

## 地毯草的光合特性研究

蹇洪英, 邹寿青

(中国科学院西双版纳热带植物园, 云南勐腊 666303)

**摘要:** 地毯草是一种典型的暖季型草坪草。用 Li-6400 便携式光合分析仪测定地毯草的光合特性。地毯草的光合日进程呈单峰型, 无“午休”现象且受非气孔限制, 最大净光合速率出现在 14:00, 变化趋势与光合有效辐射(PAR)、气温(Ta)、蒸腾速率(Tr)等因子相同, 与空气相对湿度(RH)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(C<sub>i</sub>)等相反; 其光饱和点超过 2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 最大净光合速率达 22  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 暗呼吸速率为 1.34  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , CO<sub>2</sub> 补偿点为 0.97  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 光补偿点为 22.2  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 羧化效率为 0.253 9  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 表观光量子效率高达 0.059 2  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; 表明地毯草是一种具有较强耐荫性的 C<sub>4</sub> 型阳性的暖季型草坪草, 除了在园林中可以广泛用作草坪地被外还可以在—些较荫湿的特殊地带作为绿化和防护之用。

**关键词:** 地毯草; 暖季型草坪草; 光合日进程; 光合特征; 表观光量子效率; 羧化效率

**中图分类号:** Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2003)02-0181-04

## The photosynthetic characteristics in leaves of carpet grass-*Axonopus compressus*

JIAN Hong-ying, ZOU Shou-qing

(Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, The Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China)

**Abstract:** Carpet grass-*Axonopus compressus* is a typical warm season turf. A field study on the photosynthetic characteristics in the leaves of carpet grass was made using a Li-6400 portable photosynthetic system. With a one-peak diurnal pattern the photosynthesis has no middle-day depression and belongs to the non-stomatal limitation type. Its pattern reaches peak value at about 14:00, and changes positively with the variations of photosynthetic active radiation, air temperature, transpiration rate, but negatively with those of relative humidity of air, internal CO<sub>2</sub> concentration. The light saturation point is above 2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , with the maximum net photosynthetic rate higher than 22  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , dark respiration rate at 1.34  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , CO<sub>2</sub> compensation point at 0.97  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , light compensation point at about 22.2  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , carboxylation efficiency at 0.253 9  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , and apparent quantum yield at 0.059 2  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ . These results indicate that carpet grass is a C<sub>4</sub> type, shade-tolerant and heliophylic warm season turf species and it can be widely used in gardening and some shady and humid places for virescence and protection.

**Key words:** *Axonopus compressus*; warm season turf; diurnal pattern of photosynthesis; photosynthetic characters; apparent quantum yield; carboxylation efficiency

地毯草 (*Axonopus compressus* (Swartz) Beauv.) 又名大叶油草, 禾本科地毯草属, 原产南美洲巴西和墨西哥, 现已引种到广大的热带和亚热带

国家和地区。我国的华南和云南南部有广泛的分布, 是优良的固土护坡植物, 由于其低矮、弹性好、繁殖容易、蔓延快且成坪性好, 也是一种优良的暖季型

收稿日期: 2001-12-18; 修订日期: 2002-04-12

作者简介: 蹇洪英(1976-), 女, 重庆长寿县人, 硕士生, 研究方向为园林生态。

草坪草<sup>(1,2)</sup>。关于地毯草的分布、坪用特性、对土壤、水肥和温度等生态因子的需求及化学和繁殖特性等已有一些简单的报导<sup>(3)</sup>,但还未见到有关其光合作用的研究。本实验旨在通过对地毯草的光合日进程及基本光合特征的研究,为地毯草在园林布置上的应用提供理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与实验地点

用 Li-6400 便携式光合分析仪(Li-cor, Lincoln Nebraska, USA)对中国科学院西双版纳热带植物园棕榈区铺植已 10 年的地毯草的连体叶片进行测定。实验地点的草坪生长良好,无遮荫。

### 1.2 实验方法

2001 年 11 月 27 日(晴)选中等大小、叶色正常的 5 片叶子测定其光合日进程。从 8:00 到 18:00 每隔 2 小时测一次,每次由系统对每片叶子分别记录 20 组净光合速率(Pn)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、气孔导度(Gs)、空气 CO<sub>2</sub> 浓度(Ca)、叶室内的光合有效辐射(PAR)、气温(Ta)等相关参数的值。

