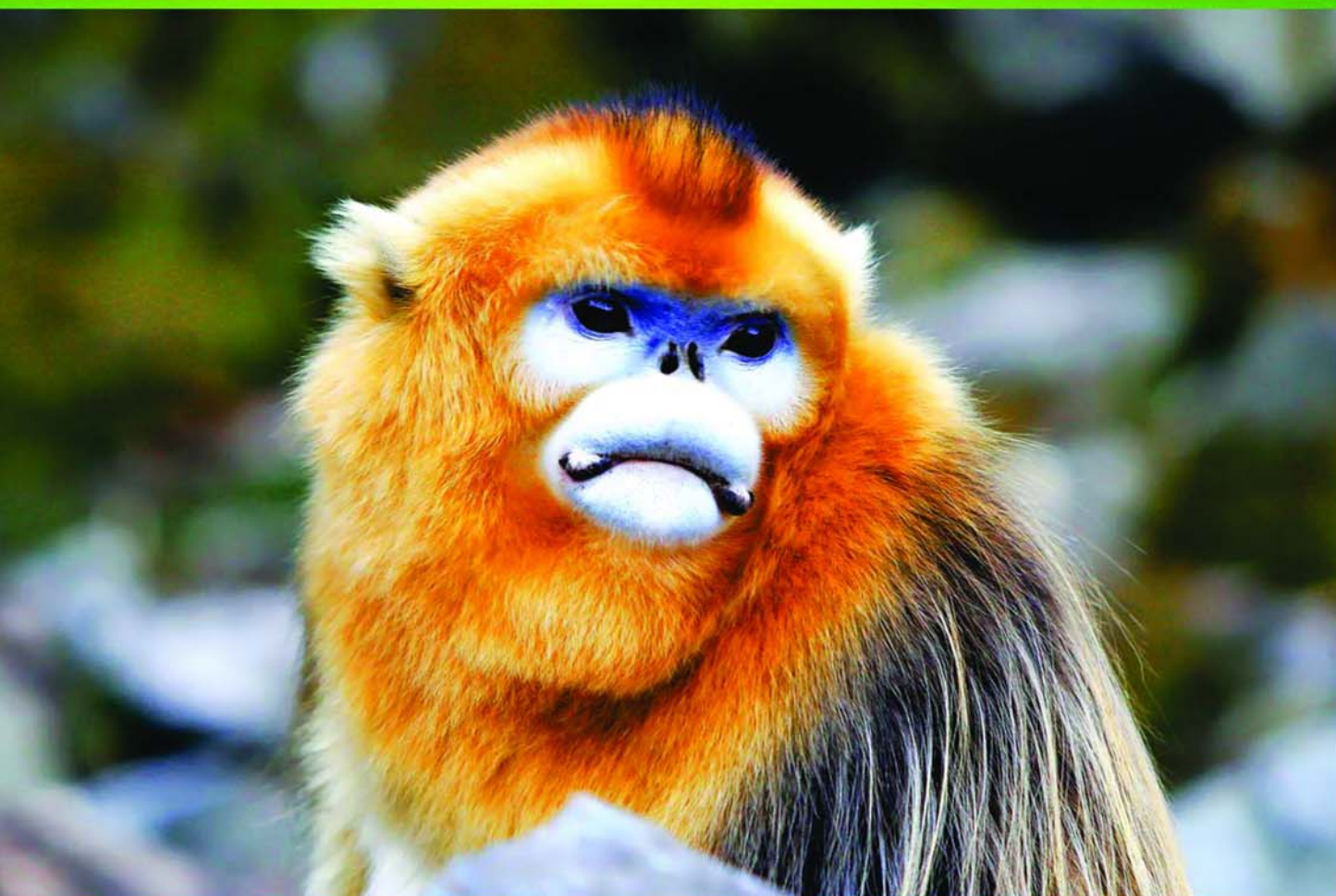


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

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/stxb201012011712

栾霞, 陈振德, 汪东风, 曹委. 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. 生态学报, 2012, 32(2): 0614-0621.

Luan X, Chen Z D, Wang D F, Cao W. Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0614-0621.

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^{1,2}, 陈振德^{2,*}, 汪东风¹, 曹委^{2,3}

(1. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003; 2. 青岛市农业科学研究院, 青岛 266100;

3. 青岛农业大学园艺学院, 青岛 266109)

摘要:以菠菜 (*Spinacia oleracea* L.) 为材料, 研究了毒死蜱胁迫下海藻酸铈配合物对菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响。结果表明, 在毒死蜱胁迫下, 菠菜叶片中 H_2O_2 积累量比对照明显增加, 非酶促抗氧化物质-抗坏血酸 (AsA) 和还原型谷胱甘肽 (GSH) 含量明显降低, 抗坏血酸过氧化物酶 (APX)、谷胱甘肽还原酶 (GR)、脱氢抗坏血酸还原酶 (DHAR) 和单脱氢抗坏血酸还原酶 (MDAR) 的活性明显升高。在毒死蜱胁迫下, 喷施不同浓度的海藻酸铈配合物使菠菜叶片中的 H_2O_2 积累量减少, AsA 和 GSH 含量升高, APX、GR、DHAR 和 MDAR 等抗氧化酶活性也有所提高, 缓解了毒死蜱胁迫。试验表明, 适宜浓度的海藻酸铈配合物处理可使菠菜叶片对毒死蜱胁迫有一定的缓解作用。

