

两栖类栖息地的构建技术及效果评估

谢汉宾^{1,2} 张伟^{1,3} 李贲² 李必成¹ 张云飞¹ 王天厚^{2,4*}

(¹上海科技馆,上海自然博物馆自然史研究中心,上海 200127; ²华东师范大学生命科学学院,上海 200062; ³复旦大学生命科学学院,上海 200438; ⁴崇明生态研究院,上海 200062)

摘要 全球范围内两栖类的种类和数量急剧下降,栖息地面积减少和质量下降为重要原因之一.修复和重建两栖类栖息地是恢复两栖类种类和数量的重要手段.在城市化进程中,构建适宜的两栖类栖息地对两栖类的保护尤为关键.本研究选取上海市闵行区浦江镇的鲁汇苗木基地,于2014年5月—2016年9月开展两栖类栖息地的构建技术及效果评估研究.针对上海市常见的5种两栖类的生境需求,经过地形地貌改造、水系沟通调整和植被恢复等生态工程措施,构建了19 hm²两栖类栖息地.为评估两栖类栖息地的保护效果,采取样线法,选取5条100 m×5 m的调查样线,于多数两栖类的繁殖期(5—6月)和非繁殖期(8—9月)各调查1次,对比分析改造前(2014年)和改造后(2016年)两栖类的种类和数量.调查发现,改造前的繁殖期记录到两栖类4种,密度为(164.0±63.7) ind·hm⁻²;非繁殖期4种,密度为(160.0±29.7) ind·hm⁻²;改造后的繁殖期5种,密度为(560.0±159.3) ind·hm⁻²;非繁殖期5种,密度为(628.0±186.2) ind·hm⁻².结果表明,通过构建适宜的两栖类栖息地,能够显著增加两栖类的种类和数量,具有较好的两栖类保护效果.本研究提出的两栖类栖息地的构建技术,为受损的两栖类栖息地的生态修复和重建以及城市林绿地的优化改造提供了参考案例.

关键词 两栖类; 栖息地; 生态修复; 种群恢复; 上海

Construction technology of amphibian habitat and the evaluation of its effectiveness. XIE

Han-bin^{1,2}, ZHANG Wei^{1,3}, LI Ben², LI Bi-cheng¹, ZHANG Yun-fei¹, WANG Tian-hou^{2,4*}

(¹Natural History Research Center, Shanghai Natural History Museum, Shanghai Science and Technology Museum, Shanghai 200127, China; ²School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai 200062, China; ³School of Life Sciences, Fudan University, Shanghai 200438, China; ⁴Institute of Eco-Chongming (IEC), Shanghai 200062, China).

Abstract: Drastic decline and extinction of amphibian species occurred around the world. Human-induced habitat loss and degradation are major threats to amphibians. Repairing or rebuilding amphibian habitat is an important way for amphibian restoration. During the process of urbanization, the construction of appropriate habitats is the key measure for amphibian conservation. In this study, construction technique and assessment of the reform amphibian habitat was carried out. To match the habitat requirements of five common amphibian species in Shanghai, Luhui seedling base in Pujiang Town (Minhang District, Shanghai, China) was selected as an experimental site from May 2014 to September 2016. We used ecological engineering measures that could provide amphibian habitat, such as changing topographic, adjusting water systems, vegetation restoration, and so on. To explore how these new technologies benefited amphibians' biodiversity, five sampling lines (100 m × 5 m) were selected and amphibians were monitored during the breeding period (May–June) and non-breeding period (August–September), once in each period in 2014 and 2016. A total of four species were recorded with a density of (164.0±63.7) ind·hm⁻² in the breeding period in 2014, and four species with a density of (160.0±29.7) ind·hm⁻² in the non-breeding period in 2014,

本文由上海市绿化和市容管理局项目(15LHMH0001Y01)资助 This work was supported by the Shanghai Municipal Greening and City Appearance Administration (15LHMH0001Y01).

2017-11-23 Received, 2018-05-11 Accepted.

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: thwang@bio.ecnu.edu.cn

whereas five species with a density of (560.0 ± 159.3) ind \cdot hm⁻² in the breeding period in 2016, and five species with a density of (628.0 ± 186.2) ind \cdot hm⁻² in the non-breeding period in 2016. Our results suggested that this technology could significantly increase amphibians' biodiversity in the degraded amphibian habitat, which might be applied in other similar habitats in China.

Key words: amphibian; habitat; ecological restoration; population restoration; Shanghai.

