

城市生态修复的理论探讨：基于理念体系、机理认知、科学问题的视角*

沈清基

提要 城市生态修复的实践方兴未艾，极有必要进行深入的理论探讨。主要从理念体系、机理认知、科学问题三个方面展开城市生态修复概念的理论思考。在进行相关概念梳理的基础上，提出了城市生态修复概念界定。从城市问题、城市土地、城市自然性与社会性的复合性、人的能动性等方面提出了城市生态修复的若干特征。从有机性、健康性、韧性等视角，提出了城市生态修复的基本目标表征。从多学科、智慧、艺术三个方面提出了城市生态修复的理念（论）体系。从历史、能力、效益、人力资本角度提出了对城市生态修复机理的认识。从潜力、标准、效应、生态修复与生态管理协同角度阐述了对城市生态修复科学问题的看法。
关键词 城市生态修复；理论探讨；M-W-A理念（论）体系；机理认知；科学问题

Theoretical Discussion on Urban Ecological Restoration: Concept Systems, Working Mechanisms and Scientific Problems

SHEN Qingji

Abstract: The practice of urban ecological restoration is in ascendance, and a comprehensive theoretical review is called for. This paper expands on theoretical thinking on urban ecological restoration mainly from three angles, namely concept system, working mechanism and scientific problems. The author proposes a definition on urban ecological restoration; summarizes characteristics of urban ecological restoration from aspects of urban environmental problems and human initiatives; brings forward the objectives system that covers dimensions in organic nature, healthiness and resilience; constructs a theoretical system featuring multidisciplinary, intelligent and artistic aspects; illustrates the working mechanism of urban ecological restoration from the historical, capability, effectiveness and human capital perspectives; expounds the opinions on scientific problems related to urban ecological restoration in terms of potentials, standards, effects and coordination between restoration and management.

Keywords: urban ecological restoration; theoretical discussion; M-W-A idea system; working mechanism; scientific problems

中图分类号 TU984
文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.201704003
文章编号 1000-3363(2017)04-0030-09

城市生态修复是近年来学术界和规划实践界热点议题之一。城市生态修复的背景与我国国土生态环境与城市生态环境的严峻形势有关。2016年3月环保部和中国科学院共同发布的《全国生态环境十年变化（2000-2010）调查评估报告》指出：全国生态环境脆弱，生态系统质量和服务功能低；十年间，全国城镇生态系统格局变化剧烈，森林、湿地生态系统人工化趋势明显。农业生产与开发导致的水土流失、土地沙化、石漠化等问题依然严重，城镇化、工业化与资源开发导致了流域生态破坏、城镇人居环境恶化。2016年，中国人民大学环境政策与环境规划研究所利用北京市第六次人口普查数据以及第四次全国卫生服务调查数据，计算出空气污染导致北京市居民平均工作年限损失11.3年，预期寿命损失约为11年^①。

经对相关文献数据库检索可发现，学界对生态修复的研究主要集中在“做”，在“思”（理论）方面关注不够^②。梳理现有生态修复的理论文章（并非纯粹理论探讨文章），可发现现有文献基本上是以某理论的应用及理论与实践结合探讨为主，包括：

作者简介

沈清基，同济大学建筑与城市规划学院，高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室，教授，sqjj5688@126.com

* 上海市2017年度“科技创新行动计划”项目（17DZ1203201）资助

恢复生态学理论的应用(杨悦舒,等,2015);复合生态系统理论在区域生态修复中的应用(张树军,等,2010);水体、河流与流域生态修复的理论与实践(姜智,2005;G.X. Wang, et al.,2009);水土保持生态修复的理论与实践(徐广军,2006);受污染环境要素生态修复的理论与实践,如污染水体生态修复(吴文卫,等,2008),污染土壤生态修复(刘凯,等,2011);污染土壤生态修复理论内涵的初步探讨(李培军,等,2006)。

概略而言,明确地进行生态修复理论系统研究的文献基本未见。基于这一情况,本文拟从城市生态修复理论体系、机理表征、科学问题凝练等方面对城市生态修复的理论问题展开初步讨论。

1 城市生态修复概念界定

2016年12月13日发布的《住房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)》^③中,对生态修复、城市修补作了明确的界定:“生态修复、城市修补”是指用再生态的理念,修复城市中被破坏的自然环境和地形地貌,改善生态环境质量;用更新织补的理念,拆除违章建筑,修复城市设施、空间环境、景观风貌,提升城市特色和活力。

根据对相关文献的梳理,可发现对“生态修复”的界定主要从“污染治理”、“活动”、“状态”、“过程”、“过程-技术-方法”、“建立与维系”、“可持续发展”等角度进行(表1)。

完整意义的“城市生态修复”的界定,除考虑以上因素和角度外,还应包含生态修复的理论指导、生态修复的技术手段、生态修复的综合目标等因素。根据以上考虑,本文将城市生态修复界定为:城市生态修复是以城市学、生态学(含修复生态学、功能生态学)等学科为理论指导,以生态调查为基础,以生态诊断和评估、生态规划与设计为技术手段,以修复、改善和提高自然资本、社会资本、人力资本、文明资本为目标,采用自然、经济、社会、人文、

技术等综合手段对受损生态环境要素和生态系统进行修复改善的各类规划、建设、管理活动及过程。

2 城市生态修复的特征

城市生态修复特征是表达城市及其影响区域内所进行的城市生态修复活动及实践的本质属性。其对城市生态修复的定义有所丰富和阐释,并对城市生态修复目标、理念、机理、科学问题的认知等产生影响。从研究性-实践性、被动性-主动性等9个方面,笔者提出了对城市生态修复特征的认识(表2)。

3 城市生态修复的目标表征

董哲仁(2004)以河流生态恢复为例,将现有的生态修复目标归纳成5种类型,分别为“完全复原”“修复”“增强”“创造”和“自然化”;5种类型的共同点为:均从生态系统的整体性出发,确定修复的着眼点是生态系统的结构和功能;均将生物群落多样性作为修复程

度的主要衡量标准。然而,“完全复原”“创造”可能不符合“生态修复”的本质内涵,因为,“完全复原”缺少明确的可信的参照系统,“创造”具有过多的人工成分,不确定性与成本均巨大(董哲仁,2004),因而缺乏现实性。由此可见,以生态修复完成后的状态表达生态修复的目标不尽理想,而以生态修复对象经实施修复后所表达出的属性与特性应该是表达生态修复目标的另一种现实选择。基于这一思路,本文提出如表3的城市生态修复基本目标表征内容。

4 城市生态修复的M-W-A理念(论)体系

温伯格指出,思考是成功者最大的财富,人们必须持续思考,才能明白自己在做什么。而“明白自己在做什么”,是走向成功的必要条件^⑤。理论思考是思考的核心体现之一,城市生态修复的“M-W-A”理念(论)体系(M指多学科(multidisciplinary),W指智慧(wisdom),A指艺术(art))既是城市生态