关键词: 毒死蜱; 海藻酸铈配合物; 抗坏血酸-谷胱甘肽循环; 菠菜

Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress

LUAN Xia^{1,2}, CHEN Zhende^{2,*}, WANG Dongfeng¹, CAO Wei^{2,3}

1 College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

2 Qingdao Academy of Agricultural Sciences, Qingdao 266100, China

3 College of Horticulture, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract: Pesticides have played an important role in protecting vegetable crops from diseases and insect pests, and reducing yield loss. However, due to its improper use, the residues of pesticides cause severe food safety accidents, which has the serious influence on people's physical and mental health. In recent years, more attentions have been paid to the chemical pesticide application and its influences on crops in international trade of agricultural products. Spinach (*Spinacia oleracea* L.) is an important variety of vegetable export in China, so its food safety is increasingly concerned. The experiment mainly studied alleviative effects of spraying alginate /cerium complexes on ascorbate-glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress, which in order to discuss the feasibility of cerium complexes as the degradation preparation applied in leafy vegetables to degrade chlorpyrifos in the safety production process. Under the stress of chlorpyrifos, the effects of alginate cerium complexes on the ascorbate-glutathione circulation system in spinach were investigated at open-field condition. The activities of antioxidant enzymes and H_2O_2 content were determined under the stress of chlorpyrifos during 0, 1, 3, 5, 7, 14 days after spraying different concentrations of alginate cerium complexes on the spinach leaves. The results showed that, under the stress of chlorpyrifos, there had obviously increased content of H_2O_2 and

基金项目: 青岛市自然科学基金课题 (07-2-3-jch)

收稿日期: 2010-12-01; 修订日期: 2011-05-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qdczd@tom.com

decreased contents of ascorbic acid (AsA) and glutathione (GSH), and also increased activities of ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR), dehydroascorbate reductase (DHAR) and monodehydroascorbate reductase (MDAR) in the spinach leaves, but it would recover after a period of time. The content of H_2O_2 was decreased, and contents of AsA and GSH, and the activities of APX, GR, DHAR and MDAR were increased after spraying different concentrations of alginate cerium complexes on the spinach leaves. To some extent, spraying alginate cerium complexes on the spinach leaves had alleviated changes of antioxidant metabolites contents and antioxidant enzymes activities caused by the chlorpyrifos stress, which could make spinach leaves be recovered more earlier from the chlorpyrifos stress to the control level. The experimental results showed that spraying appropriate concentrations of alginate cerium complexes had an alleviation effects on spinach under chlorpyrifos stress. The effects of spraying alginate cerium complexes on the contents of H_2O_2 , AsA and GSH in spinach leaves were more effectively than on the activities of APX, GR, DHAR and MDAR. So finding a method about degradatin of chlorpyrifos residues to alleviate effects on spinach under chlorpyrifos stress to improve safety of spinach is meaningful. And further study whether alginate cerium complexes as signal material promoted related activities of antioxidant enzymes and the antioxidants content in spinach under the chlorpyrifos stress, or cerium complexes hydrolyzing phosphate key made chlorpyrifos degrade to reduce the chlorpyrifos stress needs to be done.

Key Words: chlorpyrifos; alginate cerium complexes; ascorbate- glutathione cycle; spinach

菠菜是山东出口的重要蔬菜品种之一,其中山东冷冻菠菜的出口量约占我国出口日本的 90%。2003 年 5 月,日本以毒死蜱残留超标为由对我国输日冷冻菠菜采取“进口自肃”措施,造成我国输日冷冻菠菜屡屡受挫,农药残留作为“技术壁垒”在农产品国际贸易中的作用越来越大。毒死蜱是一种广谱性有机磷杀虫杀螨剂,广泛应用于叶菜类和瓜果类蔬菜的害虫防治。在菠菜生产中,常用毒死蜱用来防治菠菜斑潜蝇、斜纹夜蛾等害虫。农药在防治病虫害的同时,表观上对作物本身没有造成药害,但其生理生化指标却发生着明显的变化^[1]。植物体中存在的抗氧化物质和抗氧化防御酶系统对环境胁迫下植物体内活性氧清除起到极其重要的作用^[2]。植物体内存在酶促和非酶促两类活性氧自由基清除系统,其中 SOD、POD、CAT、GR、APX 在抗氧化酶系中起关键作用,APX、DHAR、MDAR、GR 是植物 AsA-GSH 氧化还原途径中的重要酶组分,GSH、AsA 等是重要的非酶促抗氧化物质^[3]。

目前,关于农药胁迫对蔬菜抗氧化酶系统及活性氧代谢的影响报道较多^[4-9],但有关农药胁迫下蔬菜叶片谷胱甘肽抗氧化酶循环系统的研究尚少。在近年来开展的稀土配合物降解农药残留的研究发现,铈配合物对有机磷农药的降解具有明显的效果^[10-14],但铈配合物对植物体内谷胱甘肽抗氧化酶自由基清除系统的影响尚不清楚。本试验以菠菜为材料,研究不同浓度的海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜谷胱甘肽抗氧化酶循环系统及 GSH、AsA 等非酶促物质的影响,以期探讨海藻酸铈配合物对菠菜毒死蜱胁迫的缓解作用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

菠菜品种为日本大叶菠菜。

48% 毒死蜱乳油,山东胜邦鲁南农药有限公司;海藻酸铈配合物(铈浓度 2.17%)、壳聚糖铈配合物(铈浓度 2.17%),由中国海洋大学生物工程开发有限公司提供。

