

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 2013

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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第5期 2013年3月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制 ..... 王晶苑, 张心昱, 温学发, 等 (1337)  
工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展 ..... 梁淑敏, 许艳萍, 陈 裕, 等 (1347)  
最佳管理措施评估方法研究进展 ..... 孟凡德, 耿润哲, 欧 洋, 等 (1357)  
灌木年轮学研究进展 ..... 芦晓明, 梁尔源 (1367)

### 个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局 ..... 王艳兵, 德永军, 熊 伟, 等 (1375)  
土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响 ..... 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等 (1386)  
湖北石首麋鹿昼间活动时间分配 ..... 杨道德, 李竹云, 李鹏飞, 等 (1397)  
三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响 ..... 杨 桦, 杨 伟, 杨春平, 等 (1405)

### 种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征 ..... 徐佳奕, 徐兆礼 (1413)  
滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解 ..... 郭绪虎, 肖德荣, 田 昆, 等 (1425)  
安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 ..... 杨文斌, 刘 坤, 周守标 (1433)  
湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 ..... 熊 薇, 郭逍宇, 赵 霖 (1443)  
三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子 ..... 王兆国, 王传宽 (1456)  
不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应 ..... 周 洁, 张志强, 孙 阁, 等 (1465)  
不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 ..... 薛苹苹, 高玉葆, 何兴东 (1475)  
藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 ..... 薛会英, 胡 锋, 罗大庆 (1482)  
铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征 ..... 朱永恒, 沈 非, 余 健, 等 (1495)  
环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 ..... 马 驿, 彭金菊, 王 芸, 等 (1506)  
基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 ..... 孙才志, 高 翳, 朱正如 (1513)

### 景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案 ..... 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 等 (1524)  
不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 ..... 李建兴, 何丙辉, 谌 芸 (1535)  
京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究 ..... 孟 舟, 王明玉, 李小娟, 等 (1545)  
窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素 ..... 雷泳南, 张晓萍, 张建军, 等 (1559)  
模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局 ..... 李明月, 王 健, 王振兴, 等 (1569)  
铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 ..... 王维奇, 李鹏飞, 曾从盛, 等 (1578)

### 资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响 ..... 闫 宁, 王晓清, 王志丹, 等 (1584)

- 佛手低温胁迫相关基因的差异表达 ..... 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)  
美洲棘薺马对不同蔬菜寄主的偏好性 ..... 朱亮,石宝才,官亚军,等 (1607)  
茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 ..... 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)  
造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响 ..... 王烨,席本野,崔向东,等 (1626)  
基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率 ..... 赵晨,王远,谷学明,等 (1636)

### 研究简报

- 太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征 ..... 周彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)  
基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 ..... 贾宝全 (1654)  
薇甘菊萎焉病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响 ..... 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)  
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 ..... ( I )  
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 ..... ( i )

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 338 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 34 \* 2013-03



**封面图说:**美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201210311513

王瑞龙, 潘婉文, 杨娇瑜, 张晖, 夏晴晴, 苏贻娟, 曾任森. 薇甘菊萎蔫病毒感染对薇甘菊光合特性和4种酶活性的影响. 生态学报, 2013, 33(5): 1667-1674.

Wang R L, Pan W W, Yang J Y, Zhang H, Xia Q Q, Su Y J, Zeng R S. Effects of *Mikania micrantha* wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K. . Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): - .

## 薇甘菊萎蔫病毒感染对薇甘菊光合特性 和4种酶活性的影响

王瑞龙<sup>1,2,3</sup>, 潘婉文<sup>1,2,3</sup>, 杨娇瑜<sup>1,2,3</sup>, 张晖<sup>1,2,3</sup>, 夏晴晴<sup>1,2,3</sup>,  
苏贻娟<sup>1,2,3</sup>, 曾任森<sup>1,2,3,\*</sup>

(1. 华南农业大学亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 广州 510642;

2. 农业部华南热带农业环境重点实验室, 广州 510642; 3 广东省普通高等学校农业生态与农村环境重点实验室, 广州 510642)

**摘要:**为明确薇甘菊萎蔫病毒(*Mikania micrantha* *wilt virus*, MMWV)对薇甘菊(*Mikania micrantha*)叶片生理生化的影响,探讨了MMWV侵染对薇甘菊叶片超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)和苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)活性及叶绿素总含量和光合特性的影响。结果表明: MMWV感染薇甘菊16d内叶片的SOD活性均比对照组高,其中第16天达最大值,但接种后第24和32天SOD活性分别比对照低了13.28%和25.37%; POD活性在接种后16—32d均显著高于对照。PPO和PAL变化趋势相似,在接种后第8天这两个酶的活性分别比对照高了77.75%和23.58%,而在第32天分别比对照减少了14.27%和20.53%。随着侵染时间的增加,感病薇甘菊叶片中叶绿素含量减少,叶绿素a/b值逐步降低;同时最大净光合速率( $P_{max}$ )和光饱和点(LSP)分别比健康对照减少了32.34%和12.52%,而对暗呼吸速率( $R_d$ ),光补偿点(LCP)和表观量子效率(AQY)无显著影响。表明MMWV侵染可减低薇甘菊叶片光合作用的效率。

**关键词:**薇甘菊; 薇甘菊萎蔫病毒; 超氧化物歧化酶; 过氧化物酶; 苯丙氨酸解氨酶; 多酚氧化酶; 光合作用

### Effects of *Mikania micrantha* *wilt virus* infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K.

WANG Ruilong<sup>1,2,3</sup>, PAN Wanwen<sup>1,2,3</sup>, YANG Jiaoyu<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Hui<sup>1,2,3</sup>, XIA Qingqing<sup>1,2,3</sup>, SU Yijuan<sup>1,2,3</sup>, ZENG Rensen<sup>1,2,3,\*</sup>

1 State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agricultural Bio-resources, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

2 Key Laboratory of Tropical Agro-environment, Ministry of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

3 Key Laboratory of Agroecology and Rural Environment of Guangdong Regular Higher Education Institutions, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

