

不同配比改良材料对典型城市绿地土壤物理性质的影响^①

伍海兵¹, 方海兰^{1*}, 彭红玲², 胡永红², 蔡云鹏², 梁 晶¹, 周建强¹

(1 上海市园林科学研究所, 上海 200232; 2 上海辰山植物园, 上海 201602)

摘要:选择土壤物理性质退化的典型绿地——上海辰山植物园,进行不同配比改良材料的现场试验,结果显示:与对照相比,不同配比改良材料能显著改善土壤物理性质;并以配比3(土:绿化植物废弃物:有机肥=8:3:0.8和0.5 kg/m³ 脱硫石膏)改良效果最好,其土壤体积质量最低,土壤含水量、饱和持水量、田间持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度和有效水含量最高,土壤饱和导水率也达到良好水平。在30、90和180天的试验时间内,同一配比土壤物理性质较稳定;各配比土壤水分特征曲线均较好拟合 Gardner 模型($R^2>0.9$)。砂虽能增加土壤导水率,但对绿地土壤物理性质改良综合效果不及绿化植物废弃物或草炭等有机材料;而脱硫石膏对土壤各物理性质的改良作用随试验时间延长,其作用越来越明显。在所有改良材料中,以有机材料和脱硫石膏混合使用效果最佳。

关键词: 绿地土壤;改良材料;配比;土壤物理性质

中图分类号: S152; S158; S156

城市绿地土壤是城市生态的重要组成部分,具有提供植物营养、维护城市物质和能量循环以及涵养水源的作用^[1]。与自然土壤或农业土壤相比,城市土壤利用强度高,人为干扰严重,导致城市土壤质量特别是物理性质退化严重,土壤体积质量(容重)偏大,通气性差,土壤积水及入渗能力差等现象非常普遍^[2-4]。以往学者对城市土壤研究多侧重于污染或养分^[5-7],对城市土壤物理性质的系统研究相对较少^[8-9]。事实上,土壤物理性质的退化对环境的影响极大且更加持久,并难以修复^[10],这在城市土壤中表现得尤为明显。如美国中心公园95%的植物死亡是由土壤物理性质差引起的^[11];香港城市土壤体积质量过大已影响植物生长^[12];上海等国内城市土壤调查也表明,土壤物理性质的恶化是植物长期生长不佳的主因^[4,13]。城市土壤物理性质退化不仅直接影响植物生长,而且还影响土壤水肥状况和活性,甚至还会导致城市洪峰增大和次数增多以及城市其他生态功能的弱化^[14-15]。因此,城市绿地土壤物理性质的改良迫在眉睫。

能改善土壤物理性质的材料很多。常用的有机改良材料如绿化植物废弃物可降低土壤体积质量,提高土壤总孔隙度、毛管孔隙度、入渗和持水能力^[16-18];石膏和天然有机物混合施用能改善盐化潮土的土壤

体积质量和总孔隙度、毛管孔隙以及非毛管孔隙;而高含沙量的配比土壤具有理想的入渗率,但持水性差^[20]。国内缺少绿化土壤物理性质的应用研究,直接影响了我国城市绿化建设水平的提高。众所皆知,农田土壤由于经常耕作其物理性质可以跟随植物种植季节的变动而改动,而城市绿地种植园林植物后一般很少改动,否则造价太大并且影响市容,不能确保绿地生态系统的平衡,因此,绿地建设前的土壤物理结构改良显得尤为重要。城市绿化土壤大多是人造土,如果将土壤物理性质良好的人造土壤直接用于绿化建设,那么对提高绿化建设水平以及后期绿地维护均有重要意义。因此,本文选择典型物理性质差的城市绿地——上海辰山植物园,进行绿化上常用的土壤改良材料不同配比的现场定位试验,以期能为我国普遍存在的城市土壤物理性质退化的改善和质量维护提供借鉴。

1 研究区域及方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于上海市松江区辰山植物园内(31°04'41"N, 121°10'49"E)。占地面积207.63万m²,处于北亚热带季风湿润气候区,四季分明,年均气温15.6℃,无霜期236天,年均日照1817h,降水量

