

梅沙碳中和社区动物多样性 本底调查及评价



主持单位：中山大学生态学院

二〇二四年四月

项目专题概况

项目专题名称：

梅沙碳中和社区动物多样性本底调查及评价

专题委托单位：

万科公益基金会

专题承担单位：

中山大学生态学院

专题性质：

动物多样性本底调查及评价

总 论

一、项目开展的理论支撑与必然性

1992年，在联合国《生物多样性公约》第一次缔约方大会(COP1)上，“城市生物多样性”作为完整术语首次被提出。城市生物多样性保护不仅是构建“人与自然生命共同体”的基础，也是维护城市生态安全的必然要求。随着全球进入城市时代，城市在保护生物多样性方面的作用变得日益重要。

2005年，时任浙江省委书记的习近平同志在浙江湖州安吉考察时提出了“绿水青山就是金山银山”的科学论断。党的十八大以来，生态优先、绿色发展的多样性保护思想愈发和生态文明理念日益深入人心，生态环境保护事业正发生历史性、转折性、全局性变化。广东省高度重视生态文明建设，强调大力推动增绿补绿工作，推进粤港澳大湾区生态资源监测工作全面发展和提升，推动生态保护和生态修复。生物多样性是衡量一个国家和地区生态环境质量的重要标志，生物多样性监测是贯彻习近平生态文明思想，推进生态文明建设的重大举措。

2019年，国家发布了《粤港澳大湾区发展规划纲要》，并在其中明确指出，加强滨海湿地修复、强化岸线资源保护和自然属性维护是首要任务之一；2020年，我国在第七十五届联合国大会上明确提出2030年“碳达峰”与2060年“碳中和”目标，并于次年出台重要文件，构建我国双碳政策体系的顶层设计，这意味着我国发展政策重心已正式转向绿色、环保、低碳的“双碳”时代。

2021年开始，万科公益基金会在相关政府的指导下联合了十多家合作伙伴一起在深圳市盐田区梅沙片区探索更低碳和环境友好、更具参与感和行动力的社区碳中和生活范式。大梅沙社区是深圳市首批近零碳排放试点社区之一，也作为深圳市应对气候变化工作的重大工程纳入《深圳市应对气候变化“十四五”规划》碳中和示范项目。梅沙的碳中和社区实践对深圳市乃至全国其他社区进行碳中和社区转型有着重要的示范作用。因此，对于梅沙碳中和社区进行系统性的动物本底调查与监测，不仅具有充足的时代背景，也具有长远的前瞻性。

深圳是粤港澳大湾区的代表地区，同时它位于全球 36 个生物多样性热点之一的印缅地区的东北缘，在湾区高质量发展背景下，城市生物多样性保护价值极高。而地处深圳东部的梅沙街道是深圳市生物多样性保护的重点区域之一，拥有丰富的自然资源、多样化的生态环境与重要的地理位置，其周边包括上坪水库、叠翠湖水库、三洲田水库等水库保护区，以及小三洲绿道和马峦山郊野公园等重要生态区。梅沙街道辖区内森林总面积 1273.2 公顷，覆盖率达 69.98%，湿地总面积也达到 76.27 公顷，对于粤港澳大湾区乃至全国各地区，梅沙街道的生物多样性都具有一定程度的代表性。当地完整性较高的生态系统为众多动物种群提供了生存和繁殖必需的生境与资源，是其重要的栖息地。梅沙地区作为深圳市典型的滨海社区，对其动物资源开展本底调查和数据分析具有较强的时代意义和应用价值。同时，为加强梅沙碳中和社区公众居民对周边动物物种组成和现状的了解、提升公众亲环境行为和生物多样性的知识和保护意识，万科公益基金会于 2022 年开始，联合中山大学开展梅沙街道地区的动物本底调查。该项目基于梅沙碳中和社区动物多样性本底调查及评价计划与梅沙街道生态特征条件开展，对辖区范围周边上坪水库、叠翠湖水库、马峦山郊野公园、小三洲绿道、小梅沙滨海步道、半山防火巡逻道及万科中心绿化步道等对当地各类生境有较好代表性的郊野与城镇生态区域进行了为期一年的详细调查。

本项目旨在深入研究以深圳梅沙碳中和社区为场景的城市动物种群数量及类别的变化，通过样线、样点及被动监测等科学调查方法，对梅沙碳中和社区的街区、野外环境中的动物（鸟类、鱼类、两栖类、爬行类、兽类、传粉昆虫）种群多样性进行采样调查，获取其时空分布、迁徙节律以及受威胁因素等重要信息。本项目的数据可用于动态评估梅沙碳中和社区范围内的动物栖息地质量、范围和连通性，为整个梅沙碳中和社区生物相关的栖息地保护和生态系统服务功能提供有力的数据支持。本项目的数据分析结果、资源评价等可有效助力万科公益基金会联动相关政府单位积极构建分级、分类的城市生物多样性保护体系，为建设生物多样性友好的碳中和社区提供科学的空间规划基础，也在为未来的碳中和社区生态调查提供规范标准。该项目同时也可提升梅沙街道与周边城市居民对生态环境的认知度与关注度，培养亲环境行为的群众基础，

为梅沙构建人与自然和谐、积极应对气候变化的多功能韧性城市社区提供实践样板。

二、项目开展的地理概况和调查范围

深圳市位于北回归线以南的广东省中南沿海地区，属于亚热带季风海洋性气候，四季特征不显著，夏长冬短；气候整体温和，雨热同期，年平均气温为 22.4℃；雨量充沛且多集中于 4~9 月的雨季，平均年降雨量近 2000mm，雨季降雨量约占年降雨量的 84%。由于深受季风的影响，夏季盛行偏东南风，时有季风低压、热带气旋光顾，高温多雨；其余季节盛行东北季风，气候相对干燥。

深圳市属于珠江流域，有独立河流 98 条（内陆河流 8 条，直接入海河流 90 条），一级支流 105 条，二、三级支流 107 条。深圳市河流长度变化程度大，平均长度不足 4km，河流水系分布基本特点是小河众多，大河稀少，且径流流路短，呈明显的雨源型河流特征。

深圳的植被类型复杂多样，主要包括常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、红树林等 13 个植被型和 98 个群系。2021 年，深圳发布的《深圳市生物多样性白皮书》显示，我市记录有本土陆生野生脊椎动物近 600 种，本土野生维管植物逾 2000 种。截至 2020 年，全市森林面积 7.8 万公顷，森林覆盖率 39.4%，全市绿化覆盖面积 10.2 万公顷，建成区绿化覆盖率 43.4%，建成区绿地率 37.4%，从数据上来看，深圳的生态环境质量维持在健康水平，全市公园绿地面积持续增加。

梅沙街道隶属于广东省深圳市盐田区，地理位置为东经 114.29°，北纬 22.62°，位于盐田区东部，东与大鹏新区相连，西接盐田街道，南与香港新界隔海相望，北靠坪山区。地势上北高南低，毗邻大鹏湾，背依马峦山与梧桐山。气候属于南亚热带季风海洋性气候，温暖湿润，年平均气温 22℃，雨热同期。森林覆盖率 69.98%，主要植被类型为常绿阔叶林。梅沙区域动植物种类相当丰富，有多种国家保护的珍稀濒危动物，以及大量具备较高生态和研究价值的野生动植物。

三、项目调查方法及成果概述

在持续一年有余的调查中，通过样线法共记录到鸟类 129 种，通过声纹调查共识别并记录到鸟类 79 种，其中列入国家重点保护野生动物名录中的二级保护物种分别有 15 种和 10 种；鱼类调查通过 eDNA 监测鱼类、虾蟹类物种 62 种，通过传统形态学方法记录到 29 种，其中列入国家重点保护野生动物名录中的二级保护物种有 1 种；两栖和爬行类通过样线法调查分别记录到两栖动物 14 种，爬行动物 20 种，其中国家二级重点保护野生动物分别为 2 种和 1 种；通过红外相机监测工记录到兽类 8 种，其中国家一级重点保护野生动物 1 种，国家二级重点保护野生动物 1 种；通过样线法共记录到传粉昆虫 129 种。

以下为各类群调查的主要目标及采用调查方法的概述：

(1) 鸟类本底调查：鸟类是与人类关系最为密切、最容易观察并开展自然教育、宣传环保理念的动物类群，其生态价值巨大。调查主要以两种形式开展，一是样线法观察样线附近鸟类的数量、种类、分布情况等，而是通过声纹监测掌握监测范围内的鸟类情况。

样线法通过在一年期间对梅沙地区的鸟类开展 16 次调查的方式，结合项目位置、鸟类迁徙路线、栖息地分布、重点区域生境类型等因素，分析项目区域内鸟类的种类构成、分布情况以及所受威胁等，并将调查所得数据用以分析鸟类物种多样性，进行生态评估，并提出相应保护或生态补偿措施。调查内容具体包括样线范围内鸟类资源种类和数量、季节类型；国家级重点保护鸟类及其受胁类型；主要鸟类的分布情况与区域生境质量等。调查采用样线法，设立 10 条涵盖梅沙街道周边重点区域各类生境类型的固定样线，使用直接计数法并辅助望远镜、相机等器材，在日间（以清晨、黄昏为主）观测并记录样线及两侧 50 m 范围内所有鸟种、数量、生境状况等信息，尽量拍摄物种和生境照片、采集物种鸣声信息等。

声纹监测调查通过运用大数据、物联网、声学感知等新一代信息技术，为深圳梅沙生态系统监测提供智能化监测手段，实现逐步构建深圳梅沙野生动物声学数据库、掌握监测范围内鸟类的多样性现状、建设梅沙内动物声学智能识

别模型并为长期野生动物监测提供智能化手段、充实区内生物多样性数据库和科研监测数据、全面掌握梅沙生态环境的动态变化情况 etc 目标，并通过监测结果对梅沙内鸟类多样性保护和管理提供科学的合理化建议。调查内容具体包括利用 ArcGIS 软件将梅沙按照海拔地势、生境类型以及干扰程度，分别选点布设声学监测设备，根据鸟类资源分布的特点以及被调查地点的环境特征，对一些鸟类的重点分布区域进行动物声学监测设备布设。将设备于 2023 年 4~5 月份分批次安装到项目地，共计 10 台动物声纹监测设备，并在后续监测过程中陆续开展检修和日常维护。数据自动上传至服务器，最后使用珠三角识别模型对项目采集的音频数据进行识别、筛选和人工审核，完成鸟类物种识别、鸟鸣音节序列分析，获取完整的物种信息。

(2) 鱼类本底调查：淡水生态系统作为和人类最息息相关、也最脆弱的生态系统之一，需要得到广泛的重视和保护，准确掌握淡水生物多样性在生境中的生物量和时空分布情况是展开多样性保护的基本前提和重要基础。对淡水生物开展调查可以为梅沙地区的生态保护提供科学依据，有助于保护重要的淡水生态系统资源。

调查内容具体主要为运用传统生物多样性调研以及 eDNA 宏条形码技术，于 2023 年 4 月、6 月、9 月和 12 月在梅沙地区对淡水鱼类和虾蟹类生物多样性进行本底调查和评估，设置 9 个采样点。在调查过程中记录样点经纬度信息、拍摄样点环境照片，并使用 YSI 便携式水质仪测定水温、气压、溶解氧、电导率、盐度、pH 等环境因子，从而全面了解梅沙地区淡水生境中的鱼类和虾蟹类物种组成和分布，并探究不同季度（春、夏、秋、冬）采样在淡水生境中物种多样性和群落结构的变化，对值得关注的珍稀濒危物种、入侵物种和重点生境进行关注，以揭示季节性影响并提出针对性的保护措施，从而更好地应对气候变化和环境波动，同时能够为梅沙地区的生态保护、可持续发展的实现提供科学依据、为未来的生物多样性保护和生态环境管理提供一些有价值的参考，并呼吁更多人意识到生物多样性保护面临的挑战和机遇。

(3) 两栖及爬行动物本底调查：两栖爬行动物受到活动范围的限制，往往对生境具有较高的依赖性，因此对局部生态环境的质量要求较高。同时，作为

较少受到关注的类群，大众对野生两栖爬行动物的认知往往是空白的，亟需更多关注和保护，系统评价各种群分布的栖息地状况和种群面临威胁，同时也是为更加全面地了解梅沙地区完整的生态系统奠定基础。2023年5月~11月之间完成了6次两栖爬行类调查。

调查方法主要为典型生境样线法。两栖动物调查主要在夜间进行，调查时间为夜间19:00~24:00，而爬行动物的调查包括夜间19:00~24:00及日间的上午8:00~11:00。调查在生态区内选取具有代表性的溯溪样线，调查员以2人为一组，沿样线行进，记录物种名称和个体数量，记录主要生境信息及受胁因素，并拍摄一定数量的生态照片。

(4) 兽类本底调查：兽类行踪隐蔽，往往昼伏夜出，性格胆小谨慎，不易观察，大众对其了解较少。通过全面调查，确定分布在梅沙碳中和社区及其周边的兽类种类、栖息地利用规律及活动区内的关键生境特征，为关键栖息地的恢复和生物多样性的提升提供技术支撑，并强化梅沙碳中和社区居民对周边兽类物种组成和现状的了解，培养公众亲环境行为，提升梅沙碳中和社区及周边区域居民对梅沙地区兽类多样性的认知和保护意识。

调查方法主要为红外相机自动拍摄法和痕迹计数法。调查范围选定在项目区域及周边林地山地生境，出于生态系统完整性的考虑，故将整个大小梅沙作为调查范围。包括社区周边受人类活动影响较大的区域以及人类活动较少的山体林地。共开展7次调查和红外相机数据的收集和整理，并通过数据分析其分布和活动节律，也可结合相关模型估测种群密度等。

(5) (传粉) 昆虫本底调查：作为食物链的底层基础类群，昆虫的数量和动态往往会对其他许多动物造成影响，而传粉昆虫更是与许多植物的繁衍息息相关。通过调查梅沙社区及周边分布的传粉昆虫，了解传粉昆虫的分布规律及影响因素，评估其受到的潜在栖息地和气候变化的影响，从而更好掌握梅沙地区昆虫的动态，有助于提升综合预测气候变化如何影响生态系统的能力，同时也有利于气候变化下的生物多样性保护对策的制定、为粮食安全及生态安全的维持提供科学依据。

调查范围涵盖大梅沙和小梅沙及周围山地。包括了山地次生林、灌丛、草丛、城市公园及海岸次生林。共开展 6 次调查，涵盖旱季和雨季。调查方法主要为样线法，在调查范围内选择 10 条 1~2km 的调查样线，并针对常见访花昆虫鳞翅目、膜翅目和鞘翅目开展，同时记录不同生境和季节传粉昆虫的种类。调查时，调查人员 1~2km/h 持相机和捕虫网匀速前进。观测记录样线及两侧 2m 范围内的传粉昆虫，并记录其生境。尽量拍摄物种照片，如有必要，采集标本以供后续鉴定。

调查的目的不仅在于获得一份物种名录和相关数据，更是在于真实反映梅沙地区的生态环境质量状况和变化趋势，将调查所得成果进行转化，投入到梅沙碳中和社区人地和谐建设的实践中来，为未来的城市建设提供指导方向，并将环保意识渗透进每位居民的认知当中，积极宣传全民参与，共同维护梅沙的良好生态。

目 录

一、鸟类本底调查	11
二、鱼类本底调查	94
三、两栖爬行动物本底调查	153
四、兽类本底调查	174
五、昆虫本底调查	191

一、鸟类本底调查

参与人员组成及分工（样线法）

姓名	职务及职称	分工
刘阳	教授	项目统筹
程雅畅	助理研究员	调查主要负责人
曾晨	博士	野外调查、图像整理
廖之锴	科研助理	调查主要负责人
张修瀚	科研助理	传播规划、鸣声分析
吴越	科研助理	野外调查、报告撰写
凌菲阳	博士	野外调查
曾莹	博士	野外调查
韩玉清	博士	野外调查
苏健	科研助理	野外调查
尹婕	硕士	野外调查
叶智钊		野外调查
沈阅文		野外调查
黄秦		野外调查
莫晓东		野外调查
麦艳仪		野外调查
钟敏毅		野外调查
吴灏霖		野外调查
邓适彦		野外调查
胡珂		野外调查
黄熾琳		野外调查

参与人员组成及分工（声纹监测法）



广州灵感生态科技有限公司

姓名	职务及职称	分工
白皓天	博士	统筹调查、报告 撰写
余 上	学士	
宋璐婷	学士	
凌嘉乐	硕士	负责声学监测设 备的安装维护；后期
刘 芯	学士	负责声学监测设备数 据的整理鉴别
林生益	学士	
施国伟	学士	
郭海波	学士	

目 录

第一章 绪论.....	15
1.1 专题背景和意义.....	15
1.2 专题目标.....	16
1.3 两种调查方式的比较.....	17
1.4 导则依据与参考.....	18
第二章 样线法鸟类调查细则.....	19
2.1 样线布设.....	19
2.2 调查内容.....	19
2.3 分类系统.....	20
2.4 调查及统计方法.....	20
2.5 调查时间与频次.....	20
第三章 样线法调查结果分析.....	21
3.1 评价区域鸟类群落特征.....	21
3.1.1 鸟类物种组成特征.....	21
3.1.2 珍稀保护物种.....	22
3.1.3 鸟类物种数量及个体数量特征.....	23
3.2 评价区域鸟类空间分布.....	25
3.3 鸟类迁徙及飞行路线.....	25
3.3.1 鸟类迁徙路线及其规律.....	25
3.3.2 评价区域在迁徙路线中的重要性.....	26
3.3.3 评价区域鸟类迁徙情况.....	27
第四章 样线范围内鸟类所受威胁分析.....	27
4.1 鸟类生境的破坏.....	27
4.2 干扰鸟类活动.....	27
4.3 鸟撞事故率增加.....	28
4.4 受影响类群及代表性物种分析.....	28
第五章 基于样线调查的对策与建议.....	31
第六章 基于样线调查的主要结论.....	34
6.1 项目概况.....	34
6.2 项目区域及周边湿地鸟类概况.....	34
6.3 项目建设对鸟类主要生态影响.....	35
6.4 鸟类保护与防范主要建议措施.....	35
第七章 声纹监测方案细则.....	35
7.1 具体监测目标.....	35
7.2 技术流程.....	37
7.3 布设方法.....	37
7.4 设备点位与维护.....	40
7.5 设备安装位置.....	41
7.6 AI 识别与处理.....	42

7.7 数据处理方法	43
第八章 声纹监测结果	45
8.1 基本情况	45
8.1.1 多样性	45
8.1.2 物种相对多度	46
8.1.3 居留型	47
8.1.4 区系分析	47
8.1.5 物种累积曲线	48
8.2 时间节律	48
8.2.1 月活动节律	48
8.2.2 日活动节律	49
8.3 分设备采集数据汇总	53
8.4 空间规律	55
8.5 声景指数	56
8.5.1 分季节规律	56
8.5.2 分时段规律	57
8.6 监测采集动物鸣声声谱图展示	58
第九章 对声纹监测的分析讨论	60
9.1 多样性	60
9.1.1 类群特征	60
9.1.2 居留型与区系特征	61
9.2 活动节律	61
9.2.1 月活动节律	61
9.2.2 日活动节律	62
9.3 声景指数	62
9.3.1 季节规律	62
9.3.2 日活动规律	62
第十章 基于声纹监测的对策与建议	63
参考文献	65
附录	67

第一章 绪论

1.1 专题背景和意义

鸟类是与人类最为密切相关的动物类群之一，其主要在昼间活动、色泽鲜艳、体型适中、擅长鸣叫，因此是城市中最易进行观测的动物，自人类的历史与文明诞生至今，鸟类便从未缺席人们的生产生活和文艺创作。良好的生态环境是保证人类正常生产生活的重要条件之一，而作为宏观生态环境的一部分，鸟类在维护生态平衡、扩散花粉与种子等方面的作用不可小觑；生活在城市中的鸟类，不仅可以使人得到审美的享受，鸟语花香更让人得到精神的放松。对于梅沙碳中和社区进行鸟类调查与监测，不仅具有充足的时代背景，也具有长远的前瞻性。

梅沙街道具有丰富的自然资源、多样化的生态环境与重要的地理位置，其周边包括上坪水库、叠翠湖水库、三洲田水库等水库保护区，以及小三洲绿道和马峦山郊野公园等重要生态区。梅沙街道辖区内森林总面积 1273.2 公顷，覆盖率达 69.98%，湿地总面积也达到 76.27 公顷，其完整性较高的生态系统为多种鸟类种群提供了生存和繁殖必需的生境与资源，是其重要的栖息地；此外，深圳的野生鸟类种数约占全国的 1/4，多样性较高，且地处全球候鸟重要迁徙路线的中部位置，是成千上万候鸟年复一年迁徙时的“中转站”。因此，基于梅沙碳中和社区动物多样性本底调查及评价计划与梅沙街道生态特征条件，我们对辖区范围周边上坪水库、叠翠湖水库、马峦山郊野公园、小三洲绿道、小梅沙滨海步道、半山防火巡逻道及万科中心绿化步道等对当地各类生境有较好代表性的郊野与城镇生态区域，组织开展了为期一年的鸟类调查。

开展野生动物多样性实时调查监测，及时掌握野生动物种群动态变化，可以更有效地保护当地的生物多样性。鸟类分布广泛，易监测，对环境变化敏感且运动能力强，能够快速选择适宜的生境，因此是生物多样性监测及生境质量评估中重要的指示类群。对于梅沙，开展鸟类生态多样性监测，不仅可以掌握鸟类多样性资源及其动态变化，也可以反映梅沙生境状况，为保护和管理提供

支持。

另一方面，鸟类多样性生态调查的研究成果，不仅对于梅沙地区的开发与保护具有一定的指导作用、为关键栖息地的恢复和生物多样性的提升提供技术支撑。并且，人类拥有的三色视觉与鸟类的四色视觉相近，且对听觉的依赖性都比较高，因此，相比其他动物类群，我们更加容易注意到鸟类的活动。所以，从环境教育推广的角度看，鸟类具有易于观察，吸引力高、解说材料容易取得的特征，进行鸟类多样性生态调查，也能为将来可能开展的生态宣传做好必要的基础资料准备；同时，该举可以促进梅沙碳中和社区公众居民对周围鸟类组成和现状的了解，培养公众爱护环境、保护鸟类的观念，号召群众通过观鸟的形式参与梅沙地区的鸟类多样性探索，弥补梅沙地区本底数据缺乏且整体环境保护意识较低的短板。

1.2 专题目标

在传统样线调查中，项目的主要目标为确定梅沙街道周边地形状况与各类生境的分布情况、评估各样线区域的实际生态状况与可通行性，通过在一年期间对梅沙地区的鸟类开展 16 次样线法调查的方式，总结梅沙碳中和社区及周边地区的主要鸟类资源种类和数量、分布情况与区域生境质量、季节类型、国家级重点保护鸟类及其受胁状况，建立鸟类物种多样性资料库并对鸟类物种多样性进行分析，并提出相应保护或生态补偿措施。

在声纹监测调查中，项目的主要目标为科研监测、数据库建设与大数据分析和可视化系统研发；高效、精准的科研监测技术是国家森林资源监测和调查所亟需的，长期有效的科研监测数据也是精准评估林业主管部门评估保护成效的有效手段；生物多样性监测数据可视化是检测系统效率一个重要体现。该研究成果可以推广至全国的应用，也为主管部门保护管理、编制各项发展规划、制定保护措施、科学研究、科普宣教提供重要参考依据。

调查监测工作是一个长期积累的过程，已部署的声学设备也将在今后继续开展监测工作，相信随着本项目的实施，和梅沙区域的管理措施日益完善，在之后

的调查中将会有更多的野生动物陆续被发现，以此推进梅沙的综合能力提升，提高梅沙生态保护的知名度。

1.3 两种调查方式的比较

常见的传统鸟类监测方法主要有样点法、样线法等，这些方法容易受到时间、气候、区域、视线、监测人员专业水平等因素的影响，导致监测结果与实际情况出现偏差。同时，这些方法都需要具有足够专业技能的调查人员，导致监测覆盖地域有限、效率低、成本高，难以满足当今日益增长的野生动物多样性及其动态变化监测的需求。因此能够有效降低人力投入，结合最新技术的野生动物智慧监测系统，是近年来发展的热点。

为有效提高监测效率，降低长期监测项目中人力和经济成本投入，满足监测区域内鸟类监测大面积覆盖需求，本项目采用基于人工智能技术的鸟类智慧监测技术方案：规模化安装监测设备采集鸟鸣声信号，基于物联网技术实时上传音频数据至云平台，在云平台服务器上完成鸟鸣声的智慧分析、物种 AI 识别、鸟类丰度分布与趋势预测、声景指数计算，综合分析和评价鸟类生活环境，最终形成一体化的鸟类智慧监测体系。

传统的样线调查对人员需求较大，如果提高调查频次则人员、时间成本较高，且难以对夜行性鸟类进行有效监测；红外相机镜头观测角度有限，适合部分偏好地面活动的鸟类，如雉类、噪鹛等，对于树冠层活动的鸟类效果不好。相对而言，基于鸟鸣声的智慧鸟类监测技术，具有综合成本低、监测和分析效率高、无需人员值守，易覆盖大面积调查地等优点，是实现生态智慧化鸟类监测的重要手段，无疑将为粤港澳大湾区的生物多样性监测和生态服务提供强大的基础支撑。

声学监测亦有效果不好的场景，例如沿海大面积滩涂，水鸟鸣叫偏少，且往往距离太远难以采集清晰的声音信号，海浪声的干扰也较强；日行性猛禽时常在高空飞行，较少鸣叫，声学设备也难以采集到有效数据。因此将声学、样线调查、红外相机监测等方式相结合，能够优势互补，更加综合、客观地评估梅沙野生鸟类状况。

1.4 导则依据与参考

- 1) 《中华人民共和国环境保护法》（2014 修订）
- 2) 《中华人民共和国环境影响评价法》（2018 修订）
- 3) 《中华人民共和国野生动物保护法》（2016 修订）
- 4) 《中华人民共和国陆生野生动物保护实施条例》（2016 修订）
- 5) 《中华人民共和国湿地保护法》（2021）
- 6) 《广东省湿地保护条例》（2020 修订）
- 7) 《广东省野生动物保护管理条例》（2020 修订）
- 8) 《广东省重点保护陆生野生动物名录》（2021 修订）
- 9) 《国家重点保护野生动物名录》（2021 修订）
- 10) 《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷》（2015）
- 11) IUCN（世界自然保护联盟）red list（2021）
- 12) CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录（2023）

第二章 样线法鸟类调查细则

2.1 样线布设

具体布设位置见图 1。

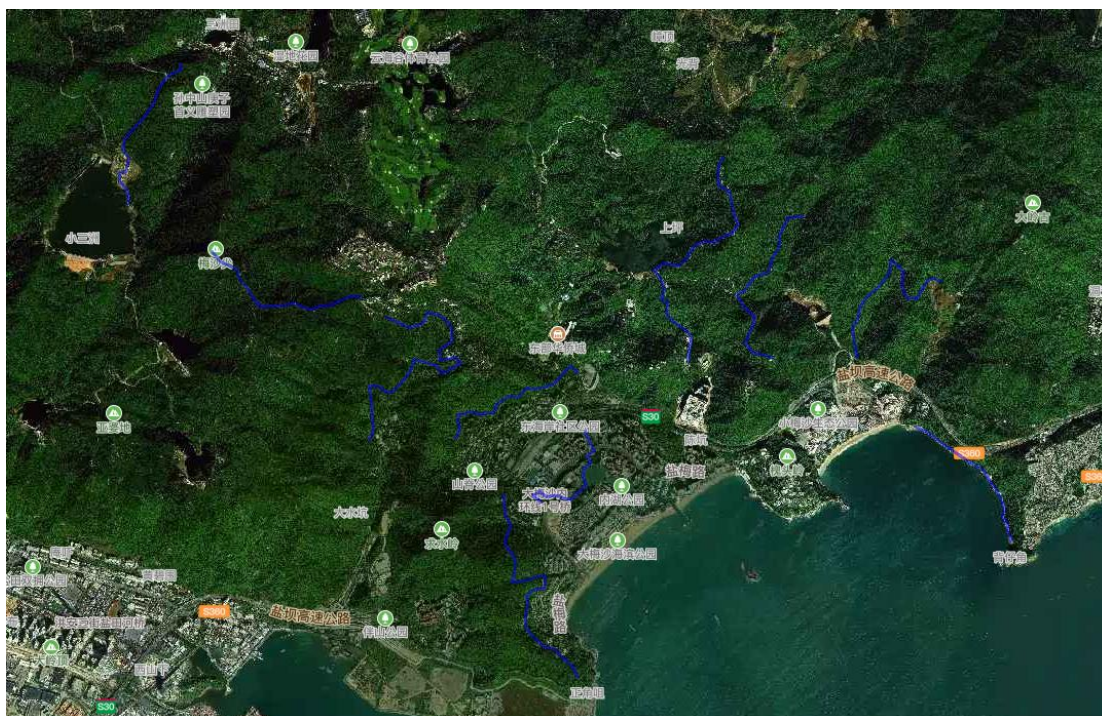


图 1 鸟类样线布设分布图

2.2 调查内容

结合项目位置、鸟类迁徙路线、栖息地分布、重点区域生境类型等因素，分析项目区域内鸟类的种类构成、分布情况以及所受威胁等。

调查内容具体包括：

样线范围内鸟类资源种类和数量、季节类型；

国家级重点保护鸟类及其受胁类型；

主要鸟类的分布情况与区域生境质量。

2.3 分类系统

鸟类分类系统及中文名采用《中国鸟类名录 V9.0》（中国观鸟年报，2021）

2.4 调查及统计方法

采用样线法，设立野外固定样线，样线涵盖梅沙街道周边重点区域各类生境类型（图 1），根据各类生境的代表性和物种的丰富程度设定了 10 条样线，包括沿海砂质滩涂与岩礁样线 2 条、城市绿化公园样线 1 条、低海拔山地的常绿阔叶林样线 7 条。调查时观察样线两侧鸟类及活动痕迹等。不少于 2 人一组，以 1~1.5 km/h 速度行进，观测记录样线及两侧 50 m 范围内所有鸟种、数量、生境状况等信息，尽量拍摄物种和生境照片、采集物种鸣声信息等。

使用直接计数法记录调查范围内的所有鸟类种类、数量及直线距离，以记录实体为主，辅以鸣声判别。计数借助于单筒或双筒望远镜进行，辅以相机拍摄并进行后期识别。如果群体数量极大，或群体处于飞行、取食、行走等运动状态时，可以 5、10、20、50、100 等为计数单元来估计群体的数量。春、秋季候鸟迁徙季节的调查以种类调查为主，同时还应兼顾迁徙种群数量的变化。

2.5 调查时间与频次

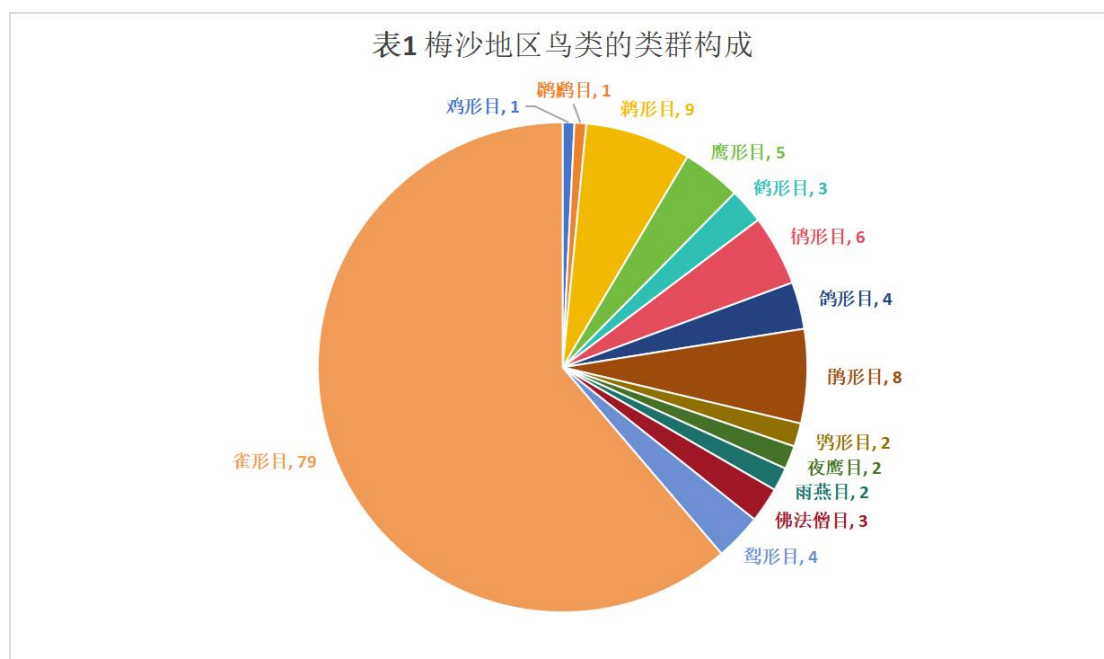
根据项目要求，在项目开展期间共完成 16 次调查，调查开展时间为 2023 年 2 月至 2024 年 3 月（理想状态下迁徙季每月各 2 次，其他时间每月各 1 次）。

第三章 样线法调查结果分析

3.1 评价区域鸟类群落特征

3.1.1 鸟类物种组成特征

在 16 次调查中，共计在梅沙街道地区发现鸟类 14 目 48 科 129 种（见附录 A）。在目的水平上，优势类群为雀形目 PASSERIFORMES，共有 79 种，其次为鹈形目 PELECANIFORMES 和鸛形目 CUCULIFORMES，分别有 9 种和 8 种，各目鸟类物种数所占比例见表 1。本调查的主要调查地生境为城郊山地常绿阔叶林城市化水平较高的沿海沙滩和岩礁，因此，林鸟和水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分，从类群上看，在调查到的所有鸟类中，水鸟有 21 种，其余林鸟有 108 种（含 5 种猛禽）。在居留型方面，按主要居留型划分，本调查记录留鸟共 85 种，夏候鸟共 13 种，冬候鸟共 26 种，旅鸟共 5 种（物种名录、居留型及常见度见附录 A）。综上，可见梅沙街道及周边地区的鸟类以留鸟为主；物种构成上，雀形目林鸟为梅沙街道最常见的鸟类。



3.1.2 珍稀保护物种

列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 52 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 22 种；列入国家重点保护野生动物名录中的二级保护物种有 15 种；列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 8 种；列入 IUCN 红皮书的物种有 1 种；列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种有 9 种，均为附录 II 物种。详见表 2。

表 2 梅沙地区珍稀保护鸟类名录

号	中文名	广东省重点保护	国家保护级别	中国生物多样性红色名录	CITES 附录	IUCN 红皮书
	岩鹭		II			
	白鹭	√				
	蛇雕		II	NT	II	
	黑鸢		II		II	
	凤头鹰		II	NT	II	
	松雀鹰		II		II	
	鸮		II	NT	II	
	白喉斑秧鸡	√		VU		
	灰尾漂鹑					NT
0	扁嘴海雀	√		NT		
1	斑尾鹑		II	NT		
2	褐翅鹑		II			
3	小鹑		II			
4	领角鹑		II		II	
5	褐渔鹑		II	EN	II	
6	白胸翡翠		II			
7	画眉		II	NT	II	

8	黑喉噪 鹛		II	
9	红嘴相 思鸟		II	II
0	海南蓝 仙鹛	√		
1	白眉鹇	√		
2	灰头鹇	√		
3	栗鹇	√		

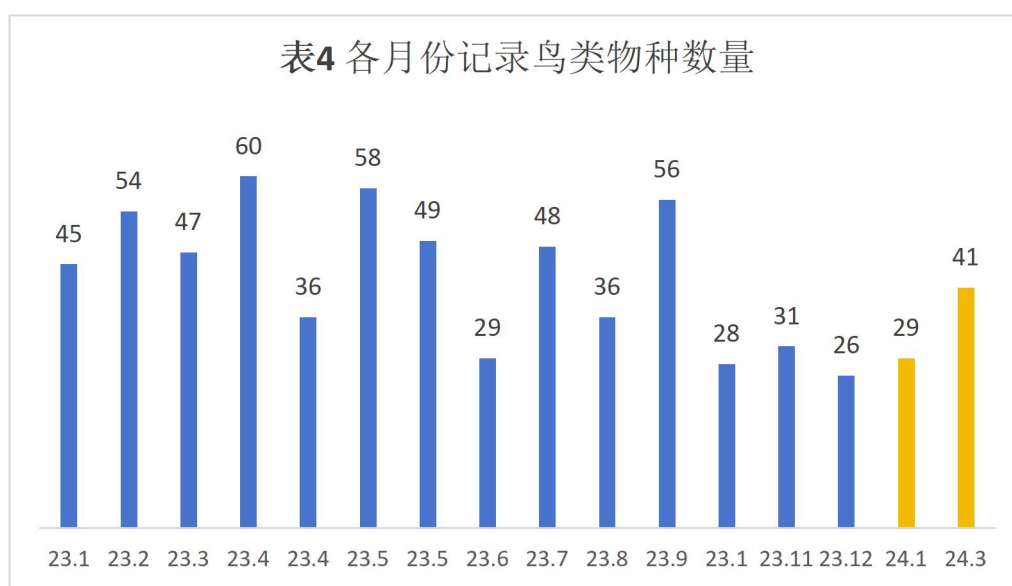
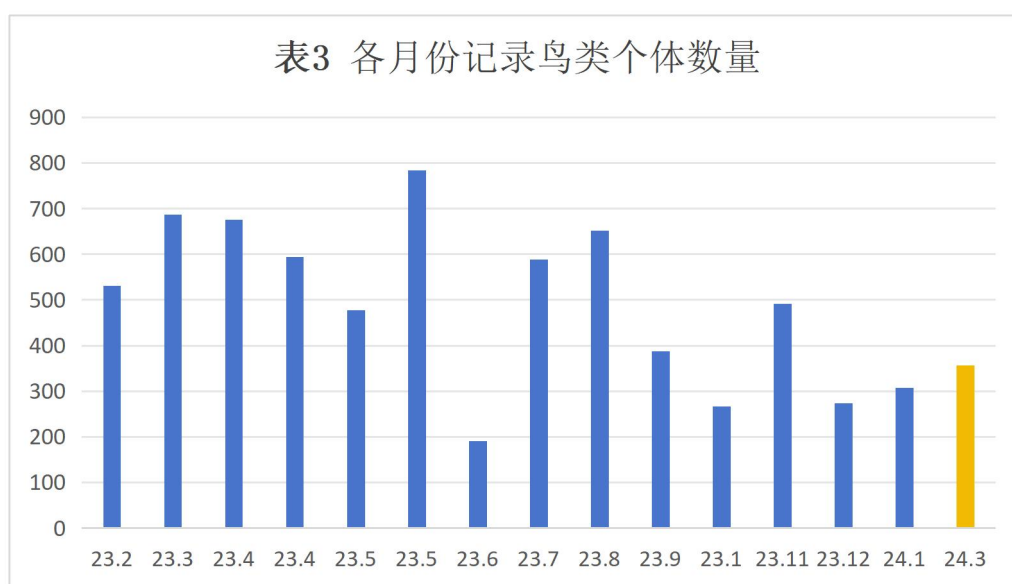
说明：“广东省重点保护”表示广东省重点保护陆生野生动物（2021）；“国家保护级别”中的“I”和“II”分别表示国家 I 级和 II 级重点保护野生动物（2021）；中国生物多样性红色名录“NT”“VU”“EN”和“CR”分别表示《中国生物多样性红色名录》（2015）中列为“近危”“易危”“濒危”和“极危”的物种；CITES 附录“I”和“II”和“III”分别表示列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录 I、II 和 III（2023）的物种；IUCN 红皮书“NT”“VU”“EN”“CR”和“LC”分别表示 IUCN（世界自然保护联盟）官网中列为“近危”“易危”“濒危”“极危”和“低度关注”的物种。

3.1.3 鸟类物种数量及个体数量特征

记录鸟类数量中，常见优势种（约占总数量 5%以上）有红耳鹎 *Pycnonotus jocosus*、白头鹎 *Pycnonotus sinensis*、大山雀 *Parus minor*、暗绿绣眼鸟 *Zosterops simplex*、小白腰雨燕 *Apus nipalensis*、长尾缝叶莺 *Orthotomus sutorius*、家燕 *Hirundo rustica* 等，几乎均为雀形目小型鸟类，说明调查范围内部分物种的数量优势较明显，城市生境中食物的丰富度、人类的友好度等因素都可能对鸟类群落的构成产生一定影响，因此，需要更多食物（尤其是肉食性猛禽）或易于被人类发现的较大体型的鸟类的数量和种类偏少。

根据珠三角地区鸟类观察历史数据，梅沙街道及周边地区四季鸟类物种组成分析如下：春季 3~5 月为鸟类迁徙季，迁徙特点是种类多，数量分布不均匀，迁徙期集中，停留时间较短；夏季属于繁殖季，以留鸟和夏候鸟营巢繁殖为主，其他迁徙候鸟偶有记录但数量较少，主要为不参与繁殖的亚成鸟。繁殖鸟多以配对形式分布，较少集大群和活动；秋季是鸟类南迁时期，迁徙特点为时间分散，从 7 月底开始即有迁徙过境种类，一直到 11 月仍陆续有个体迁

来，其中，较早迁徙到达珠三角地区的种类多为过境鸟，较迟到达的种类多为越冬候鸟，后者数量随时间逐渐增加至秋季结束；冬季是珠三角尤其是沿海地区鸟类种类丰富，数量最稳定的时期，一般情况下鸟类数量在 12 月中旬至 11 月中旬达到峰值，并保持相对稳定。其中以水鸟占绝对优势，并多集大群活动。而在本调查中，鸟类的物种构成与个体数量未呈现出明显的季节性（见表 3、4。柱状橙色表示重复月份），一方面说明梅沙街道区域留鸟种类占比较大，优势种占据了较宽阔的生态位；另一方面说明仅持续一年的调查数据可能不足以体现以月份为衡量尺度的鸟类种类和数量规律变化。



3.2 评价区域鸟类空间分布

根据调查区域和评价目标，梅沙街道及周边鸟类主要分布于沿海砂质滩涂与岩礁、城市绿化公园、低海拔山地的常绿阔叶林等三类栖息生境。其中种类较为丰富的鹬类、鸫类、鸺类、树莺类等主要分布在马峦山及各个水库等植被较茂盛的山地森林生境中；鸭类、椋鸟类等对人类聚居地较为适应的鸟种则主要分布在城市绿化公园等人类活动较频繁的生境。而鹭类等水鸟则主要活动于沿海礁石一带或水库旁等近水的生境。保护物种中有多种猛禽，其中黑鸢、鸮、褐渔鸮等都以鱼为食，在水面上空活动较频繁，也可能俯冲到水面捕捉鱼类；雀形目中受保护的鹬类、鸫类、鸺类等均为典型林鸟，主要活动于受人类活动干预较小的山地森林。

3.3 鸟类迁徙及飞行路线

3.3.1 鸟类迁徙路线及其规律

鸟类的迁徙是指鸟类种群在夏天繁殖区和冬天越冬区之间所进行的一种大规模的、有规律的、广泛的和季节性的运动。这种运动的基本特点是定期和定向并且常常集成大群进行。鸟类迁徙路线是指鸟类在越冬地和营巢地之间的迁徙路径（王勇等，2012），通常为固定的路线。由于大多数迁徙鸟类在北方高纬度地带繁殖，南方越冬，因此，鸟类多是南北迁徙。部分种类在南北半球之间行季节性迁徙，也有些种类迁徙距离较近，仅限于北半球，或有的种类可能做东西方向或东偏北、东偏南方向的迁徙（张孚允，1994）。同一地区的某种鸟类并非为同一居留型，如家燕、牛背鹭等，属于混合居留型，在迁徙季节到来时，只有部分个体选择迁徙。

全球共有八大鸟类迁徙路线，其中三条路线贯穿我国全境（Bamford *et al*，2008），在我国形成东部、中部和西部三条迁徙路线。深圳地处华南沿海，位于我国东部候鸟迁徙路线上，即东亚-澳大利西亚迁徙路线的中段偏东地带（图

2)。该路线自我国南海沿东南沿海一带，向北经过穿越华南、华东、华北、东北，是我国涉及候鸟种类和数量最多的路线。



图2 东亚-澳大利西亚候鸟迁徙路线示意图

3.3.2 评价区域在迁徙路线中的重要性

深圳的野生鸟类种数约占全国的 1/4，多样性较高，且地处东亚-澳大利西亚迁徙路线的中部，从地理位置上，梅沙地区适合作为候鸟迁徙中途的临时栖息地。此外，梅沙街道所具有的完整性较高的生态系统、丰富的自然资源、多样化的生态环境可以为多种候鸟提供必需的食物资源，满足不同林鸟、水鸟的觅食及栖息需求，同时容纳更多候鸟。

3.3.3 评价区域鸟类迁徙情况

根据梅沙街道的地形、植被、水文环境等情况，结合实际观察，在梅沙街道地区分布的迁徙鸟类主要为越冬和春秋过境的水鸟，在项目所在地海域和周边区域的经停点主要是山地森林。迁徙林鸟主要的栖息地包括上坪水库、叠翠湖水库、马峦山郊野公园、小三洲绿道等植被覆盖率较高、人为干预相对较少的区域，包括鹃类、柳莺类、鹎类、鸫类等；迁徙水鸟主要的栖息地为滨海岩礁沙滩，主要活动在人少的潮间带，包括鹬类、鸥类等。各个物种的具体迁徙路线和在梅沙地区的栖息地选择偏好等需要通过进一步长期监测加以确认。

第四章 样线范围内鸟类所受威胁分析

4.1 鸟类生境的破坏

项目范围内主要为原生及次生阔叶林，是梅沙街道多数鸟类的栖息地与巢区所在地，项目建设产生的噪音或夜间光污染会干扰鸟类的正常活动节律，对建筑区域进行趋避；施工产生的污水和其他建筑废物有一定概率被鸟类摄入，从而威胁其健康；项目建成后，可能会造成一些鸟类栖息地的丧失和破碎化，尤其是对人类聚居地不适应及生态位较狭窄的鸟类物种，栖息地质量的下降可能导致迫使梅沙街道部分鸟类种群数量的减少和种群分布的改变；一些鸟类栖息地退缩的同时，乌鸦、麻雀等相对依赖城市环境的鸟类种群可能会得到扩张，这一现象一方面填补了人为造成的生态位的空缺，一方面也是生态失衡的体现。

4.2 干扰鸟类活动

项目建设容易对鸟类群落结构的稳定性会造成干扰，可能会体现在鸟类对繁殖季巢址的选择、繁殖的成功率等方面，在迁徙路线的选择上也有可能受到影响。噪音、光污染、项目建设期间的人类活动等因素会导致一些鸟类抛弃原有的固定巢址，干扰孵卵期亲鸟的活动节律从而影响雏鸟的孵化率，食物来源

的减少也使得亲鸟觅食压力增加，或使雏鸟受到污染食物的影响。部分迁徙过境的鸟类可能会因为经停点处于施工状态而不在此停留，需要消耗更多能量飞到其他区域进行觅食补给，增加其他地区同类生境的承载压力；而施工期的夜间灯光则可能会吸引鸟类错误降落至场址内而造成伤害，尤其对迁徙鸟类来说，在夜间或者雨雾天气，被灯光诱导偏离迁徙路线的机会更大，降低迁徙成功率；施工产生的噪音等也有可能使鸟类被迫改变世代固有的迁徙路线，增加体力消耗，并且增加迁徙途中的不确定风险。

4.3 鸟撞事故率增加

建筑上的玻璃可能会给鸟类带来碰撞的风险，特别是当表面是垂直方向和反射光时，容易招致鸟类分不清空气与玻璃幕墙而造成撞击，从而造成鸟类的死亡以及财产的损失，尤其是集群活动的雀形目鸟类，玻璃幕墙可能造成持续且数量较大的鸟类的伤亡。

4.4 受影响类群及代表性物种分析

在梅沙街道及其周边地区，鸟类物种的构成以林鸟为主，尤其是小型雀形目鸟类，相较其他鸟类，小型雀形目鸟类在数量、种类上都具有显著优势，更能适应城市环境；其次为栖息于沿海潮间带和水库生境的鹭类和鹬类等涉禽，其体型相对较大，对食物量的要求更高。以下选择在调查中记录到保护级别较高，或数量优势明显的种类作为本区域有代表性的指示物种，详细分析项目建设和运营对其的影响。

(1) 白鹭 (*Egretta garzetta*)

保护状况：广东省重点保护动物

基本介绍及项目影响：白鹭为鹬形目鹭科涉禽，在梅沙街道区域相对常见。日行性，常站在水边静立觅食，喜欢活动在水库边缘和海边，晚上结大群在树上休息，不甚怕人；主要以鱼虾、蜥蜴、蛙和昆虫等小型动物为食。项目对其影响较小。

(2) 珠颈斑鸠 (*Spilopelia chinensis*)

保护状况：无

基本介绍及项目影响：珠颈斑鸠为鸽形目鸠鸽科陆禽，在梅沙街道区域居民区非常常见。日行性，能适应各种环境，常单独或成对活动；不怕人，以各种谷物和植物种子为食。飞行时速度较快，机动性弱，项目建筑的玻璃幕墙容易造成鸟撞事故的发生。

(3) 黑鸢 (*Milvus migrans*)