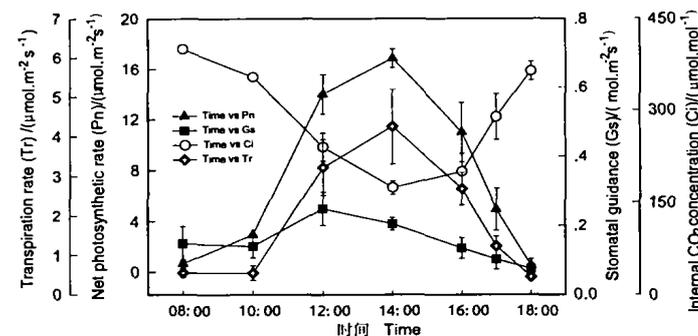


图 1 地毯草的叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率的日变化

Fig. 1 Diurnal patterns of net photosynthetic rate (Pn), stomatal guidance (Gs), internal CO<sub>2</sub> concentration (Ci) and transpiration rate (Tr) in leaves of *A. compressus* (n=5)

2001 年 11 月 28 日(晴)选 3 片叶子(标准如前)测光响应曲线。用系统的人工光源,空气 CO<sub>2</sub> 浓度为 370±10 μmol.mol<sup>-1</sup>,气温为(23±1)℃,待叶室内湿度稳定在 65%±5%范围内,由系统自动记录不同光强所对应的净光合速率,每片叶子每种光强记录 20 次。

羧化效率的测定于 2001 年 11 月 29 日(晴)对 3 片叶子(标准如前)进行,人工光源设为 2 000 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>,温度为(30±1)℃,当叶室内湿度稳定在 60%±5%时由系统自动记录不同的 CO<sub>2</sub> 浓度所对应的净光合速率,每片叶子每种 CO<sub>2</sub> 浓度记录 20 次。

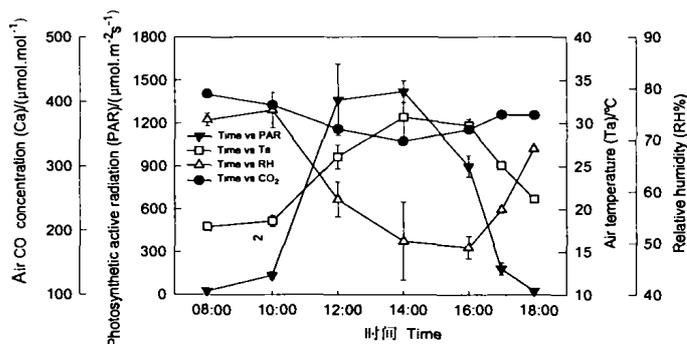


图 2 光合有效辐射、气温、空气湿度和大气 CO<sub>2</sub> 浓度的日变化

Fig. 2 Diurnal changes of photosynthetic active radiation (PAR), air temperature (Ta), relative humidity (RH) and air CO<sub>2</sub> concentration (Ca) (n=5)

### 1.3 数据的分析和处理

用 Sigmaplot 统计软件对光合日进程每片叶子每时段的数据取平均值,用 5 片叶子的平均值作为每次测量的结果,并求标准差,作净光合速率及相关因子的日进程图;光响应曲线用 Sigmoidal 方程(Y = Y<sub>0</sub> + a/(1 + exp(-(x-x<sub>0</sub>)/b)))来拟合;表观光量子效率(AQY)用 PAR 在 0~150 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>的起始斜率来表示;羧化效率则用低胞间 CO<sub>2</sub> 浓度所对应的 Pn-Ci 曲线的直线部分的斜率来表示;其它光合特征用相关曲线的特征值表示。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 地毯草的光合作用的日进程

地毯草的净光合速率没有“午休”现象,其曲线呈“单峰型”,在 14:00 达到全天的最高值;净光合速率在一天中的变化趋势与光合有效辐射、气温和蒸腾速率的变化一致,而与空气相对湿度、大气 CO<sub>2</sub> 浓度以及叶片的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的日进程相反(图 1,图 2)。由于气候的影响(11 月下旬已为西双版纳的雾凉季),8:00~10:00 之间光合有效辐射和气温都比较低,前者在 100 μmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> 以下,后者不超

过 18 °C;空气相对湿度 RH 却在 75% 以上,大气 CO<sub>2</sub> 浓度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度都为全天最高值,蒸腾速率和气孔导度很低,净光合速率从 8:00 的 0.4 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 左右上升到 10:00 的 2.2 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 左右。10:00~14:00,光合有效辐射、气温都上升到全天最高值,PAR 为 1 500 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 左右,Ta 则高达 31 °C;空气相对湿度、大气 CO<sub>2</sub> 浓度以及胞间 CO<sub>2</sub> 浓度都降到了全天的最低值,分别为 50%、200 μmol·mol<sup>-1</sup> 和 180 μmol·mol<sup>-1</sup> 左右,此时地毯草的蒸腾速率达到 4 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,净光合速率则上升到全天的最高值,约为 17.5 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>。此后到 18:00,随着光合有效辐射、气温、蒸腾速率以及气孔导度的下降,净光合速率也持续下降,其它因子如