基金项目:上海辰山植物园专项项目(G102402)资助。

* 通讯作者(fhl_1969@126.com)

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

1 213 mm, 年陆地蒸发量 754.6 mm, 最低温度 -8.9°C , 最高温度 37.6°C , 植物园内土壤主要来源于客土, 土壤类型以黏土为主。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 根据辰山植物园土壤质地黏粒含量高、含砂量低, 以及园林植物喜欢砂壤土的特点, 和前人研究成果, 设计理想的土壤类型以砂壤土为

主, 并配置了不同改良材料的配比方案(表 1), 总共设计 6 组处理, 每组 3 次重复, 每块试验田面积为 $3\text{ m} \times 4\text{ m}$, 每块试验田中间设有 0.5 m 宽的隔离带。每组配比材料混合均匀, 每块试验田翻耕 0.4 m 深。为了研究不同时期各处理土壤的物理性质, 各处理土壤分别经过 30、90 以及 180 天 3 个不同时间的自然状态培养, 测定各土壤物理性质。

表 1 不同配比土壤
Table 1 Soils of different ratios

处理	配比(体积比)
CK(对照)	100% 土
配比 1	土: 绿化植物废弃物: 有机肥 = 8: 2: 0.8
配比 2	土: 绿化植物废弃物: 有机肥 = 8: 2: 0.8 和 0.5 kg/m^3 脱硫石膏
配比 3	土: 绿化植物废弃物: 有机肥 = 8: 3: 0.8 和 0.5 kg/m^3 脱硫石膏
配比 4	土: 砂: 绿化植物废弃物: 有机肥 = 3: 5: 3: 0.8 和 0.5 kg/m^3 脱硫石膏
配比 5	土: 砂: 草炭: 有机肥 = 3: 5: 3: 0.8 和 0.5 kg/m^3 脱硫石膏

1.2.2 分析测定方法 土壤体积质量、饱和持水量、田间持水量、非毛管孔隙度、毛管孔隙度和总孔隙度采用环刀法测定, 土壤机械组成采用密度计法测定, 各物理性质的测定参照中华人民共和国林业行业标准《森林土壤分析方法》^[21]; 土壤饱和和导水率采用 2800K1Guelph 渗透仪现场测定, 水分特征曲线采用日本 KOKUSAN 公司生产的 H-1400F 高速离心机测定。

数据分析采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件。

2 结果与分析

2.1 土壤体积质量

从表 2 可以看出: 辰山土壤体积质量(即 CK)最高, 高于建设部标准《绿化种植土壤》要求的土壤体积质量小于 1.35 g/cm^3 ^[22]; 其次是配比 5、配比 4 处理, 这是因为这 2 个配比处理均添加了砂, 而砂的密度大; 以配比 3 处理土壤体积质量最小。使用不同配比的土壤改良材料后, 土壤体积质量显著降低, 说明绿化植物废弃物、草炭和有机肥能降低土壤体积质量。

随着试验时间的延长, 各配比处理土壤体积质量变化不明显。试验 90 和 180 天时, 各处理土壤土壤体积质量大小顺序基本稳定; 但配比 3 处理随着试验时间的增加土壤体积质量逐渐降低, 可能和绿化植物废弃物的降解有一定关系。试验 30 天时配比 1 和配比 2 处理差异不明显, 随着试验时间的延长(90、180 天), 其差异显著($P < 0.05$), 说明脱硫石膏在短期内对土壤体积质量改善作用不明显, 长期内效果显著; 不

同时期内, 配比 4 和配比 5 处理土壤体积质量差异不明显, 说明绿化植物废弃物和草炭作用相似, 可以利用绿化植物废弃物代替草炭。

2.2 土壤含水量

土壤水分供应状况是评价土壤物理性质好坏和水源涵养能力大小的重要指标。从表 2 可以看出, 试验 30 天时, 各处理土壤质量含水量差异明显, 大小依次为配比 3>配比 2>配比 1>CK>配比 5>配比 4。其中含水量最大的配比 3 处理和含水量最小配比 4 处理差异极显著($P < 0.01$); 而配比 1、配比 2 和配比 3 处理含水量均极显著高于 CK($P < 0.01$), 说明绿化植物废弃物、草炭、脱硫石膏和有机肥配比对水分的蓄积作用显著。因此, 就提高土壤保水能力, 利用有机的绿化植物废弃物或草炭要比单纯利用砂的效果好。在试验期间内, 土壤质量含水量变化不明显; 而同一处理土壤在不同时间内, 其含水量变化明显, 可能是由于自然降雨的影响。

