

# 五氯酚胁迫对转基因杨树光合光响应特性的影响

向仰州<sup>1</sup>, 姚斌<sup>2\*</sup>, 尚鹤<sup>2</sup>, 刘惠文<sup>2</sup>, 刘方<sup>3</sup>, 陈展<sup>2</sup>

1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510000; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所//  
国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091; 3. 贵州大学资源与环境工程学院, 贵州 贵阳 550003

**摘要:** 以从美国引入的转基因杨树(*Populus deltoides* × *nigra*, DN34)为材料, 设置0、50、100 mg·kg<sup>-1</sup>三个五氯酚胁迫质量分数开展温室盆栽试验, 利用 Li-6400 便携式光合作用测量系统研究五氯酚污染胁迫下转基因杨树对光强的生理响应。结果表明: 与对照相比, 相同光强下 50 和 100 mg·kg<sup>-1</sup> 质量分数的五氯酚胁迫均降低了转基因杨树叶片的净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 摩尔分数( $C_i$ )和气孔导度( $G_s$ )。因此高质量分数五氯酚比低质量分数五氯酚对转基因杨树光合作用产生更大的抑制响应。

**关键词:** 五氯酚胁迫; 转基因杨树; 光响应; 光合作用

**中图分类号:** X171.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-5906 (2009) 06-2146-05

五氯酚(pentachlorophenol, PCP)是一种环境优先监测的持久性有机污染物<sup>[1]</sup>, 曾在世界范围内广泛应用, 主要用于木材防腐、除草、消毒杀菌<sup>[2]</sup>。五氯酚具有在环境介质和生物体内难分解、停留时间长等特点, 是土壤、水体中常见的有毒污染物之一<sup>[3-4]</sup>。目前全球已普遍停止使用五氯酚, 但在许多国家和地区的土壤、沉积物、地表水、地下水等环境中仍然检测到五氯酚<sup>[5]</sup>, 威胁人类健康。因而如何经济高效的修复土壤环境中的五氯酚污染成为当前的一个研究热点, 通过物理、化学、生物及联合方式修复五氯酚污染已有较多研究<sup>[6-9]</sup>。而利用植物修复五氯酚污染环境因成本低、易大面积实施、环境风险小等优点备受关注<sup>[7]</sup>。现今关于五氯酚植物修复研究取得了一定的进展<sup>[7]</sup>, 但有关其胁迫对植物光合特性的影响研究较少。本文以从美国引进的对多种有机污染物具有强转化能力的转基因杨树(*Populus deltoides* × *nigra*, DN34)为供试材料, 研究五氯酚胁迫下转基因杨树叶片的净光合速率( $P_n$ )、胞间CO<sub>2</sub>摩尔分数( $C_i$ )、气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )对光合有效辐射强度的响应, 旨在明确PCP胁迫对转基因杨树光合特性的影响, 为进一步解释五氯酚污染与转基因杨树光合作用之间的关系提供一些理论依据, 同时为更好的利用其进行污染修复作有益的探索。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试土壤采自北京昌平, 取土深度范围 0~15

cm。新鲜土样剔除杂质分成两部分, 一部分直接过 2 mm 孔径的筛, 混合均匀, 供盆栽试验用; 另一部分土样风干后, 研磨过 60 目孔径的筛, 用于土样基本性质的测定及污染母土的制备。供试土壤的基本理化性质: 砂粒 26.0%(w), 粉粒 24.3%(w), 粘粒 49.7%(w), 有机碳 10.96 g·kg<sup>-1</sup>, 阳离子交换量(CEC) 8.5 cmol·kg<sup>-1</sup>, pH(H<sub>2</sub>O) 8.46, 全氮 4.03 g·kg<sup>-1</sup>, 全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 4.28 g·kg<sup>-1</sup>, 全钾 15.07 g·kg<sup>-1</sup>。

试验用五氯酚标准品购于北京迪马公司, 纯度 ≥98.5%; 甲醇为分析纯化学试剂。

供试转基因杨树(*Populus deltoides* × *nigra*, DN34)由美国密苏里-罗拉大学 Joel Gerard Burken 博士提供; 将引进的插条进行扦插育苗, 备用。

