

有机地表覆盖材料对树穴土壤理化性质的影响

李啸冲, 孙向阳, 李素艳, 王心语, 熊凯毅, 郑焱, 周文志

(北京林业大学林学院, 北京 100083)

摘要: 通过大田试验, 研究有机地表覆盖材料对土壤理化性质的影响。以圆明园公园内的桑葚林 (*Morus alba* L.) 树穴土壤为研究对象设置 6 种处理, 即水性聚氨酯胶黏剂有机覆盖垫(A)、水性聚氨酯与淀粉胶黏剂混合比 9 : 1 有机覆盖垫(B)、水性聚氨酯与淀粉胶黏剂混合比 8 : 2 有机覆盖垫(C)、水性聚氨酯与淀粉胶黏剂混合比 7 : 3 有机覆盖垫(D)、木片覆盖(M)和无覆盖处理(CK), 对不同地表覆盖材料的覆盖效果进行评价。结果表明:(1) 总体来看, 1 年后不同有机地表覆盖材料覆盖下树穴土壤的容重、孔隙度、持水量等物理指标以及不同土层土壤 pH 变化不大。(2) 与 CK 相比, 不同有机地表覆盖材料可增加土壤中有有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的含量, 覆盖后 0—10 cm 土层比 10—20 cm 土层的效果更为明显。综合考虑, 不同有机地表覆盖材料能够改善土壤养分含量, 水性聚氨酯与淀粉胶黏剂混合比 8 : 2 有机覆盖垫(C)为 5 种有机地表覆盖材料中最适合裸露树穴的覆盖材料。

关键词: 有机覆盖垫; 土壤理化性质; 地表覆盖; 园林废弃物; 城市绿地

中图分类号: S157.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)01-0322-05

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2020.01.046

Effects of Organic Surface Covering Materials on the Physical and Chemical Properties of Park Tree Hole Soil

LI Xiaochong, SUN Xiangyang, LI Suyan, WANG Xinyu, XIONG Kaiyi, ZHENG Yi, ZHOU Wenzhi

(College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: Through a field experiment, the effects of organic surface covering materials on the physical and chemical properties of soil were studied. Taking soil from *Morus alba* L. tree holes in Yuan Ming Yuan Park as object, six treatments were set up as water-based polyurethane adhesive organic cover mats (A), water-based polyurethane and starch adhesive mixing ratio 9 : 1 organic cover mats (B), water-based polyurethane and starch adhesive mixing ratio 8 : 2 organic cover mats (C), water-based polyurethane and starch adhesive mixing ratio 7 : 3 organic cover mats (D), wood chip cover (M) and no cover treatment (CK). The coverage effect of different surface covering materials was evaluated by field coverage test. The results showed that: (1) Different surface covering materials have little effect on the soil bulk density, porosity, water holding capacity and other physical indexes, and soil pH values of different soil layers after covering the tree soil for one year. (2) Compared with CK, different organic surface covering treatments could increase the content of organic matter, alkali nitrogen, available phosphorus, and available potassium in soil. The effect of organic surface covering in 0—10 cm soil layer was more obvious than that in 10—20 cm soil layer. Comprehensively speaking, different surface covering materials could improve soil nutrient content, water-based polyurethane and starch adhesive mixing ratio of 8 : 2 organic covering mat (C) was the most suitable covering material for the exposed tree hole among the five organic surface covering materials.

Keywords: organic cover mat; soil physical and chemical properties; surface coverage; garden waste; urban green space

在城市生态系统中, 土壤作为重要的组成部分受人类活动影响最为强烈^[1]。裸露土壤不仅会在大风的作用下产生扬尘进而引起空气中的 PM_{2.5} 增加, 还会造成水土流失继而使得土壤物理性质恶化^[2]。因

此, 采用科学的方法对城市土壤进行养护, 从而起到提升土壤质量、节约水资源、防止二次扬尘等作用。城市中常见的树穴覆盖养护方式主要包括无机地表覆盖和有机地表覆盖 2 种^[3]。无机地表覆盖物主要

收稿日期: 2019-07-31

资助项目: 北京市科技计划项目“北京市绿地林地土壤质量提升关键技术与示范”(Z161100001116061)