1.2 试验方法

试验在青岛市农业科学研究院综合试验场大田中进行。整地前取土样分析土壤养分,有机质 1.35%,速效 N 138.6 mg/kg,速效 P_2O_5 185.5 mg/kg,有效 K_2O 160.0 mg/kg,pH 值 5.52。于 2010 年 4 月 22 日干籽直播,每穴 3—5 粒,小区面积 $7.2 m^2$ ($1.2 m \times 6 m$),株行距 $20 cm \times 30 cm$ 。按照田间常规管理,生长期间不施肥不施药。于 2010 年 5 月 23 日(菠菜长有 6—7 片叶),每个小区叶面喷施 1500 倍毒死蜱约 0.67 L,2 d 后,分别喷施等量的清水和稀释 100 倍、300 倍、500 倍的海藻酸铈配合物,以未喷毒死蜱,只喷等量的清水组作为对

照组。每个处理重复 3 次,每个重复 1 个小区,随机排列。喷施海藻酸铈配合物后第 0、1、3、5、7、14 天取样,除第 0 天在喷施海藻酸铈配合物后 2 h 取样外,其余均在取样当天 8:00 取样,样品采用多点混合采样法。取第 3 片展开叶测定菠菜中抗坏血酸 (AsA)、还原型谷胱甘肽 (GSH) 和 H_2O_2 含量以及抗坏血酸过氧化物酶 (APX)、谷胱甘肽还原酶 (GR)、脱氢抗坏血酸还原酶 (DHAR)、单氢抗坏血酸还原酶 (MDAR) 活性。

1.3 测定方法

AsA 含量测定采用 2,4-二硝基苯肼比色法^[15],GSH 含量测定参照陈建勋等^[16]的方法, H_2O_2 含量测定参照林植芳等^[17]的方法;APX 活性参照 Nakano 等^[18]的方法测定,GR、DHAR、MDAR 活性参照宋松泉等^[19]的方法测定,GR 活性以 1 min 内 OD_{340} 变化 0.01 定义为 1 个酶活性单位,DHAR 活性以 $\mu\text{mol AsA} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ 蛋白质表示,MDAR 活性以 $\text{nmol NADH} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ 蛋白质表示。各指标测定均重复 3 次,取平均值。计算结果均以菠菜鲜重计。

1.4 数据处理

采用 Excel、DPS2000 数据处理系统进行试验数据统计分析,差异显著性比较采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 AsA 含量的影响

由图 1 可见,单喷毒死蜱处理组的菠菜叶片中 AsA 含量与对照组相比,有不同程度的降低。如在第 0 天和第 3 天,单喷毒死蜱处理组的菠菜中 AsA 含量分别比对照组低 19.01% 和 17.01%,差异显著 ($P < 0.05$)。而喷施 100、300、500 倍的海藻酸铈配合物处理组与单喷毒死蜱处理组相比,菠菜叶片中 AsA 含量都有不同程度的增加,且在第 0、1、3、5 天,差异显著 ($P < 0.05$)。如第 1 天和第 3 天,喷施 300 倍海藻酸铈配合物处理组菠菜叶片中的 AsA 含量比单喷毒死蜱处理组分别提高 13.08% 和 16.08%,差异显著 ($P < 0.05$)。到第 7 天,各处理组 AsA 含量已基本恢复到对照水平,毒死蜱对菠菜叶片中 AsA 含量的影响基本消除。综上所述,一方面毒死蜱胁迫在一定程度上影响菠菜叶片中 AsA 含量的积累,可能是由于菠菜在受到毒死蜱胁迫后, H_2O_2 大量积累,AsA 作为植物体内重要的抗氧化剂,通过一系列氧化还原反应来清除大量的 H_2O_2 ,导致 AsA 含量明显低于对照水平。另一方面喷施海藻酸铈配合物能够促进毒死蜱胁迫条件下 AsA 含量的积累,对毒死蜱胁迫有一定的缓解作用。

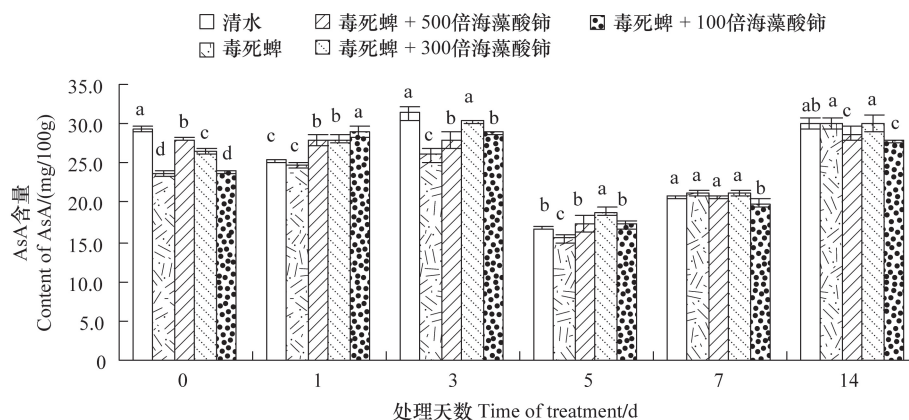


图 1 海藻酸铈对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 AsA 含量的影响

Fig. 1 Effects of alginate/Ce on AsA content in spinach leaves under chlorpyrifos stress

图中字母 a、b、c 分别表示 $P < 5\%$ 差异显著水平

2.2 海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 GSH 含量的影响

从图 2 可以看出,毒死蜱胁迫条件下,菠菜叶片中 GSH 含量有所降低,在第 0、7 天处理与对照比较存在显著性差异 ($P < 0.05$)。喷施 100 倍、300 倍、500 倍的海藻酸铈配合物处理组菠菜叶片中 GSH 含量在整个处理期间都高于单喷毒死蜱处理组,第 1、3、7、14 天存在显著性差异 ($P < 0.05$),如第 1、3 天,300 倍海藻酸铈配

