

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第7期 Vol.31 No.7 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 7 期 2011 年 4 月 (半月刊)

目 次

川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤氮库与微生物的季节变化·····	龚 伟,胡庭兴,王景燕,等 (1763)
IBIS 模拟东北东部森林 <i>NPP</i> 主要影响因子的敏感性·····	刘 曦,国庆喜,刘经纬 (1772)
不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子·····	靳甜甜,傅伯杰,刘国华,等 (1783)
氮、硫互作对克隆植物互花米草繁殖和生物量累积与分配的影响·····	甘 琳,赵 晖,清 华,等 (1794)
海岛棉和陆地棉叶片光合能力的差异及限制因素·····	张亚黎,姚贺盛,罗 毅,等 (1803)
遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	王建华,任士福,史宝胜,等 (1811)
3 种木本植物在铅锌和铜矿砂中的生长及对重金属的吸收·····	施 翔,陈益泰,王树凤,等 (1818)
施氮水平对小麦籽粒谷蛋白大聚合体粒径分布的调控效应·····	王广昌,王振林,崔志青,等 (1827)
强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制·····	秦立琴,张悦丽,郭 峰,等 (1835)
环境因子和干扰强度对高寒草甸植物多样性空间分异的影响·····	温 璐,董世魁,朱 磊,等 (1844)
利用 CASA 模型模拟西南喀斯特植被净第一性生产力·····	董 丹,倪 健 (1855)
北京市绿化树种紫玉兰的蒸腾特征及其影响因素·····	王 华,欧阳志云,任玉芬,等 (1867)
平衡施肥对缺磷红壤性水稻土的生态效应·····	陈建国,张杨珠,曾希柏,等 (1877)
冬小麦种植模式对水分利用效率的影响·····	齐 林,陈雨海,周勋波,等 (1888)
黄土高原冬小麦地 N_2O 排放·····	庞军柱,王效科,牟玉静,等 (1896)
花前渍水预处理对花后渍水逆境下扬麦 9 号籽粒产量和品质的影响·····	李诚永,蔡 剑,姜 东,等 (1904)
低硫氮比酸雨对亚热带典型树种气体交换和质膜的影响·····	冯丽丽,姚芳芳,王希华,等 (1911)
夹竹桃皂甙对福寿螺的毒杀效果及其对水稻幼苗的影响·····	戴灵鹏,罗蔚华,王万贤 (1918)
海河流域景观空间梯度格局及其与环境因子的关系·····	赵志轩,张 彪,金 鑫,等 (1925)
中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估·····	王 兵,魏江生,胡 文 (1936)
城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例·····	王凤珍,周志翔,郑忠明 (1946)
黄河三角洲植物生态位和生态幅对物种分布-多度关系的解释·····	袁 秀,马克明,王 德 (1955)
基于景观可达性的广州市林地边界动态分析·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (1962)
红脂大小蠹传入中国危害特性的变化·····	潘 杰,王 涛,温俊宝,等 (1970)
基于线粒体 <i>Cyt b</i> 基因的西藏马鹿种群遗传多样性研究·····	刘艳华,张明海 (1976)
不同干扰下荒漠啮齿动物群落多样性的多尺度分析·····	袁 帅,武晓东,付和平,等 (1982)
秦岭鼯鼠的洞穴选择与危害防控·····	鲁庆彬,张 阳,周材权 (1993)
京杭运河堤坝区域狗獾的栖息地特征·····	殷宝法,刘宇庆,刘国兴,等 (2002)
专论与综述	
微生物胞外呼吸电子传递机制研究进展·····	马 晨,周顺桂,庄 莉,等 (2008)
厌氧氨氧化菌脱氮机理及其在污水处理中的应用·····	王 惠,刘研萍,陶 莹,等 (2019)
问题讨论	
海河流域森林生态系统服务功能评估·····	白 杨,欧阳志云,郑 华,等 (2029)
研究简报	
体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响·····	赵 文,王雅倩,魏 杰,等 (2040)
虾塘养殖中后期微型浮游动物的摄食压力·····	张立通,孙 耀,赵从明,等 (2046)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 290 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-04	

封面图说:日斜茅荆坝·河北茅荆坝——地处蒙古高原向华北平原过渡地带的暖温带落叶阔叶林,色彩斑斓,正沐浴着晚秋温暖的阳光。

彩图提供:国家林业局陈建伟教授 E-mail: cites.chenjw@163.com

遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响

王建华¹, 任士福^{1,*}, 史宝胜², 刘炳响¹, 周玉丽¹

(1. 河北农业大学 林学院; 2. 河北农业大学 园林与旅游学院, 河北保定 071000)

摘要: 系统研究了不同程度的遮荫处理(0%、43%、70%、97%)对连翘叶片光合特性和叶绿素 a 荧光参数的影响。结果表明:随着遮荫程度增加,最大净光合速率、光补偿点、光饱和点、暗呼吸速率降低;净光合速率日变化均呈单峰型,峰值和光能利用率增加;叶绿素 a+b、叶绿素 a、叶绿素 b 含量增加,叶绿素 a/b 降低;叶绿素 a 荧光参数 F_v/F_m 和 F_v/F_o 日变化呈单谷曲线,值均高于全光照的,且随着遮荫程度的提高其值均依次增加。这说明,连翘是一种耐荫性很强的植物,遮荫可使其降低光补偿点、光饱和点、净光合速率、暗呼吸速率以及叶绿素 a/b,增加总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 含量、光能利用率以及 PS II 原初光能转化效率和潜在活性,从而增强其在弱光条件下的生长发育能力。

