

城市草坪节水灌溉方式的评价方法

罗茂婵, 苏德荣, 韩烈保

(北京林业大学草坪研究所, 北京 100083)

摘要: 运用层次分析法(AHP法)从绿地管理者的角度, 提出了“经济—技术—草坪质量—社会效应”的评价系统, 用来评价城市草坪的节水灌溉方式, 为今后城市草坪节水灌溉方式的选择提供了理论依据。

关键词: AHP法; 城市草坪; 节水灌溉; 综合评价

中图分类号: S275 **文献标识码:** A

Evaluation System of Water Saving Irrigation for Urban Lawn

LUO Mao-chan, SU De-rong, HAN Lie-bao

(Turfgrass Institute of Beijing Forestry University, Beijing City 100083, China)

Abstract: Using Analytic Hierarchy Process (AHP), in the view of lawn managers, the author brought forward a “Economy- Technology-Turf Quality-Social Effect” (ETTS) system to evaluate the water-saving irrigation style for urban lawn, which will offer theoretical foundation for the choice of water-saving irrigation style for urban lawn.

Key words: AHP; urban lawn; water-saving irrigation; comprehensive evaluation

0 引言

城市草坪是指在有规律地维护下形成的一种人工植被。它能净化空气、减少噪音、保持水土、调节空气温度、减少疾病传播、减少火灾等, 是一种相当价廉、耐久的地面覆盖物, 在保护生态环境中起着重要的作用。灌溉是保持草坪景观一种主要养护手段。当前城市草坪用水主要依靠自来水和地下水。随着城市建设的迅猛发展, 草坪用水量逐年提高, 人们提出各种节水灌溉方式, 如何评价这些方式是否合理利用水资源, 降低消耗, 最大限度发挥其效益, 是当前亟待研究解决的重要课题。

当前, 对城市草坪节水灌溉方式的评价在国内还是一个空白。张庆华^[1]根据《水利建设项目经济评价规范》, 建立了“经济评价指标—技术评价指标—社会评价指标”的农业节水灌溉方式的评价方法。但是由于城市草坪节水灌溉的效益不同于农业经济, 该评价系统并不适用于城市草坪节水灌溉方式的评价。本文结合园林养管工作的实务经验、景观灌溉方式的特点, 筛选出城市草坪绿地特征因子, 运用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称AHP), 从绿地管理者的角度, 提出“经

济—技术—草坪质量—社会效应”的指标系统, 用来评价城市草坪的节水灌溉方式, 为今后城市草坪节水灌溉方式的选择提供了理论依据。

1 城市草坪节水灌溉方式评价系统的设计思想

节水灌溉方式的选择受多种因素的影响, AHP^[2]法可以将不同层次、多个指标综合成一个无量纲的评判参数, 对人们主观判断作形式的表达、处理与客观描述, 通过判断矩阵计算出相对权重后, 要进行判断矩阵的一致性检验, 由此对各种节水灌溉方式进行排序, 从而选择最优的节水灌溉方式。以下为AHP法对城市草坪节水灌溉方式的评价步骤。

- ① 收集草坪节水灌溉的相关资料, 调查研究, 建立层次结构模型的评价指标。
- ② 专家咨询, 确立思维判断定量化的标度, 对各相关元素进行两两比较评分, 确定各层次判断矩阵。
- ③ 计算权重、矩阵的最大特征根, 进行一致性检验。
- ④ 确立评分标准, 处理不同类型的指标, 建立综合评价量

