

黑籽雀稗的光合生理特性研究

刘金祥, 陈伟云, 肖生鸿

(湛江师范学院热带草业科学研究所, 广东 湛江 524048)

摘要:利用 Li-6400 便携式光合分析仪测定黑籽雀稗的光合特性。结果表明,黑籽雀稗的光合日变化呈双峰型,有明显的“午休”现象。11:00 左右出现第 1 个峰值(P_n 为 $28.8 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$),15:00 左右出现第 2 个峰值(P_n 为 $21.59 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$),变化趋势与气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)等因子相同。黑籽雀稗叶片的光饱和点(LSP)为 $1700 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光补偿点(LCP) $20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表观光量子效率(AQY) $0.0739 \text{ mol}/\text{mol}$, CO_2 饱和点(CSP) $600.01 \mu\text{mol}/\text{mol}$, CO_2 补偿点(CCP) $21.89 \mu\text{mol}/\text{mol}$,羧化效率(CE) $0.0846 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

关键词:黑籽雀稗;光合特性;表观光量子效率;羧化效率

中图分类号:S543.01;Q945.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2009)06-0254-05

* 黑籽雀稗(*Paspalum atratum*)为多年生禾本科雀稗属牧草。该草适应性强、适口性好、草质优,有一定的耐寒性^[1],是中国热带、亚热带地区一种极有推广价值的牧草新品种^[2]。关于黑籽雀稗的开花习性^[1],盐分浓度和双氧水对种子萌发的影响^[3,4],组织培养和植株再生^[5],适口性分析^[6],雀稗属的牧草品种比较试验^[7]以及营养价值分析^[8]等已有研究,但未见黑籽雀稗光合生理生态特性的报道。本试验旨在通过对黑籽雀稗的光合日变化及光合生理生态基本特征的研究,为黑籽雀稗推广应用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验在广东湛江师范学院草业试验基地进行,湛江($20^{\circ}17' \sim 21^{\circ}57' \text{ N}$, $109^{\circ}41' \sim 110^{\circ}58' \text{ E}$)位于我国大陆最南端,区内地势平缓,以玄武岩风化发育的砖红壤为主,年均降水量 $1417 \sim 1802 \text{ mm}$,呈双峰型,主峰出现在 9 月,年平均气温 23.2°C ,年积温 $8309 \sim 8519^{\circ}\text{C}$ ^[9]。全年日照大,湿度大,多年平均陆地蒸发量 $800 \sim 1000 \text{ mm}$,属热带海洋季风气候区。

1.2 试验材料

热研 11 号黑籽雀稗(*Paspalum atratum* cv. Reyan No. 11)来自中国热带农业科学院。2007 年 9 月种植,生长良好,无遮荫。测试时随机选取由上到下第 3 片完全伸展的完整叶片,每次重复 3 次。

1.3 测试内容及方法

在 2008 年 5 月,利用 Li-6400 便携式光合分析仪对黑籽雀稗的光合日变化、光响应曲线、 CO_2 响应曲线等主要生理指标进行测定,其中:10 日,天气晴朗,光合日变化从 7:00 到 18:00 每隔 1 h 测净光合速率(P_n , $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、胞间 CO_2 浓度(C_i , $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、气孔导度(G_s , $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、大气相对湿度(RH, %)、蒸腾速率(T_r , $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、叶室内的光合有效辐射(PAR, $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)、气温(T_a , $^{\circ}\text{C}$)等相关参数,当测量结果总变异率小于 0.1 时,读取数据,5 次重复。水分利用效率的计算公式: $WUE = P_n/T_r$ 。12 日测定光响应曲线时, CO_2 浓度控制为大气 CO_2 浓度,光照强度取值为 50, 0, 20, 50, 100, 200, 500, 800, 1100, 1400, 1700, 2000, 2300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。13 日测定 CO_2 响应曲线时,光合有效辐射控制为 $1200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, CO_2 浓度取值为 400, 300, 200, 100, 50, 0, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.4 数据统计分析

试验数据处理由 Excel 完成。对每片叶子每时段数据平均值作为每次的测量结果,各个光合特性由相关曲线的特征值来表示。表观量子效率由弱光条件下光响应曲线的斜率来表示,羧化效率则由低 CO_2 浓度下光合曲线的斜率来表示。