合物处理组 GSH 含量分别比单喷毒死蜱处理组提高 13.93% 和 32.98%。上述结果说明,毒死蜱胁迫条件下喷施海藻酸铈配合物缓解了由于毒死蜱胁迫造成的 GSH 含量的下降,但总体上毒死蜱胁迫对菠菜中 GSH 含量的影响的持续时间较长。

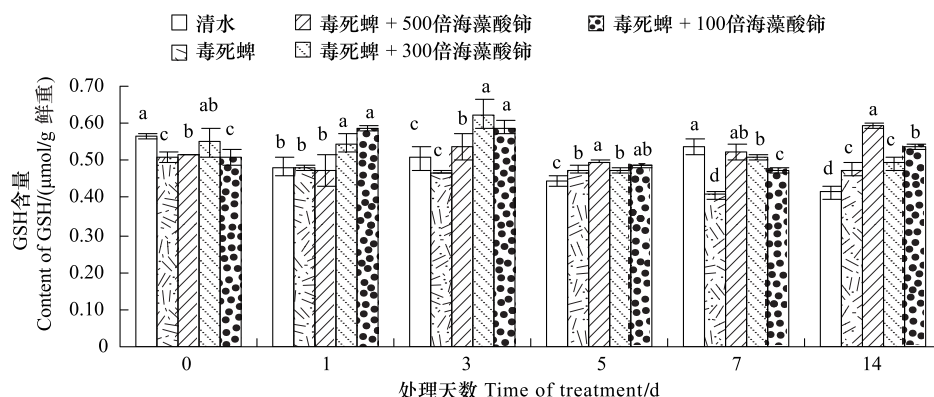


图2 海藻酸铈对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 GSH 含量的影响

Fig.2 Effects of alginate/Ce on GSH content in spinach leaves under chloryrifos stress

2.3 海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 H_2O_2 含量的影响

在逆境条件下,植物细胞内 H_2O_2 等活性氧大量积累,使细胞质膜过氧化加剧,导致膜系统产生损伤,细胞受到伤害。从图3可以看出,从第0天到第14天取样期内,单喷毒死蜱的菠菜叶片中 H_2O_2 含量明显高于对照组,分别比对照增加27.13%、33.58%、26.91%、45.70%、26.82%和9.97%,达到显著差异水平($P<0.05$)。喷施100、300、500倍的海藻酸铈配合物处理组与单喷毒死蜱处理组相比,菠菜中 H_2O_2 含量都有不同程度的降低,如从第0天到第14天,500倍处理组比单喷毒死蜱处理组分别降低了8.29%、47.17%、15.10%、33.98%、14.87%、13.67%,差异显著($P<0.05$)。由此可见,海藻酸铈配合物处理可有效降低毒死蜱胁迫下菠菜叶片 H_2O_2 的积累。

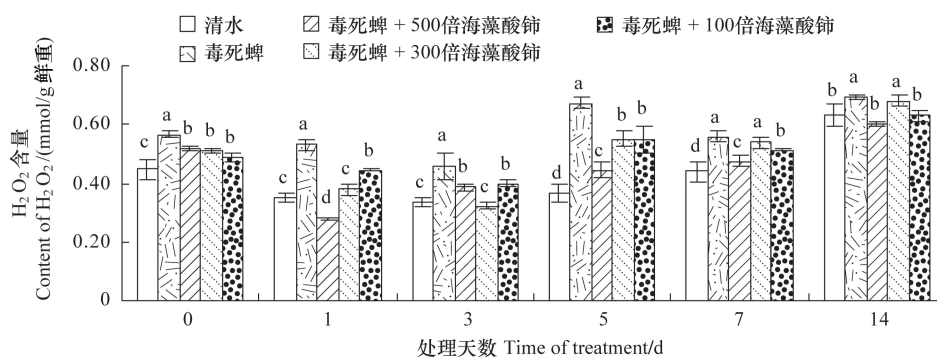


图3 海藻酸铈对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 H_2O_2 含量的影响

Fig.3 Effects of alginate/Ce on H_2O_2 content in spinach leaves under chloryrifos stress

2.4 海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 APX 活性的影响

如图4所示,在整个取样期内,单喷毒死蜱处理组与对照组相比,菠菜叶片的 APX 活性明显提高,从第0天到第7天分别比对照增加了60.16%、18.57%、10.34%、95.31%、67.17%,差异显著($P<0.05$),第14天仅增加了2.83%,差异不显著。在第5天,300倍海藻酸铈配合物处理的菠菜叶片 APX 活性接近对照水平;到第7天,300、500倍海藻酸铈配合物处理的菠菜叶片 APX 活性接近或低于对照水平;第14天取样测定,各处理组菠菜叶片的 APX 活性才基本恢复到接近对照水平。这说明喷施适宜浓度的海藻酸铈配合物在一定程度上能起到缓解毒死蜱胁迫下 APX 活性的作用,使菠菜叶片 APX 活性指标在毒死蜱胁迫下能较早期地恢复到

