

# 水产用聚维酮碘对异育银鲫养殖的安全性评价

高晓华 曹海鹏<sup>#</sup> 侯三玲 胡 鲲 杨先乐<sup>\*</sup>

上海海洋大学 国家水生动物病原库 上海 201306

**摘要:** 评价水产用聚维酮碘对异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*) 养殖的安全性, 为其在异育银鲫养殖中的安全应用提供了重要的科学依据, 本研究参照国家标准及相关法规, 在观察了聚维酮碘对小球藻 (*Chlorella* sp.) 生长抑制作用、对水产益生菌抑菌效果以及对大型蚤 (*Daphnia magna straus*)、斑马鱼 (*Brachydanio rerio*) 和异育银鲫的急性毒性的基础上, 分析其对异育银鲫及其养殖水体主要有害理化因子的影响。实验结果表明, 聚维酮碘在终浓度为 6.00 ~ 14.00 mg/L 时对小球藻生长具有促进作用, 对小球藻的半数抑制浓度大于 14.00 mg/L, 对水产益生菌的最小抑菌浓度为 128 ~ 512 mg/L, 对大型蚤、斑马鱼的半数致死浓度分别为 13.44 mg/L、17.63 mg/L。此外, 聚维酮碘对异育银鲫的半数致死浓度为 74.77 mg/L, 而且在养殖水体中加入聚维酮碘至终浓度为 0.20 ~ 1.40 mg/L 后 14 d 内, 随着聚维酮碘浓度的增加, 各浓度组异育银鲫养殖水体的氨氮含量、亚硝酸盐含量均缓慢下降。本研究证实聚维酮碘低毒, 但考虑到其可能对异育银鲫养殖水体中大型蚤等浮游动物存在潜在影响, 建议其在异育银鲫养殖中的安全应用浓度应不高于 1.34 mg/L, 在该安全应用浓度内不会引起养殖水中氨氮、亚硝酸盐等有害因子含量的增加。

**关键词:** 聚维酮碘; 大型蚤; 斑马鱼; 异育银鲫养殖; 安全性评价

中图分类号: Q494 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2013)02-261-08

## Safety Evaluation of Fishery Povidonum-iodum on *Carassius auratus gibelio*

GAO Xiao-Hua CAO Hai-Peng<sup>#</sup> HOU San-Ling HU Kun YANG Xian-Le<sup>\*</sup>

National Pathogen Collection Centre for Aquatic Animals, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** In order to provide important scientific basis on the safe use of PVP-I in *Carassius auratus gibelio* farming, we evaluate the safety of fishery povidonum-iodum (PVP-I) on *C. auratus gibelio* farming according to the national standards and related regulations. Based on observation on growth inhibition of the PVP-I on *Chlorella* sp., aquatic probiotic bacteria, we analyzed the acute toxicity of PVP-I to *Daphnia magna straus*, *Brachydanio rerio*, and *C. auratus gibelio*, as well as the influence on main harmful physicochemical factors of the farming water. The results showed that the growth of *Chlorella* sp. was promoted with PVP-I at the final concentrations of 6.00 - 14.00 mg/L, its minimum inhibitory concentration to aquatic probiotics were varied from 128 mg/L to 512

**基金项目** 国家 863 计划项目 (No. 2011AA10A216), 公益性行业 (农业) 科技专项资金项目 (No. 201203085), 现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (No. CARS-46-12), 国家重大科技成果转化项目 (No. ZD-2012-345-5);

<sup>\*</sup> 通讯作者, E-mail: xlyang@shou.edu.cn;

