

# 科尔沁沙地两种典型乔灌木耗水特点

阿拉木萨<sup>1,2</sup>, 蒋德明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国林业科学研究院, 北京 100091)

**摘要:**以科尔沁沙地典型固沙植物小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam. 5 年生)和樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litrin, 7 年生)为研究对象, 栽植于可渗漏式生长箱, 应用 TDR 水分仪测定生长季节土壤水分变化, 依据土壤水分平衡理论推算单位面积植被区的蒸散量。经 2a 研究, 在相同栽植密度下(1m×1m), 樟子松植被区土壤贮水量高于小叶锦鸡儿植被区; 在不同栽植密度下, 小叶锦鸡儿土壤贮水量以 1m×2m 密度区高于 1m×1m 密度区。生长季节单位面积土壤蒸散量以小叶锦鸡儿(1m×1m)最高, 小叶锦鸡儿(1m×2m)其次, 樟子松(1m×1m)最低。单丛/株蒸散量以小叶锦鸡儿(1m×2m)最高, 小叶锦鸡儿(1m×1m)其次, 樟子松(1m×1m)最低。在试验所涉及的特定年龄阶段, 小叶锦鸡儿植被区蒸散耗水量高于樟子松区, 土壤水分含量低于樟子松区。生产实践中应根据植物耗水特点选择适宜的固沙物种和栽植方式, 以保证人工固沙植被区土壤水分的收支平衡。

**关键词:**科尔沁沙地; 小叶锦鸡儿; 樟子松; 土壤水分; 蒸散量

文章编号: 1000-0933(2008)05-1981-10 中图分类号: P333.1, Q948, S152.7 文献标识码: A

## Characteristics of soil water consumption of two typical shrub and arbor in Horqin sandy land

A lamusa<sup>1,2</sup>, JIANG De-Ming<sup>1</sup>

1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

2 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 1981 ~ 1990.

**Abstract:** Revegetation is one of effective ways to reduce the impacts of desertification. *Caragana microphylla* Lam. and *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litrin have been widely used to stabilize shifting sand in Horqin sandy land since 1980's. However, soil water deterioration has been a major concern in *C. microphylla* and *P. mongolica* plantations, and in many places current soil moisture can't meet the demand for plants' growth. To determine water budget of the *C. microphylla* and *P. mongolica* plantations, we studied the effect of plantations on soil moisture, and assessed the evapotranspiration in *C. microphylla* and *P. mongolica* plantations.

Investigation was conducted at a fenced plot at Wulanaodu (119°30'E and 42°29'N, 479m a. s. l), situated at the west edge of the Horqin sandy land in Inner Mongolia, North China. Plants of *C. microphylla* grown for 5 years and *P.*

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30671723); 辽宁省科学技术基金博士启动基金资助项目(20051009); 国家科技攻关子课题资助项目(2005BA517A02-1)

**收稿日期:**2007-02-06; **修订日期:**2008-02-26

**作者简介:**阿拉木萨(1969~), 男, 蒙古族, 内蒙古通辽人, 博士, 主要从事沙地水资源及水环境和荒漠化防治研究. E-mail: alamura@tom.com

**Foundation item:** The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China(No. 30671723), Science and Technology Foundation of Liaoning Province(Ph. D Startup, 20051009), The National Science and Technology Advancement Project of the Tenth Five-year Plan of China (No. 2005BA517A02-1)

**Received date:** 2007-02-6; **Accepted date:** 2008-02-06

**Biography:** A Lamusa, Ph. D., mainly engaged in water resource and water environment in sandy land and desertification combating. E-mail: alamura@tom.com

*mongolica* grown for 7 years in the plantations were selected, and transplanted to iron boxes (400cm × 200cm × 120cm) which can drain extra water. A plant density 1m × 1m was applied to *P. mongolica*, and two plant densities 1m × 1m and 1m × 2m were applied to *C. microphylla*. The transplanted plants grew for two years in the boxes. Soil moisture from soil surface to depth 80cm were measured at 20cm intervals in boxes every 10 days (2004) or 3 days (2005) during the growing seasons with TDR water measurement apparatus. The evapotranspiration was estimated according to a mathematical model, and the characteristics of soil water consumption and evapotranspiration of these two plantations were analyzed.

The soil water of *P. mongolica* was more than that of *C. microphylla* when the density (1m × 1m) was same. The soil water of *C. microphylla* with 1m × 2m density was more than that of 1m × 1m density. The evapotranspiration ranging from the high to the low was *C. microphylla* (1m × 1m), *C. microphylla* (1m × 2m) and *P. mongolica* (1m × 1m) during the growing seasons. The evapotranspiration of individual plant ranging from the high to the low was *C. microphylla* (1m × 2m), *C. microphylla* (1m × 1m), and *P. mongolica* (1m × 1m) during the growing seasons. *C. microphylla* grown for 5a consumed more water than *P. mongolica* grown for 7a when the density was same.

**Key Words:** Horqin sandy land; *Caragana microphylla* Lam.; *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litrin; Soil water storage; Evapotranspiration

半干旱区沙生植物耗水特点研究是沙地人工植被建设和管理的重要决定因素之一<sup>[1~5]</sup>。小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla* Lam.) 和樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litrin.) 分别是科尔沁沙地比较典型的固沙灌木和乔木,在防风固沙林和流动沙丘生物固沙工程建设中得到了广泛应用<sup>[6,7~9]</sup>。为尽快产生防护效果,以往建立固沙植被工程中多采用较高的栽植密度。但随着植被年龄的增长,部分小叶锦鸡儿和樟子松固沙植被表现出明显的生长衰退现象,很多研究者认为土壤水分的过度消耗是其产生衰退的主要原因之一<sup>[10~13]</sup>,如何合理利用有限的土壤水分以维持固沙植物的正常生长是目前需要解决的重点问题之一。针对这个问题,很多研究者对人工固沙植被建立后的土壤水分变化过程开展了广泛的研究工作<sup>[14,15~20]</sup>。吕贻忠等在毛乌素沙地对人工固沙植被土壤水分的研究中发现,随着固沙植被的生长,土壤有效水分逐渐降低<sup>[11]</sup>;张继义等在科尔沁沙地研究发现,人工固沙植被区土壤水分表现出逐年降低的趋势<sup>[6]</sup>。但以往相关研究多集中在人工植被区的土壤水分动态变化方面,而对具体植被区的耗水量研究不多,只有少量研究者针对不同地理区域的典型植被区开展过相应的研究工作<sup>[21~23]</sup>。精确计算固沙植被区的蒸散耗水量对建设和精准管理人工固沙植被具有重要作用,防止人工植被区因水分失衡而衰退。

