

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.04.027

李晓英, 周惠民, 李畅, 等. 城市不同功能区绿地土壤理化性质及微生物生物量的分布特征. 土壤, 2021, 53(4): 874–880.

## 城市不同功能区绿地土壤理化性质及微生物生物量的分布特征<sup>①</sup>

李晓英<sup>1,2</sup>, 周惠民<sup>2\*</sup>, 李畅<sup>2</sup>, 何丽斯<sup>2</sup>, 刘晓青<sup>2</sup>, 肖政<sup>2</sup>, 陆海飞<sup>3</sup>, 苏家乐<sup>2</sup>

(1 扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 225009; 2 江苏省农业科学院休闲农业研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京 210014; 3 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:** 为提高城市绿地生态系统服务功能和促进城市可持续发展, 本文研究了南京市不同功能区绿地表层土壤理化性质和微生物生物量的分布特征。结果显示: 土壤 pH 整体呈碱性且容重偏大; 公园绿地土壤全氮、有效磷和速效钾含量显著高于道路绿地; 不同功能区绿地土壤有机质含量无显著差异, 但公园绿地土壤微生物生物量碳含量和微生物熵显著高于居住区和道路绿地; 公园绿地土壤结构和养分均优于道路绿地。土壤微生物生物量碳含量与有机质、全氮和速效钾含量呈极显著正相关, 与有效磷含量呈显著正相关, 与容重呈极显著负相关; 土壤有机质与全氮和速效钾含量呈极显著正相关, 与有效磷含量和 pH 无显著相关性, 与容重呈显著负相关。因此, 勤松土, 合理施肥, 增加枯枝落叶等凋落物覆盖, 提高土壤养护管理水平对修复城市土壤生态和建设生态城市具有重要意义。

**关键词:** 城市绿地; 功能区; 土壤养分; 土壤微生物生物量碳; 微生物熵

**中图分类号:** S153; S154.36 **文献标志码:** A

### Distribution of Soil Physicochemical Properties and Microbial Biomass in Three Green Lands with Different Use Types in the Urban Area

LI Xiaoying<sup>1,2</sup>, ZHOU Huimin<sup>2\*</sup>, LI Chang<sup>2</sup>, HE Lisi<sup>2</sup>, LIU Xiaoqing<sup>2</sup>, XIAO Zheng<sup>2</sup>, LU Haifei<sup>3</sup>, SU Jiale<sup>2</sup>

(1 College of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China; 2 Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Institute of Leisure Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** In order to improve the service function of the urban green space ecosystem and promote the sustainable development of the city, this study explored the distribution characteristics of physicochemical properties and microbial biomass in the surface soils of green lands in different functional areas in Nanjing, China. In general, the soils of these three green lands were all alkaline and the values of soil bulk density were all very high. Importantly, compared to roadside tree-soils, the contents of soil total nitrogen, available phosphorus and available potassium were significantly higher in the park green land. In addition, although there was no significant difference in the content of organic matter among the three green lands, soil microbial biomass carbon and microbial quotient in park green land were significantly higher than other two types of green land use. These results indicated that the soil structure and nutrients in park green land were better than roadside trees land. Furthermore, correlation analysis showed that soil microbial biomass carbon was significantly positively correlated with soil organic matter, total nitrogen and available potassium. Also, there was a significant positive correlation with available phosphorus, and a significant negative correlation with soil bulk density. Soil organic matter was significantly positively correlated with soil total nitrogen and available potassium, negatively correlated to soil bulk density and not correlated to available phosphorus and soil pH. Therefore, loosening the soil frequently, applying appropriate fertilizers, increasing the mulching of greenery wastes and improving soil conservation management level would play positive roles in restoring the soil ecology and urban ecological construction.

**Key words:** Urban green land; Functional area; Soil nutrient; Soil microbial biomass carbon; Microbial quotient

①基金项目: 国家青年科学基金项目(41807100)和江苏省农业科技自主创新项目(CX(19)3047)资助。

\* 通讯作者(zing1018@163.com)

作者简介: 李晓英(1994—), 女, 甘肃酒泉人, 硕士研究生, 主要从事城市退化土壤改良与利用的研究。E-mail: 2440473753@qq.com

城市绿地土壤作为城市园林绿化的基础,不仅为园林植物的生长提供环境与条件,同时具有减少污染、涵养水源、调节气候、改善生态环境等多种生态功能,是城市生态系统的重要组成部分<sup>[1]</sup>。随着城市化和工业化进程的加快,越来越频繁的人类活动给土壤带来结构和功能性的破坏,如土壤压实和板结、养分流失、污染、微生物多样性降低等,严重影响了城市园林绿化的景观效果以及人类健康<sup>[2]</sup>。近年来,随着生态城市概念的提出,对城市绿地土壤质量的研究日益受到国内外众多学者的重视<sup>[3-5]</sup>。

