

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2023.05.005

不同栽植时间和地点的香樟行道树根际土壤微生物及土壤肥力的研究

周冰颖¹, 刘霞², 黄普鑫³, 杨晓龙³, 赵海舟³,
李杰³, 先旭东³, 青玲³, 吴根土³

1. 重庆市风景园林技工学校, 重庆 400042;
2. 重庆市九龙坡区园林绿化管理处, 重庆 400039;
3. 西南大学 植物保护学院, 重庆 400715

摘要: 以重庆市九龙坡区和缙云山不同栽植时间和地点的香樟树作为试验对象, 通过涂布平板、土壤化学性质测定等方法分析香樟树根际土壤微生物数量、土壤化学性质差异, 并对土壤综合肥力进行评价。结果表明, 香樟树根际土壤微生物中细菌数量最多, 细菌与放线菌的数量随着栽培年限的增加逐渐减少; 重庆市九龙坡区香樟行道树土壤呈碱性状态, pH值为8.11~8.13, 有机质含量偏低; 而缙云山香樟树根际土壤呈碱性, pH值范围在5.2~6.46, 其中缙云山-20有机质含量最高。各项指标分析显示重庆市九龙坡区和缙云山香樟树土壤肥力及土壤肥力均处于一般水平, 九龙坡区行道树土壤肥力低于缙云山土壤肥力。研究结果通过比较不同地点香樟树的土壤环境, 为城市行道树的种植和养护提供科学依据。

关键词: 香樟树; 根际微生物; 土壤化学性质;
土壤肥力

中图分类号: S158; S687.1

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2023)05-0041-10

Study on Rhizosphere Soil Microorganism and Soil Fertility of *Cinnamomum camphora* (Linn) Presl Trees planted in Different Times and Places

ZHOU Bingying¹, LIU Xia², HUANG Puxin³,
YANG Xiaolong³, ZHAO Haizhou³, LI Jie³,

收稿日期: 2023-10-10

基金项目: 重庆主城核心区行道树根际微生物研究(城管科学 2021 第 19 号)。

作者简介: 周冰颖, 农艺师, 主要从事园林植物病虫害防治工作。

通信作者: 吴根土, 博士, 副教授。

XIAN Xudong³, QING Ling³, WU Gentu³

1. Chongqing Landscape Architecture Technical School, Chongqing 400042, China;

2. Chongqing Jiulongpo District Gardens Virescence Engineering Office, Chongqing 400039;

3. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China;

Abstract: Taking *Cinnamomum camphora* (Linn) Presl planted at different times and locations in Jiulongpo District and Jinyun Mountain of Chongqing as the test objects, the differences on the quantity of rhizosphere soil microbes and soil chemical properties of *C. camphora* (Linn) Presl were analyzed by coating plate and soil chemical properties determination, and the comprehensive soil fertility was evaluated. The results showed that the number of bacteria in the rhizosphere soil microorganisms of *C. camphora* was the highest, and the number of bacteria and actinomycetes decreased with the increase of cultivation years. The soil of *C. camphora* street trees in Jiulongpo District of Chongqing is alkaline, with pH of 8.11~8.13, and low organic matter content. The rhizosphere soil of *C. camphora* in Jinyun Mountain is alkaline, with pH ranging from 5.2 to 6.46, among which the content of organic matter in Jinyun Mountain-20 was the highest. The analysis of various indicators showed that the soil fertility and fertility of *C. camphora* (Linn) Presl tree soil in Jiulongpo District and Jinyun Mountain of Chongqing were at a general level. The soil fertility of street trees in Jiulongpo District was lower than that in Jinyun Mountain. The results of this study provide a scientific basis for the cultivation and conservation of street trees in urban areas by comparing the soil environment of *C. camphora* (Linn) Presl in different locations.

Key words: *Cinnamomum camphora* (Linn) Presl; rhizosphere microorganisms; soil chemical properties; soil fertility

行道树是城市景观的重要组成部分,既能积极调节环境生态,又能作为城市基础设施发挥作用,是提升城市生态环境系统服务价值的关键因素,对人居环境的可持续发展具有重要意义^[1-2].行道树可以有效改善城市街道峡谷风环境,降低街道峡谷内的污染物浓度^[3].重庆处于四川盆地东部边缘区域,北部、东部和南部均为山区,夏季常处于高温、高湿状态^[4].香樟树是常绿乔木,不易落叶,有良好的降温增湿效果,可有效改善夏季重庆道路热环境,创造宜人空间环境,提高行人舒适度,作为重庆的本土树种,在重庆主城区道路绿化中应用较为广泛^[5-8].

