

外来植物南美蟛蜞菊、裂叶牵牛和五爪金龙的光合特性

吴彦琼, 胡玉佳

(中山大学生命科学学院, 广州 510275)

摘要:对南美蟛蜞菊、裂叶牵牛和五爪金龙的光合生理特性进行研究,结果表明:(1) 3 种植物都具有较强的 CO₂ 固定能力,南美蟛蜞菊的净光合速率峰值达 22.1 μmol/(m² · s),高于裂叶牵牛(17.2 μmol/(m² · s))和五爪金龙(18.6 μmol/(m² · s));(2) 3 种植物光合速率、蒸腾速率的日进程曲线呈“双峰”型,气孔导度变化规律与蒸腾速率相似,在中午前后均出现一定程度的下降;(3) 暗呼吸速率曲线呈单峰型,在中午时出现高峰,暗呼吸速率大小次序为:五爪金龙>裂叶牵牛>南美蟛蜞菊。(4) 南美蟛蜞菊的光饱和点为 1531 μmol/(m² · s),光补偿点为 20.0 μmol/(m² · s),而裂叶牵牛的光饱和点 1146 μmol/(m² · s),光补偿点 39.3 μmol/(m² · s);五爪金龙的光饱和点 1261 μmol/(m² · s),光补偿点 44.1 μmol/(m² · s),3 种植物都表现为喜阳植物的特性,且对弱光条件的适应力也较强,其中尤以南美蟛蜞菊的有效光合辐射范围最广,光量子利用效率较高,具有很强忍耐强光及适应阴生环境的能力。该项研究有助于解释南美蟛蜞菊生长迅速、生产力高、竞争性强的生物学特点。

关键词:南美蟛蜞菊;净光合速率;蒸腾速率;光合速率-光响应曲线

Researches on photosynthetic characteristics of exotic plants *Wedelia trilobata*, *Pharbitis nil* and *Ipomoea cairica*

WU Yan-Qiong, HU Yu-Jia (School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2334~2339.

Abstract: The characteristics of photosynthetic physio-ecology of *Wedelia trilobata*, *Pharbitis nil* and *Ipomoea cairica* were investigated. Results were as follows: (1) The three species had a strong capacity for CO₂ fixation, the maximum net photosynthetic rate (*P_n*) of *Wedelia trilobata* was 22.1 μmol/(m² · s), which was higher than that of *Ipomoea cairica* (17.2 μmol/(m² · s)) and *Pharbitis nil* (16.4 μmol/(m² · s)). (2) The diurnal curves of *P_n* and transpiration rate (*E*) were “twin-peaked”. The diurnal curves of leaf stomatal conductance (*g_s*) were similar to *E*, which had a decrease in the diurnal curves before and after midday. (3) Respiration rates (*R*) were highest at midday, whose diurnal curves were “single-peaked”. The decreasing order of respiration rates was: *Pharbitis nil*>*Ipomoea cairica*>*Wedelia trilobata*. (4) Light saturation point (LSP) and light compensation point (LCP) of *Wedelia trilobata* were 1531 μmol/(m² · s) and 20.0 μmol/(m² · s) respectively. The LSP and LCP of *Ipomoea cairica*’s were 1146 μmol/(m² · s) and 39.3 μmol/(m² · s) respectively, and that of *Pharbitis nil* were 1261 μmol/(m² · s) and 44.1 μmol/(m² · s). It suggested that the three species were intrinsically helophytic plant and had the capacity in acclimation to shade environment, especially *Wedelia trilobata* had the widest range of light adaptation and showed the strongest photosynthetic capability in strong light condition or showed a high quantum use efficiency (QUE) in weak light condition. The above information would be helpful for understanding about *Wedelia trilobata* in aspects of fast growing, great productivity and strong competition ability.

