

面向适宜性植物选择的南京市绿地日照因子分析

Analysis of Sunshine Factor in Green Spaces of Nanjing City for Suitable Plant Selection

汪瑞军¹ 吕晓倩¹ 巩松平¹ 袁旻洋^{2*}
WANG Ruijun¹ LYU Xiaoqian¹ GONG Songping¹ YUAN Yangyang^{2*}

(1. 合肥工业大学建筑与艺术学院, 合肥 230601; 2. 东南大学建筑学院, 南京 210096)
(1. College of Architecture and Art, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui, China, 230601; 2. School of Architecture, Southeast University, Nanjing, Jiangsu, China, 210096)

文章编号: 1000-0283(2025)02-0023-08
DOI: 10.12193/j.laing.2025.02.0023.003
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2024-10-28
修回日期: 2024-12-25

摘要

空间形态与要素构成的变化塑造出城市绿地内部日照因子的多样性, 日照因子差异及其成因分析能够为绿地植物群落的合理构建提供重要依据。运用数字模拟、实地检测、统计分析等方法, 将以日照时数为指标的光区划分和以光照强度为指标的遮光率调查相结合, 形成绿地日照因子的6个分区, 涉及18种空间类型。在此基础上通过日照因子主导下的植物生长状况调查, 总结60种南京市常见绿地植物的日照适宜区间。深入探讨绿地空间与日照因子的关系, 为植物配植、生境营造等方面的理论与实践研究提供参考。

关键词

城市绿地; 日照因子; 生境调查; 植物配植

Abstract

The changes in form and element composition shape the variation of sunshine factor within urban green spaces. Analyzing such variation and their causes can provide the basis for rationally constructing green plant communities. By using methods such as digital simulation, field testing, and statistical analysis, this study integrates the division of light zones based on sunshine hours and the investigation of shading rates based on light intensity to form six zones of green space sunshine factor, involving 18 spatial types. On this basis, through the investigation of plant growth status under the dominance of the sunshine factor, the suitable range of sunshine for 60 common green plants in Nanjing was summarized. The study delved into the relationship between green spaces and the sunshine factor, offering valuable insights for theoretical and practical research in planting design, habitat creation, and other related fields.

Keywords

urban green spaces; sunshine factor; habitat investigation; planting design

汪瑞军

1986年生/男/安徽宣城人/博士/讲师/研究方向为风景园林规划设计及理论、城乡风貌与环境设计、城市绿地生态

吕晓倩

1987年生/女/安徽巢湖人/博士/副教授/研究方向为风景园林规划设计及理论、绿地生态规划

袁旻洋

1987年生/女/江苏南京人/博士/副教授/研究方向为风景园林规划设计及理论、数字景观技术、城市蓝绿空间

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: yyy@seu.edu.cn

日照是对植物生长、发育具有直接影响的主要生态因子之一^[1], 在基于场地设计的生境类型划分的主要生态因子中其影响最大^[2]。在植物生长与日照需求方面, 以日照时数来区分日照条件, 建立起日照因子与场地空间的关系是较为常见的做法^[3]。Hardiman^[4]提出全日

照植物需要每天6~8h直射日照, 部分日照植物则适宜于每天4~6h直射日照。Hansen等^[5]指出全阳生场地日照时数大于每天6h。魏合义等^[6]以2h为间隔时长将每天日照时数分为5个等级, 并通过软件模拟分析指出日照时数能够反映不同空间累积日照强度的差

基金项目:

中央高校基本科研业务费专项资金项目“城市绿地植物光照生境体系的研究与应用”(编号: JZ2022HGQA0171); 中央高校基本科研业务费专项资金项目“基于地域文化的徽州古建工匠保护与传承路径研究——以黄山市、宣城市、池州市为例”(编号: JS2024ZSPY0025); 安徽省哲学社会科学规划项目“山水城市”论启发下的城市特色空间系统生成机制研究”(编号: AHSKQ2021D146)

异。刘晖等^[7]在总结各类相关研究后提出了0 h、4 h、6 h三个关键性日照时数,用以划分光区并对应不同生境。每日8:00-16:00,日照时数6 h及以上为阳生生境,4~6 h为半阳生生境,低于4 h为阴生生境,其中阴生生境还可根据需以2 h为界划分成全阴生和半阴生生境。此类研究中的日照时数均指的是每天接收直射日照的时间。该指标可以通过几何制图进行计算^[8],而随着计算机技术的发展,利用数字建模与模拟获得结果则成为更高效与常用的方法^[9-10]。

日照时数能够表征不同的日照条件,且易于进行空间划分,但在场地尺度遮光物的属性会影响其对日照的实际干预效果。同样是低于4 h日照时数的阴生区,其阴影内的光照强度可能并不相同,不同树种行道树产生的遮光效果变化便是一个例子^[11]。而不同植物因为自身光补偿点(Light Compensation Point, LCP)和光饱和点(Light Saturation Point, LSP)的差异能够适应于不同的光强环境。本研究将结合日照时数与遮光率(太阳光光照强度衰减率)两个指标的分析与调查结果,针对城市绿地日照因子进行更为全面的分析,根据不同类型植物的LCP和LSP提出更为细致的日照因子综合性分区,以此深化日照因子与绿地空间关系的研究。并在此基础上以小乔木、灌木、草本植物等中下层绿地植物为对象进行植物生长状况调查,分析并归纳出南京市常见植物种的日照适宜区间,以期为绿地植物配植、绿地生境营造等方面的理论与实践研究提供参考。