空气相对湿度、大气 CO<sub>2</sub> 浓度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度都逐渐回升到比 8:00 略低的状态。

从图 1 还可以看出,地毯草的气孔导度在 12:00 左右达到全天最高值,此时气孔已完全开放,但净光合速率并未到最大;到 14:00 时,由于光强和气温的持续增大,空气湿度降低到最小,气孔导度已有所下降,气孔可能已部分关闭,但净光合速率却到最大,同时净光合速率与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的变化趋势完全相反,Ci 在这时最低,说明地毯草叶肉细胞的光合活性增强并超过了气孔部分关闭的影响。由植物光合作用气孔限制与非气孔限制的判据<sup>[4]</sup>可知,它的光合作用在这段时间是受非气孔因素限制的。

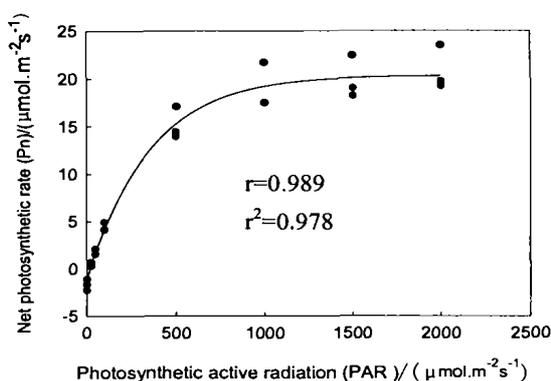


图 3 地毯草的光响应曲线

Fig. 3 Light responses in the leaves of *A. compressus* (n=3)

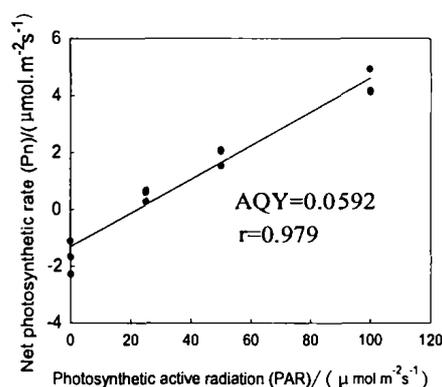


图 4 地毯草的表观光量子效率

Fig. 4 Apparent quantum yield (AQY) in the leaves of *A. compressus* (n=3)

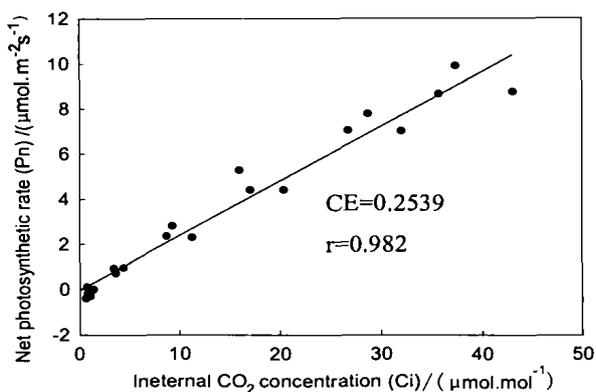


图 5 地毯草光合作用的羧化效率

Fig. 5 Carboxylation efficiency in the leaves of *A. Compressus* (n=3)

## 2.2 地毯草光合作用的光响应曲线

由地毯草的光响应曲线(图 3)可知,其光饱和点在给定的条件下比 2 000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 还高,在自然条件下不易达到;PAR 从 0 上升到 1 000 μmol·

m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 时,Pn 迅速上升,PAR 超过 1 000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 后,Pn 虽然还呈上升的趋势,但非常缓慢,最后维持在 22 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup> 以上;地毯草的暗呼吸速率 Rd 为 1.34 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>;这些说明地毯草具有典型阳性植物的特征<sup>[5]</sup>。

## 2.3 地毯草的光量子利用效率

植物对 CO<sub>2</sub> 同化的表观光量子效率(AQY, molCO<sub>2</sub>mol<sup>-1</sup>Photons)反映了植物对光能的利用情况。由图 4 可知,地毯草的表观光量子效率 AQY 为 0.059 2,略高于自然条件下一般植物的表观量子效率值(0.03~0.05)<sup>[6]</sup>。该值比典型的阳性耐荫植物薇甘菊(0.051 3)<sup>[7]</sup>及鹅掌楸幼苗(0.050 2)<sup>[5]</sup>还高;同时,Pn 为 0 时所对应的 PAR 即光补偿点 LCP 为 22.2 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,与鹅掌楸幼苗(16~20 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)差不多,但比薇甘菊(40 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)低得多,这些特征则表明地毯草有较强的适应弱光环境的能力,是一种耐荫植物。

