

不同土壤水分条件对中国沙棘和俄罗斯沙棘的光合和蒸腾作用的影响

刘瑞香

(内蒙古大学, 内蒙古 呼和浩特 010021)

摘要: 在野外不同生境和田间不同干旱条件下, 对中国沙棘(*Hippophae rhamnoides sinensis*) 和俄罗斯沙棘(*Hippophae rhamnoides*) 的光合和蒸腾作用的日进程进行研究后发现: 随着土壤水分含量的增加, 沙棘的光合速率和蒸腾速率随之升高。在不同的土壤水分条件下, 光合作用和蒸腾作用的日进程表现为双峰或单峰曲线, 峰值的出现时间也随土壤水分条件的变化而变化。中国沙棘光合速率的日平均值表现为雌株高于雄株, 而俄罗斯沙棘表现为水分条件适宜时雄株略高于雌株, 受到干旱胁迫后雌株大于雄株; 且俄罗斯沙棘的光合能力优于中国沙棘。俄罗斯沙棘蒸腾速率的日均值为雌株高于雄株, 中国沙棘雌雄株蒸腾速率的差异规律不一致。光合速率和蒸腾速率与土壤含水量的回归分析表明: 二者呈显著的正相关, 回归方程为一元二次方程, 复相关系数接近 1。

关键词: 沙棘; 干旱胁迫; 光合速率; 蒸腾速率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)01-0001-05

中图分类号: S793.6

Effects of Photosynthetic and Transpiration Rate on *Hippophae Rhamnoides Sinensis* and *Hippophae Rhamnoides* in Different Soil Water Condition

LIU Ruixiang

(University of Inner Mongolia, Huhhot 010021, the Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: Photosynthetic rate and transpiration rate on *Hippophae rhamnoides sinensis* and *Hippophae rhamnoides* were studied in different soil water conditions. It is found that photosynthetic rate and transpiration rate increase with increased soil water content. The day course of photosynthetic rate and transpiration rate is of single summit or twin summits in different soil water conditions, and time for the summit varies with soil water content. With suitable water content, the mean photosynthetic rate of the male of *Hippophae rhamnoides* is higher than the mean photosynthetic rate of the female of *Hippophae rhamnoides*. Under drought stress, the female of *Hippophae rhamnoides* is higher than the male. The mean photosynthetic rate of the female of *Hippophae rhamnoides sinensis* is higher than the mean photosynthetic rate of the male. The photosynthetic capacity of *Hippophae rhamnoides* is higher than that of *Hippophae rhamnoides sinensis*, and the mean transpiration rate of the female of *Hippophae rhamnoides* is higher than the mean transpiration rate of the male of *Hippophae rhamnoides*. The mean transpiration rate of the male and female of *Hippophae rhamnoides sinensis* do not have any differences. The regression analysis shows that the relationship of photosynthetic rate and transpiration rate with soil water content can be expressed by $y = a + bx + cx^2$.

Keywords: *Hippophae rhamnoides*; photosynthetic rate; transpiration rate; drought stress

中国沙棘为野生灌木, 分布在我国内蒙古、陕西、山西、甘肃、宁夏、河北、辽宁等省区, 内蒙古是我国沙棘的主要分布区之一, 集中分布在乌兰察布盟、鄂尔多斯市和赤峰市。50年代初至80年代中期, 人们在对黄土高原野生灌木树种资源的调查中, 注意到了沙棘在各种立地上的分布生长状况及其表现出的抗逆

性。在对沙棘生物学特性和水保作用进行初步研究的基础上, 确认沙棘是少有的优良水保和薪炭林树种^[1]。俄罗斯大果沙棘为育成品种, 80年代后被大面积引种。沙棘作为一种雌雄异株植物, 雌、雄株不仅在种的繁衍中具有重要作用, 作为一个水保树种, 各自对环境的适应性和光合生产力也极为重要。

