

# 典型重金属、多环芳烃及菊酯类农药 对唐鱼的急性毒性效应

陈辉辉 覃剑晖 刘海超 张小敏 马徐发

华中农业大学水产学院/动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室, 武汉 430070

**摘要** 采用静水法生物毒性测试研究重金属(铜和镉)、多环芳烃(菲和萘)及有机农药(溴氰菊酯和氯氰菊酯)3类物质对唐鱼的急性毒性,详细描述中毒症状并进行了安全质量浓度评价。结果表明,铜和镉对唐鱼的96 h的 $LC_{50}$ 分别为0.054和4.610 mg/L,其中铜属于极高毒物质,镉属于高毒物质,其安全质量浓度分别为0.005和0.461 mg/L;菲和萘对唐鱼96 h的 $LC_{50}$ 分别为0.913和10.849 mg/L,菲属于极高毒物质,萘属于中毒物质,其安全质量浓度分别为0.091和1.085 mg/L;溴氰菊酯和氯氰菊酯对唐鱼96 h的 $LC_{50}$ 分别为1.217和6.256  $\mu$ g/L,均属于极高毒物质,安全质量浓度分别为0.122和0.626  $\mu$ g/L。唐鱼对这3类污染物质均有较高的敏感性,适合作为水体污染的监测生物。

**关键词** 唐鱼; 重金属; 多环芳烃; 菊酯类农药; 急性毒性

**中图分类号** X 835 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)04-0511-05

由于我国工农业的快速发展,大量有害物质随废水排入自然水体,给其带来了极大的污染,其中重金属、多环芳烃及有机农药是水体中3类较为典型的污染物。重金属主要通过工业排水进入水体,铜和镉是重金属类污染中2种较为典型的污染物;多环芳烃类污染物主要产生于石油冶炼行业和石油泄露,同时也带来了巨大污染<sup>[1-2]</sup>;拟除虫菊酯类农药中的溴氰菊酯和氯氰菊酯,在农业中得到广泛应用,它们最后通常随径流进入自然水体中<sup>[3-4]</sup>。这些污染物带来了许多潜在的危害,不但威胁水体中鱼类和水生生物的生长,还通过生物累积作用威胁人类的健康和生存。

唐鱼(*Tanichthys albonubes*),又名白云金丝鱼,于19世纪30年代在我国广州市白云区首次发现,国家二级保护动物。唐鱼在实验室中具有生长速度快、繁殖能力强等优点,在实验动物学中具有潜在的应用价值。随着野生唐鱼种群的再发现<sup>[5]</sup>,国内外对唐鱼的研究日益增多,其中关于某些污染物对唐鱼的急性毒性也有了初步研究<sup>[6-7]</sup>。笔者主要研究重金属(铜和镉)、多环芳烃(菲和萘)和农药(溴氰菊酯和氯氰菊酯)等3类主要环境污染物对唐鱼

的急性毒性,并比较唐鱼对它们的敏感性,旨在为探讨利用唐鱼作为水体生物毒性监测动物的可行性奠定生态毒理学基础,同时也为环保部门制订相关标准、防治水体污染和保护水环境资源等提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验用鱼

试验所用唐鱼由中国水产科学院珠江水产研究所提供,用曝气3 d的自来水在实验室中驯养15 d以上,驯养期间水温(25±1)℃,光暗比16 h:8 h,每天喂食德国Tetra公司生产的德彩热带鱼饲料,投饵率为2%。驯养过程中,唐鱼无病、无畸形,自然死亡率小于1%。选择大小均匀、平均体长为(2.07±0.10) cm、平均体质量为(0.20±0.03) g的体质健壮的唐鱼进行试验,正式试验前1 d停止喂食。

### 1.2 仪器、试剂及配制

奥立龙(Orion)5-Star水质分析仪(Thermo-Fisher),用于进行常规水质理化指标检测。

重金属试剂:CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O、ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O、CdCl<sub>2</sub>·2.5H<sub>2</sub>O均购自广州化学试剂厂,AR级;

收稿日期:2010-09-06

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07211-007)

