

杨静怡,张政文,吴 峰. 贵阳市主要绿化树种功能评价[J]. 江苏农业科学,2020,48(3):156-161.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.03.027

贵阳市主要绿化树种功能评价

杨静怡,张政文,吴 峰

(贵州大学林学院,贵州贵阳 550025)

摘要:城市树木为城市居民提供了多种多样的服务功能,但不同树种不同类型的功能是有差异的,因此需要建立评价体系以评估不同绿化树种功能的表现等级。建立了一个包含降温遮阴、滞尘、观赏性能和适应性的城市绿化树种功能综合评价指标体系,并以贵阳市为例,利用该评价体系计算了贵阳市 59 种主要绿化树种的功能表现得分。结果显示,柏木(*Cupressus funebris*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)和马尾松(*Pinus massoniana*)的综合功能表现得分较高,滇鼠刺(*Itea yunnanensis*)、紫荆(*Cercis chinensis*)和樱桃(*Cerasus pseudocerasus*)的综合功能得分较低。建议根据不同绿地类型的功能选择适宜的绿化树种,可将不同功能表现等级的树种进行搭配,以实现绿化树种在功能上的互补。

关键词:绿化树种;功能表现;评价指标;贵阳市

中图分类号: TU985.12⁺7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)03-0156-06

当今社会经济飞速发展,人们的物质生活水平不断得到提高,但人居环境质量却在不断下降^[1]。全球气候变化、空气污染等环境问题成为了诸多城市病发病率不断上升的主要诱因^[2]。人们在物质生活水平提高的同时,也更多地将注意力集中到如何提高人居环境质量上。众所周知,城市森林在改善城市环境的进程中扮演着重要角色,比如城市森林可以减少地表径流^[3],缓解城市热岛强度^[4],吸收二氧化碳^[5],减少空气污染^[6]等。

园林树木由于其生物量高、生命周期长、生态效益显著等特点,成为了城市绿化的主体^[7]。但是,在城市这样一个特殊的环境中,如何让树木在适应城市环境的同时还能充分发挥各种功能,达到美化和净化城市环境、提高城市居民身心健康水平的目的,绿化树种的选择是关键的一个环节^[8]。要想建立一个稳定的、高效的、持续发展的城市森林生态系统,必须要根据树种的形态和结构特性,结合其生态功能进行科学的树种选择。

不同树种由于形态和结构特点的不同,在功能上的表现也不尽相同^[9]。例如,植物的蒸腾作用能够对城市环境起到降温增湿的作用^[10]。植物的蒸腾作用主要是叶片表面的水分散发到空气中,因此植物叶片的一些特征,如叶片大小、叶量多少以及

收稿日期:2018-12-21

基金项目:贵州省科技合作计划(编号:黔科合 LH 字[2016]7447 号)。

作者简介:杨静怡(1985—),女,贵州贵阳人,硕士,讲师,主要从事城市生态学研究。E-mail:goldfishyy@163.com。

[6]魏书奎,于继洲,宣有林,等. 核桃叶片的叶绿素含量与光合速率的研究[J]. 北京农业科学,1994,12(5):31-33.

[7]赵宗方,吴建华. 梨树的光合特性[J]. 果树科学,1993,10(3):154-156.

[8]文晓鹏,罗 充. 板栗光合生理研究 I. 板栗品种的光合性能及影响因子[J]. 山地农业生物学报,1994(2):39-44.

[9]刘贞琦,刘振业,马达鹏,等. 水稻叶绿素含量及其与光合速率关系的研究[J]. 作物学报,1984,10(1):57-62.

[10]胡喜来,王 娜,张惠梅,等. 温室栽培下凯特杏叶片结构和光合特性研究[J]. 河南农业大学学报,2010,44(4):411-415.

[11]侯小改. 4 个牡丹品种光合特性的比较研究[J]. 河南农业大学学报,2007,41(5):527-530.

[12]蔡永立,宋永昌. 浙江天童常绿阔叶林藤本植物的适应生态学 I. 叶片解剖特征的比较[J]. 植物生态学报,2001,25(1):

90-98,130-131.