**第一作者简介** 高晓华, 女, 硕士研究生; 研究方向: 水产药理学; E-mail: gaoxiaohua861104@126.com。

**同等贡献第一作者** 曹海鹏, 男, 讲师; 研究方向: 水产动物病害学; E-mail: hpcao@shou.edu.cn。

收稿日期: 2012-08-31, 修回日期: 2012-12-28

mg/L, its 50% inhibitory concentration to *Chlorella* sp. was estimated to be above 14.00 mg/L, and its 50% lethal dose to *D. magna straus*, *B. rerio* were 13.44 mg/L, 17.63 mg/L, respectively. In addition, the 50% lethal dose of PVP-I to *C. auratus gibelio* was 74.77 mg/L, and in the period of 14 days after the adding of the PVP-I into the farming water at 0.20–1.40 mg/L, the contents of the ammonia and nitrite in *C. auratus gibelio* farming water were gradually reduced with the increased concentration of the PVP-I. The present study confirmed that the PVP-I had low toxicity, its safe concentration for *C. auratus gibelio* farming should be no more than 1.34 mg/L in view of its potential threat to zooplankton such as *D. magna straus*. PVP-I would not lead to the increase of the ammonia and nitrite in the *C. auratus gibelio* farming water under its safe concentration.

**Key words:** Povidonum-iodum; *Daphnia magna straus*; *Brachydanio rerio*; *Carassius auratus gibelio*; Safety evaluation

聚维酮碘 (povidonum-iodum, PVP-I), 又名聚乙烯吡咯烷酮碘, 为广谱、高效消毒杀菌剂, 在防治水产动物烂鳃、疔疮、腐皮等细菌性疾病有很好的效果(张梁等 2004, 龚珞军等 2007), 是水产养殖中被广泛使用的消毒杀菌剂。然而, 聚维酮碘作为环境外源性药物, 作用于靶生物进行病害防治的同时, 对养殖环境及水生态系统产生广泛而深远的影响(Lanzky et al. 1997, Halling-Sørensen et al. 1998, Wollenberger et al. 2000), 由此产生的环境生态问题日益受到人们的关注。近年来, 国内外已开展了聚维酮碘对鱼类(Satyanarayan et al. 2004, 黄辨非等 2005)、虾类(李天保等 1998)、贝类(吕豪等 2003)及蟹类(刘庆坤等 2012)等水产动物的急性毒性与细胞毒性机理研究, 但从现有文献资料来看, 聚维酮碘对异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)等水产动物养殖环境的安全性评价却鲜有报道, 致使其在水产养殖中的应用存在较大的盲目性和片面性。因此, 加强聚维酮碘对水产养殖环境的安全性研究对推动其在水产养殖中的合理应用进程至关重要。鉴此, 本实验参照国家标准及相关法规(谢凤君等 1992a, b, 周红等 2008), 开展了聚维酮碘对小球藻(*Chlorella* sp.)生长的抑制实验, 对水产常用益生菌的影响, 对大型蚤(*Daphnia magna straus*)、斑马鱼(*Brachydanio rerio*)和异育银鲫的急性毒性实验, 以及对异育银鲫养殖水体主要有害理化因子的影响实验, 旨在为推荐常规用量下的聚维酮碘对异育银鲫养殖环境的安全性提供科学依据的同时, 促进整个渔用药物在

水产养殖中应用安全性评价的进程。

## 1 材料与方法

**1.1 实验材料** 聚维酮碘, 有效含量 $\geq 99\%$ , 有效碘含量 9%~12%, 购于上海生工生物工程有限公司, 用蒸馏水配成 1 000 mg/L 的母液; 小球藻、大型蚤, 均由上海海洋大学水生生物研究室惠赠; 解淀粉芽孢杆菌 G1 (*Bacillus amyloliquefaciens* strain G1)、凝结芽孢杆菌 92 (*B. coagulans* strain 92)、短小芽孢杆菌 95 (*B. pumilus* strain 95) 和乳酸芽孢杆菌 H3 (*Lactobacillus* sp. strain H3), 均由国家水生动物病原库提供; 斑马鱼, 平均体重为  $(0.40 \pm 0.05)$  g ( $n = 70$ ), 健康无伤病, 由农业部水产种质资源与利用重点开放实验室提供; 异育银鲫, 平均体重  $(30.00 \pm 4.50)$  g ( $n = 60$ ), 健康无伤病, 由上海市水产养殖工程技术中心提供; 经济合作与发展组织 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD) 藻类培养基、人工稀释水、标准稀释水, 由本实验室参照国家标准(谢凤君等 1992a, b, 周红等 2008)自制; 异育银鲫养殖水, 采自国家水生动物病原库养殖室, 用 4 层纱布过滤后, 于 121℃ 灭菌 20 min 后备用。

