

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.03.013

城市绿地土壤酸碱度特征分析

——以南京市为例

李超明¹, 汪瑞军²

(1. 东南大学 建筑学院, 江苏 南京 210096; 2. 合肥工业大学 建筑与艺术学院, 安徽 合肥 230601)

摘要:以绿地空间的详细划分为基础,通过大量实测数据的采集与分析,以南京市为例拓展城市绿地土壤酸碱度研究的广度和深度。研究表明,绿地土壤具有整体偏碱的特征,绿地空间形态的丰富变化在一定程度上引起了土壤 pH 的差异化表现。基于数据分析总结出时空连续性、地形和平面形态 3 个影响因素,讨论其各自成因与影响方式。作为土壤环境的重要指标,酸碱度不仅直接影响植被生长,还是各种生物、化学反应的关键调控因子。

关键词:土壤酸碱度;城市绿地;空间类型;时空连续性;地形变化;平面形态

中图分类号:S731.2;S714.5 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2023)03-0072-06

引文格式:李超明,汪瑞军.城市绿地土壤酸碱度特征分析——以南京市为例[J].林业调查规划,2023,48(3):72-77.

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.03.013

LI Chaoming, WANG Ruijun. Characteristics of Soil pH in Urban Green Space——A Case Study of Nanjing City[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(3): 72-77. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2023.03.013

Characteristics of Soil pH in Urban Green Space

——A Case Study of Nanjing City

LI Chaoming¹, WANG Ruijun²

(1. College of Architecture, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. College of Architecture and Art, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230601, China)

Abstract: Based on the detailed division of green space, through the collection and analysis of a large amount of measured data, this paper selected Nanjing as an example to expand the breadth and depth of the research on the soil pH of urban green space. The research results indicated that the soil of green space had the characteristics of being generally alkaline, and the rich changes in the spatial form of the green space also caused the differential performance of soil pH to a certain extent. Based on data analysis, this paper summarized three influencing factors of temporal and spatial continuity, topography and plane form, and discussed the respective causes and influence methods. As an important indicator of the soil environment, pH not only directly affects the growth of vegetation, but also is a key regulator of various biological and chemical reactions.

Key words: soil pH; urban green spaces; space type; temporal and spatial continuity; topographic change; plane form

收稿日期:2022-01-20.

基金项目:国家自然科学基金重点项目(51838003).

第一作者:李超明(1985-),男,安徽绩溪人,硕士,助理工程师.主要从事数字景观实验与分析研究. Email:103008909@seu.edu.cn

责任编辑:汪瑞军(1986-),男,安徽宣城人,博士,讲师.主要从事风景园林规划与设计、城市绿地生态、绿色基础设施方面的研究.

Email:ruijun1986@outlook.com

酸碱度是土壤环境的重要属性之一,其本质是土壤溶液中各种离子种类和浓度变化的结果。自然环境中土壤酸碱度主要由成土母质、气候、动植物与微生物和土壤的互动关系等因素决定,形成过程缓慢且稳定,表现出一定的地域分布特征。城市环境中土壤受人为活动影响强烈,包含酸碱度在内的土壤属性具有显著的异质性特征,并主要体现在两个尺度层面,首先是与周边山林地、农用地的整体差异,其次是城市内部不同区域间的变化。城市建设的主要人工材料水泥、砖块和混凝土等都会向与之接触的土壤中释放钙离子,从而提升土壤的 pH 值,产生碱化效应^[1],而土地利用类型的变化会影响该过程的作用程度,产生土壤酸碱度在空间上的分化^[2-4]。

绿地是城市环境中开放土壤的主要分布区域,这里的“开放”是相对于被人工设施封闭于地表之下的土壤而言。绿地土壤不仅维持着植物的生长,也是城市环境中重要的生物基因库和繁殖场所,并可发挥过滤、缓冲和物质转化等多种生态作用,而土壤的酸碱度是影响这些功能表达的重要因素。我国幅员辽阔,地区间气候、地形、地质等因素的差异塑造出多样的土壤属性,在酸碱度上整体呈现北碱南酸的变化,众多研究表明城市绿地土壤亦符合此特征,并在不同程度上表现出相对城郊土壤的碱化^[5-8]。而对于绿地内部土壤酸碱属性的变化目前的研究稍显不足,大多只针对于几种主要绿地类型的整体比较,缺乏从绿地空间变化上对土壤酸碱度差异进行具体分析。本文将在笔者及其团队对南京市主城区绿地土壤综合属性抽样调查的基础上,重点分析和讨论酸碱度指标调查结果,包括数据分布特征、与绿地空间变化的关系以及与土壤属性的关系等内容,以提升对城市绿地环境特征的认识,为各种与绿地相关的科研、设计工作提供理论支持。

