

网络出版时间:2014-10-16 14:54 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.102
网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.11.102.html

华北寒旱区金娃娃萱草的光合特性研究

周盛茂¹,张立峰^{1,2},王伟婧¹

(1 河北农业大学 农学院,河北 保定 071000;2 农业部张北农业资源与生态环境重点野外观测试验站,河北 张家口 076450)

【摘要】 **【目的】**探讨金娃娃萱草在华北寒旱区的生态适应性,为区域萱草栽培管理提供理论依据。**【方法】**采用 LI-6400XT 便携式光合测量系统和 pocket PEA 植物效率分析仪,于 07:00—19:00 每隔 1 h 测定 1 次金娃娃萱草叶片(新生第 3、4 片叶中部)的光合参数和叶绿素荧光参数,同时测定田间温度、光强和大气 CO₂ 浓度等环境因子,研究其光合特性。**【结果】**在夏季晴天条件下,华北寒旱区金娃娃萱草的净光合速率(P_n),蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)日变化曲线均呈双峰型,其中 P_n 峰值出现在 09:00 和 16:00,最大净光合速率为 14.47 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。金娃娃萱草的光响应曲线显示,其理论光合饱和点(LSP)为 2 425 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光合补偿点(LCP)为 37.455 4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表观量子效率为(AQY)0.040 4。晴天萱草叶片的可变荧光(F_v)、最大荧光(F_m)日变化呈单谷型,初始荧光(F_o)日变化呈单峰型,PSII 最大光化学效率(F_v/F_m)由 07:00 的 0.83 下降到 14:00 的 0.73,下降了 12.0%,19:00 恢复至 0.83。**【结论】**在晴天条件下,金娃娃萱草出现了光合“午休”现象,在午间发生了一定的光抑制;金娃娃萱草属于阳性植物,且耐阴,其对华北寒旱区光环境具有较好的生态适应性。

【关键词】 金娃娃萱草;光合特性;光饱和点;光补偿点;叶绿素荧光参数

【中图分类号】 S682.1⁺9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)11-0075-06

Photosynthetic characteristics of *Hemerocallis fulva* in cold and arid region of North China

ZHOU Sheng-mao¹,ZHANG Li-feng^{1,2},WANG Wei-jing¹

(1 College of Agronomy,Agricultural University of Hebei,Baoding,Hebei 071000,China;2 Zhangbei Agricultural Resource and Ecological Environment Key Field Research Station,Ministry of Agriculture,Zhangjiakou,Hebei 076450,China)

Abstract: **【Objective】** This study investigated the ecological adaptation of *Hemerocallis fulva* in cold and arid region of North China to provide theoretical basis for the management of its regional planting. **【Method】** Portable photosynthetic analyzer LI-6400TX and pocket PEA were used to measure the photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters of the leaves (the middle of the third and fourth new leaves) every hour between 07:00 and 19:00. Temperature,light intensity and CO₂ concentration were also measured to analyze the photosynthetic characteristics of *Hemerocallis fulva*. **【Result】** P_n , T_r and G_s all exhibited dual-peak diurnal variation curves in summer sunny days,and the peaks of P_n occurred at 09:00 and 16:00,respectively,with maximum net photosynthetic rate of 14.47 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. The light saturation point,light compensation point,and AQY were 2 425 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,37.454 4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,and 0.040 4,respectively. In sunny days, F_v and F_m had single-valley diurnal variations while F_o had single-peak diurnal variation. The maximum PSII photochemical efficiency (F_v/F_m) of *Hemerocallis fulva* de-

【收稿日期】 2013-08-09

【基金项目】 农业部公益性行业科研专项(201003053)

【作者简介】 周盛茂(1986—),男,河北邢台人,硕士,主要从事区域农业工程研究。E-mail:shengmao86@163.com

【通信作者】 张立峰(1961—),男,河北深州人,教授,博士生导师,主要从事农作制度和农业生态学研究。
E-mail:zlf@hebau.edu.cn

clined from 0.83 at 07:00 by 12.0% to 0.73 at 14:00, and it returned to 0.83 at 19:00. 【Conclusion】 In sunny days, *Hemerocallis fulva* occurred “noon break” phenomenon due to photo inhibition. The lighting environment of cold and arid region of North China is suitable for *Hemerocallis fulva*.

