

文章编号:1000-694X(2005)02-0243-06

沙漠人工植被区土壤蒸发测定

张志山, 王新平, 李新荣, 张景光

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 沙坡头沙漠试验研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 在2003年生长季,应用自制的微型蒸渗仪(Micro-Lysimeter)、大型称重式蒸渗仪(Lysimeter)和TDR对比测定沙漠油蒿(*Artemisia ordosica*)和柠条(*Caragana korshinskii*)人工植被区与裸沙土壤蒸发,结果表明:在沙漠人工植被区由于植被比较稀疏,土壤蒸发不受植株的遮阴的影响,但同样地地的蒸发量是有差异的,而样地和位置间的互作不显著。为提高蒸发测定精度,建议微型蒸渗仪勤于换土,尤其是在大降水发生之后;将横插式TDR探头改为竖插式能探测到小降水后的蒸发量。在沙漠区有很大比例的蒸发发生在紧接降水之后。以微型蒸渗仪的测定结果为主,结合大型称重式蒸渗仪的测定结果推算出整个试验期间的裸沙、油蒿和柠条样地的蒸发量为111.6 mm、93.8 mm和99.3 mm,油蒿和柠条样地的蒸发量分别占同期蒸散量的45.1%和43.6%;油蒿和柠条样地均以8月份日蒸发量 $0.93 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $1.10 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 最高,5月份日蒸发量 $0.30 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.28 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 最低。

关键词: 沙漠人工植被区; 微型蒸渗仪; 大型称重式蒸渗仪; TDR; 蒸发

中图分类号: S152.73

文献标识码: A

植被建设和维护是西部生态恢复与重建中最为重要的环节,这不仅要考虑当地社会经济发展现状,更重要的是必须结合当地的自然生境特点,在干旱区特别要注重水量平衡问题。据研究,20世纪50年代末建立的包兰铁路沙坡头段穿越腾格里沙漠45 km的植被固沙防护体系,由于严酷的生境条件,特别是有限的水分,驱动物种之间的竞争加剧,使早期栽植的固沙灌木逐渐退化,植被盖度大幅下降。其主要原因是土壤含水量的降低和水分循环特征的改变^[1~5]。植被的这种演变直接关系到其防风固沙的效益,反过来又影响到整个固沙防护林体系的稳定性^[1,2,5]。所以,定量研究沙漠人工植被区水量平衡及植物蒸散对于持续稳定地管理人工防护林体系不仅有重要的参考价值,而且能完善干旱区不连续的植被覆盖情况下土壤-植被-大气连续体(SPAC)系统中水循环过程。

但是,在水量平衡的各种计算模型中如何将裸间蒸发和植物蒸腾区分开来,一直是困扰人们的难题^[5~11]。土壤蒸发测定最普遍和直接的方法是利用大型称重式蒸渗仪(Lysimeter)^[11~14],其缺陷是不但价格昂贵,而且不能测定植物冠层下的蒸发量^[3,4,6~8]。因此,有必要探寻一种简便的测定蒸发的方法。许多人详尽介绍并分析了微型蒸渗仪(Micro-Lysimeter)的应用^[5~10,15~21];Micro-Lysime-

ter是一种无扰动、封底、可移动的小型观测器皿,安装于土壤表层测定土壤蒸发^[7~11]。其优点是安装后不会破坏原来的土壤结构,又可用于测定植物冠层下的土壤蒸发^[9,21]。时域反射仪(Time domain reflectometry, TDR)是20世纪80年代初加拿大、美国等开始应用的测定土壤水分技术,由于它具有快速、准确、连续测定等优点^[22,23],目前已成为测定土壤含水量的常规方法之一,这项测定技术在我国的应用则刚开始^[24]。本文首先将对分析Micro-Lysimeter、Lysimeter和TDR三种蒸发测定方法的优缺点,然后以Micro-Lysimeter测定的蒸发量为主定量推算出沙漠人工植被区的蒸发量。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验于2003年5月至10月在沙坡头沙漠试验研究站(简称沙坡头站)土壤水分平衡观测场进行。沙坡头站位于腾格里沙漠东南缘(104°57'E, 37°27'N),海拔1250 m,处在阿拉善高原荒漠与荒漠草原过渡地带,属草原化荒漠。本区格状沙丘由西北向东南倾斜,呈阶梯状分布;沙丘主梁呈新月型沙丘链形态,走向为西北-东南方向,相对高差15~20 m。本区年平均气温9.6℃,最高气温38.1℃,最低气温