1 调查内容与方法

调查工作首先对城市绿地空间进行分类,着重于空间的典型性和差异性以及绿地设计与建设中的应用关系(表1)。主要空间类型包括6种。

1) 公园绿地根据地形和营建方式上的差异又分为平地公园和山体公园两种,前者多属于不同年代的辟地新建,后者则是在原有山体及其植被基础上的改造,随着城市的扩张,此类公园在多山及丘陵地区具有较高的普遍性。

表1 城市绿地空间分类

Tab. 1 Classification of urban green spaces

主要空间类型	次级空间类型	
公园绿地	平地公园	密林、疏林、草地
	山体公园	陡坡、中坡、缓坡、平坡、汇水点
居住区绿地	建筑阴区、建筑阳区、集中绿地	
单位附属绿地	建筑阴区、建筑阳区、集中绿地	
滨水绿地	岸上地、驳岸坡地、临水区、湿地	
广场绿地	片状绿地、中型绿地、树池	
道路绿带	东西向、南北向	

2) 居住区绿地和单位附属绿地的布局特征相似,组团中心的集中绿地和围绕建筑的带状绿地构成了主要两种绿地形态,因受建筑遮阴的影响,后者又可分为阴区和阳区两种典型空间。

3) 滨水绿地的内部划分以竖向和与水体的关系为依据,湿地指频繁被水淹没,以耐水或水生植物栽植为主的滨水区域,临水区指自然驳岸邻近水位线的位置,与湿地类似,其土壤受水体影响较大。

4) 广场绿地内部形态变化丰富,从面积和空间塑造上大致可分为常位于外围或中心区域面积较大的片状绿地、面积中等以池壁围合的中型绿地以及以独株乔木栽植为主的树池。道路绿带的标准化程度较高,根据城市道路走向的主要特征分为南北向和东西向两类。

调查样点的选择除考虑空间差异外还关注了时间因素,样点所在绿地建设完成均在10年以上,环境特征相对稳定。具体的调查方式分为现场采样和实验室分析两个阶段,根据样点绿地的空间特征,现场采样采用梅花形、W形和线形等多种布点形式,取样深度为20 cm,各测点土样充分混合、风干、过筛后作为该样点样品进行实验室测量,测量采用电位法由pH计完成,并辅以试纸校验。每种主要空间类型的调查样点均超过50个,共完成近400份样品的测量。

2 结果分析

2.1 绿地土壤 pH 整体特征分析

各主要绿地空间类型的样点数据分析如表2所示。

表 2 主要绿地空间类型土壤 pH 描述性统计
 Tab. 2 Descriptive statistics of soil pH for major green space types

主要空间类型	平均数	中位数	最大值	最小值	变异系数
公园绿地	6.52 ± 0.91	6.91	7.69	4.10	0.139
居住区绿地	7.46 ± 0.43	7.61	8.07	6.32	0.057
单位附属绿地	7.39 ± 0.56	7.58	7.87	5.08	0.076
滨水绿地	7.54 ± 0.22	7.60	7.84	7.01	0.029
广场绿地	7.51 ± 0.27	7.57	7.97	6.85	0.036
道路绿带	7.82 ± 0.23	7.85	8.24	6.93	0.029

平均水平上(兼顾平均值与中位数),除公园绿地外基本属于碱性范畴,而公园绿地的变异系数显著高于其它类型,说明其内部次级空间之间的差异较大。南京市地处宁镇山脉西端,表现出低山缓岗的地形特征,自然土壤以下蜀黄土母质上发育的黄棕壤为主^[9],pH 主要集中在 5.0~6.5^[10]。抽样调查的城郊稻田土和山林地土也表现为酸性,前者均值为 6.18,后者均值为 5.70。城市建设所产生的碱化作用在绿地土壤中表现明显。

