

# 祁连山西水林区灌木林降雨截留特征

马剑<sup>1,2</sup>, 刘贤德<sup>1,2</sup>, 金铭<sup>1,2</sup>, 张学龙<sup>1,2</sup>, 敬文茂<sup>1,2</sup>,

王顺利<sup>1,2</sup>, 赵维俊<sup>1,2</sup>, 王荣新<sup>1,2</sup>

(1. 甘肃省祁连山水源涵养林研究院 甘肃省森林生态与冻土水文水资源重点实验室, 甘肃 张掖 734000;

2. 甘肃张掖生态科学研究院 甘肃省祁连山生态科技创新服务平台, 甘肃 张掖 734000)

**摘要:** 基于2014年5—9月的野外试验数据, 采用野外观测与统计分析相结合方法, 研究了祁连山排露沟流域5种典型灌木: 吉拉柳(*Salix gilashanica*)、箭叶锦鸡儿(*Caragana jubata*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、鲜黄小檗(*Berberis diaphana*)和甘青锦鸡儿(*Caragana tangutica*)灌木降雨截留特征, 分析了降雨量对灌木穿透雨量和截留量的影响。结果表明: 研究期间共观测到降雨40次, 年降雨总量为292.4 mm, 其中2~10 mm的降雨事件出现次数最多; 5种灌木穿透雨量、截留量分别为吉拉柳灌木183.5, 108.9 mm; 甘青锦鸡儿灌木174.3, 73.5 mm; 箭叶锦鸡儿灌木168.8, 123.6 mm; 金露梅灌木166.1, 106.4 mm; 鲜黄小檗灌木165.7, 82.1 mm; 5种灌木穿透雨量和截留量与降雨量均呈显著线性正相关( $p < 0.001$ ); 而穿透率和截留率与降雨量均以对数函数拟合较好( $p < 0.001$ )。

**关键词:** 灌木林; 截留; 祁连山

**中图分类号:** S715.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2017)03-0363-06

## Characteristics of Rainfall Interception by Shrubs in Xishui Forest District of Qilianshan Mountains

MA Jian<sup>1,2</sup>, LIU Xiande<sup>1,2</sup>, JIN Ming<sup>1,2</sup>, ZHANG Xuelong<sup>1,2</sup>, JING Wenmao<sup>1,2</sup>,

WANG Shunli<sup>1,2</sup>, ZHAO Weijun<sup>1,2</sup>, WANG Rongxin<sup>1,2</sup>

(1. Academy of Water Resource Conservation Forests of Qilian Mountains in Gansu Province,

Gansu Province Key Laboratory of Forest Ecology and Frozen-soil Hydrology and Water Resources,

Zhangye, Gansu 734000, China; 2. Academy of Ecology Science of Zhangye, Gansu Science and

Technology Innovation Service Platform of Ecology in Qilian Mountains, Zhangye, Gansu 734000, China)

**Abstract:** Based on the field experimental data from May to September 2014, we took the five typical shrubs: *Salix gilashanica*, *Caragana jubata*, *Dasiphora fruticosa*, *Berberis diaphana*, and *Caragana tangutica* of Pailugou Watershed in Qilianshan Mountains as test samples, and investigated the characteristics of rainfall interception of five typical shrubs in Qilianshan Mountains by field survey and statistical analysis method, and analyzed impact of rainfall characteristics on rainfall redistribution of shrubs. Results showed that 40 events of rainfall were observed, and the total amount of rainfalls was 292.4 mm, as a whole, the rainfall events with 2~10 mm had the highest frequency. The amounts of through fall of *Salix gilashanica*, *Caragana tangutica*, *Caragana jubata*, *Dasiphora fruticosa* and *Berberis diaphana*, were 183.5 mm, 174.3 mm, 168.8 mm, 166.1 mm and 165.7 mm, respectively. And interception amounts were 108.9 mm, 73.5 mm, 123.6 mm, 106.4 mm and 82.1 mm, respectively. The amounts of through fall and interception of *Salix gilashanica*, *Caragana jubata*, *Dasiphora fruticosa*, *Berberis diaphana*, and *Caragana tangutica* increased in a significant positive linear correlation with increase of rainfall depth ( $p < 0.001$ ). The relationship of through fall percentage and interception percentage of shrubs with rainfall could be fitted by logarithmic curve ( $p < 0.001$ ).