### 1.2 聚维酮碘对小球藻生长的抑制实验

**1.2.1 小球藻藻液的制备** 将纯的小球藻接种于新鲜的无菌 OECD 藻类培养基中, 在 23℃、连续均匀光照、定期人工摇动等条件下培养 2~4 d, 使细胞浓度达到  $10^5$  个/ml。

**1.2.2 聚维酮碘对小球藻生长的影响** 参照

《GB/T21805-2008 化学品 藻类生长抑制实验》(周红等 2008)进行。即根据预实验结果,无菌操作取聚维酮碘母液加入 100 ml 无菌 OECD 藻类培养基中至终浓度 0 mg/L、6 mg/L、8 mg/L、10 mg/L、12 mg/L、14 mg/L,同时加入初始细胞浓度为  $10^5$  个/ml 的小球藻藻液 10 ml,然后分别在 23℃、连续均匀光照、定期人工摇动等条件下连续培养 3 d 后取样分别测定 663 nm 处的光吸收值(optical density at 663 nm,  $A_{663}$ )和 645 nm 处的光吸收值(optical density at 645 nm,  $A_{645}$ ),并根据公式(叶绿素  $\alpha$  浓度 =  $12.7A_{663} - 2.69A_{645}$ )(叶济宇 1985)计算各浓度组小球藻叶绿素  $\alpha$  的含量(mg/L),每浓度各设 3 个平行。以时间为横坐标轴,叶绿素  $\alpha$  含量为纵坐标轴,绘制小球藻的生长曲线,计算聚维酮碘对小球藻的半数抑制浓度(50% inhibitory concentration,  $IC_{50}$ )。

### 1.3 聚维酮碘对水产常用益生菌的影响

**1.3.1 菌悬液的制备** 无菌条件下,将斜面上保藏的解淀粉芽孢杆菌 G1、凝结芽孢杆菌 92、短小芽孢杆菌 95 和乳酸芽孢杆菌 H3 菌株分别转接到营养琼脂培养基平板上,于 28℃ 恒温培养 24 h 后将各菌株菌苔用无菌生理盐水洗下制成菌悬液,并用无菌生理盐水将各菌株菌悬液浓度稀释为  $3.0 \times 10^8$  cfu/ml,于 4℃ 冰箱保存备用。

**1.3.2 聚维酮碘对益生菌株的最小抑菌浓度测定** 实验采用试管二倍稀释法(李仪奎 1991),即将聚维酮碘分别加入含有 2 ml 无菌营养肉汤的试管中,至终浓度分别为 0 mg/L、0.125 mg/L、0.25 mg/L、0.5 mg/L、1 mg/L、2 mg/L、4 mg/L、8 mg/L、16 mg/L、32 mg/L、64 mg/L、128 mg/L、256 mg/L、512 mg/L、1 024 mg/L,并设 1 个阴性对照组,即空白无菌营养肉汤组,然后分别接种各菌株菌悬液至终浓度  $5.0 \times 10^5$  cfu/ml,于 28℃ 恒温培养 24 h 后观察结果。把无菌生长、稀释度最大的聚维酮碘浓度作为各实验菌株的最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)。

### 1.4 聚维酮碘对大型蚤的急性毒性实验 参

照《GB/T13266-91 水质 物质对蚤类(大型蚤)急性毒性测定方法》(谢凤君等 1992b)进行。即根据预实验结果,分别将聚维酮碘母液加入 50 ml 人工稀释水中至终浓度 0 mg/L、11.00 mg/L、11.70 mg/L、12.45 mg/L、13.25 mg/L、14.10 mg/L、15.00 mg/L,同时放置大型蚤 10 个,然后在实验开始后的 1 h、2 h、4 h、8 h、16 h、24 h、48 h 对大型蚤游动能力、大触角及刚毛的摆动能力等指标进行观察,记录各浓度组实验蚤的死亡数目及任何不正常的行为,计算聚维酮碘对大型蚤的半数致死剂量(50% lethal dose,  $LD_{50}$ ),并根据经验公式安全浓度 =  $LD_{50} \times 0.1$  计算安全浓度。每个浓度各设 3 个平行,每 12 h 更换药液一次。实验期间温度控制在 25℃、溶解氧(dissolved oxygen, DO)大于 2 mg/L。

