

# 内蒙古半干旱草原区沙地植物群落 光合特征的动态研究

崔晓勇<sup>1\*</sup> 杜占池<sup>2</sup> 王艳芬<sup>1</sup>

(1 中国科学院植物研究所, 北京 100093) (2 中国科学院自然资源综合考察委员会, 北京 100101)

**摘要** 沙蒿(*Artemisia intramontolica*)群落是半干旱草原地区沙地的重要植被类型, 分别在植物的生长前期、中期、盛期和后期采用便携式光合测定仪和大型同化分析仪测定了沙蒿叶片和沙蒿群落的光合动态。单叶和群落的光合速率日进程类型随气候的不同而异, 瞬时光合速率主要决定于光合有效辐射强度(PAR)。土壤干旱大大降低了单叶和群落的光合能力, 晴天土壤湿润时气温和空气湿度控制着叶片的光合速率, 午间大气湿度降低是光合午休的主要外因。叶片的蒸腾速率与气温呈显著线性相关, 植物的光能和水分利用效率也主要取决于PAR和气温, 随着PAR和气温的升高利用效率下降。沙蒿叶片光能利用效率在后期也能保持较高水平。沙蒿对土壤干旱和高温具有一定的适应性, 在土壤湿润时能迅速提高光合速率, 形成较大的生物量。但是沙蒿的蒸腾速率高, 水分利用效率低。研究认为, 沙蒿通过对土壤干旱和高温的忍耐机制而保持长时间较高的光能利用效率, 并在土壤湿润时迅速提高光合能力和积累干物质来适应半干旱的沙地环境, 而且依靠高蒸腾速率和强的水分吸收能力来竞争性抑制其他植物的生长。

**关键词** 沙蒿 半干旱草原 沙地群落 光能利用效率

## PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF A SEMI-ARID SANDY GRASSLAND COMMUNITY IN INNER MONGOLIA

CUI Xiao-Yong<sup>1\*</sup> DU Zhan-Chi<sup>2</sup> and WANG Yan-Fen<sup>1</sup>

(1 Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093)

(2 Commission for the Integrated Survey of Natural Resources, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

**Abstract** Photosynthesis of *Artemisia intramontolica* leaves and communities were studied at different developing stages. The diurnal course of photosynthetic rates of leaves and communities changed with climate conditions, with the instantaneous photosynthetic rate depending logically on PAR (Photosynthetically active radiation). Low soil moisture content greatly depressed light use capacity of plant leaves and communities. On clear days photosynthetic rates mainly depended on air temperature and humidity under favorable soil water condition. Low mid-day air humidity was the critical environmental factor in observed contributing to "mid-day depression" of photosynthesis. The transpiration rate of leaves was linearly correlated with air temperature. Moreover, the light use efficiency (LUE) and water use efficiency (WUE) of plants were both closely associated with PAR and air temperatures in a negative linear relationship. *A. intramontolica* maintained relatively high CO<sub>2</sub> fixation capability under dry soil and high air temperature conditions, though, once soil water content increased, photosynthetic rate and biomass were observed to also increase greatly. These results suggested that the photosynthetic strategy of *A. intramontolica* is adapted to the conditions of sandy soils in the semi-arid regions where it occurs through its ability to maintaining a certain degree of LUE for a long time under water stress and high temperature and then to resume high photosynthetic rate when soil moisture status improves. It competitively inhibits other species through its high water harvesting capacity and its high transpiration rate.

