

# 城市绿地用有机无机生态覆盖物的水文效应

谭江锋<sup>1,2</sup>, 路露<sup>1,3</sup>, 曲炳鹏<sup>1</sup>, 周伟<sup>1</sup>,  
王鑫宇<sup>1</sup>, 江颖<sup>1</sup>, 张新英<sup>1</sup>, 宋书巧<sup>1</sup>, 任姝蕾<sup>1</sup>

(1. 南宁师范大学 环境与生命科学学院, 广西 南宁 530001;

2. 广西壮族自治区林业勘测设计院, 广西 南宁 530011; 3. 南京林业大学 林草学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** [目的] 优选水文效应较好的城市绿地生态覆盖物, 为城市裸露绿地的覆盖管理提供理论指导。[方法] 以4种有机生态覆盖物(秸秆、菇渣、锯木屑、松树皮)和4种无机生态覆盖物(陶粒、火山石、珍珠岩、麦饭石)为研究对象, 采取室内浸泡法研究有机无机生态覆盖物应用于城市绿地的水文效应, 并选出水文效应较好的生态覆盖物。[结果] ①有机、无机生态覆盖物的持水量、吸水速率变化趋势基本一致, 其持水量与吸水速率呈显著对数函数关系, 与浸泡时间呈显著幂函数关系。②有机生态覆盖物的最大持水能力、有效拦蓄能力都普遍高于无机生态覆盖物, 在4种有机生态覆盖物中, 锯木屑、秸秆的最大持水能力、有效拦蓄能力较好, 菇渣次之, 松树皮最差。在4种无机生态覆盖物中, 火山岩、珍珠岩和陶粒的最大持水能力、有效拦蓄能力都较好, 麦饭石最差。[结论] 在实际的城市绿地覆盖应用中, 在充分考虑当地各种自然环境因子的条件下, 可以优先选取水文效应较好的有机生态覆盖物(锯木屑、秸秆)以及无机生态覆盖物(火山石、珍珠岩、陶粒)。

**关键词:** 生态覆盖物; 城市绿地; 水文效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)04-0012-08

中图分类号: X171.4

**文献参数:** 谭江锋, 路露, 曲炳鹏, 等. 城市绿地用有机无机生态覆盖物的水文效应[J]. 水土保持通报, 2024, 44(4): 12-19. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.04.002; Tan Jiangfeng, Lu Lu, Qu Bingpeng, et al. Hydrological effects of organic and inorganic ecological mulches applied to urban bare soil [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(4): 12-19.

## Hydrological Effects of Organic and Inorganic Ecological Mulches Applied to Urban Bare Soil

Tan Jiangfeng<sup>1,2</sup>, Lu Lu<sup>1,3</sup>, Qu Bingpeng<sup>1</sup>, Zhou Wei<sup>1</sup>,

Wang Xinyu<sup>1</sup>, Jiang Ying<sup>1</sup>, Zhang Xinying<sup>1</sup>, Song Shuqiao<sup>1</sup>, Ren Shulei<sup>1</sup>

(1. School of Environmental and Life Sciences, Nanning Normal University, Nanning,

Guangxi 530001, China; 2. Guangxi Forest Inventory & Planning Institute, Nanning, Guangxi 530011,

China; 3. College of Forestry and Grass, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210037, China)

**Abstract:** [Objective] This study aimed to optimise organic and inorganic mulches suitable for urban bare soil coverage and provide theoretical guidance for urban bare soil management. [Methods] Four types of organic ecological mulches (straw, mushroom residue, sawdust, and pine bark) and four types of inorganic ecological mulches (ceramsite, volcanic stone, perlite, and maifan stone) were used as research objects, and the indoor immersion method was used to compare the water retention effect of the organic and inorganic ecological mulches applied to urban bare soil. Several ecological mulches with good water retention effects were selected. [Results] ① The changing trends of the water-holding capacity and water absorption rate of the organic and inorganic ecological mulches were basically consistent. The water-holding capacity, water

收稿日期: 2024-02-07

修回日期: 2024-05-16

资助项目: 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目“西南喀斯特地区边坡植物群落演替特征及群落构建研究”(2023KY0402); 百色市科学研究与技术开发计划项目(20233646); 全国生态修复青年科技创新大赛开放基金项目(20220203); 南宁师范大学博士科研基金项目(602021239392); 南宁师范大学大学生创新创业训练计划项目(602026502)

第一作者: 谭江锋(1981—), 男(壮族), 广西壮族自治区桂平市人, 本科, 高级工程师, 主要从事风景园林规划设计和工程技术方面的研究。Email: 55757960@qq.com。

通信作者: 曲炳鹏(1991—), 男(汉族), 山东省淄博市人, 博士, 副教授, 主要从事生态修复方面研究。Email: qubingpeng@163.com。

absorption rate, and soaking time of the two types of ecological mulches had significant logarithmic and power function relationships, respectively. ② The maximum water-holding capacity and effective storage capacity of the organic ecological mulches were generally higher than those of the inorganic ecological mulches. Among the four types of organic ecological mulches, sawdust and straw had the best (i.e., highest) water-holding capacity and effective storage capacity, followed by mushroom residue and pine bark. Among the four types of inorganic ecological mulches, volcanic rock, perlite, and ceramsite had the best water-holding capacity and effective retaining capacity, and maifan stone had the worst. [Conclusion] In the actual application of urban bare soil coverage, organic ecological mulches (sawdust and straw) and inorganic ecological mulches (volcanic stone, perlite, and ceramsite) with good water retention effects can be selected preferentially when various local natural environmental factors are fully considered.