Key words: *Hemerocallis fulva*; photosynthetic characteristics; light saturation point; light compensation point; chlorophyll fluorescence parameters

金娃娃萱草(*Hemerocallis fulva* Stella deora)为百合科萱草属多年生草本植物,是从北美引进的大花萱草中唯一的多季开花品种。其株高约 30 cm, 蓬径 40~50 cm, 初夏开亮黄色花, 花径约 6 cm, 因此在市场上十分畅销, 适合布置各式花坛、马路隔离带、房前屋后和疏林草坡等; 亦可利用其矮生特性用于地被栽植, 观花观叶两相宜, 是优秀的园林绿地花卉。金娃娃萱草于 2008 年引入华北坝上寒旱区的张北试验站, 其在该地区于 5 月上旬出苗展叶, 7 月为其速生期, 花期自 6 月上旬至 9 月下旬可持续 3 个多月, 是本地区花期最长的地被植物之一, 表现出良好的抗旱和抗寒性^[1], 并有了初步的配套栽培技术^[2]。为探索金娃娃萱草在华北高寒环境下的生理特性和光照生态适应性, 本试验测定了金娃娃萱草的光合参数及其叶绿素荧光参数的日变化, 以期明确金娃娃萱草光合作用对区域生态环境的响应特征, 为深度揭示金娃娃萱草在华北寒旱区的生态适应性和栽培管理技术的创新提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地点为河北农业大学张北实验站, 地处华北寒旱区(41°09'N, 114°42'E, 海拔 1 420 m), 年日照时数为 2 907.9 h, 光合有效辐射为 2 896.8 MJ/m²^[3], $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 2 300~2 600 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温 1 700~1 970 $^{\circ}\text{C}$ ^[4], 最热月 7 月的平均气温 18~19 $^{\circ}\text{C}$, 最冷月 1 月平均气温为 -16~-19 $^{\circ}\text{C}$, 无霜期 107 d^[5], 年降水量 340~450 mm, 年蒸发量 1 710~1 980 mm, 干燥度 2.0~2.1, 湿润度 0.48~0.50^[6]。试验地土壤为砂质栗钙土, pH 值为 7.32。

1.2 试验设计

供试材料为金娃娃萱草, 2008 年引自华北平原的保定市安国市。金娃娃萱草采用常规田间管理栽培, 于 2012-07-15—16 晴朗无云的气象条件下, 选择植株大小和长势一致且无病虫害的盛花期萱草 3 株, 设为 3 个重复, 于每株上选定新生第 3、4 片叶片

的中部进行光合参数和叶绿素荧光参数的测定。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合日变化和光响应曲线的测定 于 07:00—19:00, 采用 LI-COR 公司的 LI-6400XT 便携式光合测量系统(开放气路法)每隔 1 h 测定 1 次叶片瞬时光合参数, 测定指标包括叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r), 同时记录环境中的大气 CO_2 浓度(C_a)、光强(PAR)和温度(T_a)。气孔限制值(L_s)用公式 $L_s = 1 - C_i/C_a$ 计算^[7]。于 09:00—11:00, 采用 LED 红、蓝光源测定梯度光照强度(光强梯度分别为 0, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 800, 1 200, 1 500 和 2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)下叶片的 P_n , 并通过分段拟合, 计算出光合饱和点(LSP)、光合补偿点(LCP)和表观量子效率(AQY)。测定前在自然光强(1 600 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)下进行光诱导。

1.3.2 叶绿素荧光参数日变化的测定 使用 Hansatech 公司的植物效率分析仪(pocket PEA)测定金娃娃萱草的叶绿素荧光参数, 测定时间及叶位与 1.3.1 节相同。叶片先暗适应 15 min, 再用 3 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的饱和光强诱导, 测定项目包括初始荧光(F_o)、可变荧光(F_v)、最大荧光(F_m)、PS II 光反应中心的潜在活性(F_v/F_o)及其最大光化学效率(F_v/F_m)。试验重复测定 3 次, 结果取平均值。

