

不同栽植基质对上海市4种行道树表型生长和根系发育的影响

杨瑞卿¹, 王本耀¹, 彭红玲², 张国兵¹, 胡永红², 严巍^{1*}

(1. 上海市绿化管理指导站, 上海 200020; 2. 上海辰山植物园, 上海 201602)

摘要: [目的] 揭示4种不同类型行道树的生长规律及其对地下土壤结构、养分和水分供需关系的适应情况, 探索适于上海市行道树的土壤结构和养分等管理模式, 以改善上海市行道树生长状况。[方法] 采用土壤填充颗粒粒径、结构土比例以及基质湿度3因素4水平的正交试验设计, 研究4种行道树在不同栽植基质下地上部分表型生长和根系发育状况。[结果] 结果表明: 不同栽植基质对悬铃木苗高有显著影响, 对4种行道树根系发育及根系生物量积累均起到极显著作用。处理3栽植基质的悬铃木苗高最高(4.42 m), 较对照组均值显著高出11.90%。4种树种根系发育的最佳栽植基质各不相同, 处理8栽植基质下香樟根系发育最为优越, 其根系总长、根系表面积和根系体积分别为162 564.21 cm, 42 370.89 cm²和833.98 cm³, 均显著高于对照等其它处理。银杏除根系总长在处理4栽植基质下达到最大值(26 498.01 cm), 其余根系指标均在处理7栽植基质下发育较好, 显著优于对照等其它处理。处理2栽植基质下悬铃木根系总长、根系表面积、根系平均直径和根系体积均显著高于其它处理。广玉兰根系生长指标均在处理6栽植基质下达到最大。香樟、银杏、悬铃木和广玉兰根系生物量分别在处理8、处理7、处理2和处理6栽植基质下达到最大, 其最大值分别为1 029.52 g, 871.93 g, 1 294.84 g和1 025.62 g, 且分别显著高出对照组均值80.44%、67.08%、61.21%和81.36%。通过模糊函数隶属法初步筛选出适宜香樟、银杏、悬铃木和广玉兰种4种行道树生长的栽植基质分别为处理8(土壤粒径3 cm, 结构土比例80%, 土壤湿度50%)、处理7(土壤粒径3 cm, 结构土比例60%, 土壤湿度40%)、处理2(土壤粒径5 cm, 结构土比例40%, 土壤湿度60%)和处理6(土壤粒径3 cm, 结构土比例40%, 土壤湿度80%)。[结论] 香樟生长对栽植基质水肥条件较敏感, 适宜生长于水分适中、养分含量高的基质中; 银杏较适生长在土壤通气良好、养分中等的立地, 且其对水分要求相对较低; 悬铃木适宜于通气性良好, 水分和养分条件较好的基质中; 广玉兰生长对基质含水量需求较大。对4种行道树进行养护时应根据其生长需求特点尽可能进行土壤水肥等条件控制。

关键词: 上海市; 行道树; 栽植基质; 表型生长; 根系发育

中图分类号: S731.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)04-0659-08

Effect of Planting Substrate on Phenotypic Growth and Root Development of 4 Street Tree Species in Shanghai

YANG Rui-qing¹, WANG Ben-yao¹, PENG Hong-ling², ZHANG Guo-bing¹, HU Yong-hong², YAN Wei¹

(1. Shanghai Greening Management Guidance Station, Shanghai 200020, China;

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

Abstract: [Objective] Aim to reveal the growth patterns of 4 street tree species and how they adapt to the change of relationship between soil structure, nutrient and water condition. And to explore the management model of soil

收稿日期: 2016-09-29

基金项目: 上海市绿化和市容管理局科技攻关项目(G160507); 上海市海绵城市绿地系统规划与建设关键技术研究(15DZ1203605); 上海市绿化和市容管理局科学技术项目(F132429)

作者简介: 杨瑞卿(1981—), 男, 河南商丘人, 工程师, 硕士, 主要从事城市绿化管理与技术指导工作。

* 通讯作者: 严巍, 女, 上海人, 高级工程师. E-mail: yanw816@163.com

structure and nutrients suitable for the street trees in Shanghai, so as to improve their growth in Shanghai. [**Method**] Plantingsubstrate experiments were carried out by orthogonal design with three factors of soil content diameter, the proportion of structure soil and soil moisture, each in four levels. The growth of aboveground parts and the root expanding of these trees under different conditions were analyzed. [**Result**] The results showed that the planting substrate had significantly influences on the height of *Platanus orientalis*. The height in treatment 3 was 4.42 m and significant higher (11.90%) than that of the control group. In addition, different treatments significantly influenced the tree's root expanding and biomass accumulation. The results indicated that the most suitable condition for roots growth of the four tree species were totally different, *Cinnamomum camphora* had the best root growth with treatment 8, the root length, surface area and volume were 162 564.21 cm, 42 370.89 cm² and 833.98 cm³, which were all significant higher than that of the other treatments, respectively. While the total length of *Ginkgo biloba* root reached the maximum (26 498.01 cm) under treatment 4, and the other root indexes reached the biggest value with treatment 7. The root length, root surface, root average diameter and root volume of *P. orientalis* are significantly higher under treatment 2. All the root indexes of *Magnolia grandiflora* reached the maximum under treatment 6. Furthermore, the maximum root biomass value of *C. camphora*, *G. biloba*, *P. orientalis* and *M. grandiflora* were 1 029.52 g, 871.93 g, 1 294.84 g and 1 025.62 g and appeared in treatment 8, treatment 7, treatment 2 and treatment 6, respectively. Moreover, they were significant higher than that of the control group by 80.44%, 67.08%, 61.21%, and 81.36%, respectively. Through fuzzy membership method, the appropriate substrates selected for *C. camphora*, *G. biloba*, *P. orientalis* and *M. grandiflora* were treatment 8 (granule diameter 3 cm, formula soil 80% and soil moisture 50%), treatment 7 (granule diameter 3 cm, formula soil 60% and soil moisture 40%), treatment 2 (granule diameter 5 cm, formula soil 40% and soil moisture 60%) and treatment 6 (granule diameter 3 cm, formula soil 40% and soil moisture 80%), respectively. [**Conclusion**] It proves that the growth of *C. camphora* is more sensitive to water and nutrition condition of substrate and the suitable growth conditions are moderate soil moisture and rich soil nutrient content. *G. biloba* should grow in soil with medium nutrient and ventilation, and likes lower substrate water moisture; *P. orientalis* is suitable in well ventilated, medium water content and nutrient conditions; And *M. grandiflora* demands higher substrate moisture. Therefore, the conservation of the 4 tree species should be based on the demand characteristics of growth as far as possible to control soil conditions of street site in Shanghai.

