

城市雨水管理

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.17.017

海绵城市及不同设施建设效益的专家问卷调查研究

李萌萌^{1,2}, 陈亮^{1,2}, 郭祺忠³, 练继建^{1,2,4}

(1. 天津大学 建筑工程学院, 天津 300072; 2. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072; 3. 罗格斯大学 土木与环境工程系, 美国; 4. 河北工程大学 水利水电学院, 河北 邯郸 056038)

摘要: 为进一步认识和推广海绵城市建设,有必要进行海绵城市以及不同海绵设施的经济、生态和社会效益研究,从而优化海绵城市的综合效益,达到提高公众满意度的目的。为此,邀请国内外海绵城市领域专家参与针对28个海绵城市建设效益指标的重要性排序以及21种海绵设施社会效益主观评价的问卷调查,其中,对海绵城市有深入了解的受访专家占比达75%,从事海绵城市研究、规划、设计及管理方面工作的专家占91%。调查结果显示:在进行海绵城市规划设计时,重要性位居前五的效益指标分别为降低雨水径流进入城市水体前污染物浓度、减少雨污合流制溢流污染、提高城市美化度、提高周边居民居住舒适性和回补地下水,得分均值分别为7.8、7.2、7.1、6.8和6.7分(最高10分);专家对海绵城市的了解程度越高,效益指标的重要性评分也越高;从事海绵城市相关工作的专家中,管理人员最看重海绵城市建设的性价比,更希望以最低成本获得最大效益;雨水花园等水绿复合型海绵设施的社会效益普遍优于渗管/渠等灰色基础设施。

关键词: 海绵城市; 专家问卷调查; 经济效益; 生态效益; 社会效益

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)17-0107-08

Expert Questionnaire Survey on Construction Benefits of Sponge City and Different Measures

LI Meng-meng^{1,2}, CHEN Liang^{1,2}, GUO Qi-zhong³, LIAN Ji-jian^{1,2,4}

(1. School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Department of Civil and Environmental Engineering, Rutgers University - New Brunswick, USA; 4. School of Water Conservancy & Hydropower, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: In order to better understand sponge city and further its construction, it is necessary to investigate economic, ecological and social benefits of sponge city and its measures, so as to optimize comprehensive benefits of sponge city and improve public satisfaction. Therefore, domestic and overseas experts in the field of sponge city were invited to participate in a questionnaire survey on the importance of 28 benefit indicators of sponge city and the subjective evaluation of social benefit of 21 sponge city measures. Among the experts, 75% of them had in-depth knowledge of sponge city, and 91% of them

were engaged in sponge city research, planning, design and management. For the sponge city planning and design, the top five important benefit indicators were as follows: reduction of pollutant concentration in urban runoff before entering the receiving water body, reduction of pollution from combined sewer overflows, increase of urban aesthetics, improvement of the living comfort of surrounding residents and recharging groundwater, and the average scores on these indicators were 7.8, 7.2, 7.1, 6.8 and 6.7 (the maximum point is 10), respectively. The expert with a higher level of familiarity gave a higher score of benefits. Among the experts engaged in the sponge city related work, the management personnel valued the cost-effectiveness ratio of the sponge city construction the most and desired to obtain the maximum benefits at the lowest costs. The social benefits of green infrastructures such as rainwater garden were generally superior to those of grey infrastructures such as infiltration pipe/trench.

Key words: sponge city; expert questionnaire survey; economic benefit; ecological benefit; social benefit

海绵城市作为公益性质项目,其建设情况同公众自身利益密切相关。随着社会对公共项目参与意识的提高,对海绵城市进行单一经济价值研究不仅难以反映项目对社会、环境等方面的影响,还限制着海绵城市的推广与发展^[1-2]。因此,国内外相继开展海绵城市效益研究工作,以探究其建设对经济、生态和社会的影响。

研究发现,当前海绵城市效益分析主要通过全生命周期评价^[3]、公式计算^[4]、模型分析^[5]和社会评价^[6]实现。其中,社会评价作为一种系统的调查研究方法,凭借能够有效发现和规避项目实施中可能出现的各种社会问题,保证项目顺利实施的特点^[1,7],在项目决策与效益分析中^[8-10]得到了广泛应用。如 Raucher 等^[11]基于面对面访谈等方法,分析得到费城不同污水溢流控制方案的经济、生态和社会效益;Zhan 等^[12]通过全生命周期评价、居民支付意愿调查得到香港地区低影响开发(LID)设施在30年使用寿命下的经济、环境效益价值分别为53和12亿美元,社会效益价值为351~496亿美元。

