

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.01.007

3 种水陆两栖植物在 LID 技术措施中的适宜性研究

朱木兰,郭燕萍,黄晓鸣,廖杰,高攀峰

(厦门理工学院水资源环境研究所,福建 厦门 361024)

摘要:采用各种低影响开发(low impact development,LID)技术措施建设海绵城市以缓解水涝、水源枯竭、水污染等一系列城市水危机问题是当前城市建设发展新潮流,而植物是 LID 技术措施的关键组成,其耐淹能力、耐土壤贫瘠能力与水质净化能力是决定 LID 技术措施运行效果的关键。选取美人蕉,黄菖蒲和狭叶香蒲 3 种能耐涝的水陆两栖植物作为研究对象,通过试验比较研究其耐土壤贫瘠能力与水质净化能力。结果表明:3 种试验植物在厦门本地红壤土、砂子、腐殖土的成分质量配比从 10:9:1 变化至 18:1:1 的 3 种不同沙化程度的人工改良土壤中均能生长,并均具有良好的水质净化能力;3 种植物对 COD 的去除率均超过 90%,对 TN 和 NH₃-N 的去除率则均超过 80%;此外,黄菖蒲与美人蕉对 TP 的去除率更是达到了近 100%。

关键词:海绵城市;LID 技术措施;水陆两栖植物;耐土壤贫瘠性;水质净化能力

中图分类号:P339 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2016)01-0046-05

Study on suitability of three amphibian plants for LID technical measures

ZHU Mulan, GUO Yanping, HUANG Xiaoming, LIAO Jie, GAO Panfeng

(Water Resources and Environmental Institute, Xiamen University of Technology, Xiamen 361024, China)

Abstract: It is a new trend to develop urban by applying LID technical measures in order to alleviate flooding, water depletion and water pollution issues in cities. Plant is the key part in LID technical measures, whose tolerances to submergence and barren soil, and water purification capacity are key points to decide the operation effect of LID technical measures. Three kinds of amphibious plants of *Canna indica* L., *Iris pseudacorus* L. and *Typha angustifolia* are chosen as study objects. Their tolerances to barren soil and their capacities to purify water are tested by experiments. The study results indicate that these three plants may grow well in three kinds of artificial soils whose composition ratios of native red soil in Xiamen, sand and humus soil vary from 10:9:1 to 18:1:1. All of these three kinds of plants have good water purification capacities. The removal rates of COD of these three plants are all beyond 90%, and the removal rates of TN and NH₃-N are all more than 80%. Besides, the removal rates of TP of *Iris pseudacorus* L. and *Typha angustifolia* are almost 100%.

Key words: sponge city; LID technical measures; amphibious plant; tolerance to barren soil; water purification capacity

城市化所带来的大量不透水路面导致了城市暴雨径流量剧增、地下水补给量剧减和雨水面源污染加剧,从而引发了旱涝灾害、水资源枯竭、水环境污染等一系列城市水危机问题。为了解决这些城市水危机问题,我国目前正在推行采用下凹式绿地,生物滞留池或雨水花园等低影响开发(low impact development,LID)技术措施建设海绵城市。笔者所

在城市厦门是试点建设城市之一。

20 世纪 90 年代末期在欧美等国家开始兴起 LID 这种新型的城市雨水与面源污染控制策略。从字面上解释,LID 就是在开发中尽量减少对环境的破坏和影响,其基本思路是通过综合采用渗透、过滤、蓄流和蒸发等方式来减少径流排水量和截污,使开发地区尽量接近于开发前的自然水文循环^[1]。

基金项目:福建省自然科学基金(2013J01210);厦门市科技计划项目(3502Z20130039)

