

元谋干热河谷植被恢复中水平阶整地对土壤蒸发的影响

王建英, 王克勤

(西南林学院环境科学与工程系, 昆明 650224)

摘要: 对元谋干热河谷植被恢复中水平阶改造后的水平阶面和阶间草坡与自然草坡土壤蒸发的研究表明: (1) 整地初期, 水平阶面、阶间草坡和自然草坡土壤蒸发季节变化和日变化规律一致, 但同时段内三者的土壤蒸发量存在差异, 表现为水平阶面> 自然草坡> 阶间草坡。 (2) 不同地类的土壤蒸发量为桉树林坡面> 自然草坡> 阶间草坡。 (3) 水平阶面、阶间草坡和自然坡面的土壤蒸发量均随土壤含水率的增大而增大, 随土壤含水率的减小而减小。 (4) 不同坡位间的土壤蒸发没有显著差异。 (5) 干热河谷典型的干热气候致使自由水面蒸发量是饱和土壤蒸发量3.35倍。

关键词: 水平阶整地; 土壤蒸发; 干热河谷; 元谋

中图分类号: S152.7; Q948.154

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)02-0010-04

Effects of Level-terrace Site Preparation on Soil Evaporation in Recovering in Yuanmou Dry-hot River Valley

WANG Jian-ying, WANG Ke-qin

(The Environment Science and Engineering Department, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China)

Abstract: The soil evaporation of the level-terrace and the grass slope between level-terrace after level-terrace site preparation in recovering and that of the nature grass slope were studied in Yuanmou dry-hot valley. The results of studying showed that: (1) At very beginning of level-terrace site preparation, the level-terrace, the grass slope between level-terrace and the nature grass slope have the same seasonal and diurnal variation, but within the same period, their respective soil evaporation are different, they follow the order of the level-terrace> the nature grass slope> the grass slope between level-terrace. (2) The amount of the soil evaporation in *Eucalyptus* wood slope was the highest, followed by the nature grass slope, while it was the lowest in nature slope. (3) The soil evaporation increased with the increasing of soil moisture in the level-terrace, the grass slope between level-terrace and the nature grass slope, vice versa. (4) The soil evaporation between different section of slope has no significant difference. (5) The amount of the water surface evaporation was approximately 3.35 times that of the saturated soil evaporation.

Key words: level-terrace site preparation; soil evaporation; dry-hot river valley; Yuanmou

干热河谷是我国西南地区的特殊生态系统类型, 云南省境内主要分布在金沙江、澜沧江和怒江中下游, 其中金沙江干热河谷全长约800 km, 区域面积3 260 km²。元谋县是金沙江干热河谷区的典型地段, 当地全年降水少且分配不均, 蒸发大, 年均蒸发量可达降雨量的6倍左右, 而且旱期长, 地下水埋藏深, 土壤水循环以降雨入渗和水分上行蒸发为主^[1]。土壤水分亏缺严重, 水资源缺乏, 旱洪灾害频繁, 地貌类型多样, 水土流失严重, 土地生产力低下, 致使农作物产量不高且不稳定, 造林成活率低, 生长速度慢, 保存率低。坡面工程中水平阶整地是广泛用于水土保持耕作和林草植被建设中的一项主要措施, 水平阶整地通过对地形改造而截断或缩短径流线, 改变降水的分配状况, 从而改善土壤肥力、土壤水分、地温等状况, 同时起到减少径流和泥沙等水土保持的作用^[2-5]。目前水平阶整地对土壤蒸发影响的报道较少, 而

土壤蒸发是不可避免的土壤水分物理运动过程, 且对林木的生长是无效的消耗, 但这部分水分消耗是土壤水分消耗的一部分^[6], 因此研究该区水平阶整地后的土壤蒸发, 可为植被恢复中反映水平阶整地集水措施对径流的利用率提供理论依据, 同时也对该地区在采取保蓄水分措施、有效灌溉和合理选择种植制度上起到一定的指导作用。

1 研究区概况

该地区气候属于亚热带季风河谷干热气候, 光热充沛, 干湿季分明, 干热少雨是该区总的气候特点。年降水量为350~614 mm, 其中6~10月份降雨占总数的92%, 旱季长达7~8个月; 年蒸发量高达3 911 mm, 为降水量的6.4倍; 年平均气温21.9℃, 最热月均温27.1℃, 极端高温42.0℃, 最冷月均温14.9℃; 年日照时数2 200~2 760 h, 日照率为

