

# 徐州市不同功能城区绿地土壤的理化性质分析

于法展, 尤海梅, 李保杰, 赵 文  
(徐州师范大学城市与环境学院, 江苏 徐州 221116)

**摘 要:** 以徐州市三环路内不同功能区的绿地土壤为研究对象, 通过对城区土壤的理化性质与养分状况等指标进行测定分析, 并与该地区自然土壤进行了对比, 研究其变化的趋势。结果表明: 该绿地土壤的容重较大, 孔隙度和田间持水量少, 有机质缺乏, 养分含量不均, pH 值明显向碱性的方向演变。

**关键词:** 绿地土壤; 理化性质; 养分状况; 徐州市

中图分类号: S152; S153

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007) 03-0085-04

## Analysis of Physicochemistry Properties of Greenbelt-soil Different City Zones in Xuzhou City

YU Fa-zhan, YOU Hai-mei, LI Bao-jie, ZHAO Wen

(College of Urban and Environmental Sciences, Xuzhou Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

**Abstract:** The subject of the paper is the greenbelt-soil in the different functional areas in Xuzhou. The purpose is to research the trend of change by analyzing indicators of physical and chemical properties and nutrients in the soil of these functional areas, and by comparing the natural cinnamon soil in these areas. Finally it is found that the green soil unit is larger, pore degrees and the ability of preserving the water are small, organic substance is lack, the content of nutrient distributes uniform, and the trend of pH value is upward.

**Key words:** greenbelt soil; physicochemistry properties; nutrient status; Xuzhou city

城市绿地是城市范围内生长园林植物的绿化地块的总称, 而绿地土壤是城市绿化的一个重要组成要素, 既是城市植被的立地基础和生长介质, 又是城市生态系统和能量循环与转化的必要环节<sup>[1,12]</sup>。以前对城市生态系统的研究多侧重大气、水、生物等因子, 而对城市绿地土壤的研究与保护未能受到重视<sup>[15]</sup>。因此, 为了促进生态化城市建设和保证城市可持续发展, 应及时开展对城市绿地土壤变化规律的系统研究。本文就是以徐州市为例, 对其绿地土壤的人为干扰类型特点及变化规律作系统研究, 这在理论上可以拓展土壤学的研究领域, 使土壤学与园林学有机地结合起来; 在实践上可以为当地城市绿地规划及城市绿化提供技术支持。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究区自然概况

徐州市地处江苏省西北部, 地理位置为北纬 33°43′~34°58′, 东经 116°22′~118°40′, 总面积 1 157 100 hm<sup>2</sup>, 总人口 925.31 万人, 其中市区(不包括贾汪区)有 24 500 hm<sup>2</sup>, 人口 130.87 万人。该区属于暖温带季风气候, 年均气温 14.2℃, 1 月平均气温 0℃, 7 月平均气温 27.0℃, 极端最高气温 40.6℃, 极端最低气温 -22.6℃; 多年平均降水量 847.9 mm, 季节分配不均, 春季降水占全年降水的 18.6%, 夏季 56.8%, 秋季 18.9%, 冬季 5.7%。建成市区园林绿地

面积 3 823.20 hm<sup>2</sup>, 绿地率 32.4%; 绿化覆盖面积 4 283.40 hm<sup>2</sup>, 绿化覆盖率 36.3%; 公共绿地面积 1 046.24 hm<sup>2</sup>, 人均公共绿地面积 7.96 m<sup>2</sup>。市区土壤主要包括粗骨褐土与淋溶褐土 2 个亚类, 自然生长有杂草、旱生阔叶林植被, 土壤层次发育明显, 其剖面形态一般由表土层、淀积层、母质层组成<sup>[9]</sup>。据分析统计<sup>[10,11]</sup>, 表土层质地为轻壤~中壤, 土壤容重为 1.18~1.39 g/cm<sup>3</sup>, 总孔隙度为 40.7%~51.9%, 非毛管孔隙度 4.8%~12.7%; 石灰反应强, 碳酸钙含量为 85~110 g/kg, 土壤 pH 值 7.5~8.5, 表土层至淀积层阳离子交换量为 10.7~23.6 cmol/kg 土; 表土层有机质平均为 10.3~28.2 g/kg, 全氮 0.70~1.63 g/kg, 全磷 0.62~1.35 g/kg, 全钾 20.1~30.3 g/kg, 碱解氮 55.0~105.0 mg/kg, 速效磷 3.0~8.5 mg/kg, 速效钾 120.5~195.0 mg/kg。

