

DOI: 10.5846/stxb202003200614

马晓菲, 石龙宇. 基于景感学的景感营造研究——以雨水花园为例. 生态学报, 2020, 40(22): 8167-8175.

Ma X F, Shi L Y. Study on the landsense creation based on landsenseology: Taking rain garden as an example. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(22): 8167-8175.

基于景感学的景感营造研究 ——以雨水花园为例

马晓菲^{1,2}, 石龙宇^{1,*}

¹ 中国科学院城市环境研究所 城市环境与健康重点实验室, 厦门 361021

² 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 雨洪径流失控引发的负面问题已经影响到城市居民的正常生活。雨水花园作为典型的用于雨洪治理的生态基础设施, 是进行城市水管理的重要手段。为提升雨水花园以径流控制为主的生态系统服务能力, 研究团队基于物联网技术在中科院城市所内建成一座带有径流控制效益监测系统的雨水花园研究示范样地。景感学作为研究生态系统服务和可持续发展的有效途径, 基于其理论分析雨水花园样地这一景感的营造途径、原则、生态系统服务能力, 有助于使人—生态基础设施—自然环境三者更和谐地相互融入和适应, 进而为雨水花园这类生态基础设施的营造提供借鉴经验。经探究发现雨水花园样地营造遵循了愿景呈现的双向性、方位的顺脉性、营造过程的渐进性三项原则, 它可从多方面提供调节服务、支持服务与文化服务, 有利于改善区域人居环境。通过径流控制效益监测系统监测、分析得出样地具备显著的调节服务(径流削减)能力, 且人们可通过视感、听感、触感感知并享受雨水花园样地供给的文化服务。由于物联网监测技术与居民对各部分生态系统服务的监测和感知能力各有侧重, 本研究认为可结合物联网相关监测技术和人的物理感知对雨水花园这类生态基础设施的营造工作进行评估, 进而指导这类生态基础设施的建设并提升其生态系统服务能力。

关键词: 景感学; 景感营造; 景感; 生态系统服务; 雨水花园

Study on the landsense creation based on landsenseology: Taking rain garden as an example

MA Xiaofei^{1,2}, SHI Longyu^{1,*}

¹ Key Laboratory of Urban Environment and Health, Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361021, China

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

Abstract: Uncontrolled rainstorm runoff hindered urban residents' normal life. As a typical ecological infrastructure for rainstorm treatment, rain garden is an important means of urban water management. To improve the rain garden's ecosystem services capacity mainly based on runoff control, the research team built a rain garden demonstration plot (hereinafter referred to as demonstration plot) with runoff control benefit monitoring system (hereinafter referred to as benefit monitoring system) based on the Internet of things in the Institute of urban environment (IUE), Chinese Academy of Sciences. As a science specialized in the ecosystem services and sustainable development, also, landsenseology is a new approach to land-use planning. To analyze the landsense creation' approach, principles, and ecosystem services capacity of the demonstration plot based on landsenseology's theory, which is helpful to make people-ecological infrastructure-natural environment integrate and adapt to each other more harmoniously, to provide experience for the creation of rain garden. It is found that

基金项目: 国家重点研发计划课题(2018YFC0506902)

收稿日期: 2020-03-20; **修订日期:** 2020-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lyshi@iue.ac.cn

the creation of the demonstration plot followed the bidirectional principle of vision manifestation, the vein-compliance principle of orientation and bearing, and the progressivity principle of process. And the demonstration plot could provide supporting service, regulating service, and cultural service to regional residents from various aspects. The benefit monitoring system monitored and analyzed the runoff control process and efficiency of the demonstration plot. We found that the demonstration plot had significant regulating service (runoff reduction) capacity, and people could feel cultural service and partial regulating service through their senses of sight, hearing, and touch. However, the Internet of things' monitoring technology is difficult to monitor the cultural service of aesthetics, environmental education, and popular science. Similarly, people's physical senses are difficult to feel the regulating service of runoff reduction, runoff quality purification, oxygen release, carbon fixation, and the supporting service of maintenance of soil quality. Therefore, this study believes that the effect of landsense creation of ecological infrastructure could be evaluated from the monitoring technology of the Internet of things and the physical senses of people. About the Internet of things' monitoring technology, it should add the monitoring links for regulating service and supporting service. The benefit monitoring system of this study would also increase the monitoring function of water purification service and local microclimate regulation service in the next step. About people's physical senses, we could evaluate the effect of landsense creation from the perspective of whether people could graft vision is consistent with the endow or integrate vision by landsense designer. If the grafted vision is part of the integrated vision, it means that there is room for further improvement of the landsense creation.

