

甘肃民勤地区不同地下水埋深花棒蒸腾耗水研究

张志强¹, 王盛萍¹, 贾宝全², 赵 明³, E. Klaghofer⁴

(1. 北京林业大学水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 3. 甘肃省治沙研究所, 甘肃 武威 733000; 4. The Federal Institute for Land and Water Management Research, A-3252, Petzenkirchen, Austria)

摘要:采用非称重式地下水恒位补偿蒸渗仪稳定供水系统、气候观测、土壤含水量测定等方法,研究了 1995 年分别定植于地下水埋深为 1.6m、2.6m 和 3.6m 蒸渗仪栽培池中的 1 年生花棒(*Hedysarum scoparium*)从 1995 年至 2000 年单株的蒸腾耗水规律。结果表明:(1)花棒不同生长阶段(年龄)蒸腾耗水对地下水埋深具有不同的响应特点。1 年生花棒 2.6m 和 3.6m 地下水埋深条件下蒸腾量分别比 1.6m 高出 188.35mm 和 113.7mm;4 年生花棒蒸腾耗水量比 1 年生有显著增长,1.6m、2.6m 和 3.6m 地下水埋深的花棒蒸腾量分别为 440.96mm、397.78mm 和 471.88mm,较 1 年生增长了 3.5 倍、0.39 倍和 1.2 倍;6 年生各地下水埋深蒸腾量有不同程度的下降或稳定趋势,2.6m 和 3.6m 埋深分别比 4 年生下降了 16.3%和 36.7%,而 1.6m 埋深几乎不变;(2)生长季花棒蒸腾耗水占全年蒸腾量的绝大部分,但由于受气候、不同生长阶段植物生理生态以及土壤含水量分布等的影响,各水位 1 年生和 6 年生花棒生长季蒸腾耗水主要集中在径生长期(7~8 月份),而 4 年生花棒各水位条件下生长季不同阶段蒸腾耗水相差不大,同一生长季内各水位间的蒸腾耗相较小;(3)生长季花棒蒸腾耗水量与环境因子单因素关系分析表明,不同地下水埋深条件下花棒蒸腾耗水主要相关因子不尽相同,但其机理仍需进一步研究。

关键词:花棒; 非称重式地下水恒位补偿蒸渗仪; 蒸腾耗水量; 动态变化

Tree-scale transpiration dynamics of *Hedysarum scoparium* in response to growth stage, groundwater table depth, and climate in a semi-arid environment in northwestern China

ZHANG Zhi-Qiang¹, WANG Sheng-Ping¹, JIA Bao-Quan², ZHAO Ming³, E. Klaghofer⁴ (1. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100033; 2. Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091; 3. Guansu Institute of Desertification Combating, Wuwei 733000; 4. The Austrian Federal Institute for Land and Water Management Research, Austria). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(4): 736~742.

Abstract: Natural precipitation is often limited and groundwater can be a very important water source for vegetation reestablishment and growth in the dryland regions. Therefore, quantifying water use by plant transpiration under different ground water tables helps to understand responsive mechanism of plant growth to various ground water regimes. One year-old seedlings of *Hedysarum scoparium* were planted in 1995 and single tree transpiration dynamics under constant water tables of 1.6 m, 2.6 m, and 3.6 m were measured during 1995~2000 using non-weighing constant water table lysimeters. Three replications for the lysimeters with 1.6 m water table depth, and four for lysimeters with 2.6 m and 3.6 m water table depths were employed for transpiration measurement while two replications were used for bared soil evaporation measurements only under each of the three water table depths. Tree transpiration was estimated as the difference between water losses from the lysimeters with tree and without tree. In addition, climatic factors such as precipitation, wind speed, relative humidity,

基金项目:国家“十五”攻关研究资助项目(2002BA517A09)和国家自然科学基金资助项目(39990490,30070601)

收稿日期:2003-07-08;修订日期:2004-01-15

作者简介:张志强(1967~),男,内蒙古人,博士,副教授,主要从事生态水文、侵蚀控制与流域管理研究。E-mail:zhqzhang@bjfu.edu.cn

Foundation item: “Tenth 5 Year” National Key Research Program on Development of Desertification Combating Techniques (Grant No. 2002BA517A09) and National Natural Science Foundation of China (Grant No. 30070601 and 39990490)

Received date: 2003-07-08; **Accepted date:** 2004-01-15

Biography: Zhang Zhi-Qiang, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in research and teaching in the area of ecohydrology, soil erosion control and watershed management.