Key words: *Wedelia trilobata*; net photosynthetic rate (*P_n*); transpiration rate (*E*); photosynthesis-light response curve

文章编号: 1000-0933(2004)10-2334-06 中图分类号: Q945.11 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39800012), 生物防治国家重点实验室开放基金资助项目(0202)

收稿日期: 2003-11-09; 修订日期: 2004-05-08

作者简介: 吴彦琼(1974~), 女, 侗族, 博士生, 主要从事生态学研究。E-mail: lsp02wyq@student.zsu.edu.cn

通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lsdb02@zsu.edu.cn

Foundation item: Supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 39800012) and by Foundation of State Key Bio-control Laboratory (No. 0202)

Received date: 2003-11-09; **Accepted date:** 2004-05-08

Biography: Wu Yan-Qiong, Ph. D. candidate, mainly engaged in ecology. E-mail: lsp02wyq@student.zsu.edu.cn

我国是生物多样性大国,随着长期以来与外界经济文化的交流,导致了大量物种的引进和输出,外来物种入侵的问题也变得比较突出。据资料统计,我国目前已知的外来入侵植物达 380 种之多^[1],紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)、薇甘菊(*Mikania micrantha*)、水花生(*Alternanthera philoxeroides*)、水葫芦(*Eichhornia crassipes*)、互花米草(*Spartina alterniflora*)等外来植物的入侵已经对我国的生物多样性、生态系统安全、区域经济的发展造成巨大的危害。因此有必要提高警惕,对于新入侵或者潜在入侵的外来种,及早重视甚至给予治理,同时加强了解其生物学和生态学特性,为合理的管理与控制提供依据。

南美蜚螞菊(*Wedelia trilobata*)又称三裂叶蜚螞菊,菊科蜚螞菊属,原产南美洲,现广泛分布于中国、越南、柬埔寨、缅甸、菲律宾、印度尼西亚等热带地区。在我国主要分布于华南地区和台湾等地。一般长于道路、水沟、农田的边沿、山沟和湿润草地等地方。花期在 3~9 月份,头状花序,瘦果,其种群主要以通过与土壤接触的节间与匍匐茎蔓延繁衍的方式繁殖,是一种适应性广的多年生常绿草本植物^[2]。裂叶牵牛(*Pharbitis nil*)和五爪金龙(*Ipomoea cairica*)均为旋花科植物,该两种植物常攀缘生长于林地的乔灌木、庭园篱笆以至城市建筑物之上,成为华南地区仅次于薇甘菊的草质藤本害草,对园林植物危害严重^[3]。

外来种自身的特性是其入侵、生存和扩展的一个极其重要因素,适应性和耐性强的物种一般具有较大的入侵潜力^[4]。南美蜚螞菊生长迅速,生物量高生产力大,其群落中很少有其他杂草,常以纯种群成片生长,对生物多样性是一个巨大的威胁。我国资料以研究其化感作用为主^[5,6],也有对其绿化功能、环境恢复方面的报道^[7];国外对植株药用有效成分提取分析^[8,9]及恢复生态应用方面研究取得不少成果^[10,11],而对南美蜚螞菊的生物学特性及其对环境的适应策略方面的研究较少。本文对南美蜚螞菊光合生理特性进行研究,比较它与裂叶牵牛和五爪金龙光合特性的差异,通过对比研究了解其生长迅速、生产力高、入侵蔓延性强、环境适应性强的生态对策,以期合理管理与控制南美蜚螞菊提供科学依据。

1 材料和方法

供试材料为生长在中山大学生命科学学院实验园内全光照条件下的南美蜚螞菊、裂叶牵牛和五爪金龙成熟植株。测试时对每种植物随机选取 6~8 株植株进行,测定由上至下第 1、2 对充分展开的完整叶片,每次对每种植物分别测定叶片 5~6 片,取其平均值作为该时点的对应生理指标值。

2003 年 6 月下旬,选择晴朗天气,采用 CID-310 便携式光合作用测定系统,用其开放系统对这 3 种植物叶片进行测定。从 7:00~翌日 16:00,每隔 1h 测定环境光合有效辐射(PAR)($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、净光合速率(P_n)($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、暗呼吸速率(R)($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、蒸腾速率(E)($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、叶温(T_l)($^{\circ}\text{C}$)、气温(T_a)($^{\circ}\text{C}$)、饱和水汽压差(VDP)(kPa)、空气 CO_2 浓度(Ca)($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、胞间 CO_2 浓度(C_i)($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)和叶片气孔导度(g_s)($\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)等的日进程。