第一作者: 李啸冲(1993—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事土壤资源与环境研究。E-mail: xiaochongbjfu@163.com

通信作者: 孙向阳(1965—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤生态研究。E-mail: sunxy@bjfu.edu.cn

包括鹅卵石、玻璃钢格栅盖板、无纺布等,其维护费用低且不易腐烂,但长时间覆盖会使土壤通气性变差从而影响树木生长^[4]。有机地表覆盖物来源广泛,如树皮、松针、木片等,在显著改善土壤功能的同时也可以促进植物的生长^[5-6]。但有机覆盖物多呈分散状,刮风或下暴雨时容易发生漂移,不但会到处飞散甚至堵塞城市排水系统,而且还存在易燃等安全隐患^[7]。将有机地表覆盖物制成有机覆盖垫可有效地解决以上问题,同时有机地表覆盖物^[8]具有一定的持水能力,充足的水分有利于矿质元素的吸收和利用、促进光合作用和其他生理生化过程,提升了土壤的理化性质^[9-11],从而使植物营养生长过程加快^[12]。市面上常见的胶黏剂主要有水性聚氨酯胶黏剂、淀粉胶黏剂、酚醛树脂胶黏剂^[13]等,但酚醛树脂存在一定毒性对植物生长有害,水性聚氨酯价格比较昂贵,淀粉价格低但黏性相对较差^[14-15]。因此,选择一种可以改善裸土环境、成本较低、环保健康的覆盖方式至关重要。

国内关于有机覆盖垫的研究较少,仅停留在性能

表 1 不同土层试验土壤的主要理化性质

土层 深度/cm	容重/ (g·cm ⁻³)	毛管 孔隙度/%	非毛管 孔隙度/%	总孔 隙度/%	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)
0—10	1.50	43.01	1.73	44.82	7.73	48.98	103.25	150.05	26.37
10—20	1.64	42.52	1.52	44.31	7.79	45.65	88.43	116.67	16.20

1.2 供试材料

供试的有机覆盖垫原材料为臭椿(*Ailanthus altissima*)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)、国槐(*Sophora japonica* Linn.)和刺槐(*Robinia pseudoacacia* Linn.)等树种修剪及自然凋落的园林废弃物(1~3 cm 粒径,含水率≤15%),由北京市香山公园提供;木片为桦树(*Betula*)树种(1~3 cm 粒径,含水率≤15%),由北京荔驰公司提供;供试水性聚氨酯胶黏剂(300C),由合肥华越新材料科技有限公司提供;供试淀粉胶黏剂(YZ-128),由山东嘉和节能材料有限公司提供。

1.3 试验设计与实施

试验于 2017 年 12 月至 2018 年 12 月进行,试验区于覆盖前取土样测定相关指标。于 2017 年 12 月铺设,2018 年 12 月对 0—10,10—20 cm 的土层样品进行土样分析。共设置 6 种处理:(1)水性聚氨酯胶黏剂有机覆盖垫(A);(2)水性聚氨酯与淀粉胶黏剂混合比 9:1 有机覆盖垫(B);(3)水性聚氨酯与淀粉胶黏剂混合比 8:2 有机覆盖垫(C);(4)水性聚氨酯与淀粉胶黏剂混合比 7:3 有机覆盖垫(D);(5)木片覆盖(M);(6)无覆盖(CK)。采用完全随机区组设计,每种处理重复 3 次。试验区内树穴大小约为 1 m×1 m,通过前期预试验对于施胶配比范围的确定得出 30%~35%的保水及透水能力最佳^[16-17],为避免风吹雨淋等自

测试的基础研究阶段且对胶黏剂种类的研究不够深入。为此本研究选择不同胶黏剂配比混合制成的有机覆盖垫与木片覆盖、空白对照处理进行对比,旨在探究不同有机地表覆盖材料对土壤理化性质的影响。探讨有机地表覆盖材料在固土、保水、抑制扬尘、促进园林废弃物的资源化利用等方面的作用,以期期为科学评价有机地表覆盖材料提供依据。