**Abstract:** *Mikania micrantha* (Compositae) is one of the world's most aggressive weeds and is responsible for substantial damage caused to natural ecosystems and biodiversity in South China. A new virus infecting *Mikania micrantha*, designated *Mikania micrantha* *wilt virus* (MMWV), belongs to a third subgroup of the genus *Fabavirus* and represents a distinct new isolate of *Gentian mosaic virus* (GeMV). Although MMWV is not lethal to *M. micrantha*, MMWV efficiently inhibits the

基金项目:国家自然科学基金项目(31000260, 31100286, 31028018); 广东省自然科学基金项目(S2011040004336)

收稿日期:2012-10-31; 修订日期:2013-01-16

\*通讯作者 Corresponding author. E-mail: rszeng@scau.edu.cn

growth of its host under both laboratory and field conditions. The feasibility of using MMWV to control *M. micrantha* is therefore worth exploring further. To gain further understanding concerning the physiological and biochemical effects of MMWV infection on *Mikania micrantha*, the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), phenylalanine ammonia-lyase (PAL), polyphenol oxidase (PPO), as well as chlorophyll a/b ratios, total chlorophyll content, and photosynthetic activity were evaluated in *M. micrantha* leaf tissues following MMWV infection. In comparison with uninfected control leaves, our results revealed that chlorophyll a, b and total chlorophyll contents, and the ratio of chlorophyll a/b decreased by 30.76%, 18.76%, 26.41% and 17.84%, respectively, by 32 d post-MMWV infection. SOD activity significantly increased and reached maximal levels within 16 d post-infection, however activities at 24 and 32 d were 13.28% and 25.37% lower than those of control (uninfected) plants, respectively. POD activities were significantly higher in leaves of inoculated plants relative to control plants throughout the experimental period, with maximal levels occurring by 24 d post-infection. POD activities at 16, 24 and 32 d post-infection were increased by 16.70%, 41.12% and 16.11%, respectively, relative to levels observed in control plants. The activity of PPO in infected *M. micrantha* leaves reached maximal levels at 8 d post-infection, increasing to 77.75% above control levels, however PPO levels were 14.27% below control levels by 32 d. PAL activities following MMWV infection exhibited a pattern similar to that observed for PPO, increasing to 23.58% above control levels, then subsequently declining to 20.53% below control levels, at 8 and 32 d day post-infection, respectively. Maximal net photosynthetic rate ( $P_{\max}$ ), dark respiration rate ( $R_d$ ), light compensation point ( $LCP$ ), light saturation point ( $LSP$ ) and apparent quantum yield ( $AQY$ ) were  $11.76 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $-2.23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $42.56 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $1063.92 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and  $0.04 \mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ , respectively, in MMWV-infected leaves at 32 d post-infection. In contrast,  $P_{\max}$ ,  $R_d$ ,  $LCP$ ,  $LSP$  and  $AQY$  values were  $17.37 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $-2.43 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $36.21 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $1216.13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  and  $0.05 \mu\text{mol}/\mu\text{mol}$ , respectively, in uninfected leaves at 32 d. In comparison with control leaves,  $P_{\max}$  and  $LSP$  values declined by 32.34 and 12.52% following MMWV infection, however,  $R_d$ ,  $LCP$  and  $AQY$  values showed no significant change during the experimental period. Our results provide key information concerning the reduction of photosynthetic efficiency in leaves of *M. micrantha* associated with MMWV infection.

**Key Words:** *Mikania micrantha* H. B. K.; *Mikania micrantha* wilt virus; superoxide dismutase; peroxidase; phenylalanine ammonia-lyase; polyphenol oxidase; photosynthesis

研究表明,植物体感染病毒后常出现花叶、矮化、叶片皱缩、顶枯等症状,从而使植物的营养生长受到抑制,严重时可引起植物局部或系统坏死<sup>[1-4]</sup>。寄主植物感染病毒后体内会发生复杂的生理生化变化,如光合速率下降,叶绿素降解,叶绿体受到破坏,光化学活性下降等<sup>[3-6]</sup>。病毒侵染可引起与植物抗病反应有关的一些酶类如超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)、苯丙氨酸解氨酶(Phenylalanine ammonia-lyase, PAL)和多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)等活性的变化<sup>[7-10]</sup>。

薇甘菊(*Mikania micrantha* H. B. K.)是菊科(Compositae)假泽兰属(*Mikania*)多年生草质藤本,属世界性杂草,原产地为中南美洲<sup>[11]</sup>,是我国危害性极强的外来入侵植物,目前已经入侵到广东、广西、海南、云南、香港、台湾、澳门等地<sup>[11-13]</sup>。因其生长速度快,种子量巨大且极易扩散,可以覆盖其他植物引起森林生态系统退化,对当地的生态环境造成巨大的破坏<sup>[12-14]</sup>,控制薇甘菊在我国的蔓延已经刻不容缓。

作者发现一种可致使薇甘菊叶片出现萎蔫、叶畸形、皱缩等症状的新病毒,将其命名为薇甘菊萎蔫病毒(*Mikania micrantha* wilt virus, MMWV),该病毒属于豇豆花叶病毒科(Comoviridae)蚕豆病毒属(*Fabavirus*)龙胆花叶病毒(*Gentian mosaic virus*, GeMV)的一种新的分离株<sup>[15-16]</sup>。实验室内和野外试验表明,MMWV 虽不能使薇甘菊致死,但可有效地抑制薇甘菊的生长,MMWV 有可能成为生物防治薇甘菊入侵的方法之一<sup>[15-16]</sup>。

本文从生理生化角度研究了MMWV 侵染对薇甘菊光合特性及与植物抗病反应相关的4种主要酶活性的

影响,旨在探明 MMWV 侵染对薇甘菊生理生化指标的影响,为利用 MMWV 生物防治薇甘菊提供理论参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

MMWV 分离自田间发病的薇甘菊,利用分子生物学方法鉴定属于 MMWV<sup>[15-16]</sup>。

薇甘菊茎段采自华南农业大学试验农场,剪成长度约 9 cm 的茎段,扦插在直径为 16 cm 的花盆中,每盆 1 株。待成活后选长势良好、大小一致的薇甘菊 40 株。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 接种处理