保护状况：国家二级保护，CITES 附录 II

基本介绍及项目影响：黑鸢为鹰形目鹰科猛禽，在梅沙街道区域相对常见。日行性，常单独在高空飞翔，主要栖息于近水区域，常在沿海水域和水库上方飞行，以鱼类和其它小型动物为食。可能会在项目建设区域附近觅食，施工可能会使其活动范围内猎物的密度降低。

(4) 褐翅鸦鹃 (*Centropus sinensis*)

保护状况：国家二级保护

基本介绍及项目影响：褐翅鸦鹃为鹃形目鸦鹃科攀禽，在梅沙街道区域较常见，尤其是繁殖期，其低沉的鸣声具有极强穿透力，容易被注意到。主要活动于各种类型的树林、灌丛、竹林、耕地、城市公园等多种环境；常单独或成对活动；一般在地面行走和追逐猎物，受惊扰时会很快落入草丛或灌丛中；主要以昆虫为食，也会捕食蜥蜴、鼠类、雏鸟、软体动物等；由于对多种栖息地的适应性较强，故项目对其影响不大。

(5) 领角鸮 (*Otus lettia*)

保护状况：国家二级保护，CITES 附录 II

基本介绍及项目影响：领角鸮为鸮形目鸮科猛禽，在梅沙街道区域不甚常见。夜行性，栖息于各种类型的林地、灌丛、城市公园等环境；常单独活动；白天躲在树上浓密的枝叶间，夜晚飞到低处捕猎；主要以鼠类和昆虫为

食。项目建设产生的噪音和光线可能会对其捕猎活动产生干扰，同时，夜间产生的光线也会对昆虫的活动造成影响。

(6) 白胸翡翠 (*Halcyon smyrnensis*)

保护状况：国家二级保护，CITES 附录 II

基本介绍及项目影响：白胸翡翠为佛法僧目翠鸟科攀禽，在梅沙街道区域不甚常见。日行性，主要栖息于水库、湖泊周边，有时也会远离水域活动；常单独活动；一般停息在水边岩石、枯枝或电线上，一动不动注视水面，发现猎物时立刻扎进水中将其捕获并带出水面；飞行呈直线状，常边飞边叫；主要以小型鱼类、虾等水生动物为食，也吃昆虫、蛙、蛇、鼠等小型动物；因羽色亮丽常被捕猎。因其对环境质量要求较高，活动范围比较固定，且对人类活动比较敏感，因此，项目建设带来的人类活动干扰、噪音等干扰都有可能使其丧失栖息地。

(7) 家燕 (*Hirundo rustica*)

保护状况：无

基本介绍及项目影响：家燕为雀形目燕科鸣禽，在梅沙街道区域季节性常见。日行性，对城市环境较为适应；常成对衔泥筑巢于屋檐下，巢的形状像一个碗，飞行捕食的动作敏捷，常贴着水面飞行；主要以昆虫为食。其与我国传统文化关系密切，且对害虫防治作用较大，较受关注。飞行时速度较快，项目建筑的玻璃幕墙可能造成鸟撞事故的发生，但整体影响较小。

(8) 红耳鹎 (*Pycnonotus jocosus*)

保护状况：无

基本介绍及项目影响：红耳鹎为雀形目鹎科鸣禽，在梅沙街道区域非常常见，可能是最常见的鸟类。日行性，吵嚷好动，性格活泼，喜欢结群活动，常见于山地森林、城市公园、街道绿化带等各种生境；杂食性，主要取食各种植物浆果和昆虫。由于分布较广，种群数量庞大，项目对其种群的整体影响较小，但还是会存在鸟撞事故的风险。

(9) 大山雀 (*Parus minor*)

保护状况：无

基本介绍及项目影响：大山雀为雀形目山雀科鸣禽，在梅沙街道区域较常见。日行性，栖息于各种类型的林地和公园等，适应能力强，城市公园和绿化带中也时常可见；常单独或结小群活动，活泼胆大，常在林间穿梭跳跃，边飞边叫；杂食性，主要以昆虫为食，也会取食植物果实与种子等。其适应性强，项目对其种群的整体影响较小。

(10) 暗绿绣眼鸟 (*Zosterops simplex*)

保护状况：无

基本介绍及项目影响：暗绿绣眼鸟为雀形目绣眼鸟科鸣禽，在梅沙街道区域较常见。日行性，常见于各种类型的树林间，也会在城市公园等环境中活动；常单独、成对或结群活动，喜欢活动在植被的中上层，在枝叶和花丛中穿梭跳跃；主要以昆虫为食，也会取食浆果、花蜜等。项目对其种群的整体影响较小，但还是会存在鸟撞事故的风险，以及人类捕捉的风险。

第五章 基于样线调查的对策与建议

为了减轻项目建设对鸟类的影响，对梅沙地区进行施工和运营期间对生态环境可能带来的不利影响提出以下生态保护与恢复措施、替代补偿与教育宣传方案：

(1) 施工期生态环境补偿措施

项目因此应根据施工设施确定对周边鸟类的可能影响范围。在施工时应尽量减少不必要的占地和植被破坏，控制噪声设备使用时间，尽量避免在迁徙季节及晨昏鸟类活动高峰期使用高分贝设备，增加隔音设施等，减少工程施工噪声对动物的惊扰；调查鸟类飞行路线和栖息地方位，合理安排施工时间，在候鸟迁徙季节如遇到候鸟大量迁徙经过场址应适当停工等待；使用驱鸟装置降低碰撞和污染等问题；加强对产生的废水管理和水保护措施尽量减少鸟类和其他动物靠近饮用的风险。

(2) 生态监测和人员管理措施

项目建设期间加强对施工人员的管理和生态环境保护宣传教育，坚决杜绝伤害鸟类的行为。可通过制定相应的环保手册对施工人员、施工区域、施工方式、施工时间进行有效地指导。开工前，在工地及周边设立爱护鸟类及其他动植物的宣传牌。在整个施工期内，由环保专职人员承担生态监理，检查生态保护措施的落实及施工人员的生态保护行为。

(3) 设立鸟类针对性复育区，进行针对性保护

鸟类物种多样性建立后，可选定特定种类如鹭类等作为主要长期观测对象，加强万科公益基金会生态文化模式的宣传。针对特定鸟类的栖息环境，可设定相关的自然复育区进行针对性保育。同时设计展板与解说折页，并通过小程序、公众号等渠道开展鸟类的保护与宣传工作，传播人与自然和谐共处的相关理念，配合活动普及到民众，达到一部分环境教育推广的功能。

(4) 提高项目建设范围内的物种多样性

提高项目建设范围内的物种多样性，一方面可以通过减少干预的方式，例如减少杀虫剂、除草剂等化学药剂的使用，降低鸟类误食的风险；或适当减少落叶清扫的频次等，使园区环境更接近自然环境，使其成为适合更多鸟类的栖息地。另一方面可以通过环境改造的方式，例如悬挂人工巢箱，为山雀等洞巢鸟类提供繁殖空间；或增加绿化植物种类的多样性，尤其是蜜源植物，以此吸引更多鸟类前来觅食；也可布设“昆虫屋”“本杰士堆”等，通过增加鞘翅目、膜翅目等昆虫的数量，在实现“以虫治虫”的生物防治实践同时，也为食虫鸟类提供食物来源。

(5) 减少反光玻璃的使用，合理使用防鸟撞贴纸

鸟撞事故是人类活动对鸟类造成的重要威胁之一，建筑上的玻璃可能会给鸟类带来碰撞的风险，特别是当表面是垂直方向和反射光时，容易导致鸟类分不清空气与玻璃幕墙而造成撞击，从而造成鸟类的死亡以及财产的损失，尤其是集群活动的雀形目鸟类，玻璃幕墙可能造成持续且数量较大的鸟类的伤亡。

减少反光玻璃的使用、为玻璃贴上醒目贴纸等措施，都可以有效规避此类风险。

(6) 减少开灯时间或降低光照亮度

施工期间和日常生产生活带来的夜间光照可能会吸引鸟类错误降落或受到惊吓而造成伤害，尤其对迁徙鸟类来说，在夜间或者雨雾天气，被灯光诱导偏离迁徙路线的机会更大，降低迁徙成功率。减少不必要的开灯时间和装饰性的夜间光照或减弱光照强度，不仅是节能环保的举措，也能最大限度降低对鸟类节律的干扰。

(7) 调查成果及保护理念与万科公益基金会各项软、硬体设施及平台整合

调查成果中包含大量鸟类图片及对应的习性介绍等资料，这些内容可与万科公益基金会现有相关的传播平台（如微信公众号、社交媒体、视频网站等多媒体平台）进行整合，将鸟类照片、鸣声录音以及视频媒体一起进行综合性宣传与科普，可以更好地宣传梅沙生态保护成果和开展定期科普教育。线下可以设立万科公益基金会鸟类多样性宣传海报与解说牌、开展公民科学拍鸟打卡活动等，传播人与自然和谐共处的相关理念，使公众得以了解到梅沙街道地区的相关鸟类资源并置身其中，增强参与感和环保意识，达到一部分环境教育推广的功能。同时，可以借助平台对不科学的放生行为进行科普，使公民意识到放生外来物种行为对本土生态系统的干扰、放生本土物种产业链背后对野生动物的大肆捕捉等，减少人类活动对本土动植物的干扰。

(8) 持续推动梅沙街道鸟类及其他动物类群多样性调查，宣传自然保育理念

鸟类是最易被人观察，且极具审美价值的重要类群。但鸟类的栖居同时与其它动植物的分布密切相关。现阶段如进行项目建设可能对生态环境具有塑造性影响，施工后的调查数据同样具备参考价值。建设完成后可开展鸟类的栖息地的复育及更多生物类群的调查与宣传工作，以更好地塑造万科公益基金会的生态环保形象，同时得到更优美健康的生态景观。

第六章 基于样线调查的主要结论

6.1 项目概况

梅沙街道隶属于广东省深圳市盐田区，地理位置为东经 114.29°，北纬 22.62°，位于盐田区东部，东与大鹏新区相连，西接盐田街道，南与香港新界隔海相望，北靠坪山区。地势上北高南低，毗邻大鹏湾，背依马峦山与梧桐山。气候属于南亚热带季风海洋性气候，温暖湿润，年平均气温 22℃，雨热同期。森林覆盖率 69.98%，主要植被类型为常绿阔叶林。大梅沙社区是深圳市首批近零碳排放试点社区之一，对深圳市其他地区的减碳与生态保护有着示范作用，且具有丰富的自然资源、多样化的生态环境与重要的地理位置，其周边包括上坪水库、叠翠湖水库、三洲田水库等水库保护区，以及小三洲绿道和马峦山郊野公园等重要生态区。梅沙街道辖区内森林总面积 1273.2 公顷，覆盖率达 69.98%，湿地总面积也达到 76.27 公顷，对于粤港澳大湾区乃至全国各地区，梅沙街道的生物多样性都具有一定程度的代表性。

梅沙街道地区完整性较高的生态系统为多种鸟类种群提供了生存和繁殖必需的生存环境与资源，是其重要的栖息地；此外，深圳的野生鸟类种数约占全国的 1/4，多样性较高，地处全球候鸟重要迁徙路线的中部位置。在此开展为期一年的鸟类现状专项调查，包括主要鸟类资源种类和数量、分布情况、季节类型、国家级重点保护鸟类及其受胁状况等内容。

6.2 项目区域及周边湿地鸟类概况

在 16 次调查中，共计在梅沙街道地区发现鸟类 14 目 48 科 129 种（见附录 A）。在目的水平上，优势类群为雀形目 PASSERIFORMES，共有 79 种，其次为鹈形目 PELECANIFORMES 和鸱形目 CUCULIFORMES，分别有 9 种和 8 种。本调查的主要调查地生境为城郊山地常绿阔叶林城市化水平较高的沿海沙滩和岩礁，因此，林鸟和水鸟是该区域鸟类种群的重要组成部分，从类群上看，在调查到的所有鸟类中，水鸟有 21 种，其余林鸟有 108 种（含 5

种猛禽)。在居留型方面,按主要居留型划分,本调查记录留鸟共 85 种,夏候鸟共 13 种,冬候鸟共 26 种,旅鸟共 5 种。其中列入各类保护名录的珍稀濒危保护物种共有 52 种,其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 22 种;列入国家重点保护野生动物名录中的二级保护物种有 15 种;列入国家保护动物红色名录近危以上级别的有 8 种;列入 IUCN 红皮书的物种有 1 种;列入 CITES (濒危野生动植物种国际贸易公约)附录的物种有 9 种,均为附录 II 物种。

6.3 项目建设对鸟类主要生态影响

根据调查结果分析,项目对鸟类的生态影响主要包括栖息地的丧失与碎片化、水体和土壤污染、鸟撞、人为活动干扰、噪音及光污染等,可能会造成鸟类种群空间分布的改变和数量变化,在觅食、繁殖和迁徙行为上也会受到间接的影响。受项目影响的受保护鸟类类群主要包括近水活动的猛禽等,其他类群包括容易受到鸟撞威胁的各种小型鸟类。

6.4 鸟类保护与防范主要建议措施

一是在施工期开展生态环境补偿措施、进行生态监测和人员管理措施等建设期间的干预;二是设立鸟类针对性复育区并进行针对性保护、提高项目建设范围内的物种多样性、减少反光玻璃的使用,合理使用防鸟撞贴纸、减少开灯时间或降低光照亮度等具体实地保护措施;三是将鸟类多样性调查成果与万科公益基金会各项软、硬体设施及平台整合,持续推动梅沙街道鸟类及其他动物类群多样性调查,宣传自然保育理念等自然教育宣传推广措施等三大方面。

第七章 声纹监测方案细则

7.1 具体监测目标

通过深圳梅沙野生动物声学智能感知与动态监测试点建设项目,充分运用大

数据、物联网、声学感知等新一代信息技术，为深圳梅沙生态系统监测提供智能化监测手段，打造高水平管理体系，努力提升科技支撑和信息化水平，更好地为深圳梅沙的建设与管理服务。被动声学监测任务是该项目的重要组成部分，能有效的实现以下监测目标：

（1）利用被动声学监测技术采集的数据，逐步构建深圳梅沙野生动物声学数据库；

（2）通过声学数据监测掌握监测范围内鸟类的多样性现状。重点是常见鸟类种类、分布和相对数量；

（3）利用入库的声学数据，建设梅沙内动物声学智能识别模型，为长期野生动物监测提供智能化手段，降低监测成本，提高监测效率。

（4）通过监测结果对梅沙内鸟类多样性保护和管理提供科学的合理化建议。

本项目的建设目标是通过科学全面地在深圳梅沙开展野生动物声纹智能感知系统，运用物联网、大数据、人工智能、音视频处理等科技手段，对梅沙野生鸟类进行实时识别和分析，建设梅沙生态智慧感知平台，掌握区内野生鸟类的种类、分布、季节规律及变化趋势，充实区内生物多样性数据库和科研监测数据，全面掌握梅沙生态环境的动态变化情况。

综合性地将自动采集传输、基于 AI 的自动分析相结合的鸟类监测系统具有较强的创新型，在全世界范围的应用项目还很少，具有很强的前沿性。监测能为梅沙科学管理和合理利用提供及时、准确的生态数据，力争将梅沙打造成粤港澳大湾区生态智能监测的先行典范，提升生态环境监测的保障能力和业务水平。

7.2 技术流程



图 7-1 本项目技术流程

7.3 布设方法

(1) 布设方法

利用 ArcGIS 软件将梅沙按照海拔地势、生境类型以及干扰程度，分别选点布设声学监测设备，根据鸟类资源分布的特点以及被调查地点的环境特征，对一些鸟类的重点分布区域进行动物声学监测设备布设。

安装工作由广州灵感生态科技有限公司派遣技术人员及持证电工，前往梅沙进行设备布设。设备安装时，声纹采集设备和为其供电的太阳能电池板一同安装在金属支架上，将金属支架用金属抱箍固定于胸径超过 20cm 的结实的树干上，将太阳能板朝南边明亮开阔方向固定（一般为正南，可根据植被遮挡情况调整），再用钢丝绳在上方斜向牵拉，提供额外固定。安装高度一般为 3~6 米，如需针对特定类群或种类，可根据实际需要调整。



图 7-2 设备安装效果图

安装高度为离地 3~6 米，以防止地面的人为活动或野生动物干扰。



图 7-3 设备安装工作照

在树干 1.5 米处安装标识牌和二维码，方便管理。



图 7-4 设备标识牌

布设设备的同时，准确记录周边小生境类型、干扰状况等。拍摄设备点位生境全景图、设备布设工作照。在管理平台查看设备工作情况，检查设备是否正常回传数据，如有问题，及时现场解决。

(2) 技术参数

本项目使用的声学监测设备型号灵感生态 LBird-01211，硬件声学参数如下：

灵敏度： ≥ -20 dB (0 dB=1V/pa@1kHz)

信噪比：70 dB

动态量程：0 dB 增益时 30 dB – 100 dB SPL

麦克风指向性：全向

(3) 设备参数设定

本项目使用的声学监测设备型号灵感生态 LBird-01211，设置的参数如下：

时间与日期：24 小时制；

录音模式：声学事件触发模式；

单条音频时长上下限：2~8 秒；

麦克风增益强度：+18 dB；

功耗模式：自动；

心跳上传间隔：1 小时；

事件触发灵敏度：中；

音频采样率：32 kHz。

(4) 存储卡和供电模块

存储卡：32 GB 闪迪高速储存卡；

供电模块：太阳能+蓄电池供电

(5) 信息记录

安装人员详细记录声学监测设备的安装日期、GPS 位点、周边生境类型和植被类型（记录表见附录 D），以及其他环境状况，并使用无人机拍摄两张全景图（一张近景全景图，距离设备 10 米以内，拍摄高度与设备安装高度一致，可直视设备，拍摄初始方向为正北面；一张远景照，位于设备正上方，拍摄高度高出设备安装位置 30 米至 50 米，可鸟瞰安装区域生境状况，拍摄初始方向为正北面），便于将数据结合生境进行综合分析，也有助于维护人员在野外快速找到设备。

7.4 设备点位与维护

(1) 设备安装与维护

安装与维护时间：本项目于 2023 年 4~5 月份分批次将设备安装到项目地，共计 10 台动物声纹监测设备（设备安装图见附录 D），后续监测过程中陆续开展了检修和日常维护。

(2) 安装与维护人员

本次设备安装与维护人员（见表 7-1），拥有多次声学监测项目经验，熟悉设备的布设、参数调整、位点信息记录等工作流程。

表 7-1 参与声学监测项目人员信息表

姓名	专业	职务/学位	工作内容
白皓天	生态学	博士	负责声学监测设备的安装维护；后期负责声学监测设备数据的整理鉴别
余上	计算机科学与技术	学士	
宋璐婷	生物科学	学士	
凌嘉乐	电子与通讯工程	硕士	
刘芯	计算机科学与技术	学士	
林生益	电子与通讯工程	学士	
施国伟	网络工程	学士	
郭海波	电子信息工程	学士	

7.5 设备安装位置

10 台设备涵盖不同的海拔、生境及干扰程度的位点。声纹监测以鸟类为监测对象，监测其物种多样性、分布情况、活动节律、相对多度等，为梅沙野生动物生态监测提供实时的数据支撑。安装位置如表 7-2 和图 7-5：

表 7-2 梅沙设备安装点位置及生境

设备序号	生境类型	安装时间	经度 (E)	纬度 (N)	海拔 (m)
大梅沙 1	常绿阔叶林	2023.04.07-	114.2897	22.60913	259
大梅沙 2	常绿阔叶林	2023.05.27	114.2811	22.61467	363
大梅沙 3	常绿阔叶林	2023.05.27	114.2649	22.61569	587
大梅沙 4	常绿阔叶林、水库	2023.04.07	114.2568	22.60701	338
大梅沙 5	常绿阔叶林	2023.05.27	114.2956	22.59697	46

大梅沙 6	人工林、湿地	2023.05.27	114.2969	22.59963	10
大梅沙 7	常绿阔叶林	2023.05.27	114.3095	22.61238	107
大梅沙 8	常绿阔叶林	2023.05.27	114.3148	22.6118	187
大梅沙 9	常绿阔叶林	2023.05.27	114.3236	22.61265	76
大梅沙 10	常绿阔叶林	2023.05.27	114.2976	22.60788	68

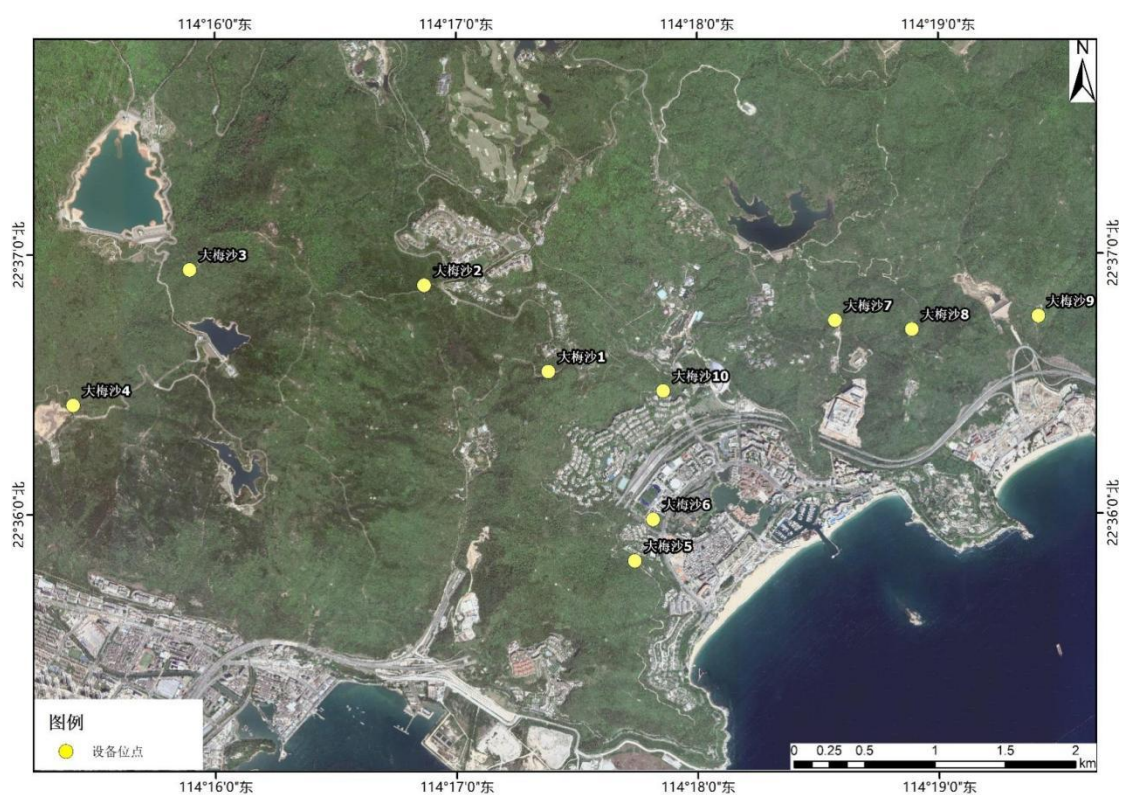


图 7-5 梅沙声学监测设备安装点位图

7.6 AI 识别与处理

首先收集根据珠三角地区鸟类名录，收集各公开数据库数据，构建 AI 模型样本数据库，再利用数据样本构建鸟类 AI 识别模型。首先通过音高、频率平坦度等多音频特征在声纹数据中提取鸟鸣音节，然后通过信号降噪和端点检测等预

处理算法、提取 128 维的对数的梅尔谱图（Log Mel-Spectrogram）特征(Tan and Le, 2021; Lin *et al.*, 2017)、把提取的对数梅尔谱图特征通过卷积神经网络 CNN 训练，生成鸟鸣识别模型(Park *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2018)（图 7-6）。使用测试数据库（容量 34,139 条）对珠三角识别模型进行测试和人工审核，高置信度结果总体准确率 91.68%。

使用珠三角识别模型对项目采集的音频数据进行识别、筛选和人工审核，完成鸟类物种识别、鸟鸣音节序列分析。

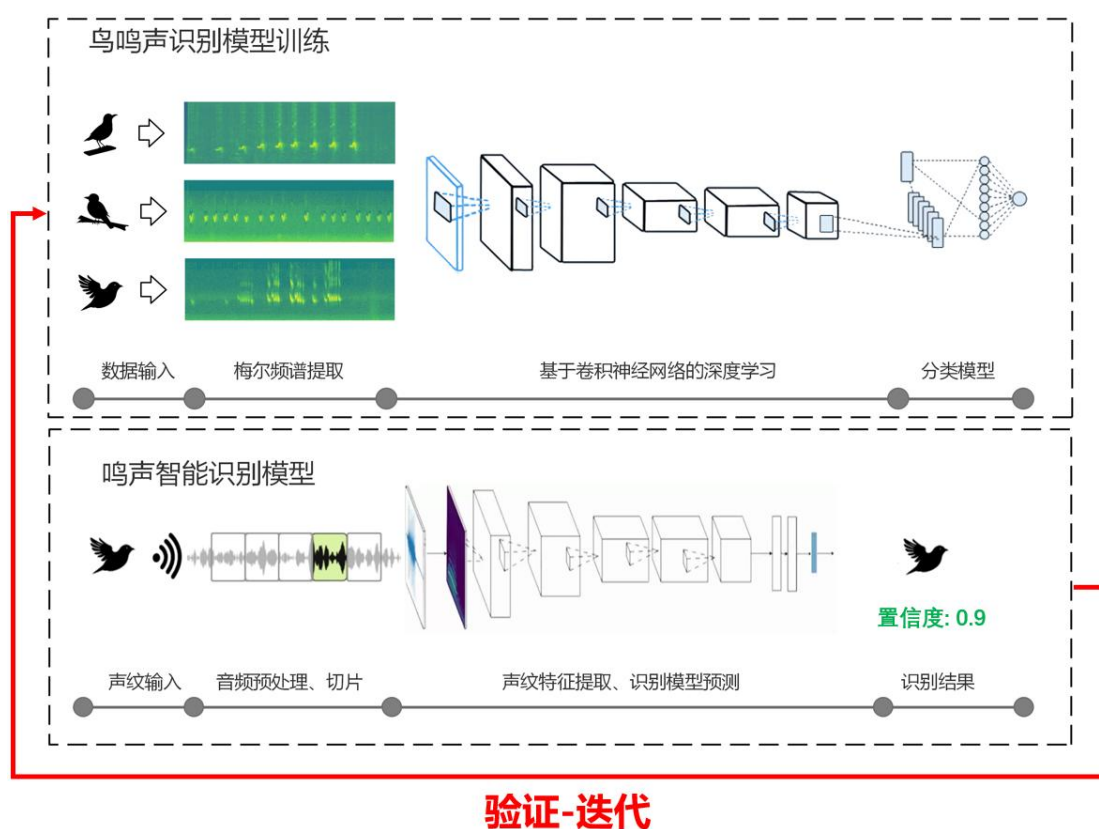


图 7-6 AI 识别模型的构建与鸣声识别流程

7.7 数据处理方法

数据自动上传至服务器，并利用 AI 智能识别技术识别获取对应物种及置信度。根据置信度分布情况，去除阈值以下的低可信度数据，然后经过人工核验后，

获取完整的物种信息。

通过程序算法计算获得以下几方面评价指标：

① 生物多样性状况。通过 AI 物种识别模型对声学数据进行物种鉴定，然后对获取的物种信息进行统计，获得鸟类名录，并计算香农威纳多样性指数 (H_2')、辛普森多样性指数 (D)、Pielou 均匀度指数 (J) 等。

a. 香农威纳多样性指数 (H_2') 计算公式为

$$H_2' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 (P_i)$$

其中 P_i 为种 i 的个体占全部个体的比例， S 为物种数。

b. 辛普森多样性指数 (D) 计算公式为

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

其中 P_i 为种 i 的个体占全部个体的比例， S 为物种数。

c. Pielou 均匀度指数 (J_e) 计算公式为

$$J_e = \frac{H_e'}{H_{max}'}$$

其中 $H_{max}' = \ln S$ ，其中 H_e' 为香农威纳指数， S 为物种数。

② 时间节律。针对特定物种或类群，通过数据库获取时间分布规律，得到其在一年中各月份和一天中各时段的活动规律。

③ 空间规律。针对特定物种或类群，通过数据库获取空间分布规律，得到其在不同位点和生境的分布规律。

④ 声景指数。例如、声学多样性指数 (ADI)、声熵指数 (H)、归一化声景指数 (NDSI)。

声学多样性指数 (ADI) 计算公式为

$$ADI = \sum_{i=1}^S \ln P_i$$

其中 P_i 为第 i 个频段内信号强度高于阈值-50dB 的信号比例， S 为频段数量。

a. 声熵指数 (H)

$$H = H_f \times H_t$$

其中 H_f 为频谱熵， H_t 为时间熵。

b. 归一化声景指数 (NDSI) 计算公式为

$$NDSI = \frac{B_s - A_s}{B_s + A_s}$$

其中 B_s 为生物声， A_s 为人工声；人工声集中在 1~2 kHz，生物声集中在 2~11 kHz。当指数接近 1，表示环境中生物声活动占主导，当指数接近-1，则表示环境中人为干扰较多。

第八章 声纹监测结果

8.1 基本情况

2023 年 4 月 7 日至 2024 年 4 月 1 日，设备共采集音频数据 834,443 条，经 AI 识别去除环境声、其他动物声、人为干扰声等，共记录置信度大于 0.86 的野生鸟类鸣声数据 37,251 条。经过数据采集和 AI 模型识别，筛选高置信度鸟类鸣声数据，再经过人工复核，共识别记录野生鸟类 79 种，隶属于 14 目 38 科。据声学监测收集到的大量动物鸣声数据，报告在物种组成、物种相对多度、物种累积曲线、日活动节律、季节变化、声景指数等方面进行了统计分析。

8.1.1 多样性

经过数据采集和 AI 模型识别，筛选置信度 0.86 以上的数据，再经过人工复核，共识别记录野生鸟类 79 种，隶属于 14 目 38 科（见附录 B，物种名及分类依照郑光美《中国鸟类分类与分布名录（第 3 版）》）。在目的水平上，雀形目最多，为 51 种；其次是鸚形目 6 种。在科的水平上，鸚科最多，为 9 种；其次是杜鹃科，为 6 种。

其中包括国家II级重点保护野生动物 10 种（表 8-1）；列入濒危野生动植物种国际贸易公约（CITES）附录 B 的 6 种；列入《中国生物多样性红色名录》易危物种 1 种，近危物种 3 种。

其中红领绿鹦鹉 *Psittacula krameri* 为外来引入后自然繁殖的归化种。

表 8-1 国家重点保护动物及珍稀濒危野生动物名录

物种	保护级别*	RCB*	CITES*	备注
褐翅鸦鹃 <i>Centropus sinensis</i>	II			
白喉斑秧鸡 <i>Rallina eurizonoides</i>		VU		
蛇雕 <i>Spilornis cheela</i>	II	NT	II	
凤头鹰 <i>Accipiter trivirgatus</i>	II	NT	II	
黑鸢 <i>Milvus migrans</i>	II		II	
领角鸮 <i>Otus lettia</i>	II		II	
白胸翡翠 <i>Halcyon smyrnensis</i>	II			
燕隼 <i>Falco subbuteo</i>	II		II	
红领绿鹦鹉 <i>Psittacula krameri</i>	II			归化种
画眉 <i>Garrulax canorus</i>	II	NT	II	
黑喉噪鹛 <i>Garrulax chinensis</i>	II			

*保护级别：II-国家二级重点保护野生动物（2021）

RCB：被列入《中国生物多样性红色名录》（2020），VU 易危、NT 近危。

CITES：被列入《濒危野生动植物国际贸易公约》附录（2023），II 附录二。

8.1.2 物种相对多度

设备共采集音频数据 834,443 条，经 AI 识别去除环境声、其他动物声、人为干扰声等，共记录置信度大于 0.86 的野生鸟类鸣声数据 37,251 条，分物种监测数据见附表 II。

在目的水平上，雀形目最多，为 31347 条，其次分别是鸮形目（3482 条）和夜鹰目（1110 条）；在科的水平上，鹎科最多（11923 条），其次是分别是噪鹛科（5100 条）和扇尾莺科（4758 条）；在种的水平上，红耳鹎 *Pycnonotus jocosus*（6807 条）最多，其次分别是白头鹎 *Pycnonotus sinensis*（4538 条）、黄腹山鹪莺 *Prinia flaviventris*（3667 条）、鹎鹛 *Copsychus saularis*（3096 条）、黑喉噪鹛 *Garrulax chinensis*（2704 条）。

8.1.3 居留型

在记录到的 79 种鸟类中，按照居留型分，有留鸟 59 种，冬候鸟 8 种，夏候鸟 9 种，旅鸟 4 种。组成上以留鸟为主，冬候鸟次之。（如图 8-1）

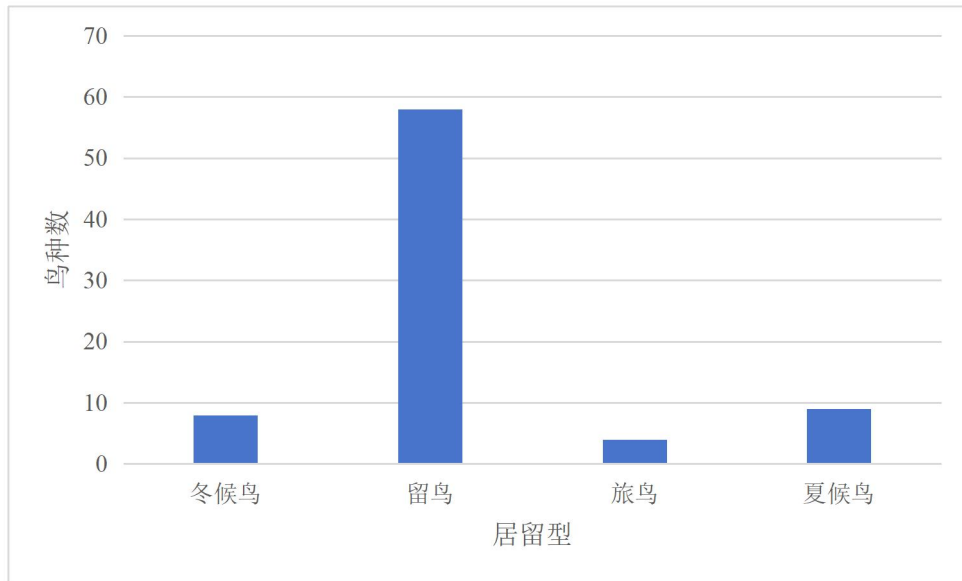


图 8-1 梅沙监测鸟类居留型分布

8.1.4 区系分析

本地繁殖的鸟类（包括留鸟和夏候鸟）共有 67 种（见表 8-2），其中以东洋型占绝对优势（49 种），其次是南中国型（9 种）和广布型（5 种）。总体区系成分来说以东洋界成分为主，古北界成分极少。这与深圳地处华南的地理位置相符。

表 8-2 本地繁殖鸟分布型

分布型	种数
东洋型	49
古北型	3
广布型	5
季风型	1
南中国型	9

8.1.5 物种累积曲线

根据物种累积曲线（下图）所示，累积曲线在约 100 天之后转入平缓，这说明监测数据能够较为充分地体现梅沙常见鸟类多样性状况。

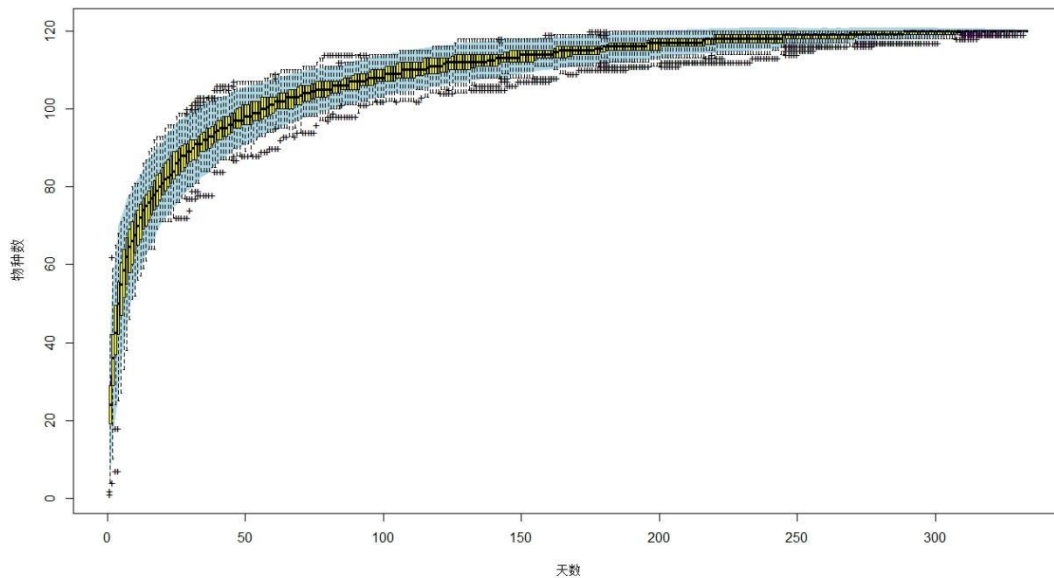


图 8-2 梅沙 2023 年度鸟类声学监测物种累积曲线（95%置信区间）

8.2 时间节律

8.2.1 月活动节律

鸟类总体的月活动节律如图 5-3，其中由于设备陆续在 2023 年 4~5 月份安装（见表 4-2），因此 4 月与 5 月采集鸣声数量大大偏少，不能反映全年的变化规律。按照珠三角地区鸟类一般的全年规律，春季的 3~4 月会达到种类和数量的双高峰。目前监测获取的不足全年完整数据，进一步规律尚需要进一步监测和分析。

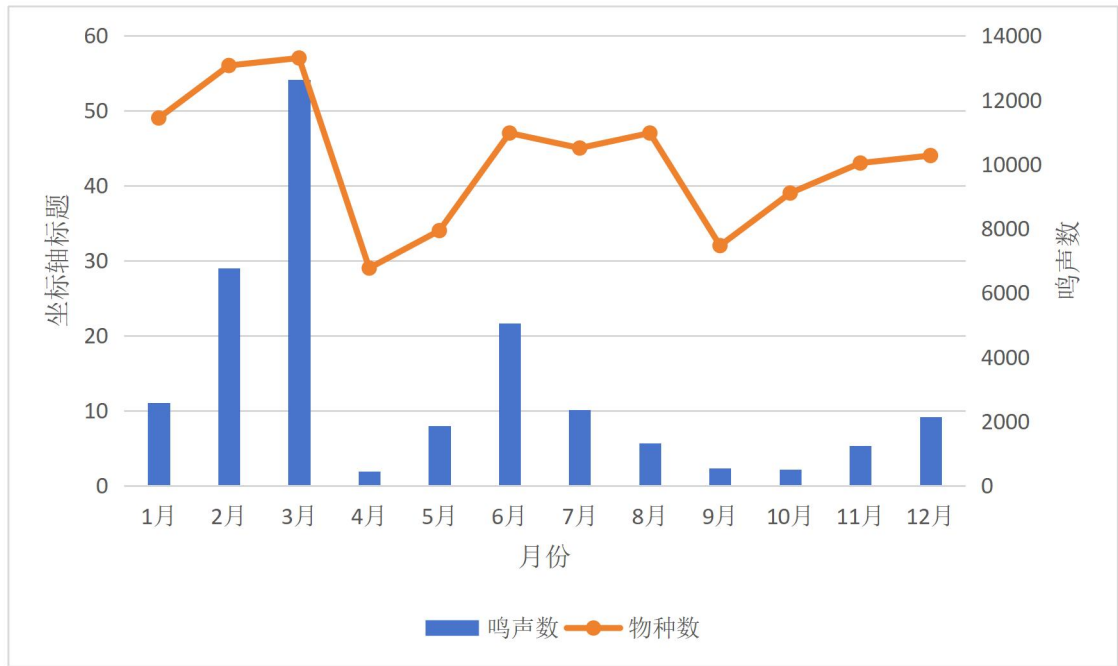


图 8-3 梅沙监测鸟类鸣声数量月活动节律

8.2.2 日活动节律

鸟类总体的日活动节律呈现 3 个活跃时段（图 8-4），第一个高峰在早上 7:00~9:00 的日出后，第二个高峰在 13:00~14:00 的午后，第三个高峰在日落前数小时的 17:00~18:00；夜行性鸟在 22:00~24:00 为活跃高峰。

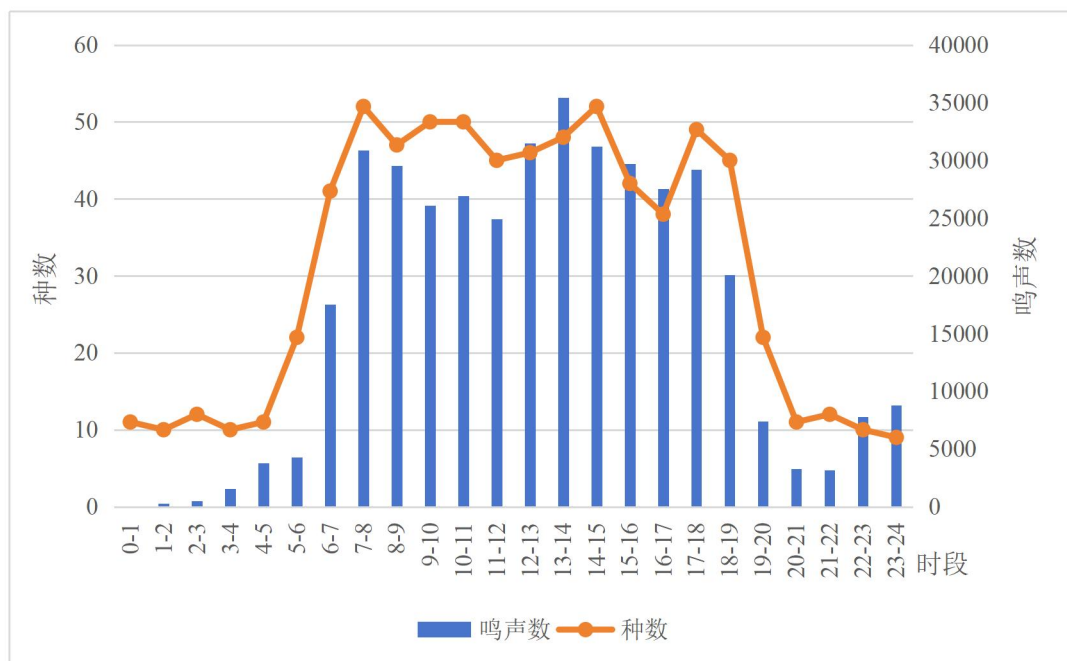


图 8-4 梅沙鸟类日活动节律

大部分日行性鸟类的日活动节律与总体规律类似，为早晚双活动高峰型，即日出后数小时和日落前数小时有两个活动高峰，例如黑脸噪鹛 *Garrulax perspicillatus* (图 8-5)、大山雀 *Parus minor* (图 8-6)，其中黑脸噪鹛在清晨活动多于下午，大山雀在下午的活跃程度高于清晨；有部分鸟类的晨昏活跃性不明显，例如黄腹山鹡鸰 *Prinia flaviventris*，活动曲线为单峰型，在午后达到最高(图 8-7)；夜行性鸟类活动节律表现为日出前和日落后较高，例如领角鸮 *Otus lettia* (图 8-8)、林夜鹰 *Caprimulgus affinis* (图 8-9)。

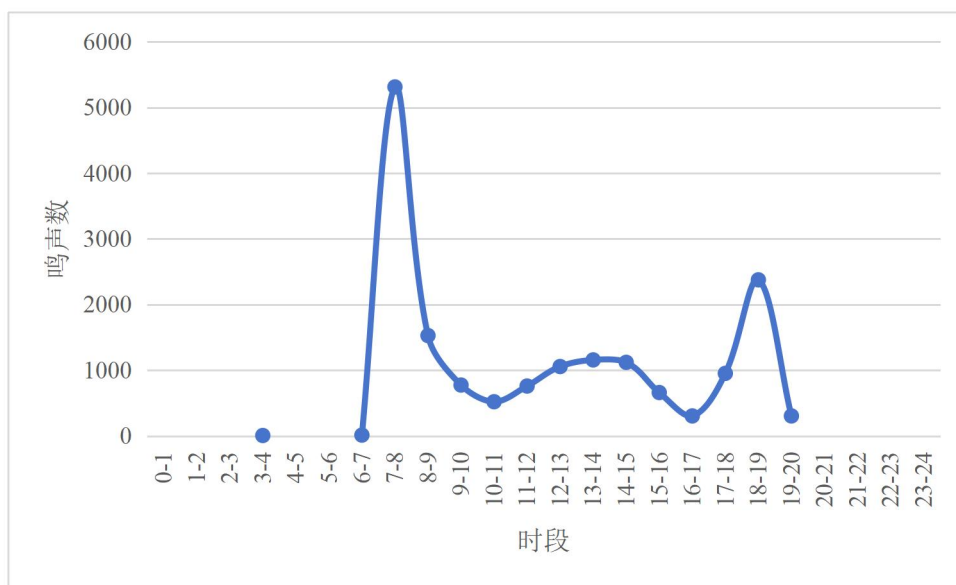


图 8-5 黑脸噪鹛日活动节律

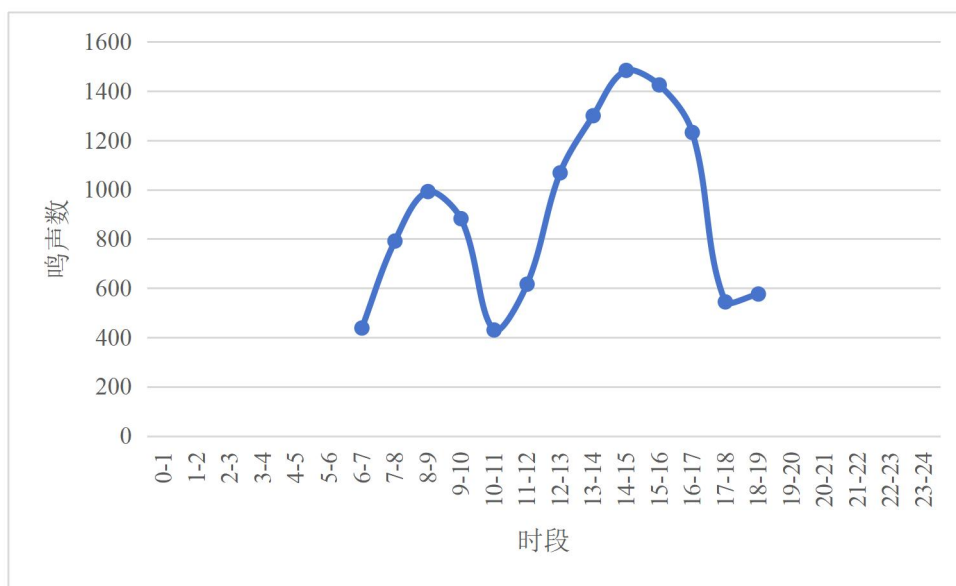


图 8-6 大山雀日活动节律

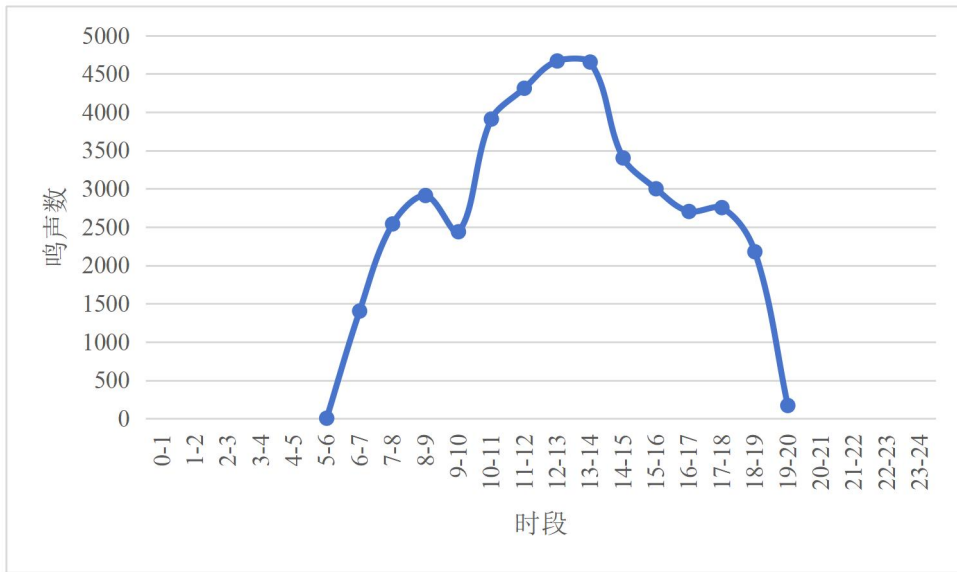


图 8-7 黄腹山鹪莺日活动节律

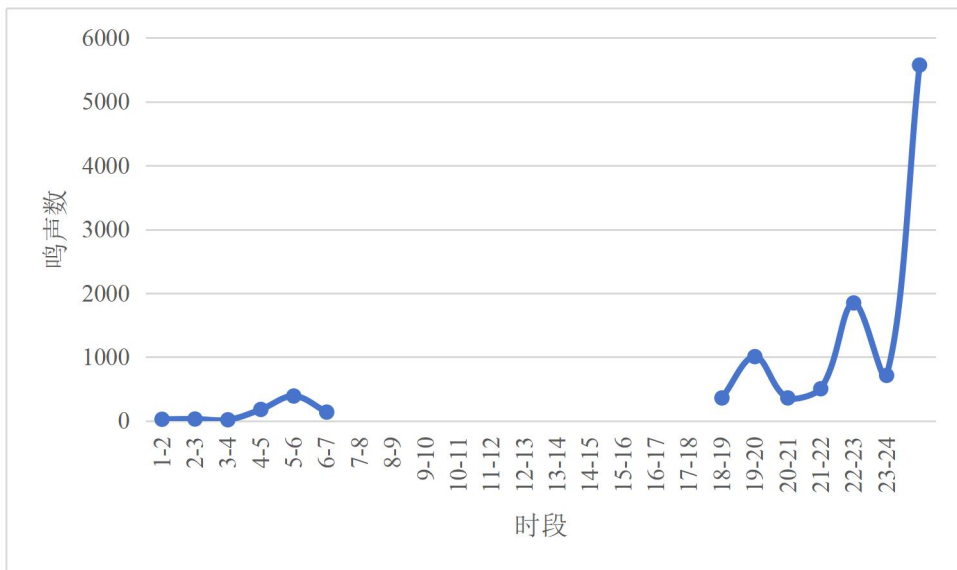


图 8-8 领角鸮日活动节律

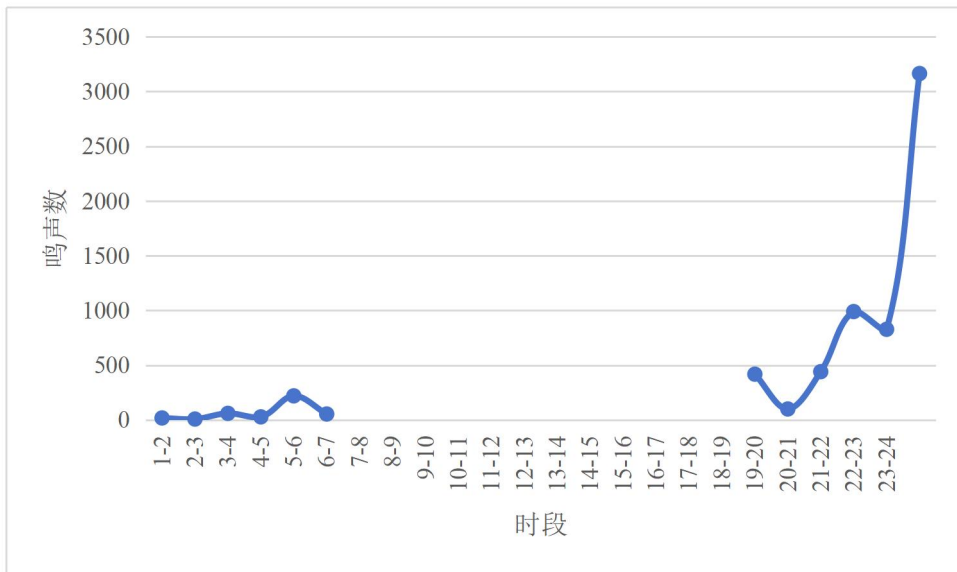


图 8-9 林夜鹰日活动节律

8.3 分设备采集数据汇总

表 8-3 展示了 10 台声纹监测设备所采集的数据情况，其中有效鸟声数为 AI 识别结果筛选置信度 0.86 阈值以上，再经过人工复核后的鸣声数。

表 8-3 不同设备采集数据情况

设备 编号	采集 数据数	有效 鸟声数	识别物种 数量	H_2'	D	J_e	NDSI	ADI	H
大梅	88225	3114		3.66	0.89	0.70	0.23	2.15	0.79
沙 1			38						
大梅	6509	127		3.21	0.86	0.82	0.32	2.26	0.86
沙 2			16						
大梅	25248	1698		2.14	0.64	0.46	0.15	1.95	0.73
沙 3			27						
大梅	67822	1358		3.68	0.87	0.71	0.25	2.20	0.85
沙 4			37						
大梅	127662	8302		3.36	0.85	0.59	-0.06	2.08	0.78
沙 5			53						
大梅	46795	5427		3.32	0.86	0.63	0.13	2.22	0.84
沙 6			40						
大梅	188914	3909		2.86	0.78	0.55	0.41	2.27	0.87
沙 7			37						
大梅	101242	4229		3.84	0.88	0.68	0.76	2.22	0.81
沙 8			52						