1 研究方法

数字模拟与实测调查均以南京市主城区为对象展开,其经纬度为32° N, 118° E,处于宁镇山系西端,以低山缓岗地形为主,属

于北亚热带长江中下游湿润型气候区,年均降雨量为1 106 mm^[12]。

日照模拟的常用软件包括ArcGIS 9.2以上版本中的Solar Analyst、SketchUp、Ecotect以及基于CAD二次开发的T-Sun、Sunlight和FastSUN等,本研究采用ArcGIS 10.2。因植物有效光合作用在上午8时以后渐强^[13]且太阳位置决定的上下午日照条件对称于正午^[14],每日日照模拟时段定为8:00-16:00。

遮光率常用于计算和评价乔木的遮荫效果,计算见公式(1)。

$$L = (I_1 - I_2) / I_1 \times 100\% \quad (1)$$

式中, L 为遮光率, I_1 为全日照实测照度, I_2 为投影中心区域实测照度^[15]。

调查时间为植物生长最旺盛的夏季8月,一天中光合作用最强的10:00-12:00。基于日照时数模拟所得光区范围,在抽样调查的绿地中选择各类型投影测点,包括建筑投影、不同树种乔木投影、乔木组合投影、建筑与乔木叠加投影等。将测点周围无遮挡位置的实时照度作为全日照照度,并在投影中心区多次测量取读数均值,按上式计算各测点遮光率。

日照因子影响下的植物生长状况调查首先通过文献分析法归纳植物正常状态与遭受光逆境时各器官的外在表现形成评估对照表(表1),然后根据日照因子综合分区(表2)选择样地进行实地观察,记录样地内各植物

表1 日照因子主导下植物生长状况评估表^[16-20]
Tab. 1 Evaluation table of plant growth status under the dominance of sunshine factor

生长状况 Growth status	株形 Plant shape	叶片 Leaves	花果 Flowers and fruits
正常状态	植株健壮,冠层完整无偏冠,枝条健康	叶片繁茂,茁壮,叶色正常,无萎蔫、焦枯、倒伏现象	花芽饱满,花量、果量丰富,花果形态正常
逆境状态	植株瘦弱,矮小,偏冠或冠层缺失,枝条变色发黑或干枯	叶片失绿、黄化、萎蔫、焦枯,叶片稀疏、倒伏,非正常大量脱落,色叶植物失色	花芽不饱满,花量、果量少,花果形态收缩、畸形

表2 城市绿地日照因子综合性分区
Tab. 2 Comprehensive zoning of sunshine factor in urban green spaces

编号 Number	日照因子分区 Zoning of sunshine factor	绿地空间类型 Green space types	遮光率 / % Shading rate	光照强度 / lx Light intensity
1	极阴区	建筑+常绿乔木阴生区、北向陡坡+常绿乔木阴生区、常绿乔木群植阴生区、垂直结构混植阴生区	> 98	400 ~ 1 200
2	强阴区	建筑+落叶乔木阴生区、北向陡坡+落叶乔木阴生区、常绿小乔木阴生区、水平结构混植阴生区、落叶乔木群植阴生区	95 ~ 98	1 200 ~ 4 000
3	阴区	落叶乔木阴生区、建筑阴生区、北向陡坡、常绿大乔木阴生区	90 ~ 95	4 000 ~ 9 000
4	半阳区	建筑半阳生区、乔木半阳生区	50 ~ 80	15 000 ~ 40 000
5	阳区	全阳生区(全日照)	0	> 60 000
6	强阳区	建筑南侧强阳生区、南向中坡	-6 ~ -10	> 80 000

种所属分区类型与生长状况, 最后是数据整理与统计分析。调查时间以夏季8月为主, 春季3~4月对样地中以蔷薇科为主的观花小乔木开花情况进行针对性补充调查。另外, 考虑到植物在遭受水分胁迫时会出现与光逆境类似的外在表现, 尤其是干旱胁迫^[21], 在调查中增加土壤含水量测量, 作为生长状况评估的补充信息。南京市所属区域的黄棕壤属于壤黏土范畴, 通过对壤黏土^[22-23]或相同地区^[24-25]土壤持水能力研究的总结可知土壤含水量(体积含水量)高于40%左右或低于12%左右时, 以中生植物为主要调查对象的植物分别遭受淹水胁迫和干旱胁迫的可能性较大。土壤含水量测量采用TDR土壤水分仪, 测量深度20 cm, 根据样地形态选择梅花形、蛇形等布点方式测量并计算平均值。

2 结果与分析

2.1 基于日照时数的光区分析

建筑遮光所形成的周围光区变化与建筑形态、布局等均有所关联。模拟分析发现南北朝向建筑北侧会形成一定范围阴生区, 东西朝向建筑在东西两侧会形成大片的半阳生区。平面形态复杂的单体建筑或建筑组合中常出现的围合或半围合空间, 由于多个方向的投影交叠, 多属于阴生区。相较平面形态, 建筑高度的增加对光区变化的影响较小, 高层或超高层塔式建筑周围不会形成大面积阴生区。单体建筑排布邻近时投影相互影响会产生更大范围的阴生区, 这在居住区中较为常见, 并因为住宅建筑的排布密度、朝向等因素变化而具有不同的表现。如图1所示, 多层住宅排布较紧密, 宅间绿地几乎全位于阴生区; 南北向上的偏转会提升阴生区占比; 小高层住宅排布较松散, 阴生区占比较低, 半阳生区占比较高。