在薇甘菊幼苗长到有 5—6 片叶时,采用常规汁液摩擦方法接种 MMWV,以接种磷酸缓冲液为对照,分别在接种处理后第 8、16、24、32 天采集接种叶片并测定各项指标。

#### 1.2.2 SOD 活性的测定

SOD 的测定参照王爱国<sup>[17]</sup>的方法。称取薇甘菊叶片 0.25 g,液氮研磨后加入 2.5 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液,涡旋 10 s,12000 r/min 离心 15 min,取上清液为酶液,4 ℃保存备用。将 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 1.5 mL,130 mmol/L 甲硫氨酸溶液 0.3 mL,750 μmol/L 氨蓝四唑 0.3 mL,100 μmol/L EDTA-Na<sub>2</sub> 0.3 mL,20 μmol/L 核黄素 0.3 mL,酶液 50 μL,蒸馏水 0.25 mL 加入到比色杯中。混匀后将一管置于黑暗处,其余各管置于 4000 lx 日光灯下反应 20 min。反应结束后,以黑暗处的为空白对照,分别测定吸光度值,重复 4 次。

#### 1.2.3 PAL 活性的测定

PAL 的测定用分光光度法<sup>[18]</sup>。称取薇甘菊叶片 0.1 g,液氮研磨后转移至 2 mL 的离心管中,加入 1 mL PAL 酶提取液,振荡 1 min,4 ℃ 12 000 r/min 离心 15 min,取上清液为酶源,4 ℃保存备用。在试管中各加入 0.02 mol/L L-苯丙氨酸 1 mL,0.05 mol/L Tris-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 缓冲液 2 mL,0.5 mL 酶液,对照只加入 0.5 mL PAL 酶提取液。40 ℃水浴 30 min,在 290 nm 处测吸光度值,以 OD290 nm 值变化 0.01 为一酶活力单位,重复 4 次。

#### 1.2.4 POD 活性的测定

POD 采用愈创木酚法测定,参照袁庆华等<sup>[10]</sup>的方法。称薇甘菊叶片 0.25 g,液氮研磨后转入离心管,加 2.5 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.2,内含 5% 聚乙烯基吡咯烷酮),振荡 10 s,12 000 r/min 离心 15 min,取上清液,4 ℃保存备用。在比色杯中依次加入 1 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.2),1 mL 0.1 mol/L 愈创木酚,1 mL 0.8% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,50 μL 酶液后迅速用封口膜封口摇匀,在 470 nm 处测吸光度值,记录 0—120 s 的 OD470 值,每 10 s 记录 1 次,重复 4 次。

#### 1.2.5 PPO 活性的测定

PPO 测定参照朱广廉<sup>[19]</sup>的方法,略有改进。称取薇甘菊叶片 0.25 g,液氮研磨后转入离心管,加入少量预冷的 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.8,内含 5% 聚乙烯基吡咯烷酮),振荡 10 s,12 000 r/min 离心 15 min,取上清液,4 ℃保存备用。在试管中加入 3.9 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.8);1 mL 0.05 mol/L 儿茶酚溶液;0.1 mL 酶液。37 ℃ 15 min,迅速转入冰浴并加入 2 mL 20% 三氯乙酸溶液终止反应,在 525 nm 处测吸光度值,重复 4 次。

#### 1.2.6 叶绿素含量的测定

参照舒展等<sup>[20]</sup>的方法,称 0.1 g 薇甘菊叶片放入研钵中,加少量石英砂研磨成糊状,用 80% 的丙酮水溶液分批提取叶绿素,直至残渣无色为止。将丙酮提取液过滤后定容,分别在 663、645 和 440 nm 处测吸光度值。根据下列各式计算出叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量,叶绿素 a/b 的比值<sup>[21]</sup>,重复 4 次。

$$\text{叶绿素 a} = 12.7 \times \text{OD663} - 2.69 \times \text{OD645}$$

$$\text{叶绿素 b} = 22.9 \times \text{OD645} - 4.86 \times \text{OD663}$$

$$\text{总叶绿素含量} = 8.02 \times \text{OD663} + 20.2 \times \text{OD645}$$

### 1.2.7 光合作用参数测定

用 LI-6400 便携式光合仪(LI-COR, Nebraska, USA)测定 MMWV 侵染 32d 后及健康对照薇甘菊叶片在 8:00—11:30 的光响应曲线, 测定时光强梯度由强到弱, 依次设定光量子通量密度(photon flux density, PFD)为 1500、1000、800、600、400、200、100、80、40、20 和 0  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 叶室温度设置为 25 °C, 测定时将参比室的  $\text{CO}_2$  浓度稳定在 380  $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 在每个光梯度下平衡 180 s 后测定净光合速率(net photosynthetic rate,  $P_n$ )<sup>[22]</sup>。每株测定顶端第 5 片叶子, 重复 5 次。依据 Bassman 和 Zwier<sup>[23]</sup>的方法拟合  $P_n$ -PFD 曲线, 计算最大净光合速率(Maximal net photosynthetic rate,  $P_{\max}$ )、表观量子效率(Apparent quantum yield, AQY)、暗呼吸速率(Dark respiration rate,  $R_d$ )、光饱和点(Light saturation point, LSP)和光补偿点(Light compensation point, LCP)。模型的参数通过 SPSS 16.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)的非线性评价模型进行计算。

