

薛秀玲, 袁东星, 樊国峰. 2007 有机磷农药对缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 消化腺超微结构的影响 [J]. 环境科学学报, 27(5): 790-795
Xue X L, Yuan D X, Fan G F. 2007 Ultra structural lesions in digestive gland of *Sinonovacula constricta* effected by dimethoate and triazophos [J]. Acta Scientiae Circumstantiae 27(5): 790-795

有机磷农药对缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 消化腺超微结构的影响

薛秀玲^{1, 2*}, 袁东星², 樊国峰³

¹ 华侨大学材料科学与工程学院, 泉州 362021

² 厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005

³ 华侨大学环境保护设计研究所, 泉州 362021

收稿日期: 2006-06-08 修回日期: 2007-01-11 录用日期: 2007-03-07

摘要: 在实验室模拟缢蛏生长环境, 研究结构、性质不同的两种典型有机磷农药 (OPs) 乐果和三唑磷对滩涂养殖生物缢蛏的毒性效应。通过电镜观察乐果和三唑磷对缢蛏消化腺超微结构的影响。结果发现, 乐果和三唑磷对缢蛏消化腺超微结构的影响相似, 主要表现在对腺细胞的细胞核和各种细胞器 (如线粒体、内质网、高尔基体) 的伤害。主要病变为: 细胞核变形, 核膜或凸起或凹陷, 染色质发生凝聚或边缘化; 线粒体肿大, 双层膜溶解, 内嵴部分消失; 个别线粒体内嵴完全瓦解, 形成电子透明区; 粗面内质网水肿, 核糖体部分脱落, 片层结构水肿、囊泡化, 严重者出现大的囊泡区。本研究为了解不同 OPs 对缢蛏的毒性效应提供了病理形态学证据。

关键词: 乐果; 三唑磷; 缢蛏; 消化腺; 超微结构

文章编号: 0253-2468(2007)05-0790-06 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Ultra-structural lesions in digestive gland of *Sinonovacula constricta* effected by dimethoate and triazophos

XUE Xiuling^{1, 2}, YUAN Dongxing², FAN Guofeng³

¹ College of Materials Science and Engineering Huaqiao University Quanzhou 362021

² Environmental Science Research Center Xiamen University Xiamen 361005

³ Environmental Protection & Design Institute Huaqiao University Quanzhou 362021

Received 8 June 2006 received in revised form 11 January 2007 accepted 7 March 2007

Abstract The toxic effects of two typical organophosphorous pesticides (OPs), dimethoate and triazophos on *Sinonovacula constricta* (Lamarck) living in the intertidal sediment were investigated in this study. *S. constricta* were cultured in the laboratory simulating the razor living surrounding. Samples were taken at 14d after exposed to OPs. The concentrations of OPs were determined with GC. Ultra-structure changes in digestive glandular epithelium of *S. constricta* were observed with an electron microscope. The ultra-structure of digestive gland was destroyed when exposed to dimethoate and triazophos. Symptoms had presented as lesions of nuclear cellular organelles such as mitochondria, rough endoplasmic reticulum and Golgi apparatus. The nuclear became malformed. The nuclear envelopes were either convex or concave. And the chromatin became aggregated or on the edge. Mitochondria swelled up and the cristae of mitochondria disintegrated partly, some completely and became transparent electronic density area. The rough endoplasmic reticulum swelled up and ribosome fell from the rough endoplasmic reticulum. The lamina structure swelled up, dilated and appeared vacuolation or even formed large vacuolated area. The study provided pathologic and morphologic evidences for the toxic effects of OPs on *S. constricta*.

