

DOI: 10.5846/stxb201802090352

李欢欢, 张雪琦, 张永霖, 董仁才. 城市生态环境损害鉴定评估监测体系研究. 生态学报, 2019, 39(17): 6469–6476.

Li H H, Zhang X Q, Zhang Y L, Dong R C. A monitoring system for identification and assessment of urban eco-environmental damage. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(17): 6469–6476.

城市生态环境损害鉴定评估监测体系研究

李欢欢^{1,2}, 张雪琦^{1,2}, 张永霖^{1,2}, 董仁才^{1,*}

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 我国城市生态环境损害事件频发, 不但造成大气、地表水、地下水、土壤等环境质量下降, 也造成城市生态系统结构和功能的退化, 推进生态环境损害赔偿制度势在必行。由于城市生态系统的复杂性和特殊性, 确认环境损害行为、说清因果关系、判定损害程度和计算赔偿金额等环节难度均比较大, 开展城市生态环境损害鉴定评估技术研究迫在眉睫。根据城市地理学和城市生态学相关理论, 在分析城市生态环境损害概念和特征基础上, 从城市生态系统完整性角度出发, 结合实例构建了一套测度城市生态系统损害状态监测的样方体系, 通过形成城市生态环境整体水平评估框架为综合判定城市生态环境基线奠定基础; 进一步提出充分利用既有生态观测样方、环境监测站点和社会公众参与式数据共享策略, 以提高现场勘察效率、降低鉴定评估成本和提高评估结果质量的方法。研究所形成的样方体系、监测策略和方法对我国城市生态环境损害鉴定评估工作业务化具有指导意义。

关键词: 城市生态系统; 环境损害; 基线判定; 监测体系

A monitoring system for identification and assessment of urban eco-environmental damage

LI Huanhuan^{1,2}, ZHANG Xueqi^{1,2}, ZHANG Yonglin^{1,2}, DONG Rencai^{1,*}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The frequent occurrence of urban eco-environmental damage has caused damage to the urban atmosphere, water and soil environment, and has also caused ecosystem structural and functional degradation. It is extremely urgent to conduct research on urban eco-environmental damage identification and assessment technology. Because of the complexity and uniqueness of the urban ecosystem, it is difficult to determine the environmental damage in urban ecosystem and to carry out ecological restoration and damage compensation. It is urgent to establish a monitoring system to improve baseline credibility and reduce judgment deviation of the degree of damage, its scope, and the compensation for accountability. Based on related theories of urban geography and urban ecology, this paper analyzes the concepts, mechanisms, and characteristics of urban eco-environment damage, and then initially constructs a quadrat monitoring system to measure the undamaged state of different functional areas of urban ecosystems. To provide operational services for identification and assessment of urban eco-environmental damage and for carrying out special monitoring in damaged regions, we should adopt the strategy of using the existing eco-environment observation quadrat, while selecting and setting control areas.

Key Words: urban ecosystem; urban eco-environmental damage; baseline identification; monitoring system

基金项目: 国家重点研发计划资助(2016YFC0503605); 城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2017-1-5)

收稿日期: 2018-02-09; 网络出版日期: 2019-05-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongrencai@cees.ac.cn

<http://www.ecologica.cn>

我国生态环境损害赔偿案件数量以年均 25% 的速度递增^[1],生态环境损害鉴定评估的业务量随之与日俱增,对鉴定评估调查和监测的技术与规范需求十分迫切。虽然相关部门正加速开展生态环境损害调查技术的基础性研究^[2],但由于起步较晚,在鉴定评估理论和实践中还存在诸多难点和业务化流程不通畅等问题。2016 年 6 月,环境保护部印发的《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲》(以下简称《总纲》),规定了生态环境损害鉴定评估的一般性原则、程序、内容和方法,明确了生态环境损害鉴定评估的术语定义、评估工作程序、评估内容与范围以及评估工作应遵循的原则^[1],为我国生态环境损害鉴定评估工作奠定了坚实的基础。然而,具体到森林生态系统、草地生态系统、淡水生态系统、农田生态系统以及城市生态系统的环境损害案件的具体鉴定评估工作时,需要针对其自身损害特点进行详细分析。尤其是在基线确定、因果关系分析、损害程度和范围确认等方面,需要不断进行细化,形成可操作性较强的业务化流程。