水分是植物体最多的成分,是植物生命活动所不可缺少的,因而也是影响植物光合作用和蒸腾作用的最重要的环境因子之一。光合作用是绿色植物生命活动的能量和物质基础,蒸腾作用是植物必不可少的重要代谢过程,它与植物的光合作用密切相关。近年来国内外对作物光合速率和蒸腾速率的研究十分活跃^[2-7],结果表明水分胁迫可以显著降低光合作用^[2-6],干旱胁迫条件下植物光合作用和蒸腾作用的变化可以反映植物对水分亏缺的适应能力^[8,10-11]。但对沙棘这样的灌木所做的研究尚少^[9-11],尤其是在不同的干旱胁迫条件下,土著种中国沙棘和外来种俄罗斯沙棘及雌、雄株之间的光合速率和蒸腾速率的差异未见报道。

在进行水土保持和退化生态系统的恢复和重建中,选择生产力高,对干旱环境适应性强的物种显得尤为重要。本试验通过对不同干旱胁迫处理和野外不同生境下中国沙棘和俄罗斯沙棘的光合速率和蒸腾速率的研究,揭示土壤水分条件和沙棘的光合速率和蒸腾速率的关系,揭示土著种和外来种以及沙棘雌、雄株在干旱胁迫下的光合作用、蒸腾作用差异,为水土保持和生态系统恢复与重建中优良树种的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

选择本地区广泛分布的本地种中国沙棘雌(A)、雄株(C)和大量引种栽培的外来种俄罗斯大果沙棘的雌株(B)、雄株(D)。

1.2 样地的选择和田间试验地

野外样地选择鄂尔多斯高原准格尔旗皇甫川水土保持试验站和呼和浩特市郊区坝口子水土保持试验站;田间试验在内蒙古大学生命科学学院的温室内进行。

1.3 研究方法

1.3.1 田间试验处理和野外样地 田间试验采用小环刀法测定土壤田间最大持水量(27.19%),从而设定以土壤含水量为田间持水量的75%(水分适宜—20.4%)、55%(轻度干旱—14.96%)、40%(中度干旱—10.88%)、30%(重度干旱—8.16%)处理(用中子仪监测土壤水分含量,不同处理给以不同的灌溉水量)10d后测定。

皇甫川水土保持试验站选择沟底和坡上2个样地,坝口子水土保持试验站选择一个样地,与田间试验同期进行测定。

1.3.2 光合速率和蒸腾速率的测定 采用LI-6400便携式光合系统,每个种的不同样地和不同处

理选择3个代表性植株,每株选择3片不同角度的代表性叶片,从6点到18点每2h测定1次。

1.3.3 叶面积及土壤含水量的测定 光合速率和蒸腾速率测定结束后剪下叶片,用LI-3000A便携式光电叶面积仪测定。土壤含水量测定取0~100cm(分5层)土样,用烘干称重法测定。

2 结果与分析

2.1 土壤含水量变化

皇甫川试验站不同样地土壤水分状况差异非常大,沟底的平均含水量是坡上的4.79倍。坝口子样地不进行灌溉,土壤水分来自天然降水,土壤的平均含水量为11.94%(表1)。

表1 皇甫川试验站样地(沟底、坡上)和坝口子试验站样地土壤的含水量 %

| 土层深度 | 0~20 | 20~40 | 40~60 | 60~80 | 80~100 | 平均 |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 沟底 | 12.38 | 19.61 | 11.93 | 13.69 | 19.35 | 15.39 |
| 坡上 | 2.37 | 2.16 | 2.67 | 3.99 | 4.86 | 3.21 |
| 坝口子 | 12.41 | 10.05 | 7.65 | 13.27 | 16.32 | 11.94 |

2.2 不同土壤水分条件下沙棘光合速率的变化

2.2.1 野外自然水分条件下及不同生境沙棘光合速率的变化 在坝口子试验站沙棘的光合速率总体上表现为10点之前种间的差异较小,10点之后俄罗斯沙棘的光合性能优于中国沙棘。中国沙棘雌、雄株和俄罗斯沙棘的雄株均为单峰曲线,峰值分别在8点和10点,而俄罗斯沙棘雌株在10点和14点2次出现高峰,光合速率分别达到17.7和14.5 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