[13]杨克彬,孟凡志,郭先锋. 日光温室冬季增施 CO₂ 对切花红掌光合作用及生长发育的影响[J]. 应用生态学报,2017,28(6):1941-1947.

[14]胡建莹,郭 柯,董 鸣. 高寒草原优势种叶片结构变化与生态因子的关系[J]. 植物生态学报,2008,46(2):370-378.

[15]袁宏霞,孙 胜,张振花,等. 日光温室 CO₂ 加富对番茄叶片光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):136-139.

[16]李欣欣,陈凌艳,陈礼光,等. 高节竹和刺黑竹的光合特性分析[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):92-95.

[17]李艳艳,王俊青,许英豪,等. 油用牡丹不同种源光合特性的比较研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(17):137-141.

[18]马 微,廖 康,牛莹莹,等. 温室与露地栽培葡萄的光合及荧光参数差异分析[J]. 新疆农业科学,2016,53(3):393-399.

植物生长速率等都会影响其降温增湿功能^[11-13]。不同树种树冠的形态和密度直接影响其遮阴面积和对太阳辐射的过滤量。树冠对辐射的拦截量取决于林木的树枝密度、分枝量和叶片盖度,这些因素同时也会影响林木树型和茂密程度的总体特征^[14]。目前较多的研究都比较关注对绿化树种滞尘功能的表现。研究发现,叶片结构较复杂、表面较粗糙、有黏性、具有绒毛结构的树种截获 PM 的效率较高^[15]。常绿针叶树种因为针叶树枝茎复杂且全年有叶,其滞尘能力强于阔叶树种^[16]。同时,绿化树种在城市这样一种特殊的环境中,必须要适应当地的气候、瘠薄土壤和具有一定的抗旱能力,这样才能更加高效地发挥其功能效益。

因此,要对不同树种的生态功能及其适应性进行综合的量化评价,必须建立一个综合、系统的数学评价模型。评价研究必须要建立指标体系,指标体系有 3 个特点:一是可以简化复杂的信息,二是可以将信息量化,三是便于建立使用者与信息之间的交流。所以,构建指标体系是对科学精确性与信息简洁性要求之间的协调。

目前国内外对城市绿地生态功能评价标准的

研究很多^[17-20],但缺乏单木尺度,也就是基于不同树种的形态特征与功能之间的关系研究。而且,过去对城市森林功能和价值的研究多数是针对某一个特定区域的,研究结果不能在更大的范围进行推广。本研究在单木尺度上建立城市绿化树种功能和适应性的综合评价指标体系,并以森林城市贵州省贵阳市为例,对贵阳市主要绿化树种的 4 种功能进行评分划级,研究结果不仅能够为贵阳城市绿化树种选择提供科学依据,还能为今后贵阳市园林树木的育种工作提供方向性的建议。除此之外,该研究所建立的评价指标体系还可以在其他省(市、区)进行推广应用。

1 材料与方法

1.1 文献调查

查阅国内外相关文献,汇集影响林木生态效益、观赏性和对城市环境的适应性的形态和生长指标。通过专家咨询,从降温遮阴、滞尘、观赏性能和适应性能 4 个方面选择 18 个绿化树种评价指标并确定分级标准(表 1)。

