

# 内蒙古高原甘蒙锦鸡儿光合作用和水分代谢的生态适应性研究

马成仓<sup>1,2</sup> 高玉葆<sup>1\*</sup> 王金龙<sup>1</sup> 郭宏宇<sup>1</sup>

(1 南开大学生命科学学院, 天津 300071) (2 淮北煤炭师范学院生物学系, 安徽淮北 235000)

**摘要** 对分布于内蒙古高原和林格尔和阿拉善的甘蒙锦鸡儿 (*Caragana opulens*) 种群的光合特性和水分代谢特性进行了比较研究。结果发现 和林格尔种群的光补偿点 ( $500 \mu\text{mol proton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  以下), 光饱和点 ( $1\ 200 \mu\text{mol proton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 光合最适温度 ( $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 均低于阿拉善种群 (光补偿点为  $700\sim 800 \mu\text{mol proton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之间, 光饱和点为  $1\ 500 \mu\text{mol proton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , 光合最适温度为  $28\sim 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ )。在低温、低光强下表现出更高的光合速率 和林格尔种群比阿拉善种群需要更高的空气湿度来维持其光合速率 和林格尔种群表现高蒸腾、高光合和低水分利用效率的代谢特点 阿拉善种群采取低蒸腾、低光合和高水分利用效率的节水对策。这些生理特性与它们分布区的光、温、湿条件相适应。阿拉善种群的净光合速率、蒸腾速率和光能利用效率远低于和林格尔种群, 而水分利用效率和叶水分亏缺明显高于和林格尔种群。这主要是由于两地区水分状况差异引起的。

**关键词** 甘蒙锦鸡儿 光合作用 水分代谢 生理生态适应

## ECOLOGICAL ADAPTATION OF *CARAGANA OPULENS* ON THE INNER MONGOLIA PLATEAU : PHOTOSYNTHESIS AND WATER METABOLISM

MA Cheng-Cang<sup>1,2</sup> GAO Yu-Bao<sup>1\*</sup> WANG Jin-Long<sup>1</sup> and GUO Hong-Yu<sup>1</sup>

(1 College of Life Science, Nankai University, Tianjin 300071, China)

(2 Department of Biology, Huaibei Coal Normal College, Huaibei, Anhui 235000, China)

**Abstract** *Caragana opulens* belongs to the *Caragana* genus of legume, and it is found across a vast area of the Inner Mongolian Plateau from Daqing Mountain and Erlianhaote ( $112^{\circ}\text{E}$ ) in the east to Alashan ( $105^{\circ}\text{E}$ ) in the west. There have been many reports about its distribution, floristic composition, growth habits, anatomy and morphology. However, there have not been any reports about its physiological and biochemical characteristics. The adaptation of plants to their environment is determined by their genetic potential, but light energy and water metabolism are ready measurable indicators. The characteristics of photosynthesis and water metabolism of *C. opulens* populations which are found in Helinger (a semi-arid/partial humid region with lower temperature, lower light intensity and shorter day length) and Alashan (a very droughty region with higher temperature, higher light intensity and longer day length) were compared in this paper in order to understand the adaptative mechanisms of the species to its habitat. The results indicated that the light compensation point ( $< 500 \mu\text{mol proton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), light saturation point ( $1\ 200 \mu\text{mol proton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and optimum temperature for photosynthesis ( $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) in the Helinger population were all lower than those in the Alashan population ( $700\sim 800 \mu\text{mol proton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $1\ 500 \mu\text{mol proton}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  and  $28\sim 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respectively). The Helinger population exhibited a higher photosynthetic rate at lower temperature and light intensity; i. e. the Helinger population exhibited better adaptations to lower temperature and light radiation, while the Alashan population was better adapted to higher temperature and more intensive light radiation. The Helinger population needed higher relative humidity to maintain its higher net photosynthesis rate than the Alashan population. The Helinger population was characterized by higher transpiration rates, higher photosynthetic rates and lower *WUE*, whereas the Alashan population exhibited water-saving strategies with lower photosynthetic rates and lower transpiration rates. These results suggest that the different populations have adapted physiologically to local conditions of light, temperature and humidity allowing them to photosynthesize most efficiently in their native habitats.

Considering that water is a key factor for plant growth and development in the Inner Mongolia Plateau and that there is a difference in annual precipitation, soil water content and plant water status between the Helinger and Alashan regions, it is suggested that water shortage was the key driving factor responsible for the physiolog-

ical differences in the net photosynthetic rate, transpiration rate, light use efficiency, and water use efficiency between the two populations.