**Keywords:** shrubby forest; interception; Qilianshan Mountains

植被对降雨的截留和再分配过程作为大气—植被—土壤系统中水分循环的重要环节,在森林生态系统水文循环和水量平衡中具有重要作用,一直是生态水文学研究的热点问题<sup>[1-2]</sup>。在降雨过程中,植被冠层截获的雨水中通过蒸发消耗的部分为截留量,通过冠层间的空隙进入土壤的水量为穿透雨量<sup>[3]</sup>。研究植被冠层对降水的截留,包括降水在不同植被冠层的截留特征、穿透水与降水特征关系,对实现水资源短缺地区生态系统持续管理具有重要意义<sup>[4]</sup>。

目前,对于植物降雨截留的相关研究主要集中在热带雨林和温带森林水文学研究方面,对灌丛研究少且集中于干旱半干旱区<sup>[5-9]</sup>,而对于高山湿性灌丛的冠层截留研究相对较少。灌木林是祁连山森林植被类型的重要组成部分,其分布面积占整个森林面积的 68%,作为重要水源涵养林区的祁连山山地森林,灌木林在维系区域水量平衡中起着重要作用,然而关于灌木林的研究特别是灌木林水文生态功能研究的资料甚少<sup>[10-15]</sup>。因此,本文选择祁连山西水林区的吉拉柳(*Salix gilashanica*)、箭叶锦鸡儿(*Caragana jubata*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、鲜黄小檗(*Berberis diaphana*)和甘青锦鸡儿(*Caragana tangutica*) 5 种典型灌丛为研究对象,通过穿透雨和降雨截留观测,研究灌丛林冠降雨截留特征及其与降雨量的关系,为进一步认识祁连山灌木林的生态水文功能提供数据支撑和经验参数。

1 研究区概况

试验区设在祁连山中段西水林区的大野口流域,

流域面积 68.06 km<sup>2</sup>,海拔 2 650~4 600 m,平均海拔 3 330 m,低山地带坡度 20°~30°,高山地带坡度在 40°左右。属大陆性高寒半湿润山地森林草原气候<sup>[12]</sup>,据祁连山生态系统定位研究站长期定位观测可知,该区年平均气温 0.5℃,极端最高气温 28.0℃,极端最低气温-36.0℃;年均降水量 359.2 mm,5—9 月降水占全年的 83.11%,年均空气相对湿度 60%,年蒸发量 1 052 mm,年均日照时数 2 130 h 左右。试验区土壤和植被随山地地形和气候的差异而形成明显的垂直分布带,土壤主要类型为山地森林灰褐土、山地栗钙土以及亚高山灌丛草甸土 3 个类型,总的特征是土层薄、质地粗,以粉沙块为主;成土母质主要是泥炭岩、砾岩、紫红色沙页岩等;有机质含量中等,pH 值 7.0~8.0,试验区森林类型单一,主要是以青海云杉林为主的寒温性针叶林与草地成犬牙状交错,条块状分布在阴坡、半阴坡;阳坡以草地为主,零星分布祁连圆柏和灌木,灌木主要有鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)、高山柳(*Salix cupularis*)、金露梅(*Potentilla fruticosa*)、鲜黄小檗(*Berberis diaphana*)和甘青锦鸡儿(*Caragana tangutica*)等<sup>[16]</sup>。

2 研究方法

2.1 样地选择与设置

2014 年 5—9 月,在排露沟流域选择吉拉柳、金露梅、箭叶锦鸡儿、甘青锦鸡儿和鲜黄小檗 5 种具有代表性的灌丛群落,分别设置 10 m×10 m 的样地,调查每个样地的经纬度、海拔、坡向及样地内灌丛植株的地径、盖度、平均高和生长情况等,样地植物群落概况见表 1。

表 1 不同灌木林植被类型标准地概况

植被类型	海拔/m	经度	纬度	坡向	均高/m	盖度/%
吉拉柳灌丛	3300	100°18′14.5″E	38°32′07.8″N	EN	1.40	55
箭叶锦鸡儿	3300	100°18′18.5″E	38°32′08.0″N	EN	0.60	60
金露梅灌丛	2900	100°18′02.7″E	38°32′40.8″N	E	0.90	90
鲜黄小檗灌丛	2600	100°17′18.1″E	38°33′58.7″N	W	1.80	70
甘青锦鸡儿灌丛	2600	100°17′20.5″E	38°34′06.4″N	WS	1.40	50