作者简介:朱木兰(1967—),女,教授,博士,主要从事雨水资源利用与生态环境保护研究。E-mail:zhuml@xmut.edu.cn

目前,基于 LID 策略的技术措施各种各样,主要有蓄水池塘、透水路面、绿色屋顶、下凹式绿地、生物滞留池或雨水花园、自然排水系统等。

土壤和植被是下凹式绿地、生物滞留池或雨水花园、自然排水系统等这类 LID 技术措施的重要组成部分^[2]。通常生物滞留池或雨水花园垂向自上而下分别设有蓄水层、覆盖层、人工改良土壤层、砂层、砾石层,并根据实际需要在底部选择性设置排水管,这类 LID 技术措施通过蓄水层的蓄流及土壤的渗透来达到对暴雨径流量的削减作用。与一般的绿地不同,这类技术措施为了发挥对暴雨径流量的良好的削减作用,其土壤需具备较强的渗透性能,而各地土壤的质地及成分比例差异性较大,通常需要在本地天然土壤中加入一些砂子进行人工改良以增强其渗透性能。这种改良在增强土壤渗透性能的同时,会导致土壤因砂质化而变得贫瘠。因此,选择植物时除了考虑其耐涝能力、水质净化能力之外,还需考虑植物的耐土壤贫瘠能力。但现有研究主要集中于水生植物对氮磷等污染物质的净化作用研究^[3-7],缺乏针对水陆两栖植物的耐土壤贫瘠能力的研究。虽然水陆两栖植物由于既能在陆地生长又能在水中生长,具备了耐涝性,但植物的水质净化能力再好,若在 LID 技术措施中的贫瘠土壤条件下生长不良,将给 LID 技术措施后续的运营维护管理带来困难。因此,亟须开展耐涝的水陆两栖植物其耐土壤贫瘠能力与水质净化能力这“两种能力”的综合比较研究。

本研究通过在厦门本地天然红壤土中加入砂子等材料获得 3 种不同沙化程度的人工改良土壤,并选取美人蕉 (*Canna indica* L.)、黄菖蒲 (*Iris pseudacorus* L.) 和狭叶香蒲 (*Typha angustifolia*) 3 种南方常见水陆两栖景观植物,试验研究该 3 种植物在 3 种不同沙化程度的人工改良土壤中的生长情况以及其对雨水径流的水质净化能力,分析探讨这些两栖植物用于 LID 技术措施的适宜性,从而为在厦门乃至我国南方地区推广建设海绵城市化解城市内涝等问题提供重要的植物遴选依据。

1 两栖植物的耐土壤贫瘠能力研究

水陆两栖植物耐土壤贫瘠能力研究是通过将遴选好的植物种植在人工改良土壤中,并通过观察其生长情况来评价植物的耐土壤贫瘠能力。

1.1 土壤改良

厦门本地天然土壤为红壤土,是福建主要的土壤类型。红壤对磷素的吸附性能很好,可达到 0.73 mg/g^[2],最高能达到 1.61 mg/g^[2],适于用来控制雨水面源污染物质,但红壤土渗透能力差,渗透系数仅

为 1.631×10⁻⁴ cm/s^[2],渗透能力偏小,不利于暴雨径流量的削减。因此,红壤土应用于 LID 技术措施时,有必要加入一定量的砂子进行土壤改良。为此,在厦门本地天然红壤土的基础上添加砂子和腐殖土形成不同配比的人工改良土壤,并选出 3 种具有代表性的人工改良土壤作为试验对象,这 3 种人工改良土壤的各成分质量比与渗透系数如表 1 所示。人工改良土壤沙化程度越高贫瘠度就越大。因此,3 种人工改良土壤的贫瘠度排序为 A>B>C。

表 1 3 种人工改良土壤质量比与所对应的渗透系数

组合方案	质量比/%			渗透系数/ (cm·s ⁻¹)
	红壤土	砂子	腐殖土	
A	50	45	5	1.342×10 ⁻³
B	70	25	5	6.449×10 ⁻⁴
C	90	5	5	2.918×10 ⁻⁴

1.2 植物遴选与实验方法

针对南方常见的各种观赏型两栖植物,如美人蕉、千屈菜、慈菇、菖蒲、泽泻、桐花树、水翁等,通过文献资料调查等途径,筛选出 3 种对土壤要求不高且具有一定水质净化能力和观赏性的水陆两栖植物黄菖蒲、美人蕉和狭叶香蒲作为试验植物对象,通过种植试验,验证和比较其耐土壤贫瘠的程度。该 3 种植物的生长特性如下:①黄菖蒲:对土壤要求不严,喜水湿,但也能耐干旱及瘠薄,对水体有较好的脱氮除磷效果。黄菖蒲的景观性很好,而且植株极易成活,作为景观性植物越来越多地应用于城市之中。②美人蕉:对土壤要求不严,耐瘠薄,不仅有较好的脱氮除磷效果,而且叶片又能吸收二氧化硫、氯化氢等有害物质,叶片虽然容易受到伤害,但在受害后又会重新长出新叶,恢复生长。美人蕉不耐寒,但厦门本地的气候宜人,冬天也不会出现零度以下的情况,适合美人蕉生长。③狭叶香蒲:对土壤要求不严,其叶片不容易因外界影响而受伤害,在沙漠和沼泽中均有生长,环境适应能力较强;对城市生活污水和工业废水有较好的净化效果。