样点数据的 pH 区间分布情况如图 1 所示。

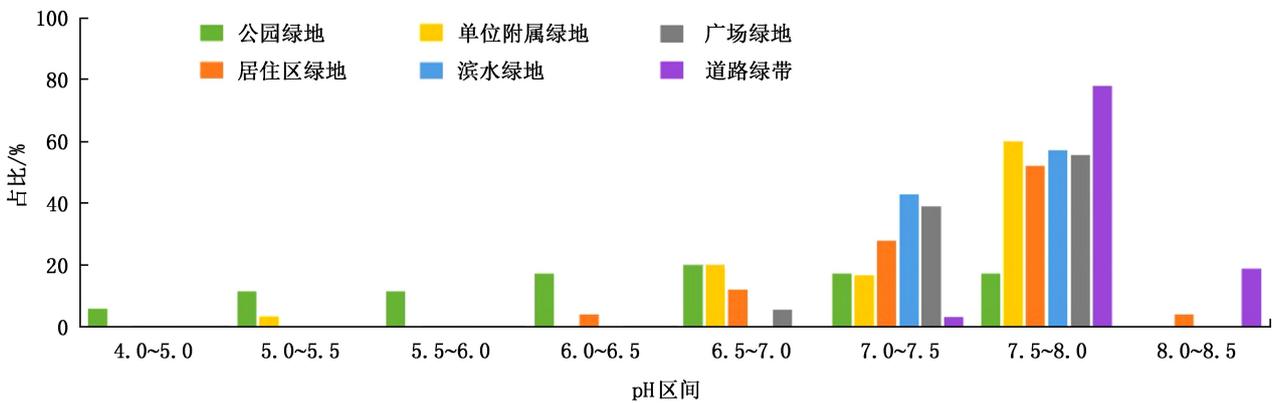


图 1 主要绿地空间类型样点土壤 pH 区间分布比较

Fig. 1 Comparison of soil pH interval distribution in main green space types of sampling points

公园绿地的分布跨度较大且相对均匀,其他类型均在 7.5~8.0 区间拥有超过 50%的样点占比,道路绿带有近 20%的样点超过 8.0。次级空间类型的比较中(图 2),道路绿带的 2 种均值最高,东西向为 7.87,南北向为 7.77,山体公园陡坡均值最小,为 5.15。广场绿地中的片状绿地及以左类型均值超过

7.5,占类型数的 47.83%,山体公园所含 5 种类型的均值小于 6.5,占比为 21.74%,中性类型数占比为 30.43%。与主要类型相比,次级类型的空间特征性更高,因此,图 2 所表现出的不仅仅是类型间的客观差异,还反映出一些 pH 变化与空间特征之间关系的端倪。

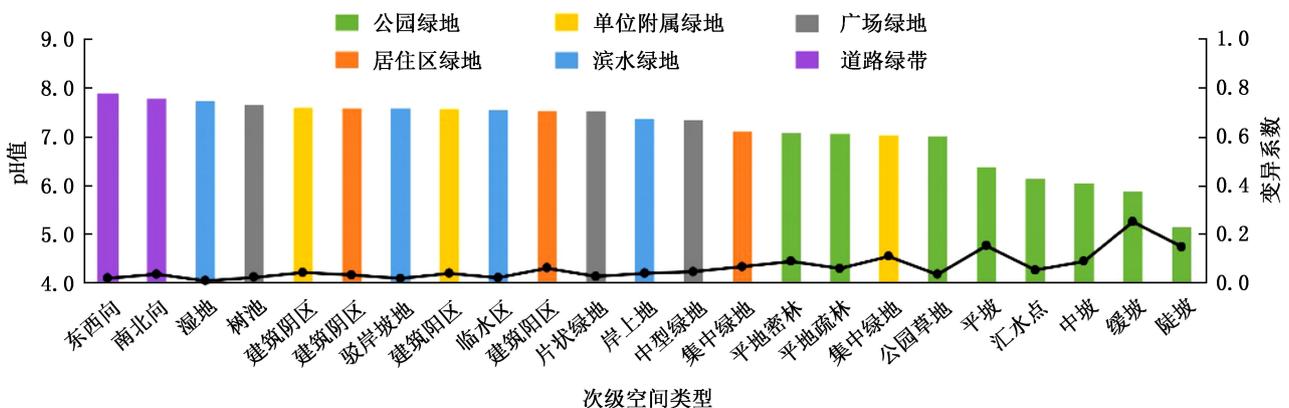


图 2 次级绿地空间类型土壤 pH 均值及变异系数比较

Fig. 2 Comparison of soil pH mean and coefficient of variation for secondary green space types