化模型。

- ⑤收集待评的项目数据,统计最后得分。
- ⑥进行综合评价结果分析。

2 城市草坪节水灌溉方式评价系统的建立

2.1 评价指标体系的设计原则

2.1.1 目的性

节水灌溉效益主要反映在对环境美化和生态保护的贡献上,体现在经济投资中。

2.1.2 针对性

城市观赏草坪为评价系统的主要服务对象,节水灌溉收益主要体现在城市草坪景观质量上。

2.1.3 数据的可获得性

指标体系中定量指标能找到确切的划分标准,定性指标力求有分明的评价标准。

2.2 城市草坪节水灌溉方式评价指标体系

城市草坪节水灌溉评价系统框图见图 1。

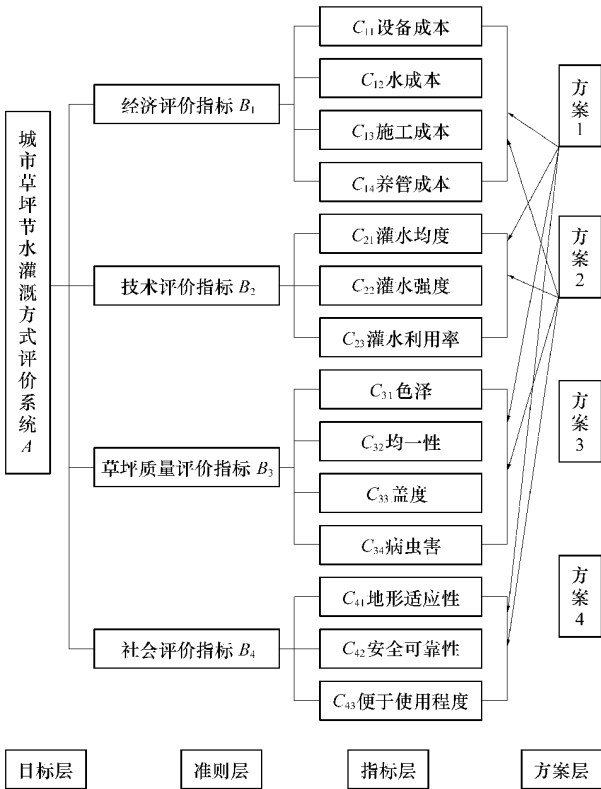


图 1 城市草坪节水灌溉评价系统

2.2.1 经济评价指标

经济评价指标反映的是在一定面积草坪上,灌溉设备的建设运营成本。其中包括了设备成本、水成本、施工成本和养管成本等 4 个指标。养管成本是指灌溉设备正常工作的维护费用和绿地养管费用(养分管理、病虫害防治和修剪保洁所需费用)。水成本取决于不同水源和其使用量。

2.2.2 技术评价指标

灌溉系统^[3]是指用于向景观输水的完整的管、阀、控制装置、监测仪表、喷头装置(喷头、滴灌器、喷水器)。技术评价指标是描述灌溉系统的主要特性的一些控制因子,包括系统的灌

水均度、灌水强度和灌水利用率等 3 个指标。

2.2.3 草坪质量评价指标

根据孙吉雄^[4]的草坪质量评定体系和封培波^[5]对上海露地宿根花卉景观价值的评价方法,筛选出草坪景观最具典型性的 4 个指标,分别是草坪的色泽、均一性、盖度和病虫害情况来反映节水灌溉处理后景观保持的状况。

2.2.4 社会评价指标

社会评价指标包括 3 个指标,主要反映的是节水灌溉设备与景观地形结合的好坏、设备的安全可靠性以及日常管理工作的方便程度。

2.3 构造方法及过程

2.3.1 比较判断矩阵的构造及一致性的检验

AHP 法构造出 B 层相对于 A 层的比较判断矩阵: $A = (b_{ij})^{n \times n}$, 其中: $b_{ij} > 0, b_{ij} = 1/b_{ji} (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 。 b_{ij} 一般取 1, 3, 5, 7, 9 等 5 个等级标度, 其意义为: 1 表示 B_i 与 B_j 同等重要; 3 表示 B_i 较 B_j 重要; 5 表示 B_i 较 B_j 很重要; 7 表示 B_i 较 B_j 更重要; 9 表示 B_i 较 B_j 极端重要。此外, 2, 4, 6, 8 表示相邻判断的中值。比较判断矩阵是通过专家组对各指标进行比较得到的, 凭经验形成的矩阵与理论比较矩阵有误差, 为了限制这种误差, 计算判断矩阵的最大特征值 λ_m , 并与阶数 n 构成度量判断矩阵偏离一致性指标 CI , 即 $CI = (\lambda_m - n)/(n - 1)$, CI 与判断矩阵的平均随机一致性指标 RI 之比 CR , 即为判断矩阵一致性指标, $CR = CI/RI$, 可由表 1 查到。若 $CR < 0.10$ 则认为该矩阵具有满意一致性, 否则应进行调整。

