基于层次分析法的豫北地区雨水花园植物综合评价

梁彦兰，陈晓霞，王昭娜
（安阳工学院 土木与建筑工程学院，河南 安阳 455000）

摘　要：[目的] 研究豫北地区雨水花园植物的筛选，为雨水花园和海绵城市的建设提供理论支撑。[方法] 对国家级海绵城市鹤壁市和河南省省级海绵城市安阳市境内的典型雨水花园植物进行研究，采用 AHP 层次分析法对 29 种雨水花园植物进行综合评价，从 3 个准则层和 9 个指标层构建植物评价体系。[结果] 指标层中的抗旱性、抗湿性、绿化美化特性、去污降污能力 4 个指标对于雨水花园植物的选择具有重要影响。千屈菜、红蓼、东方狼尾草、鸢尾、细叶芒、花叶芒 6 种植物综合评价等级为 1 级；再力花、常夏石竹、八宝景天、美人蕉、金鸡菊、马鞭草、大丽花 7 种植物综合评价等级为 4 级；香彩雀、紫叶狼尾草、蜀葵等 16 种植物综合评价等级为 2—3 级。[结论] 综合评价值为 1 级的植物是豫北地区建设雨水花园的首选植物；综合评价等级为 4 级的植物是雨水花园慎重选择的植物材料；综合评价等级为 2—3 级的植物，选择合适的区域如蓄水区、缓冲区、边缘区进行雨水花园植物的种植。

关键词：层次分析法；雨水花园；植物选择；评价
文献标识码：B　　**文章编号**：1000-288X(2019)01-0120-05　　**中图分类号**：TU986.2

文献参数：梁彦兰，陈晓霞，王昭娜. 基于层次分析法的豫北地区雨水花园植物综合评价[J]. 水土保持通报，2019，39(1)：120-124. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.019；Liang Yanlan，Chen Xiaoxia，Wang Zhaona. Comprehenive evaluation of rain garden plants in north area of He'nan Province based on AHP[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(1)：120-124.

Comprehenive Evaluation of Rain Garden Plants in North Area of He'nan Province Based on AHP

Liang Yanlan，Chen Xiaoxia，Wang Zhaona
(*College of Civil Engineering and Architecture，Anyang Institute of Technology，An'yang，He'nan* 455000，*China*)

Abstract：[Objective] To study the selection of rain garden plant in North He'nan Province，in order to provide theoretical support for the construction of rainwater garden and sponge city. [Methods] We investigated the 29 typical rain garden plants in the sponge city of Hebi and An'yang City in He'nan Province. Rain garden plants were comprehensively evaluated by analytic hierarchy process (AHP)，and the evaluation system was constructed from three criterion layers and 9 index levels. [Results] Drought resistance，humidity resistance，greening and beautifying characteristics，decontamination and pollution reduction ability showed important influences on the selection of plants in rain garden. *Lythrum salicaria*，*Polygonum orientale*，*Pennisetum orientale*，*Iris tectorum*，*Miscanthus sinensis* "*Gracillimus*"，*Miscanthus sinensis* "*Variegatu*" were evaluated as level 1. *Thalia dealbata*，*Dianthus plumarius*，*Hylotelephium erythrostictum*，*Canna indica*，*Coreopsis drummondii*，*Verbena officinalis*，*Dahlia pinnata* were evaluated as level 4. The rest of sixteen plants were evaluated as level 2—3. [Conclusion] Plants with a comprehensive evaluation level 1 are the optimal choice for the construction of rainwater gardens in Yubei District. Plants with a comprehensive evaluation level 4 need to be carefully selected for rainwater gardens. Integrated evaluation of plants with level 2—3 are suitable to be planted in areas such as water storage areas，buffer zones，and marginal areas.