* 收稿日期:2008-09-16;改回日期:2009-04-27

作者简介:刘金祥(1964-),男,陕西凤翔人,教授,博士。E-mail:lightlong@163.com

2 结果与分析

2.1 黑籽雀稗光合作用日变化

2.1.1 净光合速率(Pn)和蒸腾速率(Tr)日变化 黑籽雀稗 Pn 日变化趋势呈双峰曲线变化,即黑籽雀稗 Pn 日变化有 2 个峰值,在双峰之间有一段较低的“午休”现象(图 1)。早晨 8:00 随着 PAR 强度的增加, Ta 升高, RH 降低, Pn 逐渐升高,在 12:00 左右达到最高峰,峰值为 $28.8 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;中午前后,随着 PAR 进一步增强、Ta 的升高和 RH 的不断降低,在 12:00—14:00 期间出现“午休”现象, Pn 逐渐降低至 $17.65 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;14:00 过后, Pn 又有所上升,在 15:00 左右形成第 2 个高峰,峰值为 $21.59 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,15:00 后继续降低直至为 0。上午的 Pn 最大值高于下午最大值,差值达 $7.21 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

Tr 的强弱是植物水分代谢的一个重要生理指标。一般地, Pn 越高, Tr 也越高,因为光合作用的生成需要水分以及通过水分运载的矿质营养成分的不断供应。黑籽雀稗 Tr 的日变化曲线(图 1)与 Pn 的日变化曲线基本上一致,呈双峰曲线,上午 12:00 和下午 15:00 出现高峰,峰值分别为 4.70 和 $2.01 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.1.2 水分利用效率(WUE)日变化 WUE 由植物的 Pn 和 Tr 两方面决定,即植物消耗单位重量的水所固定的营养物质。黑籽雀稗的 WUE 上午随 Pn 的升高而增强,9:00 时 WUE 为 $7.95 \text{ mmol}/\text{mmol}$,以后至 12:00 为 $6.13 \text{ mmol}/\text{mmol H}_2\text{O}$ 呈下降趋势,但在午后 14:00 和 15:00 因 Pn 的回升, WUE 上升至 8.78 和 $8.74 \text{ mmol}/\text{mmol H}_2\text{O}$,之后因为 Pn 下降的速度快于 Tr 下降的速度,导致 WUE 快速下降,17:00 其值为 $4.48 \text{ mmol}/\text{mmol H}_2\text{O}$ 。1 天中平均水分利用率为 $7.715 \text{ mmol}/\text{mmol H}_2\text{O}$ (图 2)。

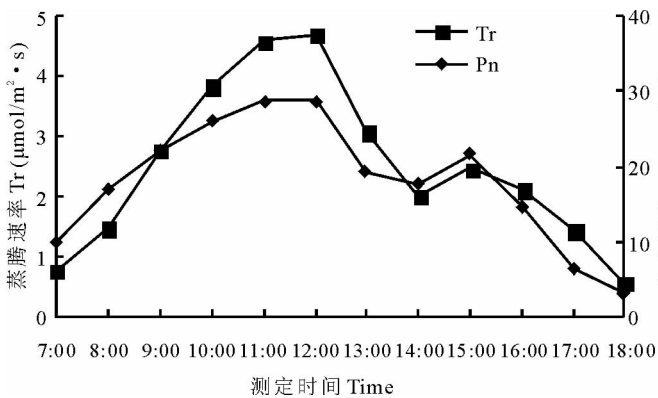


图 1 黑籽雀稗叶片净光合速率和蒸腾速率的日变化
Fig. 1 Diurnal Pn and Tr of the leaves of *P. atratum*

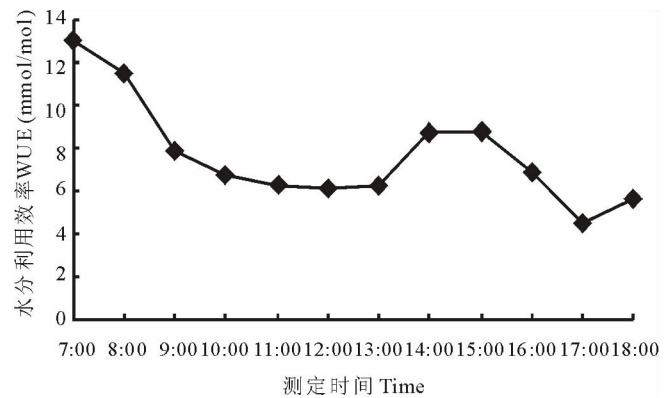


图 2 水分利用效率日变化
Fig. 2 Diurnal variation of water use efficiency (WUE)

