

# 城市生态修复研究进展

## Progress and Perspectives of Urban Ecological Restoration

顾晨洁 王忠杰 李海涛 宋春丽 聂竹君

GU Chenjie; WANG Zhongjie; LI Haitao; SONG Chunli; NIE Zhujun

**摘 要** 十八大、中央城市工作会议提出，用“生态修复、城市修补”破解“城市病”，城市生态修复成为生态文明导向下的新型城市建设方式，其概念、对象、尺度等有所变化。本文研究了城市生态修复在国内外发展的历程，梳理了城市生态修复的概念，综述了相关研究热点和进展，目的是认识到在新形势下开展城市生态修复工作的必要性和迫切性，理解其概念、发展史和理论传承，思考研究热点和发展趋势，为下一步全面、系统地开展我国城市生态修复工作提供参考。

**关键词** 城市生态修复，城市生态系统，空间尺度

**Abstract** According to the report on the 18th National Congress of the Communist Party of China and a statement on Central Urban Work Conference, urban diseases can be cured by city betterment and ecological restoration programs. Urban ecological restoration should be a new method of urban construction under the guidance of ecology, the concepts, targets and gauges of which have also been changed. In this paper, the development of urban ecological restoration at home and abroad has been reviewed so that the related definitions have been sorted out and the progress has been summarized. This paper may help readers to learn the necessity and urgency of ecological restoration and have a better understanding of its concepts and development. The general goal is to provide a reference for the future research and practice.

**Keywords** urban ecological restoration, urban ecosystem, space scale

- 中图分类号: TU984
- 文献标识码: A
- DOI: 10.12049/j.urp.201703006
- 文章编号: 2096-3025 (2017) 06-0046-07

### 作者信息

- 顾晨洁 中国城市规划设计研究院，  
中级工程师
- 王忠杰 中国城市规划设计研究院风  
景分院副院长，高级工程师
- 李海涛 中国科学院地理科学与资源  
研究所副研究员
- 宋春丽 三亚市规划局市政科科长
- 聂竹君 三亚市规划局市政科科长

## 1 研究背景

### 1.1 我国正处于城市环境问题集中爆发阶段

改革开放以来，我国经历了世界历史上规模最大、速度最快的城镇化进程，常住人口城镇化率从1978年的17.9%上升到2011年的51.3%<sup>[1]</sup>，首次突破50%，城市发展成就举世瞩目。但与此同时，热岛效应、雾霾频发、水污染、垃圾围城等各种“城市病”凸显，城市生态环境问题成为制约城市可持续发展的重要因素<sup>[2]</sup>。

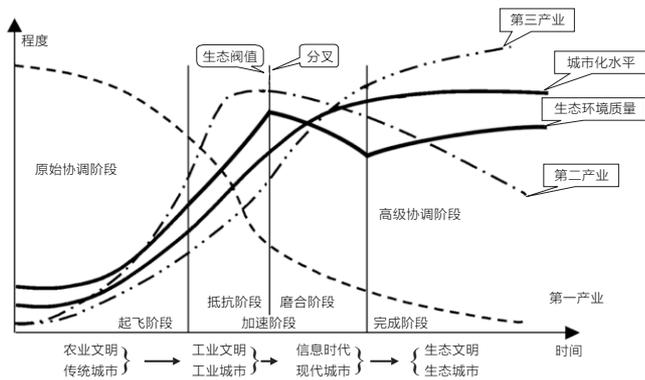


图1 城市生态质量与城镇化率的关系曲线  
 Fig.1 Relationship between urban ecological quality and urbanization rate  
 资料来源：笔者自绘

中国城市的环境问题，是城镇化发展到达一定阶段后普遍存在的现象<sup>[3-4]</sup>。通过对世界各国的城镇化进程和环境事件发生频率的研究发现，城镇化进程的推进与城市生态环境之间存在着胁迫和制约的互动关系（图1），与“环境库兹涅茨倒U形曲线”理论一致<sup>[5]</sup>：当城镇化率低于30%时，城市环境问题处于隐性阶段，城市发展对生态环境影响有限；当城镇化率处于30%~70%时，城市环境问题处于集中爆发的阶段，生态环境日益恶化，诸多发达国家在城镇化率达到50%的时间点前后密集爆发了灾难性的环境事件，如英国泰晤士河污染、德国鲁尔工业区空气污染、日本水俣病事件等；当城镇化率大于70%时，城市环境问题处于康复阶段，随着生态文明的建设，城市与自然的关系趋于和谐。

