高锰酸钾与敌百虫对草鱼幼鱼的联合毒性

温茹淑^{1,*},刘炳佳¹,方展强²

1. 嘉应学院生命科学学院 梅州 514015

2. 华南师范大学生命科学学院 广州 510631

摘要:采用静水实验法考察了高锰酸钾与敌百虫对草鱼幼鱼的联合毒性效应。结果显示,高锰酸钾与敌百虫的联合毒性在 24、48、72 和 96 h 时均表现为拮抗作用,且随着时间的延长,拮抗作用逐渐减弱。组织病理学的结果表明,暴露于高锰酸钾和 敌百虫混合溶液中的草鱼幼鱼的肝脏、肾脏和鳃均发生了各种类型的病变。 关键词:草鱼幼鱼;敌百虫;高锰酸钾;联合毒性 文章编号: 1673-5897(2012)4-446-07 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Joint Toxicity of Potassium Permanganate and Trichlorphon to Juvenile Grass Carps (*Ctenopharyngodon idellus*)

Wen Rushu^{1,*}, Liu Bingjia¹, Fang Zhanqiang²
1. College of Life Science, Jiaying University, Meizhou 514015, China
2. College of Life Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China
Received 13 October 2011 accepted 18 January 2012

Abstract: The joint toxicity of potassium permanganate and trichlorphon to juvenile grass carps (Ctenopharyngodon idellus) was investigated by the static test. Results showed that the combination of potassium permanganate and trichlorphon exhibited antagonistic effects at the exposure times of 24,48,72 and 96 h, while the antagonistic effects weakened gradually with the extension of time. The histopathological analysis indicated that the exposure to the mixture of potassium permanganate and trichlorphon caused various types of lesions in the livers, kidneys and gills of juvenile grass carps.

Keywords: juvenile grass carps; trichlorphon; potassium permanganate; joint toxicity

敌百虫属有机磷脂类化合物,是高效、低毒和 低残留的杀虫剂^[1]。高锰酸钾是常用的水体净化 剂,在鱼类养殖业中常用于水体的消毒和净化,对杀 灭原虫类、单殖吸虫类和锚头蚤等寄生虫有显著效 果^[2]。敌百虫和高锰酸钾单独作用对幼鱼的急性毒 性已有报道:草鱼(Ctenopharyngodon idellus)^[3]和金 鱼(Carassius auratus)^[4]对高锰酸钾的敏感性较对 敌百虫的更高,而中国花鲈(Lateolabrax maculatu)^[5-6]对敌百虫的敏感性高于高锰酸钾 敌百虫和高锰 酸钾暴露对中国花鲈幼鱼的抗氧化系统和肝脏组织 均可产生损伤。这些研究仅考察了这 2 种药剂的单 一毒性 对它们联合毒性的研究尚鲜有报道。

草鱼(Ctenopharyngodon idellus)是四大家鱼之 一,分布广,易饲养,对很多毒性物质具有较高的敏 感性。周永欣等^[7]进行氨的亚急性毒性实验时发 现,草鱼是较为理想的实验鱼种,且鱼类早期发育

收稿日期:2011-10-13 录用日期:2012-01-18

基金项目: 梅州市科技计划项目(2008A14)

阶段是整个生活史中对各种污染物较为敏感的阶段; 张甫英等^[8] 等研究发现, 草鱼比鲤鱼、阔尾青鳃、金鱼、团头鱿、白维、麦穗鱼和食蚊鱼等对丙体 六六六的敏感性高5.9~7.8倍。可见, 草鱼幼鱼用 作毒性实验的受试生物, 具有快速、灵敏和经济有 效等特点。本研究考察了高锰酸钾与敌百虫联合 作用下, 草鱼幼鱼的行为表现和死亡情况,并对其 进行了病理组织学的检查, 旨在探究敌百虫和高锰 酸钾对鱼类的毒性效应和制毒机理, 为敌百虫和高 锰酸钾在水产渔业中的合理使用提供科学依据。

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 实验试剂

敌百虫由广西贵港市富民兽(鱼)药有限公司 生产,有效成分的质量分数为50%;高锰酸钾(分析 纯)由广东西陇化工厂生产。实验时将敌百虫配制 为6000 mg•L⁻¹母液,高锰酸钾配制为3000 mg• L⁻¹母液,现配现用。