皇甫川试验站不同生境中,中国沙棘雌、雄株光合速率在一天中表现为单峰曲线(图1),在坡上生境的峰值均出现在10点,分别为9.66和9.17 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。沟底生境雌株的峰值在12点[26.76 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$],雄株的峰值在10点[22.24 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]。由于坡上、沟底的水分差异非常大,沟底的土壤含水量是坡上土壤含水量的数倍,沟底植株的光合速率明显高于坡上植株光合速率,在水分良好的沟底,雌株的光合速率高于雄株的光合速率,而在水分状况较差的坡上种间无明显差异。

2.2.2 田间干旱胁迫处理对沙棘光合速率的影响

田间不同水分胁迫下,沙棘的光合速率均表现为随着干旱程度的加深,逐渐下降的趋势(图2)。中国沙棘光合速率的日平均值表现为雌株高于雄株,而俄罗斯沙棘表现为水分条件适宜时雄株略高于雌株,受到干旱胁迫后雌株大于雄株,且俄罗斯沙棘的光合能力优于中国沙棘。

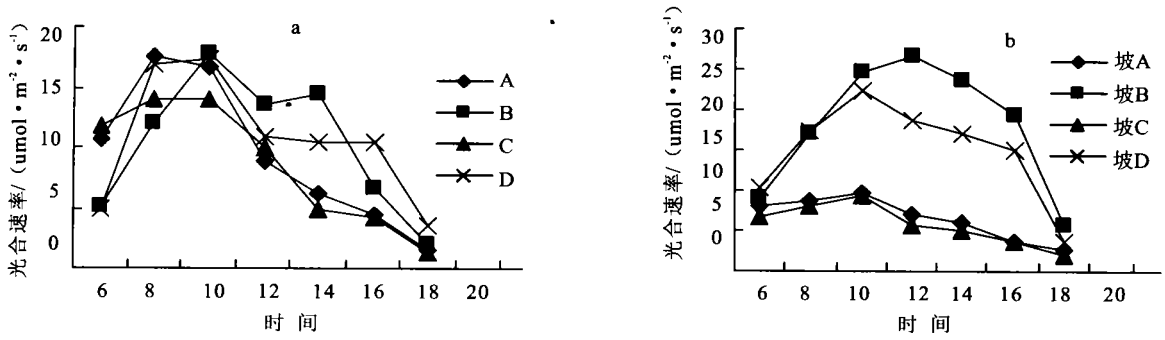


图 1 坝口子试验站(图 a)和皇甫川试验站(图 b)沙棘光合速率的变化

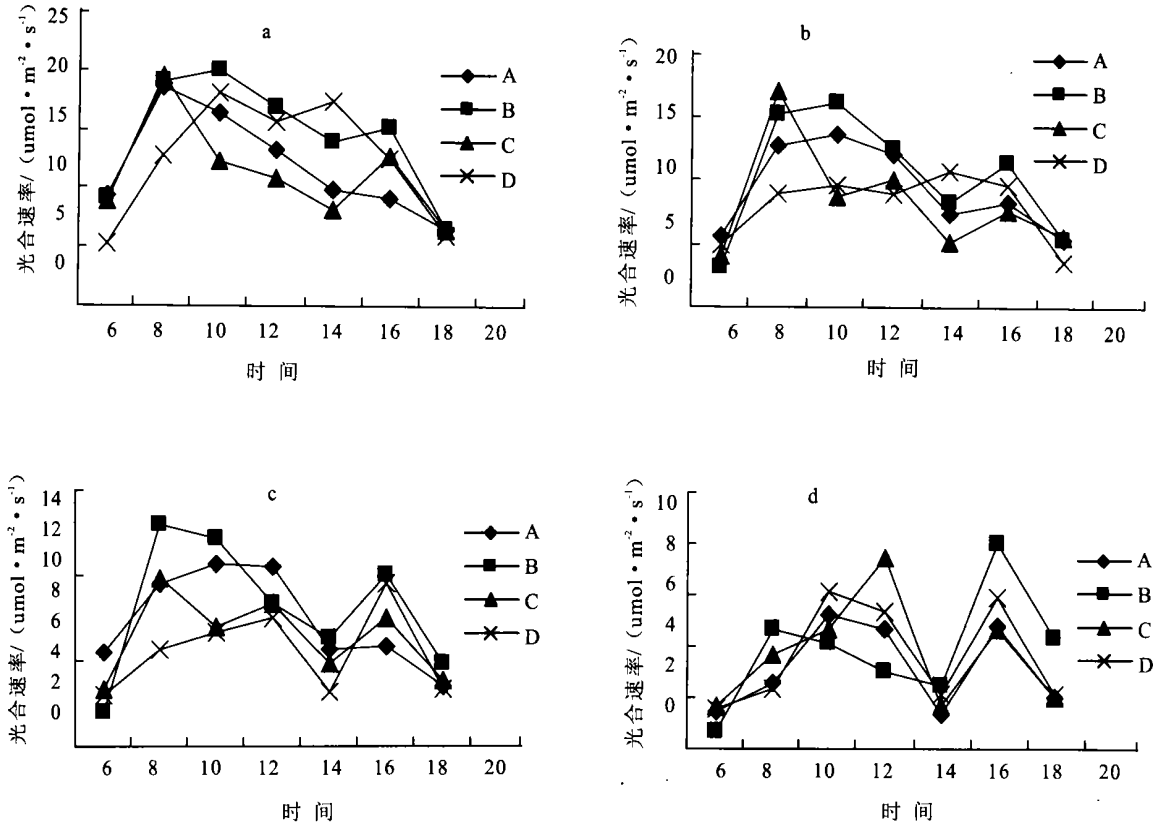


图 2 田间干旱胁迫条件下沙棘光合速率的变化

a. 水分适宜 b. 轻度干旱胁迫 c. 中度干旱胁迫 d. 重度干旱胁迫

中国沙棘雌株在水分适宜的情况下,在 8 点出现了全天的峰值,为 $18.6 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。在轻度、重度及中度干旱胁迫下光合的日进程均表现为双峰曲线,第一个峰值在 10 点,第二个峰值在 16 点。随着土壤水分含量的下降,光合速率明显的降低。尤其是在重度干旱胁迫下,全天光合的最大值为 $5.24 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,小于水分供给良好的全天光合的最低值 $6.42 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。