2.2 土壤 pH 与绿地空间特征的关系

2.2.1 时空连续性

时空连续性是绿地空间本身的发展特征之一,包含两个层面的表现,一个是作为绿地或自然属性用地的连续性,另一个是绿地内部空间组成与结构演进的连续性。二者在不同程度或空间尺度上反映出人类建设活动的干预,而不同绿地因功能和空间形态上的变化在时空连续性上往往存在较大差异,并能进一步引起土壤酸碱度的变化。主要绿地类型中公园绿地的时空连续性整体上较高,土壤酸碱度更接近区域自然土壤,道路、广场绿地不仅在建成时间上相对较晚,更是各种改建、更新活动的重点对象,土壤受扰动较强,更易混入大量碱性物质。公园绿地内部山体公园与平地公园的比较尤其能够表现出时空连续性的影响,无论是用地类型变更还是内部空间稳定性所表征的连续性,山体公园都要高于平地公园。包括地形因素所引起的开发难度以及空间文脉传承、城市生态建设等方面的原因,都使得山体公园成为城市建成基底内部保持区域原生生态特征的重要斑块。

如表 3 所示,山体公园调查样点的平均水平显著低于平地公园,属于典型酸性范畴,且有 68.18% 的样点 pH 值低于 6.5。

表 3 不同类型公园绿地土壤 pH 描述性统计

Tab. 3 Descriptive statistics of soil pH in different types of park green spaces

公园绿地	平均数	中位数	最大值	最小值	变异系数
山体公园	5.98 ± 0.93	5.92	7.55	4.10	0.155
平地公园	7.05 ± 0.47	7.13	7.69	6.02	0.066

2.2.2 地形变化

在对山体公园的调查中,参考森林调查的一般方法按坡度将绿地内部空间分为平坡、缓坡、中坡和陡坡^[11-12],并分别布置样点,具体划分方式为:<8°为平坡、≥8°~15°为缓坡、≥15°~25°为中坡、≥25°~50°为陡坡。各坡度类型样点的土壤 pH 均值按坡度从大到小依次为 5.15、6.04、5.87 和 6.37,缓坡稍小外,整体存在一定程度上逐渐增大的趋势。进一步对样点数据的分析表明,陡坡样点与其它坡度样点在 0.05 水平上差异显著 ($F = 5.032, P = 0.034$),土壤 pH 值与坡度变化在 0.05 水平上呈显著负相关 ($r = -0.526$, 图 3)。