将这 3 种两栖植物植入表 1 所示的 3 种人工改良土壤中,每种人工改良土壤种植 3 种植物,每天定量浇水,并且按时观察和拍照记录其生长情况,根据植物的生长良好情况分析比较其耐土壤贫瘠能力。

1.3 植物耐土壤贫瘠能力的试验结果与分析

植物耐土壤贫瘠能力的评价可采用定性与定量两种评价方法。定量评价方法常采用叶绿素含量、叶片丙二醛含量等生理生化指标来进行评价。但由于生理生化指标需要摘取植物的叶子进行检测,为了跟踪指标变化需全方位不断采摘叶片,容易影响植物的自然生长,若仅进行局部采摘,则容易产生随

机误差,如采摘到枯黄老叶与采摘到嫩叶进行检测,结果将迥然不同。为了避免对植物生长的破坏以及避免随机误差,采用观测植物的成活率、恢复力等生长情况来定性评价植物的耐土壤贫瘠能力。

黄菖蒲、美人蕉和狭叶香蒲 3 种植物在 A、B、C 组合方案的人工改良土壤中,种植初始、种植 18 d、种植 60 d 后随时间的生长情况变化如图 1~3 所示,图 1~3 中植物从左至右分别是黄菖蒲、美人蕉和狭叶香蒲。

通过观测 3 种组合方案的人工改良土壤中两栖植物的生长情况,可获得如下结论:

- ①通过比较同一种植物在 3 种不同的人工改良土壤中的生长情况可知:3 种两栖植物均能在 3 种人工改良土壤中存活并长出新叶,不存在随土壤沙化程度逐渐增大而出现生长情况逐渐恶化的趋势。表明这 3 种植物均具有良好的耐贫瘠性,可适应本地红壤土、砂子、腐殖土的成分配比从 10 : 9 : 1 变化至 18 : 1 : 1 各种不同沙化程度的人工改良土壤。
- ②通过比较同一种人工改良土壤中 3 种不同植物的

生长情况可知:美人蕉的叶片最容易因为不适应土壤和外界伤害而导致叶片萎黄(图 2(b)),但叶片能较快重新生长(图 3(b)),而狭叶香蒲叶片为最不容易萎黄,黄菖蒲叶片虽然有所萎黄,但生长情况较之前两种植物更好。

综上,试验结果表明,黄菖蒲、美人蕉和狭叶香蒲 3 种植物均具有良好的耐土壤贫瘠能力,可适应本地红壤土、砂子、腐殖土的成分配比从 10 : 9 : 1 变化至 18 : 1 : 1 各种不同沙化程度的人工改良土壤。虽然美人蕉叶片容易受到伤害,但在受害后又会长出新叶,恢复生长,此外美人蕉虽然不耐寒,但厦门温暖的气候适合其生长。因此,在厦门地区乃至南方温暖地区这 3 种两栖植物均可作为 LID 技术措施中的植物进行种植。

