

不同类型园林植物群落冠层的截留能力研究

庞维华, 孙雅婕, 刘建军

(西北农林科技大学 风景园林艺术学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 对不同类型园林植物群落冠层截留能力进行研究, 为选择冠层截留效果最优的植物群落配置提供理论依据。[方法] 选取 7 种不同结构的植物群落采用实测法分别测定林外降雨量、林下穿透雨量、树干茎流量, 再利用水量平衡法求得冠层截留量, 进行分析对比。[结果] 单层针阔混交林的冠层截留率达到了 49.86%, 截留效果最好。单层阔叶灌木截留率为 23.66%, 截留效果最差。林外降雨量与林下穿透雨量、树干茎流量、冠层截留量呈线性正相关, 拟合系数 R^2 均在 0.9 左右。对冠层特性与冠层截留能力进行相关性分析的结果为, 叶面积指数、郁闭度、冠层厚度、绿化覆盖面积和三维绿量与穿透率呈负相关, 与截留率呈正相关。[结论] 园林植物群落冠层对雨水有一定的截留能力, 且不同类型的群落有一定的差异性, 单层阔叶灌木的截留率最低, 单层针阔混交林的截留率最高; 叶面积指数与郁闭度越高、冠层越厚、绿化覆盖面积与三维绿量越大, 园林植物群落的冠层截留能力越好。

关键词: 冠层截留; 叶面积指数; 植物群落结构; 树干茎流

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)04-0049-07

中图分类号: Q948

文献参数: 庞维华, 孙雅婕, 刘建军. 不同类型园林植物群落冠层的截留能力研究[J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 49-55. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.007; Pang Weihua, Sun Yajie, Liu Jianjun. Canopy interception ability of different types of garden plant communities [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 49-55.

Canopy Interception Ability of Different Types of Garden Plant Communities

Pang Weihua, Sun Yajie, Liu Jianjun

(College of Landscape Architecture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] The canopy interception ability of different types of garden plant communities was determined in order to provide a theoretical basis for selecting the plant community with the best canopy interception effect. [Methods] We selected seven plant communities with different structures, and measured actual throughfall and stem flow. We used the water balance method to obtain canopy interception. [Results] The greatest canopy interception rate (49.86%) was observed for a single-layer coniferous and broad-leaved mixed forest. The lowest interception rate (23.66%) was observed for a single-layer broad-leaved shrub canopy. The throughfall, stem flow, and the canopy interception were linearly and positively correlated with rainfall amount (R^2 of about 0.9). Leaf area index, canopy closure, canopy thickness, green coverage area, and three-dimensional green quantity were negatively correlated with penetration rate, and positively correlated with interception rate. [Conclusion] The canopy of a garden plant community has the ability to retain rainwater, and different types of communities have different abilities. The interception rate of the single-layer broadleaved shrub canopy was the lowest, and that of the single-layer coniferous and broadleaved mixed forest was the greatest. Greater leaf area index and canopy density, thicker canopy, larger green cover area and three-dimensional green quantity all lead to greater canopy interception capacity of a garden plant community.

Keywords: canopy interception; leaf area index; plant community structure; stem flow

收稿日期: 2021-12-16

修回日期: 2022-03-11

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划项目“困难立地植被恢复技术与示范”(2015BAD07B02)

第一作者: 庞维华(1995—), 女(汉族), 河北省沧州市人, 硕士研究生, 研究方向为城市绿地生态功能及其评价。Email: narrat7r@163.com。

通讯作者: 刘建军(1962—), 男(汉族), 山西省夏县人, 博士, 教授, 主要从事绿地生态功能及其评价、景观规划方面的研究。Email: lj@nwa-fu.edu.cn。

