

北京平原百万亩造林工程建设效果评价研究

冯雪¹, 马履一^{1,2*}, 蔡宝军³, 段 劼², 贾黎明^{1,2}, 贾忠奎¹, 王金增³

(1. 北京林业大学 林学院, 教育部森林培育与保护重点实验室, 北京 100083; 2. 北京林业大学 国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100083; 3. 北京市园林绿化局, 北京 100013)

摘 要: 基于可行性、科学性、系统性原则, 以环境、社会、经济、美学和绿化等 5 项为约束层指标, 结合灰色统计法和专家决策信息建立了具有 24 项标准层指标的评价体系, 对北京平原百万亩造林工程建设效果进行了综合评价, 其中环境指标最为重要, 权重为 0.461 4, 美学指标的权重最低, 仅为 0.115 2。评价总得分为 72.38 分, 这一得分与刚进行 3 a 造林绿化的客观实际基本吻合。本文同时结合该评价结果对北京城市平原工程造林建设提出了建议。

关键词: 平原造林; 效果评价; 指标体系; 城市林业

中图分类号: S727.28 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2016)01-0136-09

Effectiveness Evaluation Based on The Afforestation Construction in Beijing Plain

FENG Xue¹, MA Lu-yi^{1,2*}, CAI Bao-jun³, DUAN Jie², JIA Li-ming^{1,2}, JIA Zhong-kui¹, WANG Jin-zeng³

(1. Key Laboratory for Silviculture and Cousevatiou of Ministry of Education, College of Forestry Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. National Energy Research and Development Center for Non-food Biomass, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Beijing Municipal Gardens Bureau, Beijing 100013, China)

Abstract: The effectiveness evaluation index system was built based on the principle of being feasible, scientific and systematic. Every indicator was selected by grey system statistical method and expert decision-making information. The built evaluation system contained 5 constrained layer indicators: environmental, social, economic, aesthetic, greening indices, and 24 index level indicators. Among all the indicators, the most important indicator was environmental index, its weight was 0.461 4; the least important indicator was aesthetic index, its weight was 0.115 2. The test area was evaluated by the built evaluation index system with a score of 72.38. The score fit the fact that the afforstine construction began 3 years ago. The evaluation results would provide theoretical references for the urban forestry and its development.

Key words: Afforestation in plain; effectiveness evaluation; index system; urban forestry

近年来,随着城市的不断扩张,各种“城市病”凸显,城市生态安全受到严重威胁。北京平原地区是北京市人口、产业的聚集区和首都功能的主要承载区,保障城市生态安全、建设生态文明城市尤为重要。2002 年出版的《中国可持续发展林业战略研究总论》^[1]中就论述了我国城市林业的发展的战略目标:建设以林木为主体,森林与其他植被协调配置的

城市森林生态网络体系,使全国 70% 的城市林木覆盖率 2050 年达到 45% 以上。2009 年北京森林覆盖率为 37%,山区 50.97%,平原地区仅为 14.85%^[2],而北京平原地区占总面积的 38.6%,平原地区森林覆盖率与平原地区面积所占比例极不匹配。2012 年初,为全面落实科学发展观,建设生态文明城市,转变发展方式,促进绿色增长,改变北京平原地区森

收稿日期:2015-03-23 修回日期:2015-05-16

基金项目:北京市科技计划“北京平原百万亩造林科技支撑工程”(Z121100008512002);北京市科技计划“应对 PM_{2.5} 空气污染的北京造林工程关键技术研究示范”(Z121100000312069)。

作者简介:冯雪,女,硕士,研究方向:城市林业。E-mail:lisaxue001@126.com

* 通信作者:马履一,男,教授,研究方向:城市林业、森林培育。E-mail:maluyi@bjfu.edu.cn

林覆盖率较低的现状,北京市委、市政府作出了在平原地区实施百万亩造林工程建设的重大决策^[3]。

平原百万亩造林工程已经进行了 3 a,政府和社会都非常关注该项庞大工程的发展和实施效果。该研究以森林培育学、生态学、景观学等学科为理论依据,通过灰色统计法筛选指标、模糊层次分析法计算权重,通过建立以环境、社会、经济、美学和绿化等项指标为核心的评价指标体系,企图对造林工程建设效果进行系统地评价,为该项工程的顺利实施提供依据。

前人研究表明,城市森林作为城市生态的重要组成部分,对城市起着调节小气候、净化空气、降低噪声、保持水土,为市民提供休闲娱乐场所的作用^[3-6]。目前学者研究较多的是城市森林服务功能的功能量和这些功能所产生或潜在的价值量^[7-10],但本次造林工程从 2012 年开始至今不过 3 a,森林的各项服务功能未能完全发挥,森林服务功能的功能量和价值量不能准确、客观的评价。因此笔者从另外一个角度对本次造林工程进行评价,即评价造林工程的建设效果,通过各评价指标的现状值与评

价标准值的比乘以各指标权重,计算出本次造林工程的总得分,通过总得分来评价本次造林工程的效果是否达到预期,而非对城市森林服务功能评价。本文结合评价结果中得分较低的指标,提出针对工程顺利实施、后期管理开发意见,并放眼整体,为今后北京城市林业建设提出了改进方向,为今后城市林业发展、首都生态圈完善奠定基础。

