



数据资源 RESOURCES

杭州西湖景区和西溪湿地
两栖爬行动物多样性调查与分析江志¹, 何珂², 楼毅¹, 覃世迪², 赵阿勇², 刘宝权^{3*}

- (1. 杭州动物园, 杭州 310008;
2. 浙江农林大学动物科技学院, 动物医学院, 杭州 311300;
3. 浙江省森林资源监测中心, 杭州 310020)

稿件运行过程

收稿日期: 2024-09-15

修回日期: 2024-12-11



摘要

关键词: 西湖景区;
西溪湿地;
两栖动物;
爬行动物;
生物多样性;
城市生态系统

Keywords: West Lake Scenic Area;
Xixi Wetland;
Amphibians;
Reptiles;
Biodiversity;
Urban ecosystem

中图分类号: Q958.1

文献标志码: A

文章编号:

2310-1490(2025)-04-0937-12

DOI: 10.12375/ysdwxb.202409014

两栖和爬行类动物被认为是环境健康的重要指示类群。为掌握杭州重要城市生态系统中生物多样性状况,本研究对西湖风景名胜区和西溪国家湿地公园两处核心地区的两栖爬行动物进行多样性调查与评估。本研究在调查区域利用样线法和样方法开展了3个季节的调查,记录到两栖类2目8科21种,爬行类1目8科23种;除上述本土物种外,还发现寺庙的放生池中有一定数量的龟类(6种),其中有入侵物种巴西龟(*Trachemys scripta elegans*)和蛇鳄龟(*Chelydra serpentina*)。物种多样性特征分析结果表明:西湖景区比西溪湿地呈现更丰富的生物多样性,具体表现为:(1)在物种分布数目上,西湖景区的两栖类和爬行类物种分别比西溪湿地多11、18种;(2)在物种多样性指数上,西湖景区的G-F指数均高于西溪湿地(西湖两栖 $D_{G-F} = 0.316$,西溪两栖 $D_{G-F} = 0.150$;西湖爬行 $D_{G-F} = 0.318$,西溪爬行 $D_{G-F} = 0.217$)。此外,西溪湿地单独记录到短尾蝮(*Gloydius brevicaudus*)和阔褶水蛙(*Hylarana latouchii*)。相关性分析表明,季节、降雨量以及气温与物种丰富度呈中度相关($0.06 < \eta^2 < 0.16$),而与香农-维纳指数和辛普森指数呈弱相关($\eta^2 < 0.06$),夏季物种丰富度高于其他两个季节。本研究详细调查了西湖景区和西溪湿地的两栖及爬行动物多样性与分布情况,同时发现了这两个区域存在入侵物种,尤其是放生池内。这些发现为未来这两个景区在物种多样性保护和管理方面提供了重要的参考依据。

基金项目: 2022年中央林业改革发展项目(西湖西溪陆生野生动物生物多样性调查项目)

第一作者简介: 江志(1974—),男,高级兽医师;主要从事野生动物管理和兽医学研究。E-mail: 289756250@qq.com

*通信作者: 刘宝权, E-mail: zjhzbq@126.com

Amphibian and Reptile Diversity Survey and Analysis in West Lake Scenic Area and Xixi Wetland of Hangzhou

JIANG Zhi¹, HE Ke², LOU Yi¹, QIN Shidi², ZHAO Ayong², LIU Baoquan^{3*}

(1. Hangzhou Zoo, Hangzhou 310008, China;

2. College of Animal Science and Technology, College of Veterinary Medicine, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China;

3. Zhejiang Forest Resource Monitoring Center, Hangzhou 310020, China)

Abstract: Amphibians and reptiles serve as crucial indicators of environmental health. To assess the biodiversity status in the key urban ecosystems in Hangzhou, we conducted a comprehensive survey and evaluation of amphibian and reptilian diversity in two core regions: the West Lake Scenic Area and the Xixi National Wetland Park. Using both the line transect and quadrat method across three seasons, we documented 21 amphibian species from eight families and two orders, and 23 reptilian species from eight families and one order. In addition to these native species, six species of turtles, including invasive ones such as the red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) and the common snapping turtle (*Chelydra serpentina*), were found in temple release ponds. Analysis of species diversity revealed that the West Lake Scenic Area exhibited greater biodiversity compared to the Xixi Wetland, as evidenced by: (1) In terms of the number of species richness: the West Lake Scenic Area had 11 more amphibian and 18 more reptilian species than the Xixi Wetland. (2) Species diversity indices, the G-F index for the West Lake Scenic Area was higher than that for the Xixi Wetland (amphibians: West Lake $D_{G-F} = 0.316 > Xixi D_{G-F} = 0.150$; reptiles: West Lake $D_{G-F} = 0.318 > Xixi D_{G-F} = 0.217$). Notably, Short-tailed mamushi (*Gloydius brevicaudus*) and Latouche's frog (*Hylarana latouchii*) were exclusive to the Xixi Wetland. Correlation analysis showed that season, rainfall, and temperature were moderately correlated with species richness ($0.06 < \eta^2 < 0.16$) and weakly correlated with the Shannon-Wiener and Simpson indices ($\eta^2 < 0.06$), with species richness being higher in summer than in the other two seasons. This study provided a detailed examination of the diversity and distribution of amphibians and reptiles in the West Lake Scenic Area and the Xixi Wetland. In addition, invasive species were identified in both regions, particularly in the release ponds. These discoveries serve as a crucial reference for the future conservation and management of biodiversity in these two scenic areas.

随着城市化规模的扩大,城市在生物多样性保护领域的作用变得日益重要。《生物多样性公约》秘书处等机构于2012年联合发布的《城市与生物多样性展望》报告指出,城市化对生物多样性和生态系统服务管理而言既是挑战也是机遇^[14],城市土地的有效使用和自然生态系统的良好管理,可以使城市及其周边居民和生物多样性共同受益。城市已成为遏制全球生物多样性丧失解决方案的重要组成部分,城市基础设施在生物多样性保护中发挥着重要作用^[17-11]。2021年《生物多样性公约》第十五次缔约方大会(CBD COP15)进一步强调,应通过将生物多样性保护与可持续利用纳入主流,持续扩大城市和人口密集区域绿色和蓝色空间的面积、提升其质量和连通性,增加公

众亲近绿色和蓝色空间的机会并使其受益;确保城市规划兼顾生物多样性目标,加强本地生物多样性保护、生态连通性和系统完整性;改善人类健康和福祉,增强人与自然的联系,推进包容和可持续的城市化进程,并提供更完善的生态系统功能和服务^[2]。

近年来,城市生物多样性已成为衡量城市生态环境质量的重要指标之一^[3]。丰富的生物多样性不仅有助于维持生态系统健康,还能对人类提供更优质的生态服务功能。与自然生态系统相比,城市湿地与绿地生态系统同样面临高污染和外来物种入侵等威胁,导致城市湿地服务功能趋同和极化、生物多样性下降^[4-5]。当前,城市生物多样性具有生态系统结构单一且脆弱、物种组合简化并趋于同质化及物

