不同材料覆盖对城市裸露土壤理化性质的影响

熊凯毅，李素艳，曲炳鹏，贠炳辉，孙向阳，王心语
（北京林业大学 林学院，北京 100083）

摘　要：[目的] 研究不同材料覆盖城市裸露土壤的效果，为城市裸露土壤处理及生态美化提供理论指导和依据。[方法] 以裸露土壤为对照，设置木片、园林废弃物、鹅卵石、陶粒、有机覆盖垫、分层覆盖（上层园林废弃物，下层园林废弃物堆肥）处理。[结果] 不同材料覆盖均能影响土壤性质，但随着时间增长，效果减弱，0—10 cm 土层较 10—20 cm 土层易受覆盖影响；鹅卵石、陶粒处理显著提高土壤含水量；木片、分层覆盖显著降低土壤容重，提高土壤孔隙度；分层覆盖和园林废弃物覆盖显著降低土壤 pH 值。有机材料覆盖均能提高土壤有机质和速效养分：其中分层覆盖和园林废弃物覆盖效果较明显，分别可提高土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量 56.63%，85.73%，85.52%和 48.66%，63.11%，25%，而养分供应持续性是分层覆盖和有机覆盖垫覆盖更好。[总结] 分层覆盖效果最佳，在海绵城市与绿色化城市建设中具有现实推广意义。

关键词：覆盖物；城市裸露土壤；土壤含水量；土壤理化性质
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2018)06-0016-06　　**中图分类号**：S714.2

文献参数：熊凯毅，李素艳，曲炳鹏，等. 不同材料覆盖对城市裸露土壤理化性质的影响[J]. 水土保持通报，2018，38(6)：16-21. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.003. Xiong Kaiyi, Li Suyan, Qu Bingpeng, et al. Effects of different mulching materials on soil physical and chemical properties in urban bare land[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(6): 16-21.

Effects of Different Mulching Materials on Soil Physical and Chemical Properties in Urban Bare Land

XIONG Kaiyi, LI Suyan, QU Bingpeng, YUN Binghui, SUN Xiangyang, WANG Xinyu
(*College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: [Objective] The effects of different materials covering urban bare soil were studied to provide the guidance and basis in theory for urban bare soil amendment and ecological beautification. [Methods] The bare soil with different types of coverings, including wood chips, garden waste, pebbles, ceramsite, organic mulching mats, mulching with two layers(upper garden waste, lower garden waste compost), were designed, and the bare soil without mulch was control. Soil physical and chemical properties were measured after one year. [Results] In general, all mulching treatments could affect soil physical and chemical properties in different soil layers. The effects on the layer of 0—10 cm were stronger than on the layer of 10—20 cm. However, the effects would be gradually weakened as extended time. Soil moisture could be improved by the treatments of pebbles and ceramsite. Soil bulk density was reduced and soil porosity was increased by the treatments of wood chips and mulching with two layers. The treatments of mulching with two layers and garden waste could also significantly reduce soil pH value. Organic mulching materials could increase soil organic matter and available nutrients in both layers. The effects of the mulching with two layers and the garden wastes were better than that of other treatment. Soil content of available nitrogen, available phosphorus and available potassium of with mulching with two layers and the garden wastes were 56.63%, 85.73%, 224.52% and 48.66%, 63.11%, 25.00% greater than in bare soil without mulch. The continuity of nutrient supply was better for the treatment of the mulching with two layers and the organic pad. [Conclusion] The treatment of

收稿日期：2018-05-27　　**修回日期**：2018-07-09
资助项目：生物燃气及循环农业科技促进教育项目“园林废弃物移动式热裂解装备与高值化利用技术研发及示范应用”(Zl61100001316004)
第一作者：熊凯毅(1992—)，男(汉族)，江西省丰城市人，硕士研究生，研究方向为土壤资源与环境。E-mail：602918203@qq.com。
通讯作者：李素艳(1968—)，女(汉族)，内蒙古自治区赤峰市人，博士，副教授，主要从事土壤生态、土壤健康与修复等方面的研究。E-mail：lisuyan@bjfu.edu.cn。

mulching with two layers was the better choice to amend bare soil in cities. It is of realistic popularization significance in the construction of sponge city and green city.

