

# 松前水稻 (*Oryza sativa* cv. *Matsumae*) 对土壤菲污染的生理生态响应

马丽<sup>1,2\*</sup>, 何春光<sup>2</sup>, 盛连喜<sup>2</sup>, 李辉<sup>1</sup>

1. 绵阳师范学院资源环境工程学院, 四川 绵阳 621000;

2. 东北师范大学城市与环境科学学院, 国家环境保护湿地生态与植被恢复重点实验室, 吉林 长春 130024

**摘要:** 以松前水稻(*Oryza sativa* cv. *Matsumae*)为试验材料, 研究了5种质量分数菲污染土壤对松前水稻营养生长期生长和生理生化指标的影响。结果表明:(1)菲质量分数低于20 mg·kg<sup>-1</sup>时促进茎直径的生长, 随菲质量分数的增大对水稻苗期生长有明显的抑制作用。低质量分数和高质量分数的菲污染土壤对茎高和株高均有明显抑制作用, 而中等质量分数影响不明显。(2)随菲质量分数的增大脯氨酸含量逐渐增大, 而蛋白质含量均有不同程度的下降, 植物体内存在着脯氨酸积累和蛋白质减少的反馈控制系统。(3)菲胁迫引起水稻叶片膜脂过氧化, 植物体累积过量的丙二醛, 且SOD活性受到不同程度的影响。(4)菲胁迫下, 水稻营养生长期叶片叶绿素含量和光合作用速率无明显正相关关系。

**关键词:** 菲; 松前水稻; 生长指标; 生理生化指标; 营养生长

**中图分类号:** X171      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-5906 (2010) 10-2435-06

多环芳烃(PAHs)指由两个及两个以上苯环稠合而成的一类化合物, 是被认识的最早的一类化学致癌物。亲脂性多环芳烃和它们的衍生物因其疏水性、辛醇/水分配系数高, 而易于在生物体内积累, 并在体内代谢过程中产生多种中间产物, 其中许多中间产物参与机体内的氧化还原循环, 产生大量活性氧, 从而对DNA、蛋白质及膜脂等生物大分子造成氧化损伤, 可能干扰生物膜结构和功能, 进而直接影响一些组织器官, 引发机体的毒害效应<sup>[1]</sup>。

随着工业发展和大城市的兴起, 废水、废气、废渣的排放急剧增加, 加之农业生产上大量使用化肥、农药等化学物质, 最终致使土壤遭到不同程度的污染。水稻是我国最主要的粮食作物之一, 全国水稻种植面积约占粮食作物面积为30%, 主要产区包括长江中下游地区、华南、东南及台湾省、海南省和南海诸岛等沿海地区, 而这些地区也是受多环芳烃影响比较严重的地区<sup>[2-5]</sup>。据调查研究表明, 2000年珠江三角洲表层土壤多环芳烃的质量分数为31.5~710.6 μg·kg<sup>-1</sup>, 平均值为198.7 μg·kg<sup>-1</sup>, 其中菲质量分数最高, 其次为萘、芴等, 2~3环化合物含量占59%以上<sup>[6]</sup>。丁爱芳等研究结果表明太湖地区吴江市表层水稻土PAHs总量为219.5~1628.6 μg·kg<sup>-1</sup>, 亚表层中为83.9~1182.0 μg·kg<sup>-1</sup>, 表层土壤中PAHs总量高于亚表层, 靠近工业区的水稻土中PAHs的含量高于农区。在检测的PAHs中, 二环、三环、四环的含量之和约为总量的67.9%~98.3%。

其中以菲的质量分数最高, 约为PAHs总量的12.1%~80.1%, 所以耕种土壤受多环芳烃影响较为严重<sup>[7-8]</sup>。

目前, 大多集中于研究凤眼莲、芦苇和水葫芦等高等水生植物对多环芳烃的吸附、净化, 以及多环芳烃对植物体生理生化指标的毒害效应<sup>[9-10]</sup>, 多环芳烃对大豆、玉米、黑麦草、白菜、小麦等高等陆生作物的研究大多为短期的毒性影响<sup>[11-14]</sup>, 而研究多环芳烃菲对水稻营养生长期生长和生理生化指标影响的报道较少。本文主要研究耕种土壤中菲污染对松前水稻生长发育的影响, 其中一些机理性的探讨可为今后研究有机污染胁迫下, 作物的生长和耐性适应机制奠定一定科学基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 主要试剂