大梅	63899	1721		3.56	0.87	0.66	-0.14	2.09	0.78
沙 9			43						
大梅	118127	7366		2.98	0.78	0.54	0.20	2.16	0.80
沙 10			80						

注： H_2' :香农-威纳多样性指数（以 2 为底）； D : 辛普森指数； Je : Pielou 均匀度指数；NDSI: 归一化声景指数；ADI: 声学多样性指数；H: 声熵指数

8.4 空间规律

图 8-9 展示了不同位点所记录的物种数与香农威纳多样性指数，体现了不同监测点的生物多样性状况。

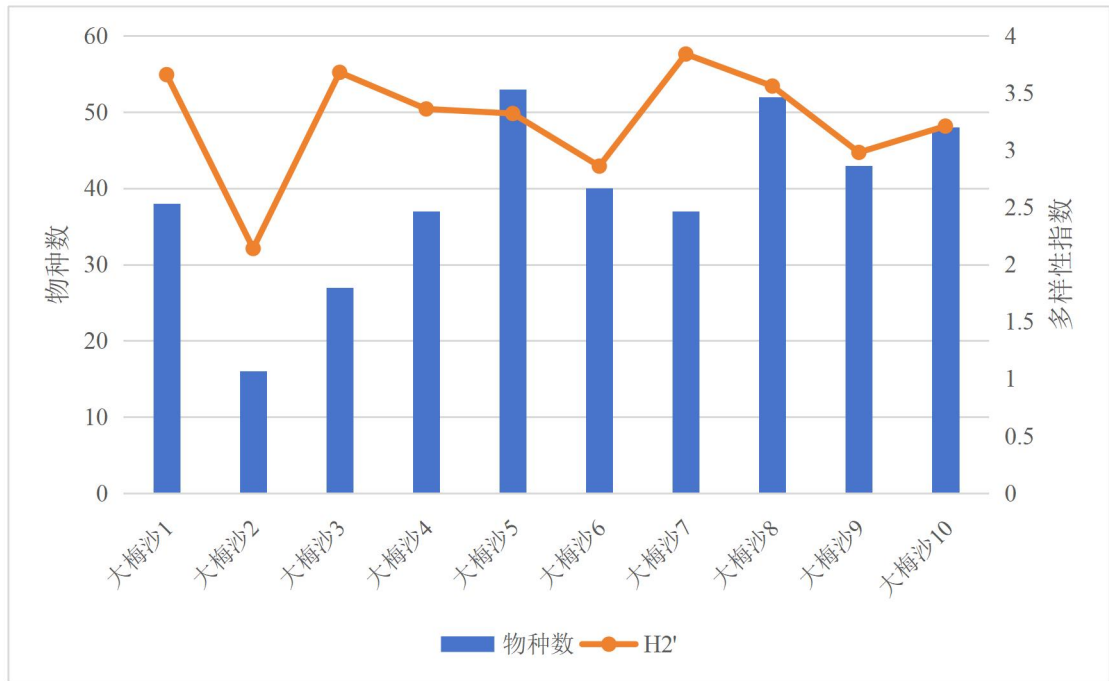


图 8-9 不同点位识别物种数量和物种多样性指数（ $H2'$:香农-威纳多样性指数）

图 8-10 展示了不同位点的声景指数，其中 NDSI 表示监测点生物声与人工声的相对关系，数值越高代表生物声越占优势，数值越低代表人工声越占优势；ADI 和 H 表征了监测点声学信号的复杂性。

由此可见大梅沙 8 的生物声占比最高，而大梅沙 5、大梅沙 9 人工声占比最高；各个位点在声学信号复杂度上差异不大。

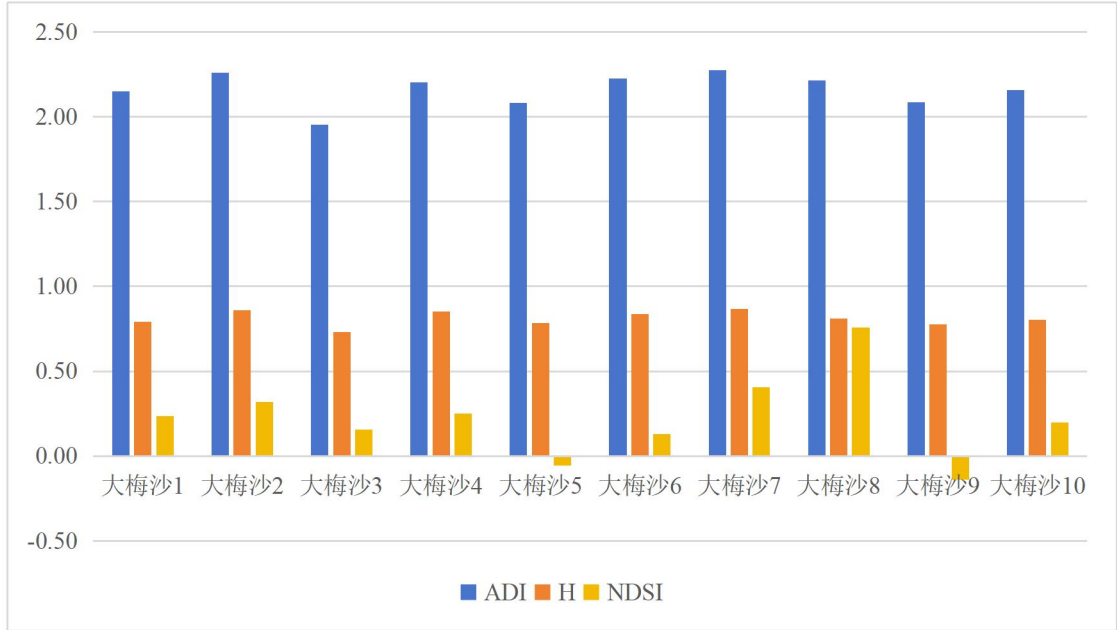


图 8-10 不同位点声景指数（NDSI：归一化声景指数；ADI：声学多样性指数；
H：声熵指数）

8.5 声景指数

8.5.1 分季节规律

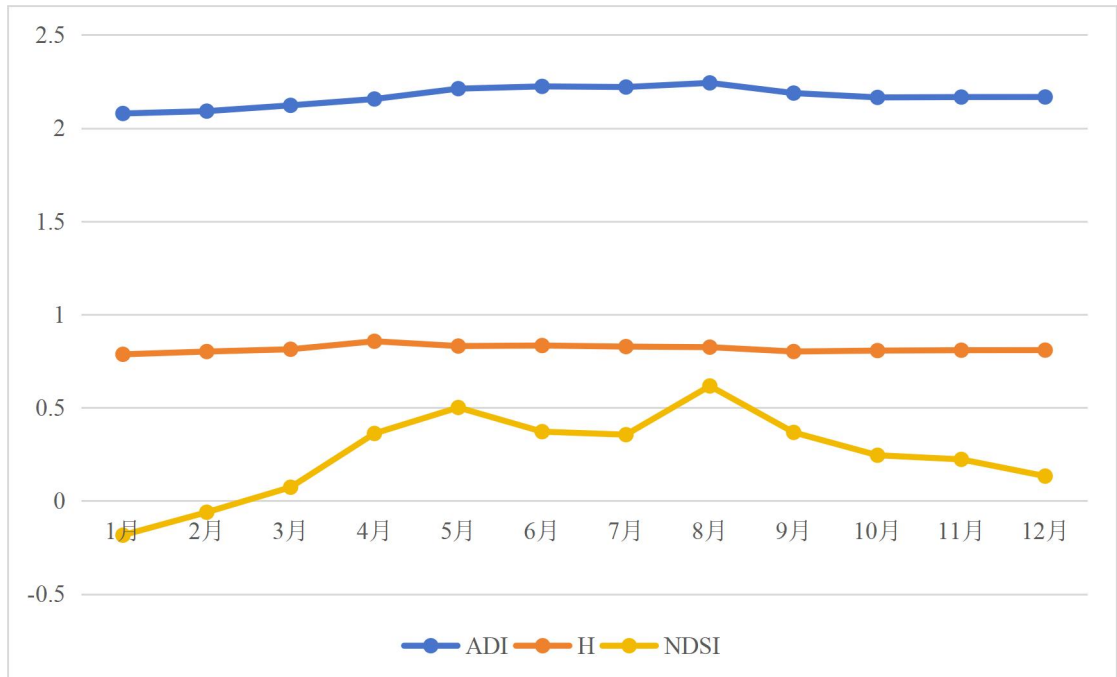


图 8-11 不同月份声景指数。其中 ADI: 声学多样性指数; H: 声熵指数; NDSI: 归一化声景指数

由图 8-11 可见, NDSI、ADI 和 H 在 5-8 月份的生物繁殖高峰季节较高。

8.5.2 分时段规律

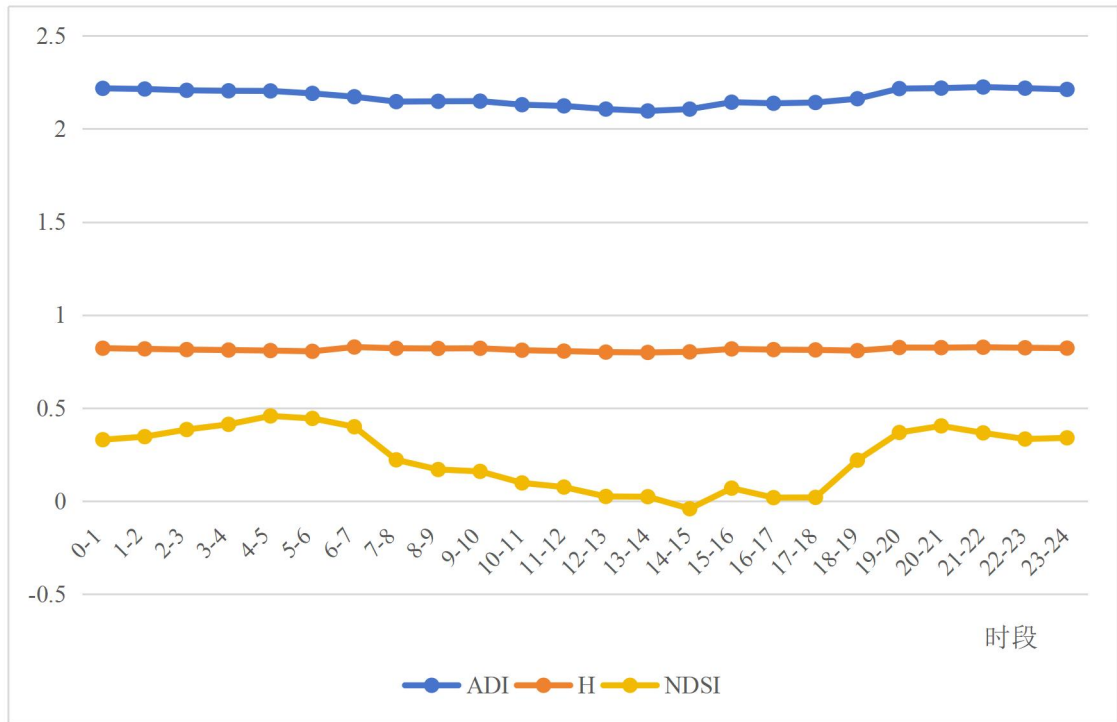
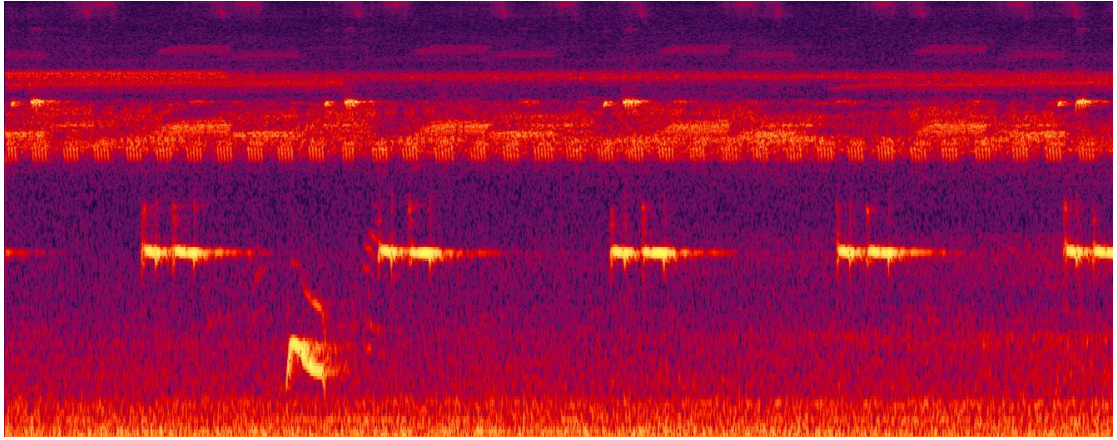


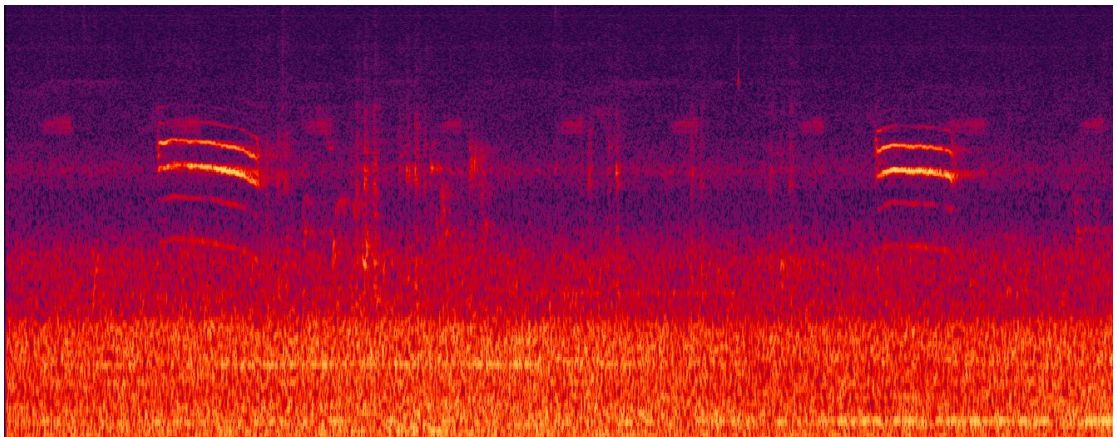
图 8-12 不同时间段声景指数。其中 ADI: 声学多样性指数; H: 声熵指数; NDSI: 归一化声景指数

由图 8-12 可见, 一天内不同时段中, NDSI 在白天较低, 夜晚较高; ADI 在白天较低; H 总体变化较小, 在白天略低。

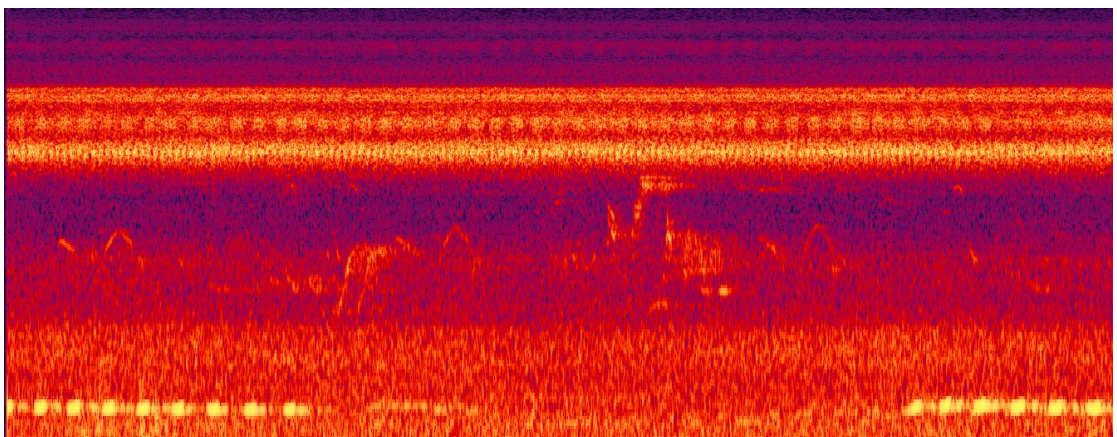
8.6 监测采集动物鸣声声谱图展示



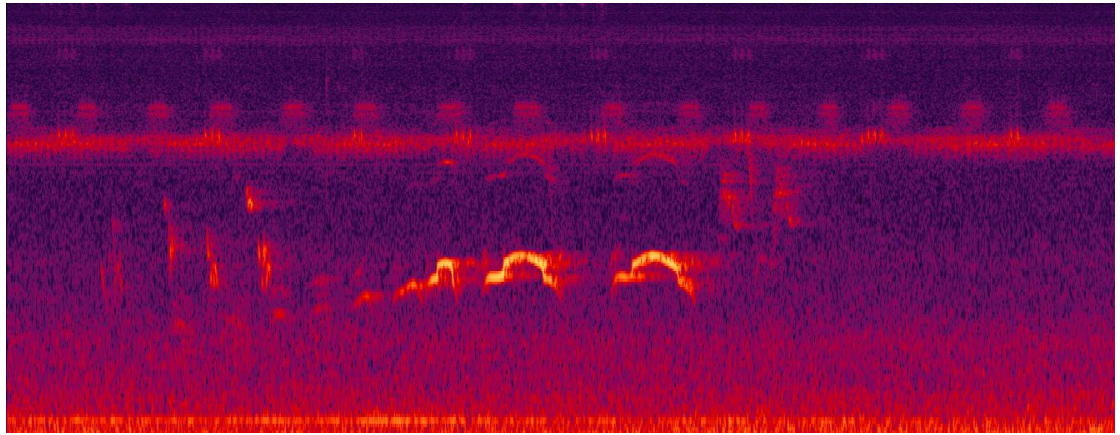
红翅凤头鹀和领角鸮 2023-06-02_00:11:33 大梅沙 08



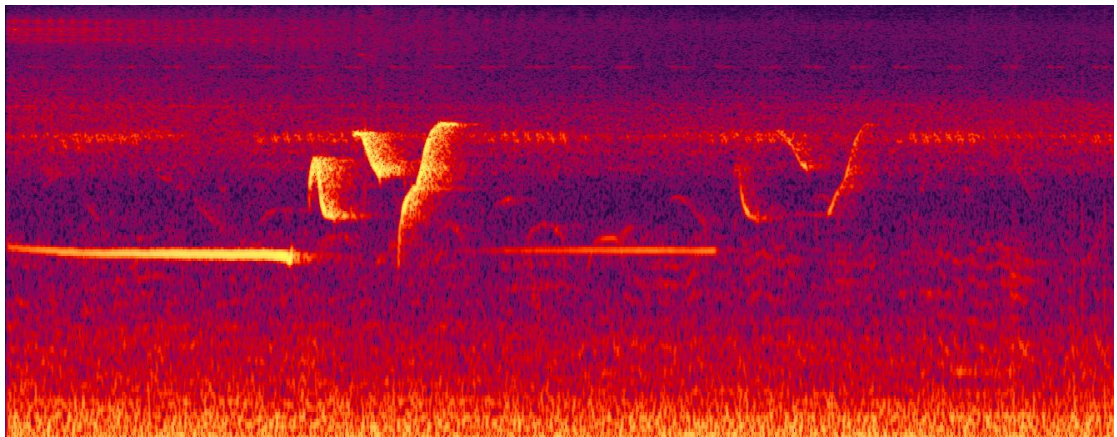
黄腹山鹪莺 2023-07-12_13:14:06 大梅沙 10



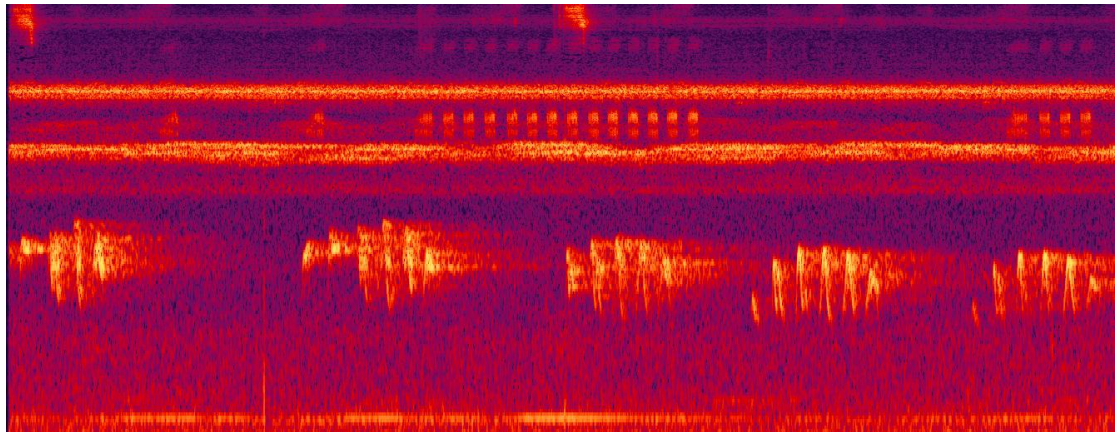
褐翅鸦鹩 2023-06-02_06:10:44 大梅沙 10



蛇雕 2023-05-27_12:13:13 大梅沙 9



强脚树莺 2023-06-01_17:08:11 大梅沙 3



小杜鹃 2023-06-05_04:07:59 大梅沙 1

第九章 对声纹监测的分析讨论

9.1 多样性

本次监测结果表明，梅沙的野生鸟类资源丰富，累计监测到野生鸟类 79 种，从物种累计曲线（图 8-2）看监测效果较为理想，能够较好地反映出梅沙的鸟类状况。

9.1.1 类群特征

从不同物种所记录的鸣声数量看，鹎类、杜鹃、扇尾莺和鹩类的数量明显较高，这些鸟类的特点是鸣叫频繁，易于被设备监测到。相较于目视发现率影响较大的传统调查方式，声学监测结果中鸣叫频繁的鸟类记录数量明显较高。相应的，较少鸣叫或鸣叫声难以采集和识别的种类，例如雁鸭类、猛禽、部分鹭类、部分秧鸡、部分鹇等，数量可能存在低估。

因此声学监测尽管有节省人力、便于大规模布设等优点，但依然应该与样线调查、样点调查、红外相机等调查方式相互补充，已达到更加系统、完善的监测效果。

声学监测方法还能针对夜行性鸟类进行全面细致的监测，由于夜间调查的难度，夜行性鸟类调查在以往是非常难以系统开展的。梅沙有记录的夜行性或日夜均有活动的鸟类大致有鸱鸃科猛禽、夜鹰、部分杜鹃、部分秧鸡等类群，夜行性鸟类又大多有夜间鸣叫的习惯，加之夜间噪音较少，因此自动设备监测是非常高效的监测方式。

另外，根据声学监测，共记录灰胸竹鸡 102 次，涉及 7 个监测点位，既有城市公园，也有远离居民区的山区，且从 2023 年 7 月至 2024 年 3 月每个月均有记录。可见在梅沙区域灰胸竹鸡分布较为广泛，种群数量较大。另查询中国观鸟记录中心的数据，深圳市共计 106 次记录。经查阅资料，灰胸竹鸡在深圳市虽为外来种，但引入时间早，已经扩散到诸多地区，种群数量亦有不少，且深圳周边地区均有灰胸竹鸡的分布。因此在监测中记录到灰胸竹鸡为正常现象，并无迹象表

明与近期的非法放生行为存在关联。

外来种对本地生态平衡的影响是需要持续关注的重要问题，虽然目前未有因灰胸竹鸡的引入而影响生态平衡的迹象，但仍需在今后的监测中重点关注其数量、动态及其对其他生物的影响。

9.1.2 居留型与区系特征

从居留型的分布规律看，留鸟占最主要的部分，其次为冬候鸟，符合华南地区秋季鸟类居留型的通常规律。考虑到声学监测的特性，由于候鸟在迁徙途中和越冬时期的发声相对繁殖期明显较少，尤其是标志性、易识别的鸣唱更加罕见，因此冬候鸟和旅鸟可能会有一定程度的低估；相应的，本地繁殖的留鸟和夏候鸟在繁殖期发声会较为频繁，从而拉高整体的记录次数。

考虑到设备安装时间和数据统计周期，4月与5月份的数据采集明显不足，因此导致旅鸟和夏候鸟的种类和数量被明显低估。在监测持续开展，全年监测数据更为完整之后，各个季节、各种居留型鸟类的种类、数量和动态的规律会更加准确。

9.2 活动节律

9.2.1 月活动节律

由于2023年4月和5月关键时期数据的缺乏，导致声学监测周期未能很好地反映梅沙鸟类的活动节律；根据珠三角地区鸟类活动的一般规律，推测4月份的记录的鸣声数应明显高于3月。2~4月既是本地繁殖鸟高频次鸣唱的求偶高峰期，也是众多过境候鸟高峰期，两种因素叠加，导致了春季的数量和种数高峰；夏季至秋季的8~11月份为采集数量的明显低谷，种数也相应较少，此时繁殖到了繁殖后期，亲鸟忙于育雏，鸣唱减少，同时秋季过境候鸟在本区域记录较少；进入越冬季后，随着南迁冬候鸟的不断抵达，鸟类种数和鸣声数均有明显上升，直至进入来年春季的繁殖季。

9.2.2 日活动节律

日活动节律的监测结果反映了鸟类活动的日节律：日出后数小时的上午 7~9 时是第一个活跃高峰；午后由于部分鹎类、黄腹山鹪莺的午后活跃期，造成了第二个活跃高峰；日落前的 17~18 点为第三个活跃高峰。

根据具体种类不同，其活动日节律存在较大差异，有的种类在清晨更加活跃（例如乌鸫、叉尾太阳鸟、白鹡鸰等），有的在下午更加活跃（例如白头鹎、红耳鹎、黄腹山鹪莺等），而鸱鸃、夜鹰等夜行性鸟类就呈现明显的夜间活跃特征（例如领角鸮、普通夜鹰、林夜鹰等）。

9.3 声景指数

9.3.1 季节规律

从声景指数在一年内不同月份的变化可以发现 NDSI 在 4~6 月有第一个高峰（推测为鸟类繁殖活动高峰导致），7~9 月有第二个高峰（推测为蛙类和螽斯的繁殖高峰导致）；H 在 4 月前后有一个不太明显的高峰；ADI 在 5~8 月份较高。

这些声景指数的规律基本反映了动物繁殖的季节规律。NDSI 较高说明在繁殖季，由于鸟类、鸣虫、蛙类的活跃发声，总体生物声相对于人工声的比例较高；H 和 ADI 较高说明在繁殖季，声景中的声音复杂度增加。这 3 种声景指数的规律与以往文献中多样性与声景指数的规律相符。从几项声景指数的监测可以不经过物种识别，更加直接、快速地体现当地生物活动和生态状况的总体状况。

9.3.2 日活动规律

从声景指数在一天内的变化可以发现，在一天内不同时段中，NDSI 在白天较低，夜晚较高，这是由于白天的城市背景声和人为干扰声明显较多，而在夜间较少；ADI 和 H 的日节律不明显。

第十章 基于声纹监测的对策与建议

从野生动物保护角度，结合本次调查监测结果，提出以下 6 点建议：

(1) 梅沙区域生态状况优良，人为干扰可控，鸟类资源丰富。为鸟类提供了从城区公园到森林的生境梯度，不仅为本地留鸟，也为远道而来的冬候鸟、旅鸟提供了优良的越冬和过境的栖息地。应继续大力保护生态环境，推动野生动物保护，为野生鸟类提供优良而稳定的栖息地。

(2) 梅沙区域西部和东北部山区林地的植被状况较好，人为干扰弱，监测中发现夜行性鸟类较为活跃，在深圳市总体城市化程度较高的背景下显得尤为难得。调查中发现梅沙部分热门景点区域居民和游客数量较密集，应加强管理、合理疏导，控制人为因素对野生动物的活动影响，维持人与野生动物的和谐相处。

(3) 梅沙区域声学监测关键性区域可分类两类：一是人为干扰少的森林生境，为偏好自然森林的鸟类提供生境；二是人为干扰强的城市公园、居民区周边，种类主要为伴人种，声学监测能够反映人为干扰尤其是噪声干扰对鸟类活动的影响。森林贡献了本监测中最主要的鸟类生境；但与此同时也应注意灌丛、淡水湿地、滩涂等其他生境的营造和合理维护，为更多种类不同生态位的野生鸟类提供合适的栖息地。

鉴于前述情况，后续增补布设可以首先从生境覆盖角度出发，增加人工林、灌草丛、淡水湿地、沿海滩涂等更多生境的监测覆盖，以更加全面地了解梅沙区域鸟类状况。其次与噪音监测相结合，一些声景指数（例如归一化声景指数 NDSI）能够较为有效地反映出人为噪声的分布和变化规律。梅沙区域虽然总体生态状况良好，但部分区域交通噪声和工业噪声影响较为明显，声学监测不仅可以用于鸟类，部署在合适的位置也能对噪音进行长期有效监测并简单分类。以此探究噪音对生物多样性以及居民生活品质的影响，为提升梅沙区域生态状况提供更多支撑。

(4) 声学监测有其原理上的局限性，难以对一些较少发声的类群进行有效监测；与此同时又有连续监测的优势，并对夜行性鸟类的活动规律有很好的效果。因此应当结合声学监测、样线调查以及其他方式一起，优势互补，发挥无人值守

自动化监测的优势，对梅沙生物多样性现状及其变化趋势进行综合评估。

参考文献

- [1] Horton, K.G., Buler, J.J., Anderson, S.J. *et al.* Artificial light at night is a top predictor of bird migration stopover density. *Nat Commun* **14**, 7446 (2023).
- [2] Bamford M, Watkins D, Bancroft W, Tischler G, Wahl J. 2008. Migratory shorebirds of the East Asian-Australasian Flyway: population estimates and internationally important sites. Wetlands International, Oceania
- [3] Lu, C., Li, X., Deng, Y., Wang, J., Zheng, H., Zhang, M. (2024). Impact of Electric Power Grid Projects on Bird Diversity and the Suggestion of Bird Conservative Technology. In: Weng, CH. (eds) Proceedings of The 5th International Conference on Advances in Civil and Ecological Engineering Research. ACEER 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 336. Springer, Singapore.
- [4] Li, L., Yan, M., Hong, Y. *et al.* Protecting China's major urban bird diversity hotspots. *Ambio* **53**, 339–350 (2024).
- [5] Lin, T.-Y. *et al.* (2017) Focal loss for dense object detection, in Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, pp. 2980–2988.
- [6] Park, D.S. *et al.* (2019) SpecAugment: A Simple Data Augmentation Method for Automatic Speech Recognition, in Interspeech 2019, pp. 2613–2617.
- [7] Tan, M. and Le, Q. (2021) Efficientnetv2: Smaller models and faster training, in International conference on machine learning. PMLR, pp. 10096–10106.
- [8] Zhang, H. *et al.* (2018) mixup: Beyond Empirical Risk Minimization. arXiv.
- [9] 崔伟中, 珠江河口滩涂湿地的问题及其保护研究[J]. 湿地科学, 2004, 2(001):26-30.
- [10] 张孚允, 杨若莉, 1997. 中国鸟类迁徙研究[M]. 中国林业出版社, 1997.
- [11] 郑光美主编. 中国鸟类分类与分布名录 (第三版) [M]. 北京: 科学出版社, 2023.
- [12] 赵正阶, 中国鸟类志: 上 (非雀形目) [M]. 长春: 吉林科学出版社, 2001.
- [13] 赵正阶, 中国鸟类志: 下 (雀形目) [M]. 长春: 吉林科学出版社, 2001.

- [14] 张荣祖, 中国动物地理[M].北京: 科学出版社, 2011.
- [15] 丁平, 张正旺, 梁伟, 等. 2019. 中国森林鸟类[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- [16] 约翰·马敬能. 2022. 中国鸟类野外手册[M]. 北京: 商务印书馆.
- [17] 刘阳, 陈水华. 2021. 中国鸟类观察手册[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社.
- [19] 郑光美. 鸟类学. 2 版[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2012.
- [19] 邹发生, 广东陆生脊椎动物分布名录[M]. 广州: 广东科技出版社, 2016
- [20] 韦必颖, 成建梅, 苏晓煜等. 深圳市 2015—2021 年雨源型河流水质时空变化及其对降雨的响应[J/OL]. 环境科学: 1-17[2023-06-30]. <https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202303052>.

附录 A 梅沙地区样线调查鸟类总名录

序号	目	科	中文名	拉丁名	常见度	居留类型	广东省重点保护	国家保护级别	中国生物多样性红色名录	CITES附录	IUCN红皮书
1	鸡形目	雉科	灰胸竹鸡	<i>Bambusicola thoracicus</i>	罕见	R					
2	鸚鵡目	鸚鵡科	小鸚鵡	<i>Tachybaptus ruficollis</i>	常见	R					
3	鵝形目	鹭科	黄苇鳉	<i>Ixobrychus sinensis</i>	罕见	R	√				
4	鵝形目	鹭科	夜鹭	<i>Nycticorax nycticorax</i>	常见	S	√				
5	鵝形目	鹭科	池鹭	<i>Ardeola bacchus</i>	常见	R	√				
6	鵝形目	鹭科	牛背鹭	<i>Bubulcus coromandus</i>	常见	R	√				
7	鵝形目	鹭科	苍鹭	<i>Ardea cinerea</i>	一般	R	√				
8	鵝形目	鹭科	大白鹭	<i>Ardea alba</i>	一般	W	√				
9	鵝形目	鹭科	绿鹭	<i>Butorides striata</i>	罕见	R	√				
10	鵝形目	鹭科	岩鹭	<i>Egretta sacra</i>	罕见	R		II			
11	鵝形目	鹭科	白鹭	<i>Egretta garzetta</i>	常见	R	√				
12	鷹形目	鷹科	蛇雕	<i>Spilornis cheela</i>	一般	R		II	NT	II	
13	鷹形目	鷹科	黑鸢	<i>Milvus migrans</i>	常见	R		II		II	
14	鷹形目	鷹科	凤头鹰	<i>Accipiter trivirgatus</i>	少见	R		II	NT	II	
15	鷹形目	鷹科	松雀鹰	<i>Accipiter virgatus</i>	罕见	R		II		II	
16	鷹形目	鵟科	鵟	<i>Pandion haliaetus</i>	罕见	W		II	NT	II	
17	鵝形目	秧鸡科	白胸苦恶鸟	<i>Amaurornis phoenicurus</i>	少见	R					
18	鵝形目	秧鸡科	黑水鸡	<i>Gallinula chloropus</i>	常见	R	√				

19	鹤形目	秧鸡科	白喉斑秧鸡	<i>Rallina eurizonoides</i>	罕见	R	√		VU	
20	鹤形目	丘鹬科	矶鹬	<i>Actitis hypoleucos</i>	常见	W				
21	鹤形目	丘鹬科	灰尾漂鹬	<i>Tringa brevipes</i>	罕见	W				NT
22	鹤形目	丘鹬科	中杓鹬	<i>Numenius phaeopus</i>	少见	W	√			
23	鹤形目	燕鹬科	普通燕鹬	<i>Glareola maldivarum</i>	罕见	P				
24	鹤形目	鸥科	黑尾鸥	<i>Larus crassirostris</i>	少见	W	√			
25	鹤形目	海雀科	扁嘴海雀	<i>Synthliboramphus antiquus</i>	罕见	W	√		NT	
26	鹤形目	鸠鸽科	珠颈斑鸠	<i>Spilopelia chinensis</i>	常见	R				
27	鹤形目	鸠鸽科	山斑鸠	<i>Streptopelia orientalis</i>	一般	R				
28	鹤形目	鸠鸽科	斑尾鹃鸠	<i>Macropygia unchall</i>	罕见	R		II	NT	
29	鹤形目	鸠鸽科	绿翅金鸠	<i>Chalcophaps indica</i>	罕见	R				
30	鹑形目	杜鹃科	褐翅鸦鹑	<i>Centropus sinensis</i>	一般	R		II		
31	鹑形目	杜鹃科	小鸦鹑	<i>Centropus bengalensis</i>	罕见	R		II		
32	鹑形目	杜鹃科	红翅凤头鹑	<i>Clamator coromandus</i>	少见	S				
33	鹑形目	杜鹃科	噪鹑	<i>Eudynamys scolopaceus</i>	常见	S				
34	鹑形目	杜鹃科	八声杜鹃	<i>Cacomantis merulinus</i>	常见	R				
35	鹑形目	杜鹃科	鹰鹑	<i>Hierococcyx sparveriioides</i>	常见	S				
36	鹑形目	杜鹃科	霍氏鹰鹑	<i>Hierococcyx nisicolor</i>	少见	S	√			
37	鹑形目	杜鹃科	小杜鹃	<i>Cuculus poliocephalus</i>	少见	S				
38	鸮形目	鸱鸮科	领角鸮	<i>Otus lettia</i>	少见	R		II		II
39	鸮形目	鸱鸮科	褐渔鸮	<i>Ketupa zeylonensis</i>	罕见	R		II	EN	II
40	夜鹰目	夜鹰科	普通夜鹰	<i>Caprimulgus jotaka</i>	一般	S				
41	夜鹰目	夜鹰科	林夜鹰	<i>Caprimulgus affinis</i>	罕见	R				
42	雨燕目	雨燕科	白腰雨燕	<i>Apus pacificus</i>	少见	S				

43	雨燕目	雨燕科	小白腰雨燕	<i>Apus nipalensis</i>	常见	S		
44	佛法僧目	佛法僧科	三宝鸟	<i>Eurystomus orientalis</i>	少见	S	√	
45	佛法僧目	翠鸟科	白胸翡翠	<i>Halcyon smyrnensis</i>	一般	R		II
46	佛法僧目	翠鸟科	普通翠鸟	<i>Alcedo atthis</i>	常见	R		
47	鸺形目	拟啄木鸟科	黑眉拟啄木鸟	<i>Megalaima faber</i>	少见	R		
48	鸺形目	拟啄木鸟科	大拟啄木鸟	<i>Megalaima virens</i>	常见	R		
49	鸺形目	啄木鸟科	斑姬啄木鸟	<i>Picumnus innominatus</i>	少见	R	√	
50	鸺形目	啄木鸟科	黄嘴栗啄木鸟	<i>Blythipicus pyrrhotis</i>	罕见	R	√	
51	雀形目	鹟鵂科	灰喉山椒鸟	<i>Pericrocotus solaris</i>	一般	R		
52	雀形目	鹟鵂科	赤红山椒鸟	<i>Pericrocotus speciosus</i>	一般	R		
53	雀形目	伯劳科	红尾伯劳	<i>Lanius cristatus</i>	少见	W		
54	雀形目	伯劳科	棕背伯劳	<i>Lanius schach</i>	常见	R		
55	雀形目	莺雀科	白腹凤鹛	<i>Erpornis zantholeuca</i>	一般	R		
56	雀形目	卷尾科	发冠卷尾	<i>Dicrurus hottentottus</i>	罕见	S		
57	雀形目	王鹟科	寿带	<i>Terpsiphone incei</i>	罕见	S	√	
58	雀形目	鸦科	红嘴蓝鹊	<i>Urocissa erythroryncha</i>	一般	R		
59	雀形目	鸦科	灰树鹊	<i>Dendrocitta formosae</i>	一般	R		
60	雀形目	鸦科	喜鹊	<i>Pica serica</i>	常见	R		
61	雀形目	鸦科	大嘴乌鸦	<i>Corvus macrorhynchos</i>	常见	R		
62	雀形目	山雀科	大山雀	<i>Parus minor</i>	常见	R		
63	雀形目	山雀科	黄颊山雀	<i>Machlolophus spilonotus</i>	罕见	R		
64	雀形目	鹎科	红耳鹎	<i>Pycnonotus jocosus</i>	常见	R		
65	雀形目	鹎科	白头鹎	<i>Pycnonotus sinensis</i>	常见	R		
66	雀形目	鹎科	白喉红臀鹎	<i>Pycnonotus aurigaster</i>	常见	R		

67	雀形目	鹀科	绿翅短脚鹀	<i>Ixos mccllellandii</i>	少见	R
68	雀形目	鹀科	栗背短脚鹀	<i>Hemixos castanonotus</i>	一般	R
69	雀形目	鹀科	黑短脚鹀	<i>Hypsipetes leucocephalus</i>	一般	R
70	雀形目	燕科	家燕	<i>Hirundo rustica</i>	常见	R
71	雀形目	燕科	金腰燕	<i>Cecropis daurica</i>	常见	W
72	雀形目	鳞胸鹀科	小鳞胸鹀	<i>Pnoepyga pusilla</i>	罕见	R
73	雀形目	树莺科	棕脸鹟莺	<i>Abroscopus albogularis</i>	少见	R
74	雀形目	树莺科	金头缝叶莺	<i>Phyllergates cuculatus</i>	罕见	R
75	雀形目	树莺科	黄腹树莺	<i>Horornis acanthizoides</i>	罕见	R
76	雀形目	树莺科	强脚树莺	<i>Horornis fortipes</i>	常见	R
77	雀形目	树莺科	鳞头树莺	<i>Urosphena squameiceps</i>	少见	W
78	雀形目	长尾山雀科	红头长尾山雀	<i>Aegithalos concinnus</i>	一般	R
79	雀形目	柳莺科	褐柳莺	<i>Phylloscopus fuscatus</i>	常见	W
80	雀形目	柳莺科	黄腰柳莺	<i>Phylloscopus proregulus</i>	一般	W
81	雀形目	柳莺科	黄眉柳莺	<i>Phylloscopus inornatus</i>	常见	W
82	雀形目	蝗莺科	高山短翅莺	<i>Locustella mandelli</i>	罕见	W
83	雀形目	扇尾莺科	黄腹山鹪莺	<i>Prinia flaviventris</i>	常见	R
84	雀形目	扇尾莺科	纯色山鹪莺	<i>Prinia inornata</i>	常见	R
85	雀形目	扇尾莺科	长尾缝叶莺	<i>Orthotomus sutorius</i>	常见	R
86	雀形目	鹟科	棕颈钩嘴鹟	<i>Pomatorhinus ruficollis</i>	一般	R
87	雀形目	鹟科	红头穗鹟	<i>Cyanoderma ruficeps</i>	一般	R
88	雀形目	幽鹟科	淡眉雀鹟	<i>Alcippe hueti</i>	常见	R
89	雀形目	噪鹟科	蓝翅希鹟	<i>Actinodura cyanouroptera</i>	罕见	R
90	雀形目	噪鹟科	画眉	<i>Garrulax canorus</i>	少见	R

II

NT

II

91	雀形目	噪鹛科	黑脸噪鹛	<i>Pterorhinus perspicillatus</i>	常见	R		
92	雀形目	噪鹛科	黑领噪鹛	<i>Pterorhinus pectoralis</i>	少见	R		
93	雀形目	噪鹛科	黑喉噪鹛	<i>Pterorhinus chinensis</i>	一般	R	II	
94	雀形目	噪鹛科	红嘴相思鸟	<i>Leiothrix lutea</i>	少见	R	II	II
95	雀形目	绣眼鸟科	暗绿绣眼鸟	<i>Zosterops simplex</i>	常见	R		
96	雀形目	绣眼鸟科	栗颈凤鹛	<i>Staphida torqueola</i>	罕见	R		
97	雀形目	椋鸟科	丝光椋鸟	<i>Spodiopsar sericeus</i>	常见	R		
98	雀形目	椋鸟科	八哥	<i>Acridotheres cristatellus</i>	常见	R		
99	雀形目	椋鸟科	黑领椋鸟	<i>Gracupica nigricollis</i>	常见	R		
100	雀形目	鹁鸪科	怀氏虎鹁鸪	<i>Zoothera aurea</i>	少见	W		
101	雀形目	鹁鸪科	灰背鹁鸪	<i>Turdus hortulorum</i>	一般	W		
102	雀形目	鹁鸪科	白腹鹁鸪	<i>Turdus pallidus</i>	少见	W		
103	雀形目	鹁鸪科	乌鹁鸪	<i>Turdus mandarinus</i>	常见	R		
104	雀形目	鹁鸪科	橙头地鹁鸪	<i>Geokichla citrina</i>	罕见	P		
105	雀形目	鹁鸪科	红胁蓝尾鸫	<i>Tarsiger cyanurus</i>	常见	W		
106	雀形目	鹁鸪科	白喉短翅鸫	<i>Brachypteryx leucophris</i>	罕见	R		
107	雀形目	鹁鸪科	鹁鸪	<i>Copsychus saularis</i>	常见	R		
108	雀形目	鹁鸪科	北红尾鸫	<i>Phoenicurus auroreus</i>	常见	W		
109	雀形目	鹁鸪科	紫啸鸫	<i>Myophonus caeruleus</i>	一般	R		
110	雀形目	鹁鸪科	蓝歌鸫	<i>Larvivora cyane</i>	罕见	P		
111	雀形目	鹁鸪科	蓝矶鸫	<i>Monticola solitarius</i>	少见	R		
112	雀形目	鹁鸪科	北灰鹁鸪	<i>Muscicapa latirostris</i>	一般	W		
113	雀形目	鹁鸪科	灰纹鹁鸪	<i>Muscicapa griseisticta</i>	少见	P		
114	雀形目	鹁鸪科	棕尾褐鹁鸪	<i>Ferruginous Flycatcher</i>	罕见	P		