表1 部分现有生态修复界定角度

Tab.1 Partial analysis of existing definitions of ecological restoration

生态修复界定角度	生态修复界定	来源
污染治理	以生物修复为基础,结合物理修复、化学修复或者优化组合,达到高效低耗的全面的污染修复	中华人民共和国环境保护部. 场地环境监测技术导则(HJ 25.2-2014)
活动	生态修复是一种以生态系统健康、完整和自我持续为指导的,促使或加速修复生态系统的人为活动	骆祥君,等. 生态修复的科学前沿和产业进展[C]. 工程绿化理论与技术进展——全国工程绿化技术交流研讨会论文集,2008-04-01
状态	生态修复是指在特定的区域和流域内,依靠生态系统本身的自组织和自调控能力的单独作用,或依靠生态系统本身的自组织和调控能力与人工调控能力的复合作用,使部分或完全受损的生态系统恢复到相对健康的状态	彭珂珊. 中国西部生态修复的理论与实践,广西经济管理干部学院学报,2005(4)
过程	生态修复是维持生态系统健康及更新,帮助退化生态和受损生态修复和管理的过程	中华人民共和国环境保护部. 场地环境调查技术导则(HJ 25.1-2014)
过程-技术-方法	生态修复是研究生态系统退化的过程与原因,退化生态系统恢复的过程与机理,生态恢复与重建的技术与方法	彭少麟. 恢复生态学[M]. 北京:气象出版社,2007
建立与维系	水土保持生态修复是指在水土流失地区,通过一定的人工辅助措施,促使自然界本身固有的再生能力最大限度地发挥,建立和维系与自然条件相适应、与经济社会可持续发展相协调、相对稳定并良性发展的生态系统	李敏. 黄河水土保持生态修复的理论与实践[C]. 第二届全国水土保持生态修复学术研讨会论文集,2010-07-09
可持续发展	生态修复是人类通过生态恢复和重建手段来修复受损的生态系统,通过社会资源合理分配其发展机遇来实现人类社会可持续发展	吴鹏. 最高法院司法解释对生态修复制度的误解与矫正[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2015(7)

资料来源:笔者汇总整理。

修复理论思考的阶段成果，也是生态修复实践走向成功的基础条件之一。

4.1 城市生态修复的多学科复合理论

将单一的、即便已被普遍认为是生态修复经典理论基础的修复生态学作为生态修复的唯一的指导理论有失妥当(张文波,等,2009),而将城市学、生态学、修复生态学、逆境生物学(stress biology)等学科的理论进行复合,并在各自的边界及交集构建城市生态修复理论、知识和技术体系是城市生态修复多学科复合理论的要义。

城市生态修复是在城市及相邻区域进行的生态实践活动,城市学的理论对于这一活动所具有的指导意义不能忽视。生态学提供了人与环境和谐共生的概念性框架。修复(恢复)生态学是研究生态恢复的生态学原理和过程的科学(任海,等,2014)。逆境生物学是研究在较恶劣的条件下生物生长发育的学科。在农业领域,逆境生物学可指导抗旱节水的农作物发挥生产潜能(山仑,2003)。城市生态系统具有人口密集、功能叠加、不确定性强等特征,在其生态修复过程中应用逆境生物学具有必要性。

然而,考虑到生态修复的高度复杂性,仅以有限的学科作为生态修复的理论基础也是不合适的。应该采取聚焦思维、融贯思维和“无边界思维”,将所有与生态系统、人居环境形成、改善相关的各种相关学科的理论及思想都作为生态修复的学科基础并予以有机融合与整合,包括自然科学、人文社会科学、美学艺术学心理学,等等。从这一角度而言,生态修复的学科及理论基础是开放的而非封闭的体系。

4.2 城市生态修复的智慧理论

智慧是一个具有丰富内涵的概念。对智慧的界定可从能力、结构、系统、关系、环境、心理与美德等多个方面着手(沈清基,2013),智慧在很多情况下体现在对客观世界演变规律的认知与自觉利用。从生态修复的路径角度而言,智慧需要借助有机性和科学性达成。

有机性是生命物质系统呈现良好的

健康及强健的生命力时的一种理想状态。具体由要素协调性(有机体构成因素之间关系高度协调);结构稳定性(子系统之间相互有机联系并表现为相对稳定的结构);阶段及状态的统一性所构成。从组分而言,包括:自然系统有机性、社会系统有机性和空间有机性三种。城市生态修复中野生物种、乡土(地方)物种的广泛及有意识地利用,是体现生态修复有机性的重要方面。如柏

林市道路边的野生植被易于维持,有利于温度调节和污染物的减缓,在寻常的城市空间为物种的多样性提供了可能;又如,济南市以市域范围内1022种原生物种为对象,依据生态适应性、稳定性、观赏性和物候变化,选择出适应济南生态城市建设的原生物种34种(张云,陈梅,2014)^⑥,均体现了有机性的相关侧面。此外,在城市中考考虑人类以外的生物系统的可持续发展,包括:承

表2 城市生态修复的特征

Tab.2 The characterizations of urban ecological restoration

城市生态修复特性	城市生态修复释义	简析
研究性-实践性	研究性:城市生态修复要研究城市生态环境退化与污染的原因与机理;实践性:城市生态修复要运用特定的技术和方法恢复和重建受污染的城市生态系统	两者并重
被动性-主动性	被动性:在城市生态环境受到污染后人类被迫、被动地解决污染问题,消除生态威胁 主动性:城市通过生态修复规划与建设,主动改善生态环境	以主动性为主
自然力-人工力	自然力:依靠自然系统的自我调节能力与自我恢复能力使生态环境向改善方向发展; 人工力:通过人工措施和人类干预使受破坏的自然系统逐步改善	以人工力为主,但要适应自然营造力,培养自然恢复力
选择性(胡翥,奚增均,2002)	表现在对生物多样性、生态系统结构和功能的选择性修复,实际上是重点修复,反映了人类在城市生态修复重要性、紧迫性和可行性之间权衡的结果	也说明了“生态修复”与“生态恢复”的差异
层级性(胡翥,奚增均,2002)	生态修复包含了从生物个体、种群、生态系统、景观、区域,乃至更大空间范畴的活动与实践	说明了城市生态修复的全域性
集成性	政府-企业-市民的集成;学科-专业-技术的集成;人力-物力-财力的集成;物质-能量-信息的集成;目标-战略-规划-建设的集成	反映了城市生态修复需集聚多方力量
多维性	自然、经济、社会、文化等方面的多要素、多系统、多维度、多价值、多主体和多目标	反映了城市生态修复的复杂性
人类能动性	既表现在物质性生态修复中的主导性,又表现为人类主动对其自身心灵的修复(沈清基,象伟宁,等,2016)	反映了人力资本对城市生态修复的作用
长期性	城市生态系统的复合性、城市功能的集聚性和拥挤性、城市病的长期性与积淀性、城市生态足迹的日益增长性(Yong Geng, et al., 2015),以及中国人多地少的国情,城市建设的粗放性及现代化城市管理的欠缺,均使城市生态修复的紧迫性、复杂性、困难性交织在一起并体现为长期性。此外,城市生态修复的巨大投资也是其长期性的原因之一	说明了城市生态修复的艰巨性