自 2011 年中国的城镇化率首次超过 50% 开始, 这个古老的农业国家正以一种令世界震惊的速度迈向城市化的工业大国。高速发展的城市带来了一系列积极作用的同时逐渐也迎来了一些发展中必要面对的挑战和问题。大规模的城镇化建设产生了大量的硬质地面, 使得城市下垫面硬化, 破坏了自然“海绵体”使得 70%~80% 的城市降雨无法自然下渗^[1], 从而形成地表径流, 导致城市洪涝, 水资源短缺, 地下水位下降, 地下水枯竭, 水生物栖息地丧失等一系列严重生态问题^[2]。为解决这一系列问题, 2014 年 11 月中国正式发布了《海绵城市建设技术指南》^[3], 自 2014 年底至 2015 年初海绵城市建设试点工作在全国 16 个第一批试点城市正式展开, 由此“海绵城市”这一概念也再一次进入到大众的视野^[1]。“海绵城市”是通过构建城市海绵体, 使城市可以像“海绵”一样有弹性地适应环境的变化, 应对自然灾害。其本质是通过改变城市下垫面的结构来降低地表径流的产生^[4-5], 尽可能恢复城市原始的自然水文生态特征。通过“海绵体”对自然降雨进行滞、蓄、净、用、排等一系列手段增加城市地表入渗, 增强城市对自然降水的截留能力, 增加对自然降水的回收再利用。已有研究表明, 在正常的气候条件下, 典型的海绵城市可以截留 80% 以上的雨水^[6-7]。以植物为主体的绿地生态系统是城市“海绵体”的主要组成部分, 特别是主要以乔木和灌木组成的植物群落作为一种特殊的城市下垫面, 通过对雨水的截留、吸收、蒸发蒸腾等作用, 可以有效地减缓径流产生的时间、降低径流量^[8]。当前关于植被冠层截留的相关研究大多聚焦于森林水文过程, 研究对象也大多集中在森林层面^[9-12]。虽然有部分学者^[5, 13-15]已经将研究目光转向城市园林植物, 但其中的研究也大多集中在单一植物种类或单一植物层次的截留能力, 而园林植物在应用中往往采用的是更为复杂的多种类多层次的复合结构。本研究试图在城市园林植物群落尺度下探寻植物群落冠层对雨水的截留能力, 不同类型的植物群落对于降雨的截留效果的差异性, 以探寻出最优的群落配置, 来最大限度地提高植物冠层对雨水的截留, 从而为解决城市水环境问题提出更多的可能性。

1 研究材料与方法

1.1 试验材料

陕西省杨凌农业高新技术产业示范区, 坐落于陕西关中平原地区, 地理坐标位于东经 107°59′—108°08′, 北纬 34°14′—34°20′, 属温暖带季风半湿润气候, 四季分明, 冬季降水较少, 春季气温回升降水

逐渐增多, 全年约 50% 的降水集中在夏季, 秋季气温下降, 降雨常呈连绵之势。近 10 a 年均降水量为 637.6 mm。本试验的观测样地在西北农林科技大学南校区以及西北农林科技大学博览园范围内选取。为探究不同类型园林植物群落冠层雨水截留能力的差异性, 根据植物类型与植物群落结构的差异, 选取 7 组 20×20 m 植物种类清晰, 结构层次分明, 具有代表性的园林植物群落作为研究对象, 各样地内的植物配置详见表 1。7 个样地的样本数量分别为 86, 10, 16, 11, 15, 19 和 18, 其中复层阔叶混交林与复层针阔混交林的乔木树种与灌木树种的比值分别为 1.375 与 2, 单层针阔混交林与复层针阔混交林的针叶树种与阔叶树种的比值分别为 0.375 与 0.571。对 7 个样地内的植物进行每木检尺, 测量计算每株植物的树高、胸径、地径、冠幅、枝下高等数据, 使用 LAI-2200C 植物冠层分析仪测定样地的叶面积指数(LAI)、郁闭度等特征。样地内的植物种类主要有: 南天竹(*Nandina domestica*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、香椿(*Toona sinensis*)、枳椇(*Hovenia acerba*)、雪松(*Cedrus deodara*)、朴树(*Celtis sinensis*)、广玉兰(*Magnolia grandiflora*)、玉兰(*Magnolia denudata*)、海棠(*Malus spectabilis*)、望春玉兰(*Magnolia biondii*)、枇杷(*Eriobotrya japonica*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、紫薇(*Lagerstroemia indica*)、榆叶梅(*Amygdalus triloba*)、皱皮木瓜(*Chaenomeles speciosa*)、玉兰(*Magnolia denudata*)、紫叶李(*Prunus cerasifera*)、鸡爪槭(*Acer palmatum*)、雪松(*Cedrus deodara*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、石楠(*Photinia serratifolia*)、榆叶梅(*Amygdalus triloba*)。

1.2 林外降雨的测量

本试验采用翻斗式雨量器来测量林外降雨的相关数据, 将 3 个翻斗式雨量器分别放置在开阔无遮挡的户外空地, 2020 年 7—11 月期间, 实时记录每次降雨的降雨量、降雨强度、降雨时长。也在相同位置放置自制雨量桶, 用于测量降雨量, 以减少误差。最终林外降雨的相关数据取各组数据的平均值。

1.3 林下穿透雨的测量

使用实测法来测定穿透雨, 在选定的 7 个植物群落内, 在每个样地中都以机械布点的方式放置 30 个自制雨量桶(直径 200 mm), 7 个样地共布置 210 个雨量桶。雨量桶横向与纵向间隔均为 3 m, 由于城市植物群落的形态各有不同, 且大多布局并不规则, 每个样地雨量桶的行数与列数依照样地的形态进行适度调整, 并注意最外侧的雨量桶距植物群落边界的距