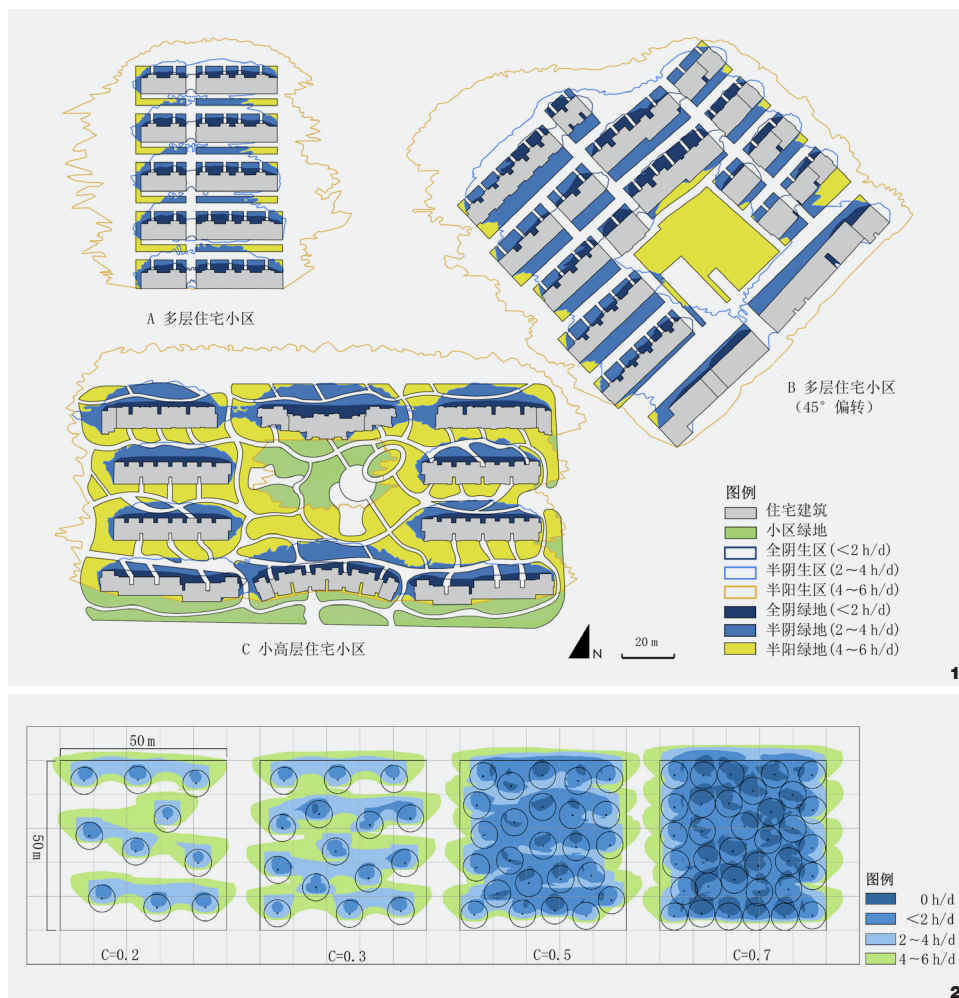


图1 不同类型居住区建筑投影塑造光区模拟

Fig. 1 Simulation of light areas created by projection of buildings in different types of residential communities

图2 不同覆盖率(C)下乔木投影塑造光区模拟

Fig. 2 Simulation of light areas created by projection of trees under different crown coverage rates

乔木遮光也是影响中下层植被日照因子的重要因素。单株乔木树冠投影所形成的阴生区范围与树冠垂直投影面积相当, 位置稍偏北。图2展示的是不同乔木覆盖率下光区变化的模拟结果(样方大小为 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$)。覆盖率为50%时产生的阴生区已经超过了区域面积的80%, 覆盖率上升到70%时阴生区范围占比已接近100%(图3)。上层乔木树冠相接或间距明显小于冠幅时, 中下层可视为全部处于阴生区。

除了建筑与乔木投影, 场地地形变化也能在一定程度上形成日照因子的差异。地形的几何形态是不规则锥体, 其迎光面与背光面的日照差异并不像建筑物一样显著, 而与坡度有很大的关系。模拟发现按日照时数划分光区, 仅坡度大于 50° 的背光面才会形成半阳生区^[26]。然而地形引起的日照角度变化会产生单位面积太阳辐射量的增减, 对比建筑遮光产生的各光区累积太阳辐射量可以发现背光面陡坡($25 \sim 50^\circ$)的辐射量与阴生

区相当。图4为以南京清凉山公园为例, 对比分析其坡度与累积辐射量, 小于77万Wh/m²即为阴生区范围, 与北向陡坡区域基本重合。另外, 从图4中还可以看到南向20°左右坡面形成了大面积的辐射增强区, 相较平地增幅为10%~15%。大面积的陡坡在城市绿地中并不常见, 因此由地形形成的阴生区范围有限, 反而是受光面的辐射增强区更值得关注。