1 试验区概况

北京市总面积为 16 411 km²,其中平原地区面积 6 338 km²,占总面积的 38.6%。本研究选择平原百万亩造林工程的 6 个重要示范区和主要造林地类作为试验区,其中 6 个示范区分别为:昌平示范区、顺义示范区、房山示范区、通州示范区、延庆示范区、大兴示范区;6 个典型地类为:砂石坑、退耕地、废弃鱼塘、河滩沙地、道路两侧绿化、腾退地(表 1)。其中,昌平示范区的地类为砂石坑,不再另选其他地类。研究地域总共包括 11 个试验区,总面积约为 7.88 km²,约占平原造林总面积的 1.2%。

表 1 试验区概况
Table 1 General situation of test area

	地点	地类	纬度	经度	面积 /km ²	主要树种	平均胸径 /cm	密度 /(棵· hm ⁻²)
示范区	1	延庆	40.5°	115.9°	0.35	刺槐、栎树、千头椿、元宝枫、银杏、白蜡、榆树、旱柳、油松、黄栌	6.7	930
	2	房山	39.6°	115.9°	0.67	刺槐、槐树、榆树、千头椿、元宝枫、银杏、桑树、油松、松柏、榆叶梅	7.7	825
	3	大兴	39.5°	116.3°	0.61	槐树、栎树、榆树、元宝枫、银杏、白杨、椿树、油松、白皮松、紫穗槐	7.5	915
	4	顺义	40.2°	116.6°	0.69	绦柳、栎树、刺槐、榆树、泡桐、椿树、桑树、油松、白皮松、紫叶李	7.9	780
	5	通州	39.8°	116.9°	0.42	槐树、栎树、银杏、元宝枫、白杨、泡桐、楸树、油松、松柏、桃树	6.8	855
	6	昌平	砂石坑	40.2°	116.1°	槐树、刺槐、银杏、栎树、旱柳、元宝枫、榆树、油松、松柏、桃树	7.2	795
典型地类	7	北七家	鱼塘	40.2°	116.4°	刺槐、绦柳、银杏、榆树、栎树、椿树、泡桐、油松、侧柏、金银木	8.3	735
	8	百善镇	农耕地	40.2°	116.3°	槐树、悬铃木、银杏、栎树、桑树、白蜡、丝棉木、油松、白皮松、海棠	7.8	750
	9	北臧村	河滩沙荒地	39.7°	116.2°	刺槐、旱柳、榆树、银杏、桑树、柿树、椿树、油松、松柏、槲榆	7.4	840
	10	唐家岭	腾退地	40.1°	116.3°	悬铃木、刺槐、槐树、旱柳、元宝枫、丝棉木、椿树、油松、华山松、海棠	7.9	870
	11	京平高速公路	道路绿化	40.0°	117.0°	栎树、榆树、刺槐、银杏、白蜡、泡桐、油松、白皮松、金叶女贞	5.9	1 050
	总计				7.88			

2 研究方法

2.1 构建评价指标体系

2.1.1 指标初选 以全面性、科学性、系统性、可行

性为原则选择评价指标,指标体系应考虑各指标之间的层次关系^[11]。评价指标体系分为 3 个层次,从上至下分别为目标层、约束层、标准层。其中目标层包含 1 个指标,约束层 5 个指标,标准层包含 33 个

指标。

2.1.2 指标筛选 本研究采用灰色统计法^[12]筛选影响造林工程建设效果评价的重要指标。首先采用李克特评分法^[13],即 1~7 分别表示指标重要性依次增加,设计专家调查问卷,再根据专家决策信息计算各指标决策向量,筛选重要程度为高的评价指标。

灰色统计法和模糊层次分析法是专门针对“少数不确定性”的问题,如陈勇^[14]等在城市森林林内景观评价指标筛选时采用了 19 位专家决策信息,杨

静怡^[15]在研究宜居城市评价指标体系时采用了 25 位专家的决策信息,徐革^[16]在我国大学图书馆电子资源绩效评价采用了 35 位专家的决策信息筛选指标。本研究通过电子邮件的形式,向全国各大高校、科研机构的林业及相关专业的 245 位专家发放本次调查问卷,请专家以数字 1~7 来表示某一指标的重要程度。本次问卷一共收回来自 7 个不同学科的 64 位专家的回复(表 2),问卷回收率为 26.1%。

表 2 指标筛选专家类型
Table 2 Fields of experts for selection

研究领域	森林培育	城市林业	环境科学	森林经理	生态学	观赏园艺	林业经济管理
人数	18	15	10	8	7	3	3
总计	64						

2.1.3 权重计算

2.1.3.1 收集专家决策信息 根据层次分析法原理设计“北京平原百万亩造林工程建设评价指标权重专家调查问卷”,即让专家对同类指标(U_i 和 U_j)进行两两比较后对其相对重要性打分, U_{ij} 取值含义见表 3。

考虑到研究的连贯性,本次权重调查问卷请之前填写过指标筛选问卷调查的 64 位专家第 2 次填写,一共回收到 33 份专家决策信息,回收率达 51.6%(表 4)。