### 1.2 试验设计及测定方法

将经准确计算称量的五氯酚标准品与甲醇混合均匀后, 参照文献[9]的方法配制 50 mg·kg<sup>-1</sup> (PCP<sub>50</sub>) 和 100 mg·kg<sup>-1</sup> (PCP<sub>100</sub>) 人工污染土壤; 另设相同重量未加五氯酚的土壤作对照处理, 各处理均 5 次重复。制备好的污染土壤装入规格为 16 cm×30 cm (宽×高) 的塑料盆中, 放置于中国林业科学研究院温室。平衡 1 周后选取健康、个体均一的转基因杨树扦插苗(50 日龄)植于盆中, 1 株/盆。定期浇水, 维持土壤含水量为最大田间持水量的 65%, 满足杨树正常生长需水。杨树生长期定期松土, 保水透气。

杨树移栽 60 d 后, 选取 2 个晴朗日, 在 9:00-11:30 期间进行光响应测定试验。选取所测植

**基金项目:** 中央公益型科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFRIF200706); 国家自然科学基金项目(30700637); 国家林业局“948”项目(2002-16)

**作者简介:** 向仰州(1983年生), 男, 博士研究生, 主要从事速生树种经营研究。E-mail: yzhxiang18@126.com

**\*通讯作者:** 姚斌(1973年生), 男, 副研究员, 主要从事污染生态恢复及生态监测研究。E-mail: acmn21@caf.ac.cn

**收稿日期:** 2009-09-17

株中上部叶片, 设定一系列光合有效辐射 (photosynthetically active radiation, PAR) 梯度: 0、20、50、80、100、200、600、1200、1600、2000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。利用 LI-6400 便携式光合作用系统 (LI-COR, Inc, USA) 进行光响应测定, 测定的主要指标有叶片净光合速率 ( $P_n$ )、胞间  $\text{CO}_2$  摩尔分数 ( $C_i$ )、气孔导度 ( $G_s$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )。仪器状态稳定后开始测量, 叶室温度 ( $28\pm 0.5$ )  $^{\circ}\text{C}$ , 样本室  $\text{CO}_2$  摩尔分数为 ( $380\pm 10$ )  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ , 气体流速  $0.5\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

### 1.3 数据处理

将 LI6400 便携式光合作用系统 (LI-COR, Inc, USA) 所测量的数据输入电脑, 利用 DPS2000 统计分析软件包<sup>[10]</sup>和 Excel 表格进行数据处理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 五氯酚胁迫下转基因杨树叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 对光强的响应

光合速率的光响应曲线反映了植物光合速率随光照强度改变的变化规律<sup>[11]</sup>。光强增加对不同植物光合速率的响应存在区别: 一些植物光合速率随光强增加而达到最高点之后, 若继续增加光强, 光合效率反而降低<sup>[12]</sup>; 另一些植物光合速率随光强增加而达到最高点后, 光强继续增加, 光合速率虽不再提高, 但在较大的光强范围内保持相对恒定<sup>[11]</sup>。五氯酚胁迫下杨树净光合速率-光响应曲线属于后者 (图 1)。当 PAR 为  $0\sim 500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时, 参试杨树处理的净光合速率骤然上升, 几乎呈直线上升趋势; 当到  $500\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  以后,  $P_n$  上升缓慢, 逐渐趋于平稳, 以后降幅趋缓。PCP 处理在 PAR  $1200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时,  $P_n$  到达最大点, 之后随 PAR 的增加微弱下降, 降幅很小, 光抑制不明显。长时间的强光照辐射能引起叶片光合活性的降低, 称光抑制现象。光抑制是植物光合作用非气孔限制因素的主要