### 1.2 城市生态修复成为国家生态文明战略的重要内容

城镇化率从20%提高到40%，英国经历了120年，法国是100年，德国是80年，美国是40年，而中国仅用了22年；发达国家在城镇化率达到40%以后，又经历了五十多年、一百多年的发展和积累，才达到70%~80%的城镇化率<sup>[6]</sup>。发达国家用一百多年的时间治理工业污染并完成城镇化，又将污染严重的产业向发展中国家和不发达国家进

行空间转移，因此有足够的时间和空间来应对城市的环境问题。而我国工业化、城镇化、机动化三期叠加，工业污染、生活污染、区域污染并发，发达国家用一百多年时间走完的路我国必须在三十多年时间内走完<sup>[7]</sup>，发达国家通过殖民和跨国资本运作转移污染产业的做法我国不可能也不应该仿照。我国面临的城市环境问题更加复杂、多元、急迫、严峻，因此，迫切需要开展城市生态修复。

党中央、国务院高度重视城市生态修复工作，十八大、中央城市工作会议提出要“大力开展生态修复，让城市再现绿水青山”。《全国城市生态保护与建设规划(2015-2020年)》《国家新型城镇化规划(2014-2020年)》《生态文明体制改革总体方案》等国家中长期规划将“生态修复”融入顶层设计。2016年12月10日，全国“生态修复、城市修补”工作现场会在三亚召开，随后住房和城乡建设部《关于加强生态修复城市修补工作的指导意见(征求意见稿)》发布，城市生态修复工作向全国推广。

## 2 城市生态修复的概念

城市生态修复兼具理论性和实践性，从不同的角度看会有不同的理解，至今尚未形成被普遍接受的定义<sup>[8]</sup>。Gobster认为城市生态修复是改善城市环境，为人提供生态服务功能和游憩场所，为乡土植物和动物创造生境<sup>[9]</sup>；Pickett认为城市生态修复是通过人与环境之间的相互作用，修复城市复合生态系统的结构与功能，提升城市景观<sup>[10]</sup>；周启星认为城市生态修复是以生物修复为基础，结合物理、化学修复及工程技术措施，达到最佳效果和最低耗费的一种综合的修复污染环境的方法<sup>[11]</sup>；俞孔坚认为城市生态修复是提升城市生态系统调节、供给、生命承载以及文化与精神等服务功能的过程<sup>[12]</sup>。

其他与修复相关的概念有：“修补”指修补轻度受损生态系统的部分结构或功能，使其良性发展；“恢复”指使生态系统恢复到受干扰前的状态；“重建”指通过人工措施构建类似的生态系统，以替代原来极度退化的生态系统等<sup>[13]</sup>。按照生态系统受损程度的不同，较轻时用“修补”，较重

耐用“修复”，极度退化时用“重建”。

这些概念体现了在城市生态修复的一些共识，如城市生态修复的对象是城市生态系统，目的是为了人与自然的和谐共处，研究内容包括城市发展对城市生态系统的影响机制、修复城市生态系统的结构和功能、改善城市人居环境的生态技术等。但也存在一些差异，如按照不同导向，美国自然资源委员会强调目标导向，将城市生态修复看作一个生态系统向接近于干扰前的状态回归，Geist 强调过程导向，将城市生态修复看作修复人类对当地生态系统多样性和动态损害的过程；按照不同目标，Gobster 认为城市生态修复是改善城市环境，俞孔坚认为城市生态修复是提升城市生态服务功能等。

十八大后，城市生态修复突破了传统的恢复受损城市生态系统的狭义概念，在新形势下被赋予了新的内涵。本文认为，城市生态修复是指通过修复城市被破坏的山体、河流、湿地、植被，修复和再利用城市废弃地，优化绿地等生态空间布局，恢复城市生态系统净化环境、调节气候与水文、维护生物多样性等功能，实现人与自然和谐共生的新型城市建设方式。

