

场地土壤适宜性改良策略及其对草本植物群落生长的影响

王晶懋¹, 刘 晖¹, 宋菲菲², 郭 锋¹

(1. 西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055; 2. 中国城市建设研究院, 北京 100120)

摘要: 城市建设使得场地中的土壤条件与自然环境相比有很大的差异, 进而直接或间接影响城市生态环境质量。通过科学适宜的人工干预, 城市场地土壤改良在场地可持续性设计方法中越来越重要。针对建成环境中的场地土壤类型, 提出生态服务功能需求下的土壤改良设计方法, 是城市建成环境场地设计中适宜性生态系统营建的重要途径。从土壤因子与植物景观营造的关系出发, 指出基于土壤因子进行植物景观营造的必要性, 并从植物与土壤的维护和跟踪监测两个方面, 研究了场地可持续管理的方法; 以西建大南门花园为例, 基于土壤适宜性改良对草本植物群落进行设计与实验性研究, 验证了不同的土壤改良设计方法对土壤的改善和对植物生长的促进效果。

关键词: 南门花园; 土壤改良剂; 覆盖物; 草本植物群落

中图分类号: TU984

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2020)02-0279-08

Soil suitability improvement strategy and its effect on herbaceous community growth

WANG Jingmao¹, LIU Hui¹, SONG Feifei², GUO Feng¹

(1. College of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. China Urban Construction Research Institute, Beijing 100120, China)

Abstract: Urban construction makes the soil conditions in the site very different from the natural environment, It affects the quality of the urban ecological environment directly or indirectly. Through scientific assessment and appropriate manual intervention, urban site soil improvement is becoming more and more important in site sustainability design methods. The assessment of the suitability of soil types in the built environment, and the proposed soil improvement design method under the demand of ecological service functions are important ways to construct suitable ecosystems in the design of urban built environment sites. Based on the relationship between soil factors and plant landscape construction, the necessity of plant landscape construction based on soil factors is pointed out. From the aspects of plant and soil maintenance and follow-up monitoring, the methods of sustainable management of the site were studied. Taking the Southgate garden as an example, experimental observations for herbaceous community were carried out on the basis of soil suitability evaluation and improvement, and different soil improvement design methods help improve soil and promote plant growth.

Key words: Southgate garden; soil conditioner; mulch; herbaceous community

在现代城市化进程中, 自然和农业土壤受到了强烈的人为干扰, 土壤的结构和质量因为水土流失、压实、污染和过度施肥等受到了严重破坏^[1], 导致了独特的城市土壤问题, 例如土壤压实和团粒稳定性的丧失, 板结带来的不可渗透性, 土壤酸碱性改变, 压实造成排水不畅, 土壤贫瘠, 保肥能力差等问题^[2-3]。这些问题严重阻碍植物的正常生长, 也使得自然土壤应有的生态功能难以发挥。城市土壤作为人工干预下形成的一类特殊

的土壤类型, 正在走向“有土无壤”的境地。

一直以来, 场地设计中很少考虑土壤改良问题。在棕地修复类项目中, 土壤污染问题一般由环境学科介入, 再进行场地设计。而在进行城市道路绿化、公园绿地设计时, 土壤在前期的场地分析中往往被忽略, 导致进行植物设计时不能选择与土壤相适宜的植物种。在植物种植设计阶段也缺少对场地土壤的适宜性评价与针对不同土壤条件的植物种植设计策略, 最终难免出现植物生

长与场地土壤条件不适的问题。因此,在场地设计中需要采取相应的场地土壤适宜性改良策略,借鉴多学科的研究成果应对风景园林学科中的土壤问题。

目前,国内外存在针对场地土壤改良与植物生长的相关研究。张微^[4]运用新型生物质材料改善了风沙土理化性质,提高了保水、保肥能力,并通过实验证实了对供试灌木的生长具有明显的促进作用。常进^[5]在2015年对哈尔滨市四种绿地类型进行了调查分析,探索了土壤改良剂对绿地土壤的改良效果,以及改良后的土壤对万寿菊、紫丁香和长药景天的生长影响,指出城市绿地土壤与自然土壤有很大差异。对于景观植物的研究多是从植物的美学效果、生态功能角度进行,而关于植物与土壤适宜性的研究更少。杨靖^[6]等在对野花草甸栽植技术的研究中提出,为了确保植物群落的营建效果,需要在植物建植前对场地的土壤肥力、土壤类型进行调查分析。英国著名生态景观设计师詹姆斯·希契莫夫^[7]认为在植物选择上需花费更多的精力考虑基本气候和土壤条件,有助于植物群落的稳定性,减少对群落的管理维护。

土壤改良在农业、林业等领域已有深入研究,而在场地设计中却很少考虑土壤场地现在分析与改良问题,在风景园林仅有少量研究。本研究在对相关领域土壤适宜性改良研究的基础上,通过对城市建成环境中破碎化和异质性的斑块状场地空间的土壤进行改良设计,为土壤生物营造健康的土壤生境条件,从而促进适生草本植物群落的生长。

