

雨水花园植物的选择与设计

王 佳,王思思,车 伍,李俊奇

(北京建筑工程学院,城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室,北京 100044)

摘 要:雨水花园是重要的低影响开发雨水控制措施,它可以有效净化雨水中的污染物,削减径流总量及峰值流量,降低径流速度,且具有很好的景观和生态功能。植物是雨水花园的关键要素,对雨水滞留净化功能、生态功能和美学价值起着至关重要的作用。结合国内外针对雨水花园中植物的功能及环境因素方面的相关研究,总结了植物在雨水花园中的作用以及影响植物生长与功能的主要环境因素;概括了雨水花园中植物的选择与设计方法,并以北京为例,列举了适合应用在雨水花园中的植物;指出我国在雨水花园植物方面需要进一步开展的研究方向。

关键词:低影响开发;雨水花园;植物种类;景观设计

中图分类号:S 688 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)19-0077-05

低影响开发(Low Impact Development, LID)是指采用源头控制的理念,应用小规模、低成本的雨洪控制利用措施,来尽可能维持或恢复场地开发前的水文特征^[1-2]。大量研究和实践表明,LID是应对城市水涝、径流污染、地下水位下降、生态恶化等突出雨洪问题的一种有效理念和方法,在发达国家及我国得到积极推广和应用。低影响开发雨水系统与城市绿地、开放空间密不可分,相当一部分雨水设施,如雨水花园、下凹式绿地、植被浅沟等,都成为了绿地景观中的新要素。与此同时,随着生态、低碳、节能减排等理念的不断深入,越来越多的设计师主动地将城市雨水管理与景观设计有机地结合在一起,创造了具有显著环境生态功能、强烈艺术感染力,并且深受公众喜爱的生态景观。近几年美国景观设计师协会(ASLA)的年度获奖作品中就不乏此类项目^[3]。由此可见,与雨洪管理结合已成为当代景观设计发展的重要趋势和亮点之一。

雨水花园(Rain Garden,也称 Bioretention)是低影响开发体系中一项重要技术措施,它以生态可持续的方式来实现小汇水面(如停车场、街道、庭院等)的雨水净化、滞留、渗透及排放^[4-5],同时由于其显著的景观和生态功

能,已广泛地应用在居住区、道路、商业区等不同类型的园林景观中。植物是雨水花园的重要组成部分,也是景观重要的设计要素之一。雨水花园中植物的选择原则,除了考虑植物景观功能以外,更重要的是要考虑何种植物能在雨水花园特殊条件下生长良好,并能最大限度的发挥其功能。国外研究者对雨水花园中植物的选择与设计进行了较为深入的研究。如美国、澳大利亚及加拿大的学者针对雨水花园中植物的特殊功能,不同植物对雨水中污染物的去除能力的差异以及存在这种差异的原因,不同环境因素对雨水花园植物的影响进行了大量试验研究^[6-13]。研究表明,植物对雨水花园功能的发挥起着至关重要的作用,合理的植物选择与设计是雨水花园能够更好的发挥并长期维持其功能的关键。

目前,我国针对雨水花园的研究和应用主要集中在雨水花园的规模、结构和组成上^[14-15],而对雨水花园中植物的功能及植物选择原则、设计方法等方面的研究还较薄弱。这导致在雨水花园的设计、实施阶段,设计师往往难以清晰地回应各方对植物生长状况和净化效果等方面的疑问,一定程度上制约了我国雨水花园在城市生态建设中的推广应用。因此,针对雨水花园中植物选择原则与设计方法进行研究探讨,具有重要的理论与工程实践意义。

1 植物在雨水花园中的功能

植物在雨水花园中所起的作用多种多样,主要包括污染物吸收与净化,雨水滞留与渗透,审美与环境教育及生态功能等。

1.1 污染物吸收与净化

屋顶、道路以及其它不透水面的污染物质会随着降雨径流进入雨水花园中,这些污染物质包括沉积物、营

第一作者简介:王佳(1986-),女,在读硕士,研究方向为城市雨水与水环境系统工程。

责任作者:王思思(1983-),女,博士,讲师,研究方向为城市雨水管理与风景园林的结合。

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项资助项目(2010ZX07320-002);城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室研究基金资助项目;北京建筑工程学院博士科研启动基金资助项目(101100802)。

收稿日期:2012-05-29

养物和重金属等。雨水花园中的植物可以吸收、净化雨水径流中携带的多种污染物。与传统工程措施相比,利用植物来转移、容纳或转化污染物,具有成本低、不破坏生态环境、不引起二次污染等优点。因此植物修复已成为景观设计和环境污染治理交叉领域的前沿性课题。

