

类球红细菌对敌敌畏暴露中斑马鱼的保护作用*

韩庆莉^{1, 2, 3} 赵志瑞² 李元¹ 王谦² 王栋⁴ 齐鸿雁² 白志辉^{2**}

(¹云南农业大学资源与环境学院 昆明 650201)

(²中国科学院生态环境研究中心 北京 100085)

(³西南林学院基础部 昆明 650224)

(⁴中科活力(北京)生物技术有限公司 北京 100012)

摘要 敌敌畏是广泛使用的有机磷农药之一,具有较高的水溶性,对水生动物的危害较大.为探讨敌敌畏降解菌对水体中中毒鱼类的降毒效果,测定了敌敌畏对斑马鱼(*Brachydanio rerio*)的急性毒性,研究了一株敌敌畏高效降解菌——类球红细菌(*Rhodobacter sphaeroides*)的解毒作用.结果显示:敌敌畏对斑马鱼24、48、72、96 h的 LC_{50} 分别为42.9、37.5、30.7、25.6 mg L⁻¹,安全浓度为2.6 mg L⁻¹,属低毒农药;在不同敌敌畏暴露浓度的养鱼水中添加类球红细菌(5×10^7 CFU mL⁻¹)可以显著降低斑马鱼的死亡率,28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹敌敌畏暴露浓度下,斑马鱼96 h死亡率分别由对照组(不添加类球红细菌)的63.3%和96.7%降低到0;利用液相色谱检测了敌敌畏在添加和不添加类球红细菌的养鱼水中的降解规律,结果表明类球红细菌对斑马鱼的保护作用主要是快速降解水中的敌敌畏,并且没有产生对鱼有毒的降解产物.本研究获得了敌敌畏对斑马鱼的基础毒理学数据,同时为微生物降解水体中的农药残留提供了科学依据.图3表1参19

关键词 敌敌畏;斑马鱼;急性毒性;类球红细菌;生物降解

CLC X172: X174

Protection of Zebrafish Against Dichlorvos by *Rhodobacter sphaeroides**

HAN Qingli^{1, 2, 3}, ZHAO Zhirui², LI Yuan¹, WANG Qian², WANG Dong⁴, QI Hongyan² & BAI Zhihui^{2**}

(¹College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

(²Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

(³Fundamental Department, Southwest Forestry College, Kunming 650224, China)

(⁴Zhongke-Huoli (Beijing) Biotechnology Corporation, Beijing 100012, China)

Abstract Dichlorvos (DDVP) is one of widely used organophosphate insecticides, with high water solubility and high risk to aquatic animals. In order to explore the detoxification of poisoned fish by DDVP using degrading strains, the acute toxicity of DDVP to zebrafish (*Brachydanio rerio*) was determined, and the detoxification by using a strain of *Rhodobacter sphaeroides* with high degradation capability to DDVP was investigated. The result showed that the half lethal concentration (LC_{50}) of DDVP to zebrafish within 24, 48, 72 and 96 h were 42.9, 37.5, 30.7 and 2.6 mg L⁻¹, respectively. The safe concentration was 2.56 mg L⁻¹ which showed that DDVP belonged to low poisonous pesticide to zebrafish. Adding *R. sphaeroides* (5×10^7 CFU mL⁻¹) to 28.3 mg L⁻¹ and 33.6 mg L⁻¹ of DDVP-exposed fish water reduced zebrafish mortality significantly from 63.3% and 96.7% both to 0 within 96 h. The degradation of DDVP was detected by HPLC in fish water with and without *R. sphaeroides* respectively. The result showed that the detoxification by *R. sphaeroides* was mainly due to DDVP degradation without poisonous degradation products to fish. Fig 3, Tab 1, Ref 19

Keywords dichlorvos; DDVP; zebrafish; acute toxicity; *Rhodobacter sphaeroides*; biodegradation

CLC X172: X174

敌敌畏(Dichlorvos, 2,2-二氯乙烯基二甲基磷酸酯)属有机磷农药,具有很高的水溶性(16 mg mL⁻¹, 25 °C),不仅用在农业害虫和卫生害虫防治上,也在水产养殖中鱼类寄生虫防治上^[1],因其具有杀虫广谱,廉价易得,对人和高等动物低毒等特性,现已成为使用最为广谱的有机磷农药之一^[2].