1 研究方法

1.1 试验地概况

西安建筑科技大学南门花园建于2015年,建设前的场地被绿篱包围,内部绿地均为填充式绿化,植物类型单一。花园原有场地大部分面积土壤为杂类物填充土土种,经过土壤翻新,剔除建筑垃圾后,基本为含有小粒碎石的混合填充土土种,钢板花池内从周围外围场地搬运回填一些土质较好的亚素填土。选取的试验地面积为841 m²,地理坐标为N 34°23'55", E 108°96'77",处于暖温带半湿润大陆性季风区^[8]。改造前的南门花园现状植被,钢板花池中层和上层杂草较多(图1(a))。由于新栽种的植物是脆弱的,它们需要根系和资源来与其他侵略性植物竞争。现存的杂草会争夺新种植物的水分和营养,同时它们由于会借助高

度和叶子的优势覆盖新栽种的植物,因此杂草区对于植物群落的构建是不利的。钢板花池下层距离铺装较近,行人经常踩踏,导致土壤压实严重(图1(b)),没有植物生长(图1(b))。雨水花园区域出现植物枯黄、生长不良的现象。南门花园现状大部分为平整地形,排水良好。钢板花池上层和中层砾石层覆盖较薄,随着雨水的冲刷,土壤裸露(图1(c))。钢板花池下方由于压实严重,排水缓慢,下雨时常出现水洼(图1(d))。雨水花园处为地形凹陷区,现有群落存在植物枯黄、生长不良现象,另外雨水花园边沿有土壤侵蚀等问题。



图1 南门花园土壤现状问题

Fig. 1 The problem of Southgate garden

1.2 试验设计

根据南门花园土壤目前所存在的问题,对其进行了改良设计(表1)。地形是影响土壤理化性状的重要因素。针对南门花园雨水花园区域土壤受到侵蚀的现状,对地形进行整理,尤其是坡面重新固土^[9]。首先根据场地土壤状况将其划分为健康土壤区、土壤压实区、土壤侵蚀区、杂草区(图2),然后采取相应的改良措施。针对南门花园钢板花池下方土壤压实严重且土壤裸露的现状,采用植物群落改良土壤,并使用5 cm厚树皮覆盖,起到避免行人踩踏、保水保肥的效果。针对钢板花池上层和上层杂草较多的问题,清除所有杂草,并采用10 cm厚砾石覆盖,并在钢板花池中层和下层施用草炭+珍珠岩+稻糠土壤改良剂(图3)。

实验材料分为植物材料、土壤覆盖物和土壤改良剂。根据课题组对西北地区代表性城市典型附属绿地类型中草本植物群落的抽样调研结果^[10],确定了本研究的植物材料,包括八宝景天、薹草、地被石竹、小兔子狼尾草、美国薄荷、橙花糙苏、苔草、灯芯草、木春菊、棉毛水苏,这些植物材料能够作为草本植物群落组构及设计的基本单元,

并且遵循了适应性强、生长速度快、观赏价值高、养护成本低等筛选原则, 适用于西安城市建成环境中独立而破碎的绿化场地。土壤覆盖物包括 5 cm 厚树皮覆盖和 10 cm 厚砾石覆盖; 土壤改良剂为草炭+珍珠岩+稻糠。使用两种覆盖物砾石(M1)和树皮(M2), 一种改良剂草炭+珍珠岩+稻糠(P), 对四种不同群落: A1(木春菊、棉毛水苏、八宝景天)、A2(瞿草、地被石竹、八宝景天)、B1(苔草、灯芯草、橙花糙苏)、B2(小兔子狼尾草、美国薄荷、橙花糙苏)在钢板花池上、中、下区域设置对照实验, 四种群落均设置在 1×1 m 的样方中。

表 1 土壤改良策略与方法		
Tab. 1 The soil improvement strategies and methods		
土壤问题	改良方式	改良策略
土壤侵蚀	场地设计	竖向整理, 坡面固土
	机械改良	翻土
土壤压实	机械改良	翻土
	使用覆盖物	砾石覆盖
杂草	使用覆盖物	树皮覆盖
土壤压实、裸露	使用覆盖物	树皮覆盖
土壤压实、裸露	使用覆盖物	砾石覆盖
土壤贫瘠	物理性质改良	草炭+珍珠岩+
		稻糠土壤改良剂

