

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.18508

# 上海市公园绿地土壤肥力特征分析与综合评价

骆玉珍<sup>1</sup>, 张维维<sup>2</sup>, 李雅颖<sup>3</sup>, 姚槐应<sup>3</sup>, 王永杰<sup>1\*</sup>, 韩继刚<sup>2\*</sup>

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 200120; 2. 上海市园林科学规划研究院, 上海 200030;  
3. 中国科学院城市环境研究所, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 为提高城市绿地生态系统功能, 了解上海全市的公园绿地土壤肥力整体状况, 以上海全市 16 个行政区 65 个公园中 87 个绿地土壤 (0 ~ 20 cm) 为研究对象, 测定土壤 pH 值、电导率 (EC)、大量元素 (氮、磷、钾)、中微量元素 (镁、钙、硫、锰、铁和铜) 等 15 项化学指标, 通过单因子评价、综合评价法及 GIS 技术对公园绿地土壤肥力质量进行评价。结果表明, 上海市公园绿地表层土壤整体呈碱性, EC 值偏小, 有机质、大量元素全量养分和速效养分大都处于中等水平, 微量元素铜缺乏, 其他元素含量充足; 全氮和有效磷变异性强。上海市公园绿地土壤综合肥力质量整体呈中等水平, 且空间上有北高南低的趋势; 土壤肥力的限制因子主要为 pH 值、全氮、碱解氮、有效磷和有效铜, 应采用改善土壤 pH 值、种植豆科植物、施用微肥等措施提高土壤肥力质量。

**关键词:** 公园绿地; 土壤肥力; 限制因子; 综合评价

城市公园作为城市园林绿化的主体之一, 在承担居民休憩及游乐作用的同时, 还具有改善大气质量、涵养水源、调节温度、维持生物多样性及美化城市景观等诸多生态服务功能<sup>[1]</sup>。上海市作为典型的园林城市代表, 城市内公园绿地占地面积大, 公园数量已达 243 座, 人均公园绿地面积 8.02 m<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。可以说, 公园绿地土壤肥力质量关系到整个城市的生态发展<sup>[3-4]</sup>。由于密集的人类活动, 公园绿地土壤受到的人为扰动往往强于农业土壤和森林土壤, 发生土壤板结、污染等土壤退化现象, 土壤质量问题日益突出<sup>[5]</sup>。开展城市绿地土壤质量相关研究, 对于科学管理和调控城市生态系统, 促进城市生态文明建设和保证城市生态系统可持续发展具有重要意义<sup>[5]</sup>。

目前国内不少城市<sup>[3-9]</sup>已开展公园绿地土壤肥力特征的研究, 发现城市公园绿地土壤肥力往往呈现出主要养分元素变异性强、土壤结构差、压实严重、土壤呈碱性等特点<sup>[10-11]</sup>。也有学者对上海市绿地土壤肥力特征<sup>[12-13]</sup>进行了研究, 但多集中于

上海市少数行政区或少数公园, 并且主要关注土壤物理性质及主要养分元素含量的分布, 忽略了植物生长必不可少之中、微量营养元素的研究, 不能全面反映整个上海市公园绿地土壤肥力特征总体状况<sup>[14]</sup>。中、微量元素在维持植物体内正常代谢过程, 保证植株营养供应及参与土壤主要元素循环的过程中起着十分重要的作用<sup>[15-16]</sup>。目前, 中、微量元素作为土壤肥力质量评价指标, 已被应用于胶园<sup>[17]</sup>、农田<sup>[18]</sup>、中药材栽培地<sup>[19]</sup>、植烟区<sup>[14]</sup>等不同类型土壤中, 但在城市绿地土壤肥力质量评价时却极少应用。因此, 为了对土壤肥力质量进行更全面评价, 本研究采集了上海全市 16 个行政区的公园绿地土壤表层样品, 测定土壤 pH 值、EC、主要养分和中微量养分元素, 结合 GIS 技术对上海市公园绿地土壤肥力特征进行综合分析, 为今后有针对性地指导城市公园绿地养护以及提升公园整体质量提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

上海市位于中国东部的长江三角洲地区 (120° 52' ~ 122° 12' E, 30° 40' ~ 31° 53' N), 地处黄棕壤地带, 与非地带性水稻土复式组合, 主要土壤类型为水稻土、滨海盐土、潮土和黄棕壤土, 总地势西南高东北低, 相对高差 3 ~ 4 m, 属于平原地貌, 年平均气温 15.7℃, 年均降水量 1 100 mm 左右, 属亚热带湿润季风气候<sup>[19-20]</sup>。上海市是中国特

收稿日期: 2018-12-25; 录用日期: 2019-01-19

基金项目: 上海典型绿地土壤质量监测保障体系 (上海市绿化和市容管理局)。

作者简介: 骆玉珍 (1993-), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤生态学。E-mail: luoyz357@163.com。

通讯作者: 韩继刚, E-mail: jghan9@gmail.com; 王永杰, E-mail: yjwang@shou.edu.cn。

大型城市, 经济繁华, 工业发达, 交通线路多, 人流量大, 拥有黄浦区、徐汇区、浦东新区、崇明县等 16 个市辖区, 总面积 6 340 km<sup>2</sup>, 其中公园面积为 192 km<sup>2</sup> [2], 中心城区公园数量占上海市公园总量的 80% 以上 [12], 根据实地调查, 公园内主要种植物包括樟树、雪松、水杉等乔木, 海桐、女贞、八角金盘等灌木以及麦冬、大吴风草、地毯草等草本植物。