两栖类是脊椎动物中由水生到陆生的过渡类型,具有水生脊椎动物和陆生脊椎动物的双重特性,是生态系统中的重要类群,在农林牧业生产和生态系统平衡中起着重要作用^[1].两栖类是环境健康的重要指示类群,也是监测环境变化的关键早期预警系统之一^[2].全球范围内,两栖类正经历严重的种群快速下降和物种灭绝,两栖类种群数量的减少速度远远超过鸟类和哺乳类,成为濒临灭绝比例最高的脊椎动物类群^[3].2012年IUCN红色名录显示,两栖类受威胁种类占41%,且在逐年上升^[4].中国已知的两栖类共408种,其中受威胁种类为176种,占43.1%,高于2015年IUCN红色名录的物种受威胁率(30.8%)^[5].

两栖类是城市生态系统的重要组成部分,两栖类多样性是评价城市生态文明建设效果的重要指标^[6].近30年来,上海市的两栖类种类急剧下降,1980年两栖类的多样性水平较高,为13种^[7];2000年完成的上海市第一次陆生野生动物资源调查(简称一调),为8种^[8];2013—2015年开展的上海市第二次陆生野生动物资源调查(简称二调),仅为6种^[9-10],包括上海市新记录种北方狭口蛙(*Kaloula borealis*)^[11].上海市两栖类原分布种仅存5种,且皆为常见种:黑斑侧褶蛙(*Pelophylax nigromaculatus*)、金线侧褶蛙(*P. plancyi*)、泽陆蛙(*Fejervarya multistriata*)、饰纹姬蛙(*Microhyla fissipes*)和中华蟾蜍(*Bufo gargarizans*).

栖息地的丧失与改变是造成两栖类种类和数量下降的最主要原因之一^[3,12],导致全球两栖类生物多样性普遍下降^[13].两栖类对环境变化敏感,其生活史的完成需要兼具水体环境和陆地环境,栖息地的质量水平决定两栖类种群的发展状况^[14].湿地是两栖类主要的栖息地类型,为两栖类提供隐蔽、觅食、繁殖和越冬场所^[3].城市化进程多关注林绿地的建设,以净化空气美化环境,而水体的保护和建设考虑较少,造成城市内湿地面积减少^[9].McKinney^[15]明确指出,城市化造成野生动物栖息地的丧失与改变,导致两栖类栖息地面积减少、质量下降、破碎化和生态廊道消失,降低了栖息地的结构复杂性和功

能完整性,严重干扰了两栖类的栖息、繁殖和扩散^[16-18],影响了两栖类的物种组成和种群动态^[19].

研究表明,两栖类能够适应城市公园湿地等人工水体环境^[10].国外开展了两栖类栖息地的重建工作^[20-21],以生态工程手段修复和重建两栖类受损栖息地,营造两栖类的适宜生境,对两栖类的种群恢复尤其是城市中两栖类的保护具有重要作用^[20-21].不同两栖类的生境需求差异显著^[9-10,16-18],两栖类栖息地的建设需要满足不同两栖类在各个生活史阶段的多样性生境需求,而技术关键在于地形地貌改造、水系沟通调整和植被恢复等方面^[22].

上海市高度重视生态城市建设,出台了野生动物保护的系列政策,启动了野生动物重要栖息地建设的重大项目,两栖类重要栖息地的建设为其主要内容之一.上海市闵行区浦江镇以稻田农业为主,是两栖类重要的保育栖息地^[8],城市建设使部分农田转变为林地,导致适应稻田生境的两栖类的栖息地严重受损,两栖类数量急剧下降^[10].中国快速城市化进程中两栖类的保护十分重要,如何修复两栖类的受损栖息地、重建两栖类适宜生境、恢复两栖类种群数量亟待研究^[9-10].

本研究以上海市重大项目为依托,选择上海市闵行区浦江镇的鲁汇苗木基地作为实施区域,总结和参考上海市常见的5种两栖类的分布范围和生境需求,对实施区域开展本底调查;以两栖类保育为目标,契合两栖类的生境需求和实施区域的本底特征,探索两栖类栖息地的构建技术;改造实施区域,构建两栖类栖息地;开展两栖类调查监测,对比改造前后两栖类的种类和数量,评估两栖类栖息地的保护效果.本研究提出了两栖类栖息地的构建技术,以生态工程手段提升两栖类的保护效果,为两栖类受损栖息地的生态修复和重建以及城市园林设计和林绿地的优化改造提供了参考案例.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

本研究选择上海市闵行区浦江镇的鲁汇苗木基地($31^{\circ}0'28''$ — $31^{\circ}0'42''$ N, $121^{\circ}30'7''$ — $121^{\circ}30'32''$ E)

作为研究区域(图 1).本区域地处太湖流域黄浦江水系,以滨海平原为主体,堆积地貌类型,地势低平,平均海拔 4 m 左右;属于典型的亚热带海洋季风气候,四季分明,年均气温 16.5 °C,年均日照 1873.8 h,年均降水量 1180.9 mm,年均降水日 129.5 d.