Keywords：**analytic hierarchy process**；**rain garden**；**plant selection**；**evaluation**

收稿日期：2018-11-17　　**修回日期**：2018-12-07
资助项目：河南省高等学校哲学社会科学优秀学者专项"生态视角下的中小城市绿地减灾研究"(2015-YXXZ-19)；安阳市科技攻关项目"基于 BIM 技术的安阳市建设海绵城市的思路与实施"(2016087)。
第一作者：梁彦兰(1979—)，女(汉族)，山西省孟县人，硕士，副教授，主要从事园林绿化与景观生态规划研究。E-mail：109886487@qq.com。

海绵城市的国际通用术语为“低影响开发雨水系统构建”,是指城市能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需要时将蓄存的水“释放”并加以利用[1-2]。雨水花园是众多生态基础设施中的一种,集雨水利用及景观效果于一体,是一种生态高效的雨水利用措施。雨水花园能够收集滞留雨水,缓解雨水径流量,降低城市洪涝灾害,雨水花园作为低影响开发(low impact development, LID)技术有效的措施之一,具有削减径流量、调峰、延缓径流速度、雨水净化的作用,具有很好的经济、美学、生态效益。雨水花园植物具有净化雨水和景观提升的功能,所以由植物营造的雨水花园成为生态基础设施中重要的角色。

国外对雨水花园的研究主要集中在水文模拟研究、土壤渗透力研究、污染物滞留能力研究、不同植物应用对水文的影响、雨水花园的建造及应用研究等方面[3]。国内对雨水花园的研究主要集中在雨水花园的起源与发展研究、国外优秀雨水花园案例介绍、雨水花园的营造技术研究、雨水花园试验及模型构建等方面[4-6]。由于雨水花园植物地域性较强,国内对雨水花园的植物选择与设计研究较薄弱,对雨水花园植物选择多为定性研究,定量化研究较少。蔡妤等[7]应用 AHP 方法,研究北京地区的雨水花园植物选择,对北京地区的雨水花园植物选择提供大量数据支撑,但具有较强的地域性。本文拟应用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP),研究定性指标的定量化,以期为豫北乃至中原地区雨水花园的植物营造和设计提供指导。

1　研究区概况

豫北地区地处南太行山前平原和冀中南地区,与山西省长治、晋城毗邻,属暖温带大陆性季风气候,四季分明,冬寒夏热,秋凉春早,年平均气温 14 ℃,7 月最热,平均 27 ℃,1 月最冷,平均 0.1 ℃,最高气温 42.8 ℃,最低气温 −21.5 ℃。年均湿度 68%,最大冻土深度 285 mm,无霜期 220 d,全年日照时间约 2 400 h。年平均降雨量 650 mm,最大降雨量 1168.4 mm,最小降雨量 241.8 mm,夏秋降水较多,占全年降水的 72%,且多暴雨。

2　研究方法

2.1　样地调查

本文选择豫北地区的国家级海绵城市建设试点城市河南省鹤壁市和河南省省级海绵城市试点城市安阳市为研究对象。2017 年 4 月至 9 月,对鹤壁市桃园公园内的雨水花园、安阳市人民公园、龙安公园等典型地段内的雨水花园植被进行实地随机抽样调查,选取 10 m×10 m 的样方 20 个,记录雨水花园的植物种类、观赏特性(绿化美化特性、景观时序性)、生物学生态学特性(根系发达程度、抗旱性、抗湿性、自我繁殖能力)、环境保护功能(乡土植物、去污降污能力、植物对雨水的截流)等。

2.2　层次分析法

层次分析法(简称 AHP 法),是美国运筹学家匹兹堡大学教授 A. L. Saaty 于 20 世纪 70 年代初提出的,旨在建立一种能模拟人的思维逻辑,将定性分析与定量分析,将主观判断与客观实际有机结合起来的一种决策理论方法,使用 AHP 法分析,首先要把问题层次化,构成不同等级的一个多层次结构模型[8-10]。层次分析法用于评介因素较多的植物选择评价,适用于园林植物景观评价,本研究用层次分析法对豫北地区 29 种雨水花园植物进行量化评价,以期对雨水花园的营造提供科学依据。