### 1.5 聚维酮碘对斑马鱼和异育银鲫的急性毒性实验

#### 1.5.1 聚维酮碘对斑马鱼的急性毒性测定

参照《GB/T13267-91 水质 物质对淡水鱼(斑马鱼)急性毒性测定方法》(谢凤君等 1992a)进行。即根据预实验结果,分别将聚维酮碘母液加入盛有 50 L 标准稀释水的玻璃水族缸中至终浓度 0 mg/L、14.00 mg/L、15.33 mg/L、16.77 mg/L、18.36 mg/L、20.10 mg/L、22.00 mg/L,同时放入健康斑马鱼 10 尾,然后分别于实验开始后的 1 h、2 h、4 h、8 h、16 h、24 h、48 h、72 h、96 h 对鱼体反应能力、游动能力、呼吸能力等指标进行观察,记录各浓度组斑马鱼的死亡数目及任何不正常的行为,计算聚维酮碘对斑马鱼的半数致死剂量( $LD_{50}$ ),并根据经验公式安全浓度 =  $LD_{50} \times 0.1$  计算安全浓度。每浓度各设 3 个平行,每 12 h 更换药液一次,实验期间温度控制在 23℃、DO 大于 4 mg/L。

#### 1.5.2 聚维酮碘对异育银鲫的急性毒性测定

参照《GB/T13267-91 水质 物质对淡水鱼(斑马鱼)急性毒性测定方法》(谢凤君等 1992a)进行。即根据预实验结果,分别将聚维酮碘母液加入盛有 50 L 标准稀释水的玻璃水族缸中至终浓度 0 mg/L、70.00 mg/L、72.00 mg/L、

74.00 mg/L、76.00 mg/L、78.00 mg/L,同时放入健康异育银鲫 10 尾,然后分别于实验开始后的 1 h、2 h、4 h、8 h、16 h、24 h、48 h、72 h、96 h 对鱼体反应能力、游动能力、呼吸能力等指标进行观察,记录各浓度组异育银鲫的死亡数目及任何不正常的行为,计算聚维酮碘对异育银鲫的半数致死剂量(LD<sub>50</sub>),并根据经验公式安全浓度 = LD<sub>50</sub> × 0.1 计算安全浓度。每浓度各设 3 个平行,每 12 h 更换药液一次,实验期间温度控制在 23℃、DO 大于 4 mg/L。

**1.6 聚维酮碘对养殖水体有害理化因子的影响** 参照《渔药临床实验技术规范》(农业部畜牧兽医局 2003)进行。即根据 1.3、1.4、1.5 确定的聚维酮碘的安全浓度范围,无菌操作将聚维酮碘母液加入盛有 400 ml 异育银鲫养殖水的三角烧瓶中至终浓度 0 mg/L、0.2 mg/L、0.5 mg/L、0.8 mg/L、1.1 mg/L、1.4 mg/L,然后分别于 28℃、150 r/min 摇床振荡培养 14 d,每 2 d 取样测定各浓度组中的氨氮(ammonia nitrogen, NH<sub>3</sub>-N)、亚硝酸盐(nitrite nitrogen, NO<sub>2</sub>-N)的含量(mg/L)。其中,氨氮含量的测定采用纳氏试剂分光光度法(沈阳环境监测中心站 2010),亚硝酸盐含量的测定采用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法(邵晴等 2008)。