2.2 测定方法

气象观测是在灌丛样地所在海拔 3 400 m 和海拔 2 700 m 处,分别布设自动气象站,自动采集气温、降水等气象数据。郁闭度测定是冠层郁闭度采用样线法<sup>[17]</sup>进行测定。林冠截留测定是指透雨用直径 15 cm、高 10 cm 的圆形铁制容器测量,由于高山灌丛难以对单株进行观测,所以在测定样地冠层盖度后,根据郁闭度的不同在每个样地放置 9 个接水器,以保证不同郁闭度的灌丛下面均有接水器,通过这种方法可以更为有效地收集不同郁闭度灌丛的穿透雨;林外降雨使用 DSJ2 型虹吸式自记雨量计测定,同时用自动

气象站降雨数据进行校正;为减少测定过程中蒸发造成的误差,雨后及时测量穿透雨量,如夜间降雨,第 2 天清晨立即测定<sup>[15]</sup>。

根据水量平衡原理,灌丛对降雨的再分配过程可分为截留量、茎流量和穿透雨量 3 部分,由于高山灌丛茎流量所占比例较少<sup>[18]</sup>,截留量 IC(mm)计算公式如下:

IC=P-TF (1)

式中:P 表示林外降雨量(mm);TF 表示灌丛穿透雨量(mm)。本研究观测时段为 2014 年 5 月 1 日—9 月 30 日。

3 结果与分析

3.1 降雨特征

试验期间共观测到降雨 40 次,总降雨量 292.4 mm,最大降雨发生于 2013 年 7 月 2 日,降雨量 24.2 mm,最小降雨发生于 2013 年 5 月 4 日,降雨量为 0.7 mm。从降雨量分配上看,降雨量级 < 2 mm, 2~5 mm, 5~10 mm, 10~20 mm 和 > 20 mm 降雨次数分别为 5, 14, 9, 8, 4 次;不同降雨量级累计降雨量分别为 5.3, 33.4, 64.6, 99.9, 89.2 mm;分别占总降雨量的 1.8%, 11.5%, 22.1%, 34.1% 和 30.5%。

3.2 穿透雨变化

试验期间,5 种灌丛截留特征见表 2。从观测结果来看,5 种灌丛穿透雨量均值变化范围为 165.7~183.5 mm,其中,吉拉柳灌丛最大(183.5 mm),其次为箭叶锦鸡儿灌丛(168.8 mm),再次为金露梅灌丛(166.1 mm)、鲜黄小檗灌丛(165.7 mm)、甘青锦鸡儿灌丛(165.7 mm);穿透率均值变化范围为 55.7%~70.3%,其中甘青锦鸡儿灌丛最大(70.3%)、其次为鲜黄小檗灌丛(66.9%),金露梅灌丛最小(55.7%)。

表 2 试验期间灌丛截留特征

灌丛	穿透雨量/mm	穿透率/%	截留量/mm	截留率/%
吉拉柳灌丛	183.5(4.9)	62.8(17.4)	108.9(1.7)	37.2(17.4)
箭叶锦鸡儿灌丛	168.8(4.3)	55.7(15.7)	123.6(2.3)	44.3(15.7)
金露梅灌丛	166.1(4.1)	61.0(12.9)	106.4(2.1)	39.0(12.9)
鲜黄小檗灌丛	165.7(4.0)	66.9(15.0)	82.1(1.6)	33.1(15.0)
甘青锦鸡儿灌丛	174.3(4.4)	70.3(16.9)	73.5(1.2)	29.7(16.9)

注:括号内数值为标准差。

通过回归分析与拟合,5 种灌丛穿透雨量随降雨量的变化见图 1,穿透雨和降雨量之间均呈显著正相关( $p<0.001$ ),5 种典型灌丛的穿透雨量均随降雨量的增加呈线性增大趋势。而穿透率随降雨量的变化呈对数函数增长趋势(图 2)。当降雨量 < 5 mm 时,穿透率随着降雨量的增加呈现较快增长趋势;而当降雨量超过一定范围时,穿透率逐渐平缓。由此可见,随着降雨量的不断增加,5 种灌丛的枝条和叶片水分逐渐趋于饱和,穿透率先不断增大后趋于稳定。

3.3 截留变化

试验期间,各灌丛截留量的变化见表 2。由观测结果可知,5 种灌丛林冠截留均值变化范围为 73.8~123.6 mm,其中,箭叶锦鸡儿灌丛截留量最大(123.6 mm),其次为吉拉柳灌丛(108.9 mm)、金露梅灌丛(106.4 mm)、鲜黄小檗灌丛(81.1 mm)、甘青锦鸡儿灌丛(73.5 mm),而在林冠截留率方面,各灌木林的变化范围为 29.7%~44.3%,箭叶锦鸡儿灌丛截留率最大(44.3%),其次为金露梅灌丛(39.0%)。