离在 1 m 以上,以防样地外环境对观测结果产生干扰。在每次降雨事件结束后,立即测定每个雨量筒中雨水的体积,如降雨事件发生在夜间,则次日清晨进

行测量。测量后分别计算各个样地内 30 个雨量桶内雨水体积的平均值,按照雨量筒的降雨接收面积分别计算得出各个样地的穿透雨量(mm)。

表 1 试验样地植物配置

样地编号	样地名称	植物配置		LAI	郁闭度	平均冠幅/m	平均胸径/cm	平均树高/m	平均枝下高/m
		乔木	灌木						
1	单层阔叶灌木	—	南天竹	1.57	0.75	1.15	4.88	1.79	1.06
2	单层阔叶纯林	银杏	—	3.62	0.89	5.39	65.10	9.28	2.14
3	单层针叶纯林	油松	—	4.33	0.97	3.44	41.93	5.61	1.24
4	单层针阔混交林	香椿、枳椇、雪松、朴树	—	4.41	0.98	5.26	77.62	13.78	2.18
5	单层阔叶混交林	广玉兰、玉兰、海棠、望春玉兰	—	3.76	0.98	4.85	20.17	9.06	2.00
6	复层阔叶混交林	枇杷、杉木、紫薇	榆叶梅、皱皮木瓜	3.51	0.93	4.67	45.27	6.22	2.33
7	复层针阔混交林	玉兰、紫叶李、鸡爪槭、雪松、油松	石楠、榆叶梅	2.50	0.91	4.34	58.10	5.78	0.74

1.4 树干茎流的测量

使用两种测量方式来测定乔木、灌木的不同树干茎流。针对乔木,首先在各个样地按照胸径大小划分为 3 个等级,单层阔叶纯林的 3 个等级分别为 60~65,65~70,70~75 cm;单层针叶纯林的 3 个等级分别为 35~40,40~45,45~50 cm;单层针阔混交林的 3 个等级分别为 25~50,50~100,100~150 cm;单层阔叶混交林的 3 个等级分别为 25~40,40~55,55~70 cm;复层阔叶混交林的 3 个等级分别为 30~50,50~70,70~90 cm;复层针阔混交林的 3 个等级分别为 30~50,50~70,70~90 cm,在各样地的每个等级中随机选取 2 棵,全部样地共选取 36 棵作为标准木。选用厚度为 3 mm 的 PVC 软板,剪裁成适当的形状,在树干距地面 1 m 的位置围成漏斗状并用玻璃胶和不锈钢钉辅助固定在树干上,使用玻璃胶将树干凹凸不平无法与 PVC 软板贴合的部位密封,平整承接树干茎流的漏斗底面,作为雨水汇集装置,同时要在漏斗下方,连接固定口径为 7 mm 的 PVC 软管,软管的另一端将连接置于地面的 25 000 ml 集雨桶,以在降雨时收集树干茎流。

灌木按照枝条基径划分为 3 个等级,单层阔叶灌木的 3 个等级分别为 3~4.5,4.5~6,6~7.5 cm;复层阔叶混交林中的灌木 3 个等级分别为 1.5~3.5,3.5~6,6~8.5 cm;复层针阔混交林中的灌木 3 个等级分别为 1~3,3~5,5~7 cm,在各等级内随机选取 2 个作为标准枝(选取时应考虑标准枝长度和倾角的代表性)。使用锡纸包裹标准枝基部并做成漏斗状的雨水汇集装置,同样在漏斗底部接入一个口径约为 7 mm 的聚乙烯塑料软管,同样使用玻璃胶密封漏斗底部以及与软管的结合处,最后用透明胶带加固。PVC 软管的另一端同样连接 25 000 ml 的集雨,用于接收枝条产生的树干茎流。

集雨桶的安装高度应明显低于漏斗装置最底部的高度,以便使得降雨过程中产生的茎干流能快速、高效地传导至接收容器。每次降雨事件结束后,立即用标准试验用量筒测定产生的茎干流体积并做好记录。监测期内需对茎干流的收集装置进行定期检查与维护,以防止收集装置阻塞和漏液等现象的发生。最后根据以下公式^[4]计算得出树干茎流量:

$$S = 10 \sum_{i=1}^N \frac{S_i M_i}{A \times 10^4} \quad (1)$$

式中: S 为树干茎流量(mm); N 为树干径级数; S_i 为径级 i 的单株树干茎流量(ml); M_i 为径级 i 的树木株数; A 为样地面积(m^2)。