表 1 城市绿化树种综合评价指标及其分级标准

功能	指标	评分标准		
		100	60	30
降温遮阴	冠幅	>10 m	5~10 m	<5 m
	树高	>20 m	10~20 m	<10 m
	树冠致密程度	密	中	稀
	叶片大小	>20 cm	5~20 cm	<5 cm
	叶量	多	中	少
	生长速度	快	中	慢
滞尘	树种类型	常绿针叶	常绿阔叶	落叶
	叶片复杂程度	羽状复叶或簇状针叶	羽状、掌状或多裂	完整单叶
	叶片大小	<5 cm	5~20 cm	>20 cm
	叶面粗糙程度	叶片表面被绒毛、鳞片、刚毛、丛毛、黏液、树脂	有纤毛、绒状、粗糙或部分被绒毛	表面光滑
观赏性能	树型	不规则特殊树型	圆形、卵圆形、锥形	不饱满
	冠型	典型	散乱	无型
	花果	花期较长,花、果醒目、繁密	花果较醒目	花、果不醒目
	色彩	色彩季相变化明显	色彩季相变化不明显	色彩单一且四季无变化
适应性能	气候适应性	乡土树种	非乡土树种但生长正常	非乡土树种,需要一定防护措施
	土壤适应性	各种土壤适应性强	耐受一定程度的不良土壤	需要良好的土壤
	干旱适应性	强耐旱性	能忍受一定程度干旱	不耐旱,需水分充足
	病虫害抗性	抗性强	抗性中等	病虫害多发

1.2 城市绿化树种综合评价指标体系模型构建

采用层次分析法自上而下逐层分解,把城市绿化树种综合评价指标体系分为 3 个层次。第 1 层为目标层,即城市绿化树种综合评价的总体目标(A)。

第 2 层为准则层,评价城市绿化树种降温遮阴(B1)、滞尘(B2)、观赏性能(B3)和适应性能(B4)的 4 个方面。第 3 层为指标层,即针对绿化树种 4 个方面的具体的 18 项评价指标:冠幅(C1)、树高

(C2)、树冠致密程度(C3)、叶片大小(C4)、叶量(C5)、生长速度(C6)、树种类型(C7)、叶片复杂程度(C8)、叶片大小(C9)、叶面粗糙程度(C10)、树型(C11)、冠型(C12)、花果(C13)、色彩(C14)、气候适应性(C15)、土壤适应性(C16)、干旱适应性

(C17)和病虫害抗性(18)。在各级层次上,两两比较指标间的相对重要性,在1~9之间进行赋值。根据判断结果构造判断矩阵,计算出指标权重并进行一致性检验,检验结果如表2所示。

表 2 判断矩阵的一致性检验

判断矩阵	检验指标				是否具有满意一致性
	λ_{\max}	<i>CI</i>	<i>RI</i>	<i>CR</i>	
A - B	4.070 868	0.023 623	0.90	0.026 247	是
B1 - C	6.157 163	0.031 433	1.24	0.025 349	是
B2 - C	4.010 356	0.003 452	0.90	0.003 836	是
B3 - C	4.045 692	0.015 231	0.90	0.016 923	是
B4 - C	4.121 320	0.040 44	0.90	0.044 933	是

注: λ_{\max} 为判断矩阵最大特征值,*CI*为一致性指标,*RI*为平均随机一致性指标,*CR*为一致性比例。

1.3 贵阳市城市公园主要绿化树种的功能评价

于2018年10月实地调查了贵阳市的12个城市公园:黔灵山公园、观山湖公园、南郊公园、南垭山体公园、经开区体育公园、仙人洞山体公园、文峰苑山体公园、南岳山山体公园、龙山公园、照壁山山体公园、檀香山公园和二层岩森林公园。在每个公园根据面积大小随机布设4~8个20 m×20 m的样方,调查样方内胸径大于10 cm的树种,并记录树种

