不同有机材料覆盖对土壤保水效果的影响

车飞伟[1]，李素艳[1]，孙向阳[1]，曲炳鹏[1,2,3]，员炳辉[1]，王心语[1]，熊凯毅[1]

（1.北京林业大学 林学院，北京 100083；2.天津绿茵景观生态建设股份有限公司，
天津 300384；3.西华师范大学 环境科学与工程学院，四川 南充 637009）

摘　要：[目的] 研究不同有机材料覆盖对土壤水分蒸发量、土壤含水量的影响，并筛选出保水效果最佳的材料。[方法] 以木片、树皮及经过堆腐的园林废弃物为研究对象，进行模拟蒸发及桶装控制试验。[结果] 不同粒径的园林废弃物覆盖均能降低土壤水分日蒸发量，日蒸发量从大到小依次为 CK，3～5 cm 粒径(M_3)、0～1 cm 粒径(M_1)、1～3 cm 粒径(M_2)。在连续蒸发 14 d 后，M_2，M_1，M_3 和 CK 的土壤水分累积蒸发量分别为 193.0，269.5，304.0 和 1 037.0 g，与 CK 相比，分别减少了 81.4%，74.0%，70.7%；不同有机材料覆盖均能提高土壤含水量。除了雨季之外，不同土层土壤含水量从高到低依次表现为：木片覆盖(M_4)＞树皮覆盖(M_5)＞1～3 cm 粒径园林废弃物覆盖(M_2)＞CK。土壤含水量的年变化整体呈现出双峰趋势，一年中 4—5 月含水量较低，6—8 月含水量较高，不同土层土壤含水量的年变化趋势基本一致。M_4，M_5，M_2 和 CK 的 0—40 cm 土层土壤年平均含水量分别为 32.9%，30.3%，27.4%，26.8%。[结论] 木片为保水效果最好的有机材料，其次是树皮和园林废弃物。

关键词：有机材料覆盖；城市绿地；土壤蒸发量；土壤含水量

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2020)02-0182-06　　**中图分类号**：S714.2

文献参数：车飞伟，李素艳，孙向阳，等.不同有机材料覆盖对土壤保水效果的影响[J].水土保持通报，2020，40(2)：182-187. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2020.02.026；Che Feiwei，Li Suyan，Sun Xiangyang，et al. Effects of different organic materials mulching on moisture holding capacity of soil [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2020，40(2)：182-187.

Effects of Different Organic Materials Mulching on Moisture Holding Capacity of Soil

Che Feiwei[1]，Li Suyan[1]，Sun Xiangyang[1]，Qu Bingpeng[1,2,3]，Yun Binghui[1]，Wang Xinyu[1]，Xiong Kaiyi[1]

（1. *College of Forestry，Beijing Forestry University，Beijing* 100083，*China*；
2. *Tianjin Lüyin Landscape and Ecology Construction Co. Ltd，Tianjin* 300384，*China*；
3. *College of Environmental Science and Engineering，China West Normal University，Nanchong，Sichuan* 637009，*China*）

Abstract：[Objective] Mulching effects of different organic materials on evaporation and soil moisture content were studied to identify the best material for moisture retention. [Methods] The simulated evaporation analyses were conducted with garden waste in various particle sizes (M_1：0～1 cm，M_2：1～3 cm，M_3：3～5 cm). In addition the barrel control experiments were carried out with M_2，wood chips (M_4)，and bark (M_5). [Results] Garden waste in various particle sizes could reduce daily evaporation of soil moisture. After 14 days of continuous evaporation，the cumulative evaporation capacity of M_2(1～3 cm in size)，M_1(0～1 cm)，M_3(3～5 cm) and CK (control) were 193.0，269.5，304.0 and 1 037.0 g，respectively，which were 81.4%，74.0% and 70.7% lower than those of CK. The soil moisture content of different layers were increased by covering with different organic materials，except for the rainy season，which were wood chips (M_4)，bark (M_5) and garden waste (M_2) from high to low. The annual change of soil moisture content under various

收稿日期：2019-09-02　　**修回日期**：2019-11-14

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研究与示范”(Z161100001116061)