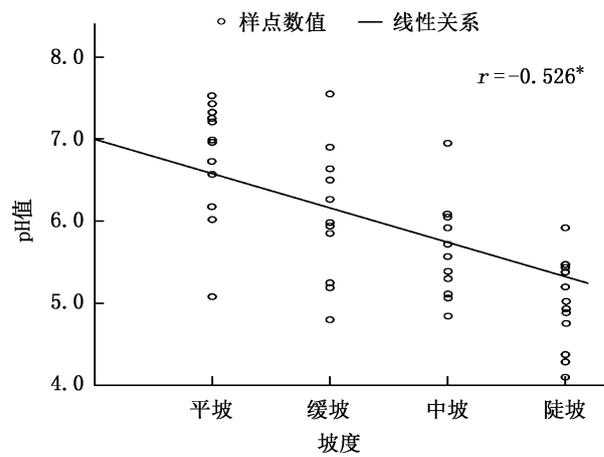


图 3 坡度与土壤 pH 的线性关系分析

Fig. 3 Linear relationship between slope and soil pH

城市山体公园大都植被结构完整,生长良好,调查样点基本属于常绿落叶阔叶密林或偏密林,植物空间特征相近,土壤 pH 与坡度变化的关系很有可能是受到淋溶作用的影响。雨水在空气中运动可吸收部分 CO₂,微含酸性,入渗后再与土壤中有有机质与矿物质分解产生的各种酸类混合,进一步增强了酸性。入渗过程可将石灰质等可溶盐类溶解转移,较难移动的氧化铁质与黏粒则被带入下层土壤,该过程被称为淋溶,长期淋溶作用会形成表土淋溶层,表现出粘粒含量低,酸性强、质地较粗的特征。我国南方地区降雨丰富,较强的土壤淋溶是广泛酸性土壤形成的重要原因之一^[13]。相同降雨条件下,地势越高,坡度越大区域受径流冲刷严重,土壤水下向与侧向的移动更强,淋溶作用程度更大^[14]。数据分析虽然反映出土壤 pH 与坡度的关联性,但不同坡度的实际差异并不大,中坡、缓坡和平坡的平均水平均在酸性范畴内,差值未超过 0.5,对植物生长的影响很小,值得注意的是陡坡这一空间类型,其土壤不仅酸性程度高,还具有低水、低肥的特征^[15],综合土壤环境严苛,对于植物的适应要求较高。

2.2.3 平面形态

平面形态的变化是绿地空间差异的主要表现形式之一,尤其对于中小尺度。城市土壤碱化的主因是人为扰动引起的建筑材料碱性物质的释放,而绿地的边界几乎都是由硬质设施限定的,理论上平面形态狭小的绿地受影响的程度更大。调查数据在一定程度上呼应了这种基于成因分析的推论。道路绿带形态狭长,形成了较高的边界长度与面积比(边缘密度),土壤整体受碱化作用影响较大,pH 平均水平与碱性样点占比均高于其他绿地类型。此外,

道路绿带具有标准化、规则化且绿化模式相对统一的特征,宽度成为突出的变量参数,为分析绿地平面形态与土壤 pH 的关系创造了良好条件。绿带宽度与土壤 pH 值的相关性分析表明,二者在 0.05 水平上显著负相关($r = -0.373, P = 0.036$),两组变量数据的拟合分析中对数曲线的拟合优度最高,如图 4 所示,宽度在 2 m 以内时曲线的斜率较大,大于 4 m 时渐近平缓,说明宽度增加对土壤碱化的负向作用在绿带较窄时更为明显。绿带过窄时,两侧道路基础往往会形成对土层的下界面封闭,施工过程中建设废料也更易混入,这些都会加深碱性物质的释放而对土壤酸碱环境产生影响,宽度增加会对此产生一定的缓解作用,但作用程度会逐渐减弱。