Keywords dimethoate; triazophos; *Sinonovacula constricta* (Lamarck); digestive gland; ultrastructural lesions

1 引言 (Introduction)

近年来, 随着有机磷农药 (OPs) 在滩涂养殖中的频繁使用, 污染事故常有发生 (薛秀玲, 2004)。乐

果和三唑磷是极可能造成滩涂环境污染的 2 种典型 OPs, 分别是研究强水溶性和强脂溶性 OPs 对生物毒性效应的代表性农药。有关 OPs 对于水生生物组织损伤的研究较少, 主要集中在鱼类和甲壳类

作者简介: 薛秀玲 (1975-), 女, 博士, Tel: 0595-22693996 E-mail: xueling@hqu.edu.cn, xiulingxue@163.com * 通讯作者 (责任作者)

Biography XUE Xiuling (1975-), female (Ph.D.), Tel: 0595-22693996 E-mail: xueling@hqu.edu.cn, xiulingxue@163.com

* Corresponding author

(Dutta 1996, Li 2001a, 2001b, Vijayalakshmi 1996, 邴欣, 2002, 汝少国, 1996, 1997, 魏渲辉, 2003), 有研究表明, 鱼类某些特定的疾病和组织损伤是特定污染物毒理效应的可靠生物指标 (Au 2004).

缢蛏(*S. constricta*)俗称蛏子, 是穴居在潮间带滩涂、埋栖型双壳贝类. 本研究通过对缢蛏消化腺超微结构的观察, 研究 OPs对缢蛏的毒性效应, 初步揭示 OPs对贝类的中毒影响机制.

2 材料与方法 (Materials and methods)

2.1 污染实验设计

缢蛏购自厦门龙海西边养殖区, 生长周期为一年. 壳长 4~6cm, 体重 4.5~6.5g. 三角褐指藻(*Phaeodactylum tricorutum*)在本实验室接种和培养. 培养液采用 f2 营养盐配方 (Siegelman 1971), 培养温度 (20.0 ± 0.5) °C; 光照 4000lx, 光暗比: 12h:12h.

暂养、驯养及实验用水均为天然海水, 经沉淀、砂滤. 盐度为 23.5‰~24.5‰, pH 为 8.2, 水温 21~23°C. 沉积物采自福建龙海西边缢蛏养殖区, 剔除杂物, 磨碎, 曝晒, 过筛.

模拟缢蛏生长环境, 首先将实验用沉积物放入洁净的玻璃养殖箱 (50cm × 34cm × 40cm) 中, 然后加入砂滤海水, 搅拌均匀, 平衡 24h 后, 再次更换清洁海水, 随机放入实验缢蛏, 挑选健康无损的, 钻洞能力强的, 平均每组约 40 只. 缢蛏先在玻璃养殖箱中驯养 4d, 驯养期间投喂三角褐指藻, 毒理实验前 1d 停止投喂. 实验过程中持续曝气.

按照乐果 96h LC₅₀ 的 1% 设定乐果的毒理实验浓度为 0.1mg L⁻¹, 按照三唑磷 96h LC₅₀ 的 50% 设定三唑磷毒理实验的浓度, 为 0.25mg L⁻¹, 同时各设平行组, 和 1 个空白对照组. 于染毒第 14d 采样, 测定缢蛏体内 OPs 的含量, 并观察组织形态变化.

2.2 缢蛏中 OPs 残留的萃取

以反渗透水冲洗缢蛏外壳, 取出软组织, 用家用食物搅拌机搅碎、混匀, 制成浆状鲜样, 放入聚乙烯塑料袋内, 封口, 速冻, 待进一步处理.

将样品解冻, 置于滤纸上使其表面冰冻的水吸收. 准确称取 10.0g 组织样品于 80mL 离心管中. 然后依次加入适量无水硫酸钠、0.5mL (10mg L⁻¹) 磷酸三丁酯和 0.1mL (10mg L⁻¹) 磷酸三苯酯. 加 15mL 乙酸乙酯, 用 Branson 超声波清洗器 (248W, 美国 SmithKline 公司) 超声波萃取 10min, 于 3000

r min⁻¹ 离心 5min 倾出上清液, 残渣同上再萃取 1 次, 合并 2 次上清液, 倒入装有无水硫酸钠的漏斗, 以少量乙酸乙酯洗涤漏斗, 收集滤液于 50mL 尖底离心管中, 于 40°C 水浴中用氮气吹脱溶剂至约 0.5mL, 用乙酸乙酯转移入样品瓶, 定容至 1.0mL, 气相色谱分析. 为了考察超声波萃取是否会造成农药的降解, 取两种农药的标准样品, 超声波萃取 20min 用 GC 分析发现, 保留时间及峰面积均无变化, 农药未发生降解.