种遗传变异趋向“同步城市化”的特点^[3]。

本研究选取西湖风景名胜(以下简称“西湖景区”)和西溪国家湿地公园(以下简称“西溪湿地”)作为研究对象,二者均为杭州重要的城市生态系统,在维系城市、人类和动物和谐共生方面发挥关键作用。以往对杭州市动物类群的调查多集中于水生物种、鸟类和无脊椎动物,如西湖山区节肢动物^[6]、西湖水鸟^[7]和底栖生物^[8]的相关研究,以及西溪湿地资源保护与修复对策^[9]、鱼类资源调查^[10]等。据不完全统计,西湖景区曾于2006年开展生物多样性生态功能研究及示范区建设,但并未针对两栖和爬行动物进行系统调查;相关数据仅零星包含于浙江省全省性调查中,并未独立列出西湖景区物种名录^[11];根据《杭州西溪国家湿地公园生物多样性2022年度监测报告》^[12]¹⁵⁷⁻¹⁵⁸,西溪湿地记录有两栖动物10种和爬行动物15种。总体而言,现阶段对西湖景区和西溪湿地的两栖和爬行动物多样性仍缺乏系统、专项的研究。为厘清两地两栖和爬行动物的本底资源,支撑其生物多样性的科学保护与管理,本研究于2023年对上述区域开展两栖爬行动物多样性实地调查,旨在明确物种组成,分析分布现状及区系地理特征。研究成果可为两地两栖爬行动物的保护与管理提供基础数据与科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

杭州市(29°11'—30°34' N, 118°20'—120°37' E)属亚热带季风性气候,四季分明,光照充足,雨量丰沛,春秋短,冬夏长。2022年,全市年平均降水量1 456.6 mm,年平均气温18.2℃,最热月(7月)平均气温31.6℃,最冷月(1月)平均气温6.4℃。

西湖风景名胜区位于杭州市西部西湖区(30°10'19"—30°16'28" N, 120°04'06"—120°10'16" E),总面积59.04 km²,其中湖面面积6.38 km²。该区域以低山丘陵地貌为主(海拔多在300 m以下,数据基于ArcGIS v10.8.1测绘获取),平原与山地面积大致各半,植被以乔木林和茶园为主。

西溪国家湿地公园地处杭州市西湖区与余杭区交界处(30°15'01"—30°16'59" N, 120°02'22"—120°05'07" E),总面积11.5 km²,其中约70%为水域(基于ArcGIS v10.8.1测绘获取)。该公园是以湿地生态系统为核心的平原水网地区自然-人工复合型湿

地的典型代表^[9]。园内鱼塘遍布,河、港、湖和漾等水体与狭窄的塘基、面积较大的洲渚交错分布,形成了典型的次生湿地地貌景观。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查方案

根据《县域两栖类和爬行类多样性调查与评估技术规定》(环境保护部2017年第84号公告)的要求,将调查区域划分为1 km × 1 km的单元网格。若某一网格中所含调查区域面积占该网格面积的25%以上,则该网格为有效网格。江洋畷生态公园虽然面积未达上述标准,但因包含开阔水域,故也列入。若在有效网格内设置了样线并进行实地调查则定义为调查网格。本研究共划定有效网格88个(西湖景区69个,西溪湿地19个),其中调查网格47个(西湖景区37个,西溪湿地10个)。

调查时间为2023年3—10月,按春季(4月)、夏季(6月)和秋季(8月)进行数据统计分析。野外调查采用样线和样方法,并辅以访谈调查,以收集和整理该地区两栖爬行动物的历史资料。访谈对象主要包括保护区工作人员、本土资深自然爱好者及相关民间机构。

结合植被类型、湿地分布和人类干扰等生境因子,合理设置调查样线和样方。调查方法参考HJ 710.5—2014《生物多样性观测技术导则 爬行动物》和HJ 710.6—2014《生物多样性观测技术导则 两栖动物》,每日记录气温及降雨量用于后续分析。考虑到两栖动物多以夜行性为主,爬行动物则兼有昼行与夜行种类,为全面覆盖不同类群的活动时段和生境类型,共设置样线68条,总长度86.3 km;样方42个,总面积5.73 km²,均用于调查两栖爬行动物丰富度。每次调查分白天(09:00—11:00)和夜间(20:00—22:00)两个时段,于4月、6月和8月每月连续开展7 d,累计调查时间为21 d(图1)。

依据《中国两栖动物及其分布彩色图鉴》^[13]、《中国动物志 爬行纲》^[14-15]等文献进行物种鉴定,物种名称与分类系统参照《中国两栖、爬行动物更新名录》^[16]和IUCN濒危物种红色名录(<http://www.iucnredlist.org/>)。物种濒危等级、区系及保护级别分别依据IUCN濒危物种红色名录、《中国动物地理》^[17]、《国家重点保护野生动物名录》(2021年2月1日修订)^[18]及《浙江省重点保护陆生野生动物名录》(2016)^[19]确定。

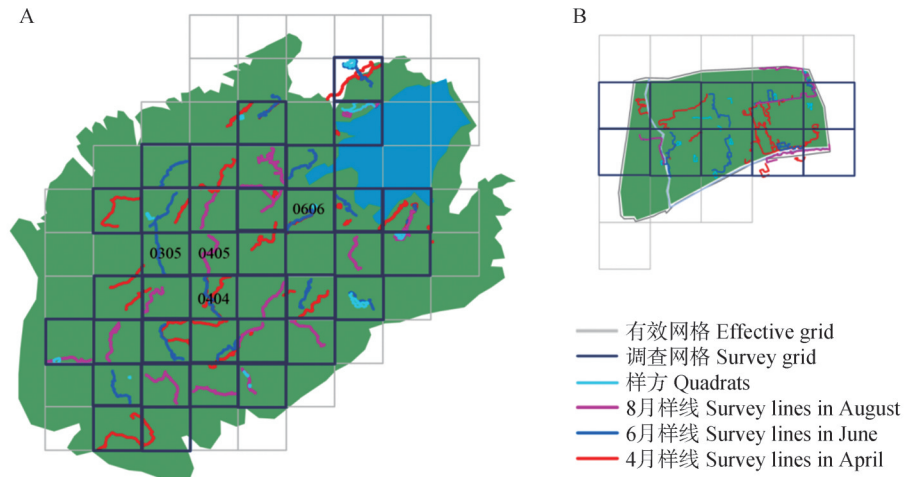


图1 西湖景区(A)和西溪湿地(B)样线及样方分布

Figure 1 Distribution of transects and quadrats in West Lake Scenic Area (A) and Xixi Wetland (B)

1.2.2 结合历史数据整理物种名录

综合《浙江动物志:两栖类 爬行类》^[11]、《杭州西溪国家湿地公园生物多样性2022年度监测报告》^[12]以及本次调查结果,整理形成西湖景区和西溪湿地两栖和爬行动物名录。

1.3 数据分析

本研究整理的西湖和西溪两栖爬行动物名录(附录1,附录2)整合了历史记录和本次调查数据。除本土物种外,还发现了部分放生或非本土物种。对此类数据的处理原则如下:在放生池中观测到的物种,即中华草龟(*Mauremys reevesii*)、巴西龟(*Trachemys scripta elegans*)和蛇鳄龟(*Chelydra serpentina*),因有历史记录且本次调查再次观测到,故记录在名录中;其他无历史记录的物种则未记录到名录中。此外,野外环境中发现的中国大鲵(*Andrias davidianus*)与棘腹蛙(*Quasipaa boulengeri*),经查阅文献^{[11],[12]157-158}确认其并非本土物种,结合访谈调查结果,推测是人为放生物种。在后续分析中仅包含本次调查确认的本土物种数据,未包含放生及非本土物种。

1.3.1 G-F 指数

本研究采用G-F指数来评估调查区域在科、属水平上的物种多样性^[20]。G-F指数的计算是为了在更广的谱系背景下衡量调查区域的多样性,因此以浙江省两栖爬行动物名录^[21-22]为参考物种名录(以下简称“名录”)。

(1)F 指数(D_F)