化学品: 菲(Phenanthrene, Phe), 美国Sigma公司产品。

### 1.2 材料

优质水稻(*Oryza Sativa*)品种: 日本松前(*Matsumae*), 纯系。

土壤: 为吉林农业大学黑土(调酸土:营养土:黑土=1.25:1.25:320 kg)。

### 1.3 松前水稻的培养

优质松前水稻(*Oryza sativa* cv. *Matsumae*)种子经浮选, 去掉瘪粒, 用水充分漂洗后, 选取400粒, 用蒸馏水浸泡12 h后, 按照同心圆平铺方式将水稻

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2004CB418505); 吉林省科技发展计划项目(20065021)

作者简介: 马丽(1983年生), 女, 硕士, 主要从事环境生态学方面的研究。E-mail: malil2008@163.com

收稿日期: 2010-10-08

表1 供试有机污染物的理化性质  
Table 1 Physical and chemical properties of the tested organic pollutant

有机污染物	分子式	结构式	相对分子量	溶解度(25 °C)/(mg·L <sup>-1</sup> )	logK <sub>ow</sub> (辛醇/水分配系数)
菲(Phe)	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>		178.2	31	4.57

种子排列在铺有滤纸的培养皿里,然后置于(28±0.5)°C恒温暗光培养箱中催芽,芽长为种子长度时,置于土壤中培养种苗,长至三叶期待用。

#### 1.4 种苗处理

用5 mL丙酮做助溶剂,按算术级数配置菲有机溶液质量分数为0(未加丙酮为对照)、10、20、40、80 mg·kg<sup>-1</sup>(质量分数以风干土壤计,采用盆钵直径25 cm、高30 cm栽培,每盆装土3 kg,用调酸土和营养土按比例搅拌均匀),均匀灌溉于盛有3 kg土壤的盆钵中,过夜待丙酮挥发后移栽苗,然后把培养至三叶期的种苗移植到处理过的盆钵中,每盆10株,共5个质量分数梯度,每一梯度3个平行,共15盆钵。定时浇水保留水层模拟自然生长状态(苗期:浅水勤灌;分蘖期:水层保持在2~3 cm;拔节期:宜灌深水6~10 cm),以研究菲对松前水稻伤害的长期效应。

移植水稻种苗后,待长出新叶开始取样,在幼苗期测定茎直径、茎高、株高。分别在苗期、分蘖期和拔节期取水稻每个时期新生健康叶片,每株取3~5片,测定叶片中游离脯氨酸、蛋白质、超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)、光合作用速率、叶绿素各项生理生化指标。

#### 1.5 各项生理指标的测定方法

茎直径采用游标卡尺测量(精确到0.001 cm),茎高和株高用直尺测量(精确到0.01 cm),游离脯氨酸含量采用茚三酮比色法<sup>[15]</sup>,蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝G-250法<sup>[16]</sup>,超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法<sup>[16]</sup>,光合作用速率的测定采用TPS-1便携式光合作用仪测定,叶绿素测定采用分光光度计法<sup>[16]</sup>。

#### 1.6 数据处理与分析

试验数据用统计学方法进行处理,所给结果为平均值±标准差。处理组与对照组之间的比较采用

SPSS统计软件,进行单因素方差分析ANOVA,其中P<0.05为差异显著,P<0.01为差异极显著,P>0.05为差异不显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 菲对松前水稻苗期生长状况的影响

由表2看出,随菲质量分数的增大,水稻茎直径呈先升高后降低的趋势,但菲各梯度组与对照均无显著差异。其中10 mg·kg<sup>-1</sup>时高于对照27.84%,而80 mg·kg<sup>-1</sup>时比对照组减少16.27%。

菲各梯度组茎高和株高均低于对照组,其中10和80 mg·kg<sup>-1</sup>组茎高和株高与对照组呈极显著差异(P<0.01),茎高分别低于对照组24.7%、31.61%,株高分别低于对照组24.04%、17.96%,这表明低质量分数和高质量分数的菲对幼苗茎高和株高的生长有抑制作用。

### 2.2 菲对松前水稻营养生长期叶片游离脯氨酸和蛋白质含量的影响

从图1看出,随菲质量分数的增大,苗期、分蘖期、拔节期水稻叶片游离脯氨酸含量总体均呈逐渐升高的趋势,各梯度组均显著高于对照组,直至80 mg·kg<sup>-1</sup>时,分别为对照组的1.32倍、1.11倍、7.08倍(P<0.01)。这说明与苗期和分蘖期相比,拔节期叶片中游离脯氨酸含量在逆境胁迫下表现得更为敏感。

