汪瑞军，成玉宁 . 建成环境道路绿带生境特征研究 [J]. 风景园林，2020，27（4）：56-61.

建成环境道路绿带生境特征研究

Research on Characteristics of Road Greenbelt Habitat in Built Environment

汪瑞军 成玉宁 *

WANG Ruijun, CHENG Yuning*

开放科学（资源服务）标识码（OSID）

中图分类号：TU986.2
文献标识码：A
文章编号：1673-1530(2020)04-0056-06
DOI：10.14085/j.fjyl.2020.04.0056.06
收稿日期：2019-12-03
修回日期：2020-03-25

汪瑞军 / 男 / 东南大学建筑学院在读博士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计、建成环境生境研究与植物景观设计

WANG Ruijun is a Ph.D. candidate in the School of Architecture, Southeast University. His research focuses on landscape planning and design, built environment habitat research and planting design.

成玉宁 / 男 / 博士 / 东南大学建筑学院教授、博士生导师、东南大学风景园林学科带头人、景观学系主任、东南大学景观规划设计研究所所长、江苏省设计大师、国务院学位委员会风景园林学科评议组成员 / 本刊编委 / 研究方向为景观规划设计、风景园林设计、景观建筑历史与理论、数字景观及其技术

通信作者邮箱（Corresponding author Email）：cyn999@126.com

CHENG Yuning, Ph.D., is a professor and doctoral supervisor in the School of Architecture, Southeast University, academic leader of the landscape architecture discipline, director of the Landscape Sciences Department and the Landscape Planning and Design Institute of Southeast University, master designer of Jiangsu Province, member of the Landscape Architecture Disciplinary Committee of the State Council Academic Degree Committee, and an editorial board member of this journal. His research focuses on landscape planning and design, landscape architecture design, landscape building history and theory, digital landscape and technologies.

摘要：绿地自身及其所处空间的形态特征对于植物生境的塑造具有重要的影响。以建成环境道路绿带为研究对象，通过数字化模拟与实地采样调查，分析和总结包括光照因子、局地风环境、土壤水因子、土壤理化属性在内的主要生境因子特征及其与道路绿带空间因素之间的关系。研究发现：光照因子、局地风环境与街谷形态、绿带位置关联密切；土壤水因子、pH 值与绿带宽度存在显著相关性。生境分析为绿带植物营造提供科学依据，指向种植设计与场地设计之间的双向适应。

关键词：风景园林；建成环境；道路绿带；生境；街谷空间；光照；局地风；绿带土壤

基金项目：国家自然科学基金重点项目（编号 51838003）

Abstract: The spatial characteristics of both green space itself and its surroundings have an important effect on the shaping of plant habitats. Taking road greenbelts in built environment as the research object, and applying digital simulation and filed sampling survey, the study analyzed the characteristics of main habitat factors, including illumination, local wind, soil moisture, soil physical and chemical properties, and discussed their relationship with the road greenbelt spatial factors. It is found that the illumination factor and local wind condition are closely related to the street canyon shape and greenbelt locations on the roads; and the soil moisture and its pH value are significantly correlated with the widths of greenbelts. The habitat research provides scientific basis for greenbelt plant construction, leading to a bidirectional adaptation between planting design and site design.

Keywords: landscape architecture; built environment; road greenbelt; habitat; street canyon; illumination; local wind; greenbelt soil

Fund Item: Key Program of the National Natural Science Fund of China (No. 51838003)

1 研究背景

生境是植物生存与发展所需生态条件的集合，以空间为载体，并受到不同尺度上空间变化的影响。建成环境属于人工营建的空间体系，绿地作为其中的主要组成部分，在空间形态上表现出多样性与类型化的特征，并随之产生了植物生境条件的差异。道路绿带在建成环境中兼具绿地与交通设施的双重属性，后者的标准化设计将其塑造成为严格的线性空间，由此产生的以高度规则化与约束性为主的空间属性不仅是绿带生境特征形成的基础，也让空间与生境之间的作用关系得以比较清晰地表现。

1.1 道路绿带空间因素

作为交通设施附属绿地的组成部分 [1]，道路绿带以分车带的形式最为常见，包括中分带、侧分带和行道树绿带 [2][2]。与绿带相关的主要空间因素包括所在街谷的空间形态及其自身的位置、宽度和植被结构。街谷是道路两侧建筑物与路面围合形成的类似“峡谷”的空间 [3]，其形态特征塑造了道路绿带的直接外部环境。绿带位置是指绿带在道路平面中的布局，中分带位于道路中心线附近，距离两侧建筑最远。绿带宽度与分车带属性相关，通常中分带宽度较大，而城市区域、道路等级以及建设年代等因

素也会对其产生影响，宽度的大小直接影响到绿带土壤的容量与封闭程度。为满足视线引导、荫庇和空间组织等交通空间需求以及尽可能多地提高绿视率，绿带的种植形式常以灌木密植配合乔木等距行植为主，表现出线性空间的统一性与秩序感。相关设计规范对绿带植被空间组织和种类选择等也均有所要求与建议[2]6，与其他绿地相比体现出较强的规范化与模式化特征。