陈辉辉,硕士研究生,研究方向:水生生态毒理学。E-mail: chh8543@163.com

通讯作者:马徐发,博士,副教授,研究方向:养殖水环境控制与监测。E-mail: xufama@mail.hzau.edu.cn

菲和萘均购自美国 Acros Organics 公司,纯度达到 99.9%;溴氰菊酯为德国拜耳(Bayer)产 2.5%乳油,氯氰菊酯为深圳诺普信农化股份有限公司生产的 5%微乳剂。以上药物试验前均配制相应浓度的母液,其中菲和萘用丙酮助溶后配制,溴氰菊酯和氯氰菊酯用水稀释成相应的浓度。

### 1.3 急性毒性试验

先按照标准鱼类急性毒性试验方法<sup>[8]</sup>进行预试验,分别确定这几种物质对唐鱼的全致死质量浓度和全不死质量浓度,再在这 2 个质量浓度之间按照等比,设置 5 个浓度梯度,每个梯度设置 3 个平行重复,每个重复梯度组放置 10 尾唐鱼,均设置对照组。试验用水为充分曝气 3 d 的自来水,水中溶解氧保持在 5 mg/L 以上,pH 为 8.0±0.2,试验期间不投饵,温度控制在(25.0±1)℃,光暗比为 16 h:8 h。

整个试验过程持续 96 h。12 h 内连续观察中毒症状,以连续接触鱼体无反应为判定死亡标准,及时捞出死亡鱼体。试验过程中,每 24 h 更换 1 次药液。在试验 24、48、72、96 h 观察唐鱼反应情况,记录死亡鱼尾数,计算出各个试验梯度的平均死亡率,采用 SPSS 16.0 统计分析软件中的 Probit 方法计算急性毒性试验半致死浓度(median lethal concentration, LC<sub>50</sub>)及各自的 95%置信区间,根据鱼类急性毒性分级标准<sup>[9]</sup>(96 h-LC<sub>50</sub><1:极高毒;1~10:高毒;10~100:中毒;>100:低毒)判断各种物质的毒性,采用常规方法 96 h-LC<sub>50</sub>×0.1 计算安全质量浓度。

利用 SPSS 16.0 和 Excel 2003 进行数据处理和分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 中毒症状

在整个试验过程中,唐鱼在不同浓度的毒物中呈现出明显的中毒症状,其中毒症状主要与毒物的浓度和时间相关。试验初期,低浓度试验毒物的试验鱼活动状况与对照组基本相似,16 h 后开始有个体出现中毒症状并死亡,但死亡个体很少;而高浓度组试验鱼在放入试验毒物的较短时间(2 h)后开始出现异常反应,随着时间的延长,各个试验组中毒及死亡数不断增加。

其中重金属组和农药组唐鱼的中毒症状是类似的,在高浓度组的重金属和农药中,唐鱼放入后反应激烈,四处游动或上下直窜,鳃部发红,眼球突出,鳃及体表粘液增多。持续数小时后,一些个体游动缓慢,逐渐失去运动能力,沉于水底、死亡,身体被一层白色絮状物包裹。唐鱼在菲和萘暴露下中毒症状是相似的,但菲暴露组试验鱼中毒症状比萘更加强烈。主要表现为平衡性受到抑制,具体表现为浮头、仰泳和侧泳情况,呼吸困难,鱼体逐渐失去重心,平衡失控,腹部向上漂浮于水面,最后鱼体腹部向上沉于水底死亡。

### 2.2 铜和镉对唐鱼的急性毒性效应

根据预试验结果及半数致死浓度要求,正式试验设置铜(Cu<sup>2+</sup>)质量浓度为 0.040、0.057、0.080、0.131 和 0.160 mg/L,镉(Cd<sup>2+</sup>)质量浓度为 5.00、7.07、10.00、14.14 和 20.00 mg/L,均设置 1 个空白对照组。由表 1 可以看出,铜(Cu<sup>2+</sup>)对唐鱼的 24、48、72、96 h 的 LC<sub>50</sub>分别为 0.101、0.088、0.06 和