2.1.3 气孔导度(Gs)日变化 黑籽雀稗叶片的 Gs 日变化在 11:00 达到其最高值 $0.145 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,在 14:00 下降到最低值 $0.08 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,15:00 小幅度上扬至 $0.106 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,之后呈快速下降趋势(图 3)。从 6:00 到 11:00 PAR 迅速增强,空气 Ta 升高, RH 降低(图 4),Gs 与 Pn、Tr 有密切的关系。黑籽雀稗 Gs 日变化与 Pn 和 Tr 的变化趋势基本一致。这是因为植物能针对外界环境条件变异与植株自身状况,通过调节气孔的开闭程度,在保持植株正常生理活动前提下,达到最大 CO_2 固定量与最小水分散失量^[10]。黑籽雀稗对气孔的调节能力可能是其能耐干旱的生理适应机制之一。

2.2 黑籽雀稗光合作用的光响应曲线

2.2.1 光补偿点和光饱和点(LCP 和 LSP) 由黑籽雀稗的光响应曲线(图 5)可知,在 $800 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照强度以下,光强增加光合速率迅速升高;光照强度从 800 到 $1700 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,光强增加光合速率仍不断缓慢增加;从 1700 到 $2300 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光强增加光合速率不再增加,而趋于平稳,没有光抑制现象。黑籽雀稗叶片 LCP 为 $20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,与地毯草(*Axonopus compressus*)($22.2 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)^[11]、藜(*Chenopodium album*)($22.5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)^[12] 相比,黑籽雀稗比它们耐荫;黑籽雀稗叶片 LSP 为 $2000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,最大 Pn 达 $16.68 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (图 5),这表明黑籽雀稗具有典型阳性植物光饱和点高的特征^[13]。

2.2.2 表观光量子效率(AQY) 植物对 CO_2 同化的表观光量子效率反映了植物对光能的利用情况^[22]。在弱光条件下,光强是控制光合的主要因素,此时光强-光合曲线的斜率即为表观量子效率。曲线的斜率大,表明植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体可能较多,利用弱光的能力强^[14]。黑籽雀稗的 AQY 为 0.073 9(图 6),略高于自然条件下一般植物的表观光量子效率范围(0.03~0.05)^[14],比典型的阳性耐荫植物地毯草(0.059 2 mol/mol)^[11]、薇甘菊(*Mikania micrantha*)(0.051 3 mol/mol)^[15]、及狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)(0.057 4 mol/mol)^[16,23]还高,说明黑籽雀稗在较弱的光照环境下能利用光能,具有较强的弱光适应能力。