表 3 U_{ij} 取值含义
Table 3 Meaning of U_{ij}

U_{ij} 的取值	含义
1	U_i 与 U_j 同样重要
3	U_i 比 U_j 稍微重要
5	U_i 比 U_j 明显重要
7	U_i 比 U_j 相当重要
9	U_i 比 U_j 极其重要
2,4,6,8	相邻判断 1~3,3~5,5~7,7~9 的中值
$1/U_{ij}$	表示 i 比 j 的不重要程度

表 4 权重调查专家研究类型
Table 4 Fields of experts for weight survey

研究领域	森林培育	城市林业	森林经理	环境科学	生态学	林业经济管理	观赏园艺
人数	11	7	6	4	2	2	1
总计	33						

2.1.3.2 计算各指标权重 本研究在计算权重时采用杨静怡^[15]研究北京宜居度评价指标权重计算方法,即结合改进后的层次分析法和模糊三角函数来计算各指标权重。

2.2 指标获取方法

2.2.1 野外调查指标

2.2.1.1 样地布设 每个调查试验区内均匀布设 8 块 20 m×30 m 样地,一共 88 块样地,取每块样地 4 个角及对角线交点作为测试点,同时取距离造林地 50 m 以上的无林地作为对照,在 8:00、12:00、16:00 调查以下指标:

2.2.1.2 空气含菌量 配置培养细菌和霉菌的培养基置于测试点采样 10 min 后带回实验室培养^[18],统计菌落数后采用奥梅梁斯基公式^[16]计算空气微生物的含量。

2.2.1.3 降噪 采用台湾 Lutron SL-4001 噪声仪

连续监测对照点及测试点噪声 5 min 后计算噪声减少率。

$$V=\frac{V_b-V_a}{V_b}$$

(1)

式中, V_a 为测试点噪声值; V_b 为对照点噪声值。

2.2.1.4 负离子浓度 采用日本 COM-3200 PRO 空气离子检测仪连续监测测试点空气负离子浓度 5 min,取平均值作为该点某一时段负离子浓度,取 3 个时间段平均值即为某试验区的空气负离子浓度。

2.2.1.5 降温增湿 采用美国 Kestrel 4500 Pocket Weather Tracker 移动气象站连续监测对照点及测试点温度、湿度 5 min 后取平均值得到测试点温度 T_a 、 H_a 和对照点湿度 T_b 、 H_b 。取 3 个时间段降温增湿率平均值即为该试验区的降温增湿率。降温增湿率计算公式如下:

$$T=T_b-T_a$$

(2)

$$H=T_1-T_b$$

(3)

2.2.1.6 病虫害 将病虫害对树木的危害程度由轻到重分为无伤害、轻微伤害、中等伤害、较重伤害、严重伤害 5 级,分别赋值为 5、4、3、2、1,记录每块样地中每棵树的病虫害程度。

2.2.1.7 造林成活率 调查每块样地内的造林成活率,每个试验区的成活率为每块样地的平均值。

2.2.2 内业处理指标

2.2.2.1 SO₂ 吸收量 首先,根据选择《北京平原地区造林工程技术指导意见》重点建议的乔木 20 种(5 种常绿树种),20 种花灌木,20 种地被植物,20 种水生植物树种为研究对象;其次,根据实际踏查的每个试验区的植物配置情况,造林树种中乔木树种的类型和面积都占较大比例,因此笔者认为每个试验区选择 7 种常绿树种,2 种常绿树种和 1 种花灌木,共 10 种典型造林树种作为 SO₂ 吸收量和滞尘量树种采样比例较为合理。同时,采集鹫峰森林公园内

相同树种作为对照。

每个树种叶片按比例采样^[21]后带回实验室,采用林业行业标准《森林植物与森林枯枝落叶层全硅、铁、铝、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、铜、锌的测定》(LY/T 1270—1999)测定叶片含硫量,计算叶片单位面积含硫量。

2.2.2.2 滞尘量 滞尘量测定采样一般在降雨量超过 15 mm 后 15 d^[22],采样树种选择和采样方法与含硫量测定的论述相同。目前滞尘量的分析尚无标准方法,因此本试验采用最常用的差重法^[23]计算叶片单位面积滞尘量。

2.2.2.3 美景度 每块样地采集 8 张照片,并从中选取 1 张能够代表该样地的照片作为评价照片^[24]。公众、专家、专业学生、非专业学生对景观美景的判断上没有显著性差异^[25],所以根据易获取性原则选择了大学生作为美景度评判者,采用 SBE 法评价每块样地的美景度。评判者人数及专业见表 5。

表 5 美景度调查对象专业类型

Table 5 Majors of students for scenic beauty evaluation

专业	林学	城市林业	园林	森林保护	机械设计	机械自动化
人数	33	29	17	14	9	9
总计	111					

2.2.2.4 叶面积指数 在试验地内均匀选取 30 个有代表性的样点,利用美国 Regent Instrument 公司生产的鱼眼数码相机在每个样点自下而上拍摄植被冠层的球形图像。利用 WinSCANOPY2006a 软件处理植被冠层球形图像得到叶面积指数(LAI)。