从图2看出,松前水稻营养生长期叶片中蛋白质含量随菲质量分数的升高呈不同的变化趋势。其中苗期和拔节期,菲质量分数为20~80 mg·kg<sup>-1</sup>时显著低于对照组(P<0.01);分蘖期,20和40 mg·kg<sup>-1</sup>菲比对照组显著降低了5.79%、3.29%(P<0.01),80 mg·kg<sup>-1</sup>时蛋白质含量略有增加。

### 2.3 菲对松前水稻营养生长期叶片SOD活性和丙二醛(MDA)含量的影响

由图3看出,随菲质量分数的增大,苗期和拔

表2 菲对松前水稻苗期生长状况的影响  
Table 2 Effect of Phe on growth of *Matsumae* seedling stage

w(菲)/(mg·kg <sup>-1</sup> )	茎直径/mm	处理/对照	茎高/cm	处理/对照	株高/cm	处理/对照
0	2.29±0.046	100.00%	5.79±0.66	100.00%	18.25±2.42	100.00%
10	2.33±0.044	127.84%	4.36±0.74**	75.30%	13.87±2.66**	75.96%
20	2.49±0.052	119.41%	5.72±0.82	98.79%	19.07±3.53	104.44%
40	2.00±0.057	90.59%	5.56±0.98	96.03%	17.99±3.27	98.52%
80	1.91±0.077	83.73%	3.96±1.02**	68.39%	14.98±2.65**	82.04%

n=10, \* P<0.05, \*\* P<0.01

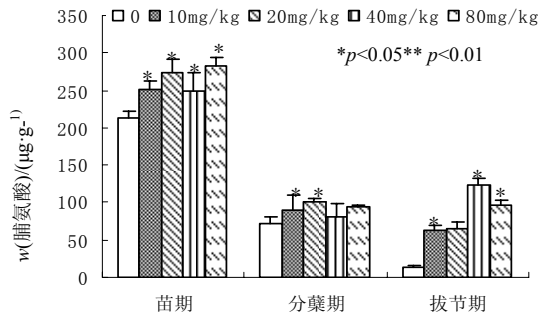


图1 菲对松前水稻营养生长期叶片脯氨酸质量分数的影响  
Fig.1 Effect of Phe on proline content of *Matsumae* leaves during vegetative growth stage

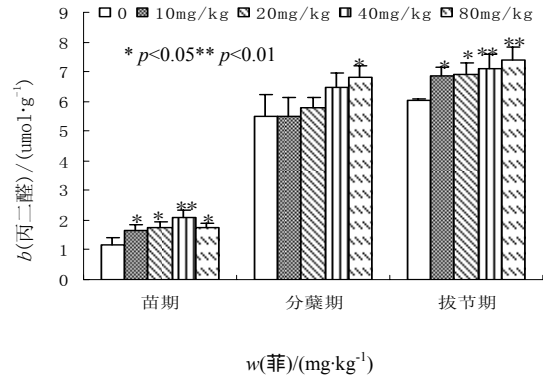


图4 菲对松前水稻营养生长期叶片丙二醛 (MDA) 含量的影响  
Fig.4 Effect of Phe on MDA content of *Matsumae* leaves during vegetative growth stage

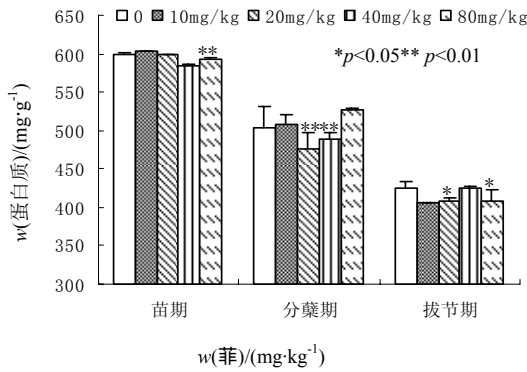


图2 菲对松前水稻营养生长期叶片蛋白质含量的影响  
Fig.2 Effect of Phe on protein content of *Matsumae* during vegetative growth stage