sunshine hours, and soil moisture content were measured. This study suggested that transpirations of *Hedysarum scoparium* varied significantly in response to groundwater table depth and plant ages. For the 1 year old *Hedysarum scoparium*, annual transpiration water loss under the 2.6m, 3.6m water table cases were estimated as 188.4mm and 113.7 mm higher when the water table depth was set as 2.6m, 3.6m than that when the water table depth was set as 1.6 m, respectively. The transpiration rates of the 4 year old trees under the 1.6m, 2.6 m, and 3.6m water table condition were 441.0 mm, 397.8 mm, and 471.9 mm respectively. When compared to the 1 year old trees under the same water table conditions, these transpiration rates represent 3.5, 0.4, and 1.2 folds increases, respectively. However, transpirations of the 6 year old trees under the 1.6 m, 2.6 m and 3.6 m water table regimes became unchanged, decreased by 16.3%, and 36.7%, respectively, when compared to the 4 year old trees under the same water table conditions. This study also found that transpiration in the growing season accounted for most of the annual plan water losses, and seasonal plant transpiration varied greatly due to differences in plant age, climatic variations, and plant ecophysiological characteristics. During the diameter growth season from July to August, transpiration of the 1 year old and 6 year old trees accounted for 39.2% to 62.7% from the whole year. However, transpiration rates of the 4 year old trees did not have much variations (1.9%~4.5%) during the May~June, July~August, and September-October, time periods. Regression analysis suggested that the relationships between growing season transpiration and environmental factors varied with different water table conditions. The combined effects of groundwater table depth and environmental factors on plant transpiration dynamics remained unclear.

Key words: *Hedysarum scoparium*; non-weighing constant water table lysimeter; transpiration; water use

文章编号:1000-0933(2004)04-0736-07 中图分类号:S793.9 文献标识码:A

地下水对土壤-植物-大气系统的水分运移和水量转化的影响是目前水文生态研究的热点问题之一^[1,2]。由于可供植物吸收利用的有效降水相当有限,水分成为干旱地区植物生长的主要限制性因子,地下水通过影响土壤含水量分布间接影响植物根系分布及生长,从而影响植物地上部分生物产量和水分利用效率。研究干旱半干旱地区植物蒸腾耗水变化对不同地下水埋深的响应过程对于选择抗旱性强的植被建设树种,提高干旱地区造林成活率具有十分重要的意义。植物耗水常用的研究方法包括液流仪、稳态气孔计、称重式蒸渗仪等,各种方法具有不同的适用条件和优缺点^[3~6]。蒸渗仪基于水量平衡原理,直接测定水分渗漏量,并可对渗漏水量中各种物质含量进行监测,因此不仅在生态系统水量平衡而且在环境污染方面也都得到了十分广泛的应用^[7~9]。花棒(*Hedysarum scoparium*)作为干旱地区分布较广、固沙造林普遍采用的主要树种之一,尽管以往对其生态学特性、育苗和造林技术^[10]及其抗旱生理做了一些初步研究^[11~13],但没有对其长期的蒸腾特征,特别是在不同地下水位埋深条件下的蒸腾耗水规律进行研究。本文采用非称重式地下水恒位补偿蒸渗仪研究了不同地下水埋深花棒蒸腾耗水规律,分析了不同地下水埋深花棒蒸腾耗水年际变化特点,花棒在不同生长阶段和不同地下水埋深条件下的蒸腾耗水季节变化,最后分析了不同地下水埋深花棒蒸腾耗水年际变化、季节变化与环境因子的相关性。

1 试验地概况

试验地位于甘肃省民勤县境内,该区地处腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠交汇处,年均降水量 115mm,多集中于 7、8、9 三个月;干燥度 5.3,年均潜在蒸发量 2643.9mm,为降水量的 23 倍;年均气温 7.8℃,最高气温 38.1℃,最低气温 -28.8℃;无霜期 139d,风沙日数 139d,沙暴日数 37d;土壤为风沙土,地下水埋深 10m 以下。

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

花棒(*Hedysarum scoparium*)主要分布于我国内蒙古的巴丹吉林沙漠,甘肃、内蒙古自治区、宁夏三省区的腾格里沙漠及甘肃河西走廊沙地,多自然分布于流动沙丘和半固定沙丘上。它不仅具有重要的经济价值,而且具有较强的抗旱性,在含水率 2%~3%流沙仍能正常生长,是沙区主要固沙造林灌木。因此,本试验选取花棒为供试树种,于 1995 年定植于甘肃民勤地区沙生植物园不同设计地下水埋深的非称重式地下水恒位补偿蒸渗仪栽培池中。