2 两栖植物的水质净化能力研究

为了进一步探讨 3 种植物应用于 LID 技术措施的适宜性,将经试验证明可耐土壤贫瘠的 3 种两栖

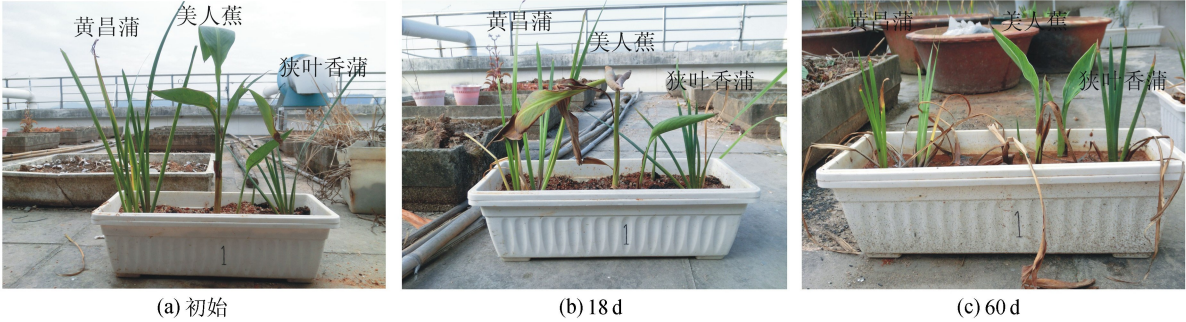


图 1 种植 3 种时间段的 A 类土壤中的 3 种植物

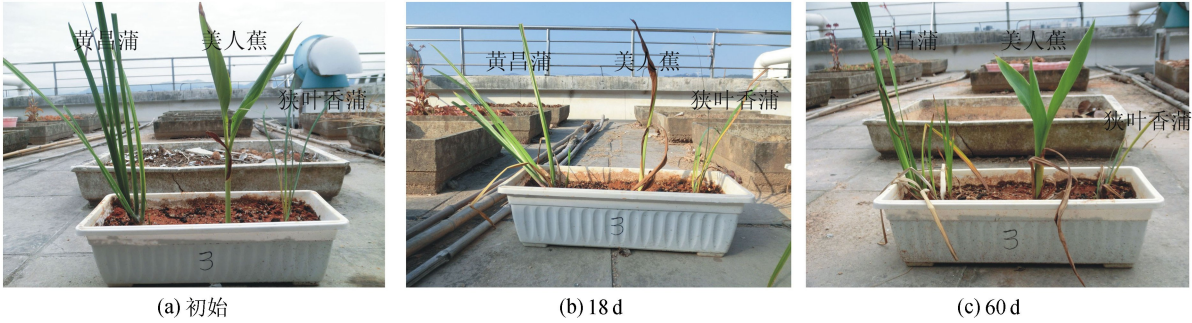


图 2 种植 3 种时间段的 B 类土壤中的 3 种植物



图 3 种植 3 种时间段的 C 类土壤中的 3 种植物

植物植入配制好的人工配制的雨水径流中,每隔一段时间取水样监测水质指标,评价其水质净化能力。主要监测的水质指标有 COD、TN、TP 和 NH₃-N。

2.1 人工雨水径流配制

由于收集雨水径流受制于天气条件,不便于试验研究的随时开展。为此,采用人工配制雨水径流。通过查阅文献资料,厦门城市雨水径流水质指标情况如下:TN 的平均质量浓度范围 1.96~6.77 mg/L, NH₃-N 的平均质量浓度范围 0.35~1.18 mg/L,TP 的平均质量浓度范围 0.04~0.66 mg/L,COD 的平均质量浓度范围 50~2000 mg/L^[8]。据此水质指标值范围,在实验室通过添加邻苯二甲酸氢钾(COD)、硝酸钾(TN)、磷酸二氢钾(TP)、氯化铵(NH₃-N)药品配制了人工雨水径流,所配制的人工雨水径流各水质指标 NH₃-N、TP、TN、COD 的质量浓度分别为 2.31 mg/L、0.22 mg/L、2.07 mg/L、179.7 mg/L。

2.2 水质净化能力试验

选取株高相似、鲜重相近、生长情况良好(根、茎、叶完好,叶色正常)的两栖植物黄菖蒲、美人蕉和狭叶香蒲,分别种植在 50 L 的培养桶中,桶中底部为配制的雨水径流,其量为淹没植物的根部。然后每隔 1 d 取一次水样测定各项水质指标的变化,共观测 17 d 直至 TP 质量浓度低至仪器检测不出(为方便计算,此时 TP 质量浓度计为 0)。表 2 显示经过 17 d 之后 3 种植物对水体中的 COD、TP、NH₃-N、TN 的去除率。

表 2 3 种试验植物对 4 种水质指标的去除率 %

试验植物	去除率			
	NH ₃ -N	TP	TN	COD
黄菖蒲	89.89	100	84.49	93.91
美人蕉	88.20	100	83.57	95.65
狭叶香蒲	85.96	75.00	84.29	99.13

从表 2 可看出,经过 17 d 的植物吸收,黄菖蒲,美人蕉,狭叶香蒲 3 种植物对 COD 的去除率均超过 90%,其中狭叶香蒲的去除率最高达到 99% 以上;3 种植物对 NH₃-N 的去除率则均超过 85%;并以黄菖蒲的去除率为最高达到近 90%;此外,3 种植物对 TN 的去除率基本相同大约为 84%;黄菖蒲与美人蕉对 TP 的去除率则几乎达到了 100%,唯有狭叶香蒲对 TP 的去除率较低,为 75%。综上,3 种两栖植物对各类污染物的去除率总体上均表现良好。