1.2 受试生物

草鱼幼鱼来源于梅州市梅县丙村镇某鱼苗繁殖 场 均为初孵幼鱼,体长(7.4±0.6) cm,体质量 (13.25±0.90) g。挑选行为活泼、体色健康、反应灵 敏、无畸形、食欲好和逆水性强的幼鱼进行实验。实 验前先放于室内水池中驯养,每天投喂2次。驯养2 周后开始实验。实验前2d停止投喂,实验期间 不喂食。

1.3 实验方法

实验在 39 cm × 22 cm × 26.5 cm 的玻璃缸中 进行,实验用水为经过曝气的自来水,每24h更换1 次实验液,水温(18±2)℃,pH为6.8,硬度为2.4 度(德国度),每组均用同样管径的曝气头连续曝 气。目前国际上没有统一的水生生物联合毒性实 验方法,本研究参照修瑞琴等^[9]的方法,将毒性单 位设计为1:1进行了联合毒性实验。参照本课题组 前期的研究成果^[3] 取敌百虫与高锰酸钾各自的 96 h 的半致死浓度(LC₅₀)为1个毒性单位,分别为13. 018 和3.044 mg•L⁻¹ 参考毒性较大的药剂,按对数 系列分别设置4个浓度,将不同浓度的敌百虫与高 锰酸钾两两对应地相互混合 共4 个实验组 实验组 ①、②、③和④中敌百虫和高锰酸钾的浓度分别为 (35.721 + 8.353) (25.515 + 5.966) (18.225 + 4.262) 和(13.018 + 3.044) mg·L⁻¹。同时设平行组 和对照组,每组放入草鱼幼鱼10尾。实验开始后连 续观察 8 h ,之后分别记录 24、48、72 和 96 h 时草鱼 的活动状况及死亡个体数目。死亡的标准是鱼腹 部向上,鳃盖停止运动,用玻璃棒轻轻刺激尾柄部 位 5 min 内无反应^[10]。及时取出死亡幼鱼,记录死 亡时间和体表特征,并解剖取出鳃、肾脏和肝脏制 成组织切片,观察组织变化。

组织切片的制作根据芮菊生等^[11]的方法: 取各 浓度组中死鱼1~2 尾 96 h 后各浓度组中活鱼1~ 2 尾 对照组2 尾 解剖取出肝脏、肾脏和鳃 将取到 的材料迅速放入装有 Bouin's 固定液的小瓶中固 定 ,常规石蜡切片 ,苏木精-伊红染色 ,利用 BX41 – 32P02 型奥林巴斯光学显微镜和 FG – 20 型尼康数 码相机进行观察和照相。

1.4 数据处理

用平均致死量法^[12] 求出 24、48、72 和 96 h 的 LC₅₀ 计算公式如下:

 $lg LC_{50} = X_m - i (\Sigma p - 0.5)$ (1)

式中, X_m为毒物最大剂量的对数值; i 为相邻 剂量比值的对数; Σ p 为各实验组死亡率的总和(以 小数表示)。

 $lg LC_{50}$ 的标准误差 S 的计算公式如下:

S (1g LC ₅₀) = i $[\Sigma(pq / n)]^{1/2}$ (2)

式中,p为1个实验组的死亡率;q为1个实验组的存活率;i为相邻剂量比值的对数;n为各实验组动物数。

用以下公式,求出 lg LC 50的 95% 置信区间:

lg LC _{so}95% 置信区间 = lg LC _{so} ±1.96 S (lg LC _{so}) (3) 1.5 联合毒性的评价方法

采用水生毒理联合效应 Marking 的相加指数 法^[9],分别求出敌百虫和高锰酸钾单一及联合作用 对草鱼幼鱼的 LC so值,并求出 S 值。

$$S = \frac{Am}{An} + \frac{Bm}{Bn} + \frac{Cm}{Cn}$$
(4)

式中,S 为各实验毒物对水生生物的毒性相加 之和,Am、Bm和Cm分别为实验毒物A、B和C单 一作用下的LC₅₀值,An、Bn和Cn分别为在A、B 和C的混合物中毒物各自的LC₅₀值。当S \leq 1时, AI = 1/S -1; 当S >1时,AI = S(-1) +1。最后 用相加指数法来评价毒物的联合效应,AI >0时为协 同作用;AI <0时为拮抗作用;AI =0时为相加作用。

2 结果(Results)