本文以科尔沁沙地典型固沙灌木(小叶锦鸡儿)和乔木(樟子松)为研究对象,采用生长箱栽植方法,依据土壤水分平衡理论,重点研究:1)小叶锦鸡儿和樟子松生长发育过程对土壤水分的影响。2)推算小叶锦鸡儿和樟子松植被区的蒸散量。

## 1 试验地概况和材料方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古赤峰市翁牛特旗阿什罕苏木境内,地处科尔沁沙地西缘,地理位置为: E 119°39', N 43°02'。该地区属于温带半干旱气候类型,年均风速 4.2 m·s<sup>-1</sup>, 7~8 级风年平均出现 65~70d,年平均气温 6.2℃,无霜期 140d。年平均降水量 284.4mm ± 82.4mm(1982~2003 年),年降水量最低值 136.9mm,平均干燥度 1.99,年内降水分布不均匀,主要分布在 6~8 月份,占全年降水量的 70% 以上,春季 3~5 月份降水只占全年降水的 10%,年蒸发量为 2000~2500mm·a<sup>-1</sup>。当地为广阔的沙地景观,沙丘起伏,坳甸相间,主要生境类型为流动半流动沙丘、固定半固定沙丘、丘间低地等。试验地设置在小叶锦鸡儿人工固沙植被区和樟子松栽植区内,试验区基址原为平缓沙丘,土壤为风积沙土,通过人工措施建立固沙植被,植被群落中分布有白草 (*Pennisetum centrasianicum*)、隐子草 (*Cleistogenes squarrosa*)、狗尾草 (*Setaria viridis*)、沙蓬 (*Agriophyllum squarrosum*) 等旱生植物。

### 1.2 材料和方法

选择科尔沁沙地典型固沙植物小叶锦鸡儿和樟子松为研究对象,试验植物于 2002 年春季定植于试验容器内,定植时小叶锦鸡儿为 3 年生,樟子松为 5 年生。试验采用自制裁植箱(图 1),箱体规格为 400cm × 200cm × 120cm(长、宽、高),材质为 4mm 厚度的铁板,内衬 3cm × 4cm 角钢为支架,箱体底部安装导水管,以便多余的土壤水分通过管体渗出,即在管体每间隔 5cm 钻直径 3mm 渗水孔,管外部包裹 100 号纱布,防止沙土堵塞渗水孔。箱内导水管上方及周围填置砾石层,砾石层厚度约为 20cm。导水管在箱体底部一侧透出箱壁 20cm 为出水口,每个出水口下方安装盛水容器(漏斗 + 量杯),以便计算渗漏水量;将生长箱内回填原状土壤至上边缘 5cm 左右,并埋设于地下,仅箱上端略高于地表 3 ~ 5cm,以防降水过程中箱内外地表水的交流,箱体侧面有渗水管方向建立一个地下室,作为渗出水分的观测记录空间。

按照上述方法自制 4 个生长箱,为使试验环境接近植物群落内部状态,生长箱分别设置在对应植物栽植区内,即小叶锦鸡儿试验箱安置在小叶锦鸡儿固沙植被区内部,植被区大小约为 130m × 70m;樟子松试验箱放置于樟子松栽植区内,植被区面积约 40m × 60m,植被区内所有植物的树龄、植株高度等与试验植株相近。试验分为 4 个处理:小叶锦鸡儿 8 丛/箱(1 丛/m<sup>2</sup>, 1m × 1m, 标记为 C1),小叶锦鸡儿 4 丛/箱(1 丛/2m<sup>2</sup>, 1m × 2m, 标记为 C2),樟子松 8 株/箱(1 株/m<sup>2</sup>, 1m × 1m, 标记为 P),对照为空箱(标记为 CK1),设置在试验地外围的空地,周边无乔、灌植物生长,生长箱内自然生草,未做人为处理。在每个栽植箱中预先垂直埋设 3 组不同深度的上下开口的 PVC 管(直径 6cm),每组包括深度分别为 5、20、40、60、80cm 的管各一,平时以胶塞封口;观测时采用 TDR 土壤水分观测仪器(型号:MP-160,澳大利亚 Meridian 公司),将探头插入每个管内土壤中,测定 3 次,测定数值为单位体积土壤含水量。2004 年的试验于 5 月 1 日 ~ 10 月 10 日之间进行,间隔 10d 左右测定 1 次;2005 年的观测在 4 月 23 日 ~ 11 月 3 日之间进行,间隔 3d 测定 1 次。降雨量数据由乌兰敖都试验站气象观测站取得(与样地直线距离 500m 以内)。土壤渗漏量由各个生长箱渗水管处收集的水量确定,每间隔 30d 测定一次渗水量,并根据栽植箱面积换算为 mm 数。