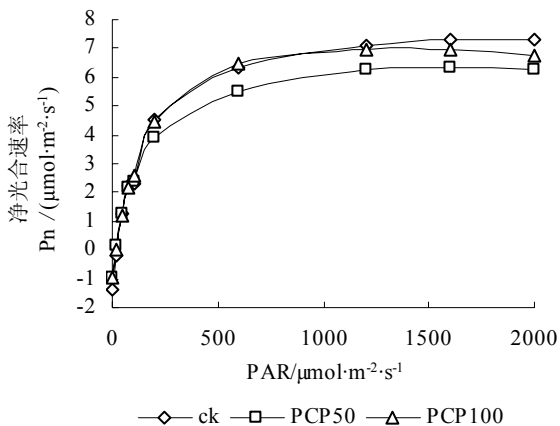


图 1 PCP 胁迫下转基因杨树净光合速率-光响应曲线

Fig.1  $P_n$ -light response curve of the transgenic poplar under pentachlorophenol stress

形式, 它的最明显特征是表观量子效率的降低。

利用二项式回归和直线回归<sup>[13-14]</sup>, 可以得到杨树不同处理的最大光合速率 ( $P_{\max}$ )、暗呼吸速率、光饱和点、光补偿点等相关光合参数及其表观量子效率。结果见表 1。

表 1 各处理的光合生理参数  
Table 1 Photosynthetic physiological properties under different treatments

w(PCP)	光饱和点 LSP ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	光补偿点 LCP ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	暗呼吸速率 Rd ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	最大净光合速率 $P_{\max}$ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	表观量子效率 AQY
0	271.25	22.50	-0.63	6.94	0.028
50	290.90	10.90	-0.25	6.44	0.023
100	268.70	15.31	-0.40	6.67	0.026

经回归计算得出, 三处理的光饱和点在  $268.70\sim 290.90\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之间, 差异不大。三处理光饱和点均不高, 说明其对高光强的适应性不强。光补偿点 (LCP) 反映了植物利用弱光的强弱<sup>[13]</sup>, LCP 越低, 对弱光的利用能力越强<sup>[14]</sup>。光补偿点范围从在  $10.90\sim 22.50\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之间, 最大的为对照组, 最小的轻度污染组 (PCP<sub>50</sub>), 说明五氯酚污染土壤增大杨树的耐阴性。耐荫的强弱顺序依次为: PCP<sub>50</sub> > PCP<sub>100</sub> > 对照组; 暗呼吸速率 (Rd) 均为负值, 表明 3 个杨树处理的暗呼吸速率偏小, 说明叶片的代谢能力较强<sup>[15-16]</sup>, 有利于光合作用。最大光合速率 ( $P_{\max}$ ) 反应植物的生长能力, 三处理的  $P_{\max}$  数值集中在  $6.44\sim 6.94\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  之间, 差异不显著。

由此表明, 五氯酚污染胁迫对供试杨树的生长抑制不显著。表观量子效率 (AQY) 反映叶片在低 PAR 下光合作用的光化学效率, 表征植物利用弱光的能力的强弱<sup>[17]</sup>。AQY 值大, 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<sup>[18]</sup>。三杨树处理的 AQY 大小顺序为: ck > PCP<sub>100</sub> > PCP<sub>50</sub>。结果显示, 五氯酚污染胁迫降低了供试杨树对弱光的利用能力。

### 2.2 五氯酚胁迫下转基因杨树叶片胞间 $\text{CO}_2$ 摩尔分数 ( $C_i$ ) 对光强的响应

胞间  $\text{CO}_2$  摩尔分数 ( $C_i$ ) 是外界  $\text{CO}_2$  气体进入叶肉细胞过程中所受各种驱动力和阻力以及叶片内部光合作用和呼吸作用的最终平衡结果<sup>[19]</sup>。驱动力主要由叶片内外的  $\text{CO}_2$  摩尔分数差来体现<sup>[20]</sup>。随着 PAR 增大, ck、PCP<sub>50</sub> 及 PCP<sub>100</sub> 处理叶片的  $C_i$  均呈现降低的趋势 (图 2)。  $C_i$  在 PAR 为  $0\sim 200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  范围内骤然降低。当 PAR 增大到  $200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  以后, ck 叶片的  $C_i$  不再降低, PCP<sub>50</sub> 及 PCP<sub>100</sub> 胁迫处理的  $C_i$  在 PAR 分别达到  $600\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $1200\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  时达到平衡。观测