1.2 道路空间环境研究

街谷形态变化产生的影响是关于道路空间局地环境研究的关注重点，所在地的纬度、街谷走向和横断面高宽比等空间因素都会影响谷内的小气候环境[4-5]。光照分析主要通过几何计算[6]或软件模拟[7]完成，包含风热条件和温湿度等在内的气象因子可以通过测量仪器进行历史数据记录，也可以利用基于计算流体力学开发的相关软件实现模拟与预测[8]。而这些研究的主旨大多在于公共空间的环境质量，侧重于人对环境的需求变化、体感舒适度与空气污染等问题[9-11]，以绿地作为对象的详细研究相对较少。关于绿地土壤环境的研究则多见于以城市绿地分类为依据的采样调查，涉及不同地区的不同绿地类型间土壤性状的对比[12-14]，比较局限于整体分析，而缺乏对相关性状形成与变化的研究以及从空间关联的角度展开的讨论。

笔者以南京市为例，通过软件模拟和采样调查的方法分析道路绿带的主要生境因子特征及其与相应空间因素之间的量化关系，旨在提升绿带植物群落设计的科学性，同时也为通过空间设计来干预和营造植物生境提供参考依据。

2 研究对象与方法

南京市主城区位于北纬 32°04′左右，属于北亚热带长江中下游气候区，年均降雨量为 1 106 mm，属湿润气候型[15]，土壤基底主要为下蜀黄土母质上发育的黄棕壤[16]，自然背景环境和城市发展特征具有长江中下游地区城市群的典型代表性。以南京市建设或改造完成 10 年以上、环境稳定、特征典型的城区路段为研究对象。调查工作于夏末（2019 年 9 月中下旬）晴好天气集中展开，共对 27 条道路的各型绿带进行取样调查（东西向 13 条，命名为 DX01~DX13；南北向 14 条，命名为 NB01~NB14）。

光照、温度、水和土壤是与植物生长密切相关的主要非生物因子[17]，其中温度变化主要体现在季节变换与昼夜交替上，或与建成环境整体相关，更多的属于背景环境条件，因此不在研究之列。考虑到道路空间的峡谷效应对局地风场的显著性影响，将局地风环境也纳入生境分析之中。故选取光照因子、局地风环境、土壤水因子、土壤理化属性 4 项主要生境因子为研究指标，对道路绿带的生境特征进行调查与分析。光照与局地风环境分析分别利用地理信息系统软件 ArcGIS 中的太阳辐射模块和计算流体力学（computational fluid dynamics，简称 CFD）软件 Phoenics 完成，前者的模拟时段为植物生长旺盛的夏半年（春秋分之间），后者的背景条件则依据南京市相关历史气象信息。因夏半年街谷光照与风场变化均以东西向和南北向为最大差异，其余处于二者之间[4, 6, 18]，为精简分析过程和突出重点内容，模拟分析将主要针对上述两个走向。土壤调查的测量与取样深度为 20 cm。数据处理与分析通过 Excel 与 SPSS 软件完成。

另外，土壤理化属性的分析还包括与相同时间段内其他绿地类型调查结果的比较，以在更广的空间尺度上了解道路绿带的土壤环境特征。其他绿地类型包括：公园绿地、单位附属绿地、居住区绿地、滨水绿地和广场绿地，它们与道路绿带一起构成了建成环境的主要绿地空间。

3 研究结果

3.1 光照因子

根据不同植物对光照条件的需求，光照时数常被作为划分光照条件的重要指标。不同学者从种植经验和光合有效辐射累积等角度提出了相应的分类区间[19-21]，笔者在此基础上结合南京市的太阳辐射变化规律，将光照条件的理论划分标准设为：在每日 08：00—16：00，受光照直射 6~8 h 为全阳生环境，4~6 h 为半阳生环境，2~4 h 为半阴生环境，0~2 h 为全阴生环境，4 h 为阳生与阴生环境的理论分界值。

3.1.1 街谷空间影响

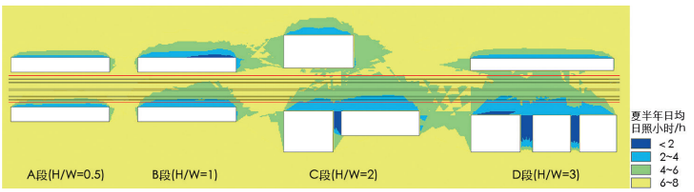
对东西向道路不同街谷高宽比（H/W）进行模拟（图 1）。模拟路型为双向四车道，含中分带、侧分带及行道树绿带，平面布局依据相关规范要求[22]，建筑退让道路红线设置为：< 50 m 多层及小高层建筑 6 m、50~75 m 高层建筑 10 m、75~100 m 高层建筑 15 m[23]。随着高宽比的增加，半阳区（4~6 h）与半阴区（2~4 h）的范围逐渐增大。阴生范围（< 4 h）与各绿带关系表现为：A 段（H/W=0.5）几乎不受影响，B 段（H/W=1）覆盖南行道树绿带，C 段（H/W=2）覆盖南侧分带，D 段（H/W=3）受退让红线增加的影响表现与 C 段相近。D 段建筑高度已 >100 m 属于超高层建筑，更大高宽比连续界面极少出现，缺少实际意义，故不做分析。