1.5 冠层截留的计算

采用水量平衡法来计算植物群落冠层截留量,冠层截留量为林外降雨量减去林下穿透雨量和树干茎流量(不考虑蒸发水量)。冠层截留率指的是冠层截留量与林外降雨量的比值,截留率可以综合体现样地的冠层截留能力。使用翻斗式雨量器等试验装置测定出的林外降雨量、林下穿透雨量和树干茎流量,整理计算后得出的数据。即可根据相关公式^[16-23]计算冠层截留量与冠层截留率。

$$I = P - T - S \quad (2)$$

式中: I 为冠层截留量(mm); P 为林外降雨量(mm); T 为穿透雨量(mm); S 为树干茎流量(mm)。

$$B = \frac{I}{P} \quad (3)$$

式中: B 为冠层截留率; I 为冠层截留量(mm); P 为林外降雨量(mm)。

2 结果与分析

2.1 林外降雨的特征

本试验在 2020 年 7—11 月期间共测量到有效降

雨数据 15 场(图 1),平均降雨量为 24.02 mm,总降雨量为 360.37 mm,其中最大单次降雨量为 75.27 mm,依照中国气象局 2012 年 6 月颁布的《降水量等级(GB/T28592-2012)》来划分,所测得的有效数据中共有 1 场零星小雨 13 场小雨和 1 场暴雨。其中小雨最为常见,小雨的总降雨量为 283.6 mm,占总降雨量的 78.7%。

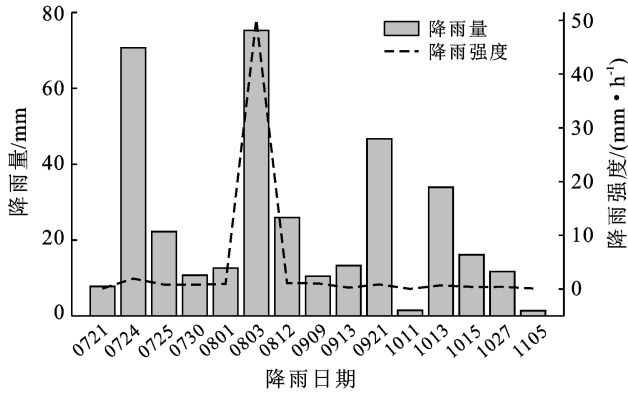


图 1 观测期间林外降雨情况

2.2 各样地冠层截留的特征

通过对观测所得的数据分析整理(表 2),单层针阔混交林的总截留量为 179.66 mm,占总降雨量的 49.86%,显著高于其他样地,在所测样地中截留效果最好。单层阔叶灌木的总截留量为 85.25 mm,占总降雨量的 23.66%,显著低于其他样地,在所测样地中截留效果最差。单层针阔混交林的穿透率为 48.19%

显著低于 64.87% 的单层阔叶灌木,其他样地无显著差异;单层针叶纯林、单层针阔混交林、复层针阔混交林的树干茎流量显著低于其他样地,在不含针叶树种的样地中,单层阔叶混交林的茎流量为 47.8 mm 显著高于 17.17 mm 的单层阔叶纯林;含针叶树种样地的平均茎流率为 5.21%,不含针叶树种样地的平均茎流率为 11.62%。前者的茎流率均显著低于后者。在含针叶树种的样地种,单从数值上来看,单层针叶纯林 < 单层针阔混交林 < 复层针阔混交林,针叶树在样地内所占的比例越高则树干茎流率越小;单层针阔混交林的截留率为 49.86% 显著高于不含针叶树种的 4 个样地,这个 4 个样地分别为,单层阔叶灌木、单层阔叶纯林、单层阔叶混交林与复层阔叶混交林;单层阔叶灌木的截留率为 23.66% 显著小于含有针叶树种的 3 个样地,也就是单层针叶纯林、单层针阔混交林与复层针阔混交林。各样地的穿透量和截留量均无显著差异。整体来看,在观测期间所有降水条件下各样地的平均穿透率由高到低表现为:单层阔叶灌木 > 单层针叶纯林 > 单层阔叶纯林 > 复层阔叶混交林 > 复层针阔混交林 > 单层阔叶混交林 > 单层针阔混交林。平均茎流率由高到低表现为:单层阔叶混交林 > 复层阔叶混交林 > 单层阔叶灌木 > 单层阔叶纯林 > 复层针阔混交林 > 单层针阔混交林 > 单层针叶纯林。平均截留率由高到低表现为:单层针阔混交林 > 复层针阔混交林 > 单层针叶纯林 > 单层阔叶纯林 > 单层阔叶混交林 > 复层阔叶混交林 > 单层阔叶灌木。