## 2.4 地毯草光合作用的羧化效率

羧化效率反映了植物在给定条件下对 CO<sub>2</sub> 的同化能力。根据光合作用 CO<sub>2</sub> 响应的数据,在空气 CO<sub>2</sub> 浓度较低的情况下,地毯草的碳同化效率与胞间 CO<sub>2</sub> 浓度呈显著的线性相关(图 5),直线的斜率即羧化效率 CE=0.253 9 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>,约为 C3 植物 *Asparagus* (0.036 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)<sup>[6]</sup> 和鹅掌楸幼苗 (0.02 mol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)<sup>[6]</sup> 的 10 倍左右;同时 Pn=0 时对应的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度即 CO<sub>2</sub> 补偿点 CCP 为 0.97 μmol·mol<sup>-1</sup>,比普通 C3 植物低得多,在 C4 植物中

也是比较低的<sup>[9]</sup>,说明了地毯草是一种典型的 C4 植物。

## 3 结论与建议

(1)由表 1 中地毯草的基本光合特征值和光合日进程可知,它是一种具有较强的适应弱光环境能力的喜阳性 C4 型植物,其光合作用无“午休”现象,受非气孔因素的限制,呈单峰型,在 14:00 左右达到全天最高值。

表 1 地毯草的基本光合特征值

Table 1 Fundamental photosynthetic characteristics in leaves of *A. compressus*

光饱和点 Light saturation point (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	最大净光合速率 Maximum net photosynthesis rate (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	暗呼吸 Dark respira- tion rate (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	光补偿点 Light compensa- tion point (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	表观光量子效率 Apparent quantum yield (mol·mol <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> 补偿点 CO <sub>2</sub> compensa- tion point (μmol·mol <sup>-1</sup> )	羧化效率 Carboxylation efficiency (mol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )
>2 000	22	1.34	22.2	0.059 2	0.97	0.253 9

(2)作为一种 C4 型喜阳的暖季型草坪草,地毯草不但具有较高的光合能力,比 C3 型的草坪草能吸收更多的 CO<sub>2</sub>,生长和成坪快,而且能忍受较强的光照和干旱的环境<sup>[9]</sup>,这对延长其在那些具有明显干热季的地区如西双版纳的绿期具有重要的意义。

(3)同时作为一种具有较强耐荫性的草坪草,只需粗放管理的地毯草除了在开阔的地带可以被广泛应用外,还适于在一些自然或半自然的复层景观中作为草坪地被;与其它强阳性的暖季型草坪草如狗牙根相比,它在热带亚热带的一些比较荫蔽的特殊地形和地带如疏林下、道路的两边的绿化和防护中可以有更广泛的应用。

致谢:云南大学生态研究所的苏文华副教授和中科院西双版纳热带植物园植物生理生态组的蔡志全助理研究员在本文的完成和野外工作中给予了大力的指导和帮助,在此深表感谢。

## 参考文献:

- [1] 孙吉雄. 草坪学[M]. 北京:中国农业出版社, 1995. 68-69.
- [2] 韩烈保, 杨 砬, 邓菊芬. 草坪草种及其品种[M].

北京:中国林业出版社, 1999. 179-180.

- [3] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 241-244.
- [4] Busey P. Progress and benefits to humanity from breeding warm season grasses for turf[A]. Slepier D A, Asay K H, Pedersen J F. Breeding forage and turf grass[C]. First Edition. Wisconsin: Crop Science Society of America, 1989. 49-70.
- [5] 郭志华, 张宏达, 李志安, 等. 鹅掌楸苗期光合特性研究[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 164-169.
- [6] 邱国雄. 植物光合作用的效率[A]. 余淑文. 植物生理学和分子生物学[C]. 北京:科学出版社, 1992. 236-243.
- [7] 温达志, 叶万辉, 冯惠玲, 等. 外来入侵杂草薇甘菊及其伴生种基本光合特性的比较[J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(2): 139-146.
- [8] Marty J Faville, Warwick B Silvester, William A Jermyn, et al. Characteristics of three *Asparagus culti- vars* differing in yield [J]. *Crop Science*, 1999, 39: 1 070-1 076.
- [9] 潘瑞炽, 董恩德. 植物生理学(第 3 版)[M]. 北京:高等教育出版社, 1995. 101-105.