3 结 论

观察比较了黄菖蒲、美人蕉、狭叶香蒲 3 种植物在 3 种不同沙化程度的人工改良土壤中的生长情况,并试验研究了这 3 种两栖植物对雨水径流的净

化效果,研究结果表明,这 3 种植物均具有良好的耐土壤贫瘠能力,可适应厦门本地红壤土、砂子、腐殖土的成分配比从 18:1:1 变化至 10:9:1 各种不同沙化程度的人工改良土壤。3 种两栖植物对各类污染物的去除率亦均表现良好。经过 17 d 的植物吸收,黄菖蒲,美人蕉,狭叶香蒲 3 种植物对 COD 的去除率均超过 90%,对 TN 和 NH₃-N 的去除率则超过 80%;此外,黄菖蒲与美人蕉对 TP 的去除率则达到了 100%

可见,黄菖蒲、美人蕉和狭叶香蒲 3 种两栖植物均具有良好的耐土壤贫瘠能力以及较强的水质净化能力,适宜选作 LID 技术措施的植物。其中,黄菖蒲的生长适应性和水质净化能力均好于美人蕉和狭叶香蒲,美人蕉的水质净化能力虽然略好于狭叶香蒲,但美人蕉叶片易受伤害,新叶片的长成又需要一定时间影响景观,另一方面由于城市道路多汽车行驶,而美人蕉能吸收空气中的二氧化硫、氯化氢等有害气体,叶片敏感可监测污染环境的有害气体。因此可以考虑在 LID 技术措施中将黄菖蒲、美人蕉和狭叶香蒲混合种植,互相取长补短。

参考文献:

[1] United States Environmental Protection Agency. Low impact development (LID): a literature review [R]. Washington, DC: EPA, 2000.

[2] 朱木兰,廖杰,陈国元,等. 针对 LID 型道路绿化带土壤渗透性能的改良. 水资源保护, 2013 (ZHU Mulan, LIAO Jie, CHEN Guoyuan, et al. Soil permeability improvement for LID-type road greenbelt [J]. Water Resources Protection, 2013, 29(3): 25-28. (in Chinese))

[3] MATERAZZI S, CANEPARI S, AQUILI S. Monitoring heavy metal pollution by aquatic plants [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2012, 19(8): 3292-3298.

[4] 何纳,孙占祥,张玉龙,等. 不同水生植物去除水体氮磷的效果[J]. 环境工程学报, 2013, 7(4): 1295-1300. (HE Na, SUN Zhanxiang, ZHANG Yulong, et al. Efficiency of removing nitrogen and phosphorus from simulated wastewater using hydrophytes [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(4): 1295-1300. (in Chinese))

[5] 金树权,周金波,朱晓丽,等. 10 种水生植物的氮磷吸收和水质净化能力比较研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(8): 1571-1575. (JIN Shuquan, ZHOU Jinbo, ZHU Xiaoli, et al. Comparison of nitrogen and phosphorus uptake and water purification ability of ten aquatic Macrophytes [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(8): 1571-1575. (in Chinese))

[6] 熊纛,苏志刚,高举明. 不同挺水植物在生活污水中生长量及去污能力比较研究[J]. 环境科学与管理, 2011, 36

(1): 63-33. (XIONG Ying, SU Zhigang, GAO Juming. Research on grow and purification capacity of emerging plants of seven species [J]. Environmental Science and Management,2011,36(1) :63-33. (in Chinese))

[7] 黄蕾,翟建平,蒋鑫焱,等. 三种水生植物在不同季节去污能力的对比研究[J]. 环境保护科学,2005,31:44-47. (HUANG Lei, ZAI Jianping, JIANG Xinyan, et al. Experimental study of decontamination ability of three hydrophytes in different seasons [J]. Environmental Protection Science,2005,31:44-47. (in Chinese))

[8] 杨德敏,曹文志,陈能汪,等. 厦门城市降雨径流氮、磷污染特征[J]. 生态学杂志,2006,15(6) :625-628. (YANG Demin, CAO Wenzhi, CHEN Nengwang, et al. Nitrogen and phosphorus pollution from urban stormwater runoff in Xiamen City [J]. Chinese Journal of Ecology,2006,15(6) :625-628. (in Chinese))

(收稿日期:2015-12-10 编辑:徐 娟)

(上接第 22 页)

[73] ALTMANN D,STIEF P,AMANN R,et al. Nitrification in freshwater sediments as influenced by insect larvae: quantification by microsensors and fluorescence in situ hybridization[J]. Microbial Ecology,2004,48(2) : 145-153.