各处理土壤饱和和持水量差异明显, 试验 30 天时大小依次为配比 3>配比 2>配比 1 >配比 4>配比 5>CK。其中 CK 与配比 3 处理差异极显著($P < 0.01$), 与配比 2 处理差异显著($P < 0.05$), 与配比 1、配比 4、配比 5 差异不明显。随着试验时间的增加, 各处理土壤饱和和持水量具有相似的变化规律, 90 和 180 天时, 配比 3 处理都为最大, 较 30 天时有明显增加, 这可能是由于土壤中绿化植物废弃物逐渐被微生物分解, 增加了土壤有机质含量, 改善了土壤结构, 增加了土壤蓄水能力^[23]; 配比 2 处理均高于配比 1 处理, 进一步验证脱硫石膏对改善土壤结构和保水能力的作

表 2 不同处理土壤物理性质
Table 2 Soil physical properties of different treatments

物理性质	时间(d)	CK	配比 1	配比 2	配比 3	配比 4	配比 5
体积质量(g/cm ³)	30	1.43 aA	1.09 bcAB	0.95 cdBC	0.85 dC	1.18 bcAB	1.21 abAB
	90	1.49 aA	1.17 bBC	0.96 dCD	0.84 dD	1.14 bBC	1.20 bB
	180	1.43 aA	1.14 bAB	0.90 cBC	0.71 cC	1.21 bA	1.26 abA
质量含水量(g/kg)	30	245.51 cdC	381.00 bcAB	499.25 abA	563.26 aA	182.30 dC	203.57 dC
	90	249.99 cdB	301.48 cB	439.93 bA	533.09 aA	226.43 cdB	205.27 dB
	180	259.65 bBC	333.58 bAC	627.45 aAB	685.17 aA	208.07 bC	218.16 bC
饱和持水量(g/kg)	30	329.16 cB	531.32 bcAB	700.84 abAB	845.46 aA	456.59 bcAB	435.91 bcAB
	90	294.98 cC	476.75 bBC	671.42 aAB	802.78 aA	493.57 bBC	441.54 bC
	180	325.80 bC	496.45 bAC	913.38 aAB	1 023.20 aA	439.42 bBC	407.60 bBC
田间持水量(g/kg)	30	288.84 cB	455.00 bcAB	587.07 abAB	687.89 aA	413.92 bcAB	399.51 bcAB
	90	271.57 dC	377.11 cdBC	532.43 abAB	635.21 aA	436.13 bcBC	404.62 cBC
	180	289.24 cA	408.83 bcA	768.97 abA	816.85 aA	374.80 cA	354.01 cA
非毛管孔隙度(%)	30	4.70 cB	7.82 bAB	9.64 abA	10.97 aA	4.61 cB	4.14 cB
	90	3.29 bB	10.80 aA	11.45 aA	12.69 aA	5.80 bB	3.97 bB
	180	4.70 cB	9.23 acAB	10.71 abAB	13.55 aA	7.24 bcAB	6.37 bcB
毛管孔隙度(%)	30	42.04 bB	49.90 bAB	54.13 aA	53.52 bB	48.96 bAB	48.44 bAB
	90	40.73 cC	44.27 bcBC	51.18 aAB	53.79 aA	49.63 aAB	48.74 abAB
	180	41.66 bC	46.67 bAC	54.66 aAB	56.36 aA	45.75 bAC	44.47 bBC
总孔隙度(%)	30	46.73 cB	57.72 abAB	63.77 aA	64.49 aA	53.57 bcAB	52.59 bcB
	90	44.02 cD	55.08 bBC	62.62 aAB	66.48 aA	55.43 bBC	52.71 bC
	180	46.36 cC	55.90 bBC	65.37 aAB	69.91 aA	52.99 bcC	50.83 bcC
K_{fs} (mm/h)	30	1.28 cC	6.73 cC	7.37 cC	13.78 cC	165.35 aA	112.80 bAB
	90	5.13 cB	47.43 bcAB	37.17 cAB	141.00 abAB	160.87 aA	90.37 acAB
	180	5.45 dD	11.54 dD	19.23 dD	44.22 cC	104.47 aA	73.06 bB