2.3　准则层和指标层的确定

为确定雨水花园植物选择的指标体系,课题组邀请了多位长期从事园林植物应用的高级工程技术人员和高校教师进行各指标体系的确定。将观赏特性、生物学生态特性、环境保护功能这 3 项指标作为评价体系的准则层,每项再细分,观赏特性可再分为绿化美化特性、景观时序性两个指标层,生物学生态学特性可再分为根系发达程度、抗旱性、抗湿性、自我繁殖能力 4 个指标层,环境保护功能可再分为乡土植物、去污降污能力、植物对雨水的截流 3 个标准层(表 1)。

表 1　雨水花园植物评价体系的层次结构模型

C 目标层	*A* 准则层	*D* 指标层
合适的豫北地区雨水花园植物	A_1 观赏特性	D_1 绿化美化特性,D_2 景观时序性
	A_2 生物学生态学特性	D_3 根系发达程度,D_4 抗旱性,D_5 抗湿性,D_6 自我繁殖能力
	A_3 环境保护功能	D_7 乡土植物,D_8 去污降污能力,D_9 植物对雨水的截流

2.4 评价指标权重的确定

采用二元相对比较的 1—9 标度法，判断各指标相对重要性，构建雨水花园植物评价体系的判断矩阵 $C—A$，$A_1—(D_1—D_2)$，$A_2—(D_3—D_6)$，$A_3—(D_7—D_9)$(表 2—5)，并确定判断矩阵的一致性。设 λ_{max} 是判断矩阵 A 的最大特征根，W 是其对应的特征向量，求解向量的特征根，所得 W 经归一化后就得到该层元素相对于上一层某一因素的相对权重。元素的单层排序权重和该元素对应的上一层元素的单层排序的乘积即是该元素的总权重。

表 2 $C—A_i$ 判断矩阵及一致性检验

C	A_1	A_2	A_3
A_1	1	1/5	3
A_2	5	1	3
A_3	1/3	1/3	1

注：$\lambda_{max}=3.05$ $R_C=0.043$ $0.043=<0.1$。

表 3 $A_1—D_i$ 判断矩阵及一致性检验

A_1	D_1	D_2
D_1	1	3
D_2	1/3	1

注：$\lambda_{max}=0.866$ $R_C=0.000<0.1$。

表 4 $A_2—D_i$ 判断矩阵及一致性检验

A_2	D_3	D_4	D_5	D_6
D_3	1	1/5	1/5	3
D_4	5	1	3	7
D_5	5	1/3	1	5
D_6	1/3	1/7	1/5	1

注：$\lambda_{max}=4.060$ $R_C=0.022$ $0.022=<0.1$

表 5 $A_3—D_i$ 判断矩阵及一致性检验

A_3	D_7	D_8	D_9
D_7	1	3	5
D_8	1/3	1	3
D_9	1/5	1/3	1

注：$\lambda_{max}=3.10$ $R_C=0.086$ $0.086=<0.1$

2.5 判断矩阵的一致性检验

为保证结论的合理性和可靠性，结合专家问卷调查结果，对所构建的判断矩阵进行一致性检验

计算公式如下：

$$R_C=I_C/I_R \tag{1}$$

$$I_C=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \qquad (\lambda_{max}=\sum_{i=1}^{n}\frac{(AW)_i}{nW_i}) \tag{2}$$