表 2 各样地雨水截留能力差异性分析

样地编号	样地名称	林外总降雨量/mm	穿透雨总量/mm	标准误	雨水穿透率/%	标准误	树干茎流总量/mm	标准误	树干茎流率/%	标准误	冠层截留总量/mm	标准误	冠层截留率/%	标准误
1	单层阔叶灌木		233.77 ^a	4.098	64.87 ^a	0.045	41.35 ^{ab}	0.835	11.47 ^{ab}	0.010	85.25 ^a	3.591	23.66 ^c	0.042
2	单层阔叶纯林		220.66 ^a	4.025	61.23 ^{ab}	0.063	17.17 ^b	0.305	4.77 ^c	0.003	122.53 ^a	4.134	34.00 ^{bc}	0.063
3	单层针叶纯林		220.01 ^a	4.570	61.61 ^{ab}	0.073	3.26 ^c	0.060	0.90 ^d	0.002	135.10 ^a	4.041	37.49 ^{ab}	0.072
4	单层针阔混交林	360.37	173.67 ^a	3.765	48.19 ^b	0.056	7.03 ^c	0.136	1.95 ^d	0.001	179.66 ^a	4.591	49.86 ^a	0.056
5	单层阔叶混交林		192.73 ^a	3.549	53.48 ^{ab}	0.049	61.22 ^a	1.370	16.99 ^a	0.001	106.42 ^a	3.576	29.53 ^{bc}	0.056
6	复层阔叶混交林		208.69 ^a	4.346	57.91 ^b	0.064	47.8 ^{ab}	1.009	13.26 ^b	0.009	103.88 ^a	3.398	28.83 ^{bc}	0.070
7	复层针阔混交林		193.97 ^a	3.480	53.83 ^{ab}	0.054	8.49 ^c	0.195	2.36 ^d	0.004	157.90 ^a	4.788	43.82 ^{ab}	0.055

注:不同的小写字母表示各样地间差异显著($p < 0.05$)。

2.3 冠层截留能力与林外降雨量的关系

分别将林外降雨量与各样地的穿透量、茎流量以及截留量进行拟合。由拟合结果可知,穿透雨量与茎流量与林外降雨量均存在显著的线性关系。随着林外降雨量的增大,各样地的林下穿透雨量与茎流量也随着不断增加,二者与林外降雨量拟合程度非常高,拟合系数 R^2 均在 0.9 左右,根据拟合方程(表 3)可计算出样地 1—7 分别在林外降雨量达到 1.1, 1.8, 4.1, 5.2, 2.0, 4.1 和 1.4 mm 时开始产生穿透雨。

截留量与林外降雨量用幂函数与线性函数均可拟合。由表 3 可以看出, R^2 均在 0.8 以上,且对比两次 70 mm 以上的林外降雨事件,在这两次降雨事件中冠层截留量有达到饱和的趋势,但所测数据中,绝大多数林外降雨量与雨强都偏低,鲜有大雨或暴雨的发生,故整体的关系仍是线性函数更为适合,且 7 个样地的平均郁闭度在 0.9 以上,这使得样地的冠层截留能力得到了充分的发挥,截留量随着林外降雨量的增加而增加。

表 3 各样地穿透量、茎流量与截留量同林外降雨量的拟合关系式

样地编号	林下穿透量		树干茎流量		冠层截留量	
	拟合方程	R^2	拟合方程	R^2	拟合方程	R^2
1	$y=0.678x-0.696$	0.980	$y=0.133x-0.444$	0.911	$y=0.514x+0.573$	0.915
2	$y=0.665x-1.255$	0.977	$y=0.050x-0.062$	0.975	$y=0.691x+0.670$	0.940
3	$y=0.743x-3.046$	0.947	$y=0.009x-0.009$	0.882	$y=2.430x+2.160$	0.869
4	$y=0.615x-3.191$	0.955	$y=0.023x-0.072$	0.984	$y=2.636x+0.747$	0.952
5	$y=0.585x-1.205$	0.974	$y=0.226x-1.350$	0.977	$y=1.930x+0.573$	0.928
6	$y=0.699x-2.890$	0.928	$y=0.167x-0.821$	0.980	$y=0.299x+0.784$	0.883
7	$y=0.572x-0.801$	0.967	$y=0.029x-0.125$	0.976	$y=3.085x+0.518$	0.954