影响城市树木生长的关键因素之一就是土壤环境^[9].由于人为影响,城市街道中的土壤环境往往受到破坏,城市土壤容重高、孔隙度低、土壤结构差、水分渗漏率低、pH值变化大、含盐量高、环境污染多、有机质含量低、微生物种群变化大等现象屡见不鲜^[10].土壤化学性质与行道树健康程度显著相关^[11],分析土壤化学性质有助于了解限制城市行道树木生长发育的多种因素.

土壤微生物对植物的生长发育十分重要,大量土壤微生物在根际通过分解有机物合成二氧化碳、水分和矿质养分,并释放大量的能量为植物提供能量及养分,影响植物的长势.有研究表明,向土壤中引入的芽孢杆菌使其与土著假单胞菌种群形成互作关系,协同增强多物种的根系定殖,形成益生“菌团”,能够有效抵御病原菌侵染植物;并且土壤微生物也可以直接或通过植物介导的抗性机制间接地影响昆虫取食,从而促进植物免疫^[12-13].相应地,植物的凋落物和根系分泌物可为根际土壤微生物提供能量,从而特异地影响根际微生物群落^[14-15].本研究主要通过不同栽植时间和地点的香樟行道树的根际土壤微生物群落构成及化学性质进行分析,以期对后续重庆市主城核心区行道树的日常管理和养护提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 土壤采集与保存

土壤采样地点选取在重庆市九龙坡区花半里路、龙腾大道以及重庆市北碚区缙云山,采样天气条件均为晴朗.分别采集花半里路行道树树龄10年香樟、龙腾大道行道树树龄20年香樟以及缙云山树龄10年、20年和30年香樟的根际土壤.首先测量树茎,再取土样.除去地面枯枝落叶后铲除表面10 cm左右的表土,以采样树种为中心,采用双对角线取样法进行取样,取样位置距离树干30~50 cm,取样深度为25~40 cm,每棵采4份样品保存至采样密封袋中,带回实验室处理,共采集100份样品,分别放置4℃冰箱中保存,部分放入-80℃冰箱中备用.

表1 重庆市主城核心区香樟行道树根际土壤采集信息

采集时间	采集地点	树木品种	定植年份	样品	采样株数	土壤样品数
2023年	九龙坡区花半里路	香樟	10	花半里路-10	5	20
2023年	九龙坡区龙腾大道	香樟	20	龙腾大道-20	5	20
2022年	北碚区缙云山	香樟	10	缙云山-10	5	20
2022年	北碚区缙云山	香樟	20	缙云山-20	5	20
2022年	北碚区缙云山	香樟	30	缙云山-30	5	20

1.2 土壤微生物平板菌落计数

1.2.1 制备平板

营养琼脂培养基(细菌):称取6.4 g营养琼脂干粉培养基,加入200 mL ddH₂O,高温高压灭菌后,冷却至60℃左右,倾入无菌平皿,备用.

改良马丁琼脂培养基(真菌):称取5.7 g改良马丁琼脂培养基和2.8 g琼脂,加入200 mL ddH₂O,高温高压灭菌后,冷却至60℃左右,倾入无菌平皿,备用.

高氏合成1号培养基(放线菌):称取7.5 g高氏合成1号干粉培养基,加入200 mL ddH₂O,高温高压灭菌后,冷却至60℃左右,倾入无菌平皿,备用.

1.2.2 制备土壤稀释液

称取土样2 g,放入装有8 mL无菌水的10 mL离心管中,加入2~3颗玻璃珠,振摇15~20 min,静置片刻,即成原液.准备7个灭菌10 mL离心管,分别加入9 mL无菌水,记作1,2,3,4,5,6,7;用移液枪吸取1 mL原液,加入1号离心管中,再从1号离心管中吸取1 mL土壤悬液加入2号离心管中,涡旋仪震荡混匀,依此类推,制备10⁻¹,10⁻²,10⁻³,10⁻⁴,10⁻⁵,10⁻⁶,10⁻⁷的稀释土壤悬液.

1.2.3 稀释涂布平板法

吸取上述不同稀释倍数的土壤悬液各100 μL,加入制备好的营养琼脂培养基、改良马丁培养基、高氏一号培养基平板上(每种培养基、每个稀释浓度3个重复),用酒精灯灼烧过后晾凉的无菌玻璃涂布棒,将菌液均匀地涂布在平板上,每个稀释梯度使用一个涂布棒,后置于95%乙醇中浸泡,更换梯度时,将涂布棒置于酒精灯上灼烧灭菌.涂布好的平板平放在桌面数分钟,使菌液充分渗透进培养基后,倒置于28℃培养箱培养2~3 d后,观察记录菌落数.