与东西向相比，南北向道路的情况更复杂。因建筑多以南北朝向布局，南北走向道路两侧建筑界面常以山墙面为主，尤其在居住用地集中的区域，产生了建筑界面是否连续这一变量。连续界面 H/W ⩾ 1 时，F 段（H/W=1）和 I 段（H/W=2）半阴区可覆盖所有绿带；而当 H/W 不变，任意一侧界面不连续时［G、H 段（H/W=1）］建筑遮阴效果明显下降，多数绿带处于全阳区域。J 段两侧建筑高度差异较大，西侧 H/W=0.5，东侧 H/W=2，与对应高宽比且建筑高度一致时的 E 段（H/W=0.5）和 I 段相比表现出折中状态，绿带基本处于半阳区域（图 2）。由此可见水平和垂直层面上的建筑界面连续性都会对街谷光照产生影响。

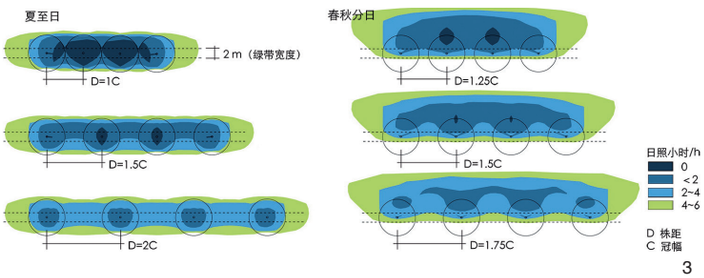
3.1.2 乔木冠层影响

有研究表明大多数道路绿地乔木树种的遮阴率都能达到 80%~90% 以上[24-25]。遮阴模拟中树冠可近似视为实体。结合道路绿化的统一与规则化特征，线性方向上的栽植密度或株间距成为乔木冠层影响中下层植被光照条件的主要因素。

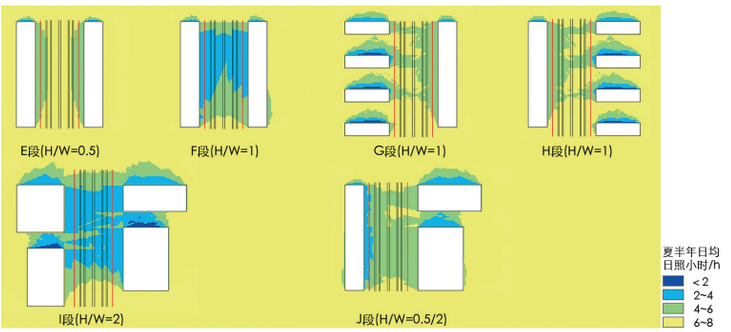
对东西向绿带乔木冠层遮阴情况进行模拟（图 3），相关参数设置为：乔木冠幅 6 m，



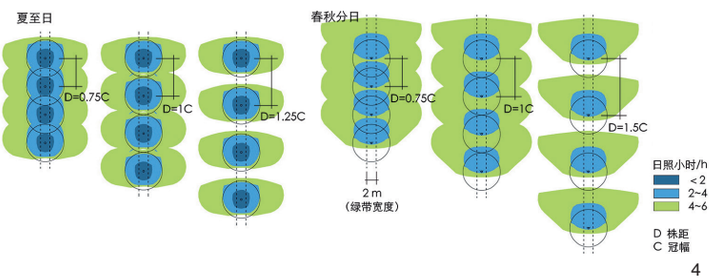
1



3



2



4

1 东西向道路夏半年建筑遮阴模拟
Simulation of building shading on east-west roads in the summer half year
2 南北向道路夏半年建筑遮阴模拟
Simulation of building shading on south-north roads in the summer half year
3 东西向道路乔木层遮阴模拟
Simulation of shading of arbor layer on east-west roads

4 南北向道路乔木层遮阴模拟
Simulation of shading of arbor layer on south-north roads

树高 8 m，冠下高 3 m，绿带宽度 2 m。夏至日时，随着株距的增大，乔木遮阴形成的阴生范围保持着较高的连续性，株距为冠幅的 2 倍时，下方绿带仍全部处于阴生环境中。春秋分日时，太阳高度角的减小使树冠投影向北偏移，减弱了对绿带的遮阴效果，并且偏移所产生的影响随着株距的增大而逐渐增强，当株间距达到 1.75 倍冠幅时，绿带处于阳生环境的面积开始多于阴生环境。综合来看，株距小于 1.5 倍冠幅的东西向单排乔木产生的遮阴可使其下方绿带在夏半年始终处于光照 < 4 h 的阴生环境中。

对南北向绿带进行模拟（图 4）。乔木遮阴形成的阴生范围（< 4 h）小于树冠垂直投影面积，夏至日时仅在相邻树冠相互重叠时才能形成连续的冠下阴生环境；春秋分日时乔木的遮阴效果更弱，始终仅能形成间断的阴生范围，当株距达到 1.5 倍冠幅时下方绿带已大部分处于阳生环境。

