

气候障碍因子对城市绿化适生树种选择的影响——以上海世博公园为例

The Influence of Climate Obstacle Factors on the Selection of Suitable Tree Species for Urban Greening—Taking Shanghai World Expo Park as an Example

张冬梅
张浪*
有祥亮
崔健
曹福亮

ZHANG Dongmei

ZHANG Lang

YOU Xiangliang

CUI Jian

CAO Fuliang

摘要: 通过对上海近30年的气候因子汇总分析, 结合对上海世博公园主要绿化树种生长状况调查和年度生物量计算, 通过典型相关性分析发现, 极端高低温、强风和暴雨等5个气候因子对树木的生长产生了不同程度的影响, 有些因子严重阻碍了树木的正常生长, 成为障碍因子。经过10年的绿化实践证明, 上海世博公园对骨干树种的选择, 以乡土树种为主, 群落结构较为稳定, 且气候障碍因子对乡土树种的影响较小。在引种外来树种时, 采用气候相似植物区系法, 结合植物耐寒、耐热带图, 把种源地划分为2个气候带和3个植物区系, 并确定了最南引种线, 成功引种了红花槭等20种观花落叶乔木树种。
关键词: 园林植物; 气候障碍因子; 城市绿化; 适生树种; 选择

文章编号: 1000-6664(2020)05-0094-05

DOI: 10.19775/j.cla.2020.05.0094

中图分类号: S 688

文献标志码: A

收稿日期: 2019-12-27

修回日期: 2020-03-10

基金项目: 住房和城乡建设部科技研发项目“城市三种典型困难立地生态园林化关键技术研究与应用”(编号2018-K6-001)和上海市科委重点研发项目“上海‘四化’生态网络空间综合评价与质量提升关键技术研究及集成示范”(编号19DZ1203301)共同资助

Abstract: Based on the analysis of the climate factors in the past 30 years in Shanghai, combined with the investigation of the biomass of the main tree species in Shanghai World Expo Park, and their performance under the extreme climate factors, it was confirmed that the 5 climate factors, such as extreme high and low temperature, strong wind and rainstorm, made influences on the normal growth of greening trees and became the obstacle factors. After 10 years of greening practice, native tree species were successfully applied in Shanghai World Expo Park, and the impact of climate barriers on native tree species was smaller. In the introduction of exotic tree species, the provenance was divided into 2 climatic zones and 3 flora by adopting the method of climate similarity flora and combining with the cold and tropical tolerance map of plants, and nearly 20 species of color leaf ornamental tree species such as *Acer rubrum* were successfully introduced.

Keywords: landscape plant; climate obstacle factor; urban greening; suitable tree species; selection

20世纪90年代末期, 中国城市绿化进入大发展阶段。上海城市绿化从“见缝插针”到现在的高质量发展, 城市绿化指标逐年升高。2015—2017年, 上海每年新建绿地均超过1 000万 m^2 , 2017年新建绿地有1 358万 m^2 , 人均公园绿地面积达到8.02 m^2 , 城市人均公园绿地面积已经超过8.2 m^2 。对于以上海为代表的特大城市, 人口密度大, 绿化用地紧张, 绿化要求更高。如何保绿提质, 发挥城市绿化最大的经济效益和生态效益, 作为绿化主体, 树种的选择尤为重要。

在树种选择方面, 一般造林树种是在遵循“适地适树”基本原则的基础上, 根据造林目标, 实地调查结合理论分析, 综合考虑树种的生物、生态习性, 造林地的气候、地形和土壤等特征, 以及树种的种苗来源、栽培技术、造林成本等因素, 对造林树种做出正确选择^[1]。而城市绿化树种的选择, 则更注重以人为本, 以营建更大的空间, 提供更高的社会服务功能为目标。相关研究早在20世纪90年代就有报道。研究多集中在对绿化树种的规划及应用等方面^[2-4]; 就树种选

择方法的研究, 有通过文献法, 对某一种植物抗逆性进行分等定级, 通过综合评价进行筛选^[5]; 唐东芹等通过调查上海多个绿地现存树种的生长状况及生态适应因子, 对树种的生长适应性进行了分级, 筛选出悬铃木、海桐、蚊母树、鸡爪槭、水杉、香樟、海桐、枫杨和合欢等49种在上海地区生长良好的树种^[6]; 张德顺等则利用单因素对比法, 对济南市104种城市绿化植物的耐旱性能进行观测, 综合分析其抗逆性, 通过制定的评价体系, 从而做出选择^[7]。然而气候因素对树

