

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

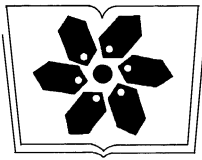
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 14 期 Vol.31 No.14 **2011**

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 31 卷 第 14 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化·····	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例·····	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析·····	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法·····	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化·····	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型·····	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位·····	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响·····	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征·····	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布·····	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用·····	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
镧在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应·····	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估·····	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系·····	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氮挥发的影响·····	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素·····	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响·····	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响·····	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选·····	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式·····	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法·····	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型·····	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上旱干区南瓜油葵间作的水分效应·····	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展·····	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优选择方法·····	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素·····	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子·····	张古忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测·····	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价·····	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态·····	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例·····	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异·····	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

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

龚帅帅, 韩进, 高彦征, 朱雪竹. 抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响. 生态学报, 2011, 31 (14): 4027-4033.

Gong S S, Han J, Gao Y Z, Zhu X Z. Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (14): 4027-4033.

抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性 和菲代谢的影响

龚帅帅, 韩 进, 高彦征*, 朱雪竹

(南京农业大学资源与环境科学学院, 土壤有机污染控制与修复研究所, 南京 210095)

摘要:以高羊茅(*Festuca arundinacea*)为供试植物, 利用水培体系研究了抑制剂和安全剂对植物根中过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)活性以及菲代谢的影响。供试安全剂为浓度 0.3% 的 NaCl, 抑制剂为浓度 2.00 mg/L 的 Vc。结果表明, 2.00 mg/L 的 Vc 作用下, 1—16 d, 高羊茅根的非含量显著高于对照处理, 而供试安全剂对植物根中非含量的影响不显著。抑制剂作用下植物根部的 PPO 和 POD 活性显著降低; 16 d, 抑制剂作用下的植物根部 PPO 和 POD 活性为对照组的 1/6 和 1/9, 表现出强抑制效应。而安全剂作用下植物根部 PPO 和 POD 活性则略高于对照组, 但差异不显著($P < 0.05$)。植物体内酶的初始活性是影响植物代谢 PAHs 菲的关键因素。抑制剂主要通过调节酶活性来影响根系代谢菲, 其对植物根中 PPO 和 POD 活性的抑制效率与根部菲代谢抑制效率呈显著正相关。

关键词:菲; 安全剂; 抑制剂; 植物代谢; 多酚氧化酶; 过氧化物酶

Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue

GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng*, ZHU Xuezhu

Institute of Organic Contaminant Control and Soil Remediation, College of Resource and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are a group of persistent organic contaminants commonly found in the environment. Due to their highly mutagenic and carcinogenic properties, their behaviors and fate in the soil/water plant system are of great environmental concern. Because plants form the basis of human and animal food webs, potentially harmful organic contaminants including PAHs could find their way into human and animal populations via this route. Clearly, increased understanding of how plants take up and accumulate PAHs from the environment could have considerable benefit for risk assessments.

In recent decades, considerable interest in the uptake of PAHs by plants has emerged. Plants can be exposed to PAHs in different ways. Foliage uptake of atmospheric PAHs occurs via the deposition of particle-bound compounds and the retention of vapor-phase PAHs on waxy leaf cuticles. The rate and extent of plant root uptake depends on the physiochemical properties of the PAHs, soil characteristics, and plant species and physiology. Recently, metabolisms of PAHs have been observed and proven to be related to the enzyme activities in plant bodies. To this end, how to control and regulate the activity of plant enzymes and PAH metabolism is of worldwide concerns. However, little information is available on this subject.

In this work, impacts of inhibitor and safener on the activities of PPO (phenol oxidase) and POD (peroxidase) and

基金项目:国家自然科学基金(21077056, 41071212); 江苏省自然科学基金(BK2009315); 霍英东教育基金(122045)

收稿日期:2010-05-08; **修订日期:**2010-07-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gaoyanzheng@njau.edu.cn.