### 1.3 数据处理

运用 SPSS 16.0 对实验数据进行分析, 用独立样本  $t$  检验分析 MMWV 侵染对薇甘菊叶片光合特性的影响, 所有数据均为平均值±标准误。

## 2 结果与分析

### 2.1 MMWV 侵染对 SOD、POD、PPO 和 PAL 活性的影响

从图 1 可以看出, 健康对照薇甘菊叶片内 SOD 活性保持相对稳定, 接种 MMWV 后, 薇甘菊叶片中 SOD 活性在接种后 8—16d 分别比对照提高了 19.20% 和 14.19%。而接种 MMWV 24—32d 后, 薇甘菊叶片内 SOD 活性逐渐减低, 其中第 32 天达到最低值, 比对照减低了 25.37%。接种 MMWV 后引起薇甘菊叶片内 POD 活性发生明显变化。接种 8d 后, POD 活性比对照逐渐升高, 第 24 天达到最大值, 比对照增加了 41.12%, 24d 后 POD 活性有下降的趋势, 但仍显著高于对照组。薇甘菊接种 MMWV 8d 后, 叶片内 PPO 活性达到最大值, 比对照显著增加了 77.75%。接种后 16—32d PPO 活性总的变化趋势与健康对照组基本一致。接种 MMWV 8d 后, 薇甘菊叶片中 PAL 活性比对照显著增加了 23.58%。随后接种薇甘菊叶片内 PAL 活性开始降低, 之后 PAL 活性又升高, 第 24 天再达峰值, 即 PAL 活性曲线有 2 个酶峰。第 32 天感病叶片内 PAL 活性比对照显著减低了 20.53%。

### 2.2 MMWV 侵染对薇甘菊叶片叶绿素含量的影响

健康对照薇甘菊叶片中的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量、叶绿素 a/b 保持相对稳定。受 MMWV 侵染的薇甘菊叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量自接种后第 8 天开始缓慢下降, 至 32d 后下降幅度最大。MMWV 侵染薇甘菊 32d 后, 薇甘菊叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量、叶绿素 a/b 分别比对照组减少了 30.76%, 18.76%, 26.41% 和 17.84% (图 2)。

### 2.3 MMWV 侵染对薇甘菊叶片光合特性的影响

MMWV 侵染对薇甘菊叶片的  $R_d$ 、LCP 和 AQY 无显著影响, 其中 MMWV 侵染使叶片的 LCP 比对照增加 17.53%。MMWV 侵染薇甘菊使其叶片的  $P_{\max}$  和 LSP 分别比对照显著减少 32.34% 和 12.52%, 表明 MMWV 侵染可影响薇甘菊叶片的光合效率(表 1)。

表 1 MMWV 侵染对薇甘菊叶片光合参数的影响

Table 1 Photosynthetic parameters in the leaves of *Mikania micrantha* after infection by MMWV

光合作用参数 Photosynthetic parameters	对照植物 Control plants	感病植物 MMWV infected plants
最大净光合速率 Maximal net photosynthetic rate $P_{\max}/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$17.374 \pm 0.790$	$11.755 \pm 0.625^{**}$
暗呼吸速率 Dark respiration rate $R_d/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$-2.427 \pm 0.262$	$-2.234 \pm 0.406$
光补偿点 Light compensation point LCP/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$36.208 \pm 1.698$	$42.555 \pm 2.941$
光饱和点 Light saturation point LSP/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	$1216.132 \pm 41.384$	$1063.916 \pm 28.071^*$
表观量子效率 Apparent quantum yield AQY/ $(\mu\text{mol}/\mu\text{mol})$	$0.046 \pm 0.003$	$0.035 \pm 0.004$

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$  数据均为平均值±标准误

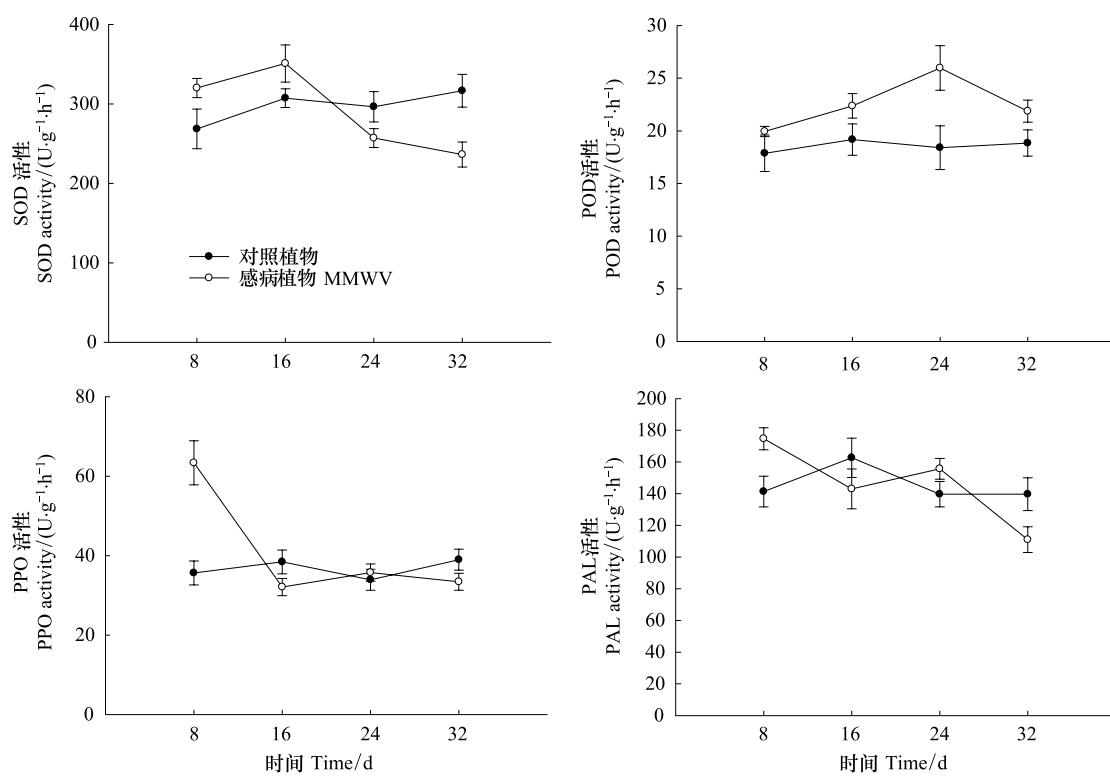


图1 MMWV 侵染对薇甘菊叶片中 SOD、POD、PPO、PAL 活性的影响

Fig.1 Changes of SOD, POD, PPO and PAL activities in the leaves of *M. micrantha* after infection by MMWV

