

陈栋,周海燕,李培广,等. 油蒿(*Artemisia ordosica*)和柠条(*Caragana korshinskii*)生理生态特性的昼夜变化特征与调节机制[J]. 中国沙漠, 2015, 35(6): 1549—1556. [Chen Dong, Zhou Haiyan, Li Peiguang, et al. Circadian variations and regulation mechanism of eco-physiological characteristics of *Artemisia ordosica* and *Caragana korshinskii*[J]. Journal of Desert Research, 2015, 35(6): 1549—1556.]. doi:10. 7522/j. issn. 1000-694X. 2015. 00031.

油蒿(*Artemisia ordosica*)和柠条(*Caragana korshinskii*)生理生态特性的昼夜变化特征与调节机制

陈栋^{1,2}, 周海燕¹, 李培广³, 陈永乐^{1,2}, 王艳莉^{1,2}, 赵昕¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 沙坡头沙漠研究试验站/极端环境生物抗逆特性与生物技术实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 653300)

摘要: 研究了两种优良固沙植物油蒿(*Artemisia ordosica*)和柠条(*Caragana korshinskii*)的光合生理、水分生理和根、茎、叶渗透调节物质的昼夜变化特征。结果显示: 空气相对湿度在夜间大幅度回升, 植物的昼夜叶温差高于气温差。植物日间呈光合作用, 夜间呈呼吸作用, 油蒿的光合速率和呼吸速率均高于柠条; 日间光合作用出现的光抑制可在日落时迅速恢复。日间气孔导度和蒸腾速率呈现大幅度的波动, 在夜间趋于低缓, 油蒿日间的调节幅度高于柠条, 且在夜间仍维持一定的气孔开度。油蒿根含水量和小枝水势始终高于柠条, 但柠条在夜间的根系吸水能力高于油蒿。油蒿根、茎、叶的可溶性糖含量均高于柠条, 在夜间叶片的可溶性糖可大量的传输至根部; 柠条根、茎、叶的脯氨酸含量均高于油蒿, 油蒿的根和叶片在夜间出现较高的脯氨酸累积。植物生理活动的夜间调整对增强日间抗逆性有一定的作用。

关键词: 固沙植物; 光合作用; 水分平衡; 渗透调节; 昼夜变化

文章编号: 1000-694X(2015)06-1549-08

doi: 10. 7522/j. issn. 1000-694X. 2015. 00031

中图分类号: Q945.79

文献标志码: A

1 引言

油蒿(*Artemisia ordosica*)和柠条(*Caragana korshinskii*)作为沙坡头地区两种优良固沙物种, 具有抗风蚀、耐沙埋等优良固沙性能^[1], 在脆弱生态系统稳定性的维持和受损生态系统的恢复重建中起着重要的作用^[2]。由于两种植物在小生境和根系分布等方面具有互补性, 因此在沙坡头铁路人工固沙植被的建设中被列为主要的固沙植物。

作为防风固沙的优良植物种, 油蒿和柠条具有一系列适应高温、干旱的生理机制^[3]。张利平等^[4]对沙坡头地区自然条件下生长的油蒿和柠条气体交换特征进行了比较研究; 周海燕等^[5]研究了油蒿和柠条在不同配置模式下的群落学特征、在自然和控制降雨条件下的水分关系、气体交换特征及其调节

机制; 张友焱^[6]对油蒿、柠条等5种灌木水分生理特性及耐旱特性进行了研究; 张金林等^[7]通过研究柠条等多浆旱生植物游离氨基酸和游离脯氨酸在根茎叶中的分布特征, 从调节机制方面对植物的抗旱性进行了探讨; 李培广等^[8]对油蒿和柠条叶片的可溶性糖含量进行了季节变化研究, 分析了两种植物的生理调节机制和适应方式。这些研究表明, 油蒿与柠条相比有较高的水势、光合速率、蒸腾速率、气孔导度和水分利用效率^[4,6]。柠条在干旱年份的节水、抗逆特性更强, 油蒿则在湿润年份显示出高耗水和快速生长特性^[5]。

上述研究成果虽然在一定程度上揭示了荒漠植物的水分生理特征及其对极端环境的适应性和调节机制, 但多是将根、茎、叶作为独立的植物器官所进行的研究, 有关生理特性的变化特征研究也都源自日间。那么, 植物在夜间的生理活动如何进行? 植

收稿日期: 2015-07-03; 改回日期: 2015-10-12

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAC07B03); 宁夏科技支撑计划项目和宁夏旅游开发公司项目

作者简介: 陈栋(1989—), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事植物逆境生理生态研究。Email: chendong19890311@126.com

通讯作者: 周海燕>Email: zhouhy@lzb.ac.cn

物昼夜之间的生理过程如何调节?植物的根、茎、叶又是怎样协调和互馈?基于此,我们对油蒿和柠条叶片光合生理和水分生理特性的昼夜变化以及根、茎、叶中可溶性糖和脯氨酸的昼夜动态变化进行了同步监测,分析了环境因子和植物生理因子的昼夜变化特性、环境因子的昼夜变化对植物生理过程的影响以及植物根、茎、叶的物质累积和传输特性,以期更加全面地解析两种固沙植物的抗逆特性和演替机制,并填补荒漠植物在上述方面的研究空白,具有一定的理论和实际意义。