**Key words** *Artemisia intramontolica*, Semi-arid grassland, Sand plant community, Light use efficiency

收稿日期: 1999-04-16 修订日期: 1999-07-04

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(49790020)

\*现工作单位: 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091 Present address: Research Institute of Forest Ecology, Environmental and Protection, the Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091

由于气候和历史的原因,内蒙古半干旱典型草原区分布有大面积的沙地,其中相当部分处于流动和半流动状态。近年来,随着牲畜饲养量的增加,对草场的放牧压力不断加大,草场沙化成为越来越严重的生态和经济问题,原有的固定和半固定沙地也向着流动化发展(李永宏等,1995)。因此急需研究沙地植物群落的生活和适应特征,以探索防治草地沙化的技术策略,恢复和促进沙地的固定化。沙蒿群落是该地区典型的沙地植被之一,在半固定沙地上分布广泛。沙蒿是群落的建群种,一般单株或多株散生,植株之间稀疏地分布着其他植物,常见的有隐子草(*Cleistogenes squarrosa*),冰草(*Agropyron mongolicum*),唐松草(*Thalictrum squarrosum*)等,植被的覆盖度不高(李博等,1988)。沙蒿群落抵抗风沙吹蚀、掩埋和牲畜啃食的能力较强,在阻止沙丘推进、恢复沙地植被方面有重要作用,而对他的研究十分缺乏(肖向明,1989)。本文测定了生长季内沙蒿群落及其建群种的光合和水分利用特征,旨在探讨群落适应环境的生理生态机制,为恢复和保护沙地植被提供试验依据。

## 1 材料与方法

在1997年8月中旬从中国科学院内蒙古草原生态系统定位研究站北的半固定沙地上挖取沙蒿(*Artemisia intramontana*)群落,移栽到定位站院内。挖掘时尽量保持植物根系完整,并且尽量按群落的原有植物结构移栽。植物单叶的光合和蒸腾速率使用CID公司的CI-301PS便携式光合测定仪测定,分别在生长前期(5月下旬),中期(7月初),盛期(8月初)和后期(9月中旬)选取植株最上部完全展开叶片,采用开路法测定。每株植物取5个枝条,每一枝条连续测3个数据。测定的前一天给植株充足浇水。群落光合速率采用HORIBA ASSA-1610的六通道植物同化分析仪测定,测定室为 $0.71\text{ m} \times 0.71\text{ m} \times 0.60\text{ m}$ ,具体方法见文献(盛修武等,1985)。分别在生长初期(5月中、下旬)、中期(6月下旬)、盛期(7月下旬)和后期(8月底)测定,每次同时测定4个群落,连续测定24~48 h。随后向各群落浇水,浇水量大约相当于20 mm降水量。环境因子的测定采用常规方法测定。试验数据采用SPSS统计软件分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 沙蒿单叶的光合特征

如图1所示,沙蒿生长前期和中期(5月25日

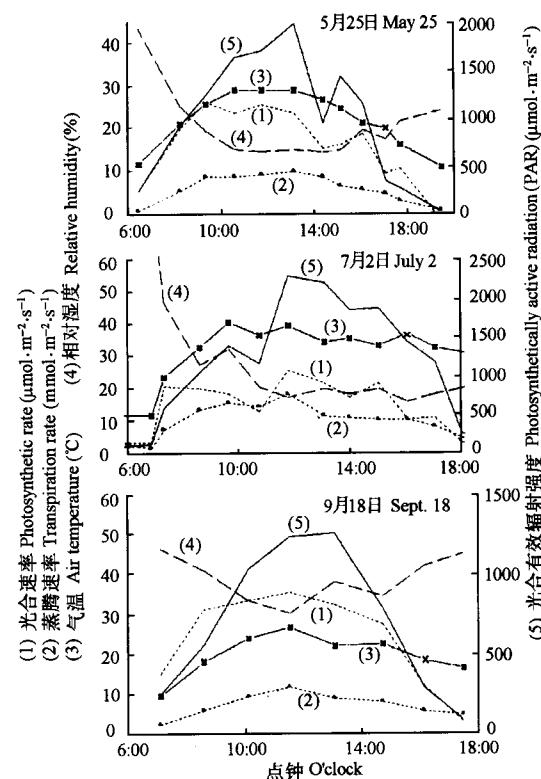


图1 沙蒿单叶光合速率与环境因子的日进程

Fig. 1 Diurnal changes of photosynthesis and transpiration rate of *Artemisia intramontana* leaves as well as environmental factors