1.3 土壤化学性质的测定

土壤 pH 值采用 pH 计测定, 有机质采用重铬酸钾容量法, 全氮的测量采用克氏定氮法, 全磷和全钾采用开氏消化法消煮后采用火焰光度计测量, 碱解氮采用碱扩散法, 有效磷采用 NaHCO_3 提取法, 速效钾采用 NH_4Ac 提取, 火焰分光光度计测量^[16-17].

1.4 土壤综合肥力评价

本研究参照王丽娟等^[18]的方法求得土壤各项指标, 采用改进后的内梅罗指数法^[19-20]以及全国第二次土壤普查养分分级标准表 1^[21]对各项需要评价的指标标准化后进行计算, 将重庆主城区行道树及缙云山森林中香樟树根际土壤 pH 值、有机质及全氮、全磷、全钾和碱解氮、有效磷、速效钾等养分指标作为评价因子, 进行土壤肥力综合评价.

标准化如下: 当评价因子对应分级标准较低时, 即 $C_i \leq X_p$ 时, $P_i = C_i / X_p$, $P_i \leq 1$; 当属性值属于中等一级时, 即 $X_p < C_i \leq X_c$ 时, $P_i = 1 + (C_i - X_p) / (X_c - X_p)$, $1 < P_i \leq 2$;

当属性值属于中等较上一级时, 即 $X_c < C_i \leq X_a$ 时, $P_i = 2 + (C_i - X_c) / (X_a - X_c)$, $2 \leq P_i < 3$; 当所需评价因子分级得到较高级时, 即 $C_i > X_a$ 时, $P_i = 3$.

改进的内梅罗公式计算土壤综合肥力指数为:

$$P = \frac{\sqrt{(\bar{P})^2 + (P_{\min})^2}}{2} + \frac{(n-1)}{n}$$

式中: C_i 为该所需评价因子测定值; X_i 为分级指标, 土壤所需评价因子的分级标准 (X_a , X_c , X_p) (表 2) 主要参照第二次全国土壤普查标准进行评价; 其中 P 为土壤综合肥力指数, P_i 为土壤各项评价因子所得肥力系数的平均值, P_{\min} 为评价因子的肥力系数中的最小值. 采用 P_{\min} 代替原内梅罗公式中的 P_{\max} 是为了突出土壤属性中最低一项指标对土壤肥力的影响, 即突出限制性因子, 增加 $(n-1)/n$ 作为修正项是为了反映可信度, 即所需土壤属性评价因子 n 越多, 则肥力指数可信度越高. 根据表 2 求得的土壤肥力系数可将土壤肥力分为 I, II, III, IV 级, 分别对应很肥沃、肥沃、中等和贫瘠, 如表 3 所示.

表 2 土壤属性分级标准

土壤指标	X_a	X_c	X_p
pH 值	8.5	7.5	7.0
有机质/(g · kg ⁻¹)	10.0	20.0	30.0
有效氮/(mg · kg ⁻¹)	60.0	90.0	120.0
速效钾/(mg · kg ⁻¹)	50.0	150.0	200.0
有效磷/(mg · kg ⁻¹)	5.0	10.0	20.0
全氮/(g · kg ⁻¹)	0.75	1.0	1.5
全磷/(g · kg ⁻¹)	0.4	0.6	0.8
全钾/(g · kg ⁻¹)	10.0	15.0	20.0

表 3 土壤肥力分级标准

级别	评价	综合肥力系数范围
I	很肥沃	$P \geq 2.7$
II	肥沃	$1.8 \leq P < 2.7$
III	一般	$0.9 \leq P < 1.8$
IV	贫瘠	$P < 0.9$

1.5 数据处理

采用 Excel 软件进行数据收集统计,并用 GraphPad Prism 9 进行数据比对,SPSS 19.0 进行相关显著性分析.