### 3 生态修复在国内外发展的历程

#### 3.1 国外发展历程

世界上最早开展生态恢复试验的是 Leopold，他于 1935 年在美国威斯康星大学的植物园恢复了一个 24hm<sup>2</sup> 的草场。20 世纪 50 至 60 年代，欧洲、北美和中国都注意到了各自的环境问题，开展了针对矿山、水体和水土流失等方面的生态修复工程，取得了一定成效<sup>[14]</sup>。这一阶段，是国际城市生态修复的萌芽阶段，城市生态修复多以修复零星的单块废弃地或水土流失等单项工程的方式出现。

1985 年，Aber 和 Jordan 两位英国学者首次提出“恢复生态学”这个科学术语。同年，国际生态恢复学会成立。国际权威杂志《科学》1997 年设专栏发表了 6 篇关于恢复生态学的论文<sup>[15]</sup>。美国生态学会在 1997 年年会上提出恢

复生态学是生态学五大优先关注的领域之一的论述。这一阶段，是国际城市生态修复的理论形成阶段，恢复生态学正式成为一门学科，城市生态修复的相关理论和实践得以迅速推进。

20 世纪 90 年代以后，生态修复涉及了城市、森林、农田、草原、荒漠、河流、湖泊等多种类型，并在退化原因、程度诊断，恢复重建的机理、模式和技术上作了大量研究<sup>[16]</sup>。这一阶段，是国际城市生态修复的多学科融合阶段，城市生态修复成为可持续发展的重要内容，理论上呈现多学科交叉的态势，空间上出现跨区域的生态修复，景观尺度上逐渐从单个生态要素修复转向系统地修复整个城市生态系统<sup>[17]</sup>。

#### 3.2 国内发展历程

我国城市生态修复起步较晚，20 世纪 50 至 60 年代，各地自发地开展小规模的矿山、林地、荒山等修复治理项目。

20 世纪 80 年代，我国进入了城市生态修复的快速发展阶段。理论上，王如松等提出城市复合生态系统理论<sup>[18]</sup>，城市生态修复成为生态学的研究热点<sup>[19]</sup>；实践上，开始了区域范围的生态修复，如 1979 年三北防护林工程、20 世纪 80 年代太行山绿化工程和沿海防护林工程等。

2015 年，中央城市工作会议后，城市生态修复成为城市工作的重要任务，各项实践工程纷纷启动，相关科研陆续展开。作为城市转型发展的重要标志，全国“城市双修”工作现场会将城市生态修复作为治理“城市病”、改善民生的重大举措。会后，城市生态修复工作在全国范围内全面启动。目前，我国正处于城市生态修复的大力发展阶段。

### 4 城市生态修复的研究热点及评述

随着理论研究的深入和修复实践的开展，城市生态修复领域已经取得了许多研究成果，在理论层面，恢复生态学是生态学的重要分支，城市生态修复是恢复生态学的重要内容<sup>[20]</sup>，其自身理论不断发展和系统化；在实践层面，从单个场地修复到区域生态修复，从山、水、林、田、湖的修复到生物多样性修复，不同空间尺度、不同修复类型

的实践活动广泛开展，人工湿地、生态浮床、立体绿化等生态技术的应用层出不穷。但是，综观目前城市生态修复方面的研究，尤其是城市生态修复作为生态文明导向下的一种新型城市建设方式，在对象与尺度、目标与时间、修复程序与成功标准等方面仍存在较大争议<sup>[21-22]</sup>，需要进一步探讨，这些方面也成为学界的研究热点。

#### 4.1 城市生态修复的对象

城市生态修复的对象是城市生态系统。城市生态系统是社会—经济—自然的复合生态系统，是由自然环境（包括生物和非生物因素），社会环境（包括政治、经济、法律等）和人类（包括生活和生产活动）三部分组成的网络结构<sup>[23]</sup>。城市生态系统区别于自然生态系统的最主要特征是受到城市发展的剧烈干扰（见表1）。

住房和城乡建设部《关于加强生态修复城市修补工作的指导意见》提出开展山、水、棕、绿四大类型的城市生态修复工作。“山”指破损山体，即人类对自然山体的无序开发而遗留下的采石坑、凌空面、不稳定山体边坡和废石（土）堆所形成的破损裸露山体；“水”指城市水体，即城市规划区范围内的地表径流及其附属空间，可分为河流、湖泊、湿地、海岸带等类型；“棕”指城市废弃地，包括采矿废弃地、产业废弃地和市政设施废弃地等类型；“绿”指城市绿地，即完善城市绿色生态网络，保护城市生物多样性。

