

文章编号: 1000-5692(2003)03-0268-05

干旱胁迫条件下臭柏的气孔蒸腾与角质层蒸腾

温国胜¹, 张国盛², 张明如², 王林和², 吉川贤³

(1. 浙江林学院 生命科学学院, 浙江 临安 311300; 2. 内蒙古农业大学 林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019; 3. 冈山大学 农学部, 日本 冈山)

摘要: 为了探讨臭柏 *Sabina vulgaris* 的耐旱机理, 运用切枝蒸腾法, 室内实验和野外调查相结合, 测定了干旱胁迫条件下臭柏的气孔蒸腾和角质层蒸腾。室内实验是将臭柏插穗带往日本冈山大学扦插, 生根扦插苗移植于砾耕栽培装置中, 设置对照区、弱干旱胁迫区和强干旱胁迫区(培养液渗透势分别为 0 MPa、-0.1 MPa 和 -0.3 MPa) 3 种处理进行长期的干旱胁迫室内模拟实验。野外调查是在中国毛乌素沙地土壤水分条件不同的沙丘上部和沙丘下部选择供试样品进行测定。结果表明, 气孔蒸腾是臭柏水分消耗的主要形式。在干旱胁迫条件下, 臭柏的气孔更加敏感, 迅速地关闭, 降低蒸腾速率, 以减少水分的散失。图 6 参 15

关键词: 植物学; 臭柏; 干旱胁迫; 气孔蒸腾; 角质层蒸腾

中图分类号: S718.43; Q945.17⁺2 **文献标识码:** A

多数的旱生植物以敏感的气孔开闭及时调节气孔蒸腾及以低的角质层蒸腾, 防止体内水分的消耗^[1,2]。气孔蒸腾与角质层蒸腾是同时发生的, 在野外条件下直接测定是较困难的, 一般人们多研究其总蒸腾速率^[3,4]。吉川贤等^[5]根据切枝蒸腾法间接地推断树木的气孔蒸腾与角质层蒸腾, 取得了良好的结果。臭柏 *Sabina vulgaris* 是我国干旱半干旱地区分布的优良树种, 因它在极端环境条件下表现出强的适应能力和较好的生态社会效益, 受到国内外的重视^[6]。本研究试图运用切枝蒸腾法在臭柏天然分布区内的不同立地条件下及长期的干旱胁迫模拟实验条件下, 讨论臭柏的气孔蒸腾及角质层蒸腾, 探讨其环境适应机理。

1 材料与方法

1.1 切枝蒸腾法

供试样品吸水饱和后, 吸干枝叶表面的水分, 放在电子天平上称量。由于蒸腾失水, 质量逐渐减少。质量随时间的变化曲线如图 1 所示。各点的蒸腾速率(E)为单位时间(dt)内质量的减少量(dy)即

$$E = dy/dt. \quad (1)$$

测定开始时, 蒸腾速率最大, 这时的蒸腾速率(E_t)为气孔蒸腾速率(E_s)和角质层蒸腾速率(E_c)的和。随着小枝的失水, 气孔逐渐关闭, 蒸腾速率逐渐减少, 蒸腾速率接近最小值的部分被认为是气孔完全关闭, 只有角质层蒸腾的部分。根据 E_t 和 E_c 的差可算 E_s 。即:

收稿日期: 2003-03-18; 修回日期: 2003-05-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30240033)

作者简介: 温国胜(1959-), 男, 内蒙古丰镇人, 副教授, 博士, 从事树木生理生态学研究。E-mail: onkoku@hotmail.com

$$E_s = E_t - E_c.$$

(2)

图 1 中，能够分成气孔蒸腾和角质层蒸腾同时发生的回归线 ($y = E_t t + a$) 和气孔关闭后只有角质层蒸腾的回归线 ($y = -E_c t + b$) 2 部分。回归线 $y = E_t t + a$ 和质量变化曲线的交点 A (t_i, y_i) 为气孔关闭开始点，回归线 $y = -E_c t + b$ 和质量变化曲线的交点 B (t_c, y_c) 为气孔完全关闭点。以测定开始前的样品含水率为 100%，则可以算出 A、B 2 点的相对含水率，可以评价气孔反应的敏感程度。即 A、B 2 点的相对含水率越高，气孔的开闭反应越敏感。