2 材料与方法

2.1 试验地概况

试验于 2012 年 8 月在中国科学院沙坡头沙漠研究试验站水分平衡观测场进行。沙坡头站位于腾格里沙漠东南缘(37°27'N、104°57'E,海拔 1 250 m),属草原化荒漠地带,年平均气温 9.6 °C,最高气温 38.1 °C,最低气温 -25.1 °C,年平均降雨量 186.2 mm,主要集中在 7—9 月,年蒸发量高达 3 000 mm。

2.2 试验材料及测定方法

试验材料为水分平衡观测场内人工种植的油蒿和柠条。柠条样地平均种植密度为 23 株/100m²,林龄 22 a,盖度 41%;油蒿样地平均种植密度为 30 株/100m²,林龄为 12 a,盖度 47%^[9]。

在植物生长旺季,选择晴朗无风日进行测定。于 2012 年 8 月 10—11 日,用便携式光合仪(LF-6400, Li-Cor, 美国)野外测定油蒿和柠条叶片的光合生理生态特性的昼夜变化。测定时间从 07:00 到翌日 05:00,每隔 2 h 测定 1 次,测定指标包括光合有效辐射(PAR)、大气相对湿度(RH)、大气温度(T_a)、叶片温度(T_l)、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i),在测定前用标准气体校准光合仪。利用调制式荧光仪(PAM 2000, Heinz Walz, 德国)同步测定油蒿和柠条叶片的 PS II 光化学效率(F_v/F_m, F_v 为可变荧光, F_m 为最大荧光产量)、电子传递速率(ETR)、光化学淬灭系

数(qP)、非光化学淬灭系数(qN)和 PS II 光化学有效量子产量(Yield)。利用压力室(Model ZLZ-5, 兰州大学)同步测定当年生新枝水势(Ψ_w)的昼夜变化。每种植物随机选择 5 株发育正常、无病虫害的植株作为测定株,在树冠上部向阳方向选择充分展开的健康叶片进行测定,每种植物测定设 6~10 个重复。

在上述指标测定的同时,对植物根、茎、叶进行同步采样,采完立即在 105 °C 下杀青 20 min, 85 °C 下烘干,粉碎后过筛(孔径 1 mm),保存待测可溶性糖和脯氨酸含量。可溶性糖的测定用蒽酮-硫酸法^[10]。脯氨酸的测定按照张殿忠等^[11]的水合茚三酮法。根、茎、叶采样的同时,挖开植物根部土壤 30~50 cm,选取生长良好的侧根 5~10 个,3~6 个重复。抖去根表面粘附的土,称鲜重,后放入烘箱 105 °C 下杀青,85 °C 下烘干至恒重,称干重,根含水量百分数=(鲜重-干重)/鲜重×100%。

土壤样品的采集:分别在油蒿和柠条样地进行,取样深度为 30 cm,每 10 cm 取 1 层,3~6 个重复,土样测定前放于实验室风干处理。土壤有机质的测定采用重铬酸钾-水合热法^[12];土壤全氮用凯氏定氮仪(2300, FOSS, 丹麦)测定;土壤全盐采用便携式数字电导仪法测定(DDS-11A, 上海宇隆仪器有限公司);土壤 pH 采用 PH 计法(PHS-3C-01, 上海仪电科学仪器股份有限公司);土壤表层(0~30 cm)含水量采用烘干法测定。数据结果以平均数±标准差表示。

2.3 统计分析

数据用 Excel 处理,采用单因素方差分析显著性,显著性水平定为 α=0.05。用 Excel 和 origin-pro 作图。

3 结果与分析

3.1 样地的环境因子特征

由表 1 可见,柠条样地的全氮和土壤含水量均显著高于油蒿样地,有机质、全盐和 pH 则没有显著差异。

表 1 油蒿和柠条样地的土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of different sample plots in 0—30 cm

	全氮/(g·kg ⁻¹)	有机质/(g·kg ⁻¹)	全盐/(g·kg ⁻¹)	pH 值	土壤含水量/%
油蒿样地	0.206±0.002*	0.746±0.367	0.078±0.005	8.437±0.130	2.862±0.070*
柠条样地	0.236±0.144	1.151±0.989	0.102±0.020	8.343±0.159	3.361±0.303

注:*,不同样地间差异显著, p<0.05。

图1显示, PAR在21:00—05:00基本为0, 至07:00开始回升, 至13:00达到最大值后下降, 至21:00又回落至0。RH在07:00—15:00一直呈下降趋势, 至15:00降到最低(28%), 尔后回升, 在05:00达到日内的最高值(68%)。