**Key words** *Caragana opulens*, Photosynthesis, Water metabolism, Physio-ecological adaptation

甘蒙锦鸡儿 (*Caragana opulens*) 是豆科锦鸡儿属植物, 为喜暖中旱生灌木, 散生于山地、丘陵及山地沟谷或混生于山地灌丛中(富象乾, 1989), 分布于蒙古高原东起大青山、二连浩特(112° E), 西至阿拉善左旗、贺兰山(105° E)的广大区域。甘蒙锦鸡儿属于特强耐旱树种, 其耐旱性比以强抗旱性而著称的柠条锦鸡儿 (*C. korshinskii*) 还强(朱春云等, 1996; 李进等, 1996)。关于甘蒙锦鸡儿的分布、区系成分分析(杨昌友等, 1990; 张明理, 1997; 1998; 徐朗然等, 1989; 赵一之, 1991)、生活习性(王国宏等, 2001)、解剖学特性(常朝阳等, 1997; 曹宛虹等, 1991; 燕玲等, 2002)和形态学(张明理等, 1996)已有不少报道。关于甘蒙锦鸡儿生理生化特性的研究尚未见报道。不同植物分布于不同的地区, 同一种植物分布范围有大有小, 这与不同植物或同种植物的各个种群对环境的适应性有关。植物对环境的适应是由其新陈代谢特性决定的。能量代谢和水分代谢是植物代谢的重要组成部分。作者对分布于不同环境甘蒙锦鸡儿的光合特性和水分代谢特性进行了比较研究, 以探讨甘蒙锦鸡儿对环境的适应性机制, 为有效利用甘蒙锦鸡儿资源, 充分发挥其在防风固沙、保持水土和畜牧业中的作用提供科学依据。

## 1 材料和方法

选取内蒙古自治区甘蒙锦鸡儿分布的半干旱地区和林格尔县和干旱地区阿拉善左旗为考察地点, 考察地点的自然概况数据列于表 1。每个地点选 3 个典型样地测定净光合速率、蒸腾速率日进程、叶水分亏缺日进程和土壤含水量。净光合速率、蒸腾速率日进程测定用 CI-301 光合测定系统, 从 7:00 到

19:00 每 2 h 测定 1 轮, 每轮测定 60 次(材料来自 30 个灌丛), 取平均值; 在测定上述指标的同时, 自动记录光合有效辐射 ( $PAR$ )、空气温度、叶片温度、空气湿度、空气  $CO_2$  浓度的变化。用各考察地点、各样地连续 3 次净光合速率平均值对所对应的光合有效辐射 ( $PAR$ )、空气温度和空气湿度平均值作图即得到甘蒙锦鸡儿所在生境的生态因子对其净光合速率的影响图, 用 SPSS 10.0 进行统计分析。日净同化积累值用公式“日净同化积累值 =  $\Sigma$  净光合速率  $\times$  7 200”计算, 日蒸腾积累值用公式“日蒸腾积累值 =  $\Sigma$  蒸腾速率  $\times$  7 200”计算, 水分利用效率用公式“水分利用效率 = 日净同化积累值/日蒸腾积累值”计算, 光能利用率用公式“光能利用率 = 净光合速率/光合有效辐射”计算。叶水分亏缺日进程测定从 8:00 到 17:00 每 3 h 测定 1 次, 取 30 个灌丛的成熟叶片, 烘干法测定。土壤含水量取 30 cm、60 cm 和 100 cm 深的土壤 30 ~ 50 g 烘干法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 甘蒙锦鸡儿的光合速率与生境生态因子的关系

从图 1 可知甘蒙锦鸡儿不同地理种群光合系统对有效辐射 ( $PAR$ ) 的反应不同: 和林格尔种群的净光合速率比阿拉善种群高, 且这种差异在低  $PAR$  时, 表现更为突出; 和林格尔种群的光补偿点在  $PAR$  500  $\mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以下, 阿拉善种群的光补偿点在 700 ~ 800  $\mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间; 和林格尔种群在  $PAR$  约为 1 200  $\mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (光饱和点) 时净光合速率最大, 而阿拉善种群在  $PAR$  约为 1 500  $\mu\text{mol photon} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  (光饱和点) 时净光

表 1 考察地点的自然概况数据

Table 1 Environmental data for the investigation sites

样点 Site	经度 Longitude (°E)	纬度 Latitude (°N)	海拔 Altitude (m)	年降水量 Annual precipitation (mm)	平均气温 Air temperature (°C)	$\geq 10$ °C 年积温 $\geq 10$ °C annual total temperature (°C)	日照时间 Sun time (h)	总辐射量 Total radiation energy ( $\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	土壤含水量 Soil water content (%)			
									30 cm	60 cm	100 cm	平均 Average
和林格尔 Helinger	111.88	40.33	1 063.0	420	5.60	2 780	2 942	574.8	7.90	9.47	10.26	9.21
阿拉善 Alashan	105.66	38.84	1 561.0	110	7.80	3 250	3 200	625.0	2.31	2.86	4.12	3.10