115	雀形目	鹁科	海南蓝仙鹁	<i>Cyornis hainanus</i>	一般	S	√
116	雀形目	啄花鸟科	红胸啄花鸟	<i>Dicaeum ignipectus</i>	常见	R	
117	雀形目	啄花鸟科	朱背啄花鸟	<i>Dicaeum cruentatum</i>	罕见	R	
118	雀形目	太阳鸟科	叉尾太阳鸟	<i>Aethopyga christinae</i>	常见	R	
119	雀形目	雀科	麻雀	<i>Passer montanus</i>	常见	R	
120	雀形目	雀科	斑文鸟	<i>Lonchura punctulata</i>	常见	R	
121	雀形目	梅花雀科	白腰文鸟	<i>Lonchura striata</i>	常见	R	
122	雀形目	鹑鸪科	灰鹑鸪	<i>Motacilla cinerea</i>	一般	W	
123	雀形目	鹑鸪科	白鹑鸪	<i>Motacilla alba</i>	常见	R	
124	雀形目	鹑鸪科	山鹑鸪	<i>Dendronanthus indicus</i>	罕见	W	
125	雀形目	鹑鸪科	树鹑	<i>Anthus hodgsoni</i>	常见	W	
126	雀形目	燕雀科	金翅雀	<i>Chloris sinica</i>	一般	R	
127	雀形目	鹁科	白眉鹁	<i>Emberiza tristrami</i>	少见	W	√
128	雀形目	鹁科	灰头鹁	<i>Emberiza spodocephala</i>	常见	W	√
129	雀形目	鹁科	栗鹁	<i>Emberiza rutila</i>	罕见	W	√

附录 B 声学监测物种名录

物种	声纹数量	国家*	省重点*	China*	CITES*
I. 鸡形目 GALLIFORMES					
(一) 雉科 Phasianidae					
1. 灰胸竹鸡 <i>Bambusicola thoracicus</i>	102				
II. 鸊鷉目 PODICIPEDIFORMES					
(二) 鸊鷉科 Podicipedidae					
2. 小鸊鷉 <i>Tachybaptus ruficollis</i>					
III. 鸽形目 COLUMBIFORMES					
(三) 鸠鸽科 Columbidae					
3. 珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>	1				
IV. 夜鹰目 CAPRIMULGIFORMES					
(四) 夜鹰科 Caprimulgidae					
4. 普通夜鹰 <i>Caprimulgus indicus</i>	12				
5. 林夜鹰 <i>Caprimulgus affinis</i>					
(五) 雨燕科 Apodidae					
6. 小白腰雨燕 <i>Apus nipalensis</i>					
V. 鹃形目 CUCULIFORMES					
(六) 杜鹃科 Cuculidae					
7. 褐翅鸦鹃 <i>Centropus sinensis</i>					
8. 红翅凤头鹃 <i>Clamator coromandus</i>	158	II			
9. 噪鹃 <i>Eudynamys scolopaceus</i>	190				
10. 八声杜鹃 <i>Cacomantis merulinus</i>	160				
11. 大鹰鹃 <i>Hierococcyx sparverioides</i>	1780				
12. 小杜鹃 <i>Cuculus poliocephalus</i>	876				
VI. 鹤形目 GRUIFORMES					
(七) 秧鸡科 Rallidae					
13. 白喉斑秧鸡 <i>Rallina eurizonoides</i>					
14. 白胸苦恶鸟 <i>Amaurornis phoenicurus</i>					
VII. 鹳形目 PELECANIFORMES					
(八) 鹭科 Ardeidae					
15. 夜鹭 <i>Nycticorax nycticorax</i>					
16. 白鹭 <i>Egretta garzetta</i>	67		是		
VIII. 鹰形目 ACCIPITRIFORMES					
(九) 鹰科 Accipitridae					
17. 蛇雕 <i>Spilornis cheela</i>					
18. 凤头鹰 <i>Accipiter trivirgatus</i>	150	II		NT	II

物种	声纹数量	国家*	省重点*	China*	CITES*
19. 黑鸢 <i>Milvus migrans</i>	43	II		NT	II
IX. 鸮形目 STRIGIFORMES					
(十) 鸮科 Strigidae					
20. 领角鸮 <i>Otus lettia</i>					
X. 佛法僧目 CORACIIFORMES					
(十一) 翠鸟科 Alcedinidae					
21. 普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>					
22. 白胸翡翠 <i>Halcyon smyrnensis</i>	103				
XI. 啄木鸟目 PICIFORMES					
(十二) 拟啄木鸟科					
23. 大拟啄木鸟 <i>Psilopogon virens</i>					
(十三) 啄木鸟科 Picidae					
24. 斑姬啄木鸟 <i>Picumnus innominatus</i>					
25. 星头啄木鸟 <i>Dendrocopos canicapillus</i>	39		是		
26. 黄嘴栗啄木鸟 <i>Blythipicus pyrrhotis</i>					
XII. 隼形目 FALCONIFORMES					
(十四) 隼科 Falconidae					
27. 燕隼 <i>Falco subbuteo</i>					
XIII. 鸚鵡目 PSITTACIFORMES					
(十五) 鸚鵡科 Psittacidae					
28. 红领绿鸚鵡 <i>Psittacula krameri</i>					
XIV. 雀形目 PASSERIFORMES					
(十六) 山椒鸟科 Campephagidae					
29. 灰喉山椒鸟 <i>Pericrocotus solaris</i>					
30. 赤红山椒鸟 <i>Pericrocotus flammeus</i>	8				
(十七) 卷尾科 Dicruridae					
31. 发冠卷尾 <i>Dicrurus hottentottus</i>	22				
(十八) 伯劳科 Laniidae					
32. 棕背伯劳 <i>Lanius schach</i>	5				
(十九) 鸦科 Corvidae					
33. 红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythroryncha</i>					
34. 灰树鹊 <i>Dendrocitta formosae</i>	131				
35. 大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>	79				
(二十) 玉鶺科 Stenostiridae					
36. 方尾鶺 <i>Culicicapa ceylonensis</i>	40				
(二十一) 山雀科 Paridae					
37. 大山雀 <i>Parus minor</i>	3				
(二十二) 扇尾莺科 Cisticolidae					
38. 黄腹山鹪莺 <i>Prinia flaviventris</i>	1038				

物种	声纹数量	国家*	省重点*	China*	CITES*
39. 长尾缝叶莺 <i>Orthotomus sutorius</i>	3667				
(二十三) 蝗莺科 Locustellidae	1091				
40. 高山短翅蝗莺 <i>Locustella mandelli</i>					
(二十四) 鹎科 Pycnonotidae					
41. 红耳鹎 <i>Pycnonotus jocosus</i>					
42. 白头鹎 <i>Pycnonotus sinensis</i>	6807				
43. 白喉红臀鹎 <i>Pycnonotus aurigaster</i>	4538				
44. 绿翅短脚鹎 <i>Ixos mccllellandii</i>	470				
45. 栗背短脚鹎 <i>Hemixos castanonotus</i>	40				
(二十五) 柳莺科 Phylloscopidae	68				
46. 褐柳莺 <i>Phylloscopus fuscatus</i>					
47. 黄眉柳莺 <i>Phylloscopus inornatus</i>	2				
48. 极北柳莺 <i>Phylloscopus borealis</i>	1059				
49. 双斑绿柳莺 <i>Phylloscopus plumbeitarsus</i>	5				
(二十六) 树莺科 Cettiidae	2				
50. 强脚树莺 <i>Horornis fortipes</i>					
(二十七) 长尾山雀科 Aegithalidae	1025				
51. 红头长尾山雀 <i>Aegithalos concinnus</i>					
(二十八) 莺鹟科 Sylviidae	2				
52. 棕头鸦雀 <i>Sinosuthora webbiana</i>					
(二十九) 绣眼鸟科 Zosteropidae	12				
53. 暗绿绣眼鸟 <i>Zosterops japonicus</i>					
(三十) 林鹟科 Timaliidae	293				
54. 棕颈钩嘴鹟 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>					
55. 红头穗鹟 <i>Cyanoderma ruficeps</i>	146				
(三十一) 噪鹟科 Leiothrichidae	480				
56. 画眉 <i>Garrulax canorus</i>					
57. 黑脸噪鹟 <i>Garrulax perspicillatus</i>					
58. 黑喉噪鹟 <i>Garrulax chinensis</i>	1685				
59. 蓝翅希鹟 <i>Siva cyanouroptera</i>	2704	II			
(三十二) 椋鸟科 Sturnidae					
60. 八哥 <i>Acridotheres cristatellus</i>					
61. 黑领椋鸟 <i>Gracupica nigricollis</i>	102				
(三十三) 鸫科 Turdidae	426				
62. 橙头地鸫 <i>Geokichla citrina</i>					
63. 乌鸫 <i>Turdus mandarinus</i>	2				
(三十四) 鹟科 Muscicapidae	121				
64. 红尾歌鸲 <i>Larvivora sibilans</i>					
65. 白喉短翅鸫 <i>Brachypteryx leucophris</i>					

物种	声纹数量	国家*	省重点*	China*	CITES*
66. 鹊鸂 <i>Copsychus saularis</i>	5				
67. 北红尾鸂 <i>Phoenicurus auroreus</i>	3096				
68. 紫啸鸂 <i>Myophonus caeruleus</i>	1				
69. 白额燕尾 <i>Enicurus leschenaulti</i>	241				
70. 北灰鸂 <i>Muscicapa dauurica</i>	28				
71. 红喉姬鸂 <i>Ficedula albicilla</i>	16				
72. 海南蓝仙鸂 <i>Cyornis hainanus</i>	3				
(三十五) 啄花鸟科 Dicaeidae	10		是		
73. 红胸啄花鸟 <i>Dicaeum ignipectus</i>					
74. 朱背啄花鸟 <i>Dicaeum cruentatum</i>	27				
(三十六) 花蜜鸟科 Nectariniidae	93				
75. 叉尾太阳鸟 <i>Aethopyga christinae</i>					
(三十七) 梅花雀科 Estrildidae	838				
76. 白腰文鸟 <i>Lonchura striata</i>					
77. 斑文鸟 <i>Lonchura punctulata</i>	45				
(三十八) 鹡鸰科 Motacillidae	23				
78. 白鹡鸰 <i>Motacilla alba</i>					
79. 树鹡 <i>Anthus hodgsoni</i>	106				

物种名及分类依照郑光美《中国鸟类分类与分布名录（第3版）》

*保护级别：II-国家二级重点保护野生动物（2021）

CRLB：被列入《中国生物多样性红色名录》（2020），VU 易危、NT 近危。

CITES：被列入《濒危野生动植物国际贸易公约》附录（2023），I 附录一、II 附录二。

附录 C 分设备物种统计

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合计
I. 鸡形目 GALLIFORMES											
(一) 雉科 Phasianidae											
1. 灰胸竹鸡 <i>Bambusicola thoracicus</i>	2			5	2	2		5	85	1	102
II. 鸚鵡目 PODICIPEDIFORMES											
(二) 鸚鵡科 Podicipedidae											
2. 小鸚鵡 <i>Tachybaptus ruficollis</i>					1						1
III. 鸽形目 COLUMBIFORMES											
(三) 鸠鸽科 Columbidae											
3. 珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>		10					1	1			12
IV. 夜鹰目 CAPRIMULGIFORMES											
(四) 夜鹰科 Caprimulgidae											
4. 普通夜鹰 <i>Caprimulgus indicus</i>	70										81
	2		8	2	10			5	50	40	77
5. 林夜鹰 <i>Caprimulgus affinis</i>						20					25
						4	11		19	24	28
(五) 雨燕科 Apodidae											
6. 小白腰雨燕 <i>Apus nipalensis</i>		7		2		6	4		15	1	35

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 计
V. 鸛形目 CUCULIFORMES											
(六) 杜鹃科 Cuculidae											
7. 褐翅鸦鹃 <i>Centropus sinensis</i>		19			85	44		10			15
8. 红翅凤头鹃 <i>Clamator coromandus</i>	9			1	8	1			17	1	8
9. 噪鹃 <i>Eudynamys scolopaceus</i>		2				4	8		6		16
10. 八声杜鹃 <i>Cacomantis merulinus</i>		18		2	8	82	24	25	44	6	0
11. 大鹰鹃 <i>Hierococcyx sparverioides</i>	28			32					23		80
12. 小杜鹃 <i>Cuculus poliocephalus</i>	8	1	2	9	16	4		1	5		6
	8	1		59							31
											8
VI. 鹤形目 GRUIFORMES											
(七) 秧鸡科 Rallidae											
13. 白喉斑秧鸡 <i>Rallina eurizonoides</i>										1	1
14. 白胸苦恶鸟 <i>Amaurornis phoenicurus</i>							88				88
VII. 鹈形目 PELECANIFORMES											
(八) 鹭科 Ardeidae											

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合计
15. 夜鹭 <i>Nycticorax nycticorax</i>	11	6			6	2	1	1	39	1	67
16. 白鹭 <i>Egretta garzetta</i>							2				2
VIII. 鹰形目											
ACCIPITRIFORMES											
(九) 鹰科 Accipitridae											
17. 蛇雕 <i>Spilornis cheela</i>	13	67		3	3	10	3	14	29	8	150
18. 凤头鹰 <i>Accipiter trivirgatus</i>	2	5			5	24	2		4	1	43
19. 黑鸢 <i>Milvus migrans</i>		1							4		5
IX. 鸮形目 STRIGIFORMES											
(十) 鸮科 Strigidae											
20. 领角鸮 <i>Otus lettia</i>	14							16			44
	3	40		6	26	22		0	40	3	0
X. 佛法僧目											
CORACIIFORMES											
(十一) 翠鸟科 Alcedinidae											
21. 普通翠鸟 <i>Alcedo atthis</i>							10				10
							3				3
22. 白胸翡翠 <i>Halcyon smyrnensis</i>							22				23
		4				4	9				7
XI. 啄木鸟目 PICIFORMES											
(十二) 拟啄木鸟科											

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 计
23. 大拟啄木鸟 <i>Psilopogon virens</i>				2		2					4
(十三) 啄木鸟科 Picidae											
24. 斑姬啄木鸟 <i>Picumnus innominatus</i>		12	1			2			18	6	39
25. 星头啄木鸟 <i>Dendrocopos canicapillus</i>									2		2
26. 黄嘴栗啄木鸟 <i>Blythipicus pyrrhotis</i>								1	2		3
XII. 隼形目 FALCONIFORMES											
(十四) 隼科 Falconidae											
27. 燕隼 <i>Falco subbuteo</i>		8							2	1	11
XIII. 鸚鵡目 PSITTACIFORMES											
(十五) 鸚鵡科 Psittacidae											
28. 红领绿鸚鵡 <i>Psittacula krameri</i>								2			2
XIV. 雀形目 PASSERIFORMES											
(十六) 山椒鸟科 Campephagidae											

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 计
29. 灰喉山椒鸟 <i>Pericrocotus solaris</i>						8					8
30. 赤红山椒鸟 <i>Pericrocotus flammeus</i>	2	1				10	2	1	2	4	22
(十七) 卷尾科 Dicruridae											
31. 发冠卷尾 <i>Dicrurus hottentottus</i>							3	2			5
(十八) 伯劳科 Laniidae											
32. 棕背伯劳 <i>Lanius schach</i>							2				2
(十九) 鸦科 Corvidae											
33. 红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythroryncha</i>	48	10			12	22	8	13	8	10	1
34. 灰树鹊 <i>Dendrocitta formosae</i>	6	5			1	9	1		56	1	79
35. 大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>	32				7				1		40
(二十) 玉鹇科 Stenostiridae											
36. 方尾鹇 <i>Culicicapa ceylonensis</i>						1			2		3
(二十一) 山雀科 Paridae											
37. 大山雀 <i>Parus minor</i>	11	22				35			16		10
	3	5	8		51	4	15	35	8	69	38
(二十二) 扇尾莺科 Cisticolidae											

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 计
38. 黄腹山鹡鸰 <i>Prinia flaviventris</i>	45	20					10				36
	3	40			36	2	22	18	1	95	67
39. 长尾缝叶莺 <i>Orthotomus sutorius</i>						62			21		10
	36	75			24	7	23	24	4	68	91
(二十三) 蝗莺科 Locustellidae											
40. 高山短翅蝗莺 <i>Locustella mandelli</i>	9			2							11
(二十四) 鹎科 Pycnonotidae											
41. 红耳鹎 <i>Pycnonotus jocosus</i>	28	26			36	17	36	10	21	12	68
	0	79		1	9	04	3	74	4	3	07
42. 白头鹎 <i>Pycnonotus sinensis</i>		66		11		15	38	23	12	26	45
	27	0	1	3	48	90	0	2	18	9	38
43. 白喉红臀鹎 <i>Pycnonotus aurigaster</i>							12	16			47
	1	44		5	11	95	5	0	23	6	0
44. 绿翅短脚鹎 <i>Ixos mccllellandii</i>	23		5	1		6			2	3	40
45. 栗背短脚鹎 <i>Hemixos castanonotus</i>			1								
		3	1	1	13	1	1		38		68
(二十五) 柳莺科 Phylloscopidae											
46. 褐柳莺 <i>Phylloscopus fuscatus</i>									2		2
47. 黄眉柳莺 <i>Phylloscopus inornatus</i>	33		2		11	19			15		10
	5	58	1	91	2	0	42	45	3	12	59
48. 极北柳莺 <i>Phylloscopus borealis</i>	1	4									5

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 计
49. 双斑绿柳莺 <i>Phylloscopus plumbeitarsus</i>		1				1					2
(二十六) 树莺科 Cettiidae											
50. 强脚树莺 <i>Horornis fortipes</i>	2			94	4	25			1	44	10 25
(二十七) 长尾山雀科 Aegithalidae											
51. 红头长尾山雀 <i>Aegithalos concinnus</i>						1			1		2
(二十八) 莺鹛科 Sylviidae											
52. 棕头鸦雀 <i>Sinosuthora webbiana</i>	1	2			3	1	4			1	12
(二十九) 绣眼鸟科 Zosteropidae											
53. 暗绿绣眼鸟 <i>Zosterops japonicus</i>	46	92	3	5	8	65	1	7	29	7	29 3
(三十) 林鹛科 Timaliidae											
54. 棕颈钩嘴鹛 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>	46					32			48	20	14 6
55. 红头穗鹛 <i>Cyanoderma ruficeps</i>	63	35		6	73	52		31	17	1	48 0
(三十一) 噪鹛科 Leiothrichidae											

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合计
56. 画眉 <i>Garrulax canorus</i>	4	1	6	14	13	15		2	7	1	3
57. 黑脸噪鹛 <i>Garrulax perspicillatus</i>		17					13				16
58. 黑喉噪鹛 <i>Garrulax chinensis</i>		1			1	86	37	87	2	1	85
59. 蓝翅希鹛 <i>Siva cyanouroptera</i>		25			23	72		33	57	39	27
(三十二) 椋鸟科 <i>Sturnidae</i>	98	4	1	90	1	9		1	9	1	04
60. 八哥 <i>Acridotheres cristatellus</i>						7	1	20			28
61. 黑领椋鸟 <i>Gracupica nigricollis</i>		1				29	70		1	1	10
(三十三) 鹎科 <i>Turdidae</i>							40				2
62. 橙头地鹎 <i>Geokichla citrina</i>	2										12
63. 乌鹎 <i>Turdus mandarinus</i>		83			4	25	3		4	2	1
(三十四) 鹟科 <i>Muscicapidae</i>											
64. 红尾歌鹟 <i>Larvivora sibilans</i>			2	2		6			1	5	16
65. 白喉短翅鹟 <i>Brachypteryx leucophris</i>						5					5
66. 鹊鹟 <i>Copsychus saularis</i>		28				18	88				30
	1	7	2	1	5	96	0	14	3	7	96

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 计
67. 北红尾鸲 <i>Phoenicurus aureus</i>							1				1
68. 紫啸鸫 <i>Myophonus caeruleus</i>	19	27	6		50	3		6	29	1	1
69. 白额燕尾 <i>Enicurus leschenaulti</i>	4							24			28
70. 北灰鸫 <i>Muscicapa dauurica</i>		7				5	1		1	2	16
71. 红喉姬鸫 <i>Ficedula albicilla</i>								3			3
72. 海南蓝仙鸫 <i>Cyornis hainanus</i>					3	7					10
(三十五) 啄花鸟科 Dicaeidae											
73. 红胸啄花鸟 <i>Dicaeum ignipectus</i>		1						1		25	27
74. 朱背啄花鸟 <i>Dicaeum cruentatum</i>		6			1	25		28	25	8	93
(三十六) 花蜜鸟科 Nectariniidae											
75. 叉尾太阳鸟 <i>Aethopyga christinae</i>	32	10	2	5	10	13	93	12	18	48	83
(三十七) 梅花雀科 Estrildidae											
76. 白腰文鸟 <i>Lonchura striata</i>		21				4	9	1	7	3	45
77. 斑文鸟 <i>Lonchura punctulata</i>	1	18		1			1		2		23
(三十八) 鹡鹑科 Motacillidae											

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	合 计
78. 白鹡鸰 <i>Motacilla alba</i>		64			2	20	16	2		2	106
79. 树鹨 <i>Anthus hodgsoni</i>	1	1									2

附录 D 声学监测设备记录表

监测区域名:		保护地名:			小地名:					
网格号/设备位点:		设备编号:			设备型号:					
海拔:		经度:			纬度:					
日期		设备状态			布设/记录人:					
布设日期: 20 年 月 日 时		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 停止工作 <input type="checkbox"/> 损坏 <input type="checkbox"/> 丢失								
检查日期: 20 年 月 日 时		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 停止工作 <input type="checkbox"/> 损坏 <input type="checkbox"/> 丢失								
检查日期: 20 年 月 日 时		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 停止工作 <input type="checkbox"/> 损坏 <input type="checkbox"/> 丢失								
检查日期: 20 年 月 日 时		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 停止工作 <input type="checkbox"/> 损坏 <input type="checkbox"/> 丢失								
检查日期: 20 年 月 日 时		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 停止工作 <input type="checkbox"/> 损坏 <input type="checkbox"/> 丢失								
检查日期: 20 年 月 日 时		<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 停止工作 <input type="checkbox"/> 损坏 <input type="checkbox"/> 丢失								
布设点生境特点: 人路/兽径/山坡/山脊/埡口/林间开阔地/溪边/水塘/ 石洞旁/倒木 其它_____										
地形: 山脊/ 上部/ 中部/ 下部/ 沟谷/ 平地				坡向 ^a :		坡度:				
水源地距离: <input type="checkbox"/> <100 m <input type="checkbox"/> >100 m				水源类型: 泉眼 溪流 河流 池塘 湖泊 水库						
植被类型	常绿阔叶林/常绿落叶阔叶混交林/落叶阔叶林/针阔混交林/针叶林/竹林/灌丛/荒漠/草原/草甸/ 其它:___									
乔木	平均高度 (m) : 5-9 10-19 20-29 >30			森林起源: <input type="checkbox"/> 原始 <input type="checkbox"/> 次生 <input type="checkbox"/> 人工						
	胸径 ^b : 1___ 2___ 3___ 4___ 5___			优势树种:		密度: 密/ 稀疏/ 开阔				
灌木	高度 (m) : 0-1 1-3 3-5 >5			盖度: 0-24% 25-49% 50-74% 75-100%						
	类型: 常绿 落叶 竹丛 混合 其他_____			优势物种:						
草本	盖度: 0-24% 25-49% 50-74% 75-100%			类型: 禾本为主 非禾本为主						
人为干扰类型 (距离设备位点 50 m 半径内)										
发现日期	打猎	放夹	砍树	砍柴	拨树皮	开山	旅游	放牧	挖药	其他:
备注										

^a坡向分为 东、东南、南、西南、西、西北、北、东北

^b以设备为中心、10 m 半径范围内，找胸径最大的 5 棵树进行测量

附录 E 调查照片



家燕 *Hirundo rustica*



海南蓝仙鹟 *Cyornis hainanus*



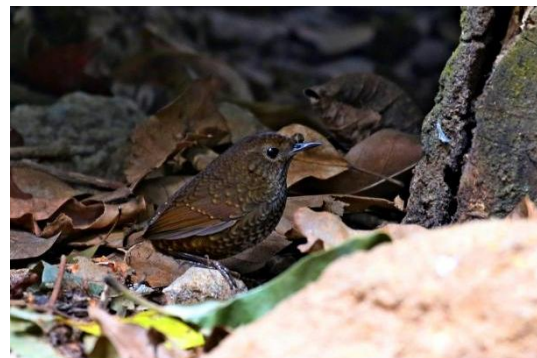
白胸翡翠 *Halcyon smyrnensis*



红耳鹎 *Pycnonotus jocosus*



棕脸鹟莺 *Abroscopus albogularis*



小鳞胸鹧鸪 *Pnoepyga pusilla*



黑鸢 *Milvus migrans*



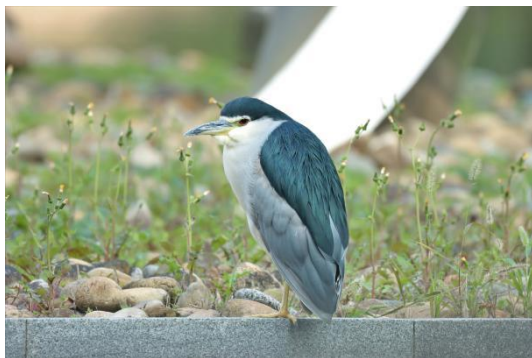
蛇雕 *Spilornis cheela*



领角鸮 *Otus lettia*



褐渔鸮 *Ketupa zeylonensis*



夜鹭 *Nycticorax nycticorax*



岩鹭 *Egretta sacra*

附录 F 设备野外部署图



梅沙 01



梅沙 02



梅沙 03



梅沙 04



梅沙 05



梅沙 06



梅沙 07



梅沙 08



梅沙 09



梅沙 10

二、鱼类本底调查

参与人员组成及分工

姓名	职务及职称	分工
章 威	硕士	统筹安排和参与野外调研
王亚琴	博士后	制定详细采样计划，招募专业采样人员，协助统筹安排和甲壳类物种鉴定
陈根润	学士	专门负责鱼类采样和鱼类物种鉴定
林子茜	学士	参与野外调研和负责后续的分析与调查报告
邵家友	学士	协助野外调研

目 录

第一章 绪论	96
1.1 研究背景介绍	96
1.1.1 生物多样性的重要性和危机	96
1.1.2 淡水生态系统的脆弱性和重要性	96
1.1.3 梅沙街道碳中和社区的背景和意义	97
1.1.4 eDNA 技术在淡水生物多样性研究中的应用	97
1.2 研究目的和意义	98
第二章 材料与方法	99
2.1 研究区域和样本采集	99
2.1.1 研究地区与样点	99
2.1.2 生物标本采集和保存	105
2.1.3 环境样品采样和保存	105
2.2 DNA 提取	106
2.3 PCR 扩增与文库构建	107
2.3.1 PCR 程序与体系	107
2.3.2 文库浓度检测和 QSEP 长度测量	107
2.4 数据处理	108
2.4.1 Illumina 测序	108
2.4.2 PEMA 宏条形码分析	108
2.4.3 生物多样性指标计算和统计分析	108
2.4.4 生物多样性评价体系	109
第三章 结果	110
3.1 样本收集和调查结果	110
3.1.1 传统方法调查结果	110
3.1.2 eDNA 技术调查结果	119
3.2 梅沙地区物种多样性分析	123
3.3 环境因子与物种多样性的相关性分析	126
3.3.1 环境因子与物种丰富度的相关性分析	126
3.4 梅沙地区淡水生物多样性评价	129
第四章 讨论	134
4.1 梅沙地区淡水生物多样性分布特征	134
4.2 气候变化对生物多样性的影响	135
4.3 eDNA 技术在生物多样性调查中的应用潜力	135
第五章 结论与展望	136
5.1 主要研究发现总结	136
5.2 研究局限性和未来展望	137
5.3 对梅沙碳中和社区生态系统保护和管理建议	137
参考文献	139
附录	143

第一章 绪论

1.1 研究背景介绍

1.1.1 生物多样性的重要性和危机

生物多样性是维持生态系统平衡的必要条件，与人类生活和福祉联系紧密。它能提供经济效益（如农业、医疗业和旅游业）、社会效益（如文化、教育），和生态效益（如生态平衡、水资源管理），是我们人类赖以生存和可持续发展的根基^[1]。但随着人类活动和气候变化的加剧，生物多样性正在经历显著的丧失^[2]。2022年12月19日，《生物多样性公约》第十五次缔约方大会（COP15）第二阶段会议通过“昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架”，为今后直至2030年乃至更长一段时间的全球生物多样性治理擘画新蓝图。这标志着全球生物多样性治理史上的重要里程碑，也是中国作为主席国在全球生态文明建设中承担重任并与各方共同努力取得的重要成就。

1.1.2 淡水生态系统的脆弱性和重要性

而在当前的全球生物多样性危机中，淡水生境被认为是最脆弱的生态系统之一^[3]。淡水生态系统兼备维持水循环平衡、调节气候、供应全球水源、固碳增汇等重要功能^[4]。淡水生物多样性也为人们提供了广泛的物质服务（如食物、商品）、非物质服务（如文化价值、娱乐活动）和调节服务（如气候调节、营养循环）^[5]。由于受到过度捕捞和取水、栖息地破坏或退化、水污染等多重因素的综合影响^[6]，全球的淡水物种多样性急剧减少^[7]，约有50%的淡水鱼类受到环境变化的威胁，但现今对于淡水生物群和淡水生态系统的研究仍然较为不足^[8]。

1.1.3 梅沙街道碳中和社区的背景和意义

梅沙街道位于深圳市盐田区，是深圳市生物多样性保护的重点区域，其辖区内拥有丰富的自然资源和多样化的生态环境，尤其是丰富的淡水生境。而梅沙碳中和社区是在双碳社会建设相关政策的背景下，以深圳盐田区梅沙街道为主要试点区域建设起来的深圳市首批近零碳排放区试点社区之一。作为深圳市典型的滨海社区，梅沙兼备优越的地理位置、生态条件和自然资源，同时也可能面临着气候变化的巨大挑战，因此具有重要的生态保护和管理价值。为了更好地实现对梅沙淡水生态系统功能和生物多样性的保护，需要通过可靠的生物多样性评估方法来确保受保护系统的生物完整性。

基于梅沙街道生态保护的具体需求、资源分配、项目目标以及现有数据等多方面的综合考量，本研究集中力量聚焦于淡水生态系统监测与保护，更有效地实现梅沙街道淡水生物多样性保护和生态管理目标。

1.1.4 eDNA 技术在淡水生物多样性研究中的应用

传统的鱼类多样性监测方法多采用网捕、地笼等方式，再通过形态学鉴定和计数，识别并记录其丰度^[9]。此方法不可避免地存在生态破坏程度严重^[10]、稀有种和入侵种难以鉴别^[11]、形态学鉴定难度大、时间和精力成本耗费严重等缺点^[12]。eDNA（环境 DNA）技术是一种通过利用生物在其环境中留下的 DNA 痕迹来检测和识别物种的技术。相比于传统手段，eDNA 技术不仅对环境具有无创性，还具有更高的灵敏度、准确性、通用性、可扩展性和成本效益^[13]，也因此而成为当下的前沿热点。近年来，eDNA 已经被证实能够用于静水^[14]、激流^[15]和海洋^[16]水体环境的鱼类多样性评估。已有许多研究表明，eDNA 技术在水生生境中的作用有（1）监测物种并评估其丰度，如 Masaki Miya 等对全球范围海洋鱼类群落分布、时空动态、多样性指标等进行了监测^[17]；（2）评估生物多样性，尤其是在特殊生态系统中，如在生境脆弱的珊瑚礁栖息地^[18]和城市精细规模的静水生态系统^[19]进行的多样性调查。Wanlu He 等人的研究进一步表明，eDNA 技术也能实现对河流和湖泊相连系统的生物多样

性评估^[20]；（3）监测入侵物种在水生系统中的扩散，如美洲牛蛙、克氏原螯虾^[21]、欧洲青蟹^[22]；（4）监测稀有物种或难以寻找物种的存在^[23]；（5）揭示潜在的营养关系^[24]；（6）进行种群遗传学分析，如 Nelson-Chorney 等人^[25]利用湖泊沉积物 eDNA，验证了本地鳟鱼和引入鳟鱼的亚种特异性殖民历史。

1.2 研究目的和意义

生物多样性是人类赖以生存和发展的根基，但由于气候变化和人类活动等原因，导致生物多样性危机已经成为一项全球课题。淡水生态系统作为和人类最息息相关、也最脆弱的生态系统之一，却仍未受到广泛的重视和保护。

梅沙碳中和社区作为深圳市首批近零碳排放区试点社区之一，具有重要的保护意义和生态价值。准确掌握淡水生物多样性在生境中的生物量和时空分布情况是展开多样性保护的基本前提和重要基础。本研究旨在运用传统生物多样性调研以及 eDNA 宏条形码技术，于 2023 年 4 月、6 月、9 月和 12 月在深圳市盐田区梅沙碳中和社区中淡水鱼类和虾蟹类生物多样性进行本底调查和评估，全面了解梅沙地区淡水生境中的鱼类和虾蟹类物种组成和分布，为梅沙地区的生态保护提供科学依据，有助于保护重要的淡水生态系统资源。并探究不同季度（春、夏、秋、冬）采样在淡水生境中物种多样性和群落结构的变化，以揭示季节性影响，从而更好地应对气候变化和环境波动。

本研究拟解决的科学问题如下：

（一）在梅沙碳中和社区的淡水鱼类、虾蟹类物种中，有哪些是值得注意的？

（1）有哪些珍稀濒危物种？

（2）有哪些是入侵物种？

（二）在所有样点生境中，哪些是值得重点关注的？

（1）梅沙碳中和社区的淡水生物多样性的地理分布特征是怎样的？

（2）各个季度不同样点之间的淡水生物多样性有哪些不同？

（三）针对不同物种或生境，应采取怎样的保护措施？

(1) 哪些环境因子影响到淡水生物多样性及其分布？

本研究体现了 eDNA 宏条形码技术用于淡水鱼类、虾蟹类多样性调查的可行性，通过传统方法和 eDNA 方法相结合，分析了梅沙碳中和社区淡水鱼类、虾蟹类物种多样性分布以及季节变化，能够为深圳市盐田区梅沙街道的生态保护、可持续发展的实现提供科学依据、为未来的生物多样性保护和生态环境管理提供一些有价值的参考，呼吁更多人意识到生物多样性保护面临的挑战和机遇。

第二章 材料与方法

2.1 研究区域和样本采集

2.1.1 研究地区与样点

梅沙街道隶属于广东省深圳市盐田区，位于盐田区东部，街道辖区总面积 21.83 平方公里。深圳市盐田区所有河流均属于大鹏湾水系。为了全面评估梅沙街道及周边区域的淡水生境情况，综合考虑样点分布的均匀性和调查的可行性，本次调查在深圳市盐田区梅沙片区共设有 9 个采样点（图 1），各样点信息见表 1。其中骡马岭水库上游（LMLSK）样点位于盐田河支流，会计学院（KJXY）样点和环碧路（HBL）样点属于同一支流，九个样点在梅沙地区较为均匀地分布，能够较好地体现梅沙碳中和社区淡水生境特征。在所有样点中，梅沙内湖（MSNH）和环碧路（HBL）两个样点与人居接近，受人类活动影响大；溯溪 1（SX1）样点位于一处私人开发地，受人类活动影响较大。

调查团队于春（4 月）、夏（6 月）、秋（9 月）、冬（12 月）四个季度到样点处进行传统调查和水样采集。其中骡马岭水库上游（LMLSK）样点为 6 月调查新加入的样点，而溯溪 1（SX1）和溯溪 2（SX2）样点由于安全性考量，未进行四个季度的完整调研，环碧路（HBL）样点为临时加入的勘测样点，由于调查不便，后续也未能继续跟进。

表 1 样点信息

序号	样点缩写	样点名称	样点生境	经度	纬度	海拔 (m)	人类活动
1	SHDG	山海大观	溪流	114.286100	22.612079	369	较多
2	KJXY	会计进修学院上游	溪流	114.290127	22.601553	292	较少
3	ZRZHSK	自然灾害	溪流	114.313698	22.609361	100	较多
4	MSNH	梅沙内湖	湖泊	114.307938	22.598005	6	多
5	SX1	溯溪 1	溪流	114.334975	22.608451	60	较多
6	SX2	溯溪 2	溪流	114.335575	22.613189	152	较少
7	DCHSK	叠翠湖水库上游	溪流	114.324469	22.618354	165	较少
8	LMLSK	骡马岭水库上游	溪流	114.263012	22.606475	346	少
9	HBL	环碧路	河流	114.299719	22.600263	16	多

表 2 样点调查时间及环境因子

样点缩写	采 样 时间	WT (°C)	AP (mmHg)	DO (%L)	DO (mg/L)	电导率 (- mS/cm)	Sal (ppt)	pH
山海大观 (SHDG)	2023.0 4.01	17	728.7	69.6	6.45	0.055	0.03	7.24
	2023.0 6.02	23.37	725.77	69.23	5.64	0.37	0.04	6.93
	2023.0 9.14	21.67	726.93	107.13	9	0.05	0.03	7.64
	2023.1 2.12	19.73	732.43	68.17	6.01	0.06	0.04	6.57
会计进修学院 上游 (KJXY)	2023.0 4.01	18.9	755.5	67.5	6.23	0.845	0.04	7.27
	2023.0 6.02	27.07	526.1	74.63	5.81	0.09	0.05	7.68
	2023.0 9.14	23.83	752.23	106	8.85	0.07	0.04	7.71
	2023.1 2.12	22.1	758.9	83.73	7.3	0.08	0.04	7.82
自然灾害水库 (ZRZHSK)	2023.0 4.02	19.2	753.9	78.2	6.99	0.1885	0.09	7.64
	2023.0 6.01	27.07	741.2	72.63	5.62	0.14	0.07	7.46

	2023.0 9.14	23.63	749.67	108.57	9.07	0.16	0.08	7.8
	2023.1 2.12	21.1	758.2	71.73	6.37	0.16	0.08	7.52
梅沙内湖 (MSNH)	2023.0 4.02	20.5	760.7	61.3	5.49	0.1939	0.09	7.88
	2023.0 6.01	33.7	751.7	70.2	4.93	0.1989	0.1	8.73
	2023.0 9.14	26.07	755.57	82.23	6.62	0.09	0.05	7.27
	2023.1 2.12	24.57	762	93.4	7.8	0.19	0.09	8.22

续表

样点缩写	采样时间	WT (°C)	AP (mmHg)	DO (%L)	DO (mg/L)	电导率 (- mS/cm)	Sal (ppt)	pH
溯溪 1 (SX1)	2023.0 4.03	19.5	754.6	64.1	5.84	0.0725	0.04	6.95
	2023.0 6.02	26.43	747.6	85.3	6.73	0.06	0.03	7.4
溯溪 2 (SX2)	2023.0 4.03	19.8	757	72.4	6.53	0.0746	0.04	7.52

	2023.0	18.1	749.7	90.7	8.45	0.0498	0.03	7.36
	4.03							
游	2023.0	25.37	740.37	95.53	7.64	0.05	0.03	7.25
	6.02							
叠翠湖水库上	2023.0	23.7	745.03	108.53	9	0.17	0.03	7.66
(DCHSK)	9.15							
	2023.1	19.97	754.1	83.07	7.5	0.05	0.03	7.46
	2.13							
	2023.0	23.97	723.03	80.17	6.6	0.09	0.05	7.23
	6.02							
游	2023.0	21.7	730.97	109.2	9.24	0.06	0.03	7.92
	9.16							
骡马岭水库上	2023.1	19.3	735.37	72.8	6.5	0.07	0.04	7.33
(LMLSK)	2.13							
	2023.0	31.87	756.8	46.73	3.41	0.24	0.12	7.3
环碧路	6.03							
(HBL)								

2.1.2 生物标本采集和保存

本研究中采用传统方法与 eDNA 技术并行的监测方法。尽管 eDNA 技术环保高效，但仍需要通过传统方法验证和校准其准确性，补充个体数量和行为特征等信息。此外，传统方法能弥补 eDNA 在水流稀释和降解等方面的局限，确保数据的全面性和可靠性。通过双重方法交叉验证数据，提高研究结果可信度，同时优化 eDNA 技术应用，最终提升生态保护的有效性。结合两种方法，可以在确保数据准确性的同时，逐步减少对环境的破坏。

对于不同水深的水体采取不同的采集方法：（1）干流和水库水体（水深>1m），在船上使用流刺网采集、下网 1-2 小时，或使用地龙网在近岸潜水区放置 12-24 小时；（2）支流（水深<1m），使用手抄网捕捞、限时 30 分钟，或使用蟹笼进行诱饵诱捕 6 小时以上。

对于采集到的鱼类、虾蟹类物种，对其进行形态学认种，并记录对应样点和数量等详细信息。对存疑种和某些稀有种采集代表性标本，并浸泡酒精保存，带回实验室进行后续鉴定分析。

2.1.3 环境样品采样和保存

环境样品采集使用无菌采样设备和技术，以避免污染和交叉污染。采集水样时同步打开空白对照水瓶，在样点选取 3 个位置分别收集 1L 水样，采集到的水样立即放置于冰箱中储存，并在当天返回住处后立刻抽滤。采集人员应在每个采样点更换一次手套。

水样位置选取策略根据不同水体有所差异：（1）在湖泊和池塘等静态水体中，于岸边进行三次采样，尽可能涵盖整个水体范围。（2）在河流、溪流等动态水体中，沿水流选取三个不同地点进行采样，采样间隔基于河流的特征决定。

使用真空泵对采集到的水样进行抽滤，选用 0.22 μ m 孔径的微孔滤膜，抽滤前使用次氯酸钠、无水乙醇、纯水将台面以及水样瓶清洗干净，抽滤时保证操作环境充分通风，并在抽滤环境中设置 1 个空白对照。过滤前先过滤环境空白，然后再过滤采样空白及水样，每过滤 1 份样品均要用次氯酸钠、无水乙醇、纯水重新清洗 Thermo 滤水瓶，避免不同水样之间交叉污染。抽滤后得到的滤膜装入冻存管，暂存于液氮罐的气相层，后贮存于-80 $^{\circ}$ C 冷藏室备用。

2.2 DNA 提取

使用 TIANGEN 公司的血液/细胞/组织基因组 DNA 提取试剂盒（TIANamp Genomic DNA Kit，离心柱型，目录号 DP304）提取水样 DNA，在原本操作步骤上进行一些修改，具体流程如下：

首先将抽滤所得滤膜剪取 1/2，于 2mL 离心管中剪碎，加入 400 μ L 缓冲液 GA 和 40 μ L 蛋白酶 K 后颠倒混匀，于 56 $^{\circ}$ C 放置金属水浴锅下震荡过夜；加入 200 μ l 缓冲液 GB，充分颠倒混匀，70 $^{\circ}$ C 放置 10 min，简短离心；加入 200 μ l 无水乙醇，充分振荡混匀 15 sec，简短离心；将上一步所得溶液和絮状沉淀都加入吸附柱 CB3 中（吸附柱放入收集管中），12,000 rpm (~13,400 \times g) 离心 30 sec，倒掉废液，将吸附柱 CB3 放回收集管中；向吸附柱 CB3 中加入 500 μ l 缓冲液 GD（使用前请先检查是否已加入无水乙醇），12,000 rpm (~13,400 \times g) 离心 30 sec，倒掉废液，将吸附柱 CB3 放入收集管中；向吸附柱 CB3 中加入 600 μ l 漂洗液 PW，12,000 rpm (~13,400 \times g) 离心 30 sec，倒掉废液，将吸附柱 CB3 放入收集管中；重复上一步操作步骤；将吸附柱 CB3 放回收集管中，12,000 rpm (~13,400 \times g) 离心 2 min，倒掉废液；将吸附柱 CB3 置于室温放置数分钟，以彻底晾干吸附材料中残余的漂洗液；将吸附柱 CB3 转入一个干净的 1.5mL 离心管中，向吸附膜的中间部位悬空滴加 100 μ l 洗脱缓冲液 TE，室温放置 5 min，12,000 rpm (~13,400 \times g) 离心 2 min，将溶液收集到离心管中；再将离心得到的溶液加入吸附柱 CB3 中，室温放置 2 min，12,000 rpm (~13,400 \times g) 离心 2 min。最终过滤到 1.5mL 离心管中的滤液即为最终的 DNA 富集液，放置于-20 $^{\circ}$ C 冰箱保存。

实验全程严格遵守无菌操作，每次实验更换一次性手套和过滤口罩，实验过程在超净工作台中进行，实验前开紫外灭菌 25min，实验过程中每次操作之间使用 75% 乙醇溶液清洁桌面和所用工具。

2.3 PCR 扩增与文库构建

2.3.1 PCR 程序与体系

每个 DNA 样品（包括空白对照）进行三次重复扩增，则每个样点共进行 9 次扩增。第 1 轮 PCR 使用加入接头序列的 COI 通用引物 mICOlif-A 和 JgHCO2198-B[26]（见附录 A），测定体系为 10 μ L，包括 5 μ L 的 KAPA HiFi PCR readymix，分别 0.96 μ L 的正向和反向引物（10pmol/ μ L），0.8 μ L DNA 模板，再加入 ddH₂O 至 10 μ L。PCR 反应程序为：95 $^{\circ}$ C 预变性 3min，30 个循环包括：95 $^{\circ}$ C 变性 30s，55 $^{\circ}$ C 退火 40 s，72 $^{\circ}$ C 延伸 30 s，72 $^{\circ}$ C 最后延伸 5 min。向扩增产物加入 0.8x serasure 磁珠进行纯化，去除引物二聚体，并清除 200bp 以下的片段。第 2 轮 PCR 使用 TransNGS Tn5 Index Kit for Illumina 引物（见附录 A），浓度均为 10pmol/ μ L；反应体系为 20 μ L，包括 10 μ L 的 KAPA HiFi PCR readymix，分别 2 μ L 的正向和反向引物，2.4 μ L DNA 模板，再加入 ddH₂O 至 20 μ L。2 轮扩增遵循以下反应条件：94 $^{\circ}$ C 预变性 3min，15 个循环包括：94 $^{\circ}$ C 变性 30 s，55 $^{\circ}$ C 退火 30 s，72 $^{\circ}$ C 延伸 30 s，72 $^{\circ}$ C 最后延伸 5 min。对 2 轮扩增产物加入 1.12x 磁珠再次纯化，得到均长约为 550bp 的所需片段。

2.3.2 文库浓度检测和 QSEP 长度测量

对所得到的样本进行凝胶电泳检测，无污染的文库通过 Qubit 浓度测定，所有文库浓度大于 5 nM（qPCR 定量浓度），体积大于 15 μ l 且样品中不含有磁珠。经过 QSEP（核酸片段长度分析仪）长度测定，所有文库均符合上机条件。

2.4 数据处理

2.4.1 Illumina 测序

实验室所建文库样本送往苏州金唯智生物科技有限公司,进行 Illumina NovaSeq 6000 PE250 双端测序。

2.4.2 PEMA 宏条形码分析

PEMA (Pipeline for Environmental DNA Metabarcoding Analysis) 作为一个灵活的生物信息学流程,专门用于分析环境 DNA (eDNA) 宏条形码数据,支持多种宏条形码标记基因、拥有灵活性和可定制性、易于使用,已被证实能够高效地处理 COI (细胞色素氧化酶亚基 I) 标记基因数据。^[27]

PEMA 主要包括四个步骤:(1)质量控制和预处理:使用 FastQC、Trimmomatic、Cutadapt 等工具对原始测序数据进行质量评估和序列修剪;(2)(M)OTU 聚类和 ASV 推断:根据用户选择,使用 VSEARCH、CROP 或 Swarm v2 等工具进行 OTU 聚类或 ASV 推断;(3)分类学分配:利用 LCAClassifier、RDPClassifier、MIDORI 数据库等资源进行基于序列比对的分类学分配;(4)生态学下游分析:通过“phyloseq”R 包进行 α -和 β -多样性分析、组成分析、统计比较等生态学分析;(5)结果输出和可视化:生成包含分类学信息和丰度数据的(M)OTU/ASV 表格,并提供多种格式的可视化结果。

本研究使用 PEMA 对 Illumina 测序结果进行 eDNA 宏条形码分析,得到包含分类学信息和丰度数据的(M)OTU/ASV 表格。

2.4.3 生物多样性指标计算和统计分析

对所得的物种数据进行空白筛选,统计科水平上置信区间 $\geq 95\%$ 的物种。对不同分类水平进行统计,包括物种数量、属数量和门数量。统计 OTU 数量和总序列数

量，计算每个物种的相对丰度。在统计分析过程中，将每个样点、每个季度的三次平行样品结果序列相加，所得到总的序列值小于 10 的结果视为无效，余下则作为最终的序列结果，后续分析基于这个总序列值进行。

而对于传统方法，将每个样点手抄网捕捞和地龙捕获的结果相加，即为每个样点在此季度传统调查的物种数量。

α 多样性是一个特定区域或生态系统内的多样性指标，用于反映丰富度和均匀度[28]。本研究使用多样性指数来衡量 α 多样性，从物种丰富度（Species richness）、香农指数（Shannon index）、辛普森指数（Simpson index），以及均匀度指数（Pielou index）这四种指数来代表各样点的 α 多样性。