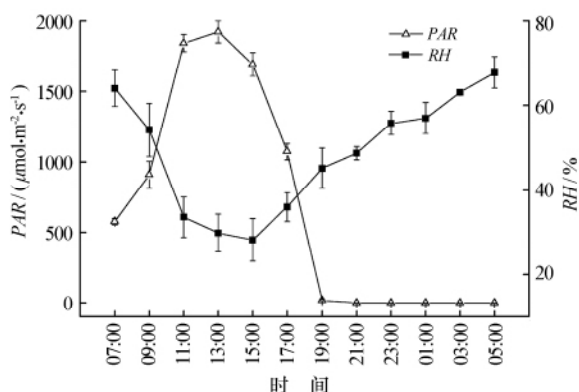


图1 光合有效辐射(PAR)和相对湿度(RH)的昼夜变化
Fig. 1 Circadian variations of photosynthetically active radiation(PAR) and relative humidity(RH)

由图2可以看到, 无论 T_a 还是 T_l , 在07:00—15:00均增加, 在15:00—07:00降低; 白天的温度变化剧烈, 夜间的变化平稳; T_a 和 T_l 的最高值均出现在15:00, 两种植物在11:00—17:00的 T_l 均高于 T_a , 在19:00—05:00 T_l 则低于 T_a ; 油蒿植株附近的昼夜 T_a 差为 17.9 °C, T_l 差为 19.8 °C; 柠条植株附近的昼夜 T_a 差为 19.5 °C, T_l 差为 21.4 °C。

3.2 光合生理特性的变化特征

由图3可见, 油蒿和柠条在07:00—19:00呈光合作用, 在21:00—05:00呈呼吸作用; 油蒿和柠条的 P_n 在09:00达最大值, 分别为 19.26 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 8.73 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$; 油蒿呼吸速率在03:00达最大值(7.26 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 柠条在

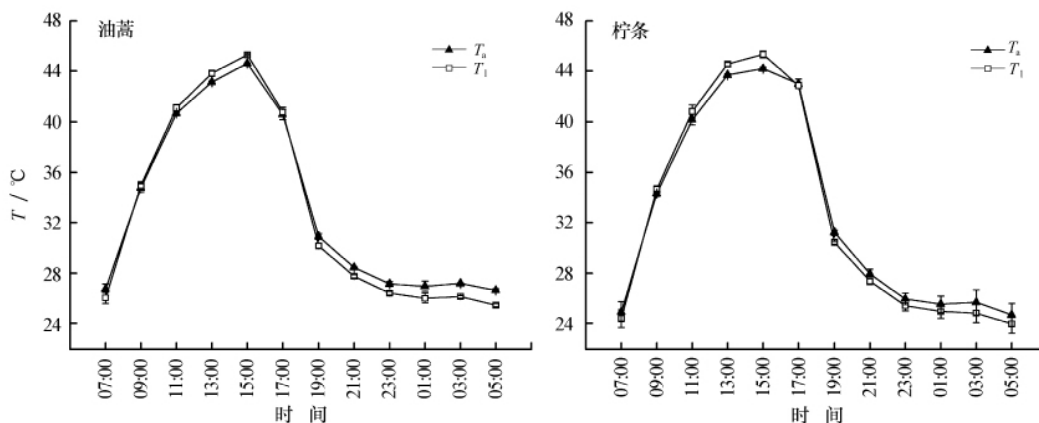


图2 油蒿和柠条的叶温(T_l)和气温(T_a)的昼夜变化

Fig. 2 Circadian variations of leaf temperature(T_l) and chamber temperature(T_a) of *A. ordosica* and *C. korshinskii*

23:00达最大值(0.75 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。在光合作用期间(07:00—19:00), 两种植物 C_i 维持在 220.09~361.99 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$; 当光合作用停止、呼吸作用开始, C_i 急剧上升, 其中柠条在23:00达最高值(621.15 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$), 油蒿分别在21:00和03:00达最高值(550.00 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 和 550.84 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

图3显示, 油蒿和柠条的 F_v/F_m 分别在11:00—15:00和11:00—17:00低于0.8, 至19:00增加迅速, 之后维持在较高水平; 一昼夜的大部分时间油蒿的 F_v/F_m 均高于柠条。两种植物的 F_m 昼夜变化曲线与 F_v/F_m 相似, 油蒿的波动幅度大于柠条, 在21:00至次日09:00, 油蒿的 F_m 均高于柠条, 油蒿的 F_m 白天、夜间平均值分别为 0.33 和 0.41, 柠条 0.27 和 0.28。

两种植物的 ETR 从09:00开始迅速上升, 15:00以后迅速下降, 峰值的出现时间(13:00)滞后于 P_n (09:00); 在17:00至次日09:00时段 ETR 平均值 34.54 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两种植物的 qP 在11:00—17:00维持在较高值, 油蒿为 0.88, 柠条为 0.90; 油蒿和柠条的 qP 夜间最低值分别为 0.70 和 0.71。两种植物的 qN 的日间变化与 F_v/F_m 变化相反; 油蒿和柠条的 qN 分别在13:00和15:00达到最高值(0.60 和 0.56); 夜间最低值分别为 0.29 和 0.32。两种植物日间的 $PS II$ Yield 高于夜间, 油蒿和柠条日间的 Yield 平均值分别为 0.57 和 0.56, 夜间平均值分别为 0.55 和 0.51。