资料来源:自制。

表3 城市生态修复基本目标表征

Tab.3 Basic objective systems of urban ecological restoration

城市生态修复目标	目标解释	目标落实领域与状态表征
有机性	经生态修复后,城市生态系统在自然、社会、空间几个方面呈现出要素关系协调,结构稳定的状态,且具有发展阶段及状态的一致性	提升自然资本和社会资本
健康性	经生态修复后,城市生态系统和城市人类均具有活力、生命力方面的良好状态,城市生态系统的功能正常发挥,系统运行稳健	提升自然资本与人力资本
韧弹性+(resilience)	经生态修复后,城市生态系统对外界负面干扰具有了有效应对的能力	提升韧弹性与鲁棒性(Robustness)
自营性	经生态修复后,城市的自我设计-自我修复能力(自营力)得到增强	提升城市的自组织性
可持续性	经生态修复后,城市不仅在当下而且在未来都具有良好的发展态势,具备应对未来不确定性的能力,并因而保留了后代的发展机会	提升城市的可持续发展能力

资料来源:自制。

表4 城市生态修复科学性若干表现

Tab.4 Some scientific characteristics of urban ecological restoration

生态修复符合生态学的基本规律	相互制约相互依赖规律;各生态系统内和系统间的物质循环转化与再生规律;系统内与系统间物质、能量输入输出的动态平衡规律;系统与系统、系统与环境间长期相互适应与补偿的协同进化规律;生物、环境资源的有效极限规律。这些规律不可分割,过分强调某一规律而忽视其他规律都不科学(解明曙,等,2004)
生态修复目标的科学性	生态修复工作应以生态学理论为基础,通过对生态系统的结构、机能、生产力的优化调控与科学管理,不断减少、控制人为的不良干预,提高生态系统自我修复与调控能力,以建立平衡、高效、近自然的可持续发展的生态模式为最高目标(屈振军,2004)
生态修复主要任务确定的科学性	生态系统最主要的矛盾在于“生产者”的弱化和“消费者”的强化,生态修复的主要任务是抑制“消费”,扶持“生产”(屈振军,2004)
生态修复原则的科学性	(1)谨慎对待生态修复对象。(2)遵循生物群落的演替规律,加快次生演替,防止逆行演替。(3)坚持生物多样性,发挥生态系统中生物种群的自动调节能力。(4)正确辨析生态系统限制因子(屈振军,2004)
污染治理的科学性	(1)科学鉴别污染爆发的诱发因素。(2)针对污染成因展开治理。(3)精确环保。(4)用变量治理变量 ^④
尊重生态修复的规律	(1)生态系统形成和演替规律、人类行为对环境的影响和动态规律。(2)生态修复的成功速率是缓慢的;功能发挥是渐进式的。(3)生态修复要辅以必要的科学的人工措施,但不是蛮干或在不正当利益驱动下的逐利行为(解明曙,等,2004)

资料来源:根据相关资料自制。

表5 艺术性与城市及生态修复关系的若干表达

Tab.5 Selected expressions on relationship between art, city and ecological restoration

城市功能与艺术	城市的确定性因素与艺术	生态城市与艺术	城市生态修复成功的审美维度
刘易斯芒福德:城市的功能主要是“化力为形、化能量为文化、化死的東西为活的艺术形象和音标、化生物的繁衍为社会创造力。” ^⑤	刘易斯芒福德:“我们与人口统计学家们的意见相反,确定城市的因素是艺术、文化和政治目的,而不是居民数目。” ^⑥	理查德·瑞吉斯特:“建设生态城市是古代城市建设艺术的新版本,我们都是艺术家。每一个生态城市都是融合不同城市建设艺术和生活艺术的努力。” ^⑦ “生态城市是件艺术品,需要精雕细琢” ^⑧	城市生态修复在综合效益方面包括“审美效益”(骆祥君,等,2008)

资料来源:自制。

认为生物利益及生物系统的价值;城市履行生物多样性保护的职责;为生物生存创造必须的环境条件(提供食源和水源,满足动物生存条件;创造城市动物隐蔽的栖息环境,利于其生存和繁殖;实施招引和释放等工程技术等)(沈清基,2011),也是城市生态修复有机性的具体表现。

有机性需要有生态技术指标的支撑。柏林提出的 Biotope Area Factor (生物栖地指数)可为一例;该指标可衡量及确保都市中的生物栖息地的保存和创造。生物栖地指数=有效的生态表面积÷总面积;有效的生态表面积=特定型态表面积×生态有效系数(封闭的硬铺地为0;与地下土壤相连的植栽覆面为1.0)^⑨。有机性在保护自然的同时,使人类获得了最大的安全和发展机会,因此,有机性无疑具有高度的生态智慧特征。

城市生态修复的科学性一要将生态内涵与科学内涵相关联,使生态修复既反映生态学基本原理,又反映生态学的客观规律;二要将人类发展史上各类科学技术广泛应用于生态修复及建设的各个环节,使生态修复具有合理性和高效性;三要以科学的方法进行生态修复规划与设计;四是要深入挖掘和认知城市生态环境中的人与各种生态环境资源的相互作用关系的规律性表征,主动并创造性地应用于生态修复与建设。从符合生态学规律、科学确定生态修复目标、原则等方面,可以归纳生态修复科学性的若干表现(表4)。

4.3 城市生态修复的艺术理论

艺术、宗教、科学是人类社会的三个最基本的推力。艺术能培养人的感性素质,提升感性智慧,美化我们的生活,推动人类感性文明发展,在人类生

活之中具有不可替代的职能^⑩。

在城市领域,艺术性是城市功能、城市确定性因素乃至生态城市建设的重要对象(表5)。在生态修复领域,生态修复成功的表征包括审美维度(表5);彭珂珊(2005)提出的生态修复三大原则之一为美学原则,认为生态修复后的生态系统应给人美的享受;2013年第5届国际生态恢复学会大会明确指出,生态修复过程中要考虑艺术因素(彭少麟,等,2013),这些都说明了生态修复在美学与艺术方面的功能。城市生态修复的艺术理论是使修复后的生态景观呈现生态艺术美感的重要指导理论。生态艺术是人居环境在景观、风貌、气质、精神等方面所表现出来的具有生态学内涵的美学属性与特性,生态艺术提升了人居环境的美学层次,对于增强生态服务功能,促进人的全面发展以及人居环境的可持续发展具有积极的作用(沈清基,象伟宁,等,2016)。

5 城市生态修复的机理

机理是指事物、现象和过程发展演化的内在原因与内在依据。是事物所遵循的内在的逻辑和规律(亓菁晶,陈安,2009)。可从如下几个方面认识城市生态修复的机理。

5.1 历史机理:历史生态环境是城市生态修复的基本空间依据

历史生态环境是城市文脉的基质之一,是城市文明的演进轨迹和表现形式之一。城市历史生态环境的基因、格局和脉络反映及表达了城市生态系统物质构成的演化过程、特点和规律,同时,也反映了生态环境与社会经济系统相互作用的关系及规律。历史生态环境是现今生态环境的起源,历史生态环境的研究既对保护文化遗产起积极作用,也对城市生态修复、生态环境规划与建设方面的各类实践活动,发挥着较强的指导意义。