由图 3 可知,5 种不同灌丛的截留量与降雨量之间呈显著线性正相关关系( $p<0.001$ ),而图 4 反映出对数函数可以较好地说明降雨量和截留率之间的关系( $p<0.001$ )。对 5 种不同灌丛而言,降雨量大小对截留率的影响较为明显。降雨较小时,大多数降雨用于满足灌丛枝干、枝叶的吸附以及蒸发消耗,而随着降雨量的不断增加,各灌丛枝叶表面水分逐渐达到饱和状态,随之截留率逐渐趋于稳定,利用曲线方程计算可知,5 种灌丛达到稳定截留率所对应的降雨量分别为:吉拉柳灌丛为 15.2 mm,箭叶锦鸡儿灌丛为 12.2 mm,金露梅灌丛为 10.2 mm,鲜黄小檗灌丛 12.9 mm,甘青锦鸡儿灌丛 8.5 mm。

4 讨论与结论

(1) 在降雨过程中,土壤可以得到的水分主要受地上植株特征和降雨特征的影响,因此,灌丛的降雨截留特征是水文循环的一个重要特征,其中的灌丛截留量是研究降雨过程非常重要的参数<sup>[6]</sup>。该区域大部分降雨集中于 10 mm 以上,其中 10 mm 以上的降雨量占降雨总量的 64.6%, > 20 mm 的降雨量占降雨总量的 30.5%。纵观整个降雨过程,降雨次数较多且降雨量较大。

(2) 本研究中由于降雨特征的差异因而截留量偏大,箭叶锦鸡儿灌丛、吉拉柳灌丛、金露梅灌丛、鲜黄小檗灌丛和甘青锦鸡儿灌丛的截留量分别为 123.6, 108.9, 106.4, 82.1, 73.5 mm;截留率分别为 44.3%, 37.2%, 39.0%, 33.1%, 29.7%。5 种不同的灌丛其林冠截留之间的差距相对较大,这主要是因为不同灌丛的冠层厚度、林冠通透状况以及盖度等存在差异。本研究灌丛降雨截留数值较裴雪花等<sup>[13]</sup>得出祁连山排露沟流域灌木林的林冠截留量均值的变化范围为 21.5~84.1 mm 和林冠截留率变化范围为 6.98%~22.45%,以及干旱半干旱区截留率 17%~26%<sup>[4-6]</sup>,截留量偏大;而相比于车克钧等<sup>[12]</sup>、常学向等<sup>[19]</sup>的研究结果,截留量偏低。原因在于不同的植被其生物特征不同,截留量受降雨量、降雨强度等多种因素的影响,且相比之下研究区域降雨量较干旱半干旱区域多,降雨特征也有差异<sup>[13]</sup>。此外,不同灌丛结构方面的差异也会对截留产生很大的影响<sup>[20]</sup>,相关湿性灌丛截留特征的同类研究结果相差较大可说明这一点<sup>[20-21]</sup>。本研究中 5 种灌丛达到稳定截留率所对应的降雨量不同,说明植被特征在一定程度上影响该区域林冠截留。

(3) 林下穿透雨随降雨量的增加而增加,二者关系可以用直线较好地模拟<sup>[22]</sup>。对于林下穿透率与降雨量的关系,一般的研究均以对数方程进行模拟<sup>[23]</sup>。

本研究对5种灌丛穿透雨及穿透雨与降雨量关系的研究,也得到了相似的结果。5种灌丛穿透雨和降雨量之间均呈显著正相关,穿透率与降雨量的关系以对数函数拟合最好,穿透率随着降雨量的增加先呈增加趋

势,当降雨量达到一定范围时,穿透率逐渐趋于稳定。就本研究涉及的5种灌丛类型而言,穿透率达到稳定时对应的降雨量相差较大,比较来看,金露梅灌丛更为明显,当降雨量大于5 mm时,其穿透率基本不变。

