

我国北方多沙粗沙区常见树种水分利用效率的研究*

高素华 郭建平 康玲玲 王云璋

(中国气象科学研究院 北京 100081) (黄河水利科学研究院 郑州 450003)

摘要 采用 Li-6400 光合作用系统测定北方多沙粗沙区不同光强条件下常见树种水分利用效率和蒸腾效率结果表明,6 个树种水分利用效率依次为刺槐 > 山楂 > 杨树 > 柳树 > 榆树 > 核桃,2 种灌木沙柳水分利用效率高于柠条,但其蒸腾速率却小于柠条,在半旱区水分竞争力强于柠条。

关键词 水分利用效率 光合速率 蒸腾速率

Water use efficiency of common tree species in the excessive and thick sandland regions of Northern China . GAO Su-Hua, GUO Jian-Ping(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081,China), KANG Ling-Ling, WANG Yun-Zhang(Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China), *CJEA*, 2006, 14(1): 90 ~ 92

Abstract The water use efficiency and transpiration rate of common tree species under different radiations were measured by using Li-6400 potable photosynthetic system in the excessive and thick sandland regions of Northern China . The results show that the order of the water use efficiency of 6 tree species is acacia > haw > poplar > osier > elm > walnut, and also show that the water use efficiency of *S. psammophilais* greater than that of *C. intermedia*, but its transpiration efficiency is far less than that of *C. intermedia* and the drought-resistant ability of *S. psammophila* is stronger than that of *C. intermedia* .

Key words Water use efficiency, Photosynthetic rate, Transpiration rate

(Received June 9, 2004; revised July 26, 2004)

以往有关农作物水分利用效率的研究^[1~3]和不同树种抗旱性、水分动态变化的研究^[4~11]已见诸报道,但对不同光强多个树种水分利用效率的研究尚未见报道。本研究探讨了我国北方多沙粗沙区常见树种水分利用效率,为该区科学选择树种提供依据。

1 研究区域概况与研究方法

研究区域黄土高原多沙粗沙区位于黄土高原北中部,沟壑纵横、地形破碎、土壤疏松,常年干旱少雨,且降水时空分布极不均匀,6~9 月份降水量占年降水量的 65%~75%且多暴雨,常发生高含沙洪水,使下游河床连年抬高,大大降低河道的防洪能力;多大风,温差大,自然灾害频繁,水土流失加剧,多年平均输沙量达 16 亿 t,其中面积为 7.86 万 km² 的多沙区输沙量占 65%,加之区域内人口数量增长过快,陡坡开荒和过度放牧等人为破坏植被的现象频发,使其生态环境十分脆弱,干旱缺水严重影响与制约了该区土地资源潜力的发挥,阻碍了当地经济的发展。本研究采用 Li-6400 便携式光合作用系统测定了 8 种植物光合速率和蒸腾速率,于 2003 年 6 月 7 日在北京观测榆树、刺槐、杨树、柳树、核桃和山楂 6 个树种;于 2002 年 9 月 8 日观测柠条和沙柳 2 个灌木;测定时由低辐射强度到高辐射强度(0~3000 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}$)。

2 结果与分析

2.1 6 个树种光合速率与蒸腾速率变化

观测结果表明 6 个树种光合速率均随辐射强度的增大而增加,当辐射强度增至一定程度后光合速率增速极慢,且呈明显对数关系,其相关方程见表 1,置信度均达 0.001。辐射强度为 100~2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}$ 6 个树种光合速率平均值榆树最大(为 11.28 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}$),柳树最小(仅为 1.64 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}$),6 个树种光合速率依次为榆树 > 刺槐 > 山楂 > 核桃 > 杨树 > 柳树。辐射强度达 2200 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}$ 以上时,6 个树种中除榆树、刺槐和杨树光合速率均随辐射强度的增加而增幅变小,如刺槐变幅为 0.09%左右,说明刺槐几乎处于光饱和状态,