2.4 冠层截留能力与冠层特性的关系

由于本文探讨的是园林植物群落层面的植被冠层截留能力,故在对冠层特性的描述上,除去相关研究中常用的叶面积指数、郁闭度等概念,还加入了绿化覆盖面积和三维绿量这类常被用于体现城市绿地水平的衡量指标。绿化覆盖面积指的是植物群落的垂直投影面积,三维绿量的概念则是植物所有绿色茎叶所占据的空间体积,对三维绿量的测算采用周坚华等^[17]提出的“以平面模拟立体量”依据树冠的形态和冠径—冠高的相关方程来进行。对冠层截留能力与冠层特性进行相关性检验,结果详见表 4。由表 4 结果可知,穿透量与冠层厚度、绿化覆盖面积和三维绿量呈负相关;穿透率与叶面积指数、郁闭度、冠层厚度、绿化覆盖面积和三维绿量均为显著负相关,其中与冠层厚度为极显著;截留率与叶面积指数、郁闭度和冠层厚度呈显著正相关;试验中观察到冠层特性在冠层截留中最直接影响的是雨水的穿透情况,和分析中所得的结果一致,穿透率与穿透量与冠层特性大多为显著负相关,也就是说叶面积指数和郁闭度高、冠层越厚、绿化覆盖面积和三维绿量越高的园林植物群落,雨水穿透量与穿透率则越低。截留量是利用水量平衡计算得来的,其中的树干茎流部分与冠层特性的相关性不显著,故截留量亦不显著,但截留率仍与叶面积指数、郁闭度和冠层厚度呈显著正相关。也就是当叶面积指数和郁闭度越高、冠层越厚的情况下,园林植物群落的截留率越高。

表 4 冠层特性与冠层截留能力的相关性分析

项目	叶面积指数	郁闭度	平均冠层厚度	绿化覆盖面积	三维绿量
穿透量	-0.461	-0.512	-0.825*	-0.761*	-0.799*
穿透率	-0.804*	-0.845*	-0.875**	-0.757*	-0.812*
截留量	0.488	0.526	0.732	0.415	0.313
截留率	0.767*	0.805*	0.811*	0.528	0.410

注: * 表示在 0.05 水平相关性显著, ** 表示在 0.01 水平相关性显著。

3 结论

(1) 园林植物群落冠层对雨水有一定的截留能力,且不同类型的植物群落的截留能力存在一定的差异性。单层阔叶灌木的截留率显著低于包含针叶树种的样地,单层针阔混交林的截留率则显著高于不含针叶树种的样地。其余样地的截留率无显著差异性。含有针叶树种的样地茎流量与茎流率均显著小于不含针叶树种的样地。

(2) 所试的 7 个样地,单层阔叶灌木、单层阔叶纯林、单层针叶纯林、单层针阔混交林、单层阔叶混交林、复层阔叶混交林、复层针阔混交林的平均冠层截留率分别为 23.66%, 34.00%, 37.49%, 49.86%, 29.53%, 28.83%, 43.82%。单层针阔混交林的冠层截留能力最好,总截留量为 179.66 mm,平均截留率为 49.86%。单层阔叶灌木的截留能力最差,总截留量为 85.25 mm,平均截留率为 23.66%。所试样地的平均截留率由高到低依次为:单层针阔混交林、复层针阔混交林、单层针叶纯林、单层阔叶混交林、单层针阔混交林、复层阔叶混交林、单层阔叶灌木。

(3) 林外降雨量与林下穿透量、树干茎流量与冠层截留量均呈线性正相关,随着林外降雨量的增大,各样地的林下穿透雨量、树干茎流量与林冠截留量均不断增加。

(4) 叶面积指数、郁闭度、冠层厚度、绿化覆盖面积、三维绿量等冠层特性对穿透率呈显著负相关关系,与截留率呈显著正相关关系。即叶面积指数与郁闭度越高、冠层越厚、绿化覆盖面积与三维绿量越大,园林植物群落的冠层截留能力越好。

4 讨论

有研究^[24]表明,在小雨的条件下,冠层截留效果显著较好。这与本文的研究结果一致。本研究所得的 7 个样地的冠层截留率在 23.66%~49.86%,高于其他相关研究。如董玲玲、周彬、董世仁、王昱程等

人^[25-28]的研究中,冠层截留率在 16.5%~31.67%。本研究所在区的降水以小雨为主,鲜有大雨或暴雨的发生,试验过程中测得的 15 场林外降雨中小雨的总降雨量为 283.6 mm,占总降雨量的 78.7%,在吕瑜良^[29]的研究中,研究地降水以小雨为主,箭竹岷江冷杉林的平均冠层截留率为 48.15%,与本文的研究结果很接近。在陈书军^[30]关于秦岭两种温带落叶阔叶林的研究中,冠层截留率在不同的降雨量级中变化幅度为 53.4%~22.0%,林冠截留率随着降雨量级的增大而减小。与本文的研究结果较为一致。