本研究基于筛选后的物种序列的相对丰度和物种数量的相对丰度计算 α 多样性，所有计算、统计和可视化均在 R 中进行：使用 `vegan` 包计算点位的 α 多样性，使用 `FactoMineR`、`psych` 包进行主成分分析（PCA）与制图，使用 `ggplot2`、`dplyr`、`gridExtra` 做相关性分析。

2.4.4 生物多样性评价体系

本研究中对梅沙碳中和社区淡水鱼类、虾蟹类生物多样性的评价指标在参考《中国生物多样性本底评估报告》的基础上稍作调整。本研究的评估指标从物种丰富度（Species richness）、多样性指数（Shannon index）、物种特有性、外来物种入侵度和受威胁物种的丰富度五个方面进行量化评分，以便对梅沙地区淡水生境进行合理评估。

其中物种特有性的计算方法为：

$$\text{物种特有性} = \text{此样点特有物种丰富度} / \text{此样点所有物种丰富度}$$

外来物种入侵度计算方法为：

$$\text{外来物种入侵度} = \text{入侵物种丰富度} / \text{此样点所有物种丰富度}$$

第三章 结果

3.1 样本收集和调查结果

3.1.1 传统方法调查结果

通过形态学分类鉴定，本研究通过传统方法在梅沙碳中和社区调查到淡水鱼类、虾蟹类物种数目为 338 条（只），隶属于 8 目 14 科 29 种。

鱼类调查到 7 目 10 科 16 属 18 种，按照物种种数在总数中的占比来看，鲤形目（10，59%）最多、虾虎目（2，11%）次之。其中鲤科所包含物种最多，有 5 种（29%），其次是鳅科（3，17%）、虾虎鱼科（2，12%），其余科均仅包含一种鱼类（6%）。（图 2）

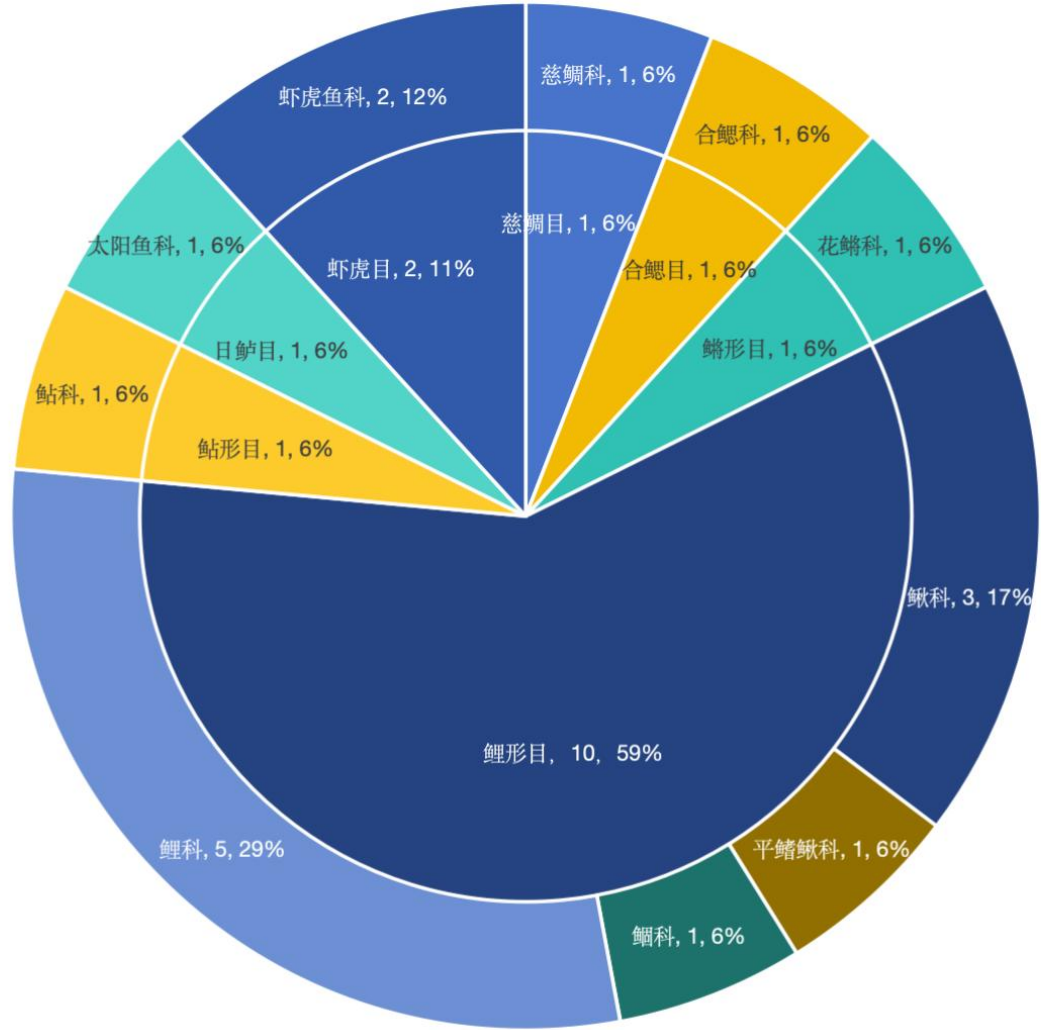


图 2 传统方法调查物种在目、科分类学水平上所占物种比例（鱼类）

注：图中数字代表属于该目或科的物种丰富度，百分数表示该目或科的物种丰富度占据所有鱼类物种数目的比值。

虾蟹类调查到 4 科 4 属 11 种，按照物种种数在总数中的占比来看，长臂虾科和匙指虾科（5，42%）最多，弓蟹科和溪蟹科均仅包含一个物种（8%）。（图 3）

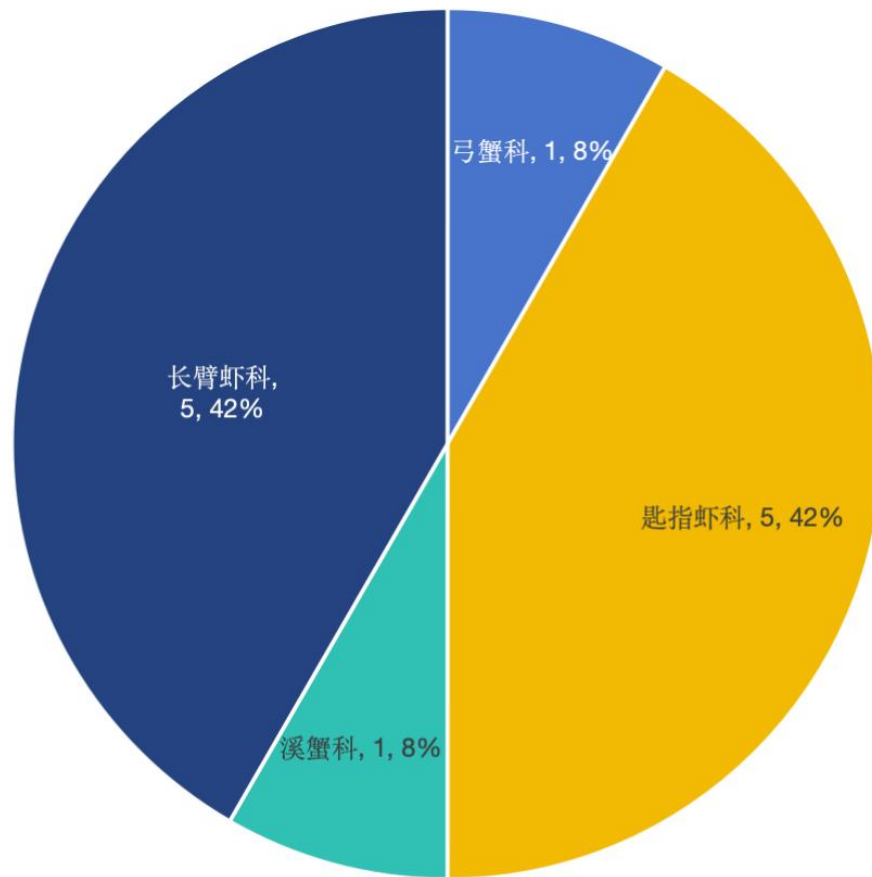


图 3 传统方法调查物种在目、科分类学水平上所占物种比例（虾蟹类）

注：图中数字代表属于该目或科的物种丰富度，百分数表示该目或科的物种丰富度占据所有虾蟹类物种数目的比值。

表 3 传统方法采集鱼类、虾蟹类物种、数量及对应样点和时间表

样点名称	采样时间	目	科	物种名	拉丁名	数量
山海大观 (SHDG)	2023.04.01	鲤形目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	4
		鲤形目	鳅科	平头岭鳅	<i>Oreonectes platycephalus</i>	3
		十足目	长臂虾科	沼虾 (属)	<i>Macrobrachium sp.</i>	1
		十足目	匙指虾科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	48
		鲤形目	平鳍鳅科	拟平鳅	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	3
	2023.06.02	十足目	匙指虾科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	1
		十足目	匙指虾科		<i>Caridina stellata</i>	1
		鲤形目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	4
		十足目	匙指虾科	锯齿米虾疑似种	<i>Caridina cf. serrata</i>	4
	2023.09.14	十足目	匙指虾科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	13
		鲤形目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	5
		十足目	弓蟹科	绒螯蟹 (属)	<i>Eriocheir sp.</i>	2
		十足目	长臂虾科	沼虾 (属)	<i>Macrobrachium sp.</i>	1
	2023.12.12	十足目	匙指虾科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	21
		鲤形目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	4
		十足目	弓蟹科	绒螯蟹 (属)	<i>Eriocheir sp.</i>	1

会计学 院 (KJXY)	2023.04. 01	鲤形 目	平鳍鳅 科	拟平鳅	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	5
		十足 目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	10
		十足 目	弓蟹科	绒螯蟹 (属)	<i>Eriocheir sp.</i>	3
	2023.06. 02	十足 目	长臂虾 科	澳洲沼虾疑 似种	<i>Macrobrachium c.f. australe</i>	1
		鲤形 目	平鳍鳅 科	拟平鳅	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	2
		鲤形 目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	2
		十足 目	弓蟹科	绒螯蟹 (属)	<i>Eriocheir sp.</i>	3
	2023.12. 12	鲤形 目	平鳍鳅 科	拟平鳅	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	3
		十足 目	长臂虾 科	沼虾 (属)	<i>Macrobrachium sp.</i>	7
		十足 目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	1
		鲤形 目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	3
		虾虎 目	虾虎鱼 科	溪吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius duospilus</i>	1

续表

样点名称	采样时 间	目	科	物种名	拉丁名	数 量
自然灾害 (ZRZHS K)	2023.04. 02	十足 目	长臂虾 科	沼虾 (属)	<i>Macrobrachium sp.</i>	3
		十足 目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	2 0
	2023.06. 01	鲤形 目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	1
		鲤形 目	鲴科	草鱼	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	1

		十足目	日鲈 太阳鱼 科	大口黑鲈	<i>Micropterus salmoides</i>	1
		十足目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	4 3
		十足目	匙指虾 科		<i>Caridina stellata</i>	2
		十足目	匙指虾 科	锯缘米虾疑 似种	<i>Caridina cf. serrata</i>	1
		十足目	匙指虾 科	长肢米虾	<i>Caridina elongapoda</i>	1
		十足目	长臂虾 科	粗糙沼虾	<i>Macrobrachium asperulum</i>	8
		十足目	长臂虾 科	日本沼虾	<i>Macrobrachium nipponense</i>	1
		十足目	长臂虾 科	海南沼虾	<i>Macrobrachium hainanense</i>	2
	2023.09. 14	十足目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	5
	2023.12. 12	虾虎目	虾虎鱼 科	溪吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius duospilus</i>	2
		鲮形目	花鲮科	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	2
		十足目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	5 9
梅沙内湖 (MSNH)	2023.04. 02	十足目	长臂虾 科	沼虾(属)	<i>Macrobrachium sp.</i>	3
	2023.06. 01	鲤形目	鳅科	大鳞副泥鳅	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	4
		慈鲷目	慈鲷科	齐氏非鲫	<i>Coptodon zillii</i>	1
		鲇形目	鲇科	南方大口鲇	<i>Silurus meridionalis</i>	1
		鲤形目	鲤科	麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	1
		虾虎目	虾虎鱼 科	子陵吻虾虎	<i>Rhinogobius giurinus</i>	1
		十足目	长臂虾 科	日本沼虾	<i>Macrobrachium nipponense</i>	5 4
		十足目	弓蟹科	绒螯蟹 (属)	<i>Eriocheir sp.</i>	1

	2023.09. 14	合鳃 目	合鳃科	黄鳝	<i>Monopterus albus</i>	8
		鲤形 目	鳅科	大鳞副泥鳅	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	1 6
	2023.12. 12	鲤形 目	鳅科	大鳞副泥鳅	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	1
		十足 目	长臂虾 科	沼虾（属）	<i>Macrobrachium sp.</i>	3
		慈鲷 目	慈鲷科	齐氏非鲫	<i>Coptodon zillii</i>	1 0
溯溪 1 (SX1)	2023.06. 02	鲤形 目	平鳍鳅 科	拟平鳅	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	1
		鲤形 目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	2
		鲤形 目	鳅科	平头岭鳅	<i>Oreonectes platycephalus</i>	2

续表

样点名称	采样时间	目	科	物种名	拉丁名	数量
溯溪 1 (SX1)	2023.06 .02	虾虎 目	虾虎鱼 科	溪吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius duospilus</i>	1
		十足 目	匙指虾 科	长肢米虾	<i>Caridina elongapoda</i>	1
		十足 目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	5
溯溪 2 (SX2)	2023.04 .03	鲤形 目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	1
		虾虎 目	虾虎鱼 科	溪吻虾虎鱼	<i>Rhinogobius duospilus</i>	1
		十足 目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	7
叠翠湖水库 上游 (DCHSK)	2023.04 .03	鲤形 目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	3
		鲤形 目	鲤科	异鱲	<i>Parazacco spilurus</i>	1
		十足 目	长臂虾 科	沼虾（属）	<i>Macrobrachium sp.</i>	1 1
		十足 目	匙指虾 科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	8

2023.06 .02	鲤形目	平鳍鲈科	拟平鲈	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	1		
	鲤形目	鲈科	横纹南鲈	<i>Schistura fasciolatus</i>	2		
	鲤形目	鲈科	平头岭鲈	<i>Oreonectes platycephalus</i>	1		
	鲤形目	鲤科	异鱧	<i>Parazacco spilurus</i>	1		
	十足目	匙指虾科	中山米虾疑似种	<i>Caridina cf. zhongshanica</i>	1		
	十足目	匙指虾科		<i>Caridina stellata</i>	4		
	2023.12 .13	鲤形目	鲤科	异鱧	<i>Parazacco spilurus</i>	4	
		十足目	长臂虾科	沼虾(属)	<i>Macrobrachium sp.</i>	5	
		十足目	匙指虾科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	1 1	
		鲤形目	鲈科	横纹南鲈	<i>Schistura fasciolatus</i>	3	
	驷马岭水库 上游 (LMLSK)	2023.06 .02	鲤形目	鲤科	唐鱼	<i>Tanichthys albonubes</i>	1 8
			鲤形目	鲈科	横纹南鲈	<i>Schistura fasciolatus</i>	2
		鲤形目	鲈科	平头岭鲈	<i>Oreonectes platycephalus</i>	1	
鲤形目		平鳍鲈科	拟平鲈	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	1		
鲤形目		鲤科	异鱧	<i>Parazacco spilurus</i>	1		
鲤形目		鲤科	条纹小鲃	<i>Puntius semifasciolatus</i>	5 0		
鲿形目		花鲿科	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	2		
十足目		溪蟹科	鳃刺隐溪蟹	<i>Cryptopotamon anacoluthon</i>	3		
2023.09 .16		鲤形目	鲤科	唐鱼	<i>Tanichthys albonubes</i>	3	
		鲤形目	平鳍鲈科	拟平鲈	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	1	

样点名称	采样时间	目	科	物种名	拉丁名	数量
		十足目	溪蟹科	鳃刺隐溪蟹	<i>Cryptopotamon anacoluthon</i>	1
续表						
		鲤形目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	2
		十足目	长臂虾科	沼虾(属)	<i>Macrobrachium sp.</i>	4
		十足目	匙指虾科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	3
	2023.12.13	鲤形目	平鳍鳅科	拟平鳅	<i>Liniparhomaloptera disparis</i>	1
		鲤形目	鳅科	平头岭鳅	<i>Oreonectes platycephalus</i>	1
		鲤形目	鳅科	横纹南鳅	<i>Schistura fasciolatus</i>	2
		鲮形目	花鲮科	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	8
		鲤形目	鲤科	唐鱼	<i>Tanichthys albonubes</i>	2
		鲤形目	鲤科	条纹小鲃	<i>Puntius semifasciolatus</i>	1 24
		十足目	长臂虾科	沼虾(属)	<i>Macrobrachium sp.</i>	1 2
		十足目	匙指虾科	广东米虾	<i>Caridina cantonensis</i>	5
环碧路(HBL)	2023.06.03	鲮形目	花鲮科	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	5
		鲤形目	鲤科	鲮鱼(属)	<i>Rhodeus sp.</i>	1

由表可得，四个季度均有发现的物种包括拟平鳅 (*Liniparhomaloptera disparis*)、横纹南鳅 (*Schistura fasciolatus*) 和广东米虾 (*Caridina cantonensis*)，而从第二季度开始新增的骡马岭水库样点在后三个季度均调查到有唐鱼 (*Tanichthys albonubes*) 分布。

结合样点生境来看 (表 1)，十足目中的沼虾属和绒螯蟹属物种在溪流、湖泊

两种生境中均有分布。横纹南鳅 (*Schistura fasciolatus*)、平头岭鳅 (*Oreonectes platycephalus*)、拟平鳅 (*Liniparhomaloptera disparis*)、溪吻虾虎鱼 (*Rhinogobius duospilus*)、异鱧 (*Parazacco spilurus*)、唐鱼 (*Tanichthys albonubes*)、条纹小鲃 (*Puntius semifasciolatus*)、食蚊鱼 (*Gambusia affinis*) 和所有匙指虾科、溪蟹科物种仅在溪流生境中分布, 而大鳞副泥鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*)、齐氏非鲫 (*Coptodon zillii*)、南方大口鲶 (*Silurus meridionalis*)、黄鳝 (*Monopterus albus*) 和麦穗鱼 (*Pseudorasbora parva*) 仅在湖泊生境中被发现。

检测到的物种中, 大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 均为可能对生境造成破坏的人工养殖种, 齐氏非鲫 (*Coptodon zillii*)、麦穗鱼 (*Pseudorasbora parva*)、食蚊鱼 (*Gambusia affinis*) 均为外来入侵物种。按照 IUCN 红色名录物种评定, 鳃刺隐溪蟹 (*Cryptopotamon anacoluthon*) 为易危 (VU) 物种, 野生唐鱼 (*Tanichthys albonubes*) 被列为中国国家二级保护动物。

3.1.2 eDNA 技术调查结果

通过高通量测序, 共获得原始序列 12,966,633 条。其中包括 9,004,489 条高质量序列。通过在 $\geq 95\%$ 的序列相似性下进行聚类, 将匹配到同一物种的 OTU 序列进行合并, 过与参考数据库进行比对, 去除每个样点三个点位序列总数少于 10 的序列, 对分子操作分类单元 (OTUs) 进行筛选后, 共保留 37,297 条、57 种鱼类、虾蟹类的 OTUs。共识别出鱼类、虾蟹类物种 12 目 23 科 44 属 65 种 (见附录 B)。其中四月调查 30 种、隶属于 9 目 17 科 23 属, 六月调查 28 种、隶属于 7 目 14 科 22 属, 九月调查 30 种, 隶属于 11 目 18 科 24 属, 十二月调查 18 种、隶属于 6 目 13 科 17 属。

鱼类调查到 11 目 18 科 37 属 50 种, 按照物种种数在总数中的占比来看, 鲤形目 (23, 46%) 最多、虾虎目 (9, 18%)、慈鲷目 (7, 14%) 次之。其中虾虎鱼科所包含物种最多, 有 9 种 (18%), 其次是丽鱼科 (7, 14%)、鲷科 (6, 12%)、鲤科 (5, 10%)。(图 4)

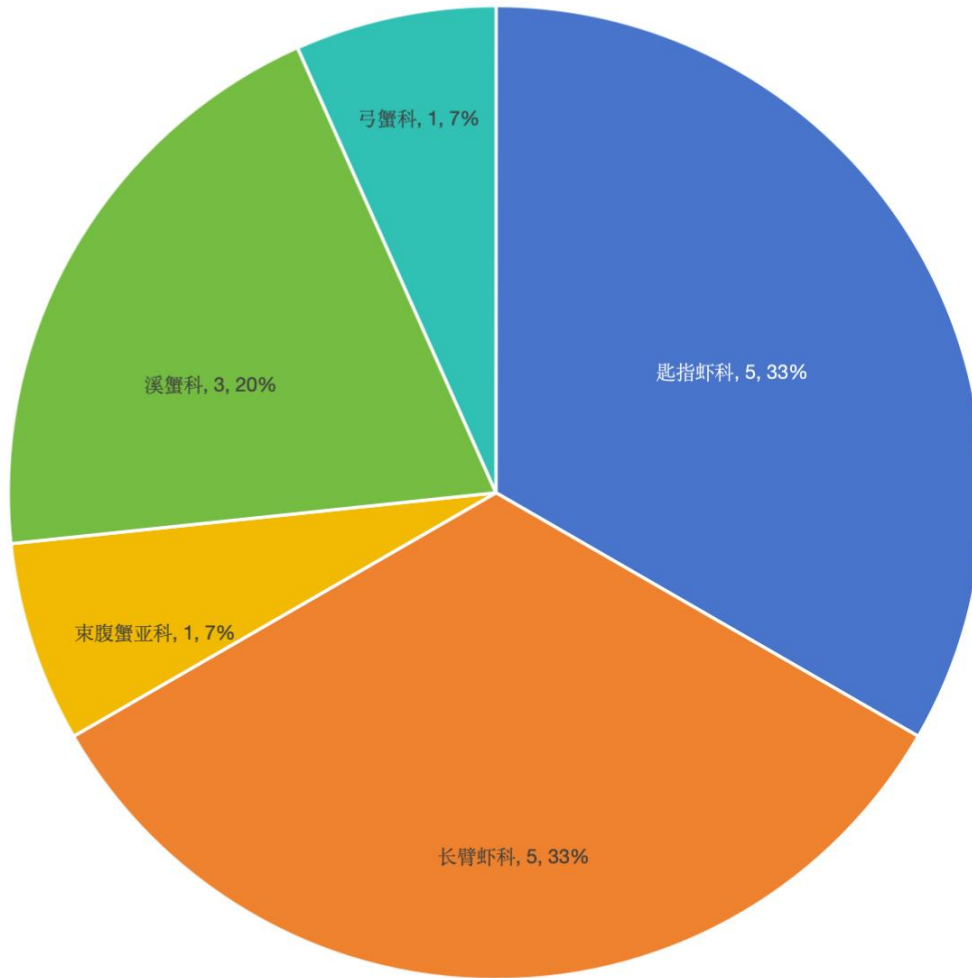


图 5 eDNA 技术调查物种在目、科分类学水平上所占物种比例（虾蟹类）

注：图中数字代表属于该目或科的物种丰富度，百分数表示该目或科的物种丰富度占据所有鱼类物种数目的比值。

在检测到的物种中，泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 和真吻虾虎 (*Rhinogobius similis*) 在四个季度均有分布。

就不同样点而言，在梅沙内湖样点 (MSNH) 这一湖泊生境中特有的物种有大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)、九间始丽鱼 (*Amatitlania nigrofasciata*) 和鲮鱼 (*Mugil cephalus*)、机鲮 (*Mugil platanus*)，与传统方法得到的结果类似，十足目中的沼虾科物种在湖泊、溪流两种生境中均有分布，而所有匙指虾科、溪蟹科物种仅在溪流生境中分布。

在调查到的所有物种中，除泥鳅以外，分布在梅沙内湖样点 (MSNH) 的大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 和分布在会计学院样点的草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 均为可能对生境造成破坏的人工养殖种；作为外来入侵物种的九间始丽鱼 (*Amatitlania nigrofasciata*)、尼翁非鲫 (*Coptodon nyongana*)、伦氏非鲫 (*Coptodon rendalli*)、齐氏非鲫 (*Coptodon zillii*)、黄边口孵非鲫 (*Oreochromis andersonii*)、奥利亚罗非 (*Oreochromis aureus*)、莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*)、尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)、麦穗鱼 (*Pseudorasbora parva*)、食蚊鱼 (*Gambusia affinis*) 主要分布在梅沙内湖样点 (MSNH)、会计学院样点 (KJXY) 和骡马岭水库样点 (LMLSK)。还发现有冲绳硬皮虾虎鱼 (*Callogobius okinawae*)、大口巨颌鰕虎鱼 (*Mahidolia mystacina*)、拟矛尾鰕虎鱼 (*Parachaeturichthys polynema*) 这些热带引入观赏鱼种，在山海大观样点 (SHDG) 分布集中。

依照 IUCN 红色物种名录，检测物种中包括极危 (CR) 物种平德大口非鲫 (*Stomatepia pindu*)，仅在山海大观样点 (SHDG) 分布，以及濒危 (EN) 物种镰刀束腰蟹 (*Somanniathelphusa zanklon*) 和易危 (VU) 物种鳃刺隐溪蟹 (*Cryptopotamon anacoluthon*)，仅在骡马岭水库样点 (LMLSK) 分布。

特有种方面，通过查询 FishBase (<https://fishbase.mnhn.fr/search.php>) 和维基百科，在所检测到的物种中，中国本土特有种包括锯缘米虾 (*Caridina serrata*)、中山米虾 (*Caridina zhongshanica*)、镰刀束腰蟹 (*Somanniathelphusa zanklon*)、香港南

海溪蟹 (*Nanhaipotamon hongkongense*)、澳门南海溪蟹 (*Nanhaipotamon macau*)、北方泥鳅 (*Misgurnus bipartitus*)、半刺光唇鱼 (*Acrossocheilus hemispinus*)、侧条厚唇鱼 (*Acrossocheilus parallens*)、似鲮 (*Belligobio nummifer*)、伍氏半鲮 (*Hemiculterella wui*)、颌带吻虾虎 (*Rhinogobius maxillivirgatus*) 等。

3.2 梅沙地区物种多样性分析

通过 eDNA 方法调查梅沙碳中和社区各样点鱼类、虾蟹类的 α 多样性指数 (表 3)，分析每个季度各样点的生物多样性特征。在春季调查的七个样点中，山海大观样点 (SHDG) 的 Shannon 指数和 Simpson 指数最高，但在冬季调查的六个样点中 Shannon 指数和 Simpson 指数位于最低；会计学院样点 (KJXY) 在春季七个样点中的 Pielou 均匀度最高、在秋季六个样点中的物种丰富度、Shannon 指数和 Simpson 指数最高，在冬季六个样点中的丰富度、Shannon 指数和 Pielou 均匀度最高；自然灾害水库上游样点 (ZRZHSK) 在秋季调查样点对比中的四个指标均为最低，冬季所调查到的物种丰富度最低；梅沙内湖样点 (MSNH) 在春季七个样点中物种丰富度最高、秋季六个样点中均匀度最高，但在夏季的八个样点中，物种丰富度、Shannon 指数和 Simpson 指数均为最低，且在冬季调查的六个样点中物种丰富度和均匀度最低，但 Simpson 指数最高；叠翠湖水库上游样点 (DCHSK) 在夏季的八个样点中均匀度最高、在冬季六个样点中的物种丰富度和 Simpson 指数最高；骡马岭水库上游样点 (LMLSK) 在夏季调查中的物种丰富度最高；溯溪 1 样点 (SX1) 在春季七个样点中 Shannon 指数和 Simpson 指数最低，在夏季调查中的 Shannon 指数和 Simpson 指数最高而均匀度最低；溯溪 2 样点 (SX2) 只调查了一次，在春季调查的七个样点中，物种丰富度和均匀度均为最低。

表 4 eDNA 方法调查各季度及样点 α 多样性指数

春季 (4 月)					夏季 (6 月)				
样点	丰富度	香农指数	辛普森指数	均匀度	样点	丰富度	香农指数	辛普森指数	均匀度
Site	Ric hness	Sha nnon	数	Pi elou	Site	Ric hness	Sha nnon	数	Pi elou

Si mpson					Si mpson				
SH		2.8	0.8	1.	SH		1.5	0.5	0.
DG	8	4	5	37	DG	8	7	0	76
KJ		1.8	0.6	0.	KJ		1.7	0.6	1.
XY	7	8	4	96	XY	4	0	6	23
ZR		2.0	0.7	1.	ZR		1.5	0.6	1.
ZHSK	5	6	2	28	ZHSK	4	4	0	11
MS		2.6	0.8	1.	MS		0.7	0.3	1.
NH	10	1	1	13	NH	2	7	5	12
SX		1.5	0.6	1.	DC		1.7	0.5	0.
2	3	8	6	44	HSK	6	3	6	96
DC		1.8	0.6	0.	LM		2.7	0.7	0.
HSK	7	4	4	95	LSK	19	9	2	95
SX		1.1	0.5	0.	SX		2.9	0.8	1.
1	4	8	1	85	1	9	5	6	34

续表

秋季 (9月)					冬季 (12月)				
样 点 Site	丰 富度 Ric hness	香 农指数 Sha nnon	辛 普森指 数 Si mpson	均 匀度 Pi elou	样 点 Site	丰 富度 Ric hness	香 农指数 Sha nnon	辛 普森指 数 Si mpson	均 匀度 Pi elou
SH		2.0	0.6	1.	SH		1.0	0.3	0.
DG	6	6	8	15	DG	5	0	3	62
KJ		2.9	0.8	1.	KJ		2.0	0.6	0.
XY	11	3	3	22	XY	8	3	4	98
ZR		0.1	0.0	0.	ZR		1.2	0.5	1.
ZHSK	2	8	5	26	ZHSK	3	4	0	13
MS		1.7	0.6	0.	MS		1.5	0.6	1.
NH	6	2	2	96	NH	3	7	6	43
DC		2.2	0.7	1.	DC		1.9	0.6	0.
HSK	8	6	1	09	HSK	8	8	6	95
LM		2.6	0.8	1.	LM		1.4	0.4	0.
LSK	9	5	0	21	LSK	5	4	8	90

通过传统方法调查梅沙碳中和社区各样点鱼类、虾蟹类的 α 多样性指数显示, 综

合各季度的 α 多样性指数特征（表 4），相对而言，山海大观样点（SHDG）在春季的丰富度和均匀度最高，在夏季的 和 Simpson 指数最高，但在冬季的物种丰富度和 Simpson 指数最低，与 eDNA 方法计算的多样性趋势一致；会计学院样点（KJXY）在夏季的 Simpson 指数最高；自然灾害水库上游样点（ZRZHSK）在春季的 Simpson 指数最低，在夏季的均匀度和物种丰富度最高，但在秋季的四个指标均为最低，冬季所调查到的物种丰富度、Shannon 指数和 Simpson 指数均为最低，与 eDNA 方法调查结果较为吻合；梅沙内湖样点（MSNH）春季物种丰富度和 Shannon 指数、均匀度最低，在夏季的 Simpson 指数和均匀度均为最低，冬季物种丰富度最低；叠翠湖水库上游样点（DCHSK）在春、夏两季的 Shannon 指数和 Simpson 指数最高、在冬季的 Simpson 指数最高；骡马岭水库上游样点（LMLSK）在秋季的四个指标均为最高，在冬季的物种丰富度和均匀度最高；溯溪 1 样点（SX1）在夏季的和 Simpson 指数最高；环碧路样点（HBL）只调查了一次，在夏季的物种丰富度、Shannon 指数和 Simpson 指数均为最低。

表 5 传统方法调查各季度及样点 α 多样性指数

春季（4月）					夏季（6月）				
样点 Site	丰富度 Richness	香农指数 Shannon	辛普森指数 Simpson	均匀度 Pi	样点 Site	丰富度 Richness	香农指数 Shannon	辛普森指数 Simpson	均匀度 Pi
SH	5	4.0	0.9	2.	SH	4	4.4	0.9	3.
DG		2	8	50	DG		9	9	24
ZR	2	3.6	0.9	5.	ZR	10	4.4	0.9	1.
ZHSK		8	7	31	ZHSK		4	8	93
MS	1	3.3	0.9	In	MS	7	3.9	0.9	2.
NH		0	6	f	NH		3	7	02
SX	3	3.9	0.9	3.	LM	8	4.4	0.9	2.
2		8	8	62	LSK		0	8	12
DC	4	4.4	0.9	3.	DC	6	4.9	0.9	2.
HSK		2	9	19	HSK		1	9	74
KJ	3	4.2	0.9	3.	KJ	4	4.6	0.9	3.
XY		8	8	89	XY		2	9	33

					HB		3.7	0.9	5.
					L	2	5	7	40
					SX		4.8	0.9	2.
					1	6	8	9	72
秋季 (9月)					冬季 (12月)				
样点 Site	丰富度 Richness	香农指数 Shannon	辛普森指数 Simpson	均匀度 Pielou	样点 Site	丰富度 Richness	香农指数 Shannon	辛普森指数 Simpson	均匀度 Pielou
SH		4.3	0.9	3.	SH		3.8	0.9	3.
DG	4	0	8	10	DG	3	8	7	53
ZR		3.3	0.9	In	ZR		3.5	0.9	3.
ZHSK	1	0	6	f	ZHSK	3	8	7	26
MS		3.9	0.9	5.	MS		4.0	0.9	3.
NH	2	3	8	67	NH	3	5	8	69
LM		4.9	0.9	2.	LM		4.1	0.9	1.
LSK	6	7	9	77	LSK	8	1	8	98
					DC		4.5	0.9	3.
					HSK	4	5	9	28
					KJ		4.6	0.9	2.
					XY	5	6	9	89

3.3 环境因子与物种多样性的相关性分析

3.3.1 环境因子与物种丰富度的相关性分析

水体环境因子的不同，会影响到物种多样性的分布，因此对水体环境因子与物种丰富度之间做 Pearson 相关性分析。

由图 6 可知，海拔 (Elevation) 与淡水鱼类、虾蟹类物种丰富度之间有显著正相关性 ($P=0.04$)；人类活动 (HumanActivity) 指标指代各个样点处受人类活动影响的概率、人类活动痕迹频率的综合考量，如样点与道路、住所的距离远近，样点处生活垃圾遗留痕迹等现象，“多”、“较多”、“较少”和“少”四个评定等级量化为 4、

3、2、1 纳入相关性分析，如图可知，人类活动与淡水鱼类、虾蟹类物种丰富度之间有显著负相关性（ $P = 0.003$ ）；其他环境因子与鱼类丰富度之间不存在显著相关性（ $P > 0.05$ ）。

由图可以看出，梅沙社区淡水鱼类、虾蟹类物种丰富度受海拔影响较大，随着海拔的升高物种丰富度呈上升趋势；梅沙社区淡水物种丰富度也受到人类活动的影响，随着人类活动的增加，物种在逐渐降低。梅沙社区淡水水体环境气压大部分在 700~750mmHg 范围内，电导率分布在 0~0.2（-mS/cm），温度大多在 20-25°C 间，水环境酸碱度大部分在 7.25~8.0 之间，水体呈偏碱性。

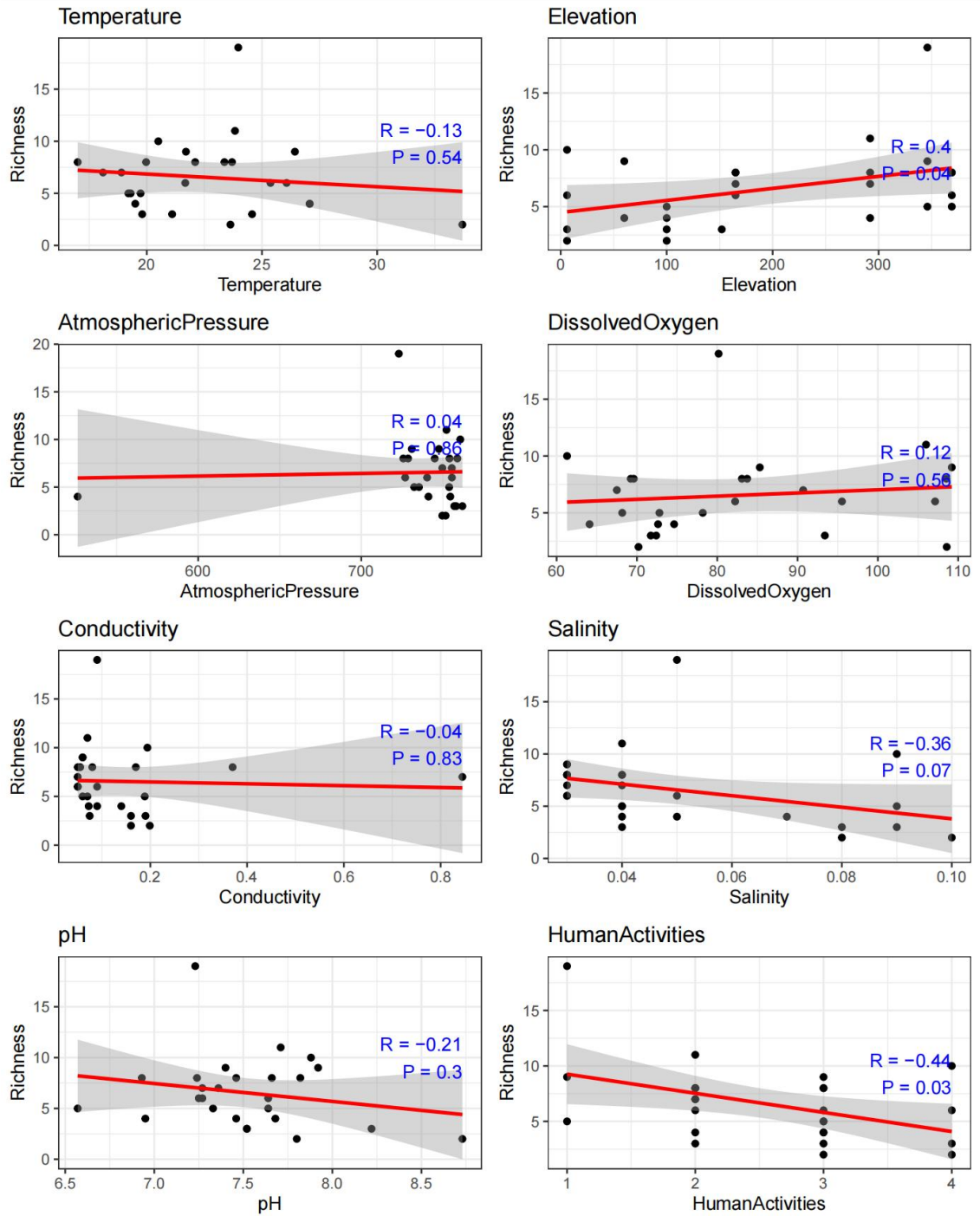


图 6 环境因子与物种丰富度之间相关性分析

水质各项指标检测结果如表 2 所示。通过数据可以看出，在四个季度的调查中，春季水温（17~25℃）和夏季水温（23.37~33.7℃）差距较大，而秋季溶解氧含量显著高于其他季节（82.23~109.2%L），应是受到极端天气影响。总体来看，四个季度

所有样点水体 pH 值及温度均达到国家一类或二类水质标准（GB3838-2015 地表水环境质量标准），所有水体电导率均大于 1mS/cm，但程度不等。

对这些数据进行 PCA 分析，并绘制双序图（图 7）。可以看出，生境类型为湖泊的梅沙内湖样点与其他样点水质条件有明显差异。

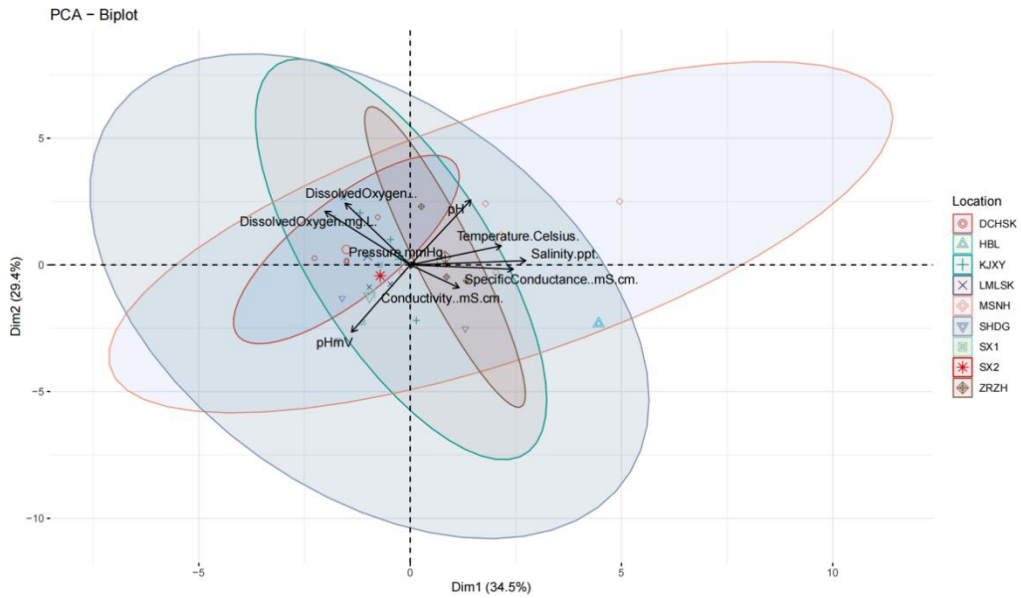


图 7 梅沙地区各样点水质指标主成分分析

3.4 梅沙地区淡水生物多样性评价

从物种丰富度、多样性指数、物种特有性、外来物种入侵度和威胁物种丰富度四个指标评估梅沙地区各样点淡水生物多样性（表 6）。

对于物种丰富度和多样性指数这两个指标，通过两种方法在各季度得到的趋势不同。综合而言，春季山海大观样点（SHDG）多样性较高，溯溪 1(SX1)样点多样性较低；夏季骡马岭水库样点（LMLSK）多样性较高，梅沙内湖样点（MSNH）多样性较低；秋季会计学院上游样点(KJXY)多样性较高，自然灾害水库样点(ZRZH)多样性较低；冬季会计学院上游样点（KJXY）多样性较高，而梅沙内湖（MSNH）、自然灾害水库样点（ZRZH）多样性较低。

按照物种特有性来看，春季溯溪 2 样点（SX2）物种特有性最高，溯溪 1 样点（SX1）最低；夏季骡马岭水库样点（LMLSK）物种特有性较高，秋季山海大观样点（SHDG）、骡马岭水库样点（LMLSK）物种特有性较高，自然灾害水库样点（ZRZHSK）特有性较低；冬季梅沙内湖样点（MSNH）和骡马岭水库样点（LMLSK）特有性较高，自然灾害水库（ZRZHSK）特有性最低。

针对外来物种入侵度而言，梅沙内湖样点（MSNH）、自然灾害水库样点（ZRZHSK）、会计学院样点（KJXY）、环碧路样点（HBL）和溯溪 2 样点（SX2）发现有物种入侵迹象，春季溯溪 2 样点（SX2）入侵度最高，夏季梅沙内湖样点（MSNH）和环碧路样点（HBL）入侵度最高，秋季自然灾害水库样点（ZRZHSK）入侵度最高，冬季会计学院样点（KJXY）、自然灾害水库样点（ZRZHSK）和梅沙内湖样点（MSNH）入侵度最高。生境特征为人工湖的梅沙内湖样点，在四季都发现有入侵物种存在。

受威胁物种仅在山海大观样点（SHDG）和骡马岭水库样点（LMLSK）发现，而骡马岭水库样点在调查的三个季度内、通过两种手段均调查到有受威胁物种存在，保护价值较高。

表 6 各季度 eDNA 方法和传统方法调查样点淡水鱼类、虾蟹类多样性评估

春季								夏季								
eDNA				传统方法				eDNA				传统方法				
评价指标	HDG	SJY	FKZK	MZHSN	SNH	MSX2	DLCHSK	评价指标	HDG	RZHSK	SNH	MLSK	ILCHSK	JXY	FKBL	HSX1
物种丰富度	8	7	5	10	1	3	7	物种丰富度	4	4	1	4	4	6	4	2
多样性指数	.84	.88	.06	.61	.58	.84	.18	多样性指数	.02	.68	.3	.98	.42	.28		0
物种特有性	.50	.57	.40	.50	.67	.43	.00	物种特有性	.20	.00	.00	.33	.25	.33		-
外来物种入侵度	.00	.00	.00	.20	.33	.00	.00	外来物种入侵度	.00	.00	.00	.00	.00	.00		-
受威胁物种丰富度	1	0	0	0	0	0	0	受威胁物种丰富度	0	0	0	0	0	0	0	0

物种特有性	0.25	0.25	0.00	0.00	0.17	0.63	.33	物种特有性	(.00)	(.40)	(.57)	(.38)	0.17	(.25)	(.50)	(.17)
外来物种入侵度	.13	.00	.25	.50	.17	.16	.22	外来物种入侵度	(.00)	(.00)	(.29)	(.13)	0.00	(.00)	(.50)	(.00)
受威胁物种丰富度	0	0	0	0	0	2		受威胁物种丰富度	()	()	()	1	0	()	0	()

续表

秋季							传统方法						
eD NA							传统方法						
评价指标	S HD G	F JX Y	Z RZHS K	N SN H	D CHS K	L ML SK	评价指标	S HD G	RZ HS K	Z SN H	L ML SK	F JX Y	E CH SK
物种丰富度	6	11	2	6	8	9	物种丰富度	4	1	1	6	()	0
多样性指数	.06	.93	.18	.72	.26	.65	多样性指数	()	()	0	()	()	0
物种特有性	.67	.55	.00	.50	.50	.44	物种特有性	.25	.00	.00	.33	-	-
外来物种入侵度	.00	.09	.50	.17	.00	.33	外来物种入侵度	.00	.00	.00	.00	-	-
受威胁物种丰富度	1	()	0	0	0	1	受威胁物种丰富度	()	()	()	2	()	0

冬季							传统						
eD							方法						
NA													
评价指标	S HD G	F JX Y	Z RZHS K	N SN H	D CHS K	L ML SK	评价指标	S HD G	RZ HS K	I SN H	I ML SK	I CH SK	K JX Y
物种丰富度	5	8	3	3	8	5	物种丰富度	3	2	2	8	4	5
多样性指数	1	.03	.24	.57	.98	.44	多样性指数	.88	.58	.05	.11	.55	.66
物种特有性	.20	.38	.00	.00	.38	.60	物种特有性	.33	.00	.33	.38	.25	.00
外来物种入侵度	.00	.38	.33	.33	.25	.00	外来物种入侵度	.00	.33	.33	.13	.00	.00
受威胁物种丰富度	0	0	0	0	0	1	受威胁物种丰富度	0	0	0	2	0	0

第四章 讨论

4.1 梅沙地区淡水生物多样性分布特征

梅沙地区淡水生态系统多样且生境完整，淡水生物多样性丰富，海陆连通性较好，监测到多种受威胁的珍稀物种，但也存在一定生物入侵现象。

（一）本研究所选取的样点包括湖泊生境和溪流生境两种类型，不同类型生境的水质状况和物种分布情况有较为明显的差异。相较于溪流生境，湖泊生境（梅沙内湖样点）物种特有性较高，且多为体积较大的杂食性鱼类，如大口黑鲈（*Micropterus salmoides*）和尼罗罗非鱼（*Oreochromis niloticus*），可能是由于（1）湖泊水体流速慢、内部生态环境较为封闭，（2）又因为是人工湖，更易受到人为影响（渔捞、放生、投喂等行为），所以更容易受到外来物种入侵。本次调查中，齐氏非鲫和尼罗罗非鱼比较常见。这些体型较大的杂食性鱼类与本土物种竞争，对本土物种影响较大。

（二）就各样点而言，山海大观样点（SHDG）和骡马岭水库样点（LMLSK）的物种丰富度和物种特有性较高，且有珍稀濒危物种分布，值得重点关注；此外，会计学院样点（KJXY）的物种多样性较高，但物种入侵度也较高；梅沙内湖样点（MSNH）物种特有性较高，但入侵度较高；自然灾害水库样点（ZRZHSK）物种多样性较低、物种特有性较低且物种入侵度较高；在叠翠湖水库样点（DCHSK）、溯溪1样点（SX1）和自然灾害水库样点（ZRZHSK）均检测到有海淡水洄游种和咸淡水种虾类，可见这几处样点海陆连通性较好。

（三）梅沙街道淡水鱼类、虾蟹类物种多样性受到环境因子的综合作用。海拔（Elevation）与淡水鱼类、虾蟹类物种丰富度之间有显著正相关性（ $P=0.04$ ），人类活动与淡水鱼类、虾蟹类物种丰富度之间有显著负相关性（ $P=0.03$ ）；此外，海

拔与受威胁物种丰富度之间也存在显著正相关性 ($P=0.003$)，人类活动与受威胁物种丰富度和特有物种丰富度之间存在显著负相关性 ($P=0.02$, $P=0.04$) (附录 C, 附录 E)。而入侵物种与环境因子之间未发现显著相关 (附录 D)。可见在梅沙地区，物种丰富度与海拔之间存在正相关性，且受威胁物种丰富度和物种特有性随着海拔增高而呈现上升趋势。而人类活动或成为威胁当地物种多样性的最主要因素。

