

上海中心城区典型绿地土壤物理性质特征研究^①

伍海兵^{1,2}

(1 上海市园林科学规划研究院, 上海 200232; 2 上海城市困难立地绿化工程技术研究中心, 上海 200232)

摘要:以浦西为主的上海中心城区典型公园和公共绿地土壤为研究对象,通过野外调查,分析绿地土壤基本物理特性、各物理性质的相关性以及不同植被类型对土壤基本物理性质的影响。结果表明:上海中心城区绿地土壤质地黏重,以粉(砂)质黏壤土为主;土壤体积质量偏高,37.72%的土壤超过《绿化种植土壤》要求;土壤孔隙较差,82.46%土壤非毛管孔隙度不符合标准要求,有高达95.61%绿地土壤总孔隙度不能满足植物正常生长;土壤饱和导水率较低,有86.85%的土壤小于5 mm/h;土壤持水能力差。除了饱和导水率与其他物理性质相关性不显著外,各物理性质均存在极显著相关性($P < 0.01$)。乔木地和灌木地的土壤物理性质明显优于草地。建议增施砂子和有机基质等改良材料,减少绿地土壤压实和增加绿地中乔、灌木比例来改善城市绿地土壤物理性质,以期提升城市绿地生态功能发挥。

关键词:物理性质;绿地土壤;植被类型;上海中心城区

中图分类号:S152.7; S152.5; S152.7 **文献标识码:**A

城市绿地土壤是城市生态系统的重要组成部分,对维持良好的城市生态环境和可持续发展具有重要作用^[1]。随着我国城市绿化进程的快速发展和对生态环境质量要求的提高,绿化建设在我国得到前所未有的发展,并成为城市建设和评价的重要内容^[2]。为了满足城市快速绿化需求,大量的机械被用于绿化施工中,绿地土壤压实现象普遍,并成为土壤主要障碍因子^[3-4];另一方面快速绿化导致绿化用土紧缺,绿地土壤来源复杂,土层中常掺杂着底层土、生土以及大量的建筑垃圾等,土体层次混乱,土壤结构较差^[5],大量研究报道证实土壤物理性质退化是导致城市植物长势不佳的主因^[6-7],如美国中心公园95%的植物死亡都是由土壤物理性质差引起的^[8]。土壤物理性质不仅直接影响植物生长,也直接影响城市地表径流、城市洪涝和雨洪利用效果^[9-10]。2013年国务院出台的《关于加强城市基础设施建设的意见》中提出“提升城市绿地汇集雨水、蓄洪排涝、补充地下水、净化生态等功能”,城市绿地的生态功能越来越引起人们的关注,而土壤物理性质直接影响着城市绿地土壤生态功能的发挥。但在城市土壤研究中,人们更关注其污染和养分的研究^[11-13],对城市土壤物理性质缺少基础研究,而土壤物理性质直接影响植物的生长发育和绿地生态功能的发挥,为此,急需了解城市绿地土壤物

理性质特征。本研究以上海浦西段中心城区公园和公共绿地为典型案例,对中心城区绿地土壤基本物理性质进行调查分析,以期城市绿地土壤物理性质的改良和绿地的综合管理提供技术支撑,提高城市绿地土壤质量和绿地生态功能的发挥,为海绵城市的雨水蓄积和排涝提供数据支撑。

1 研究区域和方法

1.1 研究区域概况

上海属北亚热带季风气候,年均气温17.6℃,最高气温40.2℃,最低气温-12.1℃,年均日照时数1886h,年均降雨量为1103mm,年陆地蒸发量为1257mm。隶属上海中心城区浦西地段包括徐汇、长宁、静安、闸北、虹口、黄埔、杨浦和普陀8个区。

1.2 研究方法

1.2.1 样品采集和处理 本研究以浦西为主的上海中心城区典型公园和公共绿地为研究对象,于2015年7—9月进行采样,每个行政区选择2~3个典型公园和公共绿地,选取了中心城区19个公园和公共绿地,根据公园和公共绿地面积以及植被类型分布确定采样点,采集0~30cm表层土壤,每个采样点做5组重复,共采集114个样品,采样点分布见图1。

