

朱业晋,刘珊珊,彭琪琦,等. 土壤萘污染对菖蒲生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):311-314.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.21.087

土壤萘污染对菖蒲生理特性的影响

朱业晋,刘珊珊,彭琪琦,张晓媛,赖闻玲

(赣南师范大学生命与环境科学学院,江西赣州 341000)

摘要:采用土壤培养方法,研究了不同浓度(100、200、300 mg/kg) 污染物萘和污染时间对菖蒲(*Acorus calamus* L.) 叶片叶绿素含量、脯氨酸含量、丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性的影响。研究发现,对在萘污染初期(20 d),菖蒲叶绿素含量显著下降、脯氨酸和 MDA 积累增加、SOD 和 POD 活性显著增强;经过一段时间以后,叶绿素含量、脯氨酸和 MDA 积累、SOD 活性都基本恢复正常。以上结果表明,菖蒲忍耐萘污染的能力较强,具有修复潮湿土壤萘污染的潜力。

关键词:萘;菖蒲;生理特性;土壤修复

中图分类号:X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2017)21-0311-03

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是指 2 个或 2 个以上苯环以线状、角状或簇状排列组合成的一类稠环化合物^[1]。由于城市化和工业化的发展,PAHs 已广泛积累于土壤、水、沉积物和大气中,进入了生物圈^[2]。PAHs 具有长期残留性、生物蓄积性、半挥发性和高毒性等特点^[3],对生态系统和人类的身体健康造成严重的危害,因此对环境中的 PAHs 进行监测和修复具有重要意义^[4]。

目前关于含 PAHs 土壤的修复技术主要有:化学修复、物理修复和生物修复,前 2 种方法费用高昂,而且容易造成二次污染甚至生态系统破坏;与之相比,生物修复是利用包括植物、动物、微生物在内的特定生物种类,或其中任意 2 种以上生物相结合,在特定条件下对污染物富集或降解,其中植物修复技术因为成本低、操作简便、不破坏生态环境和自然景观、不造成二次污染等优点成为热点^[4]。不同类型的植物对多环芳烃的修复效果不同,有研究表明木本植物对 PAHs 的土壤污染修复能力不及草本植物,如油菜、黑燕麦、高羊茅对菲和芘的去除率都很高,达 80% 以上^[4]。利用草本植物净化土壤中 PAHs 的研究主要集中在旱生环境,如苜蓿、灯芯草、玉米、黑麦草等,并且取得了一定的成果^[5]。但对于潮湿甚至淹水土壤,只能选择水生植物作为修复材料。作为适应能力强,有强大须根系的水生植物菖蒲(*Acorus calamus* L.)被视为理想研究对象。菖蒲生性粗放,无需特别管理,是多年生水生草本植物。菖蒲常被应用于净化铅、镉、铜等重金属及富营养化水体的科学研究中,在水体生态修复工程中具有良好的应用前景^[6-8],但应用于修复多环芳烃污染物方面的研究尚未

见报道,因此被寄予厚望。本试验以萘作为多环芳烃的代表物质,研究了淹水土壤中萘对菖蒲体内的脯氨酸、过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)、超氧化物歧化酶(SOD)的影响,以便进一步了解净化过程中,萘污染对菖蒲生理生化的影响。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

培养容器为市售红色橡胶桶(上口内径 36 cm,桶底内径 32 cm,桶高 40 cm),内装从菜地挖取而来经风干过筛的土壤 20 kg。用丙酮作助溶剂,配制不同浓度萘有机溶液分别均匀灌溉于桶中,过夜待丙酮挥发后将桶中土壤搅拌均匀,最终土壤中设置 3 个萘污染量梯度(100、200、300 mg/kg),以不加萘为对照,每个处理 3 个重复。试验植物为事先培养的菖蒲,选取长势健壮、大小一致的菖蒲种植在桶中,保持淹水状态,自然光下培养。每 20 d 取 1 次样,每株剪取适量成熟菖蒲叶片,作为测定各项指标的试验材料。

