

祁连山鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛冠层降雨再分配特征

万艳芳¹, 刘贤德^{1,2}, 马瑞¹, 李广¹, 王顺利², 牛赞², 李晓青¹

(1. 甘肃农业大学林学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省祁连山水源涵养林研究院, 甘肃 张掖 734000)

摘要:以祁连山排露沟小流域的鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛为研究对象, 2014年6—9月观测了38场降雨的林外降雨量、穿透雨量和树干茎流量, 分析了鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛冠层降水再分配特征及影响因素。结果表明: (1) 鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛冠下的穿透雨量、树干茎流量、截留量分别为175.2、20.8、182.6 mm和239.1、15.1、113.4 mm, 分别占总降雨量的46.3%、5.5%、48.2%和65.0%、4.1%、30.9%; 鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛群落截留量占年降水量的29.3%和18.6%。(2) 穿透雨量、树干茎流量和截留量均与降雨量呈显著线性正相关($P < 0.01$), 穿透雨率和截留率均与降雨量呈对数函数关系($P < 0.05$)。(3) 鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛产生穿透雨的临界降雨量分别为1.2 mm和0.9 mm, 2种灌丛产生树干茎流均需要2.0 mm的前期降雨量。(4) 灌丛截留率9月份最大, 其次是7月份, 6、8月份最小; 树干茎流率6—8月份变化平缓, 9月份明显减小。

关键词: 降雨再分配; 冠层截留; 树干茎流; 灌丛; 祁连山

中图分类号: S715.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)06-0162-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2016.06.028

Characteristics of Rainfall Canopy Partitioning for *Berberis diaphana* and *Caragana tangutica* Shrub in the Qilian Mountains

WAN Yanfang¹, LIU Xiande^{1,2}, MA Rui¹, LI Guang¹, WANG Shunli², NIU Yun², LI Xiaoqing¹

(1. Forestry College, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070;

2. Academy of Water Resources Conservation Forests of Qilian Mountains, Zhangye, Gansu 734000)

Abstract: Rainfall can be partitioned into 3 parts through the vegetable canopy: throughfall, stemflow, and interception. In this study, an experiment was carried out in the Pailugou watershed in the Qilian Mountains, in the arid region of northwest China. In a *Berberis diaphana* and *Caragana tangutica* shrub stand, throughfall, stemflow, and canopy interception of 38 rain events were observed from 1 June to 31 September, 2014. Then, we analyzed the characteristics of rainfall canopy partitioning and their influence factors. The results showed that: (1) The throughfall, stemflow and canopy interception of individual *Berberis diaphana* shrub were 175.2 mm (46.3%), 20.8 mm (5.5%) and 182.6 mm (48.2%), respectively, while those of individual *Caragana tangutica* shrub were 239.1 mm (65.0%), 15.1 mm (4.1%) and 113.4 mm (30.9%), respectively. Meanwhile, the interception ratio of *Berberis diaphana* and *Caragana tangutica* community were 29.3% and 18.6%, respectively. (2) The amount of throughfall, stemflow and canopy interception of individual *Berberis diaphana* and *Caragana tangutica* shrub showed a significant positive linear correlation with rainfall amount ($P < 0.01$). The relationship of throughfall ratio and interception ratio of shrubs with rainfall amount could be fitted with logarithmic curve ($P < 0.05$). (3) The critical rainfall amounts for the occurrence of throughfall under *Berberis diaphana* and *Caragana tangutica* shrub were 1.2 mm and 0.9 mm, respectively. Meanwhile, stemflow generated when the rainfall in early period was 2.0 mm. (4) The interception ratio for 2 shrubs showed that the maximum values were achieved in September, with the second highest values in July, and the minimum values in June and August. In addition, the stemflow ratio changed slightly from June to August, while it decreased obviously in September.

Keywords: rainfall partitioning; canopy interception; stemflow; shrubs; Qilian Mountains

收稿日期: 2016-06-17

资助项目: 国家自然科学基金项目(41461004, 31360201); 甘肃省基础研究创新群体(145RJIG337); 甘肃省科技创新服务平台(144JTCG254)

第一作者: 万艳芳(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事森林生态和水文研究。E-mail: wanyf1993@163.com

通信作者: 刘贤德(1963—), 男, 研究员, 主要从事森林生态和湿地生态研究。E-mail: liuxiande666@163.com

灌丛对降雨的再分配可分为 3 部分:林冠截留、穿透雨和树干茎流^[1]。其中,穿透雨和树干茎流是林下降水的主要输入形式,其变化特征会影响林下土壤水分的空间分布、养分含量和微生物活动等^[2-4]。因此,研究灌丛冠层截留过程以及穿透雨和树干茎流的分配关系,对揭示灌丛冠层下的水文循环机理具有重要的意义^[5-6]。