2.3 气相色谱分析

Agilent 6890 气相色谱仪; SPB-1701 毛细管色谱柱, 30m × 0.25mm, 涂层厚 0.5μm (美国 Supelco 公司); 进样口温度为 250°C; 火焰光度检测器 (FPD 磷滤光片) 温度为 250°C, 氢气流速为 75 mL min⁻¹, 空气流速为 100mL min⁻¹; 载气为高纯氮气, 流速 1.5mL min⁻¹; 无分流进样, 进样量 1.0μL.

萃取液中三唑磷浓度的分析: 柱箱起始温度 90°C, 以 40°C min⁻¹ 升温至 220°C, 保持 1min; 再以 30°C min⁻¹ 升温至 260°C, 保持 6min; 三唑磷的保留时间为 9.96min, 替代物磷酸三苯酯的保留时间为 10.24min.

萃取液中乐果浓度的分析: 柱箱起始温度 120°C, 保持 1min; 再以 30°C min⁻¹ 升温至 270°C, 保持 6min; 乐果的保留时间为 6.62min, 替代物磷酸三丁酯的保留时间为 5.58min.

2.4 电镜样品的制作与观察

OPs 染毒的第 14d 采样测定缢蛏体内 OPs 的含量. 同时取乐果、三唑磷污染的缢蛏解剖, 仔细分离出鳃和消化腺, 取样时用解剖针挑出松散型的腺上皮组织, 避开导管和结缔组织. 用 2.5% 的戊二醛溶液在 4°C 下固定保存, 1% 的锇酸溶液双固定, 2% 的醋酸双氧铀块染, 乙醇逐级脱水后, 环氧树脂 618 渗透包埋, 超薄切片厚度为 50~70nm, 饱和醋酸铀和柠檬酸铅双重染色, JEM-100CXII 型透射电镜观察并拍照.

3 结果 (Results)

3.1 缢蛏体内蓄积乐果和三唑磷的含量

染毒 14d 后, 0.1mg L⁻¹ 的乐果暴露下, 缢蛏体内富集乐果浓度为 (0.021 ± 0.002) μg g⁻¹ (湿重, n = 4), 是水体中乐果浓度的 0.21 倍; 而 0.25mg L⁻¹ 的三唑磷暴露下, 缢蛏体内富集的三唑磷浓

度为 $(0.379 \pm 0.031) \mu\text{g g}^{-1}$ (湿重, $n=4$), 是水中三唑磷浓度的 1.52 倍。

由此看来, 三唑磷的正辛醇-水分配系数 (K_{ow}) 值高于乐果 ($\lg K_{ow}$ 分别为 3.34 和 -0.29 (蔡道基, 1999)), 脂溶性大于乐果, 是缢蛭对三唑磷的富集倍数高于乐果的原因。

3.2 缢蛭消化腺腺上皮细胞超微结构的病理学变化

当缢蛭暴露于乐果和三唑磷中, 产生了一系列慢性的病理变化, 主要表现为缢蛭消化腺腺上皮细

胞的细胞核和各细胞器的超微结构的病变。

3.2.1 消化腺腺上皮细胞的细胞核病理学变化
对照组的消化腺腺上皮细胞核正常, 形状规则, 核膜清晰可见, 核中有异染色质, 常染色质均匀附着于核内膜, 见图 1a; 乐果暴露下: 细胞核核膜溶解, 核内染色质明显固缩, 染色质发生边缘化凝聚, 见图 1b; 而三唑磷暴露下, 细胞核核膜严重水肿, 甚至溶解, 核内染色质明显固缩, 染色质发生严重的边缘化凝聚, 见图 1c