第一作者：车飞伟(1996—)，男(汉族)，宁夏回族自治区银川市人，硕士研究生，研究方向为土壤资源与环境。Email：314052763@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，教授，博士生导师，主要从事土壤生态、土壤修复与健康等方面的研究。Email：lisuyan@bjfu.edu.cn。

mulching layers showed a similar bimodal trend, with a low soil moisture content in the period from April to May while a high soil moisture content in the period from June to August. The annual average of soil moisture content within the 0—40 cm soil layer of M_4, M_5, M_2 and CK were 32.9%, 30.3%, 27.4%, and 26.8%, respectively. [Conclusion] Wood chips are the best materials for moisture conservation, followed by bark and garden waste.

Keywords: organic materials mulching; urban green space; soil moisture evaporation; soil moisture content

随着城市化进程不断加快,城市绿化变的越来越重要。近年来我国城市绿化建设力度不断加大,绿化覆盖率和人均绿地面积逐年增加[1],然而像北京这样缺水的城市,城市绿化耗费了大量的水资源,地表水分无效蒸散量较大,土壤含水量较低,这些已成为制约城市绿化发展的关键问题。因此,节水技术是北京市绿化发展的重点和难点[2]。覆盖可以调节土壤水分,促进植物生长,起到节水、保水的作用[3-4]。对地表进行覆盖可以阻挡阳光直射,降低土壤水分蒸发速率,从而降低土壤水分日蒸发和累积蒸发量,提高土壤含水量[5-7]。城市绿地覆盖材料一般分为 3 大类:无机覆盖材料(inorganic mulch)、有机覆盖材料(organic mulch)和植生覆盖材料(living mulch)[8]。近年来,国外研究覆盖用的有机材料主要是树皮和木片[8],国内众多研究主要集中在秸秆覆盖[9-13]、地膜覆盖[13-15]、砂石覆盖[16-18]等对土壤保水效果的影响,目前国内外对园林废弃物堆腐材料覆盖保水的研究较少,且我国园林废弃物产量逐年增加,处理困难,传统的处理方法不仅造成资源浪费,更会污染环境[19]。故本研究用经过堆腐的园林废弃物作为覆盖材料,与木片、树皮进行比较,通过模拟蒸发试验和桶装控制试验,探究不同有机材料覆盖对城市绿地土壤的保水效果,为城市绿化节水和建设海绵城市提供科学依据。

1　材料和方法

1.1　研究区自然概况

研究地位于北京市海淀区双清路东升乡八家村北京林业大学教学实习基地三顷园苗圃(北纬 40°00′28.3″,东经 116°20′17.5″),气候类型为温带湿润季风气候,年平均气温 12.5 ℃,1 月份平均气温最低,为−4.4 ℃,7 月份平均气温最高,为 25.8 ℃,年最高气温出现在 7 月中下旬,高达 41.6 ℃;年平均降水量 628.9 mm,降水主要集中在 6—8 月,约占全年降水量的74.0%,夏季高温多雨,盛行东南风,冬季寒冷干燥,盛行西北风。0—20 cm 表层土壤质地为中黏土,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%(中国土壤质地分类,1978 年),基本理化性质详见表 1。

表 1　研究区 0−20 cm 表层土壤基本理化性质

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})	全氮/(g·kg^{-1})	碱解氮/(mg·kg^{-1})	有效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})
1.51	38.1	33.98	4.12	8.45	13.43	0.53	19.31	13.23	151.91

1.2　试验材料

(1) 园林废弃物。园林废弃物采集于北京市海淀区香山公园,颜色主要为黑色、黄色和棕色,原料主要来源于以下树种的枯枝落叶:油松(*Pinus tabuliformis*)、白皮松(*Pinus bungeana*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、黄栌(*Cotinus coggygria*)和臭椿(*Ailanthus altissima*)。粉碎后进行堆腐,6 个月完全腐熟后过 5 cm,3 cm,1 cm孔径的套筛筛分出 3～5 cm,1～3 cm,0～1 cm 三种粒径。

