

文章编号: 1007-4929(2005)03-0011-04

# 兰州南北两山集雨绿化生态水文变化机理初探

成六三<sup>1</sup>, 李小雁<sup>1,2</sup>, 肖洪浪<sup>1</sup>

(1. 中国科学院寒区旱区与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 北京师范大学资源学院沙漠与沙区资源研究所, 北京 100875)

**摘要:**以兰州南北两山集雨绿化无灌溉人工生态系统为研究对象,在定位监测的基础上,运用生态水文学的基本原理,分析了柠条和柽柳土壤水分的土层分配、利用和水量平衡模式的变化,讨论了集雨区的植被盖度和结皮的发育成因和影响,以及柠条和柽柳在不同集雨面积的蒸散发量。得出在兰州南北两山集雨绿化可以推广乔木柽柳,其生态系统和生态水文过程比较稳定。

**关键词:**生态水文;集雨绿化;水量平衡;蒸散量

**中图分类号:**X171.4 **文献标识码:**A

## Preliminary Research on Variation Mechanism of Eco-hydrological Process in Manual Ecological System of Rainfall Collecting for Tree Planting in the Mountains Adjacent to Lanzhou City

CHENG Liu-san<sup>1</sup>, LI Xiao-yan<sup>1,2</sup>, XIAO Hong-lang<sup>1</sup>

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou City 730000, Gansu Province, China; 2. College of Resources Science &amp; Technology, Center of Desert Research, Beijing Normal University, Beijing City 100875, China)

**Abstract:** Taking the manual ecological system of rainfall collecting for tree planting in the mountains adjacent to Lanzhou city as research object, based on fixed field observation, using basic principle of eco-hydrology, this paper analyzed the variation of water balance mode, distribution and utilization of soil water in different soil layer of *Tamarix ramosissima* and *corshinskii* Lam, discussed the vegetation coverage, formation reason and influence of soil crust in rainfall collecting district, and of *Tamarix ramosissima* and *corshinskii* Lam in different rainfall collecting area. In the end, the author got the conclusion that *Tamarix ramosissima* and *corshinskii* Lam could be spread in the district of rainfall collecting for tree planting in the mountains adjacent to Lanzhou city for its steady ecology and eco-hydrological process.

**Key words:** eco-hydrological; rainfall collecting for tree planting; water balance; evapotranspiration

干旱缺水与水土流失严重是制约黄土高原农业和生态建设的两大障碍因子,集雨在解决农业缺水和植被建设的同时,还可以减轻水土流失的危害,达到除害与兴利并举。生态水文学旨在探索生态动态模式及其工程的水文学机理<sup>[1]</sup>,研究水文学和生物群落之间的功能关系,认识非生物环境的生物学过程,致力于水资源持续管理<sup>[2]</sup>。干旱区土壤水分的有效性决定着生态系统动态,而生态系统演变又不断改变土壤—植被的水文过程<sup>[3]</sup>。本文通过剖析柠条和柽柳土壤水分的变化,研究土

壤—植被系统中生态水文变化机理。对兰州南北两山集雨绿化具有一定的指导性。

### 1 研究区概况

试验地设在兰州市皋兰县忠和镇崖川村,属于兰州市北山,水土流失比较严重的地区。土壤的机械组成中,在剖面0~200 cm的深度,粉砂粒占60%左右,物理性粘粒只占24~35%。年平均降雨量为263 mm(1957~1970年,皋兰县),降水

收稿日期:2004-12-05

基金项目:中科院“西部之光”项目“兰州市南北两山集雨绿化示范试验”和国家自然科学基金(40101004)项目资助。

作者简介:成六三(1979-),男,陕西蒲城人,硕士研究生,主要研究水文与水资源。

变化很大,70%的降雨分布在6~9月,最大年降雨量为392 mm,最小年降雨量为154.9 mm。年蒸发量为1500 mm,是降雨量的5倍多,年平均气温为7℃,最低气温为-9.1℃。最高气温20.7℃。年平均风速为2.0 m/s,最大风速为17 m/s,年平均大风日数为4.3 d,最多日数为13 d,年平均沙尘暴日数2.6 d,最多日数为9 d。柽柳(*Tamarix chinensis*)和柠条(*Caragana microphylla*)的生长期在4月开始,到11月基本上停止生长。