由于公众对海绵城市不同效益指标的重视程度并非完全相同,在进行海绵城市规划设计与综合评价时,需要调查研究效益指标的重要性以作参考。如朱伟伟^[13]采用频度统计法拟定海绵城市建设评价指标,并邀请校内38位专家参与问卷调查,最终确定建成区绿地率等6类19项指标为海绵城市建设评价指标。但是,目前少有学者对海绵城市建设中经济、生态和社会效益进行重要性排序,常见海绵设施社会效益的主观评价调查也相对较少,且现有研究大多以公众为调查对象,存在受访人员对海绵

城市及相关设施熟悉程度低的问题,仅少数研究以海绵城市专家为调查对象,然而调查范围小,受访专家少,样本量小。

因此,笔者以网络问卷调查的形式,邀请国内外100余位海绵城市专家参与海绵城市效益指标重要性评价调查。同时,考虑到海绵设施经济、生态效益已有客观计算方法,而社会效益由于主观性强,目前仍缺少合适的量化方法,为此,问卷中还对21种常用海绵设施的社会效益进行主观评价调查。同其他类似研究相比,此调研具有评价指标全面、具体,受访专家人数较多,样本量大,调研结果受个人影响较小的优点。调研结果不仅能为相关项目的规划设计提供参考,还可将其用于综合评价体系的构建,为海绵城市建设后评价提供依据。

1 研究方法

1.1 问卷设计

此次调研参考舒安平等^[14]、李晨等^[15]关于海绵城市效益评估的相关研究拟定海绵城市经济、生态和社会效益评价指标,在同校内专家进行多次交流后确定具体效益评价指标共28项。

① 经济效益指标8项:减少城市排水设施运行(B_1);缓解水资源紧缺(B_2);降低河湖改扩建(B_3);缓解污水处理厂处理压力(B_4);绿地节省灌水效益(B_5);节约雨水管线投资的潜在费用(B_6);减少绿地土方回填费用(B_7);减少调水费用(B_8)。

② 生态效益指标11项:减少电量消耗(B_9);回补地下水(B_{10});植被增加带来的固碳释氧效益(B_{11});消除黑臭水体(B_{12});降低径流进入城市水体前的污染物浓度(B_{13});减少雨污合流制溢流污染

(B₁₄);城市防洪排涝(B₁₅);减少地下水开采,防止地质下陷(B₁₆);减缓城市热岛效应(B₁₇);净化空气,提高空气质量(B₁₈);增加空气湿度(B₁₉)。

③ 社会效益指标 9 项:为当地居民增加工作岗位,减少贫困人口(B₂₀);促进周边房产升值(B₂₁);空气质量提高减少相关疾病发生带来的健康效益(B₂₂);推动水文化的发展(B₂₃);降低周边噪声(B₂₄);提高周边居民居住舒适性(B₂₅);避免蚊虫过多影响居民身体健康(B₂₆);带动当地绿色经济发展(B₂₇);提高城市的美化度(B₂₈)。

随后,根据 Bradburn 等人^[16]编撰的《问卷设计

手册:市场研究、民意调查、社会调查》一书进行问卷设计,如表 1 所示。问卷采用实名调查的方式,包含个人信息调查、海绵城市效益指标的重要性评价以及常见海绵设施的社会效益主观评价三部分内容。其中,第 1~3 题为个人信息调查,询问受访者姓名、对海绵城市的了解程度以及了解途径;第 4~7 题为海绵城市效益指标重要性评价,调查 28 项具体指标对海绵城市的相对重要性;问卷第 8~29 题为非必答题,对 21 种海绵设施的社会效益分别进行主观评价调查,受访者可以自行选择熟悉的海绵设施进行评价。

