

# 形态退化对中间锦鸡儿冠层茎流的影响

孟 明<sup>1,2</sup>, 古君龙<sup>1,2</sup>, 杨新国<sup>1,2</sup>, 杨东东<sup>1,2</sup>, 苗 翻<sup>1,2</sup>, 田 娜<sup>1,2</sup>

(1. 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021;

2. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 银川 750021)

**摘 要:**为深入认识降水分布与荒漠草原退化人工中间锦鸡儿林灌丛茎流发生的关系,选取实验样地人工种植的带状中间锦鸡儿林,以自然散生中间锦鸡儿群落的天然灌丛(健康组)和临近的典型退化灌丛(退化组)为研究对象,利用 2016—2017 年监测获取的 23 次中小降水事件下(0~15 mm)中间锦鸡儿茎流数据,开展了不同灌丛间茎流的差异性、茎流随降水变化的分布、茎流与降水特征值的回归关系等方面的研究。结果表明:(1) 健康组和退化组树干茎流分别为 14.42 mm 和 15.9 mm,树干茎流分别占总降雨量的 8.06% 和 7.91%,二者间无显著差异。(2) 随着雨量级的增大健康组和退化组的茎流量和茎流百分比均呈递增的趋势;健康组的茎流量和茎流百分比变异系数呈先减小后增大的趋势,退化组的茎流量和茎流百分比变异系数呈递减趋势。(3) 健康和退化组的树干茎流量与降雨量,降雨历时和降雨强度的关系可以用一元线性函数拟合,茎流量百分比与降雨量,降雨历时和降雨强度的关系用对数函数拟合效果较好。总体而言,中间锦鸡儿存在明显的冠层茎流汇水效应,但是灌丛形态退化对茎流无显著影响。

**关键词:**中间锦鸡儿; 茎流; 小降水; 荒漠草原; 形态退化

**中图分类号:**S718.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2019)05-0202-08

## Effect of Morphological Degradation on Stem Flow in Canopy of *Caragana intermedia*

MENG Ming<sup>1,2</sup>, GU Junlong<sup>1,2</sup>, YANG Xinguo<sup>1,2</sup>, YANG Dongdong<sup>1,2</sup>, MIAO Fan<sup>1,2</sup>, TIAN Na<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory for Ecosystem in Northwest China, ministry of Education,

Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration in Northwest China, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** In order to deeply understand the relationship between precipitation distribution and the occurrence of stem flow in shrub of *Caragana intermedia* forest in degraded desert steppe, selection of *Caragana intermedia* banded forest planted in experimental plot, the natural thickets (healthy group) and adjacent typical degraded thickets (degenerated group) of *Caragana intermedia* community were taken as the research objects, based on the stem flow data of small and meso-scale precipitation events (0~15 mm) obtained from 2016 to 2017, the typical degraded shrubs (degraded group) and the natural scattered *Caragana intermedia* (healthy group) in desert steppe were selected, the differences in stem flow of different shrubs, the distribution of stem flow with precipitation, and the regression relationship between stem flow and precipitation characteristics were analyzed. The results showed that: (1) the stem flows of healthy and degraded groups were 14.42 mm and 15.9 mm, respectively, trunk and stem flow accounted for 8.06% and 7.91% of the total rainfall, respectively, and there was no significant difference between them; (2) as the rainfall level increased, the stem flow and stem flow percentage of the healthy group and the degraded group showed an increasing trend; in the healthy group, the variation coefficient of stem flow and stem flow percentage decreased first and increased later, while the variation coefficient of stem flow and stem flow percentage decreased in the degraded group; (3) the relationship between stem flow and rainfall, rainfall duration and rainfall intensity in healthy and degraded groups can be fitted with a linear function, and the relationship

收稿日期: 2018-11-20

修回日期: 2018-12-25

资助项目: 宁夏高等学校科学研究项目(NGY2018041)

第一作者: 孟明(1992—), 男, 宁夏灵武人, 硕士研究生, 主要从事生态水文研究。E-mail: 963557108@qq.com

通信作者: 杨新国(1976—), 男, 山东泰安人, 教授, 硕士生导师, 主要从事生态水文研究。E-mail: xinguoyang1976@163.com

between stem flow percentage and rainfall, rainfall duration and rainfall intensity can be fitted with logarithmic function. In general, the significant water confluence effect in the middle *Caragana intermedia* was observed, but no significant effect on the stem flow was found due to the morphological degeneration of shrubs.

**Keywords:** *Caragana intermedia*; stem flow; small precipitation; desert grassland; morphologic degradation

中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)是一种灌木,豆科植物的锦鸡儿属,主要产地有蒙古(锡林郭勒盟、伊克昭盟、乌兰察布盟)、宁夏(盐池)、陕西北部,具有抗寒、耐热、抗旱、耐沙埋等保水固土能力<sup>[1]</sup>。但随着林龄的增加,中间锦鸡儿林普遍会出现林分衰老、生物量下降、林分老化等现象,其经济效益和生态效益不断下降<sup>[2]</sup>。树干茎流(我们这里称茎流)是指降雨被树冠截持下来沿着树叶、树枝和树干流向地面的那部分雨水<sup>[3]</sup>,它是植被对降雨再分配过程中的重要一环,得益于这部分水量使降水高度汇集在根部土壤<sup>[4]</sup>,改变了降水的空间分布格局及其相对有效性<sup>[5]</sup>。因此,研究中间锦鸡儿冠层茎流,为深入认识退化中间锦鸡儿稳定性维持的生态水文机理提供科学依据。