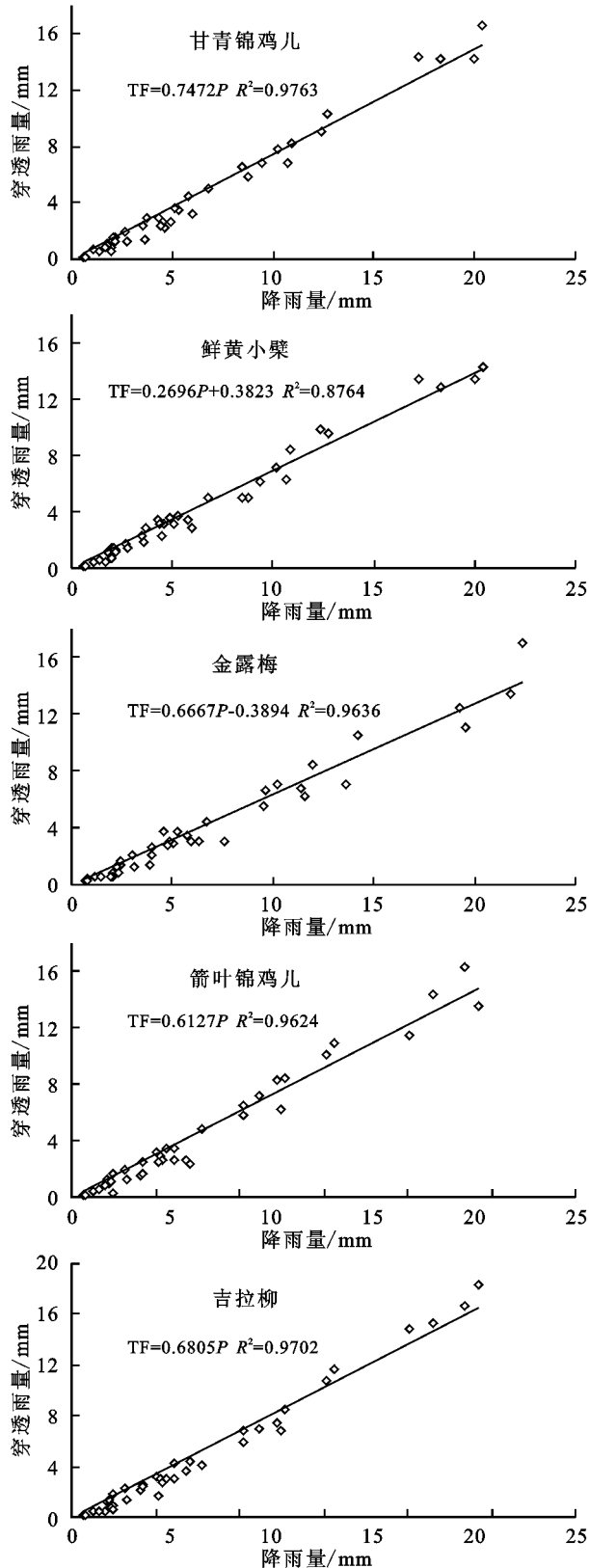


图1 灌丛穿透雨量与降雨量之间的关系

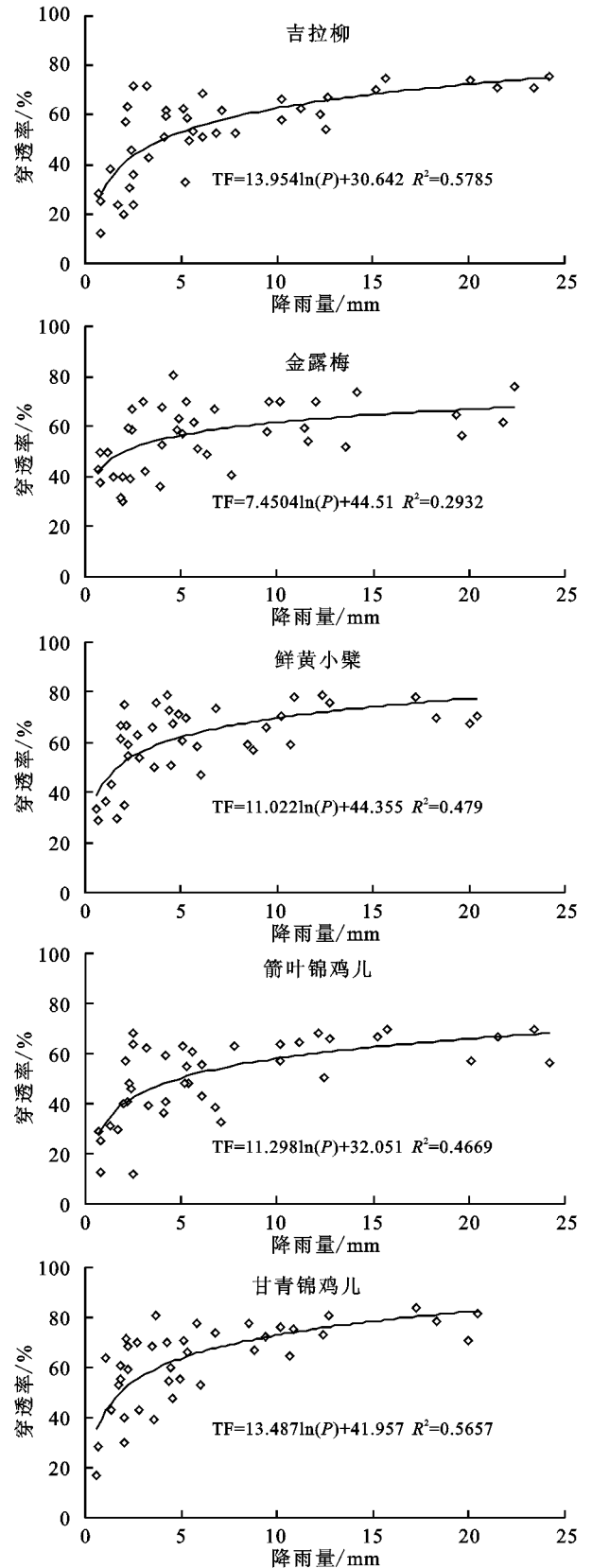


图2 灌丛穿透率与降雨量之间的关系

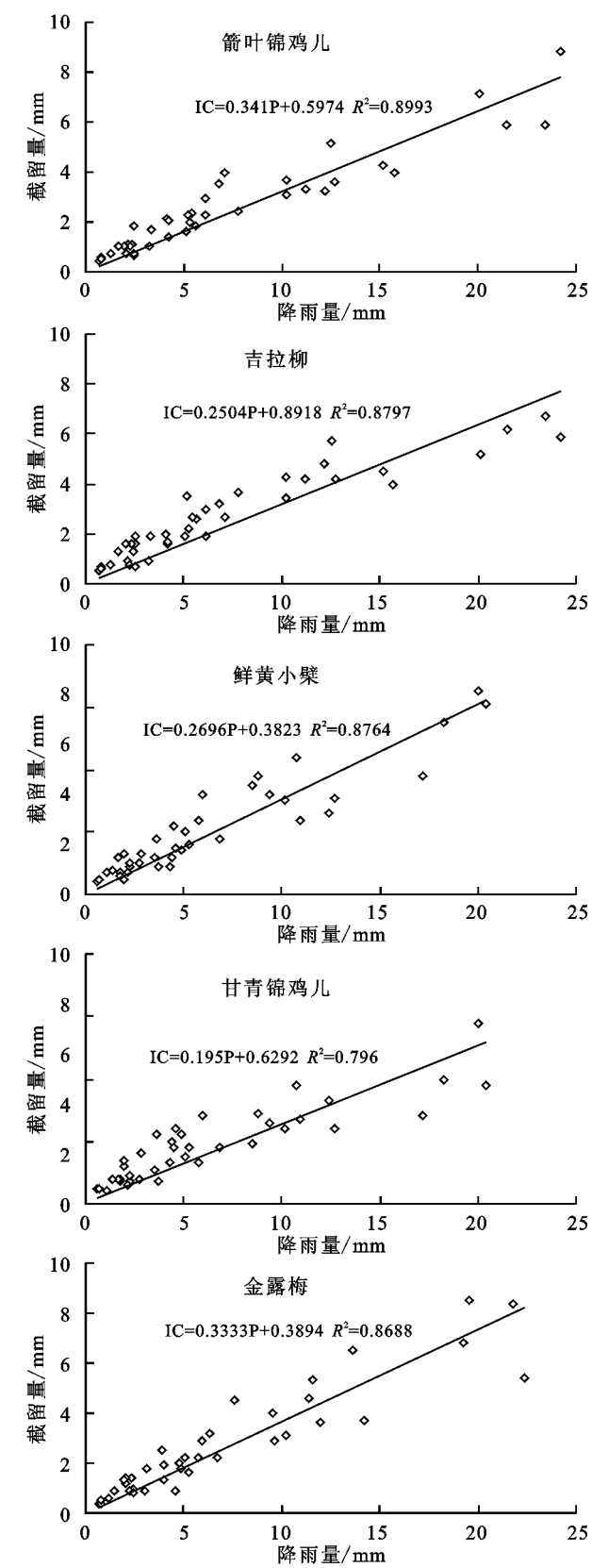


图 3 灌丛截留量与降雨量之间的关系

(4) 5 种灌丛的截留量和降雨量之间呈显著正相关关系,这与杨志鹏<sup>[3]</sup>、王新平<sup>[4]</sup>、李衍青<sup>[6]</sup>、刘章文<sup>[20]</sup>等的研究结论一致。指数函数可以较好地描述灌丛截留率随降雨量的变化。截留率先随着降雨量增加而减