*通信作者(Author for correspondence) E-mail: 1132467518@qq.com

种选择及其适生性的影响却鲜有报道。

研究表明,在所有的生态因子中,气候因素对树种生长的影响最大^[1]。尤其是几十年不遇的极端高低温、强风暴雨等气候因子,加上持续时间等因素的影响,往往会在几天之内导致正常生长的树木形成损伤,造成一定程度的冻害、热害、涝害和风害,甚至死亡。显然,找出影响城市绿化树种生长的气候障碍因子并确定其阈值尤为关键。目前该方面的系统研究还未见报道。文章以上海世博公园为例,找出可能影响树种生长的气候障碍因子,为城市绿化树种的正确选择提供依据。

1 材料和方法

1.1 样地

样地位于世博公园,共64个,样地面积为200~4 045m²。世博公园位于黄浦江之东岸与浦明路之间,南临园区新建浦明路,西至倪家浜,北望卢浦大桥,占地面积约29hm²。世博公园绿化前场地为上钢厂、船舶修理厂、居民住宅和道路等搬迁地,是一种典型城市困难立地类型。

1.2 材料

世博公园建园的37个乡土树种和实践区苗圃的18个外来树种。

1.3 方法

1.3.1 生长调查

从建园开始,持续对植物材料的树高、胸径、冠幅等生长情况进行调查统计,并分别于2016年1月的极端低温和2017年7月的极端高温过后,调查树木的受害情况。

1.3.2 生物量和生长量计算

通过文献检索等方式获取上海地区不同树种单木生物量异速生长方程,计算乔木的生物量^[8-9]:

$$W=a(D^2H)^b \quad (1)$$

式中, W 为生物量, a 、 b 为方程中的估算参数, D 为胸径或地径(cm), H 为树高(m)。

按照生长模型计算应用频度 > 5%的乡土树种的2014、2017、2018年度平均单株生长量。

1.3.3 相关性计算

采用DPS数据处理系统对部分树种的年度生长量数据与极端气象因子值做典型相关分析^[10]。

表1 近30年上海城区(徐家汇、宝山气象站观测数据)气候障碍因子及极值统计

类别	序号	障碍因子	1988—2018年		2008—2018年	
			极限值	时间	极限值	时间
温度	1	极端高温/℃	40.9	2017年7月21日	40.9	2017年7月21日
	2	高温(≥35℃)持续时间/d	19.0	2003年7月19日—8月6日	18.0	2017年7月11—28日
	3	极端低温/℃	-8.0	1991年12月29日	-7.8	2016年1月24日
	4	低温(≤0℃)持续时间/d	12.0	2005年12月12—23日	6.0	2019年1月10—15日
降水	5	日最大降水量/mm	278.0	2001年8月6日	164.5	2008年8月25日
湿度	6	相对湿度(60%~80%)持续时间/d	40.0	2004年7月4日—8月12日	26.0	2010年7月18日—8月12日
风	7	极大风速/(m/s)	28.9	1991年7月26日	15.6	2012年7月12日

2 结果和分析

2.1 历史气候因子分析

1998—2018年30年间,对上海市徐家汇和宝山2个气象站点的气候因子进行汇总,重点对极端气候因子进行统计分析(表1)。6个极端气候因子出现在徐汇区站,2017年的日最高气温达到40.9℃,1991年出现了-8℃的日最低气温,2003年7月中旬—8月上旬35℃以上高温持续19d,2001年8月遭遇了特大暴雨,日最大降雨量达278mm,2004年日平均相对湿度为60%~80%的天气持续40d,1991年极大风速达28.9m/s。在宝山气象站显示,2005年日最低气温0℃以下持续天数为12d。

在上海世博公园建成期2009—2018年的10年间,极端气候因子除2017年7月遭遇了35℃极端高温并连续18d的天气外,还经历了2016年1月-7.8℃的低温危害。在2019年1月受低于0℃绝对低温影响持续6d。

