植物学通报 2000，17（6）：543～547
Chinese Bulletin of Botany

科尔沁沙地黄柳气孔导度和水分状况随季节和地形的变化特征①

周海燕　赵爱芬

（中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙坡头站　兰州　730000）

摘要　黄柳叶片气孔导度在上午 8 时后即呈下降趋势，下表皮气孔导度大于上表皮。干旱季节上下表皮气孔日间开启程度不同，下表皮气孔受环境因子的影响较大；湿润季节则相同。不同季节气孔导度值不同，下表皮气孔对季节变化反应灵敏。不同季节黄柳体内水分状况参数值不同，在 5、6 月份抗旱性最强；沙丘不同部位各参数值亦不相同，在沙丘中部和丘脚抗旱性最强，而在丘顶水分状况最好。湿润的 7 月黄柳一日内各时刻的膨压值均大于 0，说明虽然此期间水势随环境条件和气孔调节有所升降，但未影响植株的正常生长。

关键词　黄柳，气孔导度，水分状况，沙地

Seasonal and Topographical Changes in Stomatal Conductance and Water State of *Salix Gordejevii* in Horqin Sandyland

ZHOU Hai-Yan　　ZHAO Ai-Fen

（*Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute*，*The Chinese Academy of Sciences*，Lanzhou，730000）

Abstract　Daily changes of stomatal conduction of *Salix gordejevii* decreased after 8 a.m. The value of stomatal conductance was higher on lower epidermis than upper one，and the stomata of low epidermis were more sensitive to the environmental condition. The value of stomatal conduction and the cell water parameter of *Salix gordejevii* was different during growth season. The drought resistance ability of *Salix gordejevii* varied at different part of sand dunes and different seasons. The shrub possessed highest drought resistance in May and June. Cell turgor pressure was always positive in humid July，which implied that although the cell turgor pressure of *Salix gordejevii* changed with environmental condition and stomatal regulation，the growth of plants was not affected.

Key words　*Salix gordejevii*，Stomatal conductance，Water state，Sandyland

黄柳（*Salix gorodejevii*）是科尔沁沙地营造水土保持林和薪炭林的主要灌木，其适应性强，在流动沙丘、半流动沙丘表现出非常高的生活力。刘慎谔于 1955 年在章古台对沙地中黄柳的演替过程进行了研究，指出黄柳“发展在沙地，死亡在草地”的规律（刘慎谔，1985）。以后有关科技人员对黄柳的造林技术（李鸣冈，1957）、平茬效果（常学礼，1997）和生物量特征（刘新民和赵哈林，1994）等进行过一些研究，但是对其水分生理生态方面的研究报道较少。本文测定了人工种植的黄柳气孔导度及体内水分状况的日动态与季节变化

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB.t99-110

① 本文得到国家“九五”重点攻关（96-920-13-02）课题、国家重大自然科学基金（49890330）课题资助
作者简介：周海燕，女，1963 年生，理学硕士，副研究员，主要从事干旱、半干旱地区植物生理生态研究，以第一作者发表论文 16 篇。
收稿日期：1999-10-22　接受日期：2000-01-03　责任编辑：王春茂

特征，分析研究了气孔与环境因子的关系及对植物体内水分平衡的调控作用，同时还对不同季节和沙丘不同部位生长的黄柳体内水分状况的变化特征做了分析研究，并根据叶水势的日变化，运用 PV 技术测定研究了相对水分亏缺与膨压之间的关系及白天水分状况和气孔反应之间的关系，此为一新尝试（王万里，1984），希望能对以后更深入的研究提供有用的参考。

1 研究概况

1.1 试验区自然条件

试验区为干旱半干旱区的过渡地带，属温带干草原气候，年降雨量在 300 ~ 400 mm 之间，降雨多集中在 7 ~ 9 月份，年蒸发量 1800 ~ 2500 mm，太阳辐射 140.7 cal/cm^2，年均温 6.4℃，≥10℃积温 3161.2℃。

1.2 供试材料和测试方法

供试材料黄柳选择于中国科学院奈曼实验站站区西侧人工种植的黄柳沙丘顶部，沙丘高约 15 m，共选择 4 个观测点：丘间积水甸子地，甸子地与沙丘交界处，沙丘中部和沙丘顶部。测定小枝为 2 年生，由于甸子地植株生长缓慢，只能测 3 年生枝。实验设 3 个重复。

气孔导度、光照强度、气温、空气相对湿度用 AP4 型气孔计（Delta-T，Cambridge，UK）同步测定。水势用 ZLZ-5 型压力室（兰州大学，中国）同步测定，水分状况参数的测定参见李吉跃（李吉跃，1989）的方法。土壤含水量用烘干称重法。