综上, 按日照时数可将绿地光区分为建筑阴生区、建筑半阴生区、乔木阴生区、乔木半阴生区、北向陡坡、南向中坡等类型。该类型划分以及各自的空间分布特征可作为

遮光率调查的基础, 进一步分析塑造光区的空间要素及其属性变化对实际日照条件产生的影响。

2.2 遮光率调查结果

乔木树冠遮光率调查最为复杂, 涉及不同树种、组合。调查共采集到53个树种的单株遮光率数据, 常绿树种18种, 落叶树种35种, 各树种测量不少于10株成年植株, 取平均值。除棕榈因树形相对特殊外, 常绿树种遮光率普遍高于落叶树种(图5-a), 前者平均值为93.67%, 后者为90.89%, 其中枇杷

(98.53%)、珊瑚树(97.82%)、木樨(97.60%)等中小型常绿乔木显著高于其他树种。同种群植采集到20种树种的多样地数据, 其中常绿树种7种, 落叶树种13种。群植是指多株树木栽植成群组模式, 树冠基本相连形成统一的乔木层, 多出现在公园绿地中。与单株类似, 常绿树种同种群植的遮光率普遍高于落叶树种(图5-b), 最高为木樨(99.69%), 平均值为98.52%, 落叶树种平均值为94.67%。异种群植采集到13种组合的多样地数据, 整体可以分为两种结构类型:(1)垂直结构, 即乔木层出现了明显的分层; (2)水平结构, 即由不同树种混植构成单一乔木层。调查发现垂直结构多以落叶树种在上, 常绿树种在下, 水平结构则落叶树种混植, 落叶树种加常绿树种混植均有。结果显示垂直结构遮光率更高, 平均值为98.75%, 水平结构平均值为97.59%, 树种变化在两种结构中引起的遮光率差异并不大(图5-c)。

建筑阴生区的调查显示平均遮光率为90.94%, 与落叶树种的单株平均值十分接近。

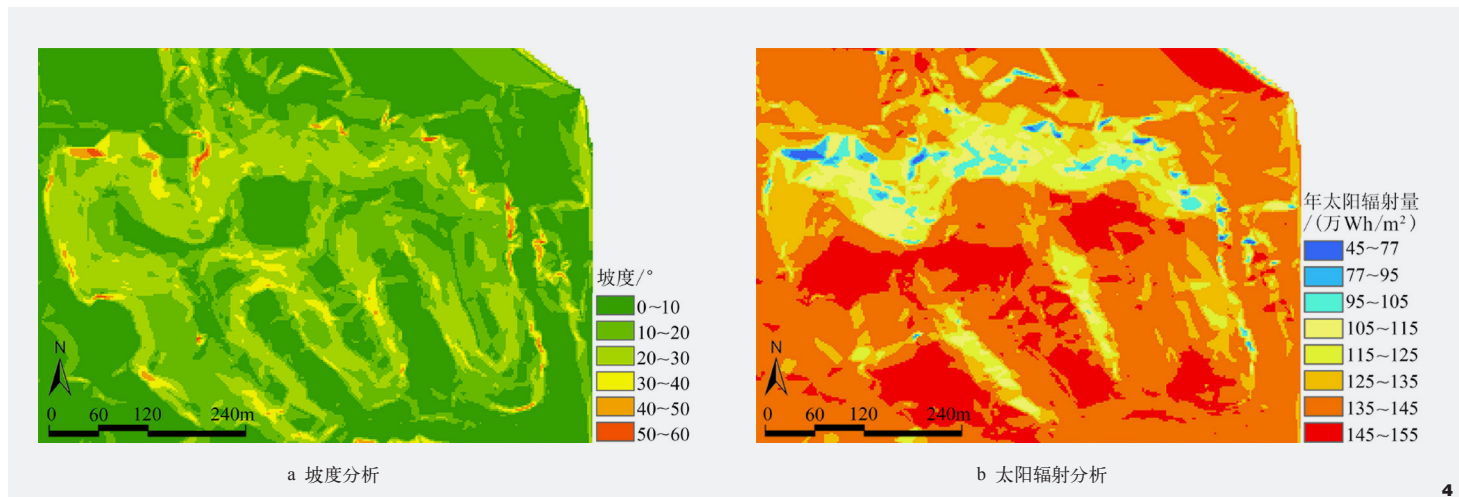
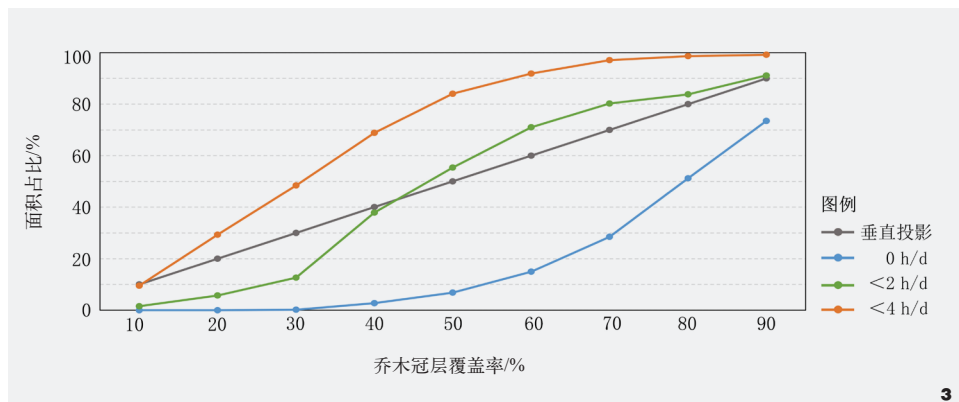


