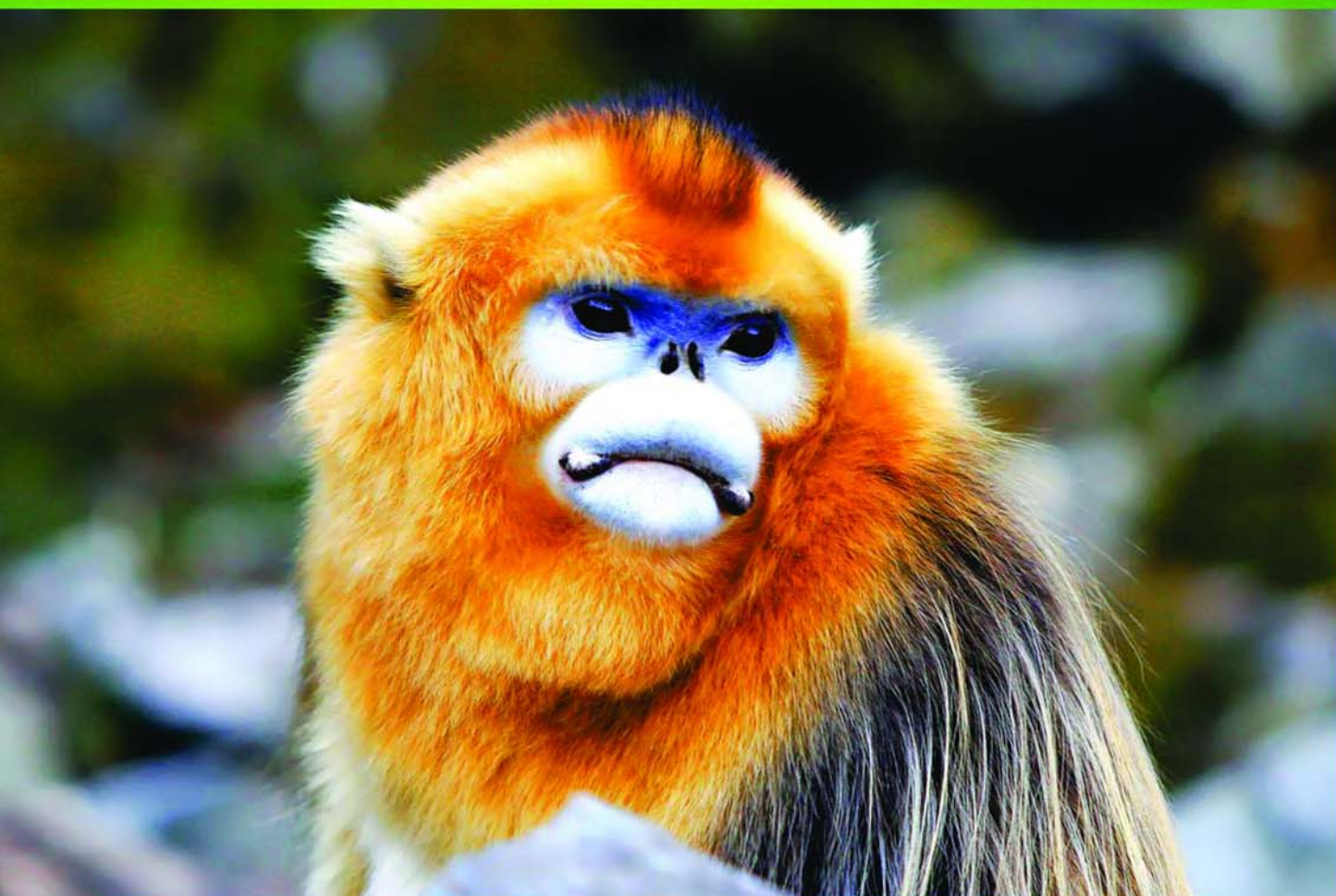


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **2012**

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 32 卷 第 2 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较	王国红,刘 勇,戈 峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求	方健惠,骆有庆,牛 犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较	方 舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响	韩鸣花,海燕,周 斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成	王小冬,王 艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选	仲 洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响	刘忠华,李云梅,吕 恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析	邹 锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应	周 振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析	赵紫华,王 颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集	罗 毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响	张 昊,张利兰,王 佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化	张明如,温国胜,张 瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能	潘春翔,李裕元,彭 亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征	张 威,章高森,刘光琇,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应	李 磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征	高 凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应	张明娟,刘茂松,徐 驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响	栾 霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例	常 杰,任 远,史 琰,等 (641)
研究简报	
不同水分条件下毛茛苔草枯落物分解及营养动态	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-01	



封面图说: 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林,常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长着柔软金色长毛,十分漂亮。个体大,嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201012131770

郑爱珍. 镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响. 生态学报, 2012, 32(2): 0483-0488.