收稿日期:2004-04-01; 改回日期:2004-09-20

基金项目:国家自然科学基金(90202015;40301008;40401004)资助

作者简介:张志山(1974—),男(汉族),甘肃古浪人,在读博士,主要从事干旱区生态研究。E-mail: zhangzhsh2002@yahoo.com.cn

为 -25.1°C , 冬夏昼夜温差大; 年平均降雨量为 186.2 mm , 一年内的雨量分布很不均匀, 主要集中在 7~9 月份; 空气平均相对湿度为 40% , 最低可到 10% , 春季尤为干燥; 该地区的年平均风速为 $2.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 最大风速为 $19\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 大于 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的起沙风每年有 200 d 左右。土壤以细粒沙为主, 地下水埋藏很深, 不能为植物所利用, 沙丘的持水力很弱。土壤水分平衡观测场面积 1 hm^2 , 是将流动沙丘平整后于 1990 年 4 月初栽植油蒿与柠条, 栽植时根据油蒿与柠条的配置和密度不同而形成了 8 种类型的人工植被群落。在土壤水分平衡观测场西部设立了 3 台大型精密称重式土壤蒸散渗漏测定仪 (Lysimeter), 两个 Lysimeter 内与土壤水分平衡观测场同期各栽 2 株油蒿与柠条幼苗, 第三个为裸沙对照处理, 分别测量油蒿、柠条和沙土地表的蒸散量。王新平等^[13,14]对 Lysimeter 的建造方法、工作原理和数据采集等进行了详细说明。

1.2 试验设计

试验前用 PVC 管制作微型蒸渗仪, 每套微型蒸渗仪由高 30 cm、内径 11 cm 的外管和内径 10 cm 的内管组成, 共计 36 套。在土壤水分平衡观测场纯油蒿和纯柠条样地分别设置两个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 样方, 样方内植被的生长情况见表 1。样方内沿对角线布置了 5 根中子水分测管 (CNC503DR, 北京核子仪器公司) 测定 30~200 cm 的土壤水分, 0~20 cm 土层用烘干法测定。每个样方各选两株油蒿和柠条 (表 1), 每一植株沿 3 个方向 (交角约 120°), 距离植株 20 cm、50 cm 和 100 cm 埋设外管; 测定前内管取原状土用塑料胶带封底并用精度为 0.01 g 的电子天平称重, 2 次的重量差为其蒸发量; 微型蒸渗仪内每 1 g 的重量变化相当于 0.127 mm 的蒸发量; 然后放入外管; 每隔一段时间对内管称重测定土壤蒸发。以上各项每隔半月测定 1 次; 蒸发每次连续测定 3 d, 每天称重 1 次, 降水后蒸发加测。

表 1 油蒿和柠条样地植被生长情况

Tab. 1 Growth situation of vegetation in *Artemisia ordosica* and *Caragana korshinskii* plots

样地	株数 (株/100m ²)	盖度 /%	平均株高 /cm	冠幅 1 /cm × cm	冠幅 2 /cm × cm
柠条	23	41.2	171.5	196 × 204	128 × 130
油蒿	103	46.9	52.8	155 × 148	138 × 115