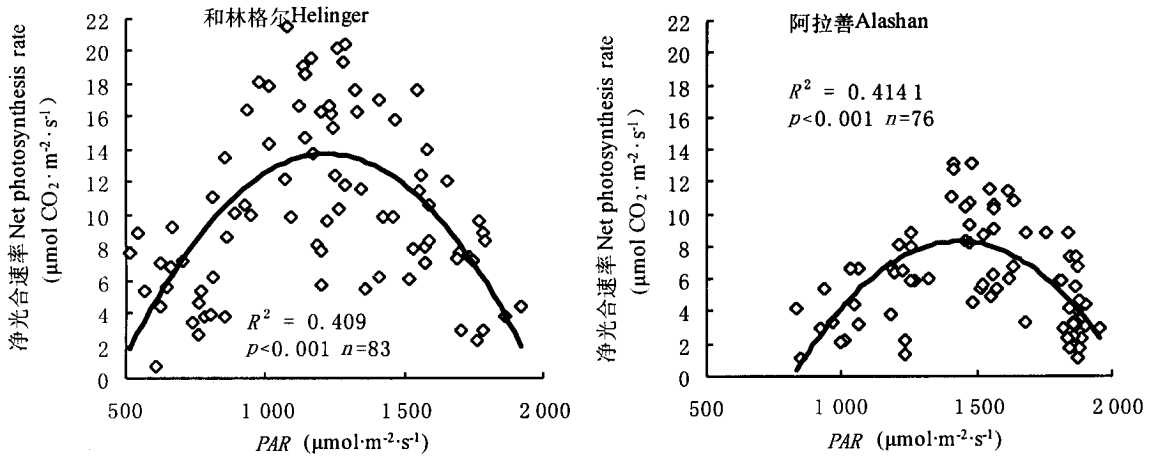


图1 甘蒙锦鸡儿净光合速率与有效辐射( PAR )关系

Fig.1 Relationship between photosynthetically available radiation ( PAR ) and net photosynthesis rate of *Caragana opulens* plants

合速率最大。净光合速率的差异说明和林格尔种群比阿拉善种群光合能力强。而光补偿点和光饱和点的不同,说明和林格尔种群对低光强的适应能力强,而阿拉善种群对强辐射的适应能力更强。

从图2可知,甘蒙锦鸡儿不同地理种群光合系统对气温的反应不同:和林格尔种群的净光合速率比阿拉善种群高,且这种差异在气温较低时表现更为突出,和林格尔种群光合作用的最适温度约为26℃,阿拉善种群在28~29℃。净光合速率是由光合速率和呼吸速率决定的,从净光合最适温度来看阿拉善种群光合系统对高温的耐受能力强、呼吸代谢对高温适应能力强。这是阿拉善种群适应高温环境的特性之一。

甘蒙锦鸡儿不同地理种群光合系统对空气湿度的反应不同,和林格尔种群的净光合速率比阿拉善种群高,且这种差异在空气湿度较高时表现更为突

出,和林格尔种群比阿拉善种群需要更高的空气湿度来维持其光合速率,其光合速率随空气湿度的升高而持续增大,而阿拉善种群在空气湿度达80%以上时,净光合速率升高缓慢。说明就光合系统对空气湿度的反应,阿拉善种群对干旱环境的适应能力更强(图3)。

### 2.2 甘蒙锦鸡儿净光合速率日进程

净光合速率日进程与光强、温度和水分有关,在干旱的蒙古高原,水分是影响净光合速率日进程的主要因子。和林格尔土壤水分含量高,植物水分状况好,上午光合作用主要受光强决定,表现出随光强增加而升高,12:00~14:00虽然光强继续增加,但此时由于强烈的蒸腾,水分变成光合作用的主要限制因子,所以净光合速率不再升高,出现平台;14:00以后水分状况的恶化和光强的降低导致净光合速率迅速下降。阿拉善土壤水分含量低,空气湿度低,植