## 2 试验材料及方法

试验区有不同集雨面积的径流场和3年生的柠条和柽柳,集水区有50 m<sup>2</sup>、30 m<sup>2</sup>、15 m<sup>2</sup>、5 m<sup>2</sup>等不同面积的柠条(径粗均为0.5 cm,冠幅为30 cm,高为70 cm),有50 m<sup>2</sup>、30 m<sup>2</sup>、15 m<sup>2</sup>、5 m<sup>2</sup>等不同面积的柽柳(径粗均为1.5 cm,冠幅为50 cm,高为120 cm)。集雨区的柽柳径粗平均为3 cm,高为200 cm,冠幅平均为200 cm。集雨方法为每一个集雨绿化模式有一个集水区和入渗区,如图1。集水区的边界用水泥砌成,高度为20 cm,水不会在集水区之间流动,每个入渗区种植有柠条和柽柳,每个模式有8个重复。这是针对单株集雨造林试验。集雨区中主要有自然生的红砂(*Reaumna soongorica*)、骆驼蓬(*Peganum harmala*)、戈壁针毛(*S. gobica*)和碱蓬(*Suaeda glauca*)。其坡度基本为平地。其覆盖率大约为15%。



图1 集雨绿化模式

本次研究是采用定时和定点分层(每层0~20 cm)采取土壤样品,采用烘干法测定土壤含水量,以重量百分数表示。利用土钻取土,每月取土1次,在根际区2 m的深度进行取土样。本试验区的田间持水量为22%,凋萎系数为7%,径流系数为0.1<sup>[4]</sup>。并每月初对植物生长量进行测量。草本样方1 m×1 m,每月调查物种数量、生长量、覆盖度等。

## 3 结果与分析

### 3.1 降雨特征分析

从图2中可以看出,多年平均降雨量1~4月稀少,基本和2002、2003年一样,这说明4月份降雨基本上保持不变。降雨主要集中在5~9月,占年降雨量的85%。2002年5~9月的总降雨量占年降雨量的90%,2003年5~9月的总降雨量占年降雨量的90%以上。植物从4月开始开始生长,到11月基本停止生长,所以在5~9月份土壤的蓄水量对植物非常重要。也就是这个时间段对土壤水分的补给和存储对来年植物的生长有大的关系。

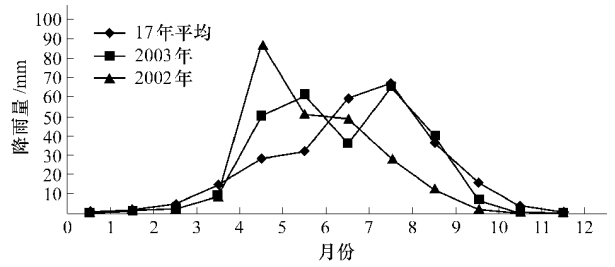


图2 降雨量分布

### 3.2 集雨区的植被盖度

表1为不同集雨区内植被盖度和主要草本种类。集雨区已经封育了3年,里面的主要草本植物为膏草、针茅、尖草、水蓬蓬草、小草等,但植物种类和植被盖度受降雨量控制,降雨量越大,植被种类和盖度也就增幅较大。2003年8月降雨量大,植被盖度和种类也达到最大,但9月份降雨量很少,植被盖度和种类就很少了,生长高度无法测量,也就没有记录。在这3年里,集雨区苔藓、藻类、微生物聚集,又称为生物结皮,慢慢的出现在集雨区内,目前还没有结皮厚度,只是零星的分布在集雨区内。随着结皮的发育,将在集雨区表面存在一定的厚度,大部分降水很难穿过此层补给土壤水分,这提高了集雨区的产流效率<sup>[5]</sup>。

表1 不同集雨区内的植被盖度

月份	5月	6月	7月	8月
50 m <sup>2</sup> 集水区	草本种类	膏草、针茅	膏草、针茅 小草、其他	针茅、尖草 水蓬蓬草、其他
	盖度/%	6	4	16
30 m <sup>2</sup> 集水区	草本种类	膏草、针茅	膏草、其他	膏草、尖草
	盖度/%	5	3	15
15 m <sup>2</sup> 集水区	草本种类	尖草、针茅	膏草、尖草	尖草、针茅
	盖度/%	3	3	11
5 m <sup>2</sup> 集水区	草本种类	尖草、针茅	针茅、小草	针茅、尖草
	盖度/%	2	4	10