3.3 水分生理特性的变化特征

由图4可见, 油蒿和柠条的蒸腾速率和气孔导度显示了日间波动大、夜间变化平缓的特征。在夜间完全无光的状态下(21:00—01:00), 油蒿仍有一

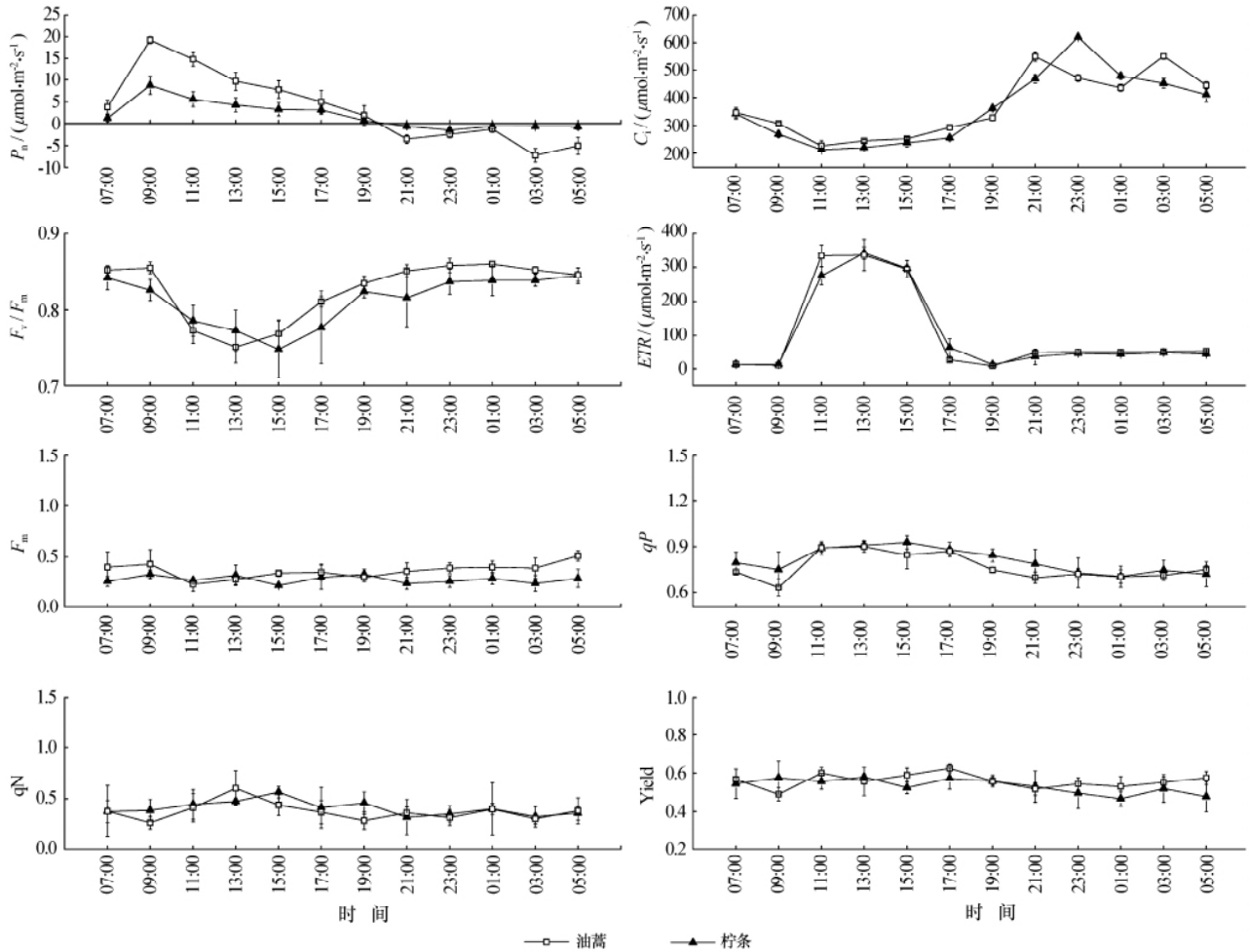


图 3 油蒿和柠条净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和荧光参数的昼夜变化

Fig. 3 Circadian variations of net photosynthetic rate(P_n), intercellular carbon dioxide concentration(C_i) and fluorescence parameters of *A. ordosica* and *C. korshinskii*