#### 1.2 实验设计与土样采集

将徐州市绿地按土地的利用类型划分为 4 个主要功能区, 即公园广场绿地、居民小区绿地、道路交通绿地和生产绿地<sup>[16]</sup>。根据所处城市主要功能区不同, 选取有代表性的采样区 8 个, 每个样区依据代表性植被、人为干扰情况和剖面形态特点等设置不同的样地(各样区土壤基本情况列于表 1), 每块样地取代表性采样点 3 个, 共 24 个取样点, 每个样点为 3 个土样混合。由于市区绿地覆盖草坪、树木和管理等原因, 不便进行剖面取土样, 用土壤钻采集。

\* 收稿日期: 2006-05-29

基金项目: 江苏省教育厅高校自然科学研究项目(03KJD170214); 徐州师范大学科研基金资助项目(04XLB23)

作者简介: 于法展(1972-), 男, 江苏丰县人, 硕士, 徐州师范大学城市与环境学院讲师, 主要从事城市土壤生态学研究。

1.3 测定项目与分析方法

对于采集回的土样做室内分析,土壤理化性质分析项目及方法为:土壤硬度测定用硬度计法,土壤容重、孔隙度与持水量测定用环刀法,土壤含水量测定用烘干法;土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化-硫酸亚铁还原滴定法,全氮测定采用半微量凯氏法,全磷测定采用硫酸-高氯酸-钼锑抗比色法,全钾测定采用氢氧化钠熔融-比色法,碱解氮测定采用碱解-扩散法,速效磷测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效钾测定采用乙酸铵提取-火焰光度法,pH 值测定采用酸度计法。

表 1 徐州市绿地各样区土壤基本情况

采样区	采样点	样地 编号	植被种类	植物 长势	人为活动	剖面形态
云龙公园	正门西侧	1	乔、灌木	一般	植树	侵入体、结构破坏
	雕塑前	2	灌木、草坪	较好	移栽、践踏	人为推垫,层次明显
	墙后侧	3	乔木	一般	填埋、移栽	人为扰动、无结构
古彭广场	大楼左侧	4	乔木	一般	堆积、植树	大量侵入体、孔隙多
	中心绿地	5	灌木、草坪	茂盛	扰动、培肥	新结构体形成
	机关北侧	6	乔木	一般	堆积、践踏	垃圾混合、无结构
西苑小区	正门右侧	7	乔木、杂草	一般	植树、培肥	扰动不明显、根系少
	公用地前	8	灌木、杂草	一般	扰动、种草	侵入体、质地良好
	西门内侧	9	乔、灌木	一般	堆积、填埋	扰动明显、结构差
徐州人家	天桥东侧	10	乔木	较好	扰动、堆积	质地良好、侵入体
	北墙外	11	乔、灌木	一般	移栽、堆垫	侵入体混杂、无结构
	北门内侧	12	灌木、草坪	一般	堆积、扰动	孔隙大、有侵入体
中山路	体育场南	13	乔木、杂草	较差	种草、堆积	侵入体多、结构不明显
	中央绿化带	14	灌木	较好	移栽、培肥	层次明显、少量侵入体
	牌楼附近	15	乔木	一般	植树	扰动明显、结构破坏
淮海路	东站附近	16	乔、灌木	一般	填埋、堆积	大量侵入体、无结构
	慢车道绿化带	17	灌木	一般	扰动、移栽	土质疏松、孔隙多
	永安商场外	18	乔木	一般	移栽、填埋	结构不明显、较紧实
亚华生态园	花园区	19	花卉、灌木	茂盛	植树、培肥	土质疏松、土层明显
	吊桥附近	20	乔木	一般	植树、堆积	侵入体、结构不明显
	南门内侧	21	乔、灌木	较好	移栽、培肥	侵入体混杂、结构破坏
绿健乳品厂	基地南侧	22	乔木	一般	植树、填埋	扰动、有侵入体混杂
	隔离带附近	23	灌木、草坪	较好	移栽、培肥	人为堆垫层次明显
	基地后侧	24	乔、灌木	一般	植树、扰动	扰动明显、有少量砾石