2.2 气候障碍因子对树种选择的影响

树种不同,对极端气候因子的反应不同。轻者致使树木非正常枯叶、落叶、枯梢和枯枝,重者则导致树干受伤乃至死亡。从树种选择的角度来看,乡土树种与外来引进树种对气候障碍因子的反应差别较大。乡土树种可分为“原生型”和“驯化型”,其中“原生型”是在几百甚至上千年的生长发育过程中,经历了多种极端气候的考验下的自然选择结果,受极端气候因子的影响较小。对于一些驯化型乡土树种,诸如香樟、悬铃木、水杉等,虽然是外来树种,但经历多代驯化,对极端气候因子也有较高的抗性。而对于引种的外来树种而言,气候障碍因子的影响较大。

上海地处长江三角洲入海口亚热带季风气候区,属新成陆滩涂盐碱地,陆地自然分布植物种类极度匮乏,乡土陆生植物相对较少,城市绿化植物主要靠引种获得^[11]。显然,在引种外来树种时,引种地的极端气候因子必须考虑在内。

2.2.1 气候障碍因子对乡土树种生长的影响

通过统计,世博公园全域范围应用的乡土乔木树种有37种,应用频度超过5%的有25种(表2)。选择香樟、榔榆、朴树、银杏、池杉和乌桕6个乡土树种作为公园的基调树种,应用数量和频度均达到15%以上;选择女贞、垂柳、榉树、柿树、黄连木、悬铃木、广玉兰、落羽杉、重阳木、白玉兰和栎树等作为景观组群骨干树种,应用频度为5%~15%;国槐、罗汉松等15种乡土树种应用频度为3%~5%(表2)。

多年的实践表明,不同适生性的树种对极端气候因子影响的反应不同。尽管乡土树种的适生性较强,但由于其不同的耐晒、耐阴、耐热和耐湿等特性,面对当地的常规气候条件和不时出现的极端气候条件时,生长情况仍然存在差异。

从表2可看出,在世博公园应用频度 > 5%的19种乡土树种中,耐晒、耐热树种近10年平均生长量明显大于耐阴树种,分别为453.21、433.23和384.22kg/株。另外,耐高湿树种的近10年平均生长量也比较高。分析原因,这与气候因素影响有关。上海属于亚热带季风气候,生长季温度高、湿度大、降水量高的气候特点对耐湿树种生长非常有利,而对耐阴树种生长产生了一定的障碍作用。