美国学者 Lucas 等^[6]对种植植物和未种植植物的土壤对氮、磷等污染物的去除效率进行了对比研究,结果表明种植植物的土壤能够更有效的吸收、净化雨水中的污染物(图 1)。研究还表明,生长速度较快、生物量较大的植物去污效果更佳,同时植物根系的生长可以在一定程度上提升土壤的吸收净化能力。

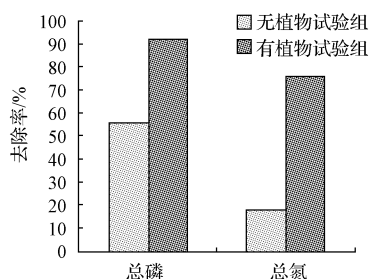


图 1 种植植物和未种植植物的土壤对氮、磷去除效率的比较

Fletcher 等^[7]、Read 等^[8-9]针对不同植物种类对雨水中的氮、磷的去除能力,进行了进一步研究(典型试验装置如图 2 所示)。试验结果表明,不同植物去除污染物的能力具有显著差异,莎草科植物(*Carex appressa*, *Ficinia nodosa*),灯芯草属植物(*Juncus*)及玉树(*Melaleuca ericiifolia*)表现出了良好的去污性能,而这些植物共同的特点就是根系发达^[7-9]。由此可以看出,发达的根系在去除雨水中污染物方面起决定性作用。

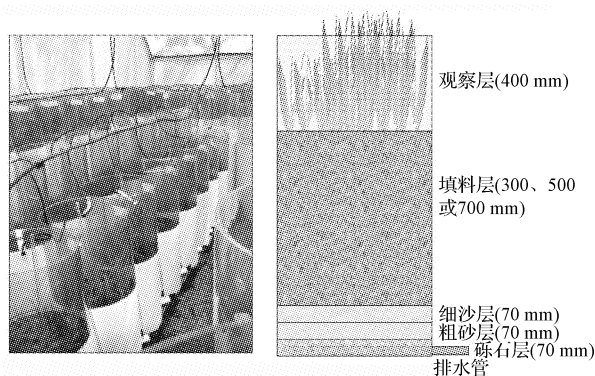


图 2 雨水花园植物净化试验装置示意图

1.2 雨水滞留与渗透

雨水花园的重要作用之一是在源头滞留雨水,减缓雨水径流。典型的雨水花园设计下凹深度为 100~250 mm,一般能够截留初期 12 mm 左右的降雨量^[15]。在雨水花园中,植物茎叶能够在一定程度上滞留雨水、减缓雨水径流;植物根系能够吸收渗透到土壤中的雨水,并通过

茎叶的蒸腾作用向大气中释放。植物根系还有助于维持土壤长期的渗透性能,是雨水花园发挥雨水渗透功能的关键。Lewis J F 等^[10]通过试验,监测在种植植物与未种植植物 2 种条件下,土壤长期渗透性能的变化,其试验结果表明,未种植植物的土壤,土壤渗透性能会逐渐下降,且难以自我恢复;而种植植物的土壤,随着植物根系的生长,土壤渗透性能逐渐恢复。其中一项试验表明,在 80% 沙壤土、10% 蛭石、10% 珍珠岩配比的土壤中,初始土壤渗透率为 300 mm/h,8 个月后土壤渗透率降低到 30 mm/h,随着植物根系的生长,21 个月后土壤渗透率恢复到 350 mm/h 以上。

1.3 审美与环境教育

植物是雨水花园中最重要的景观元素,它能够使雨水花园充满生机和美感。设计师可以充分利用植物本身的形态、线条、色彩、质地、尺度等特征,对不同植物进行艺术性地搭配,创造出别具一格的植物景观效果,带给人们不同的视觉享受。雨水花园的植物之美,还可以让人们充分领略到大自然的丰富多彩,消除对雨水工程措施的刻板印象,提高公众对雨水花园的接受程度,具有显著的环境教育功能。

1.4 生态功能

雨水花园中的植物为其它生物,如鸟类、昆虫等提供了栖息环境,植物的根系为地下的细菌及藻类的生长提供了良好的条件,另外,干湿交替的环境,也能在一定程度上提高雨水花园的生物多样性。