本研究中单层针叶纯林、单层针阔混交林、复层针阔混交林的树干茎流率分别为 0.9%,1.95%和 2.36%,显著小于不含针叶树种的样地。其中单层针叶纯林的树种为油松,董玲玲等对辽河源油松林的研究中,油松林的树干茎流率为 0.8%^[24],这与本研究的结果基本相当。已有研究^[31]表明不同树种间的树干茎流量存在较大差异,树皮的粗糙程度、树干分支角度、冠幅、树龄、胸径、林分密度等都对树干茎流的产生有一定的影响。其中树皮越粗糙、分支角度越大,树干茎流就越小。本研究所选样地中的针叶树种多为油松和雪松,油松枝干与主干的分支角度较大,雪松的枝干则更为平展,且二者的树皮都较为粗糙,这都使得雨水不易沿枝干滑落,粗糙的树皮对雨水也有更好的吸收和阻碍的作用,使得树干茎流率较低。

在已有研究中,林外降雨量与林下穿透量、树干茎流量多为线性正相关,随着林外降雨量的增加而增加^[24-27]。与本研究结果一致。本研究中林外降雨达到 70 mm 以上的数据中各样地也表现出一定的冠层截留量的饱和状态,但样本数据相对较少,对比后仍选择线性函数,但林外降雨量与冠层截留量的函数关系多为幂函数^[24-26,31-32],与本研究有所出入。周彬^[28]在不同郁闭度人工油松林的降水分配特征的研究中,郁闭度为 0.5,0.6,0.7 的林分冠层截留量与林外降雨量呈幂函数关系,但郁闭度为 0.8 的林分冠层截留量与林外降雨量则呈一元线性关系,与本研究的结果较为接近,本研究中绝大多数样地的平均郁闭度都在 0.9 以上。吕瑜良^[30]的研究中,林外降雨量与冠层截留量的关系经比较后也选用了线性关系,是由于其研究区多为小雨,冠层截留能力可以充分发挥。与本研究结果一致。综合分析后得出样地郁闭度高、降雨事件多为小雨的情况下,冠层能够更好地发挥截留作用,林冠截留量随着林外降雨的增加而增加。

园林植物群落的冠层特性对冠层截留能力也有一定的影响,前人的研究中 LAI、冠层厚度、郁闭度等都与冠层截留能力显著相关,LAI、郁闭度越高^[29-30],

冠层厚度越厚^[24],植物群落越能充分发挥冠层截留能力。与本研究的结果一致,同时本文经分析得出三维绿量与绿化覆盖面积与冠层截留能力呈显著正相关。本研究中的降雨事件多为小雨,今后可以着重分析研究不同降雨强度之下植物群落的冠层截留能力以及不同类型植物群落的枯落物持水能力以及土壤的蓄水能力的研究,同时可尝试观测更多降雨事件,收集更多样本数据以作更全面的分析研究,综合对比不同类型的植物群落的水源涵养功能,为海绵城市的构建提供更多的理论依据。

[参 考 文 献]

- [1] 俞孔坚,李迪华,袁弘,等.“海绵城市”理论与实践[J].城市规划,2015,39(6):26-36.
- [2] 车伍,张伟,王建龙,等.低影响开发与绿色雨水基础设施:解决城市严重雨洪问题措施[J].建设科技,2010(21):48-51.
- [3] 李良,孙旭,翟洪波,等.我国林冠对降水再分配作用的研究进展[J].辽宁林业科技,2010(1):47-51.
- [4] 高柳威.北京山区不同树种的林冠截留特征研究及模拟[D].北京:北京林业大学,2019.
- [5] 宗桦.森林乔木冠层雨水再分配特征及机制研究综述[J].世界林业研究,2019,32(1):28-35.
- [6] 吴丹洁,詹圣泽,李友华,等.中国特色海绵城市的新兴趋势与实践研究[J].中国软科学,2016(1):79-97.
- [7] 车生泉,谢长坤,陈丹,等.海绵城市理论与技术发展沿革及构建途径[J].中国园林,2015,31(6):11-15.
- [8] 龚子路.基于海绵城市理念的城市规划创新策略[J].中国建筑金属结构,2021(11):80-81.
- [9] 宋丹丹.林冠对降雨截留作用的研究[D].山东泰安:山东农业大学,2015.
- [10] Molina A J, del Campo A D. The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: A contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations [J]. Forest Ecology and Management, 2012, 269: 206-213.
- [11] 刘世荣,孙鹏森,温远光.中国主要森林生态系统水文功能的比较研究[J].植物生态学报,2003,27(1):16-22.
- [12] 高晓晓.秦岭典型林分林冠层对大气降水水质影响过程研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [13] 郭胜男,林萍,吴荣,等.昆明市园林植物树冠截留降雨及其影响因素研究[J].广东农业科学,2014,41(23):47-51.
- [14] 李苗,邓永成,史红文.武汉市公园绿地植物群落冠层雨水截留能力研究[J].黑龙江农业科学,2018(7):112-116.
- [15] 陈然,侯凯翔,徐众,等.徐州市园林植物的冠层雨水截留能力分析[J].绿色科技,2018(3):1-4.
- [16] 王文,诸葛绪霞,周炫.植物截留观测方法综述[J].河海