1.2 测定方法

叶片叶绿素含量采用分光光度计法^[9]测定,单位 mg/g FW。脯氨酸含量采用酸性茚三酮法^[10]测定,单位 $\mu\text{g/g}$ FW。MDA 含量采用硫代巴比妥酸显色法^[9]测定,单位 $\mu\text{mol/g}$ FW。SOD 活性测定采用 NBT 法^[9],以抑制 NBT 光化还原 50% 的酶量为 1 个酶活性单位计算酶活性,单位 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。POD 活性采用愈创木酚法^[9]测定,以每分钟 OD_{470} 增加 0.01 为 1 个酶活单位计算其活性,单位 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。

1.3 数据处理方法

运用 Microsoft Excel 2003 软件统计平均值、标准差,并生成图表。运用 SPSS 13.0 软件进行相关性、组间和时间之间方差分析及差异性(双尾)分析,采用双因素方差分析方法分析不同时间、不同萘浓度处理及两者交互作用的影响。

2 结果与分析

2.1 土壤萘污染对菖蒲叶绿素的影响

受萘的污染,菖蒲叶片中的叶绿素含量基本呈先降后升

收稿日期:2016-05-29

基金项目:国家自然科学基金(编号:51309054);江西省自然科学基金(编号:2011ZBAB204015,2012ZBAB204006);江西省教育厅科学技术研究项目(编号:GJJ125656)。

作者简介:朱业晋(1974—),男,江西赣州人,硕士,副教授,主要从事植物资源与生态环境保护研究。E-mail:664542890@qq.com。

通信作者:赖闻玲,博士,副教授,硕士生导师,主要从事植物资源与生态环境保护等研究。E-mail:664542890@qq.com。

的趋势(图 1)。其中低污染量(100 mg/kg)污染对叶绿素含量的影响最大,在试验的所有时间里都显著地低于对照($P = 0.000$)。较高含量茶污染(200、300 mg/kg)在初期对叶绿素含量影响较大,20 d 时二者显著低于对照($P = 0.000$ 、 0.012),但随时间延长叶绿素含量逐渐恢复,40 d 和 60 d 时与对照差异不显著,并且两污染量间差异不显著,但与低污染量(100 mg/kg)之间差异显著($P = 0.000$ 、 0.001)。

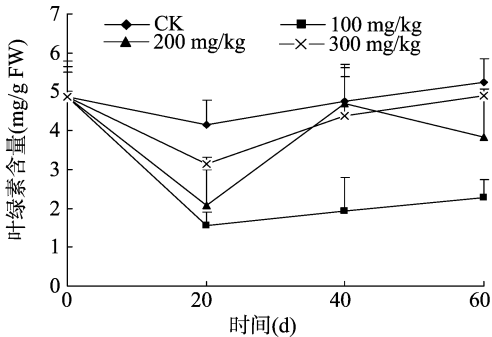


图1 茶对菖蒲叶绿素含量的影响

双因素方差分析结果表明,茶污染量和污染时间都极显著影响菖蒲叶片中叶绿素含量($P < 0.01$),但污染量和污染时间之间的交互作用对叶绿素含量的影响不显著(表 1)。

表 1 双因素方差分析结果

生理指标	时间		茶污染量		时间与污染量交互作用	
	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
叶绿素	14.148	0.000	30.140	0.000	2.018	0.104
脯氨酸	10.866	0.000	2.122	0.125	4.698	0.002
MDA	12.840	0.000	2.168	0.119	3.996	0.006
SOD	12.014	0.000	3.726	0.021	3.432	0.017
POD	15.313	0.000	24.285	0.000	8.760	0.000

2.2 土壤茶污染对菖蒲脯氨酸的影响

茶污染造成菖蒲叶片中脯氨酸含量在短期内(20 d)急剧升高(图 2),3 种污染量影响下菖蒲叶片脯氨酸含量都极显著高于对照($P = 0.000$ 、 0.000 、 0.000),其中中等污染量