基金项目:上海市科委项目(14DZ0503200)和上海科委科技专项(17DZ1202801)资助。

作者简介:伍海兵(1986—),男,安徽芜湖人,硕士,工程师,主要从事城市土壤物理性质研究。E-mail: wuhaibing22@163.com

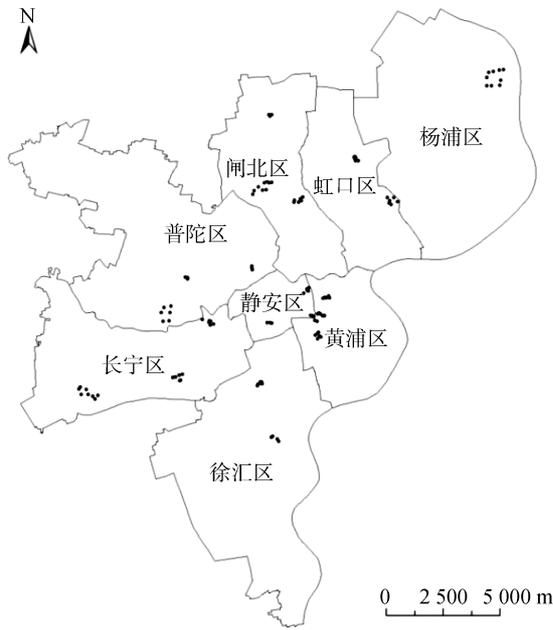


图 1 上海中心城区土壤采样点分布

Fig. 1 Soil sampling sites in central urban area of Shanghai

1.2.2 测定方法 土壤体积质量、总孔隙度、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、饱和持水量和田间持水量采用环刀法测定；土壤颗粒组成采用密度计法测定，具体分析参照《森林土壤分析方法》^[14]，土壤饱和和导水率采用 28K1 Guelph 入渗仪现场测定。数据分析采用 Excel 2007 和 SPSS17.0 软件。

2 结果与分析

2.1 上海中心城区土壤物理性质基本概况

2.1.1 土壤质地 上海中心城区绿地土壤颗粒组成如表 1 所示，其中土壤粉砂粒含量最高，其变化范围为 327.8 ~ 763.1 g/kg，均值为 596.7 g/kg；其次是黏粒含量，变化范围为 143.7 ~ 564.3 g/kg，均值为 353.5 g/kg；土壤砂粒含量最低，变化范围为 2.9 ~ 183.6 g/kg，均值仅为 49.8 g/kg。土壤各颗粒组成中，以粉砂粒和黏粒的变异系数较小，分别为 0.11 和 0.17；砂粒的变异系数最大，高达 0.76，由此可见，上海中心城区绿地土壤砂粒含量不但低，且含量变化较大。

根据美国制土壤质地划分标准，上海中心城区绿地土壤有黏土、粉(砂)质黏土、粉(砂)质黏壤土和粉(砂)壤土 4 种质地类型，其频率分布见图 2，以粉(砂)质黏壤土为主，占 80.72%；其次是粉(砂)壤土，占 12.05%；再次为粉砂质黏土，占 6.03%；黏土最少，占 1.20%。

2.1.2 土壤体积质量 上海中心城区绿地土壤体积质量最大值为 1.57 g/cm³，最小值为 0.98 g/cm³，均值为 1.31 g/cm³(表 1)，均值符合《绿化种植土壤》标准中要求土壤体积质量小于 1.35 g/cm³^[15]，但有

表 1 土壤基本物理性质
Table 1 Soil basic physical properties

| 参数 | 最大值 | 最小值 | 均值 | 标准差 | 变异系数 |
|---------------------------|--------|--------|--------|-------|------|
| 黏粒 (g/kg) | 564.3 | 143.7 | 353.5 | 60.7 | 0.17 |
| 粉砂粒 (g/kg) | 763.1 | 327.8 | 596.7 | 62.7 | 0.11 |
| 砂粒 (g/kg) | 183.6 | 2.9 | 49.8 | 37.7 | 0.76 |
| 体积质量 (g/cm ³) | 1.57 | 0.98 | 1.31 | 0.12 | 0.09 |
| 饱和持水量 (g/kg) | 626.68 | 259.78 | 379.46 | 70.07 | 0.18 |
| 田间持水量 (g/kg) | 551.96 | 242.58 | 347.79 | 58.96 | 0.17 |
| 非毛管孔隙度 (%) | 11.51 | 1.58 | 3.59 | 1.76 | 0.49 |
| 毛管孔隙度 (%) | 57.12 | 37.85 | 45.43 | 3.31 | 0.07 |
| 总孔隙度 (%) | 61.37 | 40.23 | 49.02 | 4.14 | 0.08 |
| 饱和导水率 (mm/h) | 96.76 | 0.00 | 3.50 | 10.34 | 2.96 |