式中：I_R——平均随机一致性指标，可查表求得。

当 $R_C<0.1$ 时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的。

3 结果与分析

3.1 评价指标选择结果与分析

根据上述研究方法可知，对构建雨水花园植物评价体系的判断矩阵进行一致性检验，所有矩阵的 R_C 值均小于 0.1，判断矩阵具有一致性，说明雨水花园的评价体系模型和权重结果的确定有有效的，可信的。豫北地区雨水花园植物选择与评价指标体系与权重计算结果如表 6 所示。从表 6 可看出准则层权重从高到低的排序为生物学生态特性(0.718)〉观赏特性(0.156)〉环境保护功能(0.127)。这说明雨水花园植物的选择首先考虑的是生物学生态学特性，兼具生态学特性和生物学特性的雨水花园植物有利于雨水花园的生态平衡，其次是植物的观赏特性。在指标层中，排名前四的是抗旱性(0.370)、抗湿性(0.214)、绿化美化特性(0.099)、去污降污能力(0.098)。说明抗旱性在豫北地区雨水花园植物的选择中具有重要作用，因为豫北地区春、秋、冬季干旱少雨，雨水主要集中在夏季；抗湿性位居第二，因为雨水花园的植物要求有短暂的耐水湿特性。同时雨水花园植物属于景观营造的重要组成部分，绿化美化特性也具有举足轻重的作用，植物的去污降污能力对于雨水的净化吸收，重复利用也具有较重要的生态学意义。

表 6 雨水花园植物评价体系各层级权重

A 准则层	D 指标层	评价因子	$W(C—A_i)$	$W(A—D_i)$	总评价值	排名
A_1	D_1	绿化美化特性	0.156	0.634	0.099	3
	D_2	景观时序性		0.366	0.057	6
A_2	D_3	根系发达程度	0.718	0.125	0.090	5
	D_4	抗旱性		0.515	0.370	1
	D_5	抗湿性		0.298	0.214	2
	D_6	自我繁殖能力		0.062	0.045	7
A_3	D_7	乡土植物	0.127	0.156	0.020	8
	D_8	去污降污能力		0.778	0.098	4
	D_9	植物对雨水的截流		0.067	0.009	9

3.2　赋值的确定与实例分析

对鹤壁、安阳市的雨水花园实地调研和评价指标分析的前提下,对 29 种典型雨水花园植物进行综合评价。邀请相关行业专业人员和景观设计人员按照很好(10 分)、较好(8 分)、一般(6 分)、较差(4 分)4 个级别对 9 个指标层进行逐一打分并求平均值,再结合每项指标的权重值进行加权,最后得出每种雨水花园植物的综合评价值。并将总评价值分为 4 个等级,一级(≥9),一级为雨水花园的首选植物,适应干旱、积水环境,具有较强观赏价值,管理容易;二级(7.5～9),雨水花园的较优品种,适应性稍差,具有一定的观赏价值;三级(6～7.5),雨水花园栽植的一般品种,耐水湿和耐干旱能较差,但也可以正常生长;四级(≦ 6),生长状况不良,有些甚至是外来入侵的风险,如再力花(表 7)。