关键词: 连翘; 遮荫; 光合特性; 荧光参数

Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Forsythia suspensa*

WANG Jianhua¹, REN Shifu^{1,*}, SHI Baosheng², LIU Bingxiang¹, ZHOU Yuli¹

¹ Forestry College, Agricultural University of Hebei, Baoding, China

² College of Landscape and travel, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China

Abstract: The effects of the full day light and the different degrees of the shades (43%, 70%, 97%) on the photosynthetic characters and on the chlorophyll fluorescence parameters of *Forsythia suspensa* were examined in these observation. The results indicated that the light compensation point (LCP), light saturation point (LSP) and dark respiration rate (DP) of the *F. suspensa* plant were at a low level, the value of which decreased with the increasing of shade degree. The diurnal variation of net photosynthetic rate (P_n) presented only one peak under both full day light, and all shade conditions, the daily maximum and average of net photosynthetic rate decreased significantly with increasing of shade degree, and there by efficiency of the solar energy utilization increased. The diurnal variations of transpiration rate and stomata conductance in leaves were similar to that of net photosynthetic rate, the values of transpiration rate and stomata conductance also decreased as increasing of the shade degree. The net photosynthetic rate, transpiration rate and stomata conductance under full day light and all shade conditions showed a positive correlation. The content of chlorophyll a+b, chlorophyll a and chlorophyll b in leaves grown under all shades conditions were significant higher than those under full day light, and increased with increasing of shade degrees, mean while the chlorophyll a/b decreased. F_v/F_m and F_v/F_o were significantly higher than those under full day light and increased with increasing of shade degrees under all shade conditions. Results obtained from above showed that the shade tolerant of the stinging nettle plant was contributed by decreasing the light saturation point, light compensation point, dark respiration rate and chlorophyll a/b, through which it increased the efficiency of the solar energy utilization, the content of chlorophyll a+b, chlorophyll a and chlorophyll b, and the value F_v/F_m and F_v/F_o under the shade conditions.

Key Words: *Forsythia suspensa*; shade; photosynthetic characteristics; chlorophyll fluorescence parameters

基金项目: 国家发改委中药材扶持项目(2006BAI06A13-03); 河北省教育厅项目(2007464)

收稿日期: 2010-02-26; **修订日期:** 2010-05-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kjren3@126.com

近年来,随着城市的快速发展,高大建筑物及高层建筑设施迅速增多,城市园林绿地面积越来越少,城市弱光环境限制了植物的生存和生长。因此,耐荫植物的筛选和应用在城市绿化中的地位日渐突出^[1]。因此,结合生态学原则,深入研究植物的耐荫性,完善评价标准及方法,能够为合理选择耐荫树种,科学配置乔、灌木及地被植物,探寻园林绿地复层结构种植模式提供参考。叶绿素含量、净光合速率和叶绿素荧光参数是评价植物耐荫性的重要生理指标,对揭示植物耐荫性及其机理有重要作用^[2-4]。

连翘(*Forsythia suspensa*)为木犀科连翘属落叶灌木,花色金黄,树姿优美,是优良的早春观花灌木,是我国城市园林绿化和风景区极具开发应用前景的重要观赏树种,但有关其耐荫性研究报道较少。作者采用人工遮荫法,对不同遮荫条件下连翘的叶绿素含量、光合生理指标和叶绿素荧光参数等指标进行了测定,为其育苗和园林应用提供有益的参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在河北农业大学西校区标本园连翘种植区进行,供试材料为7年生连翘。该地区年均气温12.7℃,春季干旱多风,夏季炎热多雨,年降水量为575.4 mm,年日照2 447—2 871 h,无霜期165—210 d,属暖温带亚湿润大陆性季风气候。

1.2 试验材料

试验于2009年在河北农业大学连翘种植区进行,以生长健壮、长势一致的7年生连翘为材料。5月28日开始用黑色遮荫网进行遮荫处理,遮荫网设在离地面3.5 m高处,通过增加遮荫网的层数来调整遮荫程度,并用照度计精确确定。设置的遮荫处理分别为:0%、43%、70%、97%,并以全光照(无遮荫网)作为对照。按常规栽培技术管理。单因子随机区组设计,每处理小区植苗9株,株行距各为1.5 m。为避免相互遮光,设置1.5 m的区间距,重复3次,共计12个小区。