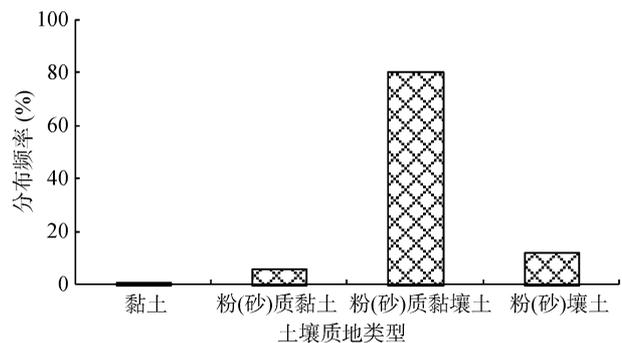


图 2 土壤质地类型频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of soil texture types

37.72% 的绿地土壤体积质量大于 1.35 g/cm³，不符合标准要求。土壤体积质量过大，影响植物根系生长，如 Reisinger 等^[16]研究表明，体积质量达到 1.40 g/cm³ 是根系生长的限制值，上海中心城区有 21.93% 绿地土壤体积质量高于 1.40 g/cm³，已严重危害植物根系生长发育。土壤体积质量偏大是城市绿地土壤共性的问题，如美国华盛顿中心开放公园表层土壤体积质量变化范围在 1.4 ~ 2.3 g/cm³ 之间^[17]，香港行道树土壤体积质量大多数都高于 1.3 g/cm³^[18]，北京颐和园覆盖下土壤体积质量高达 1.7 g/cm³ 以上^[19]。上海中心城区绿地土壤体积质量变异系数低，仅为 0.09，即说明上海绿地土壤体积质量变化不大。

2.1.3 土壤水分 土壤水分是土壤重要组成部分，是植物生长和生存的物质基础，土壤水分含量影响土壤中进行的各种物理、化学以及生化过程^[20-21]，是地表和大气之间通过蒸发的方式进行能量和水分交换的主要控制因子，很大程度上影响着植物的生长^[22]。土壤饱和持水量反映土壤在完全饱和状态下土壤的最大水分含量，上海中心城区绿地土壤饱和持水量变

化范围为 259.78 ~ 626.68 g/kg, 均值为 379.46 g/kg, 绿地土壤饱和持水量与一般自然林地的 650.5 ~ 899.9 g/kg 相比偏低^[23]。中心城区绿地土壤饱和持水量变异系数较低, 仅为 0.18, 各绿地土壤饱和持水量变化不大。田间持水量是土壤所能稳定保持的最高土壤含水量, 也是土壤中所能保持悬着水的最大量, 上海中心城区绿地土壤田间持水量变化范围为 242.58 ~ 551.96 g/kg, 均值为 347.79 g/kg, 土壤田间持水量与一般自然林地的 519.1 ~ 767.9 g/kg 相比偏低^[23]。中心城区绿地土壤田间持水量变异系数较低, 为 0.17, 说明各绿地土壤田间持水量总体变化不大。

2.1.4 土壤孔隙 土壤孔隙是土壤基本物理性质之一, 其影响水分在土表和土体内的迁移方式和途径, 直接影响着地表径流^[24], 是土壤中气相和液相物质转移的通道, 其大小、数量和空间结构决定了土壤中物质转移的形式和速率^[25]。上海中心城区绿地土壤非毛管孔隙度变化范围为 1.58% ~ 11.51%, 均值为 3.59%, 远低于《绿化种植土壤》要求的 5% ~ 25% 的标准^[15], 仅有 17.54% 的绿地土壤非毛管孔隙度符合此标准。中心城区绿地土壤非毛管孔隙度变异系数较大, 为 0.49, 各绿地土壤变化较大。土壤毛管孔隙度变化范围为 37.85% ~ 57.12%, 均值为 45.43%, 城市绿地土壤毛管孔隙度与一般自然林地土壤的 52.88% ~ 61.09% 相比较低^[23]。土壤总孔隙度变化范围为 40.23% ~ 61.37%, 均值为 49.02%, 而一般适于植物生长的土壤总孔隙度为 50% ~ 56%^[26], 上海中心城区有 95.61% 绿地土壤总孔隙度小于 50%, 由此可见, 中心城区绿地土壤总孔隙度偏低, 已严重阻碍植物生长。上海中心城区绿地土壤毛管孔隙度和总孔隙度变异系数均较低, 分别为 0.07 和 0.08, 说明各绿地土壤毛管孔隙度和总孔隙度变化不大。