树干茎流目前主要的研究领域集中在森林水文学方面,主要研究暖温带、热带以及亚热带的森林水文,研究的重点是树干茎流对地下水补给、水循环以及污染物运移和营养元素的影响等<sup>[6-12]</sup>。灌丛茎流在干旱和半干旱区的的研究较少。杨志鹏等<sup>[13]</sup>研究了毛乌素沙地的两种主要人工种植灌木在小降雨条件下的树干茎流形成及变化特征,结果表明:黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)和沙柳(*Salix linearistipularis*)树干茎流的形成受到植株自身大小、冠层的繁杂程度等影响,相关性分析表明树干茎流量与植株高度、树冠体积、分枝数、投影面积等呈正相关关系,而与地径、分枝倾角和枝下高均呈负相关关系。张亚峰等<sup>[14]</sup>研究了在小降雨条件下,两种旱生灌木柠条(*Caragana korshinskii*)和黑沙蒿(*Artemisia ordosica*)在降雨分区中是否具有显著的作用,并对降雨特征和气象变量对降雨分区的影响进行了评价,结果表明:在茎流损失方面,柠条和黑沙蒿差异有显著性( $p < 0.05$ )。但是有关中间锦鸡儿的研究鲜有报道。

干旱地区点状或带状植被斑块分布格局往往受土壤水分稀缺和高度降水波动限制。灌丛人工带状灌木林(中间锦鸡儿)在中国西北退化荒漠草原治理中扮演着十分重要的角色<sup>[15]</sup>。但是,伴随人工林生长年限的延长,大面积带状灌木林开始进入成龄阶段,灌丛的形态退化与土壤早化是相伴相生的,而中间锦鸡儿灌丛退化是否影响以及如何影响冠层的茎流过程,进而影响中间锦鸡儿的生长,在荒漠草原早化成龄人工林的稳定性维持机制的研究中扮演着重要的角色。本研究以典型退

化和临近自然散生的中间锦鸡儿为研究对象,通过野外试验观测树干茎流,以自然散生中间锦鸡灌丛和临近的典型退化灌丛为对照,研究树冠对降雨的再分配及其变化规律,分析不同灌丛间茎流的差异性,阐述中间锦鸡儿生态水文过程中降水的作用,为提高干旱区植被恢复率和植被雨水利用效率提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区在吴忠市盐池县的皖记沟村,位于县城东北约 3 000 m 处,鄂尔多斯缓坡起伏高原为主要地貌特征,滩、梁相间的缓坡丘陵为主要地形,地势十分平坦,海拔 1400 m 左右。研究区年降水量 280 mm 主要集中在 7—9 月份,年均气温 3.5 °C,年均蒸发量 2 710 mm,属于中温带半干旱区。地带性土壤以风沙土和灰钙土为主,特点是肥力低、结构松散、含沙量大,易受风蚀而沙化。地表植被属荒漠草原,沙生特征明显。无论是地表水还是地下水资源都很匮乏。20 世纪 60 年代以来,由于人为过度的经济活动导致土地荒漠化的面积急剧增大。

研究区种植了不同年代的中间锦鸡儿,规模建设中锦鸡儿林最早在 20 世纪的 70 年代,然后在 20 世纪的 80、90 年代,最后到 21 世纪初,陆陆续续都进行了一定规模的建设,至今建设总面积约 4 000 hm<sup>2</sup>。研究区的主要植被类型是荒漠植被、灌丛草原以及沙地植被,伴生的植被有中亚白草(*Pennisetum Centrasiticum*)、牛枝子(*Lespedeza potaninii*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)以及常见的一些 1 年生的杂草为主。

### 1.2 样地设置与取样

试验样地设在盐池县皖记沟村。该村最早开展中间锦鸡儿林成片建设,不同林龄样地配置较为齐全,林相的保存相对完整,选择平缓向阳坡的中间锦鸡儿林地集中设立样地,样地都是按照株行距 1 m,带间距 6~7 m,两行一带进行配置的<sup>[16]</sup>。研究区有两种中间锦鸡儿林,一种是人工种植的带状行生林(退化组),一种是自然散生林(健康组),带状行生林灌丛退化明显,往往表现为枝叶稀疏,灌丛矮小,而自然散生林灌木枝叶茂盛,灌丛高大。在研究区内随机选取 12 株典型中间锦鸡儿(6 株自然散生林和 6 株带状行生林)。具体形态特征的差异见表 1。

表 1 不同灌丛的形态特征

处理	冠幅		枝干			叶
	冠幅面积/m <sup>2</sup>	高度/cm	分枝数/个	基径/cm	枝长/cm	叶面积/m <sup>2</sup>
健康组	0.13±0.03	125.00±13.05	20.00±2.63	1.23±0.15	100.05±10.46	0.41±0.11
	56.7	25.55	32.25	29.97	25.61	67.43
退化组	0.08±0.01	103.00±2.26	39.00±3.39	0.79±0.07	69.79±0.83	0.18±0.03
	35.8	11.22	44.66	46.77	6.06	77.67

1.3 研究方法

分别在两个试验样地安装了自动气象站,采集获取降雨量的实时数据,以一小时为间隔记录一次降雨量,一次降雨它从开始到结束连续降雨的累计量为一次完整的降雨事件。降雨期间雨歇时间不超过 4 h,都视为一次降雨。