(2) 木片、树皮。木片、树皮均购自北京市朝阳区荔驰有机覆盖物公司,粒径均为 1～3 cm,颜色分别为咖啡色和棕色。

1.3　试验设计

1.3.1　蒸发试验　将亚克力管(其规格为高 32 c,外径 20 cm,内径 19 cm,壁厚 0.5 cm)底部用 1 cm 厚的亚克力板密封,并在桶底均匀打上 6 个直径为 1 cm 的透水孔,底部垫上多层纱布,并用胶带粘住纱布,防止试验过程中土壤漏出。取北京林业大学教学实习基地三顷园苗圃表层土壤,自然风干后过 2 mm 土筛,混合均匀后四分之一法装入管内,装土质量 9.4220 kg,待其自然沉降 24 h 后放入水深 10 cm 的水槽内,毛管力吸持 18 h,待土壤全部润湿,表面盖一层保鲜膜防止蒸发,静置 48 h,排除重力水,取下保鲜膜,覆盖 6 cm 厚 0～1 cm,1～3 cm,3～5 cm 粒径的园林废弃物,无覆盖作为对照,分别记作 M_1,M_2,M_3 和 CK(CK 因其表面无覆盖物,所以选择高度为 26 cm,其他规格完全一致的亚克力管)。随机区组排列,每个处理重复 3 次。将桶放置在苗圃户外空旷处,不受人为因素干扰,模拟自然条件进行蒸发试验。

每天记录温度、风速和降雨等气象因素，如遇降雨则提前将各处理转移至室内，避免干扰。试验从 2016 年 5 月 5 日开始至 5 月 19 日结束，持续 14 d。

1.3.2 控制试验 在蒸发试验筛选出效果最好的园林废弃物后布设控制试验，选取上直径 46 cm，下直径 36 cm，高 56 cm 统一规格的白色塑料桶模拟大田环境进行控制试验，在桶底部均匀打上 6 个直径 0.5 cm 的透水孔。将过筛混匀后的表层土壤按照四分之一法装入塑料桶内，装土质量 98.30 kg，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。三种材料分别为木片、树皮、抑制蒸发效果最好的园林废弃物（即 1～3 cm 粒径，由蒸发试验筛选出），每个桶覆盖一种材料，覆盖厚度 6 cm，无覆盖作为对照，共计 4 种覆盖方式，分别记作木片覆盖（M_4）、树皮覆盖（M_5）、1～3 cm 粒径园林废弃物覆盖（M_2）和无覆盖（CK）。随机区组排列，每个处理重复 3 次，铺设完成后所有处理静置 30 d，待各项指标稳定后开始试验。试验从 2016 年 10 月开始至 2017 年 9 月结束，持续 12 个月。

1.4 测定指标及方法

（1）土壤水分蒸发量。采用称重法，使用感度 0.0005 kg，量程 30 kg 的电子秤，每天下午 17:00 进行称量，待读数稳定后记录每个管的质量，并用差减法计算土壤水分蒸发量。

（2）土壤含水量。采用 TDR 法，使用美国生产的 TDR 300 土壤水分测量仪，选择 7.5，12 和 20 cm 探头分别测定 0—10 cm，10—20 cm 及 20—40 cm 土层中部含水量，每个深度重复 3 次，每月中旬进行测定。

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 软件进行数据处理及绘图，采用 SPSS 19.0 软件进行土壤水分蒸发量及含水量的单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同粒径园林废弃物覆盖对土壤水分蒸发的影响