同期选择天气晴朗的 9:00~11:00,用纱布逐层盖在叶室上降低光合有效辐射,直至光合有效辐射为零的方法,参照 Farquhar 等净光合速率-光响应曲线模型,进行对植物的光饱和点(Light saturation point,缩写 LSP)和最大光合速率($P_{n\text{max}}$)的模拟计算^[12,13];在低光合有效辐射下($160\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以内),测量植物的净光合速率,直线回归后计算这 3 种植物的光补偿点(Light compensation point,缩写 LCP)^[14]。

2 结果与分析

2.1 净光合速率、蒸腾速率和暗呼吸速率日进程与生态因子的关系

2.1.1 净光合速率日进程与生态因子的日变化 对南美蜚螞菊、裂叶牵牛和五爪金龙进行净光合速率日进程测定,结果表明,3 种植物的光合速率都呈明显的“双峰”型曲线(图 1),第 1 峰出现在 10:00~11:00 点左右,3 种植物的净光合速率高峰值分别 22.4 、 18.1 、 $16.4 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;第 2 峰出现在 14:00~15:00 左右,峰值分别 16.4 、 9.0 、 $8.7 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;低谷出现在 12:00~13:00 之间,在低谷时的光合能力下降很快,其中低谷时蜚螞菊的净光合速率为第 1 峰值的 38.8%,而裂叶牵牛和五爪金龙分别下降为原来的 33.1%和 27.4%。从环境因子日变化结果(图 5,图 6)可见,净光合速率随着光强、气温的升高而逐渐上升,但是当光强、气温升到一定程度后,净光合速率不再上升,而且在中午前后当光强、气温达到最高值时各植物的净光合速率下降,出现“午休”现象。“午休”现象的原因一般是高温、低湿和土壤干旱等环境引起的气孔的部分关闭和光暗呼吸增强或光合作用光抑制发生^[15]。分别对南美蜚螞菊与裂叶牵牛、五爪金龙白昼的净光合速率进行对比,南美蜚螞菊日平均净光合速率 P_n ($13.3\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)较高,裂叶牵牛($7.7\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)次之,五爪金龙($6.7\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)最低。对 3 种植物的日平均 P_n 作方差分析,结果表明南美蜚螞菊与裂叶牵牛和五爪金龙的日平均 P_n 差异显著,其检验系数分别为 $t=2.6$ 和 $t=3.2$,但裂叶牵牛和五爪金龙的日平均 P_n 无差异显著,其检验系数 $t=0.56$ 。

植物净光合速率的大小决定着物质积累能力的高低,在一定程度上也决定着植物生长的快慢,植物生长的快慢是其在群落中占领空间取得优势的重要条件。3 种植物的净光合速率以南美蜚螞菊最高,其次是裂叶牵牛,相对较低的是五爪金龙,可见南美蜚螞菊的光合能力很强,可以为植株储存更多的能量供机体生长及繁殖扩展所用,是其生长迅速、生产力高及蔓延性强的一个重要生理特性。

2.1.2 暗呼吸速率日进程与生态因子的日变化

3 种植物的暗呼吸速率日进程则呈“单峰”型曲线(图 3),最高值出现在

12:00~13:00,其中南美蟛蜞菊、裂叶牵牛和五爪金龙的峰值分别为 3.2、3.8 和 4.3 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,参见图 5 的结果可知这时叶温也达到一天的最高峰。方差分析表明南美蟛蜞菊暗呼吸速率与裂叶牵牛和五爪金龙均无显著差异,其检验系数分别为 $t=1.77$ 和 $t=0.68$ 。