和7月2日)单叶光合速率的日进程都是随光强的变化而变化,其中5月25日的光合速率曲线有两个明显的高峰,分别出现在午前和午后,峰值接近,约为 $26.1\text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,峰值间的低谷也不明显。7月2日的光合高峰出现在正午光强最大的时候,峰值为 $25.3\text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。而在早上7:00左右光强尚低(为高峰光强的25%)时光合速率就已经达到了最大值的80%。生长后期(9月18日)的光合日进程为午间高峰型的单峰曲线,高峰出现在正午,峰值为 $35.7\text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。由于8月一直是阴雨天气,测定的8月7日也是阴天,因此只测定了中午的光合速率,在光强为 $910\text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,光合速率为 $18.7\text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

采用逐步回归方法分析了沙蒿单叶光合速率与光合有效辐射、气温、空气湿度、空气CO<sub>2</sub>浓度等环境因子的关系,结果表明光强是决定瞬时光合速率的首要因素,各时期的净光合速率都可以表示为:

$$P = a + b \times \ln(PAR)$$

其中P是瞬时净光合速率( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),PAR是瞬时光合有效辐射强度( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),a和b是常数。式中a为负值,表明在光补偿点以下叶片表现为净呼吸作用。其他气象因子对光合速率

也有影响,但是在逐步回归时都被剔除,只在生长初期有一些叶片的光合速率与气温的对数和空气湿度线性正相关,而和PAR的相关性不显著。因此午间大气湿度降低是此时光合午休的主要原因(贡献率约为86%)。土壤水分强烈影响沙蒿的光合作用,土壤干旱极显著地降低了叶片的光合速率(表1),幅度达74%。

## 2.2 单叶的光能和水分利用效率

光合速率与光强的比值(LUE)反映了植物对不同光强的利用能力。沙蒿的日累积光合量在生长后期最高,而此时的光合有效辐射较弱,因此平均的光能利用效率最高,反之在7月2日的PAR最高,但日累积光合量最低,平均光能利用效率最低。与该地区的其他植物不同(杜占池等,1997),生长后期沙蒿单叶的光能利用能力显著高于其他时期,高光强时的差异更大。比较不同光强下的LUE可以看出,弱光时的LUE较高,尤其是在生长初期,300  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的LUE是1500  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的6倍,随着生育期的推进差异缩小(表2)。

光照强度是决定LUE的首要因素,LUE与PAR的倒数或对数显著负相关,表明随着辐射的增强光能利用率降低,且下降的速度逐渐减缓(图2)。LUE还与气温呈对数相关关系,因此午间气温较高

反而有利于沙蒿利用较强的PAR,从而减少光合午休的程度,低温高光强会严重影响植物的光合作用,这可能和光抑制作用有关。光合作用的温度系数反应了光合作用对温度变化的敏感程度。PAR是决定各时期温度系数最重要的环境因素,可以解释其变异的39%~66%。其次是气温和空气湿度,分别可以解释温度系数变异的33%~39%和21%左右。

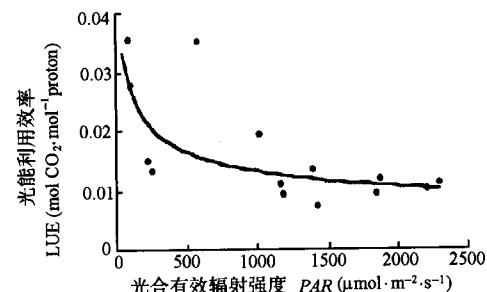


图2 沙蒿单叶的光能利用效率(LUE)与光强(PAR)的关系

Fig. 2 Relationship between PAR and light use efficiency

(LUE) of *A. intramontolica* plant leaves

PAR:见图1 See Fig. 1

沙蒿单叶的蒸腾速率在生长初期和后期相近,而在盛期的7月明显较高,日蒸腾量分别为5月底和9月中下旬的1.66和1.67倍(表3)。这主要是因为7月的气温较生长初期和后期高,而单叶的蒸腾速率与气温线性相关( $r=0.990^{***}$ ,图3)。但是