目前,有关祁连山的植被水文研究主要集中于青海云杉^[7-9],对灌丛的研究较少,刘贤德等^[10]测得典型灌丛冠层截留率介于 24.54%~52.95%,张平等^[11]测得典型灌丛的截留率介于 6.98%~22.45%,刘章文等^[1,12]测得高山湿性灌丛的截留率介于 33.3%~39.7%,树干茎流率介于 3.2%~8.0%,以上研究的截留结果相差较大,且大多数截留量是通过降雨量减穿透雨量得到,忽略了树干茎流的测定。同时,对于祁连山阳性灌丛的穿透雨量、树干茎流量和截留量的分配比例还不明确,而且也不清楚树干茎流量与降雨量和冠层结构之间的关系。因此,有必要对中低山荒漠带主要阳性灌丛的降雨再分配过程进行深入研究。

灌木林是祁连山主要的植被类型之一,其面积约 4.13×10⁵ hm²,占林业用地面积的 68%,对区域水资源的形成和保持水土具有重要的作用^[1]。其中,鲜黄小檗(*Berberis diaphana*)和甘青锦鸡儿(*Caragana tangutica*)是主要阳性灌丛,分布于海拔 2 600 m 左右的阳坡、半阴坡和沟谷地区等^[11]。因此,本文以祁连山排露沟小流域鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛为对象,通过对林外降雨量、穿透雨量和树干茎流量进行测定,分析降水截留和再分配特征以及与降雨量的关系,为进一步系统研究灌

丛群落水量平衡提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于祁连山排露沟小流域(N 38°33′58.7″, E 100°17′18.0″,海拔范围 2 600~3 800 m),属于温带高寒半干旱山地森林草原气候,年均气温 0.5℃,年均降水量 435.5 mm,年均蒸发量 1 051.7 mm,年日照时数 1 892.6 h,年均相对湿度 60%。流域内主要乔木有青海云杉(*Picea crassifolia*)和祁连圆柏(*Sabina przewalskii*),呈斑块状分布在海拔 2 500~3 300 m 的阴坡和半阴坡。流域内主要灌丛有高山灌丛林和中低山阳性灌丛林;其中,高山灌丛林分布在海拔 3 200~3 700 m 的阴坡和半阴坡,主要有高山柳(*Salix cupularis*)、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)等;中低山阳性灌丛林分布在海拔 2 600 m 左右的阳坡和半阴坡以及沟谷地区,主要有鲜黄小檗(*Berberis diaphana*)、甘青锦鸡儿(*Caragana tangutica*)和金露梅(*Dasiphora fruticosa*)等。草本主要有马蔺(*Iris ensata*)、苔草(*Koeleria cristrata*)和狼毒(*Stellera chamaejasme*)等。土壤主要有山地森林灰褐土、山地栗钙土、草甸土、亚高山灌丛草甸土和高山寒漠土等类型。

1.2 研究方法

经过野外调查,在海拔 2 600 m 左右选取具有代表性的鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛,分别设置大小为 10 m×10 m 的标准样地。在每个样地内进行每木检尺,测定灌丛的高度、冠幅、基径和分支角度等冠层参数(表 1)。同时,基于种群调查,每种灌丛各选取 3 株进行穿透雨和树干茎流测定。

表 1 灌丛冠层参数

灌丛	株高/m	冠幅/m	基径/cm	冠厚/m	分支角度/(°)	盖度/%
鲜黄小檗	1.9±0.5	2.0±0.8	1.33±0.76	1.4±0.4	50±16	52
甘青锦鸡儿	1.8±0.4	1.8±0.7	1.58±0.74	1.1±0.3	55±20	50

穿透雨观测:所选灌丛冠层下穿透水量使用 9 个直径为 15 cm,高度 10 cm 的圆形铁制容器测量,圆形铁制容器放置在灌丛冠层覆盖区域的正下方,其中 3 个容器置于植冠中心靠近茎干的位置,3 个容器置于植株冠幅外缘,3 个容器置于植冠中心与外缘的中间位置。每次降雨结束后,及时测定容器内的集水量,然后通过公式转换变换为雨量深(mm)。测定时间为 2 014 年 6—9 月。

树干茎流观测:在所选灌丛中选取 10 枝(高度、基径均不同)进行树干茎流测定。在树干基部距地面约 10 cm 处用铝箔胶带呈“V”形缠绕树干一周半,用不干胶填缝,由于铝箔胶带的可塑性较强,在铝箔与树干间形成一个不透水的水槽,水槽开口半径约 2 cm,用于拦截树干茎流,然后通过直径约 1 cm 的软