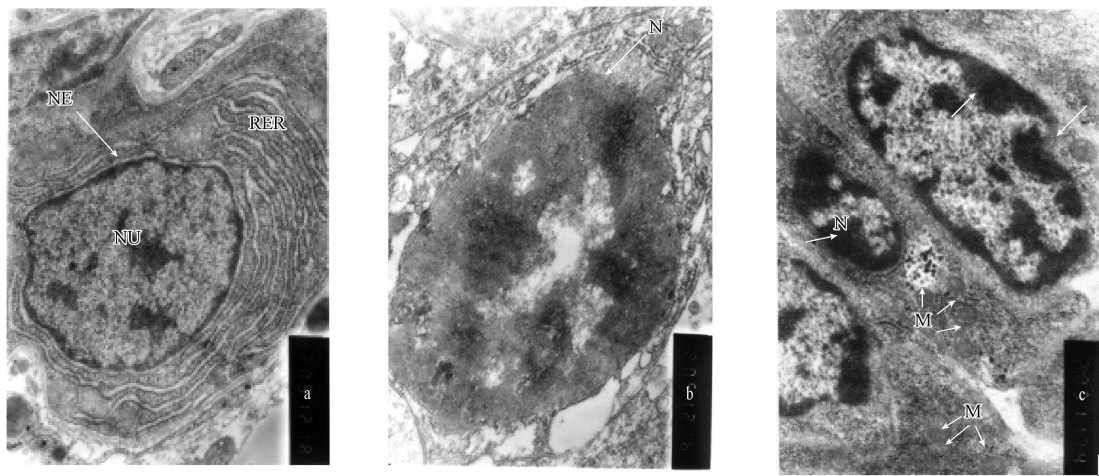


图 1 乐果和三唑磷对缢蛭消化盲腺腺上皮细胞核形态的影响

(N: 细胞核 (nuclear); NE: 核膜 (nuclear envelope); NU: 核仁 (nucleolus); RER: 内质网 (rough endoplasmic reticulum); M: 线粒体 (mitochondria) (a 对照组 (20x1 000): 正常的细胞核, 形状规则, 核膜、染色质正常; b 乐果组 (20x1 000): 细胞核核膜溶解, 核内染色质明显固缩, 染色质发生边缘化凝聚; c 三唑磷组 (20x1 000): 细胞核变形, 核膜或凸起或凹陷; 核膜溶解, 核内染色质明显固缩, 染色质发生严重的边缘化凝聚。)

Fig 1 Effect of dimethoate and triazophos on nuclear of digestive glandular epithelium in *S. constricta* (a Control group (20x1 000): Nuclear of normal form, normal nuclear envelope and chromatin can be seen; b. Group exposed to dimethoate (20x1 000): The nuclear envelopes dissolved, the chromatin became agglomerated and on the edge; c. Group exposed to triazophos (20x1 000): The nuclear became malformed. The nuclear envelopes were either convex or concave. The nuclear envelopes dissolved and the chromatin became agglomerated and on the edge.)

3.2.2 消化腺腺上皮细胞的各细胞器 (线粒体、内质网、高尔基体) 的病理学变化
对照组消化腺的腺上皮细胞核周围有丰富的粗面内质网, 内质网成片层结构, 其上附有丰富的核糖体。线粒体近微绒毛区分布, 双膜结构明显, 内嵴发达。但未观察到高尔基体, 见图 2a

在乐果和三唑磷暴露下, 消化腺腺上皮细胞线粒体膨胀, 外膜水肿, 嵴有轻微破坏, 部分线粒体内嵴完全瓦解, 成为空洞, 见图 2b、图 2c。在三唑磷的暴露下, 从电镜照片可观察到粗面内质网病变的渐

近过程: 从粗面内质网片层结构轻微水肿, 有间隙 (轻微扩张), 其上附着的核糖体部分脱落, 见图 3d 到初步囊泡化, 其上附着的核糖体大量脱落, 见图 3e; 更严重者的囊泡化形成较大数量的囊泡区, 膜破碎或分解, 出现大的空洞, 称为内质网空泡变, 同时伴有线粒体肿胀, 即为病理学上常说的“浊肿” (C body Swelling), 见图 3f。而乐果对消化腺内质网的影响虽也引起核糖体的脱落, 片层结构水肿, 出现囊泡化等, 却不似三唑磷对内质网的影响那样严重, 见图 3b、图 3c