名称、胸径、树高、冠幅、健康状况等信息。根据调查的树种特征利用表1的标准进行赋值,并根据所确定的指标权重计算各树种最终的功能得分。

2 结果与分析

2.1 城市绿化树种功能综合评价指标体系

利用层次分析法构建的城市绿化树种功能综合评价指标体系(表3)。

表 3 城市绿化树种综合评价指标体系及其权重

目标层	准则层	权重	指标层	分权重	总权重
城市绿化树种综合评价 A	降温遮阴 B1	0.189 879	冠幅 C1	0.235 644	0.044 744
			树高 C2	0.196 217	0.037 257
			树冠致密程度 C3	0.174 809	0.033 193
			叶片大小 C4	0.091 697	0.017 411
			叶量 C5	0.209 935	0.039 862
			生长速度 C6	0.091 697	0.017 411
	滞尘 B2	0.268 529	树种类型 C7	0.141 145	0.037 901
			叶片复杂程度 C8	0.262 700	0.070 543
			叶片大小 C9	0.141 145	0.037 901
			叶面粗糙程度 C10	0.455 010	0.122 183
			树型 C11	0.324 549	0.039 375
			冠型 C12	0.359 172	0.043 575
	观赏性能 B3	0.121 322	花果 C13	0.123 302	0.014 959
			色彩 C14	0.192 978	0.023 412
			气候适应性 C15	0.390 524	0.164 126
			土壤适应性 C16	0.138 071	0.058 027
			干旱适应性 C17	0.195 262	0.082 063
			病虫害抗性 C18	0.276 142	0.116 055

2.2 贵阳市主要绿化树种调查结果

在贵阳市的12个公园总共测量了1 303株胸径大于10 cm的林木单株,包含59个树种。图1显示了这59个树种的出现频率。出现频率排名前10的树种是马尾松(414株)、女贞(*Ligustrum lucidum*,

204株)、滇鼠刺(89株)、灯台树(*Bothrocaryum controversum*,68株)、光皮桦(*Betula luminifera*,55株)、朴树(*Celtis sinensis*,48株)、梧桐(*Firmiana platanifolia*,44株)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*,40株)、国槐(*Sophora japonica*,28株)和柏木(21株)。

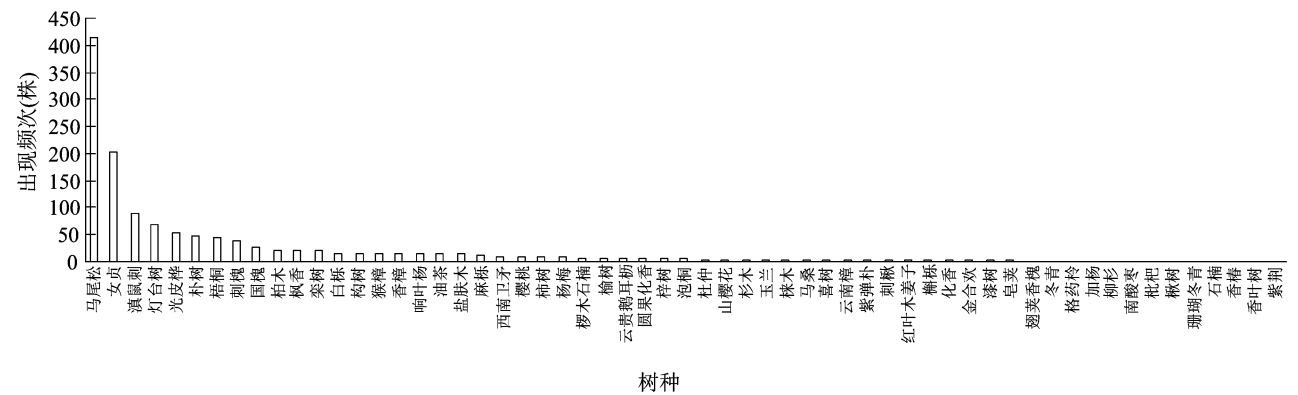


图1 调查树种的出现频次

2.3 贵阳市主要绿化树种功能综合评价结果

贵阳市主要绿化树种功能综合评分结果如表 4 所示。柏木、柳杉、马尾松和杉木 (Cunninghamia lanceolata) 等常绿针叶树种的综合评分较高。栎树 (Koelreuteria paniculata)、翅荚香槐 (Cladrastis platycarpa)、皂荚 (Gleditsia sinensis) 和构树 (Broussonetia papyrifera) 等落叶阔叶树种的综合评分较高。从降温遮阴的性能来看,榆树 (Ulmus pumila)、响叶杨 (Populus adenopoda)、加杨 (Populus × canadensis)、朴树和枫香 (Liquidambar formosana) 的