图3 覆盖率影响下乔木投影塑造光区变化分析
Fig. 3 Analysis of the changes in light areas created by projection of trees under the influence of crown coverage rate

图4 南京清凉山公园坡度与太阳辐射分析
Fig. 4 Slope and solar radiation analysis of Qingliangshan Park in Nanjing

建筑南侧的测量显示在墙基线以外3~4 m光照强度出现了平均6.75%的增强,所选样点建筑墙面以常见浅色粉刷或饰面砖石为主,太阳辐射反射系数0.44~0.50^[27]。建筑阴生区与乔木阴生区叠加区域的调查共采集到样本数量大于10的9种树种。因建筑阴生区呈条带状且宽度有限,其范围内乔木以孤植、行植为主,很难出现群植类型。结果显示建筑阴生区内常绿树种遮光率平均值为98.74%,与常绿树种同种群植和异种群植垂直结构接近,落叶树种平均值为97.24%,与异种群植水平结构接近(图5-d)。

2.3 日照因子综合性分区

适应于光照强度的不同,植物有阳性和阴性之别。阳性植物生物活动较剧烈,呼吸作用强,具有高LCP与LSP,在荫蔽或弱光条件下生长不良;阴性植物呼吸作用较弱,具有较低的LCP和LSP,在弱光下生长的更好^[28]。有些植物的LCP和LSP跨度很大,或拥有较强的光适应调节能力,使其既喜光又能在适当荫蔽条件下生长良好,被称为耐阴植物^[29]。研究发现阳性植物的LCP在1 000 lx上下,LSP通常大于50 000 lx,阴性植物的LCP在100~300 lx,LSP为5 000~10 000 lx,耐阴植物能够接受全日照2%以下的弱光环境^[30-31]。光照强度低至光补偿点附近时,植物很难完成养分积累正常生长^[32]。

将日照时数模拟与遮光率调查分析的结果与上述研究结论相结合,绿地日照因子可根据植物需求分为6个分区,对应不同的常见绿地空间类型,如表2所列。分区1阴影内最大光照强度稍大于阴性植物LCP,适宜于少数极耐阴阴性植物;分区2阴影内最大光照强度在阳性植物LCP附近,未达到阴性植物LSP,适宜于部分阴性植物;分区3阴影内最

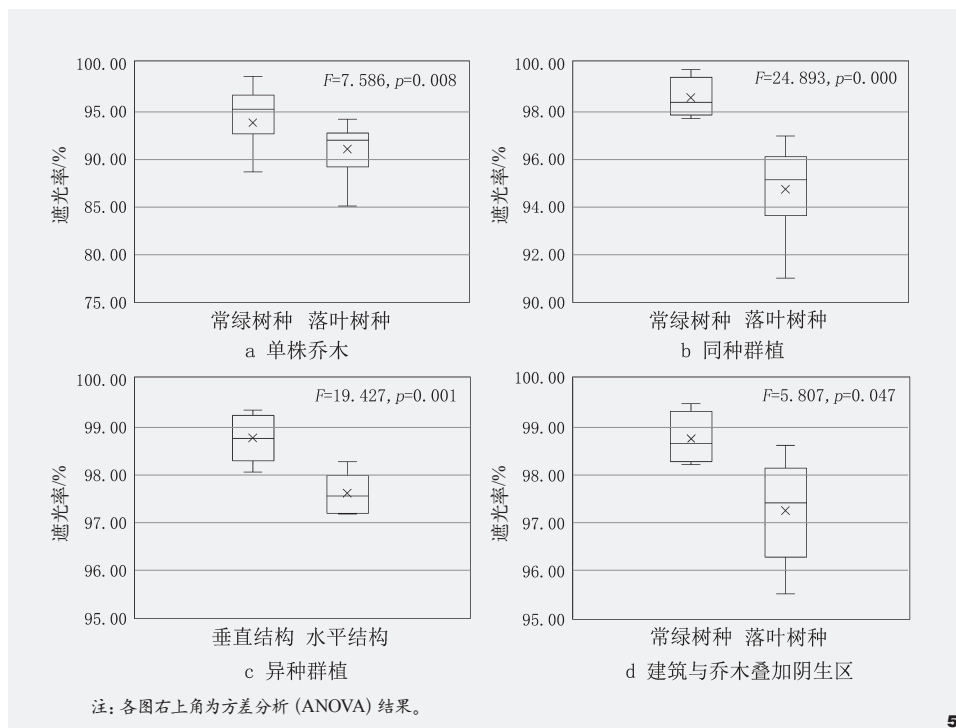


图5 乔木遮光率调查结果统计分析
Fig. 5 Statistical analysis of investigation results on shading rate of trees

大光照强度接近于阴性植物LSP,大于阳性植物LCP,适宜于阴性植物和少数阳性植物;分区4阴影内最大光照强度大于阴性植物LSP,小于阳性植物LSP,适宜于部分阴性植物和多数阳性植物;分区5、分区6中的最大光照强度大于阳性植物LSP,前者适宜于阳性植物,后者适宜于部分阳性植物。在分析和判断具体绿地空间的日照条件时,可首先利用简易模型进行日照时数分析,然后依据表2结合空间要素的属性确定日照因子分区。