对照水平。

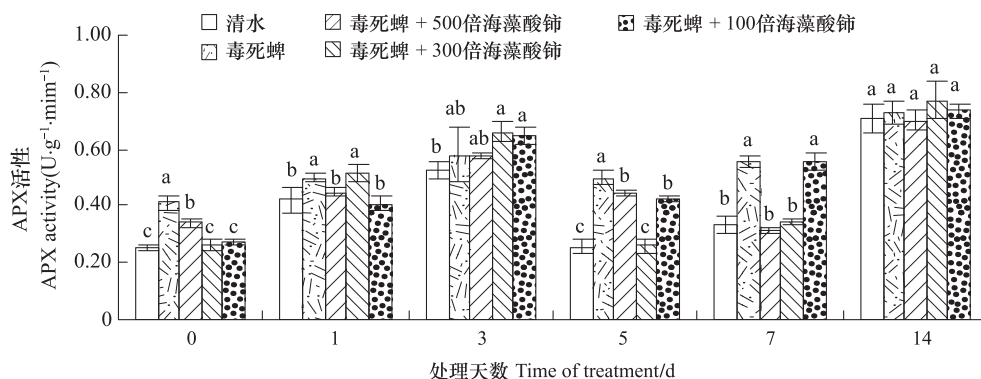


图4 海藻酸铈对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 APX 活性的影响

Fig.4 Effects of alginate/Ce on APX activity in spinach leaves under chloryrifos stress

2.5 海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 GR 活性的影响

GR 是植物细胞内将 GSSG 还原为 GSH 的关键酶,也是清除植物细胞内部 H_2O_2 的酶催化系统的组分之一^[20]。由图 5 可见,菠菜受到毒死蜱胁迫后,菠菜叶片 GR 活性在胁迫初期较对照组明显提高,如在第 0、1、3、5 天,单喷毒死蜱处理组分别比对照组增加 22.01%、19.13%、23.47% 和 47.94%,差异显著 ($P<0.05$);到胁迫后期,基本恢复到对照水平。这表明在胁迫初期,植物体通过自身防御体系对毒死蜱胁迫作出应激反应,以增强其清除 H_2O_2 等活性氧的能力。喷施 300、500 倍海藻酸铈配合物处理组与单喷毒死蜱处理组相比,有一定的提高 GR 活性的作用。到第 7 天,各处理组菠菜叶片的 GR 活性都接近对照水平。

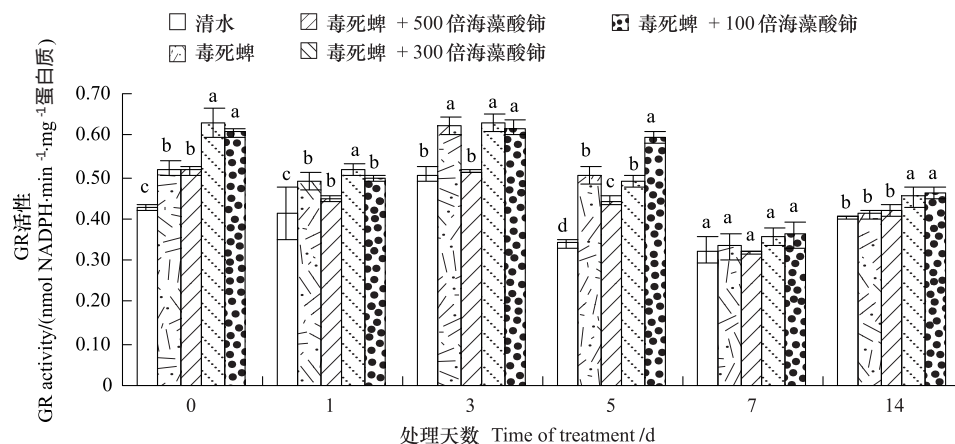


图5 海藻酸铈对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 GR 活性的影响

Fig.5 Effects of alginate/Ce on GR activity in spinach leaves under chloryrifos stress

2.6 海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 DHAR 活性的影响

从图 6 可以看出,毒死蜱胁迫条件下,菠菜叶片 DHAR 活性升高。在整个取样期内,单喷毒死蜱处理组菠菜叶片的 DHAR 活性比对照组明显提高,差异显著 ($P<0.05$)。毒死蜱胁迫下,喷施 100、300、500 倍海藻酸铈配合物对 DHAR 活性有促进作用,但不明显。如第 3、7、14 天,300 倍海藻酸铈配合物处理组与单喷毒死蜱组相比,DHAR 活性分别提高 8.67%、12.84%、2.32%,说明毒死蜱胁迫下喷施海藻酸铈配合物对提高菠菜叶片 DHAR 活性的作用不很明显。

2.7 海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 MDAR 活性的影响

从图 7 可以看出,从第 0 天到第 14 天整个取样期内,单喷毒死蜱处理组菠菜叶片 MDAR 活性较对照组分

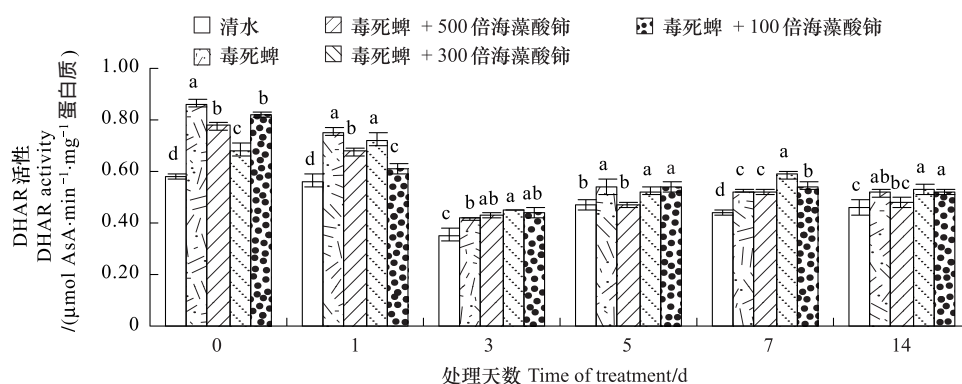


图6 海藻酸铈对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 DHAR 活性的影响

Fig. 6 Effects of alginate/Ce on DHAR activity in spinach leaves under chloryrifos stress