纵览生态环境损害鉴定评估过程,在基线确认、污染物溯源、损害程度和范围认定等多个环节均需要开展生态环境监测工作。即使到了生态恢复阶段,仍需监测来确认是否恢复到了基线水平。这些监测工作不但以获取关键数据为目的,而且能为诉讼过程提供重要证据,是支撑鉴定评估的核心内容。因此,生态环境监测的科学性直接影响到环境损害鉴定评估结果的准确性^[3]。以城市生态系统研究为目的的监测工作已经开展了很多年,如美国巴尔的摩城市生态监测站、凤凰城城市生态监测站和北京城市生态系统研究站的工作尤为突出。在研究方法上,巴尔的摩监测站主要以流域研究为核心建立监测点,研究城市生态系统中社会经济、生态和自然特性的空间结构是如何相互关联,并随时间变化的^[4-5];凤凰城城市生态监测站主要围绕土地利用和土地覆盖等多方面,探讨社会、经济和自然因素对城市环境变化的驱动作用及响应机制,在研究方法上突出城市整体布点和建立社区监测样方^[5-6];北京城市生态系统研究站重点研究城市水文、土壤、大气、植物和动物的特征,在研究方法上强调城市整体特征,采用遥感观测、长期样地和社会调查等监测方法及生态系统整体演变研究方法^[5]。这些传统意义上的城市生态观测与环境监测工作逐步明确了城市生态系统格局、过程和功能及其作用机理,对制定和改善城市环境质量、促进城市可持续发展发挥了重要作用。同时,这也与生态环境损害鉴定评估工作中关注生态系统服务功能是否退化具有相同的焦点。

城市生态系统的长期监测和研究,对城市生态系统服务功能的物质质量、价值量的量化起到了重要作用。如石春娜等^[7]对四川温江城市生态系统服务功能研究的结论表明:当地居民对于城市生态系统服务功能偏好由高到低分别为:城市小气候、水环境、空气质量、城市噪声污染和休闲娱乐文化。唐荣莉等^[8]通过对北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征研究表明,街尘在道路和污染物主要呈现变化趋势,如 Cu、Cr 和 Pb 沿城乡梯度降低等。这些研究成果显然有助于让鉴定评估人员明确某种环境损害给城市生态系统带来的损害类型和范围,但也体现出城市生态环境损害鉴定评估具有潜在的难度,需要特有的监测方法才能提高鉴定评估水平。

随着我国生态文明制度体系不断完善,自然资源资产产权制度、自然资源资产负债表、领导干部自然资源资产离任审计制度、生态环境损害责任终身追究制度等的制定、执行、完善,都有赖于健全的生态环境监测体系^[9]。想要全面贯彻“谁污染、谁治理;谁破坏、谁恢复”的原则,依法追究责任人的赔偿责任,治理修复受损生态环境,就必须对生态环境损害过程建立全面、客观、公正的监测技术与手段。本文重点探讨城市生态环境损害鉴定评估过程中生态环境监测特点、目标和具体框架,同时全面梳理了城市生态系统长期观测、定位监测对城市生态环境损害鉴定评估过程中的借鉴和支撑作用,试图建立一套能够将多种目标、长短周期相结合,实现数据共享的城市生态环境损害监测体系。

1 城市生态环境损害的特征及其监测需求

1.1 城市生态环境损害的认定

《总纲》中对生态环境损害作如下定义:“指因污染环境、破坏生态造成大气、地表水、地下水、土壤等环境要素和植物、动物、微生物等生物要素的不利改变,及上述要素构成的生态系统功能的退化”。要明确这种变

化是否属于“不利改变”和“退化”,首先需要有一个衡量生态环境损害未发生前的生态环境基线做标尺。因此,生态环境基线(eco-environmental baseline)的确定就是一个至关重要的环节,它直接关系到是否损害、损害程度、损害实物量 and 价值量大小,以及恢复是否到位等多个环节的判定。对《总纲》的生态环境损害定义拓展理解看,城市生态系统服务是一种长期和相对稳定的状态,而目前长期城市生态观测恰好能够有效描述这种状态。