表 1 平均随机一致性指标 RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

本文在广泛征询有关专家意见的基础上综合分析得出如下指标判断矩阵。

① B 层比较判断矩阵及权向量

$$A(B) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 7 \\ 1/2 & 1 & 2 & 5 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.5060 & 0.5405 & 0.4737 & 0.4375 \\ 0.2530 & 0.2703 & 0.3158 & 0.3125 \\ 0.1687 & 0.1352 & 0.1579 & 0.1875 \\ 0.0723 & 0.0540 & 0.0526 & 0.0625 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.4894 \\ 0.2879 \\ 0.1623 \\ 0.0604 \end{bmatrix}$$

② C 层比较判断矩阵及权向量

$$A(B_1) = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 3 & 4 \\ 5 & 1 & 6 & 7 \\ 1/3 & 1/6 & 1 & 2 \\ 1/4 & 1/7 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.1519 & 0.1329 & 0.2858 & 0.2856 \\ 0.7595 & 0.6624 & 0.5714 & 0.4998 \\ 0.0506 & 0.1104 & 0.0952 & 0.1429 \\ 0.0380 & 0.0946 & 0.0476 & 0.0714 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.2141 \\ 0.6232 \\ 0.0998 \\ 0.0629 \end{bmatrix}$$

$$A(B_2) = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/5 \\ 1/3 & 1 & 1/7 \\ 5 & 7 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} 0.1579 & 0.2727 & 0.1489 \\ 0.0526 & 0.0909 & 0.1064 \\ 0.7895 & 0.6364 & 0.7447 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.1932 \\ 0.0833 \\ 0.7235 \end{bmatrix}$$

$$A(B_3) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/3 & 2 \\ 1 & 1 & 1/3 & 2 \\ 3 & 3 & 1 & 5 \\ 1/2 & 1/2 & 1/5 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} 0.1818 & 0.1818 & 0.2857 & 0.2000 \\ 0.1818 & 0.1818 & 0.2857 & 0.2000 \\ 0.5455 & 0.5455 & 0.5357 & 0.5000 \\ 0.0909 & 0.0909 & 0.1071 & 0.1000 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.2123 \\ 0.2123 \\ 0.5317 \\ 0.0972 \end{bmatrix}$$

$$A(B_4) = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 \\ 1/2 & 1 & 4 \\ 1/6 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} 0.6000 & 0.6154 & 0.5455 \\ 0.3000 & 0.3077 & 0.3636 \\ 0.1000 & 0.0769 & 0.0909 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0.5870 \\ 0.3238 \\ 0.0893 \end{bmatrix}$$

③一致性检验

比较判断矩阵一致性检验参数见表2。

表2 比较判断矩阵一致性检验参数表

比较判断矩阵	最大特征值 λ_m	矩阵阶数 n	CI	IR	CR
A(B)	4.0192	4	0.0064	0.90	0.0071 < 0.1
A(C ₁)	4.1535	4	0.0512	0.90	0.0512 < 0.1
A(C ₂)	3.0660	3	0.0330	0.58	0.0569 < 0.1
A(C ₃)	4.0221	4	0.0074	0.90	0.0082 < 0.1
A(C ₄)	3.0098	3	0.0046	0.58	0.0079 < 0.1

2.3.2 总权重的计算

经过分层计算,就可以确定每个评价指标在体系中的总权重(见表3)。

表3 系统指标总权重

评价指标	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	C层各指标总权重
C ₁₁	0.4894	0.2879	0.1623	0.0604	0.1049
C ₁₂					0.3050
C ₁₃					0.0488
C ₁₄					0.0308
C ₂₁		0.1610			0.0464
C ₂₂		0.0947			0.0273
C ₂₃		0.3262			0.0939
C ₃₁			0.2123		0.0345
C ₃₂			0.2123		0.0345
C ₃₃			0.5317		0.0863
C ₃₄			0.0972		0.0158
C ₄₁				0.5870	0.0355
C ₄₂				0.3238	0.0196
C ₄₃				0.0893	0.0054

根据各指标的总权重排序,得出指标的重要性,按权重大小依次是水成本、设备成本、灌水利用率、草坪盖度、施工成本、灌水均度、地形适应性、色泽、均一性、养管成本、灌水强度、安全可靠、草坪病虫害程度、使用的方便程度。