该指数代表了科级水平的多样性,公式为

$$D_F = \sum_{k=1}^m D_{F,k}$$

式中: m 为名录中两栖纲/爬行纲的科数; $D_{F,k} = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$,为某一特定科 k 的F指数,其中 $P_i = s_{k,i}/S_k$, S_k 为名录中 k 科中的物种数, $s_{k,i}$ 为名录中 k 科 i 属中的物种数, n 为 k 科中的属数。

(2)G 指数(D_G)

该指数代表了属级水平的总体多样性,公式为

$$D_G = -\sum_{j=1}^p q_j \ln q_j$$

式中: $q_j = s_j/S$, S 为名录中两栖纲/爬行纲的物种数, s_j 为名录中两栖纲/爬行纲中 j 属中的物种数, p 为名录中两栖纲/爬行纲中的属数。

(3)G-F 指数

该指数是G指数与F指数的标准化比值,用于度量属级多样性对科级多样性的贡献程度,公式为

$$D_{G-F} = 1 - D_G/D_F$$

1.3.2 α 多样性分析

α 多样性是指特定栖息地或群落内的物种多样性。为了评估本研究区域内两栖和爬行动物多样性,我们采用物种丰富度(物种数)、香农-维纳指数(Shannon-Wiener index)和辛普森指数(Simpson index)3个 α 多样性指数进行测度^[22]。

(1)香农-维纳指数

该指数综合反映群落的物种丰富度和均匀度,公式为

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中: S 为样本中总物种数, P_i 为样本中物种*i*的个体数占所有物种总个体数的比例。

(2) 辛普森指数

该指数强调群落中的优势种状况,公式为

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2。$$

本研究所有 α 多样性指数均使用R v4.4.0中的reshape2和vegan包计算。

1.4 多样性指数影响因素分析

1.4.1 人类活动与多样性指数的相关性

为探究人类活动对生物多样性的影响,根据实地调查情况和访谈记录,确定了西湖景区和西溪湿地内的人类活动高频区域。其中,西湖景区包括梅家坞村、九溪、龙井村、灵隐寺、杭州动物园、杭州植物园、杨公堤和太子湾公园8个地点;西溪湿地包括蒋村集市、高庄、绿堤、福堤、西溪天堂和洪园6个地点。本研究的核心假设是:调查网格与这些人类活动高频区域的距离越近,其所受的人类干扰强度越大。基于此,研究团队利用ArcGIS(v10.8.1)计算每个调查网格(47个)中心点到最近人类活动高频区域的距离,将其作为人类活动影响距离。随后,采用Pearson相关分析法,检验每个调查网格的物种丰富度、香农-维纳指数和辛普森指数与人类活动影响距离之间的相关性。

1.4.2 季节、气候与多样性指数的相关性

为探究不同季节及气候因素对本研究区域两栖爬行动物多样性的影响,本研究为每个调查时期匹配了相应的气候数据。由于秋季降雨导致地表气温低,两栖爬行动物活动强度减弱,有效观察数量较少,该时期的相关性分析结果不具备无效性,因此未纳入分析。利用SPSS中的 η 系数,分析了调查时期的物种丰富度、香农-维纳指数和辛普森指数与季节、降雨量及气温之间的相关性,并利用桑基图(绘制平台:<https://www.genescloud.cn/>)对不同季节的物种数进行可视化展示。

2 结果

2.1 物种组成

本次调查共记录到两栖动物2目8科21种,爬行动物1目8科23种。

保护等级方面:记录到国家二级重点保护野生动物3种,包括两栖动物虎纹蛙(*Hoplobatrachus rugulosus*)和中国瘰螈(*Paramesotriton chinensis*),以及

爬行动物脆蛇蜥(*Dopasia harti*)。列入浙江省重点保护的物种共13种,其中两栖动物8种,即棘胸蛙(*Quasipaa spinosa*)、沼水蛙(*Hylarana guentheri*)、龙头山臭蛙(*Odorrana leporipes*)、斑腿泛树蛙(*Polypedates megacephalus*)、大树蛙(*Zhangixalus dennysi*)、中国雨蛙(*Hyla chinensis*)、东方蝾螈(*Hypselotriton orientalis*)和中国瘰螈;爬行动物5种,即宁波滑蜥(*Scincella modesta*)、脆蛇蜥、王锦蛇(*Elaphe carinata*)、尖吻蝮(*Deinagkistrodon acutus*)和舟山眼镜蛇(*Naja atra*)。依据IUCN受威胁等级,易危(VU)物种3种,分别为两栖动物棘胸蛙及爬行动物尖吻蝮和舟山眼镜蛇;龙头山臭蛙因数据不足被评估为DD(数据缺乏);其余均为无危(LC)。

区系类型方面:东洋界物种占绝对优势。在两栖动物中东洋界物种共19种,占调查物种总数的90.48%,其余2种即黑斑侧褶蛙(*Pelophylax nigromaculatus*)和中华蟾蜍在(*Bufo gargarizans*)为古北界物种。在爬行动物中东洋界物种共22种,占比95.65%,仅红纹滞卵蛇(*Oocatochus rufodorsatus*)为古北界物种。

分布型方面:以南中国型物种为主,共27种,其中两栖动物11种(占两栖动物总数的52.38%),爬行动物16种(占爬行动物总数的69.57%);东洋型次之,含有7种两栖动物和4种爬行动物;其次为季风型,为3种两栖动物和3种爬行动物。

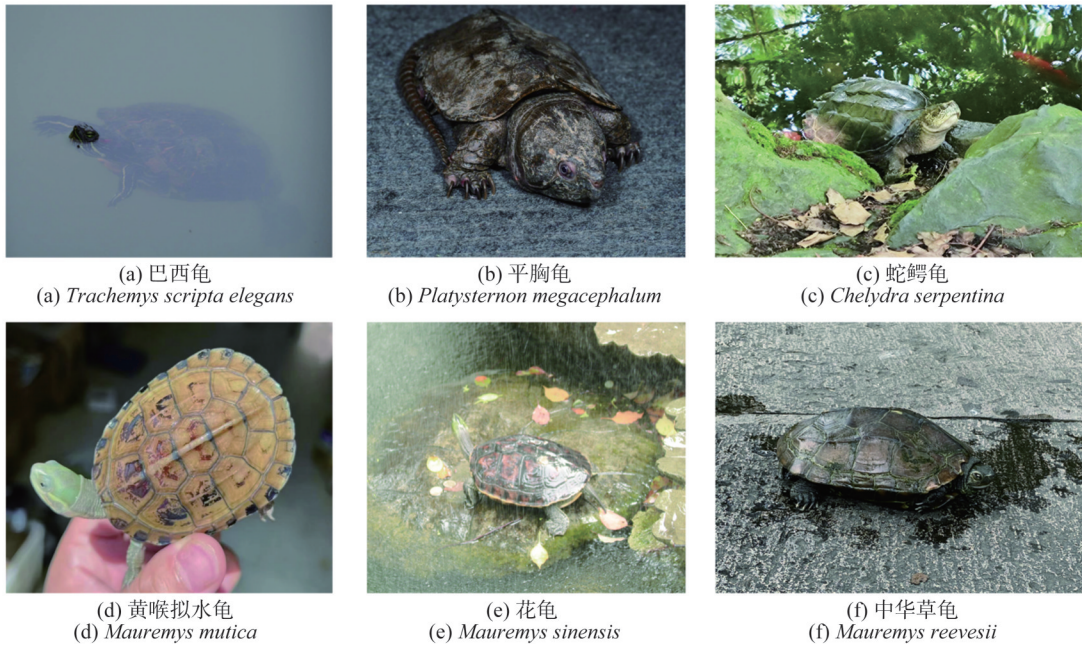
2.2 非本土物种组成及数量特征

2.2.1 放生池中的物种

调查发现,放生池中共存在6种龟类,根据专家鉴定其种类分别为黄喉拟水龟(*Mauremys mutica*)、中华草龟、花龟(*Mauremys sinensis*)、平胸龟(*Platysternon megacephalum*)、巴西龟和蛇鳄龟(图2)。其中前4种为国家二级重点保护野生动物。这些龟类集中分布在灵隐寺、法喜寺/法净寺、虎跑山玉带池和净慈寺4个地点的放生池中(表1),在野外调查中未观测到其自然种群。根据对景区工作人员的访谈调查,这些龟类主要来源于游客及居民的放生活动。