当同路段两条绿带的乔木树冠相接形成封闭式拱廊时，乔木遮阴的影响显著提升（图 5）。无论道路走向如何，下方绿带在夏半年完全处于日照 < 2 h 全阴环境，东西向绿带更是以光照 0 h 全阴环境为主。

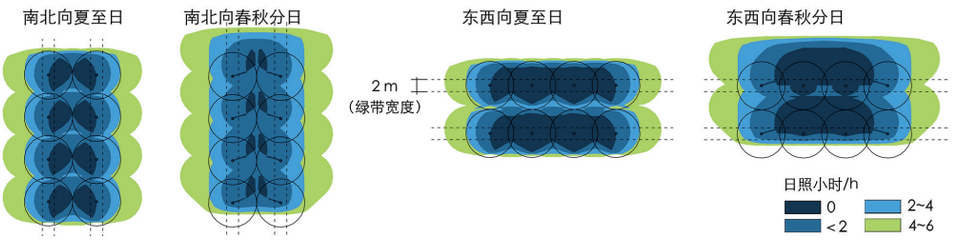
综合以上分析，东西向道路中街谷形态对绿带光照的影响相对较小，高宽比产生的阴影变化主要作用于南侧绿带，乔木冠层对中下层植被的遮阴效果比较显著；南北向道路中街谷形态的作用较大，高宽比和建筑界面的连续性同为重要的影响因素，乔木冠层遮阴的影响则相对较小。

3.2 局地风环境

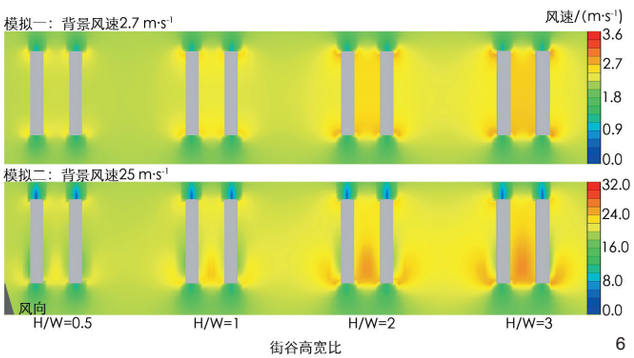
街谷形态是局地风环境特征形成的主要决定因素。当街谷走向与主导风向平行时会形成所谓的峡谷效应或峡层效应，气流的可通过区域受限，流体的连续性促使其加速通过街谷，形成槽流风；当街谷走向与主导风向垂直时，气流会从周围的通风口和建筑顶层上迅速通过，在谷内形成静风区；当道路走向与主导风向成其他偏角时，两种效应都会出现但程度不同，偏角越接近垂直方向，静风区的范围就越大，越接近平行方向，峡谷效应就越显著。对于街谷的断面形态，模拟分析表明：街谷与风向垂直时所形成的谷内静风环境不会因高宽比的改变而发生变化，而平行时所形成的槽流风则与高宽比和背景风速均有所关联。

对两种背景风速下不同高宽比街谷对平行风增强作用进行模拟（图 6）。模拟一的 2.7 $m \cdot s^{-1}$ 是南京市的多年（1960—2004 年）平均风速[26]，模拟二的25 $m \cdot s^{-1}$ 是历年（1960—2010 年）最大 10 min 平均风速 [27]，输出结果为地面 2 m 高度风速。两种条件下随着高宽比的增加谷内风速均逐渐升高，H/W 从 0.5 增至 3 时，模拟一中风速约从 2.25 $m \cdot s^{-1}$ 升高到 2.75 $m \cdot s^{-1}$，增长率为 22%；模拟二中风速约从 20 $m \cdot s^{-1}$ 升高到 27 $m \cdot s^{-1}$，增长率为 35%。另外，模拟一谷内风速相对均匀，模拟二则出现了较明显的差异，迎风口中部区域的风速普遍较高。可见 H/W 增加对平行风的增强作用在强风下更为显著，模拟一中的风速变化始终处于轻风级别（2 级），而模拟二中的风速则从大风（8 级）上升到了狂风级别（10 级），达到了树干发生扭转断裂的临界风速 [28]。极端天气中瞬时或短时强风对绿带植被的机械破坏值得注意，尤其在一些特殊的空间环境中。

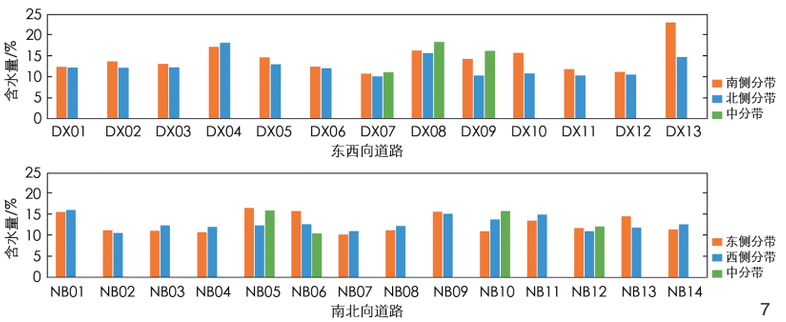
此外，风环境的变化还会从一些微观层面对植物生长产生影响。叶表风有助于气孔周围水蒸气的扩散，提升空气的水分不饱和程度，进而增大水汽扩散梯度与叶片内外的水蒸气气压差。一定范围内风速的增大会对