the metabolism of phenanthrene as a representative of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in roots of tall fescue (*Festuca arundinacea*) were investigated utilizing hydroponic cultivation system in a greenhouse. 0.3% NaCl and 2.00 mg/L Vc were chosen as representatives of safener and inhibitor. Root concentrations of phenanthrene were found to be significantly higher with the addition of 2.00 mg/L Vc in 1—16 d. However, no significant difference was seen for root concentrations of phenanthrene with the addition test safener. The activities of PPO and POD in root were much lower with the addition of Vc, and were only 1/6 and 1/9 of the controls without inhibitor or safener, respectively, indicating the strong inhibition of test inhibitor on PPO and POD activity. In contrast, no significant difference was observed between the test enzyme activity with and without the addition of safener (0.3% NaCl). The initial activity of enzyme in roots of tall fescue is a key factor of the phenanthrene metabolism. With the addition of test inhibitor, the inhibition efficiency of enzyme activity was positively correlated to the inhibition efficiency of phenanthrene metabolism. This indicates that the inhibitor affected the metabolism of phenanthrene in root mainly by regulating the enzyme activity.

To our knowledge, this is a primary investigation on the inhibitor and safener regulated uptake of PAHs by plant. Results of this work would be of high values in risk assessments of organic contaminants in the environment.

Key Words: phenanthrene; safener; inhibitor; plant metabolism; PPO; POD

多环芳烃(PAHs)是一类具有致癌、致畸、致突变作用的有机污染物,在环境中分布广泛,性质稳定,难于降解。由于脂溶性较强,PAHs 易被植物吸收积累,并可通过食物链最终危害农产品安全和人体健康^[1-3]。近几十年来,环境 PAHs 污染问题在国际上受到广泛关注^[4]。

有关植物对 PAHs 的吸收作用,国内外已有较多报道^[5-8]。一般认为,PAHs 从环境进入植物主要有 2 种途径:根系从土壤中吸收、并随蒸腾流沿木质部向茎叶传输;植物地上部分吸收空气中 PAHs。根系吸收与 PAHs 的辛醇-水分配系数(K_{ow})、根脂肪含量正相关,与土壤有机质含量负相关^[9-10];茎叶吸收则主要取决于 PAHs 的辛醇-气分配系数(K_{oa})、亨利系数(H)、茎叶比表面积和脂肪含量^[7,9]。然而,有关吸收后 PAHs 在植物体内的代谢,国内外相关文献仍很少。

从目前已有的报道来看,吸收后 PAHs 可被植物代谢;代谢作用主要是通过植物体内酶来实现^[11-12]。其中,过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)是植物细胞抵御活性氧自由基伤害的酶系的主要成员,在清除自由基、阻止自由基形成、提高植物抗逆性、延缓植物衰老等方面起着重要作用^[13]。有报道表明,PPO 能催化 PAHs 开环,生成易降解的中间产物^[14];POD 则是逆境条件下植物酶促防御系统的关键酶。POD 和 PPO 在植物代谢 PAHs 过程中起关键作用^[12,14]。但至今,能否通过调节植物体内 POD、PPO 等酶系活性、进而调控植物对 PAHs 的代谢作用,国内外至今尚少有报道。

抗坏血酸(Vc)和氯化钠(NaCl)是报道的常用植物酶抑制剂和安全剂,已证实在植物积累代谢农药类有机污染物方面有调节作用^[15]。本文以污染环境中检出率较高的菲为 PAHs 代表物,以高羊茅为供试植物,采用水培试验方法,研究 Vc 和 NaCl 对高羊茅根中 POD 和 PPO 酶活性和菲代谢的影响,试图为进一步调节植物对有机污染物的吸收积累作用、降低作物有机污染风险、保障污染地区农产品安全等提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

菲购自 Aldrich Chemical Co., 纯度>98%。聚乙烯吡咯烷酮、愈创木酚、邻苯二酚、二氯甲烷、正己烷、甲醇(色谱纯)。培养液选用 Hoagland 营养液^[16]。

主要仪器:722 可见分光光度计,HH-4 数显恒温水浴锅,KQ300DE 医用数控超声波清洗器,RM-3 旋转浓缩蒸发器,超低温冰箱,LABCONCO7670530 冷冻干燥机,岛津 LC-20AT 高效液相色谱仪(HPLC)。