Key Words: landsenseology; landsense creation; landsense; ecosystem services; rain garden

城市是一个复杂的社会-经济-自然生态系统,容纳着最密集的人群及人类活动。城市化是提升居民居住条件、解决诸多民生问题的重要途径。但随着城市居民数量持续上涨,城市建筑愈发高密度化导致越来越多自然地面被不透水地面替代^[1-2],自然地面原有的水源涵养功能随之丢失。城市现有雨洪管网难以满足所需,内涝肆虐、径流污染等问题随之而来,影响了城市居民的正常生活和城市的有序运行。同时,不透水地面扩增对水文生态平衡也造成了不容忽视的威胁^[3-4]。为解决上述雨洪失控问题,国务院办公厅于2013年发布的《关于加强城市基础设施建设的意见》,强调“应该根据地域特色在建成区建设径流调蓄基础设施,增强防洪防涝能力”。2015年发布的《国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见》指出:“应通过海绵城市建设,综合采取‘渗、滞、蓄、净、用、排’等措施,将70%的降雨就地消纳和利用”。雨水花园作为典型的用于雨洪管理的生态基础设施,是建设海绵城市、进行低影响开发和城市暴雨管理的重要手段^[5-6],能以一种自然方法削减径流、延迟洪峰并以分解、吸收、截留污染物等方式净化水质^[7-8],且其结构简单、造价低、施工管理简便^[9],已被较多地区与国家用于城市雨洪管理^[5]。

为最大限度地发掘、保持、提升雨水花园的生态系统服务能力,进而提升当地居民的生活质量与区域可持续发展水平,研究团队在中国科学院城市环境研究所(以下简称“城市所”)内建成了一座雨水花园研究示范样地(以下简称“样地”)。样地还包括一套基于“物联网”技术设计而成的径流控制效益监测系统(以下简称“效益监测系统”),主要用于监测与分析样地的径流控制过程和效率。

景感学作为研究生态系统服务和可持续发展的有效途径^[10],以它为指导进行土地规划、建设、评价、管理和调控,能在保持、改善和增加区域生态系统服务水平的时候,更能增强人们对可持续发展意识及其相关理念的理解和认同^[11]。下文将以样地为例,基于景感学分析其营造途径和原则,探究其生态系统服务能力,为雨水花园这类生态基础设施的营造提供借鉴经验。

1 景感学与景感营造的概念及内涵

景感生态学是基于生态学的基本原理,从自然要素、物理感知、心理认知、社会经济、过程与风险等相关方面,研究土地利用规划、建设与管理以实现可持续发展的学科。它的实质是为适应社会发展与人们需求的变

化,基于景观生态学提出的一种新的土地利用规划方法^[10,12]。自我国生态学家赵景柱于2015年提出景感生态学以来,相关理论与方法体系被视为分析与提升区域生态系统服务能力的有效途径。例如,Yu^[13]等人基于景感生态学的理论体系,建立了自然保护区的保护框架与策略;Xiong^[14]等人基于景感生态学的方法体系,调研了旅游者的景感体验,进而为旅游区规划提供参考意见;Zheng^[15]等人基于景感生态学的理论和方法,进行崇明岛生态工业园区的景感营造。

为将景感生态学的内涵与研究内容进一步延伸与扩展,赵景柱等人又于2020年提出广义景感生态学(或景感学,在景感生态学基础上,形成的景感营造理论和方法的研究)这一科学,界定了景感(人们通过适当的表现形式将某一或某些愿景赋予或融入某种载体,使其他人能够从这一载体及其相关的表现形式领悟这一或这些愿景,具备这些属性的载体即为景感)和景感营造(指构思设计与建设形成景感的过程)的定义^[11],并且总结了景感营造的3种方法与8项原则;明确了景感营造作为以景感学为理论基础的一种生态恢复和建设手段,应结合当地自然环境条件、居民生活、生产、文化等特征开展相关工作;拓宽了景感生态学的应用范畴,使其不仅限于指导区域土地利用与规划,还能应用于诗歌、画作类艺术品鉴赏^[16]等领域。从景感学的内涵与应用范畴分析,基于这一科学探究样地的营造过程,有助于保持、提升雨水花园的生态系统服务能力,进而持续地提升当地居民的生活质量。