Zheng A Z. Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (*Brassica alboglabra* Bailey) roots. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0483-0488.

镉胁迫对芥蓝根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响

郑爱珍*

(河南商丘师范学院生命科学学院, 河南商丘 476000)

摘要: 水培条件下, 以“香港白花”芥蓝品种为供试材料, 研究 4 种不同浓度镉(0、1.0、2.0、4.0、8.0 mg/L Cd) 处理对芥蓝幼苗根系质膜过氧化及 ATPase 活性的影响。结果表明, 与对照相比, 随着 Cd 处理浓度的增加, 芥蓝根系活力呈现降低的变化趋势, 而根系超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性以及丙二醛(MDA)、H₂O₂含量和 O₂⁻产生速率表现出升高的趋势, 表明芥蓝受到活性氧物质的胁迫。1.0、2.0 mg/L Cd 浓度处理下的 H₂O₂含量与对照差异不显著, 而 O₂⁻产生速率则在 1.0 mg/L 浓度处理下与对照差异不显著。随着 Cd 处理浓度的增加, 芥蓝根系质膜 H⁺-ATPase 和 Ca²⁺-ATPase 活性呈现出先增后减的变化趋势。1.0 mg/L Cd 浓度处理时, H⁺-ATPase 和 Ca²⁺-ATPase 活性与对照差异不显著($P > 0.05$), 而在 2.0、4.0、8.0 mg/L Cd 处理时, 两种 ATPase 活性显著降低($P < 0.05$), 并且与膜脂过氧化水平呈极显著的负相关($R^2 > 0.969$)。因此, 低浓度 Cd 处理对芥蓝根系质膜两种 ATPase 活性影响较小, 较高浓度 Cd 处理使芥蓝根系活力和质膜 ATPase 的损伤加重。

关键词: 芥蓝; 根系; 镉胁迫; 质膜氧化; ATPase 活性

Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (*Brassica alboglabra* Bailey) roots

ZHENG Aizhen*

Institute of Life Science, Shangqiu Normal University, Shangqiu, Henan Province, 476000, China

Abstract: Cadmium (Cd) is among the most widespread and toxic pollutants in the surface soil layer. Its toxicity in soil is becoming a severe threat to organisms worldwide. It is the most dangerous carcinogen for the human body, and readily accumulates in kidneys and bones, leading to disruption of kidney function, osteomalacia and bone breakage. Wide areas of agricultural soil across China are heavily contaminated by Cd and thus it enters the food chain. In soil, Cd is distributed mainly in the topsoil and, without deposited by soil organic compounds, it is more easily assimilated by crop roots compared with other heavy metals. However, vegetable cultivars accumulate much more Cd in the shoot, the portion eaten by humans. In China, total vegetable production is 3.45 million tones, which ranks as the highest in the world, and most of the vegetable-farming land is located in suburban areas where highly intensive industries are located and thus the lands are widely contaminated by heavy metal pollutants. As a result, vegetables in most city markets contain Cd at levels two- to three-fold, or in extreme cases 5.2-fold, higher than the National Sanitary Criteria of Cd content in vegetable products. Economically, the heavy metal problem weakens the international competitiveness of the Chinese vegetable industry, therefore decontamination of heavy metals from polluted soils, as well as lowering of Cd residues in vegetables, is of great urgency both for human health and the national economy.

Hydroponic experiments were conducted in a greenhouse to study the effects of Cd on lipid peroxidation and membrane

基金项目: 河南省科技厅自然科学基金资助项目(0511030200); 河南省科技厅攻关项目(102102110172); 河南省教育厅科技攻关项目(200510483005)

收稿日期: 2010-12-13; **修订日期:** 2011-05-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sqzaz@163.com

proton pump activity of Chinese kale (*Brassica alboglabra* Bailey) roots, and to explore the toxicity of Cd stress on plants. Plants were grown under controlled environmental conditions, and subjected to different Cd concentrations ranging from 0 to 8 mg/L. We determined the root activity, rate of O_2^- generation, H_2O_2 and malondialdehyde (MDA) contents as well as activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT), H^+ -ATPase and Ca^{2+} -ATPase of Chinese kale roots exposed to five different Cd concentrations for 10 days.