5



6



7

5 封闭拱廊型乔木层遮阴模拟
Simulation of shading of closed arcade-shaped arbor layer
6 平行于主导风向不同 H/W 街谷风速模拟
Simulation of wind speeds in different H/W street canyons parallel to dominant wind directions
7 不同走向道路绿带土壤含水量分析
Analysis of soil moisture in road greenbelts of different directions

植物的蒸腾作用起促进作用[29-30]，过大则会引起气孔的关闭。

3.3 土壤水因子

所有样地的平均土壤含水量为 13.32%（体积含水量），东西向道路均值为 13.67%，南北向为 13.00%，整体差异很小。就此阶段性数据而言已接近区域土壤的萎蔫系数，属于水分缺乏状态[31]。东西向道路中，南侧分带平均含水量为 14.42%，略大于北侧分带的 12.56%，DX04 以外的各样地中均为南侧分带较大，中分带与南侧分带接近；南北向道路中，东侧分带均值为 13.01%，西侧分带为 12.90%，在各样地间互有高低，未表现出显著的分化（图 7）。该结果一定程度上反映出与光照条件的联系，东西向南侧分带受建筑或乔木遮阴而处于阴生环境的可能性最高，绿地蒸散小，含水量相对较高。

将含水量数据与绿带宽度进行相关性分析，同路段侧分带空间形态一致，含水量以平均值参与计算，结果显示二者在 0.05 水平上显著正相关（r=0.401），两组数据的曲线回归分析显示对数模型的拟合优度最高（图 8）。

宽度过小会增强绿带土壤的封闭程度，包括地表层面与地下层面，后者与道路基础对绿带土壤下界面的封闭有关，而乔木冠层对雨水的截留比例也会因宽度减小而增加，这些都是形成上述分析结果的可能原因。与其他绿地类型进行比较（表 1），道路绿带的平均含水量处于最低水平且差异较显著，除了严格围合的边界限制了水分输入以外，植物满栽所产生的较大耗水量也是重要原因之一。相对最小的变异系数从侧面反映出绿带空间的高度规则化特征。

土壤含水量属于波动性较高的因子，受多种环境因素的影响，建成环境中还包含人为管理的成分。为提高分析结果对真实情况的反映程度，首先是调查时间选择在雨季刚刚结束的夏末，且在降雨结束后的晴好天气，以减小人工灌溉的影响；其次是通过增加样本数量来稀释个体差异，各型绿地调查样点均在 50 个以上。虽然开放环境难以控制的背景条件减弱了定量分析的准确性，但其结果在整体比较和程度分析上仍具有一定的理论意义。

3.4 土壤理化属性

3.4.1 紧实度

土壤紧实度范围为 271.38~543.80 N · cm^{-2}，平均值为 391.51 N · cm^{-2}，不足 5% 的绿带超过 500 N · cm^{-2}，该值为测量仪器（T YD-2）的基本量程上限，表征不利于植物生长的较高水平。绿带位置、宽度等空间因素均未与紧实度的变化表现出显著的关联，东西向均值为 393.30 N · cm^{-2}，南北向均值为 400.45 N · cm^{-2}，几乎相当。从与其他绿地类型的比较（图 9-1）来看，绿带土壤紧实度整体水平处于中间位置，变异系数最小。

3.4.2 酸碱度

土壤酸碱度（pH 值）均值为 7.82，检测样本中，pH 值在 7.0~7.5 区间的占 3.12%，7.5~8.0 区间的占 78.13%，8.0~8.5 区间的占 18.75%，绝大多数土壤呈碱性。方向和位置因素未表现出与 pH 值的显著关联。绿带宽度与 pH 值的相关性分析显示二者在 0.05 水平上显著负相关（r=−0.365），曲线回归分析结果仍然为对数模型拟合优度最高（图 10）。

绿带周围硬质设施所使用的人工材料会向土壤中释放以硅酸盐为主的碱性物质，从而引起土壤 pH 值的升高，宽度越小的绿带边界指数（边长 / 面积）越大，理论上受此影响越强，同时，宽度小的绿带土壤容量小，自身的化学平衡能力较弱，加剧了土壤的碱化。与其他绿地类型进行整体比较（图 9-2），道路绿带的 pH 值最高，且仅其平均水平达到了碱性范畴，碱化成为绿带土壤属性的一个突出特征，变异系数与滨水绿地相近，处于最低位置。