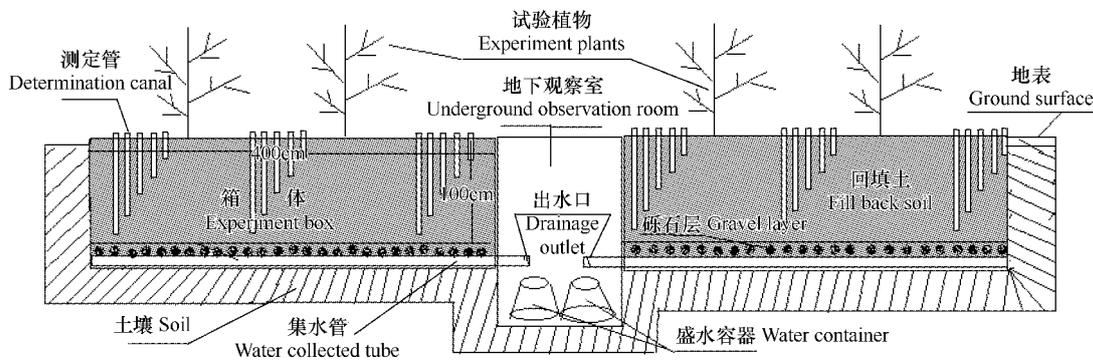


图 1 生长箱空间设置示意图

Fig. 1 The sketch map of growth boxes on specs and setting

### 1.3 公式及分析方法

土壤贮水量计算公式推导:

$$\text{因 } E = M_{\text{重}} \times R \times H, \text{ 而 } M_{\text{体}} = M_{\text{重}} \times R, \text{ 故 } E = M_{\text{体}} \times H \quad (1)$$

式中,  $E$  为贮水量(mm),  $M_{\text{体}}$  为土壤体积含水量(%),  $H$  为土壤厚度(mm)。  $M_{\text{重}}$  为土壤重量含水量(%);  $R$  为土壤容重( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )。

蒸散量计算为单位面积内植物蒸腾作用和地表蒸发作用所耗水分之合。公式为:

$$ET = P - S - Q \quad (2)$$

式中,  $ET$  为蒸散量(mm),  $P$  为某时段内累积降水量(mm),  $S$  为某时段内土壤贮水量变化值(mm),  $Q$  为某时段内渗漏水量(mm)。因在箱内进行试验,故无地表径流的损失,也无土壤中侧方向间的水分交流。

数据分析采用 Microsoft Excel XP 和 SPSS 11.0 统计软件进行。

## 2 结果

### 2.1 土壤贮水量的变化特点

通过 2004 年和 2005 年对小叶锦鸡儿、樟子松及对照区土壤水分的观测,生长季节 0~80cm 深度土壤贮水量表现出随时间变化的特点(图 2),2004 年度土壤贮水量变化主要可划分为:平稳期(5~6 月份),此期间土壤贮水量呈现相对稳定状态;波动期(6~8 月份),此期土壤贮水量波动明显,是生长季节中土壤水分变化剧烈期;下降期(8 月份以后),此期土壤贮水量呈现逐渐下降趋势。2005 年变化趋势与 2004 年相仿,仅在时间分布上略有差别,表现为平稳期(5 月下旬~7 月上旬);波动期(7 月上旬~8 月中旬);下降期(8 月中旬以后)。这种土壤水分变化时间分布上的差别主要与同期降雨的分布密切相关。

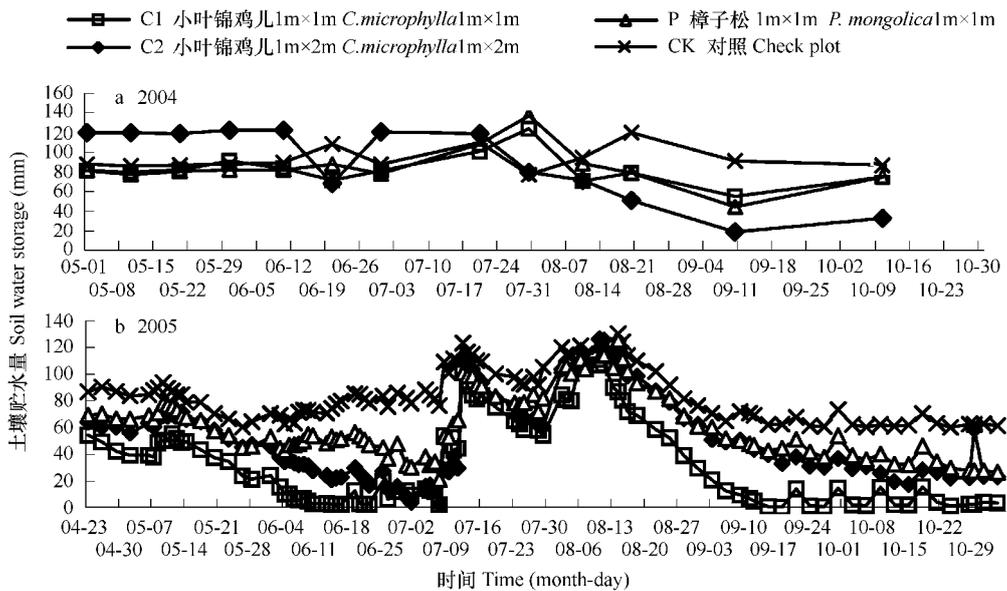


图 2 生长季节土壤贮水量变化

Fig. 2 The soil water storage diversification

不同处理间比较发现,2004 年度中,7 月下旬之前土壤贮水量以 C2 表现出较高状态,土壤水分条件好于其他处理,此期间 C2 处理土壤贮水量能够维持在 120mm 左右,其他处理土壤贮水量基本维持在 70~80mm 之间;7 月下旬之后,C2 处理土壤贮水量明显降低,并低于其他处理。其他几个处理生长季节土壤贮水量变化趋势相近,仅在 8 月份以后时期略有差异,CK 贮水量最高,C1 和 P 水平相当。2005 年度中,CK 始终表现出维持较高土壤贮水量状态,生长季节中均高于其他处理,P 处理贮水量略低于 CK,但多数时段也高于 C2 和 C1 区,C1 处理生长季节中多数时段贮水量表现最低,特别是在 7 月份以后时段,明显低于其他 3 个处理。

土壤水分含量垂直变化表现出随着深度的增加而增大(表 1),80cm 深度土壤含水量最高,2004 年和 2005 年土壤平均含水量分别达到 13.35% 和 16.13%。不同处理之间比较发现,2004 年度各处理间土壤含水量仅在 80cm 深度表现出差异,C1 和 CK 显著高于 P,C1 显著高于 C2。2005 年度各层深度不同处理之间均存在差异,土壤含水量由高到低顺序为 CK、P、C2、C1,其中 60cm 和 80cm 深度各类型之间存在显著差异。