2003年敌敌畏的世界销售额达到 4×10^7 美元^[3],2007年中国的需求量大约为 4×10^4 t,随着五类高毒有机磷农药的禁用,敌敌畏的使用量还将有所增加^[4].

由于长期大量使用,加之二溴磷和敌百虫在环境中会降为敌敌畏^[3-5],随雨水及地表径流流入到水体的敌敌畏对水体已造成了一定的污染.2003~2004年,在我国七大主要江河流域及三大内流河流域地表水的600多个采样点中,典型的有机磷染污物有敌敌畏、内吸磷、乐果、甲基对硫磷、马拉硫磷、对硫磷,其中敌敌畏检出频率最高,高达89.1%,检出范围为1.41~552.0 ng L⁻¹,平均浓度17.8 ng L⁻¹,说明敌敌畏已成为水体中主要的有机磷农药污染物^[6].

对于农药残留,微生物降解是一种安全有效的方法,

收稿日期: 2010-01-13 接受日期: 2010-02-01

*国家科技支撑计划项目(Nos. 2009BAC57B02, 2007BAC27B01)和环境水质学国家重点实验室专项基金(No. 08K09ESPCR)资助 Supported by the State Science & Technology Program of China (Nos. 2009BAC57B02, 2007BAC27B01) and the Special Fund from the State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences(No. 08K09ESPCR)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: zhbai@rcees.ac.cn)

这方面的研究报道很多,但目前主要应用于土壤,尚未见到应用于水体中农药残留降解和防止水生生物中毒方面的报道^[7]。本实验室在前期研究中从土壤中筛选出了1株敌敌畏高效降解菌——类球红细菌(*Rhodobacter sphaeroides*)^[8],本研究在此基础上,以广泛应用于环境毒性评价研究中的生态毒理学实验模式动物——斑马鱼(*Zebrafish*, *Brachydanio rerio*)为受试动物,测定了敌敌畏对斑马鱼的急性毒性及类球红细菌的保护作用,获得了敌敌畏对斑马鱼的基础毒理学数据,为微生物降解水体中的农药残留提供了科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

农药:敌敌畏乳油(质量分数 $w=80\%$),由高密市绿洲化工有限公司(山东)生产。

养鱼用具:直径25 cm、6 L的玻璃鱼缸。

实验用水:曝气3 d以上的自来水, pH为7~7.5,水温20~22℃。

实验用鱼:斑马鱼(*Brachydanio rerio*)购自市场,雌雄兼有,平均体长(2.63±0.13) cm,平均体重(0.31±0.05) g,在实验室饲养7 d,水温20~22℃,使鱼适应实验室养殖环境,自然死亡率低于1%时用于实验。驯养过程中每天定时喂食1次,实验前1 d和实验期间不喂食。

类球红细菌(*Rhodobacter sphaeroides*):分离自土壤,保存于中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心,保藏编号CGMCC No. 0645。

将保存于LB斜面的菌种移到液体摇瓶,摇瓶体积为250 mL,装液量100 mL,5%接种量,摇床150 r min⁻¹、32℃、光照培养24 h,菌体的浓度为 5×10^9 CFU mL⁻¹。摇瓶液体培养基组成见文献^[8]。培养好的菌液于6 000 r min⁻¹离心20 min,收集菌体,将菌体重新悬浮于无菌水,再离心,收集菌体,备用。

1.2 方法

实验鱼在中毒后鳃盖停止活动,用玻璃棒或小镊子轻轻刺激尾柄部位,无反应即可确定为个体死亡。各实验处理中添加的类球红细菌浓度均指最终试验液中菌体的浓度。实验中所有结果用均值±标准差表示,采用SPSS 13.0软件进行统计分析,用Duncan多重极差检验进行显著性差异检验。

1.2.1 急性毒性实验 在预实验的基础上,按等对数浓度梯度设敌敌畏浓度:0、20.0、23.8、28.3、33.6、40.0 mg L⁻¹,每浓度设3个重复,每缸加4 L实验用水,随机放鱼10尾。采用静水式换水补药方法,每隔24 h全部换试液,使敌敌畏保持初始浓度。及时观察鱼的中毒表现,并于24、48、72、96 h分别记录鱼的死亡尾数,计算死亡率。