2.1.5 土壤饱和导水率 土壤入渗性能是土壤重要物理性质之一, 是指单位时间内通过单位土壤表层渗吸到剖面的水量^[27], 土壤入渗直接影响着城市地

表径流和瞬时洪涝^[28], 一般描述土壤入渗性能有初始入渗率、平均入渗率、稳定入渗率以及饱和导水率 4 种参数^[29], 本研究用土壤饱和导水率表示。上海中心城区绿地土壤饱和导水率变化范围为 0 ~ 96.76 mm/h, 均值为 3.50 mm/h, 有 7.89% 的绿地土壤饱和导水率为 0 mm/h。若按日本绿化土壤饱和导水率的划分等级^[3]: 小于 10 mm/h 为极差、10 ~ 30 mm/h 为差、30 ~ 100 mm/h 为良好、大于 100 mm/h 为优; 那么上海中心城区绿地土壤饱和导水率非常差, 有高达 94.74% 绿地土壤属于极差水平, 有 3.51% 的绿地土壤属于差水平; 仅有 1.75% 的绿地土壤饱和导水率达到了良好水平。若按 2016 年新修订的住建部标准《绿化种植土壤》要求的一般绿化种植的土壤饱和导水率不小于 5 mm/h, 那么上海中心城区有 86.85% 绿地土壤小于 5 mm/h, 上海绿地土壤饱和导水率大部分达不到标准要求, 这也从一方面解释了在雨季上海中心城区容易积水和出现瞬时洪涝现象。上海中心城区绿地土壤饱和导水率变异系数与其他物理指标的变异系数相比, 其数值最大, 高达 2.96, 一方面可能是由于上海中心城区不同绿地养护方式和管理差异所致^[3], 另一方面可能是由于土壤饱和导水率受众多土壤因子影响^[30, 10], 本身空间变异较大^[31]。由此可见, 上海中心城区绿地土壤入渗性能较差, 而土壤入渗差也是我国城市绿地普遍存在的问题, 如魏俊岭等^[32]研究合肥绿地土壤入渗表明, 78.9% 的绿地属于中等和较慢等级; 而张波等^[33]研究深圳城市绿地土壤表明, 土壤入渗低于较快等级的比例高达 40.8%。

2.2 上海中心城区土壤物理性质相关性分析

上海中心城区绿地土壤各物理性质存在一定的相关性(表 2)。土壤体积质量与饱和持水量、田间持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度相关性均为极显著负相关($P < 0.01$), 但土壤体积质量与饱和

表 2 土壤物理性质相关性分析
Table 2 Correlation coefficients between soil physical properties

| 土壤参数 | 体积质量 | 饱和持水量 | 田间持水量 | 非毛管孔隙度 | 毛管孔隙度 | 总孔隙度 | 饱和导水率 |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|
| 体积质量 | 1 | -0.974** | -0.963** | -0.570** | -0.882** | -0.947** | -0.084 |
| 饱和持水量 | -0.974** | 1 | 0.982** | 0.609** | 0.903** | 0.981** | 0.054 |
| 田间持水量 | -0.963** | 0.982** | 1 | 0.450** | 0.956** | 0.956** | 0.056 |
| 非毛管孔隙度 | -0.570** | 0.609** | 0.450** | 1 | 0.265** | 0.636** | 0.036 |
| 毛管孔隙度 | -0.882** | 0.903** | 0.956** | 0.265** | 1 | 0.913** | 0.051 |
| 总孔隙度 | -0.947** | 0.981** | 0.956** | 0.636** | 0.913** | 1 | 0.056 |
| 饱和导水率 | -0.084 | 0.054 | 0.056 | 0.036 | 0.051 | 0.056 | 1 |

注: **表示相关性达到 $P < 0.01$ 显著水平。

导水率相关性不显著($P > 0.05$)。其中土壤体积质量与饱和持水量、田间持水量以及总孔隙度相关性最佳,相关系数均达到了 0.9 以上,分别为 -0.974 、 -0.963 和 -0.947 。土壤饱和持水量、田间持水量与总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度均为极显著正相关($P < 0.01$),但与饱和导水率相关性不显著。由此可见,除了土壤饱和导水率与土壤其他各物理性质相关性不显著外,土壤体积质量、饱和持水量、田间持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度以及总孔隙度之间均存在极显著正/负相关性。