### 1.2 土壤样品采集和测定

本研究选择上海市 16 个行政区内 65 个代表性公园进行表层土壤样品采集 (2017 年 10 月至 11 月), 共采集公园绿地土壤样品 87 个 (图 1)。根据公园面积及植被类型确定采样点, 使用土钻在每个采样点的不同植被类型下采集 5 或 8 个 0 ~

20 cm 表层土壤, 作为一个样品。将其充分混合, 去除样品中的石块、草根等杂物, 过 2 mm 筛后, 装入聚乙烯密封袋, 带回实验室进行化学性质的分析。每份样品采用四分法保留 2 ~ 3 kg。

取部分样品进行风干, 根据不同指标的要求过相应孔径筛后进行土壤化学性质测定。pH 值和 EC 分别采用电位法和电导法进行测定, 有机质使用重铬酸钾 - 硫酸氧化法测定, 全氮使用凯氏定氮法测定, 碱解氮采用碱解扩散法测定, 全磷和全钾采用氢氧化钠熔解 - 钼锑抗比色法测定 [21]; 有效磷、速效钾、有效钙、有效镁、有效硫、有效铁、有效锰和有效铜使用 AB-DTPA 浸提 - 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定 [22]。

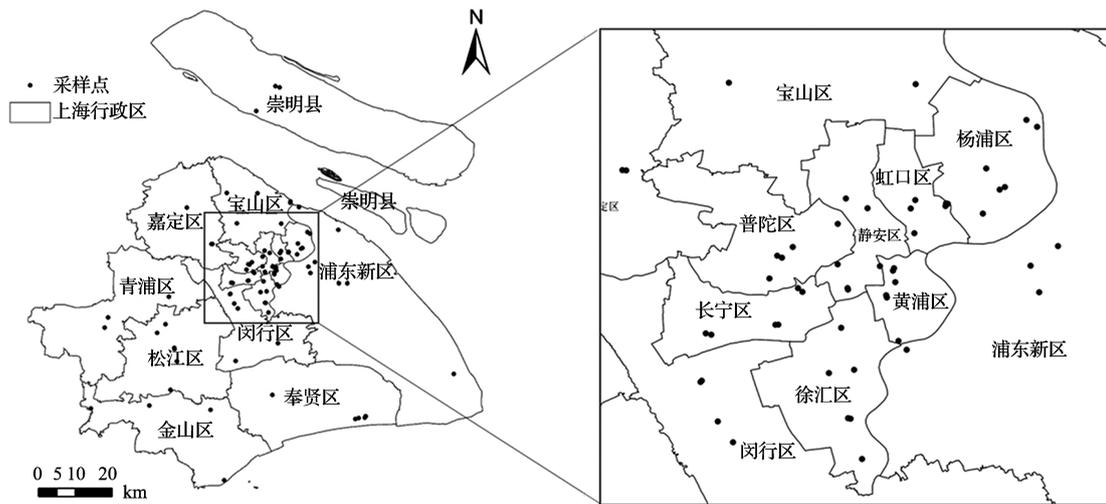


图 1 采样点分布图

### 1.3 土壤肥力单项指标评价

参照第二次全国土壤普查相关标准 [7, 23] 及上海市《园林绿化工程种植土壤质量验收规范》(DB31/T 769-2013) [22] 要求对上海市公园绿地土

壤 pH 值、EC、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾、有效钙、有效镁、有效硫、有效铁、有效锰和有效铜 15 项指标进行单因子评价 (表 1、2、3)。

表 1 土壤 pH 值、EC 分级标准

	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
pH 值	≤ 5 (强酸性)	5.0 ~ 6.5 (酸性)	6.5 ~ 7.5 (中性)	7.5 ~ 8.5 (碱性)	≥ 8.5 (强碱性)
EC (mS/cm)	≤ 0.12	0.12 ~ 0.35	0.35 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	> 1.5

表 2 土壤有机质及大量元素分级标准

等级	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	评价
1 级	>40	>2	>1.0	>25	>150	>40	>200	很高
2 级	30 ~ 40	1.5 ~ 2	0.8 ~ 1.0	20 ~ 25	120 ~ 150	20 ~ 40	150 ~ 200	高
3 级	20 ~ 30	1.0 ~ 1.5	0.6 ~ 0.8	15 ~ 20	90 ~ 120	10 ~ 20	100 ~ 150	中上
4 级	10 ~ 20	0.75 ~ 1.0	0.4 ~ 0.6	10 ~ 15	60 ~ 90	5 ~ 10	50 ~ 100	中下
5 级	6 ~ 10	0.5 ~ 0.75	0.2 ~ 0.4	5 ~ 10	30 ~ 60	3 ~ 5	30 ~ 50	低
6 级	<6	<0.5	<0.2	<5	<30	<3	<30	很低

表3 土壤中、微量元素分级标准

等级	有效钙 (mg/kg)	有效镁 (mg/kg)	有效硫 (mg/kg)	有效铁 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	有效铜 (mg/kg)	评价
1级	>1 000	>300	—	>20	>30	>0.3	很高
2级	700 ~ 1 000	200 ~ 300	>30	10 ~ 20	15 ~ 30	0.2 ~ 0.3	高
3级	500 ~ 700	100 ~ 200	16 ~ 30	4.5 ~ 10	5.0 ~ 15	0.15 ~ 0.2	中
4级	300 ~ 500	50 ~ 100	<16	2.5 ~ 4.5	1.0 ~ 5.0	0.1 ~ 0.15	低
5级	<300	<50	—	<2.5	<1.0	<0.1	很低