Keywords: Shanghai; street tree; planting substrate; phenotypic growth; root development

城市行道树是城市植物的重要组成部分,在城市生态系统中有举足轻重的作用^[1]。随着城市的高速发展,其土地利用结构发生了极大的变化,由以往的自然景观逐渐转变为混凝土公路及大量的人工建筑^[2]。城市土壤具有较大的时间和空间变异性、混乱的土壤剖面结构与发育形态、丰富的人为附加物、变性的土壤物理结构、受干扰的土壤养分循环与土壤生物活动以及高度的污染等特征^[3]。这些不良特征阻碍了城市绿化树根系正常生长发育,使之不能正常地进行水分平衡、气体交换以及能量转运等生理活动,导致生长衰弱,甚至死亡^[4-5]。目前,国内外已开展了许多针对城市土壤与绿化树生长关系的研究,也取得了较丰富的成果。有研究发现城市土壤硬化程度大,降低了土壤中微生物和其它土壤生

物数量、种类及其代谢功能^[6-8],同时也导致了城市热岛效应的产生^[9-10],从而影响城市绿化植物生长。另一方面,土壤作为植物生长的介质和养分的供应者,其优良的特性是植物良好生长的关键。研究发现一般适于植物正常发育的土壤孔隙度为50%~56%,通气孔隙在10%以上,土壤含水量为17.32%~23.21%^[11-12]。而当土壤密度达到1.50 g·cm⁻³时,植物根系便难以伸入^[11]。在城市中,由于承受行人、车辆等各种交通工具的碾压等原因,城市的土壤总孔隙度通常低于50%,通气孔隙度低于10%,不能满足城市绿化树木生长需求。

上海市作为快速发展的大都市,其城市土壤结构与绿化树种生长存在不协调的状况。因此,开展适宜行道树生长的栽植基质调控研究,是提升上海

市行道树长势与功能的基础性工作,也是解决目前行道树养护与管理问题的重要突破口。本研究选择了上海市比较有代表性的4种行道树——香樟(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)、银杏(*Ginkgo biloba* L.)、悬铃木(*Platanus orientalis* L.)和广玉兰(*Magnolia grandiflora* L.)作为研究对象,所选树种较全面地涵盖了常绿和落叶不同生态适应性的行道树类型,由此开展研究能较充分地了解不同类型行道树的生长规律,并揭示其对地下土壤结构条件、养分和水分供需关系的适应情况,以期能够探索出比较适合上海市行道树的地下土壤结构和养分等管理模式,改善上海市行道树生长质量,进而提高其自然生态系统服务功能。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究试验材料为上海辰山植物园温室大棚内培育的香樟、银杏、悬铃木和广玉兰4种当地代表性行道树的大规格3年生扦插苗,选择生长基本一致的植株进行试验,其平均苗高、胸径分别为为2.0 m、2.93 cm、2.9 m、2.57 cm、3.1 m、3.19 cm和2.3 m、1.62 cm。采用直径50 cm、高40 cm的控根容器为育苗容器。于2014年11月中旬在温棚内进行树苗栽植,容器摆放间距1.5 m×1.5 m。苗木栽植前将不同粒径的土壤(按照表1中的比例充分混合)分别添加在底部打孔的控根容器中,每盆装土体积定于0.3 m³,植苗1株。每周进行3次控水,并测量土壤湿度(通过预实验确定维持土壤湿度梯度所需要的浇水量,并采用上海精密仪器仪表有限公司生产的土壤水分仪(TZS-2X-G),进行土壤湿度检测)。

1.2 试验设计

本试验采用3因素4水平的正交试验设计(选取L₉(3⁴)的正交表)。3因素分别为土壤填充颗粒粒径、结构土比例以及土壤湿度;4水平分别为3因素的4个水平梯度,详细指标见表1。根据正交设计,每种树种共16个处理,每种处理12盆,重复12次,共768盆。以土壤填充颗粒为街道土的处理为对照组。

1.3 测定方法及数据处理

2015年12月28日测量4个树种不同处理下的苗高和胸径,测定表型生长后,分树种每处理随机选择3棵植株,进行根系收获取样,洗净根系中夹杂的基质等杂物,同时注意避免根系损失,带回实验室采