管连通铝箔水槽与集水容器,将树干茎流导入 5 L 容器内收集起来,用量筒测定集水量。测定时间为 2014 年 8—9 月。

树干茎流量计算公式为:

$$S=\sum_{i=1}^n\frac{C_i\times M_i}{A_s\times 1000}\tag{1}$$

式中:S 为树干茎流量(mm);n 为枝干个数;C_i 为每枝条平均树干茎流体积(ml);M_i 为单株枝干数;A_s 为植株的投影面积。

林外降雨量观测:在每种灌丛样地外空旷地布设 1 个直径为 15 cm,高度 10 cm 的圆形铁制容器,用于收集林外降雨量。同时,用试验点附近祁连山西北生态站人工气象站的降雨数据进行校正。

冠层截留量计算:基于水量平衡原理,冠层截留

量的计算公式为：

$$I=P-(T+S)$$
 (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)。

植物群落的冠层截留量计算：通过计算植被盖度和单株植物冠层截留量的乘积来估算。

1.3 数据处理

利用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 对数据进行统计分析和制图。

2 结果与分析

2.1 降雨特征

试验期间(2 014 年 6—9 月)共测得 38 场降雨，鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛总降雨量分别为 378.7 mm 和 367.6 mm，二者相差 11.1 mm。同一雨量级下，2 种灌丛的降水特征有一定的差异。其中，在≤5 mm 的降雨事件中，鲜黄小檗灌丛的降雨场次和降雨量明显小于甘青锦鸡儿灌丛，而在>20 mm 的降雨事件中，鲜黄小檗灌丛的降雨场次和降雨量明显大于甘青锦鸡儿灌丛(表 2)。

总体来看，研究区主要以≤15 mm 的降雨事件为主，鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛分别出现了 29 场和 30 场，占总降雨场次的 76.3%和 78.9%；而>15 mm 的降雨事件发生频率较小，分别为 23.7%和 21.1%，但降雨量占总降雨量的比例较大，分别为 51.1%和 48.7%，对总降雨量影响较大。

2.2 穿透雨特征

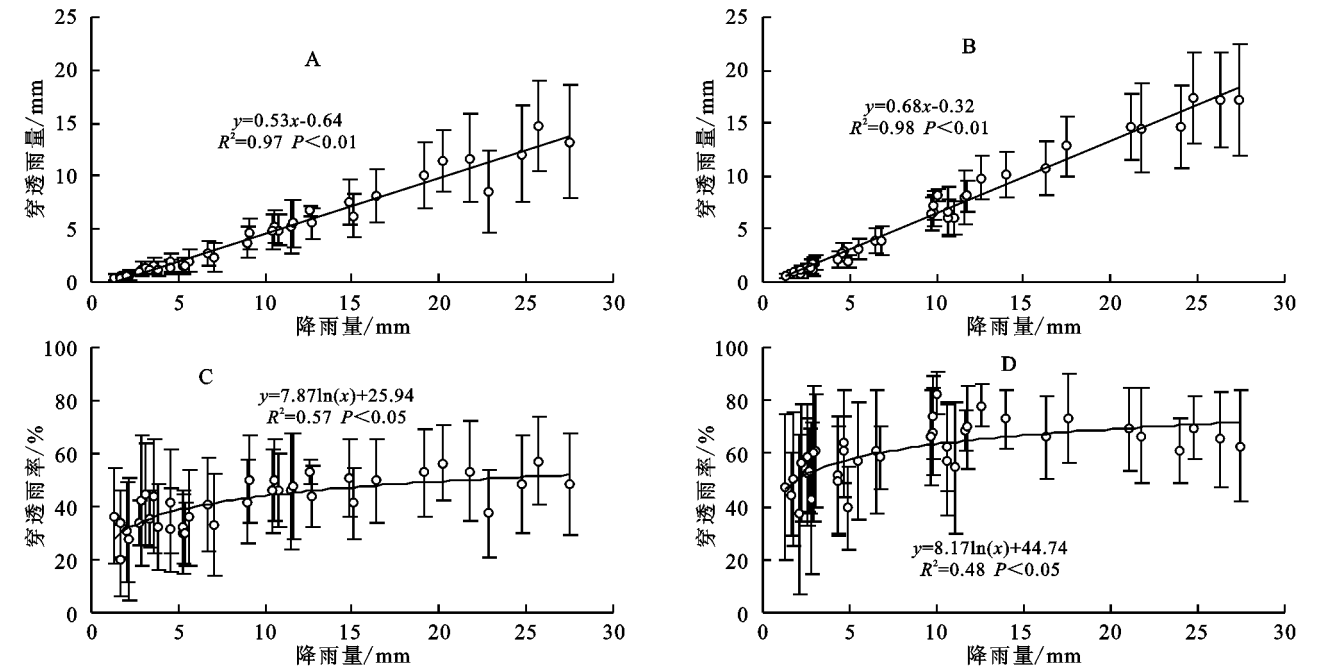
试验期间，鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛总穿透雨

