

# 菖蒲抗氧化系统保护酶对水体苯污染的响应

赖闻玲<sup>1</sup>, 张晓媛<sup>1</sup>, 方 蕾<sup>1</sup>, 赖姝灵<sup>1</sup>, 张旻杰<sup>2</sup>

(1. 赣南师范大学 生命与环境科学学院, 江西 赣州 341000; 2. 赣南师范大学 化学化工学院, 江西 赣州 341000)

**摘 要:**用人工配制不同浓度的含苯废水培养菖蒲, 比较了其根部和叶片中超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性和过氧化氢酶(CAT)活性的变化。结果表明:随着苯浓度的提高, 菖蒲根部 SOD 活性显著下降, 而叶片 SOD 活性极显著上升; 根部 POD 活性上升不明显, 但叶片 POD 活性极显著下降; 根部和叶片 CAT 活性极显著或显著下降。菖蒲不同部位的不同抗氧化保护酶对苯污染的反应各不相同, 叶片的反应要比根部更显著。

**关键词:**苯; 菖蒲; 抗氧化系统保护酶

**中图分类号:**S 682.2<sup>+</sup>4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)09-0079-04

多环芳烃(pycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)作为一类持久性有机污染物, 其中一些种类具有强烈的致癌、致畸和致突变性, 被很多国家列为优先控制污染物<sup>[1-2]</sup>。由于 PAHs 的强疏水性和难降解性, 很难在环境中快速降解, 并且其具有生物累积性, 因此会通过食物链对人体健康造成威胁, 研究其生物净化具有重要意义。已有大量的研究利用水生植物来净化污水中的重金属、各种有机污染物, 但水生植物对水体中多环芳烃的净化研究还很少<sup>[3-4]</sup>。菖蒲(*Acorus calamus* L.)具有形态美观、适于观赏、生长适应性强、管理粗放的特点, 并且对污染水体有较强的净化能力<sup>[5-7]</sup>, 因此常用作人工湿地植物和水生造景植物。为探寻菖蒲实际应用于含 PAHs 废水植物修复的可能性, 现以苯为多环芳烃的代表物质, 模拟含苯废水, 研究了苯对菖蒲体内 3 种抗氧化酶影响, 以期对 PAHs 污染废水的植物修复提供理论依据和数据参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为菖蒲, 采自赣州市湖边乡, 种植于校园小型人工湿地储备池中。

**第一作者简介:**赖闻玲(1973-), 女, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事植物资源与环境保护等研究工作。E-mail: 664542890@qq.com.

**责任作者:**张旻杰(1970-)男, 本科, 副教授, 现主要从事环境化学等研究工作。E-mail: 757501886@qq.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(51309054); 江西省自然科学基金资助项目(2011ZBAB204015, 20122BAB204006); 江西省教育厅科学技术研究资助项目(GJJ12565)。

**收稿日期:**2015-12-23

### 1.2 试验方法

试验装置由塑料桶和泡沫板构成。桶为市售塑料桶(桶底内径 20 cm, 上口内径 25 cm, 桶高 25 cm), 泡沫板直径接近桶上口。桶中装培养液, 植株基部用海绵包裹固定于泡沫板上, 然后置于塑料桶中培养, 为避免根系和溶液见光, 桶外用黑色塑料袋包裹。

采集储备池中菖蒲, 洗净根部, 在自然条件下, 先后用自来水和 1/2 浓度、全浓度的 Hongland 营养液各培养 7 d 进行驯化。用完全营养液配制苯溶液, 浓度分别为 5、10、20 mg/L, 以完全营养液为对照。每桶装 3 L 溶液, 挑选健壮、大小均匀的植株(株高约 25 cm, 鲜重约 20 g), 移栽至塑料桶内, 每桶 1 株, 每浓度 5 次重复, 20 株植物随机排列于室外。移栽后第 10 天进行取样, 选取每株植物正常的叶片和根各 0.5 g, 相同处理的样品混匀用于保护酶活性测定。