植物生物量的高低是由总光合速率和暗呼吸速率的大小所决定的,由于 $P_n=P_t-P_r$,如果呼吸消耗的量不变,则净光合生速率大的植物其光合生产力强,生物量必然增加更快。从以上对光合作用的分析可知南美蟛蜞菊的光合生产力明显高于其它两种植物,这有助于解释其生长迅速、生产力高的生物学特点。

2.1.3 蒸腾速率和气孔导度日进程与生态因子的日变化 3种植物蒸腾速率的日进程呈双峰型(图 2),第 1 峰出现在 11:00,而 13:00 出现低谷,到 15:00 达到第 2 高峰。分析表明,南美蟛蜞菊蒸腾速率与裂叶牵牛($t=1.20$)和五爪金龙($t=1.77$)均无显著差异,蒸腾速率的日变化规律与气孔导度、叶片温度的变化相对一致(图 4,图 5),可见,早上随着光合有效辐射的增强、气温逐渐升高有利于气孔张开,气孔阻力降低,从而气孔导度上升;叶温上升,饱和水汽压差变大,蒸腾速率也随之升高,至 11:00 左右气孔导度升至最高,蒸腾速率也达到一天的顶峰。由于高的蒸腾会引起叶片失水过多,促使部分气孔关闭,气孔导度又变小,至 13:00 左右出现一个低谷,气孔的影响使蒸腾作用也处于低谷,以后随着光合有效辐射逐渐减弱,叶温下降,气孔导度又稍有升高,但从 16:00 后光合有效辐射过弱,气孔导度很快降低。由图 2 和图 4 可见,蒸腾速率及气孔导度的测定值均以南美蟛蜞菊最高,其次为裂叶牵牛,五爪金龙最小。