1 材料与试验方法

1.1 试验地概况

试验区位于北京市海淀区圆明园公园(40°10'25"N, 116°28'38"E)文渊阁南侧种植的桑葚(*Fructus Mori*)林内,面积约 600 m²,其土壤基本性质见表 1。该地区属于暖温带大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热多雨。年平均气温 11.6℃,年平均降水量约为 650 mm。土壤的主要类型为潮土,试验土壤 pH 为 7.73~7.79,为微碱性土壤,质地以中壤土和轻壤土为主,土层中的养分肥力较强。试验区游人较少,人为干扰影响可忽略不计。

然环境干扰,因此选择园林废弃物与胶黏剂混合(即胶黏剂添加质量占园林废弃物质量的 35%)制成有机覆盖垫与木片覆盖及空白对照进行对比。由于大田树穴中树木长势存在差异,将树穴中裸土土地进行平整去除杂草及石块,在地上平铺一张塑料布按质量比例分别将园林废弃物与胶黏剂混合均匀,之后用自制压板压入树穴中,覆盖厚度均为 5 cm。

1.4 土壤样品测定

土壤容重、总孔隙度等物理指标采用环刀法测定;pH 采用电位法测定;碱解氮采用碱解氮扩散法测定;有效磷采用 NaHCO₃-钼锑抗比色法测定;速效钾采用 NH₄OAc 浸提火焰光度法测定;有机质采用重铬酸钾容量法—稀释热法^[18]测定。

1.5 数据分析

试验数据采用 SPSS 20.0 和 Excel 2013 软件进行统计分析,LSD 法做方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同有机地表覆盖材料对土壤物理性质的影响

2.1.1 不同有机地表覆盖材料对土壤物理性质的影响 由表 2 可知,0—10 cm 土层不同处理下土壤容重、持水量、孔隙度等各项指标之间无显著差异($P>0.05$),不同有机材料覆盖下土壤容重、毛管持水量、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度范围分别为 1.33~1.45 g/

cm^3 , 30.68%~33.45%, 44.74%~46.71%, 43.01%~45.37%, 0.99%~2.30%。容重大小排序为 A>M>C>B>D>CK;总孔隙度大小排序为 B>M>C>D>A>CK;毛管孔隙度大小排序为 B>M>A>C>D>CK;非毛管孔隙度排序为 D>C>CK>M>B>A。

10—20 cm 土层各处理差异显著,C 处理土壤容重显著低于 M 处理,C 处理与其他处理之间无显著差异。

表 2 不同有机地表覆盖材料对土壤物理性质的影响

土层深度/cm	处理	土壤容重/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙/%	总孔隙度/%
0—10	A	1.45±0.07a	44.24±2.58a	0.99±0.14b	45.23±2.71a
	B	1.39±0.08a	45.37±4.09a	1.34±0.37ab	46.71±4.46a
	C	1.41±0.01a	43.54±3.38a	2.11±0.29ab	45.65±3.67a
	D	1.34±0.04a	43.18±2.40a	2.30±0.32a	45.48±2.72a
	M	1.42±0.08a	44.26±1.98a	1.64±0.62ab	45.90±1.36a
	CK	1.33±0.17a	43.01±4.94a	1.74±0.72ab	44.74±5.64a
10—20	A	1.43±0.14ab	37.73±0.93bc	2.24±0.71ab	39.96±1.64bc
	B	1.34±0.03ab	44.60±0.26a	3.13±0.58a	47.73±0.32a
	C	1.30±0.01b	46.15±0.36a	1.75±0.12ab	47.89±0.24a
	D	1.36±0.07ab	42.65±2.31ab	2.92±0.50ab	45.57±2.80ab
	M	1.46±0.01a	37.34±0.98c	1.90±0.89ab	39.24±0.09c
	CK	1.35±0.07ab	42.79±4.557ab	1.55±0.27b	44.34±4.79abc

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.1.2 不同有机地表覆盖材料土壤持水特性 由表 3 可知,0—10 cm 土层不同处理土壤持水量各项指标间无显著差异,不同有机地表覆盖材料覆盖下土壤饱和持水量、毛管持水量、田间持水量范围分别为 31.37%~34.85%, 30.68%~33.45%, 25.22%~29.65%;饱和持水量大小排序为 CK>B>D>M>A>C;毛管持水量大小排序为 CK>B>D>M>A>C;田间持水量大小排序为 CK>B>D>M>C>A。覆盖 1 年后 10—20 cm 土层各处理的物理性质变化差异显著,M、C 处理与其他处理间差异不显著,但 M 处理的饱和持水量、毛管持水量和田间持水量均显著低于 B、C 处理。