数据均为平均值±标准误

### 3 讨论

研究表明病毒侵染可引起寄主植物体内 SOD, POD, PPO 等与植物抗病性相关的酶活性变化<sup>[7-8,10,24-26]</sup>。野生大豆 (*Glycine max*) 的 PPO 和 PAL 活性与对大豆花叶病毒 (*Soybean mosaic virus*, SMV) 的抗性呈显著正相关, 可利用叶片中 PPO 和 PAL 活性水平作为野生大豆病毒病抗性鉴定的参考指标<sup>[8]</sup>。研究发现烟草接种黄瓜花叶病毒 (*Cucumber mosaic virus*, CMV) 的 PE、M 和 Xb 等 3 种毒株后, Xb 和 M 毒株可引起 SOD 活性前期升高、后期活性下降; M 毒株导致 PAL 活性一直保持在较高水平, 而 PE 毒株则导致 PAL 活性下降。PE 和 M 毒株均导致 POD 酶活性升高<sup>[7]</sup>。本实验结果显示 MMWV 侵染薇甘菊前期可诱导 SOD、POD、PPO 和 PAL 活性提高, 尤其是 PPO 活性比健康对照增加了 77.75%。随着侵染时间的增加, 感病薇甘菊叶片中 SOD、PPO 和 PAL 的活性逐渐降低, 而 POD 的活性则保持相对较高的水平(图 1)。同理黄瓜 (*Cucumis sativus*) 苗期感染黄瓜枯萎病 (*Fusarium axysporum* f. sp. *cucumerinum* Owen) 后, 叶片组织中 POD, SOD, PPO 活性变化曲线存在 2 个酶峰, PAL 活性变化曲线存在 1 个单峰; 其中抗病品种的 POD 和 PAL 活性的提高与抗性呈显著正相关, 而 SOD 和 PPO 活性的提高与抗性呈极显著正相关<sup>[9]</sup>。

病毒侵染寄主植物后, 在细胞内大量地复制、增殖可破坏寄主细胞叶绿体结构和功能使叶绿素含量下降<sup>[23,27]</sup>, 导致寄主植物的光合作用效率降低甚至死亡<sup>[1,5-16,28]</sup>。番茄黄化曲叶病毒 (*Tomato yellow leaf curl virus*, TYLCV) 侵染可导致番茄 (*Lycopersicon esculentum*) 叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总含量、净光合速率和气孔导度分别比健康植株下降 50.2%、24.19%、43.84%、43.28% 和 27.07%<sup>[2]</sup>。马铃薯 Y 病毒 (*Potato virus Y*, PVY) 侵染马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 60d 后, 侵染叶片中的净光合速率、叶绿素含量和电子传递速率分别减少了 49.4%、40.2% 和 72.9%<sup>[4]</sup>。芜菁花叶病毒 (*Turnip mosaic virus*, TuMV) 侵染青菜 (*Brassica chinensis*) 和芥菜 (*Brassica juncea*) 后导致寄主叶片的叶绿素含量、光合速率、蒸腾速率明显降低<sup>[3]</sup>。蚕豆萎蔫病毒 2 (*Broad bean wilt virus 2*, BBWV 2) B935 和 PV131 侵染蚕豆 (*Vicia faba*) 使感病蚕豆叶片中叶绿素含量

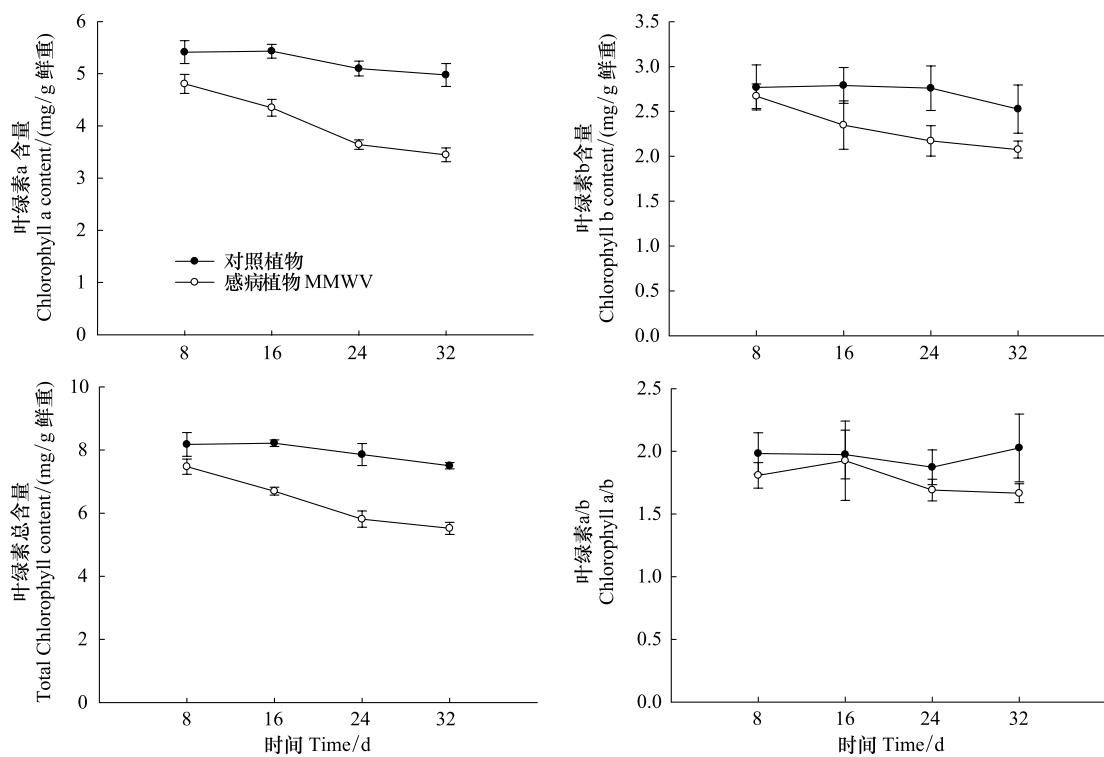


图2 MMWV 侵染薇甘菊后不同时间阶段叶片中叶绿素含量

Fig. 2 Chlorophyll contents in the leaves of *Mikania micrantha* at different stages after infection by MMWV