2 雨水花园营造过程

根据“景感”这一概念,可知雨水花园样地具备显著的景感属性,承载了设计与建设者赋予的愿景:“建设雨水花园提供以径流控制为主的生态系统服务,以此调节自然环境,缓解城市雨洪管理失控问题,使人-生态基础设施-自然环境和谐共生,提高人们对居住环境的满意度与对可持续发展意识及其相关理念的认同度”。由这一愿景的概述可知,样地提供的生态系统服务是传递并实现愿景的核心,即人们对样地供给的生态系统服务的感知与享受就是愿景被认同和实现的过程。下文将以样地为景感实例分析其营造途径与原则。

2.1 雨水花园样地结构

样地位于城市所内的景观河畔,如图1所示。城市所前期建成的景观河为样地非雨期试验用水与雨期的净化水体排放提供了适宜的途径。样地由进水池、集水池、效益监测系统三部分组成。

(1)进水池为样地主体,用于收集径流入水并利用基质层削减径流量并净化水质,其基质层从上至下为蓄水层、覆盖层、种植层、第一土工布层、第一砾石层(过滤层)、第二土工布层、第二砾石层(排水层)。蓄水层中安置有液位计与水质仪两项传感器,用以监测径流入水量与水质。种植层根据当地气候条件、植物形态与优缺点,选种了翠芦莉与花叶络石两种本地物种,抗旱耐涝,维护成本低。外侧花叶络石枝蔓发达,可作为栅栏格挡入水中的枯枝落叶;中部翠芦莉根系发达,有显著的净化水质作用。排水层中安置的渗滤管由进水池通向集水池。

(2)集水池用于收集经进水池处理过后的径流出水,其中安置有液位开关、流量计与水质仪三项传感器,用以监测径流出水量与水质。集水池中还安置有抽水水泵、排水管,抽水水泵根据集水池中液位开关的测量值启动和关闭,当液位高于水泵启动值时,水泵抽水外排至景观河;当液位低于水泵启动值时,水泵停止工作。集水池中的净化水体通过排水管排放至景观河。

(3)效益监测系统由监测、供电、传输、分析四个子系统组成,其运作原理为利用安置在样地基质层与集水池中的各类传感器,实时监测与采集径流处理前后的径流量与水质数据,各类传感器实时读取数据并将所得数据传至数据库存储与处理,进一步借助分析子系统得出径流控制效率。监测子系统通过样地中安置的各类传感器实时监测径流数据;供电子系统由蓄电池与太阳能板组成,供电给监测、传输与分析子系统;传输子系统用以读取并存储监测子系统监测的径流数据;分析子系统作为半自动化系统,主要是根据传输子系统储存的径流数据对样地的径流控制效率进行分析。

2.2 景感营造途径

以适宜的途径进行景感营造有助于最大限度地保持、改善和增加景感的效用。研究团队在建设样地之



图1 雨水花园及其监测系统照片

Fig.1 The picture of rain garden and its monitoring system

初,期望借助样地研究并提升雨水花园以径流控制为主的生态系统服务,缓解城市径流失控问题,促进人-生态基础设施-自然环境和谐共生,提高人们对居住环境的满意度。本研究中景感营造途径为研究团队将愿景融入新构建的载体,形成样地这一景感。

2.3 景感营造原则

景感营造过程中,不仅需要考虑景感本身的特征,当地生态条件、资源禀赋、居民的生活、生产、文化水平等都是影响景感后期发挥效用的关键因素。为景感能达到甚至超出预期效用,景感营造需要因地制宜并结合营造原则将愿景融入其中。由于景感营造原则相互关联,通常景感的一些内部或外部属性可体现景感营造时遵循的原则。样地营造过程中体现了愿景呈现的双向性、方位的顺脉性、营造过程的渐进性原则。