评分较高。而常绿针叶树种的滞尘效果较好。山樱花 (Cerasus serrulata)、灯台树、冬青 (Ilex chinensis)、金合欢 (Acacia farnesiana)、枇杷 (Eriobotrya japonica)、红叶木姜子 (Litsea rubescens) 和紫荆的观赏性能得分较高。其中,37 种树种的适应性较强,得分均在 70 分以上。梓树 (Catalpa ovata)、喜树 (Camptotheca acuminata)、楸树 (Catalpa bungei)、香樟 (Cinnamomum camphora)、杉木 (Cunninghamia lanceolata)、紫荆和樱桃的适应性较差。

表 4 贵阳市主要绿化树种功能评分结果

树种	得分				
	降温遮阴	滞尘	观赏性能	适应性	综合性能
柏木	80.487 47	100.000 00	64.878 54	72.661 84	80.544 64
柳杉	89.913 23	100.000 00	64.878 54	59.328 52	76.730 79
马尾松	68.765 59	100.000 00	50.511 66	72.661 84	76.575 88
栎树	82.064 55	71.919 45	74.366 94	72.661 84	74.454 8
翅荚香槐	93.581 11	58.269 15	74.366 94	72.661 84	72.976 06
皂荚	80.942 26	66.273 65	74.366 94	72.661 84	72.725 64
杉木	77.736 56	100.000 00	64.878 54	49.328 53	70.215 99
构树	73.093 58	73.966 05	44.474 25	72.661 84	69.674 34
金合欢	47.961 08	94.354 20	85.633 22	57.040 88	68.805 46
榉栎	78.191 35	51.531 30	68.577 60	72.661 84	67.542 18
榆树	96.332 02	34.234 35	74.366 94	72.661 84	67.044 35
枫香	96.332 02	30.000 00	82.086 06	72.661 84	66.843 81
杜仲	81.515 83	47.884 65	64.878 54	72.661 84	66.745 42
刺槐	93.581 11	58.269 15	74.366 94	57.040 88	66.411 02
国槐	93.581 11	58.269 15	74.366 94	57.040 88	66.411 02
泡桐	76.761 46	47.884 65	68.577 60	72.661 84	66.291 44
香椿	63.667 82	52.623 35	78.387 00	72.661 84	66.267 81
漆树	69.425 70	52.623 35	68.577 60	72.661 84	66.171 01
响叶杨	96.332 02	34.234 35	64.878 54	72.661 84	65.893 20
刺楸	88.483 34	37.881 00	68.577 60	72.661 84	65.830 91
猴樟	84.815 46	38.468 70	68.577 60	72.661 84	65.292 27
玉兰	62.604 35	47.884 65	79.299 02	72.661 84	64.904 05

表 4(续)