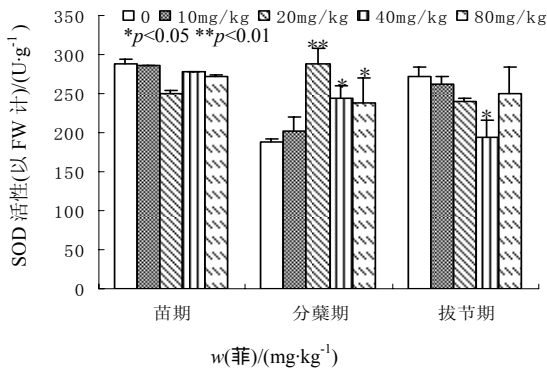


图3 菲对松前水稻营养生长期叶片SOD活性的影响  
Fig.3 Effect of Phe on the activity of SOD of *Matsumae* leaves during vegetative growth stage

节期水稻叶片 SOD 活性均呈先降低后升高的趋势,且各梯度组均低于对照,表现出显著的抑制作用,但不低于对照的 30%;分蘖期叶片 SOD 活性显著增加,20、40、80 mg·kg<sup>-1</sup> 梯度组分别为对照的 1.54 倍( $P<0.01$ )、1.31 倍( $P<0.01$ )、1.27 倍。

如图4,随菲质量分数的增大,营养生长期叶

片 MDA 含量均呈逐步上升的趋势,直至 80 mg·kg<sup>-1</sup>时,苗期、分蘖期、拔节期叶片MDA含量分别高于对照52.84%、24.54%、23.39%。且发现与分蘖期和拔节期相比,苗期菲各梯度组相对对照组反应更为敏感,其中40 mg·kg<sup>-1</sup>时显著高于对照81.90%( $P<0.01$ ),可能是水稻进入独立生长阶段—离乳期,机体防御水平突然受到外来不良环境影响,引起水稻叶片膜脂不饱和脂肪酸过氧化,产生过多的过氧化产物MDA,进而影响植物正常生长。

#### 2.4 菲对松前水稻营养生长期叶片光合作用的影响

##### 2.4.1 菲对松前水稻营养生长期叶片叶绿素含量的影响

从图5看出,随菲质量分数的增大,水稻营养生长期叶片叶绿素含量均呈逐渐增大的趋势,直至 80 mg·kg<sup>-1</sup>时,苗期、拔节期分别比对照增加了 23.94%、13.79%,但分蘖期,菲20和40 mg·kg<sup>-1</sup>质

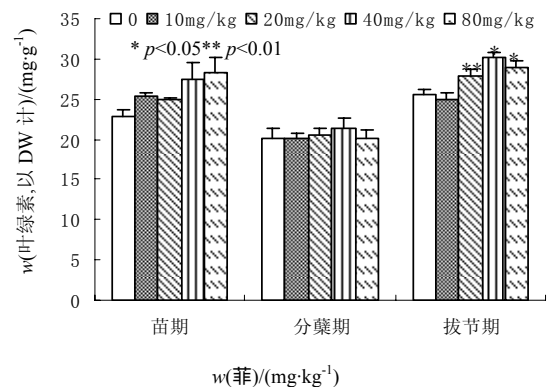


图5 菲对松前水稻营养生长期叶片叶绿素含量的影响  
Fig.5 Effect of Phe on chlorophyll content of *Matsumae* leaves during vegetative growth stage

量分数组分别高于对照2.14%、6.71%,但与对照组均无显著差异。

### 2.4.2 菲对松前水稻营养生长期叶片光合作用速率的影响

由图6看出,菲胁迫抑制苗期叶片光合作用速率,不低于对照的20%;菲对分蘖期时叶片的光合作用速率有促进作用,不超过对照的7%;拔节期,菲各梯度组与对照无显著差异。

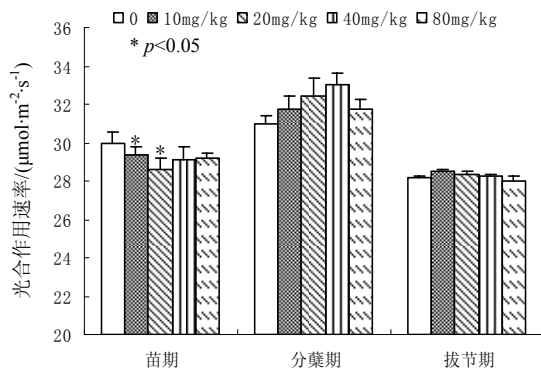


图6 菲和菲对松前水稻营养生长期叶片光合作用速率的影响  
Fig.6 Effect of Phe on rate of photosynthesis of *Matsumae* leaves during vegetative growth stage