The root activity decreased with increasing Cd concentration, which resulted in a significant increase in O_2^- and H_2O_2 concentrations and MDA content, compared with the control (CK). Increasing Cd concentration enhanced activities of SOD, POD, and CAT ($P < 0.05$), which indicated that the Chinese kale plants were stressed by Cd. No significant difference in H_2O_2 content was observed among the CK, 1.0 and 2.0 mg/L Cd treatments, while a similar trend was observed in rate of O_2^- generation between the CK and 1.0 mg/L Cd treatment. The activities of H^+ -ATPase and Ca^{2+} -ATPase first increased and then decreased with the increase in Cd concentration. In addition, the activities of H^+ -ATPase and Ca^{2+} -ATPase showed no obvious change ($P > 0.05$) in response to 1.0 mg/L Cd, but significantly decreased with stress induced by 2.0, 4.0 and 8.0 mg/L Cd ($P < 0.05$). A negative correlation existed between the level of membrane lipids and the two enzymes.

We concluded that there was no noticeable change under a low Cd concentration of ATPase activity in the plasma membrane of Chinese kale roots, whereas under relatively high Cd stress activity dropped markedly and root growth was suppressed.

Key Words: Chinese kale; root; cadmium stress; lipid peroxidation; ATPase activity

随着采矿、冶炼工业的发展,农业生产中施用含镉(Cd)的肥料、灌溉含Cd的污水、污泥农用等,使得土壤Cd污染日益严重^[1]。由于Cd进入土壤后很少向下迁移,主要累积与土壤表层,导致农田土壤环境质量不断恶化^[2]。Cd在土壤中的积累对植物的危害很大,Cd被植物吸收后,易导致植物遗传物质损伤和变异,能够破坏细胞膜,改变叶绿体、线粒体等细胞器的结构与功能,抑制光合及呼吸过程,降低酶的活性,影响植物的生理代谢活动^[3-7]。目前Cd胁迫研究主要集中在玉米、水稻、小麦、大豆等作物中,在芸薹属作物上的研究比较少;此外,根系最先受到土壤重金属影响,而关于Cd胁迫下对芸薹属作物芥蓝根系的影响,鲜见报道。根系活力和根系质膜ATPase活性是影响根系吸收功能的重要因子^[8]。本试验以“香港白花”芥蓝品种为试材,在水培条件下,研究芥蓝根系活力、氧自由基和质膜ATPase活性对不同Cd浓度处理的反应,旨在分析Cd对植物的毒害机理,从而为Cd污染地区芥蓝安全优质生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

所选芥蓝品种为“香港白花”。种子经消毒处理后播于湿润的蛙石中,出苗后浇稀释的完全营养液,两周后挑选生长一致的幼苗移栽到装有4 L营养液的塑料桶中进行预培养,每桶4株。全营养液配方为1/2 Hoagland-Arnon营养液配方。预培养两周后,选取生长一致、有足量白根的植株,用清水洗净根部,在去离子水中放置12 h后,向营养液中加入固体 $CdSO_4$ 使营养液中Cd的浓度为1.0 mg/L(Cd1)、2.0 mg/L(Cd2)、4.0 mg/L(Cd4)和8.0 mg/L(Cd8),以不加Cd为对照(Cd0)。试验期间,营养液每3 d更换1次,调pH值至6.5,并连续通气。随机区组排列,每处理重复4次。处理10 d后植株收获,地上部及根部分开,根用去离子水冲洗净,称取10 g鲜根用于各项指标的测定。

1.2 测定方法

1.2.1 根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定,用四氮唑还原强度($\mu g\ g^{-1}\ h^{-1}$)表示根系活力^[9]。

1.2.2 O_2^- 产生速率和 H_2O_2 含量测定

O_2^- 产生速率采用王爱国等的方法测定^[10]; H_2O_2 含量采用Uchida等的方法测定^[11]。

1.2.3 丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸(TBA)比色法测定^[12]。

1.2.4 质膜分离与质膜 ATPase 活性测定

(1)质膜分离 参照 Wang 和 Sze^[13]的方法并略作改动。取 1—2 g 根加入 2 倍(w/v)体积预冷的研磨缓冲液(Hepes-Tris 25 mmol/L,pH 值 7.6,甘露醇 250 mmol/L,EGTA 5 mmol/L,EDTA 5 mmol/L,KCl 10 mmol/L,PMSF 2 mmol/L,1.5% PVP,0.5% BSA,BHT 5 μg/L,K₂S₂O₅ 5 mmol/L,DTT 1 mmol/L),冰浴研磨。研磨液经 4 层纱布过滤,滤液 13000 g 离心 30 min,取上清液 60000 g 离心 30 min,弃上清液,沉淀悬浮于 1 mL 悬浮缓冲液(Hepes-Tris 2.5 mmol/L,pH 值 7.6,甘露醇 250 mmol/L,EDTA 1 mmol/L,DTT 1 mmol/L)中,置于不连续梯度蔗糖(45%、36%和 22%)中,经 70,000g 离心 2 h,36%和 45%间带溶液为质膜微囊,取出测定 ATPase 活性。