收稿日期: 2005-05-20

基金项目: 云南省自然科学基金重点项目(2001D0008Z); 国家自然科学基金项目(30170779)资助

作者简介: 王建英(1979-), 女, 在读硕士, 主要从事林业生态工程研究; 通讯作者: 王克勤(1964-), 男, 教授, 主要从事退化生态系统水土保持生态修复理论与实践研究。

60% 左右; 年均空气相对湿度 53%, 年干燥度 2 08。该区地带性土壤以燥红土分布最为广泛, 植被类型以稀树灌木草丛为主, 自然植被为南亚热带中山峡谷灌丛和半湿润常绿阔叶林。乔木树种主要有云南松 (*Pinus yunnanensis*)、桉树 (*Eucalyptus*) 类和栎 (*Quercus* spp.) 类; 灌木有余甘子 (*Phyllanthus emblica*)、车桑子 [*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.] 等; 草被有扭黄茅 (*Heteropogon contortus*)、旱茅 (*Eriopogon delavayi*)、仙人掌 (*Opuntia dillenii*)、龙舌兰 (*Agave americana*) 等^[6,7]。

2 试验地选择与方法

选择典型干热河谷区——元谋县城以南 6 km 的老城乡公路梁子。海拔 1 050~1 350 m, 土壤类型为燥红土; 植被类型为稀树灌木草丛, 试验地均为西北坡。2001 年对自然草坡进行水平阶微地形改造, 阶面宽 1.2 m, 阶间距 1.5 m, 改造面无植被覆盖, 阶间坡面为自然草坡, 并以未改造过的自然草坡作为对照。按改造后的不同微地形(水平阶面和阶间草坡)、不同地类(自然草坡、桉树林坡面、阶间草坡)、不同坡位(坡上部、坡下部)分别设置土壤水分蒸发观测点, 一共设置 9 个样地, 分别为: 1 号(自然草坡, 坡度为 8°坡中上部, 坡面); 4 号(桉树林地, 坡度为 9°坡中上部, 坡面); 其余样地(3, 5, 6, 7, 8, 9)均为水平阶改造过的自然草坡, 基本概况如表 1 所示。共设 18 个测点(每个样地设两个测点, 标记为 xx-1 和 xx-2), 其中 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 号样地的 xx-1 为水平阶面, xx-2 为阶间草坡, 1 号和 4 号样地的两个测定概况一致。同时为了分析土壤含水量对整地后土壤蒸发的影响, 对 1 号样地的 01-2 和 2, 6 号样地的 4 个测点(02-1, 02-2; 06-1, 06-2)于短期观测前一天(2003-04-20, 18:00)进行加水至饱和, 第二日早晨 8:00 测出其土壤含水率(相当于田间持水量), 连续观测 3 d。

土壤水分蒸发量的测定: 采用 -500 型土壤蒸发器(原状土柱)称重法进行, 长期观测期间为 2003-01-13~2004-01-13, 旱季每 15 d 测一次, 雨季每 10 d 测一次, 另外每次降雨后测一次。短期观测时期为 2003-04-21~2003-04-23 连续观测, 每天从 8:00~18:00, 每 2 h 观测一次。某时段土壤蒸发量的计算用蒸发器两次之间的重量差/蒸发器表面积+该时段降雨量。土壤含水率的测定: 采用 605X1 型(美国)时域反射仪(TDR)进行测定。

表 1 水平阶各样地其本概况

样地	2号	3号	5号	6号	7号	8号	9号
地形	坡面	坡面	坡面	山岭	山岭	坡面	山岭
坡度/°	13	13	12	6	9	11	12
坡位	坡上部	坡下部	坡中上部	坡中上部	坡中部	坡中部	坡中上部

3 结果与分析

土壤蒸发是土壤水分整个运动过程中的一种特殊形式的阶段。此阶段, 由于土壤与地表大气接触, 土壤水分运动与大气状况密切相关。土壤蒸发不仅受外界气象条件(太阳辐射、温度、地温、湿度、风速、降水及其入渗方式等)的影响, 还受土壤内在因素(土壤含水量、潜水埋深、土壤质地及结构、土壤色泽与地表特性、土壤中毛管的输送能力等)的影响。同时, 不同的坡度、坡位、坡向以及不同整地方式对土壤蒸发也有影响。所以本研究对水平阶微地形改造后的土壤蒸发特点进行研究。