量分别为 175.2 mm 和 239.1 mm，分别占总降雨量的 46.3%和 65.0%。其中，鲜黄小檗穿透雨量为 0.3~14.7 mm，平均值为(4.6±4.1) mm，占同期降雨量的 19.8%~57.3%，平均值为(41.4±9.1)%；甘青锦鸡儿穿透雨量为 0.6~17.3 mm，平均值为(6.3±5.3) mm，占同期降雨量的 37.0%~82.7%，平均值为(60.4±10.4)%。

鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛穿透雨量与降雨量之间呈显著的线性正相关(图 1A,图 1B, $P<0.01$)，即穿透雨量随着降雨量的增大而增大。由回归方程可知，鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛产生穿透雨的临界降雨量分别为 1.2 mm 和 0.5 mm，这与实际观测中产生穿透雨的临界降雨量分别为 1.2 mm 和 0.9 mm 基本一致。穿透雨率与降雨量之间呈对数函数关系(图 1C,图 1D, $P<0.05$)，即随着降雨量的增大，穿透雨率呈先快速增大后缓慢增大，最后逐渐趋于稳定。

表 2 试验期间研究区降雨特征

灌丛	雨量级/ mm	降雨 场次	降雨场次 比例/%	降雨量/ mm	降雨量 比例/%
鲜黄 小檗	$P\leq 5$	13	34.2	37.2	9.8
	$5<P\leq 10$	8	21.0	53.3	14.1
	$10<P\leq 15$	8	21.0	94.8	25.0
	$15<P\leq 20$	3	7.9	50.6	13.4
	$P>20$	6	15.8	142.8	37.7
甘青 锦鸡儿	$P\leq 5$	16	42.1	48.3	13.2
	$5<P\leq 10$	7	18.4	58.1	15.8
	$10<P\leq 15$	7	18.4	82.1	22.3
	$15<P\leq 20$	3	7.9	54.9	14.9
	$P>20$	5	13.2	124.2	33.8

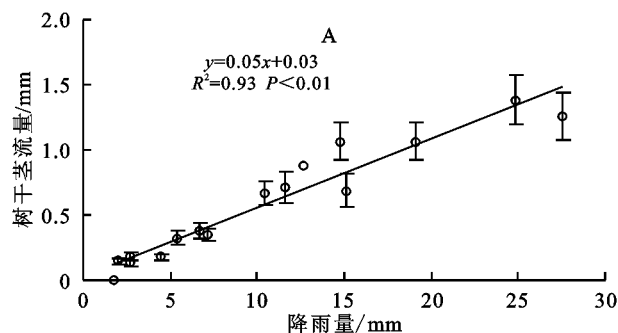


注：A 和 C 表示鲜黄小檗 *Berberis diaphana*；B 和 D 表示甘青锦鸡儿 *Caragana tangutica*。下同。

图 1 降雨量与冠层下穿透雨量和穿透雨率的关系

2.3 树干茎流特征

试验期间,鲜黄小檗和甘青锦鸡儿的总树干茎流量分别为 20.8 mm 和 15.1 mm,分别占总降雨量的 5.5% 和 4.1%。其中,2014 年 8 月至 9 月期间共观测到 16 场降雨,鲜黄小檗树干茎流量为 0.0~1.4 mm,平均值为 (0.6 ± 0.4) mm,占同期降雨量的 0%~7.2%,平均值为 $(5.4 \pm 1.7)\%$;甘青锦鸡儿树干茎流量为 0.0~1.3 mm,平均值为 (0.4 ± 0.4) mm,占同期降雨量的 0%~6.0%,



平均值为 $(3.3 \pm 1.8)\%$ 。

鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛的树干茎流量与降雨量之间呈显著的线性正相关(图 2A,图 2B, $P < 0.01$),即树干茎流量随着降雨量的增大而增大。由回归方程可知,鲜黄小檗在降雨的条件下就可产生树干茎流,甘青锦鸡儿产生树干茎流的临界降雨量为 1.4 mm,而在实际观测中发现,2 种灌丛在降雨量超过 2.0 mm 时均出现了少量的树干茎流。