1.2 野外测定

野外测定在中国毛乌素沙地开发研究中心进行，测定时日平均气温为 22℃，日平均相对湿度为 60%。供试材料分别采自沙丘上部和沙丘下部大小相近的 2 个臭柏群落中生长旺盛枝条的上中部。采样枝基部距地下水位的距离，沙丘上部为 4.0 m，沙丘下部为 2.8 m。地表以下 30 cm 深的沙层含水量，沙丘上部为 (1.5±0.12)%，沙丘下部为 (4.90±0.16)%，沙丘上部较沙丘下部明显干旱。

1.3 干旱胁迫模拟实验

干旱胁迫模拟实验在日本冈山大学农学部实验室内进行。测定时的平均气温 31℃，平均相对湿度 43%。测定材料选自冈山大学农学部砾耕栽培装置中 (图 2)，干旱胁迫连续处理 2 a 的臭柏扦插苗^[7,8]。该苗木是从内蒙古林学院校园内生长的 10 年生臭柏上采插穗，带往日本冈山大学扦插，生根扦插苗移植于砾耕栽培装置中。干旱胁迫处理是在 Hoagland 培养液中加入 PEG (分子量 6 000)^[9-14]，参考毛乌素沙地的水分条件，调节 PEG 的质量浓度，设置对照区、弱干旱胁迫区和强干旱胁迫区 (溶液中分别加入 PEG 0 g·L⁻¹，50 g·L⁻¹ 和 100 g·L⁻¹)，其溶液渗透势分别为 0 MPa，-0.1 MPa，-0.3 MPa^[8,15]。为了减少由于蒸发和植物营养的吸收所引起的培养液浓度及养分构成的变化的影响。每 6 周更换 1 次培养液。

2 结果与分析

2.1 天然臭柏群落

毛乌素沙地沙丘上部和沙丘下部生长的臭柏的气孔关闭开始时和气孔完全关闭时的相对含水率如图 3 所示。沙丘上部的样品比沙丘下部的样品有较高的相对含水率。这表明，沙丘上部生长的个体与沙丘下部生长的个体相比较，长期适应干旱胁迫，在相对含水率较高时，气孔就敏感及时地关闭以减少水分的散失。

毛乌素沙地沙丘上部和沙丘下部生长的臭柏的气孔蒸腾速率和角质层蒸腾速率如图 4 所示。无论气孔蒸腾速率，还是角质层蒸腾速率，沙丘下部都比沙丘上部的高。这表明，沙丘上部受到较强的干旱胁迫，蒸腾速率受到抑制。另一方面，沙丘下部和沙丘上部比较时，角质层蒸腾速率，沙丘下部为沙丘上部的 6.2 倍；气孔蒸腾速率，沙丘下部为沙丘上部的 14.8 倍。这表明，沙丘上部