2.1 草鱼幼鱼的中毒症状及解剖观察

浓度组①中的草鱼幼鱼,1h后开始出现游动加快、焦躁不安、上下窜动等现象,随后游动逐渐变

慢,此后大部分幼鱼静伏于水底,少部分幼鱼游到 水面上呼吸,幼鱼呼吸时鳃盖张开幅度变大。5 h 后部分幼鱼出现侧翻现象,8 h 后开始出现死亡。 浓度组②、③和④中幼鱼也出现上述现象,但症状 出现的时间随混合溶液浓度的降低而延后。在浓 度组②和③中,幼鱼出现侧翻现象的时间分别推迟 至7和26 h,浓度组④中,72 h 内幼鱼没有出现死亡 现象。

对死亡幼鱼进行解剖,并与对照组幼鱼作比较 发现,死亡幼鱼体内各器官胀大;鳃呈暗红色或淡 红色,鰓内藏有较多的黑色絮状物;胆囊肿大,胆汁 充盈;肾脏和肝胰脏呈暗红色。

2.2 高锰酸钾和敌百虫对草鱼幼鱼的联合毒性

浓度组①中草鱼幼鱼 24 h 死亡率为 85% 48 h 全部死亡。浓度组②中,草鱼幼鱼 24 h 死亡率为 15% ,72 h 全部死亡。浓度组③中,草鱼幼鱼 24 h 内没有死亡,96 h 死亡率达 90%。浓度组④中,草 鱼幼鱼 24、48 和 72 h 的死亡率均为 0,96 h 死亡率 为 5%。对照组中草鱼幼鱼 96 h 内没有出现死 亡(见表 1)。

表1 高锰酸钾与敌百虫对草鱼幼鱼的联合急性毒性

Table 1 Joint acute toxicity of potassium permanganate and trichlorphon to juvenile grass carps

| | 敌百虫浓度 | 高锰酸钾浓度 | 死亡率/% | | | |
|-----|-------------------------|-------------------------|-------|------|------|------|
| 实验组 | /(mg•L ⁻¹) | /(mg•L ⁻¹) | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h |
| 1 | 35.721 | 8.353 | 85 | 100 | 100 | 100 |
| 2 | 25.515 | 5.966 | 15 | 90 | 100 | 100 |
| 3 | 18.225 | 4.262 | 0 | 55 | 75 | 90 |
| 4 | 13.018 | 3.044 | 0 | 0 | 0 | 5 |

表 2 中列出了高锰酸钾和敌百虫的联合作用对 草鱼幼鱼的 24、48、72 和 96 h 的 LC₅₀及其 95% 的置 信区间,以及相应的 S 和 AI 值。结果显示,高锰酸 钾与敌百虫联合作用对草鱼幼鱼的 24、48、72 和96 h 的 AI 值分别为 - 2. 3659、- 1. 2399、- 1. 4509 和 -1.4066。AI 值全部小于 0 ,表明高锰酸钾与敌百 虫对草鱼幼鱼的联合毒性作用为拮抗作用 ,而且随 暴露时间的延长 拮抗作用呈现减弱的趋势。

2.3 高锰酸钾和敌百虫对草鱼幼鱼组织结构 的影响

草鱼幼鱼暴露在不同浓度的高锰酸钾和敌百 虫的混合溶液中,其病理组织学检查结果表明,幼 鱼的肝脏、肾脏和鳃均发生了不同程度的病理变化。 2.3.1 肝脏的结构观察

草鱼肝脏由肝小叶集合而成,肝小叶由许多多 角形的肝细胞形成,每个肝小叶中央有1个中央静 脉,肝细胞由此向四周呈辐射状排列。高倍镜下观 察,草鱼肝细胞呈多角形,细胞边缘清楚,排列紧 密;具单个细胞核,细胞核位于细胞中央,胞核大, 多为圆形或椭圆形(见图1中的1和2号图)。

与对照组相比,浓度组①24 h时的死亡幼鱼体 中部分肝细胞出现嗜伊红小体(3号图);浓度组② 48 h时的存活幼鱼肝脏组织中,部分肝细胞体积增 大細胞核溶解,出现空泡变性(4号图);浓度组③ 96 h时的存活幼鱼体中,大面积的肝细胞解体,出 现肝组织局灶性坏死等现象(5号图)。