2.2.2 野外环境中的非本土物种

除放生池内的物种外,本次调查还在野外环境中记录到2种非本土物种,即中国大鲵和棘腹蛙。棘腹蛙分布于万林背山(网格0305)、龙井村(0405)和乌龟潭(0606);中国大鲵发现于九溪上游(0404)



图片来源:(a)、(b)由王聿凡(浙江省森林资源监测中心)提供;(c)、(e)、(f)由本项目野外调查团队提供;(d)由刘宝权(浙江省森林资源监测中心)提供。

Image source: (a) and (b) provided by WANG Yufan (Zhejiang Forest Resource Monitoring Center); (c), (e), and (f) provided by our field survey team; (d) provided by LIU Baoquan (Zhejiang Forest Resource Monitoring Center).

图2 在西湖景区放生池中发现的6种龟类

Figure 2 Six turtle species found in religious released ponds of the West Lake Scenic Area

表1 西湖景区放生池龟类物种记录

Table 1 Turtle species recorded in the religious release ponds of West Lake Scenic Area

地点 Location	面积/m ² Area	物种 Species	估计龟类总数量/只 Estimated total number of turtles
灵隐寺 Lingyin Temple	约2 000	巴西龟、平胸龟、蛇鳄龟	> 400
法喜寺/法净寺 Faxi Temple/Fajing Temple	约40	巴西龟、黄喉拟水龟、中华草龟、花龟	> 50
虎跑山玉带池 Jade Belt Pond in Hupao Mountain	约600	巴西龟、蛇鳄龟	> 100
净慈寺(雷峰塔) Jingci Temple (Leifeng Pagoda)	约1 500	中华草龟、巴西龟	> 200

九泓亭附近水域和茅家坞附近水域(图1)。结合其分布区与文献记录^[11-12],推测其为人为放生物种。

2.2.3 入侵物种及其潜在风险

在记录的龟类中,巴西龟和蛇鳄龟为世界公认的外来入侵物种。本研究发现,灵隐寺放生池中有数量较多的巴西龟,观察到有水道通向外界,虽设有阻隔设施防止其逃逸至外界环境,但访谈调查获悉,其下游溪流曾发现过巴西龟,表明其存在潜在的扩散风险。此外,在虎跑山钵盂池和玉带池中也发现了少量巴西龟和蛇鳄龟,根据工作人员介绍,其来源也是放生。在调查中未观测到其对当地生物多样性的直接影响,但其潜在的生态竞争与扩散风险需予以持续关注和管理。

2.3 西湖景区和西溪湿地多样性差异

2.3.1 物种组成

西湖景区两栖动物记录到2目8科20种,爬行动物记录到1目8科22种,共计3目16科42种;西溪湿地共记录到两栖动物1目4科9种,爬行动物记录到1目3科4种,共计2目7科13种。西湖景区的两栖类和爬行类物种数分别比西溪湿地多11种和18种。共有25个物种为西湖景区特有,包括11种两栖类和14种爬行类,而西溪湿地存在短尾蝮(*Gloydius brevicaudus*)和阔褶水蛙(*Hylarana latouchii*)2个特有种。3种国家二级重点保护野生动物均仅分布于西湖景区。与《杭州西溪国家湿地公园生物多样性2022年

度监测报告》^[12]相比,本研究未在西溪湿地记录到3种两栖类即弹琴蛙(*Nidirana adenopleura*)、中国雨蛙、斑腿泛树蛙和11种爬行类。

2.3.2 多样性指数

西湖景区和西溪湿地的多样性指数见表2。在 α 多样性方面,西湖景区香农-维纳指数($H' = 2.682$)高于西溪湿地($H' = 1.914$),表明其物种多样性更

高;西湖景区辛普森指数($D = 0.915$)也高于西溪湿地($D = 0.819$),表明其物种分布均匀度更高。在G-F指数方面,西湖景区的G-F指数(两栖: $D_{G-F} = 0.316$;爬行: $D_{G-F} = 0.318$)同样高于西溪湿地(两栖: $D_{G-F} = 0.150$;爬行: $D_{G-F} = 0.217$)。上述结果一致表明,西湖景区的两栖及爬行动物多样性高于西溪湿地。

表2 西湖景区和西溪湿地两栖及爬行动物多样性指数

Table 2 Diversity indices of amphibians and reptiles in West Lake Scenic Area and Xixi Wetland

区域 Area	类群 Class	物种数量/种 No. of species	G指数 G index	F指数 F index	G-F指数 G-F index	香农-维纳指数 Shannon-Wiener index	辛普森指数 Simpson index
西湖景区 West Lake Scenic Area	两栖	20	2.582	3.778	0.316	2.682	0.915
	爬行	22	2.815	4.126	0.318		
	合计	42					
西溪湿地 Xixi Wetland	两栖	9	1.732	2.039	0.150	1.914	0.819
	爬行	4	1.332	1.702	0.217		
	合计	13					

2.4 多样性指数影响因素

2.4.1 人类活动对两栖爬行类多样性的影响

Pearson 相关分析表明,人类活动影响距离与西湖景区及西溪湿地各样方的物种丰富度、香农-维纳指数和辛普森指数无显著相关性($P > 0.05$)。

2.4.2 季节与气候对两栖爬行类多样性的影响

西湖景区与西溪湿地春、夏两季调查到的两栖

和爬行物种组成存在差异。两地夏季的物种丰富度、香农-维纳指数均高于春季。辛普森指数在两地季节间变化不同,西湖景区夏季略高于春季,但西溪湿地夏季略低于春季。效应量(η^2)分析显示,季节与物种数呈中度相关($0.06 < \eta^2 < 0.16$),而与香农-维纳指数和辛普森指数仅呈弱相关($\eta^2 < 0.06$) (表3,图3,图4)。

表3 西湖景区和西溪湿地春、夏季两栖及爬行类多样性指数

Table 3 Comparison of diversity indices for amphibians and reptiles in both West Lake Scenic Area and Xixi Wetland across spring and summer

区域 Area	季节 Season	物种数/种 No. of species	香农-维纳指数 Shannon-Wiener index	辛普森指数 Simpson index
西湖景区 West Lake Scenic Area	春季	20	2.159	0.840
	夏季	31	2.416	0.870
西溪湿地 Xixi Wetland	春季	7	1.492	0.727
	夏季	11	1.627	0.719