#### 1.4 土壤综合肥力评价

采用模糊评价法<sup>[24]</sup>对上海市公园绿地土壤综合肥力进行评价。参照文献中的方法建立抛物线型(公式1)、反S型(公式2)和S型(公式3)隶属度函数对各肥力指标进行标准化处理以消除量纲差异<sup>[14, 17]</sup>,选择土壤pH值、EC、有机质、全量氮磷钾、有效态氮磷钾及有效态钙、镁、硫、铁、锰、铜作为评价指标。

pH值、有效铁和有效锰属于抛物线型隶属度函数<sup>[17]</sup>:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0, & x_3 \leq x \leq x_4 \\ 0.9(x-x_1)/(x_3-x_1)+0.1, & x_1 < x < x_3 \\ 0.9(x_2-x)/(x_2-x_4)+0.1, & x_4 < x < x_2 \\ 0.1, & x \leq x_1 \text{ 或 } x \geq x_2 \end{cases} \quad (1)$$

EC属于反S型隶属度函数<sup>[24]</sup>:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0, & x \geq x_2 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1, & x_1 < x < x_2 \\ 0.1, & x \leq x_1 \end{cases} \quad (2)$$

其余指标属于S型隶属度函数<sup>[17, 24]</sup>:

$$f(x) = \begin{cases} 1.0, & x \leq x_1 \\ 0.9(x_2-x)/(x_2-x_1)+0.1, & x_1 < x < x_2 \\ 0.1, & x \geq x_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $f(x)$ 为土壤各肥力指标的隶属度值, $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 、 $x_4$ 分别为隶属函数的各个拐点,拐点的取值参照标准<sup>[23]</sup>和规范<sup>[22]</sup>要求并结合上海市绿地土壤肥力特征<sup>[25]</sup>确定(表4)。

使用主成分分析法计算出各评价指标的权重系数<sup>[17]</sup>,按照模糊数学中加乘法原理,将土壤各肥力指标的隶属度值与权重系数相乘,加和后即为土壤综合肥力评价指数IFI<sup>[24]</sup>。

表4 各隶属度函数拐点值

评价指标	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	评价指标	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
pH值	4.5	8.5	6.5	7.5	速效钾 (mg/kg)	50	150		
EC (mS/cm)	0.12	2			有效钙 (mg/kg)	500	700		
有机质 (g/kg)	10	30			有效镁 (mg/kg)	100	200		
全氮 (g/kg)	0.75	1.5			有效硫 (mg/kg)	16	30		
全磷 (g/kg)	0.4	0.8			有效铁 (mg/kg)	4.5	20	10	350
全钾 (g/kg)	10	20			有效锰 (mg/kg)	1	25	5	15
碱解氮 (mg/kg)	60	120			有效铜 (mg/kg)	0.15	0.2		
有效磷 (mg/kg)	5	20							

$$IFI = \sum (f_i w_i) \quad (4)$$

式中, $f_i$ 为第*i*个评价指标的隶属值, $w_i$ 为第*i*个评价指标的权重系数。隶属值和IFI的取值范围均为0.1~1.0,值越高表示土壤肥力越好。

#### 1.5 数据处理

数据处理、柱形图及箱式图制作使用Excel 2016,主成分分析、Pearson相关性分析和单因素

方差分析(one-way ANOVA)使用SPSS 25.0处理,采样点分布图及土壤综合肥力分布图使用ArcMap 10软件绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤单项肥力指标评价

上海市公园绿地土壤pH值范围为4.63~8.89,

平均值为 8.10, 变异系数为 6.5% (表 5)。对比 pH 值分级标准, 土壤整体呈碱性 (86.7%), 强碱性土壤占 7.2% (图 2a)。上海市公园绿地土壤呈碱性的特点与长春市<sup>[7]</sup>、杭州市<sup>[8]</sup>、北京市<sup>[26]</sup>、湖北省<sup>[27]</sup>等地的城市绿地土壤 pH 值结果呈现出一致性, 可见, 由建筑垃圾回填以及碳酸盐沉降等问题导致的 pH 值偏高<sup>[11]</sup>已成为目前国内城市绿地土壤的特征。土壤 EC 值在 0.05 ~ 0.69 mS/cm 之间, 平均值为 0.12 mS/cm, EC 值整体偏小, 不会对植物生长造成伤害<sup>[25]</sup>, 变异系数为 65.3% (表 5), 为中等变异强度, EC 较大的点位主要集中于上海市南部沿海区域。

土壤有机质含量为 8.69 ~ 58.2 g/kg, 平均值 25.2 g/kg, 其中 73.6% 的公园绿地土壤有机质

含量较高 (图 2b)。有机质变异系数 35.2%, 为中强度变异。全氮、全磷和全钾含量变幅分别为 0.46 ~ 8.38、0.39 ~ 3.94 和 15.9 ~ 23.3 g/kg, 平均值分别为 1.75、0.73、19.3 g/kg (表 5)。其中, 各指标变异系数处于 7.7% ~ 118.6% 之间。全氮的变异系数最大, 为强变异程度。全氮含量较高的区域多集中在中心城区, 可能原因是中心城区公园管理养护较多, 施加了充足的氮肥; 全氮含量较低的区域集中在南部沿海区域 (图 3c); 全磷的变异系数次之, 为 53.0%, 表现为中等变异程度。全磷含量较低的点位大多集中在西部靠近江浙地带的区域 (图 3d)。全钾的变异系数最小。上海市公园绿地土壤样点中, 分别有 54%、69.9% 和 100% 的样点全氮、全磷和全钾含量充足 (图 2c)。