**Keywords:** ecological mulch; urban bare soil; water retention effect

近年来,随着城市化进程不断加快,各个地区的城市绿地建设速度也渐渐加大,城市绿地面积呈现逐年上升的趋势<sup>[1]</sup>。但是由于城市绿地管理不善等原因,产生了大量的裸露土壤,这些裸土不仅加剧了城市水土流失,还在一定程度造成了扬尘污染<sup>[2]</sup>。对城市裸露土壤进行覆盖是当前治理该问题的一种有效措施,目前,常用的地表覆盖物包括有机、无机以及植生覆盖物 3 种<sup>[3]</sup>。覆盖物既有保存土壤水分、抑制扬尘的作用,又可以控制水土流失,同时还减少了大量绿地再次栽植造成的巨额工程成本和养护成本,另外覆盖物的应用也会产生一定的景观美化效果<sup>[4]</sup>。有研究表明,有机覆盖物不仅具有良好的保水效果,还有美化景观、调节土壤温度、抑制杂草、吸附扬尘、改善土壤结构等功能,在城市绿地中应用最为广泛<sup>[5]</sup>。有机覆盖物主要原料来源于农林废弃物、破碎树皮等,其广泛应用可促进农林废弃物的循环利用<sup>[6]</sup>。除此之外,无机覆盖和植生覆盖也应用较多,但也各有其优缺点。采用砾石、砂石等无机覆盖物进行覆盖,其施工成本低、不易损坏,但是长时间使用会降低土壤的通气性,阻碍绿地植物的生长发育<sup>[7]</sup>;利用牧草或其他植物等植生覆盖物具有较好的生态效应,但也会引起植物之间竞争水肥,影响绿地主要景观植物生长<sup>[8]</sup>。国外发达国家对城市绿地覆盖物的研究较早,且应用广泛,至今已有几十年的历史,尤其近十年来发展十分迅速。相关研究表明,使用覆盖物覆盖土壤可以起到减少土壤侵蚀,提高土壤保水能力和促进植物生长等作用<sup>[9-11]</sup>,而国内对此方面研究则相对较少。在水文效应方面,国内许多学者对森林枯落物曾做了大量的研究,也对不同类型覆盖物的保水效果做了一定的研究<sup>[5,12-13]</sup>,但对城市裸露土壤覆盖物的水文效应研究则相对较少。为此,本研究选取了 4 种有机生态覆盖物(秸秆、菇渣、锯木屑、松树皮)和 4 种无机生态覆盖物(陶粒、火山石、珍珠岩、麦饭石)作为研究对象,通过覆盖物持水试验测定其水文效应,研究

城市绿地用有机无机生态覆盖物的水文效应,并选出几种水文效应较好生态覆盖物,旨在为城市绿地裸露土壤覆盖物的选择提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究共选取 8 种目前较为常用的有机无机生态覆盖物(图 1)。4 种为有机生态覆盖物:秸秆、菇渣、锯木屑、松树皮。秸秆是农作物成熟脱粒后的剩余茎叶部分,为常见的农业废弃物;菇渣是食用菌的废料,含有一定的营养元素,能为植物生长提供养料;锯木屑和松树皮都属于木质材料,锯木屑常产生于木材加工过程,松树皮是常见的地表覆盖物。这些有机覆盖物产量大、价格低廉、容易获得,可以资源化利用。另外 4 种为无机生态覆盖物:陶粒、火山石、珍珠岩、麦饭石,这些是景观美化常用的地表覆盖物,分布广泛,易获得。其中,秸秆(水稻)购于灵寿县荣恩科技有限公司,菇渣购于德州鑫荣商贸有限公司,锯木屑购于佛山市三水区丹特木材加工厂,松树皮购于河北北尤园林绿化工程有限公司,陶粒、火山石、珍珠岩、麦饭石均购于郑州金世纪园艺器材有限公司。

### 1.2 试验设计

试验于 2023 年 5 月在南宁师范大学环境与生命科学学院实验室进行。首先进行材料处理,将 8 种生态覆盖物平铺(每种材料 3 个重复),取 20 cm × 20 cm × 5 cm(长 × 宽 × 高)材料,装于尼龙网袋中,测定其鲜重(g),之后放入烘箱内于 85 °C 条件下烘干 8 h,测定其烘干质量(g)。生态覆盖物的自然含水率(%)计算公式为:

$$R_0 = \frac{m_a - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $R_0$  为生态覆盖物的自然含水率(%);  $m_a$  为自然状态下的鲜重(g);  $m_0$  为烘干重量(g)。