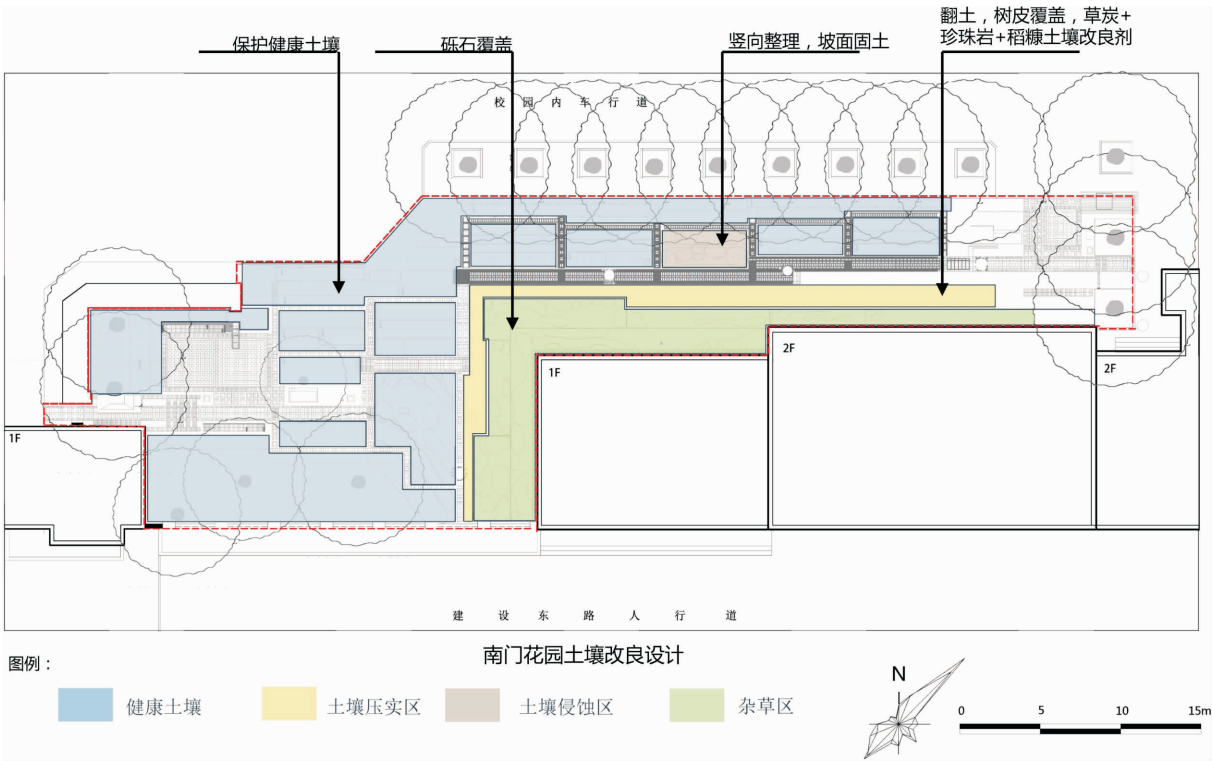


图 2 南门花园土壤改良设计与分布

Fig. 2 The soil improvement and distribution of Southgate garden

1.3 试验及数据处理

土壤温度使用多参数土壤水分、温度速测仪(浙江托普 TZS-3X-G)进行测定; 土壤速效磷、铵态氮、有效钾的含量使用土壤养分速测仪(浙江托普 TPY-6)对样品进行分析, 取样深度为 0~20 cm; 土壤孔隙度采用环刀法测定。定期测量与记录每个措施(砾石覆盖、树皮覆盖、草炭+珍珠岩+稻糠、CK)下, 植物的种类、株数、冠幅、株高等数据。数据处理运用数学统计软件 Excel 2016, 分析对比测点的土壤与植物因子间的差距, 用 SPSS 22.0 软件分析各测点的不同改良土壤条件下植物群落长势是否存在显著差异。

1.4 测试样点分布

在南门花园场地中选取 24 个测试点, 从 2017 年 3 月至 12 月连续观测 10 个月, 每月测定各测点的土壤含水量、土壤容重、土壤养分含量。将各项数据取年平均值, 根据试验场地内 5 种植被结构类型, 确定相应测点的位置。对各测点的植物构成及其群落数量特征(密度、盖度、郁闭度)进行调查统计。

2 结果与分析

2.1 不同土壤改良剂对土壤水分的影响

土壤水分是植物生长发育中非常重要的影响

因素,土壤改良剂能够增加土壤对吸收和保持水分的能力,进而提高土壤水分含量^[10,11]. 本实验对于土壤改良剂(草炭+珍珠岩+稻糠)对土壤含水量的影响作了探讨. 从图 3 中可以看出,土壤含水量月度变化表现出“上升—下降—上升—下降”的趋势. 在观测的 10 个月中添加草炭+珍珠岩+稻糠改良剂的土壤含水量高于对照. 选择 2017 年 11 月 15 日对土壤含水量进行数据测试及分析,从图 3 中可以看出,土壤温度日变化情况呈现“下降—上升”的趋势,在下午 16:00 点出现了最低值. 添加草炭+珍珠岩+稻糠改良剂的土壤含水量高于对照.