Keywords: mulch; urban bare soil; soil moisture; soil physical and chemical properties

近年来,随着城市化的不断发展,国内大多城市园林绿化面积稳步提高,但城市土壤的裸露现象仍十分严峻,而在国外一些环境质量好的城市中,绿地上已无裸露土壤[1]。张骅等[2]调查发现,仅北京市五环内冬季裸土面积可达 99.33 km^2。裸露的地表易形成扬尘,已成为城市发展中一个迫切需要解决的问题。我国北方城市裸露土壤由于踩踏和有机质含量少,浇水频率高,导致容重升高[3],地表紧实,通透性差,pH 值较高,微生物少,养分循环能力较低,N,P 含量较少[4-6],甚至在有些地区绿地土壤污染严重[7-8],严重影响了城市林业的健康状况。目前,我国城市裸露土壤处理主要采取的地面硬化和铺装方法,费用昂贵且效果不佳。大量研究发现,覆盖物可以改善土壤结构和化学组成,农田覆盖具有土壤保墒、调节低温等优点[9],绿地覆盖可以增加土壤有机物质,并在分解的过程中不断还原土壤有效养分,刺激土壤微生物的活性,减轻土壤自然侵蚀,防止土壤板结。此外,覆盖物还能通过对杂草的抑制作用,减少杂草与树木根系对水分和养分的竞争,从而促进树木生长[10]。本研究以北京市裸露土壤为研究对象,选用 2 种无机材料(鹅卵石和陶粒)和 4 种有机材料(木片、园林废弃物、分层覆盖和有机覆盖垫),以无覆盖作为对照,进行桶装控制试验,研究不同类型材料覆盖城市裸露土壤的效果,以期为城市裸露土壤处理及生态美化提供理论指导和依据。

1　材料和方法

1.1　试验地点和供试土壤

1.1.1　试验地点　试验地位于北京林业大学试验苗圃(北纬 40°00′28.3″,东经 116°20′17.5″),典型的北温带半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。年平均降水为 628.9 mm,年均气温为 12.5 ℃。

1.1.2　供试土壤　试验土壤各粒级土粒含量为:砂粒(1～0.05 mm)25.40%,粗粉粒(0.05～0.01 mm)36.00%,细黏粒(<0.01 mm)38.60%,土壤质地为中黏土,具体性质详见表 1。

表 1　试验土壤的主要理化性质

容重/(g·cm^{-3})	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	pH 值	有机质/(g·kg^{-1})	速效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})	碱解氮/(mg·kg^{-1})
1.45	38.55	34.12	4.43	8.45	13.43	13.23	151.91	19.31

1.2　供试材料

①木片。购自北京 LecheMulch(荔驰)公司,桦木树种,颜色为浅棕色,粒径 1～3 cm。②园林废弃物。原料为刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)、构树(*Broussonetia kazinoki*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)和白皮松(*Pinus bungeana*)。③采自香山公园,粒径 1～6 cm 鹅卵石。④有机覆盖垫。选取粒径 1～3 cm 的园林废弃物,利用水性聚氨酯胶黏剂,按照质量比 3∶1 混合均匀,加入内径 6 cm 的塑料模具,加压 12 500 Pa,放置阴凉干燥处,自然风干 48 h 成型。⑤分层覆盖。上层为园林废弃物,下层为堆肥,以模拟枯落物层的未分解层和半分解层,堆肥以园林废弃物为原料,加上泥土和矿物质混合堆积,在高温、多湿的条件下,经过发酵腐熟、微生物分解而制成。