对照 Lysimeter 中在 5 cm、15 cm、20 cm、25 cm 和 30 cm 深度处横埋 TDR (Trase-TDR 系统, 美国

土壤湿度设备公司) 探头测定土壤含水量。其中 Lysimeter 每天测定 2 次 (8:00 和 20:00), TDR 每小时测定 1 次。微型蒸渗仪测定的蒸发量与对照 Lysimeter 和 TDR 测定数据进行同步比较。同期用雨量筒测定降水量。

1.3 数据处理

对微型蒸渗仪每次测定的蒸发数据进行方差分析, 比较其差异显著性; 另外, 将微型蒸渗仪测定数据同 Lysimeter 和 TDR 测定数据进行 t 测验, 比较其差异显著性。以微型蒸渗仪数据为主推算出试验期间油蒿与柠条样地的蒸发量。

2 结果分析

2.1 微型蒸渗仪、Lysimeter 和 TDR 测定蒸发量结果比较

对微型蒸渗仪每次测定的蒸发量进行方差分析, 结果表明 (表 2): 互作间的差异均不显著, 说明样地和位置间不存在互作效应。除 6 月 9 日的测定结果外, 其他测定结果均表明位置间的差异也不显著, 说明沙漠人工植被区土壤蒸发与离植株远近没有多大关系, 即植株的遮阴对蒸发没有多大的影响; 这可能由于植被比较稀疏, 如油蒿和柠条样地的盖度分别为 46.9% 和 41.2% , 从而不存在明显的遮阴 (表 1)。但样地间的差异因测定日期不同而差异的显著水平不同, 这可能与植被区本身的特性有关, 如与土壤的基础含水量、植物根系分布等因素有关。

微型蒸渗仪测定蒸发量同 Lysimeter 和 TDR 测定蒸发量比较结果表明 (表 2): 有 63.3% 微型蒸渗仪测定结果与 Lysimeter 测定结果存在差异, 有 62.5% 微型蒸渗仪测定结果与 TDR 测定结果存在差异。由于 Lysimeter 没有植被覆盖, 其测定结果应该比微型蒸渗仪测定结果要高, 在总共 15 次的测定中, 有 13 次符合这种情况 (表 3); 但 6 月 30 日降水 57.5 mm 后, Lysimeter 测定结果却明显低于微型蒸渗仪测定结果, 这是由于微型蒸渗仪用塑料胶带封底, 阻止了水分的入渗; 从而说明在降水量大的情况下, 微型蒸渗仪测定蒸发应勤于换土, 否则导致测定结果偏高。同理, TDR 上方也没有植被覆盖, 其测定结果应高于微型蒸渗仪测定结果, 但情况恰恰相反, 尤其是在较小的降水量 (12.3 mm) 后测定的结果, 明显地低于微型蒸渗仪测定结果 (表 3); 这可能由于 TDR 探头埋设在深度 5 cm、15 cm、20

cm、25 cm 和 30 cm 处,当降水量较小时其探头感应不到,即降水不能入渗到探头感应的范围,或者感应不到降水的探头少得不足以测出其实际的土壤含水量及蒸发量。

表 2 微型蒸渗仪测定蒸发结果的方差分析及与 Lysimeter 和 TDR 测定结果比较

Tab. 2 Variance analyzing results by Micro-Lysimeter and comparison with results by Lysimeter and TDR									
开始测定时间	累计测定时间 / h	降水量 / mm	样地间	位置间	交互间	Lysimeter		TDR	
						柠条样地	油蒿样地	柠条样地	油蒿样地
5 月 1 日 15:00	72		N	N	N	N	N		
5 月 17 日 9:00	72		N	N	N	**	*		
6 月 1 日 10:00	72		N	N	N	**	**	*	N
6 月 9 日 8:00	53	10.3	**	**	N	*	N	**	**
6 月 16 日 10:00	72		N	N	N	N	*	N	N
6 月 26 日 8:00	10	4	N	N	N	N	N	**	**
6 月 30 日 9:00	107	57.5	**	N	N	*	**	**	**
7 月 11 日 8:00	32	3.3	N	N	N	N	N	**	**
7 月 31 日 11:00	72	14.7	N	N	N	**	**	N	N
8 月 15 日 10:00	72	7	**	N	N	N	**	**	**
8 月 22 日 8:00	36	12.3	**	N	N	N	**	**	*
8 月 31 日 11:00	96		**	N	N	**	*	N	**
9 月 16 日 17:00	72		N	N	N	N	*	N	**
9 月 30 日 17:00	72		**	N	N	*	**	**	N
10 月 15 日 10:00	72		*	N	N	**	**	**	N