[74] STIEF P, SCHRAMM A. Regulation of nitrous oxide emission associated with benthic invertebrates [J]. Freshwater Biology,2010,55:1647-1657.

[75] SVENNINGSSEN N B, HEISTERKAMP I M, SIGBY-CLAUSEN M, et al. Shell biofilm nitrification and gut denitrification contribute to emission of nitrous oxide by the invasive freshwater mussel Dreissena polymorpha (zebra mussel) [J]. Applied and Environmental Microbiology,2012,78(12) : 4505-4509.

[76] STIEF P, ELLER G. The gut microenvironment of sediment-dwelling Chironomus plumosus larvae as characterised with O₂, pH, and redox microsensors [J]. Journal of Comparative Physiology: B, Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology,2006,176(7) : 673-683.

[77] SUN Xu, HU Zhixin, JIA Wen, et al. Decaying cyanobacteria decrease N₂O emissions related to diversity of intestinal denitrifiers of Chironomus plumosus [J]. Journal of Limnology,2015,74(2) : 261-271.

(收稿日期:2015-10-01 编辑:徐 娟)

(上接第 41 页)

[8] 罗缙,逢勇,林颖,等. 太湖流域主要入湖河道污染物通量研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2005,33(2) : 131-135. (LUO Jin, PANG Yong, LIN Ying, et al. Study on flux of pollutants discharged into Taihu Lake through main inflow river channels [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2005,33(2) : 131-135. (in Chinese))

[9] LI Weixin, ZHANG Yongchun, LIU Zhuang, et al. Outline for establishment of the Taihu Lake Basin early warning system[J]. Ecotoxicology,2009,18:768-771.

[10] 李维新,张永春,张海平,等. 太湖流域水环境风险预警系统构建[J]. 生态与农村环境学报,2010,26(增刊1) : 4-8. (LI Weixin, ZHANG Yongchun, ZHANG Haiping, et al. Construction of water environmental risk early warning system for Taihu Lake Basin [J]. Journal of Ecology and Rural Environment,2010,26(Sup1) : 4-8. (in Chinese))

[11] 罗缙. 平原河网区水环境时空变化模拟技术及应用研究:以太湖流域为例[D]. 南京: 河海大学,2009.

[12] 谢蓉蓉,逢勇,王晓,等. 基于太湖流域跨界断面的跨界水环境综合管理区及控制单元划分研究[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版,2015,31(1) : 103-109. (XIE Rongrong, PANG Yong, WANG Xiao, et al. Delineation of the water environmental comprehensive management area and control unit in the trans-river cross-section of Taihu Basin [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition,2015,31(1) :103-109. (in Chinese))

(收稿日期:2015-10-08 编辑:彭桃英)

(上接第 45 页)

[5] 建城函[2014]275号 海绵城市建设技术指南:低影响开发雨水系统构建(试行)[S]

[6] 廖朝轩,江育铨. 都市水环境与雨水利用计划[J]. 台湾环境与土地,2014,2(2) :50-59. (LIAW Chaohsien, JIANG Yuquan. Urban water environment and rainwater utilization plan [J]. Taiwan Environment and Land,2014,2(2) :50-59. (in Chinese))

[7] LIAW Chaohsien, TSAI Y L, CHENG M S. Hydrologic analysis of distributed small-scale stormwater control systems [J]. Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering,2005,23(1) : 1-12.

[8] 鞠茂森. 关于海绵城市建设理念、技术和政策问题的思考[J]. 水利发展研究,2015(3) :7-10. (JU Maosen. Reflections on the concept, technology and policy of sponge city construction [J]. Water Resources Development Research,2015(3) :7-10. (in Chinese))

[9] National Research Council. Urban stormwater management in the United States [M]. New York: The National Academics Press,2009.

[10] Water Environment Federation. Design of urban stormwater controls [M]. New York: McGraw Hill,2012.

(收稿日期:2015-10-08 编辑:彭桃英)