2.3.2 肾脏的结构观察

肾脏是主要的渗透调节和排泄器官,脊椎动物 的肾脏主要由其基本功能单位——肾单位构成,每 一个肾单位由肾小体和肾小管构成。肾小体由肾 小球与肾小囊构成,与肾小体连接的为肾小管。肾 脏也包含拟淋巴组织,其细胞分布于各肾小管之间。

对照组幼鱼肾脏组织结构见图 1 的 6 和 7 号 图。与对照组相比 ;浓度组①24 h 时死亡幼鱼肾脏 组织中 ,部分肾小管上皮细胞出现空泡变性(8 号 图),肾小管收缩 ,肾小管上皮细胞解体(9 和 10 号 图);浓度组②72 h 时死亡幼鱼肾脏组织中 部分肾小 管上皮细胞出现空泡变性(11 号图),肾小管收缩 ,肾 小管上皮细胞解体(12 和 13 号图);浓度组③和④

表 2 高锰酸钾与敌百虫对草鱼幼鱼的联合毒性评价

Table 2 Evaluation of joint toxicity of potassium permanganate and trichlorphon to juvenile grass carps

| 暴露 | LC ₅₀ 及其 95% 置 | 信区间/(mg•L ⁻¹) | c | AI | 联合作用 |
|------|---------------------------|-----------------------------|--------|---------|------|
| 时间/h | 高锰酸钾 | 敌百虫 | - 5 | | |
| 24 | 7.059(6.133 ~ 8.135) | 30. 190(26. 221 ~ 34. 781) | 3.3659 | -2.3659 | 拮抗作用 |
| 48 | 4.334(3.663~5.130) | 18.534(15.664 ~21.936) | 2.2399 | -1.2399 | 拮抗作用 |
| 72 | 3.918(3.451~4.447) | 16.755(14.754 ~19.014) | 2.4509 | -1.4509 | 拮抗作用 |
| 96 | 3.663(3.069 ~ 3.811) | 15.664(14.059 ~17.460) | 2.4066 | -1.4066 | 拮抗作用 |



图1 高锰酸钾和敌百虫对草鱼幼鱼组织结构的影响

注:1号图(×400)和2号图(×1000)为对照组幼鱼的肝脏组织结构;3号图(×1000)为浓度组①24h后幼鱼肝脏组织结构;4号图(×1000)为浓度组②48h后幼鱼肝脏组织结构;5号图(×1000)为浓度组③96h后幼鱼肝脏组织结构;6号图(×1000)和7号图(×1000)为浓度组③96h后幼鱼肾脏组织结构;11~13号图(×1000)为浓度组②72h后幼 鱼肾脏组织结构;14号图(×1000)为浓度组③96h后幼鱼肾脏组织结构;15号图(×1000)为浓度组④96h后幼鱼肾脏组织结构;16号图 (×100)和17号图(×1000)为对照组幼鱼的鳃组织结构;18号图(×1000)和19号图(×1000)为浓度组④24h后幼鱼鳃组织结构;20号 图(×1000)和21号图(×1000)为对照组幼鱼的鳃组织结构;18号图(×1000)和19号图(×1000)为浓度组④96h后幼鱼鳃组织结构;20号

HL 为肝小叶; PV 为肝小叶间静脉; CV 为中央静脉; HC 为肝细胞; N 为细胞核; PI 为嗜伊红小体; VD 为空泡变性; BC 为细胞肿大; FHN 为肝组织局灶性坏死; KT 为肾小管; EC 为上皮细胞; LT 为拟淋巴组织; G 为肾小球; RC 为肾小囊; KTS 为肾小管收缩 ,CD 为上皮细胞解体; GL 为鳃小片; GF 为鳃丝; GA 为鳃弓; PC 为柱细胞; ECC 为上皮细胞群; GT 为鳃组织; CC 为氯细胞; BGL 为鳃小片弯曲; DEC 为上皮细胞群 脱落; US 为尖端膨大; HEC 为上皮细胞增生; HGT 为鳃组织充血; DGL 为鳃小片脱落。

Fig. 1 Effect of potassium permanganate and trichlorphon on tissue structures of juvenile grass carps