2.2.3 资料统计指标

2.2.3.1 造林树种多样性 参考《北京常见树木》^[26]统计造林树种中北京常见树种的比例,用 Simpson 多样性指数计算造林树种多样性。

$$\lambda=1-\sum p_i^2$$

(4)

p_i 为造林树种占北京常见树种的百分比。

2.2.3.2 观赏植物季相多样性 参考《北京植物志》^[27]统计各造林树种分别属于春景植物、夏景植物、秋景植物和冬景植物的数量,用 Simpson 多样性指数计算观赏植物季相多样性。

$$\lambda=1-\sum p_i^2$$

(5)

p_i 为各类树种量占造林树种总量之比。

2.2.3.3 乡土树种比例 参考《北方乡土树种园林应用》^[28],统计各造林树种是否为乡土树种,利用是乡土树种的造林树种数量和所有造林树种数量相比所得。

2.2.3.4 常绿、落叶树种比例 根据《北京平原地区造林工程技术指导意见》中的造林建议树种中常

绿树种数量和落叶树种数量相比。

2.2.3.5 城市森林分布均匀度指数 由以下公式计算所得:

$$E=H/H_{\max}$$

(6)

$$H_{\max}=\log_2 m$$

(7)

式中, m 为景观种类数; H 为多样性指数; H_{\max} 为最大多样性指数。

2.2.3.6 林木管护费用等级 北京市园林绿化局提供数据:林木养护管理补助标准为每年 4 元·m⁻²。

2.2.4 PM_{2.5} 浓度 采用美国热电 PDR-1500 便携式气溶胶颗粒物检测仪监测 PM_{2.5} 浓度,监测点均在北京平原百万亩造林工程造林区内,检测时间为 2014 年 7—8 月,每天 7:00—18:00,每隔 0.5 h 记录 1 次 PM_{2.5} 浓度。取每天的平均值即为某一试验区的 PM_{2.5} 浓度。

2.2.5 问卷调查指标 设计“北京平原百万亩造林工程社会效益评价专家调查问卷”和“北京平原百万亩造林工程社会效益评价居民调查问卷”,邀请专家和居民填写本次问卷,分别调查植物配置合理性、促进区域发展方式转变程度、促进就业、投入与产出比和居民环保意识提高程度、居民生活质量提高程度、居民对造林工程的满意度。

2.3 确定评价标准值

2.3.1 国内标准

2.3.1.1 PM_{2.5} 浓度 根据我国《环境空气质量标准》即 GB 3095—2012 中的规定,二类区域空气颗粒物(粒径小于等于 2.5 μm)的浓度限值为 75 μg·m⁻³。

2.3.1.2 林木管护费用等级 依据北京市《城市园林绿化养护管理标准》(DB 11/T213—2003)和北京市《城市绿地建设和管理等级质量标准(试行)》,城市绿地养护定额投标准为 9~12 元·m⁻²。

2.3.1.3 空气含菌量 采用中国科学院生态环境研究中心推荐的空气微生物评价标准(表 6)。

表 6 空气质量评价标准

Table 6 Evaluation criterion of air quality

×10 ⁴ CFU·m ⁻³				
等级	污染程度	细菌	霉菌	空气总微生物
I	清洁	<0.1	<0.08	<0.3
II	较清洁	0.1~0.25	0.08~0.125	0.3~0.5
III	轻微污染	0.25~0.5	0.125~0.2	0.5~1.0
IV	污染	0.5~1.0	0.2~0.45	1.0~1.5
V	中度污染	1.0~2.0	0.45~1.1	1.5~3.0
VI	严重污染	2.0~4.5	1.1~3.5	3.0~6.0
VII	极严重污染	>4.5	>3.5	>6

2.3.2 相关学者研究结果 在选择相关学者研究结果作为标准时,尽量选择与本次研究条件相似的研究结果作为标准,如乔灌草结合的绿地类型降噪能力能达到 13.26%,有林地与无林地相比可降温 1~3℃^[29-30],增湿 2%~13%^[29-30],北京近郊地区的空气负离子浓度约 600~1 000 个·cm⁻³^[31-32],落叶乔木单位面积含硫量^[21](表 7)和滞尘量^[22](表 8)分别为 0.445 g·m⁻²、1.159 g·m⁻²,或者学界普遍认可的结果,如城市绿地叶面积指数维持在 3 左右能较好地发挥城市绿地的各种生态功能,乡土树种比例要达到 70%以上才能充分体现城市特色,一般认为常绿、落叶树种比例为 3:7 较为合理。

表 7 不同植被类型叶片含 S 量

Table 7 Sulfur content of different vegetation form leaves

g·m ⁻²	
植被类型	含 S 量
落叶乔木	0.445
常绿乔木	0.263
灌木	0.253

引自:罗艳红,绿化树种对大气 SO₂ 的净化作用,2000。

2.3.3 自身标准 部分指标以望其能达到的最大值或自身最优值(期)作为标准,如造林成活率、造林树种多样性、观赏植物季相多样性、城市森林分布均匀度指数、病虫害、美景度。通过调查问卷所得指标均以该指标的最高程度作为标准,如植物配置合理