表 3 不同有机地表覆盖材料土壤持水特性

土层深度/cm	处理	饱和持水量/%	毛管持水量/%	田间持水量/%
0—10	A	31.37±3.47a	30.68±3.34a	25.22±2.93a
	B	33.95±5.19a	32.97±4.87a	28.43±5.75a
	C	32.28±2.72a	30.79±2.51a	25.69±3.36a
	D	33.79±1.05a	32.08±2.51a	28.08±1.30a
	M	32.37±2.69a	31.24±3.07a	27.11±2.85a
	CK	34.85±9.34a	33.45±8.56a	29.65±8.73a
10—20	A	28.24±3.84bc	22.62±3.19bc	21.67±3.05cd
	B	35.60±0.47a	33.28±0.86a	26.55±0.11abc
	C	36.97±0.20a	35.62±0.09a	30.97±0.81a
	D	33.60±0.31ab	31.46±0.05abc	24.99±0.84bcd
	M	26.91±0.04c	25.60±0.65c	20.46±1.02d
	CK	33.05±5.44abc	31.89±5.21ab	28.18±4.68ab

2.2 不同有机地表覆盖材料对土壤化学性质的影响

2.2.1 不同有机地表覆盖材料土壤 pH 变化特征

由表 4 可知,不同有机地表覆盖材料下 0—10 cm 土层的土壤,pH 从大到小排序为 CK>D>C>B>A>M。与 CK 相比,有机地表覆盖下的土壤 pH 显著降低。10—20 cm 土层的土壤 pH 从大到小排序为 B>

B、C 处理较 A 处理显著增加了土壤总孔隙度,M 处理下土壤总孔隙度显著小于 B、C、D 处理,但与 CK 及 A 处理之间差异不显著。B、C、D 处理均增加土壤毛管孔隙度,但与 CK 相比差异不显著,M 处理则显著降低了土壤毛管孔隙度;土壤非毛管孔隙度为 1.55%~3.13%,B 处理相对于 CK 显著增加了非毛管孔隙度,但与 A、C、D、M 处理相比无显著差异。

M>CK>D>C>A,pH 变化不显著。每个处理间无明显差异,可见覆盖并没有影响 10—20 cm 土壤 pH 的特性。说明短时间地表覆盖对 pH 的影响随土层深度变化趋势并不明显,有待进一步探究。

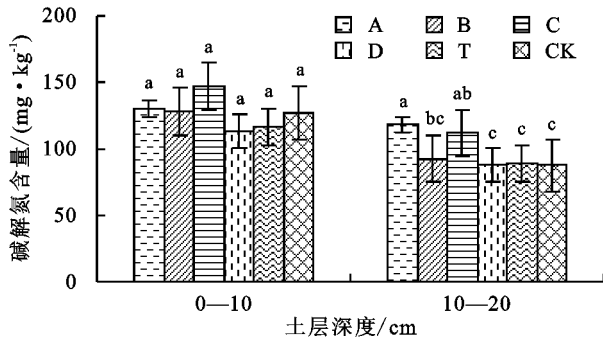
表 4 不同有机地表覆盖材料土壤的 pH

土层深度/cm	处理	pH
0—10	A	7.56±0.09a
	B	7.58±0.10a
	C	7.65±0.08a
	D	7.66±0.14a
	M	7.52±0.04a
	CK	7.74±0.20a
10—20	A	7.56±0.07b
	B	7.82±0.08a
	C	7.71±0.03ab
	D	7.73±0.12ab
	M	7.79±0.05ab
	CK	7.78±0.17ab

2.2.2 不同有机地表覆盖材料对土壤碱解氮的影响

由图 1 可知,不同有机地表覆盖材料覆盖 1 年后 0—10 cm 土层土壤有机质含量为 113.57~147.23 mg/kg,D 与 M 处理下土壤碱解氮含量较 CK 相比降低了 10.52%和 8.36%,A、B、C 处理较 CK 处理碱解氮含量升高,其中 C 处理较 CK 处理提升了 16.00%。每种处理间存在一定的差异,但总体来说不同处理间差异不显著。在 10—20 cm 土层中,土壤中碱解氮的含量呈现显著差异,D、M 与 CK 处理低于 A、C 处理;B 处理略高于 D、M、CK 处理,但 4 种处理间差异不显著;A 处理高于 C 处理,A、C 处理分别较 CK 处理提高了 34.91%和 27.59%;B、C 处理间无显著差异。该土层碱解氮含量为 87.60~118.18 mg/kg。添加淀粉胶黏剂在一定范围内可以提高有机质含量,而当淀粉胶黏