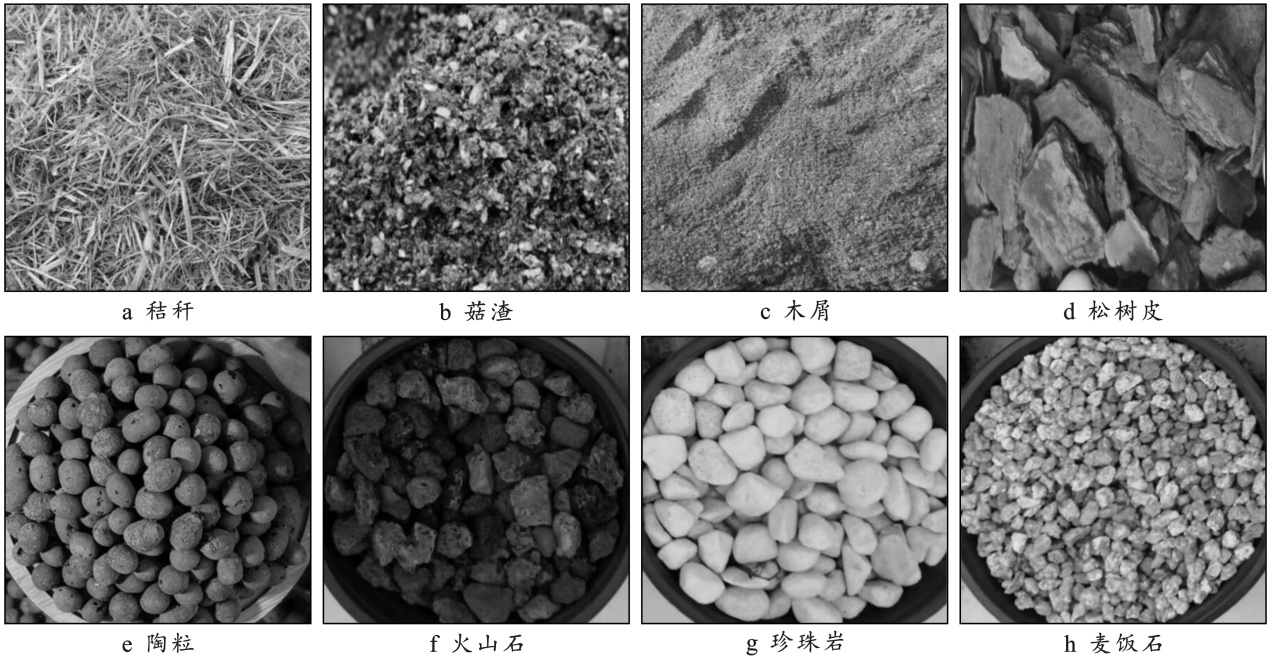


图 1 8 种常用生态覆盖材料

Fig.1 Eight types of ecological mulches

本研究参照森林枯落物的持水测定方法<sup>[14]</sup>。通过室内浸泡法研究不同类型覆盖物的持水能力。取规格相同的容器,容器内蓄存 2/3 清水,将装有生态覆盖物的网袋完全浸没水中,分别在浸泡 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12 和 24 h 后,将其取出沥水直至不再滴水为止,之后迅速用电子天平称湿量并记录,分别计算 8 种生态覆盖物的持水量、吸水速率、最大持水量、最大持水率、有效拦蓄量和有效拦蓄率。计算公式如下(以 3 个重复样本的平均值作为本研究的最终结果):

$$\Delta W = \frac{m_t - m_0}{A} \quad (2)$$

式中: $\Delta W$  为生态覆盖物浸泡时间  $t$  的持水量( $t/\text{hm}^2$ );  $m_t$  为浸泡时间  $t$  的湿重( $g$ );  $A$  为样方面积( $\text{m}^2$ )。

$$V = \frac{\Delta W}{t} \quad (3)$$

$$W_{\max} = m_{24} - m_0 \quad (4)$$

式中: $V$  为浸泡时间  $t$  的吸水速率 [ $t/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ];  $m_{24}$  为浸泡 24 h 后的湿重( $g$ );  $W_{\max}$  为最大持水量 ( $t/\text{hm}^2$ )。

$$R_{\max} = \frac{W_{\max}}{m_0} \times 100\% \quad (5)$$

$$R_{sv} = (0.85R_{\max} - R_0) \times 100\% \quad (6)$$

$$W_{sv} = R_{sv} \times m_0 \quad (7)$$

式中: $R_{\max}$  为最大持水率( $\%$ );  $R_{sv}$  为有效拦蓄率( $\%$ ); 0.85 为有效拦水系数;  $W_{sv}$  为有效拦蓄量( $t/\text{hm}^2$ )。

### 1.3 数据统计与处理

对试验所得数据利用 Excel 和 Origin 2018 软件

进行数据统计分析和绘制图表,利用 SPSS 26.0 进行回归分析、方差显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 生态覆盖物的持水量

由图 2 可知,有机、无机生态覆盖物的持水量变化趋势基本一致,均是先快速增加,后缓慢增加,但在 0~2 h 内,有机生态覆盖物持水量增加的幅度大于无机生态覆盖物。对于 4 种有机生态覆盖物,由于其在浸泡初期处于干燥状态,因此 4 种有机生态覆盖物在 0~2 h 内的持水量均迅速增加。在浸泡 2~8 h 内,持水量的增加速度减小。在浸泡 8 h 后,生态覆盖物吸水基本上达到饱和状态,持水量趋于平缓。浸泡 24 h 后,生态覆盖物的持水量达到最大值。锯木屑在各个浸泡时间节点处的持水量最高,松树皮在各个浸泡时间节点处的持水量最低。在 0~2 h 内,秸秆的持水量高于菇渣,但在 2 h 后,菇渣的持水量超过了秸秆。因此在 0~2 h 内,有机生态覆盖物持水量的排列顺序为:锯木屑>秸秆>菇渣>松树皮;在 2 h 之后,菇渣和秸秆的大小顺序发生了交换。对于 4 种无机生态覆盖物,浸泡初期的 0~2 h 内,持水量均增加较快。浸泡 2 h 后,持水量的增加速度减小,趋于平缓。浸泡 24 h 后,生态覆盖物的持水量达到最大值。火山石在各个浸泡时间节点处的持水量明显高于其他 3 种无机生态覆盖物,总体来说,无机生态覆盖物的持水量大小顺序为:火山石>珍珠岩>陶粒>麦饭石。

