

海绵城市雨水花园植物造景的探索与实践

——以 2016 上海(国际)花展上海师范大学景点为例

代文斌¹, 蒲雅丽¹, 高昕¹, 陈佳瀛¹, 郭水良¹, 刘梅²

(1. 上海师范大学, 上海 200234; 2. 上海湘工生态科技有限公司, 上海 200333)

摘要 根据当今社会对于海绵城市建设的需求, 应用特色植物种质资源, 结合 2016 上海(国际)花展“精致园艺、美丽家园”的主题, 从植物种类、主题创意、景观布局、水循环系统、季相表现、色彩配置、造景技术等方面分析了上海师范大学景点“水清木华、师风海韵”雨水花园的构建特色。探讨了将特色种质资源的开发与应用、植物造景、生态型自洁水循环系统三者有机结合对构建生态环境友好型社会和未来海绵城市建设发展的重要意义。

关键词 特色种质资源; 植物造景; 自洁水循环系统; 雨水花园; 上海师范大学

中图分类号 S688 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)12-0165-06

Exploration and Practice of Rainwater Garden Plants in Sponge City—Based on Scenic Spot Construction of Shanghai Normal University in 2016 Shanghai (International) Flower Exhibition

DAI Wen-bin, PU Ya-li, GAO Xin et al (Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

Abstract According to the needs of the construction of sponge cities in today's society and the application of characteristic plant germplasm resources, the construction features of “Clarity of water and magnificence of wood, Master of style and charm of the sea” rainwater garden in Shanghai Normal University were analyzed from the plant species, the theme of creativity, landscaping layout, water circulation system, seasonal performance, color configuration, landscape technology and other aspects, which combined with the topics of 2016 Shanghai (International) flower exhibition that is “exquisite gardening, beautiful home”. It was discussed that the development and application of special germplasm resources, plant landscaping, ecological self-cleaning water circulation system is the organic combination of the three on the ecological environment friendly society construction has important significance for the future development of the city construction sponge.

Key words Characteristic germplasm resources; Plant landscaping; Self-cleaning water circulation system; Rainwater garden; Shanghai Normal University

随着城市化快速推进、城市规模的急剧扩张, 大多数城市的原有绿色生态肌理和水循环系统遭到了不同程度的破坏。为了适应城市的环境变化, 应对热岛效应给城市发展带来的巨大压力, 构建可吸纳、可吞吐、可净化的海绵城市雨水花园迫在眉睫。杨锐等^[1]对雨水花园的定义是: 雨水花园是在地势较低区域种有植物的专类工程设施, 它通过土壤和植物的过滤作用净化雨水, 减小径流污染, 同时消纳小面积汇流的初期雨水, 减少径流量。近些年来国外相关研究学者 Alejandro R. Dussailant、Pradnya Bhimrao More 以及国内的罗红梅、王淑芬、俞孔坚等专家对于海绵城市雨水花园的建设已经做了大量的论述和实践^[2]。例如国内专家俞孔坚和李迪华提到的“河流两侧的自然湿地如同海绵, 调节河水之丰俭, 缓解旱涝灾害”城市规划设想^[3], 形象地将城市中河流两侧湿地比为可吸纳吞吐的海绵, 利用得当将受益良多。美国、英国、澳大利亚、德国、日本等发达国家的海绵城市建设已经取得可观成果^[4-7]。可以认为海绵城市是未来城市发展的一个重要方向。构建海绵城市在园林绿化建设中的主要途径包括建设下沉式绿地、建设绿色屋顶、建设植草沟、建设植被缓冲带、建设生物滞留池等^[8], 而建造雨水花园是实现海绵城市的一个重要技术与设计手段。对于海绵城市的建设, 国内有关企业已经经过了很多年的探索, 获得了大量成果, 例如上海师范大学产学研合作教育实践基地上海湘工