剂过多时,可能会对土壤微生物活动起到抑制作用,从而导致碱解氮含量降低。



注: 柱图上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图 1 不同有机地表覆盖材料对土壤碱解氮的影响

2.2.3 不同有机地表覆盖材料对土壤速效钾的影响

由图 2 可知,不同有机地表覆盖材料覆盖 1 年后 0—10 cm 土层中土壤速效钾含量为 384.00~513.33 mg/kg,土壤速效钾含量从大到小依次是 C>CK>D>A>B>M,不同处理间土壤速效钾含量无显著差异。C 处理土壤速效钾含量较 CK 处理提升了 12.57%,D、A、B、M 处理的土壤速效钾含量低于 CK 处理。10—20 cm 土层中速效钾含量略低于 0—10 cm 土层,速效钾含量为 242.67~416.00 mg/kg,从大到小排序为 A>C>CK>B>M>D,不同处理之间土壤速效钾含量无显著性差异。有机地表覆盖材料分解使不同土层含量不同,上层有效钾含量高于下层是由于随土层深度加深,表层覆盖对深层土壤产生的影响较小。

2.2.4 不同有机地表覆盖材料对土壤有效磷的影响

由图 3 可知,不同有机地表覆盖材料覆盖 1 年后 0—10 cm 土层中土壤有效磷含量为 29.78~39.70 mg/kg,不同处理下土壤有效磷含量从大到小依次为 C>A>CK>M>D>B。A、C 处理与 CK 间无显著差异,分别较 CK 提升了 14.37%和 23.98%。B、D 处理较 CK 出现一定的下降趋势。在 10—20 cm 土层中,不同有机覆盖材料下土壤有效磷含量从大到小依次为 C>B>A>CK>D>M,不同有机覆盖材料下土壤有效磷含量均无显著性差异。覆盖处理只进行了 1 年,周期较短对土壤有效磷的影响暂无明显规律。土壤中有有效磷含量上层高于下层的原因与速效钾类似,均由于有机物质分解后进入土壤,但由于覆盖时间较短对下层土壤影响不明显。

2.2.5 不同有机地表覆盖材料对土壤有机质的影响

由图 4 可知,不同有机地表覆盖材料覆盖 1 年后 0—10,10—20 cm 土层所有覆盖处理较 CK 中土壤有机质的含量均有一定提升。总体上土壤有机质含量为 18.09~22.11 mg/kg,经有机覆盖垫覆盖后的土壤有机质含量从大到小排序为 B>D>M>C>A,较 CK 分别增加了 4.02,2.00,1.56,1.07,0.37 mg/kg。对比发现,

10—20 cm 土壤有机质含量低于 0—10 cm 有机质含量。覆盖 1 年后,除 D 处理外,土壤有机质含量均有所增加,但各处理与 CK 之间差异较小,经有机覆盖垫覆盖处理下的土壤有机质含量略高于 M 处理。