2.1.1 不同粒径园林废弃物覆盖对土壤水分日蒸发量的影响 蒸发试验阶段主要气象因素详见表 2。不同粒径园林废弃物覆盖下土壤水分日蒸发量的变化如图 1 所示。

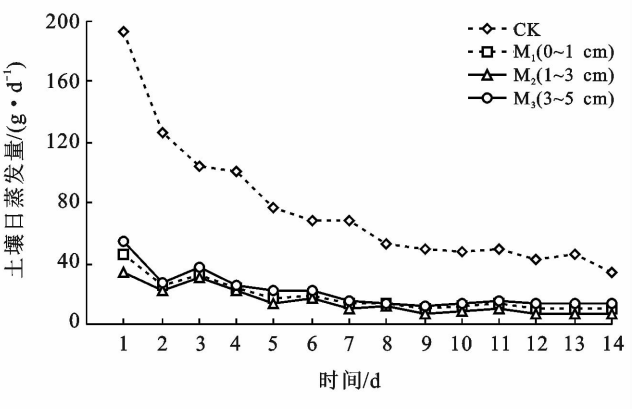


图 1 不同粒径园林废弃物覆盖土壤日蒸发量变化

表 2 蒸发试验阶段内主要气象因素

时间/d	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
温度/℃	15	19	20	22	21	22	21	19	21	21	21	23	25	28
湿度/%	9	12	16	29	30	19	8	18	18	24	17	20	31	31
风向	西北	西风	西南	南风	南风	西南	北风	西南	西风	西南	东南	南风	西南	西南
风速	6 级	5 级	5 级	3 级	5 级	4 级	5 级	4 级	4 级	3 级	3 级	4 级	3 级	3 级

由图 1 可知，蒸发前期 1～7 d，土壤水分日蒸发量较大，3 种覆盖处理下土壤水分日蒸发量变化趋势基本一致，与 CK 差异明显。在这一时段内，M_2，M_1，M_3 及 CK 的日平均蒸发量分别为 21.6，25.4，29.3 和 102.1 g/d，最小的为 1～3 cm 粒径的园林废弃物（M_2），仅为 CK 的 21.1%。随着时间的推移，土壤水分日蒸发量明显降低，到了蒸发后期 7～14 d，M_2，M_1，M_3 以及 CK 的日平均蒸发量分别为 8.3，11.4，13.6 和 46.1 g/d。3 种覆盖处理与对照处理的土壤水分日蒸发情况整体表现为前期较陡，蒸发速率较快，各粒径覆盖下土壤水分日蒸发量变化幅度明显，这是因为在这一时段内土壤水分蒸发速度主要是由土壤表面覆盖物的特性决定的，此时土壤蒸发量大于地表蒸发量，导致土壤水分蒸发速率较快；后期较缓，变化幅度较小，蒸发速率较慢，各粒径覆盖下土壤水分蒸发状况并无明显差异，土壤水分达到一个较平稳的状态，这是因为在这一时段内土壤水分蒸发速度主要是由土壤自身的含水量及土壤内部水汽的扩散能力决定的，此时土壤蒸发量小于地表蒸发量，导致土壤水分蒸发速率较慢。不同粒径的园林废弃物覆盖下土壤水分日蒸发量均低于 CK，说明对土壤表层进行覆盖可以抑制水分蒸发。各覆盖处理间土壤水分日蒸发量差异不明显，但与 CK 存在明显差异。

2.1.2　不同粒径园林废弃物覆盖对土壤水分累积蒸发量的影响　不同粒径园林废弃物覆盖下土壤水分累积蒸发量的变化如图 2 所示。由图 2 可知,在试验的整个过程中,CK 的土壤水分累积蒸发量明显高于覆盖处理,各处理累积蒸发量的变化最终趋于稳定。在蒸发前期 1～7 d 内,不同粒径园林废弃物覆盖下土壤水分累积蒸发量增长速率较快,上升趋势较明显,随着时间的推移,土壤水分累积蒸发量的曲线逐渐变得平稳。到了蒸发后期 8～14 d 内,土壤水分累积蒸发量虽然不断上升,但是其增长速率却逐渐降低。不同粒径园林废弃物覆盖下土壤水分累积蒸发量的变化虽然有所差异,但变化趋势基本一致。覆盖 14 d 后土壤水分累积蒸发量的高低顺序为:CK (1037.0 g)＞M_3 (304.0 g)＞M_1 (269.5 g)＞M_2 (193.0 g)。与 CK 相比,M_2,M_1,M_3 的累积蒸发量分别减少了 81.4%,74.0%,70.7%。这表明对土壤表层进行覆盖可以抑制水分蒸发,抑制效果顺序为:M_2＞M_1＞M_3＞CK。