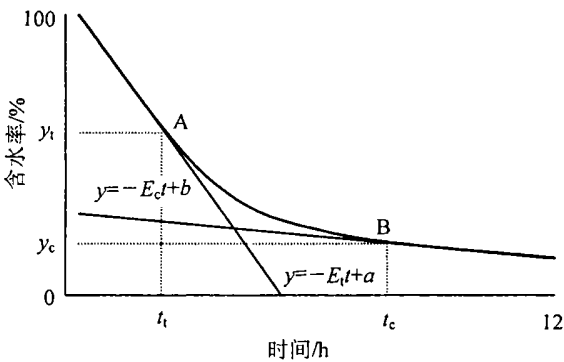


图 1 切枝含水率的变化

Figure 1 Changes in the water content of cut branches

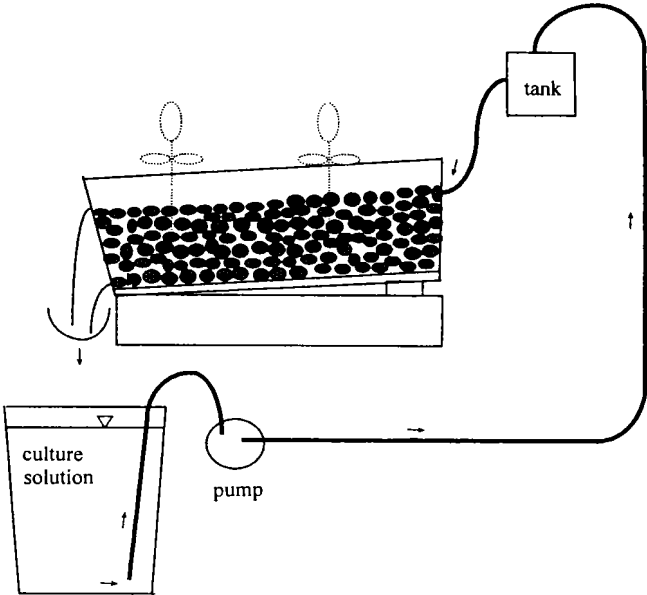


图 2 砾耕栽培装置

Figure 2 Water culture system

生长的个体受到较强的干旱胁迫时, 气孔蒸腾比角质层蒸腾更加强烈地受到抑制。气孔蒸腾和角质层蒸腾相比较时, 沙丘上部的气孔蒸腾速率为角质层蒸腾速率的 1.3 倍, 沙丘下部则为 3.0 倍。无论何处, 气孔蒸腾都是主要的水分散失方式。因此, 臭柏体内的水分平衡主要通过气孔调节。

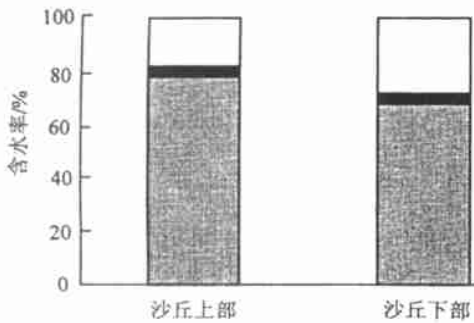


图 3 毛乌素沙地切枝含水率的变化 (■从测定开始到气孔开始关闭, □从气孔开始关闭到气孔完全关闭, 气孔关闭后)

Figure 3 Changes of water content in cut-shoot of Maowusu Sandy Land (■from starting measurement to closing phase, □in closing phase, water after closing phase)

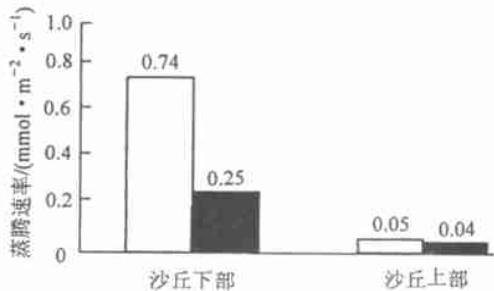


图 4 毛乌素沙地气孔蒸腾速率 (□) 和角质层蒸腾速率 (■)

Figure 4 Stomatal transpiration rate (□) and cuticular transpiration rate (■) in Maowusu Sandy Land

2.2 室内模拟实验

干旱胁迫条件下气孔关闭开始时和气孔完全关闭时的相对含水率如图 5 所示。对照区、弱干旱胁迫区和强干旱胁迫区依次增大。也就是说, 干旱胁迫区, 在较高的相对含水率时, 气孔就作出反应, 及时关闭以减少水分的散失。和野外测定比较时, 对照区和沙丘下部的相近, 沙丘上部的测定值间于弱干旱胁迫区和强干旱胁迫区之间。

干旱胁迫条件下的气孔蒸腾速率和角质层蒸腾如图 6 所示。干旱胁迫条件下, 蒸腾速率受到抑制。尤其是气孔蒸腾速率差异更加显著。和毛乌素沙地的测定结果相比较时, 毛乌素沙地的测定值更小。这表明, 自然条件下生长的臭柏, 长期适应沙漠环境条件, 以更低的蒸腾速率防止水分的散失。

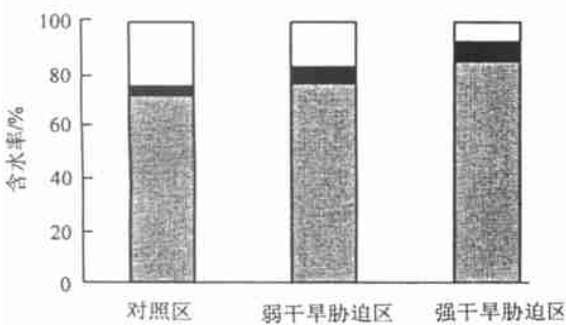


图 5 砾耕栽培装置中切枝含水率的变化 (□从测定开始到气孔开始关闭, ■从气孔开始关闭到气孔完全关闭, 气孔关闭后)

Figure 5 Changes of water content in cut-shoot of water culture system. (□from starting measurement to closing phase, ■in closing phase, after closing phase)