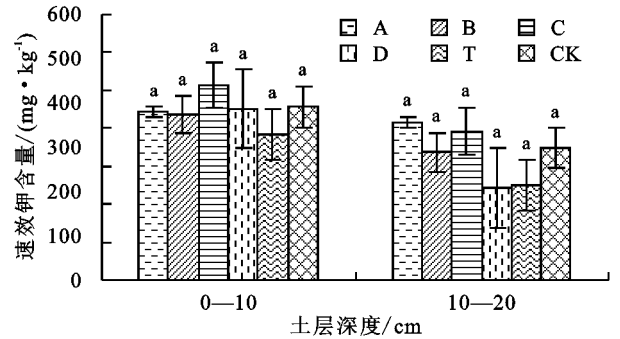


图 2 不同有机地表覆盖材料对土壤速效钾的影响

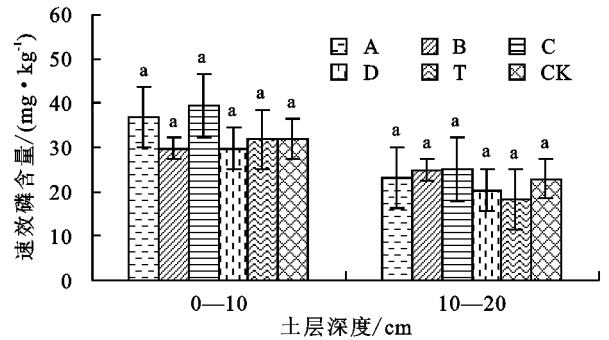


图 3 不同有机地表覆盖材料对土壤有效磷的影响

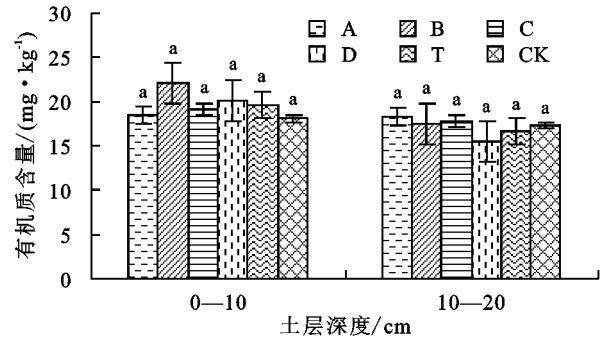


图 4 不同有机地表覆盖材料对土壤有机质的影响

3 讨论

3.1 不同有机地表覆盖材料对土壤物理性质的影响

陈岩等^[19]研究发现,有机地表覆盖材料能够提高表层土壤含水量,在隔断地面与大气直接接触的同时阻止了水分蒸发。且有机覆盖垫具有较强的抗压及持水性能^[16-17],可以起到固土和抑制扬尘的作用。在加大了土壤蓄水量的同时对防治短期干旱有重要意义^[20]。本研究发现,与 CK 对比,不同有机地表覆盖材料对土壤的容重、饱和持水量、毛管持水量、田间持水量以及孔隙度等方面无显著影响。可能原因是土壤物理性质主要是受土壤本身质地、结构和有机质含量等因素的影响,短期覆盖对其影响不大。其中木片处理对土壤物理性质的影响低于有机覆盖垫处理,可能是由于有机覆盖垫的物理阻隔使表层土壤蒸发量减小,因此能持续保持较高的土壤含水量^[21];而木片的粒径较

粗糙、间隙较大,使得覆盖效果略小于有机覆盖垫。对于不同有机地表覆盖材料对土壤物理性质的影响,需在多年观测的基础上进行下一步的探讨。

3.2 不同有机地表覆盖材料对土壤化学性质的影响

经研究分析,短期内不同有机地表覆盖材料对土壤 pH 无显著影响。本研究可知,有机地表覆盖材料可提高土壤碱解氮的含量,C 处理土壤碱解氮含量最高,B 处理次之;土壤速效钾的含量上层高于下层。与 CK 相比,C 处理土壤速效钾含量最高,D 处理次之,M 处理无明显变化,与 Maggard 等^[22]研究结果一致;土壤有效磷的变化相对缓慢,但仍表现出一定的增长趋势。除 C 处理外,其他各处理与 CK 间相比含量无明显变化;B 处理下土壤有机质含量最高,D 次之。总体来说,有机覆盖垫覆盖对于土壤有机质的提升作用要高于木片覆盖。土壤有机质含量上层变化优于下层,可能是由覆盖垫材料本身粒径更细小、分解速度更快^[23]。

土壤养分含量发生变化的主要原因是由于覆盖材料缓慢分解,其中所含的木质素、纤维素等物质经过微生物代谢和降雨淋溶作用将养分缓慢渗入到土壤中,有机质经过微生物分解也会释放部分养分,而导致土壤养分含量提升^[24]。有机地表覆盖物种类不同,进入土壤的物质也会存在差异。有机质含量高且越易分解的,在短期内对土壤有机质含量的增加效果越明显。通过分析得出胶黏剂的种类和施胶配比不同,也会显著影响土壤的养分含量。