2 实验结果与结论

2.1 叶片气孔导度（g_s）的变化特征

由图 1 可见：光照诱导气孔开放，在条件最适宜的 8 点左右气孔张开最大，之后呈下降趋势，表明环境胁迫加强。下表皮比上表皮气孔导度大，这与下表皮较大的气孔密度相对应（黄柳上下表皮气孔密度比约为 0.57）。干旱的 5 月和 6 月，全天各时刻上下表皮 g_s 的比值并未严格追随其密度的比值：在土壤大气干旱的 5 月，比值可由 0.22 变到 1.02；在土壤更加干旱的 6 月，虽然空气相对湿度稍回升，但 g_s 仍然下降，从全天各时刻气孔导度值上看，这时上下表皮气孔开启程度差别最大，亦即上表皮气孔关闭的小，下表皮气孔关闭的多；在 5、6 月间下表皮气孔日间变动较活跃。在湿润的 7、8 月份，上下表皮气孔导度日变化过程线大致保持平行，一日内上下表皮 g_s 平均比值为 0.63 ~ 0.64，与上、下表皮气孔密度比值相近，表明此时上下表皮开启程度相近。不同季节气孔导度值不同，其中下表皮 g_s 季节变幅大于上表皮。

2.2 植株体内水分状况的变化

由表 1 可见：不同季节黄柳枝叶的束缚水（BWC）和自由水（FWC）比例的分配主要受土壤含水量的影响，即在土壤最干旱的 5、6 月份 FWC 比例最小而 BWC 比例最高，同时 BWC / FWC 值最高，反映此时抗旱性最强。在水势（ψ_w）、充分膨胀时的渗透势（$\psi\pi^{100}$）和膨压为 0 时的渗透势（ψ_o）的变化上，可以看到 5 月份植物的渗透调节力最强，以后随着植物木质化程度的提高，ψ_w 下降，$\psi\pi^{100}$ 和 ψ_o 同时受干湿和发育期的影响，呈不规则变化。在

https://www.scienline.com/doi/10.3724/CBB-199-110

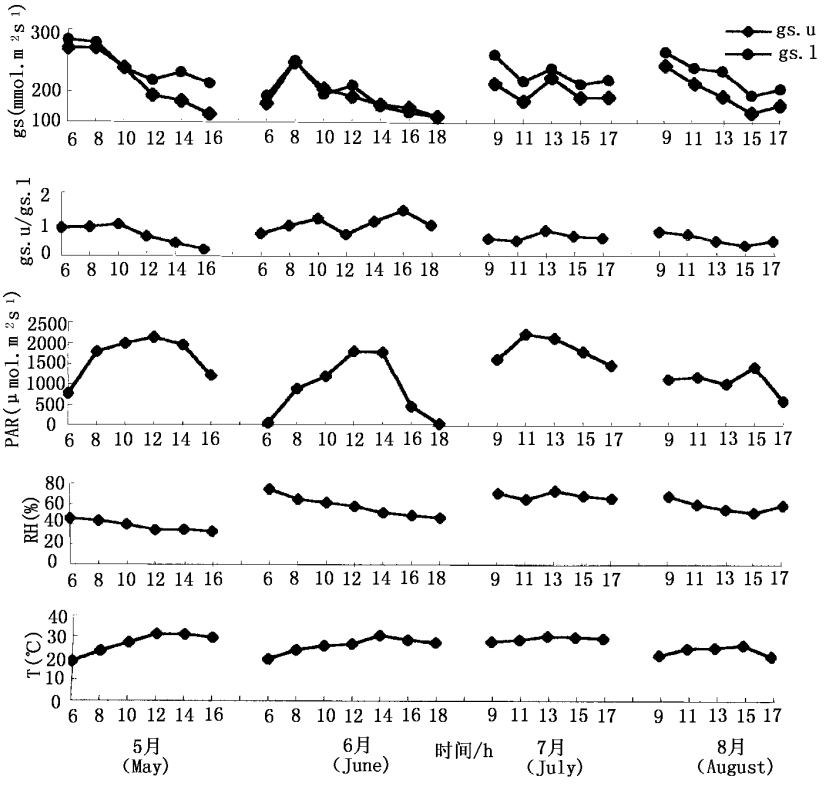


图 1　黄柳叶片上下表皮气孔导度、环境因子的日变化和季节变化(g_s. u-上表皮气孔导度、g_s. l-下表皮气孔导度、g_s. u/ g_s. l-上下表皮气孔导度比、PAR-光合有效辐射、RH-相对湿度、T-气温)

Fig. 1　Diurnal and seasonal changes in stomatal conduction and environmental factors of *Salix gordejevii* (g_s. u-stomatal conductance of upper epidermis, g_s. l- stomatal conductance of lower epidermis, g_s. u/ g_s. l-ratio of g_s. u and g_s. l, PAR-photosynthesis active radiation, RH-relative air humidity, T-air temperature)