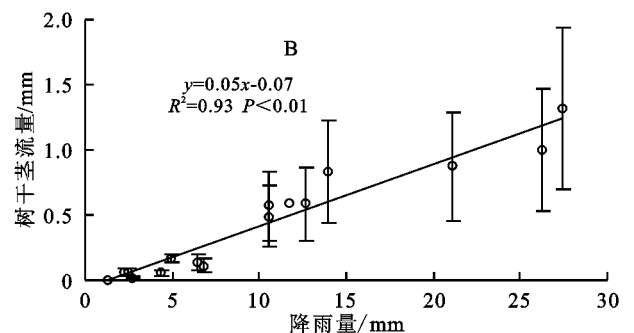


图 2 降雨量与冠层下树干茎流量的关系

2.4 冠层截留特征

试验期间,鲜黄小檗和甘青锦鸡儿总截留量分别为 182.6 mm 和 113.4 mm,分别占总降雨量的 48.2% 和 30.9%。其中,鲜黄小檗截留量为 0.8~13.0 mm,平均值为 (4.8 ± 3.3) mm,占同期降雨量的 37.3%~80.2%,平均值为 $(53.3 \pm 9.8)\%$;甘青锦鸡儿截留量为 0.7~8.8 mm,平均值为 (3.0 ± 2.2) mm,占同期降雨量的 13.2%~

61.3%,平均值为 $(36.2 \pm 11.5)\%$ 。

2 种灌丛冠层截留量与降雨量之间呈显著的线性正相关(图 3A,图 3B, $P < 0.01$),即截留量随着降雨量的增大而增大。截留率与降雨量之间呈对数函数关系(图 3C,图 3D, $P < 0.05$),即随着降雨量的增大,截留率先快速减小,当降雨量 > 10 mm 时,截留率开始缓慢减小,最后逐渐趋于稳定。

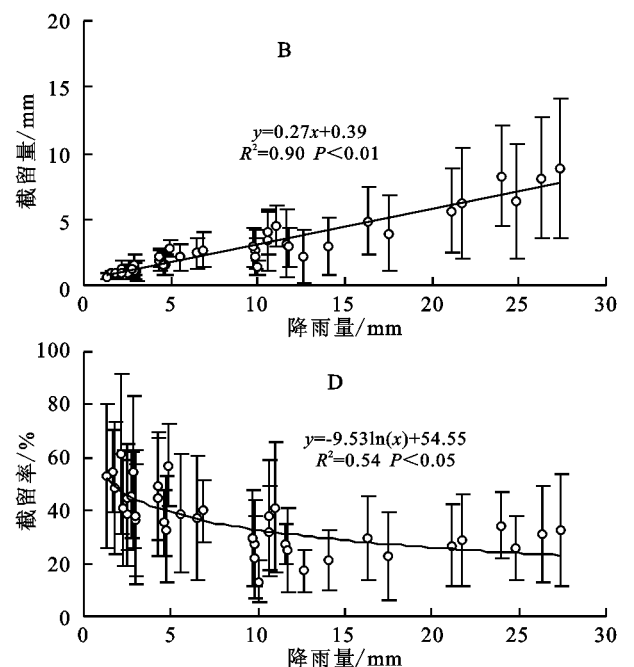
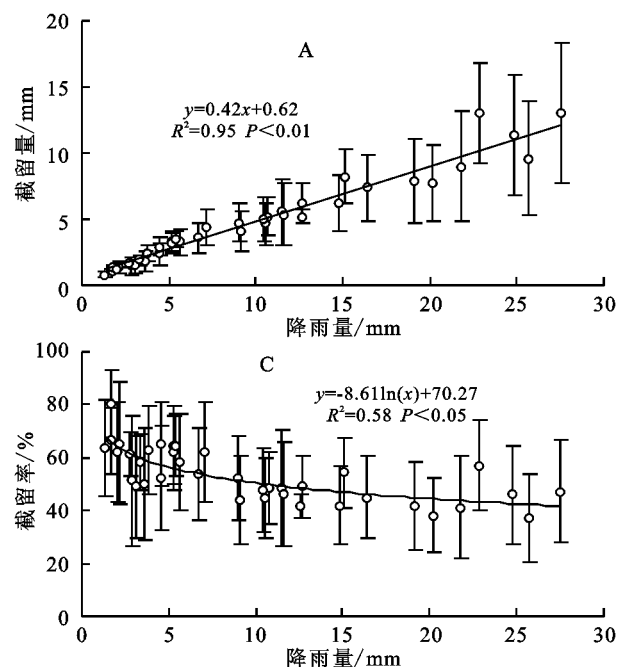