在 2016 年 8—10 月和 2017 年 7—8 月期间,通过不同降水事件下共观测到 23 次有效降水。降雨总量为 142.4 mm,降雨量的最大值为 14.8 mm,占总降雨量的 10.4%,最小值为 0.2 mm,占总降雨量的 0.1%,平均值为 6.2 mm。降雨强度的平均值为 1.16 mm/h,最大值为 3.7 mm/h,最小值为 0.2 mm/h,变异系数为 75.8。总降雨历时为 129 h,最大值为 14 h,占总降雨历时的 10.9%,最小值为 1 h,占总降雨历时的 0.8%,平均值为 5.6,变异系数为 66。

用筒量取树干茎流的大小,通过计算分析对不同灌丛间茎流的差异性、茎流随降水变化的分布、茎流与降水特征值的回归关系等方面进行研究。

1.4 茎流的收集、测量与计算

茎流的收集:选取的 12 株中间锦鸡儿灌丛,分别以基部为圆心,分别在 0°,90°,180°和 270°辐射方向上选取 3 枝中间锦鸡儿枝干;在选取的枝干离地面 8 cm 处用细砂纸将树皮打磨光滑后用裁剪好的铝箔胶带呈 V 字型对其缠绕大概一周半,用手按压使树干和胶带间无缝隙,这样防水、防老化的铝箔就和树干间形成了一个完全环绕树干的截水槽,然后通过直径约 1 cm 的导管连通水槽和集水容器,将茎流引入地面的集水器中。

茎流的测量:用试验用标准量筒(规格:1 000 ml,最小分度值 5 ml;规格:10 ml,最小分度值 0.1 ml)每一次降雨后采集一次的茎流的体积。

茎流的计算:将集水容器收集到的降雨总量除以单枝灌丛的投影面积,所得到的平均值就是灌丛的树干茎流量<sup>[17]</sup>。

SF=∑<sup>n</sup><sub>i=1</sub>C<sub>i</sub>×M<sub>i</sub>/  
A<sub>s</sub>×1000

式中:Sf 为树干茎流量(mm);n 为枝干个数;C<sub>i</sub>为每枝条平均树干茎流体积(ml);M<sub>i</sub>为单株枝干数;A<sub>s</sub>

为植株的投影面积。

1.5 数据处理

运用 Microsoft Excel 2010,对不同灌丛形态特征和降雨特征以及茎流量与不同雨量级(<2 mm, 2~5 mm,5~10 mm,10~15 mm)的降雨分布关系进行描述性统计分析;运用 SPSS 20.0 进行 t 检验,分别分析了健康组和退化组的茎流量和茎流百分比差异显著性(显著性水平设定为 α=0.05);运用以上两种软件采用回归方程和曲线拟合方法,分析茎流对降雨变化的响应关系;运用 Photoshop 处理叶面积、单枝冠幅投影面积。

2 结果与分析

2.1 茎流的统计特征与差异显著性分析

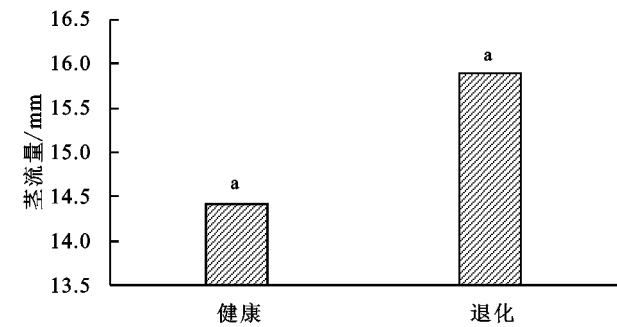
2.1.1 茎流的统计分布特征 研究期间,采集 23 次茎流,健康组和退化组中间锦鸡儿的统计分布数据见表 2,健康组茎流总和为 14.42 mm,茎流范围 0.00~2.56。退化组茎流的总和为 15.9 mm 比健康组大 1.48 mm,茎流范围 0.00~2.25 mm。健康组和退化组中间锦鸡儿茎流的均值分别为 0.63 mm 和 0.69 mm,退化组比健康组大 0.06 mm。健康和退化组茎流量的最小值相同,都为 0.00 mm,最大值分别为 2.56,2.25 mm。退化组中间锦鸡儿茎流量占总降雨量的百分比的变化范围为 0.0%~18.9%,健康组为 0.0%~18.92%。从茎流总量,茎流均值,茎流范围和茎流百分比范围来看,健康组中间锦鸡儿与退化组中间锦鸡儿相当,变异系数的大小分别为 56.27%和 74.15%。

表 2 试验期间降雨特征统计

参数	健康组		退化组	
	茎流/mm	茎流百分/%	茎流/mm	茎流百分/%
总和	14.42		15.90	
最大值	2.56	18.92	2.25	18.90
最小值	0.00	0.00	0.00	0.00
变异系数	106.19	56.27	104.18	74.15
平均值±标准误差	0.63±0.14	8.06±0.95	0.69±0.15	7.91±1.22