### 2.2 土壤渗漏量比较

从生长季节初期开始土壤水分渗漏量逐渐增加,在 7 月、8 月份之间达到最高,其后逐渐降低,10 月与 5 月份水平接近,渗漏量变化范围在 0~9.68mm/月之间;全年渗漏量比较表明,2004 和 2005 年渗漏量最高为对照(CK),分别为 32.65mm/a 和 23.13mm/a,其次为樟子松样地(P)为 24.59mm/a 和 16.67mm/a,再次为小叶锦鸡儿 C2 样地,15.75mm/a 和 13.51mm/a,最低为小叶锦鸡儿 C1 样地,分别为 10.25mm/a 和 12.22mm/a (图 3)。同等密度条件下,樟子松植被区渗漏量高于小叶锦鸡儿植被区;小叶锦鸡儿植被区随密度增加渗漏

量减少。

表 1 不同处理土壤水分深度变化比较\*

Table 1 Compare of soil water content between different type plantations in depth\*

年份 Year	深度 (cm)/类型** Depth (cm)/type	C1	C2	P	CK
2004	5	5.90 ± 0.59	6.31 ± 0.39	6.65 ± 0.50	7.19 ± 0.32
	20	6.55 ± 0.64	7.07 ± 0.46	7.27 ± 0.58	6.58 ± 0.71
	40	7.50 ± 0.79	8.02 ± 0.61	8.40 ± 0.38	8.60 ± 0.74
	60	9.58 ± 1.37	8.81 ± 0.62	9.26 ± 0.31	10.99 ± 0.38
	80	15.25 ± 2.26 <sup>a</sup>	11.06 ± 0.69 <sup>bc</sup>	9.22 ± 0.49 <sup>c</sup>	13.35 ± 0.94 <sup>ab</sup>
2005	20	5.00 ± 0.48 <sup>b</sup>	6.22 ± 0.46 <sup>ab</sup>	6.77 ± 0.46 <sup>ac</sup>	7.18 ± 0.35 <sup>a</sup>
	40	4.51 ± 0.49 <sup>c</sup>	5.48 ± 0.43 <sup>c</sup>	6.77 ± 0.38 <sup>b</sup>	8.56 ± 0.24 <sup>a</sup>
	60	4.74 ± 0.45 <sup>d</sup>	6.72 ± 0.43 <sup>c</sup>	7.76 ± 0.33 <sup>b</sup>	10.52 ± 0.22 <sup>a</sup>
	80	5.16 ± 0.35 <sup>d</sup>	8.01 ± 0.46 <sup>c</sup>	9.64 ± 0.24 <sup>b</sup>	16.13 ± 0.31 <sup>a</sup>

\* 体积含水量 Volume water content (%) \* \* C1 小叶锦鸡儿 1m × 1m, *C. microphylla* 1m × 1m. C2 小叶锦鸡儿 1m × 2m; *C. microphylla* 1m × 2m, P 樟子松, 1m × 1m, *P. mongolica*, 1m × 1m CK 对照, check plot 显著性比较为横向不同类型之间比较, 0.05 显著水平

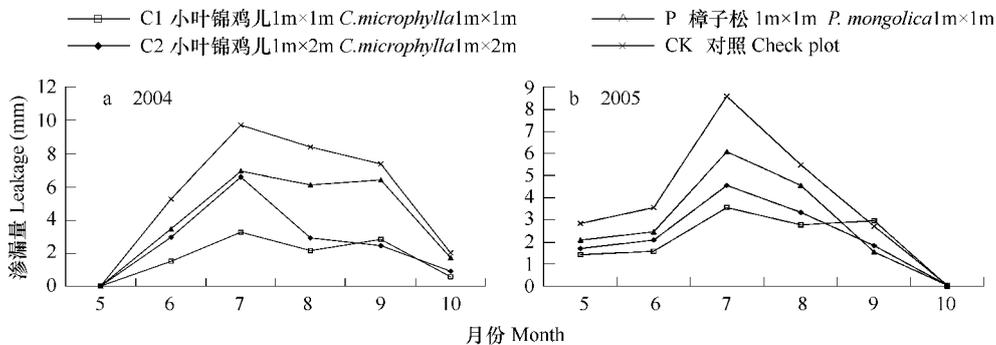


图 3 不同植物类型土壤渗漏量比较

Fig. 3 Soil water leakage compare between different type plantations

### 2.3 蒸散量变化特点

#### 2.3.1 蒸散量月变化特点比较

在生长季节中,植被区蒸散量随着植物展叶生长逐渐增加,在 7~8 月份(2004 年)和 8~9 月份(2005 年)之间达到最高,其后逐渐下降(图 4)。生长季节每月蒸散量变化范围在 4.44~125.31mm(2004 年)和 1.44~140.50mm(2005 年)之间。蒸散量季节变化与降水变化趋势同步,以 2004 年结果最为明显,C1、C2、P、CK 与同期降水量的相关系数分别为:0.87、0.80、0.66、0.94( $n=7, t=0.66$ );但 2005 年蒸散量变化表现略有不同,虽然在 7~8 月份之间降水量高达 117.9mm,但蒸散量仅为 35.86~67.56mm,并未表现出明显增加的趋势,这其中原因可能在于环境条件变化的影响,查阅相关气象资料表明,在此期间降雨日达到 21d,阴天达到 17d,合计 38d 光照强度较低,较低的光照和较大的空气湿度会明显降低植物的蒸腾作用和地表的蒸发过程,这可能是造成蒸散量与降水不同步的重要原因之一。

#### 2.3.2 生长季节累积蒸散量比较

整个生长季节的累积蒸散量以 C1 处理最高(2004, 2005 年),排列顺序为(由高到低):C1、C2、P、CK。变化范围在 199.77mm(CK)~309.53mm(C1)(2004 年)和 299.07mm(CK)~363.10mm(C1)(2005 年)之间(图 5)。年际比较发现,所有处理 2005 年度蒸散量高于 2004 年度, C1 差值为 53.57mm, C2 差值为 113.05mm, P 差值为 111.90mm, CK 差值为 99.30mm。