2 结果与分析

2.1 不同栽植时间和地点香樟行道树根际土壤微生物数量差异分析

对不同栽植时间和地点香樟行道树根际土壤细菌、真菌以及放线菌数量测定发现,香樟行道树根际土壤中细菌占比最大.在花半里路-10 的根际土壤微生物中,细菌数量占比 84.8%,其次是放线菌,真菌含量最少;而在龙腾大道-20 的根际土壤微生物中,微生物数量依次为细菌>真菌>放线菌.与缙云山-30 根际土壤微生物相比,龙腾大道-20 根际土壤微生物中真菌及细菌含量更高,花半里路-10 根际土壤微生物中真菌及细菌含量无显著性差异;而两者放线菌的数量都显著低于缙云山-30,缙云山-30 中放线菌数量最多.从栽植年限上看,细菌与放线菌的数量随着栽培年限的增加逐渐减少,与之呈负相关(表 4).

表 4 重庆市主城区核心区香樟行道树根际土壤微生物数量

cfu/g

样品	细菌	真菌	放线菌
花半里路-10	1.46×10^8	4.27×10^6	2.19×10^7
龙腾大道-20	5.87×10^7	1.60×10^7	1.31×10^7
缙云山-30	2.03×10^7	4.53×10^6	4.00×10^7

2.2 不同栽植时间和地点行道树根际土壤化学性质差异

土壤的化学性质分析表明,行道树土壤 pH 值大于 7,为碱性土壤;而森林树土壤 pH 值小于 7,为酸性土壤(图 1).土壤样品有机质含量进行测定,结果表明有机质含量范围为 6.21~22.3 g/kg(图 2).按照全国第二次土壤普查养分分级标准,花半里路-10 土壤有机质含量为五级,龙腾大道-20、缙云山-10、缙云山-30 土壤有机质含量为四级,缙云山-20 土壤含有机质最多,为三级.

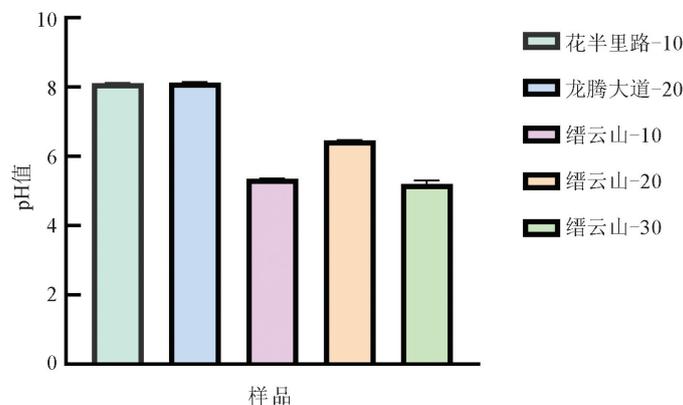


图 1 土壤 pH 值含量对照

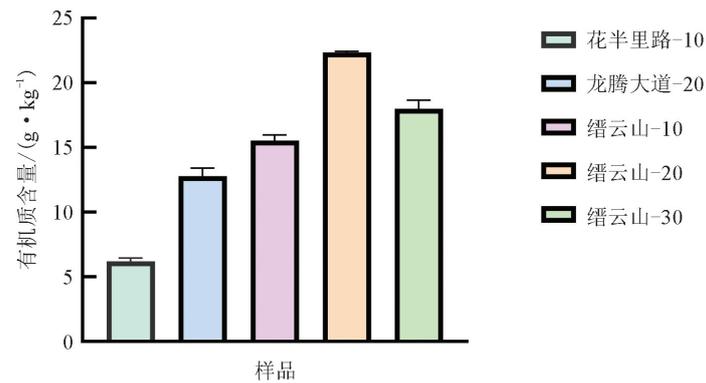


图2 土壤有机质含量对照

对土壤全氮、全磷和全钾含量进行测定,测定分析表明,土壤样品的全氮、全磷和全钾含量范围分别为 0.78~1.84 g/kg, 0.40~0.78 g/kg 和 7.09~9.85 g/kg. 按照全国第二次土壤普查养分分级标准,全氮含量对照中,花半里路-10 和龙腾大道-20 全氮含量为四级,缙云山-10 全氮含量为三级,缙云山-20 和缙云山 30-全氮含量为二级;全磷含量对照中,缙云山-10 全磷含量为五级,缙云山-20 和缙云山-30 全磷含量为四级,花半里路-10 和龙腾大道-20 全磷含量为三级;全钾含量对照中,所有土壤全钾含量级别均为五级. 由此可知,所有土样中全钾含量较低,缙云山土样全磷含量较低(图 3).