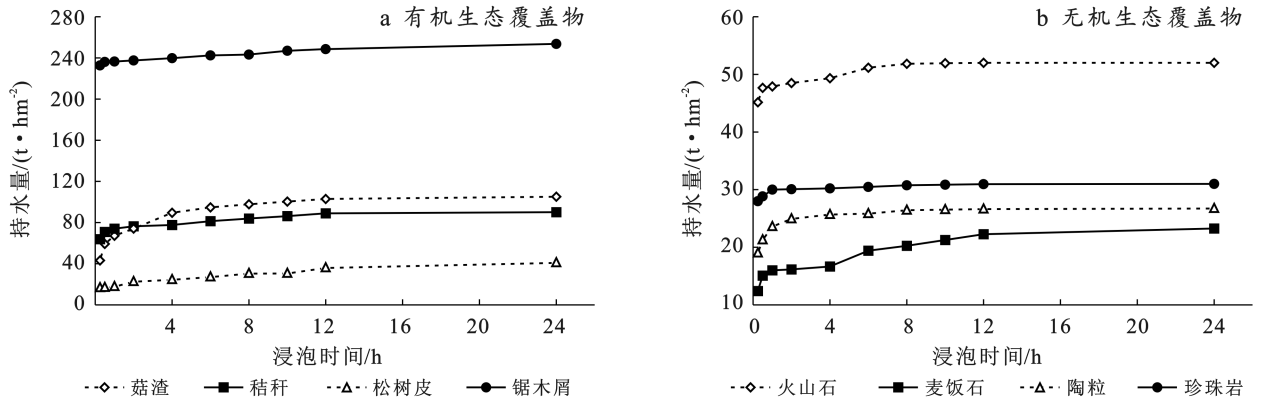


图 2 不同生态覆盖物的持水量变化

Fig.2 Changes in water capacity of different ecological mulches

对浸泡 24 h 的 8 种不同生态覆盖物的持水量 (Q)与浸泡时间 (t)进行回归分析,结果详见表 1,持水量与浸泡时间的拟合关系式为:

$$Q = m + n \ln(t) \quad (8)$$

式中:Q 为生态覆盖物的持水量 (t/hm<sup>2</sup>); t 为浸泡时

间 (h); m 为拟合方程式的系数; n 为拟合方程式的常数项。8 种生态覆盖物的 Q 和 t 采用对数函数模拟效果均较好,相关系数都在 0.886~0.978 之间,说明生态覆盖物的持水量和浸泡时间之间呈现出较为显著的对数函数关系。

表 1 不同生态覆盖物持水量、吸水速率与浸泡时间关系

Table 1 Relationship between water capacity, water absorption rate, and soaking time of different ecological mulches

材料性质	材料类型	持水量与浸泡时间关系		吸水速率与浸泡时间关系	
		拟合关系式	相关系数 R <sup>2</sup>	拟合关系式	相关系数 R <sup>2</sup>
有机	菇渣	$Q = 66.699 + 14.133 \ln(t)$	$R^2 = 0.978$	$V = 64.153t^{-0.808}$	$R^2 = 0.997$
	秸秆	$Q = 72.802 + 5.529 \ln(t)$	$R^2 = 0.962$	$V = 72.519t^{-0.928}$	$R^2 = 0.999$
	松树皮	$Q = 20.034 + 5.263 \ln(t)$	$R^2 = 0.896$	$V = 19.611t^{-0.792}$	$R^2 = 0.996$
	锯木屑	$Q = 236.855 + 4.119 \ln(t)$	$R^2 = 0.886$	$V = 236.834t^{-0.983}$	$R^2 = 0.999$
无机	火山石	$Q = 47.862 + 0.032 \ln(t)$	$R^2 = 0.932$	$V = 47.859t^{-0.968}$	$R^2 = 0.999$
	麦饭石	$Q = 15.576 + 2.281 \ln(t)$	$R^2 = 0.927$	$V = 15.399t^{-0.869}$	$R^2 = 0.999$
	陶粒	$Q = 22.677 + 1.672 \ln(t)$	$R^2 = 0.901$	$V = 22.517t^{-0.928}$	$R^2 = 0.999$
	珍珠岩	$Q = 29.373 + 0.627 \ln(t)$	$R^2 = 0.899$	$V = 29.360t^{-0.979}$	$R^2 = 0.999$

### 2.2 生态覆盖物的吸水速率

由图 3 可知,有机、无机生态覆盖物的吸水速率变化趋势基本一致,均是先快速下降,后缓慢降低,但在 0~2 h 内,有机生态覆盖物吸水速率降低的幅度大于无机生态覆盖物。对于 4 种有机生态覆盖物,吸水速率在 0~2 h 内均急剧降低,在 2~8 h 内缓慢减小。在浸泡 8 h 后,虽然吸水没有达到动态平衡,但是水分占据了生态覆盖物中的部分空隙,吸水仍然在进行中。浸泡 24 h 后,生态覆盖物吸水基本停止,已达到饱和状态,吸水速率趋向于 0,这与许多关于森林枯落物持水过程的吸水速率研究较为相似<sup>[15-17]</sup>。锯木屑在各个浸泡时间节点处的吸水速率最高,松树皮在各个浸泡时间节点处的吸水速率最低。在 0~2 h 内,秸秆的吸水速率高于菇渣,但在 2 h 后,菇渣的吸水速率超过了秸秆。因此在 0~2 h 内,有机生态覆盖物吸水速率的排列顺序为:锯木屑>秸秆>菇

渣>松树皮;在 2 h 之后,菇渣和秸秆的大小顺序发生了交换。对于 4 种无机生态覆盖物,吸水速率总体变化趋势和有机生态覆盖物基本一致。火山石在各个浸泡时间节点处的吸水速率明显高于其他 3 种无机生态覆盖物,总体来说,无机生态覆盖物的吸水速率大小顺序为:火山石>珍珠岩>陶粒>麦饭石。