2.2 不同土壤改良剂对土壤理化性状的影响

通过分析逐月的测定结果,可以发现使用改

良剂后土壤孔隙度比对照样地平均提高了 2.4% (表 2),显著改善了土壤通气状况.

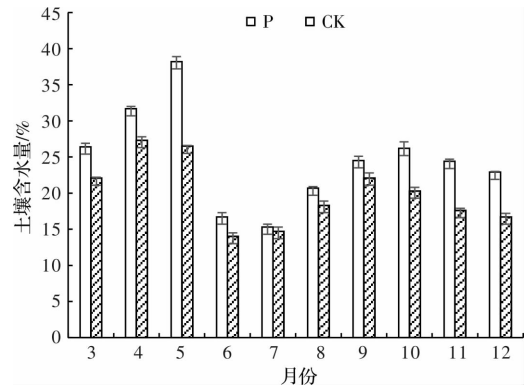


图 3 使用土壤改良剂后土壤含水量变化

Fig. 3 Changes in soil water content after using soil amendments

表 2 土壤改良剂对土壤孔隙度的影响

Tab. 2 The influence of soil conditioners on the soil porosity

土壤处理	不同月份土壤孔隙度/%										平均值
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
P	26.5	26.6	29.7	34.1	32.7	27.4	25.2	31.7	30.2	28.8	29.3
CK	23.2	24.2	25.0	30.5	29.5	26.6	25.9	28.4	28.9	27.3	26.9

土壤养分中的速效磷、铵态氮、速效钾能够直接被植物吸收利用,三者含量的变化对植物生长有显著影响. 本研究逐月测定了使用土壤改良剂后,土壤中这三种养分含量的变化(表 3、表 4、

表 5). 结果表明,施加土壤改良剂后速效钾、铵态氮、速效钾含量分别比对照样地平均提高了 2.9 mg/kg、0.3 mg/kg、4.2 mg/kg,在一定程度上改善了土壤养分状况.

表 3 土壤改良剂对速效钾含量的影响

Tab. 3 The influence of soil conditioners on the rapidly available potassium content

土壤处理	不同月份土壤速效磷含量/mg · kg ⁻¹										平均值
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
P	31.8	28.5	30.9	35.4	34.7	35.6	28.3	34.1	33.6	32.6	32.6
CK	31.1	27.5	27.3	31.4	30.4	31.7	27.9	32.5	31.4	25.7	29.7

表 4 土壤改良剂对铵态氮含量的影响

Tab. 4 The influence of soil conditioners on the ammonium nitrogen content

土壤处理	不同月份土壤铵态氮含量/mg · kg ⁻¹										平均值
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
P	4.0	4.3	4.5	4.3	4.5	4.4	5.1	4.7	4.9	5.3	4.6
CK	3.9	4.2	4.2	4.1	4.2	4.3	4.7	4.4	4.5	4.6	4.3

表 5 土壤改良剂对速效钾含量的影响

Tab. 5 The influence of soil conditioners on the rapidly available potassium content

土壤处理	不同月份土壤速效钾含量/mg · kg ⁻¹										平均值
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
P	150.2	148.1	145.4	154.3	148.2	147.2	142.2	140.1	144.2	146.3	146.6
CK	148.3	147.1	141.7	149.2	146.8	145.2	139.1	132.8	135.3	138.3	142.4

2.3 不同土壤改良剂对植物群落生长的影响

从图4中可以看出,添加土壤改良剂对薹草、地被石竹和八宝景天的株高均有促进作用。其中,薹草的平均株高比对照组高41.58%(图4a);地被石竹的平均株高比对照组高39.34%(图4b);八宝景天的平均株高比对照组高39.31%(图4c)。草炭+珍珠岩+稻糠对薹草的株高促进作用最佳。群落由薹草、地被石竹、八宝景天三种草本组成,覆盖度整体变化趋势相近,这说明,覆盖度随着气候和植物的生长规律而变化^[12,13]。4~5月西安气候适宜植物生长,因此,植物覆盖度快速增加。在2017年5月初,植物覆盖物达到峰值。5~6月植物覆盖度有所下降,8~9月雨水充沛,覆盖度均有所恢复。添加土壤改良剂覆盖度较对照有所提升,提升幅度为21.79%(图4d)。