4.2 气候变化对生物多样性的影响

在第三季度九月的实地调查 (9月14日~16日) 适逢极端暴雨天气，几处样点水势过大，且因为长期暴雨导致生物冲离原本生境等原因没有通过传统方法采集到生物样本，在 eDNA 数据中可以看出一些物种在第一、二季度丰度较高，第三季度之后丰度急剧下降甚至未被检测到，可能正是受到极端天气的影响，可能导致水体冲刷、生境破坏和水质变化，导致部分物种被冲离原本生境。如骡马岭水库样点 (LMLSK) 具有很高丰度的入侵物种齐氏非鲫 (*Coptodon zillii*) 和濒危物种镰刀束腰蟹 (*Somanniathelphusa zanklon*)，在第三、四季度均未被检测到。

但也存在极端天气后反而丰度升高的物种，如泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*)，在九月的调查中丰度很低，但在十二月的调查中激增。可见极端天气也会带来新的生境条件、为一些物种带来新的生存机遇。

相对来说，梅沙内湖 (MSNH) 样点物种受到影响较小，可能与其生境的封闭性、独立性有关。

4.3 eDNA 技术在生物多样性调查中的应用潜力

通过传统捕捞法和 eDNA 技术调查的结果既存在一致性，也存在一定差异。传统方法监测到的 29 个物种中，也被 eDNA 技术监测出来的物种有 20 种，占比 70.0%，在一定程度上证明了 eDNA 宏条形码技术的有效性，但也不可否认两种方法的监测结果存在差异。造成这一差异可能是由于 eDNA 技术本身存在一定局限性，eDNA 在环境中的留存时间受到诸多环境因素的影响、以及分析过程中所采用的参考数据

库可能不够精准。物种参考数据库的准确度和完整度直接影响着 eDNA 技术鉴定结果的可信性^[29]。

可以认为，传统方法和 eDNA 技术可以起到相互补充、共同达到精准监测的作用。

第五章 结论与展望

5.1 主要研究发现总结

本研究通过传统方法和 eDNA 技术，于 2023 年四个季度对深圳市盐田区梅沙碳中和社区中淡水鱼类和虾蟹类生物多样性进行本底调查和评估，并对比两种方法调查结果的异同，对不同季度调查结果进行对比和总结，基于测定的环境因子对生物多样性作相关性分析。主要得到以下结论：

(1) 通过 eDNA 监测鱼类、虾蟹类物种 12 目 23 科 43 属 62 种，传统方法调查到 8 目 14 科 29 种，为梅沙地区淡水生物多样性数据库贡献了重要数据。两种方法调查结果中物种组成大致相同，鱼类中鲤形目、虾虎目最多，虾蟹类中长臂虾科和匙指虾科物种占比最多。但 eDNA 方法未能监测到 9 种（30%）涵盖在传统调查结果中的物种，说明 eDNA 方法只能作为传统调查方法的补充和佐证，并不能完全替代传统方法。

(2) 在本次调查的结果中，存在濒危 (EN) 物种镰刀束腰蟹 (*Somanniathelphusa zanklon*)、易危 (VU) 物种鳃刺隐溪蟹 (*Cryptopotamon anacoluthon*) 和被列为中国国家二级保护动物的野生唐鱼 (*Tanichthys albonubes*)。以及锯缘米虾 (*Caridina cf. serrata*)、中山米虾 (*Caridina zhongshanica*)、镰刀束腰蟹 (*Somanniathelphusa zanklon*) 等中国特有种 (见附录 F)。对于物种入侵现象，本研究在梅沙地区淡水生境中调查到麦穗鱼 (*Pseudorasbora parva*)、食蚊鱼 (*Gambusia affinis*)、齐氏非鲫 (*Coptodon zillii*)、尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 等外来入侵种，主要集

中在人工改造生境（见附录 F）。

（3）本研究所涉及的九个样点中，山海大观样点（SHDG）和骡马岭水库样点（LMLSK）的物种丰富度和物种特有性较高，且有珍稀濒危物种分布，值得重点关注和采取保护措施；此外，会计学院样点（KJXY）、梅沙内湖样点（MSNH）和自然灾害水库样点（ZRZHSK）和叠翠湖水库样点（DCHSK）也值得关注。

（4）海拔和人类活动是影响梅沙碳中和社区中淡水鱼类和虾蟹类生物多样性的主要因素。相关性分析证明，物种丰富度与海拔和人类行为显著相关，采取措施减少人类行为对生境的影响、关注并保护高海拔淡水生境，或成为维护梅沙碳中和社区中淡水鱼类和虾蟹类生物多样性的重点。

（5）本研究揭示了极端天气对梅沙地区淡水生物多样性的影响。第三季度的暴雨对生物样本的采集和物种的实际分布造成了显著干扰，可能导致生境破坏和水体冲刷，进而影响物种的丰度和分布。通过在不同季节进行的调查，研究发现物种多样性随季节而异，反映了生物群落对季节性环境变化的响应。调查结果强调了持续监测气候变化对生物多样性影响的必要性，并为采取适应性保护措施提供了科学依据。

5.2 研究局限性和未来展望

本研究仅覆盖了一年的跨度，调查范围和时间都较短。对于评估长期生态变化和生物多样性趋势而言，较短的时间跨度可能无法完全捕捉到生态系统的动态变化。未来的研究可以扩展时间尺度、进行多年甚至长期监测，增加样点数量，特别是在不同生境类型和环境条件下的样点，提高研究的代表性和全面性，以便更好地理解生物多样性的季节性模式和长期趋势，得到更有普适性和说服性的规律。

5.3 对梅沙碳中和社区生态系统保护和管理建议

为了更有效地保护和管理梅沙碳中和社区的淡水生态系统，建议采取一系列综

合性措施。

(1) 加强对梅沙地区淡水生态系统的保护，特别是对物种丰富度高和特有物种分布的样点进行重点保护，如山海大观样点(SHDG)和骡马岭水库样点(LMLSK)及周围生境。对珍稀保护物种进行定期调查，确保种群大小及其生境情况的稳定。

(2) 控制和减少人类活动对淡水生态系统的干扰，如合理规划旅游活动、限制过度捕捞和防止外来物种的引入。

(3) 加强对外来入侵物种的管控，如定期动员社区居民清除外来入侵物种以减慢其种群增长速度、持续监测和保护未被入侵的区域等。

(4) 采用传统方法和 eDNA 技术相结合的监测手段，定期评估生物多样性状况，及时发现和应对外来物种入侵和生境破坏问题。

(5) 开展公众教育和意识提升活动，提高公众对生物多样性保护的认知和参与度。通过这些措施，可以有效地保护梅沙地区的淡水生物多样性，促进生态系统的健康和可持续发展。

通过这些措施的实施，旨在促进梅沙地区生物多样性的保护，提升生态系统的自我修复能力、实现碳中和社区的可持续发展。

参考文献

- [1] 李延梅,牛栋,张志强 & 曲建升.(2009).国际生物多样性研究科学计划与热点述评.生态学报(04),2115-2123.
- [2] 井新, 蒋胜竞, 刘慧颖等. 气候变化与生物多样性之间的复杂关系和反馈机制[J]. 生物多样性, 2022, 30(10): 293-311.
- [3] WWF. (2020). Living Planet Report 2020 – bending the curve of biodiversity loss. Gland, Switzerland.
- [4] 冒建华, 孟婷婷, 薛晓飞等.“双碳”视域下的淡水生态系统修复与固碳增汇[J]. 甘肃农业, 2023(08): 1-5. DOI: 10.15979/j.cnki.cn62-1104/f.2023.08.021.
- [5] Lynch, A. J., Cooke, S. J., Arthington, A. H., *et al.* (2023). People need freshwater biodiversity. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, e1633.
- [6] Voeroesmart, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Liermann, C. R., & Davies, P. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467, 555-561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- [7] Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M. L., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- [8] Ahmed, S. F., Kumar, P. S., Kabir, M., *et al.* (2022). Threats, challenges and sustainable conservation strategies for freshwater biodiversity. *Environmental Research*, 214, 113808.
- [9] Farriols MT, Ordines F, Somerfield PJ, Pasqual C, Hidalgo M, Guijarro B, Massuti E (2017) Bottom trawl impacts on Mediterranean demersal fish diversity: Not so obvious or are we too late? *Continental Shelf Research*, 137, 84–102.
- [10]徐念, 熊美华, 邵科, 阙延福, 李键庸 (2020) 长江中下游环境 DNA 宏条形码生物多样性检测技术初步研究. 环境科学研究, 33, 1187–1196.

[11]沈梅, 肖能文, 卢林, 罗遵兰, 史娜娜, 孙光 (2022) 环境 DNA 检测鱼类的方法及应用. 水生态学杂志, 42, 133–141

[12]王萌, 金小伟, 林晓龙, 杜丽娜, 崔永德, 吴小平, 孙红英, 谢志才, 王新华, 王备新 (2021) 基于环境 DNA 宏条形码技术的底栖动物监测及水质评价研究进展. 生态学报, 41, 7440–7453.

[13]Meng, Y., Shan, Z., Qi, L., *et al.* (2022). Fishing for fish environmental DNA: Ecological applications, methodological considerations, surveying designs, and ways forward. *Molecular Ecology*, 31(20).

[14]Klymus, K. E., Marshall, N. T., & Stepien, C. A. (2017). Environmental DNA (eDNA) metabarcoding assays to detect invasive invertebrate species in the Great Lakes. *PLoS one*, 12(5), e0177643.

[15]Shaw, J. L., Clarke, L. J., Wedderburn, S. D., Barnes, T. C., Weyrich, L. S., & Cooper, A. (2016). Comparison of environmental DNA metabarcoding and conventional fish survey methods in a river system. *Biological conservation*, 197, 131-138.

[16]Andruszkiewicz, E. A., Starks, H. A., Chavez, F. P., Sassoubre, L. M., Block, B. A., & Boehm, A. B. (2017). Biomonitoring of marine vertebrates in Monterey Bay using eDNA metabarcoding. *PLoS One*, 12(4), e0176343.

[17]Bernd, H., Lori, H. L., S. D. R., *et al.* (2016). Environmental DNA metabarcoding of lake fish communities reflects long-term data from established survey methods. *Molecular Ecology*, 25(13).

[18]Yuqing, W., Xunmeng, L., Xu, Z., *et al.* (2022). Assessment of Fish Diversity in the Ma'an Archipelago Special Protected Area Using Environmental DNA. *Biology*, 11(12).

[19]Zhang, Y., Pavlovska, M., Stoica, E., Prekrasna, I., Yang, J. H., Slobodnik, J., Zhang, X. W., & Dykyi, E. (2020). Holistic pelagic biodiversity monitoring of the Black Sea via eDNA metabarcoding approach: From bacteria to marine mammals. *Environment International*, 135, 105307.

[20]Wanlu, H., Dongpo, X., Yidong, L., *et al.* (2022). Using eDNA to assess the fish diversity and spatial characteristics in the Changjiang River-Shijiu Lake connected system. *Ecological Indicators*, 139.

[21]Shigeki, O., Hideyuki, D., Takeshi, I., *et al.* (2022). Environmental DNA methods

for detecting two invasive alien species (American bullfrog and red swamp crayfish) in Japanese ponds. *Ecological Research*, 37(6).

[22]Danziger A M, Frederich M. (2022). Challenges in eDNA detection of the invasive European green crab, *Carcinus maenas*. *Biological Invasions*, 24(6): 1881-1894.

[23]Mä, E., Chler, Deiner, K., *et al.* (2014). Utility of Environmental DNA for Monitoring Rare and Indicator Macroinvertebrate Species. *Freshwater Science*, 33(4).

[24]Sigsgaard, E. E., Nielsen, I. B., Bach, S. S., Lorenzen, E. D., Robinson, D. P., Knudsen, S. W., Pedersen, M. W., Jaidah, M. A., Orlando, L., Willerslev, E., Moller, P. R., & Thomsen, P. F. (2017). Population characteristics of a large whale shark aggregation inferred from seawater environmental DNA. *Nature Ecology & Evolution*, 1, 4.

[25]Nelson-Chorney, H. T., Davis, C. S., Poesch, M. S., Vinebrooke, R. D., Carli, C. M., & Taylor, M. K. (2019). Environmental DNA in lake sediment reveals biogeography of native genetic diversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17, 313–318.

[26]Wangensteen, O. S., Palacín, C., Guardiola, M., & Turon, X. (2018). DNA metabarcoding of littoral hard-bottom communities: high diversity and database gaps revealed by two molecular markers. *PeerJ*, 6, e4705. <https://doi.org/10.7717/peerj.4705>.

[27]Zafeiropoulos, H., Viet, H. Q., Vasileiadou, K., Potirakis, A., Arvanitidis, C., Topalis, P., Pavloudi, C., & Pafilis, E. (2020). PEMA: a flexible Pipeline for Environmental DNA Metabarcoding Analysis of the 16S/18S ribosomal RNA, ITS, and COI marker genes. *GigaScience*, 9(3), g1aa022. <https://doi.org/10.1093/gigascience/g1aa022>

[28]Lande, R. (1996). Statistics and Partitioning of Species Diversity, and Similarity among Multiple Communities. *Oikos*, 76(1), 5–13. <https://doi.org/10.2307/3545743>

[29]李晗溪, 黄雪娜, 战爱斌, 等 . 基于环境 DNA-宏条形码技术的水生生态系统入侵生物的早期监测与预警[J]. *生物多样性*, 2019, 27 (5) : 491 -504. LI H X, HUANG X N, ZHAN A B, *et al.* Environ-mental DNA (eDNA) - metabarcoding based early monitoring and warning for invasive species in aquatic ecosystems[J]. *Biodiversity*, 2019, 27 (5) : 491-504.

附录 A 所用引物名称及序列

引物名称	引物序列 (5'-3')
COI	
mlCOIintF-A	TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACAGGGWACWGGWTGAACWGTWTA YCCYCC
jgHCO2198-B	GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGACAGTANACYTCNGGRTGNCCRAAR AAYCA
Tn5	
N701	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATtgccttaGTCTCGTGGGCTCGG
N702	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATtctagtagGTCTCGTGGGCTCGG
N703	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATtctgctGTCTCGTGGGCTCGG
N704	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATgctcaggaGTCTCGTGGGCTCGG
N705	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATaggagtcGTCTCGTGGGCTCGG
N706	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATcatgctaGTCTCGTGGGCTCGG
N707	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATgtagagagGTCTCGTGGGCTCGG
N711	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATtgcctttGTCTCGTGGGCTCGG
N712	CAAGCAGAAGACGGCATAACGAGATtctctacGTCTCGTGGGCTCGG
S502	AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACACtctctatTCGTCGGCAGCGTC
S503	AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACACtctctctTCGTCGGCAGCGTC
S505	AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACACgtaaggagTCGTCGGCAGCGTC
S506	AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACACactgeataTCGTCGGCAGCGTC
S507	AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACACaaggagtaTCGTCGGCAGCGTC
S510	AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACACegtctaatTCGTCGGCAGCGTC
S511	AATGATACGGCGACCACCGAGATCTACACtctctcgtTCGTCGGCAGCGTC

附录 B eDNA 方法调查侦测到的物种详细信息

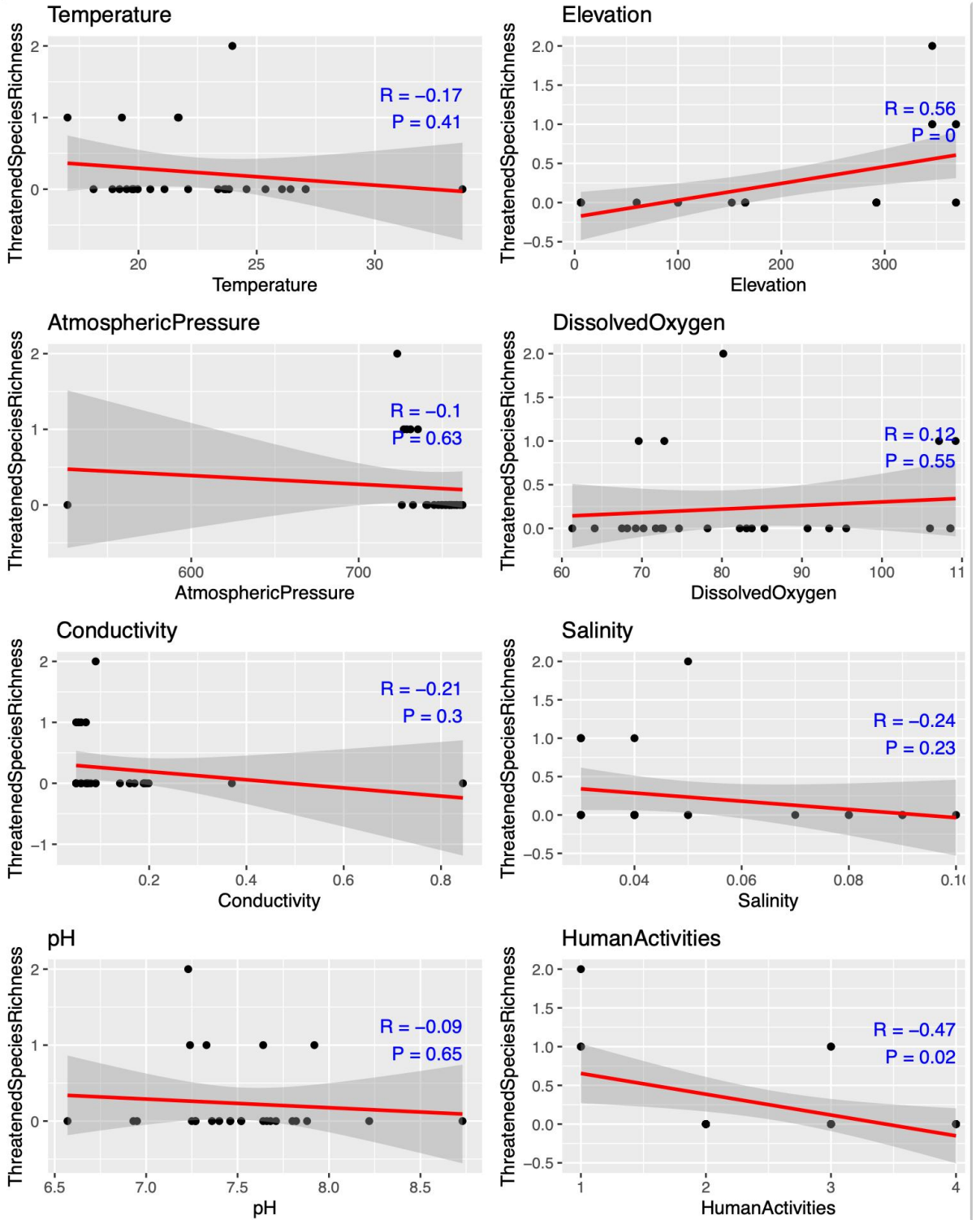
样点名称	采样时间	目	科	物种名		扩增子数量		
山海大观 (SHDG)	4 月	Anabantiformes	Ospchronemidae	<i>Macropodus opercularis</i>	叉尾斗鱼	46		
		Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Acrossocheilus hemispinus</i>	半刺光唇鱼	122		
		Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Carassius gibelio</i>	松浦银鲫	59		
		Cypriniformes	Gobionidae	<i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i>	黑鳍鲈	68		
		Cypriniformes	Xenocyprididae	<i>Parazacco spilurus</i>	异鱾	125		
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius similis</i>	真吻虾虎鱼	30		
		Siluriformes	Siluridae	<i>Silurus soldatovi</i>	怀头鲶	106		
	6 月	Decapoda	Atyidae	<i>Caridina cantonensis</i>	广东米虾	53		
		Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	22		
		Cypriniformes	Xenocyprididae	<i>Hemiculterella wui</i>	伍氏半鲮	56		
		Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	食蚊鱼	35		
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Callogobius okinawae</i>	冲绳美姬鲈鱼	1410		
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Mahidolia mystacina</i>	帆鳍虾虎鱼	188		
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Parachaeturichthys polynema</i>	拟矛尾姬虎鱼	283		
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Scartelaos histophorus</i>	青弹涂鱼	11		
		9 月	Decapoda	Atyidae	<i>Caridina cantonensis</i>	广东米虾	174	
			Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium nipponense</i>	日本沼虾	25	
	Decapoda		Varunidae	<i>Eriocheir hepuensis</i>	合浦绒螯蟹	51		
	Cichliformes		Cichlidae	<i>Stomatepia pindu</i>	平德大口非鲫	26		
	Cypriniformes		Gobionidae	<i>Belligobio nummifer</i>	似鲮	51		
	Cypriniformes		Xenocyprididae	<i>Zacco platypus</i>	宽鳍鱈	14		
	12 月		Decapoda	Atyidae	<i>Caridina cantonensis</i>	广东米虾	72	
		Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	32		
		Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon macau</i>	澳门南海溪蟹	12		
		Decapoda	Varunidae	<i>Eriocheir hepuensis</i>	合浦绒螯蟹	10		
		Cypriniformes	Nemacheilidae	<i>Schistura callichromus</i>	美斑南鳅	538		
		会计进修学院上游 (KJXY)	4 月	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium formosense</i>	台湾沼虾	3275
				Cypriniformes	Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	泥鳅	1225
	Cypriniformes			Cobitidae	<i>Misgurnus bipartitus</i>	北方泥鳅	100	
	Cypriniformes			Cobitidae	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	大鳞副泥鳅	56	
	Cypriniformes			Cyprinidae	<i>Acrossocheilus parallens</i>	侧条厚唇鱼	235	
	4 月		Cypriniformes	Xenocyprididae	<i>Parazacco spilurus</i>	异鱾	197	
Gobiiformes			Gobiidae	<i>Rhinogobius similis</i>	真吻虾虎鱼	1018		
6 月			Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	71	
	Cypriniformes		Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	泥鳅	505		
	Gobiiformes		Gobiidae	<i>Callogobius okinawae</i>	冲绳美姬鲈鱼	222		
Gobiiformes	Gobiidae		<i>Mahidolia mystacina</i>	帆鳍虾虎鱼	574			
	9 月		Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium inflatum</i>	胖掌沼虾	13	
			Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium laevis</i>	光滑沼虾	16	
Decapoda			Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	55		
Cichliformes	Cichlidae		<i>Oreochromis niloticus</i>	尼罗口孵非鲫	65			
Cypriniformes	Cobitidae		<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	泥鳅	73			
Cypriniformes	Tanichthyidae		<i>Tanichthys albonubes</i>	白云山波鱼	11			
Cypriniformes	Xenocyprididae		<i>Ctenopharyngodon idella</i>	草鱼	12			
Perciformes	Platycephalidae		<i>Inegocia japonica</i>	日本瞳鲈	20			
Siluriformes	Siluridae		<i>Silurus soldatovi</i>	怀头鲶	53			
Acanthuriformes	Sciaenidae		<i>Pennahia anea</i>	截尾白姑鱼	49			
Acanthuriformes	Sciaenidae		<i>Pennahia argentata</i>	银彭纳石首鱼	183			
12 月	Decapoda		Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	78		
	Decapoda		Varunidae	<i>Eriocheir hepuensis</i>	合浦绒螯蟹	23		
	Cichliformes		Cichlidae	<i>Coptodon zillii</i>	齐氏罗非鱼	72		

样点名称	采样时间	目	科	物种名	扩增子数量		
		Cichliformes	Cichlidae	<i>Oreochromis aureus x Oreochromis niloticus</i>	雜交口孵非鲫	21	
		Cypriniformes	Cobitidae	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	泥鰍	147	
		Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Cyprinus rubrofuscus</i>	红褐鲤	11	
		Cypriniformes	Nemacheilidae	<i>Schistura callichromus</i>	美斑南鰍	495	
		Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	食蚊鱼	35	
自然灾害水库 (ZRZHSK)	4月	Decapoda	Atyidae	<i>Caridina cf. serrata</i>	锯齿米虾近似种	34	
		Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium hainanense</i>	海南沼虾	109	
		Cichliformes	Cichlidae	<i>Coptodon zillii</i>	齐氏罗非鱼	38	
		Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Carassius gibelio</i>	松浦银鲫	17	
		Cypriniformes	Xenocyprididae	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	鲢鱼	58	
	6月	Decapoda	Atyidae	<i>Caridina zhongshanica</i>	中山米虾	22	
		Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium formosense</i>	台湾沼虾	16	
		Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	117	
		Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	食蚊鱼	147	
		9月	Decapoda	Atyidae	<i>Caridina cantonensis</i>	广东米虾	18
	12月	Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	食蚊鱼	637	
		Decapoda	Atyidae	<i>Caridina cantonensis</i>	广东米虾	50	
		Cypriniformes	Nemacheilidae	<i>Schistura callichromus</i>	美斑南鰍	172	
Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	食蚊鱼	35			
梅沙内湖 (MSNH)	4月	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium nipponense</i>	日本沼虾	85	
		Anabantiformes	Channidae	<i>Channa maculata</i>	月鳢	10	
	Centrarchiformes	Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i>	大口黑鲈	11		
	Cichliformes	Cichlidae	<i>Coptodon zillii</i>	齐氏罗非鱼	309		
	Cichliformes	Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i>	尼罗口孵非鲫	52		
	Cypriniformes	Cobitidae	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	大鳞副泥鰍	18		
	Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius similis</i>	真吻虾虎鱼	230		
	Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius virgigena</i>	纹颊吻鰕虎	296		
	Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil platanus</i>	机鲮	172		
	Siluriformes	Siluridae	<i>Silurus soldatovi</i>	怀头鲶	12		
	6月	Cichliformes	Cichlidae	<i>Coptodon zillii</i>	齐氏罗非鱼	15	
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius similis</i>	真吻虾虎鱼	51	
	9月	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium inflatum</i>	胖掌沼虾	26	
		Centrarchiformes	Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i>	大口黑鲈	509	
		Cichliformes	Cichlidae	<i>Oreochromis mossambicus x niloticus</i>	雜交口孵非鲫	87	
		Cypriniformes	Tanichthyidae	<i>Tanichthys albonubes</i>	白云山波鱼	20	
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius similis</i>	真吻虾虎鱼	365	
		Mugiliformes	Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	鲮鱼	28	
		12月	Centrarchiformes	Centrarchidae	<i>Micropterus salmoides</i>	大口黑鲈	20
		Cichliformes	Cichlidae	<i>Amatitlania nigrofasciata</i>	黑带娇丽鱼	14	
Cichliformes		Cichlidae	<i>Oreochromis mossambicus x niloticus</i>	雜交口孵非鲫	15		
溯溪点1 (SX1)	4月	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium hainanense</i>	海南沼虾	18	
		Cypriniformes	Cobitidae	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	大鳞副泥鰍	93	
		Cypriniformes	Nemacheilidae	<i>Schistura fasciolata</i>	横纹南鰍	1174	
	6月	Cypriniformes	Xenocyprididae	<i>Parazacco spilurus</i>	异鰕	1826	
		Decapoda	Atyidae	<i>Caridina zhongshanica</i>	中山米虾	96	
		Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium formosense</i>	台湾沼虾	160	
	6月	Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	97	
		Anguilliformes	Anguillidae	<i>Anguilla marmorata</i>	花鳗鲡	137	
		Cichliformes	Cichlidae	<i>Coptodon zillii</i>	齐氏罗非鱼	88	
		Cypriniformes	Cyprinidae	<i>Acrossocheilus parallens</i>	侧条厚唇鱼	57	
		Cypriniformes	Gobionidae	<i>Pseudorasbora parva</i>	麦穗鱼	184	
		Cypriniformes	Nemacheilidae	<i>Schistura macrocephalus</i>	大头南鰍	15	
Cypriniformes	Xenocyprididae	<i>Hemiculterella wui</i>	伍氏半鲮	49			

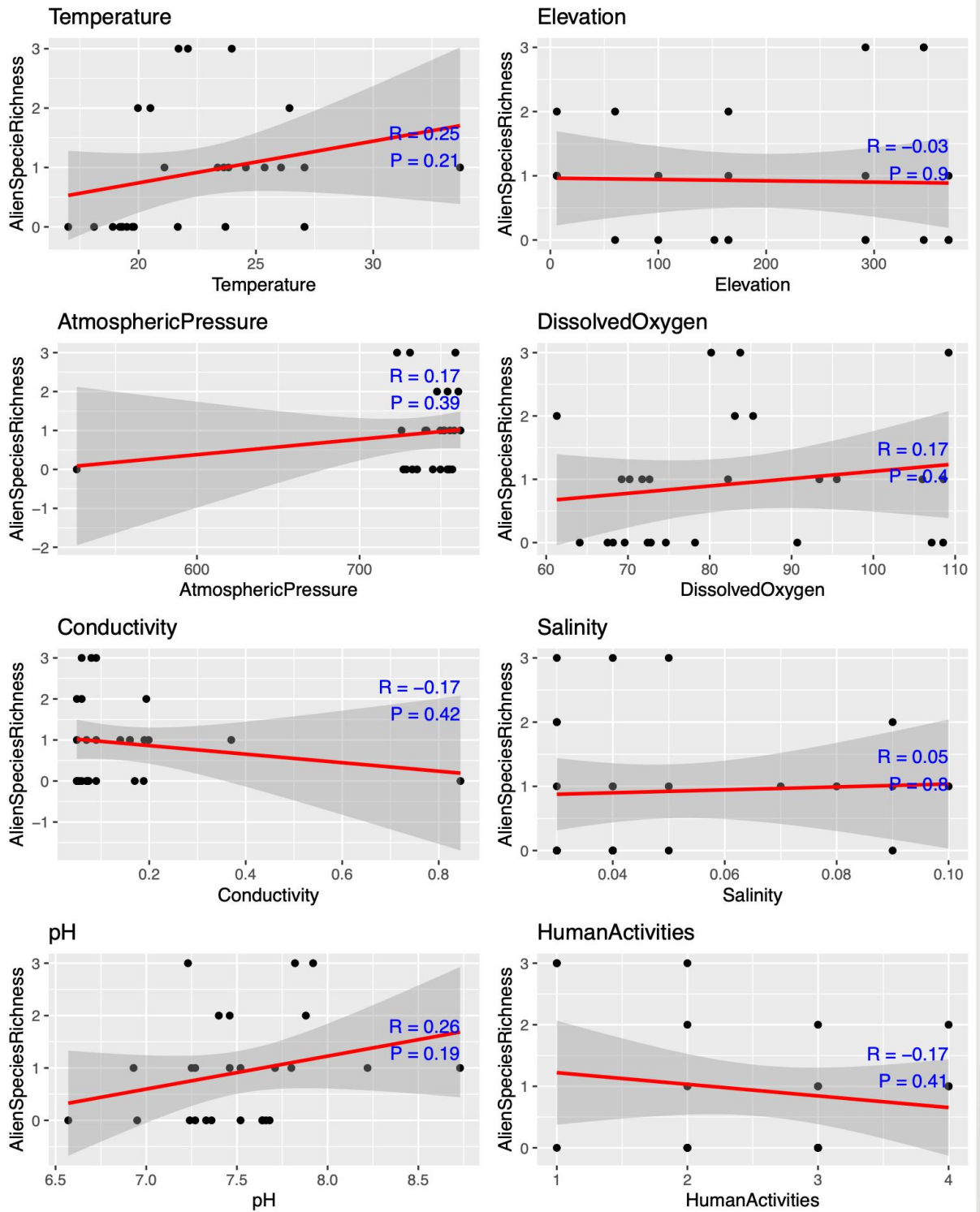
样点名称	采样时间	目	科	物种名	扩增子数量	
溯溪点 2 (SX2)	4 月	Decapoda	Varunidae	<i>Eriocheir hepuensis</i>	合浦绒螯蟹	11
		Cichliiformes	Cichlidae	<i>Oreochromis aureus x Oreochromis niloticus</i>	杂交口孵非鲫	11
		Cypriniiformes	Gobionidae	<i>Belligobio nummifer</i>	似鲃	13
叠翠湖水库上游 (DCHSK)	4 月	Decapoda	Atyidae	<i>Caridina elongapoda</i>	长肢米虾	140
		Decapoda	Varunidae	<i>Eriocheir hepuensis</i>	合浦绒螯蟹	281
		Anguilliformes	Anguillidae	<i>Anguilla marmorata</i>	花鳗鲡	96
		Cypriniiformes	Cyprinidae	<i>Carassius gibelio</i>	松浦银鲫	207
		Cypriniiformes	Gastromyzontidae	<i>Pseudogastromyzon changtingensis</i>	东陂拟腹吸鳅	15
		Cypriniiformes	Nemacheilidae	<i>Schistura fasciolata</i>	横纹南鳅	1144
	6 月	Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius virgigena</i>	纹颊吻鰕虎	2029
		Decapoda	Atyidae	<i>Caridina cantonensis</i>	广东米虾	756
		Decapoda	Atyidae	<i>Caridina zhongshanica</i>	中山米虾	30
		Anabantiformes	Osphronemidae	<i>Macropodus opercularis</i>	叉尾斗鱼	153
		Cichliiformes	Cichlidae	<i>Coptodon zillii</i>	齐氏罗非鱼	90
		Cypriniiformes	Tanichthyidae	<i>Tanichthys albonubes</i>	白云山波鱼	68
	9 月	Gobiiformes	Gobiidae	<i>Mahidolia mystacina</i>	帆鳍虾虎鱼	88
		Decapoda	Atyidae	<i>Caridina cantonensis</i>	广东米虾	10
		Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium nipponense</i>	日本沼虾	120
		Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	22
		Anabantiformes	Channidae	<i>Channa maculata</i>	月鳢	12
		Cypriniiformes	Nemacheilidae	<i>Schistura fasciolata</i>	横纹南鳅	49
	12 月	Cypriniiformes	Xenocypridae	<i>Parazacco spilurus</i>	异鳊	53
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius duospilus</i>	溪吻虾虎鱼	46
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius similis</i>	真吻虾虎鱼	283
		Decapoda	Atyidae	<i>Neocaridina palmata</i>	掌肢新米虾	24
		Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium formosense</i>	台湾沼虾	12
		Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	14
	12 月	Cichliiformes	Cichlidae	<i>Coptodon zillii</i>	齐氏罗非鱼	30
		Cypriniiformes	Xenocypridae	<i>Parazacco spilurus</i>	异鳊	258
		Cypriniiformes	Nemacheilidae	<i>Schistura callichromus</i>	美斑南鳅	199
		Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	食蚊鱼	12
		Gobiiformes	Gobiidae	<i>Rhinogobius similis</i>	真吻虾虎鱼	17
		驷马岭水库上游 (LMLSK)	6 月	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium inflatum</i>
Decapoda	Parathelphusidae			<i>Somanniathelphusa zanklon</i>	镰刀束腰蟹	300
Decapoda	Potamidae			<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹	102
Decapoda	Potamidae			<i>Sinolapotamon anacoluthon</i>	鳃刺华石蟹	318
9 月	Cichliiformes		Cichlidae	<i>Coptodon zillii</i>	齐氏罗非鱼	1196
	Cypriniiformes		Cyprinidae	<i>Acrossocheilus hemispinus</i>	半刺光唇鱼	167
	Cypriniiformes		Cyprinidae	<i>Barbodes semifasciolatus</i>	条纹小鲃	111
	Cypriniiformes		Cyprinidae	<i>Carassius gibelio</i>	松浦银鲫	180
	Cypriniiformes		Gobionidae	<i>Belligobio nummifer</i>	似鲃	92
	Cypriniiformes		Gobionidae	<i>Pseudorasbora parva</i>	麦穗鱼	237
	Cypriniiformes		Gobionidae	<i>Squalidus wolterstorffi</i>	点纹银鮡	16
	Cypriniiformes		Tanichthyidae	<i>Tanichthys albonubes</i>	白云山波鱼	4298
	Cypriniiformes		Xenocypridae	<i>Aphyocypris normalis</i>	拟细鲫	179
	Cyprinodontiformes		Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	食蚊鱼	57
	Gobiiformes		Gobiidae	<i>Callogobius okinawae</i>	冲绳美鰕鳅鱼	152
	Gobiiformes		Gobiidae	<i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	克氏鰕虎	33
	Gobiiformes		Gobiidae	<i>Rhinogobius duospilus</i>	溪吻虾虎鱼	131
	Gobiiformes		Gobiidae	<i>Rhinogobius maxillivirgatus</i>	条纹吻鰕虎	437
	Gobiiformes		Gobiidae	<i>Rhinogobius similis</i>	真吻虾虎鱼	167
	9 月		Decapoda	Potamidae	<i>Nanhaipotamon aureomarginatum</i>	金边南海溪蟹
Decapoda			Potamidae	<i>Sinolapotamon anacoluthon</i>	鳃刺华石蟹	51

样点名称	采样时间	目	科	物种名		扩增子数量
		Cichliformes	Cichlidae	<i>Oreochromis andersonii</i>	黄边口孵非鲫	17
		Cichliformes	Cichlidae	<i>Oreochromis niloticus</i>	尼罗口孵非鲫	29
		Cypriniformes	Cobitidae	<i>Paramisgurnus dabryanus</i>	大鳞副泥鳅	65
		Cypriniformes	Tanichthyidae	<i>Tanichthys albonubes</i>	白云山波鱼	219
		Cypriniformes	Xenocypridae	<i>Aphyocypris normalis</i>	拟细鲫	79
		Cyprinodontiformes	Poeciliidae	<i>Gambusia affinis</i>	食蚊鱼	20
		Siluriformes	Siluridae	<i>Silurus soldatovi</i>	怀头鲶	24
	12月	Decapoda	Palaemonidae	<i>Macrobrachium formosense</i>	台湾沼虾	74
		Decapoda	Potamidae	<i>Sinopotamon anacoluthon</i>	鳃刺华石蟹	157
		Cypriniformes	Nemacheilidae	<i>Schistura callichromus</i>	美斑南鳅	846
		Cypriniformes	Tanichthyidae	<i>Tanichthys albonubes</i>	白云山波鱼	90
		Cypriniformes	Xenocypridae	<i>Aphyocypris normalis</i>	拟细鲫	44

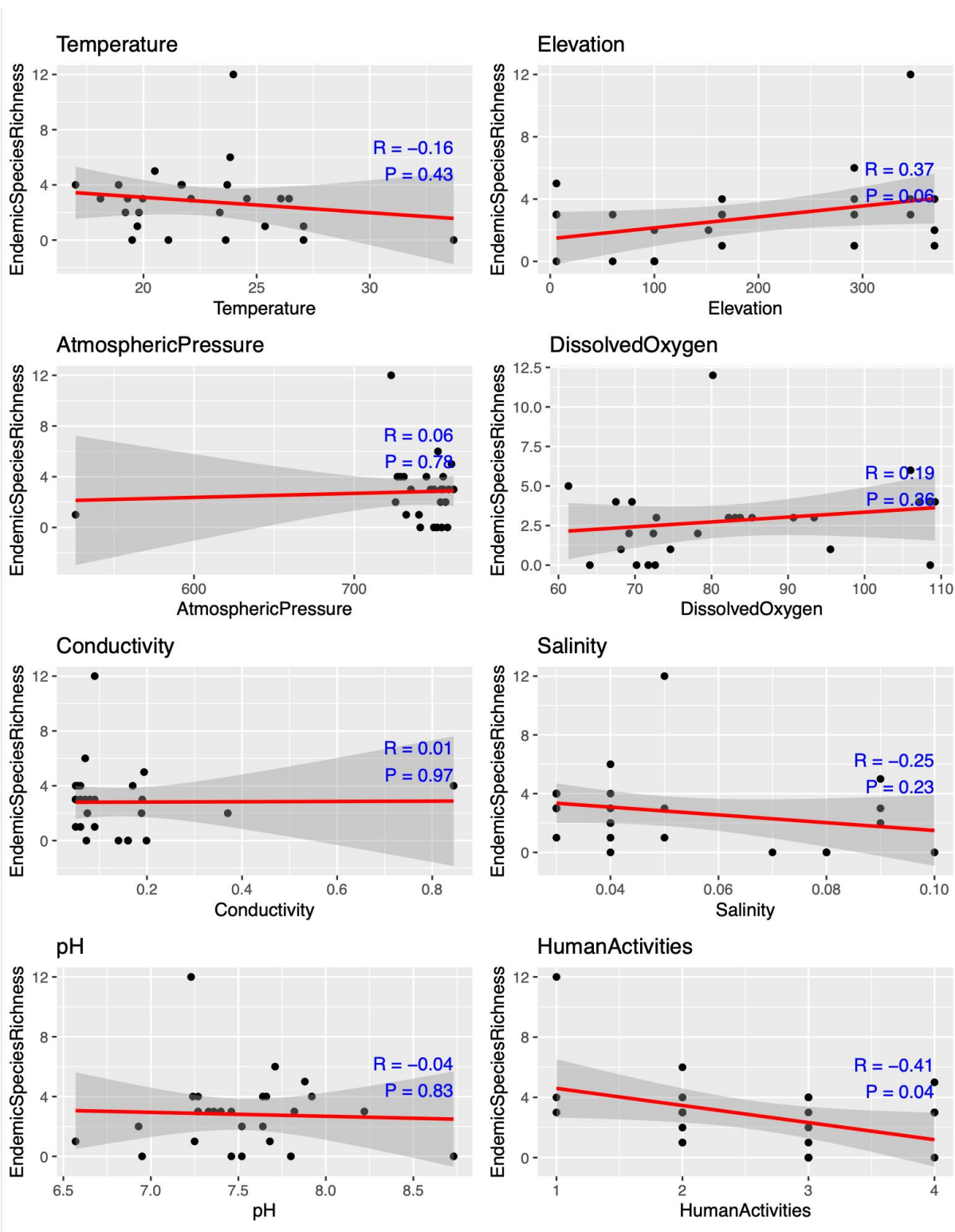
附录 C 环境因子与受威胁物种丰富度之间相关性分析



附录 D 环境因子与外来入侵物种丰富度之间相关性分析



附录 E 环境因子与特有物种丰富度之间相关性分析



附录 F 基于传统和 eDNA 检测发现的重点物种名录

目	科	物种名	拉丁名	备注
珍稀物种				
十足目	束腰蟹科	镰刀束腰蟹	<i>Somanniathelphusa zanklon</i>	IUCN 红色名录: 濒危
十足目	溪蟹科	鳃刺隐溪蟹	<i>Cryptopotamon anacoluthon</i>	IUCN 红色名录: 易危
鲤形目	鲤科	唐鱼	<i>Tanichthys albonubes</i>	国家 二级保护 动物
特有种				
十足目	匙指虾科	锯缘米虾	<i>Caridina cf. serrata</i>	IUCN 红色名录: 近危
十足目	匙指虾科	中山米虾	<i>Caridina aff. zhongshanensis</i>	
十足目	束腰蟹科	镰刀束腰蟹	<i>Somanniathelphusa zanklon</i>	IUCN 红色名录: 濒危
十足目	溪蟹科	香港南海溪蟹	<i>Nanhaipotamon hongkongense</i>	
十足目	溪蟹科	澳门南海溪蟹	<i>Nanhaipotamon macau</i>	
鲤形目	鳅科	北方泥鳅	<i>Misgurnus bipartitus</i>	
鲤形目	鲤科	半刺光唇鱼	<i>Acrossocheilus hemispinus</i>	
鲤形目	鲤科	侧条厚唇鱼	<i>Acrossocheilus parallens</i>	
鲤形目	鲤科	似鲮	<i>Belligobio nummifer</i>	
鲤形目	鲤科	伍氏半鲮	<i>Hemiculterella wui</i>	
鲤形目	虾虎鱼科	颌带吻虾虎	<i>Rhinogobius maxillivirgatus</i>	
入侵物种				
鲤形目	鲤科	麦穗鱼	<i>Pseudorasbora parva</i>	
鲮形目	胎鲮科	食蚊鱼	<i>Gambusia affinis</i>	
鲈形目	慈鲷科	齐氏非鲫	<i>Coptodon zillii</i>	
鲈形目	慈鲷科	尼罗罗非鱼	<i>Oreochromis niloticus</i>	
鲈形目	慈鲷科	九间始丽鱼	<i>Amatitlania nigrofasciata</i>	
鲈形目	慈鲷科	莫桑比克罗非鱼	<i>Oreochromis mossambicus</i>	
鲈形目	鲈科	大口黑鲈	<i>Micropterus salmoides</i>	

附录 G 调查照片



日本沼虾 *Macrobrachium nipponense*



子陵吻虾虎 *Rhinogobius giurinus*



拟平鳅 *Liniparhomaloptera disparis*



横纹南鳅 *Schistura fasciolatus*



食蚊鱼 *Gambusia affinis*



唐鱼 *Tanichthys albonubes*

三、两栖爬行动物本底调查

参与人员组成及分工

姓名	职称	分工
廖之锴	科研助理	野外调查、素材拍摄
朱永亨		野外调查、素材拍摄
黎天澍		野外调查、素材拍摄
沈阅文		野外调查、素材拍摄
梁羽		野外调查
钟敏毅		野外调查
叶智钊		野外调查
黄名海		报告撰写

目 录

第一章 绪论.....	155
1.1 专题背景和意义.....	155
第二章 两栖动物调查方法.....	156
2.1 导则和规范依据.....	156
2.2 调查技术和分析方法.....	157
2.2.1 调查方法.....	157
2.2.2 调查时间与频次.....	158
第三章 两栖动物调查结果分析.....	158
3.1 调查区域两栖类群落特征.....	158
3.1.1 两栖类物种组成特征.....	158
3.1.2 珍稀保护物种.....	160
3.1.3 濒危受胁物种.....	160
3.1.4 特有种.....	160
3.1.5 生态类型和优势种.....	160
3.1.6 外来入侵情况.....	161
第四章 人类活动对两栖类影响.....	161
第五章 两栖类主要结论.....	162
第六章 两栖类保护与管理建议.....	163
6.1 开展长期常态化监测.....	163
6.2 减少对两栖动物人为干扰.....	164
6.3 开展社区宣传.....	164
6.4 保护山溪生态.....	164
第七章 爬行动物调查方法.....	165
7.1 导则和规范依据.....	165
7.2 调查技术和分析方法.....	166
7.2.1 调查评估方法.....	166
第八章 爬行动物调查结果分析.....	167
8.1 调查区域爬行类群落特征.....	167
8.1.1 爬行类物种组成特征.....	167
8.1.2 保护物种.....	169
8.1.3 濒危受胁物种.....	169
8.1.4 外来入侵情况.....	170
第九章 人类活动对爬行类影响.....	170
第十章 爬行类主要结论.....	171
第十一章 爬行类保护与管理建议.....	171
11.1 开展长期常态化监测.....	171
11.2 采取措施降低爬行动物路杀率.....	172
11.3 增加社区宣传.....	172
附录.....	173

第一章 绪论

1.1 专题背景和意义

党的十八大以来，党中央高度重视生态文明建设，先后出台了一系列重大决策部署，推动生态文明建设取得了重大进展和积极成效。2020年9月，我国在第七十五届联合国大会上明确提出2030年“碳达峰”与2060年“碳中和”目标。2021年，中共中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，将碳达峰碳中和纳入经济社会发展和生态文明建设整体布局。这意味着我国发展政策重心已正式转向绿色、环保、低碳的“双碳”时代。2021年，大梅沙社区正式入选深圳市首批近零碳排放试点社区之一，这标志着梅沙街道正式进入“双碳时代”，成为国家双碳战略背景下碳中和社区的重要实践组成部分。

盐田区梅沙街道是深圳市生物多样性保护的重点区域之一，具有丰富的自然资源、多样化的生态环境与重要的地理位置，其周边包括上坪水库、叠翠湖水库、三洲田水库等水库保护区，以及小三洲绿道和马峦山郊野公园等重要生态区。梅沙街道辖区内森林总面积1273.2公顷，覆盖率达69.98%，湿地总面积也达到76.27公顷。当地完整性较高的生态系统为各类动物种群提供了生存和繁殖必须的生境与资源，是大量动物类群的重要栖息地。大梅沙社区作为深圳市首批近零碳排放试点社区之一，在当地开展生物本底调查，对深圳市其他地区的减碳与生态保护有着示范作用。

两栖爬行动物是梅沙社区动物类群的重要组成部分。长期以来，两栖爬行动物的生存受到人类活动的严重威胁，两栖类动物和爬行类动物都是IUCN受胁物种比例最高的类群，环境开发所造成的栖息地破坏和污染是两爬动物受威胁的主要因素。梅沙社区是深圳两爬动物的重要栖息地，拥有山地、森林、山溪、湿地等多样的生境，为两爬动物提供了良好的生存环境。通过在梅沙社区进行两爬动物调查，能够更好地了解当地两爬动物的组成及生存状况，为进一步开展两爬动物的保护工作提供基础；同时，两栖爬行动物的调查数据也为公民科普的开展提供理论依据和素材支撑，后续有针对性地开展此类宣教科普有助于公众消除对两

栖爬行动物的偏见认知和恐惧、减少错误放生对两爬类动物的环境产生的威胁等。

第二章 两栖动物调查方法

2.1 导则和规范依据

(1) 调查标准：梅沙两栖爬行类野外调查依照下列标准执行：《中华人民共和国国家环境保护标准 HJ 710.6—2014. 生物多样性观测技术导则 两栖动物》和《中华人民共和国国家环境保护标准 HJ 710.5—2014. 生物多样性观测技术导则 爬行动物》（环境保护部，2014）。

(2) 物种鉴定依据：《中国动物志》（费梁等 2006, 2009a, b）、《中国两栖动物及其分布彩色图谱》（费梁等，2012）。并采取多种凭证方式进行记录，如照片凭证、录音凭证、标本凭证等。