本区域濒临黄浦江,位于浦星公路和永南路交界处,总面积约 19 hm²,土地权属归集体所有;西侧紧临丰南河,南北两侧亦有河道分布,均与黄浦江连通(图 1).周边区域以稻田和农居为主,是历史上重要的两栖类保育栖息地^[7].本区域原为苗木基地,植被以苗木为主,优势树种为荷花玉兰(*Magnolia grandiflora*)、樟(*Cinnamomum camphora*)、无患子(*Sapindus saponaria*)和罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)等,林下植被缺乏,生境单一.本区域地势西北高东南低,内部水系缺乏,仅在东部区域留存小型水塘(面积约 2.5 hm²),其他区域无水系;道路连通性差,入口处有一条内部道路(图 1).区域内部存在人为干扰,常见苗木移栽等工程作业.

1.2 制定两栖类栖息地构建技术方案

采用文献资料查阅并结合实地考察的方法^[23],总结两栖类栖息地的构建模式,包括地形地貌构建、水系和道路系统设置、日常管理模式等内容.根据已有研究成果,总结上海市常见的 5 种两栖类的分布范围和生境选择特点,以及相应的生境改造配套设施.开展实施区域本底调查,掌握实施区域本底特征,以两栖类保育为目标制定适应性改造方案,提出两栖类栖息地构建技术,既契合实施区域的本底特征,又能满足上海市常见的 5 种两栖类的生境需求.

按照提出的两栖类栖息地构建技术,对上海市闵行区浦江镇鲁汇苗木基地进行改造,构建两栖类栖息地.项目实施区域总面积为 19 hm²,其中核心改造区域约 6 hm²;项目实施时间为 2014 年 5 月—2016 年 9 月,建设施工阶段为 2015 年.



图 1 研究区域和调查样线
Fig.1 Study region and sampling lines.

1.3 评估两栖类栖息地构建技术的保护效果

采用实验生态学方法^[23],开展两栖类调查监测,对比改造前后两栖类的种类和数量,定量分析两栖类栖息地的保护效果.

1.3.1 两栖类调查方法 两栖类调查结合样线法和鸣叫调查法进行^[16-18],选取实施区域改造前的 2014 年和改造后的 2016 年,共计 2 个调查年度,每个调查年度包括 2 个调查时期.根据上海市常见的 5 种两栖类的繁殖时间^[9],将调查时期分为多数两栖类的繁殖期(5—6 月)和非繁殖期(8—9 月)两个阶段^[17].两栖类调查通常在日落后 0.5 h 开始,持续至次日 0:00 完成^[9,17].

研究区域共布设 5 条两栖类调查样线,每条样线长 100 m,宽 5 m(图 1).为了保证调查方法的系统性,便于数据对比分析,改造前后的 5 条调查样线在空间位置上保持一致.研究区域改造后,在核心改造区域构建了生态水塘、生态湿地和生态水道,形成连通水体.调查样线布设在生态水塘外周、生态湿地和生态水道两侧的水陆交汇处.调查时 3 人一组,使用强光手电沿调查样线搜寻两栖类,步行速度控制在 1 km · h⁻¹,记录两栖类的种类和数量^[9,17].

1.3.2 数据处理 采用 SPSS 23.0 软件对数据进行统计分析.统计两栖类的种类和密度,根据调查样线的面积计算两栖类的密度,以平均值±标准误表示,单位为 ind · hm⁻².数据进行差异性分析时,先进行正态分布检验,然后进行 *t* 检验.如果不符合正态分布,对数据进行转换,转换后仍不符合正态分布的进行 Kruskal-Wallis H 法非参数检验^[23].*P*<0.05 认为差异显著,*P*<0.01 认为差异极显著.

2 结果与分析

2.1 两栖类栖息地的构建技术方案

本研究对实施区域开展本底调查,确立了以两栖类保育为主兼具科普教育功能的建设目标,契合实施区域的本底特征和两栖类的生境选择特点,遵照生态工程的系统性和整体性要求,提出了两栖类栖息地的构建技术方案(图 2).

两栖类栖息地的设计灵感来自莲(*Nelumbo nucifera*),栖息地整体结构为一轴两心(图 2).构建生态水塘(似荷花)和生态湿地(似莲藕)两个核心区域,构建生态水道(似叶柄)连通二者,形成栖息地整体结构的完整性,犹如一株盛开的莲,颇具美感.两栖类栖息地的主要结构包括水文系统(生态水塘、生态湿地和生态水道)、道路系统(车行道、木栈

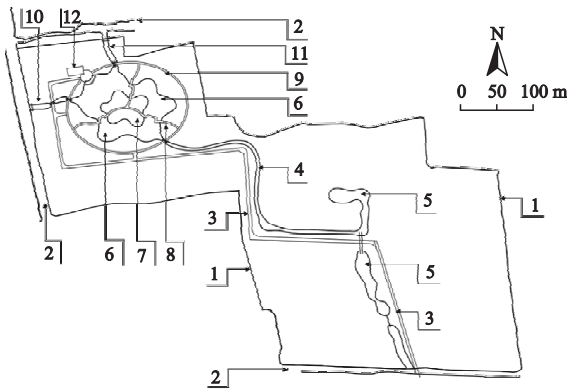


图2 两栖类栖息地的构建技术

Fig.2 Construction technology of amphibian habitat.