此外,植物通过光合作用吸收 CO₂ 释放 O₂,通过蒸腾作用吸收热量、增加空气湿度,能够改善空气质量、缓解热岛效应、调节微气候。

2 影响雨水花园植物生长的环境因素

雨水花园一般由植物层、蓄水层、种植土层、填料层、砾石排水层组成(图 3)。由于较为特殊的功能和工程结构,雨水花园内部形成了与一般绿地景观不同的生态环境。雨水花园在污染物、雨水淹没时间、干旱 3 个方面存在特性,在对雨水花园中的植物进行选择、设计和养护时,除了考虑植物的污染物吸收与净化功能、雨水滞留与渗透功能等,还需要考虑以下 3 个环境因素。

2.1 污染物

大量工程实践表明,对于一般的道路、屋面等场地,雨水径流中携带的氮、磷等营养物是植物生长所必需的,能够使雨水花园中的植物比常规园林绿地中的植物生长得更加茂盛。对于污染严重的道路、建筑工地或其它裸露土地,针对不同的污染状况可以采取不同的应对措施。氮、磷营养过剩的区域,会因为植物生长过高,在雨水冲刷过程中产生植物倒伏的现象;重金属污染严重的区域,重金属会在植物体内累积过多,对植物产生一定的毒害作用。在以上 2 种区域中选择根系发达、净化

能力强和耐污染的植物尤为重要。泥沙较多的区域,雨水径流会将大量的泥沙带入雨水花园中,导致雨水花园的蓄水区域变浅甚至阻塞雨水花园的填料层,需要对雨水径流进行必要的预处理,或对花园土壤表面的垃圾进行定期清理。此外,在冬季,行车道及停车场表面会积累大量的盐分,这些盐分会随着降雨径流或融雪径流进入雨水花园中,浓度过高会影响到植物的生长。如果设计的雨水花园冬季用于储存或接受融雪径流时,应尽量选择耐盐碱的植物^[11]。

2.2 雨水淹没时间

雨水花园的蓄水层在降雨时会暂时滞留雨水,但设计渗透时间一般不大于 48 h,所以雨水花园内的植物需要具有耐短时水淹的特性。Casanova M T 等^[12]针对雨水淹没的时间、深度以及频率对植物的影响进行了试验研究,结果表明雨水的淹没时间是影响植物生长最重要的因素,雨水淹没频率会影响雨水花园中的生物多样性,而雨水的淹没深度对植物生长及周围环境的影响最小。尽管水淹对植物的生长存在一定的负面影响,但很多植物经过长期进化,已经完全可以适应短期的水淹^[13],可以在雨水花园中生长良好。设计雨水花园时,还可以根据土壤的渗透性能,合理设计下凹深度和溢流口高度,来调节植物的水淹程度。目前我国关于植物耐淹特性的定量研究还很缺乏,急需针对雨水花园特殊的水淹条件,筛选和培育出具有耐淹特性的植物品种,以满足雨水花园设计和实施的需要。

2.3 干旱

在我国北方,降雨大多发生在夏季,雨水花园中的植物在非雨季及雨季的非雨期大多生长在比较干旱的环境中。在干旱条件下,植物的物质代谢、光合作用、呼吸作用和氮代谢等都会受到一定的限制,因此从节水原则出发,应在耐淹植物中,优先选择耐旱能力和适应能力较强的种类,以尽量减少对雨水花园植物的浇灌,节约宝贵的水资源。

3 雨水花园植物选择原则与设计方法

3.1 植物选择原则

根据上面的分析,雨水花园中植物的选择要考虑多方面的因素,既需要满足雨水花园的特殊环境条件(水文、土壤等),也要充分发挥植物的功能特性及景观特性。以下列举出雨水花园植物的选择原则:优先选择乡土植物,慎用外来物种,确保各物种之间不存在负面影响;选择根系发达、净化能力强、耐水污染的植物;选择既耐短期水淹又有一定耐旱能力的植物;尽量选择耐空气污染、土壤紧实等不良城市环境的植物;不同物种搭配选择(一般 3 种及以上),提高雨水花园的景观性、生物多样性、稳定性及功能性;尽量选择多年生植物及常绿植物,以减少养护成本。