- 大学学报(自然科学版),2010,38(5):495-504.
- [17] 王婷婷,杨学军,胡松竹,等.绿量测算方法比较研究[J].中国城市林业,2010,8(4):36-38.
- [18] 徐阳.上海市5种主要绿化树种三维绿量、叶面积指数等生态指标相关研究[D].北京:北京林业大学,2010.
- [19] 张志强,王礼先,余新晓.森林植被影响径流形成机制研究进展[J].自然资源学报,2001,16(1):79-84.
- [20] Link T E, Unsworth M, Marks D. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 124(3/4):171-191.
- [21] Llorens P, Gallart F. A simplified method for forest water storage capacity measurement [J]. *Journal of hydrology*, 2000, 240(1/2):131-144.
- [22] 李吉跃,赵燕东,郑凌凌,等.沈阳城市森林三维绿量测算[J].北京林业大学学报,2006,28(3):32-37.
- [23] 黄建辉,李海涛,韩兴国,等.暖温带两种针叶林生态系统中茎流和穿透雨的养分特征研究[J].植物生态学报,2000,24(2):2488-251.
- [24] 董玲玲,康峰峰,韩海荣,等.辽河源3种林分降雨再分配特征及其影响因素[J].水土保持学报,2018,32(4):145-150.
- [25] 肖洋,陈丽华,余新晓.北京密云麻栎人工混交林降水再分配及树干茎流特征[J].东北林业大学学报,2007,35(8):16-18.
- [26] 王昱程.冀北山地阔叶林对降雨再分配的影响[J].水土保持通报,2018,38(1):107-110,115.
- [27] 董世仁,郭景唐,满荣洲.华北油松人工林的透流,干流和树冠截留[J].北京林业大学学报,1987,9(1):58-68.
- [28] 周彬,韩海荣,康峰峰,等.太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征[J].生态学报,2013,33(5):1645-1653.
- [29] 吕瑜良,刘世荣,孙鹏森,等.川西亚高山不同暗针叶林群落类型的冠层降水截留特征[J].应用生态学报,2007,18(11):2398-2405.
- [30] 陈书军,陈存根,邹伯才,等.秦岭天然次生油松林冠层降雨再分配特征及延滞效应[J].生态学报,2012,32(4):138-146.
- [31] 王永忠,韩新生,蔡进军,等.树干茎流研究综述[J].宁夏农林科技,2019,60(12):25-27,43.
- [32] Deans E D F D. The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young sitka spruce plantation [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1978, 15(3):905-917.

(上接第48页)

- [20] Vicente-Serrano S M, Beguería S, López-Moreno J I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index[J]. *Journal of climate*, 2010, 23(7):1696-1718.
- [21] 国家质量监督检验检疫总局中国国家标准化管理委员会.GB/T20481-2017 气象干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [22] Chakraborty T, Reif A, Matzarakis A, et al. How does radial growth of water-stressed populations of european beech (*Fagus sylvatica* L.) trees vary under multiple drought events? [J]. *Forests*, 2021, 12(2):129.
- [23] 吴语嫣,李守中,孙睦涛,等.长汀水土流失区侵蚀劣地马尾松种群动态[J].生态学报,2019,39(6):2082-2089.
- [24] 刘从,田甜,李珊,等.中国木本植物幼苗生长对光照强度的响应[J].生态学报,2018,38(2):518-527.
- [25] 王晗生.干旱影响下人工林的天然更新进程[J].干旱区研究,2012,29(5):743-750.
- [26] 叶慧莹,赵平,李艳琼.华南地区裸子植物与被子植物季节性水分利用的比较研究[J].热带亚热带植物学报,2020,28(5):463-471.
- [27] Brando P M, Nepstad D C, Davidson E A, et al. Drought effects on litterfallwood production and belowground carbon cycling in an Amazon forest: Results of a throughfall reduction experiment [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series Biological Sciences*, 2008, 363(1498):1839-1848.
- [28] 童跃伟.红楠幼树生长与地形、邻株植物及自身大小的关系研究[D].湖南长沙:中南林业科技大学,2013.