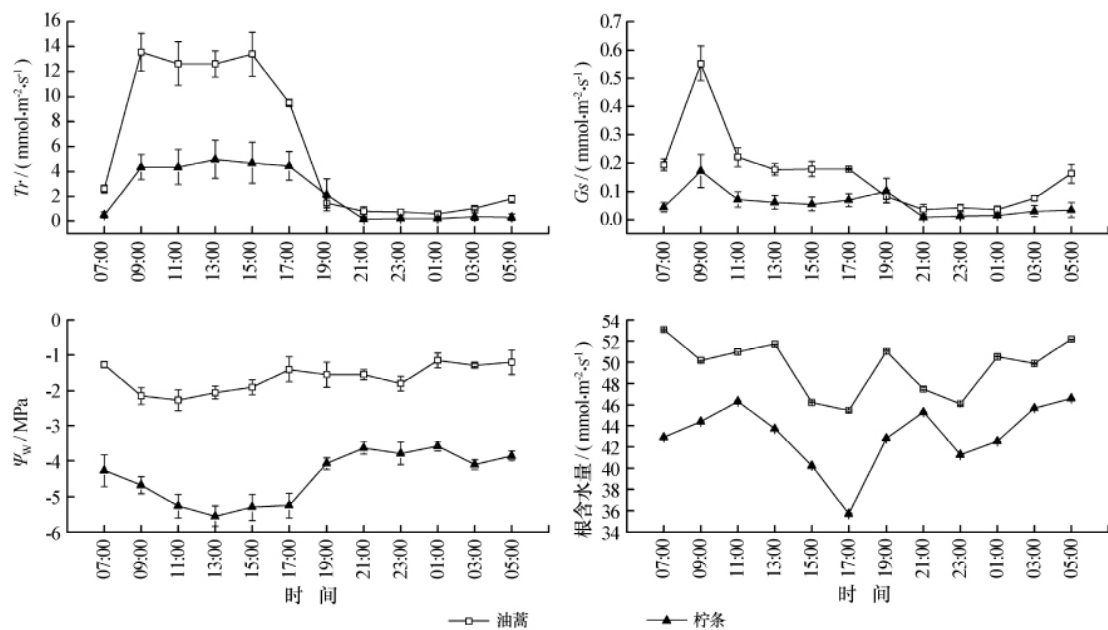


图 4 油蒿和柠条蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、小枝水势(Ψ_w)和根含水量的昼夜变化

Fig. 4 Circadian variations of transpiration rate(Tr), stomatal conductance(G_s), twigs water potential(Ψ_w) and root water content of *A. ordosica* and *C. korshinskii*

定的气孔开度,在03:00气孔即已开启,蒸腾作用也随之启动;柠条气孔的开启时间则在07:00以后,蒸腾也显示出了相应的特性。

两种植物小枝水势的日变化曲线与蒸腾速率的变化恰好相反;随着日间蒸腾的增加,小枝水势逐渐降低,其后又随蒸腾的降低而增加,当蒸腾停止后小枝水势迅速回升,其中柠条和油蒿分别在21:00和01:00左右恢复到最高水平,且柠条的恢复速度和幅度均高于油蒿。

两种植物根含水量的昼夜变化与水势的日变化具有相似性,但根含水量日间最低值出现时间滞后于小枝水势最低值时间,两者均在17:00左右降到最低,而后开始回升,柠条恢复的速度和幅度均比油蒿大。柠条根含水量和小枝水势的昼夜平均值(35.74%和-4.42 MPa)始终低于油蒿(45.48%和-1.5 MPa)。

3.4 根、茎、叶中可溶性糖含量的变化特征

由图5可见,两种植物根可溶性糖含量在一昼夜内的波动幅度较大,油蒿和柠条分别在07:00—09:00和07:00—11:00时段迅速增加,之后至17:00

时段大幅度下降,傍晚又开始回升;油蒿根中的可溶性糖含量始终高于柠条,尤其在21:00至次日09:00之间,油蒿根中积累的可溶性糖含量是柠条的1.67倍。相对于根而言,两种植物茎的可溶性糖含量均明显低于根部,白天和夜间没有明显的差异,一直呈低缓的波动状态;油蒿茎可溶性糖的平均含量略高于柠条。两种植物叶片的可溶性糖含量介于根和茎之间,油蒿在07:00—19:00的可溶性糖含量高于柠条,在21:00—05:00则略低于柠条;两种植物叶可溶性糖含量在日间的变化趋势基本与根相同。

3.5 根、茎、叶中脯氨酸含量的变化特征

从图6可以看出,柠条根、茎、叶的脯氨酸的含量均明显高于油蒿,柠条根、茎、叶脯氨酸含量的昼夜平均值分别达到了油蒿的9.1倍、11.5倍和2倍。两种植物根脯氨酸含量的昼夜变化趋势不同,其中油蒿根的脯氨酸含量在09:00—15:00为最低,21:00至次日05:00呈逐渐增加的趋势;柠条根的脯氨酸含量则在05:00—11:00处于较高水平。油蒿和柠条的茎脯氨酸含量的昼夜变化平缓,日间略高、夜间略低;油蒿和柠条茎脯氨酸含量分别在13:00—