1) 边界 Border; 2) 河道 River; 3) 车行道 Road; 4) 生态水道 Ecological ditch; 5) 生态湿地 Ecological wetland; 6) 生态水塘 Ecological pond; 7) 生态小岛 Ecological island; 8) 木栈道 Wooden walkway; 9) 生态步道 Ecological trail; 10) 取水口 Intake; 11) 溢流坝 Overflow dam; 12) 教育中心 Education center.

道和生态步道)、地形地貌系统(生态小岛和生态驳岸)和科普教育系统(教育中心和野外标识系统)等。

两栖类栖息地构建技术的生态工程学原理为:创设多样的水陆条件,满足两栖类的生境需求,其技术难点在于地形地貌改造、水系沟通调整和植被恢复等。为了满足两栖类的地形地貌条件需求,构建生态水塘,设置生态小岛,为两栖类提供隐蔽、觅食和越冬场所。改造原有水塘,构建生态湿地;构建生态水道,形成连通水系,作为两栖类的扩散通道。水陆交汇处设置坡度较缓($<30^\circ$)的泥质生态驳岸,为两栖类的水陆活动创设条件。

为了满足两栖类的水文条件需求,进行水系沟通调整,沟通外界水系,贯通内部水体。利用实施区域西北高东南低的地势条件,自西侧的丰南河取水,流经区域内部水体,由南侧河道流出,形成水体的连通性和流动性。构建梯度水位控制系统,在生态水道分段设置4级简易水闸,形成5级梯度水位,精准控制水位。构建溢流坝,雨量较大时及时排出栖息地积水。取水口设置隔离网和水生植被净化池,净化水体,保障水质。

为了满足两栖类的植被条件需求,在栖息地地形构建完成之后进行植被恢复。植被恢复以人工配置和自然恢复为主,选择本土陆生植被和水生植被,形成乔木、灌木、草本等陆生植被和挺水植物、浮水植物、沉水植物等水生植被的分层梯度配置。昆虫和两栖类以自然恢复为主。为了提升两栖类栖息地的科普教育功能,改造原有道路,形成以车行道、木栈道和生态步道为主的道路系统;建设野外标识系统和科普教育中心,展示两栖类科普知识。

2.2 两栖类栖息地构建技术的效果评估

2.2.1 物种组成和优势种 2014年和2016年,在多数两栖类的繁殖期(5—6月)和非繁殖期(8—9月)开展的4次两栖类调查,共记录到两栖类5种,378只。2014年繁殖期和非繁殖期,两栖类种类均为4种(黑斑侧褶蛙、泽陆蛙、饰纹姬蛙、中华蟾蜍),2016年繁殖期和非繁殖期,两栖类种类均为5种(图3)。金线侧褶蛙是两栖类栖息地改造后增加的新记录。

2014年繁殖期,两栖类优势种为泽陆蛙(占53.7%)和饰纹姬蛙(占36.6%);2014年非繁殖期,优势种为泽陆蛙(占75.0%)和饰纹姬蛙(占15.0%);2016年繁殖期,优势种为金线侧褶蛙(占30.0%)、饰纹姬蛙(占27.9%)、泽陆蛙(占15.7%)、黑斑侧褶蛙(占15.3%)和中华蟾蜍(占12.1%);2016年非繁殖期,优势种为泽陆蛙(占71.3%)和饰纹姬蛙(占10.2%)。

2.2.2 种群密度 2014年繁殖期记录到两栖类41只,密度为 $(164.0 \pm 63.7) \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$;2014年非繁殖期为40只,密度为 $(160.0 \pm 29.7) \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$;2016年繁殖期为140只,密度为 $(560.0 \pm 159.3) \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$;2016年非繁殖期为157只,密度为 $(628.0 \pm 186.2) \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表1)。两栖类栖息地在繁殖期和非繁殖期的两栖类密度,改造后均极显著高于改造前。两栖类栖息地繁殖期的两栖类密度,改造后是改造前的3.4倍,非繁殖期是改造前的3.9倍,表明栖息地改造后两栖类的密度显著增加。

对两栖类栖息地的5种两栖类的密度进一步分析表明,两栖类栖息地构建技术能显著增加黑斑侧褶蛙繁殖期密度,增加金线侧褶蛙繁殖期和非繁殖期密度,显著增加泽陆蛙非繁殖期密度,显著增加中