表1 土壤水分状况对沙蒿单叶光合、蒸腾速率及水分利用效率的影响

Table 1 Effect of soil moisture status on photosynthesis rate, transpiration rate and WUE of *Artemisia intramontolica* leaves

| 处理<br>Treatment | 土壤含水量 Soil water content (%) |               |               | 光合速率(P)<br>Photosynthetic rate<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 蒸腾速率(T)<br>Transpiration rate<br>( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 水分利用效率<br>P/T (WUE)<br>( $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ ) |
|-----------------|------------------------------|---------------|---------------|---|--|--|
|                 | 0~10<br>(cm)                 | 10~20<br>(cm) | 20~30<br>(cm) |   |  |  |
| 干旱 Arid         | 0.95                         | 1.00          | 1.03          | 5.06 <sup>A</sup>   | 0.76 <sup>A</sup>  | 6.66 <sup>BC</sup>   |
| 中等干旱 Semi-arid  | 2.99                         | 1.10          | 1.07          | 14.84 <sup>B</sup>  | 2.87 <sup>B</sup>  | 5.21 <sup>AB</sup>   |
| 湿润 Humid        | 6.92                         | 2.06          | 2.40          | 19.74 <sup>C</sup>  | 5.97 <sup>C</sup>  | 3.31 <sup>A</sup>  |

相同字母表示差异不显著;大写和小写的不同字母分别表示差异达1%和5%以上显著水平 Data of a column with the same letter are not significantly different. Capital and small letters denote different at 1% and 5% levels respectively

表2 不同时期沙蒿单叶日累积光合量与光能利用效率

Table 2 Daily amount of photosynthesis and LUE of *Artemisia intramontolica* leaves at different stages

| 日期<br>Date     | 日累积PAR<br>Daily amount of PAR<br>( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$ ) |                   | 日累积光合量<br>Daily amount of photosynthesis<br>( $\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ ) | 光能利用率 Light use efficiency<br>( $\text{mmol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \text{proton}$ ) |         |      |      |
|----------------|---|-------------------|---|--|---------|------|------|
|                | 300 <sup>1)</sup>   | 800 <sup>2)</sup> |   | 1500 <sup>3)</sup>   | 平均 Mean |      |      |
| 5月25日 May 25   | 49.4  |                   | 0.75  | 34.1   | 18.8    | 5.4  | 15.2 |
| 7月2日 July 2    | 60.5  |                   | 0.73  | 20.0   | 14.0    | 11.0 | 12.0 |
| 8月7日 Aug. 7    | —   |                   | —   | —  | —       | —    | —    |
| 9月18日 Sept. 18 | 30.0  |                   | 1.03  | 62.4   | 47.0    | 42.7 | 35.2 |

1), 2), 3): 光合有效辐射强度 PAR ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) PAR: 见图1 See Fig. 1

光合速率在7月初最低,所以此时的光合/蒸腾比即水分利用效率最低。生长后期的光合速率较初期高,水分利用效率也相应较高。

表3 沙蒿日光合量和蒸腾量及水分利用效率的季节动态

Table 3 Seasonal dynamics of daily net photosynthesis, transpiration, and water use efficiency of *Artemisia intramontana* leaves

|  | 日期 Date | 5月 25日 May 25 | 7月 2日 July 2 | 9月 18日 Sept. 18 |
|--|---------|---------------|--------------|-----------------|
| 日光合量<br>Daily amount of photosynthesis<br>(mol CO <sub>2</sub> · m <sup>-2</sup> ) | 0.75    | 0.73          | 1.03         |                 |
| 日蒸腾量<br>Daily amount of transpiration<br>(mol H <sub>2</sub> O · m <sup>-2</sup> ) | 304.2   | 506.0         | 303.4        |                 |
| 水分利用效率<br>WUE<br>(mmol CO <sub>2</sub> · mol <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O)       | 2.46    | 1.44          | 3.39         |                 |