1.3.1 光合日变化光响应曲线测定

采用Li-6400型便携式光合测定仪,使用开放气路于阳光充足的晴天(8月26—31日),从08:00—18:00每隔2 h对不同遮荫条件下随机选取充分受光、叶位一致的连体叶片(每处理3株,每株4片叶,每叶测3次,共36个重复)净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、光合有效辐射(PAR)等光合参数进行测定,获得光合速率日变化趋势。气孔限制值 $L_s\% = (1 - C_i/C_a) \times 100\%$,其中 C_a 为空气中 CO_2 浓度。利用LED红蓝光光源测定梯度光照强度下不同遮荫处理和全光照的净光合速率,绘制 P_n-PAR (光合-光响应)曲线。根据光合-光响应曲线拟合的对数方程求得光补偿点(LCP)、光饱和点(LSP)、暗呼吸速率(DR)及最大净光合速率($MNPR$)。比较不同光环境下光补偿点、光饱和点、暗呼吸速率及最大净光合速率的差异。将光合-光响应曲线在低光合有效辐射下的净光合速率做直线回归,求得各遮荫程度的表观量子效率(AQY)。

1.3.2 叶绿素含量测定

叶绿体色素含量采用乙醇丙酮混合液浸提法提取,用分光光度法测定,按Lichtenthaler公式计算其含量。材料取与测定光合作用相同位置和发育阶段的叶片,每个处理3个重复,取平均值作为该处理的叶绿体色素值。

1.4 叶绿素荧光参数测定

测定光合作用日变化的同时,用便携式植物效率分析仪(Poket)进行连翘叶片叶绿素荧光参数日变化的测定,预处理饱和脉冲光强($3500 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$),测定指标包括初始荧光(F_o)、最大荧光(F_m)、可变荧光(F_v)和PS II最大光化学效率(F_v/F_m),每隔2 h测定1次,每次测定6个叶片,取其平均值,测定前将连翘叶片暗适应15 min。

2 结果与分析

2.1 遮荫对光合-光响应曲线的影响

连翘经遮荫处理后对光强的响应与全光照(对照)基本一致,各处理净光合速率均随着光合有效辐射的

增加先逐渐上升,当 PAR 升高到一定程度后, P_n 稍微有下降的趋势,即达到光饱和点后,光合速率开始下降。连翘经遮荫后和全光照下光合-光响应的曲线均可用二次曲线拟合。所有遮荫处理随着遮荫程度的提高整个曲线依次比对照低,其光合速率均依次低于全光照的。连翘的光补偿点均较低[在 $20\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下],而光饱和点均较高[在 $1000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上],遮荫程度对其光补偿点、光饱和点、最大净光合速率和暗呼吸速率均有显著的影响(表 1,图 1)。随着遮荫程度的提高,光补偿点、光饱和点、最大净光合速率和暗呼吸速率均依次降低。其中,遮荫 97% 时光补偿点比全光照条件下降低了 48.7%,光饱和点降低了 30.6%,暗呼吸速率降低了 46.4%。这表明,连翘在弱光环境下,可大幅降低光补偿点和光饱和点,提高对弱光的利用能力并降低呼吸消耗,以维持植株正常生长从而对弱光环境表现出了较强的适应能力。

表观量子效率是光合作用中光能转化最大效率的一种度量,可以正确地反映光合机构机能的变化,也可以反映叶片对弱光的利用能力^[5]。结果表明(表 1),最大表观量子效率随遮荫程度的增加并无明显下降,且遮荫程度大于 73% 时,光合量子效率还高于全光照条件下的,说明连翘对弱光的适应和利用能力比较强。连翘可以通过提高光量子效率来适应外界光强的降低,从而提高光合效率。

表 1 不同遮荫条件下连翘叶片光合参数

Table 1 Photosynthetic parameters of *Forsythia suspensa* under different shading

遮荫程度 Shade degree /%	暗呼吸速率 DR Dark respiration rate $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	最大净光合速率 $MNPR$ Maximum net photosynthetic rate $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	光补偿点 LCP Light compensation point $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	光饱和点 LSP Light saturation point $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	表观量子效率 AQY Apparent quantum yield $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
0	1.25	18.71	21.46	1410	0.0582
43	1.03	16.48	17.93	1215	0.0576
70	0.87	15.52	14.87	1125	0.0586
97	0.67	12.49	10.99	978	0.0583

2.2 遮荫对净光合速率日变化的影响

连翘光合速率日变化曲线在本试验条件下呈单峰型(图 2),没有“午休”现象,各处理均在 12:00—14:00 出现光合高峰。各遮荫处理的光合高峰值和日平均光合速率均随着遮荫程度的提高而下降。全光条件下的光合高峰值最高 ($14.47\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),其日平均光合速率也最高 ($11.26\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$),随遮荫程度的递增日平均光合速率依次递减(图 3),日平均光合速率与平均光合有效辐射的比值依次上升,遮荫 97% 处理的比值较全光照下提高了 13 倍。这表明,连翘对弱光环境的适应能力和利用弱光的能力很强。

2.3 遮荫对蒸腾速率及气孔导度日变化的影响

连翘蒸腾速率的日变化曲线呈明显的单峰型,各处理均在 12:00 左右出现最高峰(图 4)。遮荫对连翘蒸腾作用有明显影响,遮荫后蒸腾速率较全光照处理明显降低,并随遮荫程度提高,这种降低趋势越来越明显。

