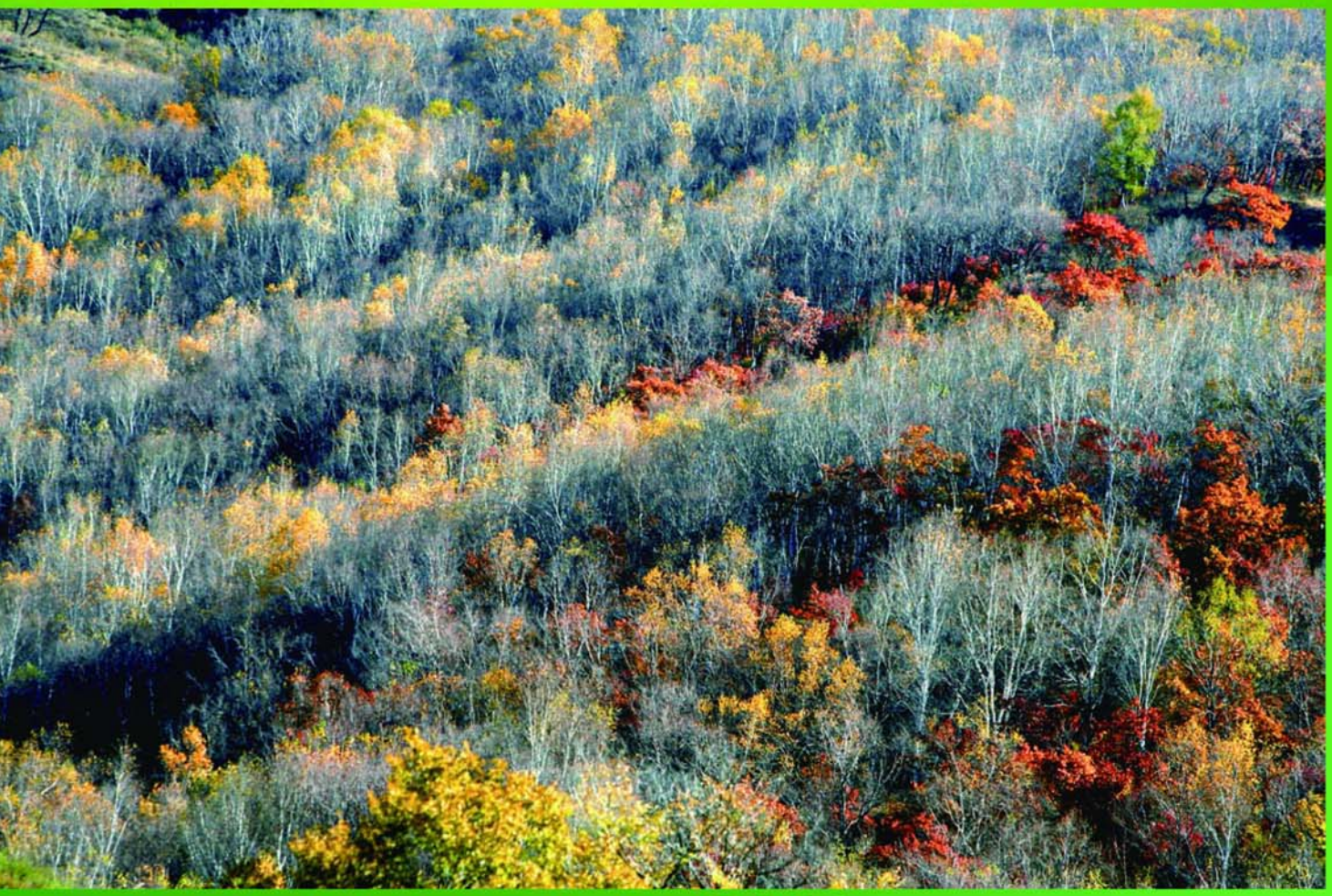
ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第16期 Vol.31 No.16 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 16 期　　2011 年 8 月　（半月刊）

目　　次

人工和天然湿地芦苇根际土壤细菌群落结构多样性的比较…… 汪仲琼，王为东，祝贵兵，等（4489）
不同土壤水分下山杏光合作用光响应过程及其模拟…… 郎　莹，张光灿，张征坤，等（4499）
不同颜色遮阳网遮光对丘陵茶园夏秋茶和春茶产量及主要生化成分的影响……
…… 秦志敏，付晓青，肖润林，等（4509）
镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响…… 吴　坤，吴中红，邰付菊，等（4517）
条浒苔和缘管浒苔对镉胁迫的生理响应比较…… 蒋和平，郑青松，朱　明，等（4525）
盐胁迫对拟南芥和盐芥莲座叶芥子油苷含量的影响…… 庞秋颖，陈思学，于　涛，等（4534）
长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响…… 高菊生，曹卫东，李冬初，等（4542）
基于水量平衡下灌区农田系统中氮素迁移及平衡的分析…… 杜　军，杨培岭，李云开，等（4549）
苏北海滨湿地互花米草种子特征及实生苗生长…… 徐伟伟，王国祥，刘金娥，等（4560）
基于 AnnAGNPS 模型的三峡库区秭归县非点源污染输出评价 …… 田耀武，黄志霖，肖文发（4568）
镉污染对不同生境拟水狼蛛氧化酶和金属硫蛋白应激的影响…… 张征田，庞振凌，夏　敏，等（4579）
印度洋南赤道流区水体叶绿素 a 的分布及粒级结构…… 周亚东，王春生，王小谷，等（4586）
长江口滩涂围垦后水鸟群落结构的变化——以南汇东滩为例…… 张　斌，袁　晓，裴恩乐，等（4599）
应用鱼类完整性指数（FAII）评价长江口沿岸碎波带健康状况 …… 毛成责，钟俊生，蒋日进，等（4609）
基于渔业调查的南极半岛北部水域南极磷虾种群年龄结构分析…… 朱国平，吴　强，冯春雷，等（4620）
水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价 …… 莫志鸿，冯利平，邹海平，等（4628）
旱地农田不同耕作系统的能量/碳平衡 …… 王小彬，王　燕，代　快，等（4638）
宁夏黄灌区稻田冬春休闲期硝态氮淋失量…… 王永生，杨世琦（4653）
太湖沉积物有机碳与氮的来源…… 倪兆奎，李跃进，王圣瑞，等（4661）
日偏食对乌鲁木齐空气可培养细菌群落的影响…… 马　晶，孙　建，张　涛，等（4671）
灰飞虱与褐飞虱种内和种间密度效应比较…… 吕　进，曹婷婷，王丽萍，等（4680）
圈养马来熊行为节律和时间分配的季节变化…… 兰存子，刘振生，王爱善，等（4689）
塔里木荒漠河岸林干扰状况与林隙特征…… 韩　路，王海珍，陈加利，等（4699）
珍稀植物伯乐树一年生更新幼苗的死亡原因和保育策略…… 乔　琦，秦新生，邢福武，等（4709）
垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响 …… 多立安，王晶晶，赵树兰（4717）
CLM3.0-DGVM 中植物叶面积指数与气候因子的时空关系 …… 邵　璞，曾晓东（4725）
基于生态效率的辽宁省循环经济分析 …… 韩瑞玲，佟连军，宋亚楠（4732）