1.4 数据处理

试验数据使用 Excel 2003 进行处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 田间温度、光强和大气 CO_2 环境因子的变化

图 1、图 2 分别为监测期光强、温度及大气 CO_2 浓度的日变化曲线。从图 1 可知, 华北寒旱区 7 月中旬晴朗天气下的大气 CO_2 浓度(C_a)呈单谷型变化, 13:00 达到最低值, 10:00—18:00 的 C_a 为 375~377 $\mu\text{mol}/\text{mol}$; 从图 2 中可知, 光强呈单峰型变化, 12:00 达到最高峰; 温度日变化比较平缓, 在 13:00 达到峰值。

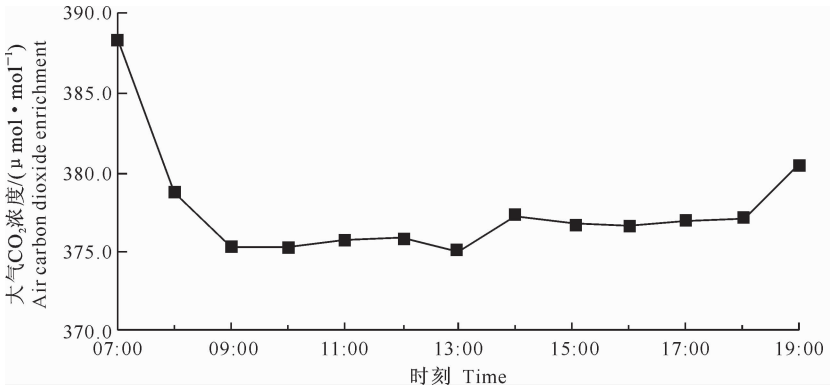


图 1 金娃娃萱草生长环境中大气 CO₂ 浓度(Ca)的日变化

Fig. 1 Diurnal changes of Ca in the growth environment of *H. fulva*

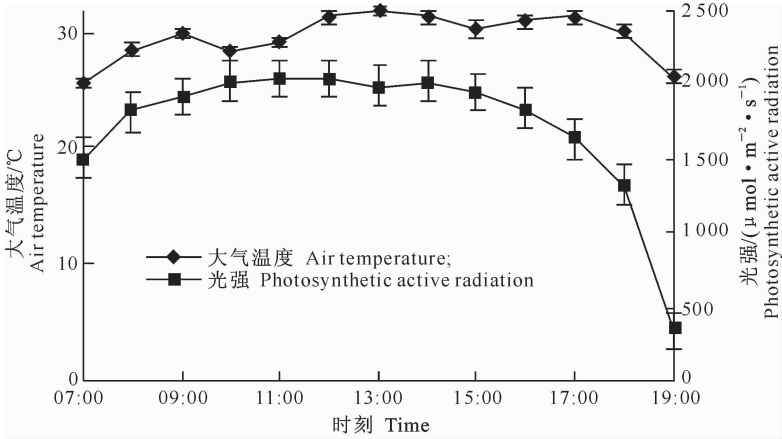


图 2 金娃娃萱草生长环境中大气温度和光强的日变化

Fig. 2 Diurnal changes of atmospheric temperature and photosynthetic active radiation in the growth environment of *H. fulva*

2.2 金娃娃萱草光合参数的日变化

2.2.1 *Pn*、*Tr* 和 *Gs* 的日变化 华北寒旱区金娃娃萱草叶片 *Pn*、*Tr* 和 *Gs* 的日变化曲线(图 3)均呈双峰型,三者自 07:00 开始上升,到 09:00 达到第 1 个峰值,此时 *Pn* 为 14.47 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, *Tr* 为 6.77 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, *Gs* 为 0.330 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;之后叶片 *Pn*、*Tr* 和 *Gs* 开始下降,14:00 时下降至

低谷,此时 *Pn* 为 8.57 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, *Tr* 为 4.16 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, *Gs* 为 0.096 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,出现光合“午休”现象。经历过“午休”之后,三者又开始上升,至 16:00 时出现第 2 个峰值,此时 *Pn* 为 10.17 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, *Tr* 为 5.17 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, *Gs* 为 0.120 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;17:00 之后,叶片的 *Pn*、*Tr* 与 *Gs* 开始显著下降。