表 1 问卷题目及选项

Tab. 1 Questionnaire items and selections

序号	题目	选项	形式
1	请输入您的姓名	—	填空
2	请问您对海绵城市建设的了解程度有多少	深入了解;一般了解;稍微了解	单选
3	请问您主要通过以下哪种途径了解海绵城市	参与海绵城市相关研究;参与海绵城市规划工作;参与海绵城市设计工作;参与海绵城市管理工作;其他(通过网络、学术交流等其他方式了解)	单选
4	请您分别对海绵城市所带来的各项经济效益的重要性进行评分	减少城市排水设施运行;缓解水资源紧缺;降低河湖改扩建;缓解污水处理厂处理压力;绿地节省灌水效益;节约雨水管线投资的潜在费用;减少绿地土方回填费用;减少调水费用	NPS 量表
5	请您分别对海绵城市所带来的各项生态环境效益的重要性进行评分	减少电量消耗;回补地下水;植被增加带来的固碳释氧效益;消除黑臭水体;降低径流进入城市水体前的污染物浓度;减少雨污合流制溢流污染;城市防洪排涝;减少地下水开采,防止地质下陷;减缓城市热岛效应;净化空气,提高空气质量;增加空气湿度	
6	请您分别对海绵城市所带来的各项社会效益的重要性进行评分	为当地居民增加工作岗位,减少贫困人口;促进周边房产升值;空气质量提高减少相关疾病发生带来的健康效益;推动水文化的发展;降低周边噪声;提高周边居民居住舒适性;避免蚊虫过多影响居民身体健康;带动当地绿色经济发展;提高城市的美化度	
7	您在选择海绵城市建设不同的雨水设施时,以下考虑因素所占比例	成本;经济效益;生态环境效益;社会效益	比重题
8	请您分别对雨水排管的各项社会效益进行评分	社会效益包括:为当地居民增加工作岗位,减少贫困人口;促进周边房产升值;生活环境改善减少相关疾病发生的健康效益;推动水文化的发展;降低周边噪声;提高周围居民居住舒适性;避免蚊虫过多影响居民身体健康;带动当地绿色经济发展;提高城市的美化度	NPS 量表
9	请您分别对绿色屋顶的各项社会效益进行评分		
10	请您分别对蓝色屋顶的各项社会效益进行评分		
11	请您分别对雨水罐的各项社会效益进行评分		
12	请您分别对雨水花园的各项社会效益进行评分		
13	请您分别对透水铺装的各项社会效益进行评分		
14	请您分别对下沉式绿地的各项社会效益进行评分		
15	请您分别对渗井的各项社会效益进行评分		
16	请您分别对渗管/渠的各项社会效益进行评分		
17	请您分别对植被缓冲带的各项社会效益进行评分		
18	请您分别对植草沟的各项社会效益进行评分		
19	请您分别对生物滞留设施的各項社会效益进行评分		
20	请您分别对雨水湿地的各项社会效益进行评分		

续表 1 (Continued)

序号	题目	选项	形式
21	请您分别对湿塘(蓄水塘)的各项社会效益进行评分	社会效益包括:为当地居民增加工作岗位,减少贫困人口;促进周边房产升值;生活环境改善减少相关疾病发生的健康效益;推动水文化的发展;降低周边噪声;提高周围居民居住舒适性;避免蚊虫过多影响居民身体健康;带动当地绿色经济发展;提高城市的美化度	NPS 量表
22	请您分别对干塘(调节塘)的各项社会效益进行评分		
23	请您分别对渗透塘的各项社会效益进行评分		
24	请您分别对蓄水池的各项社会效益进行评分		
25	请您分别对调节池的各项社会效益进行评分		
26	请您分别对人工土壤渗滤净化的各项社会效益进行评分		
27	请您分别对初期雨水弃流设施的各项社会效益进行评分		
28	请您分别对雨污地下处理装置的各项社会效益进行评分		
29	除了上述海绵设施的效益外,您是否还有其他在问卷中未提到的经济、生态、社会效益需要进行补充,若有,请填写在横线中,并评价其在海绵城市建设前的规划设计中对海绵设施选择的影响大小(打分同第 2、3、4 题,为 10 分制)		填空
注: 问卷中 NPS 量表题选项均采用 0~10 分量表。			

1.2 问卷发放与回收

此次问卷调查通过海绵城市专业微信群、电子邮件等方式将问卷填写链接发送给国内外相关行业专家,邀请专家参与问卷调查。同时,为保证答卷质量,限制每个 IP 地址只能提交一次问卷,且问卷填写时间 > 5 min 方可判定为有效答卷,若填写时间不足,系统将自动判定为无效答卷,不进入后期分析。问卷调查于 2019 年 5 月 17 日正式开始,5 月 27 日结束,共收回有效答卷 116 份。