俄罗斯沙棘雌株光合速率日进程呈双峰曲线。水分供给良好和轻度干旱胁迫下峰值分别出现在 10 点和 16 点,中度和重度干旱胁迫下峰值出现在 8 点

和 16 点。随着干旱胁迫的加重,光合速率显著的降低,光合速率和土壤含水量呈显著的正相关。

不同水分条件下,中国沙棘雄株的光合速率也出现明显的变化。在水分适宜时,光合速率最高,8 点和 16 点出现峰值 19.4 和 $12.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$;轻度和中度干旱胁迫在 8 点和 16 点峰值明显,12 点的光合速率稍高于 10 点和 14 点,但全天光合速率均值低于水分良好时;在重度干旱胁迫下光合速率最低,变化较为平缓,峰值在 12 点 [$7.5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]和 16 点 [$4.62 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]。俄罗斯沙棘雄株光合的日进程呈现双峰曲线,水分适宜和轻度干旱胁迫条件下,峰

值出现在 10 点和 14 点, 中度和重度干旱胁迫的前峰分别在 12 点和 10 点, 后峰较水分状况相对较好的处理有所推迟, 在 16 点出现, 随着土壤含水量的降低, 光合速率明显的下降, 土壤水分状况良好的处理光合速率的最大值 [$18.1 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 是重度干旱胁迫最大值 [$6.07 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 的 3 倍。

2.2.3 田间干旱胁迫处理下土壤含水量和光合速率的回归分析 对土壤含水量(x) 和光合速率(y) 进行回归分析, 结果表明: 二者的关系可用 $y = a + bx + cx^2$ 的一元二次方程来表示(表 2), 复相关系数接近于 1。土壤含水量和光合速率呈显著的正相关。随着土壤含水量的增加, 光合速率增加。

2.3 不同水分条件下蒸腾速率的变化

2.3.1 野外不同生境沙棘蒸腾速率的变化 在坝口子试验站的自然水分条件下, 中国沙棘雄株和俄罗斯沙棘的雌、雄株的蒸腾速率日进程呈单峰曲线, 峰值在 10 点和 12 点, 只有中国沙棘的雌株分别在 12 点