专论与综述

土壤食物网中的真菌／细菌比率及测定方法 …… 曹志平，李德鹏，韩雪梅（4741）
生态社区评价指标体系研究进展…… 周传斌，戴　欣，王如松，等（4749）

问题讨论

不同胁迫条件下化感与非化感水稻 *PAL* 多基因家族的差异表达 …… 方长旬，王清水，余　彦，等（4760）

研究简报

钦州湾大型底栖动物生态学研究 …… 王　迪，陈丕茂，马　媛（4768）
人工恢复黄河三角洲湿地土壤碳氮含量变化特征 …… 董凯凯，王　惠，杨丽原，等（4778）
基于地统计学丰林自然保护区森林生物量估测及空间格局分析…… 刘晓梅，布仁仓，邓华卫，等（4783）
晋西黄土区辽东栎、山杨树干液流比较研究…… 隋旭红，张建军，文万荣（4791）
小兴安岭典型苔草和灌木沼泽 N_2O 排放及影响因子 …… 石兰英，牟长城，田新民，等（4799）

期刊基本参数：CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 35 * 2011-08

封面图说：在长白山麓低海拔地区的晚秋季节，成片的白桦林用无数根白色的树干、树枝烘托着林冠上跳动的金黄色叶片，共生的柞木树冠用更浓重的颜色显示了它的存在，整个山梁层林尽染，秋意浓浓。

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

吴坤,吴中红,邰付菊,韩莹,谢宝恩,袁祖丽. 镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响. 生态学报,2011,31(16):4517-4524.
Wu K, Wu Z H, Tai F J, Han Y, Xie B E, Yuan Z L. Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4517-4524.

镉胁迫对烟草叶激素水平、光合特性、荧光特性的影响

吴 坤[1],吴中红[1],邰付菊[1],韩 莹[1],谢宝恩[2],袁祖丽[1,*]

(1. 河南农业大学生命科学学院,河南 郑州 450002;2. 河南省科学院生物研究所,河南 郑州 450002)

摘要:以烟草(*Nicotiana tabacum* L.)为材料,采用不同浓度镉胁迫(0、5、25、50mg/L)的水培试验,分别用电感耦合等离子体光谱仪、紫外分光光度计、酶联免疫法、光合作用仪、叶绿素荧光分析仪研究了镉胁迫 3d 对叶内镉含量、生长素氧化酶(IAAO)活性、生长素(IAA)、脱落酸(ABA)、赤霉素(GA_3)、玉米素(Z)的含量、光合特性及荧光特性的影响。结果显示烟草叶内镉含量随着胁迫浓度增加而显著增加;IAAO 活性在镉为 5mg/L 时下降,然后随着镉浓度增加而显著上升;IAA 含量在镉为 5mg/L 时上升,但随着镉浓度增加而显著下降;ABA 含量随着镉浓度上升而增加;GA_3 含量在 5mg/L 时上升,然后随着镉浓度增加而显著下降;Z 含量随着镉浓度增加而显著下降;叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量均随镉胁迫浓度增大而显著减少;光合参数中的净光合速率(*Pn*)、气孔导度(*Gs*)、细胞间隙 CO_2 浓度(*Ci*)、蒸腾速率(*Tr*)及荧光参数中的 PSⅡ潜在光化学效率(*Fv/Fo*)、PSⅡ最大光化学效率(*Fv/Fm*)、PSⅡ实际光化学效率(ΦPSⅡ)、光化学猝灭系数(*qP*)均随镉胁迫浓度增大而下降。由此可见,镉胁迫打破了烟草激素的平衡,降低了光合能力。

关键词:镉;烟草;叶;激素;光合特性;荧光特性

Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves

WU Kun[1], WU Zhonghong[1], TAI Fuju[1], HAN Ying[1], XIE Baoen[2], YUAN Zuli[1,*]

1 *College of Life Sciences, Henan Agricultural University, Zhengzhou* 450002, *China*

2 *Henan Academy Biology Research Institution, Zhengzhou* 450002, *China*

Abstract: Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) seedlings were used to evaluate the effects of exogenous Cd^{2+} on hormone levels, photosynthetic and fluorescent characteristics. Seedlings with six leaves and same height were hydroponically cultivated in Hoagland's nutrient solution for 15 d. The seedlings were aerated 3 h per day and the nutrient solution was renewed every 5 d. Afterwards, Cd $(NO_3)_2$ was added to the nutrient solution at 0, 5, 25 and 50 mg/L, respectively (calculated as pure Cd^{2+}). After Cd^{2+} treatment for 3 d, the Cd^{2+} contents in leaves were determined with inductively coupled plasma atomic emission spectrometer. The levels of endogenous phytohormones including indoleacetic acid (IAA), gibberellic acid (GA_3), abscisic acid (ABA) and zeatin (Z), were assayed with enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). The activities of indoleacetic acid oxidase (IAAO), photosynthetic performance and chlorophyll fluorescent characteristics were measured. Our results showed that the contents of Cd^{2+} in leaves significantly increased with the increase of exogenous Cd^{2+} concentration, the activities of IAAO decreased at Cd^{2+} 5 mg/L, but increased at higher concentrations of exogenous Cd^{2+}. At Cd^{2+} 50 mg/L, the activity of IAAO increased by 101.71% comparison with the control. Both of the contents of IAA and GA_3 increased at Cd^{2+} 5 mg/L, but decreased with the increase of exogenous Cd^{2+} concentration. At 50 mg/L Cd^{2+}, the contents of IAA decreased by 34.10%, the contents of GA_3 decreased by 39.69%,

基金项目:河南省教育厅自然基金项目(2006180012);河南省重大公益项目(091100910500)