对浸泡 4 h 的 8 种生态覆盖物的吸水速率 (V)与浸泡时间 (t)进行回归分析,结果详见表 1,拟合关系式为:

$$V = at^b \quad (9)$$

式中:V 为生态覆盖物的吸水速率 [t/(hm<sup>2</sup>·h)]; t 为浸泡时间 (h); a 为拟合方程式的系数; b 为拟合方程式的指数。

8 种生态覆盖物的 V 和 t 采用幂函数模拟效果较好,相关系数均不小于 0.996,说明生态覆盖物的吸水速率和浸泡时间呈现出显著的幂函数关系。

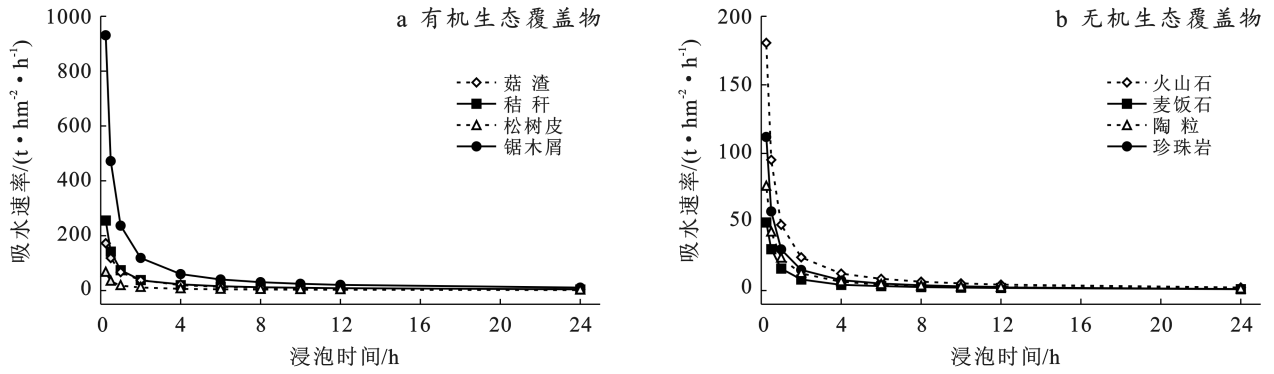


图 3 不同生态覆盖物的吸水速率变化

Fig.3 Changes in water absorption rate of different ecological mulches

### 2.3 生态覆盖物的最大持水能力

由表 2 可知,除了松树皮之外,有机生态覆盖物的最大持水量、最大持水率均高于无机生态覆盖物。有机生态覆盖物的最大持水量范围为 40.83~253.58 t/hm<sup>2</sup>,排列顺序为:锯木屑(253.58 t/hm<sup>2</sup>)>秸秆(94.25 t/hm<sup>2</sup>)>菇渣(106.17 t/hm<sup>2</sup>)>松树皮(40.83 t/hm<sup>2</sup>);最大持水率的排列顺序为:秸秆(366.28%)>锯木屑(189.16%)>菇渣(50.36%)>松树皮(29.87%)。在这 4 种有机生态覆盖物中,锯木屑、秸秆的最大持水能力较好,菇渣次之,松树皮的最大持水能力最差。无机生态覆盖物的最大持水量范围是 23.17~53.25 t/hm<sup>2</sup>,排列顺序为:火山石(53.25 t/hm<sup>2</sup>)>珍珠岩(42.25 t/hm<sup>2</sup>)>陶粒(26.33 t/hm<sup>2</sup>)>麦饭石(23.17 t/hm<sup>2</sup>);最大持水率的排列顺序为:珍珠岩(40.41%)>陶粒(15.86%)>火山石(12.30%)>麦饭石(4.54%)。在这 4 种无机生态覆盖物中,火山岩、珍珠岩和陶粒的最大持水能力都较好,麦饭石的最大持水能力最差。

表 2 不同生态覆盖物的最大持水能力  
Table 2 Maximum water holding capacity of different ecological mulches

材料性质	材料类型	最大持水量/ (t·hm <sup>-2</sup> )	最大持水率/ %
有机	菇渣	106.17±2.40 <sup>b</sup>	50.36±1.24 <sup>a</sup>
	秸秆	94.25±11.56 <sup>b</sup>	366.28±29.10 <sup>c</sup>
	松树皮	40.83±1.77 <sup>a</sup>	29.87±0.74 <sup>a</sup>
	锯木屑	253.58±9.55 <sup>c</sup>	189.16±7.81 <sup>b</sup>
无机	火山石	53.25±4.63 <sup>c</sup>	12.30±0.33 <sup>b</sup>
	麦饭石	23.17±1.13 <sup>a</sup>	4.54±0.31 <sup>a</sup>
	陶粒	26.33±5.92 <sup>a</sup>	15.86±3.80 <sup>b</sup>
	珍珠岩	42.25±1.32 <sup>b</sup>	40.41±0.56 <sup>c</sup>