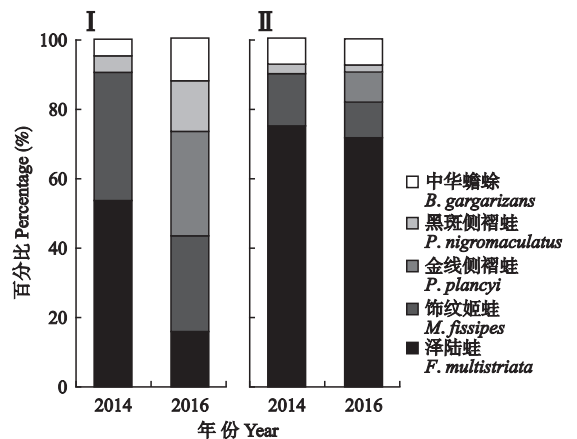


图3 两栖类栖息地的两栖类群落结构

Fig.3 Composition of amphibians in the amphibian habitat.

I: 繁殖期 Breeding period; II: 非繁殖期 Non-breeding period.

表 1 两栖类栖息地的两栖类密度

Table 1 Density of amphibian in the amphibian habitat ($\text{ind} \cdot \text{hm}^{-2}$, $n=5$)

物种 Species	2014		2016	
	繁殖期 Breeding period	非繁殖期 Non-breeding period	繁殖期 Breeding period	非繁殖期 Non-breeding period
黑斑侧褶蛙 <i>P. nigromaculatus</i>	8.0±4.9a	4.0±4.0	80.0±38.5b	8.0±8.0
金线侧褶蛙 <i>P. plancyi</i>	0	0	168.0±163.1	60.0±33.5
泽陆蛙 <i>F. multistriata</i>	88.0±29.4	120.0±24.5a	88.0±29.4	448.0±159.8b
饰纹姬蛙 <i>M. fissipes</i>	60.0±45.1	24.0±7.5	156.0±78.6	64.0±33.7
中华蟾蜍 <i>B. gargarizans</i>	8.0±8.0a	12.0±8.0	68.0±15.0b	48.0±25.8
总计 Total	164.0±63.7a	160.0±29.7a	560.0±159.3b	628.0±186.2b

同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different letters within the same row indicated significant difference among treatments at 0.05 level.

华蟾蜍繁殖期密度。

3 讨 论

3.1 两栖类栖息地构建技术的设计要点

两栖类生活史的完成需要水生和陆生环境,两栖类栖息地需要满足两栖类的隐蔽觅食条件和繁殖穴居条件^[24]。本研究提出的两栖类栖息地构建技术,针对上海市常见的 5 种两栖类的生境需求,构建两栖类的适宜栖息地。

水体条件对两栖类的发育至关重要^[24],多数两栖类的幼体发育在水体中完成,水塘和沟渠是两栖类的重要繁殖场所^[25]。黑斑侧褶蛙和金线侧褶蛙偏好一定面积的水域生境,水域面积影响二者的分布范围^[10,17,22]。本研究构建生态水塘和生态水道,改造生态湿地,增加了水域生境,显著提升了黑斑侧褶蛙和金线侧褶蛙的数量。水质影响两栖类的繁殖成功率^[24],水生植被能增加水体溶解氧,本研究契合地势条件形成流动水体,种植水生植被净化水体,保障水质,满足了两栖类的水质需求。构建梯度水位控制系统,精准控制水位,形成不同水位条件,满足了两栖类的多样性水位需求。

水生植被能显著提升两栖类栖息地的适宜度,为两栖类提供附着静栖基质和隐蔽遮阴条件,有利于两栖类躲避天敌,降低幼体死亡率^[26]。水生植被为两栖类提供繁殖条件,有利于两栖类鸣叫、抱对和产卵等繁殖行为的完成^[26-27]。水生植被的盖度影响两栖类密度^[9-10,17],适当控制水生植被的盖度有利于增加两栖类栖息地的适宜度。陆域植被为两栖类提供觅食和隐蔽遮阴条件^[24],对两栖类的生存同样重要。本研究梯次配置本土乔木、灌木、地被草本等陆生植被和本土挺水植被、浮水植被、沉水植被等水生植被,为两栖类提供适宜的觅食、繁殖和隐蔽穴居条件,同时间接增加了两栖类的动物性食物来源,且具有良好的景观效果。

迁徙扩散对两栖类种群的维持具有重要作用,个体能否成功迁徙影响两栖类的繁殖成功率^[27]。城市化造成两栖类栖息地的生境破碎化和生态廊道消失,限制了两栖类的迁徙扩散^[9]。本研究构建生态水塘和生态水道,连通外界水系,贯通内部水体,形成两栖类的扩散通道,有利于两栖类的种群扩散和基因交流。水陆交汇处的生境质量影响两栖类的生存和繁殖^[17,24],河流坡岸材质和坡度制约两栖类向陆域生境迁徙扩散^[17],城市化进程中形成的硬质化岸坡不利于两栖类的迁徙扩散。本研究在栖息地内部的水陆交汇处设置坡度较小 ($<30^\circ$) 的泥质生态驳岸,有利于两栖类的水陆活动,为两栖类的迁徙扩散创造条件。穴居条件对两栖类的越冬至关重要,如泽陆蛙选择靠近水源的泥滩生境越冬^[28]。本研究在生态水塘中构建生态小岛,设置生态驳岸,配置水生植被和陆生植被,为两栖类提供了良好的穴居条件和越冬场所。