数据均为平均值±标准误

减少,叶绿素 a/b 值逐渐降低<sup>[29]</sup>。本研究结果显示 MMWV 侵染薇甘菊 32d 后使叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量显著减低(图 2),同时叶片中  $P_{max}$  和 AQY 分别比对照显著降低了 32.34% 和 12.52% (表 1)。表明 MMWV 侵染可影响薇甘菊叶片中叶绿体的结构和功能,从而导致叶片光合效率降低。病毒侵染导致寄主的叶绿素含量降低是由于叶绿体结构发生破坏所致<sup>[27]</sup>,碳同化酶活性下降,可能是造成光合作用速率降低的主要原因<sup>[4,30-31]</sup>。

目前防治薇甘菊的措施主要有 4 种即人工清除、化学防治、生物防治和生态控制<sup>[11]</sup>。人工清除适用于薇甘菊危害面积较小的区域,大面积人工清除费时费力且易复发。化学防治易造成环境污染,薇甘菊可能在数年后再次为害。生物防治是利用薇甘菊的病原微生物和天敌昆虫(真菌、细菌、病毒、螨类等)进行控制。Ellison 等<sup>[32]</sup>发现薇甘菊柄锈菌 *Puccinia spegazzinii* 仅侵染薇甘菊属植物。安婀珍蝶(*Actinote anteas*)<sup>[33]</sup>、紫红短须螨(*Brevipalpus phoenicis*)<sup>[34]</sup>和小蓑蛾(*Acanthophyche* sp)<sup>[35]</sup>等可取食薇甘菊的茎叶。田野菟丝子(*Cuscuta campestris*)可控制薇甘菊生长,但不能根除薇甘菊<sup>[11]</sup>。生态控制目前主要是利用幌伞枫(*Heteropanax fragrans*)<sup>[11]</sup>和芒萁(*Dicranopteris pedata*)<sup>[36]</sup>等本地物种控制薇甘菊的生长。发现和利用天敌控制外来入侵生物作为新兴的方法值得做深入的研究<sup>[15-16]</sup>。研究发现 MMWV 侵染薇甘菊 30d 后,其茎的长度、根、茎和叶的鲜重分别比健康对照植株减少了 75.3%、75.6%、79.5% 和 91.6%,MMWV 可抑制薇甘菊的生长<sup>[16]</sup>。当前,薇甘菊的防治仍是世界性难题,研究所发现的天敌虽可使薇甘菊致病甚至死亡,但在实际应用中控制薇甘菊的扩散尚未见报道<sup>[11,15,37]</sup>。

本研究表明 MMWV 通过降低薇甘菊叶片的光合特性和与抗病性相关的酶活性,从而抑制薇甘菊的生长。虽然该病毒有望被用来进行薇甘菊的生物控制,有关生态风险评价尚需深入研究。

#### References:

- [ 1 ] Guo X Q, Li X D, Zhu H C, Zhu C X. Effect of PVY-infection on photosynthesis of tobacco. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2000, 30(1):

94-95.