性、促进区域发展方式转变程度、促进就业、投入与产出比、居民环保意识提高程度、居民生活质量提高程度、居民对造林工程的满意度。

表 8 不同植被类型叶片滞尘能力

Table 8 Ability of laying dust of different vegetation form leaves

g·m ⁻²	
植被类型	滞尘能力
落叶乔木	1.159
常绿乔木	7.731
灌木	0.917

引自:冯朝阳等,京西门头沟区自然植被滞尘能力及效益研究,2007。

3 结果与分析

3.1 指标筛选结果

将专家决策信息带入白化函数后得到各指标的决策向量,指标决策向量计算结果如表 9。根据表 9 指标决策向量计算结果,选择决策向量[η₁(j),η₂(j),η₃(j)]最大的指标入选,即重要程度为高的指标入选。本次筛选中共 33 个指标(表 9),24 个指标入选(表 10),淘汰了 9 个:NO_x 吸收量,与 SO₂ 吸收量相似,但目前研究较多的是植物对 SO₂ 的吸收;森林类型多样性,与造林树种多样性重复;风速变化指数,没有实际意义,且风速变化太快,不易比较;空气清洁度,计算时包括了负离子浓度,但不如负离子浓度能体现森林的效益;社会文明进步作用,难易度量,且没有太大实际意义;林地基础设施建设程度,没有实际意义;森林公园旅游收入,本次造林森林公园的建设并不占主体,且目前森林公园免收门票,基本没有收入;混交林比例,本次造林主要以块状混交为主,所以该指标没有实际意义;郁闭度,和叶面积指数重复且没有叶面积指数精确。

3.2 评价指标体系及其权重

采用前面所述的模糊层次分析法,结合 33 位专家的决策信息,计算各层次、各指标的权重如表 10 所示。5 个约束层指标权重由高到低依次为环境指标、社会指标、绿化指标、经济指标、美学指标;其中环境指标最为重要,权重为 0.461 4,美学指标的权重最低,仅为 0.115 2。在环境指标中,权重主要分布于 PM_{2.5} 浓度、吸收 SO₂、滞尘量、空气含菌量这 4 个指标上。在绿化指标中,权重主要分布于乡土树种比例、病虫害、造林成活率、植物配置合理性。社会指标、经济指标、美学指标的各标准层权重分布相对均匀。这样的权重分布体现了相关领域专家认为在本次造林工程中建设首都生态圈、改善首都空气质量、科学有效地造林是重点,同时达到增加平原地区森林资源、改善平原人居环境、增加居民绿色游憩

表 9 指标决策向量计算结果

Table 9 The calculation results of decision vector of every index

指标	K 高	K 中	K 低	重要程度	是否入选
滞尘量	57.00	5.33	1.67	高	是
SO ₂ 吸收量	44.67	17.67	1.67	高	是
NO _x 吸收量	27.33	32.00	4.67	中	否
PM _{2.5} 浓度	58.67	4.00	1.33	高	是
降噪	31.67	27.67	4.67	高	是
空气含菌量	35.33	15.67	13.00	高	是
造林树种多样性	48.00	12.67	3.33	高	是
森林类型多样性	29.67	32.67	1.67	中	否
降温增湿	38.67	22.67	2.67	高	是
风速变化指数	25.33	28.67	10.00	中	否
空气负离子浓度	45.67	17.67	0.67	高	是
空气清洁度	30.67	32.00	1.33	中	否
居民环保意识提高程度	42.67	20.33	1.00	高	是
居民生活质量提高程度	56.67	4.67	2.67	高	是
居民对造林工程的满意度	38.33	22.67	3.00	高	是
促进就业	49.00	10.67	4.33	高	是
社会文明进步作用	9.67	25.67	28.67	低	否
促进区域发展方式转变程度	35.67	18.33	10.00	高	是
林地基础设施建设程度	17.00	30.33	16.67	中	否
城市森林维护成本	44.67	18.67	0.67	高	是
森林公园旅游收入	8.33	47.67	8.00	中	否
投入与产出比	36.33	25.67	2.00	高	是
观赏植物季相多样性	37.33	24.67	2.00	高	是
美景度	53.67	7.67	2.67	高	是
乡土树种比例	49.67	12.67	1.67	高	是
常绿、落叶树种比例	31.00	27.33	5.67	高	是
混交林比例	10.00	38.33	15.67	中	否
城市森林分布均匀度指数	47.33	15.33	1.33	高	是
植物配置合理性	50.67	12.67	0.67	高	是
成活率	56.67	7.33	0.00	高	是
郁闭度	29.33	31.33	3.33	中	否
叶面积指数	43.67	18.33	2.00	高	是
病虫害	38.33	25.33	0.33	高	是

空间、提供绿岗就业等目的。这些与本次平原造林的总体规划相符合。

3.3 评价结果

采用建立起来的评价体系,对北京平原百万亩造林工程建设效果进行评价(表 11)。由评价结果可以看出,评价总分为 72.38,总体上处于中上等水平。

表中部分指标得分为 60 分左右,处于较低水平,究其原因有如下方面:目前造林时间都在 3 a 左右,比起树木的生长周期来说还很短,林内尚未郁闭,如叶面积指数、美景度、SO₂ 吸收量、滞尘量效益需要林分成熟后才能充分体现;同时由于森林的这些效益还未充分体现,加之平原造林工程尚未完工,居民还未切身体会到本次造林工程对环境的改善作用,因此居民生活质量提高程度、居民环保意识提高程度、居民对造林工程的满意度得分还处于较低水平;由于本次造林工程的针对性,造林地区主要集中