树种	降温遮阴	滞尘	观赏性能	适应性	综合性能
麻栎	77.274 38	42.115 35	68.577 60	72.661 84	64.839 61
灯台树	84.815 46	47.884 65	87.348 90	59.328 52	64.494 49
南酸枣	63.667 82	48.389 00	72.651 26	72.661 84	64.434 89
枇杷	47.044 11	52.119 00	85.633 22	72.661 84	63.855 01
加杨	96.332 02	47.884 65	70.667 88	57.040 88	63.696 04
柿树	63.667 82	47.884 65	79.299 02	67.139 00	62.784 89
杨梅	63.667 82	38.468 70	79.299 02	72.661 84	62.577 52
冬青	57.249 03	38.468 70	87.018 14	72.661 84	62.295 23
紫弹朴	63.667 82	47.884 65	54.210 72	72.661 84	62.062 22
云贵鹅耳枥	51.362 52	47.884 65	68.577 60	72.661 84	61.468 72
朴树	96.332 02	34.234 35	74.366 94	59.328 52	61.440 75
榕木石楠	59.999 94	38.468 70	74.366 94	72.661 84	61.282 70
女贞	92.664 14	38.468 70	68.577 60	59.328 52	61.178 96
格药枰	47.044 11	52.119 00	62.914 79	72.661 84	61.098 76
光皮桦	77.274 38	47.884 65	68.577 60	59.328 52	60.785 23
云南樟	59.999 94	38.468 70	64.878 54	72.661 84	60.131 55
化香	44.293 20	58.269 15	44.474 25	72.661 84	59.990 68
白栎	77.274 38	42.115 35	68.577 60	59.328 52	59.236 00
红叶木姜子	47.044 11	34.234 35	85.633 22	72.661 84	59.052 46
喜树	89.339 66	43.650 30	74.366 94	49.328 53	58.438 79
石楠	50.711 99	34.234 35	74.366 94	72.661 84	58.382 07
香叶树	47.044 11	38.468 70	64.878 54	72.661 84	57.671 51
梧桐	80.942 26	30.000 00	74.366 94	59.328 52	57.381 51
香樟	92.664 14	38.468 70	68.577 60	49.328 53	56.976 26
珊瑚冬青	44.293 20	38.468 70	62.914 79	72.661 84	56.910 92
马桑	39.169 67	52.119 00	39.488 43	72.661 84	56.761 44
梓树	67.335 70	43.650 30	81.559 56	49.328 53	55.133 33
盐肤木	35.501 79	47.884 65	33.699 09	72.661 84	54.225 57
圆果化香	35.501 79	47.884 65	33.699 09	72.661 84	54.225 57
楝木	59.999 94	34.234 35	74.366 94	57.040 88	53.580 62
油茶	40.746 06	38.468 70	38.631 17	72.661 84	53.291 26
西南卫矛	35.501 79	38.468 70	39.488 43	72.661 84	52.399 49
山樱花	44.413 94	34.234 35	92.280 98	53.470 66	51.294 07
楸树	54.113 43	34.234 35	74.366 94	49.328 53	49.221 62
滇鼠刺	40.746 06	38.468 70	30.000 03	64.851 36	48.961 59
紫荆	35.501 79	34.234 35	85.633 22	43.707 56	44.692 17
樱桃	41.799 84	47.884 65	77.914 10	33.707 57	44.414 34

3 结论与讨论

本研究从单木尺度建立了一个包含绿化树种的降温遮阴、滞尘、观赏性能和适应性的评价指标体系,并对贵阳市的 59 种绿化树种的功能表现进行了评价和分析。研究结果显示,7 种绿化树种的综合评分在 70 分以上,21 种绿化树种的综合评分在

60 分以下,其余的 31 种绿化树种综合得分均在 60~70 分之间。在具体的绿化树种选择中,应根据不同绿地类型的功能选择适宜的绿化树种。例如,公路绿化应选择滞尘效果较好的树种,如柏木、柳杉、栎树等;人行道绿化可选择降温增湿和减小辐射能力较好的树种,例如响叶杨、枫香和朴树等;城市公园、小区和单位绿地等可以搭配不同生态功能

表现等级的树种,并兼具美观性,在发挥生态功能的同时又能满足居民视觉上的景观需求。从季相变化的角度考虑,落叶树种与常绿树种相搭配,阔叶树种与针叶树种相搭配,既能做到功能上的互补,又能营造出四季变化的园林景观。

目前,有诸多学者都建立过城市绿化树种的评价指标体系。例如何兴元等构建了一个包含 17 个指标的城市森林树种综合评价指标体系^[21],但该研究并未给出具体的评价实例,无法验证其可行性。常亚敏等以北京为例,根据树种形态特征评估了北京市常见绿化树种阻滞吸附 PM_{2.5} 的能力^[22],但并未对绿化树种的其他生态功能进行评价。解迪以沈阳为例,从城市森林树种的生态功能及其抗性角度对沈阳市的常见绿化树种进行了综合评价^[23],但其中的一些指标操作不够简单易行。本研究从绿化树种生态功能的角度,根据绿化树木的形态和生长特点与其功能的关系,借鉴国内外的研究成果,建立了一个易操作的城市绿化树种功能综合评价指标体系,可为城市绿化提供一个快速、简洁、实用的树种选择方案。