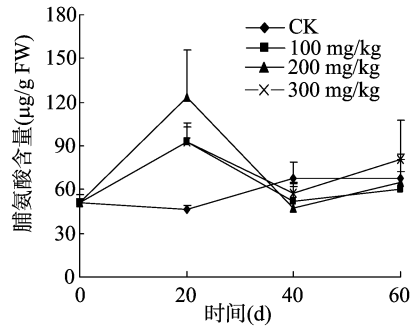


图2 茶对菖蒲脯氨酸含量的影响

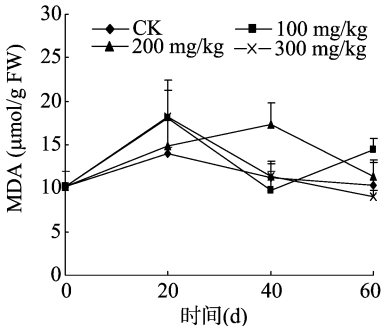


图3 茶对菖蒲丙二醛含量的影响

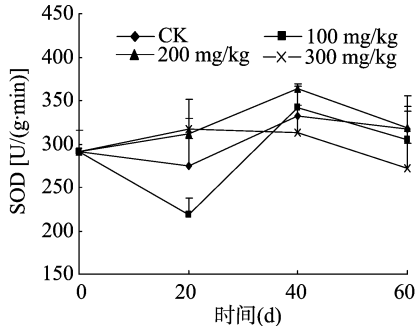


图4 茶对菖蒲 SOD 活性的影响

2.5 土壤茶污染对菖蒲 POD 的影响

茶污染对菖蒲叶片 POD 活性的影响非常显著。不同污染量在不同时间均刺激 POD 活性显著高于对照($P < 0.05$),不同污染量基本都随时间推移而刺激作用加强,到后期(60 d)POD 活性与污染量成正比,不同污染量之间差异显著($P < 0.05$)。双因素方差分析结果也表明,茶污染量、污染时间、污染量和污染时间之间的交互作用都极显著影响菖蒲叶

(200 mg/kg)影响下的脯氨酸含量最高,但其与低污染量(100 mg/kg)和高污染量(300 mg/kg)之间差异不显著。随着时间延长,脯氨酸含量下降,40 d 后各污染量之间及与对照之间差异不显著。双因素方差分析结果显示,污染时间极显著影响菖蒲叶片中脯氨酸含量($P < 0.01$),茶污染量对脯氨酸含量影响不显著,而污染量和污染时间之间的交互作用对脯氨酸含量影响极显著($P < 0.01$)(表 1)。

2.3 土壤茶污染对菖蒲 MDA 的影响

茶影响下菖蒲叶片中的 MDA 含量总体呈先上升后下降的趋势,其中低污染(100 mg/kg)和高污染(300 mg/kg)引起的反应较快,而中等污染(200 mg/kg)引起的反应较慢。初期时(20 d)菖蒲叶片中的 MDA 含量都升高并高于对照,但各污染量之间及与对照之间都没有显著差异。中期时(40 d)低污染(100 mg/kg)和高污染(300 mg/kg)MDA 含量降至与对照无显著差异,而茶污染量 200 mg/kg 的 MDA 含量继续上升至与其他污染量及对照都有显著差异($P = 0.011$ 、 0.035 、 0.026)。到污染的后期(60 d),中、高污染的 MDA 继续下降,而低污染的 MDA 略有升高,但各组之间及与对照之间差异均不显著。双因素方差分析结果表明,污染时间极显著影响菖蒲叶片中 MDA 含量($P < 0.01$),茶污染量对 MDA 含量影响不显著,而污染量和污染时间之间的交互作用对脯氨酸含量影响极显著($P < 0.01$)(表 1)。

2.4 土壤茶污染对菖蒲 SOD 的影响

菖蒲叶片 SOD 活性茶污染的响应依污染量而不同。中、高污染量刺激 SOD 活性先升高再下降,在 20 d 时显著高于对照($P = 0.025$ 、 0.020),而低污染量(100 mg/kg)在初期时(20 d)使得 SOD 活性显著下降而低于对照($P = 0.012$),在 40 d 时所有污染量 SOD 达到最大,而后降低。初期时(20 d)低污染量影响 SOD 活性显著低于对照和中、高污染量,其他时间各组之间无显著差异。从双因素方差分析结果来看,茶污染量和污染时间都显著影响菖蒲叶片中 SOD 活性($P < 0.05$),污染量和污染时间之间的交互作用对 SOD 活性的影响显著($P < 0.05$)(表 1)。