N 表示差异不显著; * 表示差异显著 (P<0.05); ** 表示差异极显著 (P<0.01)。

表 3 微型蒸渗仪、Lysimeter 和 TDR 测定的日蒸发量

Tab. 3 Daily evaporation measured by micro-Lysimeter, Lysimeter and TDR						
开始测定时间	累计测定时间/h	降水量/mm	蒸发量/(mm·d ⁻¹)			
			柠条样地	油蒿样地	Lysimeter	TDR
5 月 1 日 15:00	72		0.07		0.08	
5 月 17 日 9:00	72		0.05	0.09	0.12	
6 月 1 日 10:00	72		0.09	0.07	0.17	0.05
6 月 9 日 8:00	53	10.3	2.81	3.45	3.36	0.59
6 月 16 日 10:00	72		0.19	0.18	0.15	0.18
6 月 26 日 8:00	10	4	3.21	2.95	3.18	0.00
6 月 30 日 9:00	107	57.5	4.63	6.75	3.67	2.33
7 月 11 日 8:00	32	3.3	1.73	1.82	1.73	0.00
7 月 31 日 11:00	72	14.7	1.19	1.05	1.53	1.15
8 月 15 日 10:00	72	7	1.63	0.95	1.58	0.48
8 月 22 日 8:00	36	12.3	3.61	2.38	3.72	1.90
8 月 31 日 11:00	96		0.77	1.07	1.31	0.86
9 月 16 日 17:00	72		0.12	0.09	0.11	0.13
9 月 30 日 17:00	72		1.23	0.88	1.41	0.87
10 月 15 日 10:00	72		0.45	0.61	0.83	0.67
平均			1.45	1.49	1.55	0.71