收稿日期:2010-07-14; **修订日期**:2010-12-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zuliyuan@yahoo.com.cn

while the contents of ABA gradually increased with Cd^{2+} concentration increase. At 50 mg/L Cd^{2+}, the contents of ABA increased by 61.84% comparison with the control. However, the contents of Z sharply decreased with the increase of Cd^{2+} concentration, and the contents of Z decreased by 75.35% at 50 mg/L Cd^{2+}. Moreover, the contents of chlorophyll a and b and carotenoid decreased significantly with the increase of exogenous Cd^{2+} contents. At 50 mg/L Cd^{2+}, chlorophyll a and b and carotenoid declined by 34.80%, 55.80% and 73.77%, respectively, comparison with the control. All photosynthetic parameters such as net photosynthesis rate (*Pn*), stomatal conductance (*Gs*), intercellular CO_2 concentration (*Ci*), transpiration ratio (*Tr*) decreased with the increase of Cd^{2+} concentration in the nutrient solution. The fluorescent parameters including PSⅡ potential activity (*Fv/Fo*), maximal efficiency of PSⅡ photochemistry (*Fv/Fm*), efficiency of PSⅡ photochemistry (ΦPSⅡ), photochemical quenching coefficient (*qP*) decreased with the increase of exogenous Cd^{2+}. Besides, variable chlorophyll fluorescence (*Fv*) and maximum chlorophyll fluorescence (*Fm*) decreased sharply. *Pn*, *Gs*, *Ci* and *Tr* decreased by 47.59%, 66.67%, 28.94% and 60.82% respectively, at 50mg/L Cd^{2+}. It suggested that Cd^{2+} stress disturbed the balance of phytohormone levels in tobacco leaves, and caused the decrease of photosynthetic capacity of tobacco leaves.

Key Words: cadmium; tobacco leaves; phytohormones; photosynthetic performance; fluorescent characteristics

镉是一种植物非必需且毒性很大的重金属,对植物的生长、发育造成一系列伤害。植物可通过不同的生理、生化机制对镉胁迫作出反应。植物激素是一类在植物体内含量极少,但对植物生长、发育等方面具有重要调节作用的有机化合物。植物激素具有应对胁迫环境的关键作用:可调节光合酶的活性[1]、缓解重金属的毒性[2-3]、保护重金属胁迫下的光合机构[4]。叶绿素荧光动力学是研究不同胁迫环境对光合作用影响的信息工具。烟草是普遍栽培的经济作物,云烟 85 品种是我国栽培的主要品种之一,其产量、产值和上中等烟比例最高[5]。我国很多烟草主产区也是金属元素的富集地区,如昆明西郊镉含量高达 23.1μg/g,均值为 5.1μg/g,为昆明地区背景值的 6.3 倍,镉污染区占农田总面积的 53.3%[6]。虽然一些作者从不同侧面研究了镉胁迫对烟草的影响[7-8],但未涉及激素含量改变及其对烟草光合、荧光特性的影响。因此,本研究目的是以烟草为试验材料,探讨镉胁迫对烟草激素含量及其对光合、荧光特性的影响,以期能深入了解镉毒害的机理,为烟草抗镉胁迫机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设计

试验材料为烤烟品种云烟 85(*Nicotiana tabacum* L.)。营养液的配制按 Hoagland[9]配方配制。试验共设 4 个处理:在营养液中加入 $Cd(NO_3)_2$配成每升营养液中镉浓度为 0mg(对照 CK)、5、25、50mg 的溶液,每个处理重复 3 次。

烟草种子经 1% 高锰酸钾消毒 15min 后播种于漂浮盘(草炭:珍珠岩:蛭石=3:1:1)中,放置于光照 16h/d、光强 50 $\mu mol\ m^{-2}s^{-1}$,温度 26℃/20℃(昼/夜)、相对湿度 70%—80% 的组培室中,漂浮盘每天定时通气 3h,每隔 5d 换 1 次新营养液。当幼苗长至 6 片叶时,取长势一致的幼苗,用流水仔细洗去根上泥土,再用去离子水冲洗 3 次,移栽至 Hoagland 营养液中,移栽后每天定时用加氧泵通气 3h,培养 15d 后移栽至按试验设计加入 $Cd(NO_3)_2$的营养液中,处理 3d 取样。光合、荧光参数、叶绿素含量、IAAO、激素含量的测定取样部位为自茎尖顶端起倒数第 4 片叶(同叶位完全展开的成熟叶)。烟叶中镉含量测定取样为除第 4 叶外的其它所有叶。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 镉含量的测定

称取烘干磨碎的烟草叶 0.1g,将其放入 6 mL 的硝酸+盐酸+高氯酸(按 3:2:1.5 比例)的酸液中(硝酸浓度 1.40g/mL;盐酸浓度 1.19g/mL;高氯酸浓度 1.67g/mL),置于 300℃ 的电热板蒸干,然后用 1mL 10% 的盐酸提取,定容至 10mL,用电感耦合等离子体光谱仪(ICP-AES)IRIS INTREPID 型全谱直读光谱仪测定(美国

Thermo Elemental)。技术参数为:0.38m 焦距,中阶梯光栅 52.6 条/mm,21℃石英棱镜,电荷注入式(CID)检测器,INTELLIFRAME TM IMAGE RESEARCH SYSTEM 智能摄谱 512×512 像素(pixel),波长范围 165—1050nm。

1.2.2 IAAO 活性的测定

采用紫外分光光度计法[10]。称取洗净后烟草叶片 0.5g,加入 5 mL 浓度为 0.01mol/L 预冷的磷酸缓冲液,在冰浴中研磨成匀浆,,移入 10 mL 离心管中,在 0℃4000r/min 离心 10 min,上清液即为 IAA 氧化酶粗酶液。取 2 只试管,在试管 1 中加入 2 mL $MnCl_2$、2 mL 2—4 二氯酚、2 mL IAA、1 mL 酶液,3 mL 磷酸缓冲液,混合均匀,在试管 2 中,除酶液用磷酸缓冲液代替外,其余成分均和试管 1 中相同,将两支试管放入 25℃恒温箱中保温 30min。取 3 支试管,将混合液 2 mL 分别置于两支试管中,另取一试管加入 2 mL 蒸馏水,以作空白,然后加入 4mL 氯化铁-高氯酸试剂,摇匀,置于暗条件、35℃恒温箱保温 30min 后显色,显色后成红色的反应液,在 530nm 比色。

1.2.3 内源激素含量的测定

按酶联免疫法测定 IAA、ABA、GA_3、Z 的含量。试剂盒购自中国农业大学作物化控研究室,按说明书操作。

1.2.4 光合色素含量的测定

采用分光光度法[11]。取剪碎的新鲜烟草叶片 0.5g 放入研钵中,加少量石英砂及 96% 乙醇,研磨成匀浆,再加少许乙醇继续研磨至组织变白, 过滤到 25mL 容量瓶中,定容。以 96% 乙醇做对照,在波长 665nm,649nm 和 470nm 下测定光密度,按公式:$C_a=13.95D_{665}-6.88D_{649}$;$C_b=24.96D_{649}-7.32D_{665}$;$C_{X.C}=(1000\times D_{470}-3.27\times C_a-104\times C_b)/229$;计算叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量,$D_{665}$,$D_{649}$和 D_{470}分别是叶绿体色素提取液在波长 665nm、649nm 和 470nm 下的光密度。