对不同粒径园林废弃物覆盖下土壤水分累积蒸发量与时间的关系进行拟合,拟合方程如表 3 所示。从拟合结果可以看出,各粒径覆盖下累积蒸发量与时间的决定系数均较高。土壤水分累积蒸发量 y 对蒸发时间 x 求导可得蒸发强度的变化速率,由于参数 a 均为负数,可知土壤水分蒸发强度随着时间的推移逐渐下降。参数 a 的大小顺序为:M_1＞M_3＞M_2＞CK,说明不同粒径园林废弃物覆盖下土壤水分蒸发强度的下降速度依次为:M_1＞M_3＞M_2＞CK,所以土壤水分累积蒸发量的增长速度顺序为:CK＞M_2＞M_3＞M_1,1～3 cm 粒径的增长速度最小。

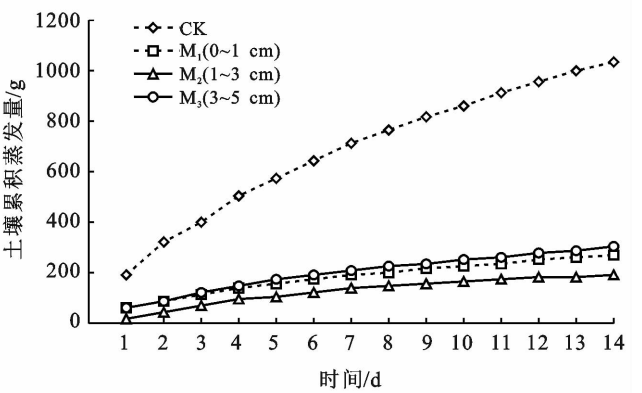


图 2　不同粒径园林废弃物覆盖土壤累积蒸发量变化

表 3　不同粒径园林废弃物覆盖下土壤累积蒸发量与时间的拟合方程

处理	拟合方程 ($y=ax^2+bx+c$)	R^2	拟合方程的导函数 ($y=2ax+b$)
CK	$y=-2.876\ 8x^2+111.12x+2.487\ 4$	0.998 2	$y=-5.753\ 6x+111.120$
M_1	$y=-0.783\ 3x^2+28.84x+8.143\ 4$	0.996 1	$y=-1.566\ 6x+28.840$
M_2	$y=-0.862\ 3x^2+27.304x-28.450\ 0$	0.993 5	$y=-1.724\ 6x+27.304$
M_3	$y=-0.847\ 5x^2+32.322x+2.981\ 3$	0.995 1	$y=-1.695\ 0x+32.322$

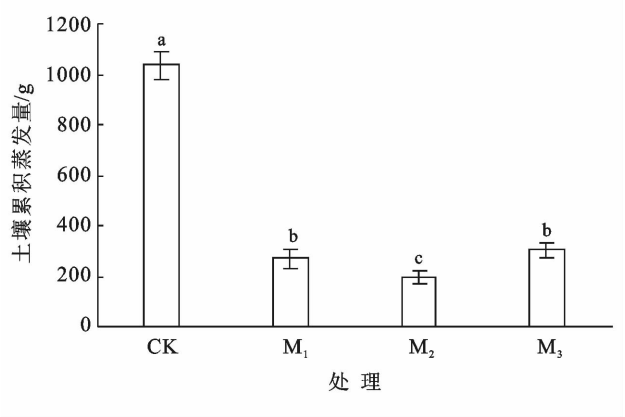
注:y 为土壤水分累积蒸发量(g);x 为蒸发时间(d);a 为蒸发强度的变化速率;b 为初始蒸发强度(g/d);c 为初始土壤水分蒸发量(g);R^2 为决定系数。

对不同粒径园林废弃物覆盖 14 d 后土壤水分累积蒸发量的大小进行显著性分析(如图 3 所示)。在 $p<0.05$下具有统计学意义。CK 的土壤水分累积蒸发量显著高于其他 3 种覆盖处理的,M_1 与 M_3 差异不显著,但 M_2 显著低于 M_1 和 M_3。综上所述,覆盖1～3 cm粒径的园林废弃物抑制土壤水分蒸发效果最好。