2.1.2 健康组和退化组茎流差异显著性 图 1 分别显示了降雨区在单次降雨事件中,健康和退化组中间锦鸡儿树干茎流量的平均值分别为 14.42 mm 和

15.9 mm,进行差异显著性分析,结果表明健康和退化组树干茎流量之间无显著差异( $p=0.922$ );健康和退化组中间锦鸡儿树干茎流占总降雨量百分比的平



注:组间具有显著性差异( $p<0.05$ )用不同小写字母表示,组间无显著性差异( $p>0.05$ )用相同小写字母表示,下同。

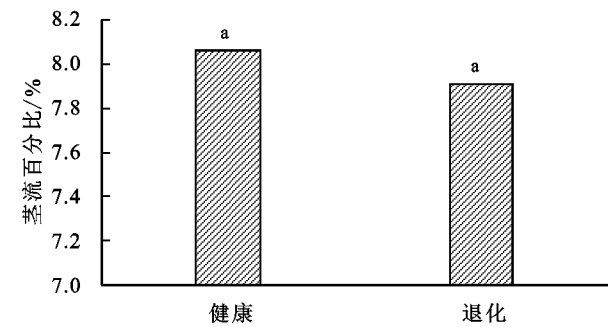
图 1 试验期间灌木分组茎流量和茎流百分比差异显著性

2.2 茎流与降水特征值的分布关系

由表 3 可知,降雨量为小于 2 mm,2~5 mm,5~10 mm,10~15 mm 4 个降雨等级;健康组中,茎流量最小值为 0.4 mm( $CV=77.9\%$ ),最大值为 8.4 ( $CV=48.8\%$ );茎流百分比最小值为 30.7%( $CV=76.8\%$ ),最大值为 66.6 % ( $CV=40.6\%$ )。退化组中,茎流量最小值为 0.1 mm( $CV=102.8\%$ ),最大值为 9.1 mm( $CV=30\%$ );茎流百分比最小值为 11.9%( $CV=106.1\%$ ),最大值为 73.6 %( $CV=26.2\%$ )。

分析结果表明,由于茎流量和茎流百分比均呈递增趋势,最小值和最大值分别出现在小于 2 mm 和

均值分别为 8.06%和 7.91%。进行差异显著性分析,结果表明健康和退化组树干茎流百分比之间无显著差异( $p=0.755$ )。



10~15 mm 雨量级中,随着雨量级的增大降雨量的均值以及健康组和退化组的茎流量和茎流百分比均呈递增的趋势;健康组的茎流量和茎流百分比变异系数呈先减小后增大的趋势,退化组的茎流量和茎流百分比变异系数呈递减趋势。在小于 2 mm,2~5 mm 降雨等级下,健康组的茎流量和茎流百分比均大于退化组的茎流量和茎流百分比,而在 5~10 mm,10~15 mm 降雨等级下,健康组的茎流量和茎流百分比均小于退化组的茎流量和茎流百分比。降雨量小于 5 mm 时健康组的茎流量较大,降雨量大于 5 mm 以后退化组的茎流量较大。

表 3 试验期间降雨特征统计

雨量级	次数	降雨量		健康组				退化组			
		均值/ mm	变异 系数/%	茎流量/ mm	变异 系数/%	茎流 百分比/%	变异 系数/%	茎流量/ mm	变异 系数/%	茎流 百分比/%	变异 系数/%
<2 mm	6	1.1	46.9	0.4	77.9	30.7	76.8	0.1	102.8	11.9	106.1
2~5 mm	6	3.3	24.8	1.2	77.1	36.7	72.2	1.0	80.6	30.7	75.4
5~10 mm	5	8.3	18.4	4.4	37.3	51.4	22.7	5.6	43.9	65.8	37.8
10~15 mm	6	12.4	14.4	8.4	48.8	66.6	40.6	9.1	30.0	73.6	26.2

2.3 树干茎流和降雨量、降雨历时和雨强的关系

对树干茎流(TF)和降雨量(P)进行相关回归分析,并进行曲线拟合(图 2A)发现,健康组和退化组中间锦鸡儿树干茎流与降雨量的关系可以用一元线性函数高度拟合( $p<0.01$ )。退化组的一元线性方程为:TF=0.1414P-0.184( $R^2=0.8423$ , $p<0.01$ ),健康组的一元线性方程为:TF=0.1266P-0.1561( $R^2=0.7874$ , $p<0.01$ )。斜率相近分别为 0.13,0.14,我们对两组曲线进行协方差分析发现曲线的斜率( $p=0.443$ )和截距( $p=0.466$ )均无显著差异。总体来说,健康和退化组树干茎流量随降雨量的增加呈迅速增大的趋势,在树干茎流量为 0 时,它们的降雨量分别为 1.23 mm 和 1.3 mm。对茎流百分比和降雨量进行相关回归分析,并进行曲线拟合(图 2B)发现,健康和退化组中间锦鸡儿树干茎流

与降雨量的关系可以用对数函数( $p<0.01$ )高度拟合。健康组中间锦鸡儿的对数函数方程为:TF(%)=2.3726ln(P)+4.971( $R^2=0.3657$ , $p<0.01$ ),退化组中间锦鸡儿的对数函数方程为:TF(%)=3.9488ln(P)+2.5387( $R^2=0.5711$ , $p<0.01$ )。我们对两组曲线进行协方差分析发现曲线的斜率( $p=0.153$ )和截距( $p=0.892$ )均无显著差异。总体上看,树干茎流百分比随着降雨量的增加先增加后减缓。当降雨量小于 4.68 mm 时,退化组和健康组的树干茎流百分比随着降雨量的增大而呈迅速增加的趋势。当降雨量等于 4.68 mm 时,健康组和退化组树干茎流百分比相等。在降雨量大于 4.68 mm 时,健康组和退化组中间锦鸡儿的树干茎流百分比随降雨量的增大增速明显减缓,有趋于稳定的趋势。