按照Karber法求出96 h的半致死浓度(LC₅₀),以及logLC₅₀的标准误差Slog LC₅₀。安全浓度按96 h-LC₅₀×0.1计算^[9]。

$$LC_{50} = \log^{-1}[X_m - d(\sum p - 0.5)] \quad Slog LC_{50} = d \sqrt{\frac{\sum pq}{n}}$$

$$(LC_{50} \text{的} 95\% \text{可信限}^{[10]} = \log^{-1}(\log LC_{50} \pm 1.96 \times Slog LC_{50}))^{[10]}$$

式中: X_m 为最大浓度的对数值; d 为相邻浓度比值的对数; p 为各浓度组死亡率,用小数表示; $\sum P$ 为各组鱼死亡率的总和; q 为各组鱼存活率。

1.2.2 类球红细菌的保护作用实验 (1)斑马鱼在敌敌畏中暴露的同时加类球红细菌。在急性毒性实验的基础上,选取28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹两个敌敌畏暴露浓度,分3组实验:第一组为空白和对照,空白为养鱼水,对照是在养鱼水中添加类球红细菌(5×10^7 CFU mL⁻¹)而不添加敌敌畏处理;第二组是不添加类球红细菌的浓度为28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹的敌敌畏暴露处理;第3组同时加敌敌畏与类球红细菌,在28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹敌敌畏暴露处理中分别添加浓度为 5×10^7 、 1×10^7 、 5×10^6 CFU mL⁻¹的类球红细菌。每组设3个重复,每缸加实验用水4 L,随机放鱼10尾。采用半静水式换水补药和添加类球红细菌的方法,24 h换一次试液,使类球红细菌和敌敌畏的浓度恢复到初始浓度,其它重复急性毒性实验方法。

(2)斑马鱼暴露在含有敌敌畏的养鱼水中中毒后加类球红细菌。在急性毒性实验的基础上,选浓度为28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹的敌敌畏溶液为暴露组,同时设一养鱼水空白组,每24 h换水加药,使敌敌畏的浓度保持在初始浓度,重复急性毒性方法,观察斑马鱼的中毒症状。待两个浓度每组中都出现斑马鱼死亡时,停止添加敌敌畏。把两个浓度暴露下存活的鱼分别重新分为4组,每组10尾,其中都有2~3尾出现明显中毒症状,每组设3个重复。第一组用养鱼水做阳性对照,其他3组分别加 5×10^7 、 1×10^7 、 5×10^6 CFU mL⁻¹类球红细菌进行解毒,采用静水式换水加类球红细菌方法,24 h换一次试液,对比空白组、阳性对照组及解毒组斑马鱼的体征及死亡情况,所有组中斑马鱼死亡率稳定后停止实验。

1.2.3 不同条件下敌敌畏衰减的测定 为了解类球红细菌对水体中敌敌畏的降解作用,实验期间同时利用液相色谱检测敌敌畏在添加和不添加类球红细菌以及有鱼和无鱼的养鱼水中的降解规律。选28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹为养鱼水中敌敌畏的初始浓度,把 5×10^7 、 1×10^7 、 5×10^6 CFU mL⁻¹类球红细菌及有鱼、无鱼等因素进行多个组合测定敌敌畏的降解情况,每组在加敌敌畏后0、4、8、12、18、24 h分别取样,样品用有机系一次性针头过滤器(0.22 μm)过滤样品,滤液用高效液相色谱分析敌敌畏的含量。

色谱条件参考文献^[11],稍作修改。色谱柱: Hypersil ODSC (250 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相: 甲醇:水=80:20 (V:V);流速:0.6 mL min⁻¹;波长:215 nm;柱温:室温;进样量:20 μL。

2 结果

2.1 敌敌畏对斑马鱼地急性毒性

斑马鱼在敌敌畏浓度为0(空白)组中96 h的实验期间死亡率为0,在其它浓度中的死亡率见图1。不同时间的LC₅₀值和95%可信限及安全浓度如表1所示。

在不同浓度敌敌畏的试液中暴露96 h,随着敌敌畏浓度增大和暴露时间的延长,斑马鱼死亡率均增大。在所有供试敌敌畏浓度中,斑马鱼在最小供试浓度20.0 mg L⁻¹中96 h时出现死亡,平均死亡率3.3%,在最高供试浓度40.0 mg L⁻¹中24 h和96 h平均死亡率分别10%和100%。96 h时,死亡率(Y)与暴露浓度(X)之间的回归方程为 $Y = 4.796X - 78.449$ ($R^2=0.896$),呈显良好的剂量-效应关系。