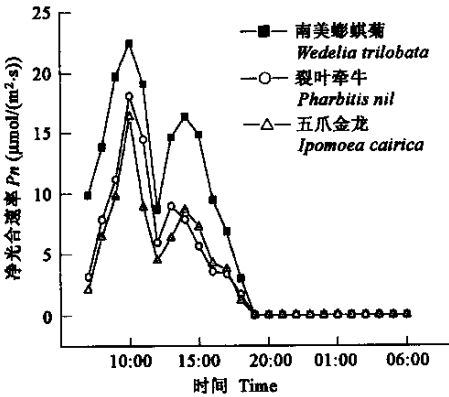


图 1 净光合速率日变化

Fig. 1 Changes in the photosynthetic rate in a day

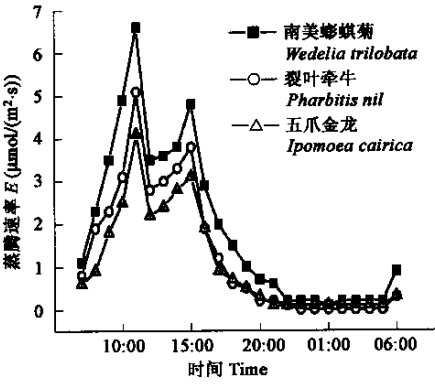


图 2 蒸腾速率日变化

Fig. 2 Changes in the transpiration rate in a day

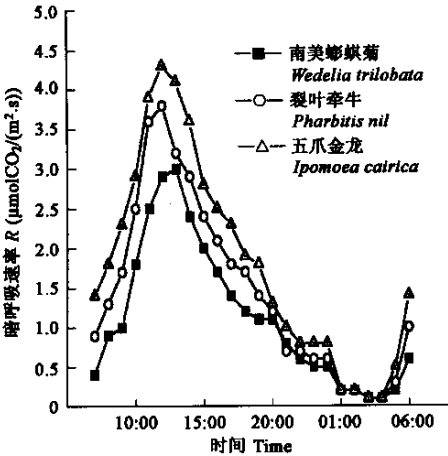


图 3 暗呼吸速率日变化

Fig. 3 Changes in the respiration rate in a day

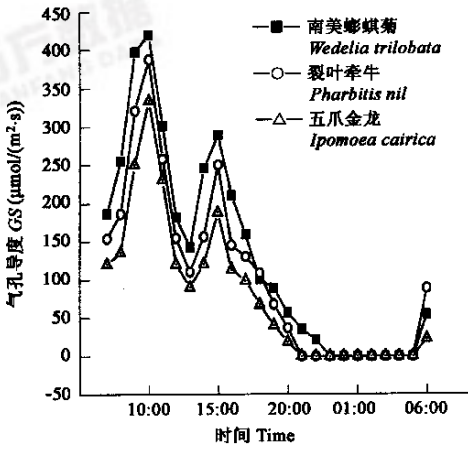


图 4 气孔导度日变化

Fig. 4 Changes in leaf stomatal conductance in a day

2.2 光合作用对光强的光响应

对南美蟛蜞菊等 3 种植物叶片净光合速率-有效光合辐射结果作散点图,分别用 Farquhar 模型进行模拟^[12,13],实测值与模

拟值结果见图 7。并从回归结果表明 3 种植物净光合速率-有效光合辐射与模型呈显著相关,其中南美蟛蜞菊回归的均方比 F 值为 3.7092,复相关系数 $r^2=0.9515$;裂叶牵牛的均方比 F 值 1.9074,复相关系数 $r^2=0.9716$;五爪金龙均方比 F 值 1.6271,复相关系数 $r^2=0.9723$ 。由模型回归所得最大净光合速率 $P_{n_{max}}$ 和光饱和点(LSP)分别为:

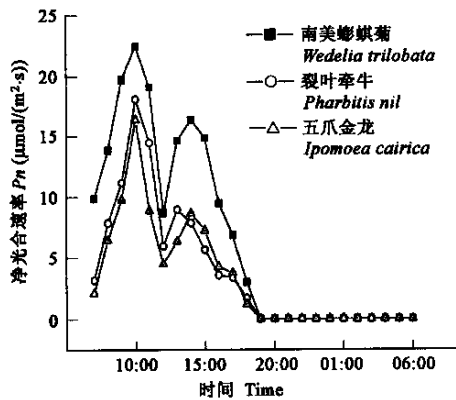


图 5 空气及叶片温度日变化

Fig. 5 Changes in the temperature of air and leaf in a day

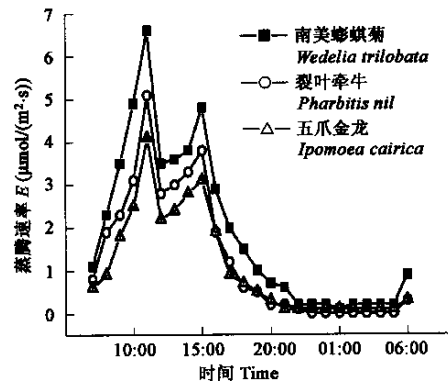


图 6 有效光合辐射日变化

Fig. 6 Changes in the PAR of environment in a day

南美蟛蜞菊(图 7a) $P_{n_{max}}=22.1\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 光饱和点 $LSP=1531\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$
裂叶牵牛(图 7b) $P_{n_{max}}=17.2\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 光饱和点 $LSP=1146\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$
五爪金龙(图 7c) $P_{n_{max}}=18.6(\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}))$, 光饱和点 $LSP=1261\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$

3 种植物的光饱和点(LSP)均在 $1100\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 以上,为较高的光饱和点。光合高峰时的饱和光强与典型的阳生植物相当^[16],具有阳生植物的光合特性。3 种植物光饱和点的大小顺序:南美蟛蜞菊>裂叶牵牛>五爪金龙,最大光合速率的大小次序:南美蟛蜞菊>五爪金龙>裂叶牵牛,由此可见南美蟛蜞菊光合作用及对强光的忍受能力较其它两植物强。