表 2 徐州市绿地表土主要物理性质(平均值±标准差)

采样区	硬 度/ (kg·cm <sup>-2</sup> )	容 重/ (g·cm <sup>-3</sup> )	田间持 水量/%	饱和持 水量/%	毛管孔 隙度/%	总孔隙度 /%
云龙公园	13.76±4.21	1.41±0.51	31.35±12.57	42.16±23.62	35.23±14.67	44.15±26.31
古彭广场	15.13±3.31	1.45±1.06	29.68±19.63	39.32±13.77	33.67±21.41	39.87±13.85
西苑小区	11.07±5.42	1.43±0.79	30.19±11.82	44.08±25.17	37.12±20.17	42.62±21.57
徐州人家	15.22±3.99	1.38±0.68	28.95±9.67	37.71±24.92	34.93±18.35	41.81±27.04
中山路	19.75±1.98	1.56±0.95	29.47±15.55	46.89±20.91	31.72±12.28	40.55±19.36
淮海路	21.38±3.46	1.59±0.83	27.84±14.21	40.45±17.73	32.46±19.43	41.73±18.31
亚华生态园	13.14±5.62	1.30±0.42	35.29±13.65	49.63±21.66	38.85±21.39	45.16±16.58
绿健乳品厂	16.27±2.49	1.39±0.57	32.25±17.33	38.48±15.82	36.26±11.72	43.19±16.52

2.1.3 绿地土壤孔隙度

土壤的孔隙状况包括总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度及其比例,决定着土壤水、肥、气、热的协调,尤其对水、气关系影响最为显著<sup>[2]</sup>。一般土壤的孔隙度在 35%~

2 结果与分析

该区绿地土壤的物理性质分析为原状土测试结果的平均值,化学性质和养分测试为各采样点测试的平均值(即 3 个采样点取平均)。

2.1 城市绿地土壤的物理性质

经过在徐州市各采样区测定的绿地表土(0~20 cm)基本物理性质(列于表 2)与当地土壤的基本物理性质进行比较可知:徐州城市绿地土壤由于建筑堆垫、机械重压、人为扰动和游人频繁践踏,土壤密实,容重大,通气性差,持水量较低。

2.1.1 绿地土壤容重

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<sup>[3-13]</sup>,从表 2 中比较可知:(1)徐州市绿地土壤与该地区自然褐土容重(1.39 g/cm<sup>3</sup>)相比,80%以上的绿地土壤容重超过自然褐土的表土容重,前者明显高于后者,最大差值达 0.29 g/cm<sup>3</sup>,表明该区绿地土壤压实践踏的影响很严重,这是城市绿地土壤人为干扰的一个重要特征;(2)市区中心人为活动密集处绿地土壤容重最大(1.59 g/cm<sup>3</sup>),如市区繁华的中山路、淮海路(样号 13、16、18 等),人为干扰性大,踏实较严重;(3)加设围栏等标志的城市绿地土壤容重明显降低,如古彭广场、亚华生态园、乳品厂等围栏内的土壤(样号 5、19、23 等),可见其人为保护设施的重要性。