2.2 试验方法

2.2.1 蒸腾量的测定 本研究采用一组非称重式地下水恒位补偿蒸渗仪测定植物蒸腾量。蒸渗仪具有相同的开口形状与尺寸,蒸发散面积一致,为 120×120cm²,试验设计了 1.6、2.6、3.6m 地下水埋深,栽有植物的蒸渗仪测定蒸发散量,每一埋深都有相应的空白(无植株栽培)蒸渗仪来测定土面蒸发量,蒸发散量减去土壤蒸发量即可求出植物蒸腾量。观测时间从 1995~2000 年,每天 3:00、09:00、17:00、21:00 分时段观测记录蒸渗仪测读瓶供水量。1.6m 水位埋深包括 2 个空白,3 个花棒重复;2.6m 水位包括 2 个空白,4 个重复;3.6m 水位包括 2 个空白,4 个重复,试验布设如图 1 所示。

基于水分平衡原理的非称重式地下水恒位补偿蒸渗仪由栽培池和地下水恒位补偿装置两部分组成。栽培池用来栽培植物,并提供一个地下水埋深恒定、土壤水分稳定的植物生长环境;当蒸发散或蒸发引起栽培池土壤含水率降低时,地下水恒位补偿装置自动补给贮水层水分,使贮水层水位恒定不变,通过测读瓶可直接测读补给贮水层的水量,试验装置如图 2 所示。

栽植物池的水分平衡方程:

$$P + Q_1 + W_{11} = E_{et} + D_1 + W_{12} \tag{1}$$

空白池水分平衡方程:

$$P + Q_2 + W_{21} = E_e + D_2 + W_{22} \tag{2}$$

式中, P 为降水量; Q_1 、 Q_2 分别代表栽培池和空白池地下水补给量; D_1 、 D_2 分别代表栽培池和空白池的渗漏量; W_{11} 、 W_{21} 分别代表栽培池和空白池某段时间之前的土壤含水量; W_{12} 、 W_{22} 分别代表栽培池和空白池某段时间之后的土壤含水量; E_{et} 代表蒸散量; E_e 代表蒸发量。

(1)式可求算植物蒸散量,(2)式可求算沙面蒸发量,(1)~(2)即可求得植物蒸腾量,即:

$$E_t = E_{et} - E_e = (Q_1 - Q_2) + (D_2 - D_1) + (\Delta W_2 - \Delta W_1) \tag{3}$$

式中, ΔW_1 、 ΔW_2 分别代表栽培池和空白池某段时间之内的土壤水分变化量; E_t 代表蒸腾量。由于保持地下水埋深恒定,栽培池内土壤水分含量相对稳定,因此,从长期来看栽培池内土壤水分变化量可视为 0(栽有植物的和空白池),因此方程(3)可简化为(4)式:

$$E_t = (Q_1 - Q_2) + (D_2 - D_1) \tag{4}$$

根据(4)式即可计算出植物蒸腾量。

2.2.2 植物蒸腾耗水数据处理 采用该装置可能出现“假蒸散”现象,即非生长季节出现较大的蒸散量(12月出现至次年3月逐渐消失),因此,在数据分析之前须剔除12月至翌年2月的观测值,以保证分析结果的正确性。

2.2.3 气象因子测定 采用民勤治沙站气象站资料,包括气温、相对湿度、风速、日照时数、有效降水量。

2.2.4 土壤含水量的测定 采用烘干称重法。

3 结果与分析

3.1 不同地下水埋深条件下花棒蒸腾耗水年际变化

图 3 表示的是花棒蒸腾耗水的年际变化情况。从图中可看出,随着定植年限的不同,不同地下水埋深条件下花棒蒸腾耗水量呈现出不同的变化特点。定植当年(1年生),2.6m 和 3.6m 地下水埋深条件下的花棒蒸腾量分别比 1.6m 水位的高出 188.35mm 和 113.7mm;随着年龄的增长,至 1998 年(4年生)各水位蒸腾耗水量均有显著增加,1.6m 水位、3.6m 水位花棒蒸腾量分别为 440.96mm 和 471.88mm,比 1995 年(1年生)的 97mm 和 210.70mm 增长了 3.5 倍及 1.2 倍,而 2.6m 的 397.78mm 比 1995 年的 285.35mm 增长 39%;至 2000 年(6年生)各水位的蒸腾量有不同程度的下降或稳定趋势,2.6m、3.6m 水位蒸腾耗水量分别比 1998 年下降了 16.3%、36.7%,而 1.6m 水位的变化不大(表 1)。从曲线整体来看,1.6m、3.6m 水位年际蒸腾耗水量变化较大,而 2.6m 水位变化较平缓。