图 3 降雨量与冠层截留量和截留率的关系

2014 年 6 月至 9 月期间,鲜黄小檗和甘青锦鸡儿林地降水量分别为 378.7 mm 和 367.6 mm,分别占 2014 年总降水量(442.8 mm)的 85.5% 和 83.0%。由试验结果得知,鲜黄小檗和甘青锦鸡儿的冠层截留率为 48.2% 和 30.9%,按截留率计算得到的鲜黄小檗群

落的截留率约为 29.3%,甘青锦鸡儿群落的截留率为约为 18.6%。这说明了群落组成与冠层结构特征是影响截留损失水量的主要因素^[13-14]。

2.5 灌丛冠层降雨再分配特征

不同雨量级下,灌丛林冠层对降雨再分配的比例

不相同(表 3)。随着雨量级的增大,穿透雨率和树干茎流率出现增大的趋势,而截留率出现减小的趋势。在降雨场次最多的 ≤ 5 mm 的雨量级中,鲜黄小槲和甘青锦鸡儿的穿透雨率(35.8%和 52.6%)和树干茎流率(5.0%和 2.4%)都是最小,但截留率(59.2%和 45.0%)都是最大;在降雨量最多的 >20 mm 的雨量级中,鲜黄小槲的穿透雨率最大,为 50.2%,截留率最小,为 44.6%;在降雨次数最少的 15~20 mm 的雨量级中,甘青锦鸡儿的穿透雨率最大,为 69.5%,截留率最小,为 26.2%。这说明降雨量是影响灌丛降雨再分配的重要因素。

表 3 不同雨量级灌丛冠层降雨再分配特征

灌丛	雨量级/ mm	降雨量/ mm	降雨 场次	穿透雨 率/%	树干茎 流率/%	截留 率/%
鲜黄 小槲	$P\leq 5$	37.2	13	35.8	5.0	59.2
	$5<P\leq 10$	53.3	8	38.0	5.6	56.4
	$10<P\leq 15$	94.8	8	48.1	6.1	45.8
	$15<P\leq 20$	50.6	3	48.4	5.2	46.4
	$P>20$	142.8	6	50.2	5.3	44.6
甘青锦 鸡儿	$P\leq 5$	48.3	16	52.6	2.4	45.0
	$5<P\leq 10$	58.1	7	68.3	3.5	28.2
	$10<P\leq 15$	82.1	7	66.9	4.9	28.2
	$15<P\leq 20$	54.9	3	69.5	4.3	26.2
	$P>20$	124.2	5	65.1	4.4	30.5

不同月份间,灌丛林冠层对降雨再分配的比例也不相同(表 4)。9 月份鲜黄小槲和甘青锦鸡儿冠层截留率最大,分别为 57.8%和 36.8%,其次是 7 月份(49.4%和 31.9%),6,8 月份最小且接近;而穿透雨率的变化规律与截留率正好相反。树干茎流率 6—8 月份变化平缓,9 月份明显减小。相关性分析表明,穿透雨率、截留率和树干茎流率与月降雨量相关性未达到显著水平($P>0.05$)。比较 2 种灌丛,不同月份间鲜黄小槲的穿透雨率均小于甘青锦鸡儿,而截留率和树干茎流率均大于甘青锦鸡儿。

表 4 不同月份灌丛冠层降雨再分配特征

灌丛	月份	降雨量/ mm	降雨 场次	穿透雨 率/%	树干茎 流率/%	截留 率/%
鲜黄 小槲	6	142.6	14	48.6	5.4	46.0
	7	66.2	8	45.0	5.6	49.4
	8	128.7	8	47.5	5.5	47.0
	9	41.2	8	36.8	5.4	57.8
甘青锦 鸡儿	6	137.5	14	66.2	4.1	29.7
	7	64.6	8	64.1	4.0	31.9
	8	127.5	8	65.7	4.6	29.8
	9	38.0	8	60.5	2.7	36.8

3 讨论

研究灌丛冠层降雨再分配对于认识其水文循环过程具有重要意义^[15]。基于 2014 年 6—9 月期间的观测数据,深入分析了祁连山排露沟小流域鲜黄小槲和甘青锦鸡儿灌丛的冠层降雨再分配特征。结果表