2.2　不同有机材料覆盖对土壤含水量的影响

不同有机材料覆盖下 0—10 cm,10—20 cm,20—40 cm 土层土壤含水量的年变化如图 4 所示。由图 4 可以看出,3 个土层土壤含水量的年变化整体均呈现出双峰趋势。在一年中,4—5 月土壤含水量较低,最低峰出现在 4 月;6—8 月土壤含水量较高,最高峰出现在 7 月。由于 4—5 月平均气温较高,土壤水分蒸发强度较大,故土壤含水量较低;6—8 月期间为北京地区的雨季,下雨较为频繁,雨水量较充沛,含水量相对集中。由于控制试验的原理是模拟大田,铺设环境为室外露天,因此不同有机材料覆盖下土壤的含水量都有明显的增加。由于 CK 组没有任何覆盖材料,水分下渗的速度最快,所以含水量最高。其他有机材料由于本身具有吸水作用,会抑制雨水的下渗,土壤水分虽有增加但不会高于 CK 组。与 0—10 cm 土层土壤水分变化情况相比,10—20 cm 土层水分变化有一定的滞后性,故土壤水分增长速率较小;20—40 cm 土层较深,受外界环境影响较小,故水分波动趋势比表层土壤小。综上所述,除雨季之外,不同有机材料覆盖下土壤含水量均高于 CK。随着土层的加深,土壤含水量有所提高,水分波动趋势逐渐越小,且深层土壤含水量的变化趋势与表层土壤基本一致。由图 4 可以看出,不同有机材料覆盖下土壤含水量各有差异。整体上,除雨季之外,覆盖处理的土壤含水量均比对照高。M_4 覆盖 0—10 cm 土层土壤年均含水量为 30.2%,比 CK 高 7.4%;10—20 cm 土层土壤年均含水量为 32.1%,比 CK 高 6.5%;20—40 cm 土层土壤年均含水量为 36.4%,比 CK 高 5.5%。M_4 在 3