土壤养分作为土壤环境的重要组成部分,不仅直接影响地表植物的生长,也在宏观尺度上反映了土壤质量<sup>[6]</sup>。土壤微生物参与土壤碳氮转化、养分和能量循环、土壤团聚体的形成、土壤结构的形成等土壤过程,且其性状随着环境、季节等自然因素以及土地利用方式、施肥、污染等人为因素而产生变化,能快速反映土壤状态,是最为敏感的土壤质量生物学指标<sup>[7-8]</sup>。土壤微生物生物量碳作为最具有活性的土壤有机碳库组分,它能代表参与调控土壤中能量与养分循环以及有机质转化所对应的微生物的量,土壤微生物生物量碳转化迅速,可以用来表征土壤总碳的变化<sup>[9]</sup>。土壤微生物熵可表征土壤中输入的有机质向微生物生物量碳的转化效率,预测土壤环境的变化,对土壤有机质的长期动态变化过程具有重要的指示作用<sup>[10]</sup>。目前,国内外对于土壤微生物生物量、微生物熵及其与土壤养分的关系研究大多集中在农田、草地、森林等生态系统<sup>[11-13]</sup>,关于城市绿地土壤质量在不同人为利用方式下的改变及其演化方向的研究较少。以往研究表明,在自然林地,土壤微生物生物量与土壤肥力以及土壤健康密切相关<sup>[13-14]</sup>。然而,现有研究报道显示,城市绿地土壤微生物生物量与土壤养分之间的关系在不同城市不同绿地中的表现并不一致。顾兵等<sup>[15]</sup>通过研究绿化植物废弃物覆盖对上海城市林地土壤肥力的影响,发现土壤微生物生物量碳、氮含量与土壤肥力指标呈显著正相关;而陶晓等<sup>[16]</sup>以合肥市绿地为研究对象,发现土壤微生物生物量碳与土壤可溶性碳氮无显著相关性。因此,为了进一步研究土壤理化性质、微生物生物量对城市生态系统土壤长期作为不同功能区绿地使用过程中的响应变化以及二者之间的关系,本研究以典型城市南京市为研究对象,研究城区不同功能区绿地(居住区、公园和道路绿化带)土壤理化性质、微生物生物量碳和微生物熵的分布特征及其相互关系,以期为保护自然资源、提高城市绿地的生态系统功能以及制定可持

续的管理方法提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

南京市位于江苏省西南部,地理坐标为118°22′~119°14′ E, 31°14′~32°37′ N。全市行政区域总面积约为6 587 km<sup>2</sup>,整体地形复杂,以低山、丘陵为骨架,以环状山、条带山和箕状盆地为主要特征,属于典型的宁镇扬丘陵地貌<sup>[17]</sup>。气候类型属于亚热带湿润季风气候,四季分明,雨量充沛,年平均温度为15.4℃,年平均降水量为1 047 mm<sup>[18]</sup>,无霜期为117 d。全市城市绿化覆盖率为45.0%,人均公园绿地面积15 m<sup>2</sup>,在国内城市中处于较高水平<sup>[19]</sup>。

### 1.2 样品采集与处理

本研究选择南京市城区具有地标性与代表性的公园、商业街道及其附近居住区3个主要的功能分区进行采样,采样地分别位于玄武区、鼓楼区、秦淮区、建邺区、雨花台区、栖霞区、江宁区 and 浦口区,共设置33个采样地(图1)。采样时选择植物种植时间10年以上的样地进行取样,每个采样地选取4~5个点,所选取的点尽量均匀分布在该功能区绿地。在每个采样点移除地表枯落物后采用环卫取土,带回实验室后用于土壤容重总孔隙度的测定;并在每个采样点的灌木丛间采集非根际表层土壤(0~20 cm)样品装入自封袋内。取一部分留作鲜样4℃低温保存,过2 mm筛后用于土壤微生物生物量碳的测定;另一部分自然风干研磨过0.15 mm筛,用于土壤有机质和全氮含量的测定,土壤pH、有效磷和速效钾含量的测定采用研磨过1 mm筛的风干土样。

### 1.3 测定方法

土壤理化性质及养分指标的测定参照鲁如坤的方法<sup>[20]</sup>,土壤容重和总孔隙度采用环刀法测定;pH采用1:5土水质量比悬浊液电位法测定;有机质采用重铬酸钾-外加热容量法测定;有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定;全氮采用浓硫酸消煮-半微量凯氏定氮法测定。微生物生物量碳采用氯仿熏蒸浸提法测定<sup>[21]</sup>。微生物熵(%)=土壤微生物生物量碳/有机碳×100。

### 1.4 数据统计分析

使用Excel 2016和SPSS 22.0软件对数据进行统计分析,采用单因素方差分析法(one-way ANOVA)和LSD多重检验法进行差异显著性分析( $P < 0.05$ ),采用Pearson相关系数法进行相关性分析。数据采用平均值±标准差表示。