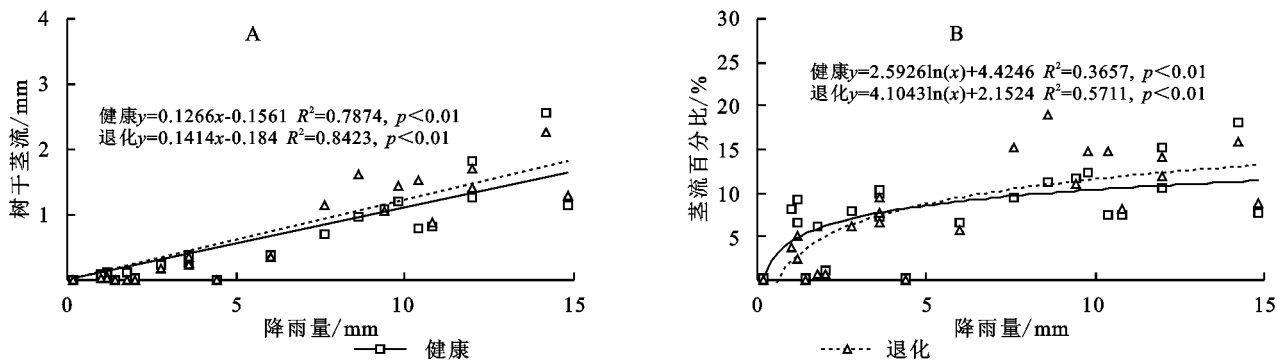


图 2 茎流、茎流百分比与降雨量的关系

对树干茎流和降雨历时( $D$ )进行相关回归分析, 并进行曲线拟合(图 3A)发现, 健康和退化组中间锦鸡儿树干茎流与降雨历时的关系可以用一元线性函数( $p < 0.01$ )高度拟合。健康组和退化组中间锦鸡儿的一元线性方程分别为:  $TF = 0.0018D - 0.0374$  ( $R^2 = 0.3529$ ,  $p < 0.01$ ),  $TF = 0.0022D - 0.0319$  ( $R^2 = 0.4508$ ,  $p < 0.01$ )。我们对两组曲线进行协方差分析发现曲线的斜率( $p = 0.595$ )和截距( $p = 0.685$ )均无显著差异。总体而言, 树干茎流随着降雨量的增加而增大, 两者之间成正相关关系。对茎流百分比和降雨历时进行相关回归分析, 并进行曲线拟合(图 3B)发现, 健康和退化组中间锦鸡儿树干茎流与降雨历时的关系可以用对数函数( $p < 0.01$ )高度拟合。健康组中

间锦鸡儿的对数函数方程为:  $TF(\%) = 2.9119\ln(D) + 7.9646$  ( $R^2 = 0.2447$ ,  $p < 0.01$ ), 退化组中间锦鸡儿的对数函数方程为:  $TF(\%) = 5.1992\ln(D) - 20.975$  ( $R^2 = 0.4398$ ,  $p < 0.01$ )。我们对两组曲线进行协方差分析发现曲线的斜率( $p = 0.248$ )和截距( $p = 0.907$ )均无显著差异。在降雨历时低于 295 min 的时候, 随降雨历时的增大健康组和退化组树干茎流百分比均迅速增大。在降雨历时达到 295 min 的时候, 健康组和退化组的树干茎流百分比相等。在降雨历时超过 295 min 的时候, 随降雨历时的增大健康组和退化组的树干茎流百分比增加的十分缓慢。从整体来看, 树干茎流百分比随着降雨历时的增加先迅速增加然后平缓增加。