1.2.5 光合特性的测定

在烟草处理 3d 后,于 9:00—11:00,每盆取完全展开的功能叶(倒第 4 叶),用便携式光合作用仪(美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400)测定 *Pn*、*Gs*、*Ci* 和 *Tr*。

1.2.6 荧光特性的测定

在烟草处理 3d 后,于 9:00—11:00,每盆取完全展开的功能叶(倒第 4 叶),用 FMS-2 型脉冲调制式叶绿素荧光分析仪(英国 Hansatech 公司生产)测定。将叶夹夹在不同处理第 4 片叶的中部,测定前叶片暗适应 15min,光化学强度为 400μmol·m^2·s^{-1},饱和闪光强度为 8000μmol·m^2·s^{-1}。$Fv/Fo=(Fm-Fo)/Fo$;$Fv/Fm=(Fm-Fo)/Fm$;$\Phi PS\text{II}=(Fm'-Fs)/Fm'$;$qP=(Fm'-Fs)/(Fm'-Fo)$。上述各符号的意义为:*Fv* 为黑暗中最大可变荧光;*Fo* 为暗适应后的最小荧光;*Fo'*为光下最小荧光;*Fm* 为暗适应后最大荧光;*Fm'*为光适应后的最大荧光;*Fs* 为光适应后稳态荧光。以上每项测定重复 3 次。

1.3 数据处理

试验数据用 DPS v3.01 专业版软件进行单因素统计分析。

2 结果与分析

2.1 镉胁迫下烟草叶的镉含量

由图 1 可以看出,烟草叶内镉含量随着镉胁迫浓度的增加而显著增加,当镉浓度为 5mg/L 时,镉含量为 36.13μg/g;当镉浓度为 25mg/L 时,镉含量为 91.78μg/g;当镉浓度为 50mg/L 时,镉含量为 187.85μg/g。

2.2 镉胁迫对烟草叶 IAAO 活性的影响

低浓度镉胁迫 IAAO 活性下降,高浓度镉胁迫 IAAO 活性显著上升(图 2)。当镉浓度在 5mg/L 时,IAAO 活性低于对照 18.14%;当镉浓度增至 25mg/L 时,IAAO 活性高于对照 22.05%;在镉浓度为 50mg/L 时,IAAO 活性达到最高,比对照升高 101.71%。

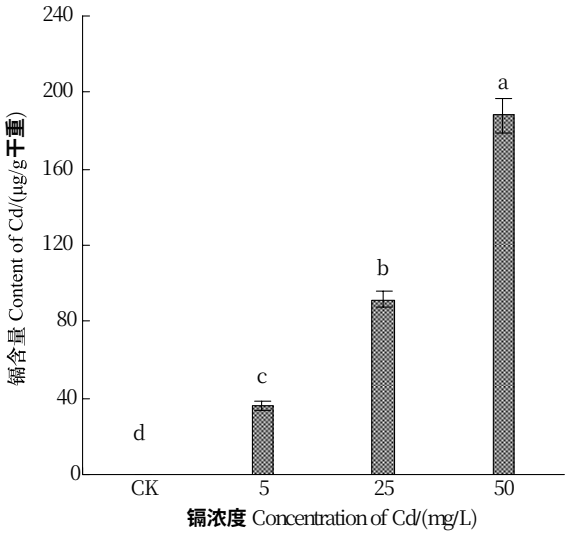


图 1 烟草叶中镉含量

Fig. 1 Content of cadmium in tobacco leaves

图中相同小写字母表示差异未达到 5% 显著水平

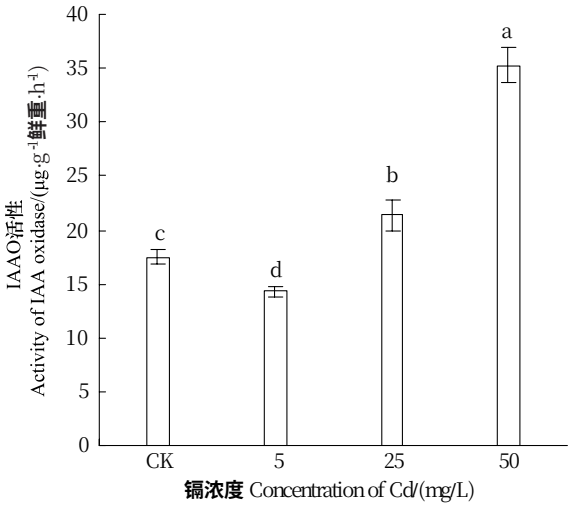


图 2 镉对烟草叶 IAAO 活性的影响

Fig. 2 Effect of cadmium on IAAO activity in tobacco leaves

图中相同小写字母表示差异未达到 5% 显著水平

2.3 镉胁迫对烟草叶激素含量的影响

2.3.1 镉胁迫对烟草叶 IAA 含量的影响

图 3 表明,当镉浓度为 5mg/L 时,IAA 含量显著升高,比对照高出 25.36%;但随着镉浓度增加,IAA 含量转为下降,镉浓度为 25mg/L 时,IAA 含量低于对照 17.56%;镉浓度增大至 50mg/L 时,IAA 含量低于对照 34.10%。

2.3.2 镉胁迫对烟草叶 ABA 含量的影响

不同浓度镉胁迫对烟草叶中 ABA 合成均表现为显著的促进作用(图 4)。当镉浓度为 5mg/L 时, ABA 的含量比对照升高 50.11%;镉浓度为 25mg/L 时,ABA 的含量比对照升高 51.81%;当镉浓度为 50mg/L 时,ABA 含量达最大,高于对照 61.84%。