- [ 2 ] Yu L, Guo S R, Zhu W M, Yan J, Hei Y X. Effects of tomato yellow leaf curl virus on photosynthetic characteristics and chloroplast ultra-structure of the tomato leaves. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2011, 31(7) : 1355-1359.
- [ 3 ] Hong J, Xu Y, Li J Y, Zhang R C, Jiang D A. Effect of TuMV-infection on photosynthesis of host plants. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 2002, 21(2) : 110-113.
- [ 4 ] Peng Y H, Lei J L, Huang L F, Yu J Q. Effects of *Potato virus Y* infection on chloroplast ultrastructure, photosynthesis and chlorophyll fluorescence quenching in potato leaves. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2004, 34(1) : 32-36.
- [ 5 ] Chen F F, Du Z Y, Liu X, Xie L, Chen J S. Effect of *Cucumber mosaic virus*-encoded 2b protein on photosynthesis and chloroplast structure of the host plant. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 2007, 34(8) : 889-896.
- [ 6 ] Wang C M, Shi D J, Zhu S F, Tian B, Wei N S. Effects of *Cucumber mosaic virus* infection on photosynthetic activities of tobacco leaves and chloroplasts. *Acta Botanica Sinica*, 2000, 42(4) : 388-392.
- [ 7 ] Wang H H, Lin Q Y, Xie L H, Wu Z J. The effects of three *Cucumber mosaic virus* isolates on the defendant enzymes and cell membrane perm ability in tobacco cells. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2001, 31(1) : 43-49.
- [ 8 ] Shi F Y, Zhu Y B, Long R, Yang Q, Li H C, Li G L, Qiao Y K. Relationships between *Soybean mosaic virus* (SMV) resistance and several enzyme activities from wild soybean in the eastern coastal region of Hebei province. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2008, 38(4) : 382-387.
- [ 9 ] Zou F B, Si L T, Li X, Wang L L. The relation between the resistance of the cucumber wrt and the activities of several enzyme in defense system. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(3) : 181-184.
- [ 10 ] Yuan Q H, Gui Z, Zhang W S. Comparison of the activities of SOD, POD and PPO within alfalfa cultivars resistant and susceptible to alfalfa common leaf. *Acta Prataculturae Sinica*, 2002, 11(2) : 100-104.
- [ 11 ] Li M G, Lu E B, Guo Q, Zan Q J, Wei P P, Jiang L, Xu H L, Zhong T K. Evaluation of the controlling methods and strategies for *Mikania micrantha* H. B. K.. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(10) : 3240-3251.
- [ 12 ] Shao H, Peng S L, Wei X Y, Zhang D Q, Zhang C. Potential allelochemicals from an invasive weed *Mikania micrantha* H. B. K. *Journal of Chemical Ecology*, 2005, 31(7) : 1657-1668.
- [ 13 ] Ni G Y, Li F L, Chen B M, Song L Y, Peng S L. Allelopathic plants 21. *Mikania micrantha* H. B. K. *Allelopathy Journal*, 2007, 19(2) : 287-296.
- [ 14 ] Wang R L, Zhong Q H, Xu W B, Song Y Y, Su Y J, Zeng R S. Responses of invasive weed *Mikania micrantha* to elevated air temperature. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(7) : 1659-1664.
- [ 15 ] Wang R L, Ding L W, Sun Q Y, Li J, Xu Z F, Peng S L. Genome sequence and characterization of a new virus infecting *Mikania micrantha* H. B. K. *Archives of Virology*, 2008, 153(9) : 1765-1770.
- [ 16 ] Wang R L, Chen Y, Zhang H, Guan A M, Wang Z Y, Gong X, Yin Y, Zeng R S. Host range, transmitting vector, and damage characteristics of *Mikania micrantha* wilt virus. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32(1) : 72-77.
- [ 17 ] Wang A G, Luo G H, Shao C B, Wu S J, Guo J Y. A study on the superoxide dismutase of soybean seeds. *Acta Phytophysiologica Sinica*, 1983, 9(1) : 77-84.
- [ 18 ] Ouyang G C. Detection of activity of phenylalanine ammonialyase (PAL) // Xue Y L, ed. *Experimental Manual of Plant Physiology*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985; 191-192.
- [ 19 ] Zhu G L, Zhong H W, Zhang A Q. *Plant Physiology Experiment*. Beijing: Peking University Press, 1990: 37-40.
- [ 20 ] Shu Z, Zhang X S, Chen J, Chen G Y, Xu D Q. The simplification of chlorophyll content measurement. *Plant Physiology Communications*, 2010, 46(4) : 399-402.
- [ 21 ] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in Beta vulgaris. *Plant Physiology*, 1949, 24(1) : 1-5.
- [ 22 ] Wang N N, Huangfu C H, Chen D Q, Zhang T R, Jiang N, Tu C Y, Li Y J, Yang D L. Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, *Flaveria bidentis*. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(9) : 2943-2952.
- [ 23 ] Bassman J H, Zwier J C. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoides* and *Populus trichocarpa*×*P. deltoides* clones. *Tree Physiology*, 1991, 8(2) : 145-159.
- [ 24 ] Pan R C. *Plant Physiology*. Beijing: Higher Education Press, 2004: 130-137, 283-286.
- [ 25 ] Pozo M J, van Loon L C, Pieterse C M J. Jasmonates-signals in plant-microbe interactions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2005, 23: 211-222.
- [ 26 ] Fang X, Zhong Z C, Yan M, Song H X, Hu S J. Effects of enhanced UV-B radiation and different nitrogen conditions on protective matter and protective enzymes in millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) leaves. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1) : 284-291.
- [ 27 ] Guo D P, Guo Y P, Zhao J P, Liu H, Peng Y, Wang Q M, Chen J S, Rao G Z. Photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in leaves of stem mustard (*Brassica juncea* var. *tsatsai*) after turnip mosaic virus infection. *Plant Science*, 2005, 168(1) : 57-63.
- [ 28 ] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1982, 33: 317-345.
- [ 29 ] Li Y H, Hong J, Xie L, Yang Y, Zhou X P, Jiang D A. Effects of *Broad bean wilt virus* 2 isolate infection on photosynthetic activities and chloroplast ultrastructure in broad bean leaves. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 2006, 32(4) : 490-496.
- [ 30 ] Hideki T, Yoshi E. Changes in the activity and the polypeptide composition of the oxygen-evolving complex in photosystem II of tobacco leaves

- infected with cucumber mosaic virus strain Y. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 1992, 5(3): 269-272.
- [31] Reiner A, Beachy R N. Reduced photosystem II activity and accumulation of viral coat protein in chloroplasts of leaves infected with tobacco mosaic virus. *Plant Physiology*, 1989, 89(4): 111-116.
- [32] Ellison C A, Evans H C, Djedjour D H, Thomas S E. Biology and host range of the rust fungus *Puccinia spegazzinii*: a new classical biological control agent for the invasive, alien weed *Mikania micrantha* in Asia. *Biological Control*, 2008, 45(1): 133-145.
- [33] Zhang L L, Han S C, Li Z G, Liu N, Li L Y, Luo L F, Peng T X, Liu W H. Effects of *Actinote thalia pyrrha* (Fabricius) feeding on the physiological indexes in *Mikania micrantha* leaves. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1330-1336.
- [34] Chen R P, Xu Q H, Li X C, Liu Q L. Application of *Brevipalpus phoenici* to the controlling of *Mikania micrantha*. *Journal of Central South Forestry University*, 2003, 23(2): 89-93.
- [35] Shao H, Peng S L, Liu Y X, Zhang C, Xiang Y C. The biological control and the natural enemy of *Mikania micrantha* H. B. K's in China. *Ecologic Science*, 2002, 21(1): 33-36.
- [36] Zhao H B, Peng S L, Wu J R, Xiao H L, Chen B M. Allelopathic potential of native plants on invasive plant *Mikania micrantha* H. B. K. in South China. *Allelopathy Journal*, 2008, 22(1): 189-195.
- [37] Wang R L, Peng S L, Zeng R S, Ding L W, Xu Z F. Cloning, expression and wounding induction of  $\beta$ -caryophyllene synthase gene from *Mikania micrantha* H. B. K. and allelopathic potential of  $\beta$ -caryophyllene. *Allelopathy Journal*, 2009, 24(1): 35-44.