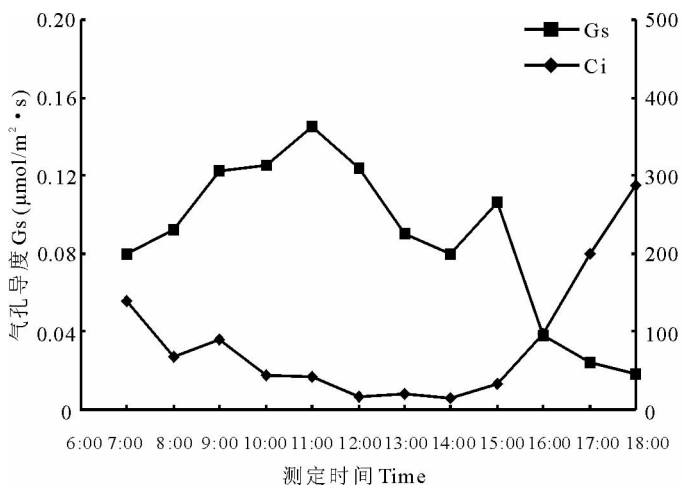


图 3 黑籽雀稗叶片胞间 CO_2 浓度和气孔导度的日变化

Fig. 3 Diurnal Ci and Gs of the leaves of *P. atratum*

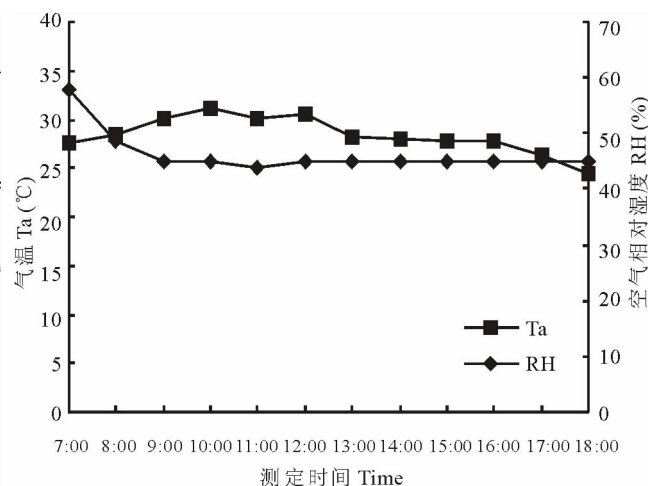


图 4 测定期间气温、空气湿度的日变化

Fig. 4 Diurnal Ta and RH of during measurement period

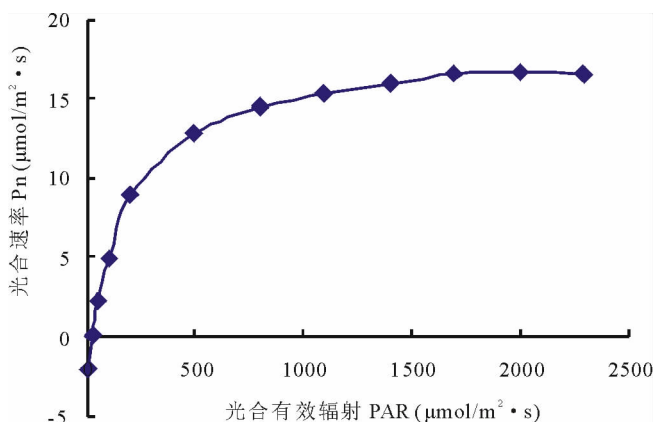


图 5 黑籽雀稗的光响应曲线

Fig. 5 Light responses of the leaves of *P. atratum*

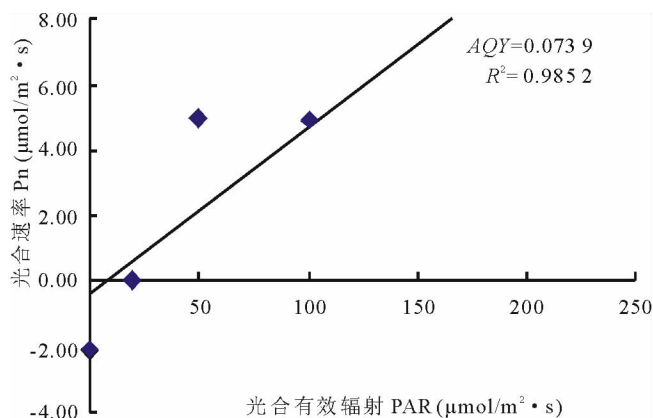


图 6 黑籽雀稗的表观光量子速率

Fig. 6 Apparent quantum yield of the leaves of *P. atratum*

2.3 黑籽雀稗 CO_2 响应曲线

2.3.1 CO_2 补偿点和 CO_2 饱和点(CCP 和 CSP) 由黑籽雀稗光合作用的 CO_2 响应曲线(图 7)可知,当 CO_2 浓度低于 $21.89 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 时, Pn 为负值;当 CO_2 浓度在 $200 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 以下时, Pn 随浓度增加而剧增; CO_2 浓度为 $200\sim600 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 时 Pn 随浓度升高而缓慢上升; CO_2 浓度在 $600.01 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 以上时, Pn 不再增加,甚至下降。因此,黑籽雀稗的 CSP 为 $600.01 \mu\text{mol}/\text{mol}$, CCP 为 $21.89 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

2.3.2 羧化效率(CE) CE 反映了植物在给定条件下对 CO_2 的同化能力,CE 值大,则表示在较低的 CO_2 浓度下有较高的光合速率。根据光合作用 CO_2 响应的数据曲线(图 8),在空气 CO_2 浓度较低时($0\sim300 \mu\text{mol}/\text{mol}$),黑籽雀稗的碳同化效率与 Ci 呈显著的线性相关,直线的斜率即 CE 为 $0.084 6 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,比 C_4 植物地毯草