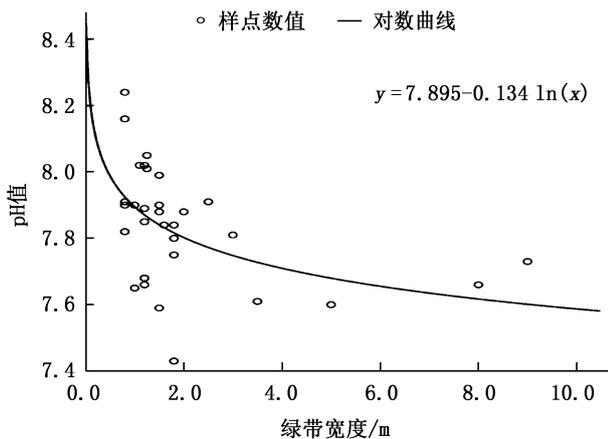


图 4 绿带宽度与土壤 pH 的曲线拟合分析

Fig. 4 Curve fitting of green belt width and soil pH

在其它一些平面形态上存在显著内部分化的绿地类型中,相应的数据比较也能反映出绿地平面形态变化与土壤 pH 的关系。居住区与单位附属绿地内部的建筑阴区与阳区绿地紧贴建筑基础呈条带状布局,而集中绿地则大多呈块状,面积较大。居住区绿地中,集中绿地 pH 均值为 7.11,建筑阴区为 7.58,阳区为 7.53,方差分析显示各样点组间存在显著差异 ($F = 3.656, P = 0.043$),多重比较中集中绿地在 0.05 水平上与建筑阴区 ($P = 0.017$) 和建筑阳区 ($P = 0.030$) 差异显著。单位附属绿地中,集中绿地 pH 均值为 7.02,建筑阴区为 7.59、阳区为 7.56,3 组数据间同样存在显著差异 ($F = 3.848, P = 0.034$),多重比较中集中绿地在 0.05 水平上与建筑阴区 ($P = 0.020$) 和建筑阳区 ($P = 0.027$) 差异显著。广场绿地中树池的 pH 最高,均值为 7.65,中型绿地最小,均值为 7.34,片状绿地为 7.51,方差分析

结果为 $F = 3.958, P = 0.042$,树池与中型绿地在 0.05 水平上差异显著 ($P = 0.014$)。

3 讨论

城市土壤与自然环境中在各种自然力作用下发育的土壤不同,人为活动的干预,包括干预的方式、程度都会改变土壤的结构和属性,造成稳定性的下降和复杂性的提升,而这种变化本身就是城市土壤的重要特征。土壤是绿地植物生长的主要生境因子之一,对栽植与管养工作的顺利开展影响较大,尽管可以根据需求进行土壤改良,但一定是建立在对城市土壤发展特征及其中规律性因素充分认知的基础上,否则难以做到有的放矢以及对投入成本的管控。

土壤碱化是城市生态系统物质流动的结果,不仅直接关系到绿地植物的生长和表现,作为关联条件还会影响到其他土壤属性的变化,其中以养分元素的有效性转化较为突出。土壤中各种盐离子在不同的酸碱环境中稳定性各不相同,例如 NH_4^+ 在碱性土壤中易转化成 NH_3 挥发, NO_3^- 在强酸环境中易转化成气态的 N_2 , 而磷在中性环境中有效性最高,偏酸或偏碱都会增强其难溶性与吸附性^[16]。图 5 为主要养分元素有效性与土壤 pH 的关系^[17],对于多数元素来说土壤偏碱会降低其有效性。

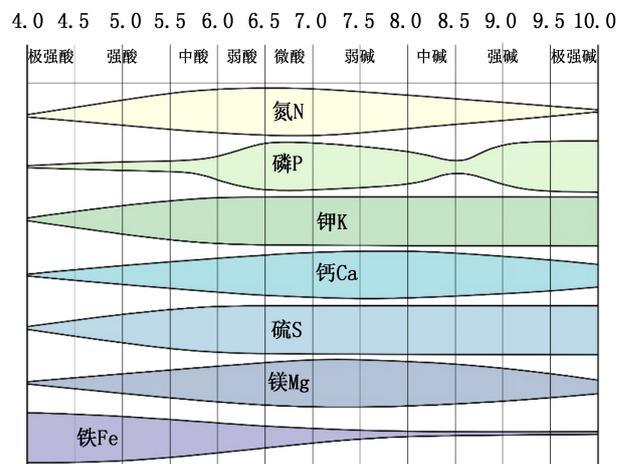


图 5 土壤 pH 与主要养分元素有效性关系

(改绘自 Truog, E. (1946). Soil reaction influence on availability of plant nutrients^[17])

Fig. 5 Relationship between soil pH and availability of major nutrient elements (redrawn from Truog, E. (1946). Soil reaction influence on availability of plant nutrients)

虽然城市绿地土壤整体上具有碱化趋势,但从

本文的研究可以发现,绿地类型及其空间特征的差异能够对土壤 pH 产生影响,并形成一定程度的分化。与土壤酸碱度相关联的因素有很多,包括土壤母质、温度、降雨、植被、土壤微生物等,本研究根据现实环境调查所做的分析,实际上是对综合因素影响结果的揭示,属于侧重于应用性的研究,而非实验性。空间因素并不直接作用于土壤 pH,而是通过影响物质流动与分配过程产生间接效果。相关结论及其进一步的研究不仅有助于在植物景观营建中科学地践行适地适树原则,绿地空间特征的影响还能从设计层面辅助于土壤 pH 调节,例如适当增加道路绿带宽度能够缓解土壤碱化过程。