用WinRhizo Pro STD4800型根系分析系统(加拿大REGENT公司)对苗木的根系长度、根系表面积及根系体积等根系形态参数进行分析;然后分别将4种行道树根系于烘箱中经105℃杀青30 min,再在80℃温度下烘至恒质量,最后称量其干质量。采用SPSS22.0软件进行多因素方差分析和多重比较,以检验土壤粒径、结构土比例及土壤湿度几种因素对4种行道树表型生长、根系发育以及生物量大小是否具有显著影响。

采用隶属函数法进行土壤结构和水肥条件方案优选,隶属度计算公式:隶属度 = $(X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \times 100\%$ 。其中X为不同性状指标, X_{min}为该性状指标最小值, X_{max}为该性状指标最大值。最终以每个性状隶属度的平均值为优选方案的最终隶属度。

表1 试验处理正交表

Table 1 Treatments of orthogonal array test

处理 Treatment	因素 Factors		
	A 填充颗粒粒径 Granule diameter/cm	B 结构土比例 Formula soil proportion/%	C 土壤湿度 Soil moisture/%
1	5	20	80
2	5	40	60
3	5	60	50
4	5	80	40
5	3	20	60
6	3	40	80
7	3	60	40
8	3	80	50
9	1	20	50
10	1	40	40
11	1	60	80
12	1	80	60
13	街道土 Street site soil	20	40
14	街道土 Street site soil	40	50
15	街道土 Street site soil	60	60
16	街道土 Street site soil	80	80

注:填充颗粒为一般的建筑青石粒;结构土填充介质为:50%壤土+50%堆肥类介质,其中壤土为上海辰山植物园栽植地30cm以上土壤,其全氮和全磷含量分别为0.42 g·kg⁻¹和0.38 g·kg⁻¹,水解氮、速效钾和有效磷含量分别为47.1 mg·kg⁻¹、46.9 mg·kg⁻¹和1.37 mg·kg⁻¹,pH值为5.32,有机质含量为6.57 g·kg⁻¹;堆肥类介质为树叶等腐熟后介质;街道土选取于上海市行道树生长状态不好的树穴土壤。

Note: The granule used is general building stone grain; Formula soil; 50% loam + 50% compost medium, and loam was got above 30cm soil from ground of planted site in Shanghai Chenshan Botanical Garden, and the soil nutrient content are as follow: total nitrogen and total phosphorus were 0.42 g·kg⁻¹ and 0.38 g·kg⁻¹, hydrolytic nitrogen, available potassium and available phosphorus were 47.1 mg·kg⁻¹, 46.9 mg·kg⁻¹ and 1.37 mg·kg⁻¹, pH value is 5.32, the content of organic matter was 6.57 g·kg⁻¹; composting medium is maturity medium from leaves et al.; And street site soil was collected from plant pit of roadside trees that in bad condition in Shanghai.

2 结果与分析

2.1 不同栽植基质对4种行道树表型生长的影响

土壤是植物生长的必要介质,其理化性质发生改变通常都会影响植物的生长状况。由方差分析结果(表2)显示,不同栽植基质对4种行道树表型生长存在不同程度的影响。其中银杏的胸径在不同土

壤湿度水平下表现出显著差异,土壤的填充颗粒大小及3因素交互作用对悬铃木苗高有极显著影响,与此同时,结构土比例和土壤湿度也对其苗高有显著影响。而不同土壤处理条件对4种行道树根系生长指标及生物量均具有显著影响。植物根系是直接与土壤接触的器官,所以4种行道树根系发育对土壤特性的变化的响应较地上部分早。

表2 不同栽植基质对4种行道树生长和根系发育影响的方差分析

Table 2 Variance analysis in effect of different planting substrate on growth and root development of the 4 kinds of street trees

变异来源 Variation	df	F值 F value						
		苗高 Height	胸径 DBH	根系总长 Root length	根系表面积 Root surface area	根系平均直径 Root average diameter	根系体积 Root volume	生物量 Biomass
香樟 <i>C. camphora</i>								
A	3	2.09	0.23	18.25**	260.22**	94.42**	778.59**	11.47**
B	3	2.02	1.25	27.87**	198.02**	41.03**	455.56**	4.39**
C	3	0.67	1.43	10.37**	102.79**	115.45**	294.73**	0.27
A × B × C	6	0.98	0.73	24.85**	269.50**	107.93**	670.12**	6.74**
银杏 <i>G. biloba</i>								
A	3	0.89	0.89	281.39**	161.18**	131.04**	763.54**	15.52**
B	3	0.55	1.48	40.38**	30.65**	31.79**	181.57**	6.12**
C	3	1.04	4.41*	126.02**	33.74**	49.75**	109.17**	4.67**
A × B × C	6	0.86	1.82	228.53**	38.01**	19.99**	76.39**	10.28**
悬铃木 <i>P. orientalis</i>								
A	3	6.62**	2.58	305.29**	1 093.68**	3 023.19**	480.19**	12.33**
B	3	4.30*	0.64	67.60**	3 688.10**	5 000.76**	1 022.58**	9.15**
C	3	3.37*	1.62	13.05**	2 144.25**	3 173.88**	660.18**	5.54**
A × B × C	6	4.30**	0.97	27.01**	839.54**	1 233.84**	172.46**	4.91**
广玉兰 <i>M. grandiflora</i>								
A	3	0.81	2.06	598.00**	157.62**	110.62**	164.94**	9.79**
B	3	0.84	0.43	51.89**	10.49**	56.56**	142.45**	1.19**
C	3	0.06	0.88	504.99**	278.29**	201.20**	1 306.42**	8.12**
A × B × C	6	1.90	1.28	140.94**	51.84**	26.89**	166.52**	2.43*

注:A 填充颗粒粒径,B 结构土比例,C 土壤湿度,A × B × C 为三因素交互效应;"**" 示处理间或交互效应极显著,"*" 示处理间或交互效应显著。

Note: The capital letters A, B and C indicates filled grain diameter, ratio of soil structure and soil moisture respectively, and A * B * C is for the interaction of three factors; "**" means difference between treatments or interaction effect were extremely significant, and "*" showed significant interaction effect or different intreatments.