目前,我国主要采用历史数据法、参考点位法、环境标准法和模型推算法 4 种方法开展生态环境损害基线的确认^[1,10]。历史数据法需要利用污染环境或者破坏生态行为发生前,评估区域近三年内的历史数据来确定基线。而能够提供“近三年内的历史数据”的城市,必须具备有效的城市生态长期监测体系。参考点位法需要“对照区域”的监测数据,利用未受污染或破坏生态行为影响的相似现场数据来确定基线,并要求“对照区域”应与评估区域的生态环境特征、生态系统服务等具有可比性^[11]。采用历史数据和“对照区域”数据不能确定基线时,可以采用模型推导法或参考环境基准或质量标准。由于城市生态系统本身就是受人为因素支配和干扰最大的生态系统,正常排污和消费行为与环境污染、生态破坏行为交织在一起,使得城市生态系统环境损害的鉴定认定难度更大,其监测技术和体系就相当重要。

常规城市生态环境监测的内容主要包括系统观测城市生态系统的水、土、气、生要素及其生态过程的变化,为城市生态系统和区域环境演变研究提供了长期数据积累^[5],这样的过程能够准确记录污染和破坏行为发生前长期生态环境状态。城市生态系统样方调查法能够全面解析城市生态系统服务功能的特点、空间格局和功能,也将构成城市生态环境损害调查和监测的关键区域。

1.2 城市生态环境损害的特征

我国城市生态系统受到各种环境污染和生态破坏行为的困扰。例如,在局地很小空间范围内,竖向通过暗管、渗井、渗坑、裂隙、溶洞、灌注等逃避监管的方式排放、倾倒和处置污染物,所造成地下水和土壤污染的行为非常隐蔽,但危害相当大;也有通过盲目和过度硬化地表,挤占公园绿地、城市湿地等造成生态功能降低的行为,虽然易于观察,但损害认定有一定难度。这些环境污染和破坏生态的行为因发生地点不同对城市生态系统的危害也不相同。以偷倒垃圾这种典型污染和破坏行为为例,随着其倾倒位置和环境介质不同,所造成的危害程度也不同。如果倒入城市水体所造成的直接和二次污染要远大于倒入相对干燥的城市林地或草地。同一程度的污染物或破坏生态行为,作用在不同城市功能区而导致生态系统功能损害不同。因此,生态环境损害鉴定评估调查过程中制定的现场踏勘路线、采样点位布置,以及评估区域土地利用状况等都应综合考虑在监测体系之内^[12]。

城市生态系统具有非线性、结构反馈性、不确定性、不可预测性、自组织性、涌现性以及等级层次性等几乎所有的典型复杂性特征^[13]。城市生态环境损害结果也较为复杂,其物质质量、价值量评判也比较特殊。与自然生态系统相比,受到环境损害后的特征均表现为植被、水体、大气、土壤子系统的功能受到干扰或污染,但由于城市生态系统服务功能的受益者主要是城市区域的人群,其许多服务价值具有主观色彩,强调美学价值的损失。因此,城市生态环境损害基线确认、范围调查、实物量核算和价值量分析等均需要特殊监测方法和鉴定评估体系。

1.3 认定损害程度与范围的监测

《总纲》要求“评估污染环境或破坏生态行为所致生态环境损害的范围和程度”,可以说,认定具有一定损害程度的空间范围也是生态环境损害鉴定评估的关键任务。依据《总纲》“生态环境损害鉴定评估工作空间范围的确定可以综合利用现场调查、环境监测、遥感分析和模型预测等方法,依据污染物的迁移扩散范围或破坏生态行为的影响范围确定。”鉴定评估单位要确认待评估区域的生态环境状态与基线状态相比有明显差异的范围和面积,需要开展大量的生态环境监测工作。对待评估区域开展遥感监测,分析待评估区域与周边样区的生态环境指标的差异性是一种比较快速的方法。

遥感监测是开展生态环境调查的较为普遍的手段,目前全球用于环境监测的卫星已达上百颗,生态环境

遥感监测业务正向高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率方向发展,我国卫星环境监测事业蓬勃发展,已在大气、水环境、生物多样性监测等方面开展了诸多应用^[14]。通过卫星遥感进行高时空分辨率的生态环境损害鉴定评估,在与历史监测数据或周边生态环境背景值对比的基础上,能够得到较大尺度上的生态环境损害空间范围。