### 3.3 不同深度土层含水量变化

柠条在不同集雨面积下不同深度土层含水量变化如图3所示。从图3中可看出,0~20 cm层次均受气候控制而变化,其波幅随深度的增加而减少,与降雨趋势一样。50 m<sup>2</sup>集雨区的土壤水分大都集中在170 cm深度,达到了10%,30 m<sup>2</sup>集雨区集中在150 cm深度,为9.5%,15 m<sup>2</sup>集雨区土壤水分集中在140 cm深度,为9%,5 m<sup>2</sup>集雨区集中在120 cm深度,为7%。可见不同的集雨区面积对土壤含水量的深度和含量影响不一样。

柽柳在不同集雨面积下不同深度土层含水量变化如图4所示。从图4中可看出,曲线的总体趋势向含水率高的方向靠近,在0~100 cm的深度,土壤含水率基本上保持在7%以上,

但集雨面积越大,土壤水分含量越高,在 50 m<sup>2</sup> 集雨区土壤曲线变幅较大,在 180 cm 的土壤深度含水率才接近 7%,30 m<sup>2</sup> 集雨区有 11%~14% 的土壤含水率集中在 0~140 cm 的深度,15 m<sup>2</sup> 集雨区有 8%~12% 的土壤含水率基本上处在 0~130 cm 的土层深度,5 m<sup>2</sup> 集雨区有 7%~10% 的土壤含水率集中

在 0~110 cm 的土壤深度。

比较图 3 和图 4 显示,在同样的集雨区面积下,不同的植物对土壤水分消耗差别较大,柠条的土壤水分较柽柳的高,其入渗深度在同样集雨区面积下要比柽柳高一个百分点,其水量的传输和循环是不一样的,其生态系统水文机制也有不同。