表 1 铜和镉对唐鱼的急性毒性试验结果<sup>1)</sup>

Table 1 The acute toxicity of copper and cadmium to *T. albonubes*

试液 Reagent	暴露时间/h Exposure time	概率单位-浓度对数方程 Regression equation	相关系数 Correlations	LC <sub>50</sub> (95%置信区间)/(mg/L) LC <sub>50</sub> (95% confidence limits)	安全质量浓度/(mg/L) Safe concentration
铜 Copper	24	$y=4.878+4.900x$	0.975	0.101(0.053~0.346)	0.005
	48	$y=3.886+3.675x$	0.961	0.088(0.076~0.102)	
	72	$y=4.329+3.548x$	0.974	0.060(0.050~0.070)	
	96	$y=4.700+3.701x$	0.992	0.054(0.044~0.062)	
镉 Cadmium	24	$y=-5.326+4.554x$	0.992	14.77(13.020~17.440)	0.461
	48	$y=-3.230+3.359x$	0.922	9.151(7.736~10.670)	
	72	$y=-2.462+3.158x$	0.992	6.021(4.445~7.214)	
	96	$y=-2.760+4.159x$	0.974	4.610(2.957~5.573)	

1) 方程中  $x$  为质量浓度对数,  $y$  为概率单位。下表同。  $x$  means concentration logarithm and  $y$  means probit in the equation. The same as below.

0.054 mg/L, 安全质量浓度为 0.005 mg/L; 镉 (Cd<sup>2+</sup>) 对唐鱼 24、48、72、96 h 的 LC<sub>50</sub> 分别为 14.77、9.151、6.021 和 4.610 mg/L, 安全质量浓度为 0.461 mg/L。根据鱼类急性毒性分级标准, 铜属于极高毒物质, 镉属于高毒物质。

### 2.3 菲和萘对唐鱼的急性毒性效应

根据预试验结果及半数致死浓度要求, 正式试验设置菲质量浓度为 0.80、0.95、1.13、1.35 和 1.60

mg/L, 萘质量浓度为 10.00、11.07、12.25、13.56 和 15.00 mg/L, 均设置 1 个空白对照组。由表 2 可以看出, 菲对唐鱼的 24、48、72、96 h 的 LC<sub>50</sub> 分别为 1.609、1.250、1.409 和 0.913 mg/L, 安全质量浓度为 0.091 mg/L; 萘对唐鱼 24、48、72、96 h 的 LC<sub>50</sub> 分别为 13.10、12.01、11.19 和 10.85 mg/L, 安全质量浓度为 1.085 mg/L。根据鱼类急性毒性分级标准, 菲属于极高毒物质, 萘属于中毒物质。

表 2 菲和萘对唐鱼的急性毒性试验结果

Table 2 The acute toxicity of phenanthrene and naphthalene to *T. albonubes*

试液 Reagent	暴露时间/h Exposure time	概率单位-浓度对数方程 Regression equation	相关系数 Correlations	LC <sub>50</sub> (95%置信区间)/(mg/L) LC <sub>50</sub> (95% confidence limits)	安全质量浓度/(mg/L) Safe concentration
菲 Phenanthrene	24	$y = -1.209 + 5.854x$	0.920	1.609(1.436~2.018)	0.091
	48	$y = -0.706 + 7.828x$	0.841	1.250(0.988~2.220)	
	72	$y = -0.179 + 8.620x$	0.950	1.049(0.980~1.117)	
	96	$y = 0.381 + 9.631x$	0.970	0.913(0.842~0.971)	
萘 Naphthalene	24	$y = -14.408 + 12.895x$	0.951	13.10(12.58~13.77)	1.085
	48	$y = -11.291 + 10.458x$	0.935	12.01(11.40~12.62)	
	72	$y = -13.591 + 12.961x$	0.970	11.19(10.61~11.65)	
	96	$y = -13.212 + 12.760x$	0.994	10.85(10.19~11.33)	

### 2.4 溴氰菊酯和氯氰菊酯对唐鱼的急性毒性效应

根据预试验结果及半数致死浓度要求, 正式试验设置溴氰菊酯质量浓度为 1.00、1.41、2.00、2.83 和 4.00 μg/L, 氯氰菊酯质量浓度为 4.00、8.00、16.00、32.00 和 45.25 μg/L, 均设置 1 个空白对照组。由表 3 可以看出, 溴氰菊酯对唐鱼的 24、48、72