别提高 16.91%、8.18%、17.39%、7.63%、36.87% 和 3.73%, 除第 1 和 14 天外, 均达到显著性差异 ($P < 0.05$)。喷施适宜浓度的海藻酸铈配合物较单喷毒死蜱处理组有提高 MDAR 活性的作用, 如在第 3、5、14 天, 喷施 300 倍海藻酸铈配合物处理组菠菜叶片 MDAR 活性分别比单喷毒死蜱组增加了 19.46%、16.14%、16.40%, 差异显著 ($P < 0.05$)。上述结果说明喷施适宜浓度的海藻酸铈配合物在一定程度上能起到缓解毒死蜱胁迫对 MDAR 活性影响的作用。

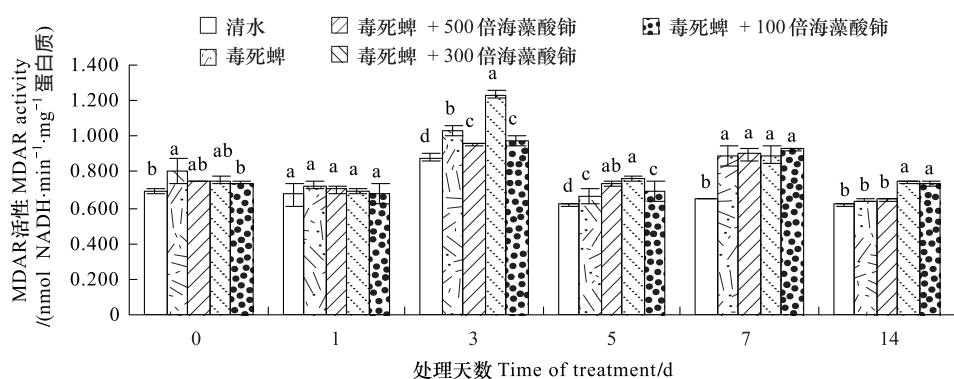


图7 海藻酸铈对毒死蜱胁迫下菠菜叶片中 MDAR 活性的影响

Fig. 7 Effects of alginate/Ce on MDAR activity in spinach leaves under chloryrifos stress

3 讨论与结论

植物在逆境下或衰老时 H_2O_2 发生累积并氧化胞内核酸、蛋白质等生物大分子, 使细胞膜遭受损害, 加速细胞衰老和解体^[21]。APX 被认为是植物细胞中有效分解 H_2O_2 的重要酶之一^[22]。孙锦等^[23]研究发现海水胁迫下, 耐海水品种“荷兰 3 号”菠菜中 APX 活性显著提高, 对 H_2O_2 有较强的清除能力, 从而使叶绿体膜氧化损伤较轻。本试验研究表明, APX 对毒死蜱胁迫非常敏感, 胁迫初期 (药后前 7d) 菠菜叶片中 APX 活性明显提高, 此时 APX 促进了 AsA 将 H_2O_2 转化成 H_2O , 从而减轻了 H_2O_2 对菠菜的伤害, 这是植物体受到非生物胁迫后的一种应激反应, 是自我修复的保护机制; 随着处理时间的延长, 菠菜中毒死蜱的残留量逐渐减少, 毒死蜱胁迫对 APX 活性的影响也逐渐减弱, H_2O_2 含量也开始慢慢降低, 逐渐恢复到对照水平。这说明 APX 在清除因毒死蜱胁迫而导致 H_2O_2 含量升高的过程中发挥着重要的作用。

在 AsA-GSH 循环中, APX 利用 AsA 将 H_2O_2 还原成 H_2O , 同时形成 MDHA, MDHA 很不稳定, 一部分被 MDAR 还原为 AsA, 另一部分进一步氧化生成脱氢抗坏血酸 (DHA)。DHA 以 GSH 为底物, 在 DHAR 的作用下生成 AsA, 此反应产生的氧化型谷胱甘肽 (GSSG) 又在 GR 的催化下被还原成 GSH^[24-25]。在植物体内, GR 通过使胞内谷胱甘肽库保持在还原状态而在氧化胁迫响应中具有重要作用^[26-27]。GR 活性直接影响

细胞 GSH 库的水平,高 GR 活性可使细胞内 GSH 维持在高浓度状态,较高的 GSH 含量可使膜蛋白结构稳定, GSH 含量及 GR 活性水平被认为是机体抗氧化状态的重要标志^[28-30]。本研究表明,在毒死蜱胁迫下,菠菜叶片中 H₂O₂ 大量积累,此时酶促系统与非酶促系统共同作用清除菠菜体内的活性氧。一方面非酶促抗氧化物质 AsA 和 GSH 被大量消耗用以清除因农药胁迫产生的 H₂O₂,导致 AsA 和 GSH 含量降低;另一方面,APX、GR、DHAR、MDAR 等抗氧化酶系统的活性升高,促进菠菜体内 H₂O₂ 的清除,减轻了毒死蜱胁迫对植物体造成的伤害。喷施海藻酸铈配合物处理组与单喷毒死蜱处理组相比, H₂O₂ 积累量减少, AsA 和 GSH 含量升高,说明海藻酸铈配合物缓解了毒死蜱胁迫造成的 H₂O₂ 含量的积累,能更快地使菠菜叶片的活性氧代谢及相关的抗氧化酶系统恢复到对照水平。就缓解毒死蜱胁迫的效应而言, APX、GR、DHAR、MDAR 等抗氧化酶的酶促系统对毒死蜱胁迫的缓解效应不及非酶促抗氧化物质的缓解作用明显。而关于海藻酸铈配合物是否作为信号物质促进毒死蜱胁迫下菠菜体内相关抗氧化酶活性及非酶促抗氧化物质含量的提高,还是铈配合物水解磷酸酯键使得毒死蜱被降解导致胁迫作用减弱的结果,有待于进一步研究。