生态科技有限公司在最新的 2016 世界城市日上海论坛海绵城市分论坛中做了海绵城市实践成果主题报告, 介绍了企业方面的实践经验及所获得的成果。但目前在雨水花园的植物选配、植物造景布局、水循环应用等方面还存在一些相关问题, 因此近两年通过上海(国际)花展的平台与相关企业合作, 共同探讨、研究解决雨水花园建设中的有关问题^[9]。

笔者借用上海国际花展平台和相关企业合作进行了海绵城市雨水花园造景的实践和探索, 而上海(国际)花展是由中国公园协会和上海市绿化和市容管理局共同主办, 上海植物园承办的国内领先、国际一流的花展盛事。通过 2016 上海(国际)花展上海师范大学景点的构建, 重点从植物造景和生态型自洁水循环系统结合方面进行了有益的探索和实践, 以为构建生态环境友好型社会提供可靠的实践依据。

1 雨水花园植物资源的选用

1.1 雨水花园中植物选择的重要性 雨水花园的设计建造中, 植物的选择与搭配举足轻重, 其作用也是多重的, 其中主要包括污染物的吸纳与净化、景观观赏性的构造、雨水的滞留与渗透以及生态功能等。雨水花园中功能性植物的合理配置能够使传统的雨水管理模式得到大幅度改善, 区域内的水资源也因此得到合理分配, 地下水得以补充; 通过对雨水的回收以及利用, 控制水体资源的水质污染, 改善区域内的水资源环境以及绿地景观环境。

1.2 雨水花园中植物选择的原则和依据 雨水花园既是一种有效的雨水收集和净化系统, 也是装点区域环境的景观系统, 其植物的选择前提是科研功能与园林设计相结合, 即植物配置集去污性及观赏性于一体^[10]。在植物的选择与配置

作者简介 代文斌(1992—), 男, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向: 生态学背景下园林景观植物的应用。

收稿日期 2017-01-15

时主要考虑以下几点原则:①生态原则。选择本地植物,避免选择入侵性植物;选择根系较发达、生长快速、茎叶肥大的植物,以起到相应的净化功能;选择既耐旱又能耐短暂水湿的植物。②观赏原则。选择香花性植物,以吸引昆虫等生物;选择姿态优美、绚丽的植物,以增强观赏性。③经济原则。通过相关植物的选择可以产生相应的经济价值。④特色性原则。选择特色种质资源。

表1所列出的植物为适应我国气候与土壤特点,且能用于雨水花园的部分植物种类,在不同地区可以有选择性地使用^[11]。

表1 我国雨水花园建议植物

Table 1 The recommended plants of rainwater garden in China

序号 Code	分类 Classification	植物名称 Name of plant
1	宿根花卉	鸢尾、马蔺、紫萼跖草、金光菊、落新妇属、蛇鞭菊、沼泽蕨、萱草类、景天类、芦苇
2	草本植物	狐尾草、莎草、柳枝稷、发草、玉带草、藿香蓓、扫帚草、半枝莲
3	灌木	冬青、山胡椒、杜鹃、唐棣、山茱萸属、接骨木、齿叶莢蒾、木槿、柞柳、胡颓子、海州常山、海棠花、西府海棠、紫穗槐、杞柳、夹竹桃
4	乔木	红枫、枫香、麻栎、钻天杨、桂香柳、旱柳、榉树、白蜡、杜梨、乌桕、榕树

1.2.1 植物的净化作用。雨水花园中的植物可促进污染物的吸收,并能通过蒸腾作用削减水量,其根系可以调节填料渗透能力。Lucas等^[12-13]研究表明植物利于雨水花园对营养元素控制,不同种类植物对氮去除有显著影响。

根据对上海市区非渗透性地面径流污染特性研究,径流事件平均浓度中值为:COD 205.00 mg/L, BOD 568.00 mg/L, SS 185.00 mg/L, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 3.14 mg/L, TP 0.40 mg/L, TN 7.23 mg/L,这表明上海市地表径流污染严重,污染程度远高于国外^[14]。