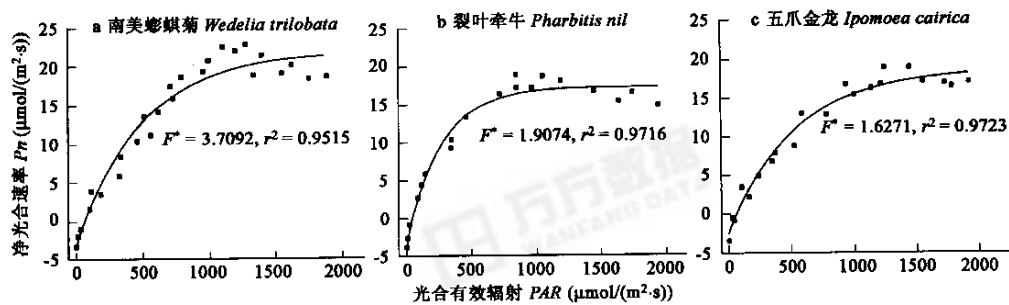


图 7 南美蟛蜞菊(a)、裂叶牵牛(b)和五爪金龙(c)的叶片光合-光响应曲线(点为实测值,曲线由 Farquhar 模型拟合所得)

Fig. 7 Photosynthesis-light response curves for leaves of *Wedelia trilobata* (a), *Pharbitis nil* (b) and *Ipomoea cairica* (c) (The symbols referred to the measured values and curves were fitted by Farquhar's model)

2.3 光量子利用效率

植物的光量子利用效率反映对光能的利用情况,对 3 种植物在低光有效辐射(即 PAR 小于 $160\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$) 范围内测定净光合速率 P_n ,作净光合速率-光响应的散点图(图 8)可知,3 物种的 P_n 与 PAR 之间存在较好的线性回归 $y=A+Bx$ (x 自变量为弱光照小于 $160\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 范围内给定光强 PAR , y 因变量为对应光强下的净光合速率 P_n),回归后所得方程如下:

南美蟛蜞菊(图 8a) $y=0.0596x-1.1921(r=0.9851,n=19)$, 光补偿点 $LCP=20.0\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$
裂叶牵牛(图 8b) $y=0.0616x-2.4208(r=0.9922,n=18)$, 光补偿点 $LCP=39.3\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$
五爪金龙(图 8c) $y=0.0606x-2.6735(r=0.9874,n=20)$, 光补偿点 $LCP=44.1\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$

南美蟛蜞菊的光补偿点仅为 $20.0\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,低于其它两种植物,有效光合辐射的范围较宽;线性方程的斜率 $B=0.0596$ 知南美蟛蜞菊的光量子利用效率较高,由此可见其适应弱光环境的能力很强。

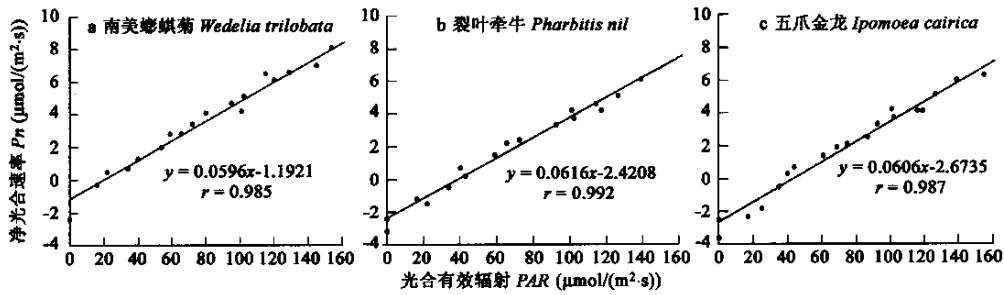


图 8 南美蟛蜞菊(a)、裂叶牵牛(b)和五爪金龙(c)的光量子利用效率(点为实测值,直线由线性合所得)

Fig. 8 Quantum use efficiency (QUE) of leaves of *Wedelia trilobata*(a), *Pharbitis nil* (b) and *Ipomoea cairica*(c) (The symbols referred to the measured values and lines were fitted by linear)