(2)H⁺-ATPase 活性测定 采用 Wang 和 Sze 方法^[13]并作改动,反应体系为 0.5 mL,含 250 mmol/L Hepes-Tris (pH 值 7.0),3 mmol/L ATP-Na₂,0.1 mmol/L (NH₄)₂MoO₄,1.0 mmol/L NaN₃,50 mmol/L NaNO₃,0.01% TritonX-100(体积分数)和 50 mmol/L KCl。在反应体系中加入膜微囊制剂 10—30 μg,于 37 °C 下反应 30 min,用 50 μL 的 55% TCA 中止反应,测定释放的无机磷量。无机磷采用 Ohnishi 等^[14]的方法。活性单位为 10⁻⁶mol·L⁻¹ Pi·mg⁻¹蛋白质·h⁻¹。

(3)Ca²⁺-ATPase 活性测定 参照廖颖等^[15]方法。反应体系为 0.5 mL,含 50 mmol/L Tris-Mes (pH 值 7.6),250 mmol/L 蔗糖,1 mmol/L DTT,2 mmol/L ATP-Na₂,0.1 mmol/L (NH₄)₂MoO₄,0.02% TritonX-100(体积分数),300 mmol/L NaNO₃,1.0 mmol/L NaN₃,2.0 mmol/L Ca(NO₃)₂。在反应体系中加入膜微囊制剂,于 37 °C 下反应 30 min,用 50 μL 的 55% TCA 中止反应,测定释放的无机磷量。加与不加 Ca(NO₃)₂引起的酶活性之差为 Ca²⁺-ATPase 活性。

1.2.5 根系抗氧化酶活性测定

酶液的提取:称取 0.5 g 左右根系鲜样剪碎,加 0.05 mol/L,pH 值 7.8 的磷酸缓冲液(内含 1%的 PVP)5.0 mL 及少量石英砂,于冰浴中研磨提取,15 000×g,4 °C 下离心 15 min,上清液定容至 10 mL,上清液为酶提取液,用于 SOD、POD、CAT 活性的测定。SOD 活性测定按照王爱国等^[16]的方法,以反应抑制氮蓝四唑(NBT)光氧化还原 50%的酶量为一个酶活力单位(unit/mg 鲜重)。CAT 活性测定 用高锰酸钾滴定法^[17]测定,以 30 °C 下每克鲜重样品 1min 内分解 H₂O₂的毫克数为酶活力单位(μmol H₂O₂·g⁻¹·min⁻¹鲜重)。POD 活性测定用愈创木酚法^[18]测定,以 ΔOD₄₇₀g⁻¹鲜重 min⁻¹表示酶活力单位。

1.3 数据分析

所有数据采用 SPSS 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 软件统计,采用 Duncan 法进行差异显著性检验。文中小写字母 a、b、c 表示不同处理在 0.05 水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 Cd 对芥蓝根系活力的影响

图 1 可以看出,“香港白花”芥蓝根系活力在镉处理浓度为 1.0 mg/L (Cd1)、2.0 mg/L (Cd2) 时与对照 (Cd0) 无显著差异。4.0 mg/L (Cd4)、8.0 mg/L (Cd8) 浓度时与对照处理差异显著 ($P < 0.05$),根系活力分别下降了 38.0% 和 72.4%。

2.2 Cd 对芥蓝根系质膜及抗氧化活性的影响

表 1 表明,在 Cd 胁迫条件下,芥蓝根系活性氧代谢受到影响。MDA、O₂⁻、H₂O₂ 等含量增加,引起膜脂过氧化或膜脂脱脂作用,膜结构损伤。随着 Cd 处理浓度的

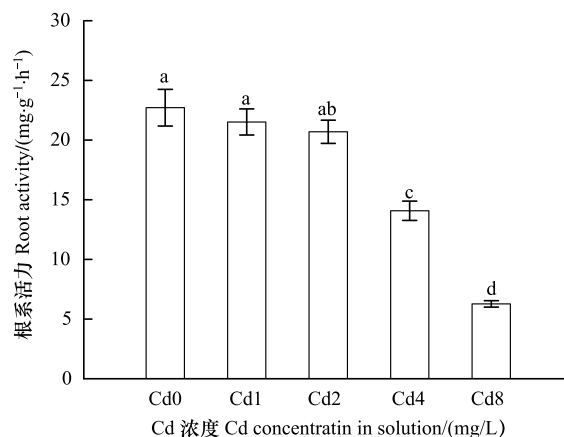


图 1 不同镉浓度下芥蓝根系根系活力的变化

Fig. 1 Root activity of Chinese kale under different Cd levels
各柱上的字母不同表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著

增加,芥蓝根系 MDA 含量均逐渐上升,与对照(Cd0)相比,Cd1、Cd2、Cd4、Cd8 处理下根系 MDA 含量分别上升了 0.28、0.73、1.5 倍和 2.2 倍(表 1)。