根据各处理生长季节蒸散量,可以推算出不同物种和不同密度下的单株/丛蒸散量,结果表明,在不同年份和不同密度条件下植物的单株/丛蒸散量存在差异(图 6),在 5 月 2 日~10 月 3 日期间,单丛/株蒸散量由

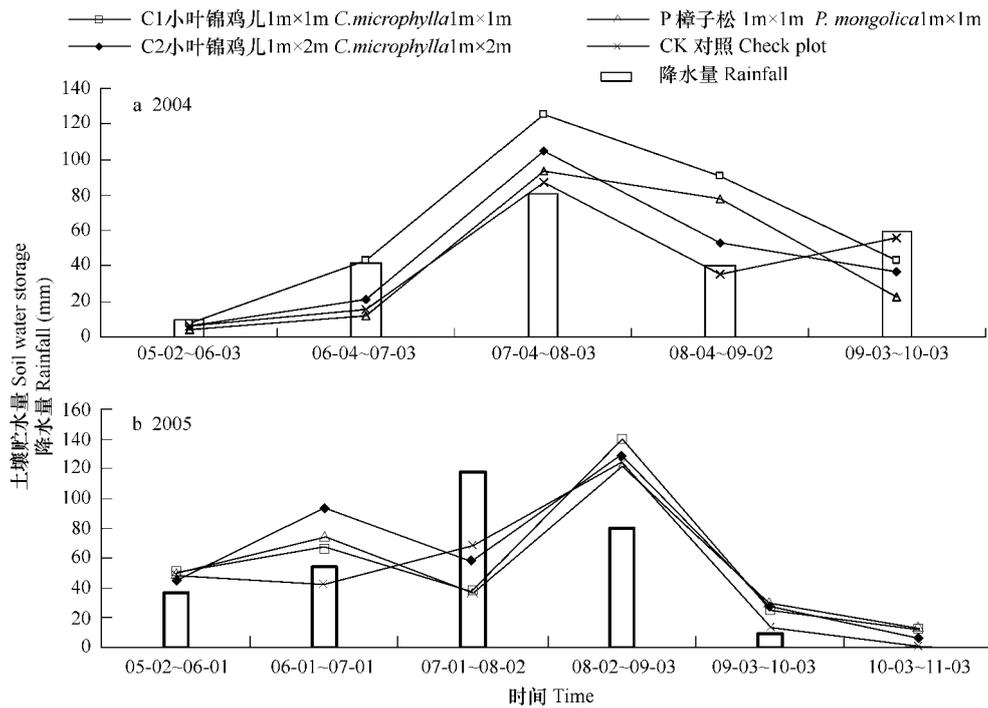
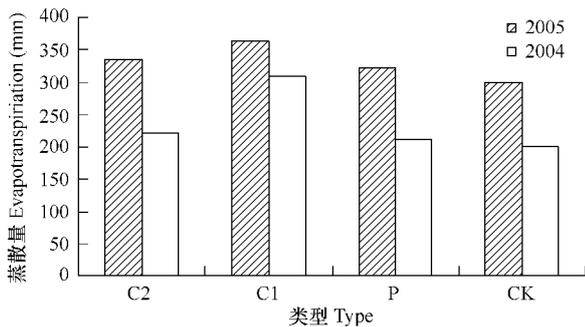


图4 不同类型植被区蒸散量季节变化比较

Fig. 4 Compare of evapotranspiration diversification of different type plantations during growth season

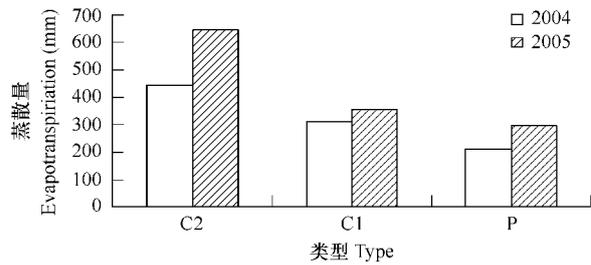
高到低顺序为 C2(小叶锦鸡儿, 丛/2m<sup>2</sup>)、C1(小叶锦鸡儿, 丛/1m<sup>2</sup>)、P(樟子松, 株/1m<sup>2</sup>); 各类型 2005 年单株蒸散量均高于 2004 年, 5 月 2 日 ~ 10 月 3 日期间, 2005 年度单株/丛蒸散量分别为: C2 (645. 43mm)、C1 (356. 56mm)、P (297. 64mm), 2004 年度单株/丛蒸散量分别为: C2 (442. 80mm)、C1 (309. 53mm)、P (210. 77mm)。单株/丛的蒸散量变化表明, 在试验条件和特定植物年龄前提下, 小叶锦鸡儿 2 个密度处理的单丛蒸散量明显高于樟子松单株的蒸散量; 在丛/2m<sup>2</sup>密度下的小叶锦鸡儿单丛蒸散量明显高于丛/1m<sup>2</sup>密度下的单丛蒸散量。



C1 小叶锦鸡儿 1m×1m *C.microphylla* 1m×1m;  
C2 小叶锦鸡儿 1m×2m *C.microphylla* 1m×2m;  
P 樟子松, 1m×1m *P.mongolica* 1m×1m; CK 对照, Check plot

图5 不同植被类型生长季节累积蒸散量比较

Fig. 5 Compare of cumulated evapotranspiration in different plantations during growth season



C1 小叶锦鸡儿 1m×1m *C.microphylla* 1m×1m;  
C2 小叶锦鸡儿 1m×2m *C.microphylla* 1m×2m;  
P 樟子松, 1m×1m *P.mongolica*, 1m×1m

图6 单株/丛生季节累积蒸散量比较

Fig. 6 Compare of cumulated evapotranspiration of single plant of all type plantations during growth season