4 结 论

通过大量实测数据的采集与分析,文章讨论了城市绿地土壤酸碱度特征,包括 pH 与绿地空间变化的关系。研究表明,城市绿地土壤 pH 具有整体偏碱和内部差异性的双重表现。主要绿地类型中公园绿地、居住区绿地和单位附属绿地的平均水平呈中性,滨水、广场及道路绿地平均水平呈碱性。公园绿地样点 pH 分布跨度较大,且酸性样点占比更高,包含中性与酸性次级空间类型;道路绿带样点 pH 几乎全部处于碱性区间,次级空间类型也均属于碱性范畴;其他几种类型均以碱性样点占比居高,且均包含碱性与中性次级空间类型。根据数据分析总结出 3 个与土壤 pH 相关联的绿地空间特征:时空连续性、地形与平面形态。时空连续性主要反映的是整体的人为干预强度,在山体公园中表现较为明显,高连续性使其更多地表现出区域自然土壤的酸碱特征;地形对土壤 pH 的影响体现在坡度变化上,分析显示,其与 pH 呈显著负相关,实际表现上陡坡的特异性比较明显;平面形态狭小的绿地更易受到建筑材料碱性物质释放的影响而具有较高的土壤 pH 值,该现象在居住区、单位附属、广场和道路绿地内部空间形态分化中均有所体现。

本研究聚焦于土壤 pH,研究对象基本涵盖了城市绿地的主要类型,并从空间差异出发对各类型进行进一步的细分,相较以往研究,调查与分析的广度和深度均有所提升。作为高自然属性的城市空间,绿地是城市生态系统的重要组成部分,是各种生态功能发生与表达的空间载体,对于绿地各方面生态特征的了解有助于营建过程精细化与生态化的提升,为建设生态城市、公园城市提供科学基础。

参考文献:

- [1] 李艾洵,张顺然. 城市园林绿化的土壤困境及突围[J]. 园林,2015(6):58-61.
- [2] CHON H T,AHN J S,JUNG M C. Seasonal variations and chemical forms of heavy metals in soils and dusts from the satellite cities of seoul, Korea [J]. Environmental Geochemistry and Health,1998,20:77-86.
- [3] PARK S J,CHENG Z,YANG H, et al. Differences in soil chemical properties with distance to roads and age of development in urban areas [J]. Urban Ecosystems,2010,13(4):483-497.
- [4] NORRA S,FJER N,LI F, et al. The influence of different land uses on mineralogical and chemical composition and horizonation of urban soil profiles in Qingdao, China [J]. Journal of Soils and Sediments,2008,8(1):4-16.
- [5] 邓琳,杜楠楠,王纯岩. 齐齐哈尔城市绿地土壤肥力质量评价[J]. 黑龙江畜牧兽医,2017(17):171-175.
- [6] 司志国,彭志宏,俞元春,等. 徐州城市绿地土壤肥力质量评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(3):60-64.
- [7] 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.
- [8] 管东生,何坤志,陈玉娟. 广州城市绿地土壤特征及其对树木生长的影响[J]. 环境科学研究,1998(4):53-56.
- [9] 徐柏忠,罗汝英,李佳荣. 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.
- [10] 王志刚,赵永存,廖启林,等. 近 20 年来江苏省土壤 pH 值时空变化及其驱动力[J]. 生态学报,2008(2):720-727.
- [11] 中华人民共和国水利部. 水土保持综合治理规划通则:GB15772-2008-T[S]. 北京:中国标准出版社,2009.
- [12] 吴照柏. 森林资源规划设计调查中地形因子自动提取初探[J]. 中南林业调查规划,2007(3):51-53.
- [13] 范业宽,叶坤和. 土壤肥科学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002:31-32.
- [14] 郭义达,李通. 中华万有文库教育卷·中学地理词典[M]. 北京:中国人民公安大学出版社,1998.
- [15] 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(3):24-31,38.
- [16] MILLER J. Soil pH affects nutrient availability [EB/OL] [2020-03-03]. <https://extension.umd.edu/learn/soil-ph-affects-nutrient-availability>.
- [17] TRUOG E. Soil reaction influence on availability of plant nutrients [J]. Soil Science Society of America Proceedings,1946,11:305-308.

责任编辑:许易琦