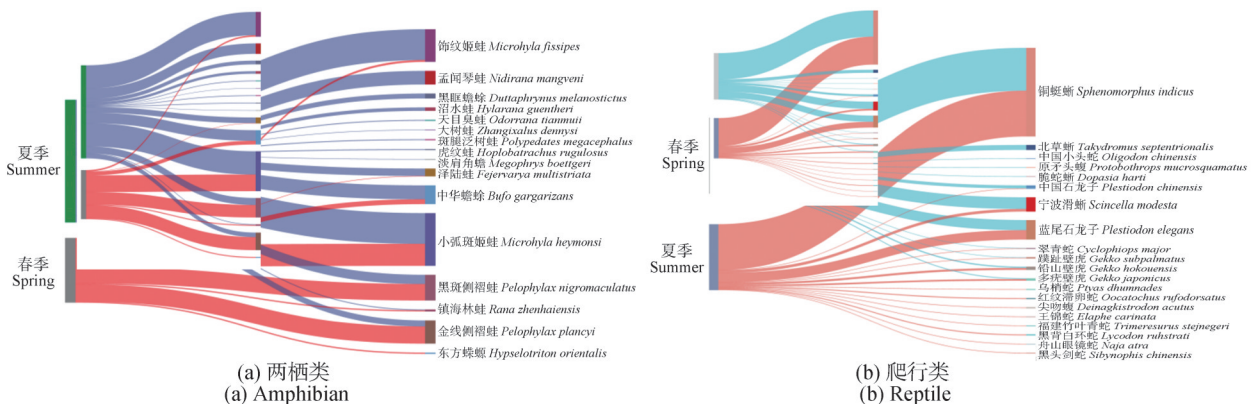


图3 西湖景区两栖及爬行类物种组成的季节差异

Figure 3 Seasonal variation in amphibian and reptile species composition in the West Lake Scenic Area

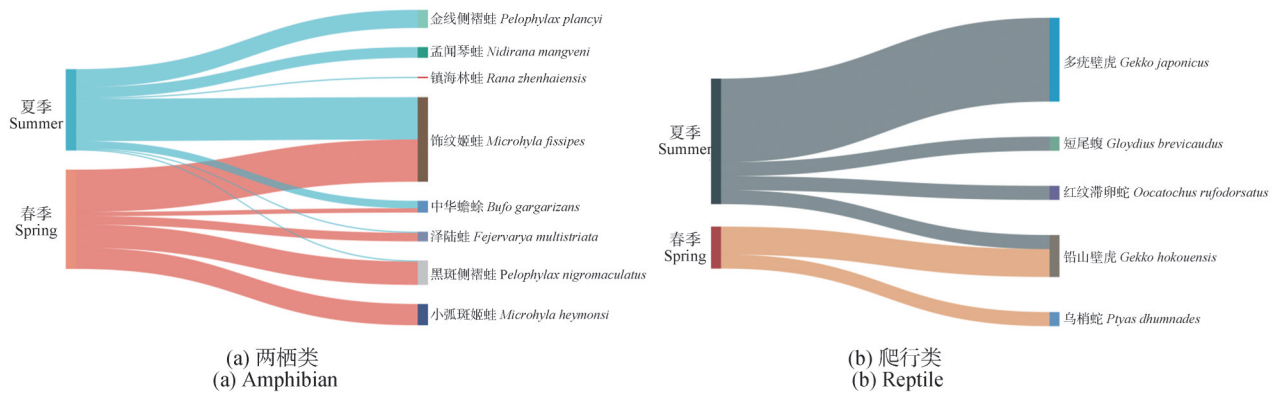


图4 西溪湿地两栖及爬行类物种组成的季节差异

Figure 4 Seasonal variation in amphibian and reptile species composition in Xixi Wetland

气候因子分析显示,物种数与降雨量及气温呈中度相关($0.06 < \eta^2 < 0.16$),而香农-维纳指数和辛普森指数与降雨量及气温呈弱相关($\eta^2 < 0.06$)。从

物种丰富度来看,西湖景区6月物种数最多($n = 24$),4月($n = 20$)和8月($n = 16$)相对较少;西溪湿地也呈现类似趋势(表4)。

表4 西湖景区和西溪湿地不同月份两栖及爬行类多样性指数

Table 4 Diversity index of amphibians and reptiles in the West Lake Scenic Area and Xixi Wetland varies in different months

区域 Area	月份 Month	平均降雨量/mm Average precipitation	平均气温/°C Average temperature	物种数/种 No. of species	香农-维纳指数 Shannon-Wiener index	辛普森指数 Simpson index
西湖景区 West Lake Scenic Area	4	1.171	21.375	20	2.996	0.950
	6	0.458	27.056	24	3.178	0.958
	8	7.002	23.200	16	2.752	0.934
西溪湿地 Xixi Wetland	4	0.548	20.900	7	1.273	0.691
	6	0	26.750	8	1.421	0.711
	8	4.934	25.500	4	0.948	0.427

3 讨论

本次调查关注的西湖景区和西溪湿地属于典型的都市生态系统,与人类生活关系密切。调查结果不仅揭示了丰富的两栖和爬行动物资源,还发现城市生态系统独有的一些特征,如宗教放生行为的影响,以及尽管游步道分布密集,景区和湿地仍保持了较高的生物多样性。本研究主要围绕放生行为的影响及人为与气候因素对多样性的作用展开讨论。

3.1 宗教放生行为对龟类多样性的影响及入侵风险

中国龟类历史资源丰富,但因栖息地破坏、过度利用及外来物种入侵等因素,几乎所有野外种群均处于濒危状态,分布区渐减,密度极低,资源濒临枯竭^[24-25]。《中国生物多样性红色名录》^[26]评估结果显示,除3种缺乏数据外,其余龟类均被列为“濒危”或“极危”等级。即使在龟类资源相对丰富的海南尖峰岭自然保护区,野外调查也仅记录到平胸龟、四眼斑水龟(*Sacalia quadriocellata*)和锯缘闭壳龟(*Cuora*

mouhotii)等少数物种^[27]。

本调查在放生池中共发现6种龟类,包括4种国家二级重点保护野生动物(黄喉拟水龟、中华草龟、花龟和平胸龟)和2种外来入侵物种(巴西龟、蛇鳄龟)。这些龟类集中分布于灵隐寺、法喜寺/法净寺和虎跑山的放生池,野外未发现其自然种群。结合访谈结果,推测其来源主要为宗教放生活动。此外,调查记录到的非本土物种棘腹蛙和中国大鲵均为研究区域新纪录种,但结合其地理位置(寺庙附近)和访谈推断可能为人为放生物种,后期还仍需进一步采集样品进行相关分析。

放生行为在我国的宗教信仰中被赋予“积德行善”“尊重生命”的积极内涵,对推动动物保护实践有一定借鉴意义^[28],类似活动在澳大利亚、加拿大和美国也有记录^[29]。龟类因象征长寿,常成为放生的对象。全国外来物种放生风险评估显示,浙江省属放生高频省份^[30]。本次调查涉及的灵隐寺和净慈寺均属佛教“五山十刹”之列,宗教活动频繁。灵隐寺每

月农历十五举行放生法会。然而,缺乏科学指导的放生行为已成为生物入侵的重要途径。因对外来物种生态危害认知不足,放生常导致市场流通的外来种被误释至野外,加剧脊椎动物入侵风险^[29]。尽管灵隐寺规定“请勿自带巴西龟、蛇、罗非鱼等不符合生态环境的物种”,净慈寺也警示“请勿在池内放甲鱼、中华草龟、黑鱼等肉食性动物”,但本次调查仍在放生池中观察到相当数量的巴西龟。