3.2 雨水花园中植物配植方法

雨水花园中植物的配植要充分考虑植物在雨水花园中的生长环境、处理效果、景观效果等,既能形成物种稳定、功能健全的群落结构,又能形成具有良好视觉效果

的园林景观。在植物的生长环境方面,根据雨水花园中种植区不同的水淹情况,可将雨水花园种植区分为蓄水区、缓冲区、边缘区(图 3)。植物在这 3 个分区中的配植要充分考虑到不同植物的耐淹、耐旱特性。边缘区无蓄水能力,植物物种需要有较强的耐旱能力,对植物的耐淹能力无特别要求,可选用一般较耐旱的植物,与周边景观相衔接;缓冲区有一定的蓄水容积,对植物的耐淹特性有一定的要求,同时要求植物有一定的耐旱能力和抗雨水冲刷的能力;蓄水区植物物种耐淹能力和抗污染能力、净化能力要求最高,同时要求在非雨季的干旱条件下也要有一定的耐旱能力。

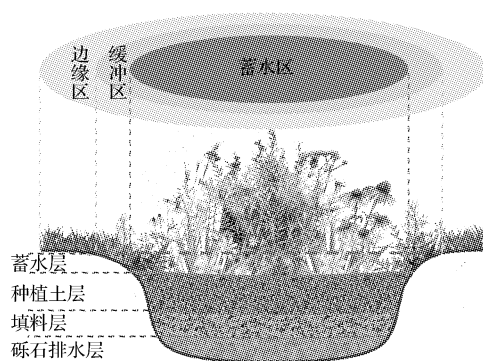


图 3 雨水花园蓄水分区示意图

在植物的处理效果方面,应充分考虑物种的生态位特征,避免物种之间对空间和养分的竞争;应根据植物根系深浅以及对不同污染物处理能力均衡配植;应以较高的种植密度配植,这样有助于减缓雨水径流流速,增加径流雨水在雨水花园中的停留时间,有助于对径流雨水中沉积物及其它污染物的去除。

在植物的景观效果方面,可以采取自然式和规则式等不同设计手法,通常自然式的雨水花园在后期维护方面较为简单,是比较环保和常见的做法。植物配植时需要考虑花期、色彩、形态、质地、季相等的搭配,以及乔、灌、草复层种植,保证雨水花园的观赏性。

此外,根据雨水花园与周边建筑物的距离和周围环境,雨水花园可以采用防渗或不防渗 2 种做法^[15],当雨水花园采用防渗做法时,应尽量避免采用根系过深会破坏防渗层的植物,如乔木及某些灌木;当处理后的雨水有回用要求或要求排入附近水体时,可以在雨水花园底部砾石层中埋置集水穿孔管^[14],这种结构的雨水花园也不宜配植根系过深的植物,根垂直向下及向水生长会阻塞砾石层中的穿孔管,影响雨水花园的正常运行。

3.3 北京地区可供雨水花园选择的植物

北京气候属暖温带半湿润半干旱季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温 14℃,年极端最高气温一般在 35~40℃,年极端最低气温一般在-14~-20℃。多年平均降雨量约为 600 mm,夏季降水量约占年降水量的 3/4。北京地区典型植被类型为温带落叶阔叶林。早在 1991 年,种玉麒等^[16]就已经针对北京地区雨洪利用的必要性及可行性进行了研究,对北京地区常见的草坪草进行了耐淹试验,结果表明,北京城区土质一般为砂质粘土,其稳定入渗率为 100~800 mm/d,在汛期一般

降水条件下不会产生浸泡时间过长的现象,北京城市草坪绝大多数草种均有耐淹能力,不会因暴雨影响其生长发育而破坏景观效果。另外,近年来引入城市绿化的观赏草,具有较好的耐寒性、耐旱性、耐淹性和抗病虫害能力,以及低维护的特点,也可以作为雨水花园的植物。此外,还有一些常见草花及木本植物可以种植在雨水花园中。根据上述植物选择原则,以及在北京地区已应用过的植物品种及其表现,列举出一些可供北京地区雨水花园选择的植物种类、生长特性及空间分布(表 1)。