针对上海市径流污染负荷特点,在污染较严重地区,规模较大的雨水花园设计时应尽量设置预处理部分,预处理设施有植草缓冲带、植草沟、前池等。植草缓冲带、植草沟常用于道路、停车场等区域,前池在设施特别大时适用。预处理部分可以减小雨水花园的污染负荷,防止TSS对雨水花园堵塞,利于其长期稳定运行^[15]。

1.2.2 植物的观赏功能性。为了提高环境内景观功能性,在植物的选配上不仅要考虑植物的净化功能,还要同时考虑其观赏功能,应选择适当的观赏植物与雨水花园构造结合,营造观赏性较高的绿地空间,所选配的植物避免与主导净化功能的植物形成竞争关系。

1.2.3 特色种质资源选用。除了表1中雨水花园常配植物,在特色植物的选用方面结合当地气候与地理条件等因素选用了大量苔藓植物、特色种质蔬菜、特色藤蔓瓜果以及各类保持水土能力比较强的地被植物等。

1.2.4 季相表现。花展是一个持续数月的项目,在花展布景规划前期就要设计好不同时期所要表达的花卉。为此依

据上海气候特点与上海(国际)花展展览的时间,综合利用了展区内原有种质资源,并经过精心的场地规划、花材选取,使景点在展出的过程中实现了不同花卉在不同时期竞相争艳的景象。

花展初期白晶菊、金雀花、喷雪花等花团锦簇;到了花展中期,之前娇羞的蓝花鼠尾草、黄金菊、美女樱、薰衣草等竞相开放;花展末期榆叶梅、八仙花在阳光的沐浴下争奇斗艳。

1.3 植物资源选材分析 本次花展中,除了配植雨水花园建造中所用到的根系发达、净化能力强、耐水污染的植物以及景观功能与生态适应性相符的植物外,还大胆引用了国内外景观设计中鲜有使用的苔藓植物以及部分特色种质蔬菜瓜果等。

1.3.1 苔藓类。此次花展中引入了大量的大灰藓、青藓等苔藓植物进行苔藓植物造景。苔藓植物应用于造景植物主要有适应性强、抗性强、不易受病虫害侵袭、体积小、质地细腻,具有良好的水土保持能力等优势。苔藓植物用于园林宏观方面造景,大多体现在苔藓专类园大视野范围中苔藓植物的造景应用^[16]。创新性地将苔藓植物与生态毯完美结合制作出模块化苔藓景观单元,进而配置出景点中最吸引眼球的苔藓景观猴、苔藓景观柱以及苔藓生态墙等景观(图1)。

1.3.2 蔬菜类。观赏菜是既可食用又可观赏的一类新型蔬菜的总称,是介于花卉与蔬菜之间的一种崭新的有明确内涵的蔬菜新类别^[17]。观赏蔬菜种类繁多,此次花展中运用了多种特色观赏蔬菜不仅具有食用价值,还具有一定的造型和色彩上的观赏特点。比如特种生菜、紫叶甜菜、苦苣、紫叶甘蓝等(图2)。

1.3.3 观赏果实类。色彩不同、形态各异的观赏南瓜也被应用于这次花展的布景中,例如果实小巧可爱、表面色泽鲜亮的金童以及外表洁白无瑕的迷你白玉南瓜(图3)。瓜类植物因其经济价值高,最初主要作为蔬菜栽培,也常植于庭院,作为观赏植物栽培的历史较短。就垂直绿化而言,瓜类植物最应用于庭院和居民区,也是农业观光园的主要材料^[18]。

1.3.4 观赏花木类。此次花展的持续时间比较长,为了适应季节交替气候的变化,结合构建海绵城市雨水花园的要求,选用了耐污能力强、耐湿性好且植物造型优美的金叶石菖蒲、铜钱草,根系发达、茎叶繁茂、净化能力强的彩叶杞柳、蓝叶忍冬、榆叶梅,以及造景必要的各类芳香植物,如杜鹃、喷雪花、金雀花、紫花美女樱、白晶菊、黄金菊、八仙花、美人蕉等(表2)。