两栖爬行类是外来入侵脊椎动物的典型代表,它们通过全球贸易、养殖和人为释放等多种方式引种和入侵成功,并造成大量本地物种的种群下降甚至灭绝^[31-33]。巴西龟(红耳龟)是一种全球性入侵种,在我国34个省级行政区均有野外记录^[34]。研究发现,巴西龟可通过竞争食物和栖息地等方式致使其同域分布的本地种欧洲池龟(*Emys orbicularis*)体质量等身体指标显著下降,死亡率升高^[35-36]。该物种还具有跨种杂交能力,属于典型有害入侵物种^[34]。外来种不仅危害生物多样性和生态系统,而且会影响经济活动和社会生活,存在显著的负面经济影响^[37-38]。除巴西龟外,牛蛙(*Lithobates catesbeianus*)是最具代表性的全球性入侵物种,已成功入侵50多个国家^[39]。牛蛙等28种全球性两栖动物入侵种通过传播壶菌病^[40-41],已导致全球超过500种两栖动物种群衰退,其中90种绝灭^[42]。值得注意的是,在2020年西溪湿地的监测报告中,牛蛙作为外来入侵种被记录^[12],但本次调查并未发现该物种。

国家高度重视放生行为规范管理。2023年中央一号文件明确提出“严厉打击非法引入外来物种行为,实施重大危害入侵物种防控攻坚行动,加强‘异宠’交易与放生规范管理”。农业部办公厅、国家宗教事务局办公室印发《关于进一步规范宗教界水生生物放生(增殖放流)活动的通知》等文件,对防范外来物种入侵提出了明确要求。为保护西湖区域生物多样性,建议管理部门:加强放生行为监管,完善细则,落实放生备案制度,尤其关注大型平台及社团组织的放生活动;开展规范放生宣传,与寺庙等机构合作,提升公众环保意识;定期检查放生池等设施完整性,防止放生物种逃逸对本地生态系统造成破坏。

3.2 人为与气候因素对两栖爬行类多样性的影响及保护启示

本研究发现,作为杭州城市生态系统的核心组成部分,西湖景区和西溪湿地存在较为丰富的物种

多样性。与2007年上海17个公园的调查记录(两栖类4种、爬行类5种)^[43]相比,本区域两栖爬行类多样性显著更高。根据最新分类资料,浙江省记录有两栖类2目10科27属54种^[21],爬行类3目18科54属89种(截至2020年)^[22]。本次调查的两栖和爬行类物种数分别占浙江省记录的38.89%和25.84%,表明城市生态系统在生物多样性保护中扮演重要角色。

人为干扰是城市生态系统的固有特征,对两栖爬行类影响显著。噪声可改变两栖类鸣叫行为,干扰其繁殖^[44-45];夜间人造光会降低其生长速率并缩短活动时间;路杀直接导致种群数量下降^[45];流浪猫作为天敌加剧公园爬行类数量急剧下降^[46];城市化还可诱发行为适应,如市郊安乐蜥(*Anolis homolechis*)栖息高度高于林区个体^[47]。旅游业发展可能压缩黄缘闭壳龟(*Cuora flavomarginata*)等繁殖力低下物种的适宜生境,导致其野生种群数量下降^[48]。Marsh *et al.*^[49]通过模型分析发现,城市公园面积、湿地栖息地多样性和公园连通性与两栖爬行类物种丰富度正相关。

作为热门旅游地,西湖景区受到的人为影响较大,但本研究发现人类活动距离与多样性指数无显著相关性。其原因可能在于:(1)人类活动集中于景区与游步道等特定区域,生物的栖息地得以保留大片未受干扰的空间,可自由进行繁殖、觅食等生命活动;(2)景区管理部门采取了一系列有效的保护措施,如加强巡逻、设置警示标志、开展环保宣传和研学教育等,提高了游客的环保意识,减少了干扰行为;(3)西湖和西溪景区周边的生态环境相对较好,为生物多样性的保护提供了良好基础。

除人为因素外,本研究分析了季节、气候的影响。相关性分析表明,季节、降雨和气温会影响研究区域的两栖爬行动物的物种丰富度,这与两栖爬行类的生理特性相符。作为变温动物,其对温度变化敏感,稳定且有规律的水文与温度条件对其生存和种群稳定至关重要。春夏之交剧烈的环境波动可能影响产卵时间、卵成活率及繁殖能力。例如,温度可影响东北林蛙(*Rana dybowskii*)的产卵进度与发育^[50],以及安吉小鲵(*Hynobius amjiensis*)卵的卵孵化时长^[51]。夏季气温升高、降雨减少,但雨季过后地面的腐殖质增多,提升了昆虫等食物资源丰度,降低了捕食和育幼成本,因此也会使夏季两栖爬行动物的

物种丰富度上升,这一趋势在西湖景区尤为明显。

同时需要指出的是,杭州城市生态系统的两栖爬行类多样性高度集中于西湖景区。植物园、宝石山、九溪、法喜寺及周边的万林背山和乌龟潭区域是西湖景区两栖爬行物种分布较多的区域,而西溪湿地仅在东区、绿堤和高庄区域存在两栖爬行物种,这些地区应作为重点保护区域。西溪湿地虽享有“天堂绿肺”之誉,鸟类资源极其丰富^[12],但在本次调查中显示其两栖爬行类丰富度较低。其原因可能在于:湿地内河网密布、道路交错,生境破碎严重;周边居民区和商业体密集,游船、车辆等干扰源多。尽管西湖游客量更大,但其干扰集中于核心景区,山区游步道游客较少,对栖息地影响相对较小。与《杭州西溪国家湿地公园生物多样性2022年度监测报告》^[12]相比,本研究未记录到3种两栖类(弹琴蛙、中国雨蛙、斑腿泛树蛙)和11种爬行类,原因可能与西溪湿地设有4个生态保育区且近3年处于全封闭状态有关,这些物种可能存在于保育区内。此外,历史记录表明西溪湿地已发现入侵物种,其较强环境适应性可能加速本地种衰退^[52]。

综上所述,西溪湿地因受高强度人为干扰,生态系统结构与功能更易发生改变。两地物种丰富度均呈现季节性波动。为加强保护,建议:完善景区规章,限制游客进入动物活动区,降低人为干扰;强化西溪湿地保育区管理,严禁人为活动,提升栖息地质量。由于研究条件限制,本研究未采集疑似外来种和放生池物种的DNA样本,未能开展相关溯源分析,在后期调查中希望可以得到补充;并且地区可能存在丰富的物种,同时,可采用鸣声记录、环境DNA等技术对西溪湿地保育区核心区域开展监测,全面评估其多样性现状。

4 结论

本研究提供了西湖景区和西溪湿地的两栖和爬行类本底数据,为城市动物保护提供了科学依据。建议:以西湖景区内物种最为丰富的区域(如植物园、宝石山、九溪、法喜寺、万林背山和乌龟潭)为核心,实施关键栖息地保护措施;严格管控西溪湿地保育区人为干扰,促进本地种群恢复与丰富度提升;须规范放生活动,防范外来物种入侵,加强公众教育,从而自觉地保护环境和改善人类生存环境。

致谢:感谢浙江山野、原乡生态和景区工作人员对访谈调查的支持。

参考文献:

- [1] KATHRYN C, LENA C, JULIEN C, *et al.* Cities and biodiversity outlook: Action and policy [R/OL]. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2012 (2012-11-29) [2024-05-06]. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:155268065>.
- [2] Convention on Biological Diversity Kunming-Montreal global biodiversity framework [R/OL] (2022-12-18) [2025-05-26]. <https://www.unep.org/zh-hans/resources/kunming-engtelierquanqiushengwuduoyangxingkuangjia>.
- [3] 马远,李锋,杨锐. 城市化对生物多样性的影响与调控对策[J]. 中国园林, 2021, 37(5): 6-13.
MA Y, LI F, YANG R. The impact of urbanization on biodiversity and its regulation countermeasures [J]. Chinese Landscape Architecture, 2021, 37(5): 6-13.
- [4] 张慧,李智,刘光,等. 中国城市湿地研究进展[J]. 湿地科学, 2016, 14(1): 103-107.
ZHANG H, LI Z, LIU G, *et al.* Advances in the study of urban wetlands in China[J]. Wetland Science, 2016, 14(1): 103-107.
- [5] 杨龙,王春香,储杨阳,等. 城市湿地生态系统服务功能及其优化路径研究[J]. 建设科技, 2022(5): 89-92.
YANG L, WANG X C, CHU Y Y, *et al.* Study on urban wetland ecosystem service function and its optimization path [J]. Construction Science and Technology, 2022(5): 89-92.
- [6] 潘林,黄杰灵,罗媛媛,等. 杭州西湖山区春季不同林型土壤节肢动物群落结构与功能团特征[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2016, 39(1): 74-79.
PAN L, HUANG J L, LUO Y Y, *et al.* Community structure and guild feature of soil arthropod animal in different forest types in the West Lake mountainous area in spring, Hangzhou [J]. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Sciences), 2016, 39(1): 74-79.
- [7] 于学伟,朱碧颖,罗坚文,等. 杭州西湖水鸟种类组成与分布的研究[J]. 野生动物学报, 2019, 40(2): 370-376.
YU X W, ZHU B Y, LUO J W, *et al.* Investigation on species composition and distribution of waterbirds at West Lake, Hangzhou [J]. Chinese Journal of Wildlife, 2019, 40(2): 370-376.
- [8] 姚思鹏,饶利华,徐骏,等. 杭州西湖底栖动物群落结构及其水质生物学评价[J]. 环境污染与防治, 2019, 41(7): 809-813;819.
YAO S P, RAO L H, XU J, *et al.* Zoobenthos community structure and bio-assessment of water quality in West Lake, Hangzhou, China [J]. Environmental Pollution & Control, 2019, 41(7): 809-813;819.
- [9] 孙永涛. 杭州西溪湿地资源现状与保护对策[J]. 湿地科学与管理, 2019, 15(3): 38-41.
SUN Y T. Current status and protection countermeasures of Xixi Wetland resources in Hangzhou [J]. Wetland Science & Management, 2019, 15(3): 38-41.
- [10] 王莹莹,储忝江,金之. 西溪湿地鱼类资源与保护对策[J]. 湿地科学与管理, 2018, 14(1): 22-25.
WANG Y Y, CHU T J, JIN Z. Fish resources in Xixi Wetland

- and conservation strategy [J]. *Wetland Science & Management*, 2018, 14(1): 22–25.
- [11] 浙江动物志编辑委员会. 浙江动物志: 两栖类 爬行类 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1990.
- Editorial Committee of Fauna of Zhejiang. *Fauna of Zhejiang: Amphibia Reptilia* [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Publishing House, 1990.
- [12] 浙江自然博物院, 杭州市林业水利局, 杭州西溪国家湿地公园服务中心, 等. 杭州西溪国家湿地公园生物多样性2022年度监测报告 [R]. 杭州: 杭州市林业水利局, 2022.
- Zhejiang Museum of Natural History, Hangzhou Forestry and Water Conservancy Bureau, Hangzhou Xixi National Wetland Park Service Center, *et al.* Biodiversity 2022 annual monitoring report of Hangzhou Xixi National Wetland Park [R]. Hangzhou: Hangzhou Forestry and Water Conservancy Bureau, 2022.
- [13] 费梁, 叶昌媛, 江建平. 中国两栖动物及其分布彩色图鉴 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2012.
- FEI L, YE C Y, JIANG J P. *Colored atlas of Chinese amphibians and their distributions* [M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science & Technology Publishers, 2012.
- [14] 赵尔宓, 黄美华, 宗愉, 等. 中国动物志: 爬行纲: 第3卷: 有鳞目: 蛇亚目 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- ZHAO E M, HUANG M H, ZONG Y. *Fauna Sinica: Reptilia: Vol. 3: Squamata: Serpentes* [M]. Beijing: Science Press, 1998.
- [15] 赵尔宓, 赵肯堂, 周开亚, 等. 中国动物志: 爬行纲: 第2卷: 有鳞目: 蜥蜴亚目 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- ZHAO E M, ZHAO K T, ZHOU K Y. *Fauna Sinica: Reptilia: Vol. 2: Squamata: Lacertilia* [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [16] 王凯, 任金龙, 陈宏满, 等. 中国两栖、爬行动物更新名录 [J]. *生物多样性*, 2020, 28(2): 189–218.
- WANG K, REN J L, CHEN H M, *et al.* The updated checklists of amphibians and reptiles of China [J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(2): 189–218.
- [17] 张荣祖. 中国动物地理 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- ZHANG R Z. *Zoogeography of China* [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [18] 国家重点保护野生动物名录(2021年2月1日修订) [J]. *野生动物学报*, 2021, 42(2): 605–640.
- List of National key protected wild animals in China (revised on February 1, 2021) [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2021, 42(2): 605–640.
- [19] 浙江省人民政府办公厅关于公布浙江省重点保护陆生野生动物名录的通知 [EB/OL] (2016-02-17) [2024-10-20]. https://zjcmpublic.oss-cn-hangzhou-zwynet-d01-a.internet.cloud.zj.gov.cn/jcms_files/jcms1/web3096/site/attach/0/de3a278_d0734c30b55876279f06c6cd.pdf.
- Circular of the General Office of the People's Government of Zhejiang Province on the publication of the list of key protected terrestrial wildlife in Zhejiang Province [EB/OL] (2016-02-17) [2024-10-20]. https://zjcmpublic.oss-cn-hangzhou-zwynet-d01-a.internet.cloud.zj.gov.cn/jcms_files/jcms1/web3096/site/attach/0/de3a278_d0734c30b55876279f06c6cd.pdf.
- [20] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的G-F指数方法 [J]. *生物多样性*, 1999, 7(3): 220–225.
- JIANG Z G, JI L Q. Avian-mammalian species diversity in nine representative sites in China [J]. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(3): 220–225.
- [21] 章旭日, 王珺, 侯楚, 等. 浙江省两栖动物物种现状及区系分析 [J]. *野生动物学报*, 2020, 41(3): 781–790.
- ZHANG X R, WANG J, HOU C, *et al.* Species status and faunal analysis of amphibian in Zhejiang Province [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2020, 41(3): 781–790.
- [22] 章旭日, 岳春雷, 侯楚, 等. 浙江省爬行动物物种现状及区系特征 [J]. *动物学杂志*, 2020, 55(2): 189–203.
- ZHANG X R, YUE C L, HOU C, *et al.* Species checklist and faunal characteristics of reptiles in Zhejiang Province, China [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2020, 55(2): 189–203.
- [23] 薛捷中, 周立志, 孟磊, 等. 大别山农田啮齿动物群落多样性及其时空动态 [J]. *生态科学*, 2025, 44(1): 177–187.
- XUE J Z, ZHOU L Z, MENG L, *et al.* Rodent community diversity and its spatio-temporal dynamics in farmlands in Dabie Mountain [J]. *Ecological Science*, 2025, 44(1): 177–187.
- [24] 周婷, 李丕鹏. 中国龟鳖物种多样性及濒危现状 [J]. *四川动物*, 2007, 26(2): 463–467.
- ZHOU T, LI P P. Chelonian species diversity and current status in China [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2007, 26(2): 463–467.
- [25] WU J, WU Y Q, RAO D Q, *et al.* China's wild turtles at risk of extinction [J]. *Science*, 2020, 368(6493): 838.
- [26] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录 [J]. *生物多样性*, 2016, 24(5): 500–551.
- JIANG Z G, JIANG J P, WANG Y Z, *et al.* Red list of China's vertebrates [J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(5): 500–551.
- [27] 龚世平, 史海涛, 徐汝梅, 等. 海南尖峰岭自然保护区淡水龟类调查 [J]. *动物学杂志*, 2006, 41(1): 80–83.
- GONG S P, SHI H T, XU R M, *et al.* A survey of freshwater turtles in Jianfengling Nature Reserve, Hainan Province, China [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2006, 41(1): 80–83.
- [28] 金婷, 刘中亮. 佛教中的动物生态伦理思想 [J]. *南京林业大学学报(人文社会科学版)*, 2018, 18(2): 42–48.
- JIN T, LIU Z L. Animal ethics thoughts in buddhism [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Humanities and Social Sciences Edition)*, 2018, 18(2): 42–48.
- [29] LIU X, MCGARRITY M E, LI Y M. The influence of traditional Buddhist wildlife release on biological invasions [J]. *Conservation Letters*, 2012, 5(2): 107–114.
- [30] LIU X, LI X P, LIU Z T, *et al.* Congener diversity, topographic heterogeneity and human-assisted dispersal predict spread rates of alien herpetofauna at a global scale [J]. *Ecology Letters*, 2014, 17(7): 821–829.
- [31] KRAUS F. Impacts from invasive reptiles and amphibians [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2015, 46: 75–97.
- [32] 杜元宝, 涂炜山, 杨乐, 等. 外来入侵脊椎动物对生物多样性危害的研究进展 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2023, 53(7): 1035–1054.
- DU Y B, TU W S, YANG L, *et al.* Review of the impacts of invasive alien vertebrates on biodiversity [J]. *Scientia Sinica (Vi-*