3.1 水平阶整地对土壤蒸发的影响

3.1.1 土壤蒸发季节变化特征

选取 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 号样地的水平阶面月土壤蒸发量的平均值, 阶间草坡月土壤蒸发量的平均值和 1 号样地两测点的月土壤蒸发量平均值进行对比分析, 从表 2 可以看出, 土壤蒸发量与降水量的数量和温度有关。无论是水平阶整地后的水平阶面和阶间草坡, 还是对照自然草坡, 土壤蒸发量的最大值并不出现在降雨量最大(106.80 mm)的 9 月, 而是在温度较高和降雨量较大(100.75 mm)的 6 月, 总体而言, 影响土壤蒸发最大的是土壤水分条件, 土壤蒸发量随降雨量的增大而增大, 但同一时期内, 水平阶面、阶间草坡和自然草坡的土壤蒸发量又有差异, 水平阶面、阶间草坡、自然草坡的最大蒸发量分别占年降雨量的 10.75%、10.68% 和 10.73%, 年蒸发量分别占年降雨量的 57.92%、55.78% 和 56.03%, 年蒸发速率分别为 0.66 mm/d、0.63 mm/d 和 0.64 mm/d, 表现为水平阶面的土壤蒸发量最大, 阶间草坡的最小, 自然草坡介于二者之间, 这与地表植被覆盖程度和水平阶整地后改变降水的分配方式有关。

表 2 不同微地形 2003 年土壤蒸发量

测定时期	期间降雨量/mm	水平阶面		阶间草坡		自然草坡	
		蒸发量/mm	蒸发速率/(mm·d ⁻¹)	蒸发量/mm	蒸发速率/(mm·d ⁻¹)	蒸发量/mm	蒸发速率/(mm·d ⁻¹)
03-01-13-02-06	5.30	5.40	0.20	4.72	0.19	5.00	0.20
02-06-03-11	6.10	11.34	0.30	9.75	0.28	10.43	0.29
03-11-04-05	11.40	15.76	0.43	13.5	0.37	14.13	0.38
04-05-05-22	28.88	26.21	0.51	25.87	0.54	24.48	0.51
05-22-06-28	100.75	45.03	1.45	44.71	1.44	44.95	1.45
07-06-08-03	98.70	41.92	1.36	39.43	1.36	39.44	1.36
08-03-09-04	28.85	32.48	0.98	32.13	0.97	32.34	0.98
09-04-10-04	106.80	31.98	1.03	31.88	1.03	31.93	1.03
10-04-11-22	15.30	24.88	0.51	24.43	0.50	24.65	0.50
11-22-04-01-13	16.72	7.34	0.33	6.98	0.32	7.08	0.32
03-01-13-04-01-13	418.8	242.34	0.66	233.46	0.63	234.43	0.64

土壤蒸发的年内变化呈现出低-高-低趋势。1~5 月蒸发速率缓慢增加期, 该时期气温较低, 降水量较小, 占年降雨量的 12.34%, 土壤蒸发量和强度均不太大, 水平阶面、阶间草坡和自然草坡的土壤蒸发量分别占年降雨量的 14.02%、12.86%、12.90%; 6~9 月, 土壤蒸发量和蒸发速率较大, 该时期降雨量较多, 占年降雨量的 80.0%, 气温升高, 地表蒸发加强, 水平阶、阶间坡面和自然草坡分别占年降雨量的 36.15%、35.37% 和 35.50%, 研究区 8 月份的多年平均降雨量为 140.9 mm, 而该研究年份 8 月的降雨量仅为 28.85 mm, 因此 8 月份土壤蒸发速率明显下降; 10 月至翌年 1 月中旬为土壤蒸发速率减缓期, 该时期降雨量减少, 占年降雨量的 7.6%, 气温逐渐下降, 土壤蒸发强度减缓。水平阶面、阶间草坡和自然草坡的蒸发量分别占年降雨量的 7.69%、7.50% 和 7.58%。