具体分析各处理下4种行道树表型生长可见(表3),处理6条件下银杏和广玉兰苗高和胸径均达到最大值。悬铃木苗高在处理3条件下呈最大值,较对照均值显著高出11.90%。从表型生长看,银杏更适宜生长在填充颗粒级中等、土壤肥力适中且水分充足的环境中。而悬铃木则更适宜于土壤填充颗粒粒径较大的排水性及透气性更强的介质中。这种差异可能与两种树根系生物学特性不同有较大关系。香樟的苗高在处理15条件下达最大值,胸径则在处理5条件下呈最大值。在以街道土为结构土的基质下其表型生长相对较优,表明了基质条件的差异还未对其地上表型产生影响,这与苗木地

上和地下部分生长的协调机制有一定关系。

2.2 不同栽植基质对4种行道树根系生物量的影响

不同土壤处理条件对4种行道树根系生物量的影响分别与其根系发育状况有类似结果(表4),香樟、银杏、悬铃木和广玉兰根系生物量最大值分别也在处理8、处理7、处理2和处理6条件下达到最大,且分别显著高出对照组均值80.44%、67.08%、61.21%和81.36%。处理8和处理7结构土比例占比较大,处理2和6相对较小。而结构土比例决定了基质养分的含量,比例大则养分含量多。由此可见,充足的养分条件利于香樟和银杏根系生物量积

表3 不同栽植基质对4种行道树地上部分表型生长的影响

Table 3 Effect of different planting substrate on growth of the 4 kinds of street trees

处理 Treatment	香樟 <i>C. camphora</i>		银杏 <i>G. biloba</i>		悬铃木 <i>P. orientalis</i>		广玉兰 <i>M. grandiflora</i>	
	苗高 Height /m	胸径 DBH/cm	苗高 Height /m	胸径 DBH/cm	苗高 Height /m	胸径 DBH/cm	苗高 Height /m	胸径 DBH/cm
1	2.76 ± 0.11	3.00 ± 0.42	3.33 ± 0.16	2.59 ± 0.20	4.00 ± 0.03abcd	<u>3.98 ± 0.10</u>	2.38 ± 0.03	1.81 ± 0.08
2	2.86 ± 0.12	3.20 ± 0.17	3.20 ± 0.10	2.80 ± 0.11	4.14 ± 0.34abcd	3.84 ± 0.18	2.35 ± 0.06	1.61 ± 0.10
3	2.91 ± 0.16	2.94 ± 0.06	3.30 ± 0.16	2.75 ± 0.42	<u>4.42 ± 0.07a</u>	3.96 ± 0.62	2.50 ± 0.08	2.07 ± 0.11
4	3.01 ± 0.10	3.06 ± 0.10	3.45 ± 0.30	2.61 ± 0.24	4.25 ± 0.24abc	3.86 ± 0.32	2.48 ± 0.08	1.92 ± 0.12
5	2.80 ± 0.14	<u>3.24 ± 0.13</u>	3.21 ± 0.22	2.61 ± 0.13	4.16 ± 0.19abcd	3.58 ± 0.27	2.42 ± 0.11	1.98 ± 0.45
6	2.90 ± 0.19	2.95 ± 0.06	<u>3.87 ± 0.87</u>	<u>3.15 ± 0.16</u>	4.38 ± 0.09ab	3.59 ± 0.21	<u>2.51 ± 0.15</u>	<u>2.25 ± 0.14</u>
7	2.90 ± 0.04	3.07 ± 0.11	3.37 ± 0.24	2.64 ± 0.34	3.89 ± 0.28cde	3.66 ± 0.35	2.47 ± 0.05	2.07 ± 0.31
8	2.91 ± 0.18	3.15 ± 0.13	3.38 ± 0.11	2.70 ± 0.14	4.17 ± 0.21abcd	3.67 ± 0.39	2.39 ± 0.13	2.23 ± 0.81
9	2.84 ± 0.04	2.98 ± 0.29	3.38 ± 0.15	2.65 ± 0.21	4.06 ± 0.23abcd	3.64 ± 0.29	2.49 ± 0.18	2.15 ± 0.32
10	2.82 ± 0.17	3.23 ± 0.28	3.37 ± 0.13	2.59 ± 0.05	3.93 ± 0.20bcde	3.95 ± 0.14	2.38 ± 0.10	1.87 ± 0.20
11	2.94 ± 0.09	2.90 ± 0.24	3.41 ± 0.23	3.05 ± 0.40	3.79 ± 0.41def	3.42 ± 0.59	2.40 ± 0.04	1.69 ± 0.13
12	2.97 ± 0.08	3.17 ± 0.23	3.28 ± 0.30	2.47 ± 0.23	3.51 ± 0.27ef	3.55 ± 0.37	2.48 ± 0.06	2.10 ± 0.05
13	3.00 ± 0.12	2.91 ± 0.11	3.18 ± 0.23	2.88 ± 0.14	3.94 ± 0.24bcde	3.96 ± 0.14	2.39 ± 0.06	2.01 ± 0.15
14	2.92 ± 0.04	3.10 ± 0.10	3.28 ± 0.21	2.86 ± 0.26	4.11 ± 0.18abcd	3.36 ± 0.21	2.34 ± 0.09	1.86 ± 0.28
CK	<u>3.22 ± 0.42</u>	3.03 ± 0.28	3.33 ± 0.35	2.56 ± 0.08	4.38 ± 0.25ab	3.67 ± 0.15	2.42 ± 0.03	1.99 ± 0.20
16	2.92 ± 0.13	3.10 ± 0.23	3.26 ± 0.05	2.94 ± 0.18	3.39 ± 0.26f	3.36 ± 0.15	2.42 ± 0.04	1.85 ± 0.11
均值 Mean	3.02	3.04	3.26	2.81	3.95	3.59	2.39	1.93