### 1.3 项目测定

叶片和根系超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用 NBT 法<sup>[8]</sup>, 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 U/g FW。过氧化氢酶(CAT)活性测定采用高锰酸钾滴定法<sup>[9]</sup>, 其活性以单位鲜重相当于 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的质量计, 单位 mg · g<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>。过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法<sup>[10]</sup>, 以 1 min OD<sub>470</sub> 增加 0.01 为 1 个酶活单位计算其活性, 单位 U · g<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>。

### 1.4 数据分析

运用 SPSS 16.0 软件统计平均值、标准差和相关性, 并生成图表。其中不同浓度和部位间的方差分析及差异性分析采用 One-Way ANOVA 和 LSD 检验(双尾)进行。

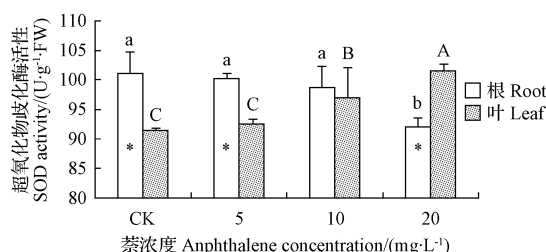
## 2 结果与分析

### 2.1 菖蒲超氧化物歧化酶活性对苯的响应

由图 1 可知, 菖蒲不同部位 SOD 活性对苯污染的

响应不同。正常菖蒲植株根部 SOD 活性显著高于叶片,随着萘浓度的提高,根部 SOD 活性缓慢下降,萘浓度达 20 mg/L 时显现出与对照和低浓度的显著差异,比对照降低了 10.0%;叶片中酶活的变化趋势与根部相反且更明显,10 mg/L 开始各浓度间显现显著差异;随着浓度的上升,叶片的酶活逐渐接近根部,而到 20 mg/L 时,叶片的酶活显著高于根部。

相关性分析显示,根部 SOD 活性与萘浓度极显著负相关( $P<0.01$ ),叶片与浓度极显著正相关( $P<0.01$ ),萘污染对根部主要起抑制作用,而对叶片起刺激作用,且对叶片的影响比根部更明显(表 1)。在萘的影响下,叶片与根部 SOD 活性之间呈极显著负相关关系( $P<0.01$ )。



注:n=5;大写字母表示叶片浓度间差异显著( $P<0.05$ );小写字母表示根部浓度间差异显著( $P<0.05$ );“\*”代表相同浓度叶和根之间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note:n=5;capital letters indicate a statistically significant difference at  $P<0.05$  among different naphthalene concentrations in leaf, lowercase letters indicate a statistically significant difference at  $P<0.05$  among different naphthalene concentrations in root, while “\*” indicates a statistically significant difference at  $P<0.05$  between leaf and root in the same naphthalene concentration.

图1 萘对菖蒲 SOD 活性的影响

Fig. 1 Effect of naphthalene concentration on SOD activity in *A. calamus*

## 2.2 菖蒲过氧化物酶活性对萘的响应

从图 2 可以看出,菖蒲不同部位 POD 活性对萘污染的响应也不同。根部 POD 活性与浓度正相关,而叶片 POD 活性与浓度负相关,但相关性均不显著( $P>0.05$ )(表 1)。正常菖蒲植株根部 POD 活性显著高于叶片,随着萘浓度的提高,根 POD 活性缓慢上升,但各萘

污染下的酶活与对照的差异不显著;叶片中酶活的变化趋势总体是随萘浓度升高而显著下降,各浓度下的 POD 活性都显著低于对照( $P<0.05$ ),但低浓度时(5 mg/L)的影响更显著,与对照相比下降了 32.4%。随着浓度的上升,根部与叶片之间的差异性增大,当萘浓度达 20 mg/L 时,根部的 POD 活性为叶片的 2.5 倍,但二者之间没有明显的相关性。