明,鲜黄小槲和甘青锦鸡儿灌丛总降雨量分别为 378.7 mm 和 367.6 mm,二者相差 11.1 mm,这种差异主要是由于坡向不同引起的^[16],鲜黄小槲和甘青锦鸡儿灌丛的坡向分别为 304°和 228°。本研究还发现鲜黄小槲和甘青锦鸡儿灌丛下的平均穿透雨率分别为 46.3%和 65.0%。远小于张平等^[11]在林分尺度上测得的鲜黄小槲和甘青锦鸡儿的穿透雨率(77.55%和 93.02%),这可能是由于未考虑林间空地降雨输入造成的,而与马瑞等^[17]测得甘青锦鸡儿灌丛下的穿透雨率(45.9%)相比则偏大,这可能是由于降雨特征的差异造成的。

灌丛群落冠层截留损失水量是祁连山区水量平衡中不可忽视的组成部分,对祁连山森林系统保护水土、涵养水源以及调节河川径流具有重要意义^[18]。在 2014 年总降雨量为 442.8 mm 的条件下,植被盖度为 52%和 50%的鲜黄小槲和甘青锦鸡儿群落冠层截留率为 29.3%和 18.6%。相比于张平等^[11]得到的鲜黄小槲的截留率(22.45%)和甘青锦鸡儿的截留率(6.98%),以及干旱半干旱区^[3,5,19]的结果(17%~26.8%),截留率偏大,而与刘章文等^[1]的结果相比则偏小。这主要是由于降雨特征的差异,本研究区的降雨量高于干旱半干旱区,且祁连山不同区域的降雨特征也不同^[16],而且,群落组成与灌丛冠层结构的差异也会对截留率有很大的影响^[13-14]。

树干茎流能汇集降雨直接到达根际区,对树干周围的土壤水分、养分含量及微生物的活动具有重要作用^[12]。本研究测得鲜黄小槲和甘青锦鸡儿灌丛树干茎流率分别为 5.5%和 4.1%。这与干旱半干旱地区灌丛的树干茎流率变化范围(2%~10%)相一致^[19]。相比于祁连山^[1,12]金露梅(3.4%)、高山柳(3.2%)、沙棘(8.0%)和鬼箭锦鸡儿(4.2%)灌丛茎流率则稍有差别,这主要是由于降雨特征的差异,本研究区的降雨量高于祁连山高山区^[1,12],而且,灌丛冠层特征(冠层结构,枝叶倾角,树皮光滑度等)的差异也对树干茎流有很大的影响。

不同月份间,穿透雨率、树干茎流率和截留率分配状况不相同。表现为 9 月份鲜黄小槲和甘青锦鸡儿冠层截留率最大,分别为 57.8%和 36.8%,其次是 7 月份(49.4%和 31.9%),6,8 月份最小且接近。这可能是由于截留率随月份的变化与植物生长期之间有很大关系^[20]。6 月份鲜黄小槲和甘青锦鸡儿的叶面积指数较小,分别为 1.11~1.44 和 0.88~1.06,郁闭度较小,截留率较低;7 月份鲜黄小槲和甘青锦鸡儿进入快速生长阶段,于 7 月末期叶面积指数达到最大值,分别为 2.67 和 1.73,冠层截留率也较大;之后,2 种灌丛的叶面积指数逐渐减小,截留率也减小,但 9 月份截留率

出现反常,这可能是由于 9 月份降雨量较小,且 75% 的降雨量<5 mm,小降雨事件有利于增大林冠截留率。树干茎流率呈现 6—8 月份变化平缓,9 月份明显减小,说明小降雨事件不利于树干茎流形成。

2 种灌丛对比可知,鲜黄小檗的截留率和树干茎流率比甘青锦鸡儿高,而甘青锦鸡儿的穿透雨率较鲜黄小檗要大。这可能是由冠层结构特征所决定的。鲜黄小檗的冠幅较甘青锦鸡儿大,且枝叶茂密,叶面积指数大,有利于增大冠层截留降雨的能力;而且鲜黄小檗的枝条较直,有利于水沿树干向下传输,而甘青锦鸡儿枝条在距地表 50 cm 以上开始出现大量的次级分枝,使水沿树干向下传输过程中产生障碍,打断了传输路径的连贯性,增大了茎流水汇集过程中滴落的可能性。

4 结 论

(1)鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛冠下的穿透雨量、树干茎流量、截留量分别为 175. 2, 20. 8, 182. 6 mm 和 239. 1, 15. 1, 113. 4 mm,分别占总降雨量的 46. 3%, 5. 5%, 48. 2% 和 65. 0%, 4. 1%, 30. 9%,而且鲜黄小檗和甘青锦鸡儿灌丛群落截留量占年降水量的 29. 3% 和 18. 6%。