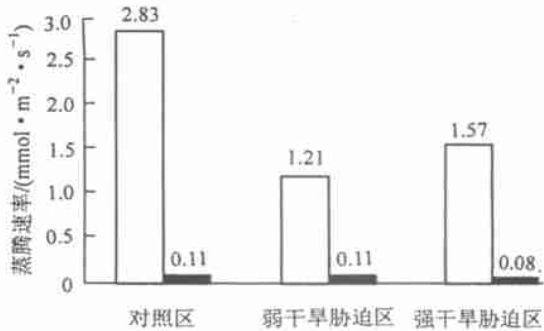


图 6 砾耕栽培装置中气孔蒸腾速率 (□) 和角质层蒸腾速率 (■)

Figure 6 Stomatal transpiration rate (□) and cuticular transpiration rate (■) in water culture system

3 讨论

毛乌素沙地不同的立地条件下生长的臭柏的切枝蒸腾速率是不同的。在远离地下水位的沙丘上

部, 和接近地下水位的沙丘下部相比, 蒸腾速率低, 气孔开始关闭和气孔完全关闭时的相对含水率较高。这表明, 在沙丘上部生长的臭柏, 长期适应较强的干旱胁迫环境, 气孔的开闭反应更加敏感, 以减少水分消耗。这一结论在室内模拟干旱胁迫条件下得到进一步的验证, 即在干旱胁迫区, 气孔蒸腾速率及角质层蒸腾速率都有减小的趋势, 而气孔关闭开始时和气孔完全关闭时的相对含水率则有增大的趋势。因此, 在干旱胁迫条件下, 臭柏以其敏感的气孔反应, 减少水分的散失, 作为适应干旱的生存战略之一, 使其在干旱条件下生存成为可能。

在毛乌素沙地生长的臭柏, 气孔蒸腾为角质层蒸腾的 1~3 倍, 在室内模拟条件下, 气孔蒸腾为角质层蒸腾的 10~26 倍。虽然蒸腾速率是随着环境因素的变化而变化的, 无论那种条件下, 气孔蒸腾都是主要的水分散失形式, 调节着植物体内的水分平衡。

植物的蒸腾作用是一个复杂的生理代谢过程, 一般人们多研究其总蒸腾速率。本研究试图用切枝蒸腾法推断臭柏气孔蒸腾和角质层蒸腾, 并以气孔关闭时的相对含水率来评价气孔反应对于干旱胁迫的敏感性。由于实验条件所限, 实验数据难以进行统计分析。实验结果是初步的, 有待于进一步验证。

根据植物受环境胁迫后生理机能的恢复程度, 将环境胁迫分为慢性环境胁迫和急性环境胁迫^[2], 以往的干旱胁迫室内模拟实验多为数日至数月的急性干旱胁迫实验, 本研究用 PEG 处理结合培养液栽培进行了长达数年的慢性干旱胁迫室内模拟实验, 处理方法尚需进一步研究探讨。

参考文献:

- [1] Kramer P J. *Water in the Environment and Plant* (in Japanese) [M]. Tokyo: Springer-Verlag, 1986. 1—433.
- [2] Larcher W. *Physiological Plant Ecology* (in Japanese) [M]. Tokyo: Springer-Verlag, 1999. 234—258.
- [3] 董学军, 陈仲新, 阿拉腾宝等. 毛乌素沙地沙地柏 *Sabina vulgaris* 的水分生态初步研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(4): 311—319.
- [4] Jiang G M, He W M. Species and habitat-variability of photosynthesis, transpiration and water use efficiency of different plant species in Maowusu sandy area[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(10): 1114—1124.
- [5] Yoshikawa K, Wang L H. Effects of soil water conditions on the transpiration rate cut branch of several tree species[J]. *J Jpn Soc Reveget Tech*, 1992, 17(4): 11—20.
- [6] Wen G S, Wang L H, Yoshikawa K. Physiological and ecological characteristics of *Sabina vulgaris* in semi-arid region of China[J]. *J Jpn Soc Reveget Tech*, 2002, 27(3): 526—532.
- [7] Morimoto J, Yoshikawa K. Effects of long-term water stress on leaf growth of seedlings of several tree species[J]. *J Jpn Soc Reveget Tech*, 1998, 23(4): 228—236.
- [8] Wen G S, Zushi M, Sakamoto K, et al. Study on growth of *Sabina vulgaris* under long term water stress[J]. *J Jpn Soc Reveget Tech*, 2000, 25(3): 242—248.
- [9] Jackson W T. Use of carbowaxes (polyethylene glycols) as osmotic agents[J]. *Plant Physiol*, 1962, 37: 513—519.
- [10] Jacomini E, Bertani A, Mapelli S. Accumulation of polyethylene glycol 6 000 and its effects on water content and carbohydrate level in water-stressed tomato plants[J]. *Can J Bot*, 1987, 66: 970—973.
- [11] Janes B E. The effect of molecular size, concentration in nutrient solution and exposure time on the amount and distribution of polyethylene glycol in pepper plants[J]. *Plant Physiol*, 1974, 54: 226—230.
- [12] Mexal J, Fisher J T, Osteryoung J, et al. Oxygen availability in polyethylene glycol solutions and its implications in plants water relations[J]. *Plant Physiol*, 1975, 55: 20—24.
- [13] West D W, Merrigan I F, Taylor J A, et al. Growth of ornamental plants irrigated with nutrient of polyethylene glycol solutions of different osmotic potentials[J]. *Plant Soil*, 1980, 56: 99—111.
- [14] Zwiazek J J, Blake T J. Effects of preconditioning on electrolyte leakage and lipid composition black spruce (*Picea mariana*) stressed with polyethylene glycol[J]. *Plant Physiol*, 1990, 80: 71—77.
- [15] Krizek D T. Methods of inducing water stress in plants[J]. *Hort Sci*, 1985, 20: 1028—1038.

Stomatal transpiration and cuticular transpiration of *Sabina vulgaris* under drought stress

WEN Guo-sheng¹; ZHANG Guo-sheng²; ZHANG Ming-ru², WANG Lin-he², YOSHIKAWA Ken³

(1. School of Life Sciences Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang China; 2. School of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, Inner Mongolia China; 3. School of Agriculture, Okayama University, Okayama, Japan)

Abstract: To discuss the drought resistance mechanism of *Sabina vulgaris*, stomatal transpiration and cuticular transpiration of *Sabina vulgaris* are measured with the transpiration method of cut branch, greenhouse experiments and field survey being combined. In Okayama University of Japan, long-term simulation experiment in greenhouse are conducted with three different treatments: control, light stress, strong stress in water culture systems, in which concentrations of solutions are 0 MPa, -0.1 MPa and -0.3 MPa respectively. Field survey is conducted with the samples from upper and lower parts of dune with different soil water contents at Mowusu Sandy Land in China. The results show that stomatal transpiration is the major form of water consumption of *Sabina vulgaris*. Under drought stress, stomas close sensitively and quickly to decrease the transpiration rate and the loss of water. [Ch, 6 fig, 15 ref.]

Key words: botany; *Sabina vulgaris*; drought stress; stomatal transpiration; cuticular transpiration

《浙江林学院学报》荣获第二届国家期刊奖百种重点期刊奖

由国家新闻出版总署和国家科学技术部共同主持的第二届国家期刊奖评选结果已经揭晓,《浙江林学院学报》在此次评选中荣获百种重点期刊奖。

为了进一步繁荣期刊出版事业,2002 年 9 月,经中共中央宣传部同意,新闻出版总署决定举办第二届国家期刊奖评选活动。各地、各有关部门十分重视第二届国家期刊奖的评选工作,经过反复审核和认真筛选,全国共推荐出参评期刊 971 种(其中社科类期刊 449 种,科技类期刊 522 种)。这些参评期刊经过评选办公室的参评资格审查、出版规范审查、编校质量审查和广告内容审查后,由专家组和评选工作委员会进行评选。2002 年 12 月初产生初评入围期刊,并将初评结果在《光明日报》《科技日报》《中国新闻出版报》和《中国图书商报》上公示,接受全社会的监督,最终评出国家期刊奖 60 种,国家期刊奖提名奖 97 种,国家期刊奖百种重点期刊奖 189 种。2003 年 1 月 17 日,新闻出版总署召开了第二届国家期刊奖颁奖大会。这些获奖期刊是我国 9 000 种正式期刊的优秀代表,体现了我国期刊业目前的总体发展水平,反映了我国期刊业近年来深化改革、促进繁荣取得的丰硕成果。

国家期刊奖是目前我国期刊业的惟一政府奖,也是我国期刊界的最高奖项。《浙江林学院学报》此次获奖实现了浙江省科技期刊界零的突破。