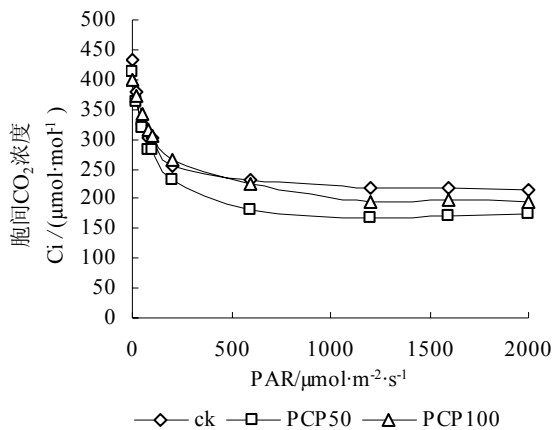


图2 PCP胁迫下转基因杨树胞间CO<sub>2</sub>摩尔分数-光响应曲线  
Fig.2 C<sub>i</sub>-light response of C<sub>i</sub> of the transgenic poplar under pentachlorophenol stress

结果表明五氯酚胁迫强度增大导致转基因杨树的C<sub>i</sub>降低点随PAR增大而延迟。ck、PCP<sub>50</sub>及PCP<sub>100</sub>处理叶片C<sub>i</sub>最大降低幅度分别是217、241和204 μmol·mol<sup>-1</sup>,表明随PAR增大,低质量分数五氯酚胁迫引起叶片的C<sub>i</sub>降低值大于高质量分数处理。

### 2.3 五氯酚胁迫下转基因杨树叶片蒸腾速率(T<sub>r</sub>)对光强的响应

不同五氯酚胁迫处理杨树叶片的T<sub>r</sub>随PAR增大而增大(图3),三处理叶片的T<sub>r</sub>均与PAR呈极显著正相关( $r_{ck}=0.9844^{**}$ ;  $r_{50}=0.9967^{**}$ ;  $r_{100}=0.9919^{**}$ )。相同PAR下,PCP<sub>100</sub>胁迫处理叶片的T<sub>r</sub>大于PCP<sub>50</sub>,但二者的T<sub>r</sub>均低于ck。结果显示相同PAR下,五氯酚胁迫导致杨树叶片的T<sub>r</sub>降低,但叶片的T<sub>r</sub>未随五氯酚胁迫强度增大而依次减小,具体表现为PCP<sub>50</sub>胁迫对杨树T<sub>r</sub>的抑制作用大于PCP<sub>100</sub>处理。

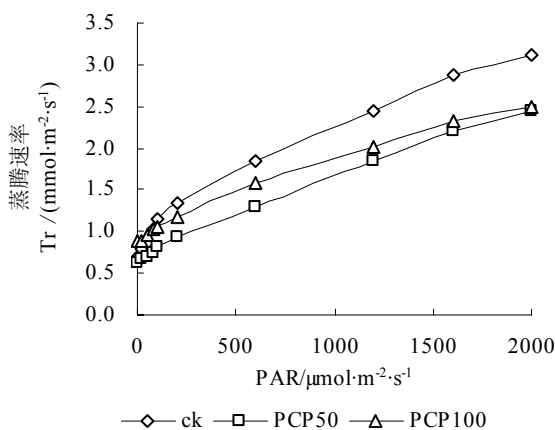


图3 PCP胁迫下转基因杨树蒸腾速率-光响应曲线  
Fig.3 T<sub>r</sub>-light response curve of the transgenic poplar under pentachlorophenol stress