(2)穿透雨量、树干茎流量和截留量与降雨量之间均呈线性正相关关系($P<0. 01$),即随着降雨量的增大,三者均不断增大;穿透雨率、截留率与降雨量之间呈对数函数关系($P<0. 05$),即随着降雨量的增大,穿透雨率呈先快速增大后缓慢增大,而截留率呈先快速减小后缓慢减小,最后都逐渐趋于稳定。

(3)在整个试验期间,当降雨量超过 1. 2 mm 时鲜黄小檗灌丛开始产生穿透雨,当降雨量超过 0. 9 mm 时甘青锦鸡儿灌丛产生穿透雨;当降雨量超过 2. 0 mm 时 2 种灌丛均开始产生树干茎流。

(4)穿透雨率、树干茎流率和截留率分配状况随雨量和月份发生变化。随着雨量级的增大,穿透雨率和树干茎流率出现增大的趋势,而截留率出现减小的趋势。9 月份鲜黄小檗和甘青锦鸡儿冠层截留率最大,分别为 57. 8% 和 36. 8%,其次是 7 月份(49. 4% 和 31. 9%),6,8 月份最小且接近,而穿透雨率的变化规律与截留率正好相反;树干茎流率 6—8 月份变化平缓,9 月份明显减小。

参考文献:

[1] 刘章文,陈仁升,宋耀选,等. 祁连山典型灌丛降雨截留

特征[J]. 生态学报,2012,32(4):1337-1346.

[2] 王正宁,王新平,刘博. 荒漠灌丛内降雨和土壤水分再分配[J]. 应用生态学报,2016,27(3):755-760.

[3] 杨志鹏. 毛乌素沙地灌丛降雨再分配过程及其对土壤水文的影响[D]. 北京:北京师范大学,2010.

[4] Levia D F, Frost E E. A review and evaluation of stem-flow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems[J]. Journal of Hydrology, 2003, 274(1/4): 1-29.

[5] Llorens P, Domingo F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions: A review of studies in Europe[J]. Journal of Hydrology, 2007, 335(1/2): 37-54.

[6] 荐圣淇,赵传燕,方书敏,等. 黄土高原丘陵沟壑区柠条和沙棘灌丛的降雨截留特征[J]. 应用生态学报,2012, 23(9): 2383-2389.

[7] 党宏忠,周泽福,赵雨森. 青海云杉林冠截留特征研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4): 60-64.

[8] 张学龙,罗龙发,敬文茂,等. 祁连山青海云杉林截留对降水的分配效应[J]. 山地学报,2007,25(6): 678-683.

[9] 田风霞,赵传燕,冯兆东,等. 祁连山青海云杉林冠生态水文效应及其影响因素[J]. 生态学报,2012, 32(4): 1066-1076.

[10] 刘贤德,张学龙,赵维俊,等. 祁连山西水林区亚高山灌丛水文功能的综合评价[J]. 干旱区地理,2016,39(1): 86-94.

[11] 张平,刘贤德,张学龙,等. 祁连山林草复合流域灌木林水文生态功能研究[J]. 干旱区地理,2013,36(5): 922-929.

[12] 刘章文,陈仁升,宋耀选. 祁连山典型高山灌丛树干茎流特征[J]. 应用生态学报,2011,22(8): 1975-1981.

[13] 王新平,康尔泗,张景光,等. 荒漠地区主要固沙灌木的降水截留特征[J]. 冰川冻土,2004,26(1): 89-94.

[14] 徐先英,严平,郭树江,等. 干旱荒漠区绿洲边缘典型固沙灌木的降水截留特征[J]. 中国沙漠,2013,33(1): 141-145.

[15] 马育军,高尚玉,李小雁,等. 高寒河谷灌丛冠层降雨再分配特征及影响因素[J]. 中国沙漠,2012,32(4): 963-971.

[16] 王金叶,王彦辉,王顺利,等. 祁连山林草复合流域降水规律的研究[J]. 林业科学研究,2006,19(4): 416-422.

[17] 马瑞,刘贤德,肖洪浪,等. 祁连山区甘青锦鸡儿灌丛单株的穿透雨分布特征[J]. 林业科学,2015,51(7): 136-141.

[18] 王学福. 灌木林在祁连山区的作用及其发展策略研究[J]. 甘肃林业科技,2005,30(2): 32-35.

[19] 杨志鹏,李小雁,伊万娟. 荒漠灌木树干茎流及其生态水文效应研究进展[J]. 中国沙漠 2010,30(2): 303-311.

[20] 岳祥飞,崔建垣,张铜会,等. 科尔沁沙地黄柳灌丛降雨截留与再分配特征[J]. 草业学报,2013,22(6): 46-52.