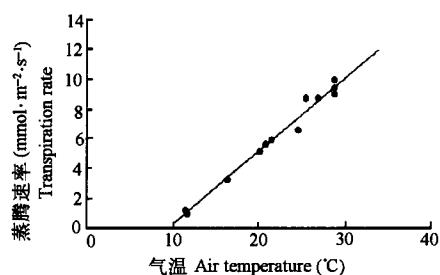


图3 沙蒿单叶蒸腾速率与气温的关系

Fig. 3 Relationship between air temperature and transpiration rate of *A. intramontana* leaves

沙蒿单叶的蒸腾速率与气温或PAR有关。生长初期与气温线性相关,后期是气温的二次函数,中期则随PAR的升高而对数增加。由于叶片的光合和蒸腾速率都和气温及PAR有关,因此光合/蒸腾比即WUE也主要决定于这两个气象因子的组合,不同时期两者的作用强度不一样。生长初期大气湿度也是主要作用因子之一。土壤水分条件对蒸腾的作用十分显著(表1),土壤湿润时植物叶片的蒸腾量也较大。叶片蒸腾速率比光合速率对土壤水分变化更敏感,水分充足时叶片的WUE明显降低(表1)。

### 2.3 群落光合日进程

群落的光合日进程与光强的变化基本一致(图4),各时期光合速率与光强呈线性或对数相关。1998年降水较多,天气多阴雨,各时期的光合曲线大多为多云的多峰型,一天内峰值的高低与当时的光合有

效辐射强度一致。只有5月中旬为完整的晴天,自然情况下的光合日进程为午间降低的双峰曲线,上午的高峰值明显高于午后峰值。上午9:00左右光合速率达到最大,随后逐渐降低,在光强最高的11:00光合速率已经比最大光合速率下降了18%。下午15:00~16:00光合速率略有上升。各时期群落光合速率的最大峰值在7月最高,单位地面积的光合速率7月为31.42 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>,是5月的近8倍;以单位叶面积计算也是7月最高,为37.48 μmol · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>,是5月的2.4倍。