南方酸性土壤形成与气候有关,地处湿热地带,由于高温多雨,土壤的分解与矿化过程加快,水解强度增加 100~200 倍,土壤中元素的迁移和淋溶较强,损失的元素首先是钙,其次是钾. 同时,土壤有机质的积累对于土壤的全钾含量有着负面影响,缙云山土样中有机质大于行道树土样,但全钾含量与行道树无较大差别^[22],其中土壤养分变化不仅受自然因素影响,也有人为因素共同作用. 城市行道树的施工、土壤整治工程改变了土壤养分组成,土地整治工程中的深挖、回填、客土等措施使得耕层土壤与深挖犁底层混合降低了土壤有机质^[23];在平时行道树护理中也会施钾肥使土壤钾含量增加. 这些都是可能导致缙云山土样中有机质大于行道树土样,但全钾含量与行道树无较大差别的原因.

在酸性土壤中,较多的铁离子、铝离子与磷结合后形成难溶的磷酸铁和磷酸铝,导致磷素失去有效性、全磷含量低. 相应土类的全磷量,酸性土大于碱性土,行道树土样均为碱性土壤,相应的全磷含量却大于缙云山土样.

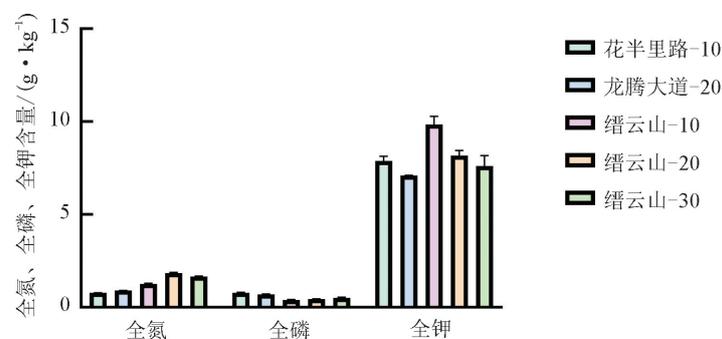


图3 土壤全氮、全磷和全钾含量对照

对土壤有效磷、碱解氮和速效钾含量进行测定,测定分析结果表明,土壤样品的有效磷、

碱解氮和速效钾含量范围分别为 4.41~23.00 mg/kg, 40.31~112.36 mg/kg 和 69.21~140.39 mg/kg. 按照全国第二次土壤普查养分分级标准,有效磷含量对照中,缙云山-10 和缙云山-20 有效磷含量为五级,缙云山-30 有效磷含量为四级,龙腾大道-20 有效磷含量为三级,花半里路-10 有效磷含量为二级;碱解氮含量对照中,行道树土样碱解氮含量均为五级,缙云山-10 碱解氮含量为四级,缙云山-20 和缙云山-30 碱解氮含量为三级;速效钾含量中,行道树土样速效钾含量为三级,森林树土样速效钾含量为四级. 由此可知,花半里路-20 的有效磷含量丰富,而缙云山土样有效磷含量较少;行道树土样碱解氮含量较少,土样速效钾含量均在中等及以上(图 4).

土壤有效磷的含量不完全与全磷量呈正相关,但与有机质含量呈极显著正相关,行道树土样有效磷含量多于缙云山土样含量,但有机质却相反,而全磷含量于有效磷含量趋势相同,行道树土样全磷与有效磷含量均高于缙云山土样.

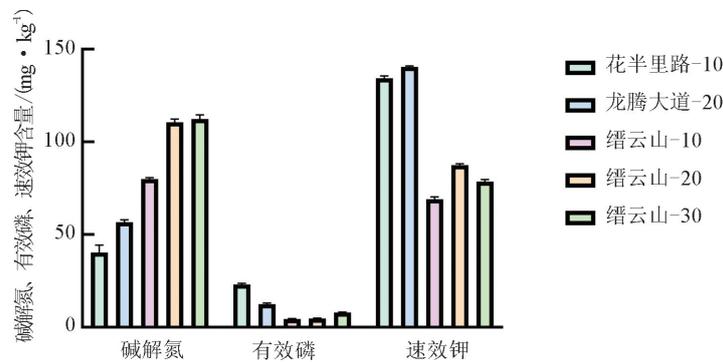


图 4 土壤有效磷、碱解氮和速效钾含量对照

对土壤化学性质相关性进行分析,花半里路 10 年土样中,全氮和 pH 值呈显著正相关,速效钾和碱解氮呈显著正相关,有效磷和全磷呈显著负相关;龙腾大道 20 年土样中,有机质和钾呈显著正相关;缙云山 10 年土样中,全钾和全氮极显著正相关,有机质和有效磷呈显著正相关;缙云山 20 年土样中无显著性相关性;缙云山 30 年土样中,全氮跟 pH 值呈显著负相关(表 5).