但该评价体系只是一种定性评价,树种不同生态功能的指标赋值是根据树种的平均状况给出的,未考虑具体的环境和人工管护措施。在将来的研究中,可再进一步细化指标。

参考文献:

- [1] Ali R, Zhao H. Wuhan, China and Pittsburgh, USA: urban environmental health past, present, and future[J]. *EcoHealth*, 2008, 5(2): 159–166.
- [2] Proust K, Newell B, Brown H, et al. Human health and climate change: leverage points for adaptation in urban environments[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2012, 9(6): 2134–2158.
- [3] Xiao Q, Mcpherson E G, Simpson J R, et al. Rainfall interception by Sacramento's urban forest[J]. *Journal of Arboriculture*, 1998, 24: 235–244.
- [4] Ballinas Mónica, Barradas Víctor L. The urban tree as a tool to mitigate the urban heat island in Mexico City: a simple phenomenological model[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2016, 45(1): 157–166.
- [5] Ramirez J A, Handa I T, Posada J M, et al. Carbohydrate dynamics in roots, stems, and branches after maintenance pruning in two common urban tree species of North America[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 30: 24–31.
- [6] Xu Y, Shang B, Yuan X, et al. Relationships of CO₂ assimilation rates with exposure – and flux – based O₃ metrics in three urban tree species[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 233: 613–614.
- [7] 田玉荣. 园林树木在城市生态建设中的作用[J]. *现代农业科技*, 2010(22): 204, 206.
- [8] Sjöman H, Hiron A D, Bassuk N L. Urban forest resilience through tree selection—Variation in drought tolerance in *Acer*[J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, 14(4): 858–865.
- [9] Niinemets U, Keenan T F, Hallik L. A worldwide analysis of within – canopy variations in leaf structural, chemical and physiological traits across plant functional types[J]. *New Phytologist*, 2015, 205(3): 973–993.
- [10] Taha H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat[J]. *Energy and Buildings*, 1997, 25(2): 99–103.
- [11] De Abreu – Harbicha L V, Labakia L C. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 138: 99–109.
- [12] Correa E, Angelica Ruiz M, Canton A, et al. Thermal comfort in forested urban canyons of low building density. An assessment for the city of Mendoza, Argentina[J]. *Building and Environment*, 2012, 58: 219–230.
- [13] Shashua – Bar L, Potchter O, Bitan A, et al. Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel[J]. *International Journal of Climatology*, 2010, 30(1): 44–57.
- [14] Abreu – Harbich L V, Labaki L C, Matzarakis A. Thermal bioclimate as a factor in urban and architectural planning in tropical climates – The case of Campinas, Brazil[J]. *Urban Ecosystems*, 2014, 17(2): 489–500.
- [15] Saebo A, Popek R, Nawrot B, et al. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 427(5): 347–354.
- [16] 王 蕾, 哈 斯, 刘连友, 等. 北京市六种针叶树叶面附着颗粒物的理化特征[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 487–492.
- [17] Georgi N J, Zafiriadis K. The impact of park trees on microclimate in urban areas[J]. *Urban Ecosystems*, 2006, 9(3): 195–209.
- [18] Leuzinger S, Vogt R, Körner C. Tree surface temperature in an urban environment[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2010, 150(1): 56–62.
- [19] Shashua – Bar L, Hoffman M E. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees[J]. *Energy and Buildings*, 2000, 31(3): 221–235.
- [20] 徐剑波, 刘振华, 宋立生, 等. 基于遥感的广州市城市绿地生态服务功能评价[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(2): 440–445.
- [21] 何兴元, 宋 力, 徐文铎, 等. 应用 AHP 构建城市森林树种综合评价指标体系[J]. *辽宁林业科技*, 2006(3): 1–3, 15.
- [22] 常亚敏, 闫蓬勃, 杨 军. 北京地区控制 PM_{2.5} 污染的城市绿化树种选择建议[J]. *中国园林*, 2015, 31(1): 69–73.
- [23] 解 迪. 沈阳市绿化树种生态及抗性功能评价指标体系的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2006.