References:

- [1] Liu J L, Yu J F, Yin J L, Wu J C. Research progress on the effect of chemical pesticides on plant physiology and biochemistry. *Agrochemicals*, 2006, 45(8): 511-514.
- [2] Fan H F, Guo S R, Duan J J, Du C X, Sun J. Effects of nitric oxide on the growth and glutathione dependent antioxidative system in cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under NaCl stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2511-2517.
- [3] Gao Y S, Chen J S. Effects of La³⁺ on antioxidant system in wheat seedling leaves under salt stress. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 2005, 23(4): 490-495.
- [4] Yang T, Li C Y, Tang H H. Effects of dimethoate on activities of POD, SOD, CAT and MDA content in spinach leaves. *Subtropical Plant Science*, 2004, 33(4): 19-21, 18-18.
- [5] Zhang Q Z, Chen Z D, Liu H Y. Effects of fenvalerate on the activities of antioxidant enzymes, and contents of malondialdehyde (MDA) in pakchoi. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2008, 3(5): 507-512.
- [6] Cheng X P, Chen Y J, Gao Z Y, Liu J, Zhang J P. Effects of profenofos stress on activity of POD and CAT of brassica napus. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2007, 17(5): 836-836, 957-957.
- [7] Zhang Q Z, Chen Z D, Wang W J, Liu H Y. Effects of chlorpyrifos stress on antioxidant enzyme activities and some related compound contents in pakchoi. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4525-4530.
- [8] Shen Y, Feng C N, Li S, Guo W S, Zhu X K, Peng Y X. Effects of pesticides on physiological and biochemical characteristics in wheat seedlings under drought stress. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2007, (3): 16-19.
- [9] Cao W, Chen Z D, Wang W, Chen N. Alleviation effects of spraying chitosan on spinach seedling physiological indexes under chlirpyrifos stress. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(5): 851-857.
- [10] Wang D F, Luo Y, Du D H, Sun J P, Chen X H, Jin X. Organophosphorous pesticide degradation by cerium complexes. *Journal of Ocean University of Qingdao(Natural Science Edition)*, 2004, 34(4): 577-581.
- [11] Du D H, Wang D F, Sun J P, Zhou Y B, Sun L P, Yu L N. Effect of complex coordinating tea polysaccharide with cerium on degradation of plasmid DNA and organophosphorous pesticides. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 2005, 23(1): 118-121.
- [12] Chen Z D, Wang D F, Wang W J, Chen Y L, Zhang Q Z, Liu H Y, Chen J M. Effects of complexes of alga polysaccharide with rare earth on degradation of organophosphorous pesticide residues in vegetables. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2008, 3(2): 183-188.
- [13] Sumaoka J, Kajimura A, Komiyama M. Homogeneous catalyst for DNA hydrolysis (4). Efficient DNA hydrolysis by lanthanide-saccharide complexes. *Nucleic Acids Symposium Series*, 1997, (37): 211-212.
- [14] Kajimura A, Sumaoka J, Komiyama M. DNA hydrolysis by cerium (IV) saccharide complexes for efficient hydrolysis of plasmid DNA. *Chemistry Letter*, 2000: 56-57.
- [15] The People's Republic of China Ministry of China National Standardization Management Committee. GB/T 5009.86-2003 The Total Ascorbic Acid Measurement in Vegetables, Fruits and its Products (Fluorescence Method and 2, 4-2 Nitrobenzene Hydrazine Method). Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [16] Chen J X, Wang X F. Guide of Plant Physiological Experiments. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2006: 76-77.
- [17] Lin Z F, Li S S, Lin G Z, Guo J Y. The relationship between Aging leaves and in H₂O₂ accumulation and membrane lipid peroxidation in chloroplasts. *Acta Photophysiological Sinica*, 1988, 14(1): 12-16.
- [18] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 1981, 22(5): 867-880.
- [19] Song S Q, Cheng H Y, Long C L, Jiang X C. Guide of Seed Biology Research. Beijing: Science Press, 2005: 97-102.
- [20] Yin Y Q, Hu J B, Deng M J. Latest development of antioxidant system and responses to stress in plant leaves. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(1): 105-110.

- [21] Wang J, Li D Q. Effects of water stress on AsA-GSH cycle and H_2O_2 content in maize root. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2002, 10(2): 94-96.
- [22] Allen R D, Webb R P, Schake S A. Use of transgenic plants to study antioxidant defences. *Free Radical Biology and Medicine*, 1997, 23(3): 473-479.
- [23] Sun J, Jia Y X, Guo S R, Li J. Effects of seawater stress on metabolism of reactive oxygen species and chlorophyll in chloroplasts of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4361-4371.
- [24] Padh H. Cellular functions of ascorbic acid. *Biochemistry and Cell Biology*, 1990, 68(10): 1166-1173.
- [25] Luo Y, Tang H R, Zhang Y. Effect of low temperature stress on activities of SOD and enzymes of Ascorbate-Glutathione Cycle. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(6): 1405-1410.
- [26] Ma Y H, Ma F W, Ma X W, Li M J, Wang Y H, Han M Y, Shu H R. Effects of drought stress on ascorbic acid contents and activities of related metabolic enzymes in apple leaves. *Journal of Northwest A and F University (Natural Science Edition)*, 2008, 36(3): 150-154.
- [27] May M J, Vernoux T, Leaver C, van Montagu M, Inzé D. Glutathione homeostasis in plant: implications for environmental sensing and plant development. *Journal of Experimental Botany*, 1998, 49(321): 649-667.
- [28] Chen Q, Liu Y L. Effect of glutathion on active oxygen scavenging system in leaves of barley seedlings under salt stress. *Acta Agronomica Sinica*, 2000, 26(3): 365-371.
- [29] 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.
- [30] Wu J C, Chen J Q, Liang J, Yang W B, Wu J J, Chen L Q, Liu M Q, Chen L P. Effects of exogenous NO on ascorbate-glutathione cycle in loquat leaves under low temperature stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(6): 1395-1400.