生长季末的 8 月底,黄柳 ψ_W 降到最低,渗透调节能力又有所回升。

源于黄柳‘发展在沙地,死亡在草地’的观点,对生长在甸子地、背风坡脚、背风坡中部和丘顶的黄柳体内水分状况进行了测试,结果显示(表 1):甸子地土壤含水量明显高于丘脚、丘中和丘顶,植物体内水分状况同时显示出相应的变化;从抗旱性角度来看(ψ_w、ψ_o、BWC / FWC 等),丘中和丘脚黄柳的抗性强于丘顶和甸子地,但从植株体内水分状况看,丘顶的黄柳所受胁迫反而小些(如高的 ψ_w、FWC 和低的 BWC / FWC),这种水分状况似乎更利于黄柳生长。由于甸子地黄柳生长衰退,2 年生枝无法测定,其 3 年生枝的 ψ_w、$\psi\pi^{100}$、ψ_o 上和丘顶的 2 年生枝相近,在 BWC、FWC 及 BWC / FWC 上则出现异常,即 FWC 剧降而 BWC 猛增,这与冷蒿和差巴嘎蒿在土壤水分过程饱和处理时(周海燕,1999)出现的情况是一样的。这进一步证明有些沙生植物的 BWC 在干旱时增加提高了抗旱性,而过多的水分也使 BWC 增加,此时就黄柳的外观形态看,已处于生长衰退阶段。

https://www.sciengine.com/doi/10.3724/CBB-t99-110

表 1 黄柳体内水分状况随季节和地形的变化

Tab.1 Seasonal and topographical changes in water state of *Salix goedejevii*

		Ψw (-MPa)	$\psi\pi^{100}$ (-MPa)	ψ_o (-MPa)	RWD (%)	FWC (%)	BWC (%)	BWC / FWC	土壤含水量(soil moisture)
季节(season)	5月(May)	1.30	1.39	2.00	15.8	19.5	65.2	3.34	1.45
	6月(June)	1.45	1.18	1.82	17.0	15.5	67.5	4.35	1.08
	7月(July)	1.50	0.32	1.00	17.6	24.9	57.5	2.31	3.06
	8月(August)	1.75	0.69	1.54	2.0	58.0	40.0	0.69	3.58
地形(topography)	丘顶(top of sand dune)	1.30	1.39	2.00	15.8	29.7	54.5	1.84	1.30
	丘中(middle part of sand dune)	1.60	1.44	2.38	15.3	19.5	65.2	3.34	1.29
	丘脚(bottom of sand dune)	1.55	1.43	2.50	20.4	25.6	54.0	2.11	1.81
	甸子地(low-lying land)	1.30	1.33	2.00	18.7	8.3	73.0	8.8	15.87

* (ψ_w-水势,leaf water potential;$\psi\pi^{100}$-饱和含水时的最大渗透势,maximum osmotic potential at water saturation point;ψ_o-膨压为 0 时的渗透势,osmotic potential at tutgor loss point;RWD-水分相对亏缺,water reletive deficits;FWC-自由水含量,free water;BWC-束缚水含量,bound water)

2.3 叶片气孔对水分平衡的调控

由黄柳小枝在一天内各时刻的水势值可以在同期测得的小枝 PV 曲线上查出对应的全天各时刻的水分相对亏缺、膨压(ψ_p)及渗透势($\psi\pi$)的特征值,将一天内空气相对湿度(RH)和叶片气孔导度的变化融入其中,可清晰看到气孔在其中的调控作用。

一天内除上午 11 时外,其余时间 ψ_p 皆大于 0,但即使在小枝 $\psi_p = 0$ 时,叶子气孔仍能维持一定的开启状态,也就是说一日内水势的变化对植物并未构成威胁。在 ψ_w 调节 g_s 过程中,我们看到一天内主要由 ψp 调节气孔开闭程度,$\psi\pi$ 的作用较小;但在土壤干旱的情况下,则可能有所不同(待测)。一日内各时刻气孔导度和其内外影响因子之间有很好的对应关系,但其间相互作用的过程是复杂的,很难区分气孔的反馈式反应(对叶水势的反应)和正向式反应(气孔对空气相对湿度的反应)(图 2)。这里不仿将黄柳一日内的 g_s 变化对水分平衡的调节过程解释如下:

$$\text{早晨} \xrightarrow{\text{光}} g_s\uparrow \rightarrow \text{E}\uparrow \text{(蒸腾)} \rightarrow \psi_w\downarrow \rightarrow g_s\downarrow \rightarrow \text{E}\downarrow \rightarrow \psi_w\uparrow \rightarrow g_s\uparrow \rightarrow \text{E}\uparrow \rightarrow \cdots$$