注:同列不同小写字母表示不同处理之间的差异性( $p < 0.05$ )。下同。

### 2.4 生态覆盖物的有效拦蓄能力

在实际情况下,生态覆盖物具有一定的自然含水率,因此在室内浸泡试验中,通常采用有效拦蓄率、有效拦蓄量两个参数能更好地反映覆盖物对降雨的实际拦蓄能力<sup>[18]</sup>。由表 3 可知,有机生态覆盖物的自然含水率范围为 5.91%~27.43%,菇渣的自然含水率最小(5.91%),秸秆的自然含水率最大(27.43%),松树皮和锯木屑的自然含水率无显著性差异。除了松树皮之外,有机生态覆盖物的有效拦蓄率、有效拦蓄量均高于无机生态覆盖物。有机生态覆盖物的有效拦蓄率范围是 6.57%~283.91%,排列顺序与最大持水率一致,表现为:秸秆(283.91%)>锯木屑(141.73%)>菇渣(36.90%)>松树皮(6.57%);有效拦蓄量范围为 9.00~189.93 t/hm<sup>2</sup>,排列顺序为锯木屑(189.93 t/hm<sup>2</sup>)>菇渣(77.78 t/hm<sup>2</sup>)>秸秆(73.07 t/hm<sup>2</sup>)>松树皮(9.00 t/hm<sup>2</sup>)。在这 4 种有机生态覆盖物中,锯木屑、秸秆的有效拦蓄能力较好,菇渣次之,松树皮的有效拦蓄能力最差。无机生态覆盖物的有效拦蓄率范围是 3.86%~34.35%,排列顺序与最大持水率也一致,表现为:珍珠岩(34.35%)>陶粒(13.45%)>火山石(10.45%)>麦饭石(3.86%);有效拦蓄量范围为 19.69~45.26 t/hm<sup>2</sup>,排列顺序为:火山石(45.26 t/hm<sup>2</sup>)>珍珠岩(35.91 t/hm<sup>2</sup>)>陶粒(22.38 t/hm<sup>2</sup>)>麦饭石(19.69 t/hm<sup>2</sup>)。在这 4 种无机生态覆盖物中,火山岩、珍珠岩和陶粒的有效拦蓄能力都较好,麦饭石的有效拦蓄能力最差。

## 3 讨论

(1) 有机生态覆盖物在持水过程中吸水速率和持水量都呈现先快速上升后逐渐减缓的趋势,这一变化与许多森林枯落物的持水变化过程较为一致<sup>[19-23]</sup>。分析原因可能是有机生态覆盖物其组成均为树皮、秸秆等有机材料,与森林中的枯落物的组成存在一定的

相似性。而无机生态覆盖物其持水过程与有机生态覆盖物存在一定的相似性,但吸水速率和持水量均远不及有机生态覆盖物。这主要是无机生态覆盖物其持水主要依靠内部的持水孔隙,但其本身的矿质材料并不具备持水能力。

表3 不同生态覆盖物的有效拦蓄能力  
Table 3 Effective storage capacity of different ecological mulches

材料性质	材料类型	自然含水率/ %	有效拦蓄率/ %	有效拦蓄量/ (t·hm <sup>-2</sup> )
有机	菇渣	5.91±1.22 <sup>a</sup>	36.90±1.87 <sup>b</sup>	77.78±3.49 <sup>b</sup>
	秸秆	27.43±3.57 <sup>c</sup>	283.91±21.17 <sup>d</sup>	73.07±8.91 <sup>b</sup>
	松树皮	18.82±3.18 <sup>b</sup>	6.57±3.67 <sup>a</sup>	9.00±5.03 <sup>a</sup>
	锯木屑	19.06±1.27 <sup>b</sup>	141.73±6.92 <sup>c</sup>	189.93±6.05 <sup>c</sup>
无机	火山石	—	10.45±0.28 <sup>b</sup>	45.26±3.94 <sup>c</sup>
	麦饭石	—	3.86±0.26 <sup>a</sup>	19.69±0.96 <sup>a</sup>
	陶粒	—	13.48±3.23 <sup>b</sup>	22.38±5.03 <sup>a</sup>
	珍珠岩	—	34.35±0.47 <sup>c</sup>	35.91±1.12 <sup>b</sup>

(2) 根据不同类型生态覆盖物的前期持水变化过程来看,在0~2 h内,有机无机生态覆盖物的持水量均能够快速上升,这说明在雨强较大时,覆盖物能够有效拦截降雨,减少地表水土流失<sup>[24]</sup>。生态覆盖物的持水量、吸水速率和浸泡时间分别呈现对数函数增长关系和幂函数下降关系,这两种函数关系与也许多关于森林枯落物的水文效应研究较为一致<sup>[25-27]</sup>。

(3) 对有机无机生态覆盖物的水文效应进行对比来看,除松树皮这一有机生态覆盖物之外,其他有机生态覆盖物的最大持水能力、有效拦蓄能力均大于无机生态覆盖物。分析原因主要是两种生态覆盖物的材料特性不同导致。有机生态覆盖物除了其本身含有大量的木质素、纤维素可以吸水之外,材料中还含有大量的持水孔隙也可以持水,因此其水文效应与森林枯落物也较为一致<sup>[28]</sup>。而无机生态覆盖物则主要通过颗粒之间的持水孔隙和本身具有的小孔隙来吸持水分,其颗粒均大于有机生态覆盖物,通气孔隙也较大。一般而言,在同等质量下,粒径小的材料的触水面积要大于粒径大的材料,松树皮其粒径较大,触水面积较小,因此其持水能力也较小,而锯木屑、秸秆和菇渣则触水面积相对较大,持水能力也更强。无机生态覆盖物的持水能力大小也基本呈现了相同的规律,即粒径越大,触水面积越小,持水能力越小。这与陈超萍等<sup>[6]</sup>的研究结果较为一致。不同生态覆盖物的有效拦蓄能力大小和最大持水能力大小表现基本一致,这与森林枯落物的整体变化也较为一致<sup>[29]</sup>。除此之外,不同生态覆盖物的有效拦蓄能力受其最大

持水率、自然含水率以及其本身的蓄积量影响而不同<sup>[30]</sup>,有机生态覆盖物其自然含水率大于无机生态覆盖物,但其最大持水率远大于无机生态覆盖物,所以导致有机生态覆盖物的有效拦蓄能力远高于无机生态覆盖物。

## 4 结论

(1) 有机、无机生态覆盖物的持水量和吸水速率变化趋势基本一致,均是先快速增加,后缓慢增加。在0~2 h内,有机生态覆盖物持水量增加的幅度大于无机生态覆盖物。两类生态覆盖物的持水量和浸泡时间均有较为显著的对数函数关系。而在吸水速率方面,在0~2 h内,有机生态覆盖物吸水速率降低的幅度大于无机生态覆盖物。两类生态覆盖物的吸水速率和浸泡时间均有较为显著的幂函数关系。