注:表中小写字母不同示处理间差异显著,相同示处理间差异不显著;表中划线值为对应树种处理最大值;下同。

Note: different letters in the table means significant difference between treatments ($P < 0.05$), and same letters indicate no significant difference; The lineation value in the table is the maximum growth value among all the treatments of the tree species; the same as fellow.

累,而悬铃木和广玉兰对养分需求相对较低。但后两者行道树生长需要更多的水分。另外,较大的土壤孔隙度和良好的透气透水性促进了悬铃木根系的

生长,这也是处理2条件下悬铃木根系生物量增大的原因之一。

表4 不同处理对4种行道树根系生物量的影响

Table 4 Effect of different planting substrate on biomass of the 4 kinds of street trees

处理 Treatment	香樟 <i>C. camphora</i> /g	银杏 <i>G. biloba</i> /g	悬铃木 <i>P. orientalis</i> /g	广玉兰 <i>M. grandiflora</i> /g
1	798.83 ± 42.72abc	472.65 ± 51.62de	985.62 ± 128.68bed	571.23 ± 218.21bc
2	625.83 ± 47.13cde	529.96 ± 49.29cde	<u>1 294.84 ± 43.65a</u>	612.48 ± 87.28bc
3	442.56 ± 133.16e	735.63 ± 153.17ab	975.28 ± 188.85bed	541.50 ± 83.12bc
4	681.80 ± 69.32cd	824.26 ± 107.56a	1 098.92 ± 74.31bd	528.59 ± 173.60bc
5	589.33 ± 193.46cde	617.31 ± 71.78bed	561.09 ± 250.75e	723.160 ± 57.91b
6	620.22 ± 54.13cde	824.05 ± 51.97a	948.71 ± 94.39bc	<u>1 025.62 ± 71.77a</u>
7	923.45 ± 137.54ab	<u>871.93 ± 59.86a</u>	591.48 ± 70.84e	562.13 ± 79.50bc
8	<u>1 029.52 ± 189.54a</u>	557.38 ± 65.61cde	743.35 ± 74.54de	718.95 ± 104.02b
9	433.31 ± 53.28de	640.66 ± 85.03bc	539.69 ± 167.93e	612.21 ± 86.21bc
10	502.25 ± 72.40de	544.41 ± 78.46cde	607.95 ± 115.69e	521.64 ± 178.86bc
11	466.70 ± 46.43de	497.99 ± 49.74cde	1 048.91 ± 94.63abc	683.58 ± 58.73bc
12	687.01 ± 126.51cd	508.14 ± 75.56cde	791.02 ± 250.83cde	510.62 ± 29.12c
13	498.82 ± 52.10de	473.80 ± 52.29de	729.39 ± 86.05de	521.11 ± 53.51bc
14	635.16 ± 51.39cde	409.10 ± 12.00e	940.00 ± 116.50bed	499.95 ± 29.70c
CK	597.28 ± 232.48cde	613.90 ± 94.90bed	939.37 ± 111.73bed	575.93 ± 64.54bc
16	550.98 ± 146.04de	590.63 ± 100.96bed	603.95 ± 194.12bc	665.11 ± 59.16bc
均值 Mean	570.56	521.86	803.18	565.53