3.4.3 养分特征

养分特征分析的主要指标是土壤中碱解氮、磷酸盐和钾盐的含量，它们属于三大养分元素中易被植物吸收的有效部分。考虑到

表 1 道路绿带土壤含水量与其他绿地类型的比较
Tab. 1 Comparison of soil moisture in road greenbelts and other green space types

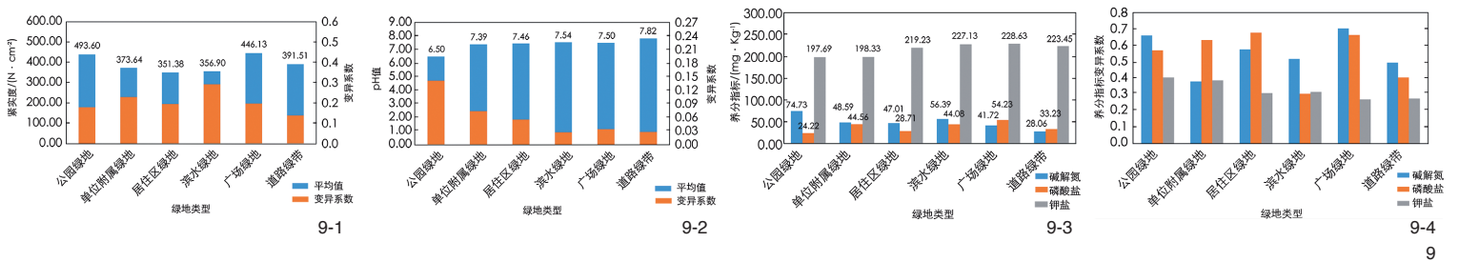
绿地类型	平均土壤含水量 /%	变异系数
公园绿地	21.37	0.377
单位附属绿地	26.22	0.237
居住区绿地	26.63	0.284
滨水绿地	28.46	0.325
广场绿地	21.17	0.253
道路绿带	13.32	0.160

表 2 养分指标评价的分级拐点值
Tab. 2 Grade inflection point of soil nutrient indexes evaluation

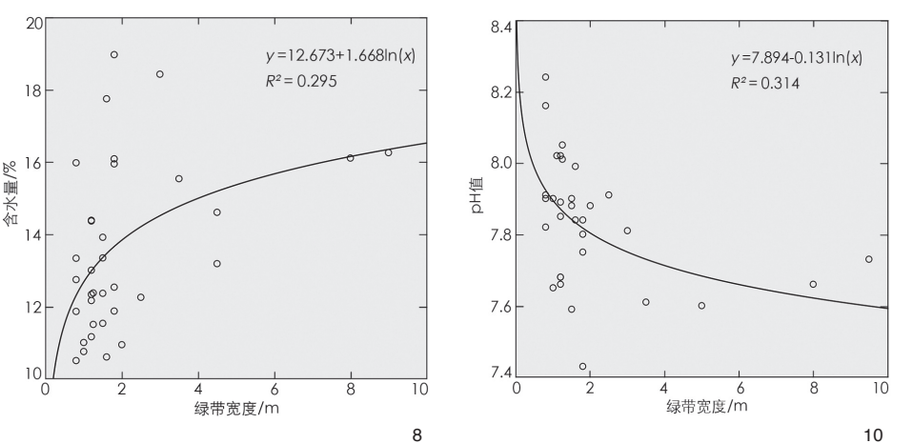
指标分级	碱解氮 /（mg・kg^{-1}）	磷酸盐 /（mg・kg^{-1}）	钾盐 /（mg・kg^{-1}）	pH < 7	pH > 7
I 级（高）	120	20	150	6.5	7.0
II 级（中）	90	10	100	5.5	7.5
III 级（低）	60	5	50	4.5	8.5

表 3 样地土壤养分特征分析与评价
Tab. 3 Analysis and evaluation of soil nutrient characteristics of sample sites

养分指标	平均值 /（mg・kg^{-1}）	I 级占比 /%	II 级占比 /%	III 级占比 /%
碱解氮	28.06	0.00	0.00	100.00
磷酸盐	33.23	96.77	3.23	0.00
钾盐	223.45	90.32	9.68	0.00
pH 值	7.82	3.23	77.42	19.35



9



8 绿带宽度与土壤含水量的拟合分析
Fitting analysis of greenbelt width and soil moisture
9 不同绿地类型土壤理化属性比较
Comparison of soil physicochemical properties of different types of green space
9-1 土壤紧实度比较
Comparison of soil compactness
9-2 土壤 pH 值比较
Comparison of soil pH values
9-3 土壤养分指标比较
Comparison of soil nutrient indexes
9-4 土壤养分指标变异系数比较
Comparison of C.V. of soil nutrient indexes
10 绿带宽度与土壤 pH 值的拟合分析
Fitting analysis of greenbelt width and soil pH values

土壤酸碱环境的变化对植物生长发育、营养物质吸收和转化过程的重要影响，也将其纳入分析的指标体系中。各指标评价标准参考第二次全国土壤普查养分分级标准及以往的相关研究 [32-34]，分级归属依照的是隶属度原则（表 2），综合指数的计算采用内梅罗综合指数法。