2.1.2 绿地土壤硬度特征

土壤硬度是土壤的物理性质之一,对土壤翻耕的难易、水分状况、植物根系的发育和分布等都有重要意义<sup>[2,14]</sup>。土壤硬度随土壤深度的变化会表现出不同的特征。经测定,该城区土壤硬度的变化大致可以分为 3 种类型:(1)土壤硬度随土壤深度增加而逐渐较小,如样地编号 5、8、14、17、23,这类土壤上层受人或机械的踏压作用,比较紧实,随着土壤深度的增加,踏压作用减小,土壤逐渐变得疏松;(2)土壤硬度开始随土壤深度增加而减小,某一深度以后逐渐增加,如样地编号 1、6、13、15、18、24,这类土壤多为路基基础上有深厚的复填层,其厚度一般大于 60 cm;(3)土壤硬度开始随土壤深度增加而减小,某一深度以后逐渐增加,然后再减小,如样地编号 3、4、9、16、22,这类土壤多为表层和复填层之间夹有复杂的添埋物(如砖石、建筑垃圾、煤灰等),厚度一般小于 20 cm。

60%,其中非毛管孔隙度应占总孔隙度的 20%为好,低于 20%往往通气性不良<sup>[4][20]</sup>。徐州市绿地土壤非毛管孔隙度占总孔隙度比例为 17.47%(表 2 中的平均值),其比例小于 20%,预示着该地区绿地土壤通气不良现象可能普遍存

在。徐州城市绿地土壤与该地区自然褐土孔隙度比较情况如图 1 所示: 徐州城市绿地土壤平均总孔隙度(42.39%) 较该地区自然褐土略低, 毛管孔隙度(35.03%) 也低于自然褐土, 表明城市绿地土壤地表通气排水性差; 另外行道树绿地土壤孔隙度均要小于公园与广场绿地土壤的孔隙度, 因游人、车辆等人为践踏所致。

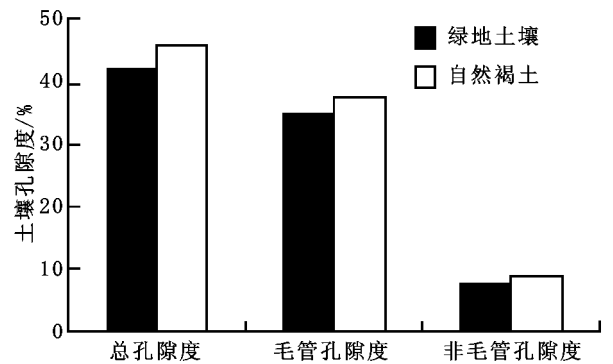


图 1 徐州城市绿地表土土壤孔隙度状况比较

2.1.4 绿地土壤持水量

以田间持水量为例, 徐州城市绿地土壤田间持水量远低于该地区自然褐土的田间持水量, 差值在 4.92%~ 15.26% 之间, 草坪土壤的田间持水量小于行道树绿地土壤的田间持水量。

总之, 该区土壤由于人为践踏和机械压实, 土壤容重较大、孔隙度降低、大孔隙比例失调、持水量小、通气透水性变差。过于紧实的土壤还直接障碍绿地植物根系的生长, 常危及树木生存和导致草坪退化。

2.2 城市绿地土壤的养分状况及化学性质

城市绿地土壤特殊的形成过程和相关物理性质, 导致其养分状况及化学性质与其它土类不同<sup>[17]</sup>。现对徐州城市绿地土壤的有机质、全量养分、有效养分、pH 值状况的分析结果列于表 3, 为便于比较, 将该地区自然褐土的平均养分状况及化学性质列于表 4。

2.2.1 绿地土壤有机质特性

土壤有机质在土壤形成与土壤肥力发展过程中起到重要作用, 直接影响着土壤的理化性质及生物学特性<sup>[6, 18]</sup>。根据测试分析结果可知: 徐州城市不同绿地表层(0~ 20 cm) 土壤有机质含量平均值为 7.9~ 13.2 g/kg, 该值(除生产绿地) 均低于自然褐土的有机质含量(10.9 g/kg), 说明徐州城市绿地土壤的有机质含量有下降趋势, 其含量较高的是亚华生态园及绿健乳品厂(属生产绿地), 原因可能为自然土壤扰动较轻, 并有较多的枯枝落叶腐解补充所致; 其含量最低的为行道树土壤, 如公园广场和道路交通绿地, 原因为枯枝落叶可能被清除, 土质中砂石成分较多。另外, 徐州城市不同绿地土壤有表层有机质含量高于下层的趋势, 但有些样区土壤剖面有机质含量无规律性, 尤其是小区、庭院、花圃, 表明城市绿地土壤人为搅动、翻动严重, 生土、熟土相混合, 无层次性。