表 5 上海市公园绿地土壤各指标描述统计

指标	变幅	平均值 ± 标准差	变异系数 (%)	指标	变幅	平均值 ± 标准差	变异系数 (%)
pH 值	4.63 ~ 8.89	8.10 ± 0.53	6.5	速效钾 (mg/kg)	46.7 ~ 282	155 ± 51.0	32.9
EC (mS/cm)	0.05 ~ 0.69	0.12 ± 0.08	65.3	有效钙 (mg/kg)	215 ~ 415	322 ± 43.8	13.6
有机质 (g/kg)	8.69 ~ 58.2	25.2 ± 8.87	35.2	有效镁 (mg/kg)	22.3 ~ 342	166 ± 72.5	43.7
全氮 (g/kg)	0.46 ~ 8.38	1.75 ± 2.07	118.6	有效硫 (mg/kg)	3.43 ~ 253	41.0 ± 36.6	89.2
全磷 (g/kg)	0.39 ~ 3.94	0.73 ± 0.39	53.0	有效铁 (mg/kg)	45.7 ~ 361	115 ± 54.6	47.3
全钾 (g/kg)	15.9 ~ 23.3	19.3 ± 1.48	7.7	有效锰 (mg/kg)	3.67 ~ 27.5	13.3 ± 4.96	37.2
碱解氮 (mg/kg)	16.4 ~ 176	93.8 ± 35.4	37.8	有效铜 (mg/kg)	0.01 ~ 0.11	0.04 ± 0.02	42.9
有效磷 (mg/kg)	1.44 ~ 96.0	14.7 ± 16.2	110.2				

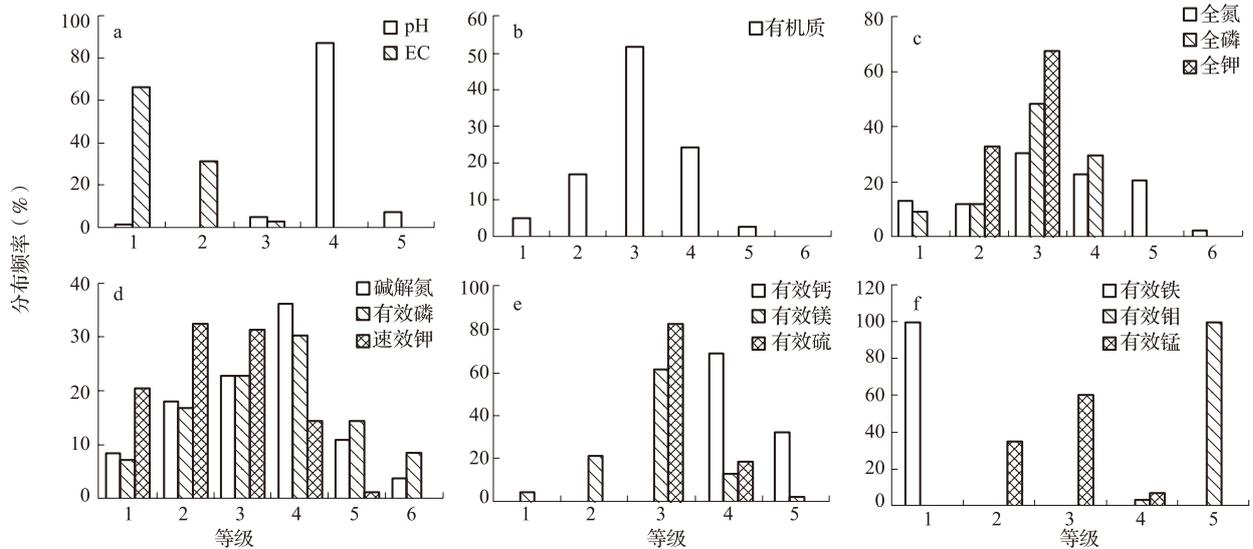


图 2 上海市公园绿地土壤各指标分布频率

注: 图 a 中, pH 值: 1、2、3、4、5 分别表示强酸性、酸性、中性、碱性、强碱性; EC: 1、2、3、4、5 分别表示 ≤ 0.12、0.12 ~ 0.35、0.35 ~ 1.0、1.0 ~ 1.5、1.5; 图 b-d 中, 1、2、3、4、5、6 分别表示很高、高、中上、中下、低、很低; 图 e-f 中, 1、2、3、4、5 分别表示很高、高、中、低、很低。

土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量分别为 16.4 ~ 176、1.44 ~ 96.0 和 46.7 ~ 282 mg/kg, 平均值为 93.8、14.7 和 155 mg/kg (表 5)。有效磷变异系数为 110.2%, 表现为强变异。其中, 上海市中部及东南部地区有效磷含量最低, 北部地区有效磷含量最高, 整体呈现北高南低的趋势 (图 3g)。碱解氮、有效磷和速效钾含量处于中下及以下水平的样点分别占 50.6%、53.0% 和 15.7% (图 2d)。

土壤中、微量元素是植物生长不可或缺的营养元素。土壤中有效态中量元素有效钙、有效镁和有效硫含量分别在 215 ~ 415、22.3 ~ 342 和 3.43 ~ 253 mg/kg 之间, 平均值分别为 322、166