和 16 点出现 2 次峰值, 俄罗斯沙棘的蒸腾速率相对高于中国沙棘。

表 2 土壤含水量和光合速率的回归方程

| 品种 | 回归方程 | R^2 |
|----|------------------------------------|--------|
| A | $y = -9.69 + 199.76x - 465.55x^2$ | 0.9744 |
| B | $y = -10.28 + 222.93x - 553.58x^2$ | 0.9796 |
| C | $y = -5.41 + 140.40x - 327.19x^2$ | 0.9858 |
| D | $y = -0.10 + 36.76x + 122.081x^2$ | 0.9983 |

皇甫川试验站不同生境中水分差异非常大, 沙棘的蒸腾速率也表现出明显的差异, 沟底水分状况良好, 其蒸腾速率显著高于水分状况差的坡上, 沟底全天的平均值约为坡上的 3 倍。坡上的中国沙棘雌、雄株和沟底的雄株蒸腾速率日进程为单峰型, 峰值在 14 点, 分别为 $5.88, 6.65, 15.01 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。沟底的中国沙棘雌株为双峰型, 峰值在 12 点 [$12.88 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 和 16 点 [$8.87 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] (图 3)。

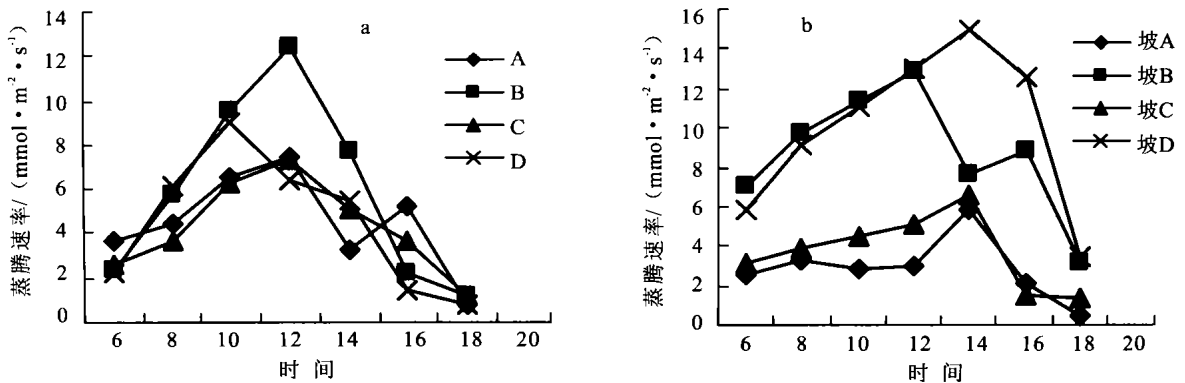


图 3 坝口子试验站(图 a)自然水分条件下和皇甫川试验站(图 b)不同生境沙棘蒸腾速率的变化

2.3.2 田间干旱胁迫处理对沙棘蒸腾速率的影响

田间不同水分条件下, 蒸腾速率的变化均表现为随土壤水分的增加, 蒸腾速率明显提高。俄罗斯沙棘的蒸腾速率的日均值为雌株高于雄株, 中国沙棘雌、雄株蒸腾速率的差异规律不一致, 且俄罗斯雌株蒸腾速率的日均值最高。对于中国沙棘雌株来说, 在水分适宜和轻度干旱胁迫下为单峰曲线, 水分适宜峰值出现较早(8 点), 轻度干旱胁迫峰值出现较晚(12 点)。中度和重度干旱胁迫下则呈双峰曲线, 峰值分别出现在 12 点和 16 点。

俄罗斯沙棘的雌株同样表现了蒸腾速率和土壤含水量呈正相关的规律。其蒸腾速率日进程呈现双峰曲线, 前峰高 [$12.8, 11.3, 9.17, 5.32 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 后峰低 [$8.92, 8.36, 4.36, 3.3 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 前峰出现在 10 点, 后峰出现在 16 点。中国沙棘雄株蒸腾速率日进程呈现双峰曲线, 水分适宜和轻度干旱胁迫