2.2.2 绿地土壤氮素特性

全氮量是土壤氮素养分的储备指标, 在一定程度上说明土壤氮的供应能力, 较高的含氮量常标志较高的氮素供应水平<sup>[5]</sup>。根据测试结果可知, 徐州城市绿地土壤平均含氮量(0.69 g/kg) 低于自然褐土的全氮量(0.88 g/kg); 城市主要功能区的平均全氮含量的大小顺序为: 生产绿地(亚华生态园 0.85 g/kg) > 公园广场绿地(0.71 g/kg) > 居民小区绿地(0.69 g/kg) > 道路交通绿地(0.63 g/kg)。

表 3 徐州城市绿地各样区测定土壤养分状况及化学性质

采样区	样地编号	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全量养分/(g·kg <sup>-1</sup> )			有效养分/(mg·kg <sup>-1</sup> )			pH 值
			全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾	
									(H <sub>2</sub> O)
	1	8.6	0.59	0.42	18.1	39.7	1.8	133.8	8.6
云龙	2	9.8	0.86	0.53	19.0	52.3	3.9	224.1	7.9
公园	3	8.3	0.61	0.38	20.1	37.2	2.1	1.8.4	8.4
	平均	8.9	0.69	0.44	19.1	43.1	2.6	155.4	8.3
	1	7.5	0.54	0.76	19.4	37.8	2.4	99.5	9.2
古彭	2	9.0	0.93	0.40	17.4	61.6	6.1	169.0	7.4
广场	3	7.2	0.72	0.61	21.0	42.5	2.6	107.5	8.7
	平均	7.9	0.73	0.59	19.3	48.3	3.7	125.3	8.4
	1	9.1	0.67	0.58	17.5	50.5	3.5	73.6	8.6
西苑	2	10.4	0.86	0.64	23.8	63.0	8.2	104.3	7.4
小区	3	8.2	0.77	0.42	18.0	43.1	2.5	86.8	8.3
	平均	9.2	0.76	0.55	19.8	52.2	4.7	88.2	8.1
	1	7.7	0.48	0.51	15.6	31.8	1.7	75.5	8.9
徐州	2	9.6	0.57	0.49	16.3	40.5	1.9	88.1	8.6
人家	3	10.7	0.79	0.99	18.9	45.7	2.2	100.5	8.1
	平均	9.3	0.61	0.66	17.0	39.3	1.9	88.0	8.5
	1	8.1	0.41	0.33	15.3	34.6	1.9	91.6	8.2
中山	2	11.3	0.75	0.81	24.2	68.2	9.3	123.9	7.5
路	3	8.8	0.56	0.29	16.8	40.3	2.6	84.3	9.1
	平均	9.4	0.57	0.48	18.7	47.7	4.6	99.9	8.3
	1	9.9	0.50	0.21	16.3	33.5	2.7	71.7	8.9
淮海	2	10.8	0.96	0.62	19.4	69.6	8.1	131.0	7.4
路	3	7.8	0.57	0.35	17.4	37.7	2.0	92.2	9.5
	平均	9.5	0.68	0.39	17.7	46.9	4.3	98.3	8.6
	1	18.7	1.21	0.48	23.9	73.1	8.6	174.2	7.6
亚华	2	9.2	0.60	0.67	17.5	35.8	1.9	118.3	8.3
生态园	3	11.6	0.74	0.55	19.4	59.4	4.8	156.7	8.2
	平均	13.2	0.85	0.57	20.3	56.1	5.1	149.7	8.0
	1	8.9	0.43	0.23	19.7	48.8	2.9	110.0	8.8
绿健	2	13.4	0.88	0.40	24.5	63.2	4.3	149.6	7.6
乳品厂	3	10.1	0.48	0.95	16.0	31.5	2.4	97.1	9.1
	平均	10.8	0.59	0.53	20.1	47.8	3.2	118.9	8.5