尽管遭遇2016年1月低温和2017年高温的持续危害,大部分乡土树种仍然维持较大的生长

表2

世博公园应用频度大于5%的乡土树种及生长量

类别	树种	适生性					应用频度 大于5%	纳入上海古 树名木/株	分布样地数/ 块(株数/株)	树木入园时平均生 物量/(kg/株)	2018年平均生物 量/(kg/株)	10年生物量增 量/(kg/株)
		耐晒	耐阴	耐热	抗寒	耐高湿						
常 绿 树 种	香樟(<i>Cinnamomum camphora</i>)	√	半	√		√	√	130	29(376)	181.7	1 308.7	1 127.0
	女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)	√	√	√	√	√	√	15	7(41)	17.4	195.7	178.3
	香柚(<i>Citrus maxima</i>)	√	半	√			√		5(43)	117.1	219.8	102.7
	广玉兰(<i>Magnolia grandiflora</i>)	√	半	√			√	106	5(32)	28.4	103.1	74.7
	杜英(<i>Elaeocarpus decipiens</i>)		半	√		√	√		3(8)	105.6	179.3	73.7
	棕榈(<i>Trachycarpus fortunei</i>)	√	√	√	半		√		3(8)	—	—	—
	柳杉(<i>Cryptomeria fortunei</i>)	√	√	√	√		√		3(5)	—	—	—
落 叶 树 种	悬铃木(<i>Platanus acerifolia</i>)	√		√	√		√	50	6(72)	—	—	—
	银杏(<i>Ginkgo biloba</i>)	√		√	√		√	487	12(114)	30.2	199.3	169.1
	朴树(<i>Celtis sinensis</i>)	√		√	√	√	√	22	16(83)	36.3	594.3	558.0
	榉树(<i>Zelkova serrata</i>)	√	半	√			√	72	7(53)	24.6	773.5	748.9
	柿(<i>Diospyros kaki</i>)	√		√	√		√	1	6(26)	—	—	—
	栎树(<i>Koelreuteria paniculata</i>)	√		√	√		√		3(3)	84.1	394.1	310.0
	黄连木(<i>Pistacia chinensis</i>)	√		√	√		√	6	6(38)	97.0	1 721.4	1 624.4
	白玉兰(<i>Magnolia denudata</i>)	√		√	√		√	1	4(22)	32.4	125.2	92.9
	榔榆(<i>Ulmus parvifolia</i>)	√		√			√	8	19(98)	83.7	1 076.9	993.2
	垂柳(<i>Salix babylonica</i>)	√		√	√		√		3(5)	13.7	208.8	195.1
	乌桕(<i>Sapium sebiferum</i>)	√		√	√		√		9(56)	30.1	486.1	456.0
	三角枫(<i>Acer buergerianum</i>)	√	半	半	√		√	1	3(10)	—	—	—
	榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	√		半	半		√		3(10)	—	—	—
	樱花(<i>Prunus serrulata</i>)	√		√		√	√	2	3(9)	32.0	91.1	59.1
	枫杨(<i>Pterocarya stenoptera</i>)	√		√	√	√	√	25	2(5)	27.8	439.8	412.0
	池杉(<i>Taxodium ascendens</i>)	√		√	√	√	√		11(262)	37.8	166.7	128.9
落羽杉(<i>Taxodium distichum</i>)	√		√	√		√		5(85)	34.2	149.1	115.0	
重阳木(<i>Bischofia polycarpa</i>)	√		√	√	√	√	1	5(41)	58.6	871.0	812.4	
近10年平均生长量/(kg/株)		453.21	384.22	433.23	421.01	418.68				56.46	489.68	433.23

注: 1.上海地区未找到关于悬铃木、柿树、三角枫、榆树、柳杉和棕榈的生长量异速方程式, 这6个树种未计算;

2.在上海有的古树名木, 经长时间驯化, 部分树种已经成为驯化型乡土树种。

量, 近10年平均生长量达到433.23kg/株, 比初植生物量56.46kg/株增长7倍多, 生长状况健康稳定。

2.2.2 部分树种生长量与气候因子相关性分析

在自然环境中, 树种生长量与树种习性、气候因素、土壤因素等都有密切关系。然而在树木正常生长过程中, 因不同年份遭遇诸如低温、高温、暴雨等极端气候危害时, 树木的生长会受到不利影响。从表3可以看出, 世博公园内部分树种受极端气象因子影响后的年均生长量出现明显下降, 如樱花在2013年7月遭受156.1mm最大降水量后, 2013—2014年平均生长量仅为3.517 0kg/株, 明显低于2016—2017年的8.843 7kg/株和2017—2018年的11.093 3kg/株。从表4的相关系数也可看出, 樱花生长量与日最大降雨量呈现明显的负相关, 相关系数达到-0.860 3。这与樱花属于不耐涝树种有很大关系。从表3也可看出, 在

2016年1月的极端低温影响下, 樱花、香柚、杜英、金缕梅、福建山樱花和红千层的2016—2017年均生长量皆不及2017—2018年, 且除樱花外, 其余5个树种当年生长量也低于2013—2014年均生长量。表4中生长量与极端最低温的相关性除樱花不密切外, 其余4个树种相关系数介于0.5~0.9, 说明极端低温的负面影响还是不同程度存在的。另外, 在极端高温下, 除樱花生长量与高温因子存在较弱负相关外, 其余5个树种, 高温与生长量之间皆存在正相关性, 其中红千层、福建山樱花等耐高温的树种相关系数较高。这说明极端高温因子对6个树种生长量的负面影响不大。从表4的最小相对湿度来看, 6个树种生物量与湿度因子皆存在负相关, 但以香柚、福建山樱花相关性较大, 其次为红千层, 其余树种较小, 表明香柚、福建山樱花对最小相对湿度比较敏感。从表4的极大风速因子来看, 香