在进行调研结果分析前,根据问卷填写 IP 地址、专家对海绵城市熟悉程度以及专家在海绵城市领域的职业对答卷进行分类,结果见图 1。

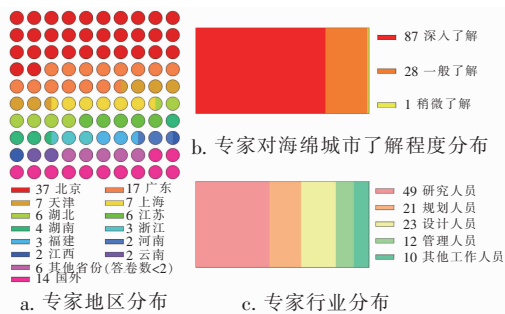


图 1 不同分类下答卷专家数量分布

Fig. 1 Distribution of different categories of experts responding to the questionnaire

图 1(a)为答卷的地区分布情况,北京地区答卷数量最多,共 37 份有效答卷,总体占比为 32%。图 1(b)为受访专家对海绵城市了解程度分布,此次调

研受访专家对海绵城市均有一定程度了解,对海绵城市有深入了解的专家占比达 75%。图 1(c)为受访专家在海绵城市领域的职业分布,此次调研中从事海绵城市研究工作的专家最多,总体占比为 42%,其次为设计人员,总体占比为 20%。

1.3 可信度分析

为确保调查结果的真实可信,利用在线 SPSS 分析对问卷结果进行信度分析计算,结果显示, Cronbach α 系数为 0.994 (>0.8),各分析项对应校正项总计相关性 CITC 位于 0.30~0.88,大于 0.3,分析项被删除后 α 系数没有明显升高,分析项之间具有良好的相关关系,数据信度质量好,可以用于进一步分析。

2 结果与讨论

2.1 海绵城市效益指标的重要性调查分析

2.1.1 海绵城市效益指标的重要性评价结果

利用 Excel 和 SPSS 19.0 对问卷调查结果进行统计分析,由问卷第 4~6 题分析得到海绵城市效益指标重要性评分的均值以及对该指标评分 > 6 的专家人数的总体占比(见表 2),由问卷第 7 题得到成本、效益在海绵城市建设中的重要性比重分配结果(见表 3)。

当某项指标的重要性评分均值大于 6,并且超过 50% 的专家对其评分也大于 6 时,判定该指标为海绵城市规划设计的重要影响因素。在经济效益的

8项指标中, B_1 (减少城市排水设施运行) 和 B_4 (缓解污水处理厂处理压力) 是影响海绵城市规划设计的重要因素, 分别有53%和49%的专家对其评分大于6。在生态效益的11项指标中, 海绵城市回补地下水(B_{10})、减轻水污染负荷($B_{12} \sim B_{14}$)和减缓城市热岛效应(B_{17})是重要影响因素, 51%~82%的专家对以上指标的评分大于6。在社会效益的9项指标中, 54%~67%的专家对 B_{23} (推动水文化的发展)、 B_{25} (提高周边居民居住舒适性)、 B_{27} (带动当地绿色经济发展) 和 B_{28} (提高城市的美化度) 的评分大于6, 说明这4项指标对海绵城市的规划设计具有重要影响。

表2 海绵城市效益指标的重要性评价结果

Tab. 2 Survey results for relative importance of sponge city benefit indices

效益指标	均值	标准差	专家人数的总体占比/%	效益指标	均值	标准差	专家人数的总体占比/%
B_1	6.3	2.4	53	B_{15}	5.8	2.6	39
B_2	5.5	2.6	41	B_{16}	5.3	2.4	35
B_3	5.4	2.6	36	B_{17}	6.0	2.5	51
B_4	6.3	2.3	49	B_{18}	5.4	2.4	34
B_5	6.2	2.3	51	B_{19}	5.7	2.3	35
B_6	5.8	2.4	46	B_{20}	4.3	2.4	22
B_7	5.3	2.5	35	B_{21}	6.0	2.5	49
B_8	4.8	2.5	26	B_{22}	5.0	2.7	33
B_9	4.6	2.1	19	B_{23}	6.5	2.4	55
B_{10}	6.7	2.2	60	B_{24}	4.5	2.3	20
B_{11}	5.8	2.4	46	B_{25}	6.8	2.2	60
B_{12}	6.6	2.2	57	B_{26}	4.1	2.6	18
B_{13}	7.8	1.8	82	B_{27}	6.3	2.6	54
B_{14}	7.2	2.2	74	B_{28}	7.1	2.1	67