气候、土壤以及植物生理生态等诸多因素导致了地下水-土壤水-植物水分利用及其分配的复杂性,地下水埋深通过影响土壤含水量分布间接影响植物根系分布及生长状况^[14~16],从而影响根系有效吸水能力。图 4 为不同地下水埋深条件下土壤含水量分布曲线。各年龄或同一年龄花棒在不同地下水埋深条件下蒸腾耗水

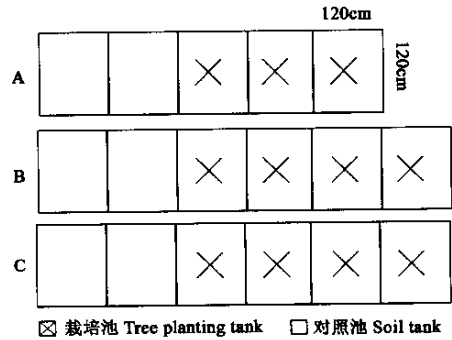


图 1 非称重式地下水恒位补偿蒸渗仪观测场

Fig. 1 Experimental layout of non-weighting constant water table Lysimeters

A: 1.6m 水位 water table; B: 2.6m 水位 water table; C: 3.6m 水位 water table

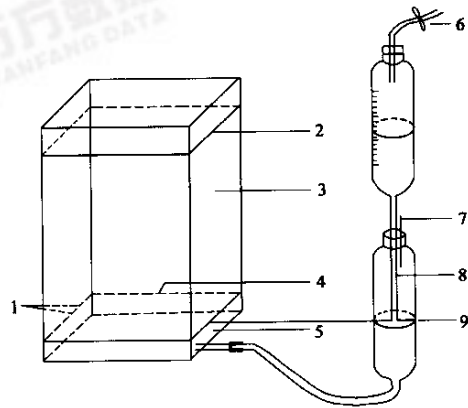


图 2 地下水恒位补偿蒸渗仪结构示意图

Fig. 2 Structure of non-weighting constant water table Lysimeter

1. 排水管 drainpipe; 2. 沙面 sand surface; 3. 沙体 sand; 4. 地下水水位 water table; 5. 贮水层 storage layer; 6. 供水系统 water supply; 7. 进气管 vent-pipe; 8. 水位控制管 water control pipe; 9. 自由水面 free water

表 1 不同地下水埋深花棒蒸腾耗水年际变化

Table 1 Annual transpiration of <i>Hedysarum scoparium</i> under different water tables (mm)						
地下水埋深(m) Water table	年份 Year					
	1995	1996	1997	1998	1999	2000
1.6	97.00	250.19	273.03	440.96	422.30	448.84
2.6	285.35	191.20	326.79	397.78	380.60	332.91
3.6	210.70	228.25	300.04	471.88	350.30	298.80

呈动态变化;定植当年,植物根系较浅,根系吸水能力较弱,当地下水埋深为 1.6m 时潜水蒸发强烈,因此,尽管在整个生长季内土壤剖面含水量较高,但由于其强烈的潜水蒸发作用难以被植物利用,蒸腾量小;而水位埋深在 2.6m 时,能够被植物有效利用,蒸腾量较大;当地下水埋深 3.6m 时,植物根系层含水量相对较小,蒸腾量居中。

随着植物生长发育生理需水增加,各水位埋深条件下植物蒸腾耗水逐步上升。到一定年龄(1998 年)以后,在各水位栽培池土壤水分环境一定的条件下,不同水位植物所受水分胁迫程度不同:1.6m 水位花棒根系较其它水位靠上层分布,土壤含水量较大导致根长密度较大,根系吸水强度较大^[17],受水分胁迫程度低,蒸腾耗水量大且能保持稳定;2.6m 水位根系较 1.6m 水位靠下层分布,有关研究表明根系有效吸水效率随深度增加而递减的趋势^[14],另一方面根系层可供利用水较 1.6m 水位的少(图 4),同一深度上(如 1.6m 土深)含水率最大能相差 22.16%,根土水势差较低,根系吸水少,植物所受水分胁迫较大,因此蒸腾耗水量较小,且胁迫越大蒸腾越小。同样,3.6m 水位栽培池的花棒蒸腾量也减少。