2.3.1 愿景呈现的双向性

样地营造之初,研究团队期望能以它为研究平台探究并提升雨水花园以径流控制为主的生态系统服务能力,缓解城市雨洪管理失控问题。样地建成之后,多次有学生与学者来访城市所参观学习,研究团队会就来访者对样地产生的兴趣点与科学问题进行讲解。来访者可通过物理感知能力感受并享受样地产生的部分生态系统服务,进而领悟到这一景感所蕴含的愿景。样地也逐渐成为城市所具有显著科教意义的生态基础设施。研究团队将愿景注入样地这一载体,通过讲解与其他辅助手段,来访者能够领悟到样地蕴含的愿景,研究团队与来访者在交流过程中产生了对愿景的共鸣。

2.3.2 方位的顺脉性

样地营造之前,研究团队调研了城市所的区位条件、资源禀赋、居民生活与生产及文化等特征。为利用景观河供应样地非雨期试验用水并接收样地雨期的净化水体,计划将样地建在景观河沿线一角;为样地便于汇集路面雨水,计划将样地建在城市所一条主路旁边,利于借助路面高低差将径流引入进水池;经过综合考量后确定了样地的地理位置。样地营造充分考虑了所处位置的地势条件,与城市所总体布局脉势保持一致。

2.3.3 营造过程的渐进性

在样地营造之前,前期建成的路面与景观河为样地营造奠定了良好的基础,能有效促进样地发挥效用。进行样地营造时,研究团队根据建设过程中遇到的实际困难,对营造规划方案进行优化和调整;样地建成后,

研究团队根据研究需求变化,增加了效益监测系统的传感器类型,更新了数据传输设备。雨水花园样地营造的过程是根据研究目标不断调整和优化的,体现了景感营造的渐进性原则。

3 雨水花园的生态系统服务

生态系统服务是联系生态基础设施与居民福祉的重要桥梁,它可直接或间接惠及人们^[17],有助于提高公共健康和城市居民的生活质量^[18]。生态系统服务是指自然生态系统及其所属物种支持和维持人类生活的条件和过程^[19-20],它的价值是无限的,是人类生存的基础^[21]。由联合国发起的“千年生态系统评估^[22]”项目将生态系统服务分类为支持服务、调节服务、供给服务和文化服务,也是当前应用最为广泛的生态系统服务的分类之一^[23-27]。

雨水花园作为保障、提升生态系统服务水平的生态基础设施之一,能为人们提供调节服务、支持服务与文化服务^[28]。雨水花园供给的生态系统服务是它作为景感所被赋予的愿景核心,人们通过物理感知与心理认知能力去感受并享受其提供的生态系统服务,即是人们领悟愿景的过程。其中,物理感知可影响心理认知程度,心理认知水平同样会作用于物理感知^[11]。下文以样地为例,分析雨水花园供给的调节服务、支持服务与文化服务,并解读人们如何利用视感、嗅感、听感、味感、光和触感等物理感知感受并享受这些生态系统服务。由于监测系统可监测样地的径流控制过程并分析控制效率,下文采用径流削减效率公式分析样地以径流控制为主的调节服务,对支持服务和文化服务的探究以定性分析为主。

3.1 调节服务

以径流削减为主的调节服务,是雨水花园最显著的生态系统服务价值^[29]。雨水花园主要通过基质层削减径流量,科学地设计、建设雨水花园可使其径流削减量高达 100%^[30]。此外,各基质层能以过滤、分解、植物富集吸收等方式净化水质,包括对径流中 SS、COD、重金属(Pb、Zn、Cu、Fe、Cd)等都有良好的去除率^[31-34]。翠芦莉与花叶络石茂盛的叶片能附着人们在主路上通行产生的扬尘,且这两种植物可通过光合作用与蒸腾作用促进局部气候的降温增湿与释氧固碳^[35]。可见雨水花园能通过多种途径提供调节服务。一般情况下,人们可通过视感与触感能力观察到植物表层附着的扬尘,可通过触感感受到局部空气湿度增加、温度降低等调节服务,但难以通过物理感知直接察觉径流削减、水质净化与释氧固碳等调节服务,需要利用科学方法与仪器进行分析。