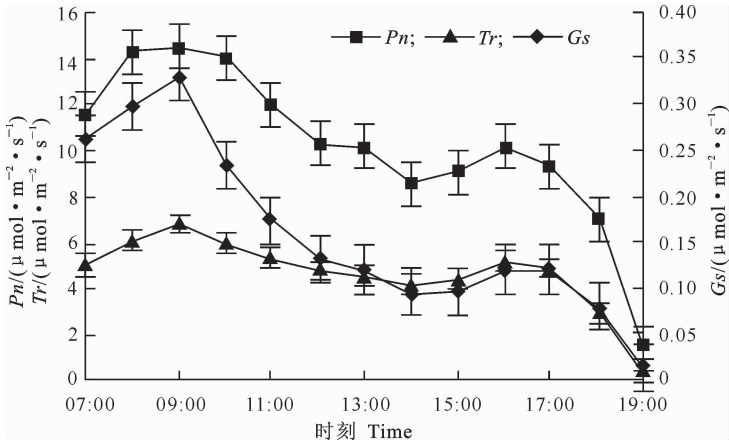


图 3 金娃娃萱草叶片 *Pn*、*Tr* 和 *Gs* 的日变化

Fig. 3 Diurnal changes of *Pn*, *Tr* and *Gs* of *H. fulva* leaves

2.2.2 *Ci* 和 *Ls* 的日变化 由图 4 可知,金娃娃萱草叶片的 *Ci* 全天呈单谷型变化,*Ls* 呈单峰型变化。结合图 3,09:00—15:00 光合“午休”时段,*Gs*、*Pn* 和 *Ci* 均降低。Farquhar 等^[8]认为,*Pn* 下降的原因有气孔限制和非气孔限制 2 方面因素,气孔限制表现为 *Gs* 下降阻止了 CO₂ 供应;非气孔限制则是叶肉细胞光合能力下降,使 *Ci* 升高。其判别依据为,当

Pn 和 *Gs* 下降时,若 *Ls* 增大、*Ci* 降低,则认为是气孔限制因素;若 *Ls* 减小、*Ci* 增大或不变,则认为是非气孔限制因素^[9]。由图 3 和图 4 可知,07:00—09:00 和 18:00—19:00 这 2 个时段 *Pn* 的变化受非气孔因素影响,而 09:00—17:00 光合“午休”期间的 *Pn* 下降受气孔因素影响。

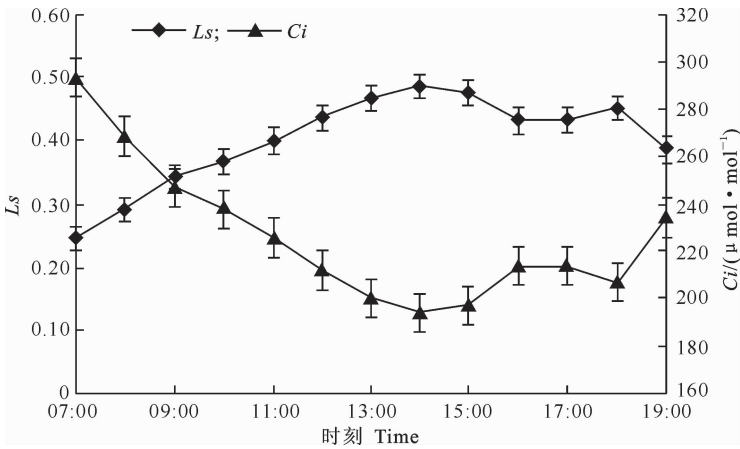


图 4 金娃娃萱草叶片 *Ci* 和 *Ls* 的日变化

Fig. 4 Diurnal variations of *Ci* and *Ls* of *H. fulva* leaves

2.2.3 光响应曲线的测定 采用光能利用率下降位点法^[10],得出金娃娃萱草的强、弱光区域分界点为 100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。图 5 为金娃娃萱草叶片在弱光区域内的光响应曲线,由图 5 可知,*Pn* 与 *PAR* 呈直线相关,此时 *LCP* 为 37.455 4 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表观量子效率(AQY)为 0.040 4。在强光区域内,金娃娃萱草叶片 *Pn* 随着 *PAR* 的增强呈非线性增长(图 6),运用分段函数^[10]拟合分析得出金娃娃萱