* 黄河水利委员会治黄专项(2002Z031)资助

收稿日期:2004-06-09 改回日期:2004-07-26

而榆树和杨树变幅仅有 0.10% ~ 0.20% 左右,也可认为近似达到光饱和点,补偿点约 $20\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$ 左右;而柳树光合速率则随辐射强度的增大而极缓慢增加,辐射强度达 $2800\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$ 后才有较大增幅,且测定多个样本结果均类似,但柳树光饱和点为何比其他 3 个树种高的原因尚待进一步研究。6 个树种蒸腾速率变化趋势同光合速率,亦随辐射强度的增大而增加,但辐射强度较低 ($< 100\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$) 时各树种变化不同,辐射强度 $> 100\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$ 时均随辐射强度的增强而增大,二者呈抛物线关系,其相关方程见表 2,由表 2 可知除与山楂相关关系不明显外,与其他 5 个树种相关性极显著,置信度均达 0.001。辐射强度为 $100 \sim 2000\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$ 时 6 个树种平均蒸腾速率值榆树最大(为 $3.8\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$),柳树最小(仅为 $1.03\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$),6 个树种依次为榆树 > 核桃 > 刺槐 > 杨树

表 2 6 个树种辐射强度与蒸腾速率的关系

Tab.2 The relationships between radiation and transpiration rate of 6 tree species

树 种 Tree species	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
榆树	$Y = 3 \times 10^{-7} x^2 + 0.0005 x + 2.9238$	0.99
刺槐	$Y = -4 \times 10^{-7} x^2 + 0.0027 x + 0.2925$	0.99
杨树	$Y = 2 \times 10^{-7} x^2 + 0.0003 x + 0.9617$	0.98
柳树	$Y = 2 \times 10^{-7} x^2 + 0.0002 x + 0.4613$	0.98
核桃	$Y = 2 \times 10^{-7} x^2 + 0.0003 x + 2.1971$	0.99
山楂	$Y = 2 \times 10^{-7} x^2 + 0.0004 x + 1.5182$	0.33

同树种亦有差异,辐射强度 $> 600\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$ 时榆树、刺槐水分利用效率均随辐射强度的增加而减小;辐射强度 $> 1000\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$ 时杨树和核桃水分利用效率均随辐射强度的增加而减小;而柳树和山楂这种关系则不明显。辐射强度 $< 600\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$ 时,除杨树外其余 5 个树种水分利用效率均随辐射强度的增加而呈增大趋势。辐射强度为 $100 \sim 2000\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$ 时 6 树种平均水分利用效率山楂最大(为 6.0),而榆树最小(仅为 2.95),6 树种为山楂 > 杨树 > 刺槐 > 柳树 > 榆树 > 核桃;低辐射 ($100\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$) 时为刺槐 > 山楂 > 杨树 > 柳树 > 榆柳 > 核桃;强辐射 ($2000\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$) 时为山楂 > 杨树 > 柳树 > 核桃 > 榆树 > 刺槐。蒸腾效率的计算即蒸腾速率/光合速率值,表示生产单位光合产物所需蒸腾消耗的水分,蒸腾效率和水分利用效率为倒数关系,故变化趋势基本一致。6 个树种中生产单位的光合产物山楂需水量少,而核桃最大,其排序与水分利用效率一致,但对水分利用的评价意义则相反。该区水分竞争能力最强的树种为杨树,其次为刺槐、柳树和榆树。2 个经济树种山楂水分竞争能力高于核桃。

表 1 6 个树种辐射强度与光合速率的关系

Tab.1 The relationships between radiation and photosynthetic rate

树 种 Tree species	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
榆树	$Y = 2.4261 \ln(x) - 4.4549$	0.96
刺槐	$Y = 2.4935 \ln(x) - 8.5202$	0.99
杨树	$Y = 1.3757 \ln(x) - 2.4190$	0.91
柳树	$Y = 0.6155 \ln(x) - 1.8406$	0.81
核桃	$Y = 3.3044 \ln(x) - 14.4430$	0.99
山楂	$Y = 2.6402 \ln(x) - 9.8532$	0.97