1992年,美国生态学家理查德·雷吉斯特提出了澳大利亚阿德莱德市生态城市“影子规划”的设想,该设想表达

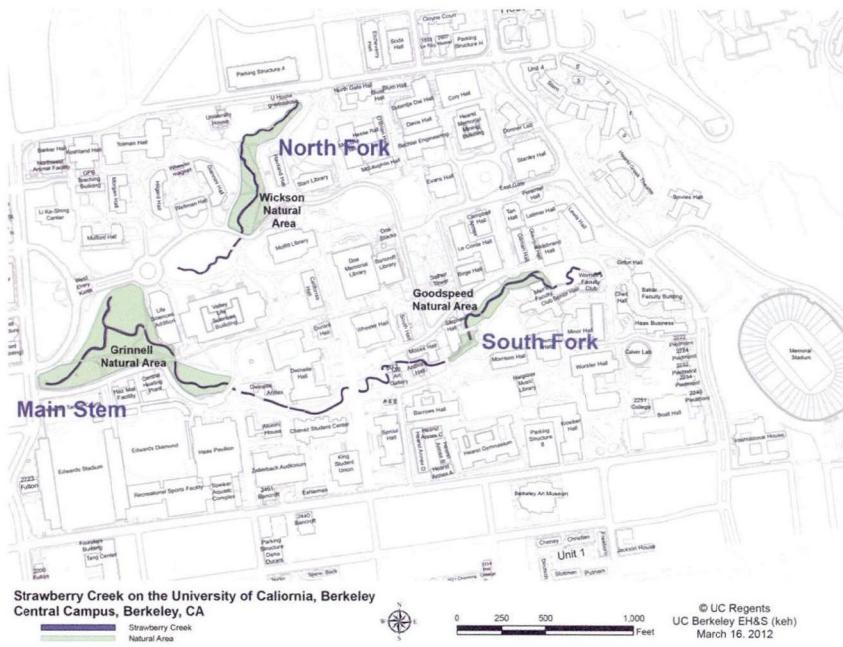


图1 美国伯克利草莓溪(UC Berkeley段)生态恢复示意 (2012)

Fig.1 Map on ecological restoration of Strawberry Creek in UC Berkeley (2012)

来源: trawberrycreek.berkeley.edusitesdefaultfilesdatabaseimagesscentralcampus.png

表6 城市功能优化与城市生态修复的关系

Tab.6 The relationship between urban functional optimization and ecological restoration

城市功能优化方面	城市功能优化内容	对城市生态修复和生态环境的作用
城市功能生态化	城市功能多元化	城市功能类型多样,作用多样,促进生态修复
	城市功能有机化	城市各类功能之间关系协调,对生态环境负面影响小,促进生态修复
	城市功能低碳化	单位城市功能发挥所产生的二氧化碳较低,促进生态修复
城市生态功能物质化	增加生态空间	有利于生态环境良性发展
	增加自然保护区	提升城市自然度
	完善生态服务功能	促进城市整体生态系统优化
	提升生物多样性	促进人与自然关系协调

资料来源: 自制。

表7 生态修复综合效益构成及案例简析

Tab.7 Case study on comprehensive benefits of ecological restoration

生态修复综合效益构成	主要内容	案例	案例机理分析
综合效益	经济效益	节约资金、人力、物力	符合运筹学基本原理;智慧成分明显;兼具经济、社会、环境、科学效益
	社会效益	不增加民众负担,有利社会稳定	
	环境效益	对环境没有污染和破坏	对三塔连线围合范围内湖区的生态关键作用认识清晰;采取简单有效的管理机制保证了西湖中心地区不淤,同时又营造了天下闻名的艺术景观;兼具经济、社会、环境、科学、艺术效益,并因而具有良好的综合效益
	科学效益	具有科学意义和科学价值	
艺术效益	产生良好的景观和艺术效果		

资料来源: 自制。

了在清晰明确的城市生态规划和发展框架的指引下,创建生态城市的步骤。该规划设想的时间跨度为300年,从1836年早期的欧洲移民来到澳大利亚,直到

2136年生态城市建成,预测和描述了阿德莱德地区的变化过程(郭磊,2013)。“影子规划”对1836年阿德莱德地区生态环境的描述及恢复规划,体现了对历

史生态环境的高度重视。同样,理查德·雷吉斯特在美国伯克利生态城市规划中也致力于对优质历史生态环境的恢复,最著名的是对该市历史上存在的9条溪流的恢复(图1,系其中的一条);显而易见的是,在其恢复过程中,这些溪流历史生态环境信息(图2)至关重要(Richard Register, 1987)。

传统生态学³³、民族生态学³⁴、地方生态学³⁵、区域生态学³⁶从某种意义上而言,都在学科层面构成了对历史机理的学术支撑。

5.2 能力机理：城市功能优化完善是生态修复的内核

能力是主体具有的恰当利用内外部资源,达成其意图或目标的内在性条件。“能力”具有多种类型和组合。如,增殖能力、承载能力、技术能力、调控能力、静态能力与动态能力、竞争能力、创新能力等。从城市生态修复角度而言,能力机理主要指城市功能的健康化生态修复的内在原因与逻辑。城市生态修复从能力角度而言,主要集中于生态化功能的营建及恰当地可持续利用方面。

城市生态系统具有多种组分。城市生态修复不仅应将自然要素的生态修复作为目标,还应将非自然要素的生态修复置于同等重要的地位;不仅应将单要素作为生态修复的目标,更应将多要素之间的协同共生发展作为城市生态修复的重要目标。毕竟,整体性的协同所产生的生态作用远远大于单要素。在现阶段,城市生态修复的能力内容应聚焦于城市功能修复尤其是生态功能的修复,通过城市功能的完善与修复,将可以使城市能力得到最大限度的提升(表6)。

5.3 效益机理：综合效益是生态修复可持续的关键

效益机理从经济角度而言是指降低成本,提升单位投入产出。美国建筑师Richard Buckminster Fuller的代表思想为“用最小的代价获得最大的效果(或以‘最少资源达到最大容积性能’(Doing the most with the least)),反映了

表8 秦皇岛市财富总量及其构成

Tab.8 Total wealth of Qinhuangdao city and its composition

分类	总财富(亿元)	人均财富(万元/人)	三类财富所占比例
1.人造资本	840	3.2	9%
2.自然资本	2288	8.7	25%
3.人力资本	6004	22.5	66%
总计	9132(或1.127亿美元)	34.4(或4.3万美元/人)	100%

资料来源:孔繁德,等,2004.