芥蓝根系 H_2O_2 含量在 0—2.0 mg/LCd 处理时与对照(Cd0)没有显著差异($P > 0.05$),在浓度为 4.0 和 8.0 mg/L 时 H_2O_2 含量显著升高,分别为 Cd0 处理的 3.3、4.0 倍,与 Cd0 及其他处理(Cd1、Cd2)间的差异达显著水平($P < 0.05$)。类似的, O_2^- 产生速率除 Cd1 处理与对照(Cd0)处理差异不显著外,而与 Cd2、Cd4、Cd8 处理均达显著水平。与对照相比,芥蓝根系 O_2^- 产生速率在 Cd2、Cd4、Cd8 各处理下分别提高了 0.38、1.18 倍和 1.44 倍(表 1)。

表 1 Cd 浓度对芥蓝根系细胞膜生理特性的影响

Table 1 Effects of Cd on several characteristics associated with plasma membrane of Chinese kale

Cd 浓度 Cd Concentration /(mg/L)	丙二醛含量 MDA content /($\mu\text{mol/g}$)	H_2O_2 含量 H_2O_2 content /($\mu\text{mol/g}$)	O_2^- 产生速率 O_2^- production rate /($\text{nmol g}^{-1} \text{min}^{-1}$)	SOD 活性 SOD activity /(unit/mg 鲜重)	POD 活性 POD activity /($\Delta\text{OD}_{470} \text{g}^{-1}$ 鲜重 min^{-1})	CAT 活性 CAT activity /($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \cdot$ $\text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 鲜重)
0 (Cd0)	$6.3 \pm 0.18\text{e}$	$11.4 \pm 1.42\text{c}$	$30.8 \pm 2.74\text{d}$	$2.7 \pm 0.12\text{d}$	$13.4 \pm 1.02\text{e}$	$3.2 \pm 0.27\text{e}$
1.0 (Cd1)	$8.1 \pm 0.37\text{d}$	$12.7 \pm 2.0\text{c}$	$31.27 \pm 1.97\text{d}$	$3.0 \pm 0.17\text{d}$	$18.7 \pm 0.93\text{d}$	$4.2 \pm 0.18\text{d}$
2.0 (Cd2)	$10.9 \pm 0.18\text{c}$	$13.5 \pm 1.6\text{c}$	$42.4 \pm 4.18\text{c}$	$3.8 \pm 0.18\text{c}$	$22.9 \pm 1.6\text{c}$	$5.3 \pm 0.18\text{c}$
4.0 (Cd4)	$15.6 \pm 0.43\text{b}$	$49.5 \pm 0.9\text{b}$	$67.5 \pm 3.73\text{b}$	$4.7 \pm 0.43\text{b}$	$27.8 \pm 0.94\text{b}$	$6.4 \pm 0.39\text{b}$
8.0 (Cd8)	$20.4 \pm 0.84\text{a}$	$57.3 \pm 3.7\text{a}$	$86.7 \pm 6.40\text{a}$	$6.1 \pm 0.84\text{a}$	$38.4 \pm 3.7\text{a}$	$8.2 \pm 0.64\text{a}$

同列数据后标不同字母者表示差异显著($P < 0.05$)

2.3 Cd 对芥蓝根系抗氧化酶活性的影响

随着 Cd 处理浓度的增加,芥蓝根系 SOD、POD、CAT 活性呈增加的趋势(表 1)。在 Cd 处理浓度为 8.0 mg/L 时,SOD、POD、CAT 活性分别比对照(Cd0)处理提高了 1.25、1.86 和 1.56 倍。芥蓝根系 SOD 活性在 1.0 mg/LCd 处理(Cd1)与对照(Cd0)无显著差异($P > 0.05$)。SOD、POD、CAT 活性与营养液中外源添加的 Cd 浓度呈极显著的正相关。

2.3 Cd 对芥蓝根系质膜 H^+ -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 活性的影响

质膜 H^+ -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 为植物细胞质膜上 2 种重要的功能蛋白。从图 2 可以看出,随着 Cd 处理浓度的增加,芥蓝根系质膜 H^+ -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性变化较为明显,且都呈现出先增后减的变化趋势。与对照(Cd0)相比,1.0 mg/L (Cd1)处理的 H^+ -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性分别增加了 4.8% 和 3.6%,但差异并不显著($P > 0.05$)。而其他处理(Cd2、Cd4、Cd8)的 H^+ -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性与对照相比均显著降