3.1.2 土壤蒸发日变化特征

选取 3, 5, 6, 7, 8, 9 号样地, 分别对水平阶面和阶间草坡以及自然草坡(1 号样地)的土壤水分蒸发日变化进行分析。图 1 是 5 号样的水平阶和阶间坡面以及自然草坡第一天的土壤水分蒸发量日变化曲线, 其余样地不同微地形的土壤蒸发变化规律与 5 号样地一致。图 1 反映出, 在相同气候条件下, 水平阶面、阶间草坡和自然草坡的土壤蒸发量随时间具有一致的变化规律, 一天中, 从早上 8:00 到下午 14:00, 土壤水分蒸发量逐渐增加, 并且 14:00 达到最大值, 之后蒸发量逐渐下降。水平阶面、阶间草坡和自然草坡的峰值分别为: 0.38 mm、0.32 mm 和 0

35 mm, 这与一天的气温、风速和日照强度有关。第二、第三天的土壤蒸发变化规律和第一天一致, 但各天土壤蒸发量峰值各异, 这是由于自然界的大气蒸发力在一天之中以及天与天之间各异, 土壤蒸发随大气蒸发力的变化而变化。

对同时段内, 水平阶面、阶间草坡和自然坡之间的蒸发量进行方差检验得出 F 值为 5.402, 相伴频率为 0.008。说明水平阶整地后的水平阶面、阶间草坡和自然坡面的土壤蒸发有显著差异。从图 1 可看出一天中任意时段内水平阶面的土壤蒸发量均大于阶间草坡和自然草坡, 阶间草坡的土壤蒸发量最小。这是因为整地改变了土壤的自然物理状况, 加大土壤的空隙度, 使土壤中的水分可以自由活动, 表面植被的破坏也使土壤水分失去了一道保护屏障, 同时气象因子更容易与土壤中水分接触, 活跃水分促进水分的汽化, 使土壤水分子易于向空气中扩散, 土壤蒸发量增大。而对于自然坡面和阶间坡面而言, 由于进行水平阶整地集水措施后, 阶间草坡土壤水分条件得到改善, 植被生长状况优于自然草坡, 对地表土壤水分蒸发起到一定的抑制作用。从图 2 也可以看出水平阶面的土壤蒸发量均大于阶间草坡, 同时同一微地形下的土壤蒸发量又有差异, 例如 3、5、6、7、8、9 号样地水平阶面和阶间草坡的 3 天累积蒸发量分别为: 3.78 mm 和 3.45 mm、3.25 和 2.94 mm、5.82 mm 和 4.60 mm、3.19 mm 和 2.72 mm、1.90 mm 和 1.77 mm、3.54 mm 和 3.07 mm, 这是因为各样地坡度、地形、土壤质地及结构、土壤色泽及地表特性等存在差异。其中 6 号样地累积蒸发量与其余样地差异较大, 这与加水处理有关。