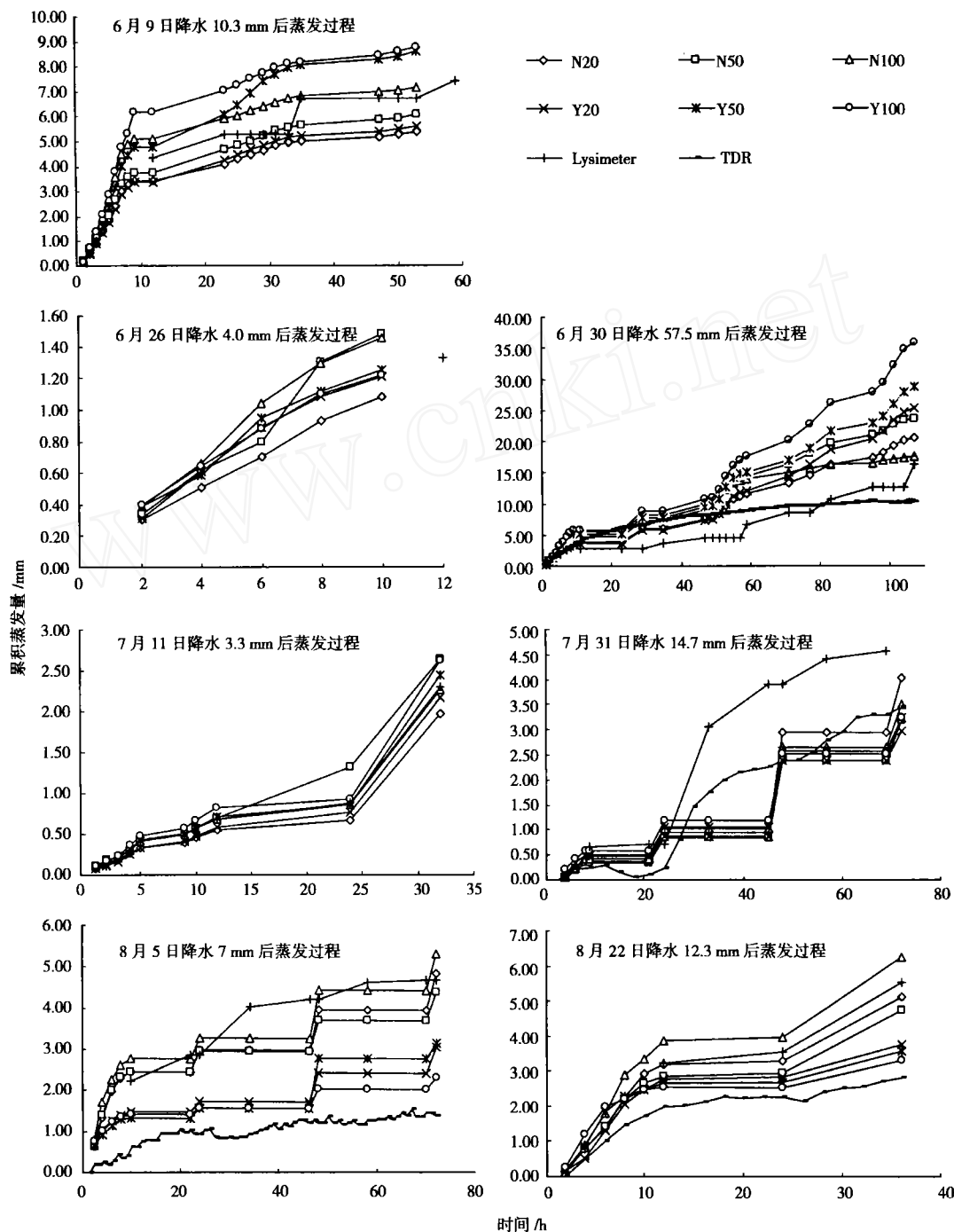
2.2 日蒸发量及蒸发过程

没有降水的情况下沙坡头人工植被区土壤蒸发量非常低(表 3),柠条样地、油蒿样地和裸沙的平均蒸发量分别为 0.37 mm·d⁻¹、0.38 mm·d⁻¹和 0.52 mm·d⁻¹;然而,降水后蒸发量急剧增加,柠条样地、油蒿样地和裸沙的平均蒸发量分别为 2.69 mm·d⁻¹、2.76 mm·d⁻¹和 2.68 mm·d⁻¹。由此推断,在沙漠人工植被区紧接降水之后的土壤蒸发占总蒸发量的比例是很高的。图 1 列出了 7 次降水后各处理的蒸发过程,由于 6 月 9 日、6 月 26 日和 7

月 11 日 TDR 测定的蒸发量远远小于微型蒸渗仪测定的蒸发量,没有在图 1 中绘出;除 7 月 31 日 TDR 测定的蒸发量与微型蒸渗仪测定的蒸发量几乎相等外,其余 3 次 TDR 测定的蒸发量均偏小。除 6 月 30 日 Lysimeter 测定结果明显低于微型蒸渗仪测定结果外,其余 6 次测定结果几乎等于或高于微型蒸渗仪测定结果。

2.3 试验期间的蒸发量及蒸散量

以微型蒸渗仪的测定结果为主,结合 Lysimeter 推算出了整个试验期间油蒿和柠条样地的蒸发量并



N20 表示距柠条 20 cm 处微型蒸渗仪; N50 表示距柠条 50 cm 处微型蒸渗仪; N100 表示距柠条 100 cm 处微型蒸渗仪; Y20 表示距油蒿 20 cm 处微型蒸渗仪; Y50 表示距油蒿 50 cm 处微型蒸渗仪; Y100 表示距油蒿 100 cm 处微型蒸渗仪; Lysimeter 表示对照 Lysimeter 测定的蒸发过程; TDR 表示 TDR 测定的蒸发过程