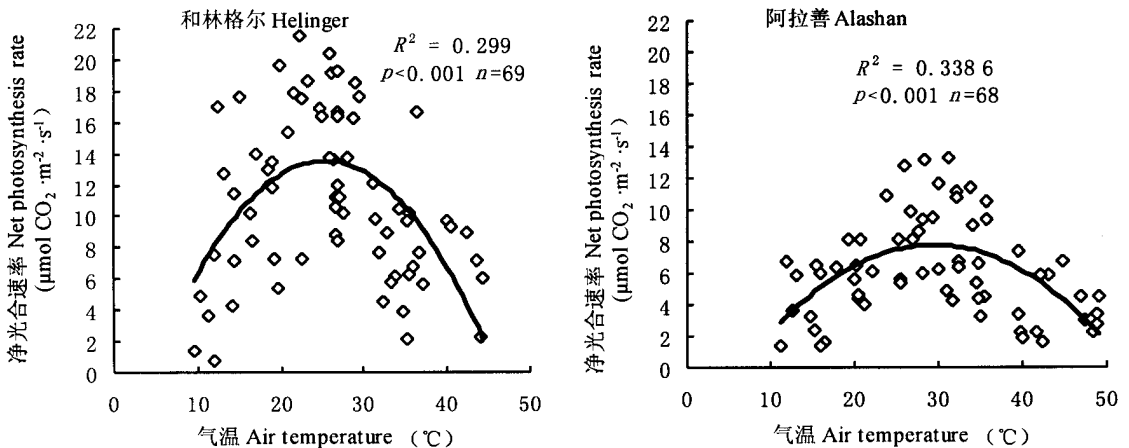


图2 甘蒙锦鸡儿净光合速率与气温的关系

Fig.2 Relationship between air temperature and net photosynthesis rate of *Caragana opulens* plants

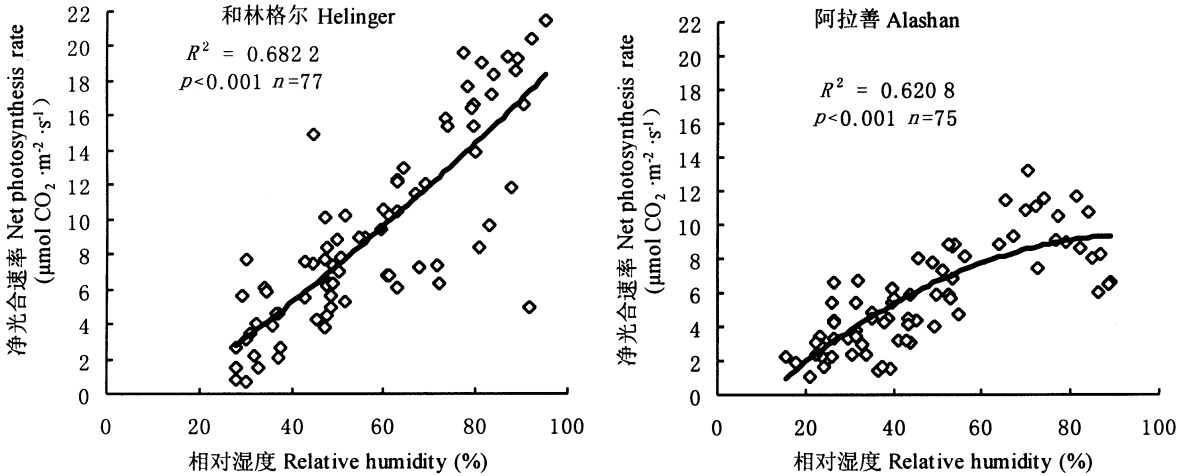


图 3 甘蒙锦鸡儿净光合速率与空气湿度的关系

Fig.3 Relationship between air relative humidity and net photosynthesis rate of *Caragana opulens* plants

物水分状况不好,光合作用的主要限制因子是水分,上午 8:00~12:00 虽然光强明显增大,但净光合速率仅有微弱升高,12:00 以后水分状况恶化出现午休现象;14:00~16:00 光强、气温有所下降,水分状况不再进一步恶化,出现较低水平的平台;16:00 以后受光强和水分状况的共同影响净光合速率下降。和林格尔净光合速率始终高于阿拉善种群(图 4)。和林格尔甘蒙锦鸡儿的日净同化积累值(397.40 mmol CO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>)远大于阿拉善(252.35 mmol CO<sub>2</sub>·m<sup>-2</sup>)。

由图 5 可以看出,两个种群光能利用效率日进程都表现为早、晚高,中午低的变化趋势。不同的是:1)和林格尔种群光能利用效率大大高于阿拉善种群;2)和林格尔种群早、晚变化幅度更大。这些变化与水分因子有关。