### 3 讨论

#### 3.1 土壤水分变化特点及影响因素

土壤贮水量在不同固沙物种和密度处理中表现出随时间变化特征, 这种变化趋势的产生与植物的蒸腾耗

水和降水的分布密切相关<sup>[25~27]</sup>,6月~8月份之间,随着植物生长发育,植物蒸腾耗水逐渐增加,消耗了较多的土壤水分,引起土壤贮水量的明显变化;同时,此时段降水占当地全年降水总量的70%以上,土壤贮水量表现出剧烈的波动性变化。9月份之后,降水逐渐减少,但适宜的光照和温度条件能够使植物维持较高的蒸腾作用,继续消耗土壤中的水分,使土壤贮水量表现出减少的趋势。虽然降水分布影响土壤贮水量变化,但其效果不是即时的,可能存在时滞现象<sup>[28]</sup>,通过对降水分布与土壤贮水量的相关性分析表明,土壤贮水量变化与降水分布虽未呈现显著的相关性,但对降水滞后15d的土壤贮水量与降水量的统计检测中部分样方表现出显著的相关性( $C1 = 0.6875, P = 0.7090, n = 13, t = 0.514$ ),表现出土壤水分的时滞现象,虽然统计检测未全部表现出显著的相关性,但在很多情况下,降水的分布是影响土壤贮水量变化的主要因素之一。文中土壤水分时间变化特征也说明了这一点,划分的土壤水分变化的平稳期、波动期、下降期虽然在2004和2005年间存在时间上的差异,但均与同期的降水分布是密切相关的。

以往研究表明,干旱半干旱地区人工植被存在土壤干旱化问题,很多成龄人工植被区存在土壤干旱化现象<sup>[5,12,28]</sup>,即在土壤一定深度形成含水量极低的土层-干土层,即使在降水集中分布的时期,深层土壤也无法得到水分补充。在科尔沁沙地西部地区的15a以上小叶锦鸡儿人工固沙植被区(1m×1m密度),在土壤深度70~120cm之间经常形成含水量极低的土层,即所谓的“干土层”,降水无法透过“干土层”补充深层土壤的水分<sup>[9]</sup>。本试验中观测到土壤水分渗漏的存在,说明了在试验条件下的5年生小叶锦鸡儿和7年生樟子松植被区,在降水充沛的特定时间段内,有一定量的水分能够供给深层土壤,并未形成干土层。其中不同处理间生长季节土壤渗漏量还存在显著的差异,渗漏量最高的对照(CK)是最低的1m×1m密度小叶锦鸡儿样地(C1)的3.19(2004年)~1.89(2005年)倍,生长季节累计渗漏量分别比C1多22.40mm(2004年)~10.91mm(2005年)。渗漏量的变化反映着植被对土壤水分的利用状态的差异,渗漏量的减少,变相说明了地表植物消耗了更多的土壤水分。

### 3.2 植物种和密度与土壤水分消耗量

植物种类决定其水分消耗特点。不同植物种类间比较表明,在相同密度条件下,7年生樟子松(1m×1m)试验区土壤贮水量高于5年生小叶锦鸡儿(1m×1m和1m×2m密度)区,累计蒸散量和单株/丛蒸散量均低于小叶锦鸡儿植被区。这种物种间耗水量的比较具有特定条件的限制,由于其物种差别,小叶锦鸡儿在5~7年龄基本达到了其稳定生长状态,但对樟子松而言,此年龄段仅是其幼龄生长阶段,生长远未停止,故对土壤水分和蒸散量的比较只能说是在特定年龄条件下的比较,在这一条件下,小叶锦鸡儿植被区的水分消耗量超过樟子松区,但作为乔木树种的樟子松,随着年龄的增加、树体的增大,其耗水量将会不断增加,必将超过小叶锦鸡儿的耗水量。

根据植物的水分消耗特点可以指导固沙植物的密度配置方式,试验中樟子松采用的1m×1m密度随着年龄的增长,势必会造成土壤水分供给的失衡。关于樟子松合理的初始栽植密度,目前尚存在争议<sup>[29]</sup>,曾德慧等利用自然稀疏法则推断,辽宁省章古台地区适宜樟子松的栽植密度在3000~3500株/hm<sup>2</sup>(折合每株面积2.85~3.33m<sup>2</sup>)之间,移小勇等科尔沁地区沙地樟子松初始的栽植密度应控制2800株/hm<sup>2</sup>(折合每株面积3.57m<sup>2</sup>)左右较为适宜,在林木的生长进入高峰期后,应适时间伐至2100株/hm<sup>2</sup>(折合每株面积4.76m<sup>2</sup>)左右<sup>[7]</sup>。故樟子松固沙林建设过程中可采用渐进间伐的方法,前期可采用较高密度栽植,快速形成固沙效果,后期通过间伐方式,严格控制其密度<sup>[7,28]</sup>。

不同栽植密度小叶锦鸡儿植被区蒸散量比较表明,较高密度下的植物消耗了大量土壤水分,1m×1m密度栽植下的小叶锦鸡儿植被区土壤水分含量低于1m×2m密度区,单位面积蒸散量高于1m×2m密度区。小叶锦鸡儿灌丛定植后生长速度快,耗水量迅速增加,较高的栽植密度会造成土壤水分的迅速恶化,实践中应采用适宜的密度,以维持土壤水分的收支平衡。有关小叶锦鸡儿固沙植被的栽植密度问题,在科尔沁沙地西部地区,初始密度可控制在1m×1m水平,其后逐渐间伐并维持在2m×2m水平,基本能够维持土壤水分的收支平衡<sup>[9]</sup>。植物的耗水特点是影响人工植被区土壤水分合理利用的关键<sup>[5,16]</sup>,应根据植物种耗水特点选择物种

和栽植方式,这对建立稳定的人工固沙植被具有重要的理论和实践意义。

### 3.3 影响蒸散量的环境因素

本试验中发现,2004年蒸散量明显低于2005年,不论在月蒸散量和累计蒸散量比较中,都是2005年较高,这一现象产生的主要原因在于降水量的差异,在生长季节中,2005年的降水量达到299.7mm,2004年为231.5mm;在较丰富的降水条件下,土壤水分能够维持较高的状态,基本能够保证植物蒸腾耗水的需求,植物生长旺盛,蒸腾耗水量较高,同时,地表的蒸发量也相应增加,造就了整体蒸散量的增多;相对2004年,较少的降水使得土壤水分含量降低,在部分时间段中可能还会造成土壤干旱,降低植物的蒸腾作用,减少了蒸腾耗水。