(2) 有机生态覆盖物的最大持水能力、有效拦蓄能力都普遍高于无机生态覆盖物,在4种有机生态覆盖物中,锯木屑、秸秆的最大持水能力、有效拦蓄能力较好,菇渣次之,松树皮最差。在4种无机生态覆盖物中,火山岩、珍珠岩和陶粒的最大持水能力、有效拦蓄能力都较好,麦饭石最差。

(3) 综合以上研究结果,除松树皮外,有机生态覆盖物的水文效应均高于无机生态覆盖物。在4种有机生态覆盖物中,锯木屑、秸秆的水文效应较好,菇渣次之,松树皮最差,在城市绿地覆盖中,可优选有机生态覆盖物为锯木屑、秸秆。在4种无机生态覆盖物中,火山岩、珍珠岩和陶粒的水文效应都较好,麦饭石最差。可优选的无机生态覆盖物为火山岩、珍珠岩和陶粒。

(4) 在城市绿地覆盖应用过程中,综合考虑当地材料来源等条件下,可优先选取水文效应较好的有机生态覆盖物(锯木屑、秸秆)及无机生态覆盖物(火山石、珍珠岩、陶粒)。

## 参考文献 (References)

- [1] 季珏,许士翔,安超,等.新时期中国城市绿地管理方式的现状、问题及建议[J].中国园林,2020,36(6):56-59.  
Ji Jue, Xu Shixiang, An Chao, et al. Status, problems and suggestions on current urban Greenland management [J]. Chinese Landscape Architecture, 2020, 36(6): 56-59.
- [2] Qu Bingpeng, Li Suyan, Sun Xiangyang, et al. Effects of different mulching materials on reducing soil dust from bare soil [J]. Polish Journal of Environmental Studies, 2018, 28(1): 303-310.
- [3] 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.
- 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.
- [4] 潘松,赵玉梅,袁峰均,等.园林废弃物地表覆盖对龙船花生生长发育的影响[J].热带作物学报,2023,44(4):766-773.
- Pan Song, Zhao Yumei, Yuan Fengjun, et al. Effects of green-waste mulches on growth of *Ixora chinensis* lam. [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023,44(4):766-773.
- [5] 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.
- 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.
- [6] 陈超萍,乔丽芳,韩阳,等.景观环境常用有机地表覆盖物的吸水性能研究[J].中国园林,2020,36(11):79-83.
- Chen Chaoping, Qiao Lifang, Han Yang, et al. Study on water absorbency of organic mulch used in landscape environment [J]. Chinese Landscape Architecture, 2020,36(11):79-83.
- [7] 孙向阳,周伟,杨庆丽.关于我国北方城市园林绿地有机覆盖的思考和探索[J].国土绿化,2020(10):46-49.
- Sun Xiangyang, Zhou Wei, Yang Qingli. Thinking and exploration on organic coverage of garden green space in northern cities of China [J]. Land Greening, 2020(10):46-49.
- [8] 韦俊宇,田星凯,范爱淇,等.木趣有机覆盖物对土壤稳定性的维持及对植物生长的影响[J].江苏农业科学,2021,49(4):185-190.
- Wei Junyu, Tian Xingkai, Fan Aiqi, et al. Effects of Mulch organic mulching on soil stability and plant growth [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021,49(4):185-190.
- [9] Ruggeri R, Provenzano M E, Rossini F. Effect of mulch on initial coverage of four groundcover species for low input landscaping in a Mediterranean climate [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2016,19:176-183.
- [10] Banihabib M E, Vaziri B, Javadi S. A model for the assessment of the effect of mulching on aquifer recharging by rainfalls in an arid region [J]. Journal of Hydrology, 2018,567:102-113.
- [11] Keesstra S D, Rodrigo-Comino J, Novara A, et al. Straw mulch as a sustainable solution to decrease runoff and erosion in glyphosate-treated clementine plantations in Eastern Spain. An assessment using rainfall simulation experiments [J]. Catena, 2019,174:95-103.
- [12] 唐伟,侯满福,刘雨婷,等.亚热带地区 3 种喀斯特林分凋落物组成对其持水性能的影响[J].水土保持通报,2022,42(6):137-145.
- Tang Wei, Hou Manfu, Liu Yuting, et al. Effect of litter composition on its water holding capacity for three typical karst forest types in subtropical region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022,42(6):137-145.
- [13] 范金花,谢汶天,曹球桃,等.川西亚高山森林苔藓与枯落物持水特征[J].山地学报,2024,42(1):1-13.
- Fan Jinhua, Xie Wentian, Cao Qiuyao, et al. Water holding capacity of bryophytes and litter in subalpine forest in Western Sichuan, China [J]. Mountain Research, 2024,42(1):1-13.
- [14] 刘宇,张洪江,张友焱,等.晋西黄土丘陵区不同人工林枯落物持水特性研究[J].水土保持通报,2013,33(6):69-74.
- Liu Yu, Zhang Hongjiang, Zhang Youyan, et al. Water holding capacity characteristics under litters of different kinds of planted forests in Loess Hilly Region of Western Shanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2013,33(6):69-74.
- [15] 杜雪,王海燕,耿琦,等.云冷杉针阔混交林枯落物持水性能[J].水土保持学报,2021,35(2):361-368.
- Du Xue, Wang Haiyan, Geng Qi, et al. Water holding capacity of litter in spruce-fir coniferous and broad-leaved mixed forest [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021,35(2):361-368.
- [16] 丁霞,程昌锦,漆良华,等.丹江口库区湖北水源区不同密度马尾松人工林水源涵养能力[J].生态学杂志,2019,38(8):2291-2301.
- Ding Xia, Cheng Changjin, Qi Lianghua, et al. Evaluation of water conservation capacity of *Pinus massoniana* plantation with different densities in Hubei water source area of Danjiangkou Reservoir Area [J]. Chinese Journal of Ecology, 2019,38(8):2291-2301.
- [17] 敖特根其木格,秦富仓,周佳宁,等.内蒙古自治区多伦县不同林地枯落物持水性能研究[J].水土保持通报,2017,37(4):114-118.
- Aotegenqimuge, Qin Fucang, Zhou Jianing, et al. Different forest litters water-holding performance in Duolun County of Inner Mongolia Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017,37(4):114-118.
- [18] 王亚萍,张淑兰,韩勇,等.秦岭两种典型人工林不同密度时的枯落物持水功能差异[J].林业科学研究,2023,