表 7　豫北地区雨水花园植物综合评价值

名称	植物学名	植物习性	总分	排名	分级
千屈菜	*Lythrum salicaria*	多年生草本、生于潮湿草地、耐寒性强、喜水湿	9.782	1	1
红 蓼	*Polygonum orientale*	一年生草本、喜水又耐干旱、粗放管理可正常生长	9.532	2	1
东方狼尾草	*Pennisetum orientale*	多年生、喜光、耐旱、耐寒性强、不耐荫蔽	9.328	3	1
鸢 尾	*Iris tectorum*	多年生、生于浅水中、耐寒力强、亦耐半阴环境	9.321	4	1
细叶芒	*M. sinensis*‘*Gracillimus*’	多年生草本植物、耐半荫、耐旱、也耐涝	9.208	5	1
花叶芒	*Miscanthus sinensis* ‘*Variegatus*’	喜光、耐半阴、耐寒、耐旱、也耐涝	9.199	6	1
香彩雀	*Angelonia angustifolia*	多年生草本花卉、耐湿	8.911	7	2
狼尾草	*Pennisetum alopecuroides*	多年生草本、耐旱、耐湿,抗寒性强	8.653	8	2
红运萱草	*Hemerocallis* ‘*Batimore orioie*’	宿根花卉、喜光、耐半阴、抗旱、抗病虫能力强	8.125	9	2
玉 簪	*Hosta plantaginea*	多年生宿根花卉、耐寒冷,喜阴湿环境	8.011	10	2
蒲 苇	*Cortaderia selloana*	多年生草本、耐寒、喜温暖及湿润气候	7.856	11	2
蜀 葵	*Althaea rosea*	二年生草本、耐寒冷、喜阳光、耐半阴、但忌涝	7.265	12	3
松果菊	*Echinacea purpurea*	多年生草本植物、耐寒、喜光、耐干旱	7.252	13	3
荷兰菊	*Aster novi-belgii*	宿根花卉、喜湿润、耐干旱、耐寒、耐瘠薄	7.063	14	3
大花金鸡菊	*Coreopsis grandiflora*.	为多年生草本、喜肥沃、湿润排水良好的砂质壤土	6.899	15	3
蓝花鼠尾草	*Salvia farinacea*	多年生草本、喜温暖,湿润、耐寒性强	6.872	16	3
波斯菊	*Cosmos bipinnata*	忌炎热、忌积水、对夏季高温不适应、不耐寒	6.852	17	3
大滨菊	*Leucanthemum maximum*	多年生草本、耐寒、喜排水良好的沙壤土	6.365	18	3
假龙头	*Physostegia virginiana*	多年生草本、耐寒、耐旱、耐肥、适应能力强	6.354	19	3
月见草	*Oenothera biennis*	适应性强、耐酸耐旱、太湿地方、根部易得病	6.238	20	3
蓍 草	*Achillea wilsoniana*	多年生草本、耐寒,喜温暖、湿润	6.237	21	3
金光菊	*Rudbeckia laciniata*	宿根草本、耐寒又耐旱、但忌水湿	6.036	22	3
再力花	*Thalia dealbata*	多年生挺水草本植物、净化水质、注意入侵风险	5.324	23	4
常夏石竹	*Dianthus plumarius*	宿根草本、不耐寒、要求排水良好	5.237	24	4
八宝景天	*Hylotelephium erythrostictum*	多年生肉质草本、耐贫瘠和干旱、忌雨涝积水	5.235	25	4
美人蕉	*Canna indica*	多年生草本、不耐寒、稍耐水湿	5.078	26	4
金鸡菊	*Coreopsis drummondii*	多年生宿根草本、耐寒耐旱、适应性强	5.032	27	4
马鞭草	*Verbena officinalis*.	多年生草本、喜干燥、喜肥、怕涝、不耐干旱	4.982	28	4
大丽花	*Dahlia pinnata*	多年生草本、不耐干旱、不耐涝	4.689	29	4

4　结论与讨论

本文采用 AHP 层次分析法综合评价构建评价模型,为雨水花园的植物选择提供支撑。相对于雨水花园植物的选择与设计[11]等定性化选择雨水花园植物具有更实践和科学意义。相对于美景度评价法(SBE,适用于大景观样本的评价)[12-14],AHP 分析方法更适合于居住区、公园、绿地等的景观评价。

在实地调研和查阅文献的基础上,基于 AHP 方法的综合评价体系,对雨水花园植物选择的量化综合研究具有指导意义。本文将调查的雨水花园植物分为 4 级:1 级的千屈菜、红蓼、东方狼尾草、鸢尾、细叶芒、花叶芒是豫北地区建设雨水花园的首选植物;4 级的再力花、常夏石竹、八宝景天、美人蕉、金鸡菊、马鞭草、大丽花是建设雨水花园慎重选择的植物材料;2 级和 3 级的植物根据雨水花园种植区不同的水淹情况,选择合适的区域如蓄水区、缓冲区、边缘区进行雨水花园植物的种植[15],边缘区一般种植耐旱的植物,

缓冲区选用有一定的耐淹能力,又有一定耐旱能力的植物品种,蓄水区种植耐淹能力较强和抗污染能力较好的植物品种。雨水花园作为有效的雨水收集和净化系统,AHP 层次分析法在权重赋值,植物综合得分方面具有一定的主现性和片面性,如植物的纳污吸污能力在实践中应结合应用目标综合考虑。因此,在后续的研究中,应加强雨水花园植物跟踪调查、植物生理生态学实验、湿地生态系统中野生乡土植物的筛选,为豫北乃至中原地区雨水花园植物的选择和海绵城市建设提供理论支撑。

[参 考 文 献]

[1] 福州市城乡建设委员会. 海绵城市——低影响开发雨水系统构建[EB/OL]. (2015-01-08)[2017-11-17]http://www.fzjw.gov.cn/cms/siteresource/.

