技术的白鹇日活动节律研究. 动物学杂志, 2017, 52(6): 937-944.
- [27] 赵联军,刘鸣章,罗春平,卜红亮,马东源,尚晓彤,李晟. 四川王朗国家级自然保护区血雉的日活动节律. 四川动物, 2020, 39(2): 121-128.
- [28] 刘小斌,韦伟,郑筱光,赵凯辉,何少文,周文良. 红腹锦鸡和红腹角雉活动节律——基于红外相机监测数据. 动物学杂志, 2017, 52(2): 194-202.
- [29] 李晶. 智能视频监控系统的研究与应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
- [30] 陈意. 浅谈综合视频监控系统在太子山关滩保护站林业工作中的应用. 甘肃林业, 2022(3): 41-42.
- [31] 李进. 某自然保护区视频监控系统设计及部署[D]. 成都: 电子科技大学, 2018.
- [32] Burton A C, Neilson E, Moreira D, Ladle A, Steenweg R, Fisher J T, Bayne E, Boutin S. Review: wildlife camera trapping: a review and

- recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology*, 2015, 52(3), 675-685.
- [33] 王青斌. 震旦鸦雀孵卵和育雏规律及不同监测方法的应用[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2018.
- [34] 韩雪松, 董正一, 赵格, 赵翔, 史湘莹, 吕植, 李宏奇. 基于视频监控系统的欧亚水獭活动节律初报及红外相机监测效果评估. *生物多样性*, 2021, 29(6): 770-779.
- [35] 刘明冲, 唐卓, 管晓, 施小刚, 王鹏彦. 利用远程视频监控系统观察卧龙自然保护区的羚牛和水鹿. *林业科技通讯*, 2019(3): 16-21.
- [36] 王梦犀, 易小理. 云南香格里拉普达措国家公园综合管理信息化服务平台设计. *林业调查规划*, 2021, 46(5): 99-105.
- [37] 钟俊杰, 钮冰, 陈沁, 陈翔, 王艳. 深度学习在野生动物保护中的应用. *兽类学报*, 2023, 43(6): 734-744.
- [38] 张雪莹, 张浩林, 韩莹莹, 翁强, 袁峥嵘, 姚远. 基于深度学习的野生动物监测与识别研究进展. *野生动物学报*, 2022, 43(1): 251-258.
- [39] 郭桢杉, 黄金燕, 张群艳, 吴沛桦, 张晋东. 基于红外相机的中国兽类多样性监测现状分析. *四川林业科技*, 2022, 43(3): 60-66.
- [40] 王天明, 冯利民, 杨海涛, 鲍蕾, 王红芳, 葛剑平. 东北虎豹生物多样性红外相机监测平台概述. *生物多样性*, 2020, 28(9): 1059-1066.
- [41] 沈希忠, 陈菱. 基于 KH-KELM 的鸟类声音分类识别. *应用技术学报*, 2023, 23(3): 279-285.
- [42] Tang Q, Xu L M, Zheng B C, He C L. Transound: Hyper-head attention transformer for birds sound recognition. *Ecological Informatics*, 2023, 75: 102001.
- [43] 唐继荣, 徐宏发, 徐正强. 鹿类动物数量调查方法探讨. *兽类学报*, 2001, 21(3): 221-230.
- [44] 韦怡, 姜广顺. 虎豹及有蹄类猎物种群数量监测方法概述. *生物多样性*, 2022, 30(9): 133-150.
- [45] 李月辉. 大中型兽类种群数量估算的研究进展. *生物多样性*, 2021, 29(12): 1700-1717.
- [46] 龚明昊, 张建军. 荒漠地区野生动物调查方法探讨——一种新的调查方法介绍. *四川动物*, 2010, 29(2): 320-324.
- [47] 肖泽华, 董姗姗, 张振华, 章嫡妮, 宋志平. 环境 DNA 在两栖动物监测中的应用研究进展. *生态学报*, 2023, 43(19): 7861-7873.
- [48] 肖治术, 肖文宏, 王天明, 李晟, 连新明, 宋大昭, 邓雪琴, 周岐海. 中国野生动物红外相机监测与研究: 现状及未来. *生物多样性*, 2022, 30(10): 234-259.
- [49] 孔玥峤, 刘炎林, 贺成武, 李天醒, 李全亮, 马存新, 王大军, 李晟. 评估荒漠猫的日活动节律: 基于红外相机与卫星颈圈数据的对比. *生物多样性*, 2022, 30(9): 151-162.
- [50] 李荣生, 肖家亮, 钟慧聪, 庄礼凤, 魏懿鑫. 红外相机在中国保护区野生动物监测的应用现状. *热带林业*, 2021, 49(2): 36-39.
- [51] Li S, McShea W J, Wang D J, Huang J Z, Shao L K. A direct comparison of camera-trapping and sign transects for monitoring wildlife in the Wanglang National Nature Reserve, China. *Wildlife Society Bulletin*, 2012, 36(3): 538-545.
- [52] 龚明昊, 王汉维. 3S 技术和移动互联网技术在湿地水鸟调查与监测中的应用. 第十三届全国野生动物生态与资源保护学术研讨会暨第六届中国西部动物学学术研讨会论文摘要集, 2017: 140.
- [53] 冯慧敏, 金崑. 基于卷积神经网络的雄性海南长臂猿声纹识别. *林业科学*, 2023, 59(1): 119-127.
- [54] 徐放, 刘悄然. 中国国家公园特征及对保护地发展的启示. *建筑与文化*, 2022(10): 242-245.
- [55] 张星烁, 周大庆, 邢圆. 我国 10 个国家公园体制试点区对比研究. *四川动物*, 2022, 41(6): 672-680.