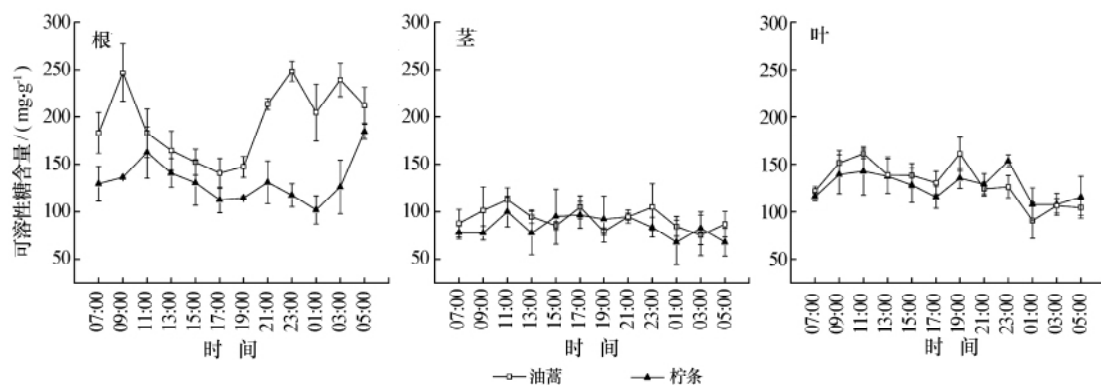


图5 油蒿和柠条根、茎、叶可溶性糖含量的昼夜变化

Fig. 5 Circadian variations of soluble sugar contents in root, steam and leaf of *A. ordosica* and *C. korshinskii*

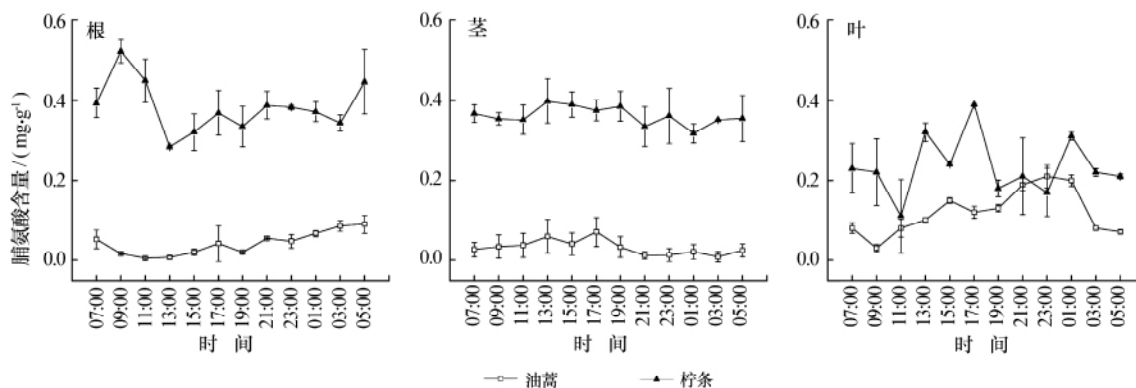


图6 油蒿和柠条根、茎、叶脯氨酸含量的昼夜变化

Fig. 6 Circadian variations of proline contents in root, steam and leaf of *A. ordosica* and *C. korshinskii*

17:00和13:00—19:00达到日内最高值。两种植物叶脯氨酸含量的昼夜变化幅度较大,其中油蒿叶片的脯氨酸主要积累于夜间(21:00—01:00),而柠条则主要积累于日间(13:00—17:00)。油蒿叶片脯氨酸含量($0.12 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)高于根($0.04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)和茎($0.03 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$),而柠条叶片的脯氨酸含量($0.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)则低于根($0.38 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)和茎($0.36 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ DW}$)。

4 讨论

荒漠环境的午间高光辐射、高温和低湿并存^[13]。蒸腾作用和太阳辐射是引起叶温变化的主要原因^[14]。当夜间光合有效辐射降为0时,气温逐渐下降,空气相对湿度则显示了一个大幅度的、逐渐回升的过程;植物叶片温度随气温的变化而变化,在日间高温时段,由于气孔关闭,叶片蒸腾减少,通过蒸腾作用带走叶片表面的热量减少,因此叶温高于气温^[15],在夜间时段,叶片失去太阳直射光,但叶片仍有少许的蒸腾作用(图4),故夜间叶温低于气温,因此叶温的昼夜变化幅度大于气温,由此显示植物叶片所做出的更大幅度的调整。由此可见,荒漠植物不仅要适应日间的严酷环境,还要受到较大的昼夜温差和空气湿度差的影响。