2 雨水花园植物造景

花展的景观效果和艺术水平高低与植物景观设计有着密不可分的关系。植物以其优美的姿态、绚丽的色彩、沁人的芳香、自然的声响、诗画般的风韵在园林中创造着丰富多彩的美景^[19]。同时绿色植物具有净化空气、涵养水源、降低噪音、停滞尘埃、调节气候等改善和保护环境的生态功能,为人们创造了清新优美的环境,因此,园林造景中植物扮演着非常重要的角色。



图1 苔藓景观猴、苔藓景观柱以及苔藓生态墙

Fig.1 Moss landscape monkey, moss landscape column, and moss ecological wall



图2 特色种质蔬菜

Fig.2 Characteristic germplasm vegetables

2.1 植物造景主题创意 结合学校和专业的特色,此次花展中上海师范大学的景点主题为“水清木华,师风海韵”。结合了众多国际花展中要培养真正具有实践能力的未来园艺设计师的要求,众多专家教师带领学生集思广益,以上海师范大学特色种质资源为素材,结合花展“精致园艺、美丽家园”的主题,融合了学校园艺专业特色,在上海湘工生态科技有限公司合作支持下,从图纸设计到具体施工全方位营造了一个匠心独运、生机盎然的景点。此次采取的校企合作模式使得学生的视野、能力得到了极大提升,收获颇多,同时也赢得了社会的广泛认可和赞扬。来自以色列耶路撒冷植物园总工 Mr. Ori Fragman-Sapir 作为专业评委给予景点特别关注和肯定。

上海师范大学特色种质资源与展区原有种质资源在设

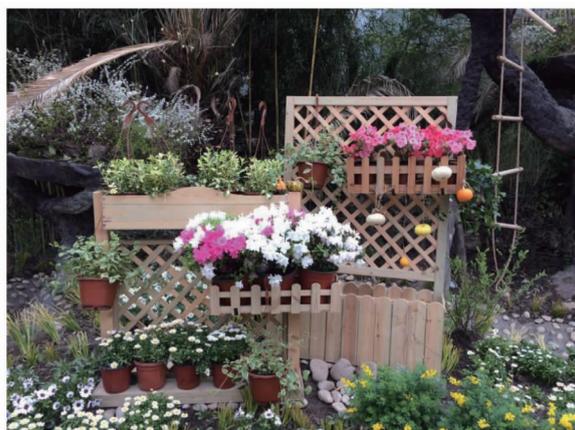


图3 特色观赏果实

Fig.3 Characteristic ornamental fruit

计下有机结合,紧扣“水清木华、师风海韵”的主题,通过清澈的水系景观与部分木本植物的应用营造出“水清木华”的感觉;利用原有竹林以及羽叶飘逸的加拿利海枣作为基本背景,搭配层层蓝羊茅所表现的淡淡蓝色营造出“师风海韵”之感。其中五彩夺目的花朵在整个绿色背景的衬托下显得更加清晰生动,像被赋予生命的精灵,生机勃勃。

2.2 植物造景观观布局

2.2.1 现状分析。 景点选址在上海植物园内展览温室旁,占地 150 m²,整体呈圆弧状,地块狭长无法集中表现景观,加上地势高低起伏使得造景更加困难。原有植物加拿利海枣三棵、洒金珊瑚两株、云南黄馨若干、竹子若干,地被植物则以杂草为主,具有景观表现性差、生态功能不完善、植物利用率低等特点(图4)。

2.2.2 景观布局。 2016 上海(国际)花展上海师范大学景点主要作为“海绵城市雨水花园”的缩影,对生态型城市雨水花园为特色的庭院景观做了重点展示。整体景观呈圆弧状,南北走向,总面积近 150 m²,东部背靠植物园展览温室,西面为水泥路,主要分为庭院景观、灵芝景观、文化景观 3 部分进行展示,精心设计的水循环灌溉系统贯穿其中,将 3 部分展区