现状研究多集中于某个受损矿山、污染湖泊、废弃垃圾填埋场等具体场地的生态修复，或重视矿山、河流、湿地等某种类型的生态修复，但缺乏对城市整体生态系统修复的系统性、综合性研究<sup>[24]</sup>。城市生态修复是一项复杂工程，涉及到自然、经济、社会等子系统，且各子系统之间相互关联、相互影响。将城市生态系统作为一个整体，研究如何通过城市生态修复，在发展城市的同时，系统地提升城市的生态功能，探索城市发展对城市生态系统的影响机制、城市生态修复对城市环境改善的效应机制等，是未来的研究方向之一。

表1 城市生态系统与自然生态系统的区别

Tab.1 The difference between urban ecosystem and natural ecosystem

	自然生态系统	城市生态系统
格局	以自然景观为主	山水格局受到城市扩张威胁，景观破损失严重
过程	生物群落和自然环境取得平衡的自我维持系统；系统稳定性和抵抗力强	原料输入和污染输出的半开放系统；抵抗力弱，影响不可逆
干扰	自然和人为干扰	以人为干扰为主，强度和频率过大，变化迅猛剧烈
系统功能	物质流、能量流、信息流	物质流、能量流、信息流、人口流、价值流
营养结构	金字塔形，即生产者多消费者少	倒金字塔形，生产者少，消费者多，需要外部能量输入

资料来源：笔者自绘

#### 4.2 城市生态修复的尺度

城市生态修复的过程和机理研究，需要在不同的空间尺度上来进行。宏观尺度上主要研究城市生态系统的结构修复，内容包括：通过绿楔、绿道、绿廊等结构性绿地加强城市绿地、河湖水系、山体丘陵、农田林网等自然生态要素的衔接连通，构建区域宏观生态安全格局<sup>[25-26]</sup>；保护生物栖息地和生物迁徙通道，保护和增加生物的多样性；构建完整、连续的水系网络等。宏观尺度上应识别需要加强保护和开展修复的生态空间，强调“保护优先”，防止“边修边破坏”。中观尺度上主要研究各类城市生态要素的修复，内容包括：保护山体自然风貌，消除安全隐患；加强河、湖、湿地的水量、水质、水生态的修复；完善城市绿地系统等。微观尺度上主要研究具体场地的生态修复设计，内容包括：开展控源截污、内源治理等生态工程；注重滨水景观带等敏感性场地的利用；适地适树、科学配置，营建乔、灌、草自然生长的植物群落；建设屋顶绿化、雨水花园、透水铺装等海绵设施。

以三亚城市生态修复为例，宏观尺度上，修复山、河、海的城市生态格局，塑造“山环海拥，水串多珠，绿廊渗透”的城市生态空间结构；中观尺度上，修复城市山体、两河水体和红树林生态要素，在对红树林的修复中，全面普查

红树林资源,协调城市开发与红树林保护之间的矛盾,建立红树林保护利用体系,保障红树林生态空间的完整;微观尺度上,修复丰兴隆生态公园、月川生态绿道等城市重要生态节点,提升城市生态功能和市民满意度。从宏观、中观到微观,在不同的空间尺度上,系统有序地开展三亚城市生态修复工作,取得了重要的阶段性成果。

城市生态修复在不同空间尺度上的研究内容不同,但却互相关联,未来研究应重视尺度整合,即剖析宏观、中观、微观之间的作用、机理,以便系统、全面、有序地开展城市生态修复。同时,随着全球性生态系统退化和破坏日益加剧,城市生态修复对全人类和全球变化都至关重要<sup>[27]</sup>,未来研究应强调城市生态修复在全球变化中的意义,如研究城市生态修复对减缓全球变暖、破解发展中国家快速城镇化进程中的“城市病”、恢复全球碳循环和水循环所起的积极作用等。