为从主要勘察范围逐步聚焦到损害到一定程度的鉴定评估范围。开展损害鉴定评估实践中,可以调用损害发生地附近的已有生态环境监测站点及传感网络进行更精细尺度的损害程度和范围的认定;对于一些特定的生态环境损害事件,无法通过空天地监测网络进行有效量化评估,需要专业人员及设备在损害发生地进行现场调查鉴定,该阶段分为污染识别阶段和污染证实阶段,而在污染证实阶段又分为初步采样分析和详细采样分析两步,得以最终确定场地环境污染的程度和范围^[15]。

1.4 掌握生态系统功能变化方向和幅度

生态环境损害后果除表现在环境要素、生物要素的不利改变外,还表现出生态系统功能退化现象,这包括供给、调节、文化和支持四类生态系统功能的退化。城市生态系统的基本结构和功能破坏或丧失、服务功能减弱或丧失、生物多样性降低、生产力下降等都是生态环境损害后的表征。但很多城市环境污染和生态环境破坏行为具有较强的隐蔽性,待评估区域生态系统功能是否退化,需要经过一个较长的周期才能表现出来,需要特定的监测手段才能甄别出来。城市具有地理区位、规模、管理等不同方面的先天差异,其城市生态系统功能也因内部环境、社会及经济子系统作用的差异而有所不同^[16]。必须让生态系统监测具备足够的覆盖面才能对不同区域的生态功能退化与否进行评判。

此外,想要跟踪生态环境损害基本恢复和补偿性恢复的实施情况,也必须开展必要的调查和监测,评估生态环境恢复措施的效果是否达到预期目标,决定是否需要开展补充性恢复。

2 城市生态环境损害鉴定评估监测体系

2.1 构建从市域范围整体把握城市生态系统功能特征的样方体系

城市生态系统不但受到自然因素的影响和控制,也受到社会经济因素的影响和控制,人类对城市结构和布局的规划决定了城市发展的基本空间格局^[5]。在某市发生环境污染和生态破坏行为后,调查人员应在资料搜集、现场勘察与分析阶段对该城市生态环境常态有一个“全景式”的认知,具备从市域范围整体把握具体案发地损害性质的能力。鉴定评估单位应对待评估区域的生态环境要素特点、生态功能特征具备一定的整体认识,才能提高初步调查效率和系统调查质量,抓住关键取证时机。

因此,城市生态环境损害鉴定评估的样方体系要紧扣《总纲》的要求“说明生态环境损害发生地的社会经济背景、环境敏感点、造成潜在生态环境损害的污染源、污染物等基本情况”。例如,依法追究生态环境损害赔偿责任的情形之一包括“在国家和省级主体功能区规划中划定的重点生态功能区、禁止开发区发生环境污染、生态破坏事件的”,而主体功能区、生态功能区、禁止开发区的基础数据应该是事先全面掌握的基础信息。

如何形成待评估城市生态环境损害的“全景式”轮廓呢?研究表明,必须对不同城市功能区域,如行政区、高新技术区、商业区、住宅区、工业区、文教区、风景名胜區或者城乡结合部等进行有效分类和甄别,通过相互依存的空间样方体系形成样方群加以实现。只有在对城市生态环境质量、服务功能整体认知的基础上,才能对生态环境损害因果关系具有明确的判断,对评估区域的大气、地表水、沉积物、土壤、地下水和生物等关系有清晰的判断^[17]。

以一个典型城市日照市为例加以说明。日照市位于山东省东南部,濒临黄海,下辖东港、五莲等4区(县)。日照市城镇化进程处于稳定快速增长期,2015年,全市城镇化率达到了54.81%^[18]。作为滨海城市,日照市一直以优质的城市环境质量、联合国人居获奖者著称,有着良好的生态本底条件。随着城镇化进程的深入,日照市近几年城市环境恶化迅速,城市发展中出现的社会生态问题日益突出^[19]。日照市具备自然保护