3.2 不同地下水埋深花棒蒸腾耗水季节变化

从上面的分析可以看出,各水位花棒蒸腾耗水年际变化规律大体分为前后两个阶段:1995 年至 1998 年蒸腾耗水逐渐增加阶段以及 1998 年后有所下降或维持不变。据此,选择 1995 年(1 年生)、1998 年(4 年生)、2000 年(6 年生)3 个生长阶段进一步分析各水位花棒蒸腾耗水特性季节变化及其与外界环境条件的关系。

图 5、图 6、图 7 是花棒在不同生长阶段年蒸腾耗水变化过程。从图中可以看出,花棒蒸腾耗水主要发生在生长季的 4 月至 10 月。1 年生花棒 2.6m 和 3.6m 水位蒸腾耗水明显比 1.6m 水位的蒸腾耗水量大;4 年生花棒不同地下水埋深蒸腾耗水相差不大,且各水位均较 1 年生花棒蒸腾量有较大的增加;6 年生花棒 1.6m 水位埋深条件下蒸腾耗水量最大,全年达 448.84mm,比 2.6m 和 3.6m 水位的分别高出 115.93mm 和 150.04mm。

按照花棒物候特点,将花棒生长季蒸腾耗水大致分为 3 个时期,即生长季前期、中期、后期,各生长阶段(树龄)蒸腾量占全年蒸腾量的比值如表 2 所示。

表 2 不同生长阶段不同水位花棒生长季各阶段蒸腾量占全年蒸腾量比值

Table 2 Growth season transpiration of <i>Hedysarum scoparium</i> under different water tables in 1995, 1998, 2000									
水位(m) Water table	生长季前期(4~6 月份)(%) April~June			生长季中期(7~8 月份)(%) July~August			生长季后期(9~10 月份)(%) September~October		
	1995	1998	2000	1995	1998	2000	1995	1998	2000
1.6	30.8	22.9	31.4	62.7	31.5	39.2	4.5	34.0	27.4
2.6	29.2	22.0	21.8	43.8	31.0	51.0	21.0	35.3	25
3.6	28.4	18.4	28.4	57.7	34.6	48.3	28.0	33.4	17

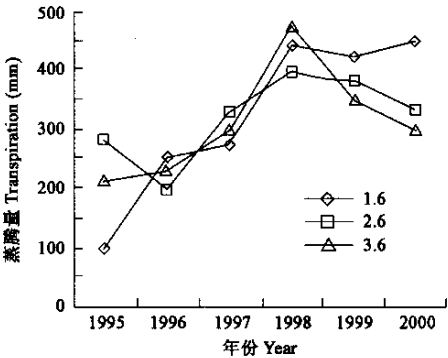


图 3 不同地下水位花棒蒸腾量年际变化

Fig. 3 Annual transpiration of *Hedysarum scoparium* under different water tables

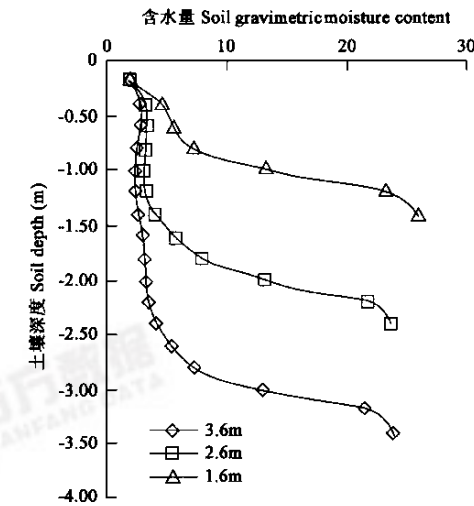


图 4 不同地下水位土壤剖面含水量变化图

Fig. 4 Soil moisture distribution under different water tables

从表中可以看出,各水位 1a 生和 6a 生花棒生长季蒸腾耗水主要集中在中期(7~8 月份,径生长期)。1a 生花棒生长季前期(高生长期)1.6m、2.6m 水位蒸腾耗水占全年耗水比例较 3.6m 的大,说明 3.6m 水位栽培池在该生长季前期供给植物生长耗水能力不及其它水位,该水位下植物高生长有可能受影响;生长季后期,1.6m、2.6m、3.6m 水位蒸腾量占全年比值又依次递增,1.6m 与其他水位相差较大,说明随着气温的降低,浅层土壤温度降低,浅水位花棒根系蒸腾耗水受其影响而降低,而深水位花棒根系相对较深,蒸腾受影响较小。4a 生花棒各水位条件下生长季不同阶段蒸腾耗水相差不大,同一生长季内各水位间的蒸腾耗水仅相差 1.9%~4.5%,这说明随着花棒的生长发育,其根系吸水能力增强,各水位植物根系能伸及深层含水量较高土壤,植物根系吸水能力较强能削弱 1.6m 水位潜水蒸发对蒸腾的影响,2.6m、3.6m 水位植物虽然上层土壤含水率较低,但较大的根系吸水面积及深层根系吸水也能弥补上部根系的吸水,因此各水位均能最大程度的满足植物生长季各阶段的生理需水,水位的差异不会导致植物生长季内各阶段蒸腾耗水的明显差异;6 年生花棒生长季中期各水位蒸腾耗水量较大,分别占全年蒸腾量的 39.2%,51.0%,48.3%,比较不同水位,除 1.6m 水位生长季各阶段蒸腾耗水比较接近外,2.6m、3.6m 水位各阶段蒸腾耗水相差较大。