### 2.4 五氯酚胁迫下转基因杨树叶片气孔导度(G<sub>s</sub>)对光强的响应

气孔是植物叶片与外界进行气体交换的主要

通道<sup>[21]</sup>,气孔可以根据环境条件的变化来调节自己开度的大小而使植物在损失水分较少的条件下获取最多的CO<sub>2</sub>。图4显示。当PAR为0 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>时,PCP<sub>50</sub>胁迫处理的G<sub>s</sub>与ck接近,PCP<sub>100</sub>胁迫处理的G<sub>s</sub>是ck的2倍(图4)。表明低PAR条件下,高质量分数五氯酚胁迫改变叶片的G<sub>s</sub>。叶片的G<sub>s</sub>在PAR为0~200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>范围增加比较明显。以后伴随PAR增大,三处理叶片G<sub>s</sub>的上升趋势比较平缓。当PAR为600 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>时,PCP<sub>100</sub>胁迫处理叶片G<sub>s</sub>达到最大值,ck及PCP<sub>50</sub>胁迫处理叶片G<sub>s</sub>仍在继续上升。结果表明PAR增大到一定程度后,高质量分数PCP胁迫会导致叶片G<sub>s</sub>下降,具体原因有待证实。图4结果表明,PAR在0~200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>范围时,各处理叶片G<sub>s</sub>的大小是:PCP<sub>100</sub>>ck>PCP<sub>50</sub>;PAR在200~2000 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>范围时,各处理叶片G<sub>s</sub>的大小是:ck>PCP<sub>100</sub>>PCP<sub>50</sub>,结果表明低PAR条件下,高质量分数五氯酚胁迫对叶片的G<sub>s</sub>产生刺激作用,低质量分数PCP胁迫表现抑制作用;高PAR条件下,高、低质量分数五氯酚对叶片G<sub>s</sub>均产生抑制作用,但低质量分数PCP胁迫抑制作用大于高质量分数。

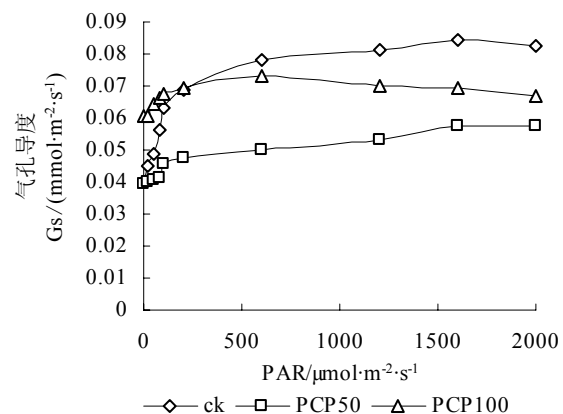


图4 PCP胁迫下转基因杨树气孔导度-光响应曲线  
Fig.4 G<sub>s</sub>-light response curve of the transgenic poplar under pentachlorophenol stress

## 3 小结

五氯酚胁迫对植物生长和代谢的影响是多方面的,植物光合作用对光强的响应<sup>[22]</sup>与其生理活性<sup>[17]</sup>密切相关,光合响应曲线反映了植物光合速率随光照强度改变的变化规律<sup>[11]</sup>。本文的研究结果表明,与对照相比,相同光强下50和100 mg·kg<sup>-1</sup>质量分数的五氯酚胁迫均降低了转基因杨树叶片的净光合速率(P<sub>n</sub>)、蒸腾速率(T<sub>r</sub>)、胞间CO<sub>2</sub>摩尔分数(C<sub>i</sub>)和气孔导度(G<sub>s</sub>);低质量分数五氯酚比高质量分数五氯酚对转基因杨树光合作用产生更大的抑制响应,初步推断可能的原因为土壤微生物对特定的污染物有一个耐受范围,五氯酚进入土壤环境后

对植物根际微域微生物产生影响,土壤微生物受到抑制,严重时杀灭土壤中的有益微生物,或有毒微生物积聚,导致土壤中的有机物分解为无机物迟缓,植物光合作用所需的水、二氧化碳以及其他矿物质元素等的补充受到影响导致植物光合速率下降,合成有机物减少。植物根系分泌物是由光合作用合成的有机物通过生物化学循环形成的。植物光合作用受损必然导致根系为土壤有益微生物提供的有益物质逐渐减少,甚至枯竭<sup>[20]</sup>。这样的恶性循环持续发生,植物光合作用减弱,从而导致光合参数发生异常。相关机理还有待于结合先进的分析测试技术作进一步的研究。