一日内随着太阳辐射的出现,植物叶片气孔开启,光合作用和蒸腾作用开始。油蒿和柠条光合作用和蒸腾作用日变化受环境因子和植物内部因子共同作用^[2,5];当夜间光合有效辐射降为0时,植物光合作用停止,暗呼吸作用开始,并在细胞间隙储存了大量的 CO_2 ;与柠条相比,油蒿叶片的气孔在夜间尚可保留一定的开度,致使蒸腾保持在一定的量值,这可能是一种遗传特征,也可能是一种适应特征。日间逆境胁迫期间,植物启动了一系列的光保护机制^[16-18];随着光抑制的解除,植物在夜间也显示了一个PSⅡ反应中心光能转化效率的逐渐恢复过程;相关的荧光参数(qP 、 qN 、 $Yield$)在夜间仍继续保持在一定的水平。夜间也是一个植物根和小枝水分得到恢复和补充的重要时段,夜间植物体内的水分运输非常活跃。

植物叶片可溶性糖含量与光合作用密切相关^[19],其日间含量随光合速率的高低而变化,当夜间光合作用停止时则逐渐降到更低的水平;两种植物根可溶性糖日间含量的变化与叶片相同,但在夜

间叶片的可溶性糖大量的运至根部,从而为植物根系的旺盛生长提供了充足的碳供应^[19],也同时为植物抵御干旱逆境积累了大量的渗透调节物质^[20-21];两种植物茎的可溶性糖含量昼夜低而平缓的变化特征则显示它作为传输器官的特征,其中油蒿茎对可溶性糖转运的活跃程度略高于柠条^[22]。与以往的研究结果有所不同^[23-26],不同植物根、茎、叶的脯氨酸含量并未完全随逆境胁迫的加强而增加;油蒿叶和根的脯氨酸含量可在夜间积累到很高的程度,从而有利于植物渗透调节能力的提高^[27-28];植物茎脯氨酸含量和昼夜变化特征则显示它作为传输器官的特征。

作为豆科固氮植物,柠条一方面增加了贫瘠土壤中的氮素,另一方面高的氮素含量可能有利于自身含氮化合物的生成^[29-30]。而油蒿则无论是白天的光合作用还是夜间的呼吸作用,都证明了其高光合、高消耗的生理特性^[5]。油蒿的气孔和蒸腾作用在夜间即已启动,说明油蒿叶片气孔对光的敏感性高于柠条^[31],也同时证明油蒿在一天内进行生理活动的时间多于柠条。油蒿叶和根中较高的可溶性糖含量和运输量,保证了其更加旺盛的生命活力和对逆境的适应能力^[32];柠条则通过的脯氨酸的大量累积来增加渗透调节能力和根系的吸水能力^[7,33]。油蒿和柠条生理生态特性的昼夜变化进一步证实了它们对荒漠逆境的响应过程和调节机制的不同^[5],而夜间植物器官在水分吸收和传输以及物质累积和运输等生理方面的调整则为抵御日间的逆境胁迫做好了充分的准备。

参考文献:

- [1] 刘杨. 阿拉善荒漠植物干旱休眠机理研究[D]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2010.
- [2] 周海燕, 黄子琛. 不同时期毛乌素沙区主要植物种光合作用和蒸腾作用的变化[J]. 植物生态学报, 1996(2): 120-131.
- [3] 黄子琛. 荒漠植物的水分关系与抗旱性[J]. 甘肃林业科技, 1992(2): 1-7.
- [4] 张利平, 王新平, 刘立超, 等. 沙坡头主要建群植物油蒿和柠条的气体交换特征研究[J]. 生态学报, 1998(2): 23-27.
- [5] 周海燕, 王瑛珏, 樊凡, 等. 不同配置模式下油蒿和柠条对降雨变化的生理生态响应及调节机制[J]. 应用生态学报, 2013(1): 32-40.
- [6] 张友焱. 毛乌素沙地几种树种水分生理特性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [7] 张金林, 陈托兄, 王锁民. 阿拉善荒漠区几种抗旱植物游离氨基酸和游离脯氨酸的分布特征[J]. 中国沙漠, 2004(4): 115-