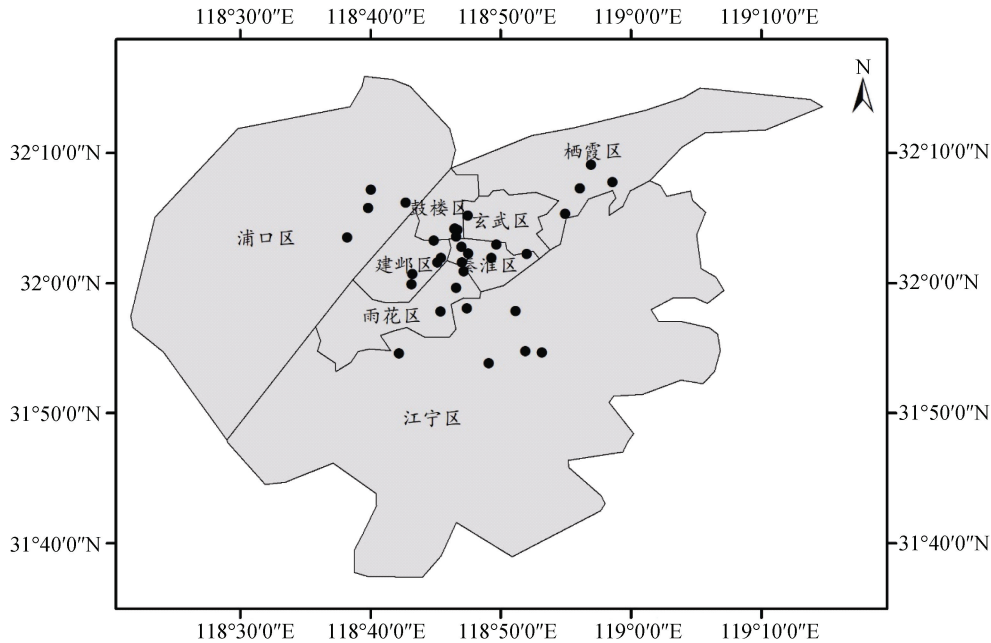


图 1 南京市城区土壤采样点分布

## 2 结果与分析

### 2.1 不同功能区绿地土壤基本理化性质

如表 1 所示, 居住区与公园和道路绿地土壤 pH 之间存在显著差异( $P < 0.05$ ), 居住区绿地土壤 pH 最高, 平均值为 8.26, 较公园绿地和道路绿地土壤分别高 0.41 和 0.40 个单位; 公园和道路绿地土壤 pH 无显著差异。公园绿地土壤总孔隙度和容重与居住区和道路绿地存在显著差异( $P < 0.05$ ), 公园绿地土壤容重最小, 平均值为  $1.40 \text{ g/cm}^3$ , 较居住区和道路绿地土壤分别低 7.86% 和 6.43%; 而总孔隙度与容重的结果相反, 公园绿地土壤总孔隙度最大, 平均值为 47.02%, 居住区和道路绿地土壤总孔隙度均值分别为 42.94% 和 43.61%。

居住区、公园和道路绿地土壤有机质含量均值分别为 19.11、24.06 和 19.35 g/kg, 不同功能区绿地土壤间无显著差异(表 1)。土壤有机质含量范围为 7.81 ~ 36.20 g/kg, 其中 84.9% 的绿地土壤有机质含量在 10 ~ 30 g/kg; 有小部分居住区和道路绿地土壤有机质含量低于 10 g/kg, 占总样本的比例为 6.06%; 仅

部分公园绿地土壤有机质含量超过 30 g/kg, 占总样本的比例为 9.09%(图 2A)。居住区、公园和道路绿地土壤全氮含量均值分别为 1.39、1.50 和 1.09 g/kg, 公园绿地土壤全氮含量较道路绿地高 37.6%, 但与居住区绿地无显著差异。绿地土壤全氮含量范围为 0.71 ~ 2.89 g/kg, 土壤全氮含量主要分布在 0.71 ~ 2 g/kg, 占总样本的比例为 90.9%; 有小部分居住区和公园绿地土壤全氮含量超过 2 g/kg, 占总样本的比例为 9.09%(图 2B)。居住区和公园绿地土壤有效磷含量均值分别为 40.38 mg/kg 和 41.09 mg/kg, 较道路绿地分别高 52.8% 和 55.5%; 有 87.9% 的绿地土壤有效磷含量超过 20 mg/kg(图 2C)。公园绿地土壤速效钾含量为 214.14 mg/kg, 显著高于道路绿地土壤速效钾含量 (136.55 mg/kg); 居住区绿地土壤速效钾含量为 180.48 mg/kg, 与其他两个功能区绿地土壤无显著差异。速效钾含量分布频率结果显示, 其含量范围为 90.60 ~ 319.00 mg/kg, 大部分土壤速效钾含量分布在 100 ~ 300 mg/kg, 占总样本的比例为 84.9%; 有小部分公园绿地土壤的速效钾含量超过 300 mg/kg, 占总样本的比例为 6.06%(图 2D)。