- tae), 2023, 53(7): 1035–1054.
- [33] DU Y B, XI Y H, YANG Z X, *et al.* High risk of biological invasion from prayer animal release in China [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2024, 22(2): e2647.
- [34] 龚世平, 杨江波, 葛研, 等. 外来物种红耳龟在中国野外分布现状及扩散路径研究 [J]. *野生动物学报*, 2018, 39(2): 373–378.
- GONG S P, YANG J B, GE Y, *et al.* Extent and mechanisms of the increasing geographic distribution of the alien red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) in China [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2018, 39(2): 373–378.
- [35] CADI A, JOLY P. Competition for basking places between the endangered European pond turtle (*Emys orbicularis galloitalica*) and the introduced red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 2003, 81(8): 1392–1398.
- [36] CADI A, JOLY P. Impact of the introduction of the red-eared slider (*Trachemys scripta elegans*) on survival rates of the European pond turtle (*Emys orbicularis*) [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13: 2511–2518.
- [37] LI X P, LIU X, KRAUS F, *et al.* Risks of biological invasions is concentrate in biodiversity hotspots [J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2016, 14(8): 411–417.
- [38] DIAGNE C, LEROY B, VAISSIÈRE A C, *et al.* High and rising economic costs of biological invasions worldwide [J]. *Nature*, 2021, 592(7855): 571–576.
- [39] CAPINHA C, MARCOLIN F, REINO L. Human-induced globalization of insular herpetofaunas [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2020, 29(8): 1328–1349.
- [40] LIU X, ROHR J R, LI Y M. Climate, vegetation, introduced hosts and trade shape a global wildlife pandemic [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2013, 280(1753): 20122506.
- [41] O' HANLON S J, RIEUX A, FARRER R A, *et al.* Recent Asian origin of chytrid fungi causing global amphibian declines [J]. *Science*, 2018, 360(6389): 621–627.
- [42] SCHEELE B C, PASMANS F, SKERRATT L F, *et al.* Amphibian fungal panzootic causes catastrophic and ongoing loss of biodiversity [J]. *Science*, 2019, 363(6434): 1459–1463.
- [43] 王力军, 洪美玲, 袁晓, 等. 上海市区主要公园两栖爬行动物多样性调查 [J]. *四川动物*, 2011, 30(1): 69–73.
- WANG L J, HONG M L, YUAN X, *et al.* Survey on the diversity of amphibians and reptiles in the main parks in the urban district of Shanghai [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2011, 30(1): 69–73.
- [44] LIU N N, ZHONG S R, WANG T H, *et al.* Advertisement call variation of two frog species along an urban-rural gradient in Shanghai, China [J]. *Diversity*, 2022, 14(7): 550.
- [45] 江艺欣, 时莹莹, 高朔, 等. 人为噪音、夜间人造光和路杀对两栖动物的影响 [J]. *生物多样性*, 2023, 31(3): 220–232.
- JIANG Y X, SHI Y Y, GAO S, *et al.* The impact of anthropogenic noise, artificial light at night and road kills on amphibians [J]. *Biodiversity Science*, 2023, 31(3): 220–232.
- [46] 蒋志刚, 郭晓辉. 北京市区流浪猫密度的初步抽样调查 [J]. *野生动物*, 2007, 28(1): 3–6.
- JIANG Z G, GUO X H. Sampling survey of feral cats in urban Beijing [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2007, 28(1): 3–6.
- [47] VIDAL A, PRADEL R, CÉZILLY F. Do suburban populations of lizards behave differently from forest ones? An analysis of perch height, time budget, and display rate in the Cuban endemic *Anolis homolechis* [J]. *Diversity*, 2023, 15(2): 261.
- [48] 陈敏, 秦媛, 林业宏, 等. 基于COI基因的浙江省内黄缘闭壳龟遗传多样性研究 [J]. *野生动物学报*, 2024, 45(2): 367–377.
- CHEN M, QIN Y, LIN Y H, *et al.* Genetic diversity analysis of *Cuora flavomarginata* based on COI genes in Zhejiang Province [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2024, 45(2): 367–377.
- [49] MARSH D M, MEDINA J, WILKINSON B. Predicting amphibian and reptile distributions and species richness across urban parks in the eastern United States [J]. *Urban Ecosystems*, 2024, 27(1): 125–145.
- [50] 徐晓晓, 赵文阁, 刘鹏. 环境温度对东北林蛙不同地理种群繁殖期体温和胚胎发育的影响 [J]. *生态学报*, 2018, 38(8): 2965–2973.
- XU X X, ZHAO W G, LIU P. Effect of environmental temperature on body temperature during reproductive period and embryonic development in different geographic populations of *Rana dybowskii* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(8): 2965–2973.
- [51] 汪贤挺, 黄镇杨, 郎泽东, 等. 浙江龙王山安吉小鲵的产卵场微生境选择与卵孵化的影响因素 [J]. *野生动物学报*, 2024, 45(4): 819–829.
- WANG X T, HUANG Z Y, LANG Z D, *et al.* The microhabitat selection of oviposition sites and factors in egg hatching of *Hynobius amjiensis* in Longwang Mountain, Zhejiang Province [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2024, 45(4): 819–829.
- [52] 余细红, 李韶山. 我国生物入侵现状与防制分析 [J]. *生物学教学*, 2022, 47(2): 95–96.
- YU X H, LI S S. Analysis on the present situation and prevention of biological invasion in China [J]. *Biology Teaching*, 2022, 47(2): 95–96.

附录 Supplementary Material

附录1 西湖景区和西溪湿地两栖动物名录

Appendix 1 List of amphibians in West Lake Scenic Area and Xixi Wetland

附录2 西湖景区和西溪湿地爬行动物名录

Appendix 2 Lists of reptiles in West Lake Scenic Area and Xixi Wetland

<https://dx.doi.org/10.12375/ysdwx.202409014>