96 h 时存活幼鱼肾脏组织中,均出现不同程度的肾 小管收缩(14 和 15 号图)。

2.3.3 鳃的结构观察

草鱼鳃的基本结构与其他硬骨鱼大致相似,鳃 位于鳃腔两侧,对称排列,形状略似梳子。鳃靶位 于鳃弓凹面外侧,呈列齿状,每一鳃弓外侧有两片 鳃瓣,每个鳃瓣由许多鳃丝排列而成,鳃丝的两侧 着生有许多重叠排列的鳃小片,鳃小片是呼吸的基 本结构和功能单位;每个鳃小片上都有入鳃和出鳃 血管。每一鳃丝上的鳃小片数目很多,鳃小片细小 且排列较为紧密。鳃小片主要由上下两层单层呼 吸上皮及中间的支撑细胞柱细胞构成,鳃小片的基 部或接近基部分布着上皮细胞群。

对照组幼鱼鳃组织结构见图 1 的 16 和 17 号 图。与对照组相比,浓度组①24 h 时死亡幼鱼鳃组 织中,上皮细胞群脱落,鳃小片弯曲(18 号图),鳃小 片顶端膨胀成球状(19 号图);浓度组②48 h 时死亡 幼鱼鳃组织中,鳃小片的上皮细胞群增生(20 号 图);浓度组②72 h 时死亡幼鱼鳃组织中,鳃小片细 胞脱落,鰓组织大面积充血(21 号图);浓度组③96 h 时存活幼鱼鳃组织中,部分组织充血,鳃小片脱落 成棒状,鳃小片上皮细胞群增生,鳃小片稍微弯曲 (22 号图);浓度组④96 h时存活幼鱼体中,部分鳃组织充血,鳃小片脱落,部分鳃小片成棒状,鳃小片上皮细胞群增生,鰓小片弯曲(23 号图)。

3 讨论(Discussion)

3.1 高锰酸钾与敌百虫联合毒性的机理探讨

敌百虫是常见的有机磷农药,它可与生物体内 的乙酰胆碱脂酶(AChE)等胆碱脂酶(ChE)发生相 互作用。AChE 被有机磷化合物抑制后,乙酰胆碱 (Ach)将在突触内迅速积累,导致突触传导中断,甚 至可引起机体死亡^[13]。高锰酸钾是一种含有不稳 定结合态氧的化合物,可释放出新生态氧,与有机 体接触则可使酶蛋白和原浆蛋白中的活性基团如 巯基(-SH)迅速氧化为二硫链(-S-S),使之失活,从 而对生物产生氧化损伤作用^[2]。高锰酸钾与敌百 虫对草鱼幼鱼的联合毒性作用为拮抗作用。根据 敌百虫和与高锰酸钾对草鱼幼鱼的急性毒性研究, 敌百虫的毒性比高锰酸钾弱^[3]。联合毒性作用机 理研究是化合物联合毒性研究的重点和难点 污染 物的联合毒性效应不仅与污染物的组成有关,还与 染毒剂量和染毒时间等相关^[14]。高锰酸钾与敌百 虫的联合毒性作用机理还有待进一步研究。

3.2 高锰酸钾与敌百虫联合作用对草鱼幼鱼组织 结构的影响

高锰酸钾与敌百虫联合作用对草鱼幼鱼肝脏 的毒害作用主要表现为部分肝细胞体积增大,细胞 核溶解,出现空泡变性,肝细胞出现嗜伊红小体,大 面积肝细胞解体,肝组织出现局灶性坏死等。这与 王利等^[15]对鲤鱼急性铜中毒的病理学研究结果相 似,王利等认为中毒的肝细胞胞浆内会出现嗜酸性 小体,它是由细胞浆中细胞器凝集和凝结的团块所 形成的,可来自发生缩裂坏死的肝细胞的衍生物。 当过量的高锰酸钾和敌百虫被肝脏吸收后,导致肝 细胞严重变性,大面积肝细胞坏死,进而导致体内 物质代谢障碍。

高锰酸钾与敌百虫联合作用对草鱼幼鱼肾脏 的毒害作用主要表现为部分肾小管上皮细胞出现 空泡变性,肾小管收缩,肾小管上皮细胞解体。这 与王利等^[15]对鲤鱼急性铜中毒的病理学研究结果 相似。存在于生物体内的金属硫蛋白和类金属蛋 白的分子巯基(-SH)可结合大量的金属,对金属的 贮存、传递和解毒有重要作用^[16]。但巯基结合的重 金属量是有限的,当金属超过一定浓度时,未被巯 基蛋白结合的重金属就会转移到其他高分子量的 蛋白质中,使组织发生病理改变。高锰酸钾溶液中 含有 K⁺和 MnO₄⁻ ,在酸性条件下,MnO₄⁻ 可释放出 Mn^{2+[2]}。当 Mn²⁺浓度超过金属巯基蛋白的解毒能 力时,会使鱼体组织出现病变。血液流经鳃后,大 部分有害物质随着血液循环流入肾脏,使肾脏出现 病理症状,可见,肾脏损伤也有望成为环境污染的 良好指示器^[17]。