草理论上的 *LSP* 为 2 425 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,较华北寒旱区最大光合有效辐射量 2 038 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (图 2)高 19.0%。测定结果表明,金娃娃萱草的 *AQY* 与自然光照条件下植物的 *AQY* 0.03~0.06 相一致^[11],说明金娃娃萱草属于阳性植物,且对弱光环境有一定的适应能力。因此,金娃娃萱草对华北寒旱区高辐射生态环境的适应性较强。

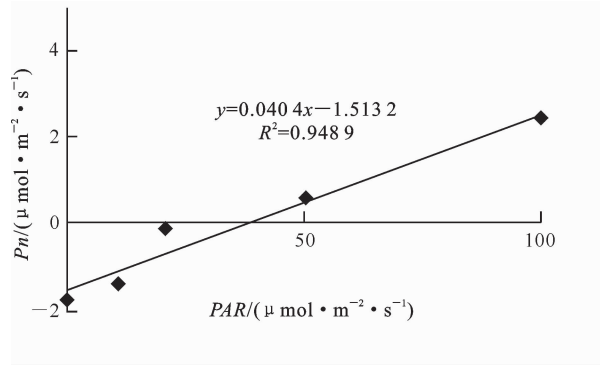


图 5 金娃娃萱草叶片在弱光下的光响应曲线

Fig. 5 Photosynthetic dynamic variation of low light of *Hemerocallis fulva* leaves

2.3 金娃娃萱草叶片叶绿素荧光参数的日变化

叶绿素荧光参数的日变化监测结果(图 7、8)表明,*Fv*、*Fm* 围绕 15:00 呈单谷型变化,*Fo* 围绕

14:00 呈单峰变化;*Fv*/*Fm* 为单谷型变化,在 07:00—14:00 随着光照强度的升高而降低,在 14:00—19:00 随光照强度的降低逐渐回升至 07:00

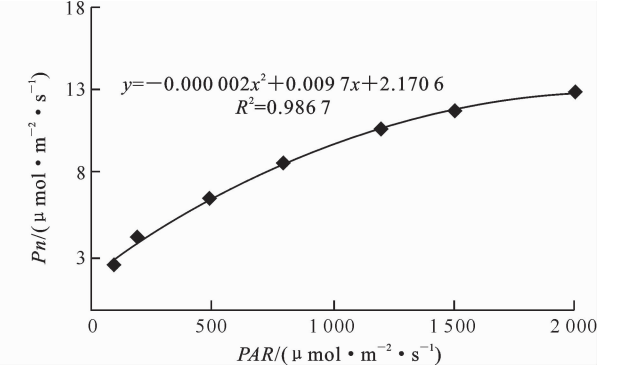


图 6 金娃娃萱草叶片在强光下的光响应曲线

Fig. 6 Photosynthetic dynamic variation of high light of *Hemerocallis fulva* leaves

的水平,最大值出现在 07:00,约为 0.83;最小值出现在 14:00,约为 0.73,较最大值下降了 12.0%; F_v/F_o 的变化曲线与 F_v/F_m 大致相同,最大值约为 4.89,最小值约为 2.65。推测金娃娃萱草叶片中