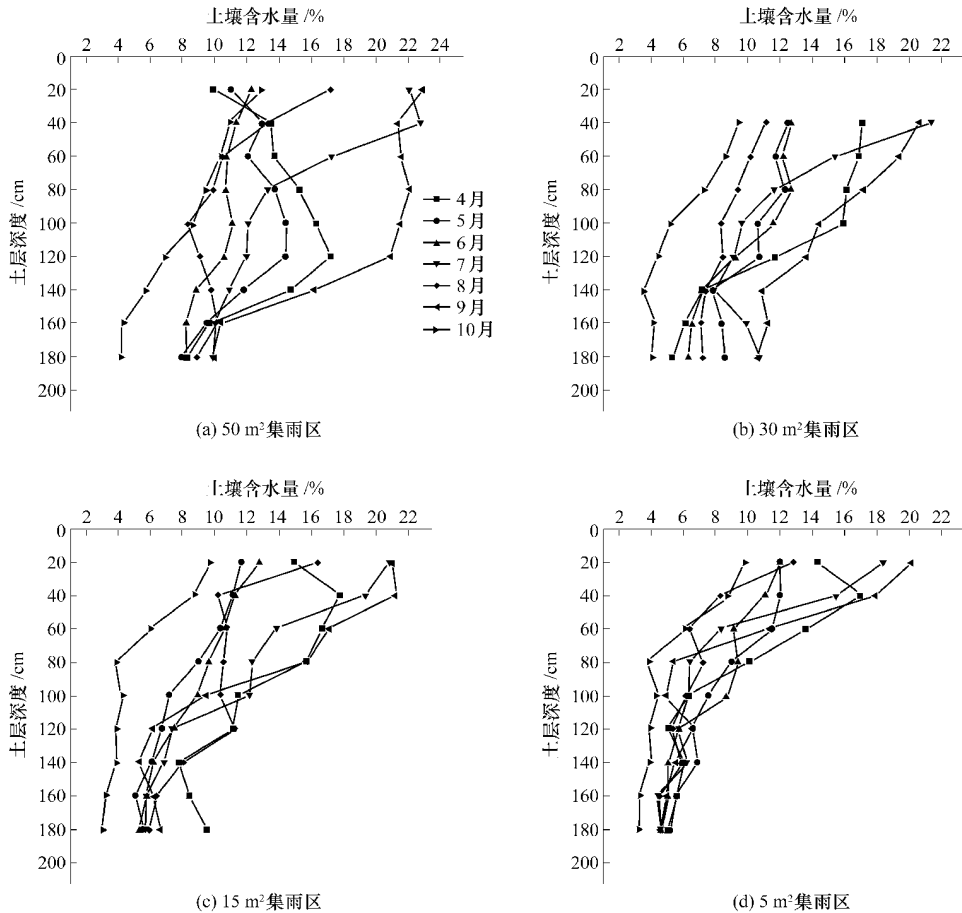


图 3 柠条在不同集雨面积下不同深度(0~200 cm)土层含水量变化图

### 3.4 水量平衡变化

黄土高原地区,土层深厚,采取就近拦蓄雨水就地入渗的造林技术,没有径流损失,只有单一的降雨入渗、上移蒸发和植物蒸腾的过程,一定时间、一定地区内土壤水分收支平衡为<sup>[6]</sup>:

$$\Delta W = P + R - ET$$

式中: $\Delta W$  为土壤储水变动量,mm; $R$  为汇集径流量,mm; $P$  为降雨量,mm; $ET$  为蒸散量,mm。

$$\Delta W = Q - ET, Q = P + R$$

以月为时段,对生长季内柠条各处理的植树带内水分的收支进行了计算,从表 2 可以看出,集水量越大,其蒸散发量也比较大。柠条在降雨较少的 5、7、9 月,均出现了不同程度的土壤水分亏缺;但在降雨充盈的 4、6、8 月,基本上不同处理都有剩余的水分。从数据上看,在 5~8 月,集雨的不同措施对土壤的剩余水分起到了关键性作用。

由表 3 可知,不同集雨区面积柽柳的蒸发量差别很大。这也说明柽柳在不同水分下的蒸腾差异很大。进行集雨绿化时,多大的集雨面积取决于植物消耗水分的多少。而目前造林的林木都在水分胁迫下生长,在水分胁迫条件下植物的蒸腾和处

表 2 3 年生的柠条植被带水量平衡表

mm

月份	5月	6月	7月	8月	合计	
降雨量	50.2	58.2	35.5	71.4	254.9	
50 m <sup>2</sup> 集雨区	Q	115.20	122.20	74.84	177.24	489.48
	$\Delta W$	-38.75	97.79	-82.99	172.87	148.42
	ET	153.95	34.41	157.83	4.37	250.56
30 m <sup>2</sup> 集雨区	Q	89.20	93.90	67.50	134.90	385.50
	$\Delta W$	-60.25	77.04	-18.97	125.25	123.07
	ET	149.45	16.86	86.47	9.65	262.53
15 m <sup>2</sup> 集雨区	Q	69.70	77.40	47.00	103.15	297.25
	$\Delta W$	-20.25	36.42	-98.97	91.83	9.03
	ET	89.95	40.98	145.97	11.32	262.43
5 m <sup>2</sup> 集雨区	Q	56.70	64.60	39.34	81.98	242.62
	$\Delta W$	-14.24	13.14	-37.95	49.58	2.95
	Et	70.94	51.46	77.29	32.40	227.09