2.4 不同覆盖物对土壤水分的影响

土壤水分是制约干干湿地区植被恢复和生态重建的决定性因子。在土壤表层铺上覆盖物后,土

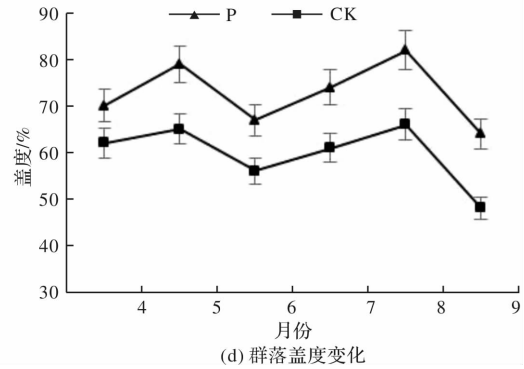


图4 不同土壤改良剂对植物群落的影响

Fig. 4 The influence of different soil conditioners on the plant community

壤蒸发率降低,可保持更高、更长时间的土壤含水量。相关研究中发现利用木纤维、树皮、松鳞覆盖可以保持土壤的水分^[14],相关街道绿化带土壤覆盖保水技术试验研究表明陶粒覆盖下的土壤含水量变化量最小且最为稳定^[15]。

通过对2017年不同月份砾石和树皮覆盖下土壤的含水量进行研究,可以看出,使用覆盖物的样方土壤的含水量明显高于对照(图5);3~5月,砾石覆盖的土壤含水量高于覆盖树皮和对照:覆盖砾石(28.7%)>覆盖树皮(23.6%)>对照(23%);6~8月,覆盖砾石后土壤含水量高于覆盖砾石和对照:覆盖砾石(22.4%)>覆盖树皮(19.4%)>对照(18.7%);9~11月,覆盖砾石后土壤含水量高于覆盖树皮和对照:覆盖砾石(29.4%)>覆盖树皮(27.9%)>对照(26.2%)。可以看出,覆盖砾石后土壤含水量明显提高,且效果好于覆盖树皮。覆盖对于有效利用降雨,减少水分蒸发起到了很好的作用^[16,17]。群落样方中使用不同覆盖物后土壤含水量月度变化表现出“上

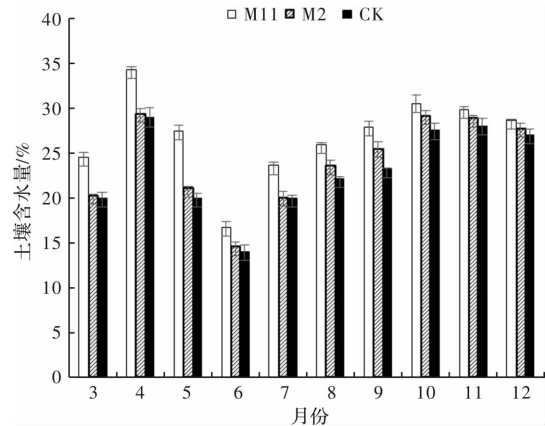
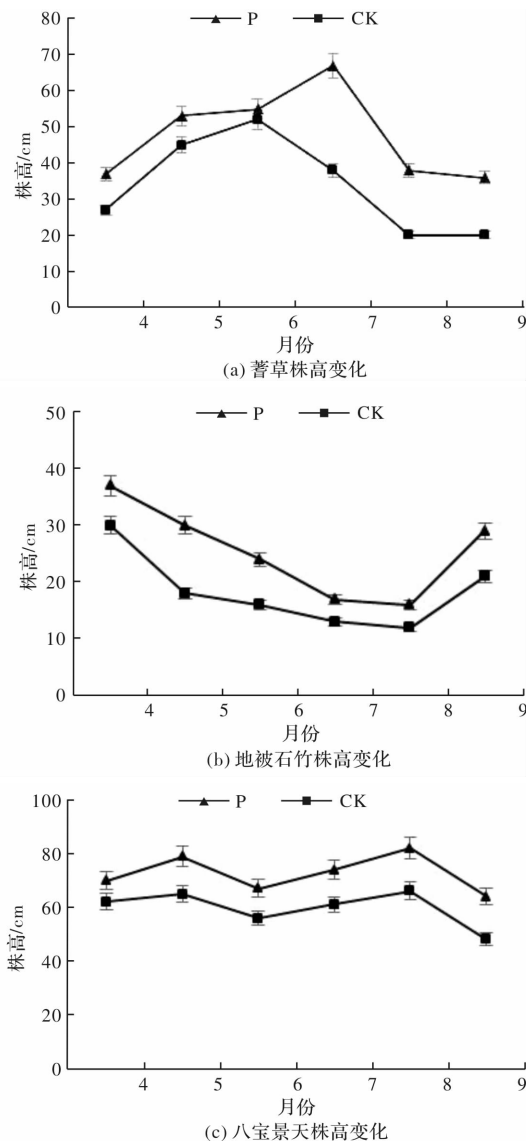


图5 不同植被结构绿地的相对湿度差异

Fig. 5 Relative humidity of green space with different vegetation structure

升—下降—上升—下降”的趋势。在观测的10个月中使用覆盖物的样方土壤含水量高于对照,并且覆盖砾石后的土壤含水量高于覆盖树皮。选择2017年11月15日对土壤含水量进行数据测试及分析,可以看到群落样方中使用覆盖物后土壤温度日变化表现出“下降—上升”的趋势,土壤覆盖物处理后含水量变大,覆盖砾石的含水量最大。