光系统反应中心在午间发生了可逆性失活,PS II 光化学效率下降,出现了光合作用的光抑制。这与午间 P_n 和 Tr 下降(图 3)相吻合。

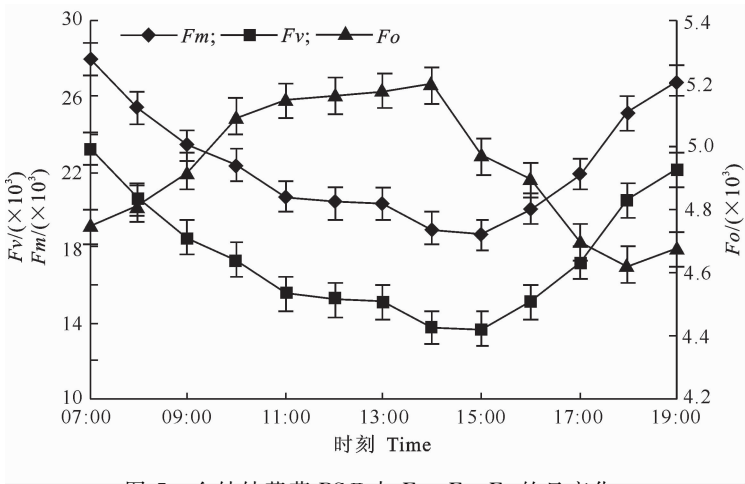


图 7 金娃娃萱草 PS II 中 F_m 、 F_v 、 F_o 的日变化
Fig. 7 Diurnal variation of F_m , F_v , and F_o in *H. fulva*

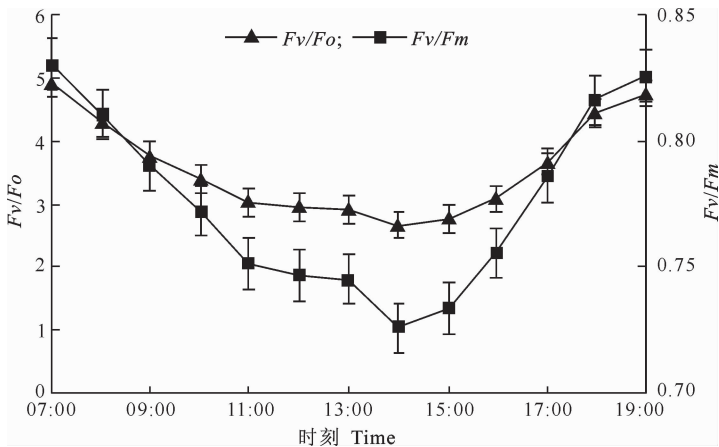


图 8 金娃娃萱草 PS II 中 F_v/F_m 、 F_v/F_o 的日变化
Fig. 8 Diurnal variation of F_v/F_m and F_v/F_o in *H. fulva*

3 讨 论

P_n 的日变化有单峰和双峰曲线 2 种类型^[7]。在本试验中金娃娃萱草光合日变化呈双峰曲线,发生了“午休”现象。光合“午休”与强光、高温、低湿和土壤干旱等环境条件引起的气孔部分关闭、光呼吸加强或光合作用光抑制等有关^[12]。光合“午休”对于干旱条件下植物的生存是有利的,然而对植物的生产却不利。“午休”现象严重时,植物的日光合生产力可降低 30%~50%,甚至更高^[13]。因此,减轻或避免光合“午休”现象,是挖掘植物生产潜力的一个重要方面。

AQY、LSP 和 LCP 等,都具有一定的物种遗传稳定性^[14],但生活在光强经常大幅度变化环境中的植物,经过长期进化可形成一系列的防御机制,以适应光强变化^[15]。在园林工程中,金娃娃萱草通常被认为具有较高的耐阴性,用作林下或背阴环境下的地被植物^[16]。本试验表明,金娃娃萱草的 LSP 理论上可达 2 425 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,高出本试验中最大光合有效辐射 19.0%,表现出典型的阳性植物的需光特性。因此,在华北寒旱区,金娃娃萱草具备充分利用全日照环境进行高效光合生产的能力,加之其对寒旱瘠薄地气候环境的优良生态适应性,可与乔灌木等配置形成错落有致的多层片园林结构^[1],也可以独立成境。

最大光能转化效率(F_v/F_m)反映了逆境因素

AQY、LSP 和 LCP 等,都具有一定的物种遗传

对叶片 PSⅡ 电子传递系统的影响特征。本试验结果表明,金娃娃萱草的 F_v/F_m 在午间出现低谷,说明强光环境影响了 PSⅡ 的活性及光合电子传递的正常进行。虽然 PAR 可能不是造成光合“午休”的直接因素,但它确是引起温度变化的主要因素^[17]。这表明华北寒旱区午间高光环境所导致的金娃娃萱草光系统功能的下调与失活是可逆的,这也可以看作是金娃娃萱草对强光或局域高温、干旱等逆境的一种积极性的适应机制^[18]。