本研究中,分析子系统作为半自动化系统,根据远程数据中心储存的径流量数据对样地的径流削减效率进行分析,计算公式如式(1)。数据及来源为监测子系统测得 2018 年 10 月至 2019 年 6 月的日均降雨量,通过加和计算得出期间 9 个月的月均降水量;流量计可测得水泵工作时的累计抽水量,根据每月起止日期的抽水量数据可得到每月抽水总量;液位计测得 2018 年 10 月至 2019 年 6 月集水池每月的液位变化;相关数据如表 1 所示。

$$Rv = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, W_{in} 为进水池中径流总流入量,可通过降雨量推算得出,计算公式为: $W_{in} = \varphi \cdot q \cdot F$,其中 F 为样地汇水区域的面积; q 为降雨量,由雨量计测得; φ 为样地汇水区域的雨量综合径流系数; W_{out} 为进水池中径流总流出量,计算公式为 $W_{out} = w + \Delta h \cdot a$,其中 w 为集水池中流量计测得的流量, Δh 为集水池中液位开关测得的液位变化, a 为集水池的面积。

利用式(1)计算得出样地 2018 年 10 月至 2019 年 6 月的每月径流削减率分别为 100.0%、98.4%、89.6%、90.7%、91.6%、87.6%、89.1%、91.2%、94.7%,最后计算得到样地的年径流削减总量为 91.2%,远超《海绵城市建设技术指南-低影响开发雨水系统构建》与《厦门市海绵城市建设试点城市实施方案》为厦门设定的年径流总量的控制区间 70%—85%。

表 1 2018 年 10 月至 2019 年 6 月雨水花园样地运行情况
Table 1 Operation of rain garden demonstration plot from October 2018 to June 2019

时间 Time (年-月 Year-month)	降雨量/mm Rainfall	抽水量/L Pumping volume	集水池液位变化/m The variation in the liquid level of sump
2018-10	18.400	0	0
2018-11	78.900	0.897	0.022
2018-12	24.300	0.980	0.045
2019-01	9.800	0.622	0.016
2019-02	39.700	3.591	0.058
2019-03	253.100	40.200	0.538
2019-04	113.600	23.100	0.207
2019-05	187.800	28.943	0.277
2019-06	123.800	29.991	0.097
总计 Total	849.400	128.324	1.260

3.2 支持服务

基于植物的生长特征与城市所的气候、地理环境特征,研究团队在样地中栽种了翠芦莉与花叶络石。厦门多高温与台风天气,要求植物具有较强抗性,否则易增加更种成本。翠芦莉生命力强、能较好地适应各类土壤、地势与光照等环境,还能耐高温^[36];花叶络石具有外形强健、少生病虫害、适应环境能力强、耐旱性强、抗短期洪涝性好、分藤能力强、管理简单等优势^[37];两种植物较强的抗逆性等优点都较适合种植在样地中。植物拥有抗病虫害与生长能力强等性能,可减少甚至避免杀虫剂、助生长剂等化学试剂的使用,有助于维持基质层土壤质量,并为微生物群落提供良好的栖息地。翠芦莉和花叶络石混合栽种有助于增加植物物种多样性^[38]。植物物种多样性越高,为各种动物和微生物提供栖息地的生态系统支持服务功能越强。

3.3 文化服务

样地主要通过供给人们审美与科教、启智等体验提供文化服务。作为科研团队用以探索并提升雨水花园生态系统服务能力研究平台,样地多次作为城市所的示范性生态基础设施之一接待前来参观交流的科研人员与学生。研究团队会从样地的基质组成,其中分布的传感器及其效用,栽培植物的生长习性,效益监测系统设计及其工作原理等方面进行深入的讲解。其中蕴含着丰富的知识体系,既能与同行科研人员交流、讨论研究发现,也能为一些非专业的参观者传授知识。样地具有的科学教育价值显著。

翠芦莉的外观形态优美、花期较长、花色为独特的蓝紫色、四季枝叶常绿等特征保证了其良好的观赏价值^[39]。花叶络石为常绿藤蔓植物,柱形强健,植株多彩艳丽,视觉上极具层次感,可观赏期较长。因对光照敏感,叶色还会在不同的光照时长和强度下产生渐变效果,紧凑生长的状态下似怒放的鲜花^[40-41]。翠芦莉与花叶络石组合栽种,在样地中形成了具有较强审美价值的色彩斑块。一般情况下,人们可直接通过视感感知、享受审美服务;在研究团队的讲解下,人们可通过视感、听感感知并享受启智、环境教育等文化服务。