图 1 各处理降水后蒸发过程

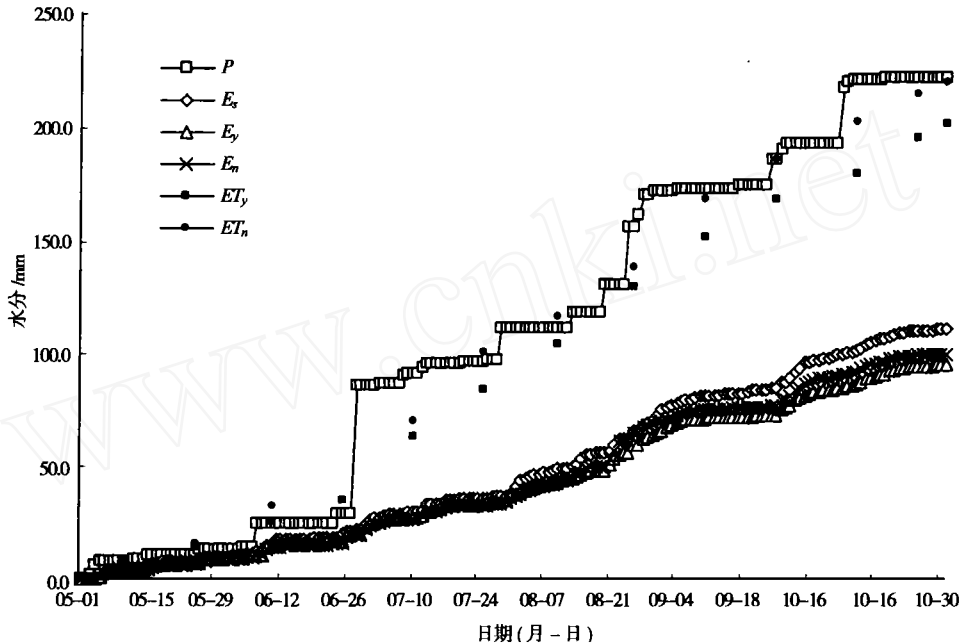
Fig. 1 Evaporation processes after rainfall measured by Micro-Lysimeter, Lysimeter and TDR at different sites

绘制出累积蒸发量图(图 2),以 Lysimeter 的测定结果绘出裸沙的累积蒸发量图;同时绘出了累积降水量和两样地的累积蒸散量图。在整个试验期间油蒿和柠条样地的总蒸发量为 93.8 mm 和 99.3 mm,均小于裸沙的蒸发量,其日平均蒸发量为 0.51 mm 和

0.54 mm,占同期油蒿和柠条样地蒸散量的 45.1% 和 43.6%(图 2)。油蒿样地 5 月份、6 月份、7 月份、8 月份、9 月份和 10 月份的平均蒸发量分别为 0.30 mm · d⁻¹、0.46 mm · d⁻¹、0.38 mm · d⁻¹、0.93 mm · d⁻¹、0.52 mm · d⁻¹和 0.48 mm · d⁻¹;柠条样

地各月的平均蒸发量分别为 $0.28 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.45 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.39 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $1.10 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.52 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.49 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。油蒿和柠条样地均以 8 月份蒸发量最高, 5 月份蒸发量最低; 油蒿和柠条

样地蒸发量占蒸散量的比例以 8 月份的 62.2% 和 80.6% 最高, 7 月份的 25.2% 和 20.2% 最低。另外, 由图 2 可见油蒿和柠条样地的蒸散量接近于同期降水量, 柠条样地略高于油蒿样地。



P 表示累积降水量; E_{α} 表示裸沙对照累积蒸发量; E_{γ} 表示油蒿样地累积蒸发量; E_{η} 表示柠条样地累积蒸发量;
 ET_{γ} 表示油蒿样地累积蒸散量; ET_{η} 表示柠条样地累积蒸散量