## 3 讨论与结论

### 3.1 菲对松前水稻苗期生长的影响

菲质量分数低于 20 mg·kg<sup>-1</sup> 时,可促进茎直径的生长。这与刘亚云<sup>[17]</sup>研究 PCBs 对桐花树幼苗茎直径生长量的影响结果有相似之处。由于菲具有与植物生长激素如生长素和赤霉素相类似的环状结构,生长素和赤霉素促进植物茎的生长,所以低质量分数菲可能因其结构的相似性而具有与生长激素类似的作用,从而促进松前水稻苗期茎直径的生长。但是菲高质量分数组对茎直径、株高、茎高的生长表现出明显抑制作用,这表明高质量分数菲胁迫对水稻苗期生长产生一定的毒害作用。

### 3.2 菲对松前水稻营养生长期叶片氮代谢的影响

脯氨酸是多种植物体内最有效的一种亲和性渗透调节物质,几乎所有的逆境都会使植物体内累积脯氨酸。脯氨酸的累积是由脯氨酸合成酶的活化、生物降解的抑制以及参与合成蛋白的减少而产生的。

实验结果表明随菲质量分数的增大,水稻营养生长期叶片游离脯氨酸质量分数均显著增加,且高质量分数菲对蛋白质的合成表现出一定的抑制作用,可能是由于高质量分数菲提高了蛋白酶活性,加速了蛋白质的水解,也可能是菲胁迫使 RNA 转录和翻译受到抑制,造成蛋白质含量的减少<sup>[18]</sup>,从而使氮素代谢调节失调,影响植物的正常生长。

蛋白质降解使蛋白质的成分之一脯氨酸积累,而脯氨酸的过量累积势必影响蛋白质的合成,因此在植物体内存在着脯氨酸积累和蛋白质减少的反馈控制系统,白志英<sup>[17]</sup>认为小麦中可能存在抑制脯氨酸过量累积和蛋白质减少的基因。本实验也有类似结果,菲胁迫抑制了蛋白质的合成,致使脯氨酸质量分数增加,也可能是植物自身通过累积脯氨酸质量分数来保持原生质与环境的渗透平衡,防止失水,这是自身调节渗透平衡的机制的体现。

### 3.3 菲对松前水稻营养生长期叶片膜脂过氧化的影响

实验结果发现菲胁迫下,水稻幼苗叶片中 MDA 含量均有不同程度的增加,而 SOD 活性总体呈逐渐降低后略有升高,可能是三叶期移栽后水稻重新扎根,根的生长是一种新生器官,它的生长是以细胞分裂为主的方式进行的。而细胞分裂过程,意味着核酸和蛋白质的成倍增加,需要充分的物质和能量,也即需要吸收充足的氧气。此时水稻机体防御水平突然受到多环芳烃的影响,可能引起水稻叶片内氧气被活化产生过量的氧自由基,造成膜脂不饱和脂肪酸的过氧化,使膜脂组份发生变化,进而改变膜透性、膜脂流动性及膜结合酶活力,植物体提高 SOD 活性清除氧自由基,但超过自身调节的限度,SOD 活性受到菲的抑制,植物体内累积过多的过氧化产物 MDA,MDA 又能与细胞内的核酸和蛋白质等生物大分子发生反应,生成 Schiff 碱,进一步损伤细胞的生物膜。因此,菲胁迫下苗期叶片蛋白质含量减少也可能是膜脂过氧化的原因。

水稻生长进入分蘖期,各菲质量分数组水稻叶片中 SOD 活性显著高于对照组,表明此时植物体内产生过多的氧自由基,水稻能较为有效地调动并积极响应,提高活性来减少膜脂过氧化。

### 3.4 菲对松前水稻营养生长期光合作用的影响

叶绿素含量是反映光合强度的重要指标。叶绿素是光合作用过程中将光能转变为化学能的关键色素,其含量高低是叶片光合性能的重要生理指标,反应了叶片光合性能的高低。

正常情况下,水稻插植返青后叶绿素含量逐渐增加,分蘖盛期最高,以后就减少,孕穗期再次增加,抽穗开花后就逐渐减少。本实验结果发现菲胁迫下,拔节期叶绿素含量高于分蘖期,表明此胁迫影响了水稻正常的光合作用,对叶片叶绿素的合成有一定的促进作用。