1.3　试验设计

桶装控制试验,选用的白色塑料桶规格为上直径 46 cm,下直径 36 cm,高度 56 cm,在桶底部均匀打上 6 个直径 0.5 cm 的小孔,取苗圃自然土壤,自然风干后过 2 mm 土筛,混合均匀后,装入塑料桶内,每桶装土 347.40 kg,装土高度 50 cm,浇水使土壤含水量达到饱和,待土壤自然沉降 48 h 后,将土壤表层修理平整进行覆盖处理。覆盖厚度统一为 6 cm,共设计 7 种处理:木片(M),园林废弃物(Y),鹅卵石(E),陶粒(T),有机覆盖垫(A),分层覆盖(上层 3 cm 园林废弃物+3 cm 园林废弃物堆肥,F),以无覆盖(CK)作为对照。试验按照随机区组排列,每个处理重复 3 次,于 2016 年 7 月进行铺设,2016 年 8 月至 2017 年 9 月连续观测 1 a,试验过程中完全模拟自然状态,无人为干扰,分别于 2016 年 8 月、2017 年 3 月和 2017 年 9 月进行取样,选取 0—10 cm 及 10—20 cm 深度土样,用于测定土壤各项理化性质。

1.4　测定内容和方法

土壤含水量:使用 TDR300 型号水分测定仪,测定 0—10 cm,10—20 cm 土层水分含量,分别于 1,4,7,10 月中旬测量。土壤容重、总孔隙度采用环刀法测定[11];pH 值采用电位法测定;土壤有机质采用重铬酸钾容量法—稀释热法测定;碱解氮采用碱解扩散

法测定;速效磷采用 $NaHCO_3$—钼锑抗比色法测定;速效钾;NH_3OAc 浸提,火焰光度计法测定[12-13]。

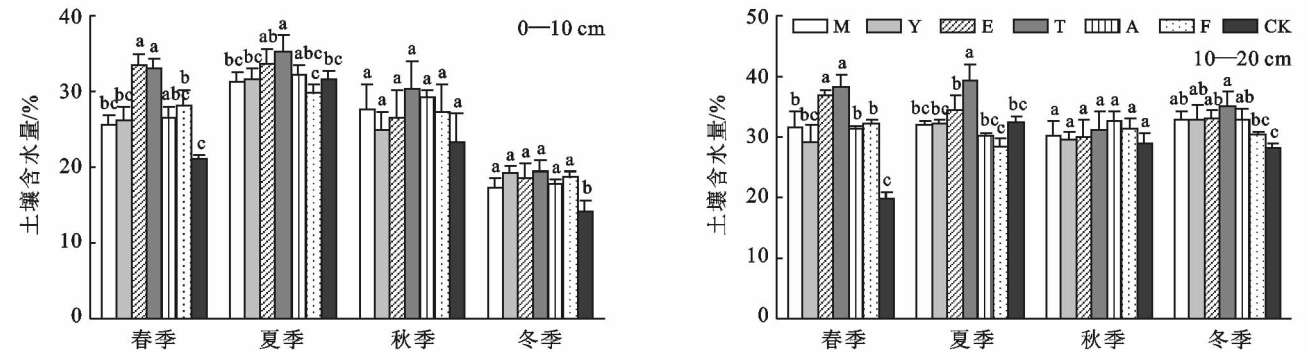
1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 20.0 和 Excel 2013 软件,进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同覆盖处理对土壤物理性质的影响

2.1.1 不同覆盖处理对土壤含水量季节性变化的影响 由图 1 可知,0—10 cm 土层,春季,M,Y,E,T,A,F 这 6 种处理分别较对照提高土壤含水量 4.5%,5.2%,12.4%,12.0%,5.5%和 7.1%,E,T,F 处理效果显著;夏季,T 处理后的土壤含水量高达35.4%,显著高于 M,Y,A,F,CK;冬季,6 种覆盖处理均能显著提高土壤含水量。10—20 cm 土层,春季,除 Y 处理外,其余处理均能显著提高土壤含水量,提高幅度为 9.1%～43.1%;夏季,T 处理提高土壤含水量最明显,其它处理差异不显著。冬季,除 F 处理外,其余处理均能显著提升土壤含水量。总体看来,6 种覆盖处理均能提高土壤含水量,0—10 cm 和 10—20 cm 土层变化趋势相似,在春夏冬 3 个季节表现为差异显著,在秋季不显著。