柚、福建山樱花负相关明显, 樱花其次, 表明极大风速因子对这3个树种的负面影响较大。

2.3 气候障碍因子影响外来树种的引种区划

对于引种外来树种尤其是从高纬度向低纬度引种而言, 极端高温是十分重要的气候障碍因子。为此, 美国和中国均绘制了植物耐寒带图, 用于指导引种工作。根据历史气候资料, 在20世纪60年代美国农业部首先按年平均极端最低温度制作出植物耐寒带图, 从北向南把北美洲划分为11个带, 作为引种区参考。鉴于此, 中国从北到南划分了11个耐寒带, 欧洲引种区根据年极端平均温度确定相应的耐寒带。上海属于第9耐寒带(-7~-1℃)的北缘, 与浙江、福建中北部区域处在同一耐寒带。另外, 如果从低纬度地区引种, 低温也是重要的气候障碍因子。为此, 美国园艺学会于1997年按照年均日最高温超过30℃的天数制作植物耐热带图, 用于指导引种工作。参照这

一划分,上海属于第9耐热带(120~150d),与浙江处在同一耐热带。而福建则分属于第10和11耐热带。

上海地区从国内外引进树种须考虑高纬度地区的耐寒带分布和低纬度地区的耐热带分布。另外上海地处我国东部亚热带北缘,根据引种的气候相似性原理,在亚热带和暖温带、温带引种成功的概率较大。在绿化工程中应用外来树种,明确引种地是关键。根据气候相似植物区系法结合植物耐寒和耐热带图,上海引种外来树种源地划分为2个气候带和3个植物区系,分别为暖温带气候带和北亚热带气候带;3个植物区系,分别为西欧温带落叶林(荷兰、法国、比利时种源地)、北美东部温带落叶阔叶-针叶混交林(美国、加拿大等种源地)、中国亚热带常绿阔叶林(浙江、福建等种源地)(图1、2)。基于此,上海近年来累计引种20种色叶观花乔木(含小乔木)树种进行试种和驯化,相继在世博前滩公园、上海雕塑公园、人民广场和音乐广场等绿化工程中成功应用。从受害表现来看,在2016年1月的极端低温和2017年7月的极端高温下,仅部分树种出现了轻微的伤害,总体生长良好(表5)。从其种源地分布来看,地处第9耐寒带的上海可以引种高纬度地区远至第4耐寒带树种,但须注意夏季高温的灼伤;低纬度地区可以引种第11耐热带的树种,但须注意冬季极端低温的冻害。

3 结论与讨论

气候因素是影响城市绿化树种生长发育的重要因素,尤其是极端气象因子。本文通过对近30年来上海极端气象因子的梳理,结合世博公园乡土树种生长和引进树种的受害症状,初步确定了极端低温、暴雨、强风、极端高温和极低空气湿度5个影响树种生长的气候障碍因子及其阈值。不过,对于引进树种还需要长期驯化观察和控制性胁迫试验相结合,才能得出更科学的结论。实践证明,极端气象因子对外来引种种的影响明显大于对乡土树种的影响。

在引进外来树种时,要充分考虑引种地的极端气候因子影响。经过10年的绿化实践,上海世博公园采用气候相似植物区系法结合植物耐寒、耐热带图,把引种外来树种源地划分为2个气候带和3个植物区系,成功引种近20种色叶观花