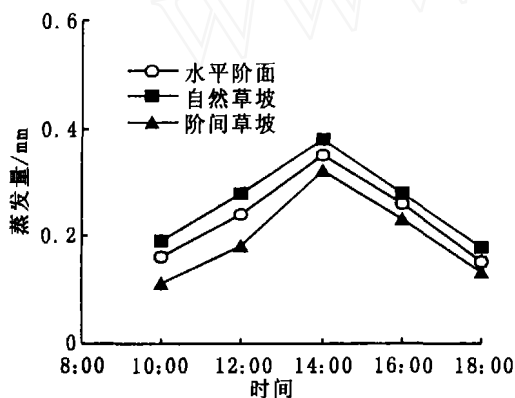


图 1 第一天不同微地形土壤蒸发日变化

3.1.3 不同地类土壤蒸发

选取 3、5、7、8、9 号样地阶间草坡任意时段土壤蒸发量的平均值和 4 号样地两测点同一时段的平均值与 01-1 相同时段的土壤蒸发量进行方差分析, 得出 F 值为 9.02, 相伴频率为 0.001, 这说明三种地类之间的土壤蒸发存在显著差异, 同时进一步对三者进行 LSD 检验, 结果表明自然草坡与桉树林坡面的差异 (Sigf 值为 0.000) 比阶间草坡与桉树林坡面的差异 (Sigf 值为 0.004) 大。自然草坡与阶间草坡没有显著差异 (Sigf 值为 0.242)。由图 3 可知, 桉树林坡面、自然草坡和阶间草坡 3 天的蒸发总量、平均每天的蒸发量分别为: 2.92 mm、0.97 mm; 2.82 mm、0.94 mm 和 1.90 mm、0.63 mm。其中每个时段桉树林地的蒸发总量、平均每天的蒸发量最大, 总蒸发量是阶间草坡的 1.5 倍, 阶间草坡的最小, 自然草坡介于二者之间。这主要是因为采取水平阶整地集水措施之后, 阶间草坡的植被覆盖优于自然草坡, 这样有利于减少地表蒸发。就桉树林地而言, 虽然树冠具有遮蔽阳光照射

的作用, 但是桉树林郁闭度较低, 地表几乎裸露, 致使土壤水分蒸发高于自然草坡和阶间草坡。

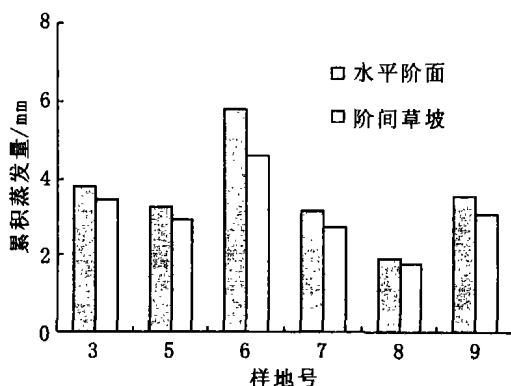


图 2 3 d 内水平阶面和阶间草坡土壤蒸发量

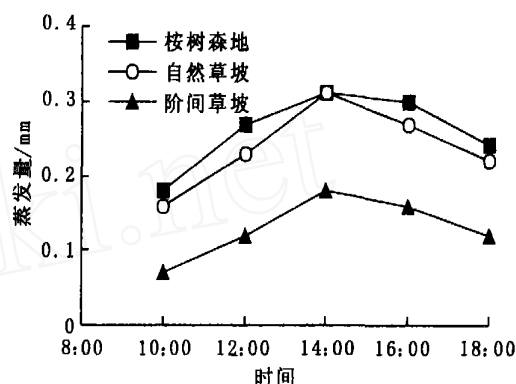


图 3 不同地类土壤蒸发日变化

表 3 3 种不同地类土壤蒸发过程回归计算结果

地类	经验公式 $Q = A T^b$	相关指数	F 值	Sigf 值
自然草坡	$Q = 0.1642 T^{0.7820}$	0.956	280.11 **	0.000
桉树林地	$Q = 0.1645 T^{0.7853}$	0.953	263.40 **	0.000
阶间草坡	$Q = 0.705 T^{0.8251}$	0.955	273.74 **	0.000

尽管 3 种不同地类的土壤水分蒸发特性存在一定的差异, 但 3 种地类的土壤蒸发累积量与蒸发历时之间的关系遵循 $Q = A T^b$, 式中: Q ——累积蒸发量 (mm); T ——蒸发历时 (小时数); A 、 b ——参数^[8]。根据所测数据进行回归分析, 各地类的参数又有所不同, 各地类的土壤累积蒸发量与蒸发历时的经验公式如表 3 所示。

3.1.4 土壤湿度对土壤蒸发的影响

土壤水分蒸发的过程就是土壤水分通过土壤表面进入大气, 从而造成土壤水分逐渐减少, 土壤表层逐渐变干的过程。当土壤水分饱和时, 表层土壤蒸发所消耗的水分得到充分补给, 蒸发率稳定少变^[9], 随后土壤蒸发不断消耗水分, 土壤蒸发量大于 (或接近) 地表水面蒸发量, 当土壤含水量逐渐减少, 土壤蒸发也随着土壤含水量的减少而降低, 表 4 也反映出这样的规律。当土壤含水量减小至非饱和和渗透系数接近于零时, 土壤蒸发完全以水汽扩散方式进行, 此时蒸发一般极其缓慢。因此, 土壤含水量是土壤水分蒸发的最主要的控制性影响因素^[9]。对水平阶面和阶间草坡的土壤含水率与土壤蒸发量进行相关性分析, 得出水平阶在 0.05 显著水平时, 相关系数为 0.904; 阶间草坡在 0.01 显著水平时的相关系数为 0.985, 二者均为正向相关。这表明水平阶整地后, 水平阶面和阶间坡面