表 1 不同功能区绿地土壤理化性质

功能区	容重( $\text{g/cm}^3$ )	pH	总孔隙度(%)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
居住区绿地	$1.51 \pm 0.13 \text{ a}$	$8.26 \pm 0.32 \text{ a}$	$42.94 \pm 5.02 \text{ b}$	$19.11 \pm 6.14 \text{ a}$	$1.39 \pm 0.52 \text{ ab}$	$40.38 \pm 12.30 \text{ a}$	$180.48 \pm 51.17 \text{ ab}$
公园绿地	$1.40 \pm 0.07 \text{ b}$	$7.85 \pm 0.36 \text{ b}$	$47.02 \pm 2.67 \text{ a}$	$24.06 \pm 7.45 \text{ a}$	$1.50 \pm 0.59 \text{ a}$	$41.09 \pm 12.16 \text{ a}$	$214.14 \pm 78.22 \text{ a}$
道路绿地	$1.49 \pm 0.11 \text{ a}$	$7.86 \pm 0.45 \text{ b}$	$43.61 \pm 4.18 \text{ b}$	$19.35 \pm 4.81 \text{ a}$	$1.09 \pm 0.27 \text{ b}$	$26.42 \pm 6.52 \text{ b}$	$136.55 \pm 32.14 \text{ b}$

注: 同列不同小写字母表示不同功能区绿地土壤间存在显著性差异( $P < 0.05$ ), 下同。

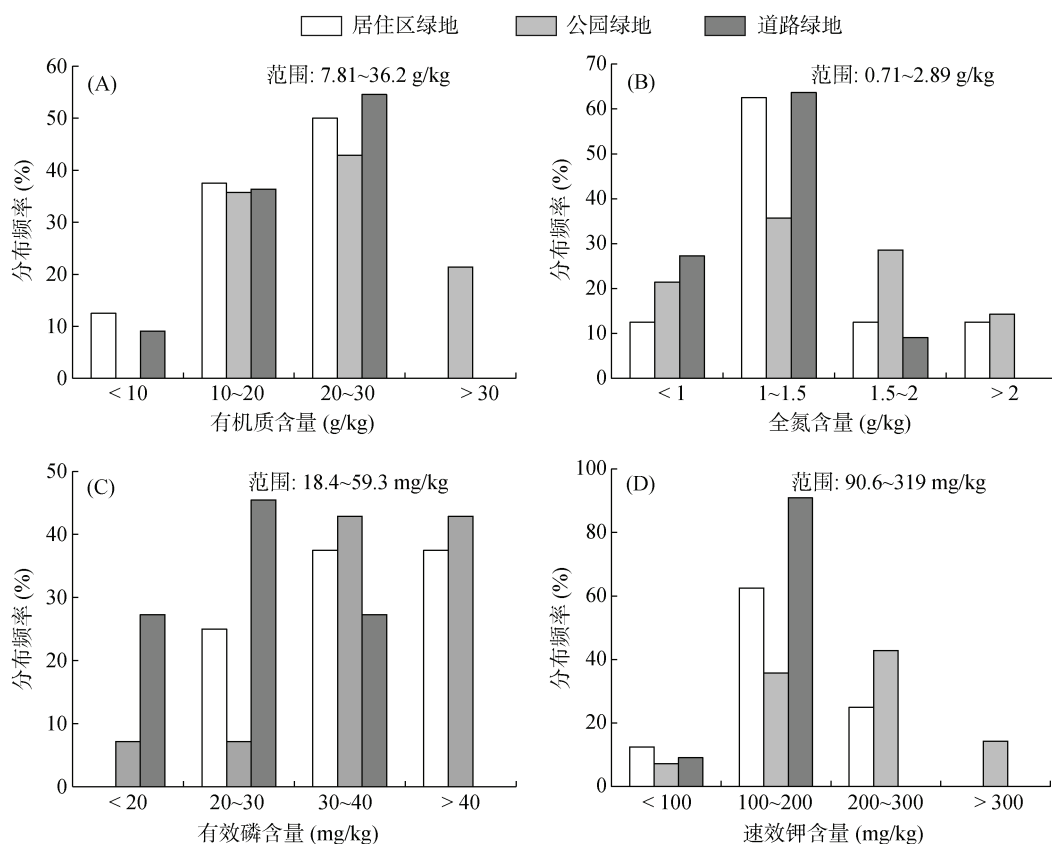


图 2 不同功能区绿地土壤有机质(A)、全氮(B)、有效磷(C)和速效钾含量(D)的分布频率

## 2.2 不同功能区绿地土壤微生物生物量碳与微生物熵

如图 3 所示,公园绿地土壤微生物生物量碳含量最丰富,其平均值为 549 mg/kg,较居住区和道路绿地土壤分别高 68.9% 和 66.5%(图 3A);与之类似,公园绿地土壤微生物熵为 4.14%,较居住区和道路绿地土壤分别高 31.9% 和 36.2%(图 3B)。