同时,良好的光照和适宜的温度促经蒸散量的增加,在试验中发现,在2005年7~8月之间降水较丰富,土壤水分含量较高,但其后的蒸散量并未明显增加,通过查看气候记录,此期间阴雨天气较多,造成了植物蒸腾和地表蒸发作用的降低。

### 3.4 水分平衡的分析

在本试验中发现,生长季节累计蒸散量大于同期降水量,生长季节土壤水分未能维持收支平衡,生长季节末期的土壤贮水量低于初期的贮水量,以2004年C1处理为例,土壤贮水量由初期(5月份)的120.34mm降低到末期(10月份)的32.55mm。即消耗了原来贮存在土壤中的水分,降低了土壤贮水量。但从全年的时段考虑,在2005年5月,土壤贮水量又得到了恢复,即非生长季节的降水对土壤贮水量给予了补充。故在植被区土壤水分平衡研究中,总体的水分平衡应该考虑到非生长季节的土壤水分积累过程,特别是在北方寒冷地区,冬季的土壤水分变化有待深入研究。

#### Reference:

- [1] Zhu Y H, Wu Y Q. Water consumption of natural plant *Alhagi sparsifolia* in arid desert region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003, 23(4):43-46.
- [2] Jia H K, Liu Y H, Xu X, et al. Simulation of soil water dynamics in a *Caragana intermedia* woodland in huangfuchuan watershed: relationships among slope, aspect, plant density and soil water content. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6):910-917.
- [3] Ru T Q, Li J Y, Kong L S, et al. Review on the research of water consumption characteristic of *Robinia pseudoacacia*. *Research of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(2):135-140.
- [4] Nish M S, Wierenga P J. Time series analysis of soil moisture and rain along line transect in arid rangeland. *Soil Science*, 1991, 152:189-198.
- [5] Wang X P, Zhang Z S, Zhang J G, et al. Review to researches on desert vegetation influencing soil hydrological processes. *Journal of Desert Research*, 2005, 25(2):196-201.
- [6] Zhang J Y, Zhao H L, Cui J Y, et al. Community structure, soil water dynamics and community stability of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in Horqin sandy land. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(3):1-6.
- [7] Yi X Y, Zhao H L, Cui J Y, et al. Growth of small area *Pinus sylvestris* var. *mongolica* artificial forest under different densities in Horqin sandy land, North of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4):1200-1206.
- [8] Cao C Y, Zhu L H, Jiang D M, et al. Discussion on mechanism of stability of sand-fixing phytocoensium. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(4):461-466.
- [9] A L M S, Pei T F, Jiang D M. A study on soil moisture content and plantation fitness for artificial sand-fixation forest in Horqin sandy land. *Advances in Water Science*, 2005, 16(3):426-431.
- [10] Gerile, Zhang L, Liu J, et al. Soil moisture dynamic rule of artificial *Haloxylon Ammodendron* forest in Kubuqi desert. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2006, 20(6):173-177.
- [11] Lu Y Z, Hu K L, Li B G. The spatio-temporal variability of soil water in sand dunes in Mowusu desert. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(1):152-154.
- [12] Cheng J M, Wan H E, Wang J, et al. Growth of *Caragana korshinskii* and depletion process of soil water in semi-arid region. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(2):37-41.
- [13] Cheng J M, Wan H E, Wang J, et al. Over depletion and recovery of soil moisture on *Astragalus adsurgens* grasslands in the loess hilly-gully region. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12):2979-2983.

- [14] Berndtsson R, Nodomi K. Soil water and temperature patterns in an arid desert dune sand. *Journal of Hydrology*, 1996,185:221—240.
- [15] Dong X J, Zhang X S, Yang B Z, *et al.* A preliminary study on the water balance for some sandland shrubs based on transpiration measurements in field conditions. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997,21(3):208—25.
- [16] Feng J C, Chen H S, Kang Y H, *et al.* Study on water balance and evapotranspiration of artificial vegetation in Shapotou area, Tengger desert. *Acta Botanica Sinica*, 1995,37(10):815—821.
- [17] Fu H, Zhou Z Y, Cheng S K. A study on relationship between vegetation density and soil water content of *Artemisia sphaerocephala* air-sown grassland in South-eastern edge of Twengger desert, Inner Mongolia, China. *Journal of Desert Research*, 2001,21(3):265—270.
- [18] Southgate R I, Master P. Precipitation and biomass changes in the Namib desert dune ecosystem. *Journal of Arid Environments*, 1996,33:267—280.
- [19] He Z B, Zhao W Z. The spatial heterogeneity of soil moisture in artificial *Haloxylon ammodendron*. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004,26(2):207—211.
- [20] Wei J, Wu G. Hydro-ecological effects of artificial *Pinus tabulaeformis* carr. and *Hippophae rhamnoides* stands in low mountainous upland of western Liaoning Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006,26(7):2087—2093.
- [21] Liu C F, Zhang Z Q, Cha T G, *et al.* Soil moisture affects energy allocation and diurnal evapotranspiration of a poplar plantation—an eddy-covariance-based study. *Acta Ecologica Sinica*, 2006,26(8):2549—2557.
- [22] Si J H, Feng Q, Zhang X Y, *et al.* Diurnal variation of evapotranspiration of vegetation under extreme dry condition. *Journal of Desert Research*, 2005,25(3):380—85.
- [23] Zhang J Y, Fu D, Wei Z Z, *et al.* Determination of the ability of several tree and shrub species to endure and survive extreme aridity with methods of limited areas under field condition in Horqin sandy land. *Acta Ecologica Sinica*,2006,26(2):467—474.
- [24] Zhang Z S, Wang X P, Li X R, *et al.* Soil evaporation in artificially revegetated desert area. *Journal of Desert Research*, 2005,25(2):243—249.
- [25] Wang Z Q, Liu B Y, Wang X L. Effects of natural shrub of *Canagana opulens* kom. on soil moisture in a semiarid area on the Loess Plateau. *Geographical Research*, 2005,24(1):113—121.
- [26] Zhao P, Sun X Y, Huang L J, *et al.* The relationship between transpiration regularity of Psammophytes in growth season and environmental factors in Maowusu sandy land. *Forest Research*, 2004,sup:67—71.
- [27] Bai X F, Wang G C, Zhang R S, *et al.* Soil water dynamics of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantations on sandy lands in Zhanggutai area. *Journal of Liaoning Forestry Science Technology*,2004,(2):11—15.
- [28] Jiao S R. Report on the causes of the early decline of *Pinus slyvestris* var. *mongolica* shelterbelty and its preventative and control measures in Zhanggutai of Liaoning Province. *Scientia Silvae Sinicae*, 2001,37(2):131—138.
- [29] Zheng D H, Jiang F Q, Fan Z P, *et al.* Self-thinning of even — aged pure plantations of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* on sandy soil. *Acta Ecologica Sinica*,2000,20(2):235—242.