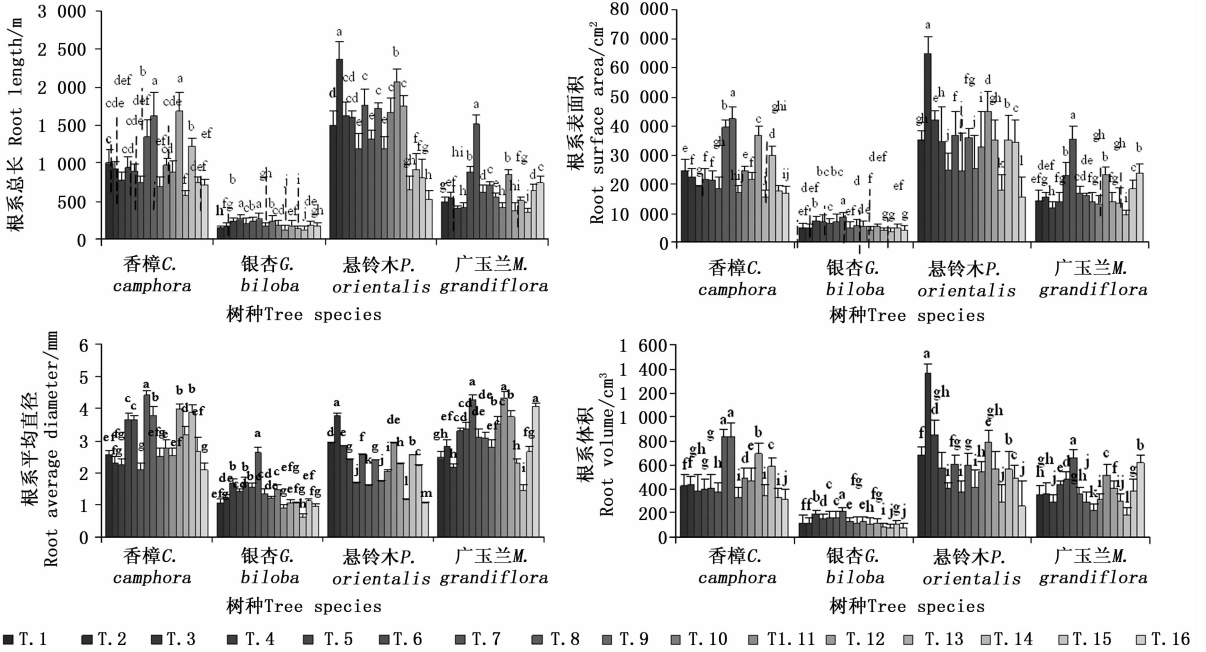
2.3 不同栽植基质对4种行道树根系发育的影响

不同栽植基质下4种行道树根系发育均具有极显著差异(图1)。在处理8条件下香樟根系发育最为优越,其根系总长、根系表面积和根系体积均达显著较高水平。处理8结构土比例占比高达80%,土

壤肥力高,这意味着香樟根系对土壤通气性和水肥条件较敏感,适宜生长于通气性良好且水分和肥力充足的土壤基质中。银杏除根系总长在处理4条件下达到最大值,其余根系指标均在处理7条件下显著最高。处理7较处理8填充石子比例更大,介质

透气透水性更强,但水肥条件次之。表明银杏对水分和养分的要求低于香樟,而透气性要求相对较高。可能原因是银杏不耐水涝,所以对土壤介质的透水性需求更大。处理2条件下悬铃木根系总长、根系表面积、根系平均直径和根系体积均显著高于其它处理。该条件下土壤中添加了60%的5 cm石粒,由此可见,悬铃木根系生长适宜生长在土壤孔隙度和

通气性大的介质条件下。这可能与其根系生长速度快,生长量大,需要更多的生长空间有较大关系。广玉兰根系生长指标均在处理6条件下达最大值,该条件下基质中石子填充比例60%,土壤的含水量达80%,这意味着其根系生长需要充足的水分和较高的土壤通气性,但对养分要求相对较低。



注:图中 T.1、T.2、T.3……T.16 依次代表处理1、处理2、……处理16。

Note: The T.1, T.2, T.3……and T.16 in the figure display treatment1, treatment2, treatment3……and treatment16 successively.

图1 不同栽植基质条件下4种行道树根系生长差异

Fig.1 Effect of different planting substrate on root development of the 4 kinds of street trees

2.4 适宜4种行道树生长的最佳栽植基质筛选

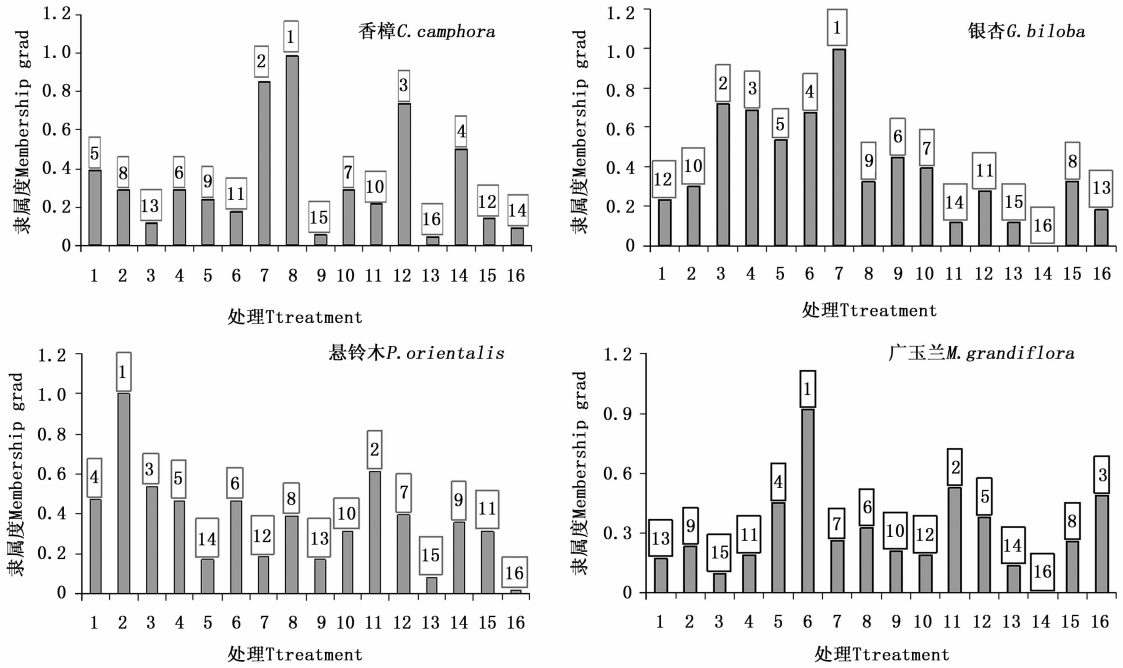
研究结果显示4种行道树地上表型生长指标和地下根系生长指标达到最优值时土壤基质的条件各不相同。为综合地评价和反映出土壤结构等特性对4种行道树生长状况的影响,分别选择出适宜4种行道树生长的栽植基质。依据模糊数学的隶属函数法,经数据转换求出每个处理下各性状的隶属度。再求得每个处理各性状隶属度的平均值,该值越大表明对应的处理条件下苗木生长越优良。