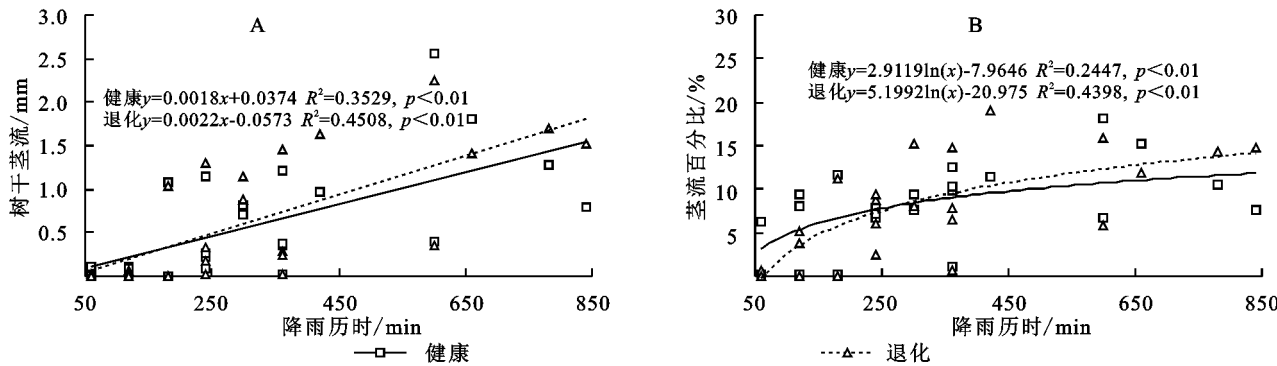


图 3 茎流、茎流百分比与降雨历时的关系

对树干茎流和降雨强度( $I$ )进行相关回归分析, 并进行曲线拟合(图 4A)发现, 健康和退化组中间锦鸡儿树干茎流与降雨强度的关系可以用一元线性函数高度拟合( $p < 0.01$ )。健康组中间锦鸡儿的一元线性方程为:  $TF = 0.355I - 0.2766$  ( $R^2 = 0.1882$ ,  $p = 0.008$ ), 退化组中间锦鸡儿的一元线性方程为:  $TF = 0.3315I - 0.24$  ( $R^2 = 0.1919$ ,  $p < 0.022$ ), 健康组和退化组的斜率相近, 分别为 0.355, 0.3315。我们对两组曲线进行协方差分析发现曲线的斜率( $p = 0.915$ )和截距( $p = 0.732$ )均无显著差异。理论上讲, 当树干茎流量等于 0 时, 降雨强度分别为 0.78 mm/h 和 0.72 mm/h。

整体而言, 随着降雨强度的增加, 健康和退化组的茎流快速增加。对茎流百分比和降雨强度进行相关回归分析, 并进行曲线拟合(图 4B)发现, 健康和退化组中间锦鸡儿树干茎流与降雨历时的关系可以用对数函数( $p < 0.01$ )高度拟合。健康组中间锦鸡儿的对数函数方程为:  $TF(\%) = 2.3643\ln(I) + 8.6013$  ( $R^2 = 0.1658$ ,  $p < 0.01$ ), 退化组中间锦鸡儿的对数函数方程为:  $TF(\%) = 3.5913\ln(I) + 8.5534$  ( $R^2 = 0.2156$ ,  $p < 0.01$ )。我们对两组曲线进行协方差分析发现曲线的斜率( $p = 0.696$ )和截距( $p = 0.920$ )均无显著差异。在降雨量未达到 1.04 mm/h 的时候, 随降雨强度的增大健康组和退化

组的树干茎流百分比呈迅速增加的趋势。在降雨量达到 1.04 mm/h 的时候,健康组和退化组的茎流量百分比相等。在降雨量强度超过 1.04 mm/h 的时候,随降雨强

度的增加健康组和退化组的树干茎流百分比增速却明显放缓。从整体来看,茎流百分比随着降雨强度的增加先迅速增加然后平缓增加。

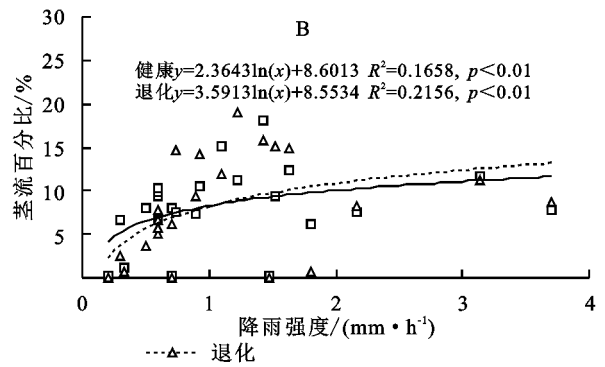
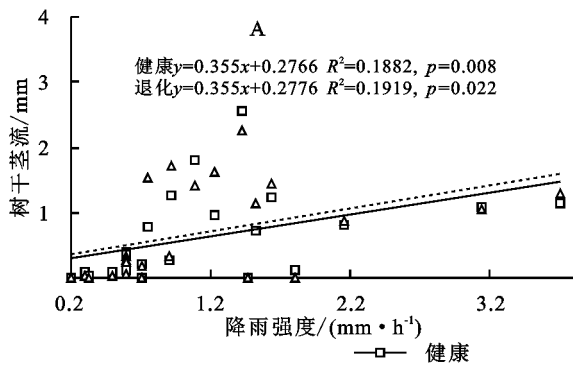


图4 茎流、茎流百分比与降雨强度的关系

### 3 讨论

本研究发现在 23 次降雨事件中灌丛形态的退化对茎流和茎流百分比的影响不显著。退化组和健康组中间锦鸡儿茎流量以及茎流百分比随降雨量的增大无显著性差异,而两者随降雨强度的增大均呈显著性差异。因为在绝大多数的小降雨量事件中,绝大部分的低强度降雨将被植株个体截留、蒸发损耗,很难形成茎流<sup>[18]</sup>。通过树干茎流荒漠灌木能够收集到大约 5%~10% 降水,有时甚至达 20%~40%,根际区的土壤大孔隙和根道系统对树干茎流的下渗有利,在极度缺水的时候这部分贮存在较深土层中的水分就会提供给植物利用<sup>[19-23]</sup>,通过树干茎流荒漠灌木能够收集到大约 3%~43% 的降水,收集到的这部分降水将汇集到以植物的茎干为中心的根际区地表<sup>[24]</sup>。本研究发现,平均有 8% 的降水以茎流的形式进入中间锦鸡儿的基部土壤,这与相邻地区旱生灌木茎流的研究结果(7.9%~12.3%)<sup>[18,25-26]</sup>基本一致。说明在小降水事件下,相对于灌丛形态差异,降水量在冠层降水分配格局中的作用更大,证明了灌丛形态对树干茎流的形成影响并不显著。