表4 位居前三的海绵城市效益指标及其重要性评分

Tab. 4 Top three sponge city benefit indices and their relative importance scores

地区(样本量)	北京(37)	广东(17)	天津(7)	上海(7)	湖北(6)	江苏(6)	国外(14)
经济效益	B_1 (6.43) B_5 (6.27) B_4 (6.24)	B_5 (5.76) B_1 (5.59) B_4 (5.59)	B_1 (7.29) B_4 (7.29) B_5 (7.29) B_6 (7.29)	B_1 (8.29) B_5 (8.29) B_4 (7.71) B_6 (7.71)	B_1 (5.83) B_4 (5.50) B_6 (4.67)	B_1 (6.69) B_4 (6.47) B_5 (6.35)	B_5 (6.64) B_6 (5.86) B_7 (5.79)
生态效益	B_{13} (8.30) B_{14} (7.57) B_{12} (7.14)	B_{13} (7.06) B_{10} (6.82) B_{14} (6.53)	B_{14} (8.33) B_{12} (8.14) B_{13} (8.00)	B_{13} (8.14) B_{14} (8.00) B_{10} (7.29)	B_{13} (8.17) B_{12} (6.67) B_{15} (5.67)	B_{13} (7.93) B_{14} (7.02) B_{12} (6.91)	B_{13} (7.71) B_{14} (7.36) B_{10} (6.71)
社会效益	B_{28} (7.38) B_{25} (7.16) B_{27} (6.73)	B_{28} (6.53) B_{23} (6.35) B_{25} (6.12)	B_{28} (7.83) B_{23} (7.50) B_{25} (7.50)	B_{28} (8.43) B_{25} (7.43) B_{21} (7.29) B_{27} (7.29)	B_{28} (6.67) B_{25} (6.17) B_{23} (4.83)	B_{28} (7.37) B_{25} (6.88) B_{23} (6.28)	B_{28} (7.57) B_{27} (7.14) B_{25} (7.00)

表3 海绵城市成本、效益重要性的比重分配结果

Tab. 3 Percentage distribution of relative importance for sponge city cost and benefits %

项目	成本	经济效益	生态效益	社会效益
均值	31.3	17.9	32.4	18.4
中位数	29.0	18.0	32.0	17.0
众数	20.0	20.0	40.0	10.0
标准差	14.0	8.7	11.5	10.5

究其原因, 主要受我国水资源现状的影响, 即工业发展快速、环保意识不足所带来的水资源紧缺、水污染严重、地下水开采过度等一系列问题, 导致减少用水需求、补充地下水以及去除径流污染物成为当前海绵城市建设的主要目标^[17-19]。此外, 随着居民消费水平逐步提高, 社会文化快速发展, 公众对生活环境的要求相应增高, 提高环境舒适性亦成为海绵城市规划设计的重要目标之一^[20]。

2.1.2 不同地区海绵设施建设的影响因素差异

为探究地区经济等因素对海绵城市效益指标重要性评价结果的影响, 对答卷数量较多的北京等地以及海外(华人)专家回复答卷进行分析研究。分别对经济、生态和社会效益指标进行重要性排序, 位居前三的效益指标及其得分见表4。结果显示, 国内外对效益指标的重要性排序具有较高的一致性, 普遍认为在海绵城市设施建设中, 经济效益中减少排水系统运行(B_1 、 B_4 、 B_6)和减少生态用水(B_5)较为重要, 生态效益中减轻水体污染负荷(B_{12} 、 B_{13} 、 B_{14})和回补地下水(B_{10})较为重要, 社会效益中提高城市美化度(B_{28})与提高居民居住舒适性(B_{25})较重要。总体来看, 北京、天津和上海专家对海绵城市效益指标的重要性评分普遍高于广东等地专家, 对海绵城市建设效益的要求更高。