注:同列数据后不同字母表示差异达 5%显著水平。下同。M,Y,A,F,CK 分别代表木片、园林废弃物、鹅卵石、陶粒、有机覆盖、分层覆盖处理和对照。下同。

图 1 各季节不同覆盖处理下 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的土壤含水量

2.1.2 不同覆盖处理对土壤容重的影响 土壤容重反映了土壤的压实情况,影响降水的入渗及再分配,对土壤的透气性、持水能力等都有非常大的影响[14]。由图 2 可知,不同处理下的土壤容重差异较大,0—10 cm 土层,M,Y,F 处理能显著降低土壤容重,其中 M 处理效果最佳,降幅达 18.5%。10—20 cm 土层,土壤容重范围在 1.22～1.51 g/cm^3 之间,M,Y,A,F 处理较对照能显著降低土壤容重,降幅在 10.6%～19.2%之间。

2.1.3 不同覆盖处理对土壤孔隙度的影响 由图 3 可知,覆盖 1 a 后,0—10 cm 土层,M,F 和 Y 处理较对照能显著提高土壤总孔隙度,提升幅度为 35.2%,28.2%和 27.5%。

10—20 cm 土层,提高土壤总孔隙度最明显为 M 和 Y 处理,土壤总孔隙度达 48.6%和 46.3%,总体来看,除 E 处理外,其余处理在 0—20 cm 土层均能提高土壤总孔隙度。

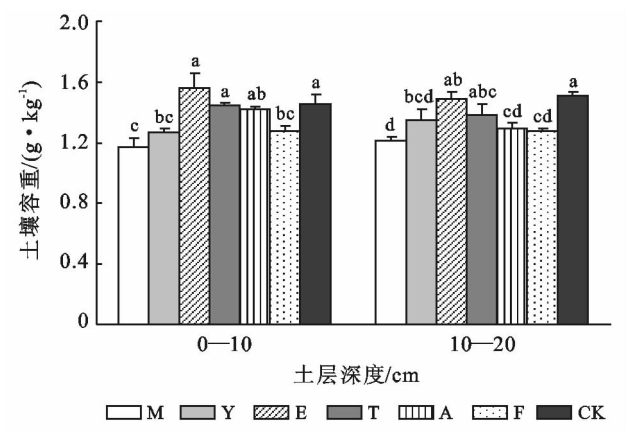


图 2 不同覆盖处理下 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的土壤容重

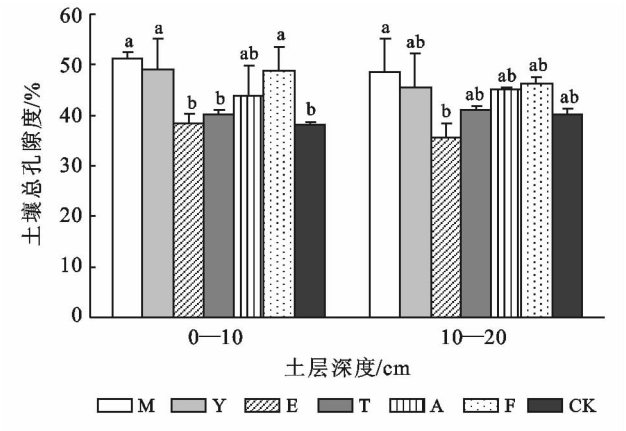


图 3 不同覆盖处理下 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的土壤总孔隙度

2.2　不同覆盖处理对土壤化学性质的影响

2.2.1　不同覆盖处理对土壤 pH 值的影响　由表 2 可知,覆盖 0.5 a 后,0—10 cm 土层,除 E 处理外,其它处理均能降低土壤 pH,F 和 Y 处理较对照差异显著,分别使土壤 pH 降低 0.19,0.16;10—20 cm 土层,F 处理后的土壤 pH 显著低于 E 和 T 处理。覆盖 1 a 后,0—10 cm 土层,除 T 处理外,其余处理均能降低土壤 pH 值,其中 M,Y 和 F 处理较对照分别降低 0.27,0.26 和 0.24,差异显著。10—20 cm 土层,6 种覆盖处理均能降低土壤 pH 值,Y 处理后的土壤 pH 值显著低于对照,降低了 0.31,其他处理差异不显著。