2.3 不同植被下土壤物理性质的变化

2.3.1 不同植被下土壤体积质量的变化 上海中心城区不同植被下土壤体积质量存在差异(表 3),大小依次为草地 > 灌木地 > 乔木地。其中草地土壤体积质量最大,为 1.42 g/cm^3 ,高于《绿化种植土壤》标准要求,影响植物根系正常生长,而乔木地和灌木地土壤体积质量均值均符合该标准要求,只有个别土壤体积质量稍许

偏高。乔木地与灌木地土壤体积质量差异不显著($P > 0.05$);而乔木地、灌木地与草地土壤体积质量差异极显著($P < 0.01$);这与伍海兵等^[3]研究上海辰山植物园草地土壤体积质量显著高于灌木地、乔木地结果一致。

2.3.2 不同植被下土壤水分的变化 由于不同植被下土壤存在生物学特性、物种组成以及空间结构的差异,其土壤水分特性存在较大差异^[34]。上海中心城区不同植被下土壤各水分变化见表 3,不同植被下土壤饱和持水量、田间持水量变化趋势一致,大小关系均为乔木地 > 灌木地 > 草地。通过差异性分析得出,乔木地与灌木地土壤饱和持水量、田间持水量差异不显著,但乔木地、灌木地与草地土壤饱和持水量、田间持水量均达到了极显著差异($P < 0.01$),其中草地土壤饱和持水量分别为乔木地、灌木地的 82.15%、82.61%,草地土壤田间持水量分别为乔木地、灌木地的 83.97%、84.95%。由此可见,乔木地和灌木地土壤蓄水持水能力显著优于草地土壤。

表 3 不同植被下土壤物理性质的差异性分析
Table 3 Comparison of soil physical properties under different vegetation types

| 参数 | 乔木地 | 灌木地 | 草地 |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 体积质量(g/cm^3) | $1.27 \pm 0.09 \text{ bB}$ | $1.28 \pm 0.12 \text{ b B}$ | $1.42 \pm 0.09 \text{ aA}$ |
| 饱和持水量(g/kg) | $400.33 \pm 57.01 \text{ aA}$ | $398.09 \pm 77.02 \text{ aA}$ | $328.86 \pm 48.70 \text{ bB}$ |
| 田间持水量(g/kg) | $365.76 \pm 47.78 \text{ aA}$ | $361.56 \pm 64.62 \text{ aA}$ | $307.14 \pm 44.23 \text{ bB}$ |
| 非毛管孔隙度(%) | $3.89 \pm 1.67 \text{ aA}$ | $4.01 \pm 2.12 \text{ aA}$ | $2.66 \pm 0.76 \text{ bB}$ |
| 毛管孔隙度(%) | $46.38 \pm 2.66 \text{ aA}$ | $46.00 \pm 3.51 \text{ aA}$ | $43.48 \pm 3.07 \text{ bB}$ |
| 总孔隙度(%) | $50.27 \pm 3.28 \text{ aA}$ | $50.01 \pm 4.41 \text{ aA}$ | $46.14 \pm 3.41 \text{ bB}$ |
| 饱和导水率(mm/h) | $3.51 \pm 7.25 \text{ abA}$ | $5.55 \pm 15.41 \text{ aA}$ | $0.85 \pm 1.70 \text{ bA}$ |

注:同行数据后不同大、小写字母分别表示不同植被下土壤物理性质差异达到 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 显著水平。

2.3.3 不同植被下土壤孔隙的变化 上海中心城区不同植被下土壤孔隙存在差异(表 3)。土壤非毛管孔隙度大小依次为灌木地 > 乔木地 > 草地;土壤毛管孔隙度、总孔隙度大小均为乔木地 > 灌木地 > 草地。其中乔木地与灌木地土壤非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度差异均不显著($P > 0.05$);但乔木地、灌木地与草地土壤各孔隙均达到了极显著差异($P < 0.01$)。草地土壤非毛管孔隙度仅为乔木地、灌木地的 68.42%、66.29%;而草地土壤毛管孔隙度分别为乔木地、灌木地的 93.75%、94.54%;草地土壤总孔隙度分别为乔木地、灌木地的 91.80%、92.27%。由此可见,乔木地和灌木地土壤各孔隙分布均优于草地土壤,并以土壤非毛管孔隙表现得最为明显。

2.3.4 不同植被下土壤饱和导水率的变化 上海中心城区不同植被下土壤饱和导水率存在差异性(表 3)。其中灌木地土壤饱和导水率最大,为 5.55 mm/h ;