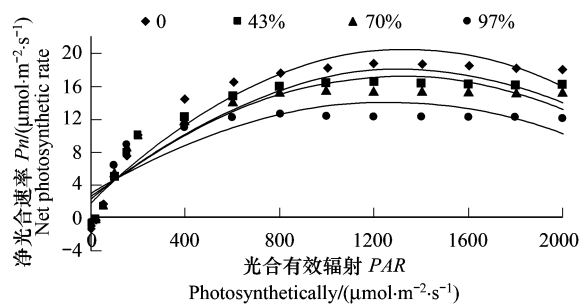


图 1 连翘光合-光响应曲线

Fig. 1 Net photosynthetic rate-light response curves in leaves of *Forsythia suspensa*

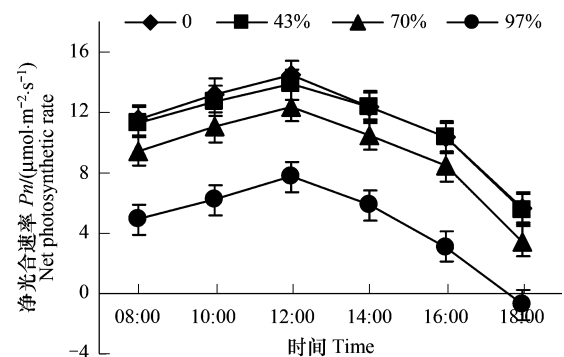


图 2 遮荫对连翘净光合速率日变化的影响

Fig. 2 Effects of shades on the diurnal variations of net photosynthetic rate in leaves of *Forsythia suspensa*

全光照下日平均蒸腾速率为 $3.66 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 遮荫程度从 43%—97% 条件下, 日平均蒸腾速率依次比全光照下降 26.5%、52.5%、60.6%。日平均蒸腾速率 (y) 与遮荫度 (x) 之间存在明显的负相关性: $y = 4.356 - 0.798x$ ($R^2 = 0.968, P < 0.01$)。气孔导度对环境因子的变化十分敏感, 凡是影响植物光合作用的各种因素都可能对气孔导度造成影响。连翘气孔导度日变化与光合、蒸腾速率的日变化趋势基本一致, 也呈单峰型曲线, 无午休现象并在正午左右达到高峰, 午后逐渐下降 (图 5)。遮荫条件下, 气孔导度明显下降, 遮荫程度越高, 气孔导度越低。日平均气孔导度 (y) 与遮荫程度 (x) 存在明显的负相关性: $y = 0.422 - 0.044x$ ($R^2 = 0.959, P < 0.01$)。

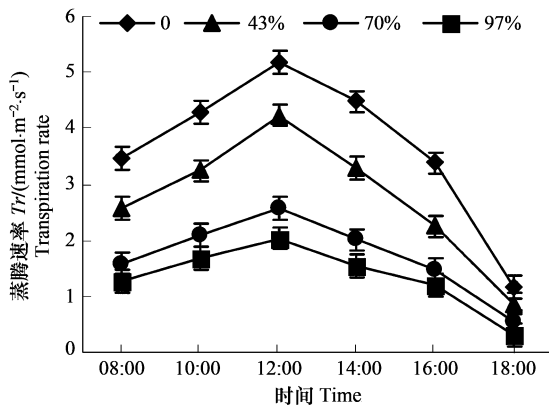


图 4 遮荫对连翘蒸腾速率日变化的影响

Fig. 4 Effects of shades on diurnal variations of transpiration rate in leaves of *Forsythia suspensa*

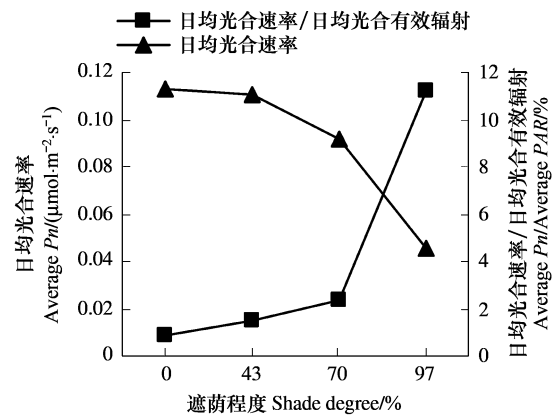


图 3 遮荫对连翘日平均光合速率和光能利用率的影响

Fig. 3 Effects of shades on average diurnal net photosynthetic rate of *Forsythia suspensa*

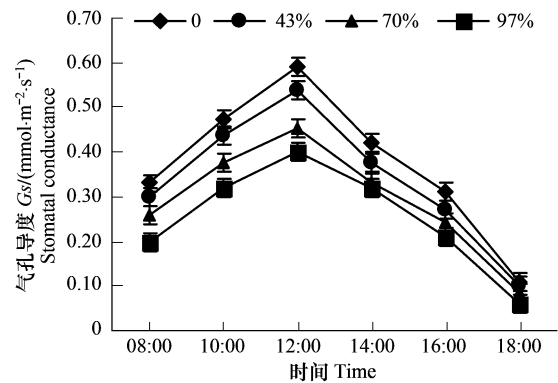


图 5 遮荫对连翘气孔导度日变化的影响

Fig. 5 Effects of shades on diurnal variations of stomatal conductance in leaves of *Forsythia suspensa*