表 1 日照市生态环境损害鉴定评估样方信息描述

Table 1 Monitoring quadrat system for eco-environmental damage assessment in Rizhao City

区位 Location	序号 Serial number	样方名称 Name of quadrat	样方特征 Feature of quadrat	代表性类型 Representative type
东港区	1	日照市政府	市政部门聚集地	行政区
	2	东港市政府	东港区政府	行政区
	3	潍坊路	高新技术产业	高新产业区
	4	泰安路	新城商业聚集地	商业区
	5	日照海滨国家森林公园	滨海森林公园,生态敏感区	城乡结合部
	6	教授花园	高档次住宅区	生活区
	7	黄家屯村	城乡结合	城乡结合部
	8	小黄山	城乡结合	城乡结合部
	9	奎山	造纸产业	工业区
	10	曲阜师范大学	大学城	生活区
	11	日照港	港口产业聚集地	工业区
	12	万平口	滨海旅游,人口聚集地	商业区
	13	王家滩口	跨界联合开发区	高新产业区
	14	涛雒镇	国际海洋城	新农村建设
	15	西湖镇	水源地、生态敏感区	新农村建设
岚山区	16	虎山镇	钢铁工业	工业区
	17	前三岛乡	工业旁住区	生活区
	18	南北山	茶叶种植	原生态
	19	三合村	机场建设中	高新产业区
五莲县	20	五莲县政府	县级政府办公地	行政区
	21	九仙山	生态敏感区	原生态
	22	东龙头村	旧村落	原生态
莒县	23	浮来山	生态敏感区	商业区
	24	陵阳镇	新农村建设示范地	新农村建设

这些信息为执行鉴定评估过程中,顺利开展与待评估区域匹配“对照区域”候选对象、按照生态环境特征、生态系统服务相似性选择与案发地最邻近样方等工作提供了依据。例如,某一环境污染事件发生在城市中心的生活区内,可以在就近、相似可比等原则前提下,选择序号为 6、10、17 等样方进行鉴定评估的基线确认、相关程度和赔偿额度等评估工作。

2.2 形成逐步锁定受害区域并确定损害范围的监测策略

《总纲》中明确要求生态环境损害确认需要满足一定的条件,例如“评估区域空气、地表水、沉积物、土壤、地下水等环境介质中特征污染物浓度超过基线 20% 以上”等。如何通过监测样方空间布局来逐步锁定环境污染和生态破坏区域也成为监测的一个核心问题。参照《场地环境调查技术导则》要求,确定场地是否被污染及污染程度和范围需要采用系统的调查方法,尤其是对污染物分布不明确或污染分布范围大的情况需要采用系统布点法。

结合《场地环境调查技术导则》和实际案例经验,这里提出首先通过待评估区域的生态环境要素周边关系图、城市生态长期监测样地、固定监测站点来确定受损影响最大可能范围的措施,形成对“可疑地区”的范围圈定;进一步结合损害调查确认、采样数据分析、临时监测站点,以及与“生态环境基线”或“对照区域”比较等形成受损的“焦点地区”。这样逐步锁定受害区域并确定损害范围的监测策略能够有效防范“漏报”、“漏评”等现象,保障公平公正开展生态环境损害鉴定评估工作。

具体生态环境损害案件中,需采取多站点联动、耦合监测数据的排查机制,以生态环境基线数据为准绳,识别生态环境损害可疑区域,继而采用 GIS 模型,逐步缩小并最终确定损害范围(图 2)。

2.3 促进生态环境损害鉴定评估效率提高的监测机制

鉴于部分城市生态环境损害案例存在着持续时间长、危害范围广、因果关系复杂等特点,建议鉴定评估单位构筑全方位多层次监测体系并形成长效监测机制。一方面,储备长期城市生态环境监测数据源和知识库,另一方面也应采用长期定位观测与日常监测相结合、综合监测与应急监测相结合的技术路线,构建多层监测体系耦合机制,保障损害鉴定评估结果的客观性、公正性。图3探索性的描述了以城市长期生态观测体系、城市环境监测站点网络、公众参与式生态环境监测为辅助,以生态环境损害鉴定评估专项监测为主体的监测机制。这些监测工作相互具有深刻的内在联系,例如取样点位相互支撑、监测数据统一共享,这些内在联系对结果交叉验证、精度评估等尤其重要。