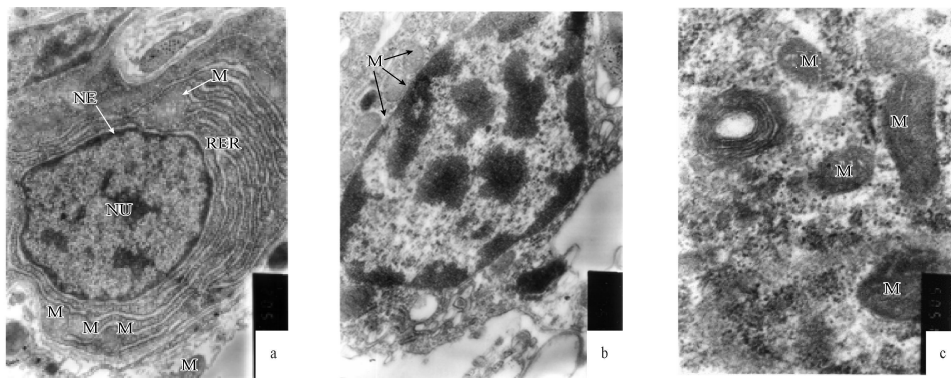


图 2 乐果和三唑磷对缙蛭消化盲囊腺上皮细胞线粒体的影响 (a 对照组 (20x1 000); 线粒体近微绒毛区分布, 双膜结构明显, 内嵴发达; b 乐果组 (27x1 000); 线粒体肿胀, 外膜水肿, 嵴有轻微破坏; c 三唑磷组 (50x1 000); 线粒体膜水肿, 嵴减少, 部分线粒体被破坏, 成为空洞。)

Fig 2 Effect of dimethoate and triazophos on mitochondria of digestive glandular epithelium in *S. constricta* (a Control group (20x1 000); Mitochondria are abundant near the microvilli section in the cytoplasm. Double membrane structure and the cristae can be seen clearly; b Group exposed to dimethoate (27x1 000); Mitochondria swelled up and the cristae of mitochondria disintegrated lightly; c Group exposed to triazophos (50x1 000); Mitochondria swelled up, the cristae of mitochondria disintegrated partly, some disintegrated completely and became an electron transparent area.)