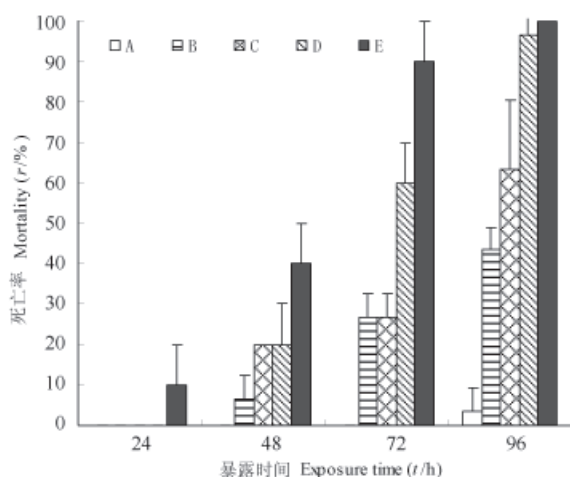


图1 不同敌敌畏暴露浓度中斑马鱼的死亡率

Fig. 1 Mortality of zebrafish at different DDVP concentrations

The concentrations of DDVP: A, 20.0 mg L⁻¹; B, 23.8 mg L⁻¹; C, 28.3 mg L⁻¹; D, 33.6 mg L⁻¹; E, 40.0 mg L⁻¹. The mortality of control is zero

表1 敌敌畏对斑马鱼的LC₅₀值及安全浓度Table 1 LC₅₀ and safe concentration of DDVP to zebrafish

t/h	LC ₅₀ (ρ/mg L ⁻¹)	Slog LC ₅₀	95%可信限(ρ/mg L ⁻¹) 95% confidence limit	安全浓度 (ρ/mg L ⁻¹) Safe concentration
24	42.9	0.007	41.5~44.3	2.6
48	37.5	0.019	34.5~40.9	
72	30.7	0.020	28.0~33.6	
96	25.6	0.018	23.7~27.8	

2.2 类球红细菌的保护作用

2.2.1 斑马鱼在敌敌畏暴露同时加类球红细菌 第一组养鱼水空白和只添加类球红细菌对照实验中, 斑马鱼均无异常现象, 实验过程中没有出现死亡, 说明类球红细菌对斑马鱼没有明显影响. 在第二、三组实验中, 各处理条件下斑马鱼的死亡率见图2. 第二组只加敌敌畏处理中, 斑马鱼的中毒症状和死亡率与急性毒性实验一致; 第三组同时加敌敌畏和类球红细菌的处理中, 添加 5×10^7 CFU mL⁻¹类球红细菌后, 28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹敌敌畏暴露浓度中斑马鱼96 h的死亡率分别由急性毒性实验 (未添加类球红细菌) 的63.3%和96.7%都降为0, 死亡率显著下降 ($P < 0.05$); 添加 1×10^7 CFU mL⁻¹类球红

细菌后, 28.3 mg L⁻¹敌敌畏暴露浓度中斑马鱼96 h的死亡率由急性毒性实验的63.3%下降到20%, 而33.6 mg L⁻¹敌敌畏暴露浓度中斑马鱼96 h的死亡率下降不明显; 添加 5×10^6 CFU mL⁻¹类球红细菌处理中, 28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹敌敌畏暴露浓度中斑马鱼的中毒症状和死亡率均与急性毒性实验无明显差异, 类球红细菌的保护作用不显著.

2.2.2 斑马鱼在敌敌畏暴露中毒后加类球红细菌 28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹浓度敌敌畏的暴露实验中, 斑马鱼的死亡率同急性毒性实验结果, 72 h时停止暴露实验, 存活的中毒明显的斑马鱼表现为侧游, 或静卧缸底. 类球红细菌解毒实验历时8 d, 结果表明, 斑马鱼中毒72 h后, 斑马鱼在3个不同浓度 (5×10^7 、 1×10^7 、 5×10^6 CFU mL⁻¹) 的类球红细菌处理中和养鱼水中的死亡率没有显著差异.