2.5 不同覆盖物对植物群落生长的影响

通过对在2017年不同月份砾石和树皮覆盖下土壤的含水量进行研究,可以看出,使用覆盖物的样方土壤的含水量明显高于对照,3~5月砾石和树皮覆盖下的杂草指标都比对照低(表6)。在2种覆盖物中,紫菀的株高的大小为树皮>砾石,打碗花的株高大小为树皮>砾石;紫菀的盖度大小为树皮>砾石,打碗花的株高大小为树皮>砾石;综合考虑以上各因素,砾石对杂草的抑制效果较好。

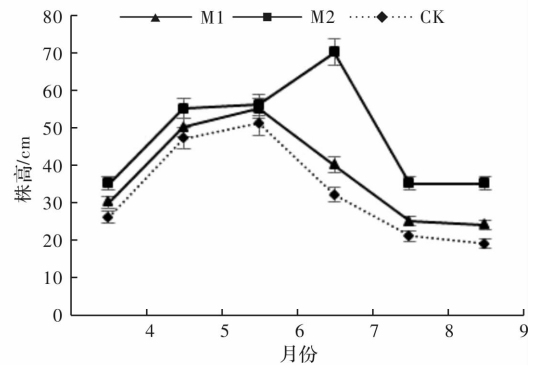
表6 不同样方内杂草指标对比

Tab. 6 Comparison of weed indicators in different squares

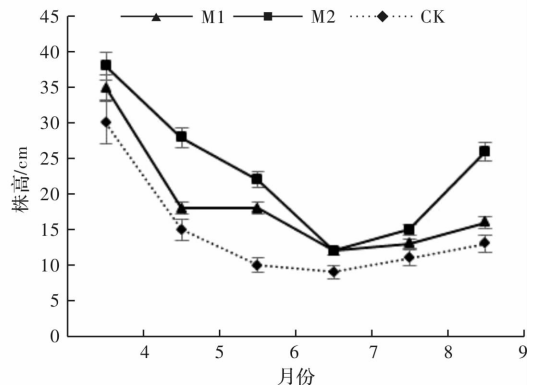
覆盖物名称	杂草类型	株高/cm	盖度/%
M1	紫菀	7.3	8.0
	打碗花	6.0	1.0
M2	紫菀	23.0	10.0
	打碗花	6.9	3.0
CK	紫菀	35.0	17.0
	打碗花	8.0	5.0

从图6可以看出,2种覆盖物对薹草、地被石竹和八宝景天的株高均有促进作用。其中,树皮覆盖对植物株高的促进作用较砾石覆盖效果更好。在砾石和树皮两个处理中,薹草的平均株高分别比对照组高14.26%、45.91%;地被石竹的平均株高分别比对照组高27.27%、61.29%;八宝景天的平均株高分别比对照组高17.20%、39.31%。覆盖物对地被石竹的株高促进作用最佳。薹草和八宝景天株高变化趋势符合植物生长基本趋势,地被石竹株高4~7月降低、7~9月升高。可能由于4~7月倒伏,7~9月西安雨水充沛,植物长势较旺。群落由薹草、地被石竹、八宝景天三种草本组成,覆盖度整体变化趋势相近,这说明覆盖度随着气候和植物的生长规律而变化^[18-20]。4~5月西安气候适宜植物生长,植物覆盖度迅速增加。在2017年5月,植物覆盖度达到峰值。5~6月植物覆盖度有所下降,8~9月雨水充沛,覆盖度均

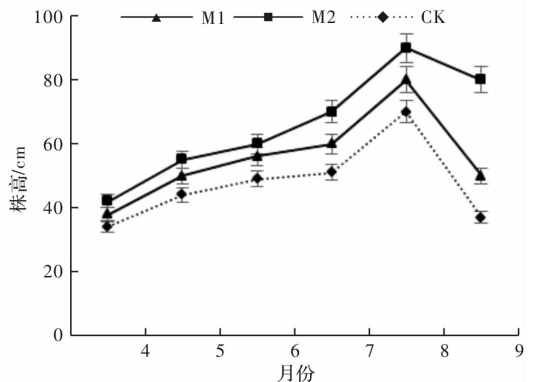
有所恢复,由于天气炎热,不同基质厚度上的覆盖度差距变大,树皮覆盖>砾石覆盖>CK。