2.1.3 不同熟悉程度下效益指标重要性评价差异

根据受访专家对海绵城市的了解程度,将答卷分为深入了解、一般了解和稍微了解三类,由于稍微了解仅涉及1份问卷,此处仅对深入了解和一般了解进行分析,结果见图2。

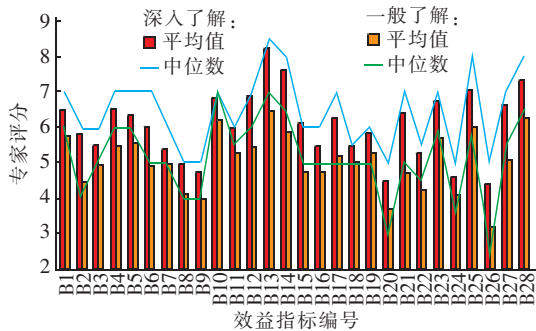


图2 不同熟悉程度下海绵城市效益指标的重要性评价结果

Fig. 2 Relative importance survey results of sponge city benefit indices from experts of high and medium levels of familiarity

结果显示,无论专家对海绵城市是否有深入了解,海绵城市对径流污染物的去除作用(B_{13} 、 B_{14})在规划设计时均是主要影响指标,深入了解及一般了解专家对其评分均值分别为7.64~8.24和5.89~6.46;其次为提高城市美化度效益(B_{28}),评分分别为7.36和6.29。从整体上看,对海绵城市了解程度越高,专家对各项指标的重要性评分也越高,深入了解海绵城市的专家对各项指标的重要性评分均值比一般了解的专家的评分均值高0.37~1.78。

2.1.4 不同职业专家对效益指标重要性评价差异

根据问卷第3题,将答卷划分为从事海绵城市研究、规划、设计和管理以及从事其他工作的专家共5类进行研究(以下简称为研究、规划、设计、管理人员和其他职业专家),答卷数量分布见图1(c)。为使不同职业专家对海绵城市效益指标的重要性评价结果分布更清晰,将第4~6题的问卷调查结果以小提琴图的形式绘出,如图3~5所示。

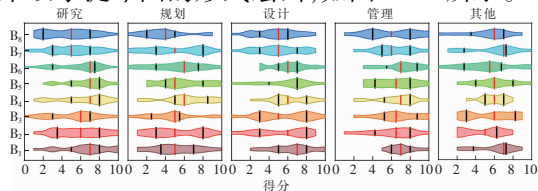


图3 不同职业专家对经济效益指标的重要性评价结果

Fig. 3 Relative importance survey of economic benefit indices by experts in different professions

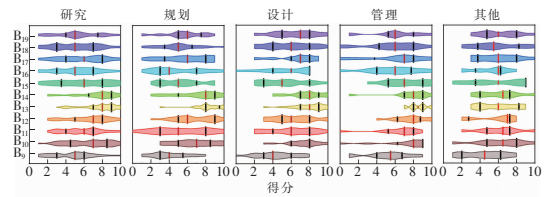


图4 不同职业专家对生态效益指标的重要性评价结果

Fig. 4 Relative importance survey of ecological benefit indices by experts in different professions

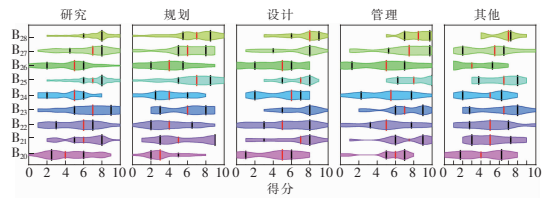


图5 不同职业专家对社会效益指标的重要性评价结果

Fig. 5 Relative importance survey of social benefit indices by experts in different professions

评价结果显示,在经济效益的8项指标中,有51%~61%的研究人员对 B_1 、 B_4 、 B_5 和 B_6 评分大于6,设计人员认为 B_1 和 B_5 较为重要,分别有57%和52%的专家对其评分大于6,50%~75%的管理人员对除 B_7 外其余七项指标的评分均大于6,60%的其他方向专家认为 B_1 和 B_7 较为重要,然而规划人员对经济效益指标的重要性评分普遍较低,仅有14%~43%的专家对经济效益指标评分大于6。在生态效益的11项指标中,80%~100%从事海绵城市相关工作的专家对 B_{13} 的评分大于6,同时,无论受访专家从事何种类型工作,均认为 B_{10} 和 B_{14} 是海绵城市规划设计的重要影响因素。在社会效益的9项指标中,所有专家均认为 B_{25} 和 B_{28} 较为重要,分别有50%~75%、52%~92%的专家对这两项指标的评分大于6。总体上看,不同方向专家对海绵城市效益指标的重要性评价有较高一致性,但海绵城市管理人员对所有指标的重要性评分普遍较高,且最看重经济效益,相比其他专家更看重海绵城市的性价比。