2.4 常见植物日照适宜性分析

根据表2所示日照因子分区,研究在南京市主城区多种绿地类型中选择了240个样地进行日照因子主导下的植物生长状况调查。调查共记录绿地植物136种,其中乔木43种,灌木60种,草本植物33种。乔木树种中垂

丝海棠、鸡爪槭、棕榈的出现频率较高,均超过30%;灌木树种中木樨、红花檫木、锦绣杜鹃的出现频率较高,尤其是木樨达到45.37%,后两者也均超过30%;草本植物中麦冬以60.54%的出现频率远超其他植物,狗牙根、吉祥草和红花酢浆草次之,达20%左右。出现频率为包含该种植物的样地数与总样地数之比。

同步进行的样地土壤含水量测量结果如图6所示,多数绿地类型样地土壤含水量的均值都在20%~30%,道路绿地较小,均值为13.32%。若植株表现出光逆境特征且所在样地土壤含水量在适宜范围之外,其不作为判断该植物种日照适宜性的记录,以此尽可能排除水分胁迫产生的影响。

样地的选择尽可能平衡各日照因子分区的数量,因而出现频率即样本数越高的植

物, 被观察到的生长空间越丰富, 越有利于评估其适宜的日照区间。综合分析调查发现样本数大于20的植物种均具有5个或以上的日照因子分区生长记录, 且大多数植物种具有光逆境生长状况记录, 能够较好地反映日照适宜性情况。如表3所列, 样本数超过20的植物共有60种。中小乔木中常绿树种的耐阴性较强, 东京樱花、垂丝海棠等蔷薇科观花小乔木需要较充足的日照, 日照不足首先影响到春季的开花效果。灌木树种的光逆境多表现为弱光导致的植株瘦弱, 叶片萎蔫、稀疏, 既有植物配植不合理的原因, 也有上层植被生长或其他空间因素改变致使原有日照条件变化产生的影响。草本植物的光逆境多见于强日照导致的叶片失绿、黄化和焦枯, 尤其是喜阴的多年生常绿草本植物, 不宜种植在全日照空间中。

3 结论与讨论

研究将日照时数模拟与遮光率实测相结合, 并根据植物生长对日照需求的差异提出一种城市绿地日照因子分区方式, 由极阴到强阳共6个分区, 涉及18种绿地空间类型, 细化并强化了日照因子与绿地空间形态之间的关联研究。在此基础上进行日照因子主导下的绿地植物生长状况调查评估, 共分析总结60种南京市常见绿地中下层植物种的日照适宜区间。该方式直接将植物的实际生长表现与日照因子分区和绿地空间类型联系起来, 相较于简单的定性描述更加清晰地探索了具体植物种在城市绿地范畴内的日照适宜生长范围, 可有效服务于绿地植物群落的科学化构建与管理。

与温度、水分、土壤等其他生态因子相比, 日照更容易因城市绿地内外的空间变化产生局部显著差异, 同一绿地包含6个日照

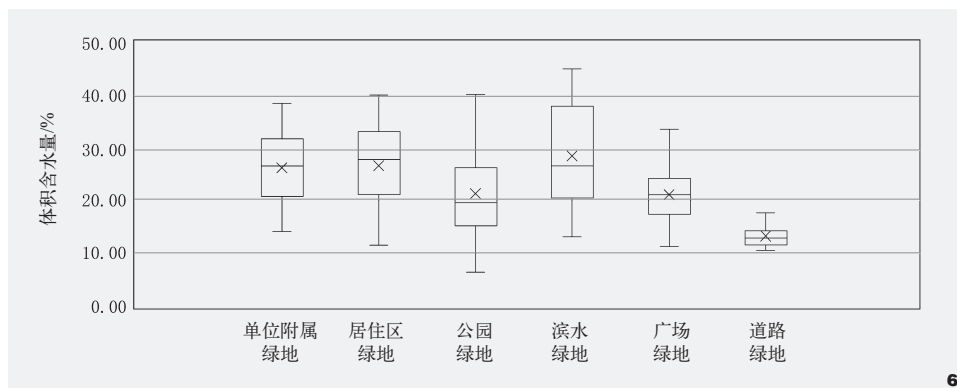


图6 土壤含水量调查结果统计分析
Fig. 6 Statistical analysis of soil moisture investigation results

表3 常见植物日照适宜区间汇总
Tab. 3 Summary of suitable range for sunshine factor of common plants