1.2 试验方法

向一系列含有 0.9L 培养液的玻璃烧杯中加入菲的甲醇储备液(控制甲醇浓度<1%)^[17],同时设置 3 个

处理组:(a)将安全剂 NaCl 加入到培养液中,浓度为 0.3%;(b)将 Vc 加入到培养液中,浓度为 2.00 mg/L;(c)无 Vc 或 NaCl 对照处理组,即培养液中不加入 NaCl 或 Vc。各处理均定容至 1.00 L,制得含 1 mg/L 菲的培养液。高羊茅经催芽、育苗后,于温室中以水培方式预培养至株高约 15 cm 左右,选择生长态势较为一致的植株洗净根部后移入含上述培养液的玻璃烧杯中,每杯 12 株,烧杯外壁用黑塑料袋包裹,保持根系和溶液避光。培养期间分别添加水、营养液、等浓度的 Vc 或 NaCl,维持液面高度。分别于 1、2、4、8、16 d 采集植物样和水样。植物样品采集后,用蒸馏水充分淋洗,并用滤纸浸干表面水分后,于-65℃下保存待分析。试验中每个处理 3 次重复。

1.3 主要分析指标及方法

1.3.1 多酚氧化酶(PPO)的提取与测定

称取植物根 0.1 g,置 4℃冰箱中预冷。PPO 的提取及测定采用杨秀清等的方法^[18],并略做改进。取出预冷的根样,加聚乙烯吡咯烷酮(PVP)0.05 g,pH 6.0 磷酸缓冲溶液(PBS)10 mL,冰浴研磨,离心(4℃)10 min,取上清液为提取液,以上操作均在 4℃下进行。依次向比色管中迅速加入 0.01 mol/L pH 6.0 的磷酸缓冲液 2 mL,0.1 mol/L 邻苯二酚 1.0 mL,0.2 mL 粗酶提取液。反应介质摇匀,30℃保温 10 min,在 420 nm 波长下比色测定。每个样测取 3 组平均值,酶活性以每分钟 OD 值每增加 0.01 为一个活力单位。

1.3.2 过氧化物酶(POD)的提取与测定

称取植物根 0.1 g,置 4℃冰箱中预冷。POD 的提取及测定采用郝再彬等的方法^[19],并略做改进。取出预冷的根样,加聚乙烯吡咯烷酮(PVP)0.05 g,pH 7.8 磷酸缓冲溶液(PBS)10 mL,冰浴研磨,离心(4℃)10 min,取上清液为提取液,以上操作均在 4℃下进行。依次向比色管中迅速加入 0.1 mol/L pH 5.0 的醋酸缓冲液 2 mL,0.25% 愈创木酚 1.0 mL,质量分数为 3% H₂O₂0.1 mL,0.2 mL 粗酶提取液。反应介质摇匀,37℃保温 10 min,在 470 nm 波长下比色测定。每个样测取 3 组平均值,酶活性以每分钟 OD 值每增加 0.01 为一个活力单位。

1.3.3 植物根的 PAHs 分析^[5]

植物根样于-54℃冷冻干燥,取一定量样品于 25 mL 玻璃离心管中,用 30 mL 1:1 的二氯甲烷和正己烷溶液分 3 次、每次 10 mL 超声萃取 30 min。将萃取液收集,转移到旋转蒸发瓶中,40℃恒温浓缩至干,用正己烷定容到 2 mL。然后取 1 mL 过硅胶柱净化,用一定量的二氯甲烷和正己烷溶液洗脱,洗脱液收集至旋转蒸发瓶中,40℃恒温下浓缩至干,用甲醇定容到 2 mL,过 0.22 μm 孔径滤膜后,用高效液相色谱仪(HPLC)分析。

1.3.4 水样的 PAHs 分析

水样分析参考凌婉婷等的方法^[4]。准确移取一定量水样于 10 mL 比色管中,用甲醇稀释(甲醇与水体积分数为 7:3),过 0.22 μm 滤膜后,用 HPLC 分析。

1.3.5 根中菲代谢的抑制效率(R)

$$R = (C_{p_{Vc+phe}} - C_{p_{phe}}) / C_{p_{phe}}$$

式中, R 为根中菲代谢的抑制效率(酶抑制剂对植物根代谢菲的抑制效率); $C_{p_{Vc+phe}}$ 为在 Vc 作用下,植物根中菲含量(mg/kg); $C_{p_{phe}}$ 为无 Vc 作用下,植物根中菲含量(mg/kg)。