2.2 不同海绵设施社会效益评价结果

利用Excel和SPSS 19.0统计分析问卷海绵设施社会效益主观评价结果,结果见图6。可以看出,雨水花园除避免蚊虫过多影响居民身体健康(B_{26})得分略低于透水铺装外,其余各指标得分均值位于4.4~7.5,在所有雨水设施中均为最高,社会效益最好。其次为雨水湿地,各指标得分均值位于3.96~

7.08。雨水罐、渗管/渠和蓝色屋顶的社会效益相对较低,得分均值位于3.5~5.0。整体上,植被的种植对提升海绵设施的社会效益有明显作用,雨水花园等绿色设施的社会效益普遍优于灰色设施,且结构层次越丰富,该设施的社会评价越好。

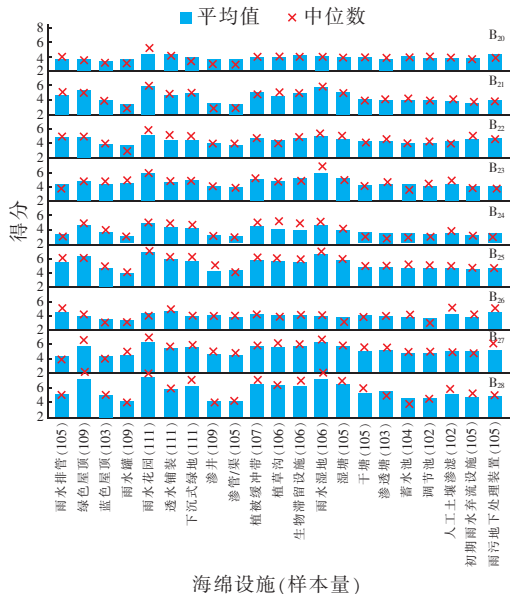


图6 不同海绵设施社会效益评价结果

Fig.6 Social benefits evaluation of different sponge measures

3 结论

① 海绵城市效益指标重要性评价结果显示,在进行海绵城市规划设计时,应重点考虑以下6项效益,分别为减少城市排水设施运行、绿地节省灌水效益、降低径流进入城市水体前的污染物浓度、减少雨污合流制溢流污染、提高周边居民居住舒适性和提高城市美化度。

② 结合专家对海绵城市了解程度的差异看海绵城市效益重要性评价结果时,专家对海绵城市的了解程度越高,海绵城市效益指标的重要性评分也越高,相应地,对海绵城市建设效益就有更高的期待与更大的信心。

③ 结合受访专家行业分布差异看海绵城市效益重要性评价结果时,相比其他方向专家,海绵城市管理人员最看重海绵城市建设的性价比,对成本控制和效益价值的要求均较高。

④ 海绵设施的社会效益主观评价调查结果显示,在21种常用设施中,雨水花园的社会效益最好,绿地率高、结构层次丰富的海绵设施社会效益普遍优于雨水罐、渗管/渠等以灰色为主且结构层次单一

的雨水设施。

参考文献:

- [1] 王仓忍. 公益项目技术评价与社会评价研究[D]. 天津:天津大学,2005.
WANG Cangren. Technology Assessment and Social Assessment Research for Commonweal Project [D]. Tianjin: Tianjin University,2005 (in Chinese).
- [2] 马海良,王若梅,訾永成. 海绵城市的特征解读和建设路径研究[J]. 科技管理研究,2016,36(22):184-189.
MA Hailiang, WANG Ruomei, ZI Yongcheng. Characteristics interpretation and construction channel of urban sponge[J]. Science and Technology Management Research,2016,36(22):184-189(in Chinese).
- [3] SPROUL J, WAN M P, MANDEL B H, et al. Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States[J]. Energy and Buildings,2014,71:20-27.
- [4] LIANG X, VAN DIJK M P. Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2011, 55 (11): 1100-1108.
- [5] MAO X, JIA H, YU S L. Assessing the ecological benefits of aggregate LID-BMPs through modelling[J]. Ecological Modelling,2017,353:139-149.
- [6] 閻超成. 海绵城市评价体系构建及应用[D]. 南京:东南大学,2017.
HE Chaocheng. Construction and Application of Sponge City Assessment System [D]. Nanjing: Southeast University,2017(in Chinese).
- [7] 陈楚,刘峰. 水利建设项目社会评价研究[J]. 财政研究,2012(2):68-71.
CHEN Chu, LIU Feng. Research on social evaluation of water conservancy construction projects [J]. Public Finance Research,2012(2):68-71(in Chinese).
- [8] ÖZEROL G, DOLMANC N, BORMANN H, et al. Urban water management and climate change adaptation: a self-assessment study by seven midsize cities in the North Sea region[J]. Sustainable Cities and Society,2020,55:102066.
- [9] HERMIDA M A, CABRERA J N, OSORIO P, et al. Methodology for the assessment of connectivity and comfort of urban rivers[J]. Cities,2019,95:102376.
- [10] DING L, REN X Y, GU R Z, et al. Implementation of