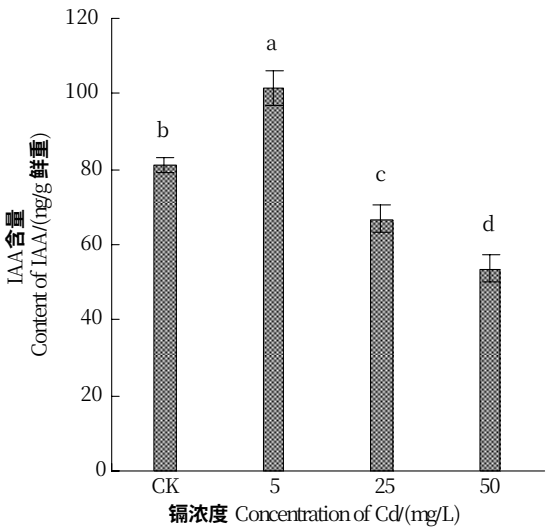


图 3 镉对烟草叶 IAA 含量的影响

Fig. 3 Effect of cadmium on IAA content in leaves

图中相同小写字母表示差异未达到 5% 显著水平

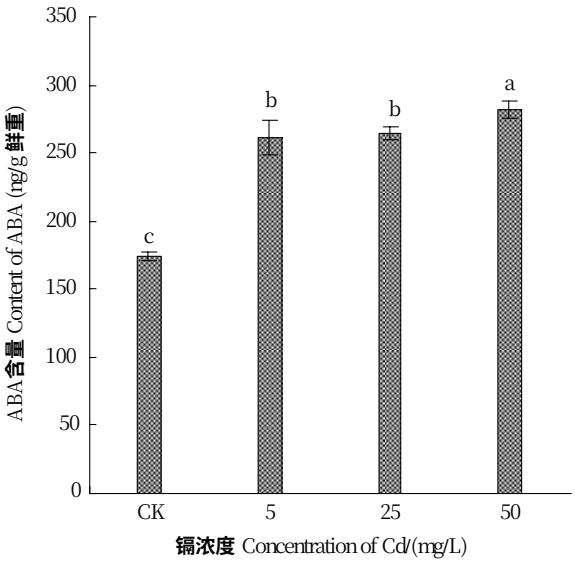


图 4 镉对烟草叶 ABA 含量的影响

Fig. 4 Effect of cadmium on ABA content in leaves

图中相同小写字母表示差异未达到 5% 显著水平

2.3.3　镉胁迫对烟草叶 GA_3 含量的影响

从图 5 可知,当镉浓度为 5mg/L 时,GA_3 含量高于对照 5.90%,但二者之间差异不显著;当镉浓度增至 25mg/L 时,GA_3 的含量比对照显著下降 27.50%;当镉浓度增至 50mg/L 时,GA_3 含量比对照显著下降 39.69%。可见镉对烟草叶片 GA_3 含量的影响表现为低浓度下刺激和高浓度下抑制的效应。

2.3.4　镉胁迫对烟草叶 Z 含量的影响

图 6 表明,镉胁迫对烟草叶中 Z 含量具有明显抑制作用,且 Z 含量随镉胁迫浓度的增大显著下降。当镉浓度为 5mg/L 时,Z 含量比对照下降 32.43%;当镉浓度为 25mg/L 时,Z 含量比对照下降 50.09%;当镉浓度增加至 50mg/L 时,Z 含量比对照下降 75.35%。

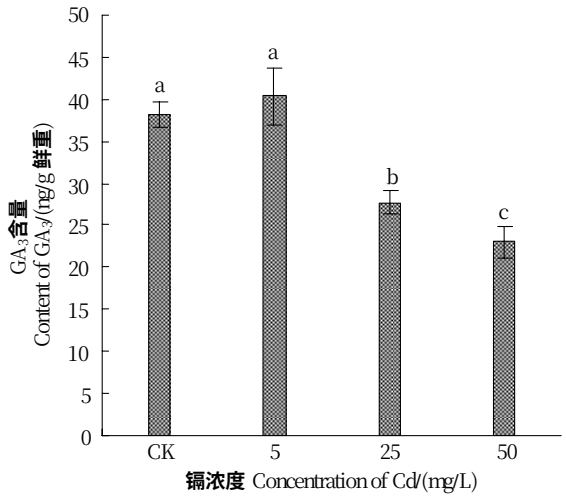


图 5　镉对烟草叶 GA_3 含量的影响

Fig. 5　Effect of cadmium on GA_3 content in leaves

图中相同小写字母表示差异未达到 5% 显著水平

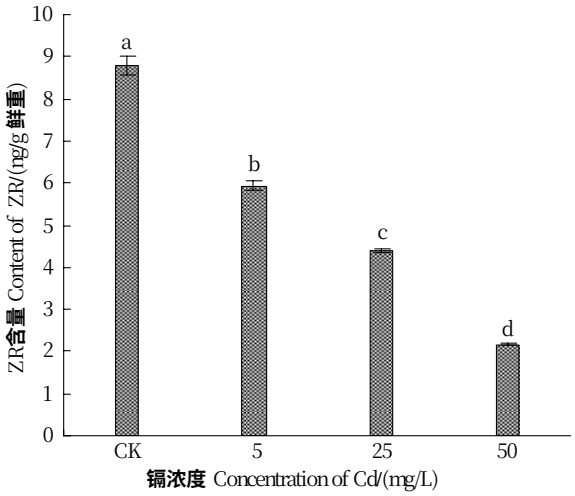


图 6　镉对烟草叶 Z 含量的影响

Fig. 6　Effect of cadmium on Z content in leaves

图中相同小写字母表示差异未达到 5% 显著水平

2.4　镉胁迫对烟草叶光合、荧光特性的影响

2.4.1　镉胁迫对烟草叶光合色素含量的影响

试验结果表明,镉胁迫降低烟草叶中光合色素含量(表 1)。与对照相比,叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量均随镉胁迫浓度增大而显著减少,在镉浓度分别为 5、25、50mg/L 时,叶绿素 a 含量相应地下降 10.55%、17.36%、34.80%,叶绿素 b 含量相应地下降 14.18%、34.04%、55.80%,类胡萝卜素含量相应地下降 26.69%、50.45%、73.77%。

表 1　镉胁迫对烟草叶光合色素含量的影响

Table 1　Effect of Cd on photosynthetic pigment contents in tobacco leaves

镉浓度/(mg/L) Concentration of Cd	叶绿素 a 含量/(mg/g 鲜重) Content of chlorophyll a	叶绿素 b 含量/(mg/g 鲜重) Content of chlorophyll b	类胡萝卜素含量/(mg/g 鲜重) Content ofcarotenoid
0	0.8905±0.0241aA	0.3264±0.0935aA	0.1684±0.0485aA
5	0.7966±0.1572bB	0.2801±0.0365bB	0.1234±0.0646bB
25	0.7359±0.1502cB	0.2153±0.0121cC	0.0834±0.0465cC
50	0.5806±0.1875dC	0.1443±0.0420dD	0.0442±0.0105dD

同列内平均值后有相同小写或大写字母的表示差异未达到 5% 或 1% 显著水平

2.4.2　镉胁迫对烟草叶 *Pn*、*Gs*、*Ci* 和 *Tr* 的影响

表 2 显示,镉胁迫造成 *Pn*、*Gs*、*Tr* 显著下降,*Ci* 虽然下降,但各处理浓度之间差异不显著。在镉浓度为 5、25、50 mg/L 时,与对照相比 *Pn* 分别下降 14.71%、36.50%、47.59%,*Gs* 分别下降 29.03%,48.39%,