3.3 影响花棒蒸腾耗水环境因子关系分析

3.3.1 生长季蒸腾总量与环境因子的关系 在水分供给条件相对稳定条件下,植物蒸腾耗水主要与自身生理特点以及外部气候环境因子有关。为了探讨不同地下水埋深条件下植物蒸腾耗水对环境因子变化的响应,将环境因子数据与蒸腾量数据标准化处理后进行二者的相关性分析,表 3 为各水位下生长季蒸腾耗水总量(1995~1999 年)与各年气象因子相关分析得出的相关系数表。从表 3 中可以看出,以 $\alpha=0.05$ 的显著水平检验,生长季日均温与 1.6m 水位的生长季蒸腾耗水总量相关系数达 0.906,生长季日均风速与 2.6m 水位生长季蒸腾耗水总量负相关,相关系数达 0.9145,其余环境因子与各水位生长季蒸腾耗水总量没有显著相关关系。造成这种现象的原因可能与花棒根系吸水能力以及土壤水分垂直分布不同有一定的关系,1.6m 水位对气温变化较敏感,生长季日均气温越高,蒸腾总量就越大,该水位蒸腾量虽与风速无显著相关性,但相关系数仍高达 0.875;2.6m 水位蒸腾耗水对 1.8m/s~2.5m/s 范围内的风速变化较敏感,生长季日均风速越大,蒸腾越小,与日均温无相关性;3.6m 水位植物则对气温变化、风速变化均较不敏感。

3.3.2 蒸腾量季节变化与环境因子的关系 从前面的分析知道,各水位花棒生长季内蒸腾耗水随气温回升呈现增大的趋势,将不同生长阶段不同地下水埋深花棒蒸腾量的季节变化与环境因子的季节变化进行相关性分析可以看出,各地下水埋深条件下花棒蒸腾耗水季节变化与日均温变化存在极显著相关性(如表 4)。从表 4 可以看出随着年龄的增加,各水位上的相关系数总体上呈减小的趋势,这说明随着植物生长发育及其对水分生态环境的适应。

4 结论 万方数据

植被蒸腾不仅与植物体不同生长阶段本身生理特征有关,同时也与其所处的环境条件密切相关。首先,花棒蒸腾耗水年际

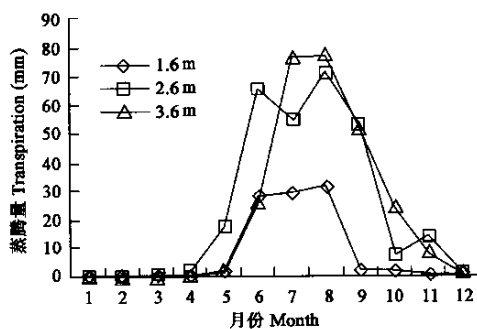


图 5 1995 年花棒不同地下水位蒸腾量季节变化

Fig. 5 Monthly dynamic of *Hedysarm scoparium* transpiration under different water tables in 1995

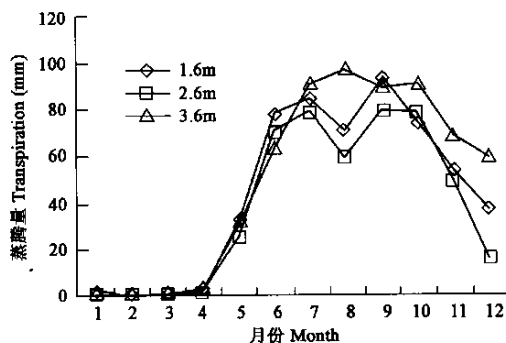


图 6 1998 年不同地下水位花棒蒸腾量年际变化

Fig. 6 Monthly dynamic of *Hedysarm scoparium* transpiration under different water tables in 1998