1.4 数据处理

利用 Excel 及 SPSS 统计软件进行试验结果的数据整理和统计分析。

2 结果与讨论

2.1 植物根中菲的含量

绘制了高羊茅根中菲的含量与时间关系曲线(图 1)。总体来看,0—16 d,高羊茅根中菲含量呈下降的趋势。抑制剂 Vc 作用下,植物根部菲的含量显著高于无 Vc 或 NaCl 的对照植物处理(高 27%—313%)($P < 0.05$)。而安全剂 NaCl 作用下,植物根部菲的含量则比对照略低,但差异不显著($P < 0.05$)。例如,16 d 时,Vc 处理、NaCl 处理和对照植物根部菲的含量分别为 24.3、4.24、5.88 mg/kg,Vc 处理植物根的非含量分别为

NaCl 和对照处理的 5.7 和 4.1 倍。

据报道,植物对 PAHs 的吸收作用可看作为 PAHs 在水-根、根-茎叶间一系列连续分配作用的总和,植物根对 PAHs 的吸收主要与 PAHs 的辛醇-水分配系数 (K_{ow})、根脂肪含量有关^[9],而试验中添加的安全剂和抑制剂对 PAHs 的辛醇-水分配系数 (K_{ow}) 和根脂肪含量基本无影响。因此,安全剂和抑制剂对植物根部吸收和传输非能力的影响甚微。供试抑制剂和安全剂作用下,植物根中 PAHs 含量的差异应取决于植物体内酶活性的响应;即 Vc 或 NaCl 通过影响根中酶系活性、进而影响根对菲的代谢作用,导致植物根内残留的母体化合物菲含量不同。

2.2 Vc 和 NaCl 对植物根中 POD 和 PPO 活性的影响

抑制剂能使酶的活力中心的化学性质发生改变,导致酶活力下降或丧失。可分为竞争性抑制剂和非竞争性抑制剂,前者的结构与酶的底物相似,能与酶的活力中心结合,生成酶-抑制剂络合物;后者的结构和酶的底物并不类似,但它们也能和酶结合形成酶-抑制剂络合物。以往研究发现,Vc 对 POD 活性的抑制作用明显,当 Vc 浓度 ≥ 1.0 mg/L 时,经最小显著极差法检验,酶活性抑制差异显著;同时,Vc 具有较强还原性,可通过改变 PPO 中铜离子的氧化还原态,降低 PPO 活性,进而阻碍植物体内 PAHs 被氧化为醌类,抑制了植物对 PAHs 的代谢过程。安全剂 (NaCl) 能通过产生基因活化作用诱导酶的活性,进而催化 PAHs 的苯环的羟基化反应,促进 PAHs 在植物根系的代谢。

本试验中,抑制剂 Vc 对植物根部 POD 和 PPO 活性有明显影响 (图 2 和图 3)。Vc 作用下植物根部 POD 和 PPO 活性均显著低于对照处理 (无 Vc 或 NaCl) 植物根部相应酶的活性 ($P < 0.05$)。可采用酶活性的抑制效率 (E) 来衡量供试抑制剂对植物酶活性的抑制效果。

$$\text{酶活性抑制效率}(E, \%) = (E_{\text{phe}} - E_{\text{phe+Vc}}) / E_{\text{phe}}$$

式中, E_{phe} 为对照处理植物根部酶活; $E_{\text{phe+Vc}}$ 为抑制剂作用下植物根部酶活。由表 1 可得,1—16 d, Vc 对高羊茅根内 POD 和 PPO 活性的抑制效率随时间延长而快速增大。1 d 时, Vc 对根中 POD 和 PPO 的抑制效率分别为 40% 和 36%, 表明短时间内 Vc 即可表现出显著的抑制效果;16 d, Vc 对根中 POD 和 PPO 的抑制效率分别为 798% 和 481%, 表现出强烈的抑制作用,使酶的活性降低到一个极低水平。对照图 1, 8—16 d, Vc 作