(3) 分类系统：两栖类分类系统依据中国两栖类（<http://www.amphibiachina.org/>）、美国自然历史博物馆的世界两栖类（<https://amphibiansoftheworld.amnh.org/>）和王凯等（2020）

(4) 保护等级：中国国家级重点保护野生动物（China Key List, CKL）：国家林业和草原局, 农业农村部. 2021. 国家重点保护野生动物名录. 国家林业和草原局 农业农村部公告 2021 年第 3 号（发布日期：2021 年 2 月 1 日）。

CITES 公约（2019）：CITES 公约全称为 Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora，中文为《濒危野生动植物种国际贸易公约》。分为附录 I、附录 II 和附录 III 收录物种（文中分别以 I、II、III 表示）。附录 I 收录物种包括所有受到和可能受到贸易影响而有灭绝危险的物种，这些物种标本的贸易必须在特殊条件下经过允许才能进行，在保护等级上等同于国家一级重点保护野生动物；附录 II 收录物种包括所有目前虽未濒临灭绝，但如对其贸易不严加管理，以防止不利其生存的利用，就可能变成有灭绝危险的物种，在保护等级上等同于国家二级重点保护野生动物；附录 III 包括成员国认为属其管

辖范围内，应该进行管理以防止或限制开发利用，而需要其他成员国合作控制的物种（CITES，2019）。

（5）濒危受胁物种认定：IUCN 受胁等级：IUCN 全称为 International Union for Conservation of Nature，即世界自然保护联盟。IUCN 所制定物种红色名录（IUCN Red List of threatened species）是全球尺度下对物种珍稀濒危程度加以分级评估。其根据物种分布面积和占有面积、种群受胁状况等标准，划分了多个等级，包括野外灭绝（EW）、极危（CR）、濒危（EN）、易危（VU）、近危（NT）和无危（LC）等，其中，极危、濒危和易危被认定为受胁物种。

《中国物种红色名录》（蒋志刚等，2016）和《IUCN Red List》（IUCN，2022），其濒危等级认定均依据 IUCN 的评估标准。

2.2 调查技术和分析方法

2.2.1 调查方法

两栖动物的调查主要在夜间进行，调查时间为夜间 19:00–24:00。

调查采用典型生境样线法。在生态区内选取溯溪样线进行两栖爬行动物的调查（图 1）。调查员以 2 人为一组，沿样线行进，速度为 1 km/h，记录物种名称和个体数量，记录主要生境信息及受胁因素，并拍摄一定数量的生态照片。

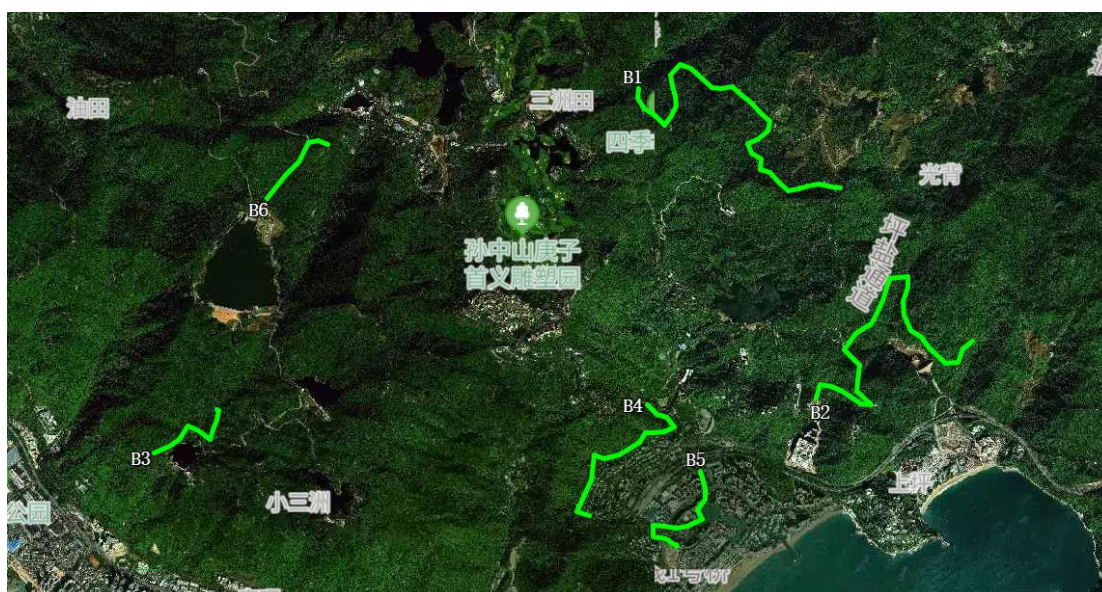


图 1 两栖爬行类样线布设分布图

2.2.2 调查时间与频次

于 2023 年 5 月~11 月之间完成了 6 次两栖爬行类调查。

第三章 两栖动物调查结果分析

3.1 调查区域两栖类群落特征

3.1.1 两栖类物种组成特征

本次调查共记录两栖动物 2 目 8 科 14 种（表 1）。

记录有尾目 Caudata 1 科 1 种，即蝶螈科 Salamandridae 的香港瘰螈 *Paramesotriton hongkongensis*。

记录无尾目 Anura 6 科 12 种：（1）角蟾科 Megophryidae 1 属 1 种，即短肢角蟾 *Megophrys brachykolos*；（2）蟾蜍科 Bufonidae 1 属 1 种，即黑眶蟾蜍 *Duttaphrynus melanostictus*；（3）姬蛙科 Microhylidae 2 属 3 种，即花狭口蛙 *Kaloula pulchra*、饰纹姬蛙 *Microhyla fissipes* 和花姬蛙 *Microhyla pulchra*；（4）叉舌蛙科 Dicroglossidae 3 属 3 种，即泽陆蛙 *Fejervarya multistriata*、虎纹蛙 *Hoplobatrachus chinensis* 和小棘蛙 *Quasipaa exilispinosa*；（5）蛙科 Ranidae 3 属 3 种，即沼水蛙 *Sylvirana guentheri*、大绿臭蛙 *Odorrana graminea* 和台北纤蛙 *Hylarana taipehensis*；（6）树蛙科 Rhacophoridae 1 属 1 种，即斑腿泛树蛙 *Polypedates megacephalus*。

记录外来物种 1 种，即卵齿蟾科 Eleutherodactylidae 的温室蟾 *Eleutherodactylus planirostris*。

表 1 梅沙社区两栖动物调查样线的物种组成

目、科、属、种	国家重点保护等级	中国物种红色名录	ICUN红色名录	中国特有种	CITES附录
I 有尾目 Urodela					
1 蝾 螈 科 Salamandridae					
1) 香港瘰螈 <i>Paramesotriton hongkongensis</i>	II级	NT	NT	是	II
II 无尾目 Anura					
2 蟾 蜍 科 Bufonidae					
2) 黑眶蟾蜍 <i>Duttaphrynus melanostictus</i>		LC	LC		
3 角 蟾 科 Megophryidae					
3) 短肢角蟾 <i>Boulenophrys brachykolos</i>			EN	是	
4 姬 蛙 科 Microhylidae					
4) 花狭口蛙 <i>Kaloula pulchra</i>		LC	LC		
5) 饰纹姬蛙 <i>Microhyla fissipes</i>		LC	LC		
6) 花姬蛙 <i>Microhyla pulchra</i>		LC	LC		
5 叉 舌 蛙 科 Dicroglossidae					
7) 泽陆蛙 <i>Fejervarya multistriata</i>		LC	DD		
8) 虎纹蛙 <i>Hoplobatrachus cf. chinensis</i>	II级	EN	NE		
9) 小棘蛙 <i>Quasipaa exilispinosa</i>		VU	LC	是	
6 蛙 科 Ranidae					
10) 沼水蛙 <i>Hylarana guentheri</i>		LC	LC		
11) 大绿臭蛙 <i>Odorrana graminea</i>		LC	DD		
12) 台北纤蛙 <i>Hylarana taipehensis</i>		NT	LC		
7 树 蛙 科 Rhacophoridae					
13) 斑腿泛树蛙 <i>Polypedates megacephalus</i>		LC	LC		
外来种					

目、科、属、种	国家重点保护等级	中国物种红色名录	ICUN红色名录	中国特有种	CITES附录
温室蟾 <i>Eleutherodactylus planirostris</i>					

3.1.2 珍稀保护物种

国家级重点保护动物有 2 种，即蝾螈科的香港瘰螈和叉舌蛙科的虎纹蛙，为国家二级重点保护动物。

CITES 附录II物种：1 种，为香港瘰螈。

3.1.3 濒危受胁物种

IUCN 受胁等级：濒危（EN）物种 1 种，即角蟾科的短肢角蟾；近危（NT）物种 1 种，即蝾螈科的香港瘰螈。

中国生物多样性红色名录受胁物种：近危（NT）物种 2 种，即香港瘰螈和台北纤蛙；易危（VU）物种 1 种，即叉舌蛙科的小棘蛙；濒危（EN）物种 1 种，即叉舌蛙科的虎纹蛙。

3.1.4 特有种

调查记录中国特有种三种，分别是香港瘰螈、短肢角蟾和小棘蛙。

3.1.5 生态类型和优势种

依据栖息地环境类型和繁殖生态特点，梅沙社区内两栖动物有 5 种生态类型，分别为陆栖静水型（4 种）、水栖静水型（4 种）、树栖性（1 种）、山溪水栖型（3 种）、山溪陆栖型（1 种）。各种生态类型都有其优势物种。

（1）陆栖静水型：繁殖于静水环境，成体主要在陆地活动的两栖动物，包括蟾蜍科 1 种、姬蛙科 2 种、叉舌蛙科陆蛙属 1 种，即黑眶蟾蜍、饰纹姬蛙、花姬蛙、和泽陆蛙，共有 4 种。黑眶蟾蜍、泽陆蛙和饰纹姬蛙均为梅沙地区的常见

物种

(2) 水栖静水型：繁殖于静水环境，大部分时间都在水中栖息，包括蛙科的沼水蛙、台北纤蛙、姬蛙科的花狭口蛙和叉舌蛙科的虎纹蛙共 4 种。虎纹蛙和台北纤蛙较为罕见，花狭口蛙和沼水蛙是梅沙地区的常见物种。

(3) 树栖型：为树蛙科物种，只有 1 种，为树蛙科的斑腿泛树蛙，在梅沙地区为常见种。

(4) 山溪水栖型：于山溪中繁殖，成体栖息在山溪及其邻近区域，高度依赖山溪水环境。包括有尾目蝶螈科的香港瘰螈、蛙科的大绿臭蛙和叉舌蛙科的棘胸蛙，共计 3 种。该类型的物种分布都较为局限，大绿臭蛙为优势种。

(5) 山溪陆栖型：在山溪内繁殖，成体多在陆地活动，只有 1 种，为角蟾科的短肢角蟾均在小型山溪缓流处繁殖。它们有休眠习性，只在特定季节（春夏两季）出现。短肢角蟾在梅沙地区罕见。

3.1.6 外来入侵情况

温室蟾属于外来入侵物种。深圳的温室蟾入侵在 2017 年 7 月于深圳香蜜湖被首次报告发现，其后种群一直处于扩散趋势。本次调查小组在内湖湿地公园发现温室蟾，也是在梅沙地区的首次记录。目前尚不清楚梅沙地区温室蟾种群的来源和扩散途径，需要进一步的观察研究。

第四章 人类活动对两栖类影响

栖息地丧失和破碎化是影响两栖动物的主要威胁之一，城市化使大面积土地利用改变，自然栖息地被改造成住宅区和商业区以及复杂的城市道路系统的建设成为导致两栖类自然栖息地丧失以及破碎化的主要原因。两栖动物特殊的生理特征以及生活史使得它们对环境污染也极其敏感。经常生活和繁殖在受污染的环境，如承载城市径流的雨水湿地和喷洒了杀虫剂和施用了化肥的农业湿地，两栖动物的活动率、繁殖率、进食以及逃避捕食的能力降低。在重金属和高 N 含量的水环

境中，两栖动物的存活率很低。另外，外来物种通过竞争或捕食当地两栖动物从而对它们产生影响。

除此之外，现代社会发展导致的人为噪音、夜间人造光以及路杀对两栖动物的影响也越来越严重。

人为噪音会通过掩盖雌性对雄性声学信号的感知来干扰两栖动物的繁殖行为。夜间人造光会影响两栖动物的繁殖、生长、生理、活动等行为。而随着道路网络的增加，两栖动物的路杀率也在提高。

第五章 两栖类主要结论

本次梅沙地区两栖动物调查记录了原生物种 13 种，分属 2 目 7 科，约占深圳市本地两栖动物（23 种）的 56%，两栖动物种类较为丰富。

记录的物种中，有国家二级保护动物 2 种，香港瘰螈和虎纹蛙。IUCN 受胁物种 1 种，濒危（EN）等级的短肢角蟾。中国红色名录受胁物种 2 种，易危（VU）等级 1 种，为小棘蛙；濒危等级 1 种，为虎纹蛙。特有种 3 种，香港瘰螈、小棘蛙和短肢角蟾。

重要物种：

(1) 香港瘰螈 *Paramesotriton hongkongensis*。分布于香港、珠三角地区、粤西地区、浙江多地和福建南部。生活于海拔 120~850m 的山区流溪中，水流较缓。白天成螈多隐蔽在溪内深潭石下，常游到水面呼吸空气，暴雨过后经常上岸，行动缓慢；夜间外出活动，捕食螺类、昆虫、蚯蚓、蝌蚪、虾、卵和鱼等小动物，主要食物为螺类，雌雄繁殖季节的取食具有较大差异，雌性成体常吃同类的卵。7 月到次年的 3 月，该螈主要生活于小溪中，易于发现。该螈繁殖季节较长，但每个个体的平均繁殖时间约为 40~60 天。雌螈产卵约 120 粒，多黏附在水生植物茎叶上；受精卵至孵化约需 21~42 天，幼体约两个月可完成变态，3 年可达性成熟。

(2) 虎纹蛙 *Hoplobatrachus chinensis*。分布于华中、华南、华东和东南亚地区。生活于海拔 20~1120m 的山区、平原、丘陵地带的稻田、鱼塘、水坑和沟渠内。白天隐匿于水域岸边的洞穴内；夜间外出活动，跳跃能力很强，稍有响动即迅速跳入深水中。成蛙捕食各种昆虫，也捕食蝌蚪、小蛙及小鱼等。雄蛙鸣声如犬吠。在静水内繁殖，繁殖期 3 月下旬至 8 月中旬，5~6 月为产卵盛期，雌蛙每年可产卵 2 次以上，每次产卵 763~2030 粒。卵单粒至数十粒粘连成片，漂浮于水面。蝌蚪栖息于水塘底部。

梅沙地区的两栖动物生态类型多样，五种生态类型的两栖类都有记录。最多的是陆栖静水型和水栖静水型，各有 4 种。这两种生态类型的蛙类都依赖于池塘、湖泊等静水环境。山溪水栖型的两栖动物种类也较多，有 3 种，表明梅沙地区拥有保护良好的山溪环境。

第六章 两栖类保护与管理建议

6.1 开展长期常态化监测

梅沙地区生境类型多样，但迄今为止梅沙的生物资源调查较少，已有的数据无法反映梅沙真实的动物资源情况，梅沙的动物多样性还有很大的提升空间。动物是生态系统食物链中的消费者，具有主动选择环境、趋利避害的特性，既是自然生态系统重要组成部分，也是生态系统首先的服务对象，因此，动物多样性水平和动态趋势也是评估生态系统重要指标。然而，野生动物调查监测是一项长期性高度复杂的工作。两栖动物的运动特性，决定了对其开展的野外调查存在较大的偶遇性，而且不同的两栖动物具有不同的生态需求和独特的行为与节律，有些水生，有些树栖；有些为夜行性动物，有些则会偏向日行性，有些昼夜均出来活动；有些只在繁殖期间较为活跃或具有蛰眠习性等。阶段性的两栖动物多样性本底调查只能揭示该阶段的多样性水平，长期稳定的监测工作才能实时掌握动物多样性动态变化和趋势，才能跟踪和实时掌握生态系统状态和变化。因此，建议将两栖动物生态监测作为一项长期化和常态化工作。

6.2 减少对两栖动物的人为干扰

为了降低路杀对两栖动物的严重影响，在社区内两栖动物分布较多的路段内，可以考虑设立野生动物警告标志，或者限制车速以及临时封路等，也可在道路沿线设置围栏、地下通道等，都能一定程度减少两栖动物的路杀率。

为了降低人为噪音对两栖动物的影响，可以加强道路旁基础设施的改进。在交通量密集、噪音较大的公路旁安装隔音屏障以缓冲噪音，隔音屏障可以是人工建筑材料或是以植被形成的天然屏障。除此之外，编制可能受噪音影响的两栖动物清单，了解其生物学要求，对其分布地区附近的道路进行声学监测，掌握并调节附近的噪音水平以确定两栖动物受人为噪音影响的程度。

对于人造光污染，在敏感地区控制照明强度或在一定时间内关闭照明尤为重要，许多两栖动物都适应黑暗，控制或关闭照明有利于提高它们的存活率，从而加强对物种种群的保护。树木也有助于减轻夜间人造光的影响，树冠覆盖率的变化会影响光的穿透，较高的树冠覆盖率能够对光的穿透起到遮蔽作用，因此，适当的增加树木种植也是缓解光污染的有效途径之一。

6.3 开展社区宣传

建议在梅沙地区加强面向社区居民的宣传，减少和杜绝非法捕捉野生动物现象的发生，增强野生动物保护意识；同时增进公众对两栖动物习性的理解，树立人与自然和谐共处意识，增进居民对城市地区两栖动物的包容。

6.4 保护山溪生态系统

山溪是梅沙地区内一种重要的生境类型，香港瘰螈、短肢角蟾、大绿臭蛙等山溪类型两栖类都依赖于这种生境，是梅沙地区两栖动物多样性的重要部分。山溪生态因为脆弱易变化需要关注和保护。

第七章 爬行动物调查方法

7.1 导则和规范依据

(1) 调查标准：爬行类野外调查依据下列标准执行：《中华人民共和国国家环境保护标准 HJ 710.5—2014. 生物多样性观测技术导则爬行动物》（环境保护部，2014）。

(2) 物种鉴定依据：爬行动物鉴定参考《中国动物志》（赵尔宓等，1998；赵尔宓等，1999）和《中国蛇类》（赵尔宓，2006）。

(3) 分类系统依据 The Reptile Database (Uetz *et al.* 2022) 及王凯等 (2020)。

(4) 保护等级：保护等级参照中国国家级重点保护野生动物 (China Key List, CKL)：《国家重点保护野生动物名录附录》（国务院，1988），“三有”动物：是国家保护的有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物，是国务院野生动物行政主管部门通过专家论证会制定，2000年8月1日由国家林业局令第7号发布实施，简称“三有名录”。

CITES 公约 (2019)：CITES 公约全称为 Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora，中文为《濒危野生动植物种国际贸易公约》。分为附录 I、附录 II 和附录 III 收录物种（文中分别以 I、II、III 表示）。附录 I 收录物种包括所有受到和可能受到贸易影响而有灭绝危险的物种，这些物种标本的贸易必须在特殊条件下经过允许才能进行，在保护等级上等同于国家一级重点保护野生动物；附录 II 收录物种包括所有目前虽未濒临灭绝，但如对其贸易不严加管理，以防止不利其生存的利用，就可能变成有灭绝危险的物种，在保护等级上等同于国家二级重点保护野生动物；附录 III 包括成员国认为属其管辖范围内，应该进行管理以防止或限制开发利用，而需要其他成员国合作控制的物种 (CITES, 2019)。

(5) 受胁等级：IUCN 所制定物种红色名录 (IUCN Red List of threatened

species) 是全球尺度下对物种珍稀濒危程度加以分级评估。其根据物种分布面积和占有面积、种群受胁状况等标准, 划分了多个等级, 包括野外灭绝 (EW)、极危 (CR)、濒危 (EN)、易危 (VU)、近危 (NT) 和无危 (LC) 等, 其中, 极危、濒危和易危被定义为受胁物种 (iucnredlist web, 2017)。

《中国物种红色名录》(蒋志刚等, 2016) 和《IUCN Red List》(IUCN, 2020), 属于中国区域性的标准, 其濒危等级认定都是依据 IUCN 的评估标准。

7.2 调查技术和分析方法

7.2.1 调查评估方法

爬行动物的调查包括夜间及日间调查, 均采用样线法。爬行动物夜间调查与两栖动物同时进行, 日间调查时间为上午 8:00–11:00。调查员以 2 人为一组, 沿样线行进, 速度为 1 km/h, 记录物种名称和个体数量, 记录主要生境信息及受胁因素, 并拍摄一定数量的生态照片。

样线如图所示(图 2)。

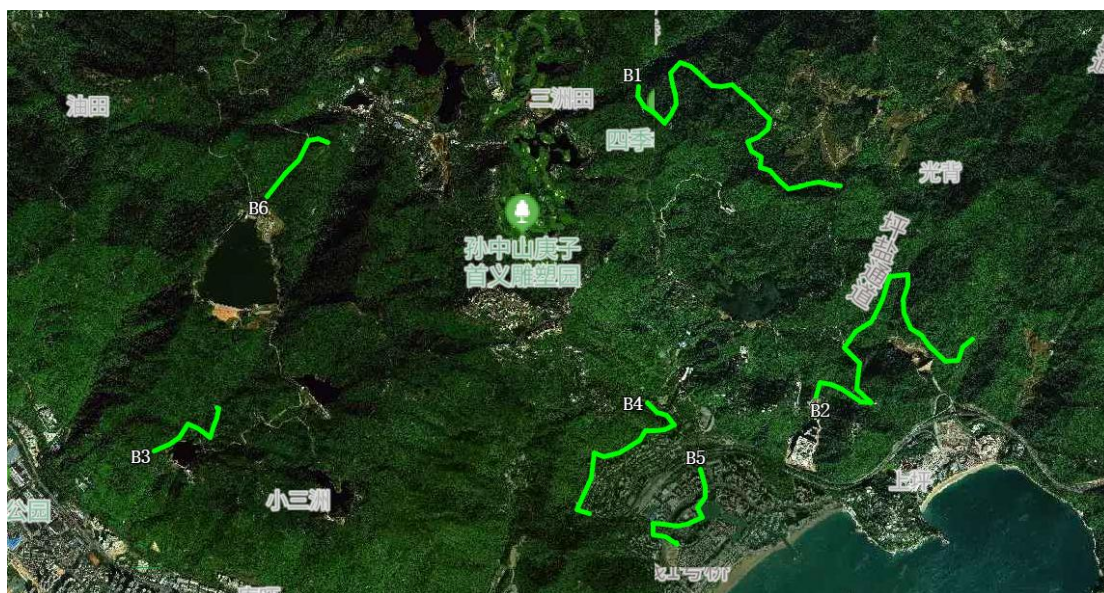


图 2 爬行动物样线布设分布图

第八章 爬行动物调查结果分析

8.1 调查区域爬行类群落特征

8.1.1 爬行类物种组成特征

本次调查共记录到爬行类 20 种，隶属于 1 目（2 亚目）10 科（表 2）。

记录有鳞目 Squamata 蜥蜴亚目 Lacertilia 3 科 9 种。其中壁虎科 Gekkonidae 4 种，即原尾蜥虎 *Hemidactylus bowringii*、锯尾蜥虎 *Hemidactylus garnotii*、疣尾蜥虎 *Hemidactylus frenatus* 和中国壁虎 *Gekko chinensis*。石龙子科 4 种，即股鳞蜓蜥 *Sphenomorphus incognitus*、铜蜓蜥 *Sphenomorphus indicus*、长尾南蜥 *Eutropis longicaudata* 和中国棱蜥 *Tropidophorus sinicus*。鬣蜥科 1 种，即变色树蜥 *Calotes versicolor*。

记录有鳞目蛇亚目 Serpentes 物种 7 科 11 种。其中蟒科 Pythonidae 1 种，即蟒 *Python bivittatus*。闪皮蛇科 Xenodermidae 1 种，即棕脊蛇 *Achalinus rufescens*。钝头蛇科 Pareidae 1 种，即横纹钝头蛇 *Pareas margaritophorus*。蝰科 Viperidae 1 种，即白唇竹叶青 *Trimeresurus albolabris*。游蛇科 Colubridae 5 种，即翠青蛇 *Ptyas major*、灰鼠蛇 *Ptyas korros*、滑鼠蛇 *Ptyas mucosa*、繁花林蛇 *Boiga multomaculata* 和三索锦蛇 *Coelognathus radiatus*。水游蛇科 Natricidae 1 种，即红脖颈槽蛇 *Rhabdophis subminiatus*。眼镜蛇科 Elapidae 1 种，即舟山眼镜蛇 *Naja atra*。

记录外来蛇类 2 种，为黑眉锦蛇 *Elaphe taeniura* 和赤链蛇 *Lycodon rufozonatus*。

表 2 梅沙社区爬行动物调查样线的物种组成

目/科/属/种	国家重点保护动物	中国物种红色名录	ICUN 红色名录	中国特有种	CITES 附录
I 有鳞目 Squamata					
一 蜥蜴亚目 Lacertilia					

目/科/属/种	国家重点保护动物	中国物种红色名录	ICUN红色名录	中国特有种	CITES附录
1 壁虎科 Gekkonidae					
1) 原尾蜥虎 <i>Hemidactylus bowringii</i>		LC	LC		
2) 锯尾蜥虎 <i>Hemidactylus garnotii</i>		LC	LC		
3) 疣尾蜥虎 <i>Hemidactylus frenatus</i>		LC	LC		
4) 中国壁虎 <i>Gekko chinensis</i>		LC	LC		
2 石龙子科 Scincidae					
5) 股鳞蜓蜥 <i>Sphenomorphus incognitus</i>		NT	LC		
6) 铜蜓蜥 <i>Sphenomorphus indicus</i>		LC	LC		
7) 长尾南蜥 <i>Eutropis longicaudata</i>		LC	LC		
8) 中国棱蜥 <i>Tropidophorus sinicus</i>		LC	LC		
3 鬣蜥科 Agamidae					
9) 变色树蜥 <i>Calotes versicolor</i>		LC	LC		
二 蛇亚目 Serpentes					
4 蟒科 Pythonidae					
10) 蟒 <i>Python bivittatus</i>	II级	CR	VU		附录II
5 闪皮蛇科 Xenodermidae					
11) 棕脊蛇 <i>Achalinus rufescens</i>		LC	LC		
6 钝头蛇科 Pareidae					
12) 横纹钝头蛇 <i>Pareas margaritophorus</i>		LC	LC		
7 蝰科 Viperidae					
13) 白唇竹叶青 <i>Trimeresurus albolabris</i>		LC	LC		
8 游蛇科 Colubridae					
14) 翠青蛇 <i>Ptyas major</i>		LC	LC		

目/科/属/种	国家重点保护动物	中国物种红色名录	ICUN红色名录	中国特有种	CITES附录
15) 灰鼠蛇 <i>Ptyas korros</i>		VU	NT		
16) 滑鼠蛇 <i>Ptyas mucosa</i>		EN	LC		
17) 繁花林蛇 <i>Boiga multomaculata</i>		LC	LC		
18) 三索锦蛇 <i>Coelognathus radiatus</i>		EN	LC		
9 水游蛇科 Natricidae					
19) 红脖颈槽蛇 <i>Rhabdophis subminiatus</i>					
10 眼镜蛇科 Elapidae					
20) 舟山眼镜蛇 <i>Naja atra</i>		VU	VU		附录II
外来种					
赤链蛇 <i>Lycodon rufozonatus</i>					
黑眉锦蛇 <i>Elaphe taeniura</i>					

8.1.2 保护物种

记录国家二级保护动物 1 种，蟒蛇 *Python bivittatus*。

CITES 附录II物种：2 种，分别是蟒蛇 *Python bivittatus* 和舟山眼镜蛇 *Naja atra*。

8.1.3 濒危受胁物种

IUCN 受胁等级：易危（VU）等级 3 种，为蟒蛇、黑眉锦蛇和舟山眼镜蛇。近危（NT）等级 1 种，为灰鼠蛇。

中国生物多样性红色名录受胁物种：极危（CR）等级 1 种，为蟒蛇。濒危（EN）等级 3 种，为滑鼠蛇、三索锦蛇和黑眉锦蛇。易危等级 1 种，为灰鼠蛇。近危等级 1 种，为股鳞蜓蜥。

8.1.4 外来入侵情况

本次调查记录的赤链蛇属于外来种，并无深圳本地分布记录。赤链蛇在调查中多次遇见，在梅沙地区数量较多，推测其为人为放生之后的归化种群。

调查中发现的黑眉锦蛇为死亡个体且非深圳本地原生的华南亚种而为指名亚种，结合马峦山夜间调查时遇到的放生行为，推测是放生个体。

第九章 人类活动对爬行类影响

爬行动物受威胁因素可归为：人类干扰(栖息地质量退化及生境破碎化、食用和药用、各类污染、宠物饲养、文化休闲活动或实验材料采集等)、自然因素(自然灾害和气候变化)、物种内在因素(栖息地狭窄、繁殖成活率低、疾病等)和不明原因等 4 大类。其中人类干扰是受威胁爬行动物的主要干扰因素。人类干扰中，各因素对爬行动物的影响程度依次是：栖息地质量退化及生境破碎化、食用和药用、污染、宠物饲养、文化、休闲活动或实验材料采集。

栖息地丧失和破碎化也是影响爬行动物的主要威胁之一，城市化使大面积土地利用改变，自然栖息地被改造成住宅区和商业区以及复杂的城市道路系统的建设成为导致爬行类自然栖息地丧失以及破碎化的主要原因。湿地的退化和水污染的加重也使一些蛇类受到一定的威胁

爬行动物濒危还与过度利用有关，往往以食用、药用和观赏为目的，通过非法捕猎和非法贸易等途径，导致野生爬行动物资源被过度利用而严重威胁种群生存状况。

路杀也是区域内爬行动物面临的主要受胁因素，调查过程中偶有发现蛇类路杀。

第十章 爬行类主要结论

梅沙地区的爬行动物调查记录了原生物种 20 种, 占深圳市本地爬行动物(60 种) 的 33%, 多样性水平较高。

记录的物种中, 有国家二级保护动物 1 种, 蟒蛇。IUCN 受胁物种 4 种, VU 等级 3 种, 蟒蛇、黑眉锦蛇和舟山眼镜蛇; NT 等级 1 种, 灰鼠蛇。中国红色名录受胁物种 6 种, CR 等级 1 种, 蟒蛇; EN 等级 3 种, 为滑鼠蛇、三索锦蛇和黑眉锦蛇; VU 等级 1 种, 为灰鼠蛇; NT 等级 1 种, 为股鳞蜓蜥。

重要物种:

(1) **蟒蛇 *Python bivittatus***。国内分布于福建、广东、广西、海南、四川、香港、云南、西藏自治区。栖居于热带、亚热带低山丛林中, 需要常绿阔叶林或常绿阔叶藤本灌木丛, 以及良好的洞穴供休息及隐蔽。垂直栖息高度为海拔 10~4050 米。蟒蛇的交配期一般在 3~8 月份, 在交配季节, 蟒蛇发情时, 雌性从皮肤和尾基部的腺体分泌出其特征气味以引诱雄性, 雄蟒会跟踪气味找到雌蟒, 相遇后即进行交配活动, 交配过程可长达 3 小时, 产卵数 8~103 枚, 孵化 55~61 天即破壳。

爬行动物在梅沙地区内的主要受胁因素是路杀、栖息地破坏和人为捕猎。捕猎属于对动物的直接干扰。交通干扰也是对爬行动物影响较大的一种干扰要素, 在各生态区的道路上经常有对爬行动物的路杀发现。对爬行动物的生存状况因引起重视, 采取措施减少人为干扰。

第十一章 爬行类保护与管理建议

11.1 开展长期常态化监测

梅沙地区目前的爬行动物资源尚未进行充分挖掘, 有银环蛇、紫沙蛇等常见

蛇类未能记录，山地溪流也有发现龟鳖类和山溪蛇类的潜力。并且，阶段性的野生动物多样性本底调查只能揭示该阶段的多样性水平，长期稳定的监测工作才能实时掌握梅沙地区的爬行动物多样性动态变化和趋势，才能跟踪和实时掌握生态系统状态和变化。因此，建议将爬行动物生态监测作为一项长期化和常态化工作。

与毒蛇的冲突属于人类与动物冲突中发生率较高的种类，且容易造成严重的人身伤害，是社区动物保护工作中需要重视的一部分。调查组在梅沙地区发现了白唇竹叶青和舟山眼镜蛇等剧毒蛇，但也有银环蛇等常见毒蛇未能记录，目前对梅沙地区毒蛇的种群数量及活动范围知之甚少。建议继续在梅沙地区开展常态化监测，了解毒蛇乃至爬行动物的动态，维护社区人居环境的安全，也有利于进一步的野生动物保护宣传工作。

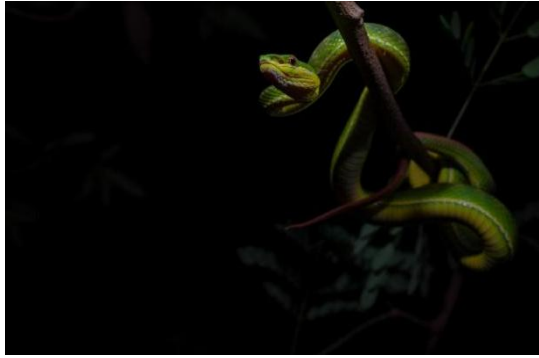
11.2 采取措施降低爬行动物路杀率

为了降低路杀对爬行动物的严重影响，在社区内爬行动物分布较多的路段内，可以考虑设立野生动物警告标志，或者限制车速以及临时封路等，也可在道路沿线设置围栏、地下通道等，都能一定程度减少爬行动物的路杀率。

11.3 增加社区宣传

蛇类是城市中与人类发生冲突概率比较高的类群，蛇类保护应重视科普宣传，倡导一般民众关注，提高保护意识。建议通过各种渠道大力进行保护宣传和普法教育，做到家喻户晓人人皆知。建议着重宣传野生动物资源在维护自然生态平衡中的重要意义，把保护野生动物资源变为人们的自觉行动。禁止媒体炒作野生动物的食用价值、药用价值和商业价值。在宣传特有养殖业的同时，必须宣传野生动物的保护。

附录 A 调查照片



白唇竹叶青 *Trimeresurus albolabris* LC



繁花林蛇 *Boiga multomaculata* LC



横纹钝头蛇 *Pareas margaritophorus* LC



小棘蛙 *Quasipaa exilispinosa* LC



大绿臭蛙 *Odorrana graminea* DD



香港瘰螈 *Paramesotriton hongkongensis* NT

四、兽类本底调查

参与人员组成及分工

姓名	职务及职称	分工
廖之 锴	科研助理	设备点位确定、红外相机安 装
张修 瀚	科研助理	野外调查
莫晓 东		红外相机安装
麦艳 仪		红外相机安装
朱耘 生		红外相机回收
叶智 钊		野外调查

目 录

第一章 绪论	176
1.1.1 梅沙街道生物多样性及生态环境概述.....	176
1.2 项目地理概况.....	176
1.3 专题目标.....	177
1.4 相关编制法律法规依据.....	177
第二章 调查方法	178
2.1 导则依据与参考.....	178
2.2 调查技术和分析方法.....	178
2.2.1 调查概括.....	178
2.2.2 调查范围.....	179
2.2.3 调查内容.....	180
2.2.4 调查时间与频次.....	180
2.2.5 兽类调查方法.....	180
第三章 调查结果分析	182
3.1 调查区域兽类群落特征.....	182
3.1.1 兽类物种组成特征.....	182
3.1.2 珍稀保护物种.....	183
3.1.3 兽类时空分布特征.....	183
第四章 人类活动对兽类活动影响	183
4.1 人类活动主要分布区域.....	183
4.2 兽类活动和人类活动强度关系.....	184
4.3 需关注兽类种类.....	184
第五章 保护与管理措施	185
5.1 生态保护措施.....	185
5.2 生态监测和管理措施.....	186
第六章 主要结论	186
6.1 项目概况.....	186
6.2 兽类资源概况.....	187
6.3 人类活动对兽类多样性影响.....	187
6.4 兽类保护与管理建议措施.....	188
附录	189

第一章 绪论

1.1 专题背景和意义

1.1.1 梅沙街道生物多样性及生态环境概述

梅沙街道展现了多元生境，包括园林绿地、礁石滩、小微湿地、溪流湖泊、亚热带森林和建筑物周边绿化地等。其森林资源丰富，总面积达 1273.2 公顷，覆盖率 69.98%，保证生态系统完整性。湿地面积 76.27 公顷，人均公园绿地面积 118.55 平方米。传统的生物多样性保护多集中在自然保护区等地，城市中的保护尚属新兴领域。此外，相关部门对梅沙街道的生物多样性前期了解有限，政府与居民对其生态环境的认知与关注度不足。中国明确 2030 年“碳达峰”与 2060 年“碳中和”目标，出台相关政策文件，构建双碳政策体系。深圳加强野生动植物和湿地保护，实施生态环境评价改革。盐田区严守生态保护红线，推进生态系统调查与生态修复。梅沙街道作为近零碳排放试点，增加绿化面积和提高覆盖率是重要任务。因此在双碳背景下，万科公益基金会以梅沙片区为主要试点，联合政府部门和合作伙伴，推动创新实践，关注基于自然的解决方案，聚焦社区层面的碳中和行动，提升公众意识，构建碳中和社区范式。

1.2 项目地理概况

盐田区梅沙街道是深圳市生物多样性保护的重点区域之一，其中大梅沙社区是深圳市首批近零碳排放试点社区之一，对深圳市其他地区的减碳与生态保护有着示范作用。梅沙街道具有丰富的自然资源、多样化的生态环境与重要的地理位置，其周边包括上坪水库、叠翠湖水库、三洲田水库等水库保护区，以及小三洲绿道和马峦山郊野公园等重要生态区。梅沙街道辖区内森林总面积 1273.2 公顷，覆盖率达 69.98%，湿地总面积也达到 76.27 公顷。当地完整性较高的生态系统为兽类种群提供了生存和繁殖必需的生境与资源。

结合以上情况，我们对辖区范围周边上坪水库、叠翠湖水库、马峦山郊野公园、小三洲绿道、小梅沙滨海步道、半山防火巡逻道及万科中心绿化步道等对当地各类生境有较好代表性的郊野与城镇生态区域，组织开展兽类多样性调查。

1.3 专题目标

通过全面调查，了解梅沙碳中和社区及其周边兽类种群多样性，客观分析评价各种群分布的栖息地状况和致危因素。促进梅沙碳中和社区居民对周边生态环境的了解，培养居民亲环境行为和提升保护意识。

分目标：

1.确定分布在梅沙碳中和社区及其周边的兽类种类、栖息地利用规律及活动区内的关键生境特征，为关键栖息地的恢复和生物多样性的提升提供技术支撑。

2.强化梅沙碳中和社区居民对周边兽类物种组成和现状的了解，培养公众亲环境行为，提升梅沙碳中和社区及周边区域居民对生物多样性的认知和保护意识。

1.4 相关编制法律法规依据

- 1) 《中华人民共和国野生动物保护法》（2016 修订）
- 2) 《中华人民共和国陆生野生动物保护实施条例》（2016 修订）
- 3) 《广东省重点保护陆生野生动物名录》（2021 修订）
- 4) 《国家重点保护野生动物名录》（2021 修订）
- 5) 《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷》（2015）
- 6) IUCN（世界自然保护联盟）red list（2021）
- 7) CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录（2019）

第二章 调查方法

2.1 导则依据与参考

- 1) 《生物多样性观测技术导则 陆生哺乳动物》(HJ 710.3-2014)
- 2) IUCN.The IUCN red list of threatened species [EB/OL] [2020-03-30],2020.
<https://www.iucnredlist.org>.
- 3) 国家濒科委. CITES [EB/OL] [2023-02-27] .2023.
<http://www.cites.org.cn/citesgy/fl/202302/t20230227734178.html>.
- 4) 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家重点保护野生动物名录 [EB/OL] . (2021-02-01) [2021-02-10] ,2021.
<http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860831352.html>.
- 5) 国家林业和草原局. 有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录 [EB/OL] . [2023-06-26].2023.
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202307/content_6889361.htm.
- 6) 广东省林业局. 广东省重点保护陆生野生动物名录[EB/OL]. [2021-07-01].2021.
https://www.gd.gov.cn/zwgk/gongbao/2021/20/content/post_3368515.html.
- 7) 蒋志刚, 刘少英, 吴毅, 等. 中国哺乳动物多样性(第2版)[J]. 生物多样性,2017,25(8):886-895.
- 8) 赵尔宓. 中国蛇类[M].合肥: 安徽科学技术出版社, 2006.
- 9) 张荣祖. 中国动物地理[M].北京: 科学出版社, 2011.
- 10) 邹发生. 广东陆生脊椎动物分布名录[M].广州: 广东科技出版社, 2016.

2.2 调查技术和分析方法

2.2.1 调查概括

本项目以万科中心及其周边的兽类为研究对象, 通过野外调查和红外相机监测物种多样性、分布范围、繁殖生存状况、栖息地现状和致危因素等信息。

采用样线法调查，设立野外固定监测样线，覆盖梅沙街道周边所有生境类型。观察样线两侧兽类、粪便和活动痕迹，包括肉眼/望远镜观察、声音辨别、摄影取证。对数量稀少、活动规律特殊的兽类使用红外自动相机法调查。



图1 实时传输红外相机

2.2.2 调查范围

梅沙碳中和社区兽类调查范围为项目区域及周边林地山地生境，考虑生态系统完整性，将整个大小梅沙作为调查范围。包括社区周边受人类活动影响较大的区域以及人类活动较少的山体林地。

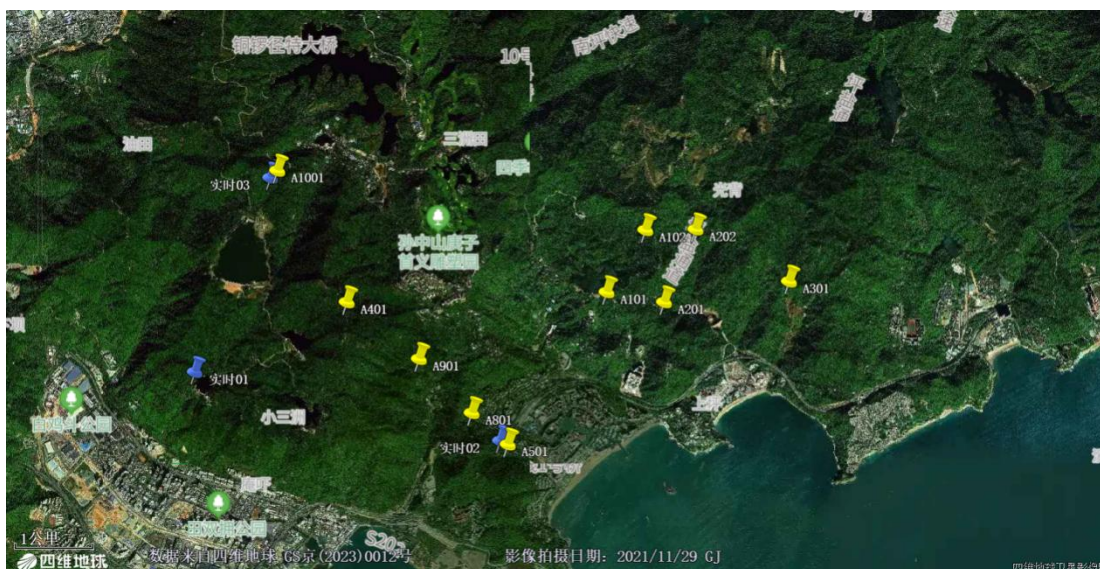


图2 调查区域卫星地图

2.2.3 调查内容

通过现场调查了解梅沙碳中和社区的兽类多样性，同时分析社区人类活动对周边兽类活动影响程度。

主要调查内容：

主要兽类资源种类和数量；

国家级重点保护兽类及其他受胁类型。

2.2.4 调查时间与频次

于 2023 年 1 月、2 月、3 月、4 月、7 月、11 月、12 月前往梅沙碳中和社区周边林地进行样线调查、红外相机数据的收集和整理。

2.2.5 兽类调查方法

根据《生物多样性观测技术导则 陆生哺乳动物》（HJ 710.3-2014），梅沙兽类多样性资源调查采用痕迹计数法以及红外感应自动照相机法进行同步调查。

① 痕迹计数法

痕迹计数法适用于研究林地活动、隐蔽或夜间活动的哺乳动物，记录在样线上所发现的哺乳动物痕迹（如抓痕、粪便、脚印等），记录可能得痕迹产生时间以及产生痕迹的种类。

② 红外相机自动拍摄法

红外感应自动照相机能拍摄到稀有或活动隐蔽的哺乳动物，可观测其分布和活动节律，也可结合相关模型估测种群密度。安置红外相机前，应充分掌握拟观测哺乳动物的基本习性、活动区域和日常活动路线。尽量将相机安置在目标动物经常出沒的通道上或其活动痕迹密集处。水源附近往往是动物活动频繁的区域，其他如盐井(天然或人工)、取食点(特殊食物资源，如坚果或浆果)、动物(尿液)标记处、求偶场、倒木、林间道路等也是动物经常活动的地点，应优先考虑。采用系统抽样法在观测样地内划定网格设置观测样点，网格大小为 1km× 1 km。每

1km²至少设置 1 个观测样点。在每个样点于树干、树桩或岩石上装设 1 或 2 台红外感应自动相机。相机架设位置一般距离地面 0.3~1.0 m,架设方向尽量不朝东方太阳直射处。相机镜头与地面大致平行,略向下倾,一般与动物活动路径呈锐角夹角,并清理相机前的空间,减少对照片成像质量的干扰。对相机编号,并用 GPS 定位仪记录位置。根据设备供电情况,定期巡视样点并更换电池,调试设备,下载数据。记录各样点拍摄起止日期、照片和视频拍摄时间、动物物种与数量、年龄等级、可能的性别、外形特征等信息,建立信息库,归档保存。

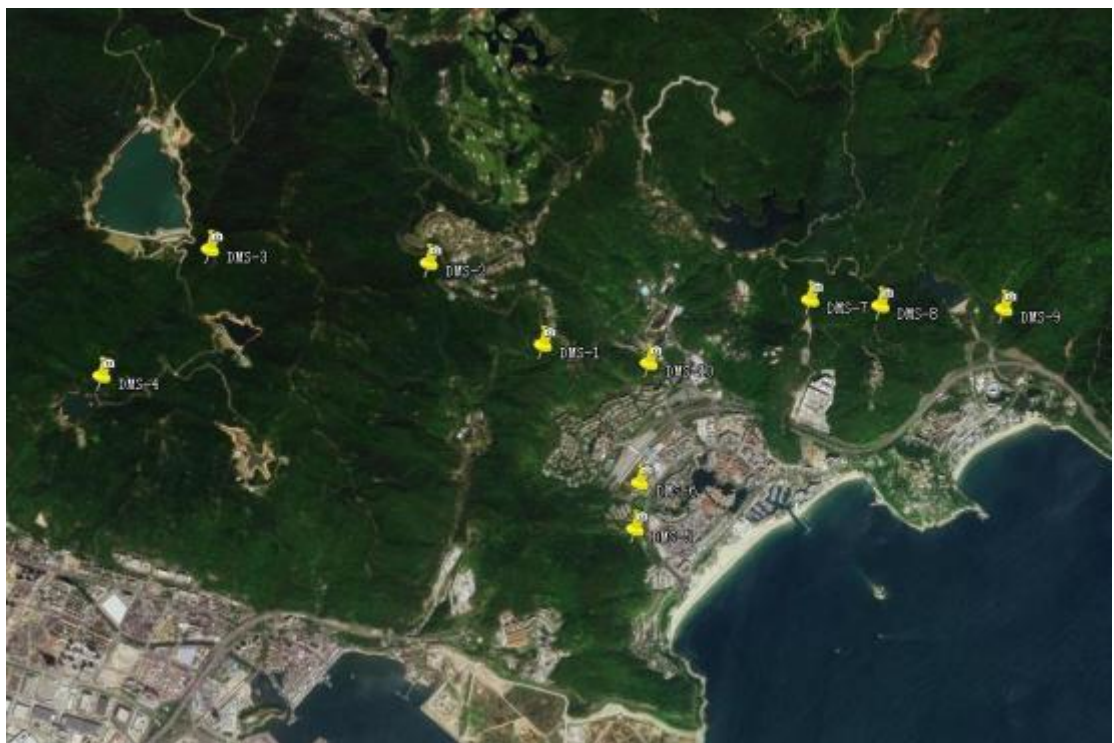


图 2 兽类调查红外相机布设

③ 红外相机数据处理

回收数据时记录红外相机所拍摄到物种的种类,于监测结束时进行物种的汇总以及整理,记录物种出现的时间和拍摄相机的位点,以便后续进行兽类数据的分析。

第三章 调查结果分析

3.1 调查区域兽类群落特征

3.1.1 兽类物种组成特征

一年调查期间，在梅沙碳中和社区及周边区域发现兽类共 3 目 7 科 8 种。优势类群为食肉目，共有 4 种，其次为啮齿目，共有 3 种，偶蹄目为最少，仅有 1 种。从科水平来看，灵猫科物种最多，共两种，分别为果子狸（*Paguma larvata*）和小灵猫（*Viverricula indica*）。