和 41.0 mg/kg, 3 种指标的变异系数分别为 13.6%、43.7% 和 89.2% (表 5), 属于中度变异或强变异。其中, 有效钙在西北部和东南部区域含量较低 (图 3i); 西部地区的有效硫含量明显低于其他地区 (图 3k)。根据全国第二次土壤普查的分级标准, 所有样点的有效钙都处于中下及以下水平, 81.9% 样点的有效硫含量均中等水平, 85.5% 的样点有效镁含量处于中等及以上水平 (图 2e)。在《上海市园林绿化工程种植土壤质量验收规范》中, 有效钙 >300 mg/kg 即处于较优水平, 可以满足植物生长所需。由于上海市公园绿地土壤中建筑材料等碱性材料堆积及灰尘中碳酸钙和碳酸镁沉降富集<sup>[28]</sup>, 土壤呈碱性, 碳酸钙含量丰富, 有效钙含量充足。因

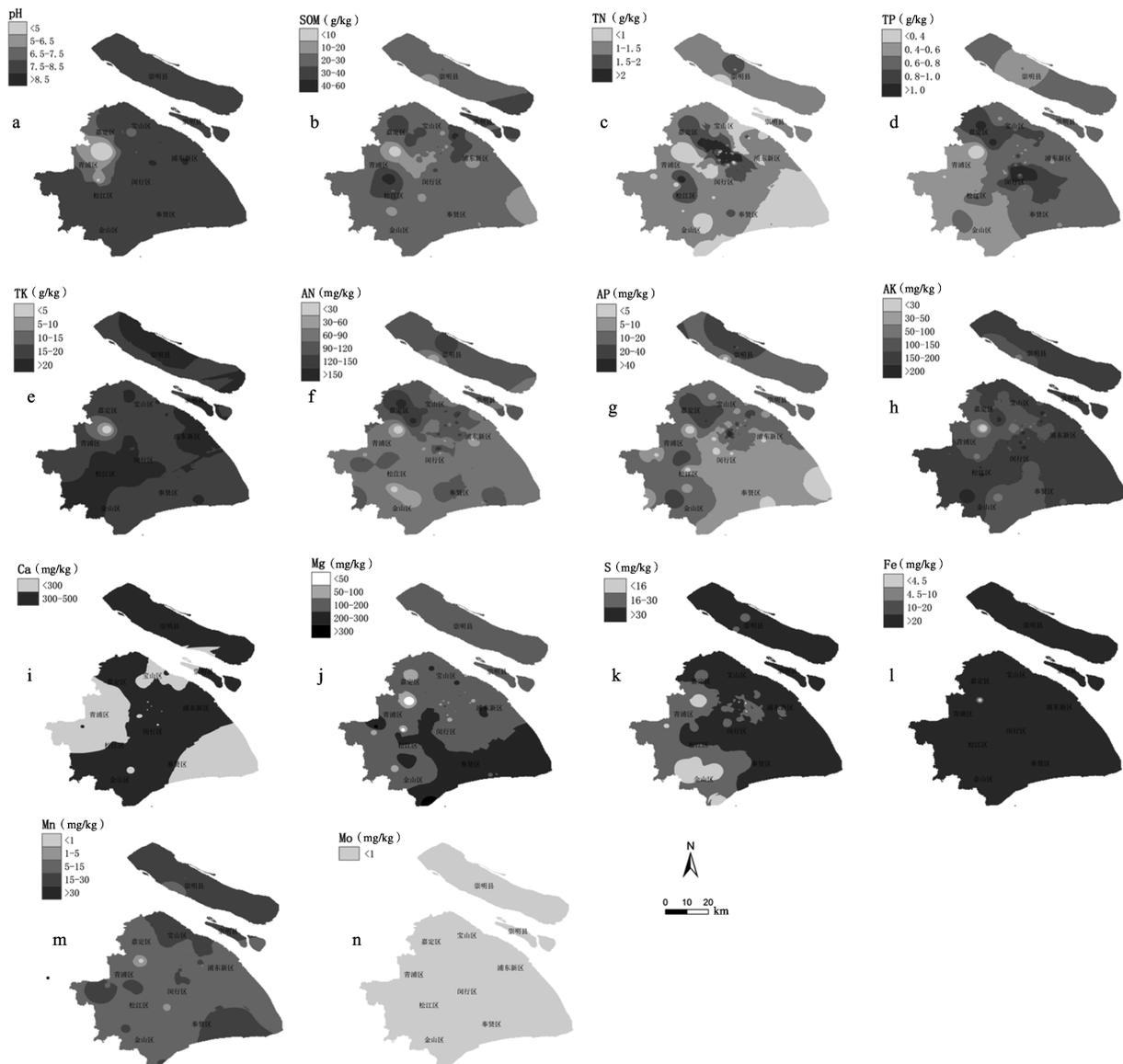


图 3 上海市公园绿地土壤各肥力指标空间分布图

注: 图 a-n 分别为 pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾、有效钙、有效镁、有效硫、有效铁、有效锰和有效钼的空间分布图。