个土层中的含水量均高于其他处理，不同土层土壤含水量的高低顺序均为：$M_4>M_5>M_2>CK$。



注：不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平差异显著。下同。

图 3 不同粒径园林废弃物覆盖 14 d 土壤水分累积蒸发量

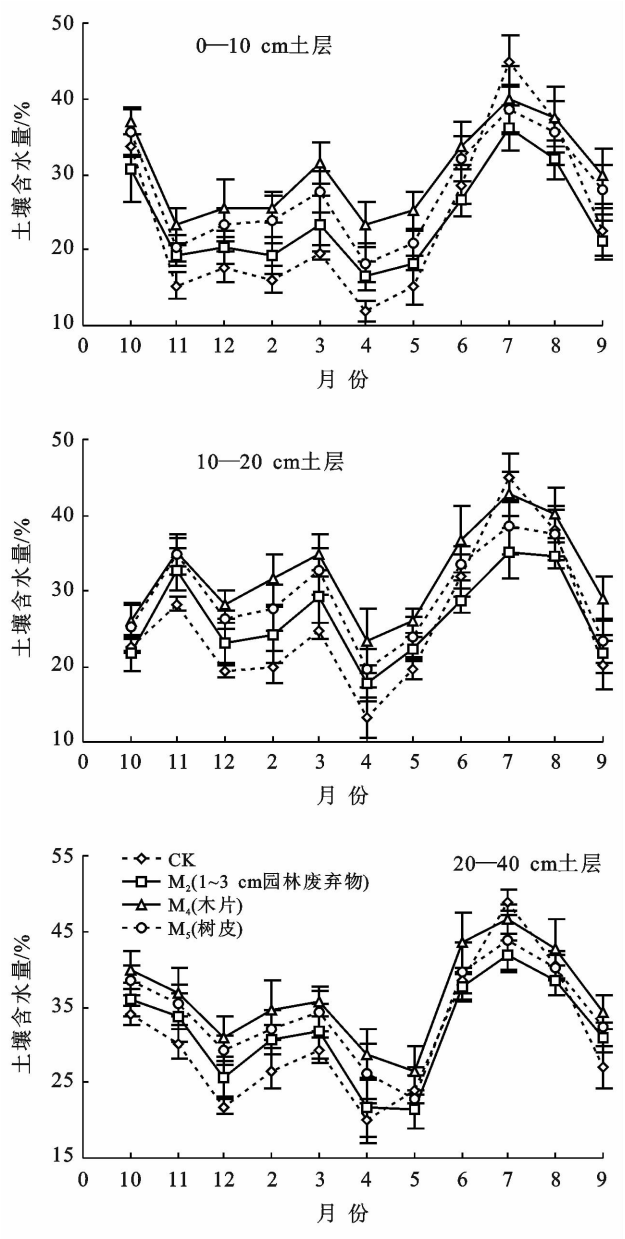


图 4 不同有机材料覆盖下各土层土壤含水量的年变化

对不同有机材料覆盖 0—40 cm 土层土壤年平均含水量的大小进行显著性分析，结果如图 5 所示。M_4，M_5，M_2 和 CK 的 0—40 cm 土层土壤年平均含水量分别为 32.9%，30.3%，27.4%和 26.8%，在 $p<0.05$下具有统计学意义。由图 5 可知，M_4 的土壤年均含水量显著高于 M_5，M_5 显著高于 M_2 与 CK，可见木片为保水效果最好的有机材料，其次是树皮和园林废弃物。

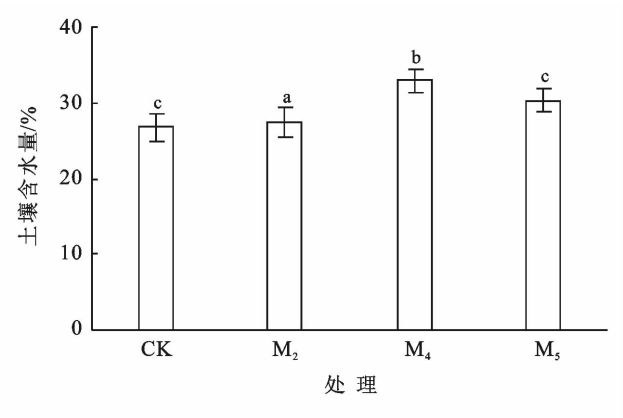


图 5 不同材料覆盖 0－40 cm 土层土壤年平均含水量

3 讨 论

有机覆盖材料是一种“变废为宝”的环境友好型覆盖材料，是对林业废弃物的循环利用，符合可持续发展的生态理念[4]。覆盖有机材料可以有效抑制土壤水分蒸发，提高土壤含水量，但覆盖厚度并非越厚越好。国内外有研究证实，有机覆盖物 5～10 cm 为最合适的覆盖厚度[8]。覆盖太薄起不到抑制蒸发的作用，会使土壤水分无效蒸散严重；覆盖太厚会使大量水分被覆盖物吸收，难以渗透至土壤表层，且成本高，也不适宜推广至大田。另外有学者研究了覆盖 3，6，9 cm 三种厚度的园林废弃物，结果表明覆盖 6 cm 厚的园林废弃物在保水、调节土温、改善土壤养分、抑制杂草等方面均有较好的效果[20]，故本研究综合考虑选择了 6 cm 的覆盖厚度。本研究首先通过蒸发试验从同种材料（即 3～5 cm，1～3 cm，0～1 cm 三种粒径的园林废弃物）中筛选出抑制蒸发效果最好的粒径范围，在此基础上用效果最好的园林废弃物与木片、树皮进行比较，进一步筛选出保水效果最好的有机覆盖材料。原翠萍等[18]研究结果表明，覆盖条件下的土壤蒸发与裸土相比不仅降低而且更加平稳，在相同的覆盖厚度和同一含水率条件下，砂石覆盖的粒径越大，对蒸发的抑制能力越低，这与本文的研究结果相似，不同之处在于本研究发现 1～3 cm 粒径园林废弃物抑制蒸发能力大于 0～1 cm 粒径，这是因为经过堆腐

的园林废弃物性质更接近于土壤,0～1 cm 粒径毛管孔隙多,水分沿着毛管孔隙上升并蒸散;3～5 cm 粒径孔隙太大,抑制水分蒸发效果差,而 1～3 cm 粒径的园林废弃物既能有效抑制土壤水分蒸发,又阻止了土壤水分沿毛管孔隙上升,因此 1～3 cm 粒径抑制蒸发效果最好。本研究还发现不同有机材料覆盖下土壤含水量的年变化整体呈现出双峰趋势,一年中 4—5 月土壤含水量较低,6—8 月土壤含水量较高,不同土层土壤含水量的年变化趋势基本一致。随着土层的加深,土壤含水量有所提高,水分波动趋势比表层土壤小,这与陈玉娟等[4]研究结果相似。除了雨季之外,不同土层土壤含水量从高到低均为木片覆盖、树皮覆盖、1～3 cm 粒径园林废弃物覆盖、无覆盖,木片覆盖 0—40 cm 土层土壤年平均含水量显著高于树皮覆盖,树皮覆盖显著高于 1～3 cm 粒径园林废弃物覆盖与无覆盖,因此保水效果最好的为木片,其次是树皮和园林废弃物。