的土壤蒸发量与土壤的含水率均密切相关, 土壤含水率高, 蒸发量相应增大; 土壤含水率低, 蒸发量相应减小。

表 4 不同土壤含水率条件下的土壤蒸发量

测点	地类	第一天(8:00~18:00)		第二天(8:00~18:00)		第三天(8:00~18:00)	
		最大蒸发量/mm	土壤含水率/%	最大蒸发量/mm	土壤含水率/%	最大蒸发量/mm	土壤含水率/%
01-2	自然草坡	0.995	26.99	0.863	24.70	0.597	21.72
02-1	水平阶	1.239	27.74	0.840	24.43	0.531	21.70
02-2	阶间草坡	0.929	26.43	0.797	23.83	0.641	21.94
06-1	水平阶	0.509	20.19	0.487	17.80	0.464	15.63
06-2	阶间草坡	0.464	15.74	0.420	13.64	0.332	11.58

3.1.5 不同坡位对土壤蒸发的影响

选取同一坡向、坡度下阶间草坡和水平阶面坡上部(2号样地)和坡下部(3号样地)的土壤蒸发进行比较分析, 研究表明阶面和阶间不同坡位的土壤水分蒸发速率年变化规律一至。从图 4 看出无论是旱季还是雨季, 坡上部的土壤蒸发速率均小于坡下部, 但对不同坡位间的土壤蒸发速率进行方差分析, 得出自由度为 23, F 值为 0.200, 相伴频率为 0.659, 这说明不同坡位间的土壤蒸发没有显著差异。这是因为研究区不同坡位间的高差较小。

3.2 自由水面蒸发

对加水至饱和的测点和研究区水面蒸发量进行测定, 得出第一天、第二天、第三天 8:00~18:00 水面蒸发量和饱和土壤蒸发量依次分别为: 8.05 mm、8.91 mm、7.76 mm 和 2.95 mm、2.42 mm、2.00 mm。饱和土壤日均蒸发量约为 2.46 mm/d, 日均水面蒸发量为 8.24 mm/d, 是饱和土壤蒸发量 3.35 倍。这主要是由当地既干又热的特殊气候环境决定。在 3 天的观察中, 水面蒸发量值变化较大, 这是因为除温度和风外, 其蒸发量还受当天云量影响。

4 结 论

以上结果分析表明:

(1) 整地初期, 水平阶面、阶间草坡和自然草坡间土壤蒸发的季节变化和日变化规律一致, 但同时段内三者的土壤蒸发量存在差异。土壤蒸发量的年内变化呈现低(1~5月)-高(6~9月)-低(10~12月)趋势。土壤蒸发量的最大值在 6 月, 这与 2000 年该区研究的土壤蒸发量最大值出现在 7 月的结论提前了一个月^[6], 这是由于本研究年是该地区 50 年一遇的大旱年份, 7 月份降雨极少, 6 月份降雨稍高, 而 6、7 两月的气温相差不大。土壤蒸发的日变化规律为: 从早上 8:00 到下午 14:00, 土壤水分蒸发量逐渐增加, 并且 14:00 达到最大值, 之后蒸发量逐渐下降。为此灌溉时间应选择土壤蒸发量较小时段。土壤蒸发的季节变化和日变化均表现出同时段水平阶面的土壤蒸发量最大, 阶间草坡的最小, 自然草坡界于二者之间。而水平阶地能在较短时间内拦蓄降雨并就地入渗, 使阶面的储水量高于坡面^[10,11], 这说明储水量的增加并不是靠减少土壤蒸发量, 而是水平阶面拦蓄降雨, 增加降雨入渗, 减少径流的作用, 同时也反映出三者间土壤蒸发量的差异主要是由地表的植被状况引起的。因此整地初期, 阶面应采取适当抑制蒸发的措施^[12], 从而提高径流的利用率, 至于整地后期, 待阶面植被生长良好时, 水平阶地地对土壤蒸发是否有影响还有待研究。