表 1 红外相机所记录物种种类

中文名	保护等级
食肉目 CARNIVORA	
鼬科 Mustelidae	
1. 鼬獾 <i>Melogale moschata</i>	III、近危 (NT)
灵猫科 Viverridae	
2. 花面狸 <i>Paguma larvata</i>	III、近危 (NT)、附录 III
3. 小灵猫 <i>Viverricula indica</i>	一级、近危 (NT)、附录 III
猫科 Felidae	
4. 豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	二级、易危 (VU)、附录 II
鲸偶蹄目 CETARTIODACTYLA	
猪科 Suidae	
5. 野猪 <i>Sus scrofa</i>	
啮齿目 RODENTIA	
豪猪科 Hystricidae	
6. 中国豪猪 <i>Hystrix hodgsoni</i>	省、III
松鼠科 Sciuridae	
7. 赤腹松鼠 <i>Callosciurus erythraeus</i>	III
鼠科 Muridae	
8. 白腹巨鼠 <i>Leopoldamys edwardsi</i>	

保护等级中：III 代表该物种列入三有动物名录；近危 (NT) 代表该物种在中国生物多样性红色名录中评级为近危；易危 (VU) 代表该物种在中国生物多样性红色名录中评级为易危；省代表该物种为广东省重点保护动物；一级代表该物种为国家一级保护动物；二级代表该物种为国家二级保护动物；附录 II 代表该物种列入 CITES 附录 II；附录 III 代表该物种被列入 CITES 附录 III。

3.1.2 珍稀保护物种

调查到的兽类中列入各类保护名录的珍稀濒危保护动物共 7 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 1 科 1 种，为中国豪猪（*Hystrix hodgsoni*）；列入国家重点保护陆生脊椎动物的一级保护物种有 1 科 1 种，为小灵猫；二级保护物种有 1 科 1 种，为豹猫（*Prionailurus bengalensis*）。列入中国保护动物红色名录近危及以上级别的有 3 科 4 种，其中豹猫属于（VU）易危级别，花面狸、小灵猫以及鼬獾（*Melogale moschata*）属于（NT）近危级别。列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种有 2 科 3 种，花面狸和小灵猫被列入附录 III，豹猫被列入附录 II。被列入《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》（三有名录）的物种有 4 种，分别为鼬獾、花面狸、中国豪猪以及赤腹松鼠（*Callosciurus erythraeus*）。

3.1.3 兽类时空分布特征

野猪是此次兽类调查中最为常见和时间空间分布最为广泛的兽类，调查中布设的绝大部分相机都有记录到野猪活动，从梅沙社区周边的居民区森林公园到人类活动较少的小三洲水库周边林区都有分布，其活动时间通常为下午 3:00 至凌晨 2:00，全年四季均有记录。兽类受人类活动影响较大，主要在较为远离人类活动区域的森林活动，但也在万科东海岸小区后山步道频繁记录到豹猫、鼬獾以及野猪，此处还记录到成年中国豪猪携带幼年豪猪活动的珍贵影像资料。小灵猫为国家一级保护动物，由于栖息地破坏和盗猎压力，数量稀少，在梅沙区域的调查中，共记录小灵猫两次，分别为 3 月和 11 月，均在人类活动相对较少的小三洲水库上方林地记录。

第四章 人类活动对兽类活动影响

4.1 人类活动主要分布区域

调查期间对人类活动的强度进行了简要的评估，大梅沙周边人类活动区域有

持续的人类活动，主要活动包括散步、骑行等，但同时也发现有个别民众携带具有捕杀野生动物能力的犬类上山，这可能是对大梅沙周边野生动物的主要威胁。小三洲水库周边的人类活动强度较高，主要集中于周末以及节假日，主要活动包括登山、骑行（自行车以及电动车）、汽车等，其中汽车对兽类威胁最大，可能造成兽类的路杀，此次调查中，因为公路汽车行驶时间段集中于白天，与兽类活动时间相异，未发现兽类的路杀事件。三洲塘水库位于小三洲水库南侧，其人类活动主要来自登山、溯溪、钓鱼等，对兽类活动的影响均较少，因此在三洲塘-小三洲水库区域拍摄的兽类种类最多。叠翠湖水库位于大梅沙东侧山地，此处的人类活动主要为登山、溯溪以及汽车，此处的人类活动对此次兽类调查的影像最大，放置于一条溪流上方的红外相机被人为拆取电池和储存卡，导致数据丢失；此外放置于叠翠湖内部林地的一台相机被登山客故意损毁，导致相机无法回收使用。总体而言，从人类活动对兽类的影响程度分析，人类活动强度更低的区域，所拍摄兽类种类和数量更加丰富。

4.2 兽类活动和人类活动强度关系

尽管兽类有远离人类活动强度较高区域的趋势，但在居民区等有持续人类活动的区域，也拍摄到兽类的活动，例如在万科东海岸小区后山步道边的林地间持续拍摄到豹猫、野猪以及鼬獾等哺乳动物，同时还拍摄到成年中国豪猪携带豪猪幼崽觅食的影像资料，此相机位点距离人行步道直线距离仅有 500 m。三洲塘水库上方于节假日期间人流量极大，主要活动包括登山、露营、骑行等，而在位于登山主路下侧的相机位点，多次拍摄到野猪、中国豪猪以及鼬獾，同时还拍摄到国家一级保护动物小灵猫。

4.3 需关注兽类种类

(1) 小灵猫 (*Viverricula indica*)

保护状况：国家一级保护动物、中国生物多样性红色名录 (NT)、CITES (附录III)

物种概述：略比家猫大的食肉陆栖哺乳动物，长约 48~58 厘米，尾长 33~41 厘米，体重 2~4 千克，其体毛短而粗密，无竖起的背毛冠；毛色灰色至褐色，

足部深褐色或黑色；颈侧条纹不如大灵猫属的物种显著；两条黑纹窄，与身体斑点没有明显区别；中背线黑色，每侧各有 4~5 排小斑点，斑点向中线密集，腹部斑点更明显；尾尖通常为白色。栖息于森林、灌丛、土丘、草丛，也常见于农业区和村庄附近，住老树根下的洞穴，夜行性，上半夜活动最频繁，但有时也在白天捕猎。胆小、行动灵活、会游泳，独居。主要食用鼠类、松鼠、小鸟、蜥蜴、昆虫及其幼虫、植物果实，如果有机会也会捕食家禽。

(2) 豹猫 (*Prionailurus bengalensis*)

保护状况：国家二级保护动物、中国生物多样性红色名录 (VU)、CITES (附录II)

物种概述：体型较小的食肉类，略比家猫大，体长 36~90cm，尾长 15~37cm，体重 3~8kg。其背面毛色多为黄色或浅棕色，而腹面为灰白色或白色。身体上布满大小不等的深色斑点或斑块，前肢上部和尾巴背面具横纹状深色条纹，肩背部具数条粗大的纵向条纹。尾长超过体长的一半，行走时略微上翘。豹猫是夜行动物，栖息于各种森林类型中，偶尔也见于人居环境附近的农田、果园中，通常以鸟类、鱼类、爬行类及小型哺乳动物为食。适应力较强，可爬树和游泳，活动范围较广。

第五章 保护与管理措施

5.1 生态保护措施

在调查中出现相机损毁等问题，说明民众的生物多样性保护意识不高，不了解生物多样性保护的意义、方法以及成果，建议相关环境部门等通过组织生物多样性科普活动、设立生物多样性标识标语等措施，多加宣传梅沙周边的生物多样性，让民众充分理解生物多样性保护。除此之外，为防止人兽冲突例如野猪-人冲突以及路杀事件发生引起的财物以及人身安全健康受到损失，建议在动物如野猪出没高发区设立警告牌，示意驾驶员在此区域减速行驶或告知登山行人偶遇野生动物的正确做法，以免发生人类和野生动物的进一步冲突。

5.2 生态监测和管理措施

建议在大小梅沙区域进行持续的更加全面的野生动物监测，此次调查采用的方法主要适用于中大型的兽类和地栖鸟类，并不适用于小型啮齿目以及飞行哺乳动物的监测，为了进一步了解大小梅沙周边的生物资源多样性，可以采用相对应的方法对更多类群的进行具有针对性的监测。此外，根据监测后的数据分析，对大小梅沙周边的兽类多样性资源进行合理的管理。

(1) 加强对上山游客、水库工作人员以及民众的管理，禁止携带兽夹、渔网、捕虫网等盗猎工具进入管理范围，禁止捕杀野生动物行为。

(2) 山地周围工地工厂严格按照绿色标准施工，加强对化学、水质、空气以及噪音等多个环境指标的监控，同时尽量采用绿色能源、绿色材料进行加工生产。

(3) 在生物多样性较为丰富的小三洲水库区域设立保护点，一方面加强对这一区域野生动物的监测，另一方面加强对进出该区域的人员进行管理，从而减少非法盗猎、捕鱼等行为的发生。

第六章 主要结论

6.1 项目概况

盐田区梅沙街道是深圳市生物多样性保护的重点区域之一，其中大梅沙社区是深圳市首批近零碳排放试点社区之一，对深圳市其他地区的减碳与生态保护有着示范作用。梅沙街道具有丰富的自然资源、多样化的生态环境与重要的地理位置，其周边包括上坪水库、叠翠湖水库、三洲田水库等水库保护区，以及小三洲绿道和马峦山郊野公园等重要生态区。梅沙街道辖区内森林总面积 1273.2 公顷，覆盖率达 69.98%，湿地总面积也达到 76.27 公顷。当地完整性较高的生态系统为各类动物种群提供了生存和繁殖必需的生境与资源，是大量动物类群的重要栖息

地。通过现场调查了解梅沙碳中和社区的主要兽类资源种类和数量以及分布于项目地的国家级重点保护兽类及其他受胁类型，同时分析社区人类活动对周边兽类活动影响程度。

6.2 兽类资源概况

一年调查期间，在梅沙碳中和社区及周边区域发现兽类共 3 目 7 科 8 种。优势类群为食肉目，共有 4 种，其次为啮齿目，共有 3 种，偶蹄目为最少，仅有 1 种。从科水平来看，灵猫科物种最多，共两种，分别为果子狸（*Paguma larvata*）和小灵猫（*Viverricula indica*）。

列入各类保护名录的珍稀濒危保护动物共 7 种，其中属于广东省重点保护陆生野生动物的有 1 科 1 种，为中国豪猪（*Hystrix hodgsoni*）；列入国家重点保护陆生脊椎动物的一级保护物种有 1 科 1 种，为小灵猫；二级保护物种有 1 科 1 种，为豹猫（*Prionailurus bengalensis*）。列入中国保护动物红色名录近危及以上级别的有 3 科 4 种，其中豹猫属于（VU）易危级别，花面狸、小灵猫以及鼬獾（*Melogale moschata*）属于（NT）近危级别。列入 CITES（濒危野生动植物种国际贸易公约）附录的物种有 2 科 3 种，花面狸和小灵猫被列入附录 III，豹猫被列入附录 II。被列入《有重要生态、科学、社会价值的陆生野生动物名录》（三有名录）的物种有 4 种，分别为鼬獾、花面狸、中国豪猪以及赤腹松鼠（*Callosciurus erythraeus*）。

6.3 人类活动对兽类多样性影响

调查期间对人类活动的强度进行了简要的评估，大梅沙周边人类活动区域有持续的人类活动，主要活动包括散步、骑行等。小三洲水库周边的人类活动强度较高，主要集中于周末以及节假日，主要活动包括登山、骑行（自行车以及电动车）、汽车等，其中汽车对兽类威胁最大，可能造成兽类的路杀，此次调查中，因为公路汽车行驶时间段集中于白天，与兽类活动时间相异，未发现有兽类的路杀事件。三洲塘水库位于小三洲水库南侧，其人类活动主要来自登山、溯溪、钓鱼等，对兽类活动的影响均较少，因此在三洲塘-小三洲水库区域拍摄的兽类种类最多。叠翠湖水库位于大梅沙东侧山地，此处的人类活动主要为登山、溯溪以及汽车，

此处的人类活动对此次兽类调查的影像最大。总体而言，从人类活动对兽类的影响程度分析，人类活动强度更低的区域，所拍摄兽类种类和数量更加丰富。

6.4 兽类保护与管理建议措施

建议梅沙等相关政府部门，通过组织生物多样性科普活动、设立生物多样性标识标语等措施，多加宣传梅沙周边的生物多样性，让民众充分理解生物多样性保护。除此之外，为防止人兽冲突例如野猪-人冲突以及路杀事件发生引起的财务以及人身安全健康受到损失，建议在动物如野猪出没高发区设立警告牌，示意驾驶员在此区域减速行驶或告知登山行人偶遇野生动物的正确做法，以免发生人类和野生动物的进一步冲突；建议在大小梅沙区域进行持续的更加全面的野生动物监测，可以采用相对应的方法对更多类群如小型啮齿目、飞行哺乳类动物的进行具有针对性的监测；此外，根据监测后的数据分析，对大小梅沙周边的兽类多样性资源进行合理的管理。加强对上山游客、水库工作人员以及民众的管理，禁止携带兽夹、渔网、捕虫网等盗猎工具进入管理范围，禁止捕杀野生动物行为；山地周围工地工厂严格按照绿色标准施工，加强对化学、水质、空气以及噪音等多个环境指标的监控，同时尽量采用绿色能源、绿色材料进行加工生产；在生物多样性较为丰富的区域设立保护点，一方面加强对这一区域野生动物的监测，另一方面加强对进出该区域的人员进行管理，从而减少非法盗猎、捕鱼等行为的发生。

附录 A 兽类调查名录以及其列入的保护名录

中文名	保护等级
食肉目 CARNIVORA	
鼬科 Mustelidae	
1. 鼬獾 <i>Melogale moschata</i>	III 、近危 (NT)
灵猫科 Viverridae	
2. 花面狸 <i>Paguma larvata</i>	III 、近危 (NT)、附录III
3. 小灵猫 <i>Viverricula indica</i>	一级、近危 (NT)、附录III
猫科 Felidae	
4. 豹猫 <i>Prionailurus bengalensis</i>	二级、易危 (VU)、附录II
鲸偶蹄目 CETARTIODACTYLA	
猪科 Suidae	
5. 野猪 <i>Sus scrofa</i>	
啮齿目 RODENTIA	
豪猪科 Hystricidae	
6. 中国豪猪 <i>Hystrix hodgsoni</i>	省、III
松鼠科 Sciuridae	
7. 赤腹松鼠 <i>allosciurus erythraeus</i>	III
鼠科 Muridae	
8. 白腹巨鼠 <i>Leopoldamys edwardsi</i>	

保护等级中：III 代表该物种列入三有动物名录；近危 (NT) 代表该物种在中国生物多样性红色名录中评级为近危；易危 (VU) 代表该物种在中国生物多样性红色名录中评级为 易危；省代表该物种为广东省重点保护动物；一级代表该物种为国家一级保护动物；二 级代表该物种为国家二级保护动物；附录 II 代表该物种别列入 CITES 附录 II；附录 III 代表该物种被列入 CITES 附录 III。

附录 B 调查照片



中国豪猪 (*Hystrix brachyura*)



豹猫 (*Prionailurus bengalensis*)



野猪 (*Sus scrofa*)



果子狸 (*Paguma larvata*)



小灵猫 (*Viverricula indica*)

五、昆虫本底调查

参与人员组成及分工

姓名	职务及职称	分工
程文达	助理教授	调查、标本整理、 鉴定
邢爽	助理教授	调查
王玲	研究生	调查、标本整理、 鉴定
陈晓健	研究生	调查

目 录

第一章 绪论.....	193
1.1 专题背景和意义.....	193
1.2 调查目标.....	193
第二章 调查方法.....	194
2.1 调查范围.....	194
2.2 调查内容.....	194
2.3 调查时间与频次.....	195
2.4 调查方法.....	195
2.5 物种鉴定.....	195
第三章 调查结果分析.....	195
3.1 群落特征.....	195
3.2 季节动态.....	198
3.3 空间分布.....	198
第四章 保护和管理建议.....	198
4.1 重点保护地点.....	198
4.2 人为干扰对传粉昆虫的影响.....	199
4.3 管理建议.....	199
第五章 主要结论.....	200
参考文献.....	201
附录.....	202

第一章 绪论

1.1 专题背景和意义

传粉是绝大多数植物完成繁殖必须经过的过程，近 90% 的有花植物依赖各种传粉媒介完成传粉（Ollerton *et al.* 2011），这其中包括了约 75% 的农作物（Allen-Perkins *et al.* 2022）。例如在农业生产中，依赖蜜蜂类传粉的农作物产品在我国年均估值约 3042.20 亿元（刘朋飞等 2011），世界范围内，这一估值达到 2150 亿美元（Gallai *et al.*, 2009）。因此，传粉昆虫提供的生态系统功能和服务不容忽视。

近年来，随着环境的变化，多项研究表明全球传粉昆虫的多样性和种群数量均出现了明显下降，传粉服务受到严重威胁（Dick *et al.* 2021; Vasiliev *et al.* 2021）。但我国传粉昆虫的种群现状及面临的潜在威胁不明晰（刘秀等 2018）。调查传粉昆虫的分布的季节动态，不仅有助于提升综合预测气候变化如何影响生态系统的能力，有利于气候变化下的生物多样性保护对策的制定，也能为粮食安全及生态安全的维持提供科学依据。

梅沙社区位于广东省深圳市，地处南亚热带气候，传粉昆虫的整体多样性较高。但多集中与鳞翅目昆虫（蝴蝶和蛾类）（李志刚等 2015; Jia & Yu 2018; 程纹等 2024）。膜翅目的调查在整个广东省都较为欠缺。因此，重点关注膜翅目访花昆虫的多类群全方位的调查将有助于增加传粉昆虫监测的基础数据。

1.2 调查目标

通过调查梅沙社区及周边分布的传粉昆虫，了解传粉昆虫的分布规律及影响因素，评估其受到的潜在栖息地和气候变化的影响。

第二章 调查方法

2.1 调查范围

调查范围涵盖大梅沙和小梅沙及周围山地。包括了山地次生林、灌丛、草丛、城市公园及海岸次生林。在调查范围内选择 10 条 1~2km 的调查样线（图 1）。

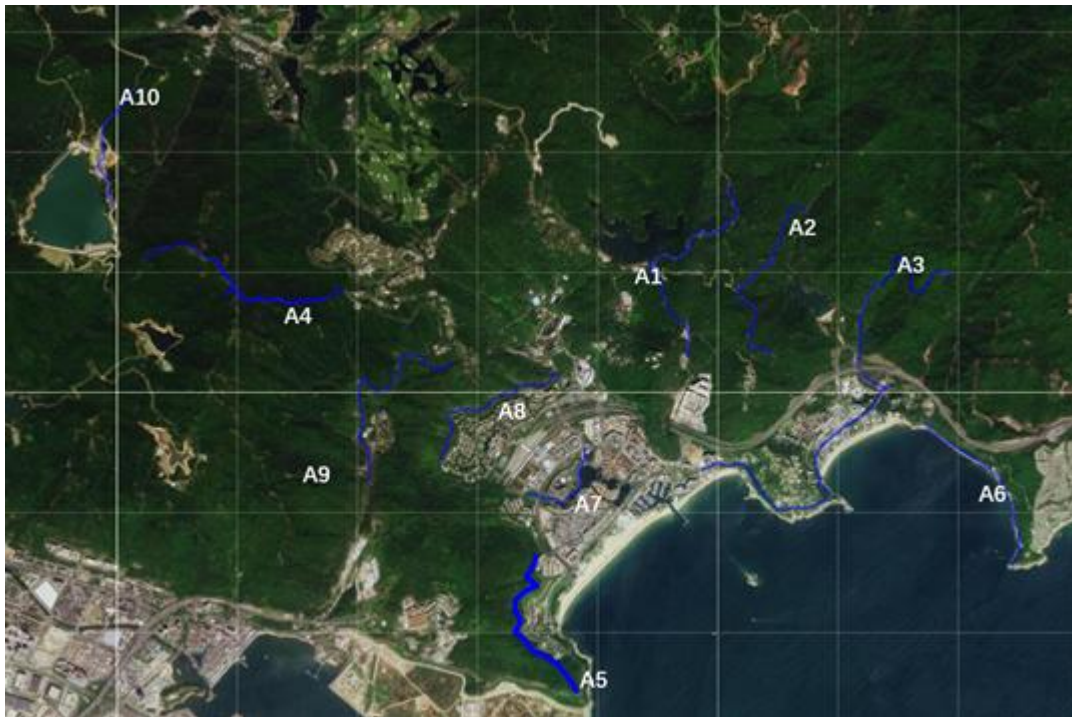


图 1 传粉昆虫样线布设分布图

2.2 调查内容

调查针对常见访花昆虫鳞翅目、膜翅目和鞘翅目开展。记录不同生境和季节传粉昆虫的种类。鳞翅目蝶类分类依照《中国蝴蝶图鉴》名称系统，蛾类、膜翅目和鞘翅目分类依照《中国生物物种名录第二卷昆虫》名称系统。

2.3 调查时间与频次

调查在传粉昆虫调查在 3~8 月开展，分 6 次。涵盖旱季的 3 次（3 月 1 次，4 月 2 次）和雨季的 3 次（6 月 1 次，7 月 1 次，8 月 1 次）。

2.4 调查方法

调查采用样线法，调查人员 1~2km/h 持相机和捕虫网匀速前进。观测记录样线及两侧 2m 范围内的传粉昆虫，并记录其生境。尽量拍摄物种照片，如有必要，采集标本以供后续鉴定。

2.5 物种鉴定

鳞翅目蝶类鉴定依据海峡出版社《中国蝴蝶图鉴》，蛾类主要参考香港鳞翅目协会出版社《梧桐山蛾类》。膜翅目鉴定主要参考《中国动物志》第 20 卷（蜜蜂科）、《中国动物志》第 44 卷（切叶蜂科）、《中国经济昆虫志》第 30 册（胡蜂总科）及一系列近期发表的蜂类分类文献。

第三章 调查结果分析

3.1 群落特征

3.1.1 物种组成

2022~2024 年 4 月，总共开展了 5 次传粉昆虫资源调查，选取 9 条样线（图 1 中除 A7 外的所有样线），覆盖了梅沙周边山地森林、灌丛、草丛、滨海次生林多个生境。共记录到传粉昆虫 3 目 23 科 138 种。

记录昆虫中，鳞翅目种类最多，共计 80 种，膜翅目种类其次，为 55 种，鳞

翅目中蛱蝶科和灰蝶科种类最多，分别有 27 种和 16 种，膜翅目中最丰富的类群为胡蜂科和蜜蜂科，分别有 15 种和 14 种。鞘翅目仅记录 3 种传粉昆虫。具体名录详见附录 A。

由于膜翅目和鞘翅目在深圳缺乏本底调查，目前并无深圳范围的膜翅目和鞘翅目名录，因此无法对梅沙社区的膜翅目及鞘翅目多样性占深圳的比例做出准确的估算。但根据笔者在深圳多地近 3 年的野外工作估计，梅沙地区的膜翅目传粉昆虫多样性属于较高水平。对于本底数据较为完备的鳞翅目，本次记录到的 78 种蝶类占深圳总蝶类多样性的~38%。由于并未开展夜间传粉昆虫的调查，记录到的 12 种蛾类多样性远低于梅沙社区实际的蛾类多样性，因此亦无法准确估算梅沙社区的蛾类占深圳蛾类多样性的比例。

调查发现传粉昆虫中的优势种类有：东方蜜蜂 (*Apis cerana*)、酢浆灰蝶 (*Pseudozizeeria maha*)、印度侧异腹胡蜂 (*Parapolybia indica*)、拟黄芦蜂 (*Ceratina (Ceratinidia) hieroglyphica*)、蓝凤蝶 (*Papilio protenor*)、鞋斑无垫蜂 (*Amegilla (Zonamegilla) calceifera*)、中环蛱蝶。罕见种类除了下文所述新纪录外，包括膜翅目的灰胸木蜂 (*Xylocopa (Alloxylocopa) phalothorax*)、长木蜂 (*Xylocopa (Biluna) tranquabarorum*)、四刺饰螺赢 (*Pseumenes depressus*)，以及鳞翅目的绿裙蛱蝶 (*Cynitia whiteheadi*)、大斑尾蛱蝶 (*Dodona egeon*)、双尾灰蝶 (*Tajuria cippus*)、齿翅娆灰蝶 (*Arhopala rama*)、尖翅银灰蝶 (*Curetis dentata*)。

3.1.2 珍稀保护物种

调查中未记录到深圳市有分布的两种国家级保护昆虫。但获得了 3 个膜翅目深圳新记录：西贡切叶蜂、琉球叶舌蜂和一种地蜂科地蜂属的蜜蜂（见附图）。地蜂科之前仅在较寒冷地区有报导，为深圳市膜翅目的科级新纪录。该种地蜂亦和已知的种类有较大形态差异，应为未被描述的种类。这些新纪录的产生暂不能归因于气候变化带来的物种迁移，而更可能源于深圳及周边地区的膜翅目本底缺乏调查。这可以从深圳及周边调查完备的鳞翅目中得到佐证，尽管我们记录到了比膜翅目更多的鳞翅目传粉昆虫，但这些种类均是深圳之前记录过的种类。另一方面，这些蜂类的体长均小于 1cm，琉球叶舌蜂甚至仅有 5mm 体长，很容易在

以往的调查中疏漏。

3.1.3 重点物种

鞋斑无垫蜂 (*Amegilla calceifera*)

比东方蜜蜂大的中型蜜蜂，可出现于包括市区公园等多种生境类型，对环境干扰的耐受度较大，营巢于垂直而裸露的土坡。因其常见且色彩丰富，具有潜在的科普宣传价值。

东方蜜蜂 (*Apis cerana*)

最常见且为人熟悉的蜜蜂，可出现于包括市区公园等多种生境类型，对环境干扰的耐受度较大，集群营巢于树洞、墙缝或石缝内。市区公园内和行道树内的蜂巢对行人有潜在的健康风险，需要注意。同时，东方蜜蜂可以酿造蜂蜜，是优秀的本土产蜜蜂类。

竹木蜂 (*Xylocopa nasalis*)

体型很大的全黑色蜜蜂，可出现在包括市区公园等多种生境类型，对环境干扰的耐受度较大，营巢于干枯的竹竿内。尽管体型巨大但性情温顺，除非捕捉不会攻击人。因其体型巨大，常能引起民众的恐慌，可以宣传其访花传粉的生态功能而减少公众的恐惧。

玉带凤蝶 (*Papilio paris*)

最为容易被公众注意到的鳞翅目访花昆虫，颜色丰富为大家喜爱。可以通过种植其喜欢访问的植物如三角梅、九里香、龙船花、假连翘吸引到访。也可以通过种植其寄主植物多种柑橘类水果或胡椒木增加其数量。

弓费螺赢 (*Phimenes flavopictus*)

大型而常见的胡蜂，遍布黑黄色斑，看起来非常令人恐惧。但其性情温顺，除非捕捉不会攻击人。衔泥在墙壁上搭建泥巢，捕捉鳞翅目幼虫（青虫）喂养后代。除了作为传粉昆虫，也是重要的捕食者，可以加以宣传。

地蜂属 (*Andreana* sp.)

中型而稀少的蜜蜂，本种笔者仅记录于马峦山、田头山及临近的香港西贡及太平山顶等高海拔地区，发生期也仅在秋冬季节。作为主要分布于温带和寒带地区的物种，该地蜂在深圳的种群对高温非常敏感。未来可能会受到气候变化的影

响较大，应给予重点关注。

褐胸无垫蜂 (*Amegilla mesopyrrha*)，通体褐色而腹部有褐色和白色条纹，虽然南方广布，但仅生活在郁闭度较高的森林内部。由于这样的森林在深圳并不常见，因而在深圳较为稀少，须予以关注。

3.2 季节动态

梅沙地区的传粉昆虫在旱季和雨季有较大差异，雨季的多样性高于旱季。雨季共记录 125 种，旱季共记录 89 种，旱季和雨季共有的种类有 76 种。仅出现在旱季的传粉昆虫为 13 种，仅出现在雨季的传粉昆虫为 49 种，其中鳞翅目的琉璃蛱蝶和除连切叶蜂外的切叶蜂属蜜蜂可分别作为旱季和雨季的指示物种。不同季节的物种多样性分布详见附录 A。

3.3 空间分布

对比不同生境，梅沙周边山地次生林的物种多样性最高，共 128 种，最低为草地环境，共 19 种。这和山地次生林较高的开花植物本底多样性而草地环境中较少开花双子叶植物有关。其中膜翅目的绿条无垫蜂、褐胸无垫蜂、西贡切叶蜂、陀螺彩带蜂、地蜂属、四刺饰螺羸和鳞翅目的双尾灰蝶、绿裙蛱蝶、绿弄蝶、齿翅娆灰蝶、尖翅银灰蝶仅在植被相对完好的山地次生林中出现，黄斑弄蝶和斐豹蛱蝶仅在草地环境中出现、灰胸木蜂仅在滨海次生林中记录，这些种类可作为各自生境的指示物种。不同生境的物种多样性分布详见附录 A。

第四章 保护和管理建议

4.1 重点保护地点

传粉昆虫作为昆虫的一部分，和大多数昆虫一样受到栖息地植被、特别是植物多样性的影响较大。因此，可以预计的是在山地次生林中传粉昆虫的种类比较多。由于缺乏对整个深圳和广东地区膜翅目分布和种群状况的了解，除了前文

详细列举的需要重点关注的对生境要求较高的种类，我们很难做出哪些物种需要重点保护的建议。因此，我们建议暂时将山海大观至梅沙尖一带海拔超过 400m 的范围划为重点保护区域，以保护以地蜂和褐胸无垫蜂为主的依赖良好森林环境的传粉昆虫。由于昆虫的活动范围比大多数脊椎动物要窄的多，对于其它在本次调查中记录较少的种类，我们并不认为其较少的记录反映了其较低的种群数量，而是其形态和活动习性导致的偏差，上述划定的重点保护区域也涵盖了其适宜生活的区域。

4.2 人为干扰对传粉昆虫的影响

和脊椎动物不同，对于梅沙地区的传粉昆虫来说，人类的直接捕捉和干扰对其产生的影响是微乎其微的，最大的威胁来自栖息地的改变，但以深圳的土地规划和使用标准，梅沙地区栖息地在近期内人为改变的概率不大。因此，目前对传粉昆虫来说，外来物种和园林维护是两大潜在的重要人类干扰。首先，虽然以白花鬼针草、马缨丹、羽芒菊、南美蟛蜞菊、薇甘菊为代表的入侵物种和以簕杜鹃、猪屎豆、龙船花、喜花草、巴西野牡丹为代表的外来植物是传粉昆虫非常喜爱的蜜源植物，为其生存和活动提供了重要的能量来源，也吸引了大量的传粉昆虫。但这些植物的花蜜和花粉质量是否较本土植物更为优良并无研究，因此无法量化这些入侵和外来植物对传粉昆虫的吸引构成了一种“生态陷阱”。可以确定的是，传粉昆虫身上因此携带的大量异源花粉，将对本土物种的繁殖产生一定的不利影响，但影响程度有待量化。

其次，很多郊野径会定期园林修剪、清除路边的杂草灌木。这些或是入侵物种的防控需要，或是为了美观和防止蛇虫滋生。但目前的园林管理多数较为粗放，一些喜欢开阔环境的本土优秀蜜源植物，如山芝麻、假地豆、一点红也会在这个过程中被清除，减少传粉昆虫的潜在食物。未来更精细化的园林修剪将对保护传粉昆虫尤为重要。

4.3 管理建议

首先，作为短期对策，可以减少园林修剪对传粉昆虫产生的潜在威胁，尤其

是对道路两旁自然生长的本土植物应建议加以甄别，这需要对园林工人开展培训。一些当年干枯的枯枝和路基裸露的土坡是一些蜂类喜欢的营巢地点。可以在设立标识注明该处用途、提醒行人的基础上有选择的保留。

其次，作为长期对策，应增加一些对于入侵物种和外来物种如何影响传粉昆虫的机理性研究，客观量化外来植物对于本土传粉昆虫生存和繁殖的影响。既不能一刀切的清除所有的外来物种，也不能因为其吸引较多传粉昆虫而默许其肆意扩张。

第五章 主要结论

(1) 本次调查在相对较短的时间内获得了大量的传粉昆虫多样性，又以雨季和植物多样性较高的次生森林中的传粉昆虫多样性最高。这显示了管理上增加植物多样性对维持昆虫多样性的重要性。维持梅沙社区山地次生林的健康和完整度，将对提升梅沙社区传粉昆虫多样性有巨大的帮助。

(2) 本调查仅以日间样线调查的方式关注了梅沙社区访花的传粉昆虫。对夜行性的访花昆虫的采样是不足的，因此鳞翅目和膜翅目的比例相对较高，并不能外推反映梅沙社区分布的昆虫的整体多样性格局。此外，囿于鉴定的困难，本次调查忽略了对双翅目访花昆虫的采集，这些不足在未来的调查中应该尽量补充。

(3) 传粉昆虫和植物的相互作用密切，本次调查大部分的种类均在入侵和外来物种上采集，鉴于入侵和外来物种的潜在生态威胁，暂时不能为推荐适合本土种植的蜜源植物提供有效建议。需要有更长期的数据积累，才能帮助我们解答入侵和外来物种如何影响传粉昆虫和本土植物的相互作用。

参考文献

- [1] Allen-Perkins, Alfonso, *et al.* "CropPol: A dynamic, open and global database on crop pollination." *Ecology* (2022): e3614.
- [2] Dicks, Lynn V., *et al.* "A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline." *Nature Ecology & Evolution* 5.10 (2021): 1453-1461.
- [3] Ollerton, Jeff, *et al.* "How many flowering plants are pollinated by animals?." *Oikos* 120.3 (2011): 321-326.
- [4] Ollerton, Jeff. "Pollinator diversity: distribution, ecological function, and conservation." *Annual review of ecology, evolution, and systematics* 48 (2017): 353-376.
- [5] Pimm S.L. *Food webs*. Springer, Dordrecht (1982).
- [6] Vasiliev, Denis, and Sarah Greenwood. "The role of climate change in pollinator decline across the Northern Hemisphere is underestimated." *Science of the Total Environment* 775 (2021): 145788.
- [7] Jia, C. J., & Yu, T. T. (2018). *Moths of the Mt. Wutongshan*. Hong Kong Lepidoptera Society.
- [8] 程纹, 吕明聪, 张婷婷, & 董慧. (2024). 公民科学在深圳城市公园蝴蝶多样性保护中的应用. *中国城市林业*, 22(1), 150-156.
- [9] 刘秀等. "环境变化对中国野生蜜蜂多样性的影响." *生物多样性* 26.7 (2018): 760.
- [10] 刘朋飞等. "中国农业蜜蜂授粉的经济价值评估." *中国农业科学* 44.24 (2011): 5117-5123.
- [11] 李志刚, 曾焕忱, 叶静文, 李军, & 韩诗畴. (2015). 珠三角重要生态区域蝶类多样性及其对区域环境的指示. *生态科学*, (5), 167-171.

附录 A: 梅沙社区传粉昆虫名录及其分布生境和季节 (Y 代表有记录)

目	科	中文名	学名	次 生 林	城 市 公 园	灌 丛	草 地	滨 海 林	旱 季	雨 季
鳞 翅目	尺蛾科	豹尺蛾	<i>Dysphania militaris</i>							
鳞 翅目	尺蛾科	虎纹拟长翅 尺蛾	<i>Epobeidia tigrata</i>							
鳞 翅目	尺蛾科	金星尺蛾属	<i>Abraxas</i> sp.							
鳞 翅目	尺蛾科	黄基粉尺蛾	<i>Pingasa ruginaria</i>							
鳞 翅目	尺蛾科	淡旖尺蛾	<i>Ectropis bhurmitra</i>							

鳞	尺蛾科	大钩翅尺蛾	<i>Hyposidra talaca</i>
翅目			
鳞	尺蛾科	大造桥虫	<i>Ascotis selenaria</i>
翅目			
鳞	大蚕蛾科	乌柏大蚕蛾	<i>Attacus atlas</i>
翅目			
鳞	斑蛾科	红带网斑蛾	<i>Retina rubrivitta</i>
翅目			
鳞	裳蛾科	蝶灯蛾	<i>Nyctemera lacticinia</i>
翅目			
鳞	天蛾科	咖啡透翅天蛾	<i>Cephonodes hylas</i>
翅目			
鳞	舟蛾科	后白查舟蛾	<i>Chadisra bipartita</i>
翅目			
鳞	粉蝶科	迁粉蝶	<i>Catopsilia pomona</i>
翅目			
鳞	粉蝶科	报喜斑粉蝶	<i>Delias pasithoe</i>

翅目

鳞 粉蝶科 宽边黄粉蝶 *Eurema hecabe*

翅目

鳞 凤蝶科 黑脉园粉蝶 *Cepora nerissa*

翅目

鳞 凤蝶科 鹤顶粉蝶 *Hebomoia glaucippe*

翅目

鳞 凤蝶科 绿凤蝶 *Graphium antiphates*

翅目

鳞 凤蝶科 统帅青凤蝶 *Graphium agamemnon*

翅目

鳞 凤蝶科 木兰青凤蝶 *Graphium doson*

翅目

鳞 凤蝶科 青凤蝶 *Graphium sarpedon*

翅目

鳞 凤蝶科 玉斑凤蝶 *Papilio helenus*

翅目

鳞	凤蝶科	巴黎翠凤蝶	<i>Papilio paris</i>
翅目			
鳞	凤蝶科	美凤蝶	<i>Papilio memnon</i>
翅目			
鳞	凤蝶科	玉带凤蝶	<i>Papilio polytes</i>
翅目			
鳞	凤蝶科	蓝凤蝶	<i>Papilio protenor</i>
翅目			
鳞	灰蝶科	蛇目褐蛱蝶	<i>Abisara echerius</i>
翅目			
鳞	灰蝶科	波蛱蝶	<i>Zemeros flegyas</i>
翅目			
鳞	灰蝶科	大斑尾蛱蝶	<i>Dodona egeon</i>
翅目			
鳞	灰蝶科	尖翅银灰蝶	<i>Curetis dentata</i>
翅目			
鳞	灰蝶科	齿翅娆灰蝶	<i>Arhopala rama</i>

翅目

鳞 灰蝶科 玛灰蝶 *Mahathala ameria*

翅目

鳞 灰蝶科 亮灰蝶 *Lampides boeticus*

翅目

鳞 灰蝶科 酢浆灰蝶 *Pseudozizeeria maha*

翅目

鳞 灰蝶科 长腹灰蝶 *Zizula hylax*

翅目

鳞 灰蝶科 雅灰蝶 *Jamides bochus*

翅目

鳞 灰蝶科 素雅灰蝶 *Jamides alecto*

翅目

鳞 灰蝶科 锡冷雅灰蝶 *Jamides celeno*

翅目

鳞 灰蝶科 钮灰蝶 *Acytolepis puspa*

翅目

鳞	灰蝶科	绿灰蝶	<i>Artipe eryx</i>
翅目			
鳞	灰蝶科	豆粒银线灰	<i>Cigaritis syama</i>
翅目		蝶	
鳞	灰蝶科	双尾灰蝶	<i>Tajuria cippus</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	白带螯蛱蝶	<i>Charaxes arberndus</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	芒蛱蝶	<i>Euripus nycteliu</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	黑脉蛱蝶	<i>Hestina assimilis</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	罗蛱蝶	<i>Rohana parisatis</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	网丝蛱蝶	<i>Cyrestis thyodamas</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	散纹盛蛱蝶	<i>Symbrenthia lilaea</i>

翅目

鳞 蛱蝶科 黄襟蛱蝶 *Cupha erymanthis*

翅目

鳞 蛱蝶科 斐豹蛱蝶 *Argyeus hyperbius*

翅目

鳞 蛱蝶科 琉璃蛱蝶 *Kaniska canace*

翅目

鳞 蛱蝶科 矛翠蛱蝶 *Euthalia aconthea*

翅目

鳞 蛱蝶科 小豹律蛱蝶 *Lexias pardalis*

翅目

鳞 蛱蝶科 绿裙蛱蝶 *Cynitia whiteheadi*

翅目

鳞 蛱蝶科 相思带蛱蝶 *Athyma nefte*

翅目

鳞 蛱蝶科 新月带蛱蝶 *Athyma selenophora*

翅目

鳞	蛱蝶科	残锷线蛱蝶	<i>Athyma sulpitia</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	小眉眼蝶	<i>Mycalesis mineus</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	中环蛱蝶	<i>Neptis hylas</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	珂环蛱蝶	<i>Neptis clinia</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	柱菲蛱蝶	<i>Phaedyma columella</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	金蟠蛱蝶	<i>Pantoporia hordonia</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	串珠环蝶	<i>Faunis eumeus</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	异型紫斑蝶	<i>Euploea mulciber</i>
翅目			
鳞	蛱蝶科	绢斑蝶	<i>Parantica aglea</i>

翅目

鳞 蛺蝶科 矍眼蝶 *Ypthima baldus*

翅目

鳞 蛺蝶科 腌翅弄蝶 *Astictopterus jama*

翅目

鳞 蛺蝶科 曲纹黛眼蝶 *Lethe chandica*

翅目

鳞 蛺蝶科 白带黛眼蝶 *Lethe confusa*

翅目

鳞 蛺蝶科 睇暮眼蝶 *Melanitis phedima*

翅目

鳞 弄蝶科 绿弄蝶 *Choaspes benjaminii*

翅目

鳞 弄蝶科 匪夷捷弄蝶 *Gerosis phisara*

翅目

鳞 弄蝶科 沾边裙弄蝶 *Tagiades litigiosus*

翅目

鳞	弄蝶科	黑边裙弄蝶	<i>Tagiades menaka</i>
翅目			
鳞	弄蝶科	姜弄蝶	<i>Udaspes folus</i>
翅目			
鳞	弄蝶科	黄斑弄蝶	<i>Ampittia dioscorides</i>
翅目			
鳞	弄蝶科	曲纹袖弄蝶	<i>Notocrypta curvifascia</i>
翅目			
鳞	弄蝶科	印度谷弄蝶	<i>Pelopidas assamensis</i>
翅目			
鳞	弄蝶科	雅弄蝶	<i>Iambrix salsala</i>
翅目			
鳞	弄蝶科	素弄蝶	<i>Suastus gremius</i>
翅目			
膜	锤角叶	朴童锤角叶	<i>Agenocimbex maculatus</i>
翅目	蜂科	蜂	
膜	胡蜂科	三叶佳盾蝶	<i>Euodynerus trilobus</i>

翅目		羸	
膜	胡蜂科	孔蜾蠃	<i>Eumenes punctatus</i>
翅目			
膜	胡蜂科	穴短触蜾蠃	<i>Apodynerus troglodytes</i>
翅目			
膜	胡蜂科	台湾短触蜾	<i>Apodynerus formosensis</i>
翅目		羸	
膜	胡蜂科	弓費蜾蠃	<i>Phimenes flavopictus</i>
翅目			
膜	胡蜂科	四刺饰蜾蠃	<i>Pseumenes depressus</i>
翅目			
膜	胡蜂科	黑尾胡蜂	<i>Vespa ducalis</i>
翅目			
膜	胡蜂科	双色胡蜂	<i>Vespa bicolor</i>
翅目			
膜	胡蜂科	墨胸胡蜂	<i>Vespa velutina</i>
翅目			

膜	胡蜂科	印度侧异腹	<i>Parapolybia indica</i>
翅目		胡蜂	
膜	胡蜂科	变侧异腹胡	<i>Parapolybia varia</i>
翅目		蜂	
膜	胡蜂科	点铃腹胡蜂	<i>Ropalidia stigma</i>
翅目			
膜	胡蜂科	点马蜂	<i>Polistes stigma</i>
翅目			
膜	胡蜂科	棕马蜂	<i>Polistes gigas</i>
翅目			
膜	胡蜂科	胸稜马蜂	<i>Polistes strigosus</i>
翅目			
膜	泥蜂科	日本蓝泥蜂	<i>Chalybion japonicum</i>
翅目			
膜	泥蜂科	四脊泥蜂	<i>Sphex sericeus</i>
翅目			
膜	泥蜂科	黑毛泥蜂	<i>Sphex subtruncatus</i>

翅目

膜 方头泥 红足脊小唇 *Liris aurulentus*

翅目 蜂科 泥蜂

膜 方头泥 大头泥蜂属 *Philanthus* sp.

翅目 蜂科

膜 方头泥 节腹泥蜂属 *Cerceris* sp.

翅目 蜂科

膜 分舌蜂 琉球叶舌蜂 *Hylaeus nanseiensis*

翅目 科

膜 分舌蜂 叶舌蜂属 *Hylaeus* sp.

翅目 科

膜 地蜂科 地蜂属 *Andrena* sp.

翅目

膜 蜜蜂科 鞋斑无垫蜂 *Amegilla (Zonamegilla) calceifera*

翅目

膜 蜜蜂科 绿条无垫蜂 *Amegilla (Zonamegilla) zonata*

翅目

膜	蜜蜂科	褐胸无垫蜂	<i>Amegilla (Glossamegilla) mesopyrrha</i>
翅目			
膜	蜜蜂科	萃熊蜂	<i>Bumbus eximius</i>
翅目			
膜	蜜蜂科	东方蜜蜂	<i>Apis cerana</i>
翅目			
膜	蜜蜂科	何威布朗蜂	<i>Braunsapis hewitti</i>
翅目			
膜	蜜蜂科	南方芦蜂	<i>Ceratina (Ceratinidia) cognata</i>
翅目			
膜	蜜蜂科	拟黄芦蜂	<i>Ceratina (Ceratinidia) hieroglyphica</i>
翅目			
膜	蜜蜂科	绿芦蜂	<i>Ceratina (Pithitis) smaragdula</i>
翅目			
膜	蜜蜂科	盾斑蜂属	<i>Thyreus sp.</i>
翅目			
膜	蜜蜂科	灰胸木蜂	<i>Xylocopa (Alloxylocopa) phalothorax</i>

翅目

膜 蜜蜂科 竹木蜂 *Xylocopa (Biluna) nasalis*

翅目

膜 蜜蜂科 长木蜂 *Xylocopa (Biluna) tranquabarorum*

翅目

膜 蜜蜂科 领木蜂 *Xylocopa (Zonohirsuta) dejeanii*

翅目

膜 切叶蜂 连切叶蜂 *Megachile (Aeothmegachile) conjuncta*

翅目 科

膜 切叶蜂 黄刷切叶蜂 *Megachile (Aethomegachile) igniscopata*

翅目 科

膜 切叶蜂 双色切叶蜂 *Megachile (Amegachile) bicolor*

翅目 科

膜 切叶蜂 灰花切叶蜂 *Megachile (Amegachile) griseopicta*

翅目 科

膜 切叶蜂 西贡切叶蜂 *Megachile (Amegachile) saigonensis*

翅目 科

膜	切叶蜂	未知脊切叶	<i>Megachile (Amegachile) sp.</i>
翅目	科	蜂	
膜	切叶蜂	条切叶蜂	<i>Megachile (Callomegachile) faceta</i>
翅目	科		
膜	切叶蜂	三带切叶蜂	<i>Megachile (Lagella) trizonata</i>
翅目	科		
膜	隧蜂科	褐足淡脉隧	<i>Lasioglossum (Ctenonomia) vegans</i>
翅目		蜂	
膜	隧蜂科	台湾淡脉隧	<i>Lasioglossum (Ctenonomia) formosa</i>
翅目		蜂	
膜	隧蜂科	白带淡脉隧	<i>Lasioglossum (Leuchalictus) albescens</i>
翅目		蜂	
膜	隧蜂科	虹彩带蜂	<i>Nomia (Acunomia) iridescens</i>
翅目			
膜	隧蜂科	黄胸彩带蜂	<i>Nomia (Gnathonomia) thoracica</i>
翅目			
膜	隧蜂科	宽黄彩带蜂	<i>Nomia (Hoplonomia) maturans</i>

翅目

膜

隧蜂科

陀螺彩带蜂

Nomia (Maculonomia) apicalis

翅目

膜

隧蜂科

槟城彩带蜂

Nomia (Maculonomia) penangensis

翅目

鞘

金龟科

海丽花金龟

Euselates magna

翅目

鞘

天牛科

黑绒天牛属

Embrikstrandia sp.

翅目

鞘

天牛科

暗翅筒天牛

Oberea fuscipennis

翅目

附录 B 调查照片



豹尺蛾 *Dysphania militaris*



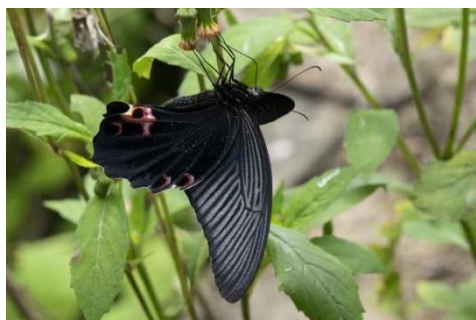
蝶灯蛾 *Nyctemera lacticina*



黑脉蛱蝶 *Hestina assimilis*



绢斑蝶 *Parantica aglea*



蓝凤蝶 *Papilio protenor*



波蛱蝶 *Zemerus flegyas*



网丝蛱蝶 *Cyrestis thyodamas*



乌柏大蚕蛾 *Attacus atlas*



竹木蜂 *Xylocopa (Biluna) nasalis*



东方蜜蜂 *Apis cerana*



点铃腹胡蜂 *Ropalidia stigma*



节腹泥蜂 *Cerceris* sp.