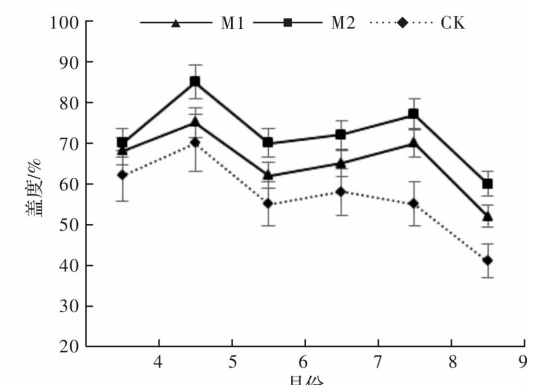
(a) 薹草株高变化



(b) 地被石竹株高变化



(c) 八宝景天株高变化



(d) 群落盖度变化

图6 不同覆盖物对植物群落的影响

Fig. 6 The influence of different mulches on the plant community

3 结论

结合场地设计和生境营造理论,对南门花园各类场地土壤问题的改良设计方法进行研究,分析了土壤改良策略对土壤及植物生长的影响,得出以下结论:

(1)土壤改良策略对土壤含水量的作用.使用土壤改良剂草炭+珍珠岩+稻糠能够提高土壤含水量,覆盖砾石和树皮能够提高土壤含水量,覆盖砾石比覆盖树皮更能提高土壤含水量.在绿地上覆盖不同覆盖物后土壤含水量基本都明显大于空白对照,覆盖砾石比树皮能够提高土壤的含水量.

(2)土壤改良策略对土壤理化性状的作用.添加草炭+珍珠岩+稻糠改良剂能够提高土壤孔隙度,并能提升土壤速效磷、铵态氮、速效钾含量,可以证实土壤改良剂对土壤理化性状有显著的改善作用.

(3)土壤改良策略对植物生长的作用.添加土壤改良剂的土壤中杂草的各数量指标均高于对照,添加土壤改良剂对薹草、地被石竹和八宝景天的株高均有促进作用,其中草炭+珍珠岩+稻糠对薹草的株高促进作用最佳.添加土壤改良剂盖度使群落的盖度有所提高;覆盖物对杂草有抑制作用,砾石覆盖效果好于树皮覆盖;覆盖物对植物株高和群落盖度有促进作用,对地被石竹的株高促进作用最佳.树皮覆盖的处理效果好于砾石覆盖.

通过在南门花园实验样地内采取施加土壤改良剂和覆盖土壤的改良策略,并进行连续性观测,最终可以发现土壤生境条件在人工改良措施干预下得到了相应的改善,这些场地土壤适宜性改良策略对于供试的草本植物群落有积极的作用,促使建成环境生境多样性的形成.

4 讨论

土壤作为风景园林建设的基础与城市绿地系统的载体,对保持城市生态系统的健康发挥着极其重要的作用.它提供重要的生态系统服务功能,如支持植物提供初级生产力,为生物多样性提供生境,调节城市水文循环和污染物净化等,同时它也是城市景观的载体.通过草本地被群落样方实验,验证了不同土壤改良方法对土壤的改善和对植物生长的促进作用,并且可以推断树皮和砾石覆盖、草炭+珍珠岩+稻糠改良对土壤物理结

构和土壤养分具有一定的改善作用,进而影响植物株高及盖度.这说明植物的生长状况很大程度上受土壤理化性质的影响,因此该研究也为西北半干湿地区的场地可持续的管理措施提供了一种思路:通过低影响、本土化的管理维护方式,采用树皮、砾石等覆盖以减少杂草数量、调节土壤温度,使用更为健康的土壤改良剂代替化肥优化土壤性状等措施,让自然做功,充分发挥植物群落生态系统以及土壤生态系统的生态系统服务功能.

参考文献 References

- [1] 王秀萍,张国新,鲁雪林,等.河北沿海区耕地土壤质量综合评价[J].中国农学通报,2013(30):136-142.
WANG Xiuping, ZHANG Guoxin, LU Xuelin, et al. Comprehensive Evaluation of Soil Quality in Coastal Region of Hebei Province [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013(30):136-142.
- [2] 刘红权,刘毓,赵凤莲.居住区和工业区绿地土壤质量综合评价研究[J].山东科学,2013,26(5):52-60.
LIU Hongquan, LIU Yu, ZHAO Fenglian. Comprehensive evaluation of soil quality of grassland in residential and industrial areas [J]. Shandong Science, 2013, 26(5):52-60.
- [3] 田绪庆,陈为峰,申宏伟.日照市城区绿地土壤肥力质量评价[J].水土保持研究,2015,22(6):138-143.
TIAN Xuqing, CHEN Weifeng, SHEN Hongwei. Assessment on Quality of Soil Fertility of the Urban Green Space in Rizhao City [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(6):138-143.
- [4] 张微.生物质土壤改良剂对风沙土改良效应及植物生长的影响[D].呼和浩特:内蒙古师范大学,2014.
ZHANG Wei. The influence of Biomass Soil Improver on Aeolian Sandy Soil Improvement Effect and Plant Growth [D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2014.
- [5] 常进.哈尔滨城市绿地土壤调查及改良效果研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2015.
CHANG Jin. Soil Survey and Improvement Effect of Urban Greenbelt in Harbin [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2015.
- [6] 杨靖,尹豪.草甸型景观的生态种植理论与技术分析[J].中国园林,2018,34(2):128-132.
YANG Jing, YIN Hao. The Analysis of Ecological Planting Theory and Technology in Flower Meadow [J]. Chinese Landscape Architecture, 2018, 34(2): 128-132.
- [7] 希契莫夫·J,刘波,杭烨.城市绿色基础设施中大规模