由表 2 可知,以样地作为研究实例探究发现雨水花园具备显著的生态系统服务能力,可为人们提供调节服务、文化服务、支持服务,且几类服务之间互为影响。雨水花园的径流削减、水质净化、降温增湿与释氧固碳等调节服务,以及为微生物群落提供栖息地等支持服务,保障了雨水花园的环境教育、生态保护、可持续发展思想启发等文化服务。

4 讨论

国内外已有诸多研究聚焦于采集径流数据样本,结合 TOPSIS 综合评价法^[42]、SWMM 模型模拟法^[43-44]、数值模拟法^[45]等模拟和计算的方法,分析雨水花园为区域供给的以径流控制为主的调节服务。目前,对雨水花园的支持服务和文化服务的研究相对较少,更是少有研究从人的主观感知角度探讨雨水花园的生态系统服务能力^[46-47]。基于景感学的理论,本研究探究了样地的营造过程及其生态系统服务能力,既从宏观角度阐明

了雨水花园的生态系统服务范畴,同时也从“人的物理感知”的微观角度解读了生态系统服务是如何辐射至居民个体的过程。景感学的研究框架强调,基于景感学的理论分析和实践应用的研究中,需要对生态相关的动态过程进行长期、实时、现场的监测,而物联网技术是能够实现有效监测的途径之一^[10]。样地的效益监测系统基于物联网技术建设而成,但仅监测和分析了径流削减过程与效率,缺少对部分调节服务、支持服务和文化服务的监测。

表 2 雨水花园提供的生态系统服务
Table 2 The ecosystem services of rainwater garden

生态系统服务 Ecosystem service		感官 Sense	效果 Effect
调节服务 Regulating service	径流削减	—	涵养水源
	水质净化	—	截留污染物,保护水环境
	吸附扬尘	视感、触感	改善空气质量
	降温增湿	触感	改善局部微气候
	释氧固碳	—	促进碳氧平衡
支持服务 Supporting service	维持土壤质量	—	促进土壤生物改良
	提供生物栖息地	—	增加生物多样性
文化服务 Cultural service	审美	视感	体现植物的美感
	环境教育	听感	启发人们思考生态保护、可持续发展等问题
	科普知识	视感、听感	习得植物生长习性、雨水花园等相关知识
	科学研究	视感、听感	解决关于雨水花园相关研究的科学问题

生态系统服务作为雨水花园的核心功能,可通过物联网的相关技术去观测、分析其动态过程和效率,也能通过人的感知能力去领悟和享受它。但是物联网监测技术对部分生态系统服务的监测存在盲区,如文化服务中的审美、环境教育、科普知识等方面的服务,而人们可以通过感知能力感受并享受;同样,人们对部分生态系统服务的感知存在盲区,如调节服务中的径流削减、水质净化、释氧固碳等方面的服务,支持服务中的维持土壤质量,提供微生物栖息地等方面的服务,而物联网监测技术可以监测和分析其过程与效率。

5 结论

本研究中,雨水花园样地作为一项被赋予“提供以径流控制为主的生态系统服务并以此调节自然环境,缓解城市雨洪管理失控问题,使人-生态基础设施-自然环境和谐共生,提高人们对居住环境的满意度”愿景的新构景感,在营造过程中遵循了愿景呈现的双向性、方位的顺脉性、营造过程的渐进性的原则。它可提供调节服务、文化服务、支持服务,有助于改善周边人居环境。基于物联网建设而成的效益监测系统分析得到样地年径流削减总量为 91.2%,表明样地可提供显著的调节服务(径流削减)。同时,居民可通过视感、听感、触感能力感知并享受样地供给的文化服务与部分调节服务,难以感知支持服务。

基于景感学的理论规划、建设、评价、管理和调控雨水花园这类生态基础设施,既是进行区域土地利用规划与建设的过程,同时也是对原有自然环境的改造过程。为生态基础设施赋予主观愿景,使它成为传递愿景与情感的载体,使它与原有自然环境更好地相互协调,进而满足人们对高质量居住环境的需求,使人们在感受并享受生态基础设施所供给的生态系统服务的同时,能够更深刻地去领悟可持续发展相关的意识和理念,最终使人-生态基础设施-自然环境三者能够更和谐地相互融入和适应。