66.67%;*Ci* 分别下降 1.89%、21.01%、28.94%,*Tr* 分别下降 19.93%、44.15%、60.82%。

表 2 镉胁迫对烟草叶光合特性的影响

Table 2 Effect of Cd on photosynthetic performance of tobacco leaves

镉浓度/(mg/L) Concentration of Cd	净光合速率(*Pn*) Net photosynthesis rate /(μmol·m^{-2}·s^{-1})	气孔导度(*Gs*) Stomatal conductance (mol·m^{-2}·s^{-1})	胞间 CO_2 浓度(*Ci*) Intercellular CO_2 concentration /(μmol/mol)	蒸腾速率(*Tr*) Transpiration ratio /(mmol·m^{-2}·s^{-1})
0	6.367±0.172aA	0.093±0.005aA	231.667±38.992aA	2.639±0.088aA
5	5.4303±0.0015bA	0.066±0.004bB	227.300±15.2682aA	2.113±0.028bB
25	4.043±0.069cB	0.048±0.005cC	183±54.69aA	1.474±0.057cC
50	3.337±0.789cB	0.031±0.002dD	164.633±59.659aA	1.034±0.071dD

2.4.3 镉胁迫对烟草叶绿素荧光特性的影响

由表 3 可以看出,随着镉污染浓度的增大,PSⅡ潜在活性和 PSⅡ最大光能转化效率均呈下降趋势。在镉浓度分别为 5、25、50mg/L 时,与对照相比 *Fv/Fo* 分别下降 14.36%、20.08%、28.21%,*Fv/Fm* 分别下降 2.74%、3.54%、5.02%,ΦPSⅡ分别下降 4.43%、9.10%、12.17%,*qP* 分别下降 1.83%、4.40%、7.56%。

表 3 镉胁迫对烟草叶绿素荧光特性的影响

Table 3 Effect of Cd on chlorophyll fluorescence characteristics

镉浓度/(mg/L) Concentration of Cd	PSⅡ潜在活性(Fv/F_0) PSⅡ potential activity (Fv/F_0)	PSⅡ最大光化学效率(*Fv/Fm*) Maximal efficiency of PSⅡ photochemistry (*Fv/Fm*)	PSII 实际光化学效率(ΦPSⅡ) Efficiency of PSⅡ photochemistry (ΦPSⅡ)	光化学淬灭系数(*qP*) Photochemical quenching coefficient (*qP*)
0	7.182 ± 0.231a A	0.877 ± 0.004a A	0.857 ± 0.046aA	0.983 ± 0.0561a A
5	6.151 ± 0.714ab AB	0.853 ± 0.04a A	0.819 ± 0.02ab AB	0.965 ± 0.0725a A
25	5.74 ± 0.48b AB	0.846 ± 0.039a A	0.779 ± 0.018bcAB	0.940 ± 0.024a A
50	5.156 ± 0.728 bB	0.833 ± 0.02a A	0.7527 ± 0.0225 c B	0.909 ± 0.045 a A

3 讨论

植物的生长发育受到很多外部环境、内部信号及内在基因的综合影响。当植物处于胁迫环境如:重金属污染、大气污染、干旱、冷害、高盐环境、紫外线 B 辐射、病原体、机械损伤时,植物可感知并对胁迫做出反应,通过改变代谢机制达到最理想的状态来应对胁迫环境。在某种程度上植物生长发育的任何方面都受到激素的控制。单种激素能令人惊奇的调节不同细胞发育过程,同时多种激素可影响同一过程[12]。

镉胁迫改变了烟草叶内激素的含量。低浓度镉胁迫时 IAA 含量增加可能是 GA_3 含量增加所致,因为 GA_3 可抑制 IAAO 的活性、促进 IAA 合成前体增多、促进 IAA 由束缚型转为游离型,而 IAAO 可降解 IAA,但随着胁迫浓度增高,GA_3 含量的减少,导致 IAAO 活性增加、IAA 合成前体减少、游离型 IAA 减少,因此 IAA 含量下降;ABA 在镉胁迫下显著增加,可能与其能调控气孔开闭程度,诱导抗性基因表达或增强抗性基因的转录,促使植物生成新的胁迫蛋白,增强抗逆性有关[13];Z 含量在镉胁迫下迅速减少,可能是镉胁迫提高了细胞分裂素氧化酶的活性[14],而细胞分裂素的氧化是其失活的重要途径[15]。

镉胁迫造成烟草叶片叶绿素含量减少,可能有以下几方面原因:(1)镉胁迫造成叶绿体数量减少[16],(2)镉胁迫破坏叶绿体的结构[17],(3)镉胁迫造成类囊体数量减少[18],(4)镉胁迫限制叶绿素合成过程中 δ-氨基乙酰丙酸脱水酶的可用性[19]。(5)镉胁迫造成 Z 含量的减少,而细胞分裂素对叶绿素的形成具有重要作用,且叶绿素含量增加与细胞分裂素的浓度成比例[20-21],(6)镉胁迫引起 ABA 含量增加,而 ABA 反向调节叶绿素 a、b 结合蛋白基因,抑制叶绿素合成[22]。

镉胁迫造成 *Pn*、*Gs*、*Ci*、*Tr* 下降,且随着镉胁迫浓度增加下降幅度增大。首先,叶绿素含量显著下降可能是叶片 *Pn* 下降的重要原因之一。其次,可能是因为镉胁迫导致 ABA 含量增加,ABA 可引起 *Gs* 下降[23],而 *Gs* 下降导致 *Ci* 下降,从而影响 CO_2 扩散到羧化作用位点,减少了 CO_2 的光合同化吸收[24],同时,*Gs* 下降引起 *Tr*

下降,而 *Tr* 下降引起水分供应不足,导致光抑制,而植物为避免光抑制导致 PSⅠ和 PSⅡ电子传递速率减少[25],从而引起 *Pn* 下降。因此,*Pn* 下降可能是多种因素综合作用的结果。

叶绿素荧光特性是 PSⅡ光化学过程的指示器,且比 PSⅠ更敏感。镉胁迫引起 *Fv/Fo*、*Fv/Fm* 下降,暗示了 PSⅡ功能的下降。虽然 *Fv/Fm* 下降幅度不大,但 *Fv* 和 *Fm* 下降幅度很大。这可能部分是由于叶绿体超微结构的改变[26]。Araus 认为在肿胀、高度破坏的类囊体中,光合合成单位及膜结合电子传递进程被破坏,即使 *Fv/Fm* 很少或没有变化,叶片结构状态也影响原初荧光参数[27];ΦPSⅡ即 PSⅡ实际电子传递量子效率,反映了电子在 PSⅠ与 PSⅡ的传递情况,不仅与碳同化有关,也与光呼吸及依赖 O_2 的电子流有关。镉胁迫引起 ΦPSⅡ下降,可能与镉引起叶绿体膜系统的紊乱有关[28]。*qP* 是表示总 PSⅡ反应中心中开放所占比例的指标,镉胁迫引起 *qP* 下降,可能是避免 PSⅡ原初电子受体 Q_A 的过度还原[29]。

References:

[1] Pandey D M, Goswami C L, Kumar B, Jain S. Hormonal regulation of photosynthetic enzymes in cotton under water stress. Photosynthetica, 2001, 38(3): 403-407.