## 2 结果

**2.1 聚维酮碘对小球藻生长的影响** 聚维酮碘在终浓度为 6~14 mg/L 时能够促进小球藻叶绿素 α 含量的增加(图 1),说明其对小球藻生长具有促进作用,对小球藻的半数抑制浓度大于 14 mg/L。具体表现在:当终浓度分别为 6 mg/L、8 mg/L、10 mg/L、12 mg/L、14 mg/L 的聚维酮碘与小球藻共培养 72 h 时,对应各浓度组中的小球藻叶绿素 α 含量分别是小球藻单独培养时的 1.97 倍( $P < 0.05$ )、2.22 倍( $P < 0.05$ )、3.24 倍( $P < 0.05$ )、3.84 倍( $P < 0.05$ )和 4.61 倍( $P < 0.05$ )。

**2.2 聚维酮碘对水产常见益生菌的最小抑菌浓度** 聚维酮碘对解淀粉芽孢杆菌 G1、凝结芽孢杆菌 92、短小芽孢杆菌 95 和乳酸芽孢杆菌

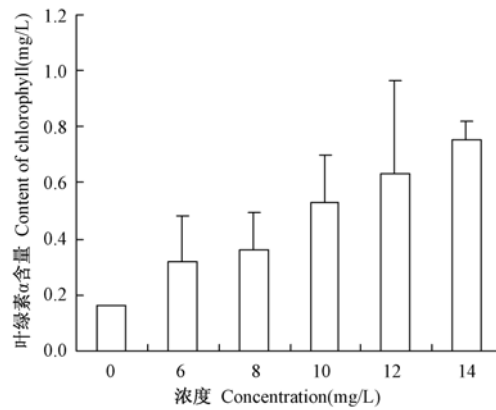


图 1 聚维酮碘对叶绿素 α 含量的影响

Fig. 1 Influence of PVP-I on the content of chlorophyll

H3 的抑菌活性较差,其对解淀粉芽孢杆菌 G1、凝结芽孢杆菌 92、短小芽孢杆菌 95 和乳酸芽孢杆菌 H3 的最小抑菌浓度分别为 512 mg/L、256 mg/L、512 mg/L、128 mg/L(表 1)。

表 1 聚维酮碘对益生菌株的抑菌效果

Table 1 Inhibitory effects of PVP-I on probiotic strains

药物含量 (mg/L) Drug concentration	菌株 G1 Strain G1	菌株 92 Strain 92	菌株 95 Strain 95	菌株 H3 Strain H3
0	+++	+++	+++	+++
0.125	+++	++	+++	+++
0.25	+++	++	+++	++
0.5	+++	++	++	++
1	++	++	++	++
2	++	++	++	++
4	++	++	++	++
8	++	++	++	++
16	++	++	++	+
32	++	++	++	+
64	++	+	++	+
128	+	+	++	-
256	+	-	+	-
512	-	-	-	-
1 024	-	-	-	-
阴性对照 Negative control	-	-	-	-

“+++”表示高度混浊;“++”表示中度混浊;“+”表示低度混浊;“-”表示无菌生长。

“+++” high turbidity; “++” moderate turbidity; “+” low turbidity; “-” no cell growth.

**2.3 聚维酮碘对大型蚤的急性毒性** 大型蚤在含 11.00 ~ 15.00 mg/L 聚维酮碘的人工稀释水中均出现了游动缓慢、外壳膨胀发白、大触角和刚毛游动变慢以及死亡等不正常现象,而且随着聚维酮碘浓度的增加,死亡率逐渐升高,而对照组大型蚤则未出现任何不正常现象(图 2A)。聚维酮碘浓度与大型蚤死亡概率的关系方程为: $Y = 0.760 1X - 5.213 1$ ,  $R^2 = 0.912 9$ ,其中  $Y$  表示大型蚤死亡概率, $X$  表示聚维酮碘浓度(mg/L), $R^2$  表示相关系数。由此计算得出聚维酮碘对大型蚤的 48h-LD<sub>50</sub> 为 13.44 mg/L,安全浓度为 1.34 mg/L。