本研究为生态基础设施类的景感营造工作提供了参考经验,基于景感学理论进行景感营造的过程中,除了考虑营造的方法与原则,还应思考如何有效评估景感营造的效益,为提升这类景感的生态系统服务能力提供思路。本研究认为可将物联网相关的监测技术和人的物理感知作为评估生态基础设施类景感营造工作的两个切入点。物联网相关的监测技术方面,增加对调节服务和支持服务的监测环节,后续的研究中也会增加样地效益监测系统对水质净化和局部微气候(降温增湿)调节效益的监测功能。人的感知方面,可从人们感

知到的愿景与设计愿景是否一致的角度评估景感营造工作。若人们感知到的愿景仅有景感营造者最初设计愿景的一部分,那么愿景传递存在缺失,表明景感营造的效益存在进一步提升的空间。为使人们对景感所蕴含愿景的领悟与认同感最大化,景感营造者在进行景感规划时,也应思考如何匹配不同人群的感知能力和品味。

参考文献 (References):

- [1] 邓洁. 雨水花园在我国城市道路暴雨径流控制中的应用研究. 中国水土保持, 2011, (8): 33-35.
- [2] 张议心, 陈萍. 郑东新区雨水花园现状分析及问题研究. 绿色科技, 2019, (13): 25-28, 31-31.
- [3] 李卓熹, 秦华鹏, 谢坤. 不同降雨条件下低冲击开发的水文效应分析. 中国给水排水, 2012, 28(21): 37-41.
- [4] National Research Council. Urban Stormwater Management in the United States. Washington: National Academies Press, 2009.
- [5] 王建龙, 车伍, 易红星. 低影响开发与绿色建筑雨水控制利用. 工业建筑, 2009, 39(3): 123-125, 102-102.
- [6] 韩林桅, 张森, 石龙宇. 生态基础设施的定义、内涵及其服务能力研究进展. 生态学报, 2019, 39(19): 7311-7321.
- [7] Katsifarakis K L, Vafeiadis M, Theodossiou N. Sustainable drainage and urban landscape upgrading using rain gardens. Site selection in Thessaloniki, Greece. Agriculture and Agricultural Science Procedia, 2015, 4: 338-347.
- [8] Basdeki A, Katsifarakis L, Katsifarakis K L. Rain gardens as integral parts of urban sewage systems-a case study in Thessaloniki, Greece. Procedia Engineering, 2016, 162: 426-432.
- [9] 罗红梅, 车伍, 李俊奇, 汪宏玲, 孟光辉, 何建平. 雨水花园在雨洪控制与利用中的应用. 中国给水排水, 2008, 24(6): 48-52.
- [10] Zhao J Z, Liu X, Dong R C, Shao G F. Landsenses ecology and ecological planning toward sustainable development. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2016, 23(4): 293-297.
- [11] Zhao J Z, Yan Y, Deng H B, Liu G H, Dai L M, Tang L N, Shi L Y, Shao G F. Remarks about landsenses ecology and ecosystem services. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2020, 37(3): 196-201.
- [12] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [13] Yu E, Cui N, Quan Y, Wang C, Jia T, Wu D, Wu G. Ecological protection for natural protected areas based on landsenses ecology: a case study of Dalinor National Nature Reserve. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2020, doi: 10.1080/13504509.2020.1727585.
- [14] Xiong Y, Yang L, Wang X, Liu J. Mediating effect on landscape experience in scenic area: a case study in Gulangyu Island, Xiamen City. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2020, 27(3): 276-283.
- [15] Zheng S, Cui K, Sun S, Wu J, Qiu Q, Tian Y. Planning and design based on landsenses ecology: the case study of Chongming Island Landsenses Ecol-industrial Park. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2020, 27(5): 435-442.
- [16] Zhao Y, Xiao L. Analysis on the landsense creation of Chinese classical poetry and mountains-and-waters painting based on landsenses ecology. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2020, 27(3): 292-296.
- [17] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [18] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas. Ecological Economics, 1999, 29(2): 293-301.
- [19] Daily G C. Introduction: what are ecosystem services//Daily G C, ed. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997: 267-278.
- [20] 赵景柱. 关于生态文明建设与评价的理论思考. 生态学报, 2013, 33(15): 4552-4555.
- [21] 傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 生态系统综合评价的内容与方法. 生态学报, 2001, 21(11): 1885-1892.
- [22] Ahmed M T. Millennium ecosystem assessment. Environmental Science and Pollution Research, 2002, 9(4): 219-220.
- [23] 肖强, 肖洋, 欧阳志云, 徐卫华, 向斌, 李勇志. 重庆市森林生态系统服务功能价值评估. 生态学报, 2014, 34(1): 216-223.
- [24] Villamagna A M, Angermeier P L, Bennett E M. Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. Ecological Complexity, 2013, 15: 114-121.
- [25] 陈尚, 任大川, 夏涛, 李京梅, 杜国英, 王栋, 王其翔, 张涛. 海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估. 生态学报, 2013, 33(19): 6254-6263.
- [26] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological Economics, 2009, 68(3): 643-653.
- [27] Leemans R, De Groot R S. Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment. Washington: Island Press, 2003: 245-253.
- [28] 俞孔坚, 石春, 林里. 生态系统服务导向的城市废弃地修复设计——以天津桥园为例. 现代城市研究, 2009, (7): 18-22.