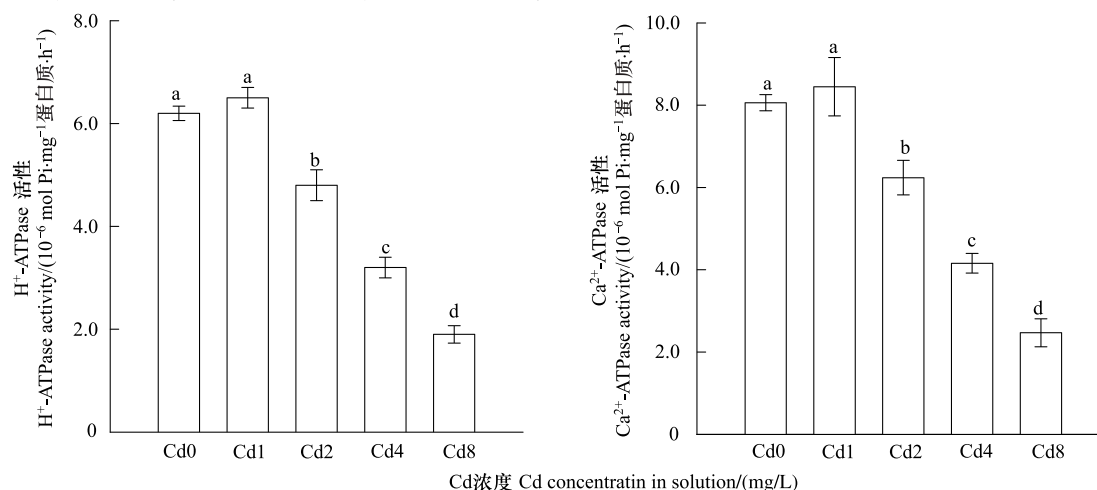


图 2 不同镉浓度下芥蓝根系质膜 H^+ -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性的变化

Fig. 2 H^+ -ATPase and Ca^{2+} -ATPase activities of the plasma membrane in Chinese kale root under the different Cd level in solution

低($P < 0.05$)。这说明低浓度 Cd 对 H^+ -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性影响较小,而当 Cd 浓度较高时,其对二者的活性有抑制作用此时生物膜上的物质转运和能量代谢受到影响,引起代谢紊乱,使细胞受到伤害。在水培条件下,营养液中添加不同浓度的 Cd 与芥蓝根系质膜 H^+ -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性呈极显著的负相关($P < 0.01$)。质膜 H^+ -ATPase 和 Ca^{2+} -ATPase 活性与 Cd 处理浓度回归方程和相关系数分别为 $y(H^+-ATPase \text{ 活性}) = -0.51x(\text{Cd 处理浓度}) + 8.56 (R^2 = 0.927^{**})$; $y(Ca^{2+}-ATPase) = -0.66x(\text{Cd 处理浓度}) + 5.86 (R^2 = 0.938^{**})$ 。

3 讨论

质膜是细胞与环境之间物质交换的屏障,各种逆境对细胞的影响均首先作用于细胞膜,最先对逆境作出反应的也是质膜及其功能蛋白^[19]。质膜 H^+ -ATPase 建立跨膜质子驱动力,与 Ca^{2+} 行使其第二信使功能有密切关系,在植物对环境胁迫的响应中起着重要作用^[17];质膜 Ca^{2+} -ATPase 控制细胞内 Ca^{2+} 的分布和浓度,在维持胞内 Ca^{2+} 的低稳态方面发挥着重要作用,二者活性对植物逆境下的存活可能起主要调节作用^[20, 21]。

Cd 对植物伤害的重要机制之一是活性氧(ROS)的过量积累导致质膜过氧化,MDA 是脂类物质氧化的最终产物,故常作为植物逆境胁迫的重要指标^[22]。在 Cd 胁迫下,ROS 的产生和清除失去了平衡,导致 ROS 积累,膜脂过氧化加剧。植物体将通过抗氧化酶系统(SOD、CAT、POD 等)来消除或减少 ROS 带来的伤害。在一定范围内,SOD、CAT 共同作用能把 O_2^- 和 H_2O_2 转化为 O_2 和 H_2O ,并能减少其毒性和高活性。OH 的形成,SOD 是抗氧化系统中的第一道屏障,是防御细胞膜脂过氧化的主要酶,是一种清除超氧离子自由基的酶,与植物的抗逆性密切相关。有研究表明,SOD 活性的怎样,有利于超氧离子的清除。POD 是植物体内普遍存在、活性较高的一种酶,其与呼吸、光合作用有密切关系。本研究表明,在 Cd 胁迫下,脂膜过氧化作用增强,POD、CAT 活性均升高(表 2),这有利于活性氧物质的清除,是细胞膜免受伤害。MDA 含量高低是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标。本研究表明,随着 Cd 处理浓度的增加,芥蓝根部 MDA 含量、 O_2^- 的产生速率以及 H_2O_2 含量增加(表 1),这与前人的研究结果相似^[22-23]。当大量 Cd 离子进入细胞后,植物体内产生了过量自由基,而自由基具有极强的氧化能力,能通过氧化反应来攻击细胞膜、酶蛋白和核酸等,其与细胞膜蛋白的-SH 或磷脂分子层的磷脂类物质发生反应,造成膜蛋白的磷脂结构改变,致使细胞膜结构发生变化,严重干扰包括呼吸作用在内的各种代谢过程^[3, 24],从而出现生物量下降和叶片褪绿情况,使植株表现出受害症状,这可能是 Cd 对芥蓝生理伤害的机制之一。