注：同行不同大、小写字母分别表示处理间差异在 $P<0.01$ 水平极显著和 $P<0.05$ 水平显著。

用^[24]。配比 4 和配比 5 处理相对低于配比 2 和配比 3 处理,原因也是由于土壤含砂量高,对水分的保持能力相对较低。

各处理土壤田间持水量大小及变化规律与饱和持水量基本一致,究其原因也是绿化植物废弃物等有机改良材料有利于水分蓄积,而脱硫石膏对提高土壤田间持水量的作用越来越明显。

2.3 土壤孔隙度

从表 2 可以看出,试验 30 天时各处理土壤非毛管孔隙度差异显著,依次为配比 3>配比 2>配比 1>CK>配比 4>配比 5。CK 与配比 3、配比 2 处理差异极显著($P<0.01$) 配比 1 与配比 2 处理差异不明显,配比 2 与配比 3 处理差异不明显,说明绿化植物废弃物、脱硫石膏和有机肥共同作用可有效增加土壤非毛管孔隙度。随着试验时间的增加,除了 CK 处理变化不明显,其他各配比处理土壤基本上都有所改善,其中配比 3 和配比 4 处理非毛管孔隙度随着试验时间的增加一直增加,而其他配比处理土壤先增加后降低或先降低后增加,这可能主要由于各配比土壤中的绿化

植物废弃物、有机肥以及草炭随时间的增加逐渐被土壤中的微生物分解,改善了土壤结构,增加了土壤的通气性,故其非毛管孔隙度逐渐增加,而配比 2 处理均高于配比 1 处理,可能是由于脱硫石膏具有改善土壤结构的作用^[25],从而间接提高土壤非毛管孔隙度。

从表 2 还可以看出,不同时间,各配比处理土壤毛管孔隙度较 CK 处理均有所改善,其中 CK 与配比 2 处理差异极显著($P<0.01$); 配比 1 和配比 2 处理差异显著($P<0.05$); 配比 2 与配比 3 处理在短期内差异极显著($P<0.01$),而随着时间的增加,其差异不明显,说明随着绿化植物废弃物量增加,在短期内可有效提高土壤毛管孔隙度; 配比 4 和配比 5 处理差异不明显; 配比 3 处理土壤随着试验时间的增加,土壤毛管孔隙度逐渐增加。

同样,不同处理在不同时间的土壤总孔隙度差异明显(表 2),其中绿化植物废弃物、脱硫石膏和有机肥共同作用可有效提高土壤总孔隙度。但配比 1 与配比 2 处理差异不明显,但随着时间的增加,配比 1 与配比 2 处理差异显著($P<0.05$),可能是由于脱

硫石膏在改善土壤结构, 增加土壤总孔隙度是长期的过程。

2.4 土壤饱和和导水率

土壤饱和导水率(K_{fs})也是城市绿地土壤物理性质好坏的重要评价指标。一般绿化土壤饱和导水率划分为以下 4 个等级: >100 mm/h 为 级(优); $30 \sim 100$ mm/h 为 级(良); $10 \sim 30$ mm/h 为 (不良); <10 mm/h 为 (极不良)^[4]。从表 2 可以看出, 试验 30 天时, 各配比处理土壤较 CK 处理均有所提高。其中配比 4 处理最大, 高达 165.35 mm/h, 达到了 级(优); 其次是配比 5 处理, 为 112.80 mm/h; 配比 3 处理为 级(不良); 而 CK 处理最小, 仅为 1.28 mm/h, 属于极不良。随着时间的延长, 配比 4 和配比 5 处理土壤 K_{fs} 均有所降低, 而其他处理土壤均有所增加, 特别是配比 3 处理在试验 90 天时土壤 K_{fs} 增加到 141.00 mm/h, 可能是由于绿化植物废弃物逐渐分解, 增加了土壤大孔隙, 从而增加了土壤饱和和导水率^[26]。随着时间的延长, 配比 4 和配比 5 处理土壤 K_{fs} 均逐渐降低, 但配比 4 处理均达到了 级(优), 配比 5 处理在试验 180 天时为 级(良)。配比 4 处理在不同时期内均明显高于其他配比处理, 主要是由于含砂量大以及绿化植物废弃物含量高所致; 配比 4 处理均高于配比 5 处理, 显著差异(表 2), 可能是绿化植物废弃物本身有一定粒径支撑, 故改善土壤入渗能力优于草炭。