### 4.3 目标与时间

城市生态修复的特征之一是受到城市发展的剧烈干扰,因此,其目标和时间也与城市发展密切相关。

美国自然资源委员会认为,生态修复的目标是使生态系统恢复到较接近其受干扰前的状态。但是,城市开发对生态环境造成的影响往往是不可逆的,因此,城市生态修复较难恢复到原始生态系统的完美程度。城市生态修复的最终目标是实现人与自然的和谐共处,包括:保护城市自然山水格局,修复退化的生态系统,加强城市生态系统管理,保护生物多样性等。同时,由于城市生态修复的长期性,还应制定与城市发展阶段相适应的阶段性目标。制定城市生态修复的目标时,应尊重城市的地域环境特征、历史文化特征、景观乡土特征,体现城市自身的特殊基因,防止对园林植物、水系景观等修复案例的简单复制,避免出现千城一面的现象。

实现城市生态修复目标所需的时间与修复类型、退化程度、修复方向、人为干预程度等因素密切相关。英国1952年爆发伦敦烟雾事件,经过半个世纪的治理才取得良

好成果。欧洲莱茵河经过三十多年的治理,水质才基本转好。土壤地下水恢复需要一百年甚至更久,重度污染的地下水基本不可能恢复。我国三大湖之一的滇池,经过20年的治理,花费超过510亿,富营养化依然严重,水质仍为劣V类,治理难、恢复慢。因此,城市生态修复是一项长期工程,不能盲目乐观地寄希望于三至五年即可完全恢复,而应给予足够的时间和耐心来进行修复,同时,兼顾长期利益和短期利益,“小步、慢跑、不停”,逐一完成各阶段的目标,最终实现人与自然的和谐共处。

### 4.4 方法与技术

三亚、徐州等城市开展了一系列生态修复的实践,总结经验,归纳其重要的步骤有:开展调查评估、加强规划引导、制定实施计划、定期开展效果评估。

城市生态修复强调在开展具体的修复工作之前,要先对生态进行评估。生态评估旨在全面调查、评估城市的自然环境质量,尤其是中心城区及城市周边的山体、河道、湖泊、海滩、植被、绿地等自然环境被破坏的情况,识别生态环境存在的突出问题、亟须修复的区域和需要加强生态保护的区域,生态评估是系统地开展生态修复工作的基础。

在编制实施方案的过程中,应针对修复项目的具体情况,因地制宜地选择合适的修复技术,优化技术方案。近年来,关于城市生态修复技术的研究、专利成果的数量迅速增长,就具体的修复技术而言,有山体修复技术(如边坡绿化、液压喷播),水体修复技术(如控制污染、去除富营养化、海绵技术),土壤修复技术(如土壤改良、表土稳定、控制水土侵蚀、换土及分解污染物),空气修复技术(如烟尘吸附、生物和化学吸附),植被修复技术(如物种引入、品种改良、林分改造、群落构建),生态调控技术(如捕食者引进、病虫害控制、微生物的引种和控制)等<sup>[28-29]</sup>。

2015年第六届国际恢复生态学大会在英国曼城召开,主题是“提高生态系统快速恢复能力:恢复城市、乡村和原野”<sup>[30]</sup>。提高城市生态系统的弹性,以应对城市发展的

不确定性,是城市生态修复方案制定时应充分考虑的问题,也是未来的研究方向之一。许多学者积极开展弹性城市研究,如 Newman 等描述了未来弹性城市的前景,提出 10 项面向弹性城市的规划策略<sup>[31]</sup>,城市生态修复也应采用弹性思维,提升城市生态系统的稳定性和承载力;在弹性的度量方法上,目前多采用调查研究或数学模型的方法来度量,由于弹性的确定首先需要度量城市生态系统动态域的阈值或边界,很难直接被测算,因此比较研究是未来弹性研究的重要方法之一;通过情景设计和适应性管理,对城市生态系统的弹性进行分析,探讨如何修复系统弹性,构建高适应力的城市管理体系,是未来研究的重要方向。