柔性相连。3部分展区起承转合,不仅将植物运用和园艺技
艺做了充分展示,更是对“精致园艺、美丽家园”主题的完美

表2 上海师范大学景点造景植物种类

Table 2 Plant species in the landscaping of the Shanghai Normal University

序号 Code	种名 Species	科名 Family	属名 Genus	学名 Scientific name	功能 Features
1	大灰藓	灰藓	灰藓	<i>Hypnum plumaeforme</i> Wils.	涵养水源,易于造景
2	勃氏青藓	青藓	青藓	<i>Brachythecium brotheri</i> Par.	涵养水源,美化景观
3	大花美人蕉	美人蕉	美人蕉	<i>Canna generalis</i> Bailey	岸边植物,色彩艳丽
4	金叶石菖蒲	天南星	菖蒲	<i>Acorus tatarinowii</i> Schott	净化水质
5	中华天胡荽	伞形	天胡荽	<i>Hydrocotyle chinensis</i> (Dunn) Craib	水景常用植物,净化水质
6	美女樱	马鞭草	马鞭草	<i>Verbena hybrida</i> Voss	良好的地被材料
7	矮羊茅	禾本	羊茅	<i>Festuca coelestis</i> (St. -Yves) Krecz. et Bobr	耐寒,耐旱,花境常用
8	八宝景天	景天	八宝	<i>Hylotelephium erythrostictum</i> (Miq.) H. Ohba	耐旱,常用地被,形态优美
9	火焰南天竹	小檗	南天竹	<i>Nandina domestica</i> Thunb	色彩亮丽,具有一定药用价值
10	彩叶杞柳	杨柳	柳	<i>Salix integra</i> Thunb	耐寒,耐湿,形态美观
11	狭叶忍冬	忍冬	忍冬	<i>Lonicera angustifolia</i> Wall. ex DC	花美叶秀,观赏价值高
12	榆叶梅	蔷薇	扁桃亚	<i>Amygdalus triloba</i> (Lindl.) Rucker	根系发达,观赏价值高
13	生菜	菊	莴苣	<i>Lactuca sativa</i> Linn. var. <i>ramosa</i> Hort	可食用,具有经济价值
14	茼蒿青	十字花	芸苔	<i>Beassica napobrassica</i> (L.) Mill	具有观赏,食用价值



图4 现状分析

Fig. 4 Analysis of current situation



图5 景观布局

Fig. 5 Landscape layout

2.2.2.1 庭院景观区。庭院景观展区通过将石板桥、子母灯、秋千、洗手台、景墙等硬质景观与蓝羊茅、铜钱草、鸢尾、蓝花鼠尾草、榆叶梅等植物所构成的植物景观以及水景观相结合的方式集中体现家庭庭院、雨水花园的生态理念。蓝羊茅地被中点缀的几块小石板与石板桥相连,将人们的视线引向竹林深处的秋千,增加景深的同时对人们的视线起到

了一定的引导性作用。其中的景墙上将苔藓进行模块化造景,构造出上海师大的英文缩写 SHNU,其中U更是进行了镂空处理,景墙后的榆叶梅在风的吹拂下若隐若现,别有一番风味(图6)。景墙前面的池塘是水循环的重要节点,雨水在这里大量聚集。自然沉淀后的雨水经过收集被用于周围植物的灌溉,多余的水一部分自然下渗,另一部分则用于第2部分灵芝水景观。



图6 庭院景观

Fig. 6 Courtyard view

2.2.2.2 灵芝造型景观区。灵芝造型景观展区由2组形状各异、高低不同的灵芝树桩结构构成,它们分别被应用于跌水景观、特色种质蔬菜的配置。3组跌水景观设计使得人们不仅可以观赏到优美的跌水景象,还可以享受到由于水流落差而带来的清脆声音,配以模块化后的苔藓所制作的“苔藓生态猴”令其极富动态美感。再加上特种生菜、紫叶甜菜、紫甘等特色种质蔬菜的应用,使得该展区受到大量游客的欢迎(图7)。