表 5 土壤化学性质相关性分析(部分数据)

指标	花半里路-10		龙腾大道-20		缙云山-10		缙云山-30
	全氮	有效磷	速效钾	有机质	全钾	有机质	全氮
pH 值	0.999*						-0.998*
全氮	I				0.999**		I
全磷		-0.999*					
全钾				0.997*	I		
碱解氮			0.998*				
有效磷		I				0.999*	
速效钾			I				
有机质				I		I	

注:正数数字后的“*”表示显著正相关,负数后的“*”表示显著负相关,正数数字后的“**”表示极显著正相关,负数后的“**”表示极显著相关.

2.3 不同栽植时间和地点行道树根际土壤肥力综合评价

土壤肥力综合评价结果表明,重庆市5个采样点土壤综合肥力指数均值为1.11,对照肥力分级标准,其肥力等级为一般.九龙坡区龙腾大道-20香樟根际土壤肥力指数为1.05,其中全钾的含量是其主要限制因子;九龙坡花半里路-10香樟根际土壤肥力指数为1.01,有机质为主要限制因子;缙云山-10年香樟根际土壤肥力指数为1.05,缙云山-20香樟树根际土壤肥力指数为1.29,缙云山-30香樟树根际土壤肥力指数为1.21,肥力等级均处于一般水平;其中城市龙腾大道和花半里路的香樟根际土壤肥力指数均值为1.03,缙云山香樟根际土壤肥力指数均值为1.18,高于城市香樟树根际土壤(表6).

表6 土壤肥力综合评价

样品	pH值	有机质	碱解氮	全氮	有效磷	全磷	速效钾	全钾	平均值	<i>p</i>
龙腾大道-20	1.13	1.3	0.95	1.6	2.25	2.46	1.9	0.71	1.54	1.05
花半里路-10	1.11	0.62	0.67	1.11	3.00	2.91	1.84	0.79	1.51	1.01
缙云山-10	1.85	1.54	1.66	2.52	0.88	0.99	1.19	0.98	1.45	1.05
缙云山-20	2.96	2.23	2.69	3.00	0.94	1.23	1.37	0.82	1.91	1.29
缙云山-20	1.7	1.75	2.75	3.00	1.58	1.54	1.29	0.76	1.80	1.21

3 结论与讨论

土壤微生物是土壤的重要组成部分,在一定程度上,土壤微生物的数量影响着行道树的生长^[24].重庆市不同地点行道树的土壤微生物数量有着明显差异,总体而言,行道树根际土壤微生物数量高于森林土微生物数量,这与闫冰等^[25]的研究结果相似.其中细菌含量最高,原因可能是城市行道树受人为管理,含水量更高,而水是原生质的主要成分,供应适当对营养体发育有利,因而细菌含量更高^[26].另外,根际土壤微生物含量也受土壤化学性质影响,一般来说,土壤微生物含量高,其土壤肥力也相应更高,但从本研究的结果来看,花半里路香樟行道树根际土壤微生物的含量最高,但其肥力与龙腾大道和缙云山的土壤肥力相比最低,推测这种现象的出现可能与土壤微生物的合成代谢有关.土壤微生物能够将进入土壤的枯枝落叶和其他种类的有机质中的碳释放出来并保存成土壤中比较稳定的有机质(SOM)形式;但同时,微生物本身也能够分解有机质转化为自身的“生物量”.这两方面作用的失衡可能导致微生物含量高而土壤肥力反而低的现象^[27].

许多研究表明,土壤化学性质中pH值是影响土壤细菌群落组成的主要因素^[28].本研究中行道树土壤呈碱性,pH值较高,土壤pH值与土壤细菌之间没有相关性,这与Xu等^[29]的研究结果相似.同时本研究中行道树土壤有机质含量偏低,可能是过高的pH值和过于紧实的土壤导致的有机质分解缓慢^[30].另外,虽然行道树土壤中全磷、有效磷和速效钾含量高于缙云山土壤,但全氮及碱解氮含量均低于缙云山土壤,对土壤进行综合肥力评价也发现行道树土壤肥力等级低于缙云山土壤,说明在土壤肥力评价中,氮元素的含量可能占了重要比重.