图 2 试验期间累积降水量、蒸发量和蒸散量

Fig. 2 Accumulative precipitation, evaporation and evapo-transpiration at different sites in experimental period

3 结论与讨论

上述试验结果表明:在沙漠油蒿与柠条人工植被区由于植被比较稀疏,土壤蒸发不受植株遮阴的影响,但不同样地的蒸发量是有差异的,而样地和位置间的互作不显著。通过比较三种测定方法,说明微型蒸渗仪测定结果同 Lysimeter 和 TDR 测定结果存在差异,大多数情况下是由于 Lysimeter 和 TDR 上方没有植被覆盖遮荫所致;然而当降水量足够大时 (57.5 mm),由于用塑料胶带封底的微型蒸渗仪阻止了水分的入渗,导致测定结果偏高,说明微型蒸渗仪测定蒸发应勤于换土,提高测定精度^[8~14];当降水量较小时 (12.3 mm),横插埋设的 TDR 探头感应不到,或者感应到降水的探头少得不足以测出其实际的土壤含水量及蒸发量,导致 TDR 测定结果偏小,如果将横插式改为竖插式则能提高测定精度^[24]。

沙漠人工植被区紧接降水之后的土壤蒸发占总蒸发量的比例很高,降水后柠条样地、油蒿样地和裸沙的平均蒸发量分别为 $2.69 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $2.76 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和

$2.68 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,无降水时分别为 $0.37 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 、 $0.38 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.52 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$;这与其他研究结果相似,紧接降水之后的土壤蒸发强度高,蒸发量多^[8,9,22]。

以微型蒸渗仪的测定结果为主,结合 Lysimeter 测定结果推算出了整个试验期间的裸沙、油蒿和柠条样地的蒸发量为 111.6 mm 、 93.8 mm 和 99.3 mm ,油蒿和柠条样地的蒸发量分别占同期蒸散量的 45.1% 和 43.6%;油蒿和柠条样地均以 8 月份蒸发量 $0.93 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $1.10 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 最高,5 月份蒸发量 $0.30 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $0.28 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 最低。

参考文献(References):

- [1] 李新荣,马风云,龙立群,等. 沙坡头地区固沙植被土壤水分动态研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 217 - 222.
- [2] Li X R, Ma F Y, Xiao H L, et al. Long-term effects of revegetation on soil water content of sand dunes in arid region of Northern China[J]. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57: 1 - 16.
- [3] 王新平,张景光,李新荣,等. 沙坡头地区多年降水分布特征、趋势及其变率[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 260 - 263.
- [4] 王新平,李新荣,张景光. 沙坡头人工植被固沙区降水的入渗和分配研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(6): 534 - 539.