2.3 不同条件下水体中敌敌畏的降解

28.3 mg L⁻¹和33.6 mg L⁻¹浓度敌敌畏在不同处理中不同时间的降解情况如图3所示.

结果表明, 鱼对水中敌敌畏的降解影响不大, 两个敌敌畏暴露浓度中, 5×10^7 CFU mL⁻¹的类球红细菌能够快速降解水中的敌敌畏, 24 h时降解率达90%以上; 1×10^7 CFU mL⁻¹类球红细菌对敌敌畏有一定的降解作用, 24 h时降解率达50%以上; 5×10^6 CFU mL⁻¹浓度的类球红细菌对敌敌畏的降解与对照 (无菌无鱼) 无明显差异.

3 讨论

有机磷农药主要通过干扰生物神经系统功能对水生生物产生毒害作用^[12]. 敌敌畏属神经毒剂, 其作用机制是通过它与掌管神经正常冲动传递的胆碱酯酶结合, 将胆碱酯酶的活力点磷酸化, 使胆碱酯酶活力受抑, 失去水解乙酰胆碱的能力, 从而使动物神经传导失常, 中毒死亡^[13]. 本实验中敌敌畏暴露组斑马鱼表现出的急躁不安等症状是神经系统中毒的表现. 实验结果表明, 随敌敌畏浓度的增大, 死亡率增大, 暴露时间延长, 死亡率增大, 斑马鱼对敌敌畏的反应有良好的剂量-效应关系.

美国农业部农药影响评估资料 (The USDA National Agricultural Pesticide Impact Assessment Program's EXTOTOXNET document reports) 中报告了敌敌畏对一些鱼的急

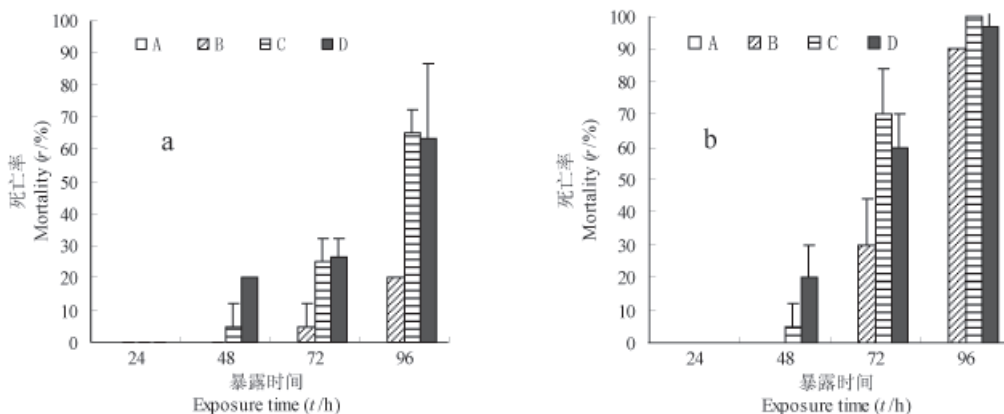


图2 斑马鱼在同时添加敌敌畏和类球红细菌水体中的死亡率

Fig. 2 Mortality of zebrafish in DDVP groups with different concentrations of *R. sphaeroles*

a: 28.3 mg L⁻¹ DDVP; b: 33.6 mg L⁻¹ DDVP. The concentrations of *R. sphaeroles*: A, 5×10^7 CFU mL⁻¹; B, 1×10^7 CFU mL⁻¹; C, 5×10^6 CFU mL⁻¹; D, 0