总之,本研究提出的两栖类栖息地构建技术,通过地形地貌、水文和植被条件的构建,满足了两栖类的觅食和繁殖、越冬和扩散等多样性需求,为两栖类提供了适宜的栖息地。

3.2 两栖类栖息地构建技术的效果评估

本研究提出了以两栖类保育为目标的两栖类栖息地构建技术,并在上海市闵行区浦江镇的鲁汇苗木基地构建了 19 hm^2 两栖类栖息地(图 2),改造后的两栖类栖息地的两栖类种类和数量均显著高于改造前(图 3 和表 1)。结果表明,本研究提出的两栖类栖息地构建技术能显著提升两栖类的种类和数量,具有较好的两栖类保护效果。

上海市两栖类数量急剧下降,以泽陆蛙下降最为剧烈,其密度由 2000 年的 $500.0 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[8],下降至 2015 年的 $100.0 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (未发表数据)。在研究区域的周边区域开展的两栖类调查,显示周边区域的黑斑侧褶蛙密度为 $3.9 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$,金线侧褶蛙

密度为 $24.7 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$, 中华蟾蜍密度为 $3.2 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (未发表数据); 改造后的两栖类栖息地的黑斑侧褶蛙密度为 $80.0 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (繁殖季) 和 $8.0 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (非繁殖季), 金线侧褶蛙密度为 $168.0 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (繁殖季) 和 $60.0 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (非繁殖季), 中华蟾蜍密度为 $68.0 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (繁殖季) 和 $48.0 \text{ ind} \cdot \text{hm}^{-2}$ (非繁殖季) (表 1), 表明改造后栖息地的两栖类密度高于周边区域. 同时, 栖息地改造后, 这 3 种两栖类繁殖期的密度均高于非繁殖期, 表明栖息地改造增加了两栖类的繁殖生境, 而觅食生境需要进一步恢复.

栖息地面积和质量的下降是造成两栖类数量下降的重要原因^[3,12], 水稻田是两栖类的重要栖息生境^[28-29], 农业景观异质性影响两栖类栖息地的可用性^[30]. 农田生境的减少是泽陆蛙数量急剧下降的重要原因^[28], 人为捕捉导致黑斑侧褶蛙数量下降^[22], 水域面积减少限制了金线侧褶蛙的分布范围^[10], 而城市化是上海市两栖类数量下降的共性原因^[16-18]. 城市林绿地的建设缺乏对生态系统连通性的考量^[6], 较少关注生态水体建设^[9], 不利于两栖类保护. 修复和重建两栖类受损栖息地, 有利于恢复两栖类种群资源, 保护生物多样性, 维持生态系统平衡, 对城市化进程中的两栖类保护尤为关键. 本研究提出的两栖类构建技术, 为两栖类受损栖息地的恢复和重建以及城市园林设计和林绿地的优化改造提供了参考案例.

3.3 两栖类栖息地构建技术的展望

两栖类栖息地的生境恢复过程十分缓慢. 两栖类对栖息地生境变化的响应处于动态渐变过程之中, 对栖息地建设效果的反应具有滞后性^[31]. 本研究构建的两栖类栖息地的两栖类数量在短期内显著增长, 除原有两栖类繁殖复壮外, 可能存在周边区域两栖类的迁入. 今后需要进一步开展两栖类种群的年龄结构调查, 关注非繁殖期两栖类的幼体数量, 准确评估两栖类的种群动态. 开展周边区域的两栖类调查, 评估两栖类种群在栖息地与周边区域之间的相互影响. 生境因子对两栖类种群的恢复至关重要^[14,17], 应当开展关键生境因子调查, 分析生境修复与两栖类恢复的关系, 研究生境修复的作用过程与机理. 加强栖息地的管理和长期监测, 关注栖息地保育效果的长效研究.