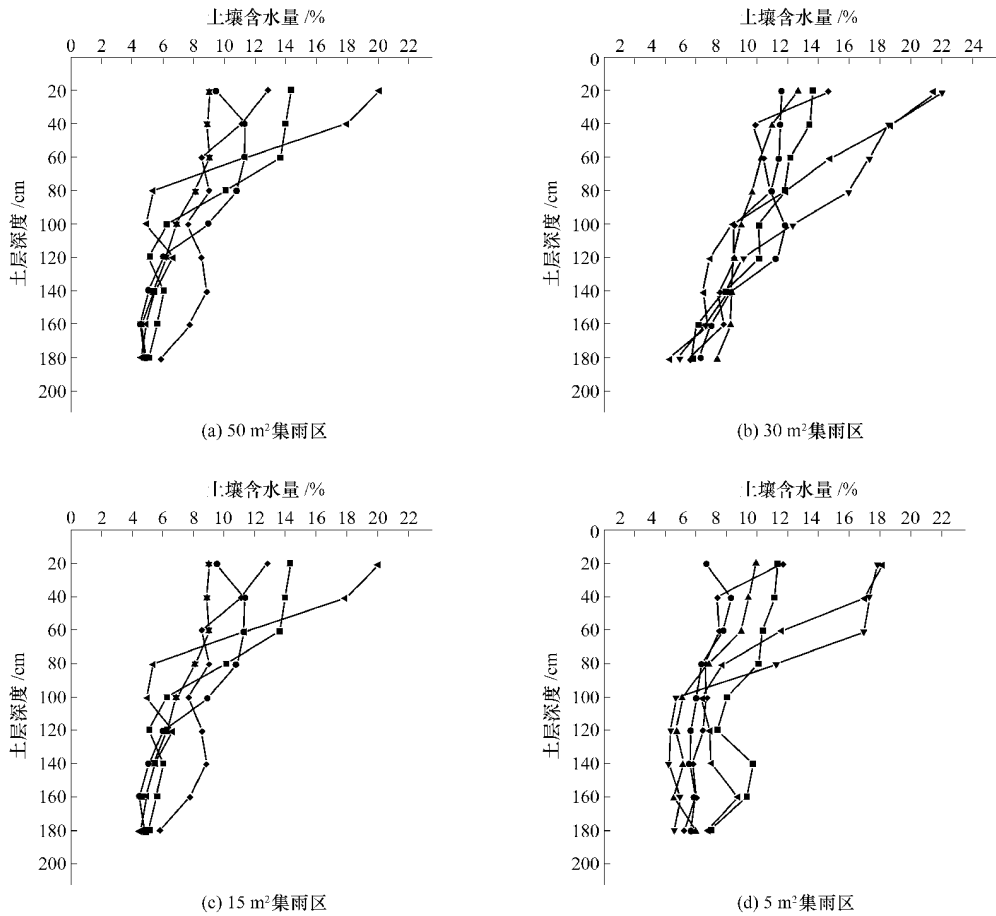


图4 柽柳在不同集雨面积下不同深度(0~200 cm)土层含水量变化图

于不同含水率的蒸腾需进一步研究。

比较表2和表3显示,在同样的集雨面积下,柽柳的蒸散量比柠条的大。也说明了在不同树种的人工林地土壤水分循环和生态系统之间的水分交换存在着一定的差别,需要进一步的研究。

表3 3年生的柽柳植被带水量平衡表 mm

月份	5月	6月	7月	8月	合计	
50 m <sup>2</sup> 集雨区	R	65.00	64.00	38.34	105.84	273.17
	ΔW	-16.36	44.70	-14.60	51.90	16.56
	ET	131.56	77.50	88.40	125.34	322.84
30 m <sup>2</sup> 集雨区	R	39.00	35.07	32.00	63.50	169.57
	ΔW	-18.19	66.92	-65.79	39.83	16.12
	ET	107.39	25.27	133.29	49.17	305.13
15 m <sup>2</sup> 集雨区	R	19.50	19.20	11.50	31.75	81.95
	ΔW	-22.70	57.36	5.70	56.83	77.18
	ET	92.40	50.00	41.30	46.32	230.02
5 m <sup>2</sup> 集雨区	R	6.50	6.40	3.84	10.58	27.32
	ΔW	-1.90	63.55	-60.46	12.30	7.49
	ET	58.60	12.00	99.80	49.98	220.38

### 4 结 语

兰州南北两山集雨绿化人工生态系统是个雨控的生态系

统,土壤水分的有效性决定着生态系统的水分的交换,也同时改变了土壤—植被系统的生态水文过程和功能。不同植物相同的集雨量在其土壤深层和水分含量上差异比较大,这就是在人工植被建设中,要以土壤水分的水资源承载力来决定选取那种植物最合适,本文以柠条和柽柳这2种常见的树种进行了比较,其乔木柽柳可以在兰州南北两山进行大面积推广,其生态系统和生态水文过程的功能是比较稳定的。

### 参考文献:

- [1] Rodriguez-Iturbe I. Ecohydrology: a hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics[J]. Water Resource Research, 2000,36(1):3-9.
- [2] Zalewski M. Ecohydrology —— the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources[J]. Ecological Engineering, 2000,16:1-8.
- [3] 肖洪浪,程国栋. 腾格里沙漠东南缘雨养人工生态系统40a生态水文变化机理初研[J]. 中国科学,2003,33:66-72.
- [4] 李小雁. 干旱半干旱过渡雨水集流实验与微型生态集雨模式[D]. 全国百篇优秀博士论文,2000.
- [5] 李守中,肖洪浪. 腾格里沙漠人工固沙植被区生物土壤结皮对降雨的拦截作用[J]. 中国沙漠,2002,22(6):512-615.
- [6] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社,2000.