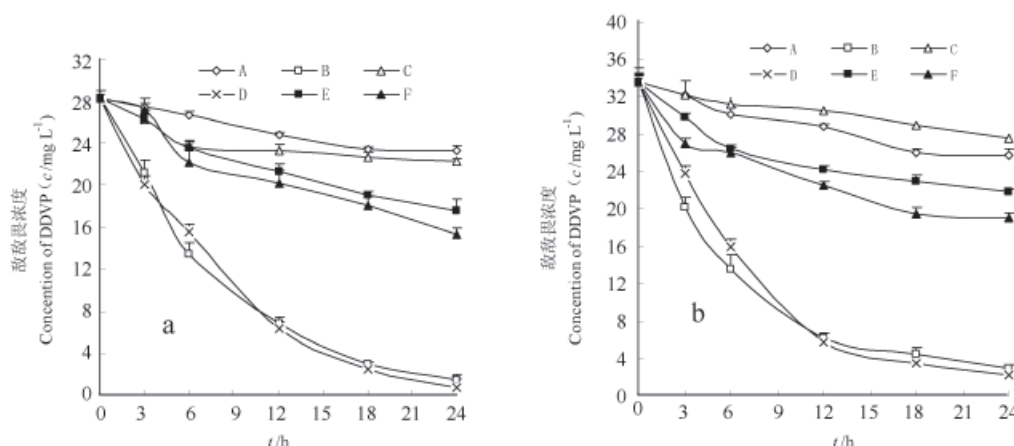


图3 敌敌畏 (a: 28.3 mg L⁻¹; b: 33.6 mg L⁻¹) 在不同条件下的衰减

Fig. 3 Attenuation of DDVP (a: 28.3 mg L⁻¹; b: 33.6 mg L⁻¹) under different conditions

A: 对照 (无鱼, 无类球红细菌); B: 无鱼, 5×10⁷ CFU mL⁻¹类球红细菌; C: 有鱼, 无类球红细菌; D: 有鱼, 5×10⁷ CFU mL⁻¹类球红细菌; E: 有鱼, 5×10⁶ CFU mL⁻¹类球红细菌; F: 有鱼, 1×10⁷ CFU mL⁻¹类球红细菌

A to F represent different treatments: A, Control, without zebrafish and *R. sphaeroies*; B, Without zebrafish, with 5×10⁷ CFU mL⁻¹ *R. sphaeroies*; C, With zebrafish, without *R. sphaeroies*; D, With zebrafish and 5×10⁷ CFU mL⁻¹ *R. sphaeroies*; E, With zebrafish and 5×10⁶ CFU mL⁻¹ *R. sphaeroies*; F, With zebrafish and 1×10⁷ CFU mL⁻¹ *R. sphaeroies*

性毒性96 h-LC₅₀值, 鲮 (Fathead minnow) 为11.6 mg L⁻¹, 蓝色大太阳鱼 (Bluegills) 为0.9 mg L⁻¹, 食纹鱼 (Mosquito fish) 为5.3 mg L⁻¹, 美国鳗 (Eels) 为1.8 mg L⁻¹. 通常情况下, 敌敌畏对动物毒性的强弱与动物的大小及暴露条件都有关系. 黄周英等测得敌敌畏对鲫鱼的96 h-LC₅₀为25.9 mg L⁻¹ [14], 与本实验中测得的敌敌畏对斑马鱼幼体急性毒性96 h-LC₅₀值25.6 mg L⁻¹相近. 耿宝荣等测得敌敌畏对黑眶蟾蜍蝌蚪的96 h-LC₅₀为51.6 mg L⁻¹ [15], 明显高于鱼类. 根据中华人民共和国农业行业标准《化学农药环境安全评价试验准则》中农药对鱼类的急性毒性实验分级标准 [16], 敌敌畏对斑马鱼属低毒.

类球红细菌是一种光合细菌, 具有广泛的代谢方式, 能较好地利用低级脂肪酸、氨基酸和糖类等, 而且在厌氧、好氧、黑暗、光照条件下都能较好地生长. 本实验结果表明类球红细菌能够有效降解水中的敌敌畏, 原因可能与类球红细菌广泛的代谢方式有关. 敌敌畏在水中自然水解为磷酸氢二甲酯和二氯乙醛 [17], 两种水解产物都为毒性物质, 对水生生物有害 [5]. Schramm等研究了超声波对水溶液中敌敌畏的降解机制 [18], 敌敌畏完全矿化的反应方程式为: C₄H₇Cl₂O₄+9/2O₂→4CO₂+H₂O+Cl⁻+PO₄³⁻+5H⁺, 赵凯等用0.02 mol L⁻¹的NaOH水溶液和类球红细菌降解敌敌畏过程中的产酸, 使溶液的pH保持相对稳定, 结果消耗的NaOH的摩尔数为敌敌畏的5倍, 因此初步推断类球红细菌降解敌敌畏是以矿化为主 [8]. 本实验中, 添加类球红细菌后鱼的死亡率显著降低, 可以推断类球红细菌降解敌敌畏的过程中没有积累有毒的代谢产物. 对于已中毒的斑马鱼, 添加类球红细菌后无明显的解毒作用, 这也进一步说明类球红细菌快速降解水中敌敌畏是其发挥解毒作用的主要因素.