土壤肥力作为土壤生产力的一项核心指标,是现代农业可持续发展的基础^[31],且土壤肥力对于树木的健康生长具有重要意义,可以有效保障树木的健康,避免各种病虫害的危害.植物的

营养吸收直接关系到其生长状况,充足的养分吸收可避免因缺素造成的植物上的各种如“花而不实”,花叶等生理性病害,也有研究表明施用钾肥等肥料可不同程度降低辣椒发病率,发病率较对照组降低3.4%~19.8%^[32].由此可见对土壤养分的研究是必要的.对重庆主城区香樟行道树及缙云山土壤依照全国第二次土壤普查标准综合评价,土壤肥力均处于一般水平,但其中重庆缙云山土壤肥力高于重庆主城区,可在一定程度上说明人类活动对土壤肥力有影响.如:植物的凋零物被及时清理,难以实现土壤与植物之间的养分循环,或者各类营养元素通过大气沉降、点源排放等途径输入土壤,改变了土壤元素的生化循环^[33].由土壤肥力综合评价可以看出,城市香樟行道树根际土壤有机质含量均低于缙云山香樟根际土壤含量,可能是因为森林腐败枝叶和更多的土壤微生物所导致土壤的有机质多于城市土壤,或者是森林地下水和地表径流更为丰富,加速了物质循环^[34].虽然有机质在土壤中的含量只占1%~10%,但是在土壤中却是作为最活跃的土壤组成成分,对水、肥、气、热等肥力因子影响很大,影响着土壤的物理、化学、及生物相关性质^[35],对土壤肥力起决定性作用,因此,城市行道树应多施有机肥.一方面积极响应贯彻落实党中央、国务院开展的农村工作,深入推进农业绿色发展,持续改善农业生态环境,推进化肥农药减量增效,构建有机肥施用长效机制,充分发挥土壤资源生产潜力;另一方面,土壤有机质不但能够为作物生长提充足养分,而且也能提高保水保肥能力,减少养分流失,大大提高肥料利用率.城市行道树在施用肥料时应首选增施有机肥,提高土壤有机质的含量,才能充分发挥化肥的增产效益^[36].

参考文献:

- [1] LEUNG S K. Street Trees and Their City: Rethinking Tree Practices for the Fluctuating City of New Orleans, Louisiana, USA [J]. *Landscape Architecture Frontiers*, 2023, 11(1): 86-95.
- [2] SUI Q Y, JIA H Z, ZHAO M Y, et al. Quantitative Evaluation of Ecosystem Services of Urban Street Trees: A Case Study of Shengjing Historical and Cultural Block in Shenyang, China [J]. *Sustainability*, 2023, 15(3): 2532.
- [3] WANG L, TIAN W X, ZHENG P L. Review of the Numerical Simulation of the Wind and Pollutant Diffusion in Urban Street Canyon under the Influence of Trees [J]. *Buildings*, 2023, 13(4): 1088.
- [4] 刘毅,周国兵,孙俊,等. 1971—2018年重庆地区高温的气候特征 [J]. *成都信息工程大学学报*, 2021, 36(3): 349-354.
- [5] 陈林君. 基于改善重庆主城人行道微气候舒适度的行道树优化配置研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- [6] 邓永成,史红文,李苗,等. 武汉主城区常见行道树降温增湿效应研究 [J]. *黑龙江农业科学*, 2020(10): 86-89.
- [7] 周鞠蕊,秦华. 重庆市中心城区行道树结构特征及绿化现状分析 [J]. *林业调查规划*, 2022, 47(3): 190-195.
- [8] 陈霜,王胜. 重庆园林常用的常绿乔木树种应用 [J]. *绿色科技*, 2018(23): 120-121.
- [9] TAN X Y, SHIBATA S. Influence of Soil Properties on Street Tree Performance in Kyoto City, Japan [J]. *Landscape and Ecological Engineering*, 2023, 19(4): 573-582.
- [10] GHOSH S, SCHARENBRUCH B C, BURCHAM D, et al. Influence of Soil Properties on Street Tree Attributes in Singapore [J]. *Urban Ecosystems*, 2016, 19(2): 949-967.
- [11] 贺坤,宋婷,王本耀,等. 上海市行道树土壤理化性质与树木健康的相关性研究 [J]. *中国园林*, 2022, 38(2): 66-70.
- [12] TAO C Y, LI R, XIONG W, et al. Bio-Organic Fertilizers Stimulate Indigenous Soil Pseudomonas Populations to Enhance Plant Disease Suppression [J]. *Microbiome*, 2020, 8(1): 137.