追求效益极致的思想(后藤武,等,2016)。国际学术界将符合社会需求并具有一定经济效益作为生态修复工程的必要条件(丁婧祎,赵文武,2014),并致力于使生态修复成为在环境、文化和经济等方面都能获利的项目(彭少麟,等,2013)。另一方面,环境友好是效益机理的基本内涵之一,具体表现在清洁发展机制已经成为成本-效益分析的基础(Yuan Wang, et al., 2016)。笔者以为,应强调生态修复综合效益,生态修复综合效益除了包括经济、社会、环境效益以外,还应包括艺术效益和科学效益,这与以往“综合效益”由经济、社会、环境三者构成的想法不同,更符合实际情况和时代性,更符合生态文明的内涵,因而,更有利于生态修复绩效可持续地达成(表7)。

5.4 人力资本机理:提升人的生态文明程度和城市人力资本水平是生态修复的终极目标

人类现代文明的最高表现是人性的进化;主要表现有二,其一为人与自然的相融,通过人类思想和行为的生态文明化,从而可最终实现全球生态系统整体的生态修复(张文波,等,2009);其二为人力资本优化。人力资本是相对于物质资本的一种资本形态,表现为人所拥有的知识、技能、经验和健康等;是

未来获益或未来收入的源泉(江涛,2008)。人力资本又是知识的承载者、传播者、分享者和创造者²¹,是城市三种主要的资本构成类型(另两种是物质资本、自然(生态)资本)中最重要的一种(表8),其对人造(物质)资本具有明显的替代效应,对社会经济发展可以发挥乘数效应,对生态环境具有重要的影响和制约作用,对于生态修复同样具有关键意义。鉴于人类兼具生态修复的设计者、引导者、参与者,甚至是生态修复的对象之一(张文波,等,2009),当人的文明程度与人力资本同步达到一个较高的水平,则自然生态系统的生态修复就可通过人的主动自觉及科学合理的保护或修复行为而长久持续维持良好的状态。

6 城市生态修复的科学问题

科学问题是在一定的科学知识背景下,存在于科学知识体系内和科学实践中有待解决的且具有科学价值的疑难问题(陈越,等,2006)。科学问题是需要解决且有可能解决的问题——因此其具有应需性与可能性;它包含一定的求解目标和路径及应答域,但尚无确定的答案——因此其具有前瞻性和探索性。科学问题的明确提出及凝练,是促进科学发展和技术进步的重要前提。城市生态

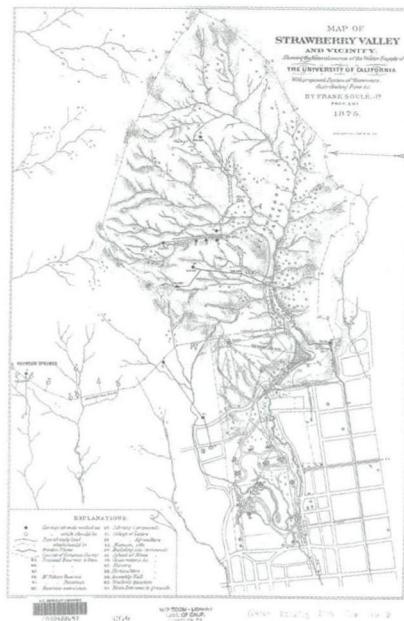


图2 美国伯克利草莓溪1875年图

Fig.2 Map of Strawberry Creek in Berkeley, USA (1875)

来源: creeks.berkeley.edusitesdefaultfiles/1875scmap.pdf

修复的科学问题²²是生态修复理论体系的重要组成部分,对于城市生态修复的顺利实施具有关键的意义和作用。

6.1 生态修复潜力

生态修复潜力是对自然与人类相互作用下的生态系统健康状态所决定的预期生态修复效果的表达,是使生态修复行为具有针对性、方向性并最终取得较为理想效果的基础工作。生态修复潜力提示了实施生态修复的必要性程度,也表达了生态修复适宜实施的空间与时间分布。生态修复潜力的构成与影响因素主要包含两个方面²³。其一,生态系统健康状况。城市生态系统的退化程度和正向演替及其两者的作用结果汇集成为生态系统的健康状态,构成了生态修复潜

表9 生态修复潜力科学问题简析

Tab.9 Analysis on scientific problems of ecological restoration potential

内容	作用	影响因素 (特定情况下)	表达方式 (特定情况下)	表达指标 (特定情况下)	与生态修复方式关系 (特定情况下)	有待决议议题 (部分)
生态修复潜力	明确生态修复的针对性、方向性,有助于取得较为理想的生态修复效果	植被生产率、植被对污染的抗性和耐性、气候资源潜力、生态敏感性和脆弱性	数量大小、空间分布、层级隶属	t/hm ² ·a(自然植被生产率)	生态修复潜力较高地区可采取自然修复方式;生态修复潜力较低地区则宜采用自然与人工相结合方式	①不同受损程度的生态系统驱动力表征方法;②不同受损程度的生态系统修复潜力时空分布特征;③不同受损生态系统修复潜力评价指标体系与核心指标;④复合生态系统生态修复潜力时空演变规律

资料来源:自制。

表10 若干生态修复与生态管理结合案例及深化简析

Tab.10 In-depth analysis of several ecological restoration and ecological management cases

生态修复与生态管理结合案例	丽水河流生态修复	永定河(北京段)生态修复	厦门海域生态修复	诸暨白塔湖湿地
做法	建立一个可供流域管理机构使用的河流生态修复立项、规划、实施以及评估的评价体系 ²²	构建基于适应性管理的流域委员会管理模式、确定管理机构权责、管理资金配置及建立生态修复管理评估体系 4 个方面完善运行的管理机制(董正举,等,2014)	1994 年实施第一轮海岸带综合管理(ICM); 2001-2006 年实施第二轮海岸带综合管理战略行动计划,是以厦门西海域综合整治为标志,以生态修复作为重点的管理阶段(董美艳,等,2010)	①重视社会、生态、经济效益的统一;②白塔湖土地流转中让利于农民:通过提高农田租金,保证农民收入;解决农民就业;对暂不愿意出租土地的农民,鼓励种植有机作物;③限客以维持生态品质:2013 年开园以来,白塔湖湿地每日游客人次不超过 500 名(吴建人,2014)
特点	以管理机构为中心,为其提供评价体系	以生态修复工程运行管理为重点	①基于生态系统管理理念的生态修复;②地方 ICM 融合生态系统管理理念,促进 ICM 的实施	调动湿地所在地农民积极性,追求综合效益;限流以维持生态环境品质
有待完善议题	提高生态修复与生态管理的协调性	重视生态修复工程中与完成后的运行管理	重视海域生态修复与其他地域类型的生态修复的结合	提高生态修复与生态管理措施的技术性与学术性支撑

资料来源:自制。

力的明确表征。生态系统健康需要借助生态诊断得到。就技术层面而言,生态诊断包括:诊断的参照系统,诊断的途径、方法与指标等;其二,自然及人为因素对生态系统的干扰程度。自然因素体现为自然系统在人为因素影响下的演进轨迹和演进方向;人为因素主要体现在对资源的利用广度和强度。由于轻微干扰的生态系统是相对最稳定的系统(闫霞,2010),因此,辨别干扰的性质和强度成为生态修复潜力辨析的重要环节之一。表9是对生态修复潜力科学问题的初步解析。