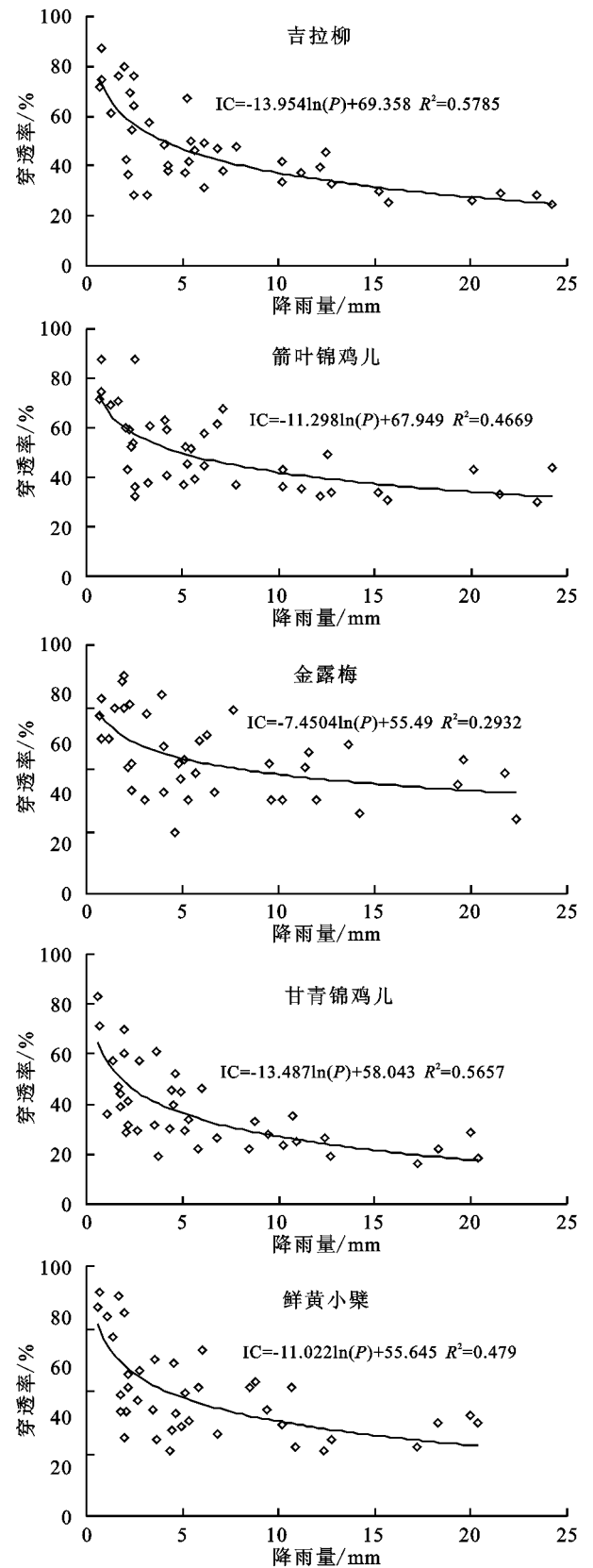


图 4 灌丛截留率与降雨量之间的关系

小,后逐渐趋于稳定,该研究中当达到稳定截留率时,5 种灌丛达到稳定截留率所对应的降雨量相差相对较大,分别为:甘青锦鸡儿灌丛(8.5 mm),鲜黄小檗灌丛(12.9 mm),金露梅灌丛为(10.2 mm),箭叶锦鸡儿灌