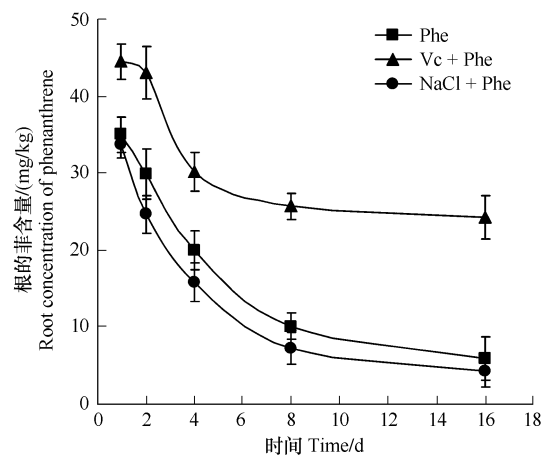


图 1 菲在植物根内的含量-时间关系曲线

Fig. 1 Concentrations of phenanthrene in ryegrass root as a function of time

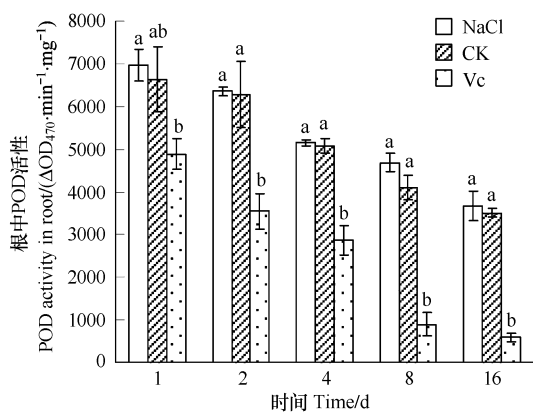


图 2 不同处理的植物根中 POD 活性

Fig. 2 Activities of POD in roots for different treatments

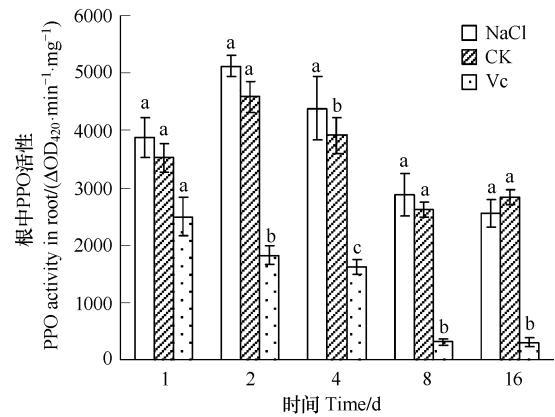


图 3 不同处理的植物根中 PPO 活性

Fig. 3 Activities of PPO in roots for different treatments

用下植物根内的菲含量基本不变,在 Vc 对 POD 和 PPO 酶活的强抑制作用下,植物根对菲的代谢作用几乎停止;表明,POD 和 PPO 对供试植物根代谢菲起关键作用,Vc 则可高效地抑制 POD 和 PPO 活性、进而阻碍根中菲的代谢。

安全剂 NaCl 作用下,高羊茅根中 POD 和 PPO 活性见图 2 和图 3。供试时间内,NaCl 处理的植物根中两种酶的活性显著地高于 Vc 处理,略高于对照处理、但未达到差异显著性水平($P<0.05$)。1—16 d,与对照处理的趋势相似,NaCl 作用下高羊茅根中 POD 活性整体呈下降的趋势。而 PPO 的规律有所不同;1—2 d,NaCl 处理与对照处理的植物根中 PPO 活性增大,而后(2—16 d)则呈下降的趋势。宋玉芳^[20]等发现,低浓度菲污染没有造成酶功能的损伤,植物体内抗氧化酶水平反而应激性提高,酶蛋白的抗降解能力增强。本实验结果表明,供试菲胁迫下,短期内(1—2 d)植物可激发其自身的防御体系,诱导 PPO 活性增大,以抵抗由于菲胁迫造成的氧自由基的增加。

表 1 Vc 对植物根中 POD 和 PPO 活性的抑制效率

Table 1 Inhibition efficiency of POD and PPO activity in plant roots by Vc addition

时间 Time/d	1	2	4	8	16
POD 抑制效率 Inhibition efficiency of POD/%	40	151	139	707	798
PPO 抑制效率 Inhibition efficiency of PPO/%	36	77	77	358	481

抑制效率($E, \%$) = $(E_{\text{phe}} - E_{\text{phe+Vc}}) / E_{\text{phe}}$, 式中 E_{phe} 为对照处理植物根部酶活; $E_{\text{phe+Vc}}$ 为抑制剂作用下植物根部酶活