我国主要通过对生态环境要素中相关因子的浓度、数量、分布以及污染排放状况进行分析测试,用以说清生态环境的特征与现状、污染源、生态环境质量的变化趋势和潜在的环境风险^[23]。因此,生态环境主管部门的城市生态环境监测数据是城市生态环境损害鉴定评估依据的主体。环境保护部办公厅《关于自动在线监控数据应用于环境行政执法有关问题的复函》(环办环监函〔2016〕1506号)中明确“污染源自动在线监控数据与其他有关证据共同构成证据链,可以应用于环境行政执法”。

综上,该监测体系不但能够准确提出基线,也能判定生态环境损害程度和范围,并能为将来是否达到生态修复效果提供可靠依据。在环境污染或生态破坏发生后尽早介入,尽早开展生态环境监测工作,获得鉴定评估所需的数据资料^[12],形成一个高效的监测体系势在必行。未来我国将建立独立权威高效的生态环境监测体系,构建天地一体化的生态环境监测网络,这也为生态环境损害鉴定评估业务化提供长期支撑。

3 结论

科学认知我国城市生态系统历史成因、当前状态与未来趋势,对建立健全城市生态系统环境损害鉴定评估技术标准与规范、完善环境损害赔偿制度、推动生态文明建设和环境损害赔偿司法实践具有重要支撑作用。生态环境损害鉴定评估中的调查与监测提倡综合考虑科学、经济和社会水平,保证评估工作的科学性和可操作性。因此,在开展城市生态环境损害鉴定评估工作中,要注重生态系统整体性功能和局部性损害的关系,努力探索一套对鉴定评估针对性、公信力强的监测体系。尤其是对于监测体系对基线判定、因果关系确认、损害范围确定的影响给予足够的重视。一方面要求鉴定评估人员有一个长期的经验积累过程;另一方面,也需要对我国城市生态环境污染和损害行为的共性特点有所掌握,尤其是对环境污染和生态破坏行为发生的时间和地点对生态功能损害程度的差异性。

本研究认为,要从市域范围整体把握城市生态系统完整性功能,注重环境污染和生态破坏行为对生态系统格局、过程和功能的系统性损害,不能简单针对损害现场自身、损害时段内的生态功能进行分析。同时,提倡生态环境监测数据共享,充分利用城市生态系统长期监测数据、环境监测站点数据、社会公众参与式监督数

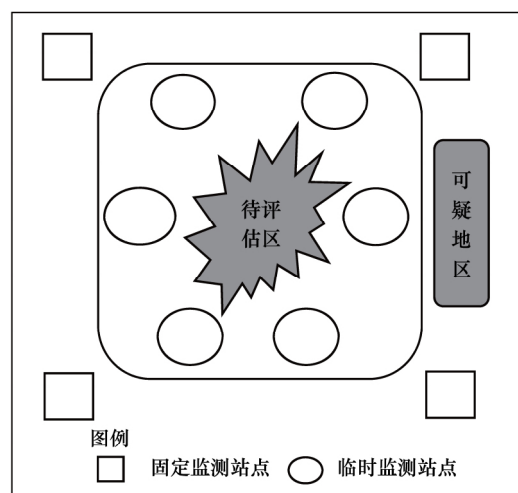


图2 多站点联动锁定暴露区域与确定损害范围示意图

Fig. 2 Schematic diagram of multi-site linkage locking of damaged area and determination of damage scope

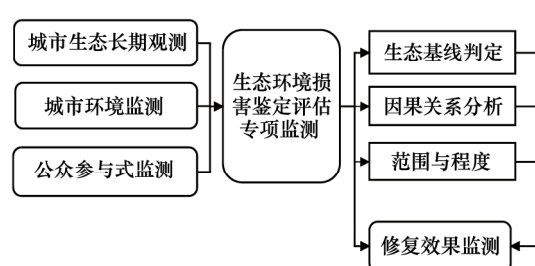


图3 多层次共享共建城市生态环境损害鉴定评估监测体系

Fig. 3 Multi-level sharing and eco-construction for urban eco-environmental damage appraisal monitoring system