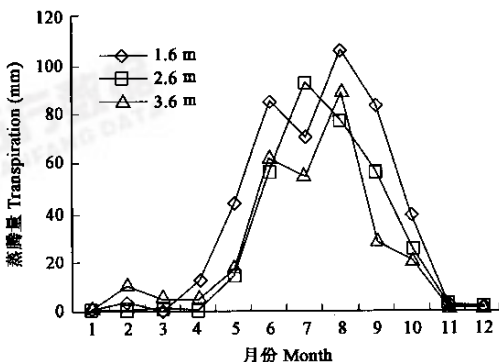


图 7 2000 年不同地下水位花棒蒸腾量年际变化

Fig. 7 Monthly dynamic of *Hedysarm scoparium* transpiration under different water tables in 2000

表 3 不同水位花棒蒸腾量与环境因子生长季(4~10 月份)相关系数表

Table 3 Correlation coefficient between *Hedysarum scoparium* transpiration and environmental factors under different water tables during growth season(April~October)

水位 Water table	日均温 DMAT	日均相对湿度 DMRH	日均风速 DMWS	日照总时数 DMS	有效降水量 EP
1. 6	0. 9060 *	—0. 1618	—0. 8752	0. 0826	0. 4768
2. 6	0. 5045	—0. 736	—0. 9145 *	0. 6748	—0. 3225
3. 6	0. 5945	—0. 3898	—0. 7897	0. 3137	—0. 0678

DMAT-Daily mean air temperature; DMRH -Daily mean relative humidity; DMWS-Daily mean wind speed; DMS-Daily mean sunlight; EP-Effective precipitation; $\alpha=0. 05$, * 表示显著相关, * marked correlated

变化大体分为 1~4 年生耗水逐渐增加和 4~6 年生有所下降或维持不变。1 年生花棒 1.6m、2.6m 和 3.6m 地下水埋深条件下蒸腾量分别为 97.00mm、285.35mm、210.70mm,4 年生分别为 440.96mm、397.78mm 和 471.88mm,比 1 年生分别增加了 3.5、0.39 和 1.2 倍。与 4 年生相比,6 年生各地下水埋深蒸腾量有不同程度的下降或稳定趋势,2.6m、3.6m 埋深蒸腾耗水量分别比 4 年生下降了 16.3%,36.7%,而 1.6m 埋深的蒸腾耗水几乎不变。其次,从蒸腾耗水年内变化情况看,生长季蒸腾耗水占全年蒸腾量的绝大部分,但不同生长阶段(年龄)生长季蒸腾耗水变化具有不同的特点。1 年生花棒生长季前期(高生长期)1.6m、2.6m 水位花棒蒸腾耗水占全年耗水比例较 3.6m 的大,生长季后期 1.6m、2.6m、3.6m 水位蒸腾量占全年比值又依次递增;4 年生各水位条件下花棒生长季不同阶段蒸腾耗水相差不大,同一生长季内各水位间的蒸腾耗水仅相差 1.9%~4.5%;6 年生花棒生长季中期各水位蒸腾耗水量较大,分别占全年蒸腾量的 39.2%,51.0%,48.3%。花棒蒸腾耗水并非仅取决于土壤含水量,而与根系密度及其分布、根土水势差有关。此外,蒸腾耗水环境因子相关分析表明,1.6m 与 2.6m 埋深条件下的生长季蒸腾耗水总量分别与生长季日均温、生长季日均风速呈显著相关关系,而与其余环境因子没有显著的相关关系,这一现象的内在机理有待于进一步研究。

References:

[1] Yang J F, Li B Q, Liu S P. Review on progress of groundwater effects on evapotranspiration in farmland. *Transactions of CSAE*, 2000, **16**(3):45~49.

[2] Yang J F, Li B Q, Preliminary studies on groundwater effects on SPAC system in shallow groundwater field. *J. Water Conservancy*, 1997,(7):27~32.

[3] Rana G, Katerji N. Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: A Review. *European Journal of Agronomy*, 2000,**13**(2~3):125~153.

[4] Stand W, Meinzer F C, Vertessy R A. A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology*, 1998, **18**: 499~512.

[5] Ju G S, Liu F J, Zhen S K. Methodology selection of tree transpiration measurement. *Bulletin of Forestry Sci. & Tech.*, 1998, (10): 12~14.

[6] Zhang J S, Meng P, Yin C J. A review on calculation methods of plant evapotranspiration. *World Forestry Research*, 2001, **14**(2): 23~28.