2.3 植物根部 POD 和 PPO 活性与 PAHs 代谢的关系

以往研究表明,根是植物代谢 PAHs 的活跃部位^[21],植物体内酶系活性与植物代谢 PAHs 之间关系密切。可以用植物根部酶活动力学来表征酶活和代谢的关系。绘制了根中 POD 和 PPO 活力与菲代谢的关系曲线,如图 4 和图 5 所示。由图可得,在 Vc 处理、对照处理、NaCl 处理的根中 POD 活性动力学线性回归方程分别为 $K=0.0002U-0.0808$ ($R^2=0.9496$), $K=0.0002U-0.5188$ ($R^2=0.978$), $K=0.0002U-0.5974$ ($R^2=0.936$); PPO 活性动力学线性回归方程分别为 $K=0.0004U-0.0509$ ($R^2=0.9409$), $K=0.0002U-0.4607$ ($R^2=0.8891$), $K=0.0002U-0.3297$ ($R^2=0.9091$)。式中 K 为处理时间的倒数; U 为植物根内酶的活性。

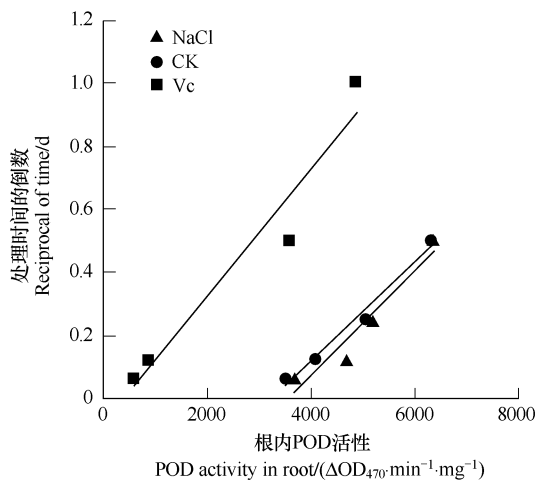


图 4 不同处理植物根中 POD 活性动力学

Fig. 4 Kinetic activity of POD in root for different treatments

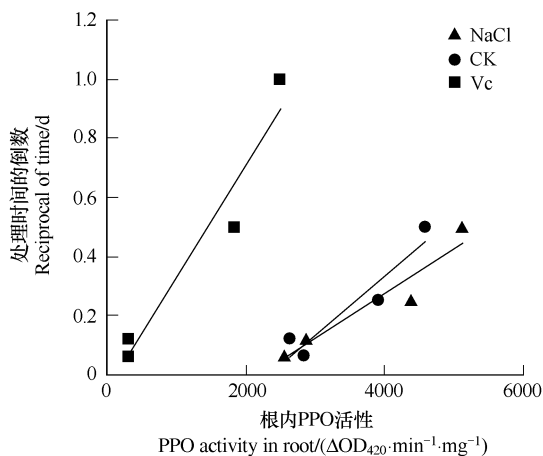


图 5 不同处理植物根中 PPO 活性动力学

Fig. 5 Kinetic activity of PPO in root for different treatments

进一步分析可得,不同处理下 PPO 和 POD 活性动力学方程的斜率差异不大,说明添加了供试安全剂和抑制剂,植物体内对应酶的活性变化趋势基本一致。抑制剂 Vc 短时间内表现出对酶活性的显著抑制,可以看作酶的初始活性降低,减弱了植物代谢菲的能力,导致植物体内残留的母体化合物菲含量高于对照处理或

NaCl 处理。安全剂 NaCl 作用下植物根内酶活在短时间内变化不大,可以看作酶的初始活性基本不变,对植物代谢菲的能力影响不大,16 d,植物根内菲残留含量与对照接近。由上可见,植物根内酶的初始活性是非代谢的关键。