[2] 安阳市海绵城市建设项目设计导则:低影响开发雨水系统构建(试行)[S]. 安阳市住房和城乡建设局,2016.

[3] Steiner L M, Robert D W. Rain Gardens: Sustainable Landscaping for a Beautiful Yard & a Healthy World [M]. Canada: Voyageur Press Inc, 2012.

[4] Woelfle-Erskine C. Capturing the Rain for Your Own Water-efficient Garden[M]. Sweden: Timber Press, 2012.

[5] Kraus H, Spafford A. Rain Gardening in the South: Ecologically Designed Gardens for Drought, Deluge and Everything in Between[M]. USA: John F Blair Publisher, 2013.

[6] 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.

[7] 蔡好,董丽. 基于 AHP 的北京地区雨水花园植物选择研究[M]//张启翔. 中国观赏园艺研究进展,北京:中国林业出版社,2016.

[8] 熊胖,陈榕,姜帅,等. 张家界市园林地被植物景观质量评价与应用研究[J]. 水土保持通报,2018,38(5):307-312.

[9] 刘翠英,贺学林,张雄. 毛乌素沙地可用于园林绿化的植物资源及开发利用[J]. 水土保持通报,2006,26(4):91-95.

[10] 郜春丽,翁殊斐,赵宝玉. 基于 AHP 法的滨水绿道植物景观评价体系构建[J]. 西北林学院学报,2013,28(3):206-209.

[11] 刘斯荣,刘春丽. 雨水花园中植物的选择与设计[J]. 湖北工业大学学报, 2016,31(3):113-116.

[12] 李效文,贾黎明,郝小飞,等. 森林景观 SBE 评价方法[J]. 中国城市林业,2007,5(3):33-36.

[13] 陈翠玉,杨善云,严莉,等. 基于 AHP 的柳州市居住区植物景观评价体系构建[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(6):134-140.

[14] 宁惠娟,邵峰,孙茜茜,等. 基于 AHP 法的杭州花港观鱼公园植物景观评价[J]. 浙江农业学报,2011,23(4):717-724.

[15] 王佳,王思思,车伍,等. 雨水花园植物的选择与设计[J]. 北方园艺,2012(19):77-81.

(上接第 119 页)

[20] 李智广,李锐,杨勤科,等. 小流域治理综合效益评价指标体系研究[J]. 水土保持通报,1998,18(7):71-75.

[21] 王春玲,李世明,王久丽. 小流域综合治理效益评价管理信息系统的研究与应用[J]. 北京林业大学学报,2001,23(2):53-56.

[22] 邵强,李友俊,田庆旺. 综合评价指标体系构建方法[J]. 大庆石油学院学报,2004,28(3):74-76.

[23] Boon P J, Holmes N T, Raven P J. Developing standard approaches for recording and assessing river hydromorphology: The role of the European Committee for Standardization (CEN)[J]. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2010,20(S1):55-61.

[24] 倪晋仁,李英奎. 基于土地利用结构变化的水土流失动态评估[J]. 地理学报,2001,56(5):611-621.

[25] 王继军,郑科,郑世清,等. 中尺度生态农业建设效益评价指标体系研究[J]. 水土保持研究,2000,7(3):219-247.

[26] 李浩宇,周利军,李凯. 流域生态健康指标评价标准研究[J]. 产业与科技论坛,2015,14(15):125-127.

[27] 常国梁. 北京市生态清洁小流域治理措施布局研究[J]. 北京水务,2012(4):64-67.