进一步比较连翘在不同遮荫条件下的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度之间的关系 (表 2), 结果表明, 全光照条件下光合速率与蒸腾速率呈显著正相关 ($P < 0.01$), 在遮荫条件下光合速率与蒸腾速率之间相关性均显著 ($P < 0.01$)。气孔导度与蒸腾速率在所有光照条件下均呈显著正相关 ($P < 0.01$), 遮荫程度对其相关系数的大小影响不大。气孔导度与净光合速率、蒸腾速率之间存在平行的变化趋势, 气孔导度与光合速率在所有光照条件下均存在明显的相关性 ($P < 0.01$)。根据 Farquhar 和 Sharkey 的观点, 只有当光合速率和胞间 CO_2 浓度变化方向相同, 且气孔限制值增大, 才可认为光合速率的下降主要由气孔因素引起^[6]。由表 3 可见, 在不同遮荫条件下, 净光合速率与胞间 CO_2 浓度并无相同变化趋势, 且气孔限制值先增大后减小, 说明在遮荫条件下气孔导度并不成为净光合速率的制约因素。

2.4 遮荫对连翘叶绿素含量的影响

连翘叶片叶绿素含量在遮荫条件下普遍上升, 不同遮荫条件下叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量均显著高于全光照条件下的 ($P < 0.05$), 且随遮荫度的提高叶绿素含量呈上升趋势。而叶绿素 a/b 的值变化则呈相反的趋势, 即随着遮荫程度的提高而呈下降趋势 (表 4)。不同遮荫条件下, 连翘叶片叶绿素的变化, 是对不同遮荫环境的一种生理响应和适应。

表 2 遮荫条件下连翘净光合速率、蒸腾速率以及气孔导度间的相关性

Table 2 The correlation among net photosynthetic rate, transpiration rate and stomatic conductance in leaves of *Forsythia suspensa* under shade conditions

遮荫程度 /% Shade degree	光合速率与蒸腾速率 Photosynthetic rate and transpiration rate	光合速率与气孔导度 Photosynthetic rate and stomatic conductance	气孔导度与蒸腾速率 Stomatic conductance and transpiration rate
0	0.989 **	0.973 **	0.975 **
43	0.991 **	0.966 **	0.963 **
70	0.981 **	0.976 **	0.983 **
97	0.991 **	0.969 **	0.983 **

“**”表示在 0.01 水平上差异显著

表 3 遮荫对连翘净光合速率、胞间 CO₂ 浓度、气孔导度、气孔限制值的影响Table 3 Effects of shades on net photosynthetic rate, intercellular CO₂ concentration, stomatic conductance and stomatal limitation value of *Forsythia suspensa* leaves

遮荫度 /% Shade degree	净光合速率 P_n /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate	胞间 CO ₂ 浓度 C_i /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Intercellular CO ₂ concentration	气孔导度 G_s /($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) Stomatic conductance	气孔限制值 L_s /% Stomatal limitation value
0	12.78	190.81	0.473	0.499
43	11.83	178.66	0.438	0.531
70	9.87	140.11	0.375	0.632
97	4.91	214.61	0.358	0.435

此表为连翘上午 10 点各项指标数据

表 4 遮荫条件下连翘叶绿素含量及比值的影响

Table 4 Effects of shades on chlorophyll content and proportion in leaves of *Forsythia suspensa*

遮荫度/% Shade degree	叶绿素 a / (mg/g) ChloroPhylla	叶绿素 b / (mg/g) ChloroPhyllb	叶绿素 a+叶绿素 b /(mg/g) Chl a+Ch. l b	叶绿素 a/叶绿素 b /(mg/g) Ch. l a/Ch. l b
0	1.335	0.512	1.847	2.607
43	1.383	0.579	1.962	2.389
70	1.906	0.831	2.757	2.294
97	2.217	1.023	3.240	2.167

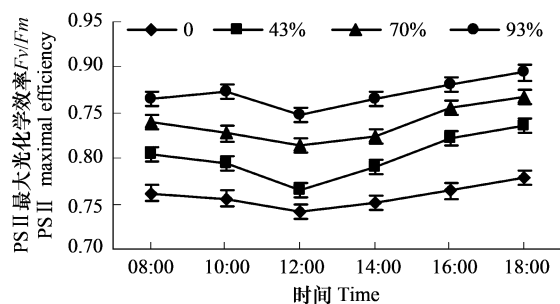
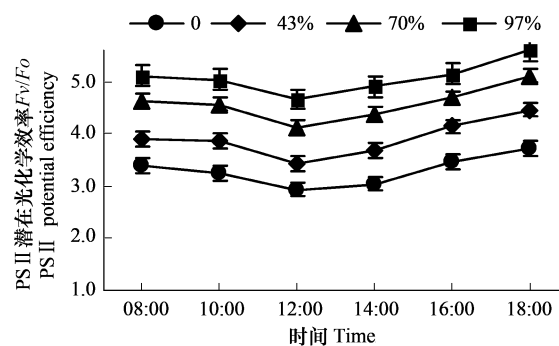
表中数据为平均数±标准差;数据后有不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)