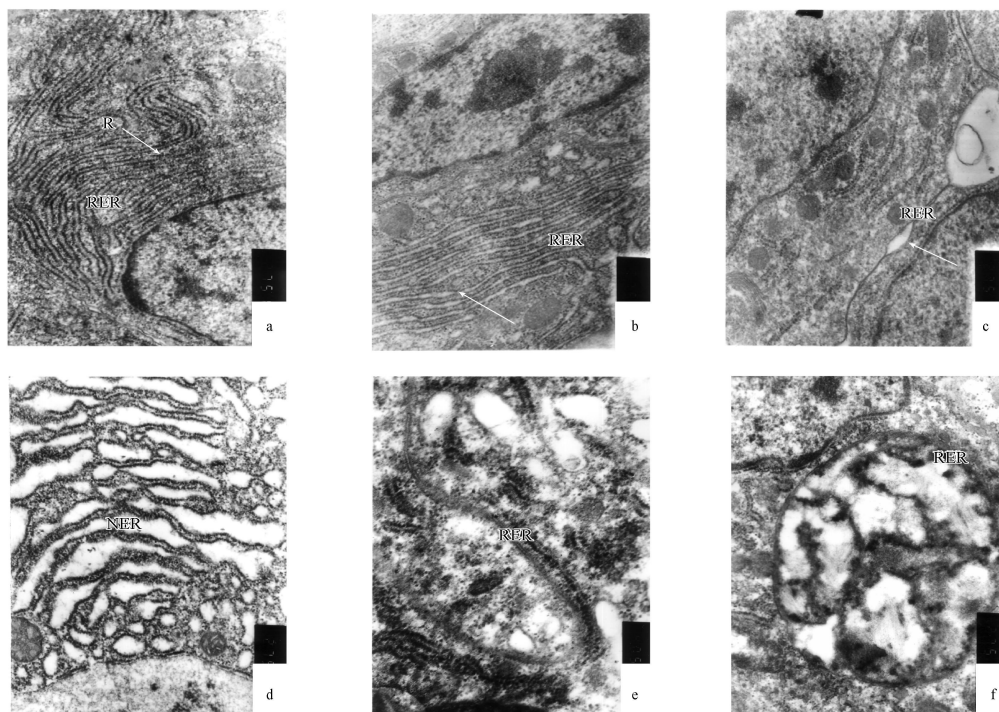


图 3 乐果和三唑磷对缙蛭消化盲囊腺上皮细胞内质网的影响 (a 对照组 (27x1 000); 粗面内质网非常丰富, 膜上附有许多颗粒状的核糖体, 细胞质中还有游离的核糖体; b 乐果组① (40x1 000); 粗面内质网上附着有核糖体, 片层结构轻微水肿; c 乐果组② (27x1 000); 粗面内质网上附着的核糖体大量脱落, 片层结构水肿, 出现囊泡现象; d 三唑磷组① (27x1 000); 粗面内质网轻微水肿, 有间隙 (扩张), 其上附着的核糖体部分脱落; e 三唑磷组② (40x1 000); 粗面内质网片层结构水肿, 并初步囊泡化, 其上附着的核糖体大量脱落; f 三唑磷组③ (27x1 000); 更大程度的扩张、囊泡化形成较大数量的囊泡区, 膜破碎或分解, 出现大的空洞, 并且出现非常明显的间隙。)

Fig 3 Effect of dimethoate and triazophos on RER of digestive glandular epithelium in *S. constricta* (a Control group (27x1 000); The RER which a lot of ribosome adhere to were abundant in the cytoplasm. Some dissociative ribosome can be seen in the cytoplasm; b Group exposed to dimethoate ① (40x1 000); The ribosome can be seen to adhere to the RER. The lamina structure of RER swelled lightly; c Group exposed to dimethoate ② (27x1 000); The ribosome fell from the RER obviously. The lamina structure of RER swelled up and became vacuolated; d Group exposed to triazophos ① (27x1 000); The RER swelled lightly and ribosome partly fell from the RER; e Group exposed to triazophos ② (40x1 000); The lamina structure of RER swelled up dilated and appeared vacuolation. The ribosome fell from the RER obviously; f Group exposed to triazophos ③ (27x1 000); The lamina structure of RER swelled up seriously dilated to form vacuolation or even large vacuolated area.)

4 讨论 (Discussion)

4.1 有机磷农药对缢蛏消化腺腺上皮细胞核形态的影响

细胞是一切生物体的结构单位,细胞受损,必然导致生命体正常的生理功能发生障碍.与对照组缢蛏消化腺腺上皮细胞核相比,本实验中 OPs暴露下,细胞核核膜水肿,甚至溶解,核内染色质明显固缩,染色质发生边缘化凝聚.这与很多文献报道的结果一致,如 Areechon等 (1990)报道用马拉硫磷处理斑鲷 (*Ictalurus punctatus*)后,肝细胞呈现囊泡化; Medda等 (1992)发现磷胺胁迫下,南亚野鲮 (*Labeorohita*)出现肝细胞液泡化和细胞核膨大现象; Patil等 (1992)也发现,久效磷染毒后,使大弹涂鱼 (*Bokophthalmus dussumieri*)的肝细胞膜破裂.另外,魏渲辉 (2002)报道了久效磷暴露后,美国红鱼 (*Sciaenops ocellatus*)肝组织细胞水肿,细胞界限模糊,细胞膜出现大量溶解,细胞质出现囊泡化,有的细胞核变形,与本实验现象很相似.但是 Dutta等 (1993)报道的马拉硫磷对鲶鱼 (*Ictalurus nebulosus*)肝脏的毒性作用略有差别,马拉硫磷对鲶鱼肝脏的影响主要表现为:细胞收缩、核固缩,肝细胞甚至坏死、破裂,染色质外溢.而本实验在乐果和三唑磷的作用下,缢蛏消化腺腺上皮细胞核核膜虽然溶解,染色质凝聚,但并未观察到细胞核变形和染色质外溢.