表 4 徐州地区自然褐土平均化学性质

土类	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH 值
土壤								(H <sub>2</sub> O)
山黄土	10.3	0.79	58.1	0.58	3.5	26.4	123.5	7.9
蓬砂土	8.7	0.71	55.6	1.35	2.2	20.2	61.0	7.5
金黄土	11.4	0.86	69.1	0.67	3.8	28.3	117.5	8.0
山淤土	13.1	1.15	76.4	0.82	4.1	27.4	169.0	8.3
平均值	10.9	0.88	64.8	0.85	3.4	25.6	117.8	7.9

碱解氮能较好地反映出近期内土壤氮素供应状况和氮素释放速率<sup>[6, 19]</sup>。根据测试分析结果得出, 8 个样区的土壤碱解氮含量均低于自然褐土的平均值(64.8 mg/kg), 表明徐州城市绿地土壤的有效氮相对缺乏, 不能更好的供植物对氮素的需要。亚华生态园和有古树的小区、公园土壤碱解氮含量相对较高, 这与增加有机质、换土、改土和开发时间不长有关; 而个别小区、街道绿地土壤碱解氮含量相对较低, 是人为

清扫等原因使氮素释放速率较慢所致,在碱解氮方面肥力较弱。

### 2.2.3 绿地土壤磷素特性

土壤磷大部分是以迟效态存在的,全磷量是表达土壤中磷素养分储备的一个相对指标,它反映了土壤不断补充有效磷消耗的最大可能性<sup>[3,7]</sup>。徐州城市绿地土壤全磷含量的平均值(0.54 g/kg)明显低于自然褐土的全氮量(0.85 g/kg),说明该区土壤全磷量有明显降低的趋势。

速效磷可用以表示近期内植物可利用磷的多寡,它标志着土壤供磷能力的大小<sup>[4,5]</sup>。徐州城市绿地土壤中速效磷的含量差异性较大,变幅为速效磷 1.9~5.1 mg/kg,平均值为 3.7 mg/kg,而该区自然褐土速效磷的平均值为 3.4 mg/kg。这说明城市垃圾、有机肥以及污水灌溉,致使绿地土壤中速效磷含量有增高趋势;另外城市绿地不同地点人为作用(建筑垃圾和生活垃圾的堆垫类型的影响)的强度不同,导致土壤中磷素差异性较大。

### 2.2.4 绿地土壤钾素特性

钾素是植物生长所必需的营养养分之一,植物所能利用的钾是速效性钾,它能真实反映土壤中钾素的供应情况<sup>[3,6]</sup>。根据测试分析结果得出,徐州城市绿地土壤全钾含量的平均值(19.0 g/kg)明显低于自然褐土的全钾量(25.6 g/kg),不难看出,该区绿地土壤中全钾相对缺乏。不同功能区的平均全钾含量的大小顺序为:生产绿地(20.2 g/kg) > 公园广场绿地(19.1 g/kg) > 居民小区绿地(18.4 g/kg) > 道路交通绿地(18.2 g/kg),说明城区人为活动的方式和强度不确定性是造成全钾含量偏低的主要原因。

徐州城市绿地土壤中速效钾的含量平均值为 115.5 mg/kg,与该区自然褐土速效钾的平均值(117.8 mg/kg)大参考文献:

致相当;而 8 个样区绿地土壤中速效钾的含量变幅为 88.0~155.4 mg/kg,相差近 2 倍,说明不同功能区之间土壤中速效钾的含量存在差异性,如云龙公园、亚华生态园绿地土壤速效钾明显富集。

### 2.2.5 绿地土壤酸碱性特征

土壤的酸碱性通常用 pH 值表示,它能直接影响土壤中养分的存在状态、转化和有效性<sup>[8,20]</sup>。8 个样区绿地土壤中 pH 值都在 8.0~8.6 之间,这与该区自然褐土平均 pH 值(7.9)相比,土壤 pH 值总的趋势明显向碱性的方向演变。说明该城区土壤偏碱性,主要与城市堆积物、灰尘、沉降物及水泥铺装风化等因素有关。