表 1 北京地区可供雨水花园选择的植物种类

	名称	拉丁名	生长特性	种植区分布
草坪草	野牛草	<i>Buchloe dactyloides</i>	耐旱、耐淹、耐盐碱	缓冲区、蓄水区
	崂峪苔草	<i>Carex giraldiana</i>	耐寒、耐旱性强、较耐淹	缓冲区
	青绿苔草	<i>Carex leucochlora</i>	喜湿润、耐旱	缓冲区
	高羊茅	<i>Festuca arundinacea</i>	须根发达、较耐旱、耐湿	蓄水区、缓冲区
	黑麦草	<i>Lolium perenne</i>	须根发达、较耐旱、耐湿	缓冲区、蓄水区
	土麦冬	<i>Liriope spicata</i>	耐寒、耐湿、较耐旱	缓冲区、蓄水区
	草地早熟禾	<i>Poa pratensis</i>	耐寒、耐旱	边缘区
	结缕草	<i>Zoysia japonica</i>	耐寒、耐旱	边缘区
	野古草	<i>Arundinella hirta</i>	根茎粗壮、耐寒、耐旱、较耐湿	蓄水区、缓冲区、边缘区
	须芒草	<i>Andropogon scoparius</i>	耐旱、较耐湿	蓄水区、缓冲区、边缘区
观赏草	弯叶画眉草	<i>Eragrostis curvula</i>	根系发达、耐寒、耐旱	蓄水区、缓冲区、边缘区
	细叶芒	<i>Miscanthus sinensis</i>	耐寒、耐旱、耐淹	蓄水区、缓冲区、边缘区
	斑叶芒	<i>Miscanthus sinensis</i> ‘Variegatus’	耐寒、耐旱、耐淹	蓄水区、缓冲区、边缘区
	狼尾草	<i>Pennisetum alopecuroides</i>	根系发达、耐寒、耐旱、较耐盐碱	蓄水区、缓冲区、边缘区
草花	蛇莓	<i>Duchesnea indica</i>	喜湿润、耐旱	缓冲区、蓄水区
	萱草	<i>Hemerocallis fulva</i>	喜湿润、耐旱	缓冲区、蓄水区
	马蔺	<i>Iris lacteal</i>	根系发达、耐旱、耐盐碱	缓冲区、蓄水区
	黄菖蒲	<i>Iris pseudoacorus</i>	耐寒、耐旱、耐湿	蓄水区
	千屈菜	<i>Lythrum salicaria</i>	喜湿润、耐旱、耐盐碱	缓冲区、蓄水区
	八宝景天	<i>Sedum spectabile</i>	耐寒、耐旱、耐短期水淹	缓冲区、蓄水区
	垂盆草	<i>Sedum sarmentosum</i>	耐旱、耐湿、耐盐碱	缓冲区
	紫花地丁	<i>Viola chinensis</i>	喜湿润、耐寒、耐旱	缓冲区
	紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i>	耐寒、耐旱、耐湿、耐盐碱	缓冲区、蓄水区
	大叶黄杨	<i>Buxus megistophylla</i>	耐旱、耐湿	缓冲区、蓄水区
灌木	紫荆	<i>Cercis chinensis</i>	稍耐寒、耐旱	边缘区、缓冲区
	木槿	<i>Hibiscus syriacu</i>	耐寒、耐旱、耐湿、耐污染	缓冲区、蓄水区
	金叶女贞	<i>Ligustrum</i> × <i>vicaryi</i>	耐寒、耐湿、耐污染	缓冲区、蓄水区
	红叶李	<i>Prunus cerasi fera</i>	喜湿润、耐寒	缓冲区、蓄水区
	月季	<i>Rosa chinese</i>	耐寒、耐旱	边缘区、缓冲区
	沙地柏	<i>Sabina vulgaris</i>	耐寒、耐旱	边缘区、缓冲区
	白蜡	<i>Frazinus chinensis</i>	耐旱、耐湿、耐盐碱	缓冲区、蓄水区
	法国梧桐	<i>Platanus</i> × <i>aceri folia</i>	耐寒、耐旱	边缘区、缓冲区
	侧柏	<i>Platycladus orientali</i>	耐寒、耐盐碱、抗烟尘	边缘区、缓冲区
	小叶杨	<i>Populus simonii</i>	较耐寒、喜湿、耐旱	缓冲区、蓄水区
乔木	枫杨	<i>Pterocarya stenoptera</i>	耐寒、耐旱、耐湿	缓冲区、蓄水区
	樱花	<i>Prunus serrulata</i>	耐寒、耐旱、不耐盐碱	边缘区、缓冲区
	圆柏	<i>Sabina chinensis</i>	耐寒、耐旱、耐空气污染	边缘区、缓冲区
	垂柳	<i>Salix babylonica</i>	耐寒、耐湿、耐空气污染	缓冲区、蓄水区
	旱柳	<i>Salix matsudana</i>	耐寒、耐旱、耐湿、耐空气污染	缓冲区、蓄水区
	怪柳	<i>Tamarix chinensis</i>	耐寒、耐旱、耐湿、耐盐碱	缓冲区、蓄水区