2.2.2.3 文化主题景观区。文化景观展区主要由上海师范大学校徽与合作公司上海湘工生态科技有限公司标志两部



图7 灵芝造型景观

Fig. 7 Ganoderma lucidum-modeling landscape

分构成,通过运用大量的植物来进行创意造景。其中运用到植物主要包括薰衣草、火焰南天竹、八宝景天、丛生福禄考等。景墙部分上海师范大学标志与地面部分上海湘工生态科技有限公司标志通过投影的方式遥相呼应,象征着上海师范大学校企合作办学模式的办学特色与办学理念(图8)。



图8 文化景观

Fig. 8 Cultural landscape

3 雨水花园生态型自洁水循环系统构建

3.1 生态型自洁水循环系统的功能 生态型自洁水循环系统主要起到维持雨水花园具有高效的涵养水、净化水、利用水的功能,在此基础上通过与植物石材的结合增强其视觉效果,美化景观并具有一定的观赏功能。

3.2 海绵城市新型城市雨水管理理念 海绵城市的建设突破了传统的“以排为主”的城市雨水管理理念,通过渗、滞、蓄、净、用、排等多种生态化技术,构建低影响开发,具有自然循环的“绿色海绵”雨水系统,使整个城市容易适应新的环境^[20]。

3.3 雨水花园生态型自洁水循环系统

3.3.1 雨水花园结构要素。一般而言,雨水花园技术4个

基本构成要素分别为地势落差、种植基质、植物、加固构筑。典型的雨水花园土壤结构主要由5部分组成,由表及里分别是蓄水层、覆盖层、种植土层、砂层以及砾石层。雨水花园作为一种生态可持续的雨水管理以及利用设施,与其他形式的景观技术相比,有针对性强、建造费用低、运行管理简单、自然美观、易与建筑结合的优点^[21]。

3.3.2 生态型自净水循环系统结构。根据建设海绵城市的要求,规划设计了适宜的水循环灌溉系统贯穿整个展区,通过设置不同水景的形式将3部分展区有机结合起来,同时这也使得上海师范大学展区雨水花园具有观赏和水循环灌溉两重功能。整个水系以人工挖掘的沟渠为纽带,利用原有地势起伏的特点,使得渠内水流随着地势起伏自然流动,极富动态美。灵芝景观区的跌水设计营造出的动态水景无疑成为整个作品的亮点之一。庭院景观部分的池塘则为自然式水池,不规则的池面设计体现出自然流畅的感觉,水生植物以及池中锦鲤的配置又使其充满勃勃生机。而由沟渠和池塘所构成的生态型自净水循环系统在良好的防水材料的承载下不仅具有良好的涵养水源的能力,还可以有效降低水体污染状况,其中散布的灌溉系统为景墙、苔藓景观柱等提供适宜的灌溉水,符合构建生态型海绵城市的要求,也充分展现了雨水花园的功能特性。

3.3.3 生态型自洁水循环系统构建技术。

3.3.3.1 基础构建技术。基础构建方面包括渗透层的处理、储水层的构建、透水层的构建、生态毯的铺设以及腐殖质土的铺设。对原区域土地翻新,将底部渗透层处理均匀,储水层和透水层均以砂质为主,然后将生态毯铺于透水层上,最后铺置腐殖质土壤。在对原有土壤分析下调整了土壤基质,使其不仅能够保证地表植物的生长,更是提高了蓄水性能。