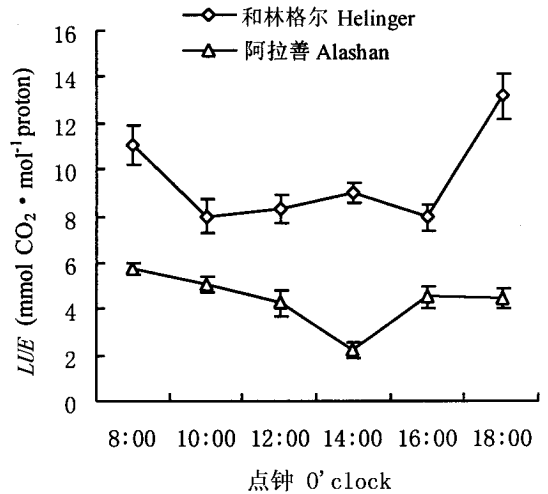


图 5 甘蒙锦鸡儿光能利用效率(LUE)日进程  
Fig.5 Diurnal changes of light use efficiency(LUE) of *Caragana opulens* plants

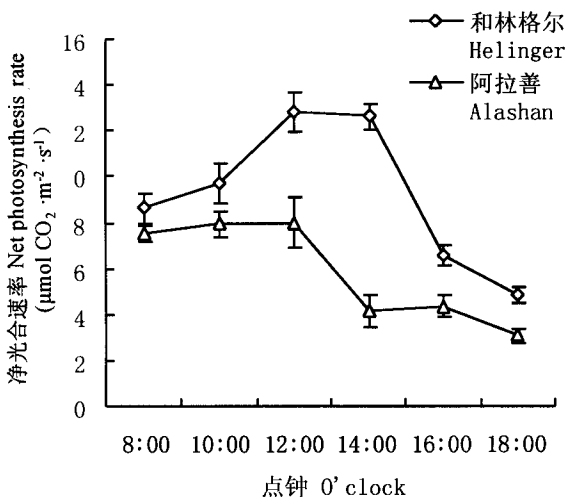


图 4 甘蒙锦鸡儿净光合速率日进程

Fig.4 Diurnal changes of net photosynthesis rate of *Caragana opulens* plants

### 2.3 甘蒙锦鸡儿的水分代谢

甘蒙锦鸡儿两个种群蒸腾速率日进程有明显差异(图 6)和林格尔种群蒸腾速率表现出随白天光照和温度的变化而波动,只是在 14:00 以后蒸腾速率的下降比光照和温度的降低更快一些;阿拉善种群蒸腾速率随白天光照和温度的变化波动很小,基本呈现出从早到晚逐渐下降的趋势(仅 8:00~10:00 稍有升高)。两个种群蒸腾速率日进程的差异主要由水分差异引起。和林格尔土壤含水量高,植物水分状况好,蒸腾失水能够得到较好补充,故随光强和温度的升高蒸腾作用增大;14:00 以后蒸腾速率的快速下降是水分入不敷出的结果。阿拉善土壤含水量很低,植物水分状况不好,蒸腾失水不能得到补充,造成严重水分亏缺,导致蒸腾速率从早到晚逐渐

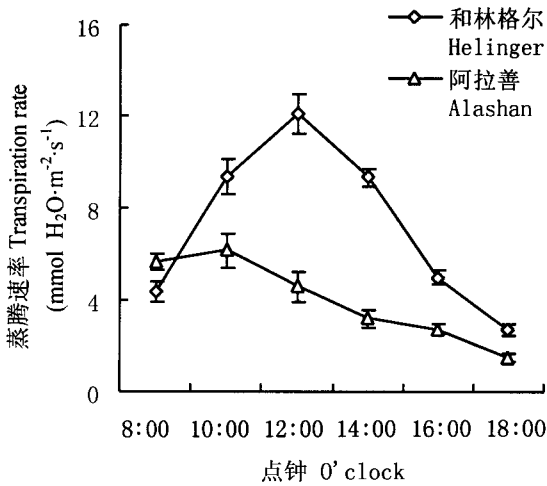


图6 甘蒙锦鸡儿蒸腾速率日进程

Fig.6 The diurnal changes of transpiration rate of *Caragana opulens* plants

下降的趋势。同一种群蒸腾速率日进程与净光合速率日进程变化趋势相似,是因为它们受共同因子-水分控制,而光合作用需以蒸腾作用的水分丢失为代价。从日蒸腾积累值来看,和林格尔种群(307.59 mol H<sub>2</sub>O · m<sup>-2</sup>)大于阿拉善种群(170.22 mol H<sub>2</sub>O · m<sup>-2</sup>),这也是由水分因子决定的。

由图7可知,和林格尔种群水分利用效率早、晚高,中午前后低,这是因为早、晚气温低,湿度高,植物能以较低的水分代价得到更多的光合产物,提高了水分利用效率,中午前后正好相反。阿拉善种群除早、晚高外,12:00出现高峰,这是植物在高温、强光和水分状况恶化的情况下,以较低的水分代价,保持光合的相对稳定的结果,是干旱区植物适应环境的特征。根据日进程计算水分利用效率平均值发