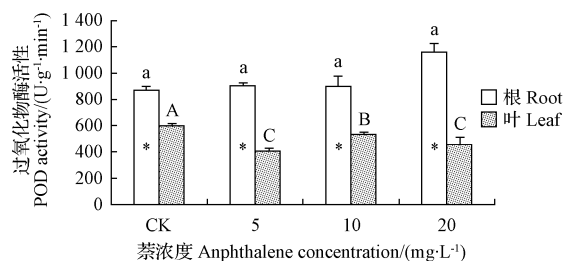


图2 萘对菖蒲 POD 活性的影响

Fig. 2 Effect of naphthalene concentration on POD activity in *A. calamus*

## 2.3 萘对菖蒲过氧化氢酶活性的影响

菖蒲根部和叶片的 CAT 活性都与萘浓度显著负相关( $P<0.05$ ),即萘污染促使 CAT 活性下降(表 1)。由图 3 可知,萘污染造成根部 CAT 活性显著低于对照,但不同萘浓度的影响不明显,叶片的影响与根部相似,但 10 mg/L 时下降最多。叶片与根部 CAT 活性极显著正相关( $P<0.01$ ),随着萘浓度的增大,叶片与根部的 CAT 活性差异增大,正常时叶片为根部的 1.6 倍,萘浓度为 10 mg/L 时叶片达到了根部的 3.1 倍。

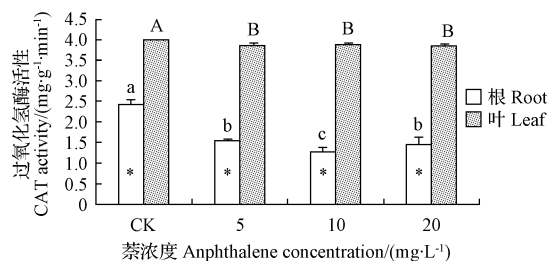


图3 萘对菖蒲 CAT 活性的影响

Fig. 3 Effect of naphthalene concentration on CAT activity in *A. calamus*

表 1

萘污染下菖蒲保护酶活性的相关性分析

Table 1

The correlation analysis of defence enzymes in *A. calamus* polluted by naphthalene

	根 SOD 活性 Root SOD activity	根 POD 活性 Root POD activity	根 CAT 活性 Root CAT activity	叶 SOD 活性 Leaf SOD activity	叶 POD 活性 Leaf POD activity	叶 CAT 活性 Leaf CAT activity
萘浓度	-0.809 **	0.568	-0.670 *	0.968 **	-0.403	-0.598 *
根 SOD 活性		-0.639 *	0.408	-0.812 **	0.254	0.519
根 POD 活性			-0.187	0.471	-0.237	-0.408
根 CAT 活性				-0.630 *	0.539	0.741 **
叶 SOD 活性					-0.207	-0.491
叶 POD 活性						0.760 **

注:\*\*表示 0.01 水平上相关性显著;\*表示 0.05 水平上相关性显著。

Note:\*\* shows significant at the 0.01 level (2-tailed); \* shows significant at the 0.05 level (2-tailed).

### 3 讨论与结论

植物受到诸如干旱<sup>[11]</sup>、盐<sup>[12]</sup>、重金属<sup>[13]</sup>等外界环境胁迫时,其体内容易产生大量的活性氧,会对植物细胞产生伤害,严重的甚至导致植物死亡。同时植物内源性的氧增加会作为伤害信号分子,通过第二信使系统诱导植物做出抗逆响应,最直接的就是植物体内抗氧化系统活性增强,尽快清除体内过量活性氧。在活性氧酶促防御系统中,SOD、POD、CAT 是关键抗氧化酶,这些酶活性的变化通常用来反映植物的受胁迫程度。