土壤微生物生物量碳与微生物熵的分布频率如图 4 所示。不同功能区绿地土壤微生物生物量碳含量范围为 176 ~ 753 mg/kg,大部分绿地土壤微生物生物量碳

含量在 200 ~ 600 mg/kg,占总样本的比例为 78.8%;小部分公园绿地的土壤微生物生物量碳含量高于 600 mg/kg,占总样本的比例为 18.2%;仅道路绿地有很小部分土壤微生物生物量碳含量低于 200 mg/kg,占总样本的比例为 3.03%(图 4A)。土壤微生物熵的变化范围为 1.91% ~ 6.17%,大部分绿地土壤微生物熵在 2.5% ~ 4.5%,占总样本的比例为 66.7%;有小部分居住区和道路绿地土壤微生物熵低于 2.5%,占总样本的比例为 18.2%;有 15.2% 的土壤微生物熵高于 4.5%,该部分土壤样本主要来自于居住区和公园绿地(图 4B)。

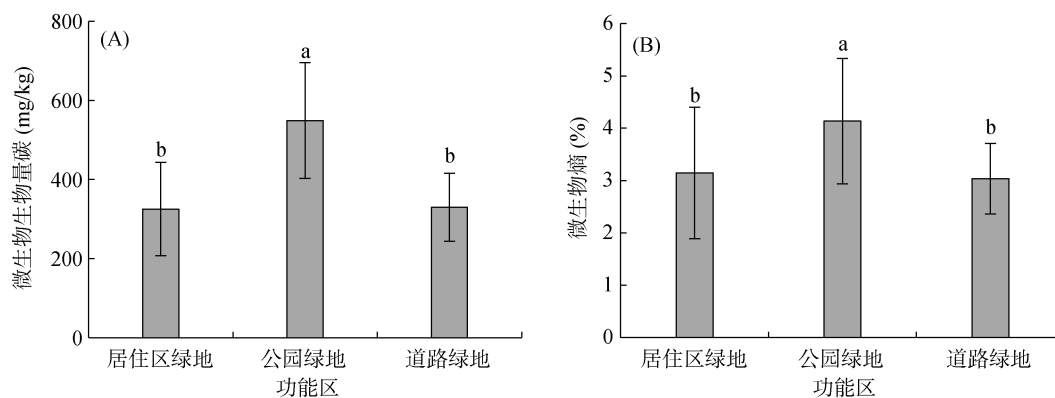


图 3 不同功能区绿地土壤微生物生物量碳(A)与微生物熵(B)

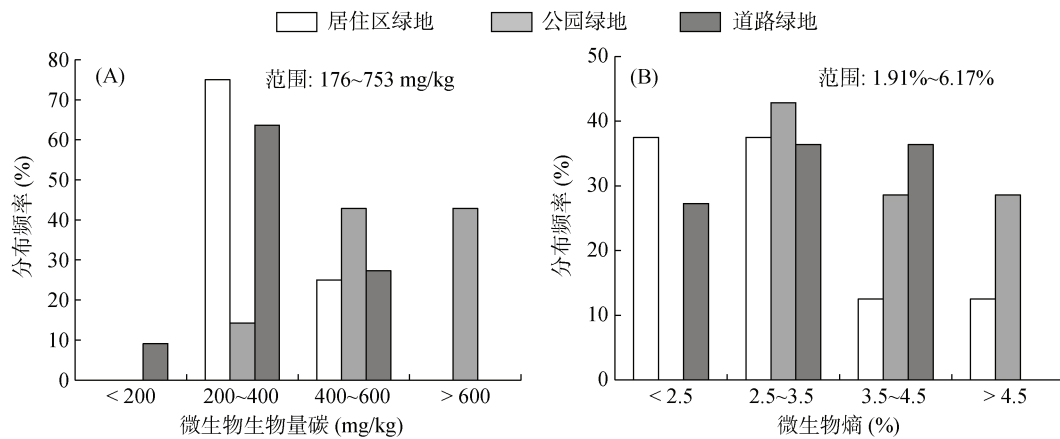


图 4 不同功能区绿地土壤微生物生物量碳(A)与微生物熵(B)的分布频率

### 2.3 土壤微生物生物量碳与理化性质间的相关性

如表 2 所示,绿地土壤微生物生物量碳含量与有机质、全氮和速效钾含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与有效磷含量呈显著正相关( $P<0.05$ ),与土壤容重呈极显著负相关( $P<0.01$ ),与土壤 pH 无显著相关性。