如图2可知,适宜香樟生长的土壤特征和水肥条件为处理8(填充颗粒粒径3 cm,结构土占比80%,土壤湿度50%);适宜银杏生长的土壤特征和水肥条件为处理7(填充颗粒粒径3 cm,结构土占比60%,土壤湿度40%);悬铃木则在处理2(填充颗粒粒径5 cm,结构土占比40%,土壤湿度60%)条件下生长最佳;而处理6(填充颗粒粒径3 cm,结构土占

比40%,土壤湿度80%)条件更利于广玉兰生长。

3 讨论

研究表明,不同栽植基质条件对银杏胸径、悬铃木苗高、4种行道树根系发育以及根系生物量积累均具有显著影响。4种行道树栽植1 a后,仅对银杏胸径和悬铃木苗高具有显著影响,说明土壤结构和湿度等的变化首先影响植物的根系发育。在大多数的研究中均已证实了土壤基质结构和水肥等特征对苗木根系生长有显著影响^[13-16]。其中土壤基质对浙江楠(*Phoebe chekiangensis* C. B. Shang)生长的影响与本试验结果相似,基质的变化主要影响了其根系的生长^[16],这可能与根系直接与土壤接触,其对土壤特性变化的响应较快有关。本研究中土壤结构的调整和土壤湿度的控制均改善了4种行道树的根系生长状况,促进了其根系生物量的积累。但由于



注:方框中数字代表该处理下各性状指标隶属度均值的排名。

Note: The numbers in the box represent the ranking of the membership of each character index.

图2 不同栽植基质条件下4种行道树各性状隶属度均值

Fig. 2 The mean membership of different plant substrate on the 4 kinds of street trees

树种间生物学特性不同,4种行道树生长的最适土壤处理条件各不相同。在处理8条件下香樟根系各项生长性状及其根系生物量均达到最大值,且显著高于其它处理。该处理条件下土壤基质中填充颗粒粒径处于中等水平,土壤堆肥比例较高,含水量适中,这意味着土壤通气良好,养分充足的生长介质能促进香樟根系发育。在此之前,已有研究发现在一定浓度范围内提高养分含量能促进檀香(*Santalum album* L.)^[17]、浙江樟(*C. japonicum* Sieb.)^[18]及栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.)^[19]根系发育。不同于香樟,银杏根系在结构土比例适中,填充颗粒较多的土壤基质中生长良好。土壤中CO₂浓度增高会抑制根系呼吸作用,使水分和矿质元素吸收减弱^[20],填充颗粒的增加加大了土壤的通气性,防止土壤中CO₂的富集。因此,该处理条件可能促进了银杏根系的有氧呼吸效率,使得根系生长加快。广玉兰根系对土壤水分含量需求较大,而对养分含量需求较低。在高土壤含水量的处理下广玉兰根系发育均相对较好,根系生物量积累也较高。这与Wang等^[21]研究发现在低土壤含水量的水分胁迫条件下,茶条槭(*Acer ginnala* Maxim.)、山梨(*Pyrus ussuriensis* Maxim.)和山桃(*Amygdalus davidiana* (Carrière) de Vos ex Henry)3树种1年生苗木根分配生物量显著增加的

结果不同,产生这种差异的可能原因是苗木处于的生长阶段不同。本研究广玉兰为3年生苗木,该阶段苗木生长发育需要大量的水分,其根系伸长和增粗利于其水分吸收,以满足各器官生长发育所需的大量水分。另一方面,悬铃木根系在处理2条件下生长最佳,这可能与土壤孔隙度大小有关。土壤孔隙度主要分为非毛管孔隙度和毛管孔隙度,其中非毛管孔隙度主要起气体流通和暂时储存有效水的作用^[22-23]。苗木生长优良与否在很大程度上取决于土壤孔隙度大小。处理2中土壤中石砾径级和占比均较大,大大增加了土壤非毛管孔隙度(大孔隙)。可能正是这种条件提供了充足的空间、氧气以及有效水供悬铃木根系快速生长。

从各处理对4种行道树生长性状影响的隶属度分析发现,以街道土为土壤填充物的处理隶属度均值普遍偏低,表明城市土壤对行道树生长有较大的抑制作用。随着经济的快速发展,城市化进程不断加强。城市自然生态系统的功能显得越发重要,然而受人类活动的影响,诸如交通工具对路面的碾压、行人的践踏等,行道树等城市绿化植物赖以生存的土壤发生了很大变化,城市植物自然生态系统服务的功能随之发生严重退化^[24-25]。因此,改善城市土壤特性是防止行道树生长衰弱和早衰的有效办法。