在平原“两环、三带、九楔、多廊”区域,而且主要营造大面积的生态景观林,因此城市森林分布均匀度得分也较低;林木管护费用为 4 元·m⁻²,与目前城市绿地的管护费用相差较大,但总体上来说林木管护成本低于绿地管护成本,因此费用相对较少,同时随着平原造林工程的逐步完成,林木管护将成为今后工作的重点,管护费用也会随之提高。

表中部分指标得分超过 80 分,属于较高水平。本次平原造林工程的造林地在造林前都是非林地,而有无林木对降温增湿、噪声衰减影响较大,有学者研究表明,有林地内的小气候与无林地有显著差异,因此在无林地上造林后降温增湿、降噪的效果很明显;造林树种多样性、乡土树种比例,常绿、落叶树种比例、植物配置合理性的得分也较高,充分体现了本次造林工程在树种选择方面的合理性、营造城市森林的科学性;造林后树木病虫害程度较轻,造林成活率超过 95%,这充分体现了在造林过程中和造林后

表 10 北京平原百万亩造林工程建设效果评价指标体系及其权重

Table 10 The effectiveness evaluation index system Based on the afforestation construction in Beijing Plain and its weight

约束层	约束层权重	标准层	标准层权重	总权重
环境指标	0.461 4	吸收 SO ₂	0.188 2	0.086 8
		PM _{2.5} 浓度	0.200 1	0.092 3
		空气含菌量	0.115 7	0.053 4
		滞尘量	0.124 1	0.057 3
		降噪	0.083 8	0.038 7
		负离子浓度	0.091 2	0.042 1
		降温增湿	0.090 2	0.041 6
社会指标	0.163 5	造林树种多样性	0.111 7	0.051 5
		促进区域发展方式转变程度	0.160 7	0.026 3
		居民环保意识提高程度	0.227 6	0.037 2
		居民生活质量提高程度	0.280 7	0.045 9
		居民对造林工程的满意度	0.149 2	0.022 4
经济指标	0.119 3	促进就业	0.181 0	0.029 6
		林木管护费用等级	0.504 7	0.060 2
美学指标	0.115 2	投入与产出比	0.495 3	0.059 1
		观赏植物季相多样性	0.536 9	0.061 9
绿化指标	0.146 8	美景度	0.463 1	0.053 4
		乡土树种比例	0.230 7	0.033 9
		常绿、落叶树种比例	0.110 3	0.016 2
		城市森林分布均匀度指数	0.092 9	0.013 6
		植物配置合理性	0.142 5	0.020 9
		病虫害	0.181 4	0.026 6
		造林成活率	0.179 2	0.026 3
		叶面积指数	0.070 2	0.010 3

表 11 北京平原百万亩造林工程建设效果评价结果

Table 11 The results of effectiveness evaluation Based on the afforestation construction in Beijing Plain

指标	调查值	标准值	得分	权重
吸收 SO ₂ /(g·m ⁻²)	0.268(落叶树种)	0.445	60.22	0.086 8
	0.137(常绿树种)	0.263	52.09	
	0.157(灌木)	0.253	62.06	
PM _{2.5} 浓度/(μg·m ⁻³)	92	75	77.33	0.092 3
空气含菌量	Ⅱ级	Ⅰ级	71.43	0.053 4
滞尘量/(g·m ⁻²)	0.653(落叶树种)	1.159	56.34	0.057 3
	4.016(常绿树种)	7.731	51.95	
	0.482(灌木)	0.917	52.56	
降噪/%	14.07	13.26	100.00	0.038 7
负离子浓度/(个·cm ⁻³)	757	1 000	75.70	0.042 1
降温增湿/℃	2.3	3.0	76.67	0.041 6
	11.36%	13%	87.38	
造林树种多样性	0.84	1	84.00	0.051 5
促进区域发展方式转变程度	75.68	100	75.68	0.026 3
居民环保意识提高程度	68.59	100	68.59	0.037 2
居民生活质量提高程度	55.23	100	55.23	0.045 9
居民对造林工程的满意度	68.56	100	68.56	0.022 4
促进就业	82.36	100	82.36	0.029 6
林木管护费用等级/(元·m ⁻²)	4	9	44.44	0.060 2
投入与产出比	69.97	100	69.97	0.059 1
观赏植物季相多样性	0.7	1	70.00	0.061 9
美景度	4.22	7	60.29	0.053 4
乡土树种比例/%	89	70	100.00	0.033 9
常绿、落叶树种比例	1:3	3:7	95.23	0.016 2
城市森林分布均匀度指数	0.51	1	51.00	0.013 6
植物配置合理性	89.77	100	89.77	0.020 9
病虫害	4.5	5	90.00	0.026 6
造林成活率/%	98	95	100.00	0.026 3
叶面积指数	1.7	3	56.67	0.010 3
北京平原百万亩造林建设效益评价	72.38			

注:评价总分=Σ(调查值/标准值)×权重。

对林木的合理栽植和管理;通过专家调查问卷,总体上专家认为造林工程对就业的促进程度较高,同时北京市园林绿化局网站资料显示,北京连续实施 5 a 平原造林,将提供 10 万个以上就业岗位。部分指标得分为 60~80 分,处于中上等水平,如 PM_{2.5} 浓度、空气含菌量、负离子浓度,促进区域发展方式转变程度、投入与产出比、观赏植物季相多样性等,这些指标也会随林龄的增加得分会增加。