4 结 论

晴天条件下,华北寒旱区金娃娃萱草的 P_n 、 Tr 和 G_s 日变化均呈双峰曲线,出现光合“午休”现象,且受气孔限制因素影响。光合响应曲线的拟合结果表明,金娃娃萱草的 LSP 为 $2\,425\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, LCP 为 $37.455\,4\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。金娃娃萱草属于阳性植物,对强光照的适应性较强,能够适应华北寒旱区的生态环境。晴天中午,金娃娃萱草 F_v/F_m 降低,与午间高光强下 P_n 、 Tr 和 G_s 下降相吻合,午间发生了光抑制现象。但在光胁迫解除后,其 F_o 、 F_v/F_m 和 F_v/F_o 均能恢复到初始状态,表明金娃娃萱草能耐受短时间的高光强。

[参考文献]

- [1] 张晓磊. 华北寒旱区地被植物的引种、评价及应用研究 [D]. 河北保定: 河北农业大学, 2010.
Zhang X L. Study on introduction and assessment and application of ground cover plants in Bashang Plateau in North China [D]. Baoding, Hebei: Agricultural University of Hebei, 2010. (in Chinese)
- [2] 刘志升, 储博彦, 尹新彦, 等. 大花萱草-金娃娃在张家口坝上地区的引种及栽培技术 [J]. 河北林业科技, 2012(4): 17-18.
Liu Z S, Chu B Y, Yin X Y, et al. The echnology of introduction and cultivatioof *Hemerocallis middendorffii*-Jin Wawa in Zhangjiakou [J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 2012(4): 17-18. (in Chinese)
- [3] 吴 凯, 于静洁. 首都圈典型沙区水资源的变化趋势及其利用 [J]. 地理科学进展, 2001, 20(3): 209-216.
Wu K, Yu J J. Changing tendencies and utilizations of water resources in the typical sand regions around Beijing [J]. Progress in Geography, 2001, 20(3): 209-216. (in Chinese)
- [4] 河北省农业区划办公室, 河北省气象局. 河北省农业气候及其区划 [M]. 北京: 气象出版社, 1988: 122.
Hebei Province Agricultural Zoning Office, Meteorological Bureau of Hebei Province. Agricultural climate and divisions of Hebei [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1988: 122. (in Chinese)
- [5] 霍习良, 刘树庆, 林恩勇, 等. 河北张北坝上波状高原岗梁地与滩地母质特性比较 [J]. 河北农业大学学报, 1995(S1): 61-64.
Huo X L, Liu S Q, Lin E Y, et al. The comparision of parant material between sloping field and shoaly land in bashing, the North Part of Hebei [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 1995(S1): 61-64. (in Chinese)
- [6] 王 岩, 张立峰, 刘玉华, 等. 地表覆被因子对华北寒旱区土壤抗风蚀力的影响 [J]. 水土保持学报, 2013(1): 67-72.
Wang Y, Zhang L F, Liu Y H, et al. Effect of farmland surface cover factors on the ability of soil Anti-erosion in cold and arid region of North China [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013(1): 67-72. (in Chinese)
- [7] 许大全. 光合作用效率 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 86-95.
Xu D Q. The efficiency of photosynthesis [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2002: 86-95. (in Chinese)
- [8] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982(33): 317-345.
- [9] 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.
Xu D Q. Some problems in the analysis of stomatal limitation of photosynthesis [J]. Plant Physiology Communications, 1997, 33(4): 241-244. (in Chinese)
- [10] 段爱国, 张建国. 光合作用光响应曲线模型选择及低光强属性界定 [J]. 林业科学研究, 2009(6): 17-23.
Duan A G, Zhang J G. Selection of models of photosynthesis in response to irradiance and definition of attribute of weak light [J]. Forest Research, 2009(6): 17-23. (in Chinese)
- [11] Bjorkman O, Demmig B. Photon yield of O_2 evolution and chlorophyll II fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins [J]. Planta, 1987, 170: 489-504.
- [12] 许大全. 光合作用的“午睡”现象 [J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(6): 466-467.
Xu D Q. Midday depression of photogythesis [J]. Plant Physiology Communications, 1997, 33(6): 466-467. (in Chinese)
- [13] 许大全. 光合作用“午休”现象的生态、生理与生化 [J]. 植物生理学通讯, 1990(6): 5-10.
Xu D Q. Ecology, physiology and biochemistry of midday depression of photogythesis [J]. Plant Physiology Communications, 1990(6): 5-10. (in Chinese)
- [14] 光学瑞. 室内垂吊植物耐荫性的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.
Guang X R. Study on shade tolerance of indoor hanging plants [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2004. (in Chinese)
- [15] 陈 悦. 植物光合机构的捕光调节 [D]. 上海: 中国科学院, 2007.
Chen Y. The regulation of light harvesting in the photosynthetic apparatus of plants [D]. Shanghai: The Chinese Academy of Sciences, 2007. (in Chinese)