#### 参考文献:

- [1] 朱永华, 仵彦卿. 干旱荒漠区植物骆驼刺的耗水规律. *水土保持通报*, 2003,23(4):43~46.
- [2] 贾海坤, 刘颖慧, 徐霞, 王昆, 高琼. 皇甫川流域柠条林地水分动态模拟——坡度、坡向、植被密度与土壤水分的关系. *植物生态学报*, 2005,29(6):910~917.
- [3] 茹桃勤, 李吉跃, 孔令省, 朱延林. 刺槐耗水研究进展. *水土保持研究*, 2005,12(2):135~140.
- [5] 王新平, 张志山, 张景光, 李新荣, 潘颜霞, 康尔泗. 荒漠植被影响土壤水文过程研究述评. *中国沙漠*, 2005,25(2):196~201.
- [6] 张继义, 赵哈林, 崔建垣, 张铜会, 赵学勇. 科尔沁沙地樟子松人工林土壤水分动态的研究. *林业科学*, 2005,41(3):1~6.
- [7] 移小勇, 赵哈林, 崔建垣, 李玉强, 左小安, 卓鸿. 科尔沁沙地不同密度(小面积)樟子松人工林生长状况. *生态学报*, 2006,26(4):1200~1206.
- [8] 曹成有, 朱丽辉, 蒋德明, 范士香. 固沙植物群落稳定性机制的探讨. *中国沙漠*, 2004,24(4):461~466.
- [9] 阿拉木萨, 裴铁藩, 蒋德明. 科尔沁沙地人工固沙林土壤水分与植被适宜度探讨. *水科学进展*, 2005,16(3):426~431.
- [10] 格日乐, 张力, 刘军, 宁瑞些, 乌仁陶德, 高岩. 库布齐沙漠人工梭梭林地土壤水分动态规律的研究. *干旱区资源与环境*, 2006,20(6):173~177.
- [11] 吕贻忠, 胡克林, 李保国. 毛乌素沙地不同沙丘土壤水分的时空变异. *土壤学报*, 2006,43(1):152~154.
- [12] 程积民, 万惠娥, 王静, 雍绍萍. 半干旱区柠条生长与土壤水分消耗过程研究. *林业科学*, 2005,41(2):37~41.
- [13] 程积民, 万惠娥, 王静, 雍绍萍. 黄土丘陵区沙打旺草地土壤水分过耗与恢复. *生态学报*, 2004,24(2):2979~2983.
- [15] 董学军, 张新时, 杨宝珍. 根据野外实测的蒸腾速率对几种沙地灌木水分平衡的初步研究. *植物生态学报*, 1997,21(3):208~225.
- [16] 冯金朝, 陈荷生, 康跃虎, 刘元波. 腾格里沙漠沙坡头地区人工植被蒸散耗水与水量平衡的研究. *植物学报*, 1995,37(10):815~821.

- [17] 付华,周志宇,陈善科. 腾格里沙漠东南缘飞播区白沙蒿植被密度与土壤水分关系的研究. 中国沙漠,2001,21(3):265~270.
- [19] 何志斌,赵文智. 荒漠绿洲区人工梭梭林土壤水分空间异质性的定量研究. 冰川冻土,2004,26(2):207~211.
- [20] 魏晶,吴钢. 辽西低山丘陵区人工油松林和沙棘林的水文生态效应. 生态学报,2006,26(7):2087~2092.
- [21] 刘晨峰,张志强,查同刚,等. 涡度相关法研究土壤水分状况对沙地杨树人工林生态系统能量分配和蒸散日变化的影响. 生态学报,2006,26(8):2549~2457.
- [22] 司建华,冯起,张小由,张艳武,苏永红. 极端干旱条件下怪柳种群蒸散量的日变化研究. 中国沙漠,2005,25(3):380~385.
- [23] 张继义,付丹,魏珍珍,赵哈林,张铜会. 科尔沁沙地几种乔灌木树种耐极端土壤水分条件与生存能力野外实地测定. 生态学报,2006,26(2):467~474.
- [24] 张志山,王新平,李新荣,等. 沙漠人工植被区土壤蒸发测定. 中国沙漠,2005,25(2):243~249.
- [25] 王志强,刘宝元,王晓兰. 黄土高原半干旱区天然锦鸡儿灌丛对土壤水分的影响. 地理研究,2005,24(1):113~120.
- [26] 赵萍,孙向阳,黄利江,王涵,张广才. 生长季毛乌素沙地沙生植物蒸腾规律及其与环境因子间关系. 林业科学研究,2004,17(增):67~71.
- [27] 白雪峰,王国晨,张日升,李洪波. 章古台沙地樟子松人工林土壤水分动态研究. 辽宁林业科技,2004,(2):11~14.
- [28] 焦树仁. 辽宁省章古台樟子松固沙林提早衰弱的原因与防治措施. 林业科学,2001,37(2):131~138.
- [29] 曾德慧,姜凤歧,范志平. 沙地樟子松人工林自然稀疏规律. 生态学报,2000,20(2):235~242.