3.3.3.2 水循环系统构建技术。根据原有地形条件设计并挖掘了水循环系统中地表水径流渠以及水池,挖掘时经过精准的测尺,以保证整个地势与径流渠坡度适宜,使得水能够按照预定轨迹流动,其中在适宜位置散布一定量的鹅卵石,使得地表水渠以及水池一方面在雨量比较大时能够起到良好的蓄水作用,另一方面具有一定的美化景观的作用。由于地势的影响,在该区域的后部设置了地表水动力回收单元,将地表水回收循环再利用,形成水利用环带。不仅可以维持地表水流量的平衡,还可以引出多个单独管道形成灌溉系统,给植物补给水分。此外,多余的水可用于水景观中实现静水与动水的统一。

3.3.3.3 植物造景技术。海绵城市建设为新常态下的风景园林行业提供了发展机遇,同时也对园林绿化的规划建设和管理维护提出了更高的要求^[22]。雨水花园中植物栽植时主要注意植物根系的牢固处理,根据植物习性选配生境,遵循同习性植物种类靠近原则等。

植物造景是一个复杂多样的有机体,需要综合考虑植物生长和景观变更等众多因素,要求必须用长远和发展的眼光来设计和造景。而合理的后期养护与管理是其能够可持续

发展的强力保证,理应是植物造景中非常重要的一部分。园林景观的管理养护过程是一项全面的、系统的、长期的工作,有很强的季节性,不同的季节有不同的养护工作,不能急也不能缓^[23]。

3.3.3.4 苔藓柱、景观猴造景技术。根据景观造型将苔藓固定于生态无纺布上,对其进行模块化处理,然后用钢制骨架将其固定于水泥柱以及猴子景观表面,配合水循环系统提供的灌溉水能够保证苔藓植物的正常生长,最终在立体层面上实现绿化功能,完成硬质景观的“软化”过程。

4 结论与讨论

上海师范大学借用上海国际花展的平台,与上海湘工生态科技有限公司合作,从特色种质资源的选用、植物造景、生态型自洁水循环系统3个方面构建了海绵城市雨水花园,实现了海绵城市雨水花园美化、净化、柔化环境三重功能。最终,上海师范大学景点被上海(国际)花展组委会评为“金奖”。

在此次雨水花园的构建中遇到了一些问题,比如造景过程中受反常气候的影响,展区原有的加拿利海枣叶片黄化,严重影响了景点整体效果的展现;灵芝造型水景观中由于地势落差较大,导致跌水景观效果受风力影响较大,景观效果受到影响;另外,受地理位置的影响,风雨带来的落叶以及沙尘落入水池及水渠中,超过了该循环系统的净化能力最大值,使得整个水系的循环、自洁功能受到一定影响。这些问题在2016年上海秋季花展中运用相关苔藓和地被植物对土壤进行更好的固着,降低其所受风力的影响,使得该区域保持水土保持能力得到增强,同时减少了水量的流失;水景部分通过减小地势落差来实现跌水水景的最佳效果,但落叶对水质的影响还有待在今后的研究实践中找寻更好的解决方法、途径。

海绵城市的建设不是一朝一夕就能够完成的项目,而建造雨水花园是实现海绵城市的一个重要技术手段。将特色种质资源的开发与应用、植物造景技术、生态型自净水循环系统三者有机结合起来构建生态环境友好型社会将是未来海绵城市建设以及园艺行业的发展方向。

参考文献

[1] 杨锐,王丽蓉. 雨水花园:雨水利用的景观策略[J]. 城市问题,2011

(12):51-55.