可用根中菲代谢的抑制效率(R)来反映抑制剂对植物代谢菲的影响。 $R = (C_{p_{Vc+phe}} - C_{p_{phe}}) / C_{p_{phe}}$,式中 R 为根中菲代谢的抑制效率; $C_{p_{phe}}$ 为对照植物根中菲含量(mg/kg); $C_{p_{Vc+phe}}$ 为抑制剂处理植物根中菲含量(mg/kg)。 R 值越大,表明抑制剂对植物根部 PAHs 代谢的抑制作用越强。由图 6 可得,供试时间内,随着时间延长植物根部菲代谢的抑制效率逐渐增大。例如,16 d 植物根中菲代谢的抑制效率为 313%,表现出强烈的抑制

效果。这些结果表明,供试抑制剂对酶活持续抑制、酶活连续下降,导致植物根部菲代谢过程受阻且程度增强。统计分析可得,抑制剂 Vc 对植物根中 POD 和 PPO 活性的抑制效率(E)与根部菲代谢抑制效率(R)呈正相关;这进一步表明,供试两种酶在根代谢菲中起关键作用,抑制剂主要通过调节酶活性来影响根系代谢菲。

3 结论

3.1 2.00 mg/L 的 Vc 作用下,1—16 d,高羊茅根的非含量显著高于对照处理,表明供试抑制剂能显著抑制植物根中菲的代谢,而供试安全剂对植物根中菲含量的影响不显著。

3.2 抑制剂显著降低了高羊茅根部 PPO 和 POD 的活性,16 d,供试抑制剂作用下植物根部 PPO 和 POD 活性分别为对照的 1/6 和 1/9,表现出强抑制效应。安全剂作用下植物根部 PPO 和 POD 的活性略高于对照,但差异未达到显著水平($P < 0.05$)。

3.3 植物根内酶的初始活性是影响植物代谢菲的关键,根内初始酶活越高、代谢菲的能力越强。

3.4 抑制剂对植物根中 POD 和 PPO 活性的抑制效率与根部菲代谢抑制效率显著正相关。

References:

- [1] Zhu L Z, Gao Y Z. Prediction of phenanthrene uptake by plants with a partition-limited model. *Environmental Pollution*, 2004, 131(3): 505-508.
- [2] Voice T C, Weber W J Jr. Sorption of hydrophobic compounds by sediment, soil and suspended solids. *Water Resource*, 1983, 17(10): 1433-1441.
- [3] Gao Y Z, Ling W T, Zhu L Z, Shen Q R. Ryegrass-accelerated degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils. *Agro-Environmental Science*, 2005, 24(3): 498-502.
- [4] Ling W T, Gao Y Z, Li Q L, Xie Z M, Xiong W. Uptake of phenanthrene and pyrene by ryegrass from water. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3331-3338.
- [5] Ling W T, Zhu L Z, Gao Y Z, Xiong W. Root uptake and its prediction model of PAHs from soils. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2320-2325.
- [6] Gao Y Z, Zhu L Z. Plant uptake, accumulation and translocation of phenanthrene and pyrene in soils. *Chemosphere*, 2004, 55(9): 1169-1178.
- [7] Fryer M E, Collins C D. Model intercomparison for the uptake of organic chemicals by plants. *Environmental Science and Technology*, 2003, 37(8): 1617-1624.
- [8] Chiou C T, Sheng G Y, Manes M. A partition-limited model for plant up take of organic contaminants from soil and water. *Environmental Science and Technology*, 2001, 35(7): 1437-1444.
- [9] Simonich S L, Hites R A. Importance of vegetation in removing polycyclic aromatic hydrocarbons from the atmosphere. *Nature*, 1994, 370(6484): 49-51.
- [10] Simonich S L, Hites R A. Organic pollutant accumulation in vegetation. *Environmental Science and Technology*, 1995, 29(12): 2905-2914.