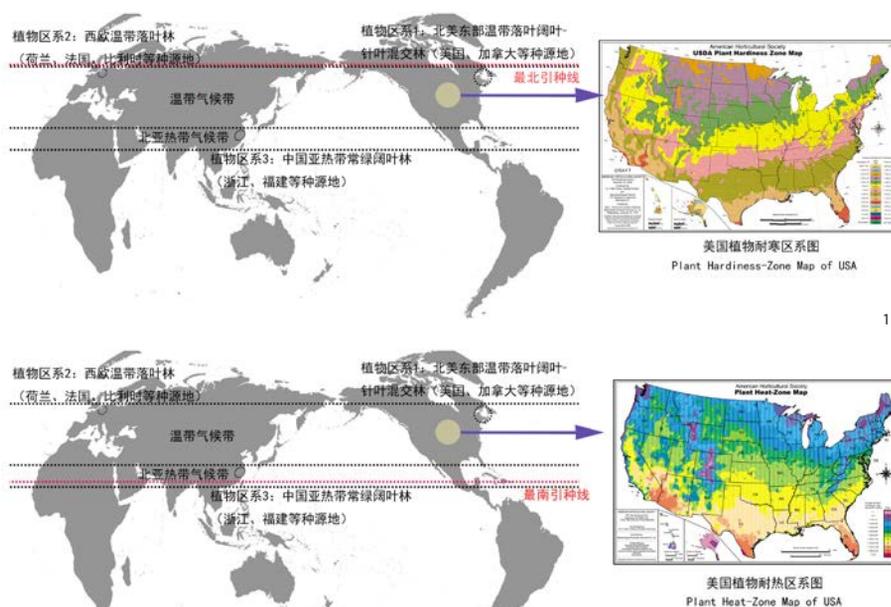


图1 上海引种外来树种区系划分——最北引种界[作者根据植物耐寒区系图(引自The American Horticultural Society, www.ahs.org)绘制]
图2 上海引种外来树种区系划分——最南引种界[作者根据植物耐热带区系图(引自The American Horticultural Society, www.ahs.org)绘制]

表3 部分树种的年度生长量与极端气象因子值

气象因子	气象数值		
	2013年	2016年	2017年
极端最低温/℃	-1.8	-7.8	-1.0
极端最高温/℃	40.8	39.0	40.9
最小相对湿度/%	12	15	10
日最大降雨量/mm	156.1	89.5	106.1
极大风速/(m/s)	12.8	13.1	9.7
树种	平均生长量/(kg/株)		
	2013—2014年	2016—2017年	2017—2018年
樱花	3.517 0	8.843 7	11.093 3
香柚	9.026 1	8.272 2	14.158 4
杜英	11.527 7	6.921 9	7.601 2
金缕梅	3.673 6	1.650 8	2.379 6
福建山樱花	2.141 4	1.472 8	3.559 3
红千层	2.648 0	1.163 9	2.024 0

表4 部分树种的年度生长量与极端气象因子的相关系数

气象因子	相关系数					
	樱花	香柚	杜英	金缕梅	福建山樱花	红千层
极端最低温/℃	-0.122 2	0.681 2	0.525 1	0.702 9	0.813 8	0.857 8
极端最高温/℃	-0.182 5	0.635 3	0.576 0	0.745 0	0.776 8	0.887 6
最小相对湿度/%	-0.177 4	-0.867 5	-0.249 3	-0.460 6	-0.949 4	-0.667 0
日最大降雨量/mm	-0.860 3	-0.163 1	0.994 5	0.992 6	0.037 3	0.931 1
极大风速/(m/s)	-0.672 1	-0.999 3	0.302 0	0.080 1	-0.971 5	-0.170 5

表5 上海引种观花叶树种的植物耐寒和耐热带分布及受害状况

耐热带 (平均极端低温范围)	耐热带 (日高温 > 30℃年均 天数范围)	引种成功乔木树种	2016年1月 受冻害情况	2017年7月 受灼伤情况
带4: -35~-30℃ (加拿大、美国)	带4: 14~30d 带5: 30~45d	红花槭、纳塔栎、复叶槭、 挪威槭、北美鹅掌楸	无	叶片焦边、卷曲, 部 分枯黄、脱落
带5: -30~-24℃ (美国、英国、德国、 比利时、荷兰)	带5: 30~45d 带6: 45~60d	欧洲鹅耳枥、北美枫香、北 美红栎、欧洲七叶树	无	叶片焦边, 部分枯黄
带6: -24~-18℃ (德国、法国)	带7: 60~90d	心叶槭、银毛槭、欧洲小叶 槭、日本晚樱、东京樱花	日本晚樱、东京樱 花枯梢	叶片焦边
带7: -18~-13℃ (美国、法国)	带8: 90~120d	华盛顿山楂、杂种元宝槭、 弗吉尼亚栎	无	华盛顿山楂叶片焦边
带8: -13~-7℃ (浙江、上海)	带9: 120~150d	金缕梅	嫩枝冻伤	无
带9: -7~-1℃ (福建)	带10: 150~180d 带11: 180~210d	福建山樱花、金合欢、红千层	福建山樱花花苞冻 伤, 金合欢、红千 层新梢冻伤	无