- 121.
- [8] 李培广,周海燕,陈翠云,等.阿拉善荒漠优势植物可溶性糖的季节变化[J].生态学杂志,2012(12):3018—3023.
- [9] 黄磊,张志山.荒漠人工植被区柠条和油蒿茎干液流动态研究[J].中国沙漠,2011(3):683—688.
- [10] 周永斌,吴栋栋,于大炮,等.长白山不同海拔岳桦非结构碳水化合物含量的变化[J].植物生态学报,2009(1):118—124.
- [11] 张殿忠,汪沛洪,赵会贤.测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J].植物生理学通讯,1990(4):62—65.
- [12] 中国土壤学会.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [13] 周海燕.荒漠沙生植物生理生态学研究展望[J].植物学通报,2001(6):643—648,690.
- [14] 郭仁卿.植物叶温与气温的关系[J].生物学通报,1989(9):9.
- [15] 刘明虎,辛智鸣,徐军,等.干旱区植物叶片大小对叶表面蒸腾及叶温的影响[J].植物生态学报,2013(5):436—442.
- [16] 宋维民,周海燕,贾荣亮,等.土壤逐渐干旱对4种荒漠植物光合作用来和海藻糖含量的影响[J].中国沙漠,2008(3):449—454.
- [17] Kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology[J]. Photosynthesis Research, 1990, 25(3):147—150.
- [18] 徐伟红,郭卫华,徐飞,等.三种枣树叶绿素荧光参数的日变化[J].山东农业科学,2007(2):29—32.
- [19] 于丽敏,王传宽,王兴昌.三种温带树种非结构性碳水化合物的分配[J].植物生态学报,2011(12):1245—1255.
- [20] 徐为.水稻苗期干旱胁迫适应性反应及其与糖分配关系的研究[D].武汉:华中农业大学,2009.
- [21] 张道远,尹林克,潘伯荣.桤柳属植物抗旱性能研究及其应用潜力评价[J].中国沙漠,2003(3):46—50.
- [22] 魏凤桐,陶洪斌,王璞.旱稻297非结构性碳水化合物的生产与产量构成因子的关系[J].作物学报,2010(12):2135—2142.
- [23] 周海燕.水分胁迫对冷蒿和差巴嘎蒿溶质累积的影响[J].中国草地,2001(1):33—37.
- [24] 陈晓远,凌木生,高志红.水分胁迫对水稻叶片可溶性糖和游离脯氨酸含量的影响[J].河南农业科学,2006(12):26—30.
- [25] 朱军涛,李向义,张希明,等.4种荒漠植物的抗氧化系统和渗透调节的季节变化[J].中国沙漠,2011(6):1467—1471.
- [26] Knipp G, Honermeier B. Effect of water stress on proline accumulation of genetically modified potatoes(*Solanum tuberosum* L.) generating fructans[J]. Journal of Plant Physiology, 2006, 163(4):392—397.
- [27] 陈晓远,凌木生,高志红.水分胁迫对水稻叶片可溶性糖和游离脯氨酸含量的影响[J].河南农业科学,2006(12):26—30.
- [28] 朱虹,祖元刚,王文杰,等.逆境胁迫条件下脯氨酸对植物生长的影响[J].东北林业大学学报,2009(4):86—89.
- [29] 牛西午,张强,杨治平,等.柠条人工林对晋西北土壤理化性质变化的影响研究[J].西北植物学报,2003(4):628—632.
- [30] 曲卫东,陈云明,王琳琳,等.黄土丘陵区柠条人工林土壤有机碳动态及其影响因子[J].中国水土保持科学,2011(4):72—77.
- [31] 石莎,冯金朝,邹学勇.腾格里沙漠南缘2种沙地灌木植物的光合特征[J].云南大学学报(自然科学版),2007(5):519—524.
- [32] Morgan J M. Osmoregulation and water stress in higher plants[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1984, 35(1):299—319.
- [33] 陈托兄,张金林,陆妮,等.不同类型抗盐植物整株水平游离脯氨酸的分配[J].草业学报,2006(1):36—41.

Circadian Variations and Regulation Mechanism of Eco-physiological Characteristics of *Artemisia ordosica* and *Caragana korshinskii*

Chen Dong^{1,2}, Zhou Haiyan¹, Li Peiguang³, Chen Yongle^{1,2}, Wang Yanli^{1,2}, Zhao Xin¹

(1. Shapotou Desert research and Experiment Station/Extreme Stress Resistance and Biotechnology Laboratory, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 653300, China)

Abstract: This paper studied the circadian variation characteristics of photosynthetic physiology, water physiology, and osmoregulation substance in root, stem and leaf of two excellent sand-fixation plants *Artemisia ordosica* and *Caragana korshinskii*. The results indicated that, relative humidity recovered sharply during the night, and the leaf temperature difference was higher than air temperature difference between day and night. Plant showed photosynthesis during the day, and respiration during the night. Both photosynthesis and respiration of *A. ordosica* was higher than that of *C. korshinskii*, the photo inhibition caused by photosynthesis in daytime can recovered quickly at the sunset time. Stomatal conductance and transpiration rate were in greater fluctuation in daytime than that at night. In the daytime, the amplitude of accommodation of *A. ordosica* was higher than that of *C. korshinskii*, and it also can keep a certain stomatal aperture at night. Water content in root and twigs water potential of *A. ordosica* were always higher than that of *C. korshinskii*, but water absorption ability in root of *A. ordosica* was lower than *C. korshinskii* at night. The soluble sugar content in root, stem and leaf of *A. ordosica* was higher than that of *C. korshinskii*, and the soluble sugar content in leaf of *A. ordosica* would be largely transmitted to root at night. The proline content in root, stem and leaf of *C. korshinskii* was higher than that of *Artemisia ordosica*, and the proline content in root and leaf of *A. ordosica* would be accumulated a lot at night. All of the above showed that, the adjustment of plant physiological activities at night played a certain role in enhancing plant stress resistance at noon.

Key words: sand fixing plants; photosynthesis; water balance; osmotic adjustment; circadian variation