和 96 h 的 LC<sub>50</sub> 分别为 3.857、2.634、1.727 和 1.217 μg/L, 安全质量浓度为 0.122 μg/L; 氯氰菊酯对唐鱼 24、48、72 和 96 h 的 LC<sub>50</sub> 分别为 26.72、15.96、10.14 和 6.26 μg/L, 安全质量浓度为 0.626 μg/L。根据鱼类急性毒性分级标准, 溴氰菊酯和氯氰菊酯均属于极高毒物质。

表 3 溴氰菊酯和氯氰菊酯对唐鱼的急性毒性试验结果

Table 3 The acute toxicity of deltamethrin and cypermethrin to *T. albonubes*

试液 Reagent	暴露时间/h Exposure time	概率单位-浓度对数方程 Regression equation	相关系数 Correlations	LC <sub>50</sub> (95%置信区间)/(mg/L) LC <sub>50</sub> (95% confidence limits)	安全质量浓度/(mg/L) Safe concentration
溴氰菊酯 Deltamethrin	24	$y = -2.213 + 3.775x$	0.930	3.857(3.226~5.329)	0.122
	48	$y = -1.181 + 2.809x$	0.930	2.634(2.203~3.392)	
	72	$y = -0.576 + 2.426x$	0.941	1.727(1.338~2.117)	
	96	$y = -0.277 + 3.253x$	0.963	1.217(0.912~1.450)	
氯氰菊酯 Cypermethrin	24	$y = -3.552 + 2.489x$	0.986	26.72(21.40~35.10)	0.626
	48	$y = -2.281 + 1.896x$	0.985	15.96(12.05~21.20)	
	72	$y = -1.502 + 1.493x$	0.976	10.14(6.52~14.13)	
	96	$y = -1.270 + 1.595x$	0.990	6.26(3.55~8.85)	

## 3 讨论

目前重金属对鱼类的急性毒性研究中, 均认为铜和镉是对鱼类毒性较大的 2 种重金属。杨丽华等<sup>[10]</sup>在研究重金属对鲫的急性毒性效应时, 发现 4 种重金属的毒性 Cu>Cd>Zn>Cr, 其中 Cu 属于极

高毒物质, Cd 属于高毒物质。Cu 是鱼类生命活动中所必需的元素, 同时也是构成酶的必要基团, 但当其浓度超过鱼类生态阈值的时候, 就容易产生中毒效应, 其机制是 Cu<sup>2+</sup> 可使肝溶酶体膜磷脂发生氧化反应, 导致溶酶体膜的破裂, 水解酶大量释放, 从而引起肝组织坏死, 进而引起机体死亡<sup>[11]</sup>; 对于鱼类

来说, Cd 是一种致毒快、损害重的毒物, 其对生物的危害是首先使一定的活性传递机制受阻、肾受损伤、酶受危害以及内分泌系统受影响, 进而使生物机能失调<sup>[12]</sup>。本研究中铜( $\text{Cu}^{2+}$ )和镉( $\text{Cd}^{2+}$ )对唐鱼的 96 h- $\text{LC}_{50}$  分别为 0.054 和 4.610 mg/L, 均稍微高于王瑞龙等<sup>[6]</sup>研究中的 0.039 和 4.447 mg/L, 可能原因是本研究中所使用的唐鱼个体更大, 耐受力更强。本试验与后者研究结果一致的是, 唐鱼对  $\text{Cu}^{2+}$  的耐受性很低, 而对  $\text{Cd}^{2+}$  的耐受性相对较高, 铜和镉对唐鱼分别属于极高毒物质和高毒物质。