2.5 土壤水分特征曲线

不同处理土壤水分特征曲线见图 1, 各处理土壤水分特征曲线均随着土壤水吸力的增加而降低, 各处理土壤在低吸力段($<5 \times 10^5$ Pa)曲线下落较快, 说明土壤水分变化较大, 随着吸力的增大, 曲线渐渐平缓, 特别是在高吸力段($>15 \times 10^5$ Pa)趋于平缓, 说明随着吸力的增大, 土壤水分含量变化逐渐减小。各处理土壤均可用 Gardner 模型^[27]进行拟合, 拟合方程见表 3, 各拟合方程均达到拟合优度。其中试验 30 天时各处理土壤 R^2 均达到 0.9 以上, 且配比 4 和配比 5 处理高达 0.98 以上, 拟合效果最好。拟合参数 A 值大小关系为配比 3 > 配比 2 > 配比 1 > CK > 配比 4 > 配比 5, 说明各处理土壤在不同吸力下土壤水分大小关系为配比 3 > 配比 2 > 配比 1 > CK > 配比 4 > 配比 5, 拟合参数 B 值大小关系为配比 5 > 配比 4 > 配比 3 > 配比 2 > 配比 1 > CK, 说明配比 5 处理土壤水分随着吸力的增加土壤水分降低最快, 土壤的持水能力相对较低。试验 90 和 180 天时各处理土壤水分变化规律与 30 天时相似, 只有 CK 处理的 R^2 低于 0.9。

2.6 土壤有效水含量

根据土壤水分特征曲线可以得出各处理土壤有

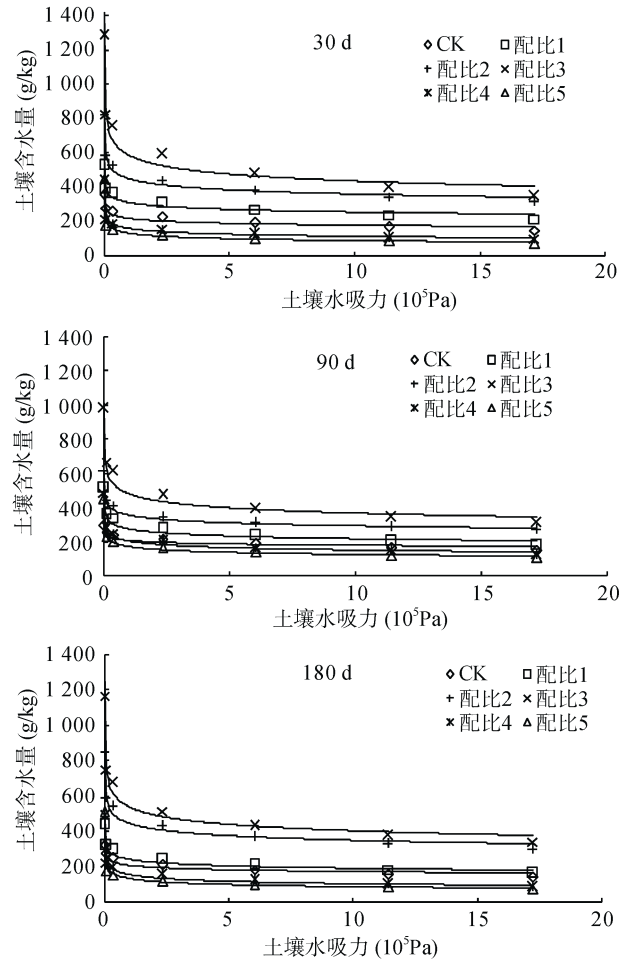


图 1 不同时期不同处理土壤的水分特征曲线
Fig. 1 Soil water characteristic curves of different treatments in different periods