结果表明，碱解氮的含量水平较低，所有样本均属于 III 级水平，总均值及 58.06% 的样本数值甚至低于土壤普查分级标准中的极缺水平（30 mg・kg^{-1}）[32]；磷酸盐和钾盐的含量均很高，I 级水平样本占绝对主导（表 3）。综合指数方面，6.45% 的绿带属于贫瘠范围（内梅罗指数 < 0.9），93.55% 的绿带属于一般范围（0.9~1.8），绝大多数分布在 1.00~1.10 区间内，整体养分水平不高。

绿带宽度与上述 3 项养分元素含量之间不具有显著相关性。土壤养分元素的变化涉及各种生化过程，不确定性较高，很难表现出与空间因素之间较为明确的关联。但在养分指标之间的相关性分析中，碱解氮含量与 pH 值在 0.05 水平上显著负相关（r=− 0.424），说明通过调节土壤的酸碱度能够对氮素含量产生影响。原因可能与微生物的适宜生活环境有关，土壤微生物一般最适宜的 pH 值是 6.5~7.5 之间的中性范围，过酸或过碱都会严重抑制其活动 [35]，而土壤中氮元素主要来自有机质分解，磷元素和钾元素很大程度上受到成土母质的影响 [36]，因此碱性程度越高越不利于氮素在土壤中的释放。这可能也是道路绿带在与其他绿地

的比较中碱解氮含量处于最低水平的主要原因之一（图 9-3）。磷酸盐和钾盐则处于中间水平，且二者在各绿地类型中普遍较高，均值均超过了 I 级标准。变异系数的比较中道路绿带始终处于最低和次低的位置（图 9-4）。

4 生境适应性设计

生境适应性设计是指通过对生境的认知和营造协调生物群落与生存空间关系的过程。绿地生境适应性设计的实质是实现植物种植设计与场地设计之间的双向适应。种植设计需要符合场地的生境特征，而场地设计也应从满足植物生长环境的角度出发发挥其生境营造的作用。任何设计终将落实到空间层面，空间因素在绿地生境特征的形成中扮演着重要的角色，对于二者关联规律的研究是完成生境适应性设计的关键。

道路绿带的光照与局地风环境主要受到所在街谷空间形态的影响，包括走向与断面高宽比，而这些对于绿带设计而言属于不可控因素，种植设计对于场地条件的适应占主导。光照因子方面，了解和适应街谷空间变化对光照的作用规律是种植设计的主要内容，而在利用乔木层调节和塑造光照条件时还应注意街谷走向对其遮阴效果的影响。针对街谷空间的局地风环境特征，绿带设计应重点关注与地区极端天气频发季节主导风向平行的路段，尤其是街谷高宽比较大的迎风口区域，以规避可能发生的风害带来的破坏，具体措施包括绿带的合理退让、选择抗风性强的树种以及组织导风性植被结构等。

土壤水因子和理化属性与绿带自身的空间属性关联更为密切，这为通过场地设计来调整绿带生境创造了条件，有助于改善类型层面的空间特征所引起的生境限制。与土壤含水量和酸碱度的显著相关性表明了宽度因素在一定程度上对二者的调节作用，适当增加绿带宽度有助于含水量的增加和抑制 pH 值的上升。宽度与这两个因子的最优拟合曲线均为对数模型，拟合曲线随着横坐标的增加由急变缓，拐点均出现在 2 m 左右，为宽度优化提供了一个具有参考意义的理论界值。对于水因子的调节还可以通过雨水收集的方法从周边环境中获得补充，将绿带建设与地表径流管理相结合，其内在机理是恢复平衡态的水分循环。相关技术方法与工程措施近年来得到了广泛的研究与应用，但需注意综合考虑在地条件和绿带承载力，以免过犹不及。另外，种植设计本身的调整也会对土壤环境的改善起到作用，改变满栽堆砌式的栽植方式能够减小对雨水和植物残体截留的比例，同时减少对水分和养分的消耗。

道路绿带的生境适应性设计将传统线性空间绿化所追求的视觉秩序延伸到了生态层面，只有当自然的内在秩序得到满足时才能产生稳定、可持续和富有生命力的植物景观。

5 结语

陆地上的任何一种环境都有其适宜生长的植物群落，自然环境中决定权在于自然选择，而在建成环境中则更多的由人为主导，并形成了各种满足人为需求的绿地。绿地建设中被加速过的人工选择能否很好地替代自然选择，取决于自然过程内在的适应性机制有没有得到充分的认知与表达，对于生境特征及其与空间关系的研究正是探寻该适应性机制的过程。绿地的营建既要建设自然之表，也要建设自然之里。