[2] Shanti S S, Kumar V. Responses of wild type and abscisic acid mutants of *Arabidopsis thaliana* to cadmium. Journal of Plant Physiology, 2002, 159(12): 1323-1327.

[3] Çelik A, Ünyayar S, Çekiç F ö, Güzel A. Micronucleus frequency and lipid peroxidation in *Allium sativum* root tip cells treated with gibberellic acid and cadmium. Cell Biology and Toxicology, 2008, 24(2): 259-262.

[4] Ouzounidou G, Ilias I. Hormone-induced protection of sunflower photosynthetic apparatus against copper toxicity. Biologia Plantarum, 2005, 49(2): 223-228.

[5] Wei J Y, Jin Y B, Wu F, Qu R. Experiment on the adaptability of flue-cured tobacco varieties. Journal of Anhui Agricultural Science, 2008, 36(6): 2362-2363.

[6] Zhu F M, Liu F, Zou X X. Effect of cadmium pollution on human health. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2002, 12(5): 602-603.

[7] Gao J H, Wang S H. Effects of cadmium stress on the growth and physiological characteristics of flue-cured tobacco. Journal of Agro-Environment Science, 2006, 25(5): 1167-1170.

[8] Yan C L, Lin P, Wang X R. Responses of membrane protection enzyme system of tobacco leaves on Hg, Cd and Pb stresses in soil. Acta Biologiae Experimentalis Sinica, 2002, 35(3): 170-172.

[9] Hoagland D R, Arnon D I. The water culture method for growing plants without soil. Circular California Agricultural Experimental Station, 1938, 347: 1-39.

[10] Li B Z. The measurement of IAA oxidase in "ping guo li" leaves. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2001, 21(6): 837-839.

[11] Zou Q. Guidance of Plant Physiological and Biochemical Experiment. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 168-170.

[12] Nemhauser J L, Hong F X, Chory J. Different plant hormones regulate similar processes through largely nonoverlapping transcriptional responses. Cell, 2006, 126(3): 467-475.

[13] Wu Y R, Xie Q. ABA and plant stress response. Chinese Bulletin of Botany, 2006, 23(5): 511-518.

[14] Thomas J C, Perron M, LaRosa P C, Smigocki A C. Cytokinin and the regulation of a tobacco metallothionein-like gene during copper stress. Physiologia Plantarum, 2005, 123(3): 263-271.

[15] Kamínek M, Motyka V, Vaňková R. Regulation of cytokinin content in plant cells. Physiologia Plantarum, 1997, 101(4): 689-700.

[16] Kobus G, Buczek J. Chlorophyll content, cells and chloroplast number and cadmium distribution in Cd-treated cucumber plants. Acta Physiologiae Plantarum, 1985, 7(3): 139-147.

[17] Ouzounidou G, Moustakas M, Eleftheriou E P. Physiological and ultrastructural effects of cadmium on wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1997, 32(2): 154-160.

[18] Pagliano C, Raviolo M, Vecchia F D, Gabbrielli R, Gonnelli C, Rascio N, Barbato R, Rocca N L. Evidence for PSⅡ donor-side damage and photoinhibition induced by cadmium treatment on rice(*Oryza sativa* L.). Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2006, 84(1): 70-78.

[19] Morsch V M, Schetinger M R C, Martins A F, Rocha J B T. Effects of cadmium, lead, mercury and zinc on δ-aminolevulinic acid dehydratase activity from radish leaves. Biologia Plantarum, 2002, 45(1): 85-89.

[20] Fletcher R A, Dianne M C. Cytokinin-induced chlorophyll formation in cucumber cotyledons. Planta, 1971, 101(1): 88-90.

[21] Jelića G, Bogdanović M. Antagonism between abscisic acid and cytokinin in chlorophyll synthesis in pine seedlings. Plant Science, 1989, 61(2): 197-202.

[22] Chang Y C, Walling L L. Abscisic acid negatively regulates expression of chlorophyll a/b binding protein genes during soybean embryogeny. Plant Physiology, 1991, 97(3): 1260-1264.

[23] Poschenrieder C, Gunsé B, Barceló J. Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves. Plant Physiology, 1989, 90(4): 1365-1371.

[24] Perfus-Barbeoch L, Leonhardt N, Vavasseur A, Forestier C. Heavy metal toxicity: cadmium permeates through calcium channels and disturbs the plant water status. The Plant Journal, 2002, 32(4): 539-548.

[25] Biehler K, Migge A, Fock H P. The role of malate dehidrogenase in dissipating excess energy under water stress in two wheat species. Photosynthetica, 1996, 32(3): 431-438.

[26] Vassilev A, Yordanov I, Chakalova E, Kerin V. Effect of cadmium stress on growth and photosynthesis of young (*H. vulgare* L.) plants. Ⅱ. Structural and functional changes in photosynthetic apparatus. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 1995, 21(4): 12-21.

[27] Araus J, Hogan K. Comparative leaf structure and patterns of photoinhibition of the neotropical palms *Scheelea zonensis* and *Socratea durissima* growing in clearings and forest understory during the dry season in Panama. American Journal of Botany, 1994, 81(6): 726-738.

[28] Vassilev A, Lidon F, Scotti P, Graca M D, Yordanov I. Cadmium-induced changes in chloroplast lipids and photosystem activities in barley plants. Biologia Plantarum, 2004, 48(1): 153-156.

[29] Vassilev A, Yordanov I. Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium-treated plants: a review. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 1997, 23(3/4): 114-133.

参考文献:

[5] 韦建玉, 金亚波, 吴峰, 屈冉. 烤烟品种 K326、云烟 85 及云烟 87 的适应性研究. 安徽农业科学, 2008, 36(6): 2362-2363.

[6] 朱凤鸣, 刘芳, 邹学贤. 昆明西郊镉污染对人体健康的影响. 中国卫生检疫杂志, 2002, 12(5): 602-603.

[7] 高家合, 王树会. 镉胁迫对烤烟生长及生理特性的影响. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1167-1170.

[8] 严重玲, 林鹏, 王晓蓉. 烟草叶片膜保护酶系统对土壤 Hg, Cd, Pb 胁迫的响应. 实验生物学报, 2002, 35(3): 170-172.