**2.4 聚维酮碘对斑马鱼和异育银鲫的急性毒性** 斑马鱼在含 14.00 ~ 22.00 mg/L 聚维酮碘的标准稀释水中均出现了鱼体反应迟钝、游动能力和呼吸能力减弱以及死亡等不正常现象,而且随着聚维酮碘浓度的增加,死亡率逐渐升高,而对照组斑马鱼则未出现任何不正常现象(图 2B)。聚维酮碘浓度与斑马鱼死亡概率的关系方程为: $Y = 0.353 7X - 1.235$ ,  $R^2 = 0.974 4$ ,其中  $Y$  表示斑马鱼死亡概率, $X$  表示聚维酮碘浓度(mg/L), $R^2$  表示相关系数。由此计算得出聚维酮碘对斑马鱼的 96h-LD<sub>50</sub> 为 17.63 mg/L,安全浓度为 1.76 mg/L。此外,异育银鲫在含 70.00 ~ 78.00 mg/L 聚维酮碘的标准稀释水中也出现了鱼体反应迟钝、游动能力和呼吸能力减弱以及死亡等不正常现象,而且随着聚维酮碘浓度的增加,死亡率逐渐升高,对照组异育银鲫则未出现任何不正常现象(图 2C)。聚维酮碘浓度与异育银鲫死亡概率的关系方程为: $Y = 0.251 2X - 13.782$ ,  $R^2 = 0.982 9$ ,其中  $Y$  表示异育银鲫死亡概率, $X$  表示聚维酮碘浓度(mg/L), $R^2$  表示相关系数。由此计算得出聚维酮碘对异育银鲫的 96h-LD<sub>50</sub> 为 74.77 mg/L,安全浓度为 7.48 mg/L。

**2.5 聚维酮碘对养殖水体有害理化因子的影响**

**2.5.1 聚维酮碘对氨氮含量的影响** 随着聚维酮碘浓度的增加,养殖水中氨氮含量逐渐降低(图 3A)。当养殖水中加入终浓度分别为

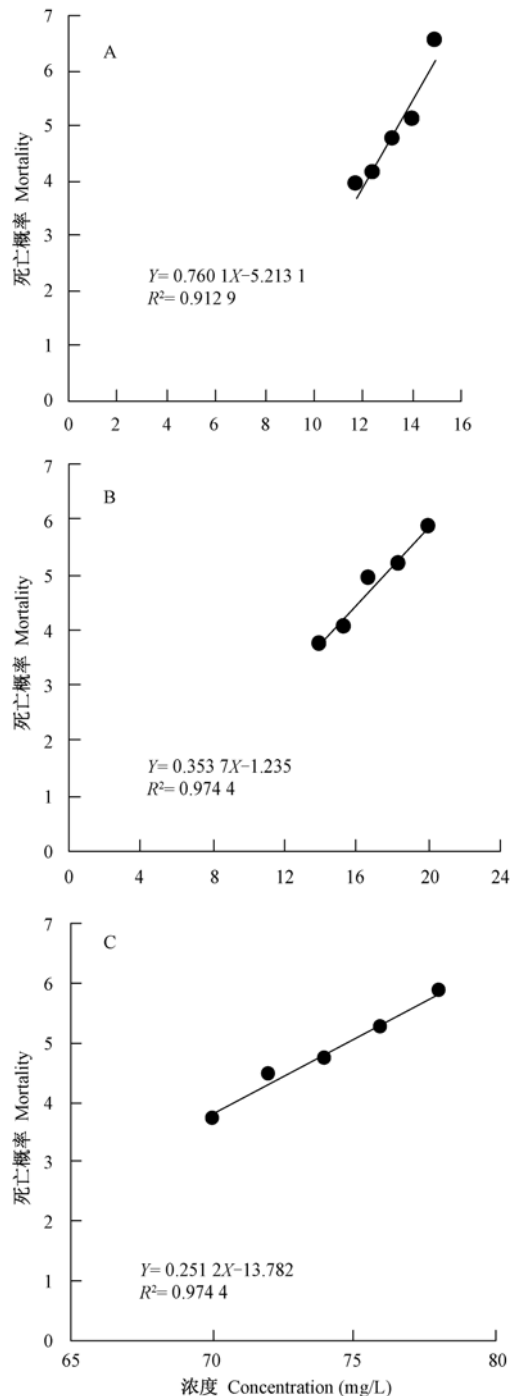


图 2 聚维酮碘浓度与大型蚤(A)、斑马鱼(B)、异育银鲫(C)死亡概率关系曲线

Fig. 2 The relationships between mortality of *Daphnia* sp. (A), *Brachydanio rerio* (B), *Carassius auratus gibelio* (C) and PVP-I concentration