不同雨量级下,茎流和降水特征的深入研究发现:健康组和退化组的茎流量和茎流百分比随降雨量的增大均呈递增的趋势,健康和退化组平均茎流量的变化范围均在降雨量>5 mm 时更大,分别是 1.2~8.4 mm 和 1~9.1 mm;健康组的茎流百分比在 5~15 mm 范围内变化幅度最大为 36.7%~66.6%,退化组的茎流百分比在 2~10 mm 范围内变化幅度最大为 11.9%~65.8%,从总体茎流量和茎流百分比的变化幅度上看,退化组>健康组。在较小雨量级(<5 mm)时健康和退化组茎流量以及茎流百分比的

变异系数均比较大,雨量级在 5~15 时变异系数均比较小。在雨量较大的条件下,强度较低的降雨虽然仍会有那么一部分被植株个体截留、蒸发损耗,然而随着降雨量的逐渐增加,这部分降雨在总雨量中所占的比例将会被削弱,由于枝干表面水吸持力一定的缘故,此时茎流在传输过程中高强度的降雨将很有可能以穿透水的形式滴落<sup>[27]</sup>。

本研究结果表明,健康和退化组树干茎流与降雨特征值(降雨量,降雨历时,降雨强度)之间用一元线性回归方程可以达到很好的拟合效果,健康和退化组树干茎流百分比与降雨特征值(降雨量,降雨历时,降雨强度)之间用对数函数进行拟合,健康和退化组灌丛茎流量和茎流百分比的拟合结果具有高度相似的变化趋势。整体而言,树干茎流量均随降雨特征值的增大而增大的变化趋势,随降雨特征值的增大树干茎流量百分比均先增大较快,但是超过一定数值后,树干茎流百分比呈稳定的趋势。两种趋势中退化组的变化幅度均大于健康组。随次降雨量变化旱生灌木树干茎流量呈正比例增长的趋势,我们可以用一元线性回归方程对它进行很好的拟合<sup>[14,28-30]</sup>,与本试验研究结果一致;随着次降雨量的变化树干茎流占次降雨量的百分数表现为非线性过程,即在小降雨事件下,随着雨量的增大树干茎流百分数增加的较快,当雨量超过一定数值后,树干茎流百分数呈逐渐稳定的趋势,最后趋近于一个定值<sup>[15-16,30-33]</sup>,与本试验研究结果一致。

### 4 结论

树干茎流是生态系统重要的水文过程,同时它也是荒漠灌丛冠层降雨截留然后重新分配过程中的组成部分。中间锦鸡儿存在显著的茎流汇水效应;随着雨量级的增大健康组和退化组的茎流量和茎流百分

比均呈递增的趋势;健康组的茎流量和茎流百分比变异系数呈先减小后增大的趋势,退化组的茎流量和茎流百分比变异系数呈递减趋势。灌丛形态的退化对茎流量无显著影响,但是在一定程度上改变了茎流对降水的响应规律。

#### 参考文献:

- [1] 乔成龙.柠条机械平茬抚育技术[J].当代农机,2009(6):70-71.
- [2] 张瑜,郑士光,贾黎明,等.晋西北低效柠条林老龄复壮技术及资源化利用[J].水土保持研究,2013,20(2):160-164.
- [3] 周择福,张光灿,刘霞,等.树干茎流研究方法及其述评[J].水土保持学报,2004,18(3):137-140.
- [4] Levia D F, Frost E E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems [J]. Journal of Hydrology(Amsterdam),2003,274(1/4):1-29.
- [5] Carlyle-Moses D E. Throughfall stemflow and canopy interception loss fluxes in a semi-arid Sierra Madre Oriental matorral community[J]. Journal of Arid Environments, 2004,58(2):181-202.
- [6] Götz Schroth, Silva L F D, Wolf M A, et al. Distribution of throughfall and stemflow in multi-strata agroforestry, perennial monoculture, fallow and primary forest in central Amazonia, Brazil[J]. Hydrological Processes, 2015,13(10):1423-1436.
- [7] Stadler B, Michalzik B. Aphid infested Norway spruce are 'hot spots' in throughfall carbon chemistry in coniferous forests[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2011,28(11):1717-1722.
- [8] Price A G, Dunham K, Carleton T, et al. Variability of water fluxes through the black spruce(*Picea mariana*) canopy and feather moss(*Pleurozium schreberi*) carpet in the boreal forest of Northern Manitoba[J]. Journal of Hydrology(Amsterdam),1997,196(1/4):310-323.
- [9] Taniguchi M, Tsujimura M, Tanaka T. Significance of stemflow in groundwater recharge.1:Evaluation of the stemflow contribution to recharge using a mass balance approach [J]. Hydrological Processes, 2015,10(1):71-80.
- [10] Tanaka T, Taniguchi M, Tsujimura M. Significance of stemflow in groundwater recharge.2: A cylindrical infiltration model for evaluating the stemflow contribution to groundwater recharge[J]. Hydrological Processes, 2015,10(1):81-88.
- [11] Soulsby C, Reynolds B. The chemistry of throughfall, stemflow and soil water beneath oak woodland and moorland vegetation in upland wales [J]. Chemistry and Ecology, 1994,9(2):115-134.
- [12] Crockford R H, Richardson D P. Partitioning of rainfall in an eucalypt forest and pine plantation in south-eastern Australia. III: De-termination of the canopy storage capacity of a dry sclerophyll eucalypt forest[J]. Hydrol. Proc., 1990,4:157-167.
- [13] 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.
- [14] 刘凯,王磊,宋乃平,等.毛乌素沙地南缘不同林龄人工柠条林土壤渗透性研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(5):89-94.
- [15] Zhang Y F, Wang X P, Hu R, et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by two xerophytic shrubs within a rain-fed re-vegetated desert ecosystem, northwestern China[J]. Journal of Hydrology, 2015,527:1084-1095.
- [16] 杨新国,赵伟,陈林,等.荒漠草原人工柠条林土壤与植被的演变特征[J].生态环境学报,2015,24(4):590-594.
- [17] 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.
- [18] 王正宁,王新平.荒漠灌丛树干茎流及其入渗,再分配特征[J].中国沙漠,2010,30(5):1108-1113.
- [19] Martinezmeza E, Whitford W G. Stemflow, throughfall and channelization of stemflow by roots in three Chihuahuan desert shrubs[J]. Journal of Arid Environments, 1996,32(3):271-287.
- [20] Jose N, Bryan R. Interception loss and rainfall redistribution by three semi-arid growing shrubs in northeastern Mexico[J]. Journal of Hydrology (Amsterdam), 1990,115(1/4):51-63.
- [21] José N. The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico[J]. Journal of Hydrology, 1993,145(1/2):175-190.
- [22] Mauchamp A, Janeau J L. Water funnelling by the crown of *Flourensia cernua*, a Chihuahuan Desert shrub[J]. Journal of Arid Environments, 1993,25(3):299-306.
- [23] Whitford W G, Anderson J, Rice P M. Stemflow contribution to the 'fertile island' effect in creosotebush, *Larrea tridentata*[J]. Journal of Arid Environments, 1997,35(3):451-457.
- [24] 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.
- [25] 荐圣淇.黄土高原典型灌木树干茎流特征及其生态水文效应[D].兰州:兰州大学,2013.
- [26] 杨宪龙.黄土高原北部典型灌丛降水再分配特征及其蒸散耗水规律[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2016.