4.2 有机磷农药对缢蛏消化腺腺上皮细胞的各细胞器(线粒体、内质网、高尔基体)的影响

三唑磷和乐果染毒后,缢蛏消化腺腺上皮细胞线粒体的肿胀、破坏,以及粗面内质网的水肿、空泡变,均反映了 OPs的毒性效应.相关研究也表明,细胞器的破坏是生物对毒物的常见响应,如张凤君等 (2002)报道 PCBs暴露后,斑马鱼 (*Brachydanio rerio*)、剑尾鱼 (*Xiphophorus helleri*)的肝细胞线粒体出现肿大,嵴脱落,出现空洞. OPs暴露后,鱼和虾消化腺细胞超微结构的变化也有类似本实验的缢蛏的现象.如 Balint等 (1995)发现,扑杀磷染毒后,鲤鱼 (*Cyprinus carpio*)肝细胞超微结构发生了明显的变化,细胞核收缩,其中有一些分裂,成为小叶状;线粒体和粗面内质网膨胀,线粒体和粗面内质网的紧密连接也受损,出现大量脂滴和胆色素;严重时细胞膜及细胞器膜破裂溶解.汝少国等 (1996; 1997)系统研究了久效磷对中国对虾 (*Penaeus*

chinensis)各组织细胞超微结构的影响,发现久效磷对中国对虾的损伤也主要表现在细胞器的损伤.在本研究中,由于三唑磷脂溶性强,在缢蛏体内蓄积量较大(由前面化学含量的测定结果可知),细胞的粗面内质网的病变比较明显.

综上所述, OPs对鱼类、甲壳类、贝类消化腺超微结构的影响在很大程度上有相似性,均造成细胞的损伤,甚至破坏,从而干扰其正常的生理活动.推测三唑磷和乐果对缢蛏的致毒机理如下.

OPs暴露下,消化腺腺上皮细胞的细胞核及染色质首先遭到破坏.最敏感的细胞器是粗面内质网,其次是线粒体.内质网的损伤必然造成机体解毒功能的下降,分泌和合成蛋白功能的降低.而线粒体的受损,将造成能量匮乏,导致蛋白质合成、运输中断,蛋白质积累在内质网的囊腔内,无法被运转到细胞外,引起一系列细胞功能的障碍,最后导致细胞的死亡,使生物体的免疫力下降,易滋生疾病,甚至死亡.即 OPs破坏了缢蛏消化腺细胞中最重要的细胞器线粒体和粗面内质网,造成细胞内膜系统的破坏,进而破坏了整个细胞的生理活动.

5 结论 (Conclusions)

1) 2种 OPs均造成了消化腺细胞超微结构的损伤,破坏了细胞核和各种细胞器,其中最敏感的细胞器是粗面内质网,其次是线粒体.该实验结果从病理形态学方面证明了 OPs对缢蛏的毒性效应.

2) 结合组织病理变化和贝类组织器官内 OPs含量的化学分析,研究 OPs对缢蛏的毒性效应,可初步揭示 OPs对贝类的中毒影响机制.

References

- Areechon N, Plumb JA. 1990. Sublethal effects of malathion on channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. *Bulletin Environment Contaminant Toxicology* 44: 435-442
- AudWT. 2004. The Application of Histopathological Biomarkers in Marine Pollution Monitoring: a Review [J]. *Marine Pollution Bulletin* 48: 817-834
- Balint T, Szegletes T, Szegletes Z, et al. 1995. Biochemical and subcellular changes in carp exposed to the organophosphorus methylathion and the pyrethroid deltamethrin [J]. *Aquatic Toxicology* 33: 279-295
- Bing X, Ru S, G Jing M, et al. 2002. Effect of monocrotophos on ultrastructure of gill, liver and kidney in *Pagrosomus major* [J]. *Marine Sciences* 26(9): 42-45 (in Chinese)
- Cai D J. 1999. *Environmental toxicology of pesticides* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 95. (in Chinese)