光合细菌营养丰富, 蛋白质含量高, 蛋白质氨基酸组成齐全, 是一种优质蛋白源, 含有鱼虾体内生长发育所需的活性物质和微量元素. 光合细菌还可作为一种益生菌, 起到调节肠道内正常菌群抑制有害菌生长的作用, 使鱼、虾、贝类

生长正常, 抵抗力增强, 减少疾病 [19]. 在本研究急性中毒实验条件下, 类球红细菌对中毒斑马鱼的恢复作用不明显. 类球红细菌是否具有文献报道的光合细菌的益生作用, 还有待进一步研究.

本研究发现添加一定浓度的类球红细菌能够有效降解水体中的敌敌畏, 对环境毒理学常用模式动物斑马鱼有一定的保护作用, 这对于降低水产养殖中的农药残留、保护水体环境、提高水产品质量具有实际意义.

致谢 感谢中国科学院生态环境研究中心的王子健研究员、饶凯锋助理研究员及其课题组的老师和同学在实验中给予指导和帮助.

References

- Yang XL (杨先乐), Zhan J (湛嘉), Huang YP (黄艳平). Progress on research of toxic effect of organophosphorous pesticides on aquatic organism. *J Shanghai Fish Univ* (上海水产大学学报), 2002 (4): 378~382
- Gan Q, Singh RM, Wu T, Jans U. Kinetics and mechanism of degradation of dichlorvos in aqueous solutions containing reduced sulfur species. *Environ Sci & Technol*, 2006, **40** (19): 5717~5723
- Zhang Q, Qu X, Wang W. Mechanism of OH-initiated atmospheric photooxidation of dichlorvos: a quantum mechanical study. *Environ Sci & Technol*, 2007, **41**: 6109~6116
- Liu C, Qiang ZM, Adams C, Tian F, Zhang T. Kinetics and mechanism for degradation of dichlorvos by permanganate in drinking water treatment. *Water Res*, 2009, **43**: 3435~3442
- U.S. Environmental Protection Agency. Interim Reregistration Eligibility Decision for Dichlorvos (DDVP). Washington D.C., USA, 2006. 136~137
- Gao JJ, Liu LH, Liu XR, Zhou HD, Lu J, Huang SB, Wang ZJ. The occurrence and spatial distribution of organophosphorous pesticides in Chinese surface water. *Bull Environ Contam & Toxicol*, 2009, **82**: 223~229