午 14:00, 土壤水分蒸发量逐渐增加, 并且 14:00 达到最大值, 之后蒸发量逐渐下降。为此灌溉时间应选择土壤蒸发量较小时段。土壤蒸发的季节变化和日变化均表现出同时段水平阶面的土壤蒸发量最大, 阶间草坡的最小, 自然草坡界于二者之间。而水平阶地能在较短时间内拦蓄降雨并就地入渗, 使阶面的储水量高于坡面^[10,11], 这说明储水量的增加并不是靠减少土壤蒸发量, 而是水平阶面拦蓄降雨, 增加降雨入渗, 减少径流的作用, 同时也反映出三者间土壤蒸发量的差异主要是由地表的植被状况引起的。因此整地初期, 阶面应采取适当抑制蒸发的措施^[12], 从而提高径流的利用率, 至于整地后期, 待阶面植被生长良好时, 水平阶地地对土壤蒸发是否有影响还有待研究。

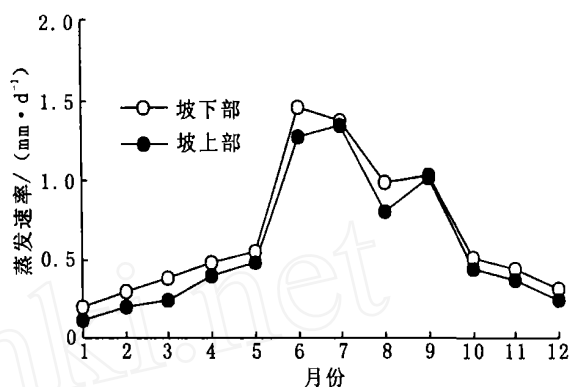


图 4 阶间草坡不同坡位土壤蒸发季节变化曲线

(2) 按树林坡面的土壤蒸发量均大于水平阶改造后的阶间草坡和自然草坡, 阶间草坡的最小, 这与该地区其它研究结论按树林地的土壤蒸发量小于自然草坡^[6]的结论不一致, 这是因为本研究的按树林地植被郁闭度很小, 地表几乎裸露, 而阶间草坡和自然草坡的地表草被覆盖明显比按树林高, 抑制了土壤蒸发。各地类土壤累积蒸发量与蒸发历时的关系为: 自然草坡 $Q = 0.1642T^{0.782}$; 按树林坡面 $Q = 0.1645T^{0.785}$; 阶间草坡 $Q = 0.705T^{0.825}$ 。

(3) 水平阶面、阶间草坡和自然坡面的土壤蒸发量均随土壤含水率的增大而增大, 随土壤含水率的减小而减小。

(4) 同一坡向、坡度下, 水平阶面和阶间草坡不同坡位间的土壤蒸发量没有显著差异。

(5) 干热河谷典型的干热气候致使自由水面蒸发量是饱和土壤蒸发量 3.35 倍。

参考文献

- [1] 黄成敏, 何毓蓉. 云南省元谋干热河谷的土壤抗旱力评价[J]. 山地研究, 1995, 13(2): 79-84
- [2] 张治国. 晋西黄土丘陵沟壑区水平阶造林减水减沙效益研究[J]. 中国水土保持, 1999, (1): 24-25
- [3] 白岗桢. 陕北丘陵沟壑区不同整地方式对果树生长环境的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(7): 11-14
- [4] 穆兴民, 陈霁伟. 黄土高原水土保持措施对土壤水分的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 39-44
- [5] 张贤明, 董文达. 江西红壤坡地果园水土保持措施效益之研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(2): 102-104
- [6] 王克勤. 集水造林与水分生态[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002
- [7] 陈奇伯, 王克勤, 等. 金沙江干热河谷不同类型植被改良土壤效应研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 67-70
- [8] 常宗强, 王有科, 等. 祁连山水源涵养林土壤水分蒸发性能[J]. 甘肃科学学报, 2003, 15(3): 68-72
- [9] 王政友. 土壤水分蒸发的影响因素分析[J]. 山西水利, 2003, (2): 26-29
- [10] 石生新. 整地造林措施对强化降雨入渗及减沙的影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 4(2): 45-49
- [11] 赵合理, 蒋定生. 同水土保持措施对坡面降水再分配的影响[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 76-83
- [12] 王改玲, 郝明德, 等. 不同覆盖物和蒸发抑制剂对土壤蒸发影响的研究初报[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 134-136