高锰酸钾与敌百虫联合作用对草鱼幼鱼鳃组 织的毒害作用主要表现为鳃小片上皮细胞增生,上 皮细胞群脱落,鳃小片弯曲,鳃小片顶端膨胀成球 状 鳃小片细胞脱落和鳃组织大面积充血。鳃小片 上皮细胞的增生现象是生物为保护体内组织对外 界刺激的一种反应,但上皮细胞层加厚不仅减少了 氧吸收的有效表面积 还增加了氧从水体到血液之 间的扩散距离,这必然会影响鳃的呼吸、分泌和排 泄功能 对鱼体的离子代谢和渗透调节也有一定程 度的影响^[18-20]。Karnaky 等^[21] 研究发现, Na⁺-AT-Pase 和 K⁺-ATPase 存在于氯细胞膜上,Na⁺-ATPase 和 K⁺-ATPase 的活力与氯细胞的数量和结构关系 密切。氯细胞存在于鳃小片基部的上皮细胞群中, 是一类富含线粒体和内质网的细胞,细胞内含有丰 富的 ATPase 在鳃的主动吸收和转运离子过程中起 着重要作用。草鱼幼鱼暴露于高锰酸钾和敌百虫 的混合溶液中后 鳃小片基部的上皮细胞群坏死脱 落 这样势必会破坏基部的氯细胞及细胞内的 Na⁺-ATPase 和 K⁺-ATPase 进而严重影响鳃对离子的主 动吸收和整个鱼体的离子代谢。而血外渗引起的 微血栓和血液淤积可能是造成鳃组织大面积充血 的原因之一,鱼体的血液循环因而受到阻碍,正常 代谢失调^[22]。而鳃小片弯曲、鳃小片顶端膨胀成球 状以及鳃小片细胞脱落等现象与关海红等^[23]的研 究结果相似 他们认为水体中的有害物质被鳃吸收 和吸附后,当超过鳃的耐量极限时,会直接对鳃组 织造成毒害,使之发生炎症反应。

参考文献:

- [1] 孟庆玲,陈士良.渔业生产中如何合理有效使用敌百虫[J].天津水产,2008(1):30-31
- [2] 杨治国,胡安华,马超,等. 高锰酸钾在水产动物病 害防治中的应用[J]. 河北渔业,2010(10):45-49
- [3] 温茹淑,郑清梅,方展强,等. 敌百虫和高锰酸钾对
 草鱼鱼种的急性毒性研究[J]. 水产科学,2007,26
 (7):405-407

Wen R S , Zheng Q M , Fang Z Q , et al. Acute toxicity of

dipterex and $KMnO_4$ to juvenile grass carp Ctenopharyngodon idllus [J]. Fisheries Science , 2007 , 26(7): 405 – 407 (in Chinese)

- [4] 卜艳珍,李效宇,杨太有.四种常用药物对金鱼的急 性毒性实验[J].河南水产,2004(4):30-31
- [5] 朱友芳,严志洪,洪万树. 高锰酸钾对中国花鲈的毒 性效应[J]. 生态毒理学报,2011,6(2):176-181
 Zhu Y F, Yan Z H, Hong W S. Toxic effects of potassium permanganate on perch Lateolabrax maculates [J].
 Asian Journal of Ecotoxicology, 2011,6(2):176-181 (in Chinese)
- [6] 朱友芳,洪万树. 敌百虫对中国花鲈的毒性效应[J]. 生态学杂志,2011,30(7):1484-1490
 - Zhu Y F , Hong W S. Toxic effects of trichlorfon on perch Lateolabrax maculatus [J]. Chinese Journal of Ecology , 2011 , 30(7): 1484 – 1490 (in Chinese)
- [7] 周永欣,张甫英,周仁珍. 氨对草鱼的急性和亚急性
 毒性[J]. 水生生物学报,1986,10(1): 32-38
 - Zhou Y X , Zhang F Y , Zhou R Z. The acute and subacute toxicity to ammonia on grass carp (Ctenopharyngodon idellus) [J]. Acta Hydrobiologica Sinica , 1986 , 10(1): 32 - 38 (in Chinese)
- [8] 张甫英,周永欣,周仁珍.两种金属和两种农药对草 鱼不同发育阶段的毒性效应[J].环境科学学报, 1988,8(1):67-71