乔木。实践证明从高纬度的第4耐热带和低纬度的第11耐热带向上海引种, 遭遇极端气候因子伤害的可能性较小。

针对城市绿化树种, 多因素交叉影响和小环境的差异均会加剧或削弱极端气候因子对其影响程度。在上海, 冬季的低温与强风、夏季的高温高湿, 均会加剧低温或高温的危害性。如2016年1月上海遭遇-7.8℃的极端低温危害, 上海园科院奉贤试验基地的三角梅因低温受到不同程度的冻害, 其中以暴露在低温和冷风环境中的植株受害最重, 全部死亡, 而种植在背风处的植株受害虽较重, 但根部和主干存活下来。低温和冷风的共同作用, 加剧了低温的危害。

关于城市绿化树种的选择, 尽管有许多学者进行过研究, 但大多是在对局部地区调查的基础上对现有树种的适应性或抗逆性进行评价, 确定抗逆性等级, 以指导当地的绿化树种选择实践。纵观多年的研究, 这种实践总结性的研究结果并没有上升到方法学的理论高度, 因而也就无法在明确、统一、标准的方法指导下开展广大地域的树种选择工作。本文从致力于构建城市绿化树种选择方法学的角度出发, 聚焦影响树种选择的气候因素, 在30年气象资料分析的基础上, 明确极端障碍因子和阈值, 结合气候相似性引种理论和耐寒、耐热带划分, 明确上海的适生引种区

域, 并以上海世博公园近10年引种成功的案例作为验证, 为构建城市绿化树种尤其是城市搬迁地绿化树种的方法学奠定基础。

注: 文中图片均由作者绘制。

参考文献:

- [1] 胡建忠.植物引种栽培试验研究方法[M].郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [2] 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.
- [3] 黎燕琼, 李军, 郑绍伟, 等.四川地区土地资源节约型城镇景观构建乔木树种选择[J].西南农业学报, 2019, 32(3): 627-635.
- [4] 俞慧珍, 王诚录, 朱明良, 等.城市园林绿化树种规划的理论基础及其在江苏的实践[J].中国园林, 1989, 5(3): 37-41.
- [5] 刘艳菊, 丁辉.植物对大气污染的反应与城市绿化[J].植物学通报, 2001, 18(5): 576-586.
- [6] 唐东芹, 杨学军, 邵芹英.上海城市绿化树种的生长适应性调查及规划意见[J].林业科技, 2001, 26(5): 54-57.
- [7] 张德顺, 李科科, 刘鸣, 等.城市耐旱绿化植物选择途径-以半干旱城市济南为例[J].中国城市林业, 2019, 17(1): 27-32.
- [8] 胥辉.林木生物量模型研究评述[J].林业资源管理, 1997(5): 34-37.
- [9] 杨忠, 张建平, 王道杰, 等.元谋干热河谷梭梭人工林生物量初步研究[J].山地学报, 2001(6): 503-510.

[10] 唐启义.DPS数据处理系统-实验设计、统计分析及数据挖掘[M].2版.北京: 科学出版社, 2010.

[11] 张浪, 曹福亮, 张冬梅.城市棕地绿化植物物种优选方法研究: 以上海市为例[J].现代城市研究, 2017(9): 119-123.

(编辑/金花)

作者简介:

张冬梅
1970年生/女/河南周口人/上海市园林科学规划研究院教授级高级工程师/植物研究所所长/研究方向为城市园林绿化适生树种选育(上海 200232)

张浪
1964年生/男/安徽合肥人/上海市园林科学规划研究院院长, 教授级高级工程师, 博士生导师/研究方向为生态园林规划设计与技术研发/本刊编委(上海 200232)

有祥亮
1965年生/男/山东青州人/上海市园林科学规划研究院高级工程师/研究方向为城市绿化树种栽培(上海 200232)

崔健
1990年生/男/山东泰安人/昆山市住房和城乡建设局助理工程师/上海市园林科学规划研究院/研究方向为风景园林规划设计(昆山 215300)

曹福亮
1957年生/男/江苏姜堰人/中国工程院院士/原南京林业大学校长/研究方向为经济林栽培及经济植物资源开发利用(南京 210037)