第一峰值在 8 点 [分别为 11.4 和 $6.69 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 随着干旱程度的加重, 第一峰值的出现时间推后, 中度干旱胁迫在 10 点 [$5.35 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$], 重度干旱胁迫在 12 点 [$4.69 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。不同的水分条件下, 水分良好的蒸腾速率最高, 重度干旱胁迫的最低, 表现了蒸腾速率与土壤含水量的正相关。

俄罗斯沙棘雄株蒸腾速率在全天表现为双峰曲线变化。第一峰在 10 点, 第二峰在 16 点。在不同土壤水分条件下, 随着水分含量降低, 蒸腾速率随之降低, 且降低的速率较快, 中度和重度干旱胁迫下蒸腾速率的差异较小(图 4)。

2.3.3 田间干旱胁迫处理下土壤含水量和蒸腾速率的回归分析 田间土壤含水量和蒸腾速率的回归分析表明(表 3), 二者的回归方程为一元二次方程, 在 0.001 水平下极显著。随着土壤含水量的增加, 蒸腾速率增加。

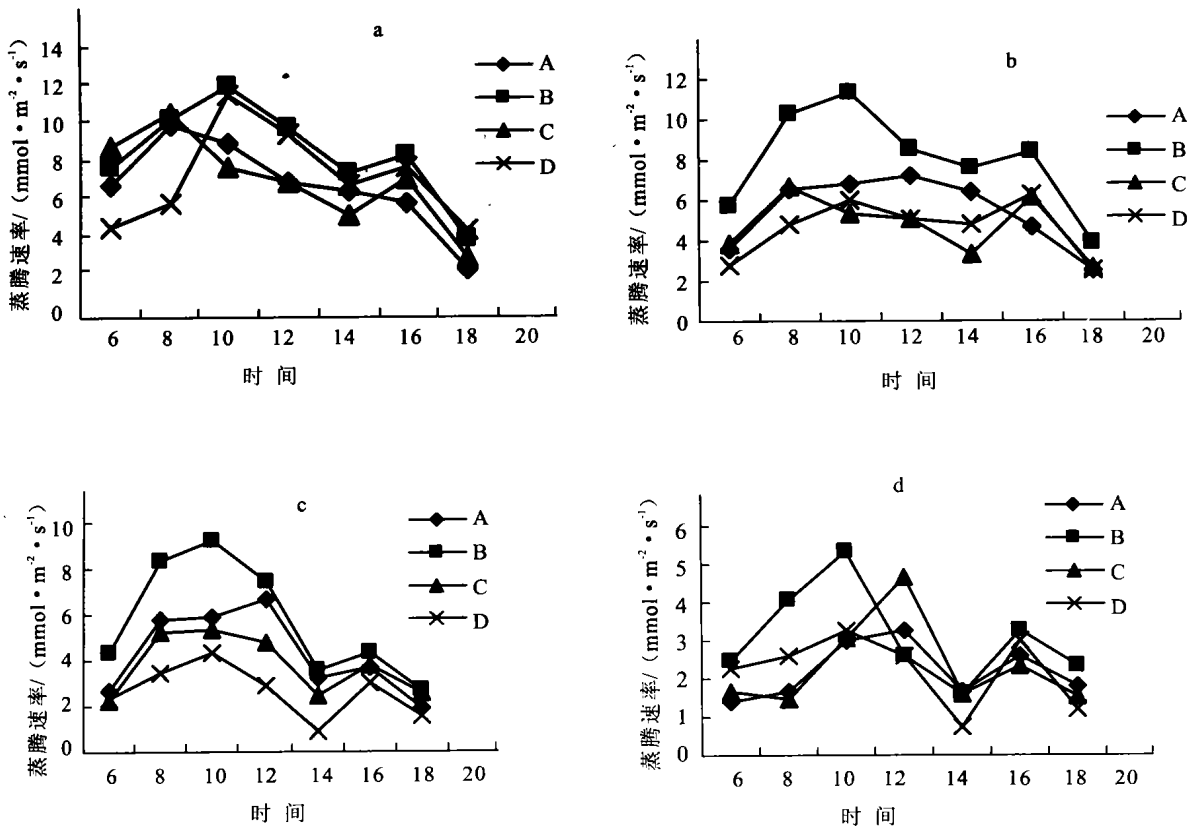


图 4 田间干旱胁迫条件下沙棘蒸腾速率的变化

a. 水分适宜 b. 轻度干旱胁迫 c. 中度干旱胁迫 d. 重度干旱胁迫

表 3 土壤含水量和蒸腾速率的回归分析

| 品种 | 回归方程 | R^2 |
|----|-----------------------------------|---------|
| A | $y = -3.46 + 84.11x - 154.99x^2$ | 0.980 0 |
| B | $y = -7.22 + 159.07x - 387.70x^2$ | 0.997 4 |
| C | $y = 0.61 + 15.94x + 89.01x^2$ | 0.985 2 |
| D | $y = 1.61 - 11.26x + 204.03x^2$ | 0.997 6 |

3 结论

(1) 随着土壤水分含量的增加, 沙棘的光合速率和蒸腾速率随之升高。

(2) 光合作用和蒸腾作用的日进程表现为双峰或单峰曲线, 峰值的出现时间也随土壤水分条件的变化而变化。

(3) 沙棘的光合速率日均值表现为雌株高于雄株, 俄罗斯沙棘的光合能力优于中国沙棘。而蒸腾速率的日均值为俄罗斯沙棘雌株高于雄株, 中国沙棘雌雄株蒸腾速率日均值的差异规律不一致, 且俄罗斯雌株蒸腾速率的日均值最高。