- Dutta H M, Adhikari S, Singh N K, et al. 1993. Histopathological changes induced by malathion in the liver of a freshwater catfish *Heteropneustes fossilis* (Bloch) [J]. Bulletin Environment Contaminant Toxicology 51: 895-900
- Dutta H M, Munshi J S D, Roy P K, et al. 1996. Ultra structural Changes in the Respiratory Lamellae of the Catfish *Heteropneustes Fossilis* after Sublethal Exposure to Malathion [J]. Environmental Pollution 92(3): 329-341
- Li H Y, Zhang S G, Jiang M, et al. 2001a. In Vitro Study on Cytotoxic Effects of the Organophosphorous Pesticide Profenofos on the Gill Cell Line FG-9307 of the Flounder (*Paralichthys Olivaceus*) [J]. Chin J Oceanol Limnol 19(1): 57-62
- Li H Y, Zhang S C. 2001b. In Vitro Cytotoxicity of the Organophosphorous Pesticide Parathion to FG-9307 Cells [J]. Toxicology in Vitro 15(6): 643-647
- Medda G, Sarkar S K, Ganguly S, et al. 1992. Histopathological changes induced by non-lethal level of phosphanilon and recovery in *Labo rohita fingerlings* [J]. Environmental Ecology 10(4): 934-936
- Patil V T, Shinde S W, Kulkarni A B. 1992. Histopathological changes induced by monocrotophos in the liver of the fish *Bokophtanus dussanieri* [J]. Environmental Ecology 10(1): 52-54
- Ru S G, Li Y Q, Jiang M, et al. 1996. The effects of monocrotophos to the ultrastructures of cell of *Penaes Chinensis* I. The toxicity to hepatopancreas and muscles [J]. Journal of Fisheries of China 20(1): 1-5 (in Chinese)
- Ru S G, Li Y Q, Liu X Y, et al. 1997. Effect of monocrotophos on ultrastructure *Penaes chinensis* cells III. Toxicity to gill [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 8(6): 655-658 (in Chinese)
- Segehan H W, Guilford R L. 1971. Large scale culture of algae [M]. New York: Academic Press 110-115
- Vijaya lakshmi S, Tilak K S. 1996. Effect of Pesticides on the Gill Morphology of *Labo Rohita* [J]. J Ecotoxicology Environmental Monitor 6(1): 59-64
- Wei X H. 2003. Toxic effects of monocrotophos on *Sciaenops ocellatus* [D]. Qingdao: Ocean University of China 1-67 (in Chinese)
- Wei X H, Ru S G, Jiang M, et al. 2003. Effect of monocrotophos on $\text{Na}^+ \text{K}^+$ -ATPase activity and ultrastructure of *Sciaenops ocellatus* branchiae [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 8(6): 655-658 (in Chinese)
- Xue X L, Yuan D X, Wu C Q, et al. 2004. Analysis of contents and sources of pesticides in cultured shellfish of Fujian coastal areas [J]. Marine Environmental Science 23(2): 40-42 (in Chinese)
- Zhang F J. 2002. Physiological and morphological studies of zebrafish (*Bradydanio rerio*) and swordtails (*Xiphophorus helleri*) by PCBs exposure [D]. Guangzhou: Huanan Normal University 1-58 (in Chinese)

中文参考文献

- 邴欣, 汝少国, 姜明, 等. 2002. 久效磷对真鲷鳃、肝和肾细胞超微结构的影响 [J]. 海洋科学, 26(9): 42-45
- 蔡道基. 1999. 农药环境毒理学研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 95
- 汝少国, 李永祺, 姜明, 等. 1996. 久效磷对中国对虾细胞超微结构的影响 I. 对肝脏和肌肉的毒性效应 [J]. 水产学报, 20(1): 1-5
- 汝少国, 李永祺, 刘晓云, 等. 1997. 久效磷对中国对虾细胞超微结构的影响 III. 对鳃的毒性效应 [J]. 应用生态学报, 8(6): 655-658
- 魏渲辉, 汝少国, 姜明, 等. 2003. 久效磷对美国红鱼鳃 $\text{Na}^+ \text{K}^+$ -ATP酶活性和超显微结构的影响 [J]. 应用生态学报, 14(12): 2289-2294
- 魏渲辉. 2002. 久效磷对美国红鱼的毒性效应研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 1-67
- 薛秀玲, 袁东星, 吴翠琴, 等. 2004. 福建沿海养殖贝类中农药残留的含量及来源分析 [J]. 海洋环境科学, 23(2): 40-42
- 张凤君. 2002. 多氯联苯暴露对实验鱼主要器官(组织)微细结构变化及几种酶活性的影响 [D]. 广州: 华南师范大学, 1-58