3 城市草坪节水灌溉方式评价系统评分标准

3.1 定量指标的转换处理

节水灌溉项目的经济评价指标和技术评价指标都为量化指标,均可通过计算获得,但是需要对定量指标进行指标规范化处理,消除指标间数量级差异过大和指标的量纲,使各指标在同一层次中具有可比性。具体方法是对指标进行指数化处理,即同一指标数列中的最大值除以数列中的每一个指标,得到的商即为规范化处理后的指标值。计算公式如下。

$$E_{ii} = \frac{E_i}{E_m}$$

3.2 草坪质量指标评分方法

表4 草坪质量指标与评分标准

项目	评分				
	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
色泽 ^[6]	墨绿	深绿	绿	浅绿	黄绿
均一性 ^[7]	0.9~1.0	0.8~0.9	0.7~0.8	0.6~0.7	≤0.6
盖度 ^[7] /%	90~100	80~90	70~80	60~70	≤60
病虫害 ^[6]	<1/5	1/5~1/2	1/2~2/3	≥2/3	

3.3 社会评价指标评分方法

社会评价指标为定性指标,对其各项指标的量化值可通过模糊评判法获得。具体方法为:请节水灌溉的专家和设备使用者(一般为6个以上),对所给定的指标按规定的评语进行评判,由此计算指标的隶属度。

指标评语集 $V = \{V_1(\text{很好}), V_2(\text{较好}), V_3(\text{一般}), V_4(\text{较差}), V_5(\text{很差})\}$

标准隶属度集 $U = (1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2)$

依据N个专家和设备使用者对各个指标不同节水灌溉方式所下的评语,按其标准隶属度进行平均,其平均值作为该指标的评分。

4 评价与选择

节水灌溉和绿地养管单位专家组,结合现场观察、测量,在评分表上分项打分。再结合经过规范化处理后的工程造价和设备技术指标,得到方案的各项指标的数值矩阵,分别与各项指标的总权重相乘后累加,得到方案的最后得分。根据得分大小即可评定草坪节水灌溉方式的选用是否合适。

5 结语

对城市草坪节水灌溉方式评价体系计算分析,得出了5个最重要的参考指标,按权重大小依次是水成本、设备成本、灌水利用率、草坪盖度和施工成本。

层次分析法(AHP)使城市草坪节水灌溉方式评价客观化、条理化、数量化,避免了过多的主观因素。本评价系统对所有的指标评分做了明确的规定和处理,尽量减 (下转第49页)

表 1 各处理甘蔗出苗与分蘖情况 %

处理	出苗率		分蘖率		
	4月16日	4月28日	4月29日	5月11日	5月25日
1	70.7	95.2	20.0	55.1	62.8
2	70.4	95.1	19.0	54.9	62.5
CK	60.6	70.8	12.8	42.4	58.5

32%；处理 2 比对照增产 34.56 t/hm²，增长了 32%。经统计分析，处理 1 和处理 2 之间的产量差异不显著，但处理 1 和处理 2 与对照的产量差异均达 32%显著水平。

表 2 各处理农艺性状与实收产量

处理	株高/cm	茎径/cm	有效茎/	产量/
			(万条·hm ⁻²)	(t·hm ⁻²)
1	345	2.62	9.582	143.73
2	343	2.61	9.555	143.34
CK	311	2.46	6.953	108.78

2.3 对甘蔗蔗糖分的影响

从 11 月至次年 1 月的 3 次甘蔗蔗糖分分析结果可知(见表 3)，处理 1 和处理 2 每月蔗糖分都明显高于对照处理。处理 1 平均蔗糖分为 16.85%，处理 2 平均蔗糖分为 16.80%，两者相差不大，比对照平均蔗糖分 15.74% 分别提高 1.11% 和 1.06%(绝对值)。

表 3 各处理甘蔗蔗糖分 %

处理	11月14日	12月17日	1月10日	平均
1	16.09	17.2	17.25	16.85
2	16.07	17.1	17.23	16.80
CK	14.31	16.2	16.70	15.74

2.4 经济效益

按原料蔗收购价每吨 175 元，蔗糖回收率 85%，白糖销售价每吨 0.28 万元计，各处理经济效益分析如表 4。从表 4 中看

农业效益，处理 1 和处理 2 原料蔗产值比对照均有所增加，分别增值 0.612 2 万元/hm²、0.605 4 万元/hm²。工业效益，处理 1 比对照增值 1.370 1 万元/hm²，处理 2 比对照增值 1.355 0 元/hm²。