此, 在评价绿地土壤有效钙含量时, 需结合当地土壤特点进行评价。

土壤中有效态微量元素有效铁、有效锰和有效钼的含量分别在 45.7 ~ 361、3.67 ~ 27.5 和 0.01 ~ 0.11 mg/kg 之间, 平均值分别为 115、13.3 和 0.04 mg/kg, 变异系数在 37.2% ~ 47.3% 之间 (表 5), 属于中度变异, 其中有效锰含量较高的点位主要集中于上海北部地区 (图 3 m)。所有样点的有效铁均处于很高水平, 95.2% 样点的有效锰属于中等偏高水平 (图 2f), 与公园在养护过程中施用了含铁、锰元素较多的有机改良材料有关<sup>[29]</sup>。所有样点的有效钼均处于很低水平 (图 2f), 表明上海市公园绿地土壤中缺乏有效钼。钼参与无机磷到有机磷的转化过程及植物体内的大气固氮过程<sup>[16]</sup>, 促进植株的生长发育, 上海市绿地土壤质地多为砂壤土<sup>[10]</sup>, 母质钼含量较低, 并且由于钼肥成本高, 公园养护过程中施用钼肥较少可能是造成上海市公园绿地土壤钼素缺乏的主要原因。

## 2.2 土壤肥力综合评价

上海市公园绿地土壤综合肥力指数 IFI 在 0.49 ~ 0.75 之间, 平均值为 0.62。将 IFI 划分为 3 个等级, 分别为较好 ( $0.7 < \text{IFI}$ )、中等 ( $0.4 \leq \text{IFI} \leq 0.7$ )、较差 ( $\text{IFI} < 0.4$ )<sup>[17]</sup>, 表明上海市公园绿地

土壤综合肥力处于中等水平, 其中处于较好水平的占 17.2%, 处于中等水平的占 82.8% (图 4a)。

使用 ArcMap 软件根据综合肥力指数对上海市各行政区综合肥力的空间分布进行分析, 结果表明上海市公园绿地土壤综合肥力整体表现出从南部到北部地区逐渐变好的规律 (图 4b)。上海北部区域的综合肥力均大于上海市中、南部区域。有机质、全磷含量较高的区域也集中在北部; 全氮和碱解氮分布较分散, 这与上海市的土壤类型有关。上海市很大面积为水稻土的黄泥头土亚类, 有机质、全量氮磷钾和铁锰含量较高; 西部地区多为青黄土和青黄泥土, 养分含量低; 北部地区, 尤其崇明县, 大部分地区为黄泥土, 有机质及大量养分含量较高; 东部沿海区域多为渗育水稻土, 有机质和全量养分较低<sup>[20]</sup>, 这也从一方面解释了上海市公园绿地土壤中养分含量变异较大的原因。中心城区及浦东部分区域的肥力较低可能是由于人为活动、汽车尾气及生活垃圾排放量较大造成的<sup>[7]</sup>, 城市化的发展可能会影响土壤肥力。西南部地区土壤肥力偏低的原因除了土壤类型的因素影响, 可能还受到当地对其绿化的投资力度较小、绿化管理难度较大等人为因素的影响。此外, 由于施肥情况、公园人流量及各方面人为干扰的影响<sup>[13]</sup>, 相同行政区内的不同公园绿地土壤综合肥力也不一致 (图 4)。

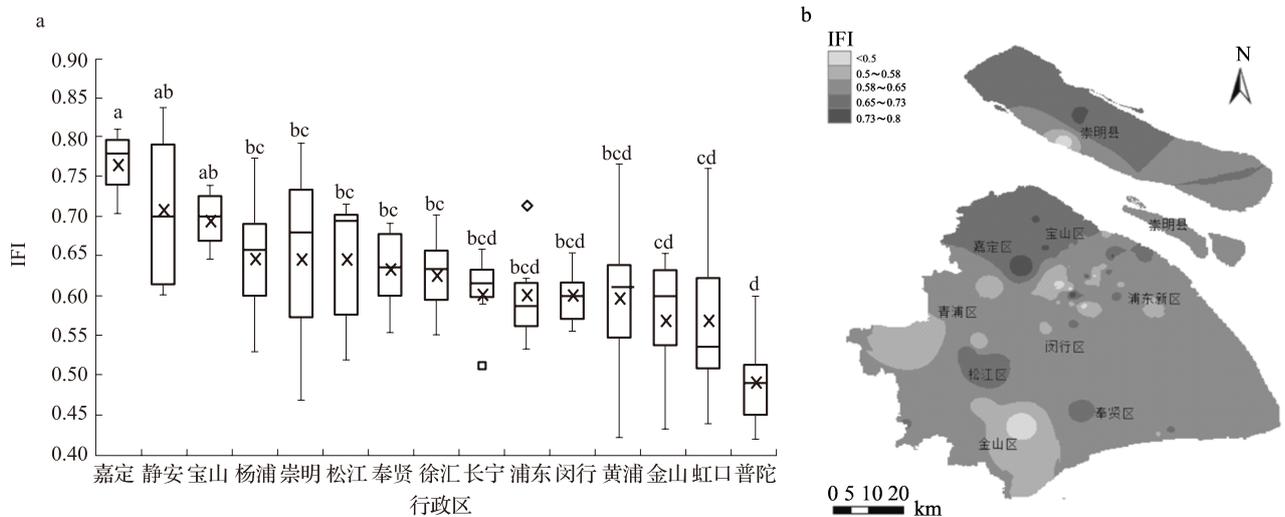


图 4 上海市各行政区公园绿地土壤综合肥力状况

注: 图 a 为上海市各行政区公园绿地土壤综合肥力箱式图, 图中不同小写字母表示有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 图 b 为上海市各行政区公园绿地土壤综合肥力空间分布图。

## 2.3 上海市公园绿地土壤肥力的限制因子

将隶属值划分为 3 个等级, 分别为较好 ( $> 0.7$ )、中等 ( $0.4 \leq \text{IFI} \leq 0.7$ )、较低 ( $< 0.4$ )<sup>[17]</sup>, 发现有效钼的隶属平均值为 0.1, 处于下限值; 有