[9] Carneiro J S,de la Bastide P Y,Chabot M,et al. Suppression of polygalacturonase gene expression in the phytopathogenic fungus *Ophiostoma novo-ulmi* by RNA interference [J]. Fungal Genetics and Biology,2010,47(5):399-405.

[10] Yamazaki Y,Tojo M,Hoshino T,et al. Characterization of *Trichoderma polysporum* from Spitsbergen, *Svalbard archipelago*,Norway,with species identity,pathogenicity to moss, and polygalacturonase activity [J]. Fungal Ecology, 2011, 4 (1):15-21.

[11] Okuno T,Oikawa S,Goro T,et al. Structures and phytotoxicity of metabolites from *Valsa ceratosperma* [J]. Agricultural and Biological Chemistry,1986,50(4):997-1001.

[12] 王晓敏,吴文龙,闫连飞,等. 分光光度计法测定果胶酶活力的方法研究 [J]. 食品工业科技,2007(5):227-229.
Wang X M,Wu W L,Lü L F,et al. Investigated pectinase activity analysis by spectrophotometry [J]. Science and Technology of Food Industry,2007(5): 227-229. (in Chinese)

[13] 韦洁玲,黄丽丽,郜佐鹏,等. 苹果树腐烂病室内快速评价方法的研究 [J]. 植物病理学,2010,40(1):14-20.
Wei J L,Huang L L,Gao Z P,et al Laboratory evaluation methods of apple *Valsa* canker disease caused by *Valsa ceratosperma sensu kobayashi* [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2010,40(1):14-20. (in Chinese)

[14] Maldonado M C,Saad M S,Danley C. Catabolite repression of the synthesis of inducible polygalacturonase and pectinesterase by *Aspergillus niger* sp [J]. Current Microbiology,1989, 18(5):303-306.

[15] Baract-pereira. Production of pectinlyase by *Penicillium griseoeseum* culture on sucrose and yeast extract for degumming of natural fibres [J]. Lett Appl Microbiol,1994,18(3):127-129.

(上接第 80 页)

[16] 温宇婧. 高寒区金娃娃萱草的分株繁殖方法及注意事项 [J]. 特种经济动植物,2009(7):18-19.
Wen Y J. Ramets propagation method and matters needing attention in the dolls *Hemerocallis fulva* [J]. Special Economic Animal and Plant,2009(7):18-19. (in Chinese)

[17] 汪 凯,叶 红,陈 峰,等. 中国东南部太阳辐射变化特征、影响因素及其对区域气候的影响 [J]. 生态环境学报,2010 (5):117-122.
Wang K,Ye H,Chen F,et al. Long-term change of solar radiation in southeastern China: Variation, factors, and climate forcing [J]. Ecology and Environmental Sciences,2010(5): 117-122. (in Chinese)

[18] 温国胜,田海涛,张明如,等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用 [J]. 应用生态学报,2006(10):205-209.
Wen G S,Tian H T,Zhang M R,et al. Application of chlorophyll fluorescence analysis in forest tree cultivation [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2006(10):205-209. (in Chinese)