吸收是根系的主要功能,这包括主动吸收和被动吸收,而主动吸收需要 ATPase 催化 ATP 水解而提供能量^[23]。本研究用 TTC 法测定的根系活力是以呼吸链中脱氢酶的活性来表征的,它实际是根系呼吸强度的一种反映^[9],而呼吸作用是产生 ATP 等生物能量的主要过程。4.0 mg/L Cd 浓度显著抑制根系活力(图 1),必然干扰 ATP 等生物能量的产生,并进而影响根系的主动吸收。质膜结构与功能的改变,在一定程度上可能会影响到其结合蛋白的结构与功能,细胞膜的完整性与 H^+ -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 活性密切相关。其中,质膜 H^+ -ATPase 建立的跨膜质子梯度,是根系主动吸收营养元素的重要驱动力^[25]。本研究表明,在 1.0 mg/L Cd 浓度处理下, H^+ -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 活性均较对照略有升高,但差异不大(图 2)。而在高浓度下(2.0、4.0、8.0 mg/L), H^+ -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 活性显著降低,质子驱动力减弱(图 2)说明高浓度 Cd 氯化镉破坏了细胞质膜的功能,同时也损伤了根系主动吸收的功能,这与根系活力反映的问题一致。因此,不论根系活力还是质膜 ATPase 活性都与根系主动吸收有关,高浓度 Cd 导致芥蓝根系活力、质膜 H^+ -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 活性的显著降低,表明高浓度 Cd 已损伤了芥蓝根系主动吸收的功能。这与前人的研究不悖^[20, 23]。

References:

- [1] Chen H M, Zheng C R, Wang S Q, Tu C. Combined pollution and pollution index of heavy metals in red soil. *Phedosphere*, 2000, 10(2): 117-124.
- [2] Liu J, Liao B H, Zhou H, Zhang Y, Zeng M, Huang Y X, Zeng Q R. Main characteristics of physiological-ecological dynamics of soybean during the growth cycle under Cd stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 333-340.