## 3 结论与讨论

由以上分析结果可知,徐州城区内被测试土样与当地一般的农林业土壤或自然土壤存在一定差异,概括其主要理化性质为:(1)土壤层次繁杂,分布无规律;(2)受人为践踏和机械压实的影响,地表过于紧实,容重增大,孔隙度降低,通气渗水性差;(3)田间持水量低,人为搅动侵入体影响保湿功能,土壤易旱,不利于绿地植物正常生长;(4)有机质缺乏,全量养分含量偏低,有效养分不均衡,供肥保肥性差;(5)受人为因素影响,pH 值明显向碱性的方向演变,局部碱性污染较明显。此外,从绿地类型上加以比较、分析,徐州城市绿地土壤理化性质各样区优劣顺序为:生产绿地 > 公园广场绿地 > 居民小区绿地 > 道路交通绿地。

本文仅对研究对象进行了一次性的取样分析,若能对该城市不同功能区土壤进行长期定位调查分析,并结合当地绿地植物进行综合研究,则可以了解城市绿地土壤的动态变化,为建立城市绿地土壤档案提供资料。

- [1] Craul P J. The mature of urban soil: their problems and future[J]. *Arboricultural Journal*, 1994, 18: 27.
- [2] Hant B, Walmsly TJ, Bradshaw AD. Importance of soil physical conditions for urban tree growth[A]. In: Hodge SJ (ed). *Research for Practical Arboriculture*[M]. London: Forestry Commission Bulletin 97, HMSO, 1991. 51-62.
- [3] Jim CY. Oil compaction as a constraint to tree growth in tropical and subtropical urban habitats[J]. *Environmental Conservation*, 1993, 20(1): 35.
- [4] Kelsey P, Hootman R. Soil resource evaluation for a group of sidewalk street planters[J]. *Arboricultural Journal*, 1990, 16(5): 113.
- [5] Short JR et al. Soils of Mall in Washington DC: I statistical summary of properties[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1986, 50: 699-705.
- [6] Jim CY. Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth[J]. *Urban Ecosystems*, 1998, 2: 171-178.
- [7] Peter B et al. *Soils in the Urban Environment*[M]. London: Blackwell Scientific Publications, 1991. 1-192.
- [8] Bullock P, Gregory P. *Soil in the urban environment*[M]. Oxford: Black well Scientific Publications, 1991.
- [9] 江苏省徐州市土壤普查办公室. 徐州市土种志[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [10] 江苏省徐州市农业局. 徐州土壤与农业图集[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1986.
- [11] 中国土壤数据库[DB/OL]. <http://issas1.issas.ac.cn>.
- [12] 崔晓阳, 等. 城市绿地土壤及其管理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.
- [13] 龚学坤, 等. 北京地坛主要浏览绿化区土壤障碍因素初探[J]. *北京农学院报*, 1995, 10(1): 82-84.
- [14] 李玉和. 城市土壤密度对园林植物生长的影响及利用措施[J]. *中国园林*, 1995, 11(3): 41-43.
- [15] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤分类概述[J]. *土壤通报*, 1999, 30(1): 60-64.
- [16] 徐波, 等. 关于城市绿地及其分类的若干思考[J]. *中国园林*, 2000, 16(5): 29-32.
- [17] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤的特征及其分类的初步研究[J]. *土壤*, 2001, 33(1): 47-51.
- [18] 马建华, 张丽, 李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究[J]. *土壤通报*, 1999, 30(2): 93-96.
- [19] 边振兴, 王秋兵. 沈阳市公园绿地土壤养分特征的研究[J]. *土壤通报*, 2003, 34(4): 284-290.
- [20] 孟昭虹, 周嘉. 哈尔滨城市土壤理化性质研究[J]. *哈尔滨师范大学学报*, 2005, 21(4): 102-105.