3 讨论

在自然光照条件下南美蟛蜞菊的净光合速率峰值达 $22.4\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,高于裂叶牵牛和五爪金龙,由 Farquhar 模型模拟的最大净光合速率 Pn_{max} 达 $22.1\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,也高于其它两种植物。南美蟛蜞菊光饱和点高达到 $1531\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,忍受持续高光强的能力很强,依此可判断其为喜阳性植物。其光补偿点 $20.0\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 较低,在弱光下仍可为机体固定一定的 CO_2 ,由弱光范围内光量子利用效率的直线回归方程斜率 $B=0.0596$,表明弱光强下南美蟛蜞菊的光量子利用率仍然较高,适应在庇荫环境生长的能力较强。由此可见,较强的 CO_2 固定能力,对高强度光照环境的强忍耐性以及适应弱光条件这种较广的有效光合辐射范围生态适应性是南美蟛蜞菊生长迅速、生物量高和分布广泛、环境适应性强的一个重要生理基础。

一直以来,薇甘菊以其生命力和入侵性强著称。其新生组织生长快,单株植物在生长季几个月内就能扩展蔓延大片面积^[17]。其净光合速率峰值达 $21.56\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,饱和光强 $1002\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,光合有效辐射范围较宽^[18]。从光合生理因子角度上分析,南美蟛蜞菊的净光合速率较高,而且光饱和点高,光补偿点低,从光量子利用效率回归直线方程斜率可知南美蟛蜞菊的光量子利用效率也较高,可知南美蟛蜞菊也具有与薇甘菊类似的较强的 CO_2 固定能力和较宽的有效光合辐射范围,由此可见其潜在的入侵能力不容忽视。

南美蟛蜞菊以无性繁殖为主,匍匐茎、节间的萌生能力强,每个单一的节、匍匐茎遇到合适的水分、土壤环境条件时都有可能发展成为新的植株系统。这些特性使其具有高生产力、高生物量和惊人的环境扩展覆盖能力。入侵潜力是外来物种的特征之一,指物种所具有的内在的环境蔓延入侵能力,受干扰程度以及物种抗干扰能力等^[19]。研究表明南美蟛蜞菊具有很强的环境蔓延、入侵潜力,应该极早引起重视,多加防范以免其强大的环境入侵力严重损害环境。据目前的多方调查,没有发现南美蟛蜞菊成功的有性繁殖例子,南美蟛蜞菊多花,但其花的育性较为脆弱,其瘦果中多为败育种,在此作者认为南美蟛蜞菊可排除借助于风、水力传播的隐患,主要是以人为传播为主。南美蟛蜞菊在自然界广泛分布于道路、水沟、农田的边沿、山沟和湿润草地等地方,对环境条件要求不高,它曾经作为优选地被绿化植物而被许多国家和地区引进,然而在一些地区该植物已造成直接和间接的负面影响。在蟛蜞菊入侵的早期阶段实施必要的控制或根除、保护好敏感生境的措施十分重要。鉴于它的高光合效率、高生产力和强大环境竞争能力等特性,建议在工业废弃地、退化荒草地的植被恢复和园林绿化利用南美蟛蜞菊时,应该采用人工建造目标隔离屏障的方法,使其在限定的范围内生长从而防止其盲目扩展到毗邻生境,这样既可以充分发挥其有益效应,又能防止其环境入侵的潜在危害。

References:

[1] Xie Y, Li Z, Gregg W P, et al. Invasive species in China-an overview. *Biodiversity and Conservation*, 2000, **10**: 1317~1341.

[2] Flora of Taiwan. Second Edition. Edited and Published by the Editorial Committee of the Flora of Taiwan, China Department of Botanny, Taiwan University Second Edition, 1998, **4**: 1097.

[3] Hu Y J, Bi P X. A study on life cycle and response to herbicides of *Mikania micratha*. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sun-Yatseni*, 1994, **33**(4): 88~95.

[4] Peng S L, Xiang Y C. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**: 560~569.

[5] Zeng R S, Ling X L, Tang H F, et al. Allelopathic effects and preliminary isolation of root exudates of *Wedelia chinensis*. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, **13**(1): 51~56.