效磷的隶属值较低 ( $< 0.4$ ) 的样品占 55% 以上。结合单因子评价和综合评价分析, 全氮、碱解氮、有效磷和有效钼在一定程度上限制了上海市公园绿地的土壤肥力。氮肥和磷肥施用量高而利用率低<sup>[30]</sup>,

加上上海市年降水量较大导致氮磷淋溶以及公园养护时的个体差异可能是造成氮素和磷素分布不均、部分地区氮磷缺乏的主要原因。此外,结合相关性分析,有效钼和碱解氮呈显著正相关,钼缺乏可能也是造成碱解氮含量较低的原因<sup>[16]</sup>。因此对每个公园因地制宜,合理施用氮磷肥等措施<sup>[8]</sup>是解决氮磷分布不均的有效措施。

通过 15 个土壤化学性质的相关性分析发现(表 6), pH 值、EC 值与大多数土壤肥力指标呈负相关关

系,尤其是 pH 值。pH 值与有机质、有效硫和有效锰呈极显著负相关关系,与有效磷和有效钼呈显著负相关,而植物多喜在中性土壤中生长,碱性或强碱性土壤会降低土壤结构的通透性<sup>[13]</sup>,根据相关性分析的结果,pH 值高可能会降低有机质、有效磷、有效硫、有效锰和有效钼在土壤中的积累。有机质和全氮一般会呈现显著性的正相关关系<sup>[31]</sup>,在本研究中,不同公园在管理过程中施加无机肥的差异可能是导致有机质和全氮没有出现显著正相关的原因。

表 6 上海市公园绿地土壤化学性质相关性分析

	pH 值	EC	有机质	全氮	全磷	全钾	碱解氮	有效磷	速效钾	有效钙	有效镁	有效硫	有效铁	有效锰	有效钼
pH 值	1														
EC	-0.091	1													
有机质	-0.323**	-0.062	1												
全氮	-0.079	-0.007	0.037	1											
全磷	-0.055	-0.005	0.187	0.078	1										
全钾	-0.083	-0.166	0.143	0.022	0	1									
碱解氮	-0.063	-0.008	0.554**	0.249*	0.377**	0.051	1								
有效磷	-0.245*	-0.025	0.272*	0.380**	0.247*	-0.021	0.471**	1							
速效钾	0.025	0.087	0.137	0.255*	0.285**	0.339**	0.283**	0.361**	1						
有效钙	0.383**	-0.118	-0.043	0.135	0.185	-0.152	0.219*	0.167	-0.007	1					
有效镁	0.063	0.340**	-0.407**	-0.038	-0.175	0.268*	-0.252*	-0.14	0.2	-0.208	1				
有效硫	-0.362**	0.375**	-0.069	0.146	0.054	-0.021	-0.001	0.279**	0.146	-0.337**	0.305**	1			
有效铁	-0.565**	-0.032	0.417**	-0.132	0.108	0.028	0.073	0.142	-0.067	-0.727**	-0.235*	0.256*	1		
有效锰	-0.532**	0.142	0.420**	0.032	0.222*	0.093	0.243*	0.198	0.316**	-0.323**	-0.202	0.262*	0.561**	1	
有效钼	-0.250*	0.142	0.322**	0.1	0.263*	-0.066	0.236*	0.172	0.18	-0.158	-0.038	0.174	0.287**	0.151	1

注: \* 表示  $P < 0.05$ , \*\* 表示  $P < 0.01$ 。

### 3 结论

上海公园绿地土壤主要呈碱性,有机质、全磷、全钾、速效钾、有效钙、有效镁、有效硫、有效锰、有效铁等养分含量整体充足,超出一半的区域碱解氮和有效磷含量不足,有效钼严重缺乏。其中,全氮、全磷、有效硫和有效磷的变异系数较大。

上海市公园绿地土壤综合肥力为中等水平,土壤综合肥力表现出北高南低的趋势。中心城区的全氮含量较高;北部地区有机质、有效磷及有效锰含量较高;西部地区全磷和有效硫含量较低;西北部和东南部地区有效钙含量较低;这与上海市土壤类型有着密切关系。城市化活动可能是造成中心城区土壤肥力较低的原因。

全氮、碱解氮、有效磷和有效钼是上海市公园绿地土壤肥力的主要限值因子。对于上海市公园绿

地的管理和养护而言,改善土壤的 pH 值,种植耐碱植物和豆科植物,施加钼肥,避免种植钼素敏感植物,因地制宜等方法是改善上海市公园绿地土壤肥力质量的有效措施。

### 参考文献:

- [1] 肖强,肖洋,欧阳志云,等.重庆市森林生态系统服务功能价值评估[J].生态学报,2014,34(1):216-223.
- [2] 上海市统计局.城市绿化[EB/OL].(2018-06-21).<http://www.stats-sh.gov.cn/html/shghlmenu/201806/216872.html>.
- [3] 卢瑛,冯宏,甘海华.广州城市公园绿地土壤肥力及酶活性特征[J].水土保持学报,2007,21(1):160-163.
- [4] 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.
- [5] Morel J L, Chenu C, Lorenz K. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAS)[J]. Journal of Soils & Sediments, 2015, 15(8): 1659-1666.
- [6] 成兆文,孙晓杰,李冬秀,等.桂林市公园土壤肥力调查与