#### 4.5 修复效果评估

当前城市生态修复效果评估的研究主要集中在评价指标体系构建、评价方法选择和跟踪监测及动态评价三个方面。

评价指标选择是评价修复效果的关键,如何全面客观地选择评价指标,如何科学地设计指标体系一直是研究的热点<sup>[32]</sup>。国际恢复生态学学会建议通过比较修复系统与参照系统的生物多样性、群落结构、生态服务功能、干扰体系以及环境质量来评价,但各个城市生态本底条件不同,面临的发展形势不同,很难选择合适的参考城市,也不应简单地模仿参考城市。指示物种法主要依据生态系统的关键种、特有种、指示种的数量、结构等指标的变化来反映生态修复的效果大小,但指示物种的筛选标准及其对修复效果的指示作用的强弱不明确,且未考虑社会经济指标等因素,因此难以全面地评价修复效果。指标体系法能相对全面、综合地反映城市生态修复的效果,现有的研究中,城市生态健康评价、城市生态安全评价、城市生态系统服务价值评价等相关评价多采用指标体系法,但这些评价指标体系本身尚有待完善成熟。如何构建全面、完善、成熟的修复效果评价指标体系,是未来亟须完善的研究方向之一。

恰当的评价方法对分析评价结果起着至关重要的作用。目前,城市生态修复效果的评价方法主要有综合评价法、模糊评价法、层次分析法和模型评价法等<sup>[34]</sup>。如何因地制宜,

选择科学、合适的评价方法,也需要加强研究。

城市生态修复是一项长期工程,修复过程中生态系统如何发展存在着很大的不确定性。同时,修复过程也是一个不断变化的动态过程,为确保生态系统按确定的目标进行修复,需要长时间、定期地开展跟踪监测,及时掌握信息,纠正方向,从而实现预期效果。美国对切萨皮克湾的生态修复开展了长达 40 年的监测评估<sup>[34]</sup>,积累了大量的研究资料,为修复效果评价、修复方案选择、修复技术筛选等决策提供了数据支撑。我国城市生态修复起步较晚,缺乏长时间、有序列的监测数据。随着城市生态修复工作向全国推广,构建科学的评价指标体系,定期开展修复效果评估,是未来研究的趋势,也是修复工作的一项任务。

## 5 结语

城市生态修复是一个涉及生态学、环境学、城乡规划学、植物学、动物学、经济学、社会学等多学科交叉的研究领域,其修复方案制定、修复过程实施、修复效果评价等影响因素非常复杂。尽管国家高度重视城市生态修复工作,相关理论研究和修复实践也取得了许多成果,但是,城市生态修复在概念与内涵、对象与尺度、目标与时间、实施步骤、适用技术、修复效果评估等方面仍需要进一步深入地探讨;城市发展对城市生态系统的影响机制、城市生态修复对城市环境改善的效应机制等综合性、系统性的研究,城市生态修复在全球变化中的意义,利用弹性思维开展城市生态修复与管理,建立长期跟踪评价数据等方面需要进一步加强研究。而这些均是保障城市生态修复顺利开展的关键因素,将是未来生态修复研究的重点。

城市生态修复是治理“城市病”、改善民生的重要举措,在修复过程中,应时刻以保护为前提,以尊重自然恢复为原则,避免“边修边破坏”;应坚持近、远期目标相结合,制定与城市发展阶段相适应的阶段性目标,增强规划的科学性和权威性,“小步、慢跑、不停”,最终实现人与自然的和谐共处。 