片中 POD 含量($P < 0.01$)(表 1)。

3 讨论

植物在遭受污染胁迫时,体内的各项生理特性会做出响应,这些生理指标的变化往往可以作为衡量污染物毒性和植物抗污染能力的表征。

叶绿素是植物生长的重要指标之一,研究报道大多数植

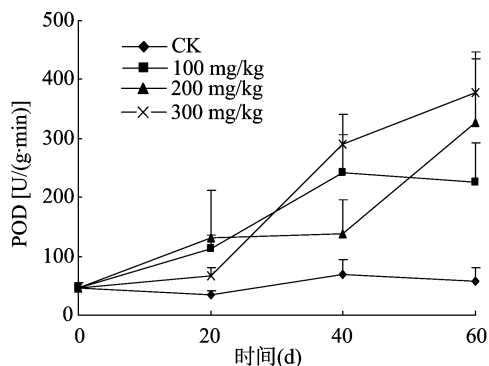


图5 镉对菖蒲 POD 活性的影响

物在盐、水分、重金属、有机物的胁迫下叶绿素含量会下降^[11-14],部分植物在重金属胁迫下叶绿素含量会上升^[15]。在对多环芳烃胁迫的研究中显示,经过一段时间的胁迫,一些植物如拟南芥^[16]、水葫芦^[17]、狐尾藻^[18]等植物的叶绿素含量会因多环芳烃胁迫而降低,而玉米幼苗受镉胁迫反应为叶绿素含量增加^[19]。这些研究表明植物种类、胁迫方式、污染的强度、污染时间可能都会影响试验结果。对金鱼藻的研究显示,受镉胁迫金鱼藻体内叶绿素含量先升后降,研究者认为前期植物根对环境中污染物快速吸收而促进生长,后期污染物逐渐分散和积累在植物组织中,表现为对光合作用生理活动的抑制^[18,20]。本试验中,菖蒲叶片叶绿素含量在镉胁迫下变化的趋势为先降后升,与前者结果不同。在对金鱼藻的研究中,采用水培直接污染的方式,植物直接吸收是主要影响方式,因此前述机理可以较好地解释试验现象,而本研究中镉在土壤中被吸附、迁移和转化,对比植物的直接吸收,更多的可能是镉对土壤理化性质产生影响而影响菖蒲的生长,笔者推测土壤镉污染短期内使土壤理化性质发生不利的变化,随着时间延长,土壤微生物等作用使得土壤理化性质得以不同程度恢复,从而出现本研究中的现象。以往的研究中,在水培条件下受胁迫植物叶绿素降低程度与胁迫程度呈正比,但本研究中呈现的规律相反,同样是污染土壤中培育的玉米也出现叶绿素变化与胁迫程度的不规律关联性,笔者推测可能与土壤复杂的理化性质和微生物群落结构有关,具体的机理还有待进一步研究。本研究结果还表明在此试验镉含量下,菖蒲生理在短时间内受一定影响,但可以逐渐恢复。

逆境条件下植物容易产生大量活性氧,使植物细胞膜产生脂质过氧化,其产物 MDA 含量通常用来表征植物在胁迫因子作用下的损伤程度^[16-17]。受镉胁迫,菖蒲叶片 MDA 含量初期时增大,表明短期内细胞膜产生脂质过氧化而被损伤,但随着时间推移 MDA 含量逐渐下降,显示菖蒲叶片细胞膜逐渐恢复。双因素方差分析显示 MDA 受时间的影响显著。Heath 等认为,叶绿素的破坏与 MDA 的产生是同时发生的,叶绿体的脂质过氧化可对叶绿素的形成过程产生抑制作用,合成叶绿素所需的酸受到破坏,使叶绿素含量降低,最终可能导致光合系统的失活^[21]。本研究结果与其一致,MDA 在初期增多,后期逐渐恢复,趋势与叶绿素变化相反。

脯氨酸是植物细胞渗透调节物质,并可帮助清除多余氧自由基,受到逆境胁迫时许多植物会积累高水平的脯氨酸^[11,15,17],因此脯氨酸积累通常被当作植物受胁迫的一种信

号和抗胁迫的指标。本研究中脯氨酸含量的反应类似于 MDA,同时双因素方差分析显示,脯氨酸和 MDA 都受作用时间、时间与镉含量之间交互作用的影响显著,而镉含量对其影响不显著,说明镉对菖蒲的影响主要集中在污染初期。