SOD 主要清除植物体内超氧化物自由基( $O_2^-$ ),为抗氧化的第一道防线。在对水生植物的研究中,萘和其它多环芳烃对植物不同部位和不同时期 SOD 活性影响不同。如秋茄幼苗<sup>[14]</sup>的根尖和子叶 SOD 受萘诱导活性增加,其中根尖的增加幅度大于子叶,研究者认为这是根部与萘直接接触有关。而金鱼藻<sup>[15]</sup>体内的 SOD 活性因萘污染而降低,在萘浓度较高时显著降低。另一项对松前水稻的研究中<sup>[16]</sup>,在不同生长期萘对其叶片的影响各不相同,在苗期和分蘖期可能因萘胁迫产生较少的超氧化物自由基,SOD 被一定程度地诱导提高以清除超氧化物自由基,而在拔节期因自身生长能耗较大而抗性较弱,抑或通过提高 POD、CAT 来补充 SOD 的减弱,而且高浓度萘胁迫超出了水稻自身调节范围,使水稻幼苗和拔节期叶片的 SOD 活性降低。白骨壤幼苗<sup>[17]</sup>子叶 SOD 活性在萘胁迫的前期(15 d)升高,但随胁迫时间延长活性降低。在该研究中,菖蒲叶片 SOD 活性因萘胁迫表现出被诱导显著升高,而且能承受高浓度胁迫,表明叶片清除  $O_2^-$  的能力上升,与秋茄幼苗<sup>[14]</sup>的规律一致。但菖蒲根部 SOD 活性因萘胁迫而降低,在高浓度时表现更明显,这种规律与金鱼藻<sup>[15]</sup>相似,金鱼藻为沉水植物,植物直接与萘接触,由此推测根部可能与萘直接接触产生更强作用,使得超氧化活性氧超出其自身调节范围导致其活性降低。

细胞质中的 POD 将 SOD 歧化反应产生的  $H_2O_2$  直接分解予以清除。秋茄幼苗<sup>[14]</sup>的根尖和子叶 POD 活性也受萘的诱导增加,且根尖强于子叶。随萘浓度的增加,浮水植物<sup>[18]</sup>水葫芦和水花生叶片 POD 活性明显升高,与之不同的是浮萍、紫萍和细叶满江红叶片 POD 活性在低浓度时增加,但在较高浓度时( $>6$  mg/L)却随萘浓度增加而下降至低于对照。该研究中菖蒲根部 POD 活性因萘胁迫增加不显著,而叶片 POD 活性却显著降低,其原因还需进一步研究。

CAT 的功能与 POD 一样,也是清除多余的  $H_2O_2$ 。萘胁迫对植物 CAT 影响尚鲜见报道,但有研究发现其

它多环芳烃如菲和蒽蒽都使拟南芥叶片的 CAT 活性显著下降<sup>[19]</sup>,而且发现 CAT 基因的表达被明显抑制。该研究中菖蒲各部分的 CAT 活性都随萘胁迫而降低,与拟南芥相似,具体原因还有待进一步探索。

综合以上分析,菖蒲不同部位的不同保护酶对萘污染的反应各不相同,叶片的反应要比根部更显著。

### 参考文献

- [1] GAO Y Z, LING W T, ZHU L Z, et al. Ryegrass-accelerated degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2005(24): 498-502.
- [2] ZHU L Z, GAO Y Z. Prediction of phenanthrene uptake by plants with a partition-limited model[J]. Environment Pollution, 2004, 131: 505-508.
- [3] 刘建武, 林逢凯, 王郁. 水生植物净化萘污水能力研究[J]. 上海环境科学, 2002, 21(7): 421-415.
- [4] 赵阳. 七种植物对水体中萘的富集特性及修复效应比较[D]. 长春: 东北师范大学, 2009.
- [5] 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.
- [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] 杨旭, 张雪萍, 于水利. 微污染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.
- [8] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2006: 167-173.
- [9] 李合生, 孙群, 赵世杰. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 164-165, 167-169.
- [10] 李忠光, 龚明. 愈创木酚法测定过氧化物酶活性的改进[J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(2): 323-324.
- [11] 李明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 503-507.
- [12] 丁俊祥, 邹杰, 唐立松, 等. 沼泽、盐化沙丘过渡带和沙丘生境下芦苇的光合及生理生化特性[J]. 生态学报, 2015, 35(16): 5316-5323.
- [13] 赵聪, 谢水波, 李仕友, 等. 钼胁迫对香根草生理生化指标的影响[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(4): 386-390.
- [14] 陆志强, 郑文教, 马丽. 萘和蒽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.
- [15] 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.
- [16] 马丽, 盛连喜, 何春光, 等. 萘对松前水稻(*Oryza sativa* cv. Matsumae)生长和生理的影响及其残留[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(10): 1997-2004.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.