参考文献:

- [1] 刘井兰, 于建飞, 印建莉, 吴进才. 化学农药对植物生理生化影响的研究进展. *农药*, 2006, 45(8): 511-514.
- [2] 樊怀福, 郭世荣, 段九菊, 杜长霞, 孙锦. 外源 NO 对 NaCl 胁迫下黄瓜 (*Cucumis sativus* L.) 幼苗生长和谷胱甘肽抗氧化酶系统的影响. *生态学报*, 2008, 28(6): 2511-2517.
- [3] 高永生, 陈集双. 盐胁迫下镧对小麦幼苗叶片抗氧化系统活性的影响. *中国稀土学报*, 2005, 23(4): 490-495.
- [4] 杨涛, 李传勇, 汤惠华. 乐果对菠菜叶片 POD、SOD、CAT 活性及 MDA 含量的影响. *亚热带植物科学*, 2004, 33(4): 19-21, 18-18.
- [5] 张清智, 陈振德, 刘红玉. 氰戊菊酯对小白菜抗氧化酶活性及丙二醛 (MDA) 含量的影响. *生态毒理学报*, 2008, 3(5): 507-512.
- [6] 程晓平, 陈雁君, 高知义, 刘君, 张建萍. 丙溴磷农药对油菜抗氧化酶活性的影响. *中国卫生检验杂志*, 2007, 17(5): 836-836, 957-957.
- [7] 张清智, 陈振德, 王文娇, 刘红玉. 毒死蜱胁迫对小白菜抗氧化酶活性和相关生理指标的影响. *生态学报*, 2008, 28(9): 4525-4530.
- [8] 沈燕, 封超年, 李邵, 郭文善, 朱新开, 彭永欣. 农药对干旱胁迫下小麦幼苗生理生化特性的影响. *江苏农业科学*, 2007, (3): 16-19.
- [9] 曹委, 陈振德, 王文, 陈宁. 壳聚糖对毒死蜱胁迫下菠菜生理生化指标的缓解作用. *农业环境科学学报*, 2010, 29(5): 851-857.
- [10] 汪东风, 罗铁, 杜德红, 孙继鹏, 陈雪辉, 金晓. 铈配合物对有机磷农药的降解作用. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2004, 34(4): 577-581.
- [11] 杜德红, 汪东风, 孙继鹏, 周裔彬, 孙丽平, 于丽娜. 茶叶多糖及其铈配合物对质粒 DNA 及有机磷农药的降解作用. *中国稀土学报*, 2005, 23(1): 118-121.
- [12] 陈振德, 汪东风, 王文娇, 陈元林, 张清智, 刘红玉, 陈建美. 海藻多糖铈配合物对蔬菜有机磷农药残留的降解作用. *生态毒理学报*, 2008, 3(2): 183-188.
- [15] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.86-2003 蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定(荧光法和 2,4-二硝基苯肼法). 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [16] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导. 广州: 华南理工大学出版社, 2006: 76-77.
- [17] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 郭俊彦. 衰老叶片和叶绿体中 H_2O_2 的累积与膜脂过氧化化的关系. *植物生理学报*, 1988, 14(1): 12-16.
- [19] 宋松泉, 程红焱, 龙春林, 姜孝成. 种子生物学研究指南. 北京: 科学出版社, 2005: 97-102.
- [20] 尹永强, 胡建斌, 邓明军. 植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展. *中国农学通报*, 2007, 23(1): 105-110.
- [21] 王娟, 李德全. 水分胁迫对玉米根系 AsA-GSH 循环及 H_2O_2 含量的影响. *中国生态农业学报*, 2002, 10(2): 94-96.
- [23] 孙锦, 贾永霞, 郭世荣, 李娟. 海水胁迫对菠菜 (*Spinacia oleracea* L.) 叶绿体活性氧和叶绿素代谢的影响. *生态学报*, 2009, 29(8): 4361-4371.
- [25] 罗娅, 汤浩茹, 张勇. 低温胁迫对草莓叶片 SOD 和 AsA-GSH 循环酶系统的影响. *园艺学报*, 2007, 34(6): 1405-1410.
- [26] 马玉华, 马锋旺, 马小卫, 李明军, 王永红, 韩明玉, 束怀瑞. 干旱胁迫对苹果叶片抗坏血酸含量及其代谢相关酶活性的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2008, 36(3): 150-154, 160-160.
- [28] 陈沁, 刘友良. 谷胱甘肽对盐胁迫大麦叶片活性氧清除系统的保护作用. *作物学报*, 2000, 26(3): 365-371.
- [30] 吴锦程, 陈建琴, 梁杰, 杨伟搏, 吴晶晶, 陈丽钦, 刘美琼, 陈丽平. 外源一氧化氮对低温胁迫下枇杷叶片 AsA-GSH 循环的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(6): 1395-1400.

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 kyuusyuensis</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 Tklamakan 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