4 结论

雨水设施中植物的合理选择与设计,是在景观设计与雨水管理相结合时所必须考虑的重要内容,也是长期

维持雨水设施性能的关键因素之一。大量工程实践及研究表明,通过植物材料的合理配植,不仅可以克服雨水花园等雨水设施中水旱交替、径流污染较重等不利环

境影响,保障植物的健康生长,还可以显著提高绿地的综合环境功能,并创造出丰富多彩的植物景观。目前国内在这方面的研究还较薄弱,对植物的耐淹性以及植物抵抗污染物、吸收污染物的能力了解不多,极大地制约了低影响开发雨水措施在城市绿地中的推广应用。因此,亟需加强相关领域的基础研究,通过研究总结植物在耐淹、耐旱、耐污、纳污、配植方面的特性与功能,寻找适合各类雨洪管理措施的植物选择原则及设计方法,这也是园林景观与环境工程交叉领域的重要研究方向之一。此外,通过相关研究和工程实践,还可以促进植物引种、育种、设计、研发、产品制造等相关领域的发展,对我国低影响开发雨水设施及相关产业的发展具有重要意义。

参考文献

- [1] Dietz M E. Low impact development practices;a review of current research and recommendations for future directions[J]. Water Air Soil Pollut, 2007,186:351-363.
- [2] 王建龙,车伍,易红星. 基于低影响开发的城市雨洪控制与利用方法[J]. 中国给水排水,2009,25(14):6-9,16.
- [3] 美国景观设计师协会[DB/OL]. <http://www.asla.org/>.
- [4] Davis A P, Hunt W F, Traver R G, et al. Bioretention technology: overview of current practice and future needs[J]. Journal of Environmental Engineering,2009,135(3):109-117.
- [5] Roy-Poirier A, Champagne P, Asce A M, et al. Review of bioretention system research and design: past, present, and future [J]. Journal of Environmental Engineering,2010,136(9):878-889.
- [6] 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.
- [7] Fletcher T, Zinger Y, Deletic A, et al. Treatment efficiency of biofilters; results of a large-scale column study[C]. Rainwater & Urban Design Conference, Sydney, Australia, 2007.
- [8] Read J, Wevill T, Fletcher T, et al. Variation among plant species in pollutant removal from stormwater in biofiltration systems [J]. Water Research,2008,42:893-902.
- [9] Read J, Fletcher T D, Wevill T, et al. Plant traits that enhance pollutant removal from stormwater in biofiltration systems[J]. International Journal of Phytoremediation,2010,12:34-53.
- [10] Lewis J F, Hatt B E, Deletic A, et al. The impact of vegetation on the hydraulic conductivity of stormwater biofiltration systems[C]. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
- [11] Denich C, Bradford A. Cold climate issues for bioretention; assessing impacts of salt and aggregate application on plant health, media clogging and groundwater quality[C]. 2008 International Low Impact Development Conference, Seattle, Washington, 2008.
- [12] Casanova M T, Brock M A. How do depth, duration and frequency of flooding influence the establishment of wetland plant communities [J]. Plant Ecology,2000,147:237-250.
- [13] Shaw D, Schmidt R. Plants for stormwater design: species selection for the upper midwest[M]. Minnesota Pollution Control Agency, 2003.
- [14] 罗红梅,车伍,李俊奇,等. 雨水花园在雨洪控制与利用中的应用[J]. 中国给水排水,2008,24(6):48-52.
- [15] 向露露,李俊奇,车伍,等. 雨水花园设计方法探析[J]. 给水排水,2008,34(6):47-51.
- [16] 种玉麒,曹惠贤. 北京市城区雨洪利用对策[J]. 北京水利科技,1991(4):19-26.

Plant Selection and Design of Rain Garden

WANG Jia, WANG Si-si, CHE Wu, LI Jun-qi

(Key Laboratory of Urban Stormwater System and Water Environment (Ministry of Education), University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044)

Abstract: Rain garden is one of important low impact development practices for stormwater management, which could dramatically improve the quality of runoff, reduce runoff volumes, peak flows, peak runoff rate and has landscape and ecological functions at site scale. Plant is a critical component of rain garden, playing a vital role on retention and purification of runoff, and has outstanding aesthetic value and ecological function. The functions of plants and environmental factors which influence the growth of plants in rain garden based on literature review in and abroad were summarized. Then the principles and the design essentials of plants, and different kinds of plant species for rain garden in Beijing were summed up. Finally, the anticipates future work necessary to be further studied in China.

Key words: low impact development; rain garden (bioretention); plant species; landscape design