土壤有机质含量与全氮和速效钾含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与有效磷含量和土壤 pH 无显著相关性,与土壤容重呈显著负相关( $P<0.05$ )。土壤全氮与速效钾含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与有效磷含量、土壤 pH 和容重无显著相关性。

表 2 土壤微生物生物量碳与理化性质间的相关系数

	微生物生物量碳	有机质	全氮	有效磷	速效钾	容重	pH
微生物生物量碳	1						
有机质	0.643**	1					
全氮	0.591**	0.570**	1				
有效磷	0.367*	0.156	0.272	1			
速效钾	0.628**	0.575**	0.510**	0.381*	1		
容重	-0.448**	-0.440*	-0.234	-0.207	-0.313	1	
pH	-0.166	0.047	-0.015	-0.002	-0.159	0.074	1

注: \*\*表示相关性达极显著水平( $P<0.01$ ); \*表示相关性达显著水平( $P<0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 不同功能区绿地土壤理化特征

城市绿地土壤容重可以反映人类活动对土壤的压实作用程度,容重过大影响绿色植物的正常生长<sup>[22]</sup>;土壤孔隙度不仅影响土壤的通气状况,而且反映土壤松紧度和结构状况的好坏。已有研究表明,正常土壤的容重约为  $1.30 \text{ g/cm}^3$ ,当土壤容重达到  $1.50 \text{ g/cm}^3$  时,植物根系已难以伸入<sup>[23]</sup>。本研究结果表明,不同功能区绿地土壤容重总体偏大,且土壤容重已达到植物根系穿插的临界值;居住区和道路绿地土壤容重显著大于公园绿地,总孔隙度显著低于公园绿地,说明公园绿地土壤结构优于居住区和道路绿地,土壤较为疏松,透气性能较好,这可能是由于公园绿地采取了松土、灌溉等措施进行养护。土壤 pH 是影响土壤养分有效性及供肥能力的重要因素<sup>[24]</sup>。不同功能区

绿地土壤整体呈碱性(pH 7.95),这与许多城市的土壤研究结果一致<sup>[4,25]</sup>。本研究结果显示,居住区绿地土壤 pH 显著高于公园和道路绿地,这可能是由于在小区建设过程中,挖掘、搬运以及与大量碱性建筑垃圾混合,其中的钙向土壤中释放,使居住区绿地土壤 pH 偏高。然而在城市绿化应用中,许多植物如杜鹃、茉莉、栀子等均喜酸,过高的 pH 直接影响植物对养分的吸收,导致其生长衰弱。

土壤有机质是植物和微生物生长发育所需的营养之源<sup>[26]</sup>。根据全国第二次土壤普查养分等级分级标准<sup>[27]</sup>,南京市城区不同功能区绿地土壤有机质含量大部分集中在  $10 \sim 30 \text{ g/kg}$ ,达到了全国第二次土壤普查的 III、IV 级标准。公园绿地土壤有机质含量均值为  $24.06 \text{ g/kg}$ ,有机质含量较为丰富,较深圳市公园绿地土壤有机质含量高  $74.0\%$ <sup>[28]</sup>,这可能是由于在日常养护中注重有机物质的补充,增加了土壤有机碳

的归还。土壤全氮作为土壤养分的重要组分,是衡量土壤肥力的重要指标<sup>[29]</sup>。不同功能区绿地土壤全氮含量大部分集中在0.71~2 g/kg,处于中等水平。公园绿地土壤全氮含量为1.50 g/kg,显著高于道路绿地,且是重庆市主城区公园绿地土壤全氮含量的2.08倍<sup>[25]</sup>,说明南京市公园绿地土壤氮素供应水平相对较高,这可能是由于在公园绿地养护过程中注重水肥管理,提高了土壤养分含量。土壤速效养分作为植物可吸收的有效养分,维持着植物的生长<sup>[29]</sup>。本研究中,不同功能区绿地土壤有效磷、速效钾含量平均值均达到园林绿化种植土要求(有效磷含量大于8 mg/kg,速效钾含量大于60 mg/kg),分别为36.0、180 mg/kg,均高于济南市城市绿地土壤有效磷、速效钾含量<sup>[30]</sup>,说明南京市城市绿地土壤速效养分供给相对充足,有利于提高植物的抗逆性。且与全氮结果类似,公园绿地土壤速效钾含量显著高于道路绿地,这也与公园绿地日常养护管理中适量施肥有关,进一步说明管理措施对提高绿地土壤质量的重要性。