水体中高质量浓度的菲(100  $\mu\text{g/L}$ )能使斑马鱼的鳃小片上皮细胞发生脱落、坏死, 肝脏细胞肿大、细胞核溶解, 终致组织坏死, 机体死亡<sup>[13]</sup>; 萘对斑马鱼的 96 h- $\text{LC}_{50}$  为 11.8 mg/L, 低质量浓度的萘暴露对斑马鱼有机体的抗氧化防御系统产生影响, 主要抗氧化酶的活性发生变化, 造成细胞损伤和机体死亡<sup>[14]</sup>。斑马鱼对水体中的菲反应敏感, 水体中 0.05  $\mu\text{g/L}$  的菲就已经影响斑马鱼鳃呼吸代谢和肝脏物质合成与转运功能的发挥<sup>[13]</sup>, 高质量浓度的菲( $\geq 0.5 \mu\text{g/L}$ )短期暴露对斑马鱼的繁殖行为、产卵量和受精率都产生较为显著的抑制作用<sup>[15]</sup>; 斑马鱼对水体中的萘反应较为敏感, 萘对斑马鱼的 96 h- $\text{LC}_{50}$  为 11.8 mg/L<sup>[14]</sup>。而本试验中, 菲对唐鱼的 96 h- $\text{LC}_{50}$  为 0.091 mg/L, 属于极高毒物质, 可见唐鱼对水体中菲也具有高度敏感性, 适合作为水体中菲污染的监测生物; 萘对唐鱼的 96 h- $\text{LC}_{50}$  为 10.85 mg/L, 属于中毒物质, 敏感性一般, 与萘对斑马鱼的 96 h- $\text{LC}_{50}$  为 11.8 mg/L 相比较, 唐鱼比斑马鱼对萘的敏感性要高, 更适合作为水体中萘污染的监测生物。

溴氰菊酯和氯氰菊酯作为农药具有毒性强、杀虫谱广的特点, 而对于鱼类主要是作用于机体的神经系统, 并导致鱼体鳃组织和肝脏组织破坏, 体内离子平衡破坏<sup>[3]</sup>。冷春梅等<sup>[16]</sup>报道, 溴氰菊酯对罗非鱼 96 h- $\text{LC}_{50}$  为 29.51  $\mu\text{g/L}$ , 属于极高毒农药; 王瑞龙等<sup>[7]</sup>在研究氯氰菊酯对唐鱼的急性毒性时发现氯氰菊酯属于极高毒农药。氯氰菊酯对鲫也具有极高的毒性, 其对鲫的 96 h- $\text{LC}_{50}$  为 20.74  $\mu\text{g/L}$ , 安全质量浓度为 2.074  $\mu\text{g/L}$ , 同时低浓度暴露对鲫血清谷草转氨酶(GOT)、乳酸脱氢酶同工酶(LDH)以及超氧化物歧化酶(SOD)活性均具有一定的影响, 对鲫的肾脏有一定的损害作用<sup>[17]</sup>。本研究表明溴氰菊酯和氯氰菊酯对唐鱼都是极高毒性物质, 与上述研

究得出的结论是一致的。在王瑞龙等<sup>[6]</sup>的研究中, 氯氰菊酯对平均体长(3.17 $\pm$ 0.36) cm, 平均体质量(0.98 $\pm$ 0.15) g 唐鱼的 96 h- $\text{LC}_{50}$  值为 6.61  $\mu\text{g/L}$ , 稍高于本次研究中得到的 6.26  $\mu\text{g/L}$ , 其原因可能是本次研究使用的唐鱼明显较小。