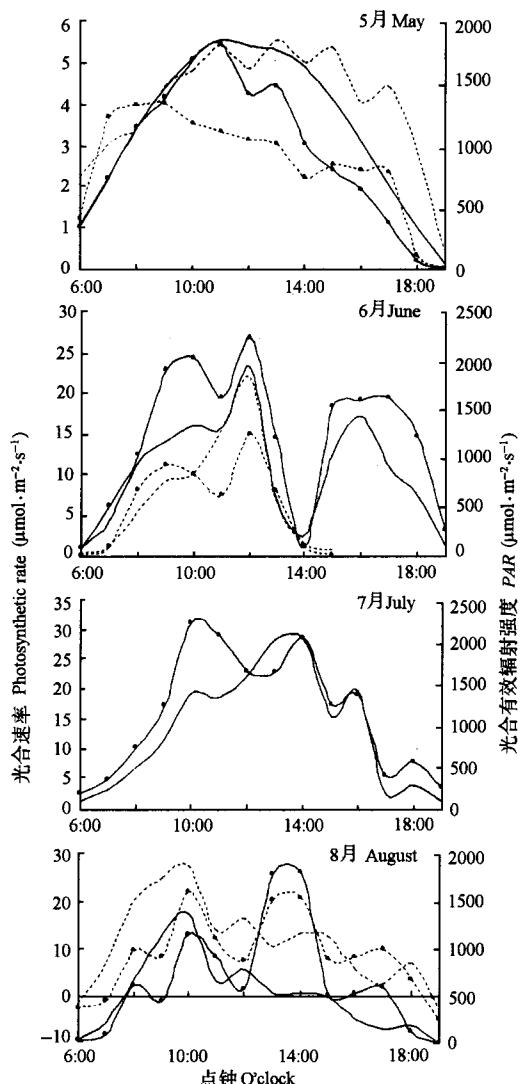


图4 群落光合速率日进程与光强(PAR)的关系

Fig. 4 Relationship between diurnal changes of

community photosynthetic rate and PAR

- · --: 光合速率(未浇水) Photosynthetic rate (No watering)
- : 光合有效辐射强度(未浇水) PAR (No watering)
- : 光合速率(浇水) Photosynthetic rate (Watering)
- : 光合有效辐射强度(浇水) PAR (Watering)

PAR:见图1 See Fig. 1

单位地面积群落的净光合速率在各时期都只是PAR的函数,但是函数关系式不同。5月中旬为对数关系,6月中、下旬为线性关系,7月中、下旬为对数关系,8月底是抛物线关系。其实总体上群落光合仍然是对数关系,只是由于各时期PAR的日变化和总量(表4)不同,植株的生理状态不同,因此表现的关系也有差异。其中5月和7月PAR的日变化和总量相似,因此光合对光强的关系也类似,只是两条曲线的拟合值无论以地面积还是以叶面积计算的差异都极显著,说明两个时期的叶片生理状态不同。而6月总较低,光合曲线处于低光强时的快速增长阶段。8月底虽然光强很低,和6月接近,但是由于植株已经进入衰退期,因此光合速率表现出轻微的高光强抑制。水分充足增强了群落的光能利用能力(图5)。

#### 2.4 群落 LUE

群落单位地面积日累积光合量在5月最低,相当于7月最大值时的1/6,而单位叶面积计算时除7月明显较高外,其他时期相差不大。各测定时期的光合有效辐射6月和8月仅相当于5月和7月的60%左右,因此群落的光能利用效率盛期达到最大,随后又有所降低。单位地面积计算的最大值与最小值相差7倍多,而单位叶面积计算时仅相差一倍多(表4)。水分胁迫降低了群落的光能利用能力,并且随着胁迫时间的后移胁迫的影响增强。充足浇水后群落的LUE明显提高(图5),初期、盛期和后期分别为26.4%,64.7%和70.1%。群落光能利用效率主要受PAR的制约,但是他与光强的关系随发育时期不同而变化,在生长初期群落对中等光强的利用能力最高,其他时期都是随光强升高而降低,群落光能利用效率与光强的关系一般为双曲线型。随着生育

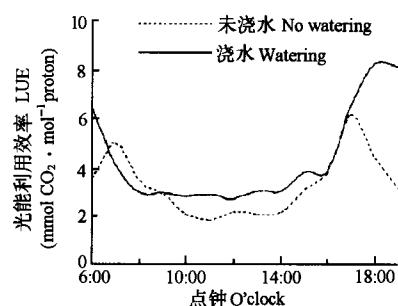


图5 浇水对群落光能利用效率的影响

Fig. 5 Effect of watering on light use efficiency (LUE) of *A. intramongolica* community

期的推进对低光强的利用效率的提高幅度最大,对中等光强的利用变化最小。

### 3 讨论

光合作用是植物的重要生理功能,他们与各个环境因子的关系是植物长期适应生存环境的结果。半干旱草原地区具有光照充足,年降水量较少而且集中,生长期始末气温下降迅速,但是生长旺季近地面气温和地温较高等特点,沙地更为明显。在试验中看到沙蒿植株叶片各时期单叶光合速率与PAR的关系最为密切,土壤水分条件较好时光合速率不出现明显的午间下降,表明沙蒿对本地区的强光环境有良好的适应能力。在降水量集中的6~9月,空气湿度较大,虽然一天内也有波动,但是对光合作用没有显著影响。而在气候干爽的5月,白天空气湿度显著降低,明显影响了叶片的光合作用。本地区正常年份里空气湿度往往出现午间低谷(戚秋慧等,1997),沙地上的情况应该更加严重,这将影响沙蒿对午间强光的利用。另一方面,由于降水主要集中在植物的生长旺季,因此会缓解空气湿度的降低幅度,从而减