本实验结果表明,在所设菲质量分数范围内,总体均表现为促进叶绿素的生物合成,但是叶绿素升高的幅度都比较小,均未超过对照的 24%,表明松前水稻仍然能保持相对正常的光合色素水平;菲

胁迫对光合作用速率的影响表现为苗期受抑制作用,而分蘖期有促进作用。上述结果说明菲胁迫下,水稻叶片叶绿素含量与光合作用速率无明显正相关关系,这与胡颂平<sup>[19]</sup>研究干旱胁迫下水稻叶片光合速率与叶绿素含量的相关性及其基因定位的结果有相似之处,其研究表明:叶绿素含量与光合速率在正常供水下呈极显著正相关( $r=0.1857$ ,表示在1%水平上显著),但在干旱下则表现无关( $r=0.0766$ )。

#### 参考文献:

- [1] TUKAJ Z, AKSMANN A. Toxic effects of anthraquinone and phenanthrene-quinone upon *Scenedesmus* strains(green algae)at low and elevated concentration of CO<sub>2</sub>[J]. *Chemosphere*, 2007, 66: 480-487.
- [2] YING W, JING Z, ZHIJIAN Z. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Yalujiang Estuary, North China[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46(5): 619-625.
- [3] CAI Q Y, MO C H, ATHANASIOS K, et al. Occurrence and assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from vegetable fields of the Pearl River Delta, South China[J]. *Chemosphere*, 2007, 68(1): 159-168.
- [4] 孙娟, 郑文教, 陈文田. 红树林湿地多环芳烃污染研究进展[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(10): 1211-1214.  
SUN Juan, ZHENG Wenjiao, CHEN Wentian. Research advance in ecological effects of polynuclear aromatic hydrocarbons in mangrove wetland[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(10): 1211-1214.
- [5] 于秀艳, 丁永生. 多环芳烃的环境分布及其生物修复研究进展[J]. *大连海事大学学报*, 2004, 30(4): 55-59.  
YU Xiuyan, DING Yongsheng. Advances of studies on the environmental distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and its bioremediation[J]. *Journal of Dalian Maritime University*, 2004, 30(4): 55-59.
- [6] 余莉莉, 邹世春, 张干. 珠江三角洲表层土壤多环芳烃的含量和分布特征[R]. 中山大学化学与化学工程学院第五届(2004学年)创新化学实验报告, 2004: 161-167.  
YU Lili, ZOU Shichun, ZHANG Gan. Distribution and Spatial Trends of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils of the Pearl River Delta, China[R]. the Fifth(2004) innovation chemistry experimental record of Chemistry and chemical engineering institute in Sun Yat-Sen University, 2004: 161-167.
- [7] 丁爱芳, 潘根兴, 张旭辉. 吴江市水稻土中多环芳烃(PAHs)含量及来源的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(6): 1166-1170.  
DING Aifang, PAN Genxing, ZHANG Xuhui. Contents and origin analysis of PAHs in paddy soils of Wujiang county[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6): 1166-1170.
- [8] Eom I C, Rast C, Veber A M, et al. Ecotoxicity of a polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)-contaminated soil[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2007, 67(2): 190-205.
- [9] 陆志强, 郑文教, 马丽, 等. 不同浓度萘和芘处理对红树植物秋茄胚轴萌发和幼苗生长的影响[J]. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2005, 44(4): 580-583  
LU Zhiqiang, ZHENG Wenjiao, MA Li, et al. Effect of naphthalene and pyrene on hypocotyls germination and growth of mangrove plant *Kandelia cande* (L.) Druce[J]. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2005, 44(4): 580-583.
- [10] 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): 520-526.  
LIU Jianwu, LIN Fengkai, WANG Yu, et al. Effects of PAHs(naphthalene) pollution on the physiological index of hydrophyte[J]. *Journal of East China University of Science and Technology*, 2002, 28(5): 520-526.
- [11] 沈小明, 王梅农, 代静玉. 不同浓度条件下玉米吸收菲的水培实验研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(5): 1148-1152.  
SHEN Xiaoming, WANG Meinong, DAI Jingyu. Uptake of phenanthrene by maize from hydroponic solutions with different concentrations[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(5): 1148-1152.
- [12] 刘宛, 孙铁珩, 李培军, 等. 1,2,4-三氯苯胁迫对萌发大豆种子中活性氧的影响[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(12): 1655-1658.  
LIU Wan, SUN Tieheng, LI Peijun, et al. Effects of 1,2,4-trichlorobenzene stress on active oxygen in germinated soybean seeds[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(12): 1655-1658.
- [13] 丁克强, 骆永明, 刘世亮, 等. 黑麦草对菲污染土壤修复的初步研究[J]. *土壤*, 2002, 34(4): 233-236.  
DING Keqiang, LUO Yongming, LIU Shiliang, et al. Study on remediation of *Lolium multiflorum* Lam phenanthrene polluted soils[J]. *Soils*, 2002, 34(4): 233-236.
- [14] 万寅婧, 占新华, 周立祥, 等. 土壤中芘, 菲, 萘, 苯对小麦的生态毒性影响[J]. *中国环境科学*, 2005, 25(5): 563-566.  
WAN Yinjing, ZHAN Xinhua, ZHOU Lixiang, et al. Influence of pyrene, phenanthrene, naphthalene and benzene in soil to wheat[J]. *China Environmental Science*, 2005, 25(5): 563-566.
- [15] 郝再彬. 植物生理学实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2006.  
HAO Zaibin. *Plant Physiology Experiment*[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2006.
- [16] 陈建勋, 王晓峰. 华南理工大学出版社[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.  
CHEN Jianxun, WANG Xiaofeng. *Plant physiology experimental direction*[M]. Second Edition, Guangzhou: South China University of Technology Press, 2006.
- [17] 刘亚云, 孙红斌, 陈桂珠, 等. 多氯联苯对桐花树幼苗生长及膜保护酶系统的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 123-128.  
LIU Yayun, SUN Hongbin, CHEN Guizhu, et al. Effects of PCBs on *Aegiceras corniculatum* seedlings growth and membrane protective enzyme system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(1): 123-128.
- [18] 白志英, 李存东, 刘渊. 干旱胁迫下小麦叶片脯氨酸和蛋白质含量变化与染色体的关系[J]. *植物遗传资源学报*, 2007, 8(3): 325-330.  
BAI Zhiying, LI Cundong, LIU Yuan. Relationship between Chromosome and Changing of Leaf Proline and Protein Content under Drought Stress in Wheat(*Triticum aestivum*L.)[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2007, 8(3): 325-330.
- [19] 胡颂平, 王正功, 张琳, 等. 干旱胁迫下水稻叶片光合速率与叶绿素含量的相关性及其基因定位[J]. *中国生物化学与分子生物学报*, 2007, 23(11): 926-932.  
HU Songping, WANG Zhengong, ZHANG Lin, et al. Correlation analysis and gene identification for chlorophyll content and photosynthetic rate in rice leaves under drought stress[J]. *Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 2007, 23(11): 926-932.