4 结论与讨论

截至目前,北京平原造林工程已进入主体建设后期。本次评价通过 5 个约束层指标、24 个标准层指标建立起完整的评价指标体系,在该评价指标体系中,环境指标权重为 0.461 4,社会指标权重为 0.163 5,经济指标权重为 0.119 3,美学指标权重为 0.115 2,绿化指标权重为 0.146 8。采用该评价体系对北京平原百万亩造林工程进行效果评价,评价结果为 72.38 分,造林工程建设总体效果处于中上等水平,该评价结果与造林 3 a 的事实基本相符。从评价指标体系和评价结果可以看出,评价结果与各指标权重和标准值有直接关系,权重越大对评价结果的影响越大,如环境指标权重最大,其标准层指标得分高低对整体评价结果影响相比起其他指标而言较大;同时,标准值的合理性也关乎评价结果,标准值并不是越高越好,而是要结合本次造林工程的实际情况,选取合理的评价标准,如叶片吸收 SO₂、滞尘量等指标,各区域测定结果相差较大,笔者在选择这类标准值时,尽量选择与造林区域相近、树种相同、检测方法相似的前人研究结果作为标准值。本研究侧重于就造林时间仅为 3 a 而言,造林工程建设效果是否达到预期,并非与成熟的城市森林的各项服务功能作比较。

鉴于评价结果中仍有 9 项指标得分仅为 60 分左右,还需要进一步加强管理,提升造林效果,对本次造林工程及北京城市林业的发展提出以下建议。

4.1 加强后期科学经营管理,促进森林服务功能发挥

目前吸收 SO₂、滞尘量等森林生态服务功能、叶面积指数、美景度等效益不明显,但生态服务是建设城市森林最基本也是最重要的目的之一。因此在造林工程主体建设已基本完成后,加强林木管理,合理经营,促进林分郁闭,有利于城市森林生态服务功能的发挥,改善首都生态环境。在生态服务功能得到发挥的前提下,进一步提升美景度,优化绿色游憩空间,扩大城市森林各项服务功能,从而促进首都生态圈平衡。

4.2 加强公众参与,实现全民参与绿化

从对居民的调查来看,居民对本次造林工程的认知度明显不足,部分市民对平原造林不够了解。而城市森林的建设正是为了改善城市居民生活空间的生态环境,公众也是城市森林建设中不可或缺的一部分。因此城市森林的建设全市市民都应参与,了解北京城市林业的建设情况,不仅可以促进市民环保意识,还可以根据市民的需求规划建设合理的绿色游憩空间,提高市民生活质量。

4.3 完善造林空间布局,全面建设首都生态网络

北京平原造林地区主要集中在平原“两环、三带、九楔、多廊”区域,着重营造大面积的城市景观生态林和建设具有一定宽度的绿色通道为重点,但从总体格局上来看,这些大面积的景观生态林主要集中在郊区。因此,为了进一步完善造林空间布局,优化城市森林分布均匀度,全面改善北京城市生态环境,不仅需要建设大片城市景观生态林这样的“点”,同时更应该加宽加厚城市道路绿化和水系绿化这样的“线”,合理连接“点”和“线”的空间布局,形成网络状森林生态景观,建立并加强北京平原地区生态网络。

4.4 提高林木管理技术,适当增加林木养护费用

就目前的情况而言,大面积的造林工程已基本完成,造林工程今后的重点将从造林后的保活转向林木养护工作。林木养护的好坏直接影响到城市森林建设的好坏,但目前林木养护费用标准仅为 4 元·m⁻²,因此逐步提高林木管护费用,加大林木管护力度,提高林木管护技术将成为今后北京城市林业建设的重点。

4.5 建立长期观测网络,科学经营

城市森林建设是一个长期的过程,北京平原造林工程自 2012 年开始至今不过 3 a 时间,目前造林工程主体建设部分基本完成,而造林后的管护和更加长远的城市森林经营管理才刚刚开始,因此建立一个完整的观测网络十分必要。该观测网络既能监测城市森林的健康状况,根据监测结果制定长期的经营方案,又能预测可能发生的病虫害,从而及时调整经营方案,真正做到科学经营、建设。

参考文献:

[1] 中国可持续发展林业战略研究项目组.中国可持续发展林业战略研究总论[M].北京:中国林业出版社,2002.

[2] 王成.北京平原造林增绿的战略思考[J].中国城市林业,2012,10(1):7-11.

WANG C. Strategic thinking of greening Beijing plain[J]. Journal of Chinese Urban Forestry,2012,10(1):7-11. (in Chinese)