(4) 光合速率和蒸腾速率与土壤含水量呈显著的正相关, 回归方程为一元二次方程, 复相关系数接近 1。

4 讨论

在西北干旱、半干旱区, 中国沙棘作为土著种天然林分布广泛, 同时又有大面积的人工林, 它对干旱有很好的适应能力^[11-12]; 外来种俄罗斯沙棘以其枝条少刺或无刺、果实大、果柄长、果皮厚等优良的生物学特性被大面积引种。

沙棘是雌雄异株植物, 因此雌、雄株不同的光合作用和蒸腾作用特点及对干旱的适应性可作为进行水土保持时物种选择的依据。在干旱情况下中国沙棘的光合作用受到了极大的气孔和非气孔限制, 光合能力下降^[10]。

本试验从野外不同的土壤水分状况和田间试验研究发现: 沙棘雌株的光合能力强于雄株, 说明雌株的生殖分配需要更多的能量和物质。

俄罗斯沙棘的光合能力优于中国沙棘也印证了生产实践中其产量高、品质好的优良特性。但其高产优质是以高的土壤水分要求相一致的, 因为俄罗斯沙棘的蒸腾速率在 4 个种中是最高的。在生产实践中可因地制宜选择不同的种进行栽培。

(下转第 15 页)

蓓、马铃薯、荒地。灌草复合植被具有较好的蓄水、保水、调节土壤水分的作用,灌木林地、草地次之,农地居中,裸地最差。因此,在该地区应大力发展灌草复合植被或灌木林以调节改善土壤水分状况。

(5) 无论干旱年,还是平水年,封育区与非封育区的土壤水分动态存在着明显的差异,封育区灌木植被的土壤水分状况优于非封育区。

因此,对于环境条件较差的生态区,我们应该采取封造育相结合的植被建设技术,以加速荒山植被的快速恢复与重建,提高物种多样性,形成人工一天然复合植被类型。

[参 考 文 献]

- [1] 《土壤水分测定方法》编写组编著. 土壤水分测定方法[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [2] 黄忠怒. 波谱分析方法及其在水文气象中的应用[M]. 北京: 气象出版社, 1983. 37—46.
- [3] 中科院西北水土保持研究所. 农林草地水分论文专集[J]. 水土保持通报, 1990, 10(6).
- [4] 邱扬, 傅伯杰, 等. 黄土丘陵小流域水分时空分异与环境关系的数量分析[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 741—747.
- [5] 杨新民. 干旱地区人工林地土壤水分平衡的探讨[J]. 水土保持通报, 1998, 5(3): 26—32.
- [6] 韩仕峰. 黄土高原土壤水分特征[J]. 水土保持通报,

1996, 10(1): 9—17.