- 7 Deng MJ (邓敏捷), Wu NF (伍宁丰), Liang GY (梁果义), Chu XY (初晓宇), Yao B (姚斌), Fan YL (范云六). Cloning and expression of ophc2, a new kind of organophosphorus degradation enzyme gen. *Chin Sci Bull* (科学通报), 2004, **49** (11): 1068~1072
- 8 Zhao K (赵凯), Yu Y (于影), Jiang D (姜丹), Wang D (王栋), Li ZM (李祖明), Huang GZ (黄国忠), Bai ZH (白志辉). Degradation of dichlorvos by *Rhodobacter sphaeroides*. *Environ Sci* (环境科学), 2009, **30** (4): 1199~1204
- 9 Cui KQ (崔克群). Biostatistics. 2nd ed. Beijing, China: China's Science and Technology Publishing House (北京: 中国科学技术出版社), 1994
- 10 Zhu PL (朱蓓蕾). Environmental Toxicology. Shanghai, China: Shanghai Science and Technology Publishing House (上海: 上海科学技术出版社), 1989
- 11 Li R (李蓉), Zhou GM (周光明), Wang SY (王绍云), Wang L (王丽). Determination of DDVP residues in vegetables with RP-HPLC. *J Guiyang Med Coll* (贵阳医学院学报), 2006, **31** (1): 58~60.
- 12 Ren ZM, Zha JM, Ma M, Wang ZJ, Gerhardt A. The early warning of aquatic organophosphorus pesticide contamination by on-line monitoring behavioral changes of *Daphnia magna*. *Environ Monit & Assess*, 2007, **134**: 373~383
- 13 Varó I, Navarro J C, Nunes B, Gulihermínio L. Effects of dichlorvos aquaculture treatments on selected biomarkers of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fingerlings. *Aquaculture*, 2007, **266**: 87~96
- 14 Huang ZY (黄周英), Xie JJ (谢进金), Chen LQ (陈琳钦). The acute toxicity of dichlorvos to *carassius auratus*. *J Health Toxicol* (毒理学杂志), 2005, **19** (4): 311~312
- 15 Geng BR (耿宝荣), Yao D (姚丹), Yang YM (杨月梅), Wang YZ (王一铮), Xue QQ (薛清清), LianY (连迎). Toxicity of pesticide dichlorvos to *Bufo melanostictus* tadpoles. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2005, **11** (5): 575~579
- 16 Cai DJ (蔡道基), Yang PZ (杨佩芝), Cong RZ (龚瑞忠). Experimental Criterion for Environmental Safety Assessment of Chemical Pesticide. Beijing, China: China Environmental Science Press (北京: 中国科学出版社), 1989
- 17 Khandelwal GD, Wedzicha BL. Reaction of dichlorvos, dichloroacetaldehyde and related compounds with nucleophiles and phenols. *Food Chem*, 1998, **61** (1~2): 191~200
- 18 Schramm JD, Hua I. Ultrasonic irradiation of dichlorvos decomposition mechanism. *Water Res*, 2001, **35** (3): 665~674
- 19 Shen JY (沈锦玉), Yin WL (尹文林), Liu W (刘问), Shen ZH (沈智华), Qian D (钱冬), Cao Z (曹铮), Wu YL (吴颖蕾). Improvement of fisheries water quality and fish growth of photosynthetic bacteria HZPSB. *Bull Sci & Technol* (科技通报), 2004 (6): 481~484



土壤质量指标与评价

徐建明 等著 (中国土壤质量研究系列专著) 科学出版社 出版 (2010年5月)

978-7-03-027130-3 ¥80.00

内容简介

本书在“973”项目课题“土壤质量指标的量化表达和评价咨询系统”和其他国家、省部级课题的研究成果,以及长期以来在土壤质量指标与评价研究中所积累的研究成果的基础上编著而成。全书共分10章。系统介绍了土壤质量的概念与内涵及其研究的发展趋势,阐述了土壤肥力质量、土壤环境质量和土壤健康质量的指标体系与评价方法,提出了中国重要土壤类型的土壤质量标准的建议方案,以典型区域水稻土和蔬菜地为例揭示了土壤肥力质量和土壤环境质量的时空演变规律,研发了基于实例分析的土壤质量评价咨询系统,最后对中国土壤质量指标与评价的应用进行了简要展望。

本书可供土壤学、植物营养学、环境科学、生态学、土地科学及农学等领域的研究、教学和技术人员参考,也可供各级政府的农业、环保、土地等部门参考。

主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用的基础研究

朱兆良 等著 科学出版社 出版 (2010年5月) 978-7-03-027519-6 ¥98.00

内容简介

本书以我国粮食主产区太湖地区水稻小麦轮作区、华北平原小麦玉米轮作区的水稻、小麦和玉米为研究对象,重点阐述了农田氮素来源、转化及迁移规律,作物高效吸收利用氮素基因型差异及生理遗传机制,农田及区域水平上的作物高效施氮技术等。书中的数据是基于同一区域进行的土壤学、植物营养学、农学和分子生物学的协同研究结果,具有综合性、系统性和应用性。

本书不仅有助于相关研究领域的读者全面认识农田氮素高效利用的原理,也可供农业技术推广相关人员提供提高氮肥利用率的具体解决途径。

本书可供农学、土壤科学、植物营养学、生态与环境科学相关的人员使用,也可供氮肥生产及农业技术推广人员,农业及环境部门的决策、管理人员阅读和参考。

联系人: 科学出版社科学销售中心 周文宇 电话: 010-64031535 E-mail: zhouwenyu@mail.sciencep.com

网址: www.lifescience.com.cn 网上订购: www.dangdang.com www.amazon.cn