## The physiological and ecological response of *Oryza sativa* cv. Matsumae to the Phenanthrene(Phe) polluted soils

MA Li<sup>1,2\*</sup>, HE Chunguang<sup>2</sup>, SHENG Lianxi<sup>2</sup>, LI Hui<sup>1</sup>

1. School of Resources and Environmental Engineering, Mianyang Normal University, Mianyang 621000, China;

2. State Environmental Protection Key Laboratory of Wetland Ecology and Vegetation Restoration, College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

**Abstract:** The effects of Phenanthrene(Phe), one of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), on the growth and physiological characteristics of rice (*Oryza sativa* cv. Matsumae) were studied based on an experiment. Several morphological, physiological and biochemical indices of rice were measured during the growth stages using five different concentrations of Phe stresses. The results showed as follows: (1) the growth of stem diameter was promoted as the concentration of Phe was lower than 20 mg·kg<sup>-1</sup>, but was significantly inhibited with the increasing of concentration of Phe. The height of rice was significantly inhibited when the concentration of Phe was lower or higher, but the middle level concentration has almost no effect on the growth of the stem height. (2)With the increase of Phe concentration, the proline content of rice gradually increased during the growth stage, while the protein content decreased at a different level, which proved that there should be a feedback system of proline cumulation and protein decrease in plants). (3)Phe stress caused the lipid peroxidation of rice leaves, and increased MDA in the body of plants. Even the activities of SOD were affected at different levels. (4) The result of photosynthesis measurement showed that there was no significant correlation relationships of chlorophyll content and photosynthetic rate of rice leaves.

**Key words:** phenanthrene; *Oryza ativa* cv. Matsumae; growth indices; physiological and biochemical indices; nutrition growth