6.2 生态修复标准

生态修复标准是修复过程所依据的准则及期望达成的目标。骆祥君等(2008)提出了生态修复工程的五大评价标准²³,除了指出生态修复的目标以外,还包含了生态修复的前期鉴定与后期评估。本文认为,还可进一步凝练以符合科学问题的特性。凝练后的城市生态修复标准包括:①生态修复过程中的正外部效应,即在实施修复的过程中不产生任何长期危害因素及危害作用;②生态系统改善度,即生态修复后生态系统所表现的优化及改善状态,且这种优化与改善是可测量及可表征的;③生态系统韧性提升度,表现在生态系统抗外部

干扰能力增强,自组织能力比修复前更加强大。如从生态修复工程成功与否角度,生态修复的标准可由图3表达。

6.3 生态修复效应

生态修复效应是指修复规划建设实施之后的结果和外部影响。从研究范畴而言,有宏观与微观两个层面(任慧君,等,2016);从时间层面而言,生态修复效应有长、中、近三个时间段;从结果和外部影响的性质而言,生态修复效应有正面的、不确定的甚至负面的三种可能²⁴。从效应表征角度可将生态环境要素正常发挥生态功能的程度作为生态修复效应的表征,以土壤为例,有植被固土能力、土壤持水能力、对土壤结构和化学性能的恢复程度等(李纪潮,等,2014)。从规划方案选择角度,需对不同生态修复模式(方法)的修复效应进行模拟研究并评价,作为确定生态修复方案的依据(李凯,2015)。此外,对自然生态修复以及人工干预措施联合效应的探索,以及将功能方面的修复效应评估作为保护人类健康的重要环节(Joanna Burger, Michael Gochfeld, 2016),也是生态修复效应研究应予以关注的重要方面。

尽管生态修复工程的初衷与目标都是改善生态环境,但由于生态修复工程

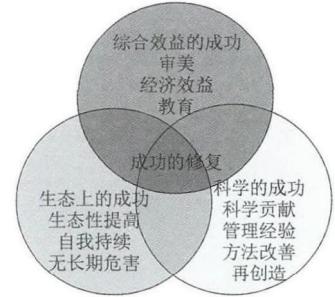


图3 成功的城市生态修复图示
Fig.3 Diagrammatic sketch of successful urban ecological restoration
来源:根据(骆祥君,等,2008)改绘。

本身也是一个投资巨大、牵涉面广的巨型工程,势必会带来新的环境问题(宋菲菲,等,2013),因此,对生态修复效应的全面研究十分必要。

6.4 生态修复和生态管理协同

生态修复与生态管理的脱节,是部分生态修复地区存在生态服务功能退化问题的原因之一²⁵。目前,已有一些将生态修复与管理相结合的实践,概括而言,有管理机构中心型、以生态修复工程管理为导向、以生态修复为重点,以及考虑生态修复在地民众利益等类型,各种类型都需要在相关方面继续深化(表10)。

生态修复的目的是协助或开始生态恢复进程,而生态管理是保证修复以后生态系统能够持续正常(骆祥君,等,2008)。生态修复与生态管理越早结合在一起越有利于生态系统的修复,生态管理与生态修复的协同作用是保证生态系统长久维持优良状态的必要和充分条件。

7 结语

目前我国展开的城市生态修复工作。在取得诸多成绩的同时,也存在如下值得重视的问题:①对城市生态修复相对于传统生态修复的特殊性认识不足;②生态修复目标缺乏技术性、专业性及综合性的明确表征。③追求与期望短时间取得生态修复的巨大成效,未认识到城市生态修复的长期性与艰巨性;④偏重于视觉感官的景观风貌的修复与提升,对城市生态系统的功能、健康活

力和生命力的修复考虑不够；⑤多系统、多区域、多技术、多专业紧密合作有一定欠缺；⑥偏重于物质性要素忽略非物质性要素的修复。⑦公众参与和公众支持的形式化与非实效化；⑧以城市人类利益为主，对城市其他生物的价值、空间、环境条件及利益考虑不够，等。

在此背景下，对城市生态修复进行深入、系统的理论思考，包括：城市生态修复的学术界定、基本特征、目标、理论体系、机理、科学问题等的探索，将有益于城市生态修复的深入展开，并可能最终对城市生态修复产生积极作用。

注释

- ① 见：罗来军：中国向雾霾全方位“宣战”，中国社会科学网，2017-02-24，<http://www.sxrb.com/sxxww/xwpd/sdgc/6637159.shtml>。
- ② 2017-04-03以“生态修复”（题名）在CNKI中检索，可见题目中含有“生态修复”的文章共4881篇，明确研究生态修复理论问题的文献很少（以“生态修复”+“理论”（篇名）检索可见文章46篇，仅占4881篇的0.9%）。由于以上检索未将“城市”纳入，可在一定程度上说明城市生态修复理论研究的缺乏。
- ③ 见：<http://www.h2o-china.com/news/250520.html>。
- ④ “resilience”在英文中既有“韧性”也有“弹性”的意思；将“resilience”仅翻译成“韧性”或仅翻译成“弹性”，都有缺憾。汉语已有“韧弹性”这一词汇，“韧弹性”是“韧性”与“弹性”的复合，因此，将“resilience”译成“韧弹性”是成立的，可解决国内在研究“urban resilience”时概念表达不一致性的问题。
- ⑤ [美]温伯格语，转引自：张亚勤，《软件与系统思想家温伯格精粹译丛》总序，见：<http://www.china-pub.com/computers/subject/huodong/Weinberg/pinglun.htm>。
- ⑥ 另有山东省林科院通过生理生化指标对济南各树种的抗污染性进行研究，选出5个树种作为济南城市生态绿化建设的抗污染推荐树种。见：商金杰，山东济南选出抗污染绿化树种，《中国花卉报》，2008-12-18。
- ⑦ 见：廖桂贤，永续城市的环境策略——柏林经验：运用BAF将自然带回都市，<http://www.earthday.org.tw/column/64/6183>。
- ⑧ 系上海三爱环境水务公司董事长刘光钊语，见：赵关良，湖泊治理立足生态学生态修复，《中国环境报》，2005-12-21。
- ⑨ 见：<http://mp.weixin.qq.com/s/1pWVv3fi-HjPGH1GAG74JYA>。