- [3] Lin A J, Zhang X H, Chen M M, Cao Q. Oxidative stress and DNA damages induced by cadmium accumulation. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 2007, 19(5): 596-602.
- [4] Romero-Puertas M C, Rodríguez-Serrano M, Corpas F J, Gómez M, Delrío L A, Sandalio L M. Cadmium-induced subcellular accumulation of O_2^- and H_2O_2 in pea leaves. *Plant, Cell and Environment*, 2004, 27(9): 1122-1134.
- [5] Hasan S A, Fariduddin Q, Ali B, Hayat S, Ahmad A. Cadmium: toxicity and tolerance in plants. *Journal of Environmental Biology*, 2009, 30(2): 165-174.
- [6] Milone M T, Sgherri C, Clijsters H, Navari-Izzo F. Antioxidative responses of wheat treated with realistic concentration of cadmium. *Environmental and Experimental Botany*, 2003, 50(3): 265-276.
- [7] Jing H M, Zheng H L, Zhao Z Q, Zhang C G. Progresses of plants response to cadmium. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2125-2130.
- [8] Sanità di Toppi L, Gabbriellini R. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, 1999, 41(2): 105-130.
- [9] Ge T D, Song S W, Chi M H, Huang D F, Iwasaki K. Effects of nitrogen forms on carbon and nitrogen accumulation in tomato seedling. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 7(11): 1308-1317.
- [10] Wang A G, Luo G H. Quantitative relation between the reaction of hydroxylamine and superoxide anion radicals in plants. *Plant Physiology Communications*, 1990, (6): 55-57.
- [11] Uchida A, Jagendorf A T, Hibino T, Takabe T, Takabe T. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice. *Plant Science*, 2002, 163(3): 515-523.
- [12] Ge T D, Sui F G, Bai L P, Lu Y Y, Zhou G S. Effects of water stress on the protective enzyme activities and lipid peroxidation in roots and leaves of summer maize. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 5(4): 291-298.
- [13] Wang Y Z, Sze H. Similarities and differences between the tonoplast-type and the mitochondrial H^+ -ATPase of oat roots. *Journal of Biology*, 1985, 260: 10434-10443.
- [14] Ohnishi T, Gall R S, Mayer M L. An improved assay of inorganic phosphate in the presence of extralabile phosphate compounds: application to the ATPase assay in the presence of phosphocreatine. *Analytical Biochemistry*, 1975, 69(1): 261-267.
- [15] Miao Y, Cao J S, Jiang Y T, Zeng G W. Changes of Ca^{2+} -ATPase activity in inner leaves during the development of Tipburn in Chinese cabbage. *Acta Horticulturae Sinica*, 1998, 25(1): 51-55.
- [16] Wang A G, Luo G H, Shao C B. A study on the superoxide dismutase of soybean seeds. *Acta Phytophysiological Sinica*, 1983, 9(1): 77-84.
- [17] Gusta L V, Benning N T, Wu G H, Luo X M, Liu X J, Gusta M L, McHughen A. Superoxide dismutase: an all-purpose gene for agri-biotechnology. *Molecular Breeding*, 2009, 24(2): 103-115.
- [18] Amalo K, Chen G X, Asade K. Separate assays specific for ascorbate peroxidase and guaiacol peroxidase and for the chloroplastic and cytosolic isozymes of ascorbate peroxidase implants. *Plant Cell Physiology*, 1994, 35(3): 497-504.
- [19] Zhao H, Lu J Y, Zhang S N, Hou X L. Effects of Cr^{6+} on lipid peroxidation and ATPase activity of Sorghum Hybrid Sudangrass (*Sorghum bicolor* × *S. Sudanense*) roots. *Journal of Northwest A and F University (Natural Science Edition)*, 2009, 37(10): 167-172.
- [20] Ahn S J, im Y J, Chung G C, Seong K Y, Cho B H. Sensitivity of plasma membrane H^+ -ATPase of cucumber root system in response to low root temperature. *Plant Cell Reports*, 2000, 19(8): 831-835.
- [21] Sanders D, Brownlee C, Harper J F. Communicating with calcium. *The Plant Cell Online*, 1999, 11(4): 691-706.
- [22] Tang Y T, Guan L J, Qiu R L, Ying R R, Liu F J, Hu P J. Antioxidative defense to cadmium in *hyperaccumulator Picris divaricata* V. . *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 324-332.
- [23] Shao X J, Yang H Q, Rang K, Jiang Q Q, Sun X L. Effects of salicylic acid on plasma membrane ATPase and free radical of grape root under cadmium stress. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(7): 1441-1447.
- [24] Liu D Y, Wang Y B, Zhang X X, Si Q. Effect of sewage irrigation on wheat growth and its activate oxygen metabolism. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(10): 1319-1322.
- [25] Janicka-Russak M, Kabaa K, Burzyński M, Kobus G. Response of plasma membrane H^+ -ATPase to heavy metal stress in *Cucumis sativus* roots. *Journal of Experimental Botany*, 2008, 59(13): 3721-3728.

参考文献:

- [2] 刘俊, 廖柏寒, 周航, 张永, 曾敏, 黄运湘, 曾清如. 镉胁迫下大豆生长发育的生理生态特征. *生态学报*, 2010, 30(2): 333-340.
- [7] 荆红梅, 郑海雷, 赵中秋, 张春光. 植物对镉胁迫响应的研究进展. *生态学报*, 2001, 21(12): 2125-2130.
- [10] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系. *植物生理学通讯*, 1990, (6): 55-57.
- [15] 缪颖, 曹家树, 将有条, 曾广文. 大白菜干烧心病发生过程中 Ca^{2+} -ATPase 活性的变化. *园艺学报*, 1998, 25(1): 51-55.
- [16] 王爱国, 罗光华, 邵从本. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究. *植物生理学报*, 1983, 9(1): 77-84.
- [19] 赵晖, 吕金印, 张素娜, 侯晓林. Cr^{6+} 胁迫对高丹草幼苗根质膜氧化及 ATPase 活性的影响. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2009, 37(10): 167-172.
- [22] 汤叶涛, 关丽捷, 仇荣亮, 应蓉蓉, 刘凤杰, 胡鹏杰. 镉对超富集植物滇苦菜抗氧化系统的影响. *生态学报*, 2010, 30(2): 324-332.
- [23] 邵小杰, 杨洪强, 冉昆, 姜倩倩, 孙晓莉. 水杨酸对镉胁迫下葡萄根系质膜 ATPase 和自由基的影响. *中国农业科学*, 2010, 43(7): 1441-1447.
- [24] 刘登义, 王友保, 张徐祥, 司琴. 污灌对小麦幼苗生长及活性氧代谢的影响. *应用生态学报*, 2002, 13(10): 1319-1322.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.2 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species (<i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i>) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale (<i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyusyuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taramakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
Scientific Note	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 2 2012

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