### 3.2 不同功能区绿地土壤微生物生物量碳及微生物熵特征

土壤微生物生物量碳是土壤的活性碳库,既可作为土壤养分转化与循环的动力,又可作为土壤中植物有效养分的储备库,是评价与追踪土壤质量的重要指标<sup>[9]</sup>。在本研究中,公园绿地土壤微生物生物量碳含量显著高于居住区和道路绿地,这可能是由于不同功能区绿地土壤日常养护管理以及输入土壤有机物的数量和质量不同导致的。为营造舒适优美的景观环境,公园绿地植被配植合理,日常养护管理比较精细,水肥条件适宜,输入土壤的有机质数量及质量较好,为微生物的生长与繁殖提供了良好的生境与营养。而居住区和道路绿地由于建筑、生活垃圾、道路施工残留物等入侵土壤,以及城市绿化施工过程中出现的机械碾压和人为践踏等,使土壤结构严重破坏,理化性质迅速恶化,且日常养护管理不到位,切断了植被和土壤间的养分循环,土壤养分归还变慢且含量降低<sup>[31]</sup>。此外,机动车尾气排放等人类活动也会造成土壤重金属污染<sup>[32]</sup>。卢瑛等<sup>[33]</sup>采集了20个南京城市土壤剖面研究发现南京市全铅的含量是世界土壤中值的3.07倍。土壤重金属积累到一定水平时就会对土壤中微生物的生长造成毒害和抑制,降低土壤微生物数量<sup>[34]</sup>,这可能也是道路绿地微生物生物量碳含量较低的部分原因。

土壤微生物熵充分反映了活性有机碳所占的比例,从微生物角度揭示土壤养分差异<sup>[10]</sup>。本研究中,

公园绿地土壤微生物熵显著高于居住区和道路绿地,这代表公园绿地土壤有机质质量及养分利用效率要显著高于其他两种绿地类型,其单位资源尺度上可支持更多的微生物生物量。虽然在土壤有机碳库尺度上,公园、居住区和道路绿地没有显著差异,但结合土壤微生物熵的结果,居住区和道路绿地土壤养分流失效率要显著高于公园绿地。长此以往,如果不及时采取措施,居住区和道路绿地土壤养分会不断降低,土壤质量越来越差,微生物生长利用效率也随之越低,生态环境愈加脆弱。

### 3.3 不同功能区绿地土壤微生物生物量碳与理化性质的相关性

土壤微生物通过分解地表凋落物和地下植物根系残体,使有机质转化为有效养分,并对土壤中的无机营养元素起固持和保蓄作用<sup>[7]</sup>。顾兵等<sup>[15,35]</sup>研究绿化植物废弃物覆盖或堆肥对城市绿地土壤肥力的影响时发现,绿化植物废弃物覆盖或堆肥可以提高土壤总孔隙度、肥力以及土壤微生物生物量,且土壤微生物生物量碳、氮含量与土壤主要肥力指标密切相关。本研究结果表明,土壤微生物生物量碳含量与有机质、全氮和速效钾含量呈极显著正相关,且与土壤容重呈极显著负相关,说明土壤微生物对城市土壤的物理结构以及其中有机质、全氮和速效钾的供给非常敏感;但土壤微生物生物量碳与有效磷含量相关性较弱,这可能是因为在城市土壤中磷具有比较明显的富集特征,供给可达到较高水平<sup>[36]</sup>。这可能也是土壤有机质含量与全氮、速效钾含量呈极显著正相关,而与有效磷含量无显著相关性的原因。此外,土壤有机质含量与土壤容重也呈显著负相关。因此,在城市绿地的管理养护过程中,特别是针对居住区和道路绿地,降低土壤容重,适当提高养分的补充,可提高土壤有机质的积累。提高土壤肥力及改善土壤结构,对恢复土壤与植物间养分转化和能量流动过程、提高城市土壤质量以及修复土壤生态等都具有积极作用。

## 4 结论

1)南京市城区不同功能区绿地土壤容重偏大,且pH整体呈碱性。

2)公园绿地土壤质量要高于居住区和道路绿地。公园绿地土壤全氮、有效磷和速效钾含量显著高于道路绿地,且公园绿地土壤微生物生物量碳含量和微生物熵显著高于居住区和道路绿地。

3)相关性分析结果表明,土壤微生物生物量碳含量与有机质、全氮和速效钾含量呈极显著正相关( $P <$



0.01), 与有效磷含量呈显著正相关( $P < 0.05$ ), 与土壤容重呈极显著负相关( $P < 0.01$ ); 土壤有机质与全氮和速效钾含量呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与有效磷含量和 pH 无显著相关性, 与容重呈显著负相关( $P < 0.05$ )。因此, 在城市绿地土壤的养护过程中, 应适当提高绿地养护精细度, 合理施肥, 多松土, 增加枯枝落叶等凋落物覆盖, 有利于改善土壤质量和城市生态环境。