2.2.2　不同覆盖处理对土壤有机质含量的影响　有机质是植物生长必需物质,城市园林土壤退化的一个重要标志就是有机质含量普遍降低[15]。由图 4 可知,与 10—20 cm 土层相比,0—10 cm 土层受覆盖影响较大。0—10 cm 土层,覆盖 0.5 a,F,Y 和 A 处理与对照相比,分别显著提高土壤有机质含量42.35%,31.74%,28.03%;覆盖 1 a,不同覆盖处理对土壤有机质影响差异较大,其中,F 处理后的土壤有机质含量最高,达到 19.65 g/kg,其他处理中,Y,A 和 M 处理显著高于对照。10—20 cm 土层,覆盖处理对土壤有机质含量具有一定影响,但差异不显著。

表 2　不同材料覆盖处理下裸露土壤的 pH 值

土层深度/cm	处理	pH 值	
		0.5 a	1 a
0—10	M	8.37±0.03^{bcd}	8.22±0.02^{b}
	Y	8.32±0.04^{cd}	8.23±0.16^{b}
	E	8.57±0.08^{a}	8.43±0.07^{ab}
	T	8.43±0.03^{bc}	8.57±0.03^{a}
	A	8.45±0.07^{ab}	8.36±0.14^{ab}
	F	8.29±0.08^{d}	8.25±0.1^{b}
	CK	8.48±0.06^{ab}	8.49±0.06^{a}
10—20	M	8.46±0.04^{ab}	8.36±0.15^{a}
	Y	8.48±0.1^{ab}	8.23±0.22^{b}
	E	8.54±0.06^{a}	8.43±0.13^{a}
	T	8.61±0.02^{a}	8.39±0.25^{a}
	A	8.51±0.03^{ab}	8.31±0.21^{a}
	F	8.40±0.06^{b}	8.37±0.11^{a}
	CK	8.52±0.06^{ab}	8.54±0.02^{a}