4　结 论

(1) 园林废弃物覆盖可以较好地抑制土壤水分蒸发。不同粒径的园林废弃物覆盖下土壤水分蒸发量均低于 CK,其大小顺序为:3～5 cm＞0～1 cm＞1～3 cm,因此抑制蒸发效果最好的为 1～3 cm 粒径。

(2) 除了雨季之外,不同有机材料覆盖下土壤含水量均高于 CK。不同土层土壤含水量的高低顺序均为:木片＞树皮＞1～3 cm 粒径园林废弃物,且各土层含水量的年变化趋势基本一致,因此保水效果最好的为木片,其次是树皮和园林废弃物。

[参 考 文 献]

[1] 李曙雁.生态城市建设存在的问题及对策[J].中共银川市委党校学报,2011,13(2):56-58.

[2] 袁嘉祖.节水园林势在必行[J].中国园林,2003,19(9):44-46.

[3] 张艳,阚丽艳.有机覆盖物对城市园林植物土壤含水量的影响[J].江西农业学报,2013,25(8):30-34.

[4] 陈玉娟,王成,郄光发,等.有机覆盖物对城市绿地土壤水分和温度的影响[J].中国城市林业,2009(3):52-54.

[5] 赵文举,马宏,郁文,等.不同覆盖模式对土壤水分蒸发的影响[J].排灌机械工程报,2016,34(6):539-544.

[6] 于舜章,陈雨海,周勋波,等.冬小麦期覆盖秸秆对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响[J].水土保持学报,2004,18(6):175-178.

[7] Hadrian F C, Gerardo S B Valdes, Howard C L. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. [J]. Soil & Tillage Research, 2005,91(1):227-235.

[8] 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(6):1-8.

[9] 孙博,解建仓,汪妮,等.不同秸秆覆盖量对盐渍土蒸发、水盐变化的影响[J].水土保持学报,2012,26(1):246-250.

[10] 孙博,解建仓,汪妮,等.秸秆覆盖对盐渍化土壤水盐影响的试验研究[J].水土保持通报,2011,31(3):48-51.

[11] 王平,郭小俊,张丽娟,等.不同覆盖方式对小麦产量和土壤水热状况的影响[J].水土保持通报,2017,37(5):69-75.

[12] 王安,郝明德,王荚文.人工降雨条件下秸秆覆盖及留茬的水土保持效应[J].水土保持通报,2012,32(2):26-28,34.

[13] 段义忠,亢福仁.不同覆盖材料对旱地马铃薯土壤水热状况及其水分利用效率的影响[J].水土保持通报,2014,34(5):55-59,66.

[14] 陈玉华,张岁岐,田海燕,等.地膜覆盖及施用有机肥对地温及冬小麦水分利用的影响[J].水土保持通报,2010,30(3):59-63.

[15] 苏凤梅,贾志峰,王智.地布—地膜覆盖对渭北旱塬区土壤水分的影响[J].水土保持通报,2018,38(5):97-102.

[16] 赵丹,李毅,冯浩.砂石条形覆盖下土壤水分蒸发动态研究[J].土壤学报,2015,52(5):1058-1068.

[17] 蔡永坤,李毅,冯浩.不同砂石覆盖度和粒径对土壤水分蒸发的影响[J].水土保持学报,2014,28(6):273-277,297.

[18] 原翠萍,张心平,雷廷武,等.砂石覆盖粒径对土壤蒸发的影响[J].农业工程学报,2008,24(7):25-28.

[19] 于鑫,孙向阳,徐佳,等.北京市园林绿化废弃物现状调查及再利用对策探讨[J].山东林业科技,2009,39(4):5-7,11.

[20] 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.