- [2] 万映伶,王美仙. 国内外雨水花园研究综述[J]. 建筑与文化,2015(7):127-129.
- [3] 俞孔坚,李迪华. 城市景观之路:与市长们交流[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2003:149.
- [4] 杨林霞. 国内外海绵型城市建设比较研究[J]. 黄河科技大学学报,2015,17(5):71-75.
- [5] HANDEL S N. Squeezing more ecological value from the SpongePark™ [J]. Ecological restoration,2011,29(4):403-404.
- [6] LIU C M, CHEN J W, HSIEH Y S, et al. Build sponge eco-cities to adapt hydroclimatic hazards[M]. Berlin:Springer-Heidelberg,2015:596-600.
- [7] ISHIMATSU K, ITO K, MITANI Y, et al. Use of rain gardens for stormwater management in urban design and planning[J]. Landscape and ecological engineering,2017,13(1):205-212.
- [8] 马华青. 海绵城市建设途径研究:以园林绿化建设为例[J]. 林业科技通讯,2015(9):62-63.
- [9] 陈佳瀛,李新国,戴洪,等. 2015年上海(国际)花展中上海师大特色种质资源的配置造景[J]. 上海师范大学学报(自然科学版),2015,44(6):645-649.
- [10] 刘佳妮. 雨水花园的植物选择[J]. 北方园艺,2010(17):129-132.
- [11] 王淑芬,杨乐,白伟岚. 技术与艺术的完美统一——雨水花园建造探析[J]. 中国园林,2009(6):54-57.
- [12] LUCAS W C, GREENWAY M. Nutrient retention in vegetated and nonvegetated bioretention mesocosms[J]. Journal of irrigation and drainage engineering,2008,134(5):613-623.
- [13] BRATHERES K, FLETCHER T D, DELETIC A, et al. Nutrient and sediment removal by stormwater biofilters: A large-scale design optimisation study[J]. Water research,2008,42(14):3930-3940.
- [14] 林莉峰,李田,李贺. 上海市城区非渗透性地面径流的污染特性研究[J]. 环境科学,2007,28(7):1430-1434.
- [15] 王建军,李田. 雨水花园设计要点及其在上海市的应用探讨[J]. 环境科学与技术,2013,36(7):164-167.
- [16] 陈俊和,蒋明,张力. 苔藓植物园林景观应用浅析[J]. 广东园林,2010,32(1):31-34.
- [17] 王小文,曹越,徐迎春. 观赏蔬菜在园林配置造景中的应用[J]. 山东林业科技,2008,38(5):50-52.
- [18] 臧德奎. 观赏瓜果及豆类攀缘植物的造景应用[J]. 林业与生态,2012(11):36-39.
- [19] 陈晓娟,潘迎珍,吉文丽. 论园林植物造景艺术[J]. 西北林学院学报,1995,10(1):84-88.
- [20] 吴丹洁,詹圣泽,李友华,等. 中国特色海绵城市的新兴趋势与实践研究[J]. 中国软科学,2016(1):79-97.
- [21] 陈杰,龚颖. 现代农业景观中雨水花园技术的运用:以武汉市木兰古镇农业生态观光区蔬果园规划设计为例[J]. 现代园林,2011(1):32-36.
- [22] 白伟岚,王媛媛. 风景园林行业在海绵城市构建中的担当[J]. 北京园林,2015,31(4):3-6.
- [23] 隆晓明. 浅谈园林养护精细化管理对园林景观的影响[J]. 中国农业信息,2012(19):84.

(上接第151页)

- [8] RAYMOND P, MUNSON A D, RUEL J C et al. Spatial patterns of soil microclimate, light, regeneration, and growth within silvicultural gaps of mixed tolerant hardwood-white pine stands[J]. Canadian journal of forest research,2006,36(3):639-651.
- [9] 段文标,李岩,王小梅. 小兴安岭红松阔叶混交林林隙土壤温度的时空分布格局[J]. 应用生态学报,2009,20(10):2357-2364.
- [10] ZHU J J, TAN H, LEE F Q, et al. Microclimate regimes following gap for-

mation in montane secondary forest of eastern Liaoning Province, China [J]. Journal of forestry research,2007,18(3):167-173.

- [11] CLINTON B D, BAKER C R. Catastrophic windthrow in the southern Appalachians: Characteristics of pits and initial vegetation response[J]. Forest ecology and management,2000,126(1):51-60.
- [12] COLLINS B S, PICKETT S T A, WHITE P S. Response of forest herbs to canopy gaps and the ecology of natural disturbance and patch dynamics [M]. London: Academic Press,1985:218-234.