[27] Crockford R H, Richardson D P. Partitioning of rain-fall into throughfall, stemflow and interception; Effect of forest type, ground cover and climate[J]. Hydrolog-ical Processes, 2000,14(16/17):2903-2920.

[28] José N, Charles F, Jurado E. Spatial variations of in-terception loss components by Tamaulipan thornscrub in northeastern Mexico[J]. Forest Ecology and Man-agement, 1999,124(2/3):231-239.

[29] Belmonte Serrato F, Romero Diaz A. A simple tech-nique for measuring rainfall interception by small shrub: ‘interception flow collection box’[J]. Hydro-logical Processes, 2015,12(3):471-481.

[30] Yang Z P, Li X Y, Liu L Y, et al. Characteristics of stemflow for sand-fixed shrubs in Mu Us sandy land, Northwest China[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(14):2207-2214.

[31] Martinez-Meza E. Stemflow throughfall and root water chan-nelization by three arid land shrubs in southern New Mexico[D]. Las Cruces; New Mexico State Uni-versity, 1994.

[32] Davie T J A, Durocher M G. A model to consider the spatial variability of rainfall partitioning within decidu-ous canopy. I. Model description [J]. Hydrological Processes, 2015,11(11):1509-1523.

[33] Owens M K, Lyons R K, Alejandro C L. Rainfall par-titioning within semiarid juniper communities; effects of event size and canopy cover [J]. Hydrological Processes, 2006,20(15):3179-3189.



(上接第 194 页)

[27] Solomon S. IPCC(2007):Climate change the physical science basis[C]// Agu Fall Meeting, 2007.

[28] McIntyre S, Lavorel S, Landsberg J, et al. Disturb-ance response in vegetation-towards a global perspec-tive on functional traits [J]. Journal of Vegetation Science, 1999,10(5):621-630.

[29] 汪诗平,王艳芬.不同放牧率下糙隐子草种群补偿性生长的研究[J].植物学报,2001,43(4):413-418.

[30] 汪诗平,李永宏,王艳芬,等.不同放牧率对内蒙古冷蒿草原植物多样性的影响[J].植物学报,2001,43(1):89-96.

[31] 杜际增,王根绪,李元寿.近 45 年长江黄河源区高寒草地退化特征及成因分析[J].草业学报,2015,24(6):5-15.

[32] Holzapfel-Pschorn A, Conrad R, Seiler W. Production, oxi-dation and emission of methane in rice paddies[J]. Fems Microbiology Letters, 1985,31(6):343-351.

[33] Holzapfel-Pschorn A, Seiler W. Methane emission during a cultivation period from an Italian rice paddy [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1986,91(D11):11803-11814.

[34] Hirota M, Tang Y, Hu Q, et al. Methane emissions from different vegetation zones in a Qinghai-Tibetan Plateau wetland [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004,36(5):737-748.

[35] Cao G, Xu X, Long R, et al. Methane emissions by alpine plant communities in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Biolo-gy Letters, 2008,4(6):681-684.



(上接第 201 页)

[23] 张调风,张勃,梁芸,等.黄土高原地区生长季参考作物蒸散量对主要气象要素的敏感性分析[J].中国农业气象,2013,34(2):162-169.

[24] 杨泽粟.黄土高原植被生理过程和蒸散量计算方法及变化特征研究[D].兰州:兰州大学,2016.

[25] 卓玛兰草.甘肃省 1960—2009 年不同气候区潜在蒸散量敏感性分析研究[D].兰州:西北师范大学,2012.

[26] 刘淼.基于地理信息系统的海河流域蒸散量时空分布特征研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2009.