效水含量^[28-29], 具体见表 3。试验 30 天时, 各配比处理土壤有效水含量较 CK 处理均有一定程度的提高, 各处理土壤有效水含量关系: 配比 3 > 配比 2 > 配比 1 > 配比 4 > 配比 5 > CK。其中配比 3 处理有效水含量提高明显, 与配比 2 处理差异显著($P < 0.05$), 与 CK 处理差异极显著($P < 0.01$), 说明绿化植物废弃物、有机肥以及脱硫石膏按比例混合能有效提高土壤有效水含量。配比 4 和配比 5 处理差异不明显, 说明绿化植物废弃物和草炭作用相似。试验 90 天时, 各处理土壤有效水变化规律同 30 天时, 但配比 3 和配比 2 处理较 30 天时均有所降低, 配比 3 处理极显著高于 CK 处理($P < 0.01$), 配比 2 和配比 3 处理差异显著($P < 0.05$), 说明随着绿化植物废弃物用量增加, 可有效提高土壤有效水含量。随着试验时间的延长(180 天), 各处理土壤有效水含量总体变化趋势一致。另外, 在短期内(30、90 天), 配比 1 与配比 2 处理差异不明显, 但随着试验时间的延长(180 天), 配比 1 与配比 2 处理差异极显著($P < 0.01$), 再次说明脱硫石膏在短期内对土壤水分影响不明显, 但长时间效果显著。

表 3 不同处理土壤水分特征曲线参数及有效水含量
Table 3 Soil water characteristic curve parameters and available water of different treatments in different periods

时间(d)	处理	Gardner 模型拟合参数			拟合方程	有效水(g/kg)
		A	B	R ²		
30	CK	219.31	0.083	0.903	$\theta = 219.31S^{-0.083}$	67.20 bB
	配比 1	308.79	0.088	0.943	$\theta = 308.79S^{-0.088}$	98.80 bB
	配比 2	451.22	0.096	0.967	$\theta = 451.22S^{-0.096}$	156.77 bAB
	配比 3	585.41	0.128	0.941	$\theta = 585.41S^{-0.128}$	268.43 aA
	配比 4	160.22	0.147	0.984	$\theta = 160.22S^{-0.147}$	83.47 bB
	配比 5	129.48	0.176	0.988	$\theta = 129.48S^{-0.176}$	79.47 bB
90	CK	202.18	0.066	0.852	$\theta = 202.18S^{-0.066}$	50.03 bB
	配比 1	272.51	0.103	0.938	$\theta = 272.51S^{-0.103}$	102.03 bB
	配比 2	355.97	0.084	0.980	$\theta = 355.97S^{-0.084}$	110.10 bAB
	配比 3	480.27	0.116	0.950	$\theta = 480.27S^{-0.116}$	201.00 aA
	配比 4	202.01	0.134	0.969	$\theta = 202.01S^{-0.134}$	96.60 bB
	配比 5	167.78	0.142	0.991	$\theta = 167.78S^{-0.142}$	84.83 bB
180	CK	209.00	0.080	0.868	$\theta = 209.00S^{-0.080}$	62.10 cC
	配比 1	246.04	0.096	0.945	$\theta = 246.04S^{-0.096}$	85.97 cC
	配比 2	444.50	0.104	0.961	$\theta = 444.50S^{-0.104}$	167.20 bB
	配比 3	537.38	0.123	0.969	$\theta = 537.38S^{-0.123}$	238.97 aA
	配比 4	161.41	0.163	0.981	$\theta = 161.41S^{-0.163}$	92.20 cC
	配比 5	134.03	0.184	0.986	$\theta = 134.03S^{-0.184}$	85.80 cC