0.2 mg/L、0.5 mg/L、0.8 mg/L、1.1 mg/L、1.4 mg/L 的聚维酮碘后 14 d, 对应各浓度组中的氨氮含量分别较不加聚维酮碘的对照组降低了 3.80% ( $P > 0.05$ )、10.37% ( $P < 0.05$ )、11.40% ( $P < 0.05$ )、12.78% ( $P < 0.05$ ) 和 18.31% ( $P < 0.05$ )。

**2.5.2 聚维酮碘对亚硝酸盐氮含量的影响**  
 随着聚维酮碘浓度的增加, 养殖水中亚硝酸盐含量逐渐降低(图 3B)。当养殖水中加入终浓度分别为 0.2 mg/L、0.5 mg/L、0.8 mg/L、1.1 mg/L、1.4 mg/L 的聚维酮碘后 14 d, 对应各浓度组中的亚硝酸盐含量分别较不加聚维酮碘的对照组降低了 2.78% ( $P > 0.05$ )、7.58% ( $P > 0.05$ )、10.73% ( $P < 0.05$ )、13.25% ( $P < 0.05$ ) 和 18.70% ( $P < 0.05$ )。

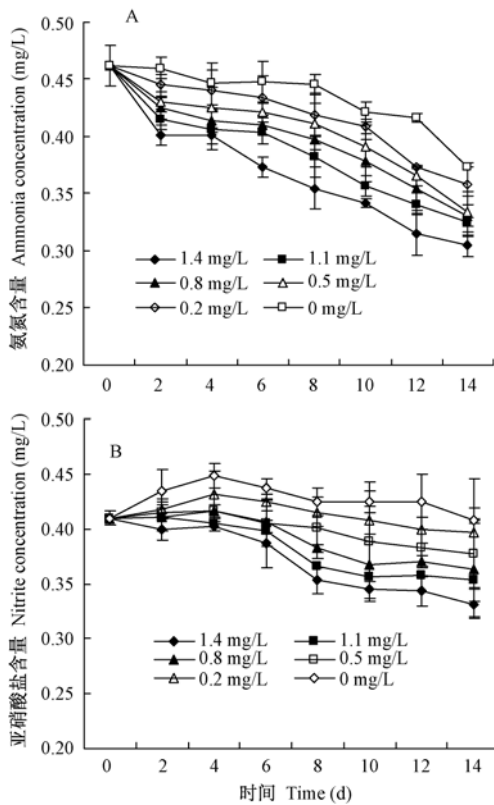


图 3 聚维酮碘对氨氮(A)、亚硝酸盐氮(B)含量的影响

Fig. 3 Influence of PVP-I on the content of ammonia (A) and nitrite (B)

### 3 讨论

小球藻对许多毒物都很敏感, 具有生长周期短, 易于分离培养和可以直接观察细胞水平上的中毒症状等优点, 因而是毒性研究常用的受试藻类(Kobraei et al. 1996)。目前, 国内关于水产消毒剂对小球藻生长及叶绿素的影响已有研究, 但结果报道不一。例如, 王秀英等(2009)实验结果表明, 生石灰抑制小球藻生长的 72h-IC<sub>50</sub> 为 9.79 mg/L, 漂白粉抑制小球藻生长的 72h-IC<sub>50</sub> 为 0.91 mg/L; 聂湘平等(2006)研究发现, 三氯异氰尿酸抑制小球藻生长的 96h-IC<sub>50</sub> 为 0.31 mg/L。然而, 从现有文献资料来看, 国内尚未见到聚维酮碘对小球藻抑制效果研究的报道。本实验结果表明, 6~14 mg/L 聚维酮碘对小球藻生长有促进作用, 对小球藻的 72h-IC<sub>50</sub> 大于 14 mg/L, 明显低于生石灰、漂白粉、三氯异氰尿酸对小球藻的毒性。这可能因为小球藻对碘有生物富集作用, 在其富碘的过程中碘可能作为叶绿素合成的辅基或激活因子, 从而导致叶绿素含量的增加(郑江 2007)。