据等构建城市生态环境损害鉴定评估监测体系,力争鉴定评估成本低、效率高、公信力强。从长远来看,我国生态环境损害鉴定评估单位应该具备全面掌握生态环境受害区域事前状态的能力,储备快速鉴定损害程度和范围的系统性策略。

参考文献(References):

- [1] 於方,张衍燊,徐伟攀.《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲》解读. 环境保护,2016,44(20):9-11.
- [2] 於方,齐霁,张志宏.《生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查》解读. 环境保护,2016,44(24):16-19.
- [3] 於方,张衍燊,齐霁,赵丹,徐伟攀. 环境损害鉴定评估关键技术问题探讨. 中国司法鉴定,2016,(1):18-25.
- [4] Pickett S T A, Cadenasso M L, Grove J M, Groffman P M, Band L E, Boone C G, Burch Jr W R, Grimmer C S B, Hom J, Jenkins J C, Law N L, Nilon C H, Pouyat R V, Szlavecz K, Warren P S, Wilson M A. Beyond urban legends: an emerging framework of urban ecology, as illustrated by the Baltimore ecosystem study. *Bioscience*, 2008, 58(2): 139-150.
- [5] 王效科,欧阳志云,仁玉芬,王华锋. 城市生态系统长期研究展望. 地球科学进展,2009,24(8):928-935.
- [6] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, Redman C L, Wu J G, Bai X M, Briggs J M. Global change and the ecology of cities. *Science*, 2008, 319(5864): 756-760.
- [7] 石春娜,姚顺波,陈晓楠,薛彩霞,龚直文. 基于选择实验法的城市生态系统服务价值评估——以四川温江为例. 自然资源学报,2016,31(5):767-778.
- [8] 唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正. 北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征. 环境科学,2013,34(1):364-372.
- [9] 蒋火华. 构建新时代生态环境监测体系. 中国环境报,2018-08-21(003).
- [10] 龚雪刚,廖晓勇,阎秀兰,李尤,杨坤,赵丹. 环境损害鉴定评估的土壤基线确定方法. 地理研究,2016,35(11):2025-2040.
- [11] 吴钢,曹飞飞,张元勋,张洪勋,余志晟,乔冰,朱岩,董仁才,吴德胜,高振会,张迦嘉. 生态环境损害鉴定评估业务化技术研究. 生态学报,2016,36(22):7146-7151.
- [12] 中华人民共和国环境保护部. 生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查. 环境保护部办公厅关于印发《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲》和《生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查》的通知,环办政法[2016]67号,2016-06-29.
- [13] 姚亮,王如松,尹科,韩宝龙. 城市生态系统灵敏度模型评述. 生态学报,2014,34(1):23-32.
- [14] 王桥,刘思含. 国家环境遥感监测体系研究与实现. 遥感学报,2016,20(5):1161-1169.
- [15] 中华人民共和国环境保护部. HJ 25.1—2014 场地环境调查技术导则. 北京: 中国环境科学出版社,2014.
- [16] 张小飞,王如松,李锋,李正国,宋治清. 海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较. 生态学报,2010,30(21):5904-5913.
- [17] 董仁才,苟亚青,刘昕. 基于市政综合监管信息的城市生态系统复杂性分析. 生态学报,2013,33(8):2350-2357.
- [18] 何玲玲. 山东省日照市城乡统筹发展评价研究[D]. 武汉: 华中师范大学,2017.
- [19] 田健,曾穗平. 社会生态学视角下的城镇体系规划方法优化与实践. 规划师,2016,32(1):63-69.
- [20] 陶丽霞. 基于绿道理论下的日照市绿道网构建研究[D]. 天津: 天津大学,2014.
- [21] Dong R C, Tang M F, Zhou K, Li S Y, Wu G. Study on the modified quadrat sampling method for urban ecosystem network monitoring. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2013, 20(3): 210-215.
- [22] 石惠春,刘伟,何剑,刘鹿,师晓娟,万海滢. 一种城市生态系统现状评价方法及其应用. 生态学报,2012,32(17):5542-5549.
- [23] 王海芹,程会强,高世楫. 统筹建立生态环境监测网络体系的思考与建议. 环境保护,2015,43(20):24-29.