- [3] 北京园林绿化局. 大力实施平原地区百万亩造林工程加快建设绿色北京和中国特色世界城市[C/OL]. [2012-7-22]. http://www.forestry.gov.cn/Zhuanti/content_2012stjzhy/554102.html.
- [4] AVISSAR R. Potential effects of vegetation on the urban thermal environment[J]. *Atmosph Environ*, 1996, 30(3): 437-448.
- [5] 赵煜, 赵千钧, 崔胜辉, 等. 城市森林生态服务价值评估研究进展[J]. *生态学报*, 2009, 29(12): 6723-6732.
- ZHAO Y, ZHAO Q J, CUI S H, *et al.* Progress in ecological services evaluation of urban forest[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6723-6732. (in Chinese)
- [6] 蔡春菊, 彭镇华, 王成. 城市森林生态效益及其价值研究综述[J]. *世界林业研究*, 2004, 17(3): 17-20.
- CAI C J, PENG Z H, WANG C. The ecological benefit of urban forest and trees and its value[J]. *World Forestry Research*, 2004, 17(3): 17-20. (in Chinese)
- [7] 陈自新, 苏雪痕, 刘少宗, 等. 北京城市园林绿化生态效益的研究(3)[J]. *中国园林*, 1998, 14(57): 53-56.
- CHEN Z X, SU X H, LIU S Z, *et al.* The study of ecological benefits of urban gardening and greening in Beijing(3)[J]. *Chinese Landscape and Architecture*, 1998, 14(57): 53-56. (in Chinese)
- [8] 余新晓, 秦永胜, 陈丽华, 等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. *生态学报*, 2002, 22(5): 783-786.
- YU X X, QIN Y S, CHEN L H, *et al.* The forest ecosystem services and their valuation of Beijing mountain areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 783-786. (in Chinese)
- [9] 李忠魁, 周冰冰. 北京市森林资源价值初报[J]. *林业经济*, 2001(2): 36-42.
- LI Z K, ZHOU B B. The primary report of forest resources value in Beijing[J]. *Forestry Economic*, 2001(2): 36-42. (in Chinese)
- [10] 胡艳琳, 戚仁海, 由文辉, 等. 城市森林生态系统生态服务功能的评价[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2005, 29(3): 111-114.
- HU Y L, QI R H, YOU W H, *et al.* Ecological service functional assessment on forest ecological system of Kunshan City[J]. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2005, 29(3): 111-114. (in Chinese)
- [11] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. *数学的实践与认识*, 2012, 42(7): 93-99.
- [12] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [13] 黄广远. 北京市城区城市森林结构及景观美学评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [14] 陈勇, 孙冰, 廖绍波, 等. 城市森林林内景观评价指标筛选研究[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(16): 32-36.
- CHEN Y, SUN B, LIAO S B, *et al.* Research on evaluation indicators selection of urban forest In-forest landscape[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(16): 32-36. (in Chinese)
- [15] 杨静怡. 宜居城市绿化评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [16] 徐革. 我国大学图书馆电子资源绩效评价方法及其应用研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2006.
- [17] 林星, 孙见荆. 基于模糊 AHP 的国际货运代理评估[J]. *物流科技*, 2007(1): 99-102.
- [18] 任启文. 北京市绿地空气微生物浓度的变化特征研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [19] 张最, 郑坚, 付永川, 等. 重庆市城区空气微生物污染及评价[J]. *环境与健康杂志*, 2002, 19(3): 231-233.
- [20] 闫文德, 田大伦, 项文化, 等. 城市林地与非林地大气 SO₂ 季节动态变化[J]. *生态学报*, 2006, 26(5): 1367-1374.
- YAN W D, TIAN D L, XIANG W H, *et al.* Seasonal change in atmospheric SO₂ concentration in forested and non-forested urban lands[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1367-1374. (in Chinese)
- [21] 罗艳红. 绿化树种对大气 SO₂ 的净化作用[J]. *北京林业大学学报*, 2000, 22(1): 45-50.
- LUO Y H. Effect of purifying SO₂ in atmosphere by greening tree socies[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2000, 22(1): 45-50. (in Chinese)
- [22] 冯朝阳, 高吉喜, 田美荣, 等. 京西门头沟区自然植被滞尘能力及效益研究[J]. *环境科学研究*, 2007, 20(5): 155-159.
- FENG C Y, GAO J X, TIAN M R, *et al.* Research on dust absorption ability and efficiency of natural vegetation in Mentougou district, Beijing [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(5): 155-159. (in Chinese)
- [23] 朱艳天. 南京雨花台区主要绿化树种滞尘能力与绿地花境建设 [D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
- [24] 李艳. 武汉市九峰城市森林保护区景观美学分析评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [25] 俞孔坚. 自然风景质量评价研究——BIB-LCJ 审美评判测量法[J]. *北京林业大学学报*, 1988, 10(2): 1-7.
- YU K J. Landscape preference; BIB-LCJ procedure and comparison of landscape preference among differern groups[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1988, 10(2): 1-7. (in Chinese)
- [26] 梅志奋. 北京常见树木[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [27] 贺士元, 邢其华. 北京植物志[M]. 北京: 北京出版社, 1984.
- [28] 郭成源. 北方乡土树种园林应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [29] 鲁敏, 李英杰. 城市生态绿地系统建设——植物种选择与绿化工程构建[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [30] 王琛. 北京地区森林小气候特征研究——以妙峰山为例[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [31] 石强, 舒慧芳. 森林游憩区空气负离子评价研究[J]. *林业科学*, 2004, 40(1): 36-40.
- SHI Q, SHU H F. Research on evaluation of the aeroanion in forestry recreational areas[J]. *Scientia Silvae Sinica*, 2004, 40(1): 36-40. (in Chinese)
- [32] 邵海荣, 贺庆棠. 北京地区空气负离子浓度时空变化特征的研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(3): 36-39.
- SHAO H R, HE Q T, *et al.* Spatio-temporal changes of negative air ion concentrations in Beijing[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(3): 36-39. (in Chinese)