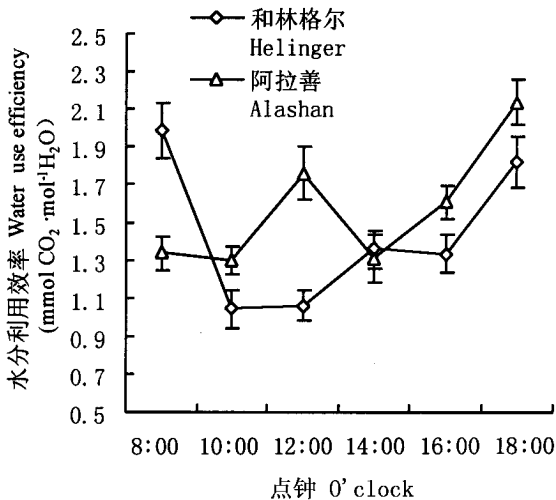


图7 甘蒙锦鸡儿水分利用效率日进程

Fig.7 Diurnal changes of water use efficiency of *Caragana opulens* plants

现阿拉善种群(1.48 mmol CO<sub>2</sub> · mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O)高于和林格尔种群(1.29 mmol CO<sub>2</sub> · mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O),说明阿拉善种群对干旱的适应性强。

植物体的水分状况在黎明前最好,日出后由于蒸腾失水大于根系吸水,叶水分亏缺增大。分析图8发现,不同种群植株叶水分亏缺日变化不同。和林格尔种群的水分状况好,该点的水分亏缺早晨接近0,下午17:00叶水分亏缺为5.61%,阿拉善种群叶水分亏缺早晨8:00为4.06%,下午17:00升至14.36%。叶水分亏缺的变化与植株所处环境的水分状况密切相关,这也是前面提到的净光合速率日进程、蒸腾速率日进程曲线变化的重要原因。

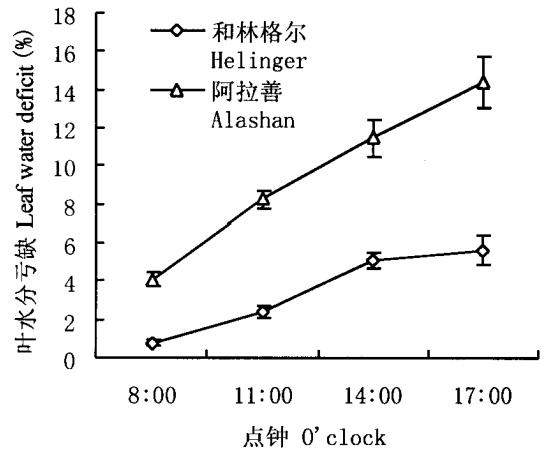


图8 甘蒙锦鸡儿叶水分亏缺日变化

Fig.8 Diurnal changes of leaf water deficit of *Caragana opulens* plants

### 3 讨论

#### 3.1 不同种群甘蒙锦鸡儿的光合和水分代谢特性与其分布区环境相适应

蒙古高原气候特点是,光辐射和气温由东向西递增,降水则由东向西递减,从而形成光、温、湿的明显梯度和多种多样的水热组合。其中对植物生长发育影响最大的是降水,由东向西递减的降水差异化出湿润、半湿润偏湿、半湿润偏干、半干旱偏润、半干旱偏干、干旱、很干旱、强干旱和极干旱9个水分型(杨美华等,1987)。和林格尔属于半干旱偏润区,而阿拉善属于强干旱区,它们在水分、温度、光照时间和辐射强度等气候因子方面有显著差异(表1)。甘蒙锦鸡儿能够在气候差异如此大的地区分布,是由其对环境尤其是光、温、水环境的适应能力决定的。