($0.2539 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)^[11], 狼尾草($0.2349 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)^[16,23]等都要低,说明黑籽雀稗的 CO_2 同化能力不及地毯草和狼尾草。

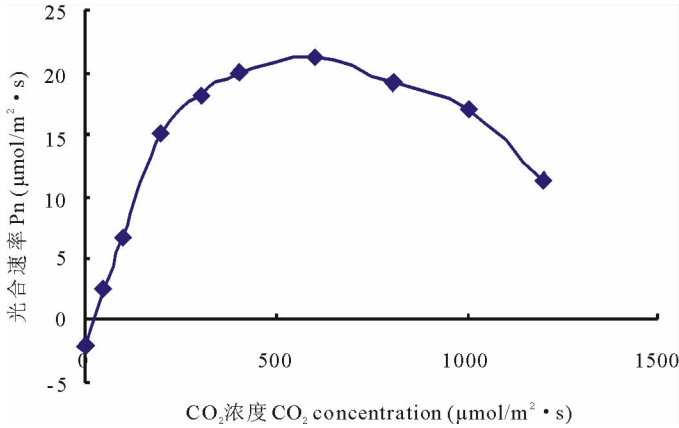


图 7 黑籽雀稗的 CO_2 响应曲线

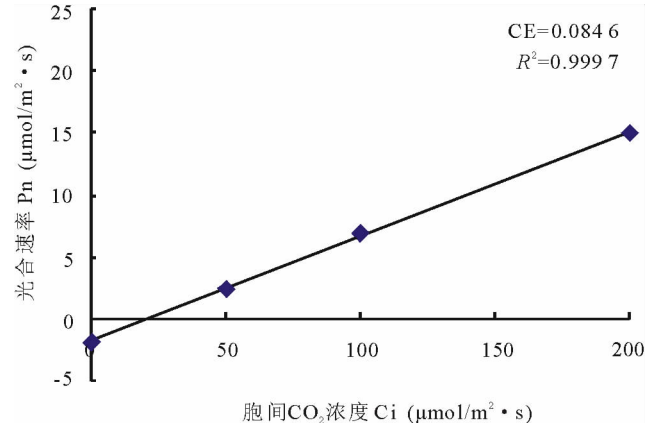


图 8 黑籽雀稗的羧化效率

Fig. 7 Apparent quantum yield (AQY) of the leaves of *P. atratum* Fig. 8 Carboxylation efficiency of the leaves of *P. atratum*

3 讨论

黑籽雀稗叶片 P_n 日变化呈双峰型,上午的峰值要高于下午,究竟是生态因子还是生理因子或是生化因子引起黑籽雀稗光合午休现象还需进一步的试验来研究。一般认为,午间强光引起 P_n 下降,产生光抑制^[17],午间 T_a 升高,空气 RH 下降,使气孔导度降低或造成叶片局部水分胁迫^[19,24];或由于蒸腾强烈,造成气孔开度变小^[20,21],致使黑籽雀稗叶片 P_n 日变化呈双峰型。

黑籽雀稗叶片 LSP 为 $2000 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表明该牧草具有典型阳性植物的特征^[13,18]。这也是黑籽雀稗适于在低纬度热带和亚热带一些光照充足地带生长良好的原因之一。黑籽雀稗的 AQY 为 0.0739 ,略高于自然条件下一般植物的表观光量子效率范围($0.03 \sim 0.05$)^[14],再次证明黑籽雀稗具有较强的弱光适应能力。

黑籽雀稗 CE 为 $0.0846 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,比地毯草($0.2539 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)^[11],狼尾草($0.2349 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)^[16,23]等都要低,表明黑籽雀稗的 CO_2 同化能力不及地毯草和狼尾草。

参考文献:

- [1] 王文强. 热研 11 号黑籽雀稗开花生物学特性[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 495-497.
- [2] 刘国道. 热带牧草及草坪草优良品种简介[Z]. 海南: 中国热带农业科学院热带牧草研究中心, 2002. 2-3.
- [3] 郇树乾, 刘国道, 杨厚方, 等. 盐分浓度对 7 种热带牧草种子萌发的影响[J]. 热带农业科学, 2004, 24(3): 24-27.
- [4] 侯海军, 胡新文, 符少萍, 等. 双氧水对热研 11 号黑籽雀稗种子萌发的影响[J]. 热带农业科学, 2005, 25(4): 24-25.
- [5] 侯海军, 胡新文, 段瑞军, 等. 黑籽雀稗品种“热研 11 号”的组织培养与植株再生[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(3): 483.
- [6] 王东劲, 侯冠或, 于向春, 等. 舍饲情况下热带优良牧草品种的适口性分析[J]. 草原与牧草, 2005, 25(5): 34-35.
- [7] 程金凤, 刘国道, 白昌军. 9 种雀稗属牧草品种比较试验[J]. 热带农业科学, 2004, 24(2): 9-12.
- [8] 周汉林, 李琼, 唐军, 等. 海南不同地区几种热带牧草的营养价值评定[J]. 草业科学, 2006, 23(9): 41-44.
- [9] 刘金祥, 邝宴筹, 肖生鸿. 模拟酸雨对种子繁殖香根草生理特性的影响[J]. 草业学报, 2005, 14(5): 54-58.
- [10] 林保花, 刘金祥, 肖生鸿, 等. 粤西乡土香根草光合生理生态特征日动态分析[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2041-2045.
- [11] 蹇红英, 邹寿青. 地毯草的光合特性研究[J]. 广西植物, 2003, 23(2): 181-184.
- [12] 孙存华, 李扬, 贺鸿雁, 等. 藜的光合特性研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(2): 416-419.
- [13] Larcher. 植物生理生态学[M]. 李博, 张陆德, 岳绍先, 等译. 北京: 科学出版社, 1980. 56-57, 63.
- [14] 潘瑞炽, 王小菁, 李娘辉. 植物生理学第五版[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 87-90.

- [15] 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.
- [16] 巨关升, 武菊英, 赵军锋, 等. 观赏狼尾草光合特性的研究[J]. 核农学报, 2005, 19(6): 451-455.
- [17] 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.
- [18] 冷平生, 杨晓红, 胡悦, 等. 5种园林树木的光合和蒸腾特性的研究[J]. 北京农学院学报, 2000, 15(4): 13-18.
- [19] 殷立娟, 王萍. 中国东北草原植物中的 C-3 和 C-4 光合作用途径[J]. 生态学报, 1997, 17(2): 113-123.
- [20] 胡守林, 万素梅, 贾志宽, 等. 黄土高原半湿润区不同生长年限苜蓿叶片光合性能研究[J]. 草业学报, 2008, 17(5): 60-67.
- [21] 刘闯, 胡庭兴, 李强, 等. 巨桉林草间作模式中牧草光合生理生态适应性研究[J]. 草业学报, 2008, 17(1): 58-65.
- [22] 杨志民, 陈煜, 韩烈保, 等. 不同光照强度对高羊茅形态和生理指标的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(6): 23-29.
- [23] Virginie B, Lejeune-Hénaut I. Cold acclimation of winter and spring peas; carbon partitioning as affected by light intensity[J]. European Journal of Agriculture, 2003, 19: 535-548.
- [24] Li M. Leaf photosynthetic nitrogen use efficiency of C-3 and C-4 Cyperus species[J]. Photosynthetica, 1993, 29(1): 117-130.

A study on the photosynthetic characteristics of *Paspalum atratum*

LIU Jin-xiang, CHEN Wei-yun, XIAO Sheng-hong

(Tropical Institute of Grassland Science, Zhanjiang Normal University, Zhanjiang 524048, China)

Abstract: *Paspalum atratum* is a perennial forage grass. This field study investigated the photosynthetic characteristics of *P. atratum*. Gas exchange was measured using a LI-6400 portable photosynthesis system on clear days in May. The photosynthesis showed a double-peak with a considerable noon inhibition, and belonged to the stomatal limitation type. The first peak appeared at about 11:30 a. m. when Pn reached 28.8 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ while the second peak appeared at about 15:00 when Pn was 21.59 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. The change was positively related to variations of Gs and Tr. The light saturation and compensation points, and apparent quantum yield of *P. atratum* were about 1700 and 20 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, and 0.0739 mol/mol, respectively. The CO₂ saturation and compensation points, carboxylation efficiency were 600.01 and 21.89 $\mu\text{mol}/\text{mol}$, and 0.0846 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, respectively.

Key words: *Paspalum atratum*; photosynthetic characteristics; apparent quantum yield; carboxylation efficiency