DOI:10.11937/bfyy.201609023

# 吲哚丁酸对月季扦插生根的影响

吴丽君, 王莹茜, 夏西亚

(中南林业科技大学 林学院, 湖南 长沙 410004)

**摘要:**以红花月季为试材,采用不同浓度(50、150、300 mg/L)IBA 溶液对月季插条进行不同时间(2、4 h)的浸泡处理,通过测定愈伤组织生根率、皮部生根率、根系生长量、根系长度、生根数量、插条成活率及原叶保留率等指标,比较不同处理对月季扦插生根的影响。结果表明:在 IBA 不同浓度和浸泡时间的组合处理下,红花月季插条生根率较对照均有所提高,而在 IBA 浓度为 150 mg/L、浸泡时间为 2 h 的处理条件下,插条成活率最高,植株长势最好。

**关键词:**月季;吲哚丁酸;扦插繁殖;生根

**中图分类号:**S 685.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)09-0082-05

近年来,随着人们生活水平和审美情趣的提高,观赏植物在人们日常生活中的地位越来越重要。月季(*Rosa chinensis*)属蔷薇科(Rosaceae)蔷薇属(*Rosa*),是我国传统十大名花之一,花容秀美,姿色多样,香气浓郁,四时常开,深受人们的喜爱,被誉为“花中皇后”,在城市园林绿化和庭院植物配置中占据着重要地位<sup>[1]</sup>。扦插繁殖作为一种常用的无性繁殖方法,具有遗传性状稳定、开花结实早、育苗周期短、繁殖系数高、技术设备简

单、规模大、成本低等优点<sup>[2]</sup>。在月季种苗的大规模生产中,一般采用扦插方法进行繁殖<sup>[3]</sup>。影响月季扦插成活的因素很多,其中植物生长调节剂是重要的影响因子之一<sup>[4-5]</sup>。因此,选择合适的植物生长调节剂种类和浓度对提高扦插生根率和成活率有促进作用,在植物种苗规模化生产应用上具有重要意义<sup>[6]</sup>。

近年来,国内外学者针对植物生长调节剂对月季扦插生根的作用效果进行了较多的研究,如周兰胜<sup>[7]</sup>对部分野生蔷薇属植物扦插繁殖技术进行了研究,发现单瓣黄刺玫和刺玫蔷薇扦插生根的最适处理为 IBA 浓度 100 mg/L、浸泡时间 60 min。吕研福<sup>[8]</sup>对普通月季(*Rosa chinensis* Jacq.)进行扦插试验的结果表明,IBA 50 mg/L 浸泡 20 min 为最佳处理。牛艳婷等<sup>[9]</sup>的研究

**第一作者简介:**吴丽君(1980-),女,湖南益阳人,博士,讲师,现主要从事园艺植物栽培与育种等研究工作。E-mail:lijun\_wu@126.com.

**基金项目:**中南林业科技大学青年科学基金资助项目(QJ2010027B)。

**收稿日期:**2015-12-16

## Response of Protecting Enzymes of Antioxidant System in *Acorus calamus* L. to Naphthalene Pollution

LAI Wenling<sup>1</sup>, ZHANG Xiaoyuan<sup>1</sup>, FANG Lei<sup>1</sup>, LAI Shuling<sup>1</sup>, ZHANG Minjie<sup>2</sup>

(1. College of Life and Environmental Science, Gannan Normal University, Ganzhou, Jiangxi 341000; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Gannan Normal University, Ganzhou, Jiangxi 34100)

**Abstract:** *Acorus calamus* L. were cultured with synthetic wastewater containing different concentration of naphthalene. The activities of SOD, POD and CAT in root and leaf were compared. The results showed that, with the increase of concentration of naphthalene, the SOD activity in root decreased significantly, while the SOD activity in leaf increased extremely significantly, the POD activity in root didn't increase obviously, while the POD activity in leaf decreased extremely significantly, CAT activity in root and leaf decreased extremely or significantly. Different protecting enzymes of antioxidant system in different part of *A. calamus* had different response to naphthalene pollution, and the leaf responded more obviously than root.

**Keywords:** naphthalene; *Acorus calamus* L.; protecting enzymes of antioxidant system