[10] 李秉真. 苹果梨叶片中 IAA 氧化酶的测定. 光谱学与光谱分析, 2001, 21(6): 837-839.

[11] 邹琦. 植物生理生化实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000: 168-170.

[13] 吴耀荣, 谢旗. ABA 与植物胁迫抗性. 植物学通报 2006, 23(5): 511-518.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 16 August, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

A comparative study on the diversity of rhizospheric bacteria community structure in constructed wetland and natural wetland with reed domination ····· WANG Zhongqiong, WANG Weidong, ZHU Guibing, et al (4489)
Light response of photosynthesisand its simulation in leaves of *Prunus sibirica* L. under different soil water conditions ····· LANG Ying, ZHANG Guangcan, ZHANG Zhengkun, et al (4499)
Effects of colour shading on the yield and main biochemical components of summer-autumn tea and spring tea in a hilly tea field ····· QIN Zhimin, FU Xiaoqing, XIAO Runlin, et al (4509)
Effects of cadmium on the contents of phytohormones, photosynthetic performance and fluorescent characteristics in tobacco leaves ····· WU Kun, WU Zhonghong, TAI Fuju, et al (4517)
Comparative physiological responses of cadmium stress on *Enteromorpha clathrata* and *Enteromorpha linza* ····· JIANG Heping, ZHENG Qingsong, ZHU Ming, et al (4525)
Effects of salt stress onglucosinolate contents in *Arabidopsis thaliana* and *Thellungiella halophila* rosette leaves ····· PANG Qiuying, CHEN Sixue, YU Tao, et al (4534)
Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field ····· GAO Jusheng, CAO Weidong, LI Dongchu, et al (4542)
Nitrogen balance in the farmland system based on water balance in Hetao irrigation district, Inner Mongolia ····· DU Jun, YANG Peiling, LI Yunkai, et al (4549)
Seed characteristics and seedling growth of *Spartina alterniflora* on coastal wetland of North Jiangsu ····· XU Weiwei, WANG Guoxiang, LIU Jin'e, et al (4560)
Assessment of non-point source pollution export from Zigui county in the Three Gorges Reservoir area using the AnnAGNPS model ····· TIAN Yaowu, HUANG Zhilin, XIAO Wenfa (4568)
Effects of Cadmium pollution on oxidative stress and metallothionein content in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) in different habitats ····· ZHANG Zhengtian, PANG Zhenling, XIA Min, et al (4579)
The distribution of size-fractionated chlorophyll a in the Indian Ocean South Equatorial Current ····· ZHOU Yadong, WANG Chunsheng, WANG Xiaogu, et al (4586)
Change of waterbird community structure after the intertidal mudflat reclamation in theYangtze River Mouth: a case study of NanHui Dongtan area ····· ZHANG Bin, YUAN Xiao, PEI Enle, et al (4599)
Application of fish assemblage integrity index (FAII) in the environment quality assessment of surf zone of Yangtze River estuary ····· MAO Chengze, ZHONG Junsheng, JIANG Rijin, et al (4609)
Population age structure of Antarctic krill *Euphausia superba* off the northern Antarctic Peninsula based on fishery survey ····· ZHU Guoping, WU Qiang, FENG Chunlei, et al (4620)
Validation and adaptability evaluation of rice growth model ORYZA2000 in double cropping rice area of Hunan Province ····· MO Zhihong, FENG Liping, ZOU Haiping, et al (4628)
Coupled energy and carbon balance analysis under dryland tillage systems ····· WANG Xiaobin, WANG Yan, DAI Kuai, et al (4638)
The nitrate-nitrogen leachingamount in paddy winter-spring fallow period ····· WANG Yongsheng, YANG Shiqi (4653)
The sources of organic carbon and nitrogen in sediment of Taihu Lake ····· NI Zhaokui, LI Yuejin, WANG Shengrui, et al (4661)
Effect of partial solar eclipse on airborneculturable bacterial community in Urumqi ····· MA Jing, SUN Jian, ZHANG Tao, et al (4671)
Comparative study on density related intra- and inter-specific effects in *Laodelphax striatellus* (Fallen) and *Nilaparvata lugens* (Stål) ····· LÜ Jin, CAO Tingting, WANG Liping, et al (4680)
Behavior rhythm and seasonal variation of time budget of sun bear (*Helarctos malayanus*) in captivity ····· LAN Cunzi, LIU Zhensheng, WANG Aishan, et al (4689)
Disturbance regimes and gaps characteristics of the desert riparian forest at the middle reaches of Tarim River ····· HAN Lu, WANG Haizhen, CHEN Jiali, et al (4699)
Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, *Bretschneidera sinensis* ····· QIAO Qi, QIN Xinsheng, XING Fuwu, et al (4709)
Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress ····· DUO Lian, WANG Jingjing, ZHAO Shulan (4717)
Spatiotemporal relationship of leaf area index simulated by CLM3.0-DGVM and climatic factors ····· SHAO Pu, ZENG Xiaodong (4725)
Analysis of circular economy of Liaoning Province based on eco-efficiency ····· HAN Ruiling, TONG Lianjun, SONG Yanan (4732)

Review and Monograph

The fungal to bacterial ratio in soil food webs, and its measurement ····· CAO Zhiping, LI Depeng, HAN Xuemei (4741)
Indicators for evaluating sustainable communities: a review ····· ZHOU Chuanbin, DAI Xin, WANG Rusong, et al (4749)

Discussion

Differential expression of *PAL* multigene family in allelopathic rice and its counterpart exposed to stressful conditions ····· FANG Changxun, WANG Qingshui, YU Yan, et al (4760)

Scientific Note

Ecology study on the benthic animals of QinZhou Bay ····· WANG Di, CHEN Pimao, MA Yuan (4768)
Change characteristics of soil carbon and nitrogen contents in the Yellow River Delta soil after artificial restoration ····· DONG Kaikai, WANG Hui, YANG Liyuan, et al (4778)
Estimation and spatial pattern analysis of forest biomass in Fenglin Nature Reserve based on Geostatistics ····· LIU Xiaomei, BU Rencang, DENG Huawei, et al (4783)
Study on sap flow in forest of *Quercus liaotungensis* and *Populus davidiana* by using the TDP method ····· SUI Xuhong, ZHANG Jianjun, WEN Wanrong (4791)
N_2O Emission and its driving factors from typical marsh and shrub swamp in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China ····· SHI Lanying, MU Changcheng, TIAN Xinmin, et al (4799)

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 16 期　（2011 年 8 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly，Started in 1981）
Vol. 31　No. 16　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
主　编　冯宗炜
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
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

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 FENG Zong-Wei
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 70.00 元