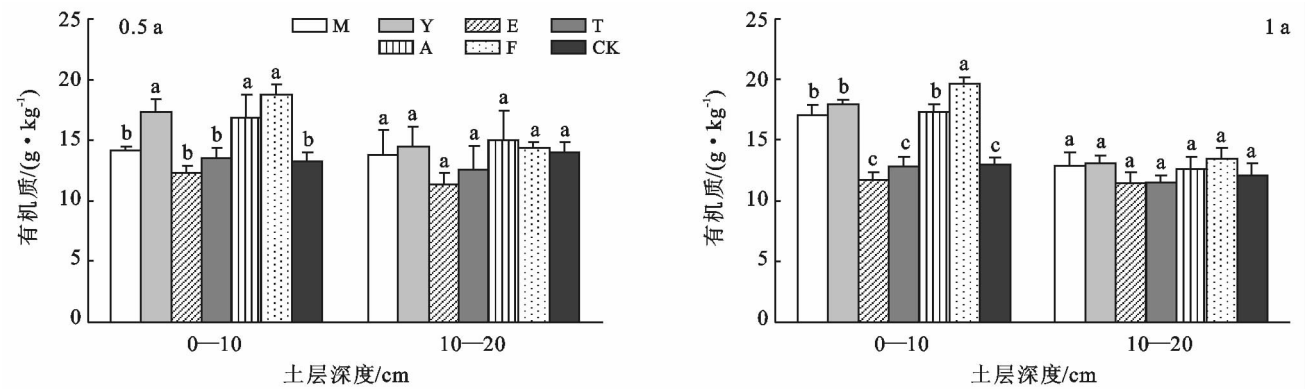


图 4　不同覆盖处理下 0—10 cm 和 10—20 cm 土层的土壤有机质

2.2.3　不同覆盖处理对土壤速效养分的影响　由表 3 可知,覆盖 0.5 a 后,0—10 cm 土层,F,Y 和 A 处理后的土壤碱解氮(AN)含量显著高于对照,增幅为 6.54～8.97 mg/kg,E 较对照显著降低了 2.31 mg/kg。10—20 cm 土层,A 和 F 处理显著高于 M 和 T 处理,其他处理无显著差异。覆盖 1 a 后,0—10 cm 土层,F,Y,A 和 M 处理较对照分别增加 AN 含量 56.63%,48.66%,38.24% 和 22.82%。10—20 cm 土层,F 处理提高最明显,较对照增加 36.32%。土壤速效磷(AP)方面,0—10 cm 土层,除了 E 处理外,其他处理后的 AP 含量较对照均有所增加,覆盖 0.5 a,F,Y,A 和 M 处理显著高于对照,其中 F 和 Y 效果最佳,增幅为 44.01% 和 28.22%,覆盖 1 a,F,A,Y 和 M 处理显著高于对照,分别提高 85.73%,82.05%,63.11%,41.15%。10—20 cm 土层,覆盖处理影响减小,其中,F,Y 和 A 处理均能提高 AP 含量,但覆盖 1 a 后,Y 处理影响减弱,F 和 A 处理显著高于其它处理,分别高出对照 22.94% 和 16.53%。土壤速效钾(AK)含量在 6 种覆盖处理下具有明显差异性。0—10 cm 土层,M,Y 和 F 处理在 0.5 a 和 1 a 覆盖后,较对照均能显著提高 AK 含量,A 处理需在覆盖 1 a 后表现显著。10—20 cm 土层,覆盖影响随时间增长而显现显著性差异,覆盖 1 a 后,F 和 M 处理显著高于对照,其余处理差异不显著。

表3 不同覆盖处理下裸露土壤的速效养分

速效养分	时间	处理	土层深度/cm	
			0—10	10—20
碱解氮/(mg·kg^{-1})	0.5 a	M	20.30±0.4^{bc}	18.32±1.3^{b}
		Y	27.07±0.23^{a}	21.07±0.62^{ab}
		E	18.53±1.66^{c}	22.67±0.98^{ab}
		T	20.96±0.14^{b}	18.53±0.51^{b}
		A	26.12±0.3^{a}	26.7±1.41^{a}
		F	27.5±0.43^{a}	24.65±1.15^{a}
		CK	20.83±1.29^{b}	22.15±2.01^{ab}
	1 a	M	25.48±0.21^{b}	22.47±2.43^{ab}
		Y	30.83±0.9^{a}	25.8±0.74^{ab}
		E	19.89±0.41^{c}	21.87±1.3^{b}
		T	20.13±0.98^{ab}	20.52±2.89^{b}
		A	28.67±0.77^{ab}	27.17±2.52^{ab}
		F	32.5±4.25^{a}	30.1±2.84^{a}
		CK	20.75±0.74^{c}	22.08±3.41^{ab}
速效磷/(mg·kg^{-1})	0.5 a	M	15.88±0.42^{b}	14.42±1.65^{bc}
		Y	16.48±0.91^{b}	16.59±0.58^{a}
		E	14.26±0.19^{c}	13.35±0.48^{c}
		T	13.58±0.68^{c}	15.71±0.39^{ab}
		A	16.88±0.66^{b}	14.66±0.84^{bc}
		F	18.52±1.24^{a}	17.22±0.45^{a}
		CK	12.86±0.63^{c}	14.4±0.68^{bc}
	1 a	M	16.91±0.98^{cd}	15.24±0.73^{b}
		Y	19.54±1.15^{bc}	15.63±0.49^{b}
		E	12.09±0.1^{e}	13.31±0.51^{b}
		T	14.27±0.43^{de}	15.29±0.74^{b}
		A	21.81±2.09^{ab}	17.80±1.25^{a}
		F	22.25±1.45^{a}	18.78±0.62^{a}
		CK	11.98±0.51^{e}	15.28±0.45^{b}
速效钾/(mg·kg^{-1})	0.5 a	M	239.96±7.43^{a}	146.19±18.54^{a}
		Y	221.09±6.25^{ab}	144.24±21.88^{a}
		E	136.2±6.42^{d}	140.54±7.84^{a}
		T	145.98±3.92^{d}	143.8±0.53^{a}
		A	175.75±23.85^{c}	147.06±12.92^{a}
		F	211.61±9.85^{b}	152.28±14.33^{a}
		CK	151.63±6.28^{cd}	140.33±9.99^{a}
	1 a	M	247.25±6.48^{b}	170.81±30.09^{a}
		Y	179.92±6.06^{c}	160.67±31.7^{bc}
		E	118.32±7.14^{d}	139.77±12.39^{c}
		T	141.1±18.3^{d}	143.03±1.64^{bc}
		A	196.73±13.4^{c}	170.3±17.17^{bc}
		F	267.11±25.46^{a}	196.58±10.58^{ab}
		CK	143.94±3.95^{d}	142.65±10.23^{c}