4 结论

综上所述,与 CK 相比,不同有机地表覆盖材料对土壤容重、持水量及孔隙度等指标影响不显著。由于有机覆盖后土壤的变化是一个缓慢的过程,需要更为长期的观测才能显示规律。经研究分析,短期内不同有机地表覆盖材料对土壤 pH 无显著影响。不同有机地表覆盖材料对土壤养分含量有显著影响,可增加土壤有机质及氮磷钾含量,且随着土层深度加深,覆盖对土壤性质的影响降低。本研究表明,水性聚氨酯与淀粉胶黏剂混合比 8:2 有机覆盖垫(C 处理)下的土壤质量最优。

参考文献:

[1] 谢天,侯鹰,陈卫平,等.城市化对土壤生态环境的影响研究进展[J].生态学报,2019,39(4):1154-1164.

[2] 张骅,王心语,张骏达,等.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] 卜鹏图.有机地表覆盖物在城市林业建设中的应用价值[J].科技创新与应用,2017(11):281.

[4] 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.

[5] 王欣国.有机覆盖物及其在美国城市园林中的应用概况[J].广东园林,2015(2):77-79.

[6] 冯兆东,张鹏,蔚东升,等.园林废弃物的处理处置及资源化再利用[J].能源与节能,2014(5):110-111.

[7] 韩利平,刘倩云,虞宇翔,等.热解油脉醛树脂有机覆盖垫制备工艺研究[J].化工新型材料,2018,46(2):242-246.

[8] Zribi W, Aragüés R, Medina E, et al. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control [J]. Soil & Tillage Research,2015,148:40-45.

[9] 王心语,李素艳,孙向阳,等.不同地表覆盖物对城市表层土壤物理性质的影响[J].中国水土保持科学,2018,16(6):74-81.

[10] 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):22-27.

[11] 负炳辉,李素艳,曲炳鹏,等.不同覆盖材料对城市树穴土壤理化性质的影响[J].西北林学院学报,2017,32(6):34-39.

[12] 王中堂,彭福田,唐海霞,等.不同有机物料覆盖对桃园土壤理化性质及桃幼树生长的影响[J].水土保持学报,2011,25(1):142-146.

[13] 张伟,高强,秦志勇,等.我国木材工业用胶黏剂研究与应用现状及发展趋势[J].中国人造板,2014(3):8-12.

[14] 杜郢,王政,董全江,等.淀粉胶黏剂的应用及改性研究进展[J].化学与粘合,2013,35(4):67-70.

[15] 叶瀚琴,卢玉栋,翁景峰,等.高性能水性酚醛树脂胶黏剂的合成与表征[J].福建师范大学学报(自然科学版),2015,31(2):58-62.

[16] 李啸冲,孙向阳,李素艳,等.园林废弃物覆盖垫的持水性能及抗压效果研究[J].水土保持学报,2019,33(2):134-139.

[17] 曲炳鹏,李素艳,孙向阳,等.园林废弃物生态覆盖垫的制备及其水分特性[J].北京林业大学学报,2018,40(10):77-85.

[18] 鲍士旦.土壤农化分析 [M].3 版.北京:中国农业出版社,2002:34-35,56-58.

[19] 陈岩,陆庆轩,王菲,等.有机覆盖物对城市绿地土壤真菌含量的影响研究[J].中国城市林业,2015,13(3):39-41.

[20] 陈彦君,王德炉,丁波.不同有机物覆盖对兔眼蓝莓土壤理化性质的影响[J].西北林学院学报,2016,31(6):78-82.

[21] 夏妮,白天,金牧青,等.“木奇”覆盖对城市绿地土壤主要理化性状的影响[J].河南农业大学学报,2018,206(2):126-132.

[22] Maggard A O, Will R E, Hennessey T C, et al. Tree-based mulches influence soil properties and plant growth [J]. Hort Technology,2012,22(3):353-361.

[23] 杨丽霞,陈少锋,安娟娟,等.陕北黄土丘陵区不同植被类型群落多样性与土壤有机质、全氮关系研究[J].草地学报,2014,22(2):291-298.

[24] 罗友进,赵光,高明,等.不同植被覆盖对土壤有机碳矿化及团聚体碳分布的影响[J].水土保持学报,2010,24(6):117-122.