本次研究中, 唐鱼对重金属、多环芳烃及菊酯类农药等 3 类污染物均有较高的敏感性, 适合作为水体污染的指示生物。

## 参 考 文 献

- [1] SHI H H, SUI Y X, WANG X R, et al. Hydroxyl radical production and oxidative damage induced by cadmium and naphthalene in liver of *Carassius auratus*[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology C*, 2005, 140: 115-121.
- [2] 邱耀文, 周俊良, MASKAOU K, 等. 大亚湾海域水体和沉积物中多环芳烃分布及其生态无害评价[J]. *热带海洋学报*, 2004, 23(4): 72-80.
- [3] 谢文平, 马广智, 赖子尼. 氯氰菊酯和有机磷农药对草鱼鱼种急性及联合毒性[J]. *水利渔业*, 2006, 26(1): 98-103.
- [4] SIEGFIED B D. Comparative toxicology of pyrethroid insecticides to terrestrial and aquatic insect[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1993, 12: 1683-1689.
- [5] 易祖盛, 陈湘舜, 巫锦雄, 等. 野生唐鱼在广东的再发现[J]. *动物学研究*, 2004, 25(6): 551-555.
- [6] 王瑞龙, 马广智, 方展强. 铜、镉、锌对唐鱼的急性毒性及安全浓度评价[J]. *水产科学*, 2006, 25(3): 117-120.
- [7] 王瑞龙, 陈玉明, 徐军, 等. 氯氰菊酯对唐鱼肝和鳃组织超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响[J]. *生态环境*, 2007, 16(3): 790-793.
- [8] 周启星. *生态毒理学*[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 10-12, 76-77.
- [9] 张志杰, 张维平. *环境污染生物监测与评价*[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 69.
- [10] 杨丽华, 方展强, 郑文彪. 重金属对鲫鱼的急性毒性及安全浓度评价[J]. *华南师范大学学报: 自然科学版*, 2003(2): 101-106.
- [11] 戴家银, 郑微云, 王淑红. 重金属和有机磷农药对真鲷和平鲷幼体的联合毒性研究[J]. *环境科学*, 1997, 18(5): 44-49.
- [12] 陈锡涛. 镉对花鲢 *Aristichthys nobilis* 幼鱼、鱼苗和鱼种的急性毒性及其安全浓度的评价[J]. *环境科学与技术*, 1991(4): 5-8.
- [13] 吴玲玲, 陈玲, 张亚雷, 等. 菲对斑马鱼鳃和肝组织结构的影响[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(5): 688-692.
- [14] 王隽媛, 边红枫, 金香琴, 等. 萘对斑马鱼(*Danio rerio*)内脏抗氧化防御系统的胁迫与生物响应[J]. *环境科学*, 2009, 30(2): 516-521.
- [15] 黄菲, 胡莹莹, 焦艳, 等. 菲(PHE)短期暴露对斑马鱼(*Branchydanio rerio*)繁殖行为及产卵、受精、孵化和仔鱼死亡率的影响[J]. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 2010, 46(1): 63-67.

- [16] 冷春梅,陈家长,巩俊霞,等. 溴氰菊酯在水环境中的降解及对三种水生动物的毒性[J]. 环境保护科学,2009,35(4):43-45,53.
- [17] 夏伟,胡芹芹,熊丽,等. 氯氰菊酯胁迫下鲫鱼肾脏 LDH 同工酶和血清 GOT、SOD 活性的变化[J]. 生态毒理学报,2009,4(1):87-92.

## Acute toxicity of representative heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and pyrethroid pesticide to *Tanichthys albonubes*

CHEN Hui-hui QIN Jian-hui LIU Hai-chao ZHANG Xiao-min MA Xu-fa

*College of Fisheries, Huazhong Agricultural University/*

*Key Laboratory of Agricultural Animal Genetics,*

*Breeding and Reproduction of Ministry of Education, Wuhan 430070, China*

**Abstract** The acute toxicity of representative heavy metals (copper and cadmium), polycyclic aromatic hydrocarbons (phenanthrene and naphthalene) and pyrethroid pesticide (deltamethrin and cypermethrin) to White Cloud Mountain minnow *Tanichthys albonubes* were studied by using the static-test method in the laboratory. The results showed that, the 96 h-LC<sub>50</sub> for copper and cadmium to the minnow were 0.054 and 4.610 mg/L, respectively; copper was a drastic toxicant and cadmium was a high toxicant to the minnow. And the safe concentrations of these metals were 0.005 and 0.461 mg/L, respectively. The 96 h-LC<sub>50</sub> for phenanthrene and naphthalene to the minnow were 0.913 and 10.849 mg/L, respectively. Phenanthrene was a drastic toxicant and naphthalene was a medium toxicant to the minnow. And the safe concentrations of these PAHs are 0.091 and 1.085 mg/L, respectively. The 96 h-LC<sub>50</sub> for deltamethrin and cypermethrin were 1.217 and 6.256  $\mu$ g/L, respectively. Deltamethrin and cypermethrin were both drastic toxicants to the minnow. And the safe concentration of them are 0.122 and 0.626  $\mu$ g/L, respectively. The minnow was very sensitive to these three kinds of pollutants and it could be used as a biological agent for evaluating and monitoring relative water pollution.

**Key words** *Tanichthys albonubes*; heavy metal; PAHs; pyrethroids pesticide; acute toxicity

(责任编辑:边书京)