注：同列不同大、小写字母分别表示同一时间不同处理间差异在 $P < 0.01$ 水平极显著和 $P < 0.05$ 水平显著。

3 结论和讨论

辰山植物园由于土壤物理性质差,已经严重阻碍植物生长发育。利用绿化植物废弃物、草炭、有机肥和脱硫石膏等改良材料的不同配比能有效改善土壤各项物理指标,降低土壤体积质量,提高土壤含水量、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、土壤饱和导水率和有效水含量;不同试验时间内,各处理土壤物理性质变化不大,其中配比 2 和配比 3 处理土壤物理性质改良效果持久;从各项物理指标综合考虑,以配比 3 处理效果最好。而不同改良材料配比的水分特征曲线均很好拟合 Gardner 模型。

就单个土壤改良材料而言,虽然砂提高土壤饱和导水率效果最好,但由于持水能力较差,而且随着试验时间延长其导水能力有下降趋势,因此,对土壤物理性质的综合改良效果不及绿化植物废弃物、草炭和有机肥等有机材料。结构性改良材料脱硫石膏虽然短期内对土壤结构改善作用不明显,但随着试验时间的延长,其改善作用越来越显著,对土壤各物理性质改良效果明显,尤其对含砂量比较高的土壤效果更显著。绿化植物废弃物和草炭对改善土壤物理性质的作用相当,但绿化植物废弃物提高土壤导

水能力效果更好,而且绿化植物废弃物本身就是城市固体废弃物,因此,可以利用绿化植物废弃物替代草炭进行城市土壤物理性质改良,既降低了不可再生资源草炭的使用压力,又提高了城市固体废弃物的资源化利用率,这样不仅降低了城市土壤改良成本,而且保护了由于大量开采草炭对湿地生态系统造成的破坏。

总之,通过典型物理性质不好绿地的改良试验表明,利用绿化植物废弃物、脱硫石膏和有机肥等废弃物,可以显著改善城市绿地土壤存在的物理性质退化问题,而且对促进城市废弃物资源化循环利用具有积极的指导意义。

参考文献:

- [1] 梁晶, 方海兰. 城市有机废弃物对城市绿地土壤生态功能的维护作用[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(2): 292-298
- [2] 方海兰, 陈玲, 黄懿珍, 张琪, 奚有为, 赵晓艺. 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
- [3] 黄青, 张凯, 邓文鑫, 徐小牛. 合肥城市绿地土壤特点[J]. 城市环境与城市生态, 2009, 22(2): 12-15
- [4] 伍海兵, 方海兰, 彭红玲, 梁晶, 胡永红, 蔡云鹏, 郝冠军. 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