植物的光合作用和水分代谢特性与植物所生存的环境密切相关。关于植物对生活环境的光、温、湿

的适应已有不少报道。Johnson(1996)研究表明,植物的光合特性与其以前生活的环境因子(光、温、CO<sub>2</sub>)密切相关,表现出对环境的适应性。Ueda等(2000)研究发现产于高温、少雨、高光强地区(Ishibaki Island)的蔷薇(*Rosa*)比产于低温、多雨、低光强地区(Monbetsu, Hokkaido)的蔷薇有更高的光合最适温度和光补偿点,表现出在产地的环境条件下,有效地进行光合作用的适应性。Berry和Bjorkman(1980)及Boardman(1977)指出,起源和生长于低温、低光强地区的植物比分布于高温、高光强地区的植物达到最大光合速率所需要的温度更低、光饱和点也低,在低温、低光强下显示出更高的光合速率。Sheu和Lin(1999)研究表明在高温下培养的木荷(*Schima superba*)光合最适温度也高。Fausto等(1997)发现原产于干旱热带环境的植物比其它植物光合系统对干旱胁迫有更好的适应性。崔骁勇等(2000)发现生长在半干旱草原区沙地的沙蒿(*Artemisia desertorum*)光合系统具有忍耐较高气温的能力。这些研究结果都显示植物生活或生长在不同的环境,光合系统表现出不同的代谢特性,说明植物的光合特性与其生活环境相适应。关于甘蒙锦鸡儿不同种群对光、温、水分梯度适应性未见报道。本研究发现分布于气温较低、辐射强度较低、日照时间较短的半干旱偏润地区的和林格尔种群比分布于气温高、辐射强度高、日照时间长的强干旱地区的阿拉善种群的光补偿点、光饱和点低,光合最适温度低,在低温、低光强下表现出更高的光合速率,和林格尔种群光合系统对低气温、低光强适应性好,阿拉善种群对高气温、高光强适应能力强,和林格尔种群比阿拉善种群需要更高的空气相对湿度来维持其光合速率,和林格尔种群表现高蒸腾、高光合和低水分利用效率的代谢特点,阿拉善种群采取低蒸腾、低光合和高水分利用效率的节水对策。这些结果显示甘蒙锦鸡儿不同种群的光合特性和水分代谢特性不同,它们的光合特性和水分代谢特性与它们分布区的光、温、湿环境条件相适应,使植物能够在产地的环境条件下,有效地进行光合作用。这与前述其它植物的研究结果相同。植物的代谢特性的变异是其适应不同生境的生物学基础,物种的变异潜能越大,对环境变化的适应能力就越强,越容易扩展其分布范围和开拓新的环境。甘蒙锦鸡儿光合特性和水分代谢特性的明显变异导致其能够在内蒙古高原的半干旱偏润地区至强干旱地区生长。这种代谢特性的变异是植物长期适应生存环境的结果。

### 3.2 不同种群甘蒙锦鸡儿光合作用和水分代谢的不同与水分状况有关

干旱地区植物光合作用和水分代谢很大程度上受水分状况决定,周海燕等(2001)将水分条件较好的科尔沁沙地的建群灌木小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、水分条件较差的毛乌素沙地的建群灌木中间锦鸡儿(*C. davazamcii*)引种至水分条件极差的腾格里沙漠,比较引种前后光合速率和光合日进程的变化,并与腾格里沙漠本地建群灌木柠条锦鸡儿(*C. korshinskii*)作比较,发现小叶锦鸡儿光合速率比其原分布地降低了11.63倍,而中间锦鸡儿降低4.5倍,表明小叶锦鸡儿对引种地的适应性不及中间锦鸡儿。阿拉善地区辐射强度大、光照时间长、气温高,这些气候特点本应导致阿拉善种群的高光合速率和高蒸腾速率,但是阿拉善地区的低降水、低土壤含水量(表1)和高水分亏缺又是光合速率和蒸腾速率的重要限制因子。本研究测得阿拉善种群的净光合速率和蒸腾速率远低于和林格尔种群,使其光能利用效率大大低于和林格尔种群,而水分利用效率明显高于和林格尔种群。这些都说明水分状况是阿拉善种群和和林格尔种群光合作用和水分代谢速率不同的主要原因。当然也不排除植物长期适应其“土著”环境,其低蒸腾、低光合、低光能利用效率和高水分利用效率已形成分布于特定环境的固有特性。

### 参 考 文 献

- Berry, J. & O. Bjorkman. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plant. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **31**: 491 ~ 543.
- Boardman, N. K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **28**: 355 ~ 377.
- Cao, W. H. (曹宛虹) & X. Y. Zhang (张新英). 1991. The secondary xylem anatomy of 6 desert plants of *Caragana*. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), **33**: 181 ~ 187. (in Chinese with English abstract)
- Chang, C. Y. (常朝阳) & M. L. Zhang (张明理). 1997. Anatomical structures of young stems and leaves of some *Caragana* species with their ecological adaptabilities. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **17**: 65 ~ 71. (in Chinese with English abstract)
- Cui, X. Y. (崔骁勇), Z. C. Du (杜占池) & Y. F. Wang (王艳芬). 2000. Photosynthetic characteristics of a semi-arid sandy grassland community in Inner Mongolia. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), **24**: 541 ~ 546. (in Chinese with English abstract)
- Fausto, M., S. Gunther & V. Marcello. 1997. Ecophysiological studies of Mediterranean plant species at the Castelporziano Es-