- [29] 郭超, 李家科, 马越, 李怀恩, 袁萌, 姬国强. 雨水花园运行寿命分析与价值估算. 环境科学学报, 2018, 38(11): 4391-4399.
- [30] 蒋春博, 李家科, 马越, 李怀恩, 阮添舜. 雨水花园对实际降雨径流的调控效果研究. 水土保持学报, 2018, 32(4): 122-127.
- [31] 李俊奇, 向璐璐, 毛坤, 李宝宏, 李海燕, 车伍. 雨水花园蓄渗处置屋面径流案例分析. 中国给水排水, 2010, 26(10): 129-133.
- [32] Hunt W F, Jarrett A R, Smith J T, Sharkey L J. Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2006, 132(6): 600-608.
- [33] Chahal M K, Shi Z Q, Flury M. Nutrient leaching and copper speciation in compost-amended Bioretention systems. Science of the Total Environment, 2016, 556: 302-309.
- [34] 胡爱兵, 张书函, 陈建刚. 生物滞留池改善城市雨水径流水质的研究进展. 环境污染与防治, 2011, 33(1): 74-77, 82-82.
- [35] 郑权一, 赵晓龙, 赵冬琪. 基于海绵城市口袋公园微气候景观研究. 低温建筑技术, 2016, 38(10): 33-35.
- [36] 蔡汉, 王小明. 园林新优宿根花卉——翠芦莉. 中国花卉园艺, 2008, (10): 24-25.
- [37] 祝泽刚, 俞振良, 陈旭, 吴梅, 王轶. 花叶络石扦插快繁技术. 农技服务, 2009, 26(3): 128-128.
- [38] 李光辉. 浅析城市雨水花园的生态效应. 城市地理, 2015, (18): 198-198.
- [39] 杨志恒. 翠芦莉栽培技术. 中国花卉园艺, 2015, (20): 39-39.
- [40] 杨锋利, 杜保国, 罗国荣, 何晓芸, 罗雪梅. 花叶络石愈伤组织培养初探. 北方园艺, 2010, (23): 143-145.
- [41] 王秋姣, 廖飞勇, 唐红. 水分胁迫对花叶络石光合和荧光参数的影响. 中国农学通报, 2012, 28(19): 215-219.
- [42] 芦昌兴, 李鹏程, 宫雪亮. 济南地区净化型雨水花园结构参数优选与试验研究. 中国农村水利水电, 2018, (10): 13-18.
- [43] 匡彬, 欧阳二明, 汪涛. 基于 LID 的小区绿色雨水系统径流量控制研究. 中国给水排水, 2015, 31(23): 134-138.
- [44] 李家科, 李亚, 沈冰, 李亚娇. 基于 SWMM 模型的城市雨水花园调控措施的效果模拟. 水力发电学报, 2014, 33(4): 60-67.
- [45] 高建平, 潘俊奎, 谢义昌. 生物滞留带结构层参数对道路径流滞蓄效应影响. 水科学进展, 2017, 28(5): 702-711.
- [46] Trowsdale S A, Simcock R. Urban stormwater treatment using bioretention. Journal of Hydrology, 2011, 397(3/4): 167-174.
- [47] 宋梦琪. 城市雨水系统中低影响开发与绿色水基础设施及其实例. 环境科学与管理, 2013, 38(3): 69-71.