- 评价 [J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35 (2): 370-375.
- [7] 周伟, 王文杰, 张波, 等. 长春城市森林绿地土壤肥力评价 [J]. 生态学报, 2017, 37 (4): 1211-1220.
- [8] 陈旭彤. 杭州城市绿地土壤肥力质量评价 [J]. 贵州农业科学, 2012, 40 (11): 148-150.
- [9] 王晔青, 白云祥, 杨仁强, 等. 内蒙古鄂尔多斯市公园绿地土壤肥力调查与评价 [J]. 中国园艺文摘, 2014, (9): 69-72.
- [10] 伍海兵. 上海中心城区典型绿地土壤物理性质特征研究 [J]. 土壤, 2018, 50 (1): 155-161.
- [11] 秦娟, 许克福. 我国城市绿地土壤质量研究综述与展望 [J]. 生态科学, 2018, (1): 200-210.
- [12] 张琪, 方海兰, 杨意, 等. 上海市浦东公路绿地土壤肥力质量评价 [J]. 华中农业大学学报, 2007, 26 (4): 491-495.
- [13] 郝瑞军, 方海兰, 沈烈英, 等. 上海中心城区公园土壤的肥力特征分析 [J]. 中国土壤与肥料, 2011, (5): 20-26.
- [14] 魏小慧, 佘国涵, 张友臣, 等. 十堰植烟土壤有效态微量元素分布特征及评价 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45 (8): 128-131.
- [15] 周卫, 汪洪. 植物钙吸收、转运及代谢的生理和分子机制 [J]. 植物学报, 2007, 24 (6): 762-778.
- [16] 李国萍. 阿勒泰地区土壤有效钼对农作物的影响及对策 [J]. 新疆农业科学, 2008, 45 (S1): 204-206.
- [17] 吴敏, 何鹏, 韦家少. 海南岛胶园土壤肥力的综合评价 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (2): 1-5.
- [18] Ye H C, Shen C, Huang Y, et al. Spatial variability of available soil microelements in an ecological functional zone of Beijing [J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2015, 187 (2): 13.
- [19] 蒋靖怡, 杨婉珍, 康传志, 等. 中药材栽培地土壤肥力评价 [J]. 中国中药杂志, 2018, (4): 847-852.
- [20] 侯传庆. 上海土壤 [M]. 上海: 上海科学与技术出版社, 1992.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第3版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [22] DB31/T 769-2013, 园林绿化工程种植土壤质量验收规范 [S]. 上海: 上海市园林科学规划研究院, 2013.
- [23] 全国土壤普查办公室. 中国土壤 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [24] 邹桂梅, 黄明勇, 苏德荣, 等. 滨海盐碱地城市绿地土壤肥力的时空变化特征 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (5): 110-115.
- [25] 郝瑞军. 上海城市绿地土壤肥力特征分析与评价 [J]. 上海农业学报, 2014, 30 (1): 79-84.
- [26] 马秀梅. 北京城市绿地土壤 pH、可溶性盐及孔隙度特征研究 [J]. 河北林果研究, 2013, 28 (4): 384-387.
- [27] 李志国, 张过师, 刘毅, 等. 湖北省主要城市园林绿地土壤养分评价 [J]. 应用生态学报, 2013, 24 (8): 2159-2165.
- [28] 郭鹏, 郭平, 康春莉, 等. 城市土壤吸附重金属动力学特征及其与土壤理化性质的关系 [J]. 环境保护科学, 2008, 34 (6): 23-26.
- [29] 周建强, 伍海兵, 方海兰, 等. AB-DTPA 浸提法研究上海中心城区绿地土壤有效态养分特征 [J]. 土壤, 2016, 48 (5): 910-917.
- [30] 谢如林, 谭宏伟, 周柳强, 等. 不同氮磷施用量对甘蔗产量及氮肥、磷肥利用率的影响 [J]. 西南农业学报, 2012, 25 (1): 198-202.
- [31] 袁子茹, 任灵, 陈建纲, 等. 祁连山不同草地类型土壤有机质与全氮分布的关系 [J]. 草原与草坪, 2016, 36 (3): 12-16.

### Analysis and comprehensive evaluation of soil fertility characteristics for the urban park in Shanghai

LUO Yu-zhen<sup>1</sup>, ZHANG Wei-wei<sup>2</sup>, LI Ya-ying<sup>3</sup>, YAO Huai-ying<sup>3</sup>, WANG Yong-jie<sup>1\*</sup>, HAN Ji-gang<sup>2\*</sup> (1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 200120; 2. Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Shanghai 200030; 3. Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen Fujian 361021)

**Abstract:** 87 soil samples (0 ~ 20 cm) from 65 urban parks were collected in 16 districts of Shanghai in order to improve the eco-function of urban green space system and find out the soil fertility status of green space in Shanghai park. In this study, 15 chemical indexes were selected, and soil fertility characteristics were evaluated by single factor evaluation, comprehensive evaluation and GIS. The results showed that the pH value of Shanghai park green space topsoil was alkaline and the electrical conductivity (EC) was relatively low. The content of organic matter, total nutrient and available nutrient was mainly at the medium level. The available molybdenum was lack in most park soils. The contents of potassium, calcium, magnesium, sulfur, iron, and manganese were sufficient. Total nitrogen and available phosphorus showed strongly variable. The Integrated Fertility Index (IFI) of Shanghai park green space was at middle level and showed a trend of gradual improvement from south to north. The soil limiting factors were pH, total and available nitrogen, available phosphorus, and available molybdenum. Measures such as improving soil pH, cultivating leguminous plant and applying micronutrient fertilizer should be adopted to improve soil fertility quality.

**Key words:** park green space; soil fertility; limiting factors; comprehensive evaluation