- the “sponge city” development plan in China: an evaluation of public willingness to pay for the life-cycle maintenance of its facilities[J]. *Cities*, 2019, 93: 13 – 30.
- [11] RAUCHER R, CLEMENTS J. A triple bottom line assessment of traditional and green infrastructure options for controlling CSO events in Philadelphia’s watersheds [J]. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2010(9): 6776 – 6804.
- [12] ZHAN W T, CHUI T F M. Evaluating the life cycle net benefit of low impact development in a city[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 20: 295 – 304.
- [13] 朱伟伟. 海绵城市评价指标体系构建与实证研究——以杭州市为例[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2016.
- ZHU Weiwei. Research on Renovation Mode and Benefit Evaluation of Sponge City in Hangzhou[D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University, 2016 (in Chinese).
- [14] 舒安平, 田露, 王梦瑶, 等. 北京海绵城市雨水措施效益评估方法及案例分析[J]. *给水排水*, 2018, 44(3): 36 – 41.
- SHU Anping, TIAN Lu, WANG Mengyao, *et al.* Sponge city rainwater measure benefit evaluation method and case analysis in Beijing [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2018, 44(3): 36 – 41 (in Chinese).
- [15] 李晨, 王桂锋, 张传杰, 等. 北方城市海绵社区生态效益分析[J]. *水土保持通报*, 2017, 37(3): 119 – 124.
- LI Chen, WANG Guifeng, ZHANG Chuanjie, *et al.* Analysis on ecological benefits of sponge community in northern cities [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2017, 37(3): 119 – 124 (in Chinese).
- [16] BRADBURN N, SUDMAN S, WANSINK B. 问卷设计手册: 市场研究、民意调查、社会调查[M]. 赵峰, 译. 重庆: 重庆大学出版社, 2011.
- BRADBURN N, SUDMAN S, WANSINK B. *Asking Questions: The Definitive Guide to Questionnaire Design for Market Research, Political Polls, and Social and Health Questionnaires* [M]. ZHAO Feng, translated. Chongqing: Chongqing University Press, 2011 (in Chinese).
- [17] 郭妮娜. 浅析我国水资源现状、问题及治理对策[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(10): 79 – 81.
- GUO Nina. The current situation, problems and countermeasures of water resources in China[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2018, 24(10): 79 – 81 (in Chinese).
- [18] 范宏喜. 我国地下水资源与环境现状综述[J]. *水文地质工程地质*, 2009, 36(2): 1 – 3.
- FAN Hongxi. Overview of the status quo of groundwater resources and environment [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2009, 36(2): 1 – 3 (in Chinese).
- [19] 张利平, 夏军, 胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(2): 116 – 120.
- ZHANG Liping, XIA Jun, HU Zhifang. Situation and problem analysis of water resource security in China[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(2): 116 – 120 (in Chinese).
- [20] 黄开, 赵赛, 赵荣, 等. 基于系统化的老旧小区海绵化改造工程精细化设计案例[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(8): 69 – 76.
- HUANG Kai, ZHAO Sai, ZHAO Rong, *et al.* Refined design cases of sponge reconstruction project in old residential communities based on systematization [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(8): 69 – 76 (in Chinese).

作者简介: 李萌萌 (1995 –), 女, 河南驻马店人, 硕士研究生, 研究方向为海绵城市。

E-mail: 13512938672@sina.cn

收稿日期: 2020 – 07 – 01

修回日期: 2020 – 08 – 25

(编辑: 刘贵春)