序号 No.	生活型 Life form	中文名 Chinese name	拉丁学名 Latin name	适宜区间 Suitable range
1	常绿乔木	龙柏	<i>Juniperus chinensis</i> cv. <i>Kaizuca</i>	3-6
2	常绿乔木	圆柏	<i>Juniperus chinensis</i>	3-6
3	常绿乔木	棕榈	<i>Trachycarpus fortune</i>	1-5
4	落叶乔木	三角槭	<i>Acer buergerianum</i>	2-5
5	常绿乔木或灌木	木樨	<i>Osmanthus fragrans</i>	2-6
6	常绿乔木或灌木	女贞	<i>Ligustrum lucidum</i>	2-5
7	常绿乔木	枇杷	<i>Eriobotrya japonica</i>	2-5
8	落叶乔木	鸡爪槭	<i>Acer palmatum</i>	2-5
9	落叶乔木	桃	<i>Prunus persica</i>	4-6
10	落叶乔木	东京樱花	<i>Prunus</i> × <i>yedoensis</i>	3-6
11	落叶乔木	梅	<i>Prunus mume</i>	4-6
12	落叶乔木或灌木	紫叶李	<i>Prunus cerasifera</i> cv. <i>Atropurpurea</i>	4-6
13	落叶乔木	垂丝海棠	<i>Malus halliana</i>	4-6
14	常绿灌木	八角金盘	<i>Fatsia japonica</i>	1-4
15	常绿灌木或乔木	山茶	<i>Camellia japonica</i>	2-4
16	常绿灌木或乔木	茶	<i>Camellia sinensis</i>	2-4
17	常绿灌木	大叶黄杨	<i>Buxus megistophylla</i>	3-6
18	常绿灌木或乔木	日本珊瑚树	<i>Viburnum awabuki</i>	2-5
19	常绿灌木	龟甲冬青	<i>Ilex crenata</i> var. <i>convexa</i>	3-5
20	常绿灌木	海桐	<i>Pittosporum tobira</i>	2-5
21	常绿灌木	含笑花	<i>Michelia figo</i>	2-4
22	落叶灌木或乔木	红花檵木	<i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i>	2-6
23	常绿灌木或乔木	石楠	<i>Photinia serratifolia</i>	2-6
24	落叶灌木或乔木	石榴	<i>Punica granatum</i>	4-6
25	常绿灌木或乔木	黄杨	<i>Buxus sinica</i>	3-6
26	常绿灌木	火棘	<i>Pyracantha fortuneana</i>	4-5

续上表

序号 No.	生活型 Life form	中文名 Chinese name	拉丁学名 Latin name	适宜区间 Suitable range
27	常绿灌木	夹竹桃	<i>Nerium oleander</i>	4-6
28	半常绿灌木	琼花	<i>Viburnum keteleeri</i>	3-5
29	常绿灌木	金森女贞	<i>Ligustrum japonicum cv. Howardii</i>	3-5
30	落叶灌木	金丝桃	<i>Hypericum monogynum</i>	4-5
31	落叶灌木	蜡梅	<i>Chimonanthus praecox</i>	2-5
32	常绿灌木或乔木	椴木石楠	<i>Photinia bodinieri</i>	3-6
33	半常绿灌木	锦绣杜鹃	<i>Rhododendron × pulchrum</i>	3-5
34	落叶灌木	木芙蓉	<i>Hibiscus mutabilis</i>	4-5
35	落叶灌木	木槿	<i>Hibiscus syriacus</i>	3-5
36	常绿灌木	南天竹	<i>Nandina domestica</i>	2-5
37	常绿灌木	花叶青木	<i>Aucuba japonica var. variegata</i>	1-4
38	落叶灌木	贴梗海棠	<i>Chaenomeles speciosa</i>	4-6
39	常绿灌木	狭叶栀子	<i>Gardenia stenophylla</i>	2-5
40	半常绿灌木	小叶女贞	<i>Ligustrum quihoui</i>	3-5
41	散生竹	早园竹	<i>Phyllostachys propinqua</i>	3-5
42	常绿亚灌木	野迎春	<i>Jasminum mesnyi</i>	3-6
43	落叶灌木	月季花	<i>Rosa chinensis</i>	4-6
44	常绿灌木	白蟾	<i>Gardenia jasminoides var. fortuneana</i>	2-6
45	落叶灌木	紫荆	<i>Cercis chinensis</i>	3-6
46	落叶灌木或乔木	紫薇	<i>Lagerstroemia indica</i>	4-6
47	常绿藤本灌木	扶芳藤	<i>Euonymus fortune</i>	2-4
48	多年生草本	石蒜	<i>Lycoris radiata</i>	2-5
49	多年生草本	红花酢浆草	<i>Oxalis corymbosa</i>	3-6
50	蔓性半灌木	蔓长春花	<i>Vinca major</i>	2-4
51	多年生草本	吉祥草	<i>Reineckea carnea</i>	1-4
52	多年生草本	短莛山麦冬	<i>Liriope muscari</i>	2-4
53	常绿木质藤本	络石	<i>Trachelospermum jasminoides</i>	1-4
54	多年生草本	玉龙草	<i>Ophiopogon japonicus cv. Nanus</i>	2-4
55	多年生草本	萱草	<i>Hemerocallis fulva</i>	3-5
56	多年生草本	蝴蝶花	<i>Iris japonica</i>	2-4
57	多年生草本	金丝藁草	<i>Carex oshimensis cv. Evergold</i>	2-4
58	多年生草本	麦冬	<i>Ophiopogon japonicus</i>	1-5
59	多年生草本	玉簪	<i>Hosta plantaginea</i>	3-4
60	多年生草本	狗牙根	<i>Cynodon dactylon</i>	4-6

因子分区的现象十分普遍。并且日照因子很难进行原位改善性调节。因此，在设计阶段应对不同植物的习性与其栽植环境的日照条件充分了解，以保障植物群落健康发展与各种功能表达。调查中发现，对于绿地中下层

植物，阴性分区生长空间范围整体大于阳性分区空间，尤其在各类附属绿地中，植物的耐阴性值得更多关注。表3所列的60种植物中，适宜区间涵盖1区的仅占10.00%，涵盖2区的占比48.33%，涵盖3区的占比78.33%，