[7] Jones M B, Streetm J E, Williams W A. Leaching and uptake of nitrogen applied annual grass and clover grass mixture in lysimeters. *Agron. J.*, 1974,(66):256~258.

[8] Klocke N L, Toddrw, Hergert G W, *et al.* Design, installation, and performance of percoltion lysimeters for water quality sampling. *Tran. ASAE*, 1993,(36):429~453.

[9] Liu S P, Yang J F, Li B Q, *et al.* A new large weighing lysimeter and its application to agro-hydrological process studies. *J. Water Conservancy*, 2000, (3): 29~36.

[10] Jiang Q, Li S B, Zhai M P. Sand fixing brushes and their related research in China: A review. *J. Arid Land Resour. & Environment*, 1998, **12**(2): 87~95.

[11] Guo Z 万方数据 onal study on transpiration of some major sand dune fixing shrubs. *Bulletin of Forestry Sci. & Tech.*, 1988, **8**: 12~16.

表 4 不同生长阶段不同地下水埋深花棒生长季蒸腾量月变化与同期日均温变化相关系数表

Table 4 Correlation coefficients of monthly dynamics of *Hedysarum scoparium* transpiration with different water tables and monthly dynamic of daily mean temperature during different growth phases

不同生长阶段 Different growth phase	水位 Water table		
	1. 6m	2. 6m	3. 6m
1995	0. 842 **	0. 810 **	0. 826 **
1998	0. 793 **	0. 795 **	0. 801 **
1999	0. 837 **	0. 718 **	0. 763 **

* $\alpha=0. 01$, ** 表示极显著相关 significantly correlated

- [12] Zhao Y Y. On the structure, water physiology and afforestation of *Hedysarum scoparium*. *J. Ningxia Agricultural Institute*, 1980(1): 3~8.
- [13] Yang M R. P-V curves, water relation parameters and leaf water potential of three brushes and their applications in afforestation. *J. Inner Mongolian Forestry Sci. & Tech.*, 1992, (3):26~30.
- [14] Feng G L, Liu C M. Studies on the control of soil water profile and root distribution. *Acta Geographica Sinica*, 1997, **52**(5): 461~469.
- [15] Feng G L, Liu C M. Analysis of root system growth in relation to soil water extraction pattern by winter wheat under water-limiting conditions. *J. Natural Resources*, 1998, **13**(3): 234~241.
- [16] Luo Y, Yu Q, Ou Y Z, *et al.* The evaluation of water uptake models by using precise field observation data. *J. Water Conservancy*, 2000, (4):73~80.
- [17] Kruse E G, Champion D F, Cueval D L, *et al.* Crop water use from shallow, saline water tables. *Trans. ASAE*, 1993,**36**(3): 697~707.

参考文献:

- [1] 杨建锋,李宝庆,刘士平,等. 地下水对农田腾发过程作用研究进展. 农业工程学报, 2000,**16**(3):45~49.
- [2] 杨建锋,李宝庆,李运生,等. 浅地下水埋深区潜水对 SPAC 系统作用初步研究. 水利学报, 1999(7):27~32.
- [5] 巨关升,刘奉觉,郑世锴. 选择树木蒸腾耗水测定方法的研究. 林业科技通讯,1998(10):12~14.
- [6] 张劲松,孟平,尹昌君. 植物蒸散耗水量计算方法综述. 世界林业研究. 2001,**14**(2):23~28.
- [9] 刘士平,杨建锋,李宝庆,等. 新型蒸渗仪及其在农田水文过程研究中的应用. 水利学报,2000(3),29~36.
- [10] 蒋齐,李生宝,翟明普. 我国的固沙型灌木林及其研究进展. 干旱区资源与环境, 1998,**12**(2):87~95.
- [11] 郭志中. 主要固沙造林树种蒸腾耗水量的观察研究. 林业科技通讯, 1988,**8**:12~16.
- [12] 杨茂仁. 小叶锦鸡儿等三种灌木 P~V 曲线水分参数和叶水势及其在造林中的意义. 内蒙古林业科技, 1992, **3**:26~30.
- [14] 冯广龙,刘昌明. 人工控制土壤水分剖面调控根系分布的研究. 地理学报, 1997,**52**(5):461~469.
- [15] 冯广龙,刘昌明. 冬小麦根系生长与土壤水分利用方式相互关系分析. 自然资源学报,1998,**13**(3):234~241.
- [16] 罗毅,于强,欧阳竹,等. 利用精确的田间实验资料对几个常用根系吸水模型的评价与改进. 水利学报,2000,(4):73~80.