- [5] Maas S, Scheifler R, Benslama M, Crini N, Lucot E, Brahmia Z, Benyacoub S, Giraudoux P. Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean of Algeria[J]. *Environ Pollut*, 2010, 158(6): 2 294–2 301
- [6] 郝冠军, 郝瑞军, 沈烈英, 吕子文, 黄懿珍, 赵晓艺, 方海兰. 上海世博会规划区典型绿地土壤肥力特性研究[J]. *上海农业学报*, 2008, 24(4): 14–19
- [7] 方海兰, 郝冠军, 彭红玲, 吕子文. 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
- [8] 杨金玲, 张甘霖, 赵玉国, 阮心玲, 何跃. 土壤压实指标在城市土壤评价中的应用与比较[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(5): 51–55
- [9] 张波, 史正军, 张朝, 卢瑛. 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
- [10] Lipiec J, Wójciga A, Horn R. Hydraulic properties of soil aggregates as influenced by compaction[J]. *Soil Tillage Res.*, 2009, 103: 170–177
- [11] Craul PJ. *Urban Soil in Landscape Design*[M]. Canada: John Wiley & Sons, Inc, 1992
- [12] Jim CY. Physical and chemical properties of Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth[J]. *Urban Ecosystems*, 1998, 2: 171–181
- [13] 韩继红, 李传省, 黄秋萍. 城市土壤对园林植物生长的影响及其改善措施[J]. *中国园林*, 2003, 19(7): 74–76
- [14] Zhang GL, Gong ZT, Zhao WJ. Features of soils in urban and suburban Nanjing and their environmental effect[A] // Burghardt W, Dornauf C. *First International Conference on Soils of Urban, Industrial, Traffic and Mining Areas*. Essen[C]. Germany: University of Essen, 2000: 39–44
- [15] 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
- [16] Hartz TK, Costa FJ, Schrader WL. Suitability of composted green waste for horticultural uses[J]. *Hortscience*, 1996, 31(6): 961–964
- [17] Hoitink HAK, Stone AG, Han DY. Suppression of plant diseases by composts[J]. *Hortscience*, 1997, 32(1): 184–187
- [18] 顾兵, 吕子文, 梁晶, 黄懿珍, 周立祥, 方海兰. 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
- [19] 邵玉翠, 任顺荣, 廉晓娟, 曾秀文, 贺宏达. 施用脱硫石膏与天然有机物混合改良剂对盐化潮土理化性质及玉米产量的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(7): 285–289
- [20] 宋桂龙, 韩烈保, 李德颖. 不同沙土配比根系层土壤的持水特性研究[J]. *土壤通报*, 2008, 39(2): 233–237
- [21] 张万儒. *森林土壤分析方法*[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999
- [22] 上海市绿化和市管理局, 上海市园林科学研究所, 上海市园林绿化工程安全质量监督站, 广州市园林科学研究所, 北京园林科学研究所. *CJ/T 340—2011《绿化种植土壤》*[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011
- [23] 顾兵, 吕子文, 方海兰, 李桥, 郝冠军. 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
- [24] Arthur W. Use of gypsum on soil where needed can make agriculture more sustainable[J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 1994, 25(1/2), 109–116
- [25] Bharambe PR, Rodge RP, Awasannal BC, Ambegaonkar PR. Effects of soil amendments on infiltration rate of alkali soil under sorghum-wheat rotation[J]. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, 1990, 15(1): 96–97
- [26] Blanco-Canqui H, Gantzer, Anderson SH, Alberts EE, Ghidry. Saturated hydraulic conductivity and its impact on simulated runoff for claypan soils[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, 66(5): 1 596–1 602
- [27] Gardner WR. Some Steady state solution of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table[J]. *Soil Science*, 1958, 85(4): 228–232
- [28] Hillel D. *Introduction to Soil Physics*[M]. San Diego: Academic Press, 1982
- [29] Silva AP da, Kay BD, Perfect E. Characterization of the least limiting water range of soils[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58(6): 1 775–1 781

Effects of Different Ratios of Soil Amelioration on Soil Physical Properties in Urban Typical Green Space

WU Hai-bing¹, FANG Hai-lan^{1*}, PENG Hong-ling², HU Yong-hong²,
CAI Yun-peng², LIANG Jing¹, ZHOU Jian-qiang¹

(1 *Shanghai Institute of Landscape Gardening, Shanghai 200232, China;*

2 *Shanghai Chenshan Botanical Garden, Shanghai 201602, China*)

Abstract: Shanghai Chenshan Botanical Garden, the typical green space for properties degradation was chose as a field test to research the effects of different ratios of soil amelioration. The results indicated that the soil physical properties of all treatments improved better, especially the treatment which was made from soil, greenery waste and organic fertilizer in the volume ratio of 8 : 3 : 0.8 and gypsum with 0.5 kg/m³ was added. This treatment could get the lowest bulk density, the highest content of water, saturate water, field capacity, non-capillary porosity, capillary porosity and available water, and the better saturated hydraulic conductivity. During the time of 30d, 90d and 180d after experiment, the soil physical properties of the same treatment changed little and the soil water characteristic curves of all treatments fit the Gardner model well ($R^2 > 0.9$). Although sand could get better saturated hydraulic conductivity, it could not get comprehensive soil physical properties as organic materials just like greenery waste or peat. With the experiment time extension, using desulfurized gypsum could get better results to improve soil physical properties. Among all kinds of soil amelioration, the mixed application of organic matters and desulfurized gypsum could get good result.

Key words: Urban space soil, Soil amelioration, Ratio, Soil physical property