两栖类栖息地的效果评估, 不仅要考虑常见两栖类的数量增加, 还要兼顾濒危物种和重点保护野生动物的保护效果. 虎纹蛙 (*Hoplobatrachus chinensis*) 为国家二级保护动物, 曾在上海市广泛分布, 数量较多^[7]. 2000 年以来, 上海市开展的历次野外调查均未发现虎纹蛙^[10-11], 人为捕杀是虎纹蛙在上海市灭绝的重要原因之一^[8]. 今后应当加强虎纹蛙的种群恢复研究, 在两栖类栖息地发育成熟之后, 重新引入虎纹蛙并复壮野外种群. 受损或破坏的两栖类栖息地以不同的生境类型存在, 如林绿地、水塘和农田等, 应针对不同的生境条件提出适应性改造方案. 上海市历史上分布有适应林灌丛栖息的两栖类, 如无斑雨蛙 (*Hyla immaculata*) 曾在上海市广泛分布^[7], 2000 年数量趋于减少^[8], 2015 年以后的历次野外调查均未发现^[9-10]. 两栖类栖息地的改造, 应当加强林绿地的林相结构调整, 构建适宜的林灌丛生境, 重新引入无斑雨蛙, 提升林绿地的两栖类多样性.

两栖类栖息地构建技术的推广, 收支比例至关重要^[23]. 今后应当进一步完善生态工程建设成效的评价标准, 建立系统的考核指标体系, 评估工程建设成本和综合收益的关系. 在确保野生动物生态保育最佳成效的前提下, 控制生态工程建设成本, 寻求生态建设和经济发展的平衡点, 促进人与自然的和谐发展.

两栖类栖息地构建技术的推广, 收支比例至关重要^[23]. 今后应当进一步完善生态工程建设成效的评价标准, 建立系统的考核指标体系, 评估工程建设成本和综合收益的关系. 在确保野生动物生态保育最佳成效的前提下, 控制生态工程建设成本, 寻求生态建设和经济发展的平衡点, 促进人与自然的和谐发展.

4 总 结

快速的城市化进程造成两栖类栖息地的面积减少和质量下降, 导致两栖类的种类和数量急剧下降, 严重威胁了两栖类的生存, 修复和重建两栖类栖息地对两栖类的保护至关重要. 本研究提出了一种全新的两栖类栖息地构建技术, 针对两栖类的生境需求, 以生态工程手段修复改造受损的两栖类栖息地, 构建两栖类适宜生境, 提升了两栖类的种类和数量, 具有较好的两栖类保护效果, 为两栖类受损栖息地的生态修复和重建以及城市园林设计和林绿地的优化改造提供了参考案例.

致谢 本研究得到了多方的支持和帮助, 特别感谢参与项目规划和野外工作的张姚、莫英敏、束潇潇和叶思嘉. 感谢上海市绿化和市容管理局的项目资助, 感谢袁晓、张秩通和薛程的指导帮助, 感谢上海自然博物馆刘漫萍、潘伊凌和葛栋的工作支持.

参考文献

- [1] Li C (李成), Xie F (谢锋), Che J (车静), et al. Monitoring and research of amphibians and reptiles diversity in key areas of China. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2017, **25**(3): 246-254 (in Chinese)
- [2] Guzy JC, McCoy ED, Deyle AC, et al. Urbanization interferes with the use of amphibians as indicators of