表 4 各处理经济效益

处理	农业效益			工业效益		
	蔗产量/ (t·hm ⁻²)	产值/ (万元· hm ⁻²)	增值/ (万元· hm ⁻²)	产糖量/ (t·hm ⁻²)	产值/ (万元· hm ⁻²)	增值/ (万元· hm ⁻²)
1	143.73	2.515 3	0.612 2	20.121	5.633 9	1.370 1
2	143.34	2.508 5	0.605 4	20.067	5.618 8	1.355 0
CK	108.78	1.903 1	—	15.228	4.263 8	—

3 结 语

旱坡甘蔗采用 SJP65 喷灌机进行灌溉，能促进甘蔗出苗，提早分蘖，提高分蘖成茎率，增加有效茎；促进蔗茎长高、长粗，增加单茎重，从而有效地增加甘蔗产量。同时，旱坡甘蔗采用 SJP65 喷灌机进行灌溉还能促进甘蔗糖分积累，对甘蔗蔗糖分含量有一定的促进作用，特别对甘蔗早期蔗糖分的提高效果十分明显。旱坡甘蔗采用 SJP65 喷灌机进行灌溉虽然前期要投入一定的资金进行工程建设，但获得的回报率是很高的，值得在生产上推广应用。

参考文献：

- [1] 吴文佳. 论雷州半岛旱坡地甘蔗地甘蔗高产高糖栽培技术的实施要点[J]. 广西蔗糖, 2004, (3): 48—49.
- [2] 刘培林. 旱坡地甘蔗高产高糖综合栽培初探[J]. 甘蔗糖业, 2004, (4): 18—21.
- [3] 谢锦华. 亩产吨糖原料蔗栽培技术[J]. 广西蔗糖, 1996, (3): 7—10.
- [5] 封培波, 胡永红, 张启翔. 上海露地宿根花卉景观价值的综合评价[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(6): 84—86.
- [6] 刘建秀. 草坪坪用价值综合评价体系的探讨[J]. 中国草地, 1998, (1): 44—47.
- [7] 刘及动, 陈秋全, 焦念智. 草坪质量评定方法的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1999, 20(2): 44—48.
- [8] 苏德荣, 吴劲风, 韩烈保. 草坪工程质量评价模型[J]. 北京林业大学学报, 2000, 22(2): 54—55.
- [9] 韩烈保. 草坪管理学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1994.
- [10] 苏德荣. 草坪灌溉及排水工程学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [11] 马光艳, 朱洪革. 城市绿化工程质量的模糊综合评价[J]. 中国园林, 2004, (4): 65—67.
- [12] 赵焕臣, 许树柏. 层次分析法[M]. 北京: 科学技术出版社, 1986.
- [13] 庄锁法. 基于层次分析法的综合评价模型[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2000, 23(4): 583—585.
- [14] 朱茵, 孟志勇, 阚叔愚. 用层次分析法计算权重[J]. 北方交通大学学报, 1999, 23(5): 119—122.

(上接第 17 页) 少数据的模糊性，提高了评价的精确性和可操作性。虽然比较判断矩阵还是由专家凭经验给出的，存在一定的人为因素，但是通过一致性检验，克服了两两相比的不足，减少了经验矩阵和理论比较矩阵的误差。

关于草坪质量的评定，色泽等指标受草种、季节和目测者主观的影响较大，存在一定的误差。

该评价体系可用于已建草坪节水灌溉工程的评定，预测新项目方案的效果，指导建立经济合理可行、技术效果优良、景观优美、社会效应良好的城市草坪节水灌溉项目。

参考文献：

- [1] 张庆华, 白玉慧. 节水灌溉方式优化选择[J]. 水利学报, 2002, 2(1): 47—49.
- [2] 郑海金, 华 璐, 高占国. 草坪质量的指标体系与评价方法[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2003, 24(1): 78—82.
- [3] 斯蒂芬. W. 史密斯. 景观灌溉[Z]. 大连: 大连理工大学, 2002, 1—6.
- [4] 孙吉雄. 草坪学(第二版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003, 363—364.