#### 参考文献:

- [1] 郭兴启, 李向东, 朱汉城, 朱常香. 马铃薯Y病毒(PVY)的侵染对烟草叶片光合作用的影响. *植物病理学报*, 2000, 30(1): 94-95.
- [2] 于力, 郭世荣, 朱为民, 阎君, 黑银秀. 番茄黄化曲叶病毒对番茄叶片光合特性和叶绿体超微结构的影响. *西北植物学报*, 2011, 31(7): 1355-1359.
- [3] 洪健, 徐颖, 黎军英, 臧荣春, 蒋德安. 芫菁花叶病毒(TuMV)侵染对寄主植物光合作用的影响. *电子显微学报*, 2002, 21(2): 110-113.
- [4] 彭晏辉, 雷娟利, 黄黎锋, 喻景权. 马铃薯病毒侵染对叶绿体超微结构、光合和荧光参数的影响. *植物病理学报*, 2004, 34(1): 32-36.
- [5] 陈斐斐, 杜志游, 刘歆, 谢礼, 陈集双. 黄瓜花叶病毒2b蛋白对寄主光合速率和叶绿体结构的影响. *生物化学与生物物理进展*, 2007, 34(8): 889-896.
- [6] 王春梅, 施定基, 朱水芳, 田波, 魏宁生. 黄瓜花叶病毒对烟草叶片和叶绿体光合活性的影响. *植物学报*, 2000, 42(4): 388-392.
- [7] 王海河, 林奇英, 谢联辉, 吴祖建. 黄瓜花叶病毒三个毒株对烟草细胞内防御酶系统及细胞膜通透性的影响. *植物病理学报*, 2001, 31(1): 43-49.
- [8] 史凤玉, 朱英波, 龙茹, 杨晴, 李海潮, 李桂兰, 乔亚科. 河北东部沿海地区野生大豆病毒病抗性与几种酶活性的关系. *植物病理学报*, 2008, 38(4): 382-387.
- [9] 邹芳斌, 司龙亭, 李新, 王莉莉. 黄瓜枯萎病抗性与防御系统几种酶活性关系的研究. *华北农学报*, 2008, 23(3): 181-184.
- [10] 袁庆华, 桂枝, 张文淑. 苜蓿抗感褐斑病品种内超氧化物歧化酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性的比较. *草叶学报*, 2002, 11(2): 100-104.
- [11] 李鸣光, 鲁尔贝, 郭强, 翁启杰, 韦萍萍, 蒋露, 徐华林, 钟填奎. 入侵种薇甘菊防治措施及策略评估. *生态学报*, 2012, 32(10): 3240-3251.
- [14] 王瑞龙, 钟秋华, 徐武兵, 宋圆圆, 苏贻娟, 曾任森. 外来入侵植物薇甘菊(*Mikania micrantha*)对温度升高的响应. *生态学杂志*, 2012, 31(7): 1659-1664.
- [16] 王瑞龙, 陈颖, 张晖, 管奥湄, 王子叶, 宫骁, 尹艺, 曾任森. 薇甘菊萎蔫病毒寄主范围、传播媒介和危害特点. *生态学杂志*, 2013, 32(1): 72-77.
- [17] 王爱国, 罗广华, 昭从本, 吴淑君, 郭俊彦. 大豆种子超氧物歧化酶的研究. *植物生理学报*, 1983, 9(1): 77-84.
- [18] 欧阳光察. 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的测定 // 薛应龙. *植物生理学实验手册*. 上海: 上海科技出版社, 1985: 191-192.
- [19] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. *植物生理学实验*. 北京: 北京大学出版社, 1990: 37-40.
- [20] 舒展, 张晓素, 陈娟, 陈根云, 许大全. 叶绿素含量测定的简化. *植物生理学通讯*, 2010, 46(4): 399-402.
- [22] 王楠楠, 皇甫超河, 陈冬青, 张天瑞, 姜娜, 屠臣阳, 李玉浸, 杨殿林. 刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、气体交换和荧光的影响. *生态学报*, 2012, 32(9): 2943-2952.
- [24] 潘瑞炽. *植物生理学*. 北京: 高等教育出版社, 2004: 130-137, 283-286.
- [26] 方兴, 钟章成, 闫明, 宋会兴, 胡世俊. 增强UV-B辐射与不同水平氮素对谷子(*Setaria italica* (L.) Beauv.)叶片保护物质及保护酶的影响. *生态学报*, 2008, 28(1): 284-291.
- [29] 李燕宏, 洪健, 谢礼, 杨勇, 周雪平, 蒋德安. 蚕豆萎蔫病毒2号分离物侵染对蚕豆叶片光合活性和叶绿体超微结构的影响. *植物生理与分子生物学学报*, 2006, 32(4): 490-496.
- [33] 张玲玲, 韩诗畴, 李志刚, 刘楠, 李丽英, 罗莉芬, 彭统序, 刘文惠. 艳丽珍蝶取食对薇甘菊叶片生理指标的影响. *生态学报*, 2006, 26(5): 1330-1336.
- [34] 陈瑞屏, 徐庆华, 李小川, 刘清浪. 紫红短须螨的生物学特性及其应用研究. *中南林学院学报*, 2003, 23(2): 89-93.
- [35] 邵华, 彭少麟, 刘运笑, 张弛, 向言词. 薇甘菊的生物防治及其天敌在中国的新发现. *生态科学*, 2002, 21(1): 33-36.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 5 March ,2013( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism ..... WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)  
Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution ..... LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)  
A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture ..... MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)  
Progresses in dendrochronology of shrubs ..... LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

**Autecology & Fundamentals**

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation ..... WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)  
Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings ..... PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)  
Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China ..... YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)  
Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethyidae) ..... YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

**Population, Community and Ecosystem**

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian ..... XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)  
Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China ..... GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)  
The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui ..... YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)  
Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland ..... XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)  
Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species ..... WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)  
Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ..... ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)  
An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions ..... XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)  
Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China ..... XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)  
Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ..... ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)  
Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities ..... MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)  
Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China ..... SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming ..... SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)  
Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration ..... LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

- The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade ...  
..... MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
- Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment .....  
..... LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
- Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated  
nitrogen deposition ..... LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
- Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields .....  
..... WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)
- Resource and Industrial Ecology**
- Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of *Zizania latifolia* Turcz. plants are affected by *Ustilago esculenta* infection .....  
..... YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
- Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle) .....  
..... CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
- Hosts preference of *Echinothrips americanus* Morgan for different vegetables ... ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
- Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants .....  
..... YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
- Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of *Populus tomentosa* seedlings .....  
..... WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
- Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach .....  
..... ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)
- Research Notes**
- Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain .....  
..... ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
- Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing ..... JIA Baoqun (1654)
- Effects of *Mikania micrantha* wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K. ....  
..... WANG Rui long, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

## 生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第5期 (2013年3月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 2013)

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
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
主 办	中国生态学学会 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
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
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
订 购	全国各地邮局
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
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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 90.00 元