其次是乔木地土壤,为 3.51 mm/h ;草地土壤饱和导水率最低,为 0.85 mm/h ,仅为乔木地、灌木地的 24.35%、15.38%。通过差异性分析可以得出,乔木地与灌木地、草地土壤饱和导水率差异不显著($P > 0.05$),但灌木地与草地土壤达到了显著差异($P < 0.05$)。由此可见,灌木地和乔木地土壤的入渗性能要高于草地土壤,尤其是灌木地明显优于草地土壤。

3 讨论

城市绿地土壤与农林土壤物理性质存在差异,主要体现在绿地土壤孔隙偏低,体积质量偏大,一般城市绿地与农林土壤相比总孔隙度降低 13%~52%,体积质量增加 18%~94%,其他土壤物理性质也存在不同程度的退化^[35]。本研究也证实上海中心城区绿地土壤物理性质普遍较差,主要表现在土壤质地黏重,以粉(砂)质黏壤土为主,黏粒和粉砂粒含量高,砂粒

含量低，体积质量偏大，孔隙较差，持水能力一般。有 62.28% 的绿地土壤体积质量符合绿化种植土壤标准，但部分绿地土壤体积质量过大，最高达 1.57 g/cm^3 ，已严重危害植物根系生长。土壤通气性较差，非毛管孔隙度、毛管孔隙度以及总孔隙度整体偏低，尤其是土壤非毛管孔隙度和总孔隙度，有 82.46% 绿地土壤非毛管孔隙度不符合标准要求，有高达 95.61% 绿地土壤总孔隙度小于一般土壤要求总孔隙度最低为 50%。土壤饱和导水率均值小于 5 mm/h ，低于一般绿化种植土壤对土壤入渗要求，有高达 86.85% 的土壤不满足绿化种植要求。因此，土壤非毛管孔隙度和土壤入渗是上海绿地土壤质量主要障碍因子之一，这样在雨季容易积水，不仅直接导致植物积水严重死亡，而且降低了绿地的雨水蓄积能力，阻碍了绿地对城市蓄洪防涝功能，导致城市瞬时洪涝现象时常发生，大大降低了城市绿地景观效果和生态功能的发挥^[10]。

上海中心城区绿地土壤各物理性质之间存在一定的相关性，其中土壤体积质量、饱和持水量、田间持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度以及总孔隙度彼此间相关性均达到了极显著相关性($P < 0.01$)，但土壤饱和导水率与其他各物理性质相关性不明显，一方面可能是由于上海中心城区绿地土壤复杂，不同绿地土壤饱和导水率与其他物理指标相比变化很大，变异系数非常高($CV = 2.96$)，另一方面可能是由于饱和导水率受众多土壤因子共同影响^[30]，而单一的土壤物理指标对饱和导水率影响不明显。

不同植被下土壤物理性质差异明显，以乔木地和灌木地土壤体积质量、饱和持水量、田间持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度、总孔隙度以及饱和导水率均明显优于草地，这与伍海兵等^[3]对上海辰山植物园不同植被下土壤物理性质研究结果一致。乔、灌木地土壤物理性质相对较好可能是由于乔木和灌木根系发达，穿插能力强，向下延伸和扩展的范围大，使土壤疏松，形成较多孔隙，加之根系分泌物、残体等对土壤颗粒的胶结作用，促使团粒结构的形成，有效改善土壤各物理性质^[36]。

上海中心城区绿地土壤各物理性质相对较差可能受内外因两方面因素影响。其中内因是由上海本底土壤的物质组成所决定，土壤颗粒以黏粒和粉砂粒为主，质地黏重^[37]，从而导致土壤通气性差，排水能力弱，易积水，土壤抗压能力弱，易板结而引起土壤体积质量偏大^[38]。而外因和人为严重干扰直接相关，一方面由于城市绿地建设过程中机械化程度高，绿地建成后普遍存在压实；另一方面由于上海中心城区人口

密度大，绿地作为公众休闲娱乐主要场所之一，人为践踏引起的土壤板结现象普遍存在；而大量研究证实压实是引起城市土壤物理性质退化的主要因素^[3, 26]。

综上所述，受成土因素和土壤严重压实等因素影响，上海绿地土壤物理性质退化已经成为上海绿地土壤的主要障碍因子，为此，土壤物理性质的改善已经成为上海绿地土壤质量提升重中之重。鉴于上海本地土壤砂粒含量低的特点，对于黏重土壤适当添加砂子和有机基质等无机和有机的结构改良剂是大面积绿地改良的有效手段^[39-40]；绿地建设过程中应避免大中型机械的过度使用造成土壤的严重压实^[3]；在绿地植物配置上，适当增加乔木或灌木种植，通过其庞大根系系统来改善土壤结构，以达到改善土壤物理性质目的^[41-42]；对已建成绿地，应适当增加护栏或隔离带等措施，防止人为严重践踏^[43]。改善城市绿地土壤物理质量，对提高城市绿化质量和水平具有积极作用，从而充分发挥绿地的生态功能，为建立海绵型城市和生态宜居型城市提供技术保障。