- [13] 张均华 孔 秦 朱 田 朱 虞. 土壤微生物影响土壤健康的作用机制研究进展 [J]. 土壤学报, (2023-06-26)[2023-09-10]
https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=KaAwsYWd1tKSsZCI9jOlc_epq4s6KrUxG6HC1D56DWu0F_5leb4cAEL0Z9_ho-R8BPhVj7L_C90pHQ6zXgik0XaqdrAJwxcuZCO5p8UuhvzNOWNmFsAoEMSQzsstZ7k28bBVyTPXl6A=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [14] JIN J, WANG G H, LIU X B, et al. Temporal and Spatial Dynamics of Bacterial Community in the Rhizosphere of Soybean Genotypes Grown in a Black Soil [J]. *Pedosphere*, 2009, 19(6): 808-816.
- [15] MIETHLING R, WIELAND G, BACKHAUS H, et al. Variation of Microbial Rhizosphere Communities in Response to Crop Species, Soil Origin, and Inoculation with *Sinorhizobium meliloti* L33 [J]. *Microbial Ecology*, 2000, 40(1): 43-56.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 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.
- [18] 王丽娟, 朱本国, 杨丽军, 等. 重庆主城不同功能区绿地土壤肥力综合评价 [J]. 绿色科技, 2019(19): 14-15.
- [19] 阚文杰, 吴启堂. 一个定量综合评价土壤肥力的方法初探 [J]. 土壤通报, 1994, 25(6): 245-247.
- [20] 何增耀, 叶兆杰, 吴方正. 农业环境科学概论 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1991.
- [21] 全国土壤普查办公室. 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [22] 高丽丽. 西藏土壤有机质和氮磷钾状况及其影响因素分析 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2004.
- [23] 林栗漾, 鲜骏仁, 刘静静. 都市区土地整治初期对耕地土壤肥力的影响 [J]. 西南农业学报, (2023-10-19)[2023-10-21]
https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=KaAwsYWd1tIreYAzeUG3D1LQScAAxQhBA7aaM-CioUgBrk7FpWtYS3crWK_643_Brfu_genLVZiWzgOtoY3DxDGzG_794_FgRIWsPHkBSDQ_D2YPWzCp7h4RV0QCU207nYIsMiR7Gkak=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [24] 姚银根. 不同施肥模式对青浦行道树土壤理化性质和微生物的影响 [J]. 植物学研究, 2022(4): 535-540.
- [25] 闫冰, 陆晴, 夏嵩, 等. 城市土壤微生物多样性研究进展 [J]. 生物多样性, 2022, 30(8): 191-204.
- [26] 薛立, 陈红跃, 徐英宝, 等. 混交林地土壤物理性质与微生物数量及酶活性的研究 [J]. 土壤通报, 2004, 35(2): 154-158.
- [27] CHEN G, ZHU H L, ZHANG Y. Soil Microbial Activities and Carbon and Nitrogen Fixation [J]. *Research in Microbiology*, 2003, 154(6): 393-398.
- [28] LAUBER C L, HAMADY M, KNIGHT R, et al. Pyrosequencing-Based Assessment of Soil pH as a Predictor of Soil Bacterial Community Structure at the Continental Scale [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, 75(15): 5111-5120.
- [29] XU H J, LI S, SU J Q, et al. Does Urbanization Shape Bacterial Community Composition in Urban Park Soils? A Case Study in 16 Representative Chinese Cities Based on the Pyrosequencing Method [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2014, 87(1): 182-192.
- [30] KNOPS J M H, BRADLEY K L, WEDIN D A. Mechanisms of Plant Species Impacts on Ecosystem Nitrogen Cycling [J]. *Ecology Letters*, 2002, 5(3): 454-466.
- [31] 柳添译. 土壤有机质和氮磷钾肥对土壤碳氮组分及氮肥利用率的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2022.
- [32] 熊增海, 刘丽, 刘兵, 等. 硫酸钾对辣椒的抗病增产效应研究 [J]. 青海农林科技, 2011(3): 4-6.
- [33] HUANG C M, CHEN W C, LIN S H, et al. Exploration of Root-Associated Bacteria from the Medicinal Plant *Platycodon grandiflorum* [J]. *Microbes and Environments*, 2019, 34(4): 413-420.
- [34] 王清奎, 田鹏, 孙兆林, 等. 森林土壤有机质研究的现状与挑战 [J]. 生态学杂志, 2020, 39(11): 3829-3843.
- [35] 曾曙才, 崔大方, 荣波, 等. 深圳笔架山公园土壤性状分析 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2005, 44(S1): 1-6.
- [36] 李政. 论土壤有机质的含量对土壤的影响 [J]. 农民致富之友, 2016(2): 73.