Zhang F Y , Zhou Y X , Zhou R Z. Toxicities of two metals and two pesticides to grass carps at different development stages [J]. Acta Scientiae Circumstantiae , 1988 , 8(1): 67 - 71 (in Chinese)

- [9] 修瑞琴,许永香,傅迎春,等.水生毒理联合效应相加指数法[J].环境化学,1994,13(3):269-270
 Xiu R Q, Xu Y X, Fu Y C, et al. Additive index of coeffects for aquatic toxicology [J]. Environmental Chemistry, 1994, 13(3):269-270 (in Chinese)
- [10] 温茹淑,郑清梅,方展强,等. 汞、铅对草鱼的急性 毒性及安全浓度评价[J]. 安徽农业科学,2007,35 (16):4863-4864,4914

Wen R S , Zheng Q M , Fang Z Q , et al. Acute toxicity of mercury and lead to grass carps and safety assessment [J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences , 2007 , 35 (16): 4863 – 4864 , 4914 (in Chinese)

- [11] 芮菊生,杜懋琴,陈海明,等. 组织切片技术[M].
 北京:人民教育出版社,1980:98-106
- [12] 惠秀娟.环境毒理学[M].北京:化学工业出版社, 2003:270-271
- [13] 孟紫强.环境毒理学[M].北京:中国环境科学出版 社,2000: 207-213

- [14] 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):98-100,103
- [15] 王利,汪开毓. 鲤鱼急性铜中毒的病理学研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(16):6818-6820
 Wang L, Wang K Y. Pathological study on the acute copper poisoning in Cyprinus carpio L. [J]. Journal of Anhui Agriculture Sciences, 2008,36(16):6818-6820 (in Chinese)
- [16] 关海红,刘伟,田言.重金属对鲤鱼肾脏的影响[J].黑龙江水产,1997(2):25-26
- [17] 皇甫加清,张耀光,周传江,等. 氯氰菊酯暴露对草 鱼4种器官组织结构的影响[J]. 淡水渔业,2011, 41(1):53-57
 - Huang Fu J Q , Zhang Y G , Zhou C J , et al. Effect of cypermethrin on histology of four tissues of Ctenopharyn-godon idellus [J]. Freshwater Fisheries , 2011 , 41 (1): 53 57 (in Chinese)
- [18] Kumaraguru A K , Beamish F W H , Ferguson H W. Direct and circulatory paths of permethrin (NRDC – 143) causing histopathological changes in the gills of rainbow trout , Salmo gairdneri Richardson [J]. Journal of Fish Biology , 1982 , 20(1): 87 – 91
- [19] Skidmore J F, Tovell P W A. Toxic effects of zinc sulphate on the gills of rainbow trout [J]. Water Research, 1972, 6(3): 217 – 228
- [20] Ribelin W E, Migaki G. The Pathology of Fishes [M]. Wisconsin: University of Wisconsin Press, 1975: 305
- [21] Karnaky K J , Ernst S A , Philpott C W. Teleost chloride cell. I. Response of pupfish Cyprinodon variegatus gill Na ,K – ATPase and chloride cell fine structure to various high salinity environments [J]. The Journal of Cell Biology , 1976 , 70(1): 144
- [22] 王铁辉,易咏兰,陈宏溪,等.草鱼出血病病毒人工 感染稀有鮈鲫出血病鱼的组织病理观察[J].水生生 物学报,1995,19(4):350-353
 - Wang T H , Yi Y L , Chen H X , et al. Histopathological observation on hemorrhagid rare minnow (Gobiocypris rarus) infected artificially with hemorrhagic virus of grass carp [J]. Acta Hydrobiologica Sinica , 1995 , 19 (4): 350 – 353 (in Chinese)
- [23] 关海红,蔺玉华. 鲤鱼鳃组织结构及鳃对重金属离子的耐受性[J]. 水产学杂志,2004,17(1):68-71
 Guan H H, Lin Y H. Constitution and the tolerance of several heavy metals on the hill tissue of carp [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2004,17(1):68-71 (in Chinese)