- 模草本植物群落种植设计与管理的生态途径[J]. 中国园林, 2013, 29(3):16-26.
- HITCHMOUGH J, LIU Bo, HANG Ye. Applying an Ecological Approach to Extensive, Designed Herbaceous Vegetation in Urban Green Infrastructure[J]. Chinese Landscape Architecture, 2013, 29(3):16-26.
- [8] 王晶懋, 刘晖, 梁闯, 等. 校园绿地植被结构与温湿效应的关系[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2017, 49(5):708-713.
- WANG Jingmao, LIU Hui, LIANG Chuang, et al. Relationship between campus green space vegetation structure and temperature-humidity effect[J]. Journal of Xi'an Univ. of Arch. & Tech. (Natural science edition), 2017, 49(5):708-713.
- [9] 饶晓娟, 王治国, 耿庆龙, 等. 莎车县地形对耕地地力质量的影响及改良对策[J]. 农学学报, 2014, 4(9):50-54.
- RAO Xiaojuan, WANG Zhiguo, GENG Qinglong, et al. Effect of terrain on evaluation of soil fertility and improvement and utilization in Shache county [J]. Journal of Agriculture, 2014, 4(9):50-54.
- [10] 刘晖, 王晶懋, 吴小辉. 生境营造的实验性研究[J]. 中国园林, 2017, 33(3):5-9.
- LIU Hui, WANG Jingmao, WU Xiaohui. An experimental research approach on the habitat-site design [J]. Chinese Landscape Architecture, 2017, 33(3):5-9.
- [10] 秦瑞杰, 郑粉莉, 卢嘉. 草本植物生长发育对土壤团聚体稳定性影响的试验研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3):141-144.
- QIN Ruijie, ZHENG Fenli, LU Jia. The Effect of herbaceous plant growth on the soil aggregate stability [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(3):141-144.
- [11] 曹丽花. 改良剂对黄土高原主要土壤类型结构和水分特征的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.
- CAO Lihua. Study of the amendments on soil structure and soil water characteristics in different soils on the Loess Plateau[D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2007.
- [12] 卢珊珊. 北京地区植被屋面植物组合与基质厚度研究[D]. 北京:北京林业大学, 2016.
- LU Shanshan. Research of plant mixtures and substrate depths on extensive green roofs in Beijing area [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.
- [13] 徐振华, 高运茹, 钱金娥, 等. 覆盖物对屋顶绿化基质水分变化和植物生长的影响[J]. 林业技术开发, 2014, 28(3):59-62.
- XU Zhenhua, GAO Yunru, QIAN Jiner, et al. The coverings influences on substrate moisture holding and plant growth of the roof greening[J]. The forestry science and technology development, 2014, 28(3):59-62.
- [14] 陈玉娟. 有机覆盖物对城市绿地土壤的影响[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2009.
- CHEN Yujuan. Effects of organic mulch on the soil of urban green space[D]. Beijing: The Chinese Academy of Forestry Science, 2009.
- [15] 贾培义, 郭湧, 王晞月, 等. 景观场地可持续设计手册: 场地设计方法、策略与实践[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2016.
- JIA Peiyi, GUO yong, WANG Xiyue, et al. The sustainable sites handbook: a complete guide to the principles [M]. Beijing: China building industry press, 2016.
- [16] WANG J M, LIU H, WU, X H, et al. Effects of different types of mulches and legumes for the restoration of urban abandoned land in semiarid northern China [J]. Ecol. Eng., 2017, 102(5):55-63.
- [17] SHAO Q, GU W, DAI Q, et al. Effectiveness of geotextile mulches for slope recovery in semi-arid northern China. Catena, 2014, 116(5):1-9.
- [18] 曲国辉, 郭继勋. 松嫩平原不同演替阶段植物群落和土壤特性的关系[J]. 草业学报, 2003, 12(1):18-22.
- QU Guohui, GUO Jixun. The relationship between different plant communities and soil characteristics in Songnen grassland [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(1):18-22.
- [19] 刘世梁, 马克明, 傅伯杰, 等. 北京东灵山地区地形土壤因子与植物群落关系研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4):496-502.
- LIU ShiLiang, MA Keming, FU Bojie, et al. The relationship between landform, Soil characteristics and plant community structure in the Donglingshan mountain region, Beijing [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2003, 27(4):496-502.
- [20] HITCHMOUGH J, FLEUR M. Establishing North American prairie vegetation in urban parks in northern england; effect of management and soil type on long-term community development[J]. Landscape & Urban Planning, 2006, 78(4):386-397.

(编辑 桂智刚)