> 山楂 > 柳树。低辐射 ($100\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$) 时 6 个树种蒸腾速率为榆树 > 核桃 > 山楂 > 杨树 > 刺槐 > 柳树。但仍为榆树最大,柳树量小,其余 3 个树种排序有变化;而强辐射 ($2000\mu\text{mol m}^2 \cdot \text{s}$) 时 6 个树种蒸腾速率为榆树 > 刺槐 > 核桃 > 杨树 > 山楂 > 柳树,与平均值基本一致,仅刺槐和核桃排序有变化。

2.2 不同辐射强度 6 个树种水分利用效率与蒸腾效率

水分利用效率的计算即光合速率/蒸腾速率值,表示单位数量的水所能生产的光合产物。不同辐射强度 6 个树种的水分利用效率见表 3。由表 3 可知水分利用效率与辐射强度的关系较为复杂,不同辐射强度表现不一,且不

表 3 不同辐射强度 6 个树种的水分利用效率

Tab.3 The water use efficiency of 6 tree species in different radiations

辐射强度/ $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ Radiant intensity	水分利用效率/ $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ Water use efficiency					
	榆树 Elm	刺槐 Acacia	杨树 Poplar	柳树 Osier	核桃 Walnut	山楂 Haw
50	0.50	4.50	2.02	1.94	- 0.58	- 0.55
100	1.45	4.77	3.64	2.71	0.50	3.85
200	2.48	4.30	5.20	3.11	-	-
400	2.96	4.56	4.80	3.31	-	-
600	3.37	4.49	4.37	2.93	2.37	5.34
800	3.51	3.95	4.30	3.14	-	-
1000	3.48	3.62	4.29	2.64	2.99	6.80
1200	3.41	3.60	4.16	3.18	-	-
1400	3.08	3.12	3.77	3.21	-	-
1600	3.06	2.80	3.92	3.39	2.96	7.20
1800	2.90	2.59	3.97	3.57	-	-
2000	2.75	2.57	3.85	3.23	2.81	6.81
2200	2.69	2.57	3.49	3.85	-	-
2400	2.50	2.50	3.35	3.81	-	-
2600	2.40	2.39	3.31	3.89	2.50	-
2800	2.28	2.33	3.24	3.56	-	-
3000	2.23	2.33	3.12	3.52	2.49	-

2.3 沙柳与柠条水分利用效率

表 4 不同辐射强度沙柳的水分利用效率

Tab.4 Water use efficiency of *Salix psammophila* in different radiations

辐射强度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Radiant intensity	光合速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Photosynthetic rate	蒸腾速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Transpiration rate	水分利用效率/ $\mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$ Water use efficiency
200	0.062	0.287	0.22
500	0.93	0.341	0.30
800	1.21	0.375	3.23
1000	2.82	0.538	5.24
1200	4.54	0.729	6.23
1400	9.31	1.310	7.11

表 5 沙柳辐射强度与水分利用效率的关系

Tab.5 The relationship between radiation and water use efficiency of *Salix psammophila*

项目 Items	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
光合速率	$Y = 9 \times 10^{-6} x^2 - 0.0081 x + 1.7581$	0.98
蒸腾速率	$Y = 1 \times 10^{-6} x^2 - 0.0011 x + 0.5163$	0.98
水分利用效率	$Y = 1 \times 10^{-6} x^2 - 0.0046 x - 1.2440$	0.98