- ecological integrity of wetlands. *Journal of Applied Ecology*, 2012, **49**: 941–952
- [3] Stuart SN, Chanson JS, Cox NA, *et al.* Status and trends of amphibian declines and extinctions worldwide. *Science*, 2004, **306**: 1783–1786
- [4] IUCN. IUCN Red List of Threatened Species. Gland, Switzerland: IUCN, 2012
- [5] Jiang J-P (江建平), Xie F (谢 锋), Zang C-X (臧春鑫), *et al.* Assessing the threat status of amphibians in China. *Biodiversity Science* (生物多样性), 2016, **24**(5): 588–597 (in Chinese)
- [6] Fu Q (傅 强), Gu C-L (顾朝林). Delineation of ecological security pattern based on ecological network. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2017, **28**(3): 1021–1029 (in Chinese)
- [7] Huang Z-Y (黄正一), Tang Z-Y (唐子英), Zong Y (宗 愉), *et al.* Amphibians and reptiles in Shanghai. *Natural History* (博物), 1980, **3**(2): 17–20 (in Chinese)
- [8] Shanghai Municipal Bureau of Agriculture and Forestry (上海市农林局). Terrestrial Wildlife Resources in Shanghai. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2004 (in Chinese)
- [9] Zhang W (张 伟). Effects of Habitat and Landscape Changes on the Dynamics and Genetic Structure of Amphibians during Urbanization. PhD Thesis. Shanghai: East China Normal University, 2017 (in Chinese)
- [10] Huang K (黄 凯). Wetland Habitat Utilization of Anuran Amphibians in Country Parks. Master Thesis. Shanghai: East China Normal University, 2017 (in Chinese)
- [11] Zhang W, Li B, Shu X, *et al.* A new record of *Kaloula* (Amphibia: Anura: Microhylidae) in Shanghai, China. *Asian Herpetological Research*, 2015, **6**: 240–244
- [12] Quesnelle PE, Lindsay KE, Fahrig L. Low reproductive rate predicts species sensitivity to habitat loss: A meta-analysis of wetland vertebrates. *PLoS One*, 2014, **9**(3): e90926
- [13] Nowakowski AJ, Thompson ME, Donnelly MA, *et al.* Amphibian sensitivity to habitat modification is associated with population trends and species traits. *Global Ecology and Biogeography*, 2017, **26**: 700–712
- [14] Holtmann L, Philipp K, Becke C, *et al.* Effects of habitat and landscape quality on amphibian assemblages of urban stormwater ponds. *Urban Ecosystems*, 2017, **20**: 1249–1259
- [15] McKinney ML. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 2008, **11**: 161–176
- [16] Zhang W, Li B, Shu X, *et al.* Responses of anuran communities to rapid urban growth in Shanghai, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, **20**: 365–374
- [17] Shu XX, Zhang W, Li B, *et al.* Major factors affecting the distribution of anuran communities in the urban, suburban and rural areas of Shanghai, China. *Asian Herpetological Research*, 2016, **7**: 287–294
- [18] Li B, Zhang W, Shu XX, *et al.* The impacts of urbanization on the distribution and body condition of the rice-paddy frog (*Fejervarya multistriata*) and gold-striped pond frog (*Pelophyax laxplancyi*) in Shanghai, China. *Asian Herpetological Research*, 2016, **7**: 200–209
- [19] Sutherland RW, Dunning PR, Baker WM. Amphibian encounter rates on roads with different amounts of traffic and urbanization. *Conservation Biology*, 2010, **24**: 1626–1635
- [20] Hamer AJ, McDonnell MJ. Amphibian ecology and conservation in the urbanising world: A review. *Biological Conservation*, 2008, **141**: 2432–2449
- [21] Stiles RM, Swan JW, Klemish JL, *et al.* Amphibian habitat creation on postindustrial landscapes: A case study in a reclaimed coal strip-mine area. *Canadian Journal of Zoology*, 2016, **95**: 67–73
- [22] Wu D (吴 迪), Yue F (岳 峰), Luo Z-K (罗祖奎), *et al.* The distribution and habitat selection patterns of amphibian population in Dalian Lake wetland. *Shanghai Journal of Fudan University* (Natural Science) (复旦学报: 自然科学版), 2011, **50**(3): 268–272 (in Chinese)
- [23] Xie H-B (谢汉宾), Mo Y-M (莫英敏), Zhang Y (张姚), *et al.* A new construction technology of rice fields for waterbird conservation and its effects. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2017, **26**(11): 1919–1927 (in Chinese)
- [24] Li C (李 成), Jiang J-P (江建平). Anuran life cycle and habitat preference. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), 2016, **35**(6): 950–955 (in Chinese)
- [25] De Vries W, Marco A. The importance of fluvial habitats for amphibian conservation in the Mediterranean climate. *Basic and Applied Herpetology*, 2017, **31**: 5–16
- [26] Baber MJ, babbitt KJ. Influence of habitat complexity on predator-prey interactions between the fish (*Gambusia holbrooki*) and tadpoles of *Hyla squirella* and *Gastrophryne carolinensis*. *Copeia*, 2004, **2004**: 173–177
- [27] Zhang X-C (张晓翠), Jing K (敬 凯). A summary on amphibian breeding migration. *Sichuan Journal of Zoology* (四川动物), 2014, **33**(6): 943–953 (in Chinese)
- [28] Li B (李 贲), Zhang W (张 伟), Shu X-X (束潇潇), *et al.* Distribution characteristic of amphibian in three typical habitats of rural Shanghai. *Resources and Environment in the Yangtze Basin* (长江流域资源与环境), 2017, **26**(6): 824–831 (in Chinese)
- [29] Holzer KA, Bayers RP, Nguyen TT, *et al.* Habitat value of cities and rice paddies for amphibians in rapidly urbanizing Vietnam. *Journal of Urban Ecology*, 2017, **3**: doi: 10.1093/jue/juw007
- [30] Zhang L (张 丽), Liang G-F (梁国付), Guo H-J (郭豪杰), *et al.* Effects of landscape heterogeneity on the availability of amphibians' habitats in agricultural region on the lower reaches of the Yellow River, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2016, **27**(7): 2154–2160 (in Chinese)
- [31] Reeves RA, Pierce CL, Smalling KL, *et al.* Restored agricultural wetlands in Central Iowa: Habitat quality and amphibian response. *Wetlands*, 2016, **36**: 101–110

作者简介 谢汉宾,男,1987年生,博士。主要从事湿地生态学和保育生态学研究。E-mail: xiehb@sstm.org.cn

责任编辑 肖 红

谢汉宾,张伟,李贲,等. 两栖类栖息地的构建技术及效果评估. *应用生态学报*, 2018, **29**(8): 2771–2777

Xie H-B, Zhang W, Li B, *et al.* Construction technology of amphibian habitat and the evaluation of its effectiveness. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29**(8): 2771–2777 (in Chinese)