## 参考文献 References

- [1] 姚士谋, 张平宇, 余成, 等. 中国新型城镇化理论与实践问题 [J]. 地理科学, 2014, 34(6):641-647.
- [2] 陈利顶, 孙然好, 刘海莲, 等. 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 [J]. 生态学报, 2013, 33(4):1042-1050.
- [3] 李浩. 城镇化率首次超过 50% 的国际现象观察——兼论中国城镇化发展现状及思考 [J]. 城市规划学刊, 2013(1):43-50.
- [4] Whitehead M. Reanalyzing the Sustainable City: Nature, Urbanisation and the Regulation of Socio-Environmental Relations in the UK[J]. Urban Studies, 2003, 40(7):1183-1206.
- [5] 虞依娜, 陈丽丽. 中国环境库兹涅茨曲线研究进展 [J]. 生态环境学报, 2012, 21(12):2018-2023.
- [6] 翟国方. 欧洲城镇化研究进展 [J]. 国际城市规划, 2015, 30(3):14-18.
- [7] 陆大道. 我国的城镇化进程与空间扩张 [J]. 城市规划学刊, 2007(4):47-52.
- [8] 张新时. 关于生态重建和生态恢复的思辨及其科学涵义与发展途径 [J]. 植物生态学报, 2010, 34(1):112-118.
- [9] Gobster P H, Hull R B. Restoring Nature: Perspectives from the Social Sciences and Humanities[M]. Washington D C: Island Press, 2000.
- [10] Pickett S T A, Cadenasso M L, et al. Beyond Urban Legends: An Emerging Framework of Urban Ecology, As Illustrated by the Baltimore Ecosystem Study[J]. Bioscience, 2008, 58(2):139-150.
- [11] 周启星, 魏树和, 张倩茹, 等. 生态修复 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [12] 俞孔坚. 人类世生态系统与生态修复 [J]. 景观设计学, 2016(2):6-9.
- [13] 彭少麟. 恢复生态学 [M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [14] 任海, 彭少麟, 关中美. 退化生态系统恢复与恢复生态学 [J]. 生态学报, 2004(8):1760-1768.
- [15] Dobson A P, Baarshaw A D, et al. Hopes for the Future: Restoration Ecology and Conservation Biology[J]. Science, 1997, 277:515-522.
- [16] 彭少麟, 赵平, 申卫军. 了解和恢复生态系统——第 87 届美国生态学学会暨第 14 届国际恢复生态学大会 [J]. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(3):293-294.
- [17] Collins, James, Kinzig, et al. A New Urban Ecology[J]. American Scientist, 2000, 88:416-425.
- [18] 王如松, 周启星, 胡聃. 城市生态调控方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [19] 彭少麟. 退化生态系统恢复与恢复生态学 [J]. 中国基础科学, 2001(3):19-24.
- [20] 彭少麟, 陆宏芳. 恢复生态学焦点问题 [J]. 生态学报, 2003, 23(7):1249-1257.
- [21] 焦居仁. 生态修复的要点与思考 [J]. 中国水土保持, 2003(2):5-6.
- [22] 李锋, 王如松, 赵丹. 基于生态系统服务的城市生态基础设施: 现状、问题与展望 [J]. 生态学报, 2014, 34(1):190-200.
- [23] 王如松, 李锋, 韩宝龙, 等. 城市复合生态及生态空间管理 [J]. 生态学报, 2014, 34(1):1-11.
- [24] 董世魁, 刘世梁, 邵新庆, 等. 恢复生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [25] 俞孔坚, 王思思, 李迪华, 等. 北京城市扩张的生态底线——基本生态系统服务及其安全格局 [J]. 城市规划, 2010(2):19-24.
- [26] 张宏峰, 欧阳志云, 郑华. 生态系统服务功能的尺度特征 [J]. 生态学杂志, 2007, 26(9):1432-1437.
- [27] 彭少麟, 周婷. 通过生态恢复改变全球变化——第 19 届国际恢复生态学大会综述 [J]. 生态学报, 2009, 29(9):5161-5162.
- [28] 谷勇锋, 李梅, 陈淑芬, 等. 城市河道生态修复技术研究进展 [J]. 环境科学与管理, 2013, 38(4):25-29, 46.
- [29] 陶宇, 李锋, 王如松, 等. 城市绿色空间格局的量化方法研究进展 [J]. 生态学报, 2013, 33(8):2330-2342.
- [30] 彭少麟, 吴可可. 提高生态系统快速恢复能力: 恢复城市、乡村和原野——第六届国际恢复生态学大会 (SER 2015) 综述 [J]. 生态学报, 2015, 35(16):5570-5572.
- [31] Newman P, Beatley T, Heather B. Resilient Cities: Responding to Peak Oil and Climate Change[M]. Washington D C: Island Press, 2009.
- [32] Langman O C, Hale J A, Cormack C D, et al. Developing Multi-metric Indices for Monitoring Ecological Restoration Progress in Salt Marshes[J]. Marine Pollution Bulletin. 2012, 64:820-835.
- [33] Chuang C W, Lin C Y, Chien C H, et al. Application of Markov-chain Model for Vegetation Restoration Assessment at Landslide Areas Caused by a Catastrophic Earthquake in Central Taiwan[J]. Ecological Modelling, 2011, 222:835-845.
- [34] Stephen D P, John W B, 林超等. 应用空间参考回归模型评估切萨皮克湾流域的总氮负荷 [J]. 河北水利水电技术, 2002(1): 47-48.