3 讨论

覆盖物已被广泛应用于改善农田和果园土壤，但在城市裸地运用较少。研究发现，不同材料覆盖均能提高土壤含水量，原因在于覆盖物能阻止水分输送到地面而蒸发[16]。其中，鹅卵石和陶粒处理较对照提高土壤含水量23.73%和31.32%，是由于无机材料间孔隙较大，通透性较好，利于水分运输和吸收，而有机材料覆盖较严密，不利于水分进入土壤，且会自主吸收蓄积一定的降水，从而降低土壤含水量。土壤含水量季节性变化由地区降水和植被蒸散消耗所决定，春夏冬3个季节受覆盖影响显著，秋季较小，这与韩向忠[17]等人研究一致。有机材料能降低土壤容重，平均较对照降低11.9%，是由于有机覆盖减少了雨水冲积，有机分解物使土壤疏松，增加了土壤团聚体数量，提高了土壤的总孔隙度。海绵城市建设的核心是渗、滞、蓄、净、用和排，对它们的运用均依赖于“海绵体”，目前海绵城市裸地处理主要用透水砖铺装[18]，本试验中的有机材料具有雨季蓄水，旱季放水的特点，符合海绵城市的雨洪管理要求，可以作为“海绵体”材料之一。

据了解，园林植物适宜生长的pH值为6.5～7.5，而高pH值是北方城市园林绿地土壤的共性，也是植物生长的主要障碍因子[19-21]。研究发现：有机材料能显著降低土壤pH值，其中，木片、园林废弃物处理较对照分别降低0.27，0.26，因为有机材料可分解酸性物质，改变土壤中微生物和酶活性[22]。有机材料是覆盖土壤养分的主要补给源[23]，随着覆盖物分解，营养物质淋溶下渗，持续供应了土壤肥力[24]。结果表明，覆盖0.5 a后，有机材料较对照可提高土壤有机质含量27.46%，分层覆盖、园林废弃物、有机覆盖垫处理在覆盖1 a后，提高土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为56.63%，85.73%，85.52%，48.66%，63.11%，25.00%和38.24%，82.16%，36.72%。分层覆盖中下层的堆肥含有大量有机质，上层园林废弃物不断分解，保证了养分充足和持续供应。园林废弃物覆盖后虽能较快地分解有机质，但由于其散落地覆盖在裸土表面，质量较轻，易随风飘落，覆盖1 a后影响减弱。有机覆盖垫因制作过程添加了黏结剂，不易破损，早期分解有机质少，但随着时间增长，分解有机质增多，可长时间供应养分。无机材料无法为土壤提供外部养分，同时雨水也将消耗部分养分，所以无机材料覆盖后，土壤养分减少。通过对比发现，1 a覆盖期内，0—10 cm土层受覆盖影响较大，10—20 cm土层，早期影响较小，但随着覆盖时间增加，影响增大，这可能是因为本试验覆盖在秋冬季，气候干冷，雨水较少，随着春季积雪融化，夏季雨水增多，养分淋溶下渗，改善了下层土壤的理化性质。