[6] Zeng R S, Ling X L, Luo Sh M, et al. Allelopathic potential of *Wedelia chinensis* and its allelochemicals. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, **16**

(1):20~27.

[7] Wang Q Z, Ye P H. Application of the *Wedelia trilobata* in the garden afforestation. *Jurnal of Hainan Normal University* (Natural Science), 2003, **16**(1):91~92.

[8] Craveiro A A, Matos F J A, Alencar J W, *et al.* Volatile constituents of two *Wedelia species*. *Journal of Essential Oil Research*, 1993, **5**(4):439~441.

[9] Qian J H, Zayed, Adel, Zhu Y L, *et al.* Phytoaccumulation of elements by wetland plant: Ⅲ. Uptake and accumulation of ten trace elements by twelve plant species. *Journal of Environmental Quality*, 1999, **28**(5):1448~1455.

[10] Weber K L, Wiersma G B. Trace element concentration in mosses collected from a treated experimental forest watershed. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 1998, **65**(1~4):17~29.

[11] Emmanuel S, Ignacimuthu S, Kathiravan K. Micropropagation of *Wedelia calendulacea*. A medical plant. *Phytomorphology: An International Journal of Plant Morphology*, 2002, **50**(2):195~200.

[12] Farquhar G D, von Caemmerer S & Berry J A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta*, 1980, **149**:78~90.

[13] Farquhar G D, von Caemmerer S. Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In: Lange, O. L. , Nobel, P. S. , Osmond, C. B. , *et al.* eds. *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series; Physiological Plant Ecology* Ⅱ, vol. 12B. Spring Verlag, Berlin, 1982. 549~587.

[14] Larcher w. *Plant physic-ecology*, Fifth published, Beijing. Published by China Agricultural University, 1997. 78.

[15] Xu D Q, Shen Y G . Diurnal variations in the photosynthetic efficiency in plants. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1997, **23**(4):410~416.

[16] Berry J A, Downton W J S. *Photosynthesis Vol II. Development, Carbon metabolism and plant productivity*. New York: Academic Press, 1982. 263.

[17] Holm L G, Plucknett D L, Pancho J V, *et al.* The world's worst weeds: Distribution and Biology. Edition. Orig. Ed, East-West Center, University Press of Hawaii, Honolulu, 1977. 212~216.

[18] Wen l Z, Ye W H, Feng H L, *et al.* Comparison of basis photosynthetic characteristics between exotic invader weed *Mikania micrantha* and its companion species. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2000, **8**(2):139~146.

[19] Zhang l Y, Ye W H. Community invisibility and its influencing factors. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, **26**(1): 109~114.

参考文献:

[3] 胡玉佳, 毕培曦. 微甘菊生活史及其对除莠剂的反应. *中山大学学报(自然科学版)*, 1994, **33**(4):88~95.

[4] 彭少麟, 向言词, 等. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. *生态学报*, 1999, **19**(4):560~569.

[5] 曾任森, 林象联, 谭惠芬, 等. 蟛蜞菊根分泌物的异种克生作用及初步分离. *生态学杂志*, 1994, **13**(1):51~56.

[6] 曾任森, 林象联, 骆世明, 等. 蟛蜞菊生化他感作用及生化他感作用物的分离鉴定. *生态学报*, 1996, **16**(1):20~27.

[7] 王奇志, 叶平华. 南美蟛蜞菊在园林绿化中的运用. *海南师范学院学报(自然科学版)*, 2003, **16**(1):90~95.

[14] Larcher w. 植物生态生理学. 第五版. 北京, 中国农业大学出版社, 1997. 78.

[15] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题. *植物生理学通讯*, 1997, **33**(4):241~244.

[18] 温达志, 叶万辉, 冯惠玲, 等. 外来入侵杂草微甘菊及其伴生种基本光合特性比较. *热带亚热带植物学报*, 2000, **8**(2):139~146.

[19] 张林艳, 叶万辉. 群落可侵入性及其影响因素. *植物生态学报*, 2002, **26**(1):109~114.