2.5 遮荫对连翘叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光是光合作用的探针,通过对荧光参数的分析可以了解光合机构内部一系列重要的调节过程^[7],进而真实准确地揭示遮荫处理对植物净光合速率的影响机制。08:00—18:00 连翘的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 日动态变化均呈“单谷”曲线(图 6,图 7),且与光强的日变化有对应关系,在 12:00 左右光强最高时 F_v/F_m 和 F_v/F_o 下降最多,说明存在光抑制现象。不同遮荫程度对 F_v/F_m 和 F_v/F_o 均有显著的影响,表现为随着遮荫程度的提高, F_v/F_m 和 F_v/F_o 值均依次上升,说明连翘光反应中心 PS II 最大光化学效率和潜在活性随遮荫度的提高而上升。

3 讨论

植物光补偿点和饱和点的高低直接反映了植物对弱光的利用能力,是植物耐荫性评价的重要指标。一般光补偿点低的植物能在弱光环境中生存。光补偿点低且光饱和点高的植物能适应多种光环境^[8]。本研究认为:连翘随遮荫度增加,光补偿点和光饱和点降低,是对 3 种遮荫环境的生理响应和适应。连翘叶片的光补偿点较低 [$20\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下]、光饱和点较高 [$1000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上],揭示了连翘是一种耐荫性强且能适应多种光环境的植物。

图6 遮荫对连翘荧光参数 F_v/F_m 日变化的影响Fig. 6 Effects of shade on the diurnal variations of PSII maximal efficiency (F_v/F_m) in leaves of *Forsythia suspensa*图7 遮荫对连翘荧光参数 F_v/F_o 日变化的影响Fig. 7 Effects of shade on the diurnal variations of PSII potential efficiency (F_v/F_o) in leaves of *Forsythia suspensa*

表观量子效率是指光合作用机构每吸收 1 mol 光子后光合释放的 O_2 摩尔数或同化 CO_2 的摩尔数^[9-10], Lee 等^[11]和 Osborne 等^[12]的研究认为耐荫植物具有较高表观量子效率,自然状态下捕获光子用于光合作用的能力较强,叶片光合的量子效率通常在 0.02—0.05。连翘在自然光照条件下的表观量子效率接近 0.06,随遮荫度增加量子效率并无明显下降,且遮荫程度大于 70% 时,光合量子效率还高于全光照条件下的。尽管随着遮荫程度的增加连翘日平均光合速率递减,但日平均光合速率与平均光合有效辐射的比值却持续增加,暗呼吸速率随遮荫度增加而显著下降,全光照条件下的暗呼吸速率为遮荫 97% 处理的 1.87 倍。这说明连翘在荫生环境下,捕获光子用于光合作用的能力得到增强并可大幅降低呼吸消耗,以维持植株正常生长。

叶绿素是光合作用的光敏催化剂,与光合作用密切相关,其含量和比例是植物适应和利用环境因子的重要指标。叶绿素重要的性质是能选择性的吸收光,叶绿素中的两个主要成分叶绿素 a 和叶绿素 b 有不同的吸收光谱。叶绿素 a 在红光部分的吸收带偏向长光波方面,叶绿素 b 则在蓝紫光部分的吸收带较宽。因此,叶绿素 b 的含量相对提高(a/b 值减小)可使植物提高蓝紫光的利用效率^[13-14],适应于遮荫处生长。同时研究表明,对耐荫植物的适度遮荫可使植物单位叶面积的叶绿素含量增加。一般说来,叶绿素含量高、叶绿素 a/b 比值小的植物具有较强的耐荫性。遮荫条件下,叶绿素 a+b、叶绿素 b 均增加,叶绿素 a/b 值降低,是植物利用弱光能力强的判断指标^[15]。本研究结果表明,遮荫条件下连翘叶片叶绿素 a+b、叶绿素 a、叶绿素 b 含量均显著高于全光照的,且随遮荫度增加叶绿素含量呈上升趋势,而叶绿素 a/b 的值则随着遮荫程度的提高而下降。这表明,连翘对遮荫环境有较强的适应能力。叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 F_v/F_o 是研究植物光合生理状态的重要参数, F_v/F_m 是指开放的 PS II 反映中心捕获激发能的效率,即内禀光化学效率。 F_v/F_o 表示光反应中心 PS II 的潜在活性。对任何一种植物来说,最大的光能转化效率并不意味着最大的光合速率。这与低光强下几乎所有的激发能被光合电子所利用,有较大的表观电子传递速率值相符。所以 F_v/F_m 的日变化曲线与 P_n 变化相反,呈“单谷”曲线型。这主要因为光强较弱的早晨及傍晚,叶片吸收的光能最大限度的用于光化学反映,随着光强的增加,叶片把光能较多的分配到热耗散。一天中,中午时分虽然分配到光化学反应的能量比例减少,但中午吸收的光强最多,所以光反应速度最大。连翘 F_v/F_m 和 F_v/F_o 日变化均呈“单谷”曲线,且随着遮荫程度的提高, F_v/F_m 和 F_v/F_o 值均依次上升,进一步表明连翘具有较强的耐荫性。