4 结论

综上所述，无机材料（鹅卵石、陶粒）提高土壤含

水量效果较好;有机材料(木片、分层覆盖、园林废弃物、有机覆盖垫)降低土壤容重,提高孔隙度效果较好;分层覆盖和园林废弃物处理降低土壤 pH 值和提高土壤有机质效果较好;分层覆盖和有机覆盖垫处理提高土壤速效养分效果较好。本试验首次采用了分层覆盖和有机覆盖垫处理方式,模拟了自然条件下森林土壤表层枯落物层结构,拓宽了城市园林绿化废弃物处理渠道,增强了覆盖物的稳定性和持续性。此外,有机材料覆盖后的土壤含水量季节性变化和提高土壤养分的表现符合海绵城市和绿色化城市建设要求,具有一定现实推广意义。

[参 考 文 献]

[1] 许联瑛,王森. 关于城市绿化植物废弃物的集中处理的建议[C]. 北京:北京市建设节约型园林绿化研讨会论文集,2007:408-409.

[2] 张骅. 北京地区五环内冬季园林绿地中裸土调研及其分布特征[J]. 中国水土保持科学,2017,15(2):79-84.

[3] 黄利斌,李荣锦,王成. 国外城市有机地表覆盖物应用研究概况[J]. 林业科技开发,2008,22(6):1-8.

[4] 管东生,何坤志,陈玉娟,等. 广州城市绿地土壤特征及其对树木生长的影响[J]. 环境科学研究,1998,11(4):53-56.

[5] 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.

[6] 康富军,唐世光. 城市街道绿地土壤浅析[J]. 吉林林业科技,2003,34(4):43-45.

[7] 李月辉,胡远满,李秀珍. 道路生态研究进展[J]. 应用生态学报,2003,32(3):447-452.

[8] 卢瑛,龚子同,张甘霖. 南京城市土壤重金属含量及其影响因素[J]. 应用生态学报,2004,15(1):123-126.

[9] 郭晓霞,不同耕作方式对土壤水热变化的影响[J]. 中国土壤与肥料,2010(5):11-15,70.

[10] Sean M A, John M. The potential for spent mushroom compost as a mulch for weed control in barley orchards [J]. Acta Horticulture, 2000,525(525) :427-430.

[11] 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.

[12] 包士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2000.

[13] 北京林业大学土壤教研室. 土壤学实习试验指导书[M]. 北京:北京林业大学土壤教研室,2001.

[14] 贾倩民,陈彦云,杨阳. 不同人工草地对干旱区弃耕地土壤理化性质及微生物数量的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(1):178-182,220.

[15] 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.

[16] 彭超,陈月华,吴际友. 不同地表覆盖对地表温度、湿度和土壤水分的影响[J]. 中南林业科技大学学报:自然科学版,2014,34(04):54-59.

[17] 韩向忠,孙向阳,胡剑非. 生态垫对造林地土壤水分及养分的影响研究[J]. 华南热带农业大学学报,2006,12(2):23-26.

[18] 韩煦,赵亚乾. 海绵城市建设中“海绵体”的开发[J]. 地球科学与环境学报,2016,38(5):708-714.

[19] Jim C Y. Soil characteristics and e management in an urban park in HK[J]. Environmental Management, 1998,22(5):683-695.

[20] 方海兰. 上海新建绿地的土壤质量现状和对策[J]. 林业科学,2007,43(1):89-94.

[21] 朱纯. 不同城市化进程绿地土壤的空间异质性[J]. 中南林业科技大学学报,2011(1):47-53.

[22] Yang Weiqiang, Goulart B L. Interactive effects of mycorrhizal inoculation and organic soil amendments on nitrogen acquisition and growth of high bush blueberry [J]. American Society of Horticultural Science, 2002, 127(5):742-748.

[23] 阚丽艳,奚霄松,何晓颖. 有机覆盖物对城市园林植物土壤养分状况的影响[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2014,32(1):79-88.

[24] 孙萌. 地面覆盖对核桃园地土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(4):158-162,182.