表4 沙蒿群落各时期光能利用效率的比较

Table 4 Comparison of light use efficiency in *Artemisia intramongolica* communities at different stages

| 月份<br>Month | 日净光合量<br>Daily net photosynthesis<br>(mol CO <sub>2</sub> · m <sup>-2</sup> ) |                  | 日累积PAR<br>Daily total<br>(mol · m <sup>-2</sup> ) | 光能利用效率<br>Light use efficiency<br>(mmol CO <sub>2</sub> · mol <sup>-1</sup> proton) |                    |                  |                    |                  |                   |                   |                    |  |
|-------------|---|------------------|---|---|--------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--|
|             |   |                  |   | PAR<br>(mol · m <sup>-2</sup> )   | 地面积<br>Ground area |                  | 叶面积<br>Leaf area   |                  | 300 <sup>1)</sup> | 800 <sup>2)</sup> | 1500 <sup>3)</sup> |  |
|             | 地面积<br>Ground area  | 叶面积<br>Leaf area |   |   | 地面积<br>Ground area | 叶面积<br>Leaf area | 地面积<br>Ground area | 叶面积<br>Leaf area |                   |                   |                    |  |
| 5           | 0.131   | 0.501            | 46.86   | 2.8   | 11                 | 3.5              | 5.2                | 2.5              |                   |                   |                    |  |
| 6           | 0.227   | 0.429            | 22.18   | 10  | 19                 | 14               | 13                 | 7.0              |                   |                   |                    |  |
| 7           | 0.808   | 0.911            | 47.15   | 17  | 20                 | 21               | 17                 | 12               |                   |                   |                    |  |
| 8           | 0.445   | 0.464            | 25.36   | 13  | 14                 | 19               | 14                 | 12               |                   |                   |                    |  |
| 浇水 Watering |   |                  |   |   |                    |                  |                    |                  |                   |                   |                    |  |
| 5           | 0.203   | 0.785            | 57.70   | 3.5   | 14                 | 6.1              | 4.1                | 3.0              |                   |                   |                    |  |
| 6           | 0.736   | 1.404            | 43.66   | 17  | 32                 | 21               | 20                 | 13               |                   |                   |                    |  |
| 8           | 0.582   | 0.607            | 33.00   | 23  | 24                 | 24               | 21                 | 19               |                   |                   |                    |  |

1), 2), 3): 见表2 See Table 2 PAR: 见图1 See Fig. 1

少光合作用的午休程度。

试验中没有发现高温抑制光合作用的现象,反而看到5月充足供水后单叶和群落的光合速率与气温对数相关。这些结果表明沙蒿适应沙地生境,具有忍耐较高气温的能力;土壤水分充足时对气温的适应范围扩大。在降水正常的年份,土壤干旱和气温的交互作用对沙蒿的光能利用会有较大的影响。大气CO<sub>2</sub>浓度在白天有逐渐降低的趋势,但是下降幅度有限,对光合速率变化的贡献率较低(约4%)。

沙蒿单叶的光合速率和光能利用效率明显高于本地区的其他C<sub>3</sub>植物,而和C<sub>4</sub>植物木地肤相当(杜占池等,1988,1997),因此群落的日光合量与叶面积系数的变化基本一致。虽然在生长后期光合能力有所下降,但是仍然比其他C<sub>3</sub>植物高,这对于沙蒿种子的成熟可能有重要的作用。沙蒿的光合作用对土壤水分条件十分敏感,虽然在土壤干旱时光合速率还是比较高,但是水分条件改善极大地促进了叶片的光合作用。