4 结论

上海中心城区绿地土壤质地黏重，以粉(砂)质黏壤土为主；土壤体积质量偏高，均值为 1.31 g/cm^3 ，37.72% 的土壤超过《绿化种植土壤》要求；土壤孔隙较差，其中非毛管孔隙度均值为 3.59%，82.46% 土壤低于《绿化种植土壤》要求的 5%~25% 的标准，总孔隙度均值为 49.02%，有高达 95.61% 绿地土壤总孔隙度不能满足植物正常生长；土壤饱和导水率较低，均值仅为 3.50 mm/h ，有 86.85% 的绿地土壤小于 5 mm/h ；土壤持水能力差。上海中心城区绿地土壤各物理性质存在一定的相关性，除了饱和导水率与其他物理性质相关性不显著外，其他各物理性质均存在极显著相关性($P < 0.01$)。不同植被类型土壤物理性质存在差异性，其中乔木地和灌木地的土壤物理性质明显优于草地。

参考文献：

- [1] 卢瑛, 甘海华, 史正军. 深圳城市绿地土壤肥力质量评价及管理对策[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 153-156
- [2] 全国绿化委员会办公室. 2015 年中国国土绿化状况公报[N]. 人民日报, 2016-3-15
- [3] 伍海兵, 方海兰, 彭红玲, 等. 典型新建绿地上海辰山植物园的土壤物理性质分析[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 85-90
- [4] 杨金玲, 张甘霖, 赵玉国, 等. 城市土壤压实对土壤水分特征的影响——以南京市为例[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 33-38