在逆境条件下植物抗氧化酶系统具有应激反应,其中 SOD、POD 是植物防御系统的关键酶^[21]。SOD 主要清除植物体内超氧化物自由基($O_2^{\cdot-}$),为抗氧化的第一道防线,POD 则清除多余的 H_2O_2 。当植物暴露在多环芳烃环境中,植物抗氧化酶活性随浓度和作用时间反应不同。镉胁迫的前期(15 d)白骨壤幼苗子叶 SOD 和 POD 活性升高,随胁迫时间延长而活性降低^[22]。金鱼藻体内的 SOD 活性因镉污染而降低,在镉浓度较高时显著降低,而 POD 活性没有显著变化^[18]。秋茄幼苗的根尖和子叶 SOD、POD 受镉和芘诱导活性增加^[23]。菲胁迫初期(12 h)时,拟南芥叶片 SOD 及 POD 活性明显高于对照^[24]。本研究中,除低污染量(100 mg/kg)条件下 SOD 降低以外,其他条件下 SOD 和 POD 都在污染的初期即产生增强反应,说明污染初期菖蒲体内氧自由基增多,抗氧化酶系统防御作用增强。SOD 活性在 20 d 后逐渐恢复正常,规律与脯氨酸、MDA 类似,而 POD 活性持续升高,并且与污染量成正比。可能镉胁迫导致菖蒲体内积累的自由基以 H_2O_2 为主。

4 结论

菖蒲对镉污染在初期(20 d)受伤害,清除超氧离子自由基($O_2^{\cdot-}$)及过量 H_2O_2 的机制随之启动,表现为叶绿素含量显著下降、脯氨酸和 MDA 积累增加、SOD 和 POD 活性显著增强,但没有表现出与污染量之间的显著相关性;经过一段时间以后,叶绿素含量、脯氨酸和 MDA 积累、SOD 活性都基本恢复正常。菖蒲忍耐镉污染的能力较强,具有修复潮湿土壤镉污染的潜力。

参考文献:

- [1] Wilcke W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil: a review[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2000, 163 (3): 229 - 248.
- [2] Kaspar H F, Gillespie P A, Boyer I C, et al. Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, New Zealand[J]. Marine Biology, 1985, 85(2): 127 - 136.
- [3] 沈新强, 胡方西. 长江口外水域叶绿素 a 分布的基本特征[J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 71 - 80.
- [4] 刘玲, 谢影, 汪承润, 等. 植物修复多环芳烃(PAHs)研究进展[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(3): 309 - 312.
- [5] 杨辉, 王海霞, 李晓军, 等. 多环芳烃污染土壤生物修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(3): 1427 - 1431.
- [6] 杨璇, 石雷. 两级人工湿地用于村镇污水脱氮的长期运行特性研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(3): 515 - 520.
- [7] 李莎莎, 田昆. 不同空间配置的湿地植物群落对生活污水的净化作用研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(8): 1951 - 1955.
- [8] 杨旭, 张雪萍, 于水利. 微污染水源人工湿地处理效果与植物作用分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(3): 274 - 278.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134 - 137.

艾洪娟,蒋和平,王晓君. 新疆发展高效节水现代农业的影响因素——基于面板数据模型的实证分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):314-319.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.21.088

新疆发展高效节水现代农业的影响因素 ——基于面板数据模型的实证分析

艾洪娟^{1,2}, 蒋和平¹, 王晓君¹

(1. 中国农业科学院农业经济与发展研究所,北京 100081; 2. 新疆农业职业技术学院,新疆昌吉 831100)

摘要:从新疆发展高效节水现代农业的理论因素入手,包括农业生产条件、农业生产方式、农业种植结构特点、农户特征、农业经营组织形式、区域差异因素;其次,选取 9 个变量建立了混合效应模型、固定效应模型和随机效应模型,固定效应模型通过检验,模型结果显示,新疆水土资源禀赋、农业区域专业化程度、农户兼业化程度以及节水政策影响最为显著;最后,根据研究结论提出新疆发展高效节水现代农业的政策措施:推进土地流转和适度规模化经营;加快城镇化进程,转移农村隐形剩余劳动力;农业区域专业化生产;适当减少粮食作物播种面积;完善节水。