### 参考文献:

- [1] 张甘霖, 朱永官, 傅伯杰. 城市土壤质量演变及其生态环境效应[J]. 生态学报, 2003, 23(3): 539-546.
- [2] 谢天, 侯鹰, 陈卫平, 等. 城市化对土壤生态环境的影响研究进展[J]. 生态学报, 2019, 39(4): 1154-1164.
- [3] Assaye R, Suryabagavan K V, Balakrishnan M, et al. Geo-spatial approach for urban green space and environmental quality assessment: A case study in Addis Ababa city[J]. Journal of Geographic Information System, 2017, 9(2): 191-206.
- [4] 项建光, 方海兰, 杨意, 等. 上海典型新建绿地的土壤质量评价[J]. 土壤, 2004, 36(4): 424-429.
- [5] Zhao D, Li F, Yang Q, et al. The influence of different types of urban land use on soil microbial biomass and functional diversity in Beijing, China[J]. Soil Use and Management, 2013, 29(2): 230-239.
- [6] Das P, Pal R, Bhattacharyya P. Temporal variation of soil nutrients under the influence of different organic amendments[J]. Archives of Agronomy and Soil Science, 2012, 58(7): 745-757.
- [7] Anderson T H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2003, 98(1/2/3): 285-293.
- [8] Giller P S. The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest'[J]. Biodiversity & Conservation, 1996, 5(2): 135-168.
- [9] Anderson T H, Domsch K H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(12): 2039-2043.
- [10] Sparling G P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter[J]. Soil Research, 1992, 30(2): 195.
- [11] Mrabet R. Stratification of soil aggregation and organic matter under conservation tillage systems in Africa[J]. Soil and Tillage Research, 2002, 66(2): 119-128.
- [12] 禹朴家, 范高华, 韩可欣, 等. 基于土壤微生物生物量碳和酶活性指标的土壤肥力质量评价初探[J]. 农业现代化研究, 2018, 39(1): 163-169.
- [13] 曹润, 王邵军, 陈闽昆, 等. 西双版纳热带森林不同恢复阶段土壤微生物生物量碳的变化[J]. 生态环境学报, 2019, 28(10): 1982-1990.
- [14] Wardle D A. Ecosystem properties and forest decline in contrasting long-term chronosequences[J]. Science, 2004, 305(5683): 509-513.
- [15] 顾兵, 吕子文, 梁晶, 等. 绿化植物废弃物覆盖对上海城市林地土壤肥力的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(3): 9-15.
- [16] 陶晓, 许克福, 戴允泽, 等. 城市不同功能区绿地土壤微生物量碳氮及溶解性碳氮分布特征及影响因素[J]. 土壤通报, 2016, 47(5): 1169-1176.
- [17] 林杰, 董波, 潘颖, 等. 南京市植被覆盖管理措施因子的时空格局动态变化[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(5): 617-626.
- [18] 马程晨, 肖建强, 杨广云, 等. 南京市强降水天气长期动态及变异性规律[J]. 水文, 2019, 39(2): 76-80, 60.
- [19] 杨敏, 鲁小珍, 袁芳敏, 等. 南京市植物物种多样性现状及保护对策[J]. 中国城市林业, 2014, 12(2): 25-27, 34.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [21] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [22] Pabin J, Lipiec J, Włodek S, et al. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors[J]. Soil and Tillage Research, 1998, 46(3/4): 203-208.
- [23] 杨金玲, 汪景宽, 张甘霖. 城市土壤的压实退化及其环境效应[J]. 土壤通报, 2004, 35(6): 688-694.
- [24] 赵军霞. 土壤酸碱性对植物的生长[J]. 内蒙古农业科技, 2003, 31(6): 33-42.
- [25] 王丽娟, 何琴, 白家云, 等. 重庆市主城区公园绿地土壤养分状况调查与评价[J]. 绿色科技, 2018(19): 1-3.
- [26] Schmidt M W I, Torn M S, Abiven S, et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property[J]. Nature, 2011, 478(7367): 49-56.
- [27] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [28] 杨积涛, 许静, 蔡江桥, 等. 深圳市公园绿地土壤理化性质研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(18): 52-55, 77.
- [29] 鲁如坤. 我国土壤氮、磷、钾的基本状况[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 280-286.
- [30] 刘毓, 吕娟, 占习林, 等. 济南市城市绿地土壤肥力质量综合评价及管理对策[J]. 园林科技, 2014(1): 18-22.
- [31] 孙宝伟, 杨晓东, 张志浩, 等. 浙江天童常绿阔叶林演替过程中土壤碳库与植被碳归还的关系[J]. 植物生态学报, 2013, 37(9): 803-810.
- [32] 甄宏. 交通运输对道路两侧土壤及植物的影响研究展望[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(1): 52-55.
- [33] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖, 等. 南京城市土壤重金属含量及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2004, 15(1): 123-126.
- [34] 刘乃瑜, 马小凡, 谢忠雷, 等. 长春市城市土壤中重金属元素的积累及其微生物特性研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2004, 34(S1): 134-138.
- [35] 顾兵, 吕子文, 方海兰, 等. 绿化植物废弃物堆肥对城市绿地土壤的改良效果[J]. 土壤, 2009, 41(6): 940-946.
- [36] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤的特性及其分类的初步研究[J]. 土壤, 2001, 33(1): 47-51.