由于交互作用显著,所以在选择适宜的栽植基质时应综合考虑各个因素。

4 结论

本研究初步筛选出了适宜上海市香樟、银杏、悬铃木和广玉兰生长的土壤基质条件,其分别为处理8(填充颗粒粒径3 cm,结构土占比80%,土壤湿度50%)、处理7(填充颗粒粒径3 cm,结构土占比60%,土壤湿度40%)、处理2(填充颗粒粒径5 cm,结构土占比40%,土壤湿度60%)和处理6(填充颗粒粒径3 cm,结构土占比40%,土壤湿度80%)。在此基础之上,应加强行道树的养护管理。一方面栽植时株间距应为4 m,树池上宜覆盖树池算子和盖板等,利于土壤透气的同时也避免行人的踩踏^[26]。另一方面,生长期内根据各树种生长状况采取追肥等施肥措施,且根据土壤干湿度情况及时灌溉和排涝^[27]。然而仅凭借适宜基质还不足以全面改善苗木长势,在此基础上还需结合适宜的养护管理,城市行道树才能更加良好地生长。

参考文献:

[1] 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].东北师范大学学报:自然科学版,2006,38(3):124-127.

[2] Brazel A, Selover N, Vose R, et al. The tale of two climates-Baltimore and Phoenix urban LTER sites[J]. Climate Research, 2000, 15(2):123-135.

[3] 王良睦,王文卿,林鹏.城市土壤与城市绿化[J].城市环境与城市生态,2003,12(6):180-181.

[4] 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.

[5] Godefroid S, Monbaliu D, Koedam N. The role of soil and microclimatic variables in the distribution patterns of urban wasteland flora in Brussels, Belgium[J]. Landscape & Urban Planning, 2007, 80(1-2):45-55.

[6] Mccrackin M L, Harms T K, Grimm N B, et al. Responses of soil microorganisms to resource availability in urban, desert soils[J]. Biogeochemistry, 2008, 87(2):143-155.

[7] Clark H F, Brabander D J, Erdil R M. Sources, sinks, and exposure pathways of lead in urban garden soil[J]. Journal of Environmental Quality, 2006, 35(6):2066-2074.

[8] Lee C S, Li X D, Shi W Z, et al. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: A study based on GIS and multivariate statistics[J]. Science of the Total Environment, 2006, 356(1-3):45-61.

[9] Herb W R, Janke B, Mohseni O, et al. Ground surface temperature simulation for different land covers[J]. Journal of Hydrology, 2008, 356(3-4):327-343.

[10] Imhoff M L, Zhang P, Wolfe R E, et al. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114(3):1920-1923.

[11] 杨金玲,汪景宽,张甘霖.城市土壤的压实退化及其环境效应[J].土壤通报,2004,35(6):689-693.

[12] 梁景生,何国华,梁理勇,等.土壤物理性质对柠檬桉人工实生林的生长影响浅析[J].广东林勘设计,2000,(2):17-20.

[13] 范伟国,杨洪强.不同基质对平邑甜茶幼树生长、根系形态与营养吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(4):936-941.

[14] Luis V C, Llorca M, Chirino E, et al. Differences in morphology, gas exchange and root hydraulic conductance before planting in *Pinus canariensis* seedlings growing under different fertilization and light regimes[J]. Trees, 2010, 24(6):1143-1150.

[15] 王艺,王秀花,张丽珍,等.不同栽培基质对浙江楠和闽楠容器苗生长和根系发育的影响[J].植物资源与环境学报,2013,22(3):81-87.

[16] 楚秀丽,王秀花,张东北,等.基质配比和缓释肥添加量对浙江楠大规格容器苗质量的影响[J].南京林业大学学报:自然科学版,2015(6):67-73.

[17] 李双喜,杨曾奖,徐大平,等.水分、养分和寄主对檀香幼苗根系生长及营养吸收的影响[J].植物资源与环境学报,2015(1):61-68.

[18] 肖遥,楚秀丽,王秀花,等.缓释肥加载对3种珍贵树种大规格容器苗生长和N、P库构建的影响[J].林业科学研究,2015,28(6):781-787.

[19] 程中倩,李国雷.氮肥和容器深度对栓皮栎容器苗生长、根系结构及养分贮存的影响[J].林业科学,2016,52(4):21-29.

[20] 薛建辉,王智,吕祥生.林木根系与土壤环境相互作用研究综述[J].南京林业大学学报:自然科学版,2002,26(3):79-84.

[21] Wang Q C, Sun Z H, Zhang Y D, et al. Adaptive responses of *Acer ginnala*, *Pyrus ussuriensis* and *Prunus davidiana* seedlings to soil moisture stress[J]. Journal of Forestry Research, 2003, 14(4):280-284.

[22] 彭达,张红爱,杨加志.广东省林地土壤非毛管孔隙度分布规律初探[J].广东林业科技,2006,22(1):56-59.

[23] 伍海兵,李爱平,方海兰,等.绿地土壤孔隙度检测方法及其对土壤肥力评价的重要性[J].浙江农林大学学报,2015,32(1):98-103.

[24] 欧阳育林.城市土壤与园林绿化[J].热带林业,2004,32(1):31-34.

[25] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas. Ecological Economics, 2001, 39(3):333-346.

[26] 袁学文,甄芳洁.北京地区城市道路行道树养护管理存在的问题与对策[J].北京园林,2014,(2):46-51.

[27] 王志星.行道树的种植和养护管理[J].广东科技,2007,(S2):101-102.