沙柳、柠条光合速率测定辐射强度设 $200\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、 $500\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、 $800\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、 $1000\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 、 $1200\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 和 $1400\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 7 个梯度。表 4 表明沙柳光合速率随辐射强度的增大而增加,其蒸腾速率亦呈同样变化趋势均为抛物线相关(其相关方程见表 5),而水分利用效率亦呈同样变化趋势,蒸腾效率则呈相反趋势, $200 \sim 1400\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 平均光合速率为 $3.15\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$,平均蒸腾速率 $0.597\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$,平均水分利用效率 $3.72\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$,平均蒸腾效率 $0.97\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ 。表 6 表明辐射强度为 $200 \sim 1400\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 时

表 6 不同辐射强度柠条的水分利用效率

Tab.6 Water use efficiency of *C. intermedia* in different radiations

辐射强度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Radiant intensity	光合速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Photosynthetic rate	蒸腾速率/ $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ Transpiration rate	水分利用效率/ $\mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$ Water use efficiency
200	0.217	2.59	0.08
500	4.01	3.01	1.33
800	7.64	3.38	2.26
1000	9.25	3.68	2.51
1200	9.98	3.84	2.60
1400	11.1	3.96	2.80

柠条平均光合速率为 $7.03\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$,平均蒸腾速率 $3.41\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$,平均水分利用效率 $1.93\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$,平均蒸腾效率 $2.38\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$,且光合速率、蒸腾速率、水分利用效率均随辐射强度的增强而增大,蒸腾效率则相反随辐射强度的增强而减小。与柠条相比,沙柳平均蒸腾速率仅为柠条的 17.5%,平均水分利用效率则高 92.7%,而平均蒸腾效率却低 59.2%,蒸腾速率与光能利用率可认为是互补关系,据生态位理论可推测不同植物的生长和水分利用策略亦可能存在差异,即存在

在光能和水资源利用生态位的分离,在半干旱区沙柳水分竞争能力强于柠条。

3 小结

本研究表明水分利用效率和蒸腾效率是互补关系,水分利用效率高的植物其蒸腾效率亦非常高,沙柳水分利用效率大于柠条,但其蒸腾速率却小于柠条,黄土高原多沙粗沙区气候严重干旱,从抗旱性考虑沙柳应为首选灌木,榆树、刺槐、杨树、柳树、核桃和山楂 6 个树种中榆树水分利用效率最低,但蒸腾效率最大,从增加抗旱性考虑应首选榆树,从提高水分利用效率考虑应首选杨树。

参 考 文 献

- 1 钟兆站,赵聚宝.中国北方主要旱地作物需水量的计算与分析.中国农业气象,2000,21(2):1~4
- 2 张劲松,孟平,尹昌君等.植物蒸散耗水量计算方法综述.世界林业研究,2001,14(2):23~28
- 3 杜尧东,刘作新,张运福等.参考作物蒸散计算方法及其评价.河南农业大学学报,2001,35(1):57~61
- 4 冯金朝.沙生植物水分特征曲线及水分关系的初步研究.中国沙漠,1995,15(3):222~226
- 5 董学军,陈仲新,陈锦正等.毛乌素沙地油松的水分关系参数随不同土壤基质的变化.植物生态学报,1999,23(5):385~392
- 6 郭连生,田有亮.应用 PV 技术对针阔叶树种耐旱性生理指标的研究.林业科学,1989,25(5):389~394
- 7 李吉跃.PV 技术在油松侧柏苗木抗旱性研究中的应用.北京林业大学学报,1989,11(1):3~11
- 8 田有亮,郭连生.应用 PV 技术对 7 种针阔叶幼树抗旱性的研究.应用生态学报,1990,1(2):114~119
- 9 李吉跃,张建国.北京主要造林树种耐旱机理及其分类模型的研究.苗木叶水势与土壤含水量的关系及分类.北京林业大学学报,1993,15(3):1~11
- 10 董学军,陈仲新,阿拉腾宝等.毛乌素沙地柏的水分生态初步研究.植物生态学报,1999,23(4):311~319
- 11 蒋进.极端气候条件下胡杨的水分状况及其与环境的关系.干旱区研究,1991(2):35~38