- [5] 方海兰. 城市土壤生态功能与有机废弃物循环利用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2014
- [6] 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
- [7] Jim C Y. Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth[J]. Urban Ecosystems, 1998, 2: 171-181
- [8] Craul P J. Urban soil in landscape design[M]. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1992
- [9] Gill S E, Handley J F, Ennos A R, et al. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure[J]. Built Environment, 2007, 33: 115-133
- [10] 伍海兵, 方海兰. 绿地土壤入渗及其对城市生态安全的重要性[J]. 生态学杂志, 2015, 34(3): 894-900
- [11] 方海兰, 郝冠军, 彭红玲, 等. 上海世博会规划区不同土地利用方式下附属绿地的重金属分布[J]. 生态学杂志, 2008, 27(3): 439-446
- [12] Christian R D K, Jean-Louis M. Urban soil management: A growing concern[J]. Soil Science, 2000, 165(1): 31-40
- [13] 吴新民, 潘根兴, 姜海洋, 等. 南京城市土壤的特性与重金属污染的研究[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 19-23
- [14] 张万儒. 森林土壤分析方法[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999
- [15] 方海兰, 徐忠, 张浪等. 绿化种植土壤 (CJ/T 340-2016) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [16] Reisinger T W, Simmons G L, Pope P E. The impact of timber harvesting on soil properties, and seeding growth in the south[J]. Southern Journal of Applied Forestry, 1988, 12: 58-67
- [17] Bullock P, Gregory P. Soils in the urban environments[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1999
- [18] Jim C Y. Soil compaction as a constraint to tree growth in tropical & subtropical urban habitats[J]. Environmental Conservation, 1993, 20(1): 35-49
- [19] 李丽雅, 丁蕴铮, 侯晓丽, 等. 城市土壤特性与绿化树生长势衰弱关系研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2006, 38(3): 124-127
- [20] Gifford R M. Interaction of carbon dioxide with growth-limiting environmental factors in vegetation productivity: Implications for the global carbon cycle[J]. Adv. Bioclimatol., 1992, 1: 24-58
- [21] Neve S D, Hofman G. Quantifying soil water effects on nitrogen mineralization from soil organic matter and from fresh crop residues[J]. Biol. Fertil. Soil, 2002, 35: 379-386
- [22] Jackson T, Mansfield K, Saafi M, et al. Measuring soil temperature and moisture using wireless MEMS sensors[J]. Journal of Measurement, 2007, 41(4): 381-390
- [23] 杜阿朋, 于澎湃, 王彦辉, 等. 六盘山北侧叠叠沟小流域土壤物理性质空间变异的研究[J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 547-554
- [24] Poesen J, Ingelmo S F. Runoff and sediment yield from topsoils with different porosity as affected by rock fragment cover and position[J]. Catena, 1992, 19: 451-474
- [25] Vogel H J, Roth K. Quantitative morphology and network representation of soil pore structure[J]. A Advances in Water, 2001, 24(3/4): 233-242
- [26] 杨金玲, 汪景宽, 张甘霖, 等. 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
- [27] 邵明安, 王全久, 黄明斌. 土壤物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- [28] Alaoui A, Goetz B. Dye tracer and infiltration experiments to investigate macropore flow[J]. Geoderma, 2008, 144: 279-286
- [29] 吕刚, 顾宇书, 魏忠平, 等. 白石砬子自然保护区几种主要植被类型土壤入渗特性研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 780-786
- [30] Alletto L, Coquet Y. Temporal and spatial variability of soil bulk density and near-saturated hydraulic conductivity under two contrasted tillage management systems[J]. Geoderma., 2009, 152: 85-94
- [31] Kanwar R S, Rizvi H A, Ahmed M, et al. Measurement of field-saturated hydraulic conductivity by using Guelph and Velocity permeameters[J]. Transaction of the ASAE, 1989, 32(6): 1885-1890
- [32] 魏俊岭, 金友前, 郜红建, 等. 合肥市绿地土壤水分入渗性能研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(25): 302-307
- [33] 张波, 史正军, 张朝, 等. 深圳城市绿地土壤孔隙状况与水分特征研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(4): 299-304
- [34] 韩路, 王海珍, 于军. 塔里木河上游不同植被类型土壤水文特性研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 124-129
- [35] 陈立新. 城市土壤质量演变与有机改土培肥作用研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 36-39
- [36] 邢菊香, 郭建英, 赵杏花, 等. 黄土丘陵区退耕还林后土壤物理性质恢复特征的研究——以陕西省吴起县为例[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2010, 31(1): 41-46
- [37] 方海兰, 陈玲, 黄懿珍, 等. 上海新建绿地的土壤质量现状和对策[J]. 林业科学, 2007, 43(z1): 89-94
- [38] 侯传庆. 上海土壤[M]. 上海: 上海科技出版社, 1992
- [39] 伍海兵, 方海兰, 李爱平. 常用绿地土壤改良材料对土壤水分入渗的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(3): 316-323, 330
- [40] 伍海兵, 方海兰, 彭红玲, 等. 不同配比改良材料对典型城市绿地土壤物理性质的影响[J]. 土壤, 2014, 46(4): 703-709
- [41] 杨金玲, 张甘霖. 城市功能区、植被类型和利用年限对土壤压实的影响[J]. 土壤, 2007, 39(2): 263-269
- [42] 伍海兵, 方海兰, 彭红玲. 典型新建绿地上海辰山植物园土壤水库特征及其影响因子[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1437-1443
- [43] 方海兰, 徐忠, 张浪, 等. 园林绿化土壤质量标准及其应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016

Study on Soil Physical Properties of Green Belts in Central Urban Area of Shanghai

WU Haibing^{1,2}

(1 *Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, Shanghai 200232, China;*

2 *Shanghai Engineering Research Center of Landscaping on Challenging Urban Site, Shanghai 200232, China*)

Abstract: Taking soils mainly in the typical parks and public green belts in Puxi district of the central urban area of Shanghai as the study objects, soil basic physical properties, their correlation and the influences of different vegetation types on soil basic physical properties were analyzed. The results showed that soil texture was clayey, mainly as silty clay loam. Soil bulk density was high, 37.72% of soil samples exceeded the standard of “Planting Soil for Greening”. Soil porosity was poor, for instance, 82.46% of soil samples did not meet the standard requirements of non-capillary porosity, and total porosity of up to 95.61% of soil samples could not meet the normal growth of plants. Soil saturated hydraulic conductivity was low, up to 86.85% of soil samples was less than the standard requirement of 5 mm/h. Moreover, soil water-holding ability was poor. Except soil saturated hydraulic conductivity, the correlation between other soil physical properties were extremely significant ($P < 0.01$). Soil physical properties of tree and brush were superior to those of grassland. It is proposed to increase the application of materials such as sands and organic matrix, reduce soil compaction and increase the proportions of tree and brush in green belts in order to improve soil physical properties and enhance the ecological function of urban green belts.

Key words: Physical property; Green belts soil; Vegetation type; Central urban area of Shanghai