参考文献 (References)：

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . 城市绿地分类标准: CJJ/T85-2017[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2018.
[2] 中国城市规划设计研究院 . 城市道路绿化规划与设计规范：CJJ/75-97[S]. 北京：中国建筑工业出版社，1998.
[3] 赵敬源，刘加平 . 城市街谷热环境数值模拟及规划设计对策 [J]. 建筑学报，2007（3）：37-39.
[4] 左小瑞，江俊杰 . 黄山市街道理论日照条件分析 [J]. 农业灾害研究，2013，3（7）：18-20.
[5] 俞英 . 街道轮廓形态与风环境相关因素关系研究 [D]. 南京：南京大学，2013.
[6] 高操，刘倩，姚金雄 . 城市街道理论可照时数及住宅朝向分析 [J]. 电力科技与环保，2018，34（2）：1-5.
[7] 梅晓丹，马俊海，刘佳尧，等 . 基于 ArcGIS 的城市建筑物日照分析及应用 [J]. 测绘工程，2018，27（7）：36-40.
[8] 张涛，杨俊宴 . 基于 CFD 模拟的城市中心室外风环境特征分析及空间形态耦合研究：以南京新街口中心区为例 [C]// 中国城市规划学会，东莞市人民政府 . 持续发展 理性规划：2017 中国城市规划年会论文集（05 城市规划新技术应用）. 北京：中国城市规划学会，2017：688-701.
[9] 李京津 . 基于“日照适应性”的城市设计理论和方法 [D]. 南京：东南大学，2018.
[10] 丁沃沃，胡友培，窦平平 . 城市形态与城市微气候的关联性研究 [J]. 建筑学报，2012（7）：16-21.
[11] 黄远东，王守生，金鑫，等 . 城市街道峡谷内污染物扩散模拟中不同湍流模型的比较研究 [J]. 水动力学研究与进展（A 辑），2008（2）：189-195.
[12] 马秀梅 . 北京城市不同绿地类型土壤及大气环境研究 [D]. 北京：北京林业大学，2007.
[13] 徐同凯 . 杭州不同功能区绿地土壤特征及其营养元素与植物的关系 [D]. 杭州：杭州师范大学，2013.
[14] 陈雪，郎春燕 . 成都市城市绿地土壤理化性质研究 [J]. 广东微量元素科学，2011，18（6）：52-57.
[15] 陈咸吉 . 中国气候区划新探 [J]. 气象学报，1982，40（1）：35-48.
[16] 徐柏忠，罗汝英，李桂荣 . 江苏省类黄土丘陵地的土壤类型及其分布规律 [J]. 土壤学报，1993，30（2）：191-198.
[17] 冷平生 . 园林生态学 [M]. 北京：中国农业出版社，2011.
[18] 陈健，杨坤丽，段省强 . 基于数值模拟的成都场镇街道风环境研究 [J]. 四川建筑，2013，33（3）：61-63.
[19] 臧德奎 . 园林植物造景 [M]. 北京：中国林业出版社，2014：74.
[20] HARDIMAN L. The Many Shades of Sunlight[J]. Horticulture, 2000, 97(2): 34-37.
[21] HANSEN G, ALVAREZ E. Landscape Design: Analyzing Site Conditions[EB/OL]. Gainesville, Florida: Environmental Horticulture Department, University of Florida/IFAS Extension, 2016[2019-11-07]. http://edis.ifas.ufl.edu/ep426.
[22] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . 城市道路工程设计规范：CJJ37-2012[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.
[23] 南京市人民政府 . 南京市城市规划条例实施细则 [Z/OL].（2007-03-15）[2019-12-03]. http://www.nanjing.gov.cn/zdgk/200803/t20080307_1056325.html.
[24] 白雪 . 重庆市主城区常见行道树遮荫效果研究 [D]. 重庆：西南大学，2017.
[25] 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（1）：13-17.
[26] 耿孝勇 .1960—2004 年南京市风速变化及其成因研究 [J]. 青海气象，2014（1）：12-18.
[27] 武焕陵 . 南京长江第四大桥工程建设及关键技术 [J]. 中国工程科学，2013，15（8）：4-11.
[28] 邵卓平，吴贻军，黄天来，等 . 风灾害下树木强度分析的理论、方法及应用 [J]. 林业科学，2017，53（5）：170-178.
[29] 申梦亚 .4 种常用园林树种蒸腾耗水特征研究 [D]. 保定：河北农业大学，2018.
[30] 邱宗渭，潭水运 . 水杉蒸腾作用的初步研究 [J]. 林业科技资料，1978（4）：9-16.
[31] 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.
[32] 全国土壤普查办公室 . 中国土壤 [M]. 北京：中国农业出版社，1998：887-890.
[33] 张明，潘国林，张宗应，等 . 我国部分城市绿地土壤肥力质量分析与评价 [J]. 内蒙古农业大学学报（自然科学版），2019，40（3）：46-51.
[34] 李楠，郭风民，孙桂琴，等 . 郑州市城市园林绿地土壤肥力调查与评价 [J]. 河南科学，2017，35（10）：1615-1621.
[35] 胡启山 . 土壤的酸碱性对土壤肥力及作物生长的影响 [J]. 科学种养，2010（10）：63.
[36] 彭桂群，刘星剑，敖子强 . 鄱阳湖南矶山湿地土壤养分的空间分布特征 [J]. 中国资源综合利用，2017，35（7）：131-134，138.

图表来源 (Sources of Figures and Tables)：

文中图表均为作者绘制。

（编辑 / 刘玉霞）