- 36(3):100-108.
- Wang Yaping, Zhang Shulan, Han Yong, et al. Differences in the water-retention function of humus layer between two typical forests with different densities in the Qinling Mountains [J]. *Forest Research*, 2023, 36(3):100-108.
- [19] 曲炳鹏,王咏嘉,李素艳,等.生态景观林10种林分枯落物的水文效应[J].*水土保持通报*,2018,38(2):65-70.
- Qu Bingpeng, Wang Yongjia, Li Suyan, et al. Water-holding capacity of litters in ten different types of ecological landscape forest [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018,38(2):65-70.
- [20] 张益,林毅雁,张杰铭,等.北京山区典型植被枯落物和土壤层水文功能[J].*水土保持研究*,2023,30(4):160-168.
- Zhang Yi, Lin Yiyang, Zhang Jieming, et al. Hydrological function of litter and soil layer of typical vegetation in Beijing mountainous area [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023,30(4):160-168.
- [21] 杨霞,陈丽华,康影丽,等.辽东低山区5种典型水源涵养林枯落物持水特性[J].*生态学杂志*,2019,38(9):2662-2670.
- Yang Xia, Chen Lihua, Kang Yingli, et al. Water-holding characteristics of litter in five typical water conservation forests in low mountainous areas of eastern Liaoning [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019,38(9):2662-2670.
- [22] 周云,白英辰,姚兰,等.鄂西南5种典型林分枯落物与土壤的持水性能[J].*水土保持通报*,2023,43(2):77-86.
- Zhou Yun, Bai Yingchen, Yao Lan, et al. Litter and soil water-holding capacity of five typical forest stands in Southwest Hubei Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023,43(2):77-86.
- [23] 王盛琦,傅文慧,寇建村,等.黄土高原水蚀风蚀交错区沙地枯落物的水源涵养功能[J].*水土保持通报*,2021,41(5):30-37.
- Wang Shengqi, Fu Wenhui, Kou Jiancun, et al. Water conservation capacity of litters on sandy land in wind-water erosion crisscross region of Loess Plateau [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021,41(5):30-37.
- [24] 邹奕巧,孙欧文,刘海英,等.浙江省天台县不同森林类型枯落物及土壤水文特性[J].*水土保持通报*,2020,40(3):170-174.
- Zou Yiqiao, Sun Ouwen, Liu Haiying, et al. Hydrological characteristics of litters and soils of different forest types in Tiantai County of Zhejiang Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020,40(3):170-174.
- [25] 潘天石,左丽君,张增祥,等.冀西北地区不同生态系统枯落物的水文效应[J].*水土保持通报*,2020,40(3):50-55.
- Pan Tianshi, Zuo Lijun, Zhang Zengxiang, et al. Hydrological effects of litters in different ecosystems in Northwestern Hebei Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020,40(3):50-55.
- [26] 富丽,赵锦梅,李永宁,等.陇东黄土高原不同林龄苹果林地枯落物及土壤的水文效应[J].*水土保持通报*,2018,38(5):40-45.
- Fu Li, Zhao Jinmei, Li Yongning, et al. Hydrological effects of litters and soil in apple tree plantation at different stand ages of Longdong Loess Plateau [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018,38(5):40-45.
- [27] 张淑兰,张海军,张武,等.小兴安岭不同森林类型枯落物储量及其持水特性比较[J].*水土保持通报*,2015,35(4):85-90.
- Zhang Shulan, Zhang Haijun, Zhang Wu, et al. Comparison of water-holding characteristics and biomass of litter under different forest types in Xiaoxingan Mountains [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2015,35(4):85-90.
- [28] 彭邦晓,孙煜镛,黎建强,等.滇中高原磨盘山典型森林类型枯落物持水性能研究[J].*森林工程*,2022,38(6):45-52.
- Peng Bangxiao, Sun Yurong, Li Jianqiang, et al. Study on litter water-holding capacity of typical forests in mopan mountain in central Yunnan Plateau [J]. *Forest Engineering*, 2022,38(6):45-52.
- [29] 蔡进军,李维倩,陈刚,等.宁夏黄土梁状丘陵区6种稀疏人工林的枯落物持水特征[J].*林业科学*,2022,58(11):83-95.
- Cai Jinjun, Li Weiqian, Chen Gang, et al. Water-holding characteristics of the litter layer of six sparse plantation types in the loess ridge hilly region of Ningxia [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2022,58(11):83-95.
- [30] 刘凯,贺康宁,王先棒.青海高寒区不同密度白桦林枯落物水文效应[J].*北京林业大学学报*,2018,40(1):89-97.
- Liu Kai, He Kangning, Wang Xianbang. Hydrological effects of litter of *Betula platyphylla* forest with different densities in alpine region, Qinghai of Northwestern China [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2018,40(1):89-97.