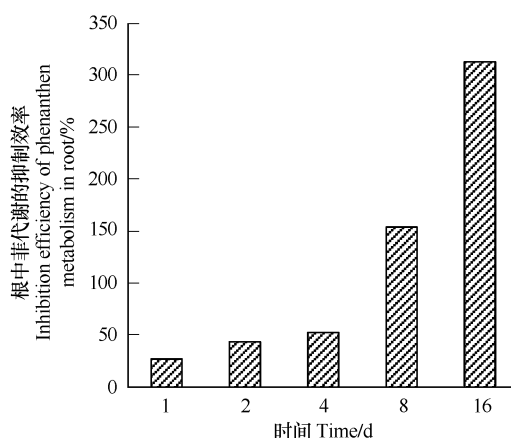


图 6 植物根中菲代谢的抑制效率

Fig. 6 Inhibition efficiency of phenanthrene metabolism in root

- [11] Wild E, Dent J, Thomas G O, Jones K C. Direct observation of organic contaminant uptake, storage, and metabolism within plant roots. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39(10): 3695-3702.
- [12] Eibesa G, Cajthamlb T, Moreiraa M T, Feijooa G, Lema J M. Enzymatic degradation of anthracene, dibenzothiophene and pyreneby manganese peroxidase in media containing acetone. *Chemosphere*, 2006, 64(3): 408-414.
- [13] Farkas G L, Stahmann M A. On the nature of change in peroxidase isoenzymes in bean leave in tomato plants of south bean mosaic virus. *Phytopathology*, 1996, 56(6): 669-677.
- [14] Iwabuchi T, Harayama S. Biochemical and molecular characterization of 1-hydroxy-2-naphthoate dioxygenase from *Nocardioide* sp. KP7. *Biochemistry*, 1998, 273(10): 8332-8338.
- [15] Yun M S, Shim I S, Usui K. Involvement of cytochrome P450 enzyme activity in the selectivity and safening action of pyrazosulfuronethy. *Pest Management Science*. 2001, 57(3): 283-288.
- [16] Chapin F S III, Moilanen L, Kielland K. Preferential use of organic nitrogen for growth by a non-mycorrhizal article sedge. *Nature*, 1993, 361(6408): 150-153.
- [17] Gao Y Z, Zhu L Z, Hu C J, Chen B L. Effects of Tween 80 on plant uptake of phenanthrene and pyrene from water. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(4): 714-718.
- [18] Yang X Q, Yuan H Y, Jiao X G, Ma Y M, Li Y F. The effect of nutrient elements of copper and zinc on ferment activity of *larix principis-rupprechtii* seedlings. *Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition*, 2001, 21(3): 277-280.
- [19] Hao Z B, Cang J, Xu Z. Experiment of Plant Physiology. Haerbin: Publishing House of Haerbin University of Technology, 2004: 115-116.
- [20] Song Y F, Wang L, Li X X, Zhang W, Chen L, David F, Ji P H, Leigh A M. Ecotoxic responses of CytP450 and antioxidant enzymes in maize due to exposures to phenanthrene and pyrene in soil. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(2): 381-388.
- [21] Harms H H. Bioaccumulation and metabolic fate of sewage derived organic xenobiotics in plants. *Science of the Total Environment*, 1996, 185(1/3): 83-92.

参考文献:

- [3] 高彦征, 凌婉婷, 朱利中, 沈其荣. 黑麦草对多环芳烃污染土壤的修复作用及机制. *农业环境科学学报*. 2005, 24(3): 498-502
- [4] 凌婉婷, 高彦征, 李秋玲, 谢正苗, 熊巍. 植物对水中菲和芘的吸收. *生态学报*, 2006, 26(10): 3331-3338.
- [5] 凌婉婷, 朱利中, 高彦征, 熊巍. 植物根对土壤中 PAHs 的吸收及预测. *生态学报*, 2005, 25(9): 2320-2325.
- [17] 高彦征, 朱利中, 胡晨剑, 陈宝梁. Tween 80 对植物吸收菲和芘的影响. *环境科学学报*, 2004, 24(4): 714-718.
- [18] 杨秀清, 原海云, 焦晓光, 麻彦明, 李云峰. 铜、锌元素对华北落叶松苗期酶活性影响. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2001, 21(3): 277-280.
- [19] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理学实验. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 115-116.
- [20] 宋玉芳, 王磊, 李昕馨, 张薇, 陈朗, Freestone David, 吉普辉, Ackland M Leigh. 植物 CytP450 和抗氧化酶对土壤菲、芘暴露的生态毒理响应. *环境科学学报*, 2009, 29(2): 381-388.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 14 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	 HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains: a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	 LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	 XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiming, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	 FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	 WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	 JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	 YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	 ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	 ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	 WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	 YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	 SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	 LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	 YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	 WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	 GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	 LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	 HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	 LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	 LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	 HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	 ZHOU Xiaoping, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantungut Desert	 WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

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 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 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	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