- ⑩ 明确提出了确定城市的因素之一为艺术的观点。见：刘易斯·芒福德著，宋俊岭，倪文彦译。城市发展史——起源、演变和前景[M]。北京：中国建筑工业出版社，2005。
- ⑪ 指出了生态城市对古代城市建设艺术的继承性。见：理查德·瑞吉斯特著，王如松，胡聘译。生态城市：建设与自然平衡的人居环境[M]。北京：社会科学文献出版社，2002。
- ⑫ 见：http://www.xinaogas.com/wps/wcm/connect/cdbb3ecd-2c99-43e2-9af5-986bf2397b2b/5%E6%9C%88%E5%88%8A%E7%BD%91%E7%BB%9C%E7%94%A8.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=cdbb3ecd-2c99-43e2-9af5-986bf2397b2b
- ⑬ 该学科致力于构建人与自然的和谐。见：何大勇，构建人与自然的和谐：传统生态学知识的价值[J]。贵州民族研究，2006(6)。
- ⑭ 民族生态学是研究民族与环境之间相互关系的科学。见：冯金朝，等，民族生态学的概念、理论与方法[J]。中央民族大学学报（自然科学版），2014(4)。
- ⑮ 见：阿里夫·德里克：发展主义批判论，2015-11-07，<http://www.cul-studies.com/index.php?c=index&a=show&catid=39&id=1454>。
- ⑯ 区域生态学是研究区域生态结构、过程、功能，以及区域间生态要素耦合和相互作用机理的学科。见：高吉喜，区域生态学基本理论探索[J]。中国环境科学，2013(7)。
- ⑰ 是从创新角度而言的。见：任俊义，区域智慧资本的培育路径[N]。光明日报，2014-11-30。
- ⑱ 此处的生态修复科学问题属于“专业性、技术性科学问题”范畴。关于此类科学问题，已有文献阐述，参见：丑纪范，天气和气候的可预报性[J]。气象科技进展，2011(4)；靳文辉，互联网金融监管组织设计的原理及框架[J]。法学，2017(8)。
- ⑲ 见：加强理论与实践，探索推进水土保持生态修复——“全国水土保持生态修复研讨会”学术交流摘要，中国水利报，2004-09-18。
- ⑳ 包括：(1)有一个指导性影像参照系统存在，它是预先鉴定出来的生态动态健康状态的结果，用来指导后续生态修复要达到的程度；(2)生态系统得到改善：生态条件得到可测量性的加强；(3)抗外部干扰能力增强：比修复前更为自我可持续；(4)不施加任何长期危害行动：实施修复过程中，没有掺入任何有害的成分；(5)生态评估已经完成：修复前后做作过某种程度的评估，其评估信息已经公开。见：路祥君，等，2008。
- ㉑ 见：(1)傅伯杰。生态系统服务与生态系统管理[EB/OL]。第十五届中国科协年会。<http://zt.cast.org.cn/n435777/n435799/n14383669/n14673797/14736878.html>

- (2) 金帅，等。流域系统复杂性与适应性管理[J]。中国人口资源与环境，2010，20(7)：60-67。转引自：董正举，等，2014。
- ㉒ 该项目为水利部公益性行业科研专项。见：吴建军，李敏，“河流生态修复适应性管理决策支持系统”成果汇报会在丽召开[N]。丽水日报，2011-04-11。

参考文献 (References)

- [1] WANG G X, ZHANG L M, CHUA H, et al. A mosaic community of macrophytes for the ecological remediation of eutrophic shallow lakes[J]. *ecological engineering*, 2009(35): 582-590.
- [2] BURGER J, GOCHFELD M. Initiating events, functional remediation, and assessment of risk to ecological resources[J]. *Ecological Indicators*, 2016(71): 32-40.
- [3] REGISTER R. Ecocity berkeley—building cities for a healthy future[M]. North Atlantic Books, 1987.
- [4] GENG Y, ZHANG L, CHEN X, et al. Urban ecological footprint analysis: a comparative study between Shenyang in China and Kawasaki in Japan[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015(75): 130-142.
- [5] WANG Y, GENG S, ZHAO P, et al. Cost - benefit analysis of GHG emission reduction in waste to energy projects of China under clean development mechanism[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2016(109): 90-95.
- [6] 陈越，等。从自然科学基金项目申报看科学问题的凝练[J]。科学通报，2006(7)：870-872。(CHEN Yun, et al. Concise description of scientific problems from the application of Natural Science Fund Project[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2006(7): 870-872.)
- [7] 丁婧祎，赵文武。生态恢复评价研究进展与展望：第5届国际生态恢复学会大会会议述评[J]。应用生态学报，2014(9)：2716-2722。(DING Jingyi, ZHAO Wenwu. Progress and prospects on evaluation of ecological restoration: a review of the 5th world conference on ecological restoration[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014(9): 2716-2722.)
- [8] 董美艳，薛雄志。基于生态系统管理理念下的厦门生态修复初步研究[C]。环境污染与大众健康学术会议，2010-09-10。(DONG Meiyuan, XUE Xiongzhong. Apply EBM concept into Xiamen ecological restoration[C]. *Proceedings of Conference on Environmental Pollution and Public Health*, 2010-09-10.)
- [9] 董哲仁。河流生态恢复的目标[J]。中国水利，2004(10)：6-10。(DONG Zheren. Targets for ecological recovery of rivers[J]. *China Water Resources*, 2004(10): 6-10.)
- [10] 董正举，等。永定河(北京段)生态修复工程运行管理机制研究[J]。城市环境与城市生态，2014(1)：19-23。(DONG Zhengju, et al. Operation and management mechanism in ecological restoration of the Yongding River in Beijing[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2014(1): 19-23.)
- [11] 郭磊。低碳生态城市案例介绍(二十九)：澳大利亚的阿德莱德[J]。城市规划通讯，