关键词:高效节水;现代农业;影响因素;新疆;面板数据模型;政策建议

中图分类号: F323 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)21-0314-06

农业资源利用效率是现代农业生产的核心要求和本质内涵,基于资源利用效率的视角探讨新疆高效节水农业发展的影响因素既有理论意义,也有重要的现实意义。从资源利用效率的角度探寻现代农业发展的影响因素,会使相关的政策涵义更有实践操作性。从相关文献研究中发现,现有的对现代农业影响因素的研究主要是沿着“现代生产要素”的脉络展开

和深化^[1-3],从农业资源利用效率视角去研究的却不多见,这也使得农业现代化相关的政策制订宏观、空乏,难以针对农户具体特征而缺乏实践适应性。本研究以新疆水资源利用的经济效益作为研究对象来考察影响新疆高效节水现代农业发展的影响因素,以期新疆未来高效节水现代农业政策的制定提供科学依据和参考。

收稿日期:2016-05-21

基金项目:国家社会科学基金重大项目(编号:14ZDA041);中国农业科学院科技创新工程(编号:ASTIP-IAED02);新疆农业职业技术学院院级课题(编号:XJNZYSK201502、XJNZYSK201716)。

作者简介:艾洪娟(1982—),女,山东伊春人,博士,副教授,主要从事现代农业和农业经济理论研究。E-mail: aihongjuan11@aliyun.com。

通信作者:蒋和平,教授,博士生导师,主要从事农业园区发展与现代农业的研究。E-mail: jiangheping@caas.cn。

1 影响因素理论分析

1.1 农业生产条件

农业生产条件包括水资源和土资源的供给以及宏观政策调控等软件和硬件方面的条件。新疆水资源是制约农业经济发展的瓶颈因素,“有水为绿洲,无水为荒漠”,水资源的供给一定程度上也决定了土地的供给。水资源结构包括地表水的可利用量和地下水的可采量,决定了农业灌溉方式的选择,影响了农业用水效率和用水效益。近年来,围绕农业用水短缺

[10] 职明星,李秀菊. 脯氨酸测定方法的改进[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2005,33(4):10-12.

[11] 陆奎眉,吴福妹,张琼,等. NaCl 胁迫对大黄龙船花生长及生理生化影响[J]. 热带亚热带植物学报,2015,23(3):262-267.

[12] 秦景,董雯怡,贺康宁,等. 盐胁迫对沙棘幼苗生长与光合生理特征的影响[J]. 生态环境学报,2009,18(3):1031-1036.

[13] 朱红菊,刘文革,赵胜杰,等. NaCl 胁迫对不同倍性西瓜幼苗叶片叶绿素含量的影响[J]. 中国瓜果,2015(9):75-78.

[14] 安飞飞,简纯平,杨龙,等. 木薯幼苗叶绿素含量及光合特性对盐胁迫的响应[J]. 江苏农业学报,2015,31(3):500-504.

[15] 胡雪华,李蕴,邹天才. 车前对铝胁迫生理响应的研究[J]. 热带亚热带植物学报,2014,22(5):495-501.

[16] 叶媛蓓. 拟南芥对多环芳烃胁迫的生理响应[D]. 福州:福建农林大学,2007.

[17] 刘建武,林逢凯,王郁,等. 多环芳烃(萘)污染对水生植物生理指标的影响[J]. 华东理工大学学报,2002,28(5):520-536.

[18] 李卫兵,肖能文,高吉喜,等. 萘胁迫对金鱼藻生理特性的影响

[J]. 环境科学研究,2013,26(4):425-431.

[19] 孙成芬. 土壤萘污染对玉米生长发育的影响——污染途径和机理的初步研究[D]. 长春:东北师范大学,2007.

[20] Kvesitadze E, Sadunishvili T, Kvesitadze G. Mechanisms of organic contaminants uptake and degradation in plants[J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, 55: 458-468.

[21] Heath R L, Packer L. Effect of light on lipid peroxidation in chloroplasts[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 1965, 19(6): 716-720.

[22] 孙娟,郑文教,赵胡. 萘胁迫对白骨壤种苗萌生及抗氧化作用的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2005, 44(3): 432-436.

[23] 陆志强,郑文教,马丽. 萘和芘胁迫对红树植物秋茄幼苗膜透性及抗氧化酶活性的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2008, 47(9): 757-760.

[24] 刘泓,崔波,叶媛蓓,等. 拟南芥对多环芳烃菲胁迫的早期响应[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 749-753.