综上所述,随遮荫度增加,连翘可通过降低叶绿素 a/b、光饱和点、光补偿点、暗呼吸速率和升高叶绿素 a+b、叶绿素 b 含量、光能利用效率来适应弱光环境。荧光参数的变化从光合作用内部变化角度进一步揭示了连翘对弱光环境的适应性。连翘是一种耐阴性强且能适应多种光环境的观赏植物,可在遮光度为 43%—97% 的光环境中生存。

References:

- [1] Jiao L L, Lu B S, Zhou R J, Bai Z Y, Liang H Y, Zhen H W. Effects of shading on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence

- parameters of leaf in David maple (*Acer davidii* Franch). *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(1):173-178.
- [2] Wang Y, Su X H, Peng Z H. Review of studies on plant shade-tolerance. *Forest Research*, 2002, 15(3):349-355.
- [3] Cai Y P, Li L, Li H S, Luo B S, Lin Y. Daily change of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Dendrobium huoshanense*. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(6):778-783.
- [4] Zhang Y J, Feng Y L. Difference in light acclimation mechanisms between light-loving and shade-tolerant ficus species. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2004, 30(3):297-304.
- [5] Zhang Y X, Li G Q, Zhang Q, Zhang H, Zhu L, Wan H X. The preliminary research on photosynthetic characteristics of *Apocynum venetum* under different shading. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(12):2555-2558.
- [6] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317-345.
- [7] Zhang B B, Jing W B, Weng M L, Han J. Research progress on photosynthetic characteristics of horticulture and landscape tree species under shading condition. *Nonwood Forest Research*, 2009, 27(3):115-119.
- [8] Cai S Z, Chen Q B, Pan Y Z, Ye C, Xu X G, Song G P. Effects of photosynthetic characters and chlorophyll fluorescence parameters on *A. splendens* under different sun-shading treatments. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2004, 22(4):326-331.
- [9] Yu S W. *Plant physiology and Molecular Biology*. Beijing: Science Press, 1992.
- [10] Xu D Q. Non-uniform stomatal closure and non-stomatal limitation of photosynthesis. *Plant Physiology Communications*, 1995, 31(4):246-252.
- [11] Lee D W, Bone R A, Tarsis S L, Storch D. Correlates of leaf optical properties in tropical forest sun and extreme-shade plants. *American Journal of Botany*, 1990, 77(3):370-380.
- [12] Björkman O, Holmgren P. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats. *Physiologia Plantarum*, 1963, 16(4):889-914.
- [13] Boardman N K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 1977, 28:355-377.
- [14] Goodwin T W. *The biochemistry of Carotenoids*. Plant, Chapman and Hall, 1980, 5 (1):529.
- [15] Liu Y Q, Sun X Y, Wang Y, Liu Y. Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *Urtica dioica*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8):3457-3464.

参考文献:

- [1] 缴丽莉, 路丙社, 周如久, 白志英, 梁海永, 甄红伟. 遮光对青榨槭光合速率及叶绿素荧光参数的影响. *园艺学报*, 2007, 34 (1): 173-178.
- [2] 王雁, 苏雪痕, 彭镇华. 植物耐荫性研究进展. *林业科学研究*, 2002, 15(3):349-355.
- [3] 蔡永萍, 李玲, 李合生, 骆炳山, 林毅. 霍山石斛叶片光合速率和叶绿素荧光参数的日变化. *园艺学报*, 2004, 31(6):778-783.
- [4] 张亚杰, 冯玉龙. 喜光榕树和耐荫榕树光适应机制的差异. *植物生理与分子生物学报*, 2004, 30 (3):297-304.
- [5] 张永霞, 李国旗, 张琦, 张浩, 朱莉, 万海霞. 不同遮荫条件下罗布麻光合特性的初步研究. *西北植物学报*, 2007, 27(12):2555-2558.
- [7] 张斌斌, 姜卫兵, 翁忙玲, 韩健. 遮阴对园艺园林树种光合特性的影响. *经济林研究*, 2009, 27(3):115-119.
- [8] 蔡仕珍, 陈其兵, 潘远智, 叶充, 胥晓刚, 宋国平. 遮光对花叶细辛光合特性和荧光参数的影响. *四川农业大学学报*, 2004, 22(4): 326-331.
- [9] 余叔文. *植物生理与分子生物学*. 北京: 科学出版社, 1992.
- [10] 许大全. 气孔的不均匀关闭与光合作用的非气孔限制. *植物生理学通讯*, 1995, 31(4):246-252.
- [15] 刘悦秋, 孙向阳, 王勇, 刘音. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响. *生态学报*, 2007, 27(8):3457-3464.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 7 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Seasonal variation of soil nitrogen pools and microbes under natural evergreen broadleaved forest and its artificial regeneration forests in Southern Sichuan Province, China	GONG Wei, HU Tingxing, WANG Jingyan, et al (1763)
Sensitivity analysis for main factors influencing <i>NPP</i> of forests simulated by IBIS in the eastern area of Northeast China	LIU Xi, GUO Qingxi, LIU Jingwei (1772)
Diurnal changes of photosynthetic characteristics of <i>Hippophae rhamnoides</i> and the relevant environment factors at different slope locations	JIN Tiantian, FU Bojie, LIU Guohua, et al (1783)
Interactive effects of nitrogen and sulfur on the reproduction, biomass accumulation and allocation of the clonal plant <i>Spartina alterniflora</i>	GAN Lin, ZHAO Hui, QING Hua, et al (1794)
Difference in leaf photosynthetic capacity between pima cotton (<i>Gossypium barbadense</i>) and upland cotton (<i>G. hirsutum</i>) and analysis of potential constraints	ZHANG Yali, YAO Hesheng, LUO Yi, et al (1803)
Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Forsythia suspensa</i>	WANG Jianhua, REN Shifu, SHI Baosheng, et al (1811)
Growth and metal uptake of three woody species in lead/zinc and copper mine tailing	SHI Xiang, CHEN Yitai, WANG Shufeng, et al (1818)
GMP particles size distribution in grains of wheat in relation to application of nitrogen fertilizer	WANG Guangchang, WANG Zhenlin, CUI Zhiqing, et al (1827)
Damaging mechanisms of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.) photosystems caused by high-temperature and drought under high irradiance	QIN Liqin, ZHANG Yueli, GUO Feng, et al (1835)
The effect of natural factors and disturbance intensity on spacial heterogeneity of plant diversity in alpine meadow	WEN Lu, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (1844)
Modeling changes of net primary productivity of karst vegetation in southwestern China using the CASA model	DONG Dan, NI Jian (1855)
The characteristics of <i>Magnolia liliflora</i> transpiration and its impacting factors in Beijing City	WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (1867)
Ecological effects of balanced fertilization on red earth paddy soil with P-deficiency	CHEN Jianguo, ZHANG Yangzhu, ZENG Xibai, et al (1877)
Effects of planting patterns on water use efficiency in winter wheat	QI Lin, CHEN Yuhai, ZHOU Xunbo, et al (1888)
Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau	PANG Junzhu, WANG Xiaoke, MU Yujing, et al (1896)
Effects of hardening by pre-anthesis waterlogging on grain yield and quality of post-anthesis waterlogged wheat (<i>Triticum aestivum</i> L. cv Yangmai 9)	LI Chengyong, CAI Jian, JIANG Dong, et al (1904)
Effects of simulated acid rain with lower S/N ratio on gas exchange and membrane of three dominant species in subtropical forests	FENG Lili, YAO Fangfang, WANG Xihua, et al (1911)
Molluscicidal efficacy of <i>Nerium indicum</i> cardiac glycosides on <i>Pomacea canaliculata</i> and its effects on rice seedling	DAI Lingpeng, LUO Weihua, WANG Wanxian (1918)
Spatial gradients pattern of landscapes and their relations with environmental factors in Haihe River basin	ZHAO Zhixuan, ZHANG Biao, JIN Xin, et al (1925)
The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China	WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen (1936)
Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake: a case study of Yandong Lake in Wuhan City	WANG Fengzhen, ZHOU Zhixiang, ZHENG Zhongming (1946)
Explaining the abundance-distribution relationship of plant species with niche breadth and position in the Yellow River Delta	YUAN Xiu, MA Keming, WANG De (1955)
Forestland boundary dynamics based on an landscape accessibility analysis in Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (1962)
Changes in invasion characteristics of <i>Dendroctonus valens</i> after introduction into China	PAN Jie, WANG Tao, WEN Junbao, et al (1970)
Population genetic diversity in Tibet red deer (<i>Cervus elaphus wallichi</i>) revealed by mitochondrial <i>Cyt b</i> gene analysis	LIU Yanhua, ZHANG Minghai (1976)
Multi-scales analysis on diversity of desert rodent communities under different disturbances	YUAN Shuai, WU Xiaodong, FU Heping, et al (1982)
Cave-site selection of Qinling zokors with their prevention and control	LU Qingbin, ZHANG Yang, ZHOU Caiquan (1993)
The habitat characteristics of Eurasian badger in Beijing-Hangzhou Grand Canal embankment	YIN Baofa, LIU Yuqing, LIU Guoxing, et al (2002)
Review and Monograph	
Electron transfer mechanism of extracellular respiration: a review	MA Chen, ZHOU Shungui, ZHUANG Li, et al (2008)
The biochemical mechanism and application of anammox in the wastewater treatment process	WANG Hui, LIU Yanping, TAO Ying, et al (2019)
Discussion	
Evaluation of the forest ecosystem services in Haihe River Basin, China	BAI Yang, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (2029)
Scientific Note	
Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of <i>Macra chinensis</i> Philippi	ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al (2040)
Study on microzooplankton grazing in shrimp pond among middle and late shrimp culture period	ZHANG Litong, SUN Yao, ZHAO Congming, et al (2046)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1~9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任:孔红梅

执行编辑:刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 7 期 (2011 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 7 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元