**致谢:** 美国密苏里-罗那大学 Joel Gerard Burken 博士提供实验用转基因杨树插条;白莉萍博士、李春燕硕士在光合测定中给予了大力协助。特此致谢。

#### 参考文献:

- MIDDAUGH D P, THOMAS R L, LANTZ S E, et al. Field-scale testing of a hyperfiltration unit for removal of creosote and pentachlorophenol from ground water: chemical and biological assessment[J]. Arch Environ Contam Toxicol, 1994, 26: 309-319.
- ROSALIA S, MARIA A R, LILIANA G. Response of an agricultural soil to pentachlorophenol (PCP) contamination and the addition of compost or dissolved organic matter[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2008, 40: 2162-2169.
- WANG P, WOODWARD C A, KAUFMAN E N. Poly (ethylene glycol)-modified ligninase enhances pentachlorophenol biodegradation in water-solvent mixtures[J]. Biotechnology and Bioengineering, 1998, 64: 290-297.
- 张兵, 邦明辉, 刘芄岩, 等. 五氯酚在洞庭湖环境介质中的分布[J]. 中国环境科学, 2001, 21(2): 165-167.  
ZHANG Bing, ZHENG Minghui, LIU Pengyan, et al. Distribution of pentachlorophenol in Dongting Lake environmental medium[J]. China Environmental Science, 2001, 21(2): 165-167.
- U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Pentachlorophenol[M]. Atlanta, Georgia, 1999.
- 孙磊, 蒋新, 周健民, 等. 五氯酚污染土壤的热修复初探[J]. 土壤学报, 2004, 41(3): 462-465.  
SUN Lei, JIANG Xin, ZHOU Jianmin, et al. preliminary study on the thermal remediation of pentachlorophenol contaminated soil[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(3): 462-465.
- TAKASHI N, TAKAYUKI M, YOSHIKATSU S, et al. Biotransformation of pentachlorophenol by Chinese chive and a recombinant derivative of its rhizosphere-competent microorganism, *Pseudomonas gladioli* M-2196[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2004, 36: 787-795.
- 何艳. 五氯酚的水土界面行为及其在毫米级根际微域中的消减作用[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
HE Yan. The interface behavior of Pentachlorophenol in soil-water system and its dissipation process in millimeter rhizosphere[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- 姚斌, 徐建明, 尚鹤, 等. 阿特拉津污染土壤的微生物特征研究[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 46-49.  
YAO Bin, XU Jianmin, SHANG He, et al. Study on ecological effect of atrazine on soil microbial activity[J]. 2005, 19(3): 46-49.
- 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 35-460.  
TANG Qiyi, FENG Guangming. DPS Data Processing System for Practical Statistics[M]. Beijing: Science Press, 2002: 35-460.
- 董合忠, 李维江, 唐薇, 等. 大田棉花叶片光合特性的研究[J]. 山东农业科学, 2000(6): 7-10.  
DONG Hezhong, LI Weijiang, TANG Wei, et al. Photosynthetic characters of field grown cotton leaves[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2000(6): 7-10.
- 江力, 曹树青, 戴新宾, 等. 光强对烟草光合作用的影响[J]. 中国烟草学报, 2000, 6(4): 17-20.  
JIANG Li, CAO Shuqing, DAI Xinbin, et al. Effect of different light intensity on photosynthesis of tobacco[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2000, 6(4): 17-20.
- 刘宇锋, 萧浪涛, 童建华, 等. 非直线双曲线模型在光合光响应曲线数据分析中的应用[J]. 农业基础科学, 2005, 21(8): 76-79.  
LIU Yufeng, XIAO Langtao, TONG Jianhua, et al. Primary application on the non-rectangular hyperbola model for photosynthetic light-response curve[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(8): 76-79.
- SCHOLES J D, PRESS M C, ZIPPEDEEN S W. Differences in light energy utilization and dissipation between dipterocarp rain forest tree seedlings[J]. Oecologia, 1997, 109: 41-48.
- 郭春芳, 孙云, 张木清. 土壤水分胁迫对茶树光合作用-光响应特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1413-1418.  
GUO Chunfang, SUN Yun, ZHANG Muqing. Effect of soil water stress on photosynthetic light response curve of tea plant (*Camellia sinensis*) [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(6): 1413-1418.
- 邹科楠, 齐华, 孟显华, 等. 不同燕麦品种灌浆初期光响应曲线研究[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(2): 287-290.  
ZOU Zhongnan, QI Hua, MENG Xianhua, et al. Study on light-response curve of photosynthesis of different oat varieties at early grain filling stage[J]. Journal of Triticeae Crops, 2008, 28(2): 287-290.
- 王爱民, 祖元刚. 大兴安岭不同演替阶段白桦种群光合生理生态特征[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(2): 190-193.  
WANG Aimin, ZU Yuangang. Photosynthetic Characteristics of birch during different succession stages in great xingan mountain[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2005, 27(2): 190-193.
- 吴承祯, 侯智勇, 洪伟, 等. 桉树无性系光合光响应研究[J]. 福建林学院学报, 2008, 28(3): 198-202.  
WU Chengzhen, HOU Zhiyong, HONG Wei, et al. Study on light response of photosynthesis of eucalyptus clones[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2008, 28(3): 198-202.
- 郭兴启, 吕士恩, 朱常香, 等. 利用 RNA 介导的抗病性获得高度抗马铃薯 Y 病毒的转基因烟草[J]. 植物病理学报, 2001, 31(4): 349-356.  
GUO Xingqi, LU Shien, ZHU Changxiang, et al. Ma-mediated viral resistance against potato virus Y (PVY) in transgenic tobacco plants[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2001, 31(4): 349-356.