在水产养殖中芽孢杆菌等益生菌常被用来控制水环境中氨氮、亚硝酸盐等有害物质含量, 调控养殖池微生物生态结构, 增强水产动物免疫功能, 预防病害, 降低发病率及死亡率, 促进水生动物生长发育、增重, 增加产量, 改善肉质, 净化水质, 延长换水间隔(程越国 2010)。例如, 解淀粉芽孢杆菌能够抑制致病性嗜水气单胞菌的生长(曹海鹏等 2011), 凝结芽孢杆菌对养殖动物的生长有一定的促进作用, 并能诱导养殖动物免疫力的增强(袁丰华等 2010)。众所周知, 聚维酮碘能够氧化细菌原浆蛋白活性基因, 并能与蛋白质的氨基结合而使其变性, 因而能够有效地杀死水体微生物。因此, 有必要开展聚维酮碘对水体中益生菌抑菌效果的研究。然而, 从现有文献资料来看, 国内极少有聚维酮碘对益生菌抑菌效果的报道。本实验结果表明, 聚维酮碘对芽孢杆菌的抑菌活性较差, 这与邱洪流等(2006)关于聚维酮碘对细菌芽孢杀灭作用很弱的观点相同。

大型蚤对许多药物和有毒物质敏感性比鱼虾高,而且具有易获得、易观察等优点,已被广泛应用于评价药物和有毒物质对水环境的影响(刘征涛等 1994)。例如,刘淇等(2007)研究了常用渔用消毒剂对大型蚤的急性毒性后指出,溴氯海因、二氯异氰尿酸、三氯异氰尿酸对大型蚤的 48h-LD<sub>50</sub>分别为 0.54 mg/L、0.57 mg/L 和 0.28 mg/L;黎艳霞等(1997)观察了溴氰菊酯对大型蚤的急性毒性后发现,溴氰菊酯对大型蚤的 24h-LD<sub>50</sub>为 0.385 mg/L。然而,国内鲜见聚维酮碘对大型蚤的急性毒性研究的报道。本实验结果表明,聚维酮碘对大型蚤的 48h-LD<sub>50</sub>相当于前人报道的溴氰菊酯(黎艳霞等 1997)、溴氯海因、二氯异氰尿酸、三氯异氰尿酸(刘淇等 2007)对大型蚤 LD<sub>50</sub>的 23~48 倍,表现出极高的安全性,其对斑马鱼和异育银鲫的急性毒性实验结果也进一步验证了其较高的安全性,结合聚维酮碘对大型蚤、斑马鱼和异育银鲫的安全浓度,建议聚维酮碘在异育银鲫养殖中的使用浓度不应高于 1.34 mg/L,以减少其对养殖水体中浮游动物的影响。根据《危险化学品鱼类急性毒性分级试验方法》(GB/T 21281-2007)(国家环境保护总局 2007),聚维酮碘为急性毒性 III 级;根据《化学农药环境安全评价试验准则》(国家环境保护局 1990)中农药对鱼类毒性等级划分标准,聚维酮碘为低毒类药物。这进一步佐证了以前等研究所证实的聚维酮碘对异育银鲫(黄辨非等 2005)、泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)(张俊杰等 2010)等鱼类安全性高的观点。

氨氮、亚硝酸盐氮等水体有害理化因子是影响水产动物存活的重要因素(李贵生等 2000)。例如,林忠婷等(2011)研究了非离子氨和亚硝酸氮对虾虎鱼(*Ctenogobius gymnauchen*)仔鱼的急性毒性后指出,非离子氨和亚硝酸氮对虾虎鱼仔鱼的 96h-LD<sub