- tate. Atmospheric Environment, **31**: 51 ~ 60.
- Fu, X. Q. (富象乾). 1989. *Caragana* Fabr. Flora Intramonglica. 2nd ed. Huhehot: Inner Mongolia People Press. **3**: 215 ~ 238. (in Chinese)
- Li, J. (李进) & X. F. Zhang (张秀伏). 1996. Study on the application of gradient analysis technique in plant drought resistance. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica (西北植物学报), **16**: 284 ~ 292. (in Chinese with English abstract)
- Johnson, I. R. 1996. Modelling canopy photosynthesis in response to environmental conditions. Advances in Space Research, **18**: 163 ~ 166.
- Sheu, B. H. & C. K. Lin. 1999. Photosynthetic response of seedlings of the sub-tropical tree *Schima superba* with exposure to elevated carbon dioxide and temperature. Environmental and Experimental Botany, **41**: 57 ~ 65.
- Ueda, Y., S. Nishihara, H. Tomita & Y. Oda. 2000. Photosynthetic response of Japanese rose species *Rosa bracteata* and *Rosa rugosa* to temperature and light. Scientia Horticulturae, **84**: 365 ~ 371.
- Wang, G. H. (王国宏) & L. M. Yang (杨利民). 2001. Gradient analysis and environmental interpretation of woody plant communities in the middle section of the northern slopes of Qilian Mountain, Gansu, China. Acta Phytoecologica Sinica (植物生态学报), **25**: 733 ~ 740. (in Chinese with English abstract)
- Xu, L. R. (徐朗然) & X. Y. Hao (郝秀英). 1989. Studies on the taxonomy and their floristic geography of *Caragana* Fabr. (Leguminosae) in loess plateau and Qinling Mountains. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica (西北植物学报), **9**(2): 92 ~ 101. (in Chinese with English abstract)
- Yang, C. Y. (杨昌友), N. Li (李楠) & X. Q. Ma (马晓强). 1990. The floristic analysis of genus *Caragana*. Bulletin of Botanical Research (植物研究), **10**(4): 93 ~ 99. (in Chinese with English abstract)
- Yang, M. H. (杨美华), Z. D. Guo (郭正德) & C. G. Wang (王长根). 1987. Remote sensing explanation of Inner Mongolia Municipality climate types. In: Chen, K. (陈凯) & B. Li (李博) eds. Application study on remote sensing in Inner Mongolia pasture resource. Huhehot: Inner Mongolia University Press. 46 ~ 58. (in Chinese)
- Yan, L. (燕玲), H. Li (李红) & Y. Liu (刘艳). 2002. The anatomical ecology studies on the leaf of 13 species in *Caragana* genus. Journal of Arid Land Resources and Environment (干旱区资源与环境), **16**(1): 100 ~ 106. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, M. L. (张明理). 1997. The geographic distribution of the genus *Caragana* in Qinghai-Xizang plateau and Himalayas. Acta Phytotaxonomica Sinica (植物分类学报), **35**: 136 ~ 147. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, M. L. (张明理). 1998. A preliminary analytic biogeography in *Caragana* (Fabaceae). Acta Botanica Yunnanica (云南植物研究), **20**: 1 ~ 11. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, M. L. (张明理), X. Y. Tian (田希娅) & J. C. Ning (宁建长). 1996. Pollen morphology and its taxonomic significance of *Caragana* Fabr. (Fabaceae) from China. Acta Phytotaxonomica Sinica (植物分类学报), **34**: 397 ~ 409. (in Chinese with English abstract)
- Zhao, Y. Z. (赵一之). 1991. Classification and eco-geographical distribution of *Caragana* in Nei Mongol. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Intramongolicae (内蒙古大学学报), **22**: 264 ~ 273. (in Chinese with English abstract)
- Zhou, H. Y. (周海燕), J. G. Zhang (张景光), L. Q. Long (龙利群) & L. Zhao (赵亮). 2001. Photosynthesis of several dominant shrubs of genus *Caragana* L. in ecotone. Journal of Desert Research (中国沙漠), **21**: 227 ~ 231. (in Chinese with English abstract)
- Zhu, C. Y. (朱春云), Y. Zhao (赵越), X. Liu (刘霞), C. H. Gao (高崇辉) & Y. L. Liu (刘雅林). 1996. A study on physiological drought of *Caragana* and others. Arid Zone Research (干旱区研究), **13**(1): 59 ~ 63. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 张大勇 责任编辑 张丽赫