- [5] 马风云,李新荣,龙立群,等. 沙坡头地区人工植被油蒿种群结构与更新的研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(3): 571 - 575.
- [6] Daamen C, Simmonds L P, Wallace J S, *et al.* Use Micro-lysimeters to measure evaporation from sandy soils [J]. *Agric. and For. Mete.*, 1993, 96:159 - 173.
- [7] Boast C W, Robertson T M. A micro-lysimeter method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1982, 46:689 - 696.
- [8] 刘钰, Fernando R M, Pereira L S. 微型蒸发器田间实测麦田与裸地土面蒸发强度的试验研究[J]. 水利学报, 1999, (6): 36 - 39.
- [9] 王会肖. 砂土土壤蒸发的测定与模拟[J]. 中国农业气象, 1997, 18(4): 29 - 35.
- [10] 裴冬, 张喜英, 李坤. 华北平原作物棵间蒸发占蒸散比例及减少棵间蒸发的措施[J]. 中国农业气象, 2000, (4): 33 - 37.
- [11] 刘昌明, 张喜英, 由懋正. 大型蒸渗仪与小型棵间蒸发器结合测定冬小麦蒸散的研究[J]. 水利学报, 1998, (10): 36 - 39.
- [12] Chen J Y, Wu K. Preliminary analyses for crop water consumption by using lysimeter[J]. *The Journal of Chinese Geography*, 1997, 7(3): 64 - 71.
- [13] 王新平, 李新荣, 康尔泗, 等. 沙坡头地区固沙植物油蒿、柠条蒸散状况的研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(4): 363 - 367.
- [14] 王新平, 康尔泗, 张景光, 等. 草原化荒漠带人工固沙植丛区土壤水分动态[J]. 水科学进展, 2003, 15(2): 75 - 81.
- [15] 杨邦杰, Blackwell P S, Nicholson D F. 土壤表面蒸发阻力模型与田间测定方法[J]. 地理学报, 1997, 52(2): 177 - 183.
- [16] 宋炳煜. 草原群落蒸发蒸腾的研究[J]. 气候与环境研究, 1997, 2(3): 222 - 235.
- [17] Lascano R J, Van Bavel C H M. Experimental verification of a model to predict soil moisture and temperature profiles [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1983, 47:441 - 448
- [18] Matthias A D, Salehi R, Warrick A W. Bare soil evaporation near a surface point source emitter [J]. *Agric. Water Manage.*, 1986, 11:257 - 277.
- [19] Shawcroft R W, Gardner H R. Direct evaporation from soil under a row crop canopy [J]. *Agric. Meteorol.*, 1983, 28: 229 - 238.
- [20] Van Bavel C H M, Hillel D I. Calculating potential and actual evaporation from a bare soil surface by simulation of concurrent flow of water and heat [J]. *Agric. Meteorol.*, 1976, 17:453 - 476.
- [21] Walker G K. Measurement of evaporation from soil beneath crop canopies [J]. *Canadian J. of Soil Sci.*, 1983, 63:137 - 141.
- [22] Berndtsson R, Nodomi K, Yasuda H, *et al.* Soil water and temperature patterns in an arid desert dune sand [J]. *J. Hydrology*, 1996, 185:221 - 240.
- [23] Topp G C, Davis J L, Annan A P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines [J]. *Water Resour. Res.*, 1980, 16:574 - 582.
- [24] 龚元石, 李子忠, 李春友. 利用时域反射仪测定的土壤水分估算农田蒸散量[J]. 应用气象学报, 1998, 19(1): 72 - 78.

Soil Evaporation in Artificially Re-vegetated Desert Area

ZHANG Zhi-shan, WANG Xin-ping, LI Xin-rong, ZHANG Jing-guang

(Shapotou Desert Experimental Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The experiment based on Micro-Lysimeter combining with Lysimeter and TDR aims to determine the evaporation in *Artemisia ordosica* and *Caragana korshinskii* re-vegetated desert area during growth season of 2003 and in bare desert. The results showed that soil evaporation has no relation with overshadow of plant due to thin vegetation. Evaporation amount between *A. ordosica* and *C. korshinskii* vegetation is different, but the interaction between locations and vegetations is not significant. As precision is concerned, we suggest that soil in Micro-Lysimeter should be frequently exchanged and the probe of TDR should be inserted vertically instead of horizontally. Most evaporation occurs after precipitation in desert area. Based on the results of Micro-Lysimeter combining with the result of Lysimeter, the evaporations in bare sand and *A. ordosica* and *C. korshinskii* vegetated areas are calculated, they are 111.6 mm and 93.8 mm and 99.3 mm in experimental periods, respectively. The evaporation of *A. ordosica* and *C. korshinskii* vegetated areas are 45.1% and 43.6% of the evapotranspiration. Monthly, the maximum evaporation of *A. ordosica* and *C. korshinskii* vegetation is $0.93 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ and $1.10 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ in August respectively, the minimum evaporation is $0.30 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ and $0.28 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ in May respectively.

Key words: artificially re-vegetated desert area; Micro-Lysimeter; Lysimeter; TDR; evaporation