沙蒿的蒸腾速率明显高于其他植物,而水分利用效率则显著较低。土壤湿润大大促进了光合和蒸腾作用,但是明显降低了植物的水分利用效率,这说明沙蒿的高光能利用效率是在牺牲水分利用效率的情况下获得的。沙蒿的高光能利用效率和低水分利用效率的特点有利于他在干旱半干旱地区的沙地环境下竞争生存。因为即使土壤严重干旱,沙蒿仍然能够维持一定的光合速率,一旦水分充足光合速率就迅速升高,从而累积较多的干物质。另一方面,沙蒿强烈的蒸腾作用会很快耗尽土壤表层的有效水分,但是沙地下层土壤一般含水量较高(刘新民等,1996),沙蒿根系较深,能够利用深层土壤的水分,这样就能够与其他浅根系的植物(如羊草(*Aneurolepidium chinense*)等)竞争中争取到更多的限制性资源——水分。同时沙蒿的高耗水量和半干旱地区沙地的低含水量决定了他不可能形成较大的盖度(董学军等,1997)。因此该地区的半固定沙地上往往形成沙蒿占明显优势但总盖度不大的群落类型。但是从试验看到沙蒿群落生长初期发育迟缓,其叶面积指数和生物量在5月下旬大大低于羊草群落和大针茅群落,在降水量更多的地区或土壤水分更好的地

点,沙蒿会受羊草等其他植物的遮荫而得不到充足的光照,在竞争中处于劣势,因此在更湿润的地带,群落中沙蒿的优势度会逐渐降低(肖向明,1989)。

## 参 考 文 献

- Dong, X. J., X. S. Zhang & B. Z. Yang. 1997. A preliminary study on the water balance for some sandland shrubs based on transpiration measurements in field conditions. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 21: 208~225.
- Du, Z. C. (杜占池) & Z. G. Yang (杨宗贵). 1988. The relationships between photosynthetic rate and the illumination in ten plants of steppe. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 8: 319~323. (in Chinese)
- Du, Z. C. (杜占池) & Z. G. Yang (杨宗贵). 1997. Dynamic characteristics on the relationships between net photosynthetic rate and light intensity in shoots of *Melissitus ruthenica*, *Artemisia frigida* and *Kochia prostrata*. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 5: 161~167. (in Chinese)
- Li, B. (李博), S. P. Yong (雍世鹏) & Z. H. Li (李忠厚). 1988. The vegetation of the Xilin River Basin and its utilization. Research on Grassland Ecosystem (草原生态系统研究), 181~225. (in Chinese)
- Li, Y. H. (李永宏) & Z. Z. Chen (陈佐忠). 1995. Degradation and restoration of temperate grassland ecosystem in China. In: Chen, L. Z. (陈灵芝) & W. L. Chen (陈伟烈) eds. Research on degraded ecosystems in China. Beijing: Chinese Science and Technology Press. (in Chinese)
- Liu, X. M. (刘新民), H. L. Zhao (赵哈林) & A. F. Zhao (赵爱芬). 1996. Wind-sandy environment and vegetation in the Horqin Sandy Land. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Qi, Q. H. (戚秋慧), X. W. Sheng (盛修武) & C. J. Yin (尹承军). 1997. Modelling relationships between photosynthetic rate and environmental factors in different growing periods in *Leymus chinensis* community. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 17: 170~175. (in Chinese)
- Sheng, X. W. (盛修武), Q. H. Qi (戚秋慧) & W. D. Xia (夏文德). 1985. Design and test report on a large assimilation chamber for measuring community photosynthetic rate. Research on Grassland Ecosystem (草原生态系统研究), 93~101. (in Chinese)
- Xiao, X. M. (肖向明). 1989. Distribution and succession of vegetation in the sandy zone of the Baiyinxile Livestock Farm, Xilinguole League. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学报), 13: 309~316. (in Chinese)