- 2013(21): 封4. (GUO Lei. Case study on low carbon ecocity(29): adelaide, australia[J]. Urban Planning Newsreport, 2013(21): back cover.)
- [12] [日] 后藤武, 等, 著. 设计的生态学: 新设计教科书[M]. 黄友玫, 译. 桂林: 广西师范大学出版社, 2016. ([Japan] TAKESHI Goto et al. The ecological approach to design[M]. HUANG Youmei, translate. Guilin: Guangxi Normal University Press, 2016.)
- [13] 胡聘, 奚增均. 生态修复工程系统集成原理的一些理论分析[J]. 生态学报, 2002(6): 866-877. (HU Dan, XI Zengjun. A theoretical approach to integration principles of ecological restoration engineering[J]. Acta Ecologica Sinica, 2002(6): 866-877.)
- [14] 江涛. 舒尔茨人力资本理论的核心思想及其启示[J]. 扬州大学学报(人文社会科学版), 2008(6): 84-87. (JIANG Tao. The central idea of Schultz's human capital theory and its implication[J]. Journal of Yangzhou University (Humanities and Social Sciences Edition), 2008(6): 84-87.)
- [15] 姜智. 建设生态河流的理论和技术支撑[J]. 东北水利水电, 2005(12): 62-63. (JIANG Zhi. The theory and technical support of constructing ecological river[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2005(12): 62-63.)
- [16] 孔繁德, 等. 城市可持续发展战略规划: 以秦皇岛市为例[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004. (KONG Fande, et al. Strategic planning of urban sustainable development: a case study of Qinhuangdao City[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004.)
- [17] 李纪潮, 等. 元谋干热河谷罗望子人工林间作生态修复效应[J]. 西南农业学报, 2014(4): 1710-1714. (LI Jichao, et al. Ecological restoration effect on interplant of tamarindus indica artificial forest in Yuanmou dry and hot valley[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014(4): 1710-1714.)
- [18] 李凯. 基于SWAT模型的白龙江流域生态修复效应模拟研究[D]. 兰州大学硕士学位论文, 2015. (LI Kai. Effect simulation of ecological restoration in Bailong river basin based on SWAT model[D]. The Dissertation for Master Degree of Lanzhou University, 2015.)
- [19] 李培军, 等. 污染土壤生态修复理论内涵的初步探讨[J]. 应用生态学报, 2006(4): 747-750. (LI Peijun, et al. An approach to the theoretical meaning of ecological remediation of contaminated soil[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006(4): 747-750.)
- [20] 刘凯, 等. 污染土壤生态修复的理论内涵、方法及应用[J]. 生态学杂志, 2011(1): 162-169. (LI Kai, et al. Ecological remediation of contaminated soil theoretical connotation measures and applications[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011(1): 162-169.)
- [21] 骆祥君, 等. 生态修复的科学前沿和产业进展[C]. 工程绿化理论与技术进展——全国工程绿化技术交流研讨会论文集, 2008-04-01. (LUO Xiangjun, et al. Scientific frontier and industrial progress of ecological restoration[C]. Progress of engineering afforestation theory and technology——proceedings of symposium on technical afforestation in China, 2008-04-01.)
- [22] 彭珂珊. 中国西部生态修复的理论与实践[J]. 广西经济管理干部学院学报, 2005(4): 16-20. (PENG Keshan. Theory and practice of renovating the ecology of the west area of China[J]. Journal of Guangxi Cadres College of Economic and Management, 2005(4): 16-20.)
- [23] 彭少麟, 等. 回顾过去, 引领未来——2013年第5届国际生态恢复学会大会(SER 2013)简介[J]. 生态学报, 2013(20): 6744-6745. (PENG Shaolin, et al. Review the past and lead the future——introduction of the Fifth International Conference on Ecological Restoration (SER 2013)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013(20): 6744-6745.)
- [24] 胥菁晶, 陈安. 突发事件与应急管理的机理体系[J]. 中国科学院院刊, 2009(9): 496-503. (QU Jingjing, CHEN An. Mechanism system of emergent incidents and emergency management[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2009(9): 496-503.)
- [25] 屈振军. 树立并坚持科学的生态修复观[J]. 中国水土保持, 2004(12): 14-14+35. (QU Zhenjun. Setting up and persisting in the idea of scientific ecological rehabilitation[J]. Soil and Water Conservation in China, 2004(12): 14-15+35.)
- [26] 任海, 等. 恢复生态学的理论与研究进展[J]. 生态学报, 2014(5): 4117-4124. (REN Hai, et al. Theories and research advances of restoration ecology[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014(5): 4117-4124.)
- [27] 任慧君, 等. 生态脆弱区露天煤矿生态修复效应研究[J]. 煤炭工程, 2016(2): 127-130. (REN Huijun, et al. Ecological rehabilitation effects of open-pit coal mine in ecological fragile region[J]. Coal Engineering, 2016(2): 127-130.)
- [28] 山仑. 逆境生物学研究如何为发展我国旱地农业服务[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2003(3): 1-3. (SHAN Lun. How to serve developing dryland agriculture by studying stress biology[J]. Journal of Henan University(Natural Science), 2003(3): 1-3.)
- [29] 沈清基. 城市生态环境: 原理、方法与优化[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011. (SHEN Qingji. Urban ecological environment: principles, methods and optimization[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.)
- [30] 沈清基. 智慧生态城市规划建设基本理论探讨[J]. 城市规划学刊, 2013(5): 75-83. (SHEN Qingji. A study on fundamentals of planning and building smart-ecological city[J]. Urban Planning Forum, 2013(5): 75-83.)
- [31] 沈清基, 象伟宁, 等. 生态智慧与生态实践之同济宣言[J]. 城市规划学刊, 2016(5): i-iii. (SHEN Qingji, XIANG Weining, et al. The declaration of the Tongji forum on ecological wisdom inspired ecological practice(The Tongji Declaration)[J]. Urban Planning Forum, 2016(5): i-iii.)
- [32] 宋菲菲, 等. 国外不同类型湖泊治理思路分析与启示[J]. 环境工程技术学报, 2013(1): 156-162. (SONG Feifei, et al. Analysis of lake management strategies of different types of lakes abroad and enlightenments for China[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2013(1): 156-162.)
- [33] 吴建人. 优化管理体制 大力开展湿地生态修复[J]. 浙江林业, 2014(2): 38-39. (WU Jianren. Optimized management system, carry out vigorously wetland ecological restoration[J]. Zhejiang Forestry, 2014(2): 38-39)
- [34] 吴文卫, 等. 污染水体生态修复的理论研究[J]. 江西农业学报, 2008(9): 138-140. (WU Wenwei, et al. Study on ecological rehabilitation for polluted water[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2008(9): 138-140.)
- [35] 解明曙, 等. 实施陆地生态修复的科学观[J]. 中国水利, 2004(8): 33-34. (XIE Mingshu, et al. Scientific view of land ecological restoration[J]. China Water Resources, 2004(8): 33-34.)
- [36] 徐广军. 水土保持生态修复的基本理论及技术方法[J]. 黑龙江水利科技, 2006(6): 35-36. (XU Guangjun. Basic theory and technical methods of soil and water conservation in ecological restoration[J]. Heilongjiang Hydraulic Science and Technology, 2006(6): 35-36.)
- [37] 闫霞. 绿洲人口变化与生态可持续发展研究[D]. 甘肃农业大学硕士学位论文, 2010. (YAN Xia. Study on oasis population change and ecology sustainable development——a case from Minqin oasis[D]. The Dissertation for Master Degree of Gansu Agricultural University, 2010.)
- [38] 杨悦舒, 等. 恢复生态学理论在水电工程扰动区边坡生态修复中的应用[J]. 长江科学院院报, 2015(7): 52-57. (YANG Yuechu, et al. Application of restoration ecology to slope ecological protection in disturbance area of hydropower project[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015(7): 52-57.)
- [39] 张树军, 等. 复合系统理论在区域生态修复决策中的应用[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2010(12): 1906-1909+1914. (ZHANG Shujun, et al. Ecological restoration decision using compound system theory[J]. Journal of Tsinghua University(Science and Technology), 2010(12): 1906-1909+1914.)
- [40] 张文波, 等. 多层次生态修复实践模式及其理论探讨[J]. 自然资源学报, 2009(11): 2024-2034. (ZHANG Wenbo, et al. Application and theory of models of multi-approach ecological restoration[J]. Journal of Natural Resources, 2009(11): 2024-2034.)
- [41] 张云, 陈梅. 济南原生植物在生态城市建设中的应用研究[C]. 中国风景园林学会2014年会论文集(下册), 2014-09-11. (ZHANG Yun, CHEN Mei. Application research on Jinan native plants in the ecological urban construction[C]. China Landscape Society Conference in 2014 (PEP), 2014-09-11.)

修回: 2017-07