$$\text{RH} + \qquad\qquad + \text{RH}\downarrow \qquad\qquad + \text{RH}\uparrow$$

https://www.scienceonline.com/doi/10.3724/SP.J.1259-t99-110

上式及图 2 说明,在早晨一定的光照和 RH 条件下,叶片 g_s 逐渐增加,蒸腾随之提

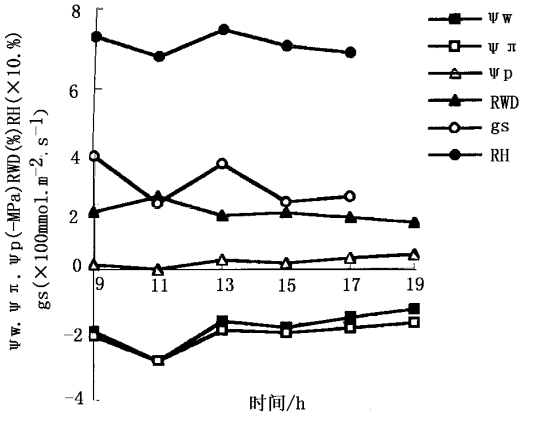


图 2　黄柳叶片气孔导度与内外影响因子的日变化(g_s-上下表皮气孔导度之和，RH-相对湿度，ψ_π-渗透势，ψ_p-膨压，RWD-水分相对亏损，测定日为土壤大气均较湿润的 7 月)

Fig.2　Diurnal changes in stomatal conduction and other factors of *Salix gordejevii* (g_s-summation $g_s.u$ and $g_s.l$, RH-relative air humidity, ψ_π-osmotic potential, ψ_p-pressure potential, RWD-water reletive deficits, humid July)

高 蒸腾的提高使叶片水势下降，加之 RH 的下降，又使 g_s 下降(反馈式和正向式反应)，蒸腾又随之降低 蒸腾的降低又使叶片水势升高，加之 RH 的增加，又使 g_s 增加，蒸腾随之增加。一日内，黄柳叶片的 g_s、ψ_w、E 和 RH 之间就是这样相互作用、相互调节的。

参 考 文 献

王万里，1984.压力室在植物水分状况研究中的应用.植物生理学通讯，(3)：52～57

刘慎谔，1985.刘慎谔文集，北京 科学出版社，136～144

刘新民，赵哈林主编，1994.科尔沁沙地生态环境综合整治研究，甘肃 科技出版社，201

李吉跃，1989.PV 技术在油松侧柏苗木抗旱研究中的应用.北京林业大学学报，**11**(1)：20～25

李鸣冈，1957.辽宁章古台固沙造林实验，北京 科学出版社，38～48

周海燕，1999.水分胁迫对冷蒿和差巴嘎蒿体内水分状况的影响.中国沙漠，**19**(Supp.1)：26～29

常学礼，1997.平茬对黄柳灌丛影响的研究.中国沙漠，**17**(Supp.2)：54～59

欢迎订阅 2001 年《植物资源与环境学报》(原名《植物资源与环境》)

全国优秀科技期刊　　华东地区优秀期刊　　江苏省优秀期刊

季刊，单价 6 元，邮发代号：28-213，统一刊号 CN32-1339/S

《植物资源与环境学报》(原名《植物资源与环境》，2000 年第 9 卷起更名)系江苏省中国科学院植物研究所、江苏省植物学会及中国环境科学学会植物园保护分会联合主办的学术刊物，国内外公开发行。本刊为 BA、CA、CAB、SCI、中国生物学文摘、中国林业文摘、中国环境科学文摘等国内外著名刊库收摘。入编《中国学术期刊光盘版》。本刊围绕植物资源与环境两个关系国计民生的中心命题，报道我国植物资源的考察、开发利用和植物物种多样性保护，自然保护区与植物园的建设和管理，植物在保护和美化环境中的作用，环境对植物的影响以及植物资源和植物环境有关学科领域的原始研究论文、研究简报和综述等。凡从事植物学、生态学、自然地理学以及农、林、园艺、医药、食品、轻化工和环境保护等领域的科研、教学、技术人员及决策者，可以从本刊获得相关学科领域的研究进展和信息。

本刊于 1992 年创刊，全国各地邮局发行，若错过征订时间或需补齐 1992～2000 年各期者，请直接与编辑部联系邮购，订价 1992～1993 年每年 10 元，1994～2000 年每年 22 元(均含邮费)，编辑部地址：南京中山门外江苏省中国科学院植物研究所内，邮编：210014，电话：(025)4341672　Fax：(025)4432074；Email：bnj4341672@publicl.ptt.js.cn 或 zwzy@post.chinajournal.net.cn。