- [20] 罗时石,王泽港,冯绪猛,等.农药对水稻叶片光合产物输出速率影响的示踪动力学研究[J].中国农业科学,2002,35(9):1085-1089.  
LUO Shishi, WANG Zegang, FENG Xumeng, et al. Study on tracer dynamics of effects of pesticides on export rate of photosynthate of rice leaves[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(9): 1085-1089.
- [21] 彭世彰,张瑞美,茆智,等.节水灌溉条件下寒区水稻气孔阻力变化及其影响因素研究[J].水利学报,2007,38(2):191-197.  
PENG Shizhang, ZHANG Ruimei, MAO Zhi, et al. Variation of stomatal resistance and influence factors of rice in cold paddy under water-saving conditions[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(2): 191-197.
- [22] 王树起,韩晓增,乔云发.根系分泌物的化感作用及其对土壤微生物的影响[J].土壤通报,2007,38(6):1219-1226.  
WANG Shuqi, HAN Xiaozeng, QIAO Yunfa. Allelopathy of root exudates and their effects on rhizosphere microorganism[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2007, 38(6): 1219-1226.

## Photosynthesis light response characteristics of transgenic poplars under pentachlorophenol stress

XIANG Yangzhou<sup>1</sup>, YAO Bin<sup>2\*</sup>, SHANG He<sup>2</sup>, LIU Huiwen<sup>2</sup>, CHEN Zhan<sup>2</sup>, LIU Fang<sup>3</sup>

1. Research Institute of Tropic Forestry, CAF, Guangzhou 510000, China;

2. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF//Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China;

3. College of Resource and Environment Engineering, Guizhou University, Guiyang 550003, China

**Abstract:** To investigate photosynthetic properties of transgenic poplar (*Populus deltoides* × *nigra*, DN34) under pentachlorophenol (PCP) stress. The transgenic poplars were introduced from USA. With soil culture, the transgenic poplars were cultured in the greenhouse of Chinese Academy of Forestry with different PCP stress under treatments of 0, 50 and 100 mg·kg<sup>-1</sup>. In two months, photosynthetic parameters of second mature leaf of every transgenic poplar were determined in the same photosynthetic active radiation (PAR) through Li-6400 portable photosynthetic system. The results showed that compared with the control, the values of net photosynthetic rate ( $P_n$ ), intercellular CO<sub>2</sub> concentration ( $C_i$ ), transpiration rate ( $T_r$ ) and stomatal conductance ( $G_s$ ) decreased under the 50 and 100 mg·kg<sup>-1</sup> PCP stress treatment. These results implied that the high PCP concentration stress has stronger inhibitory capability of the photosynthesis for the transgenic poplar than the low PCP stress.

**Key words:** pentachlorophenol stress; transgenic poplar; light response; photosynthesis