涵盖4区的占比100.00%，涵盖5区的占比76.67%，涵盖6区的占比38.33%。耐极阴植物的应用有待提升。

无论是为了更加充分地践行“适地适树”基本原则，还是在城市更新背景下呼应精细化设计、可持续建设等现实需求，对绿地植物生境特征及其形成机制的研究都具有较高的价值与必要性。空间与各生境因子的关系不仅可以指导适宜植物的选择，还可以用于生境的设计与营造，双向服务于植物景观设计与营造。通过获得更加广泛的调查数据和方法、技术的提升，本研究提出的绿地日照因子分区将在后续研究中依照既有思路进一步完善。需要指出的是研究中关于植物日照适宜区间的分析仍存在一定的局限，目前的方法比较费时费力，而针对建成绿地的调查分析也会对植物种的规模产生较大限制，对此将开展更加深入的研究。[14]

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 冷平生. 园林生态学第2版[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [2] 刘晖, 王晶懋, 吴小辉. 生境营造的实验性研究[J]. 中国园林, 2017, 33(03): 19-23.
- [3] 臧德奎. 园林植物造景[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- [4] HARDIMAN L. The Many Shades of Sunlight[J]. Horticulture, 2000, 97(2): 34-37.
- [5] HANSEN G, ALVAREZ E. Landscape Design: Analyzing Site Conditions[EB/OL]. (2016-02-04) [2024-09-19]. <http://edis.ifas.ufl.edu/ep426>
- [6] 魏合义, 黄正东, 杨和平. 基于GIS光照因子分析的园林植物选择和配置以浙江省桐乡市某小区为例[J]. 风景园林, 2015 (06): 60-66.
- [7] 刘晖, 吴小辉, 李仓栓. 生境营造的实验性研究(二): 场地生境类型划分与分区[J]. 中国园林, 2017, 33(07): 46-53.
- [8] 邵海荣, 周道英. 建筑物的遮阴效应及对绿化的影响[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(2): 37-44.

- [9] 张颖. 基于三维城市模型的日照分析研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [10] 孙彩敏, 许军. 基于GIS的建筑物日照分析[J]. 地矿测绘, 2018, 34(04): 28-31.
- [11] 曹冰冰, 邱尔发, 陈明明. 北京市23种行道树遮荫及UVB屏蔽效果研究[J]. 中国城市林业, 2016, 14(01): 13-17.
- [12] 陈咸吉. 中国气候区划新探[J]. 气象学报, 1982(1): 35-48.
- [13] 薛智德, 张乾功, 朱清科, 等. 灌丛内人工林富的相对光照强度和土壤水分条件[J]. 中国水土保持科学, 2008(04): 54-58.
- [14] 王国安, 米鸿涛, 邓天宏, 等. 太阳高度角和日出日落时刻太阳方位角一年变化范围的计算[J]. 气象与环境科学, 2007(S1): 161-164.
- [15] 陈耀华. 关于园林树木遮荫效果定量分析方法的探讨[J]. 中国园林, 1988(02): 61-62.
- [16] 陈小玲, 陈清西. 植物弱光逆境生理的研究进展[J]. 北方园艺, 2014(06): 183-187.
- [17] 郭家轩, 夏奕婷. 几种华南观赏植物对光照与遮荫的生理响应及其实践意义[C]// 广东省植物学会学术研讨会(广东省植物学会2009年度青年学术研讨会暨第四届广东植物学研究生学术交流会)论文集. 广州: 广东省植物学会, 2009.
- [18] 高小亮. 日灼危害的防治策略[J]. 园林, 2016(10): 58-61.
- [19] 战吉宸, 黄卫东, 王利军. 植物弱光逆境生理研究综述[J]. 植物学通报, 2003(01): 43-50.
- [20] 陈丽. 弱光条件对红榿木生长影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [21] 汤章城. 植物对水分胁迫的反应和适应性——II 植物对干旱的反应和适应性[J]. 植物生理学通讯, 1983(04): 1-7.
- [22] GOLDBERG D, GORNAT B, RIMON D. Drip Irrigation: Principles, Design, and Agricultural Practices[M]. Kfar Shmaryahu: Drip Irrigation Scientific Publications, 1976.
- [23] CZY E A, DEXTER A R. Influence of Soil Type on the Wilting of Plants[J]. International Agrophysics, 2013, 27(04): 385-390.
- [24] 嵇庆才. 江苏地区土壤持水性及水分有效性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2006.
- [25] 杨金玲, 张甘露, 赵玉国, 等. 城市土壤压实对土壤水分特征的影响——以南京市为例[J]. 土壤学报, 2006(01): 33-38.
- [26] 汪瑞军, 成玉宁. 城市山体公园地形对生境条件的影响——以南京市为例[J]. 亚热带资源与环境学报, 2020, 15(03): 24-31.
- [27] GB50176-2016民用建筑热工设计规范[S]. 2016.
- [28] 董丽, 包志毅. 园林植物学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [29] 廖飞勇, 李鹤鸣. 植物对光强适应机制的研究进展[J]. 经济林研究, 2008, 26(04): 104-108.
- [30] 王雪莹, 辛雅芬, 宋坤, 等. 城市高架桥荫光照特性与绿化的合理布局[J]. 生态学杂志, 2006(08): 938-943.
- [31] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [32] 王雁, 苏雪痕, 彭镇华. 植物耐荫性研究进展[J]. 林业科学研究, 2002(03): 349-355.