- [7] 寇志强. 内蒙古西部黄土丘陵区土壤水分动态初探[J]. 水土保持通报, 1999, 6(3): 21—26.
- [8] 杨文志, 韩仕峰. 黄土丘陵地区人工林草地的土壤水分生态环境[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985.
- [9] 杨文治. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学技术出版社, 1992.
- [10] 李德广. 旱地土壤水分的特征阶段、垂直类型与土壤水分预报[J]. 水土保持通报, 1999, 10(1): 36—42.
- [11] 周择福. 太行山低山区不同植被条件下土壤水分动态变化规律的研究[M]. 北京: 北京林业大学出版社, 1994.
- [12] 万素梅, 胡守林, 等. 不同紫花苜蓿品种土壤水分动态变化研究[J]. 水土保持通报, 2003, 17(4): 161—163.
- [13] 王军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 84—91.
- [14] 何福红, 黄明斌, 等. 黄土高原沟壑区小流域土壤水分空间分布特征[J]. 水土保持通报, 2002, 22(4): 6—9.
- [15] 史敏华, 王棣, 等. 太行山石灰岩山地封山区植被水土保持功能的研究[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(3): 93—97.
- [16] 贾志清, 刘创民, 等. 太行山石质砂岩区森林植被涵养水源效能研究[J]. 北京林业大学学报, 1996, 18(3): 87—92.

(上接第5页)

在水分条件相对较好的地区, 可以选择俄罗斯沙棘, 一方面可有效地利用土壤水分, 同时获得比较好的经济效益; 在土壤水分条件较差的地区, 可以选择适应性强、蒸腾速率较低的土著种或沙棘雄株。从水土保持和生态系统恢复和重建的角度来讲, 可以考虑先引进土著种改善生态环境, 当土壤水分条件较好时再大面积栽培俄罗斯沙棘。

[参 考 文 献]

- [1] 罗晶, 张玉圣, 陈引珍. 沙棘生态功能的再认识[J]. 中国水土保持, 1990(12): 28—31.
- [2] 孟雷, 李磊鑫, 陈温福, 等. 水分胁迫对水稻叶片气孔密度、大小及净光合速率的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(5): 475—480.
- [3] 李岩, 潘海春, 李德全. 土壤干旱条件下玉米叶片内源激素含量及光合作用特点[J]. 植物生理学报, 2000, 26(4): 301—305.
- [4] Cornic G, Briantais J M. Partitioning of photoinhibition electron CO₂ and O₂ reduction in C₃ leaf at different CO₂ concentrations and during drought stress[J]. Plant, 1991, 183: 178—184.

- [5] Chaves M M. Effects of water deficits on carbon assimilation[J]. J Exp Bot, 1991, 42: 1—4.
- [6] Saccardy K, Cornic G, Brulfert J, et al. Effect of drought stress on net CO₂ uptake by Zea leaves[J]. Plant, 1996, 199: 589—595.
- [7] 毛明策, 郭东伟, 梁银丽. 水分处理对油菜叶位光合速率、蒸腾速率及水分利用效率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(1): 49—51.
- [8] 郭连生, 田有亮. 4种针叶幼树光合速率、蒸腾速率与土壤含水量的关系及其抗旱性研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(1): 32—36.
- [9] 马成仓, 高玉葆, 王金龙, 等. 小叶锦鸡儿和狭叶锦鸡儿的光合特性及保护酶系统比较[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1594—1601.
- [10] 杨劼, 李国强, 曹云. 皇甫川流域中国沙棘光合特征分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 1—4.
- [11] 阮成江, 李代琼. 半干旱黄土丘陵区沙棘的光合特性及其影响因子[J]. 植物资源与环境学报, 2000(1): 16—21.
- [12] 阮成江, 李代琼. 半干旱黄土丘陵区沙棘气孔导度及其影响因子[J]. 西北植物学报, 2001, 21(6): 1078—1084.