丛为(12.2 mm),高山柳灌丛为(15.2 mm),这可能与5种灌丛形态特征有很大的关系。

#### 参考文献:

- [1] Muzylo A, Llorens P, Valente F, et al. A review of rainfall interception modelling [J]. *Journal of Hydrology*, 2009, 370(1):191-206.
- [2] 袁一超,王得祥,刘小林,等.小陇山林区日本落叶松人工林林冠截留特征[J].*西北林学院学报*, 2013, 28(6): 20-24.
- [3] 杨志鹏,李小雁,孙永亮,等.毛乌素沙地沙柳灌丛降雨截留与树干茎流特征[J].*水科学进展*, 2008, 19(5):693-695.
- [4] 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.
- [5] 霍竹,邵明安.黄土高原水蚀风蚀交错带降水及灌木林冠截留特性研究[J].*干旱地区农业研究*, 2005, 23(5): 88-92.
- [6] 李衍青,张铜会,赵学勇,等.科尔沁沙地小叶锦鸡儿灌丛降雨截留特征研究[J].*草业学报*, 2010, 19(5):267-272.
- [7] Llorens P, Domingo F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe[J]. *Journal of Hydrology*, 2007, 335(1): 37-54.
- [8] 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):1-29.
- [9] 杨志鹏,李小雁,刘连友,等.毛乌素沙地固沙灌木树干茎流特征[J].*科学通报*, 2008, 53(8):939-945.
- [10] 孟好军,刘贤德,董晓莉,等.祁连山干旱山地饲料灌木林营造技术研究[J].*甘肃林业科技*, 2002, 27(1):51-53.
- [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):922-928.
- [12] 车克钧,傅辉恩,贺红元,等.祁连山水源涵养林效益的研究[J].*林业科学*, 1992, 28(6):544-548.
- [13] 聂雪花.祁连山灌木林水源涵养功能的研究[D].兰州:甘肃农业大学, 2009.
- [14] 彭焕华,赵传燕,沈卫华,等.祁连山北坡青海云杉林冠对降雨截留空间模拟:以排露沟流域为例[J].*干旱区地理*, 2010, 33(4):600-606.
- [15] 刘贤德,张学龙,赵维俊,等.祁连山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.
- [16] 王顺利,王金叶,张学龙,等.祁连山青海云杉林苔藓枯落物分布与水文特性[J].*水土保持研究*, 2006, 13(5): 156-159.
- [17] 李永宁,张宾兰,秦淑英,等.郁闭度及其测定方法研究与应用[J].*世界林业研究*, 2008, 21(1):40-46.
- [18] 张剑挥.祁连山青海云杉林生态系统水源涵养功能研究[D].兰州:甘肃农业大学, 2010.
- [19] 常学向,赵爱芬,王金叶,等.祁连山林区大气降水特征与森林对降水的截留作用[J].*高原气象*, 2002, 21(3): 274-280.
- [20] 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.
- [21] 柳逸月.黑河上游典型小流域植被降雨截留特征研究[D].兰州:兰州大学, 2013.
- [22] 李振新,郑华,欧阳志云,等.岷江冷杉针叶林下穿透雨空间分布特征[J].*生态学报*, 2004, 24(5):1015-1021.
- [23] 刘春延,李良,赵秀海,等.塞罕坝地区华北落叶松人工林对降雨的截留分配效应[J].*西北林学院学报*, 2011, 26(3):1-5.

(上接第324页)

- [10] 刘超,杨海娟,郑娜,等.基于微观视角的农村居民点发展评价与布局优化:以陕西省重点示范镇沙河子镇为例[J].*地域研究与开发*, 2014, 33(6):147-152.
- [11] 张颖,徐辉.基于MCR模型的农村居民点布局适宜性分区及优化模式研究:以南京市六合区金牛湖街道为例[J].*长江流域资源与环境*, 2014, 23(11):1485-1492.
- [12] 唐川,马国超.基于地貌单元的小区域地质灾害易发性分区方法研究[J].*地理科学*, 2015, 35(1):91-97.
- [13] 大范,史培军,辜智慧.行政单元数据向网格单元转化的技术方法[J].*地理科学*, 2004, 24(1):105-108.
- [14] 李雪平,唐辉明.基于GIS的分组数据Logistic模型在斜坡稳定性评价中的应用[J].*吉林大学学报:地球科学版*, 2005, 35(3):361-365.
- [15] 张海燕,王新民,尹慧,等.地质灾害风险评价阈回归联合聚类分析[J].*吉林大学学报:地球科学版*, 2011, 41(2):529-535.
- [16] 丁伟翠,薛星桥,杨强,等.基于GIS的甘肃省灵台县地质灾害易发性区划研究[J].*水土保持研究*, 2010, 17(3):32-34.
- [17] 邹利林,王建英.中国农村居民点布局优化研究综述[J].*中国人口·资源与环境*, 2015, 25(4):59-68.
- [18] 魏洪斌,廖和平.农村居民点土地集约利用评价研究[J].*中国农学通报*, 2011, 27(11):181-186.
- [19] 郭月婷,廖和平,徐建刚.三峡库区农村居民点用地适宜性评价[J].*农业工程学报*, 2012, 28(5):252-259.
- [20] 刘明皓,戴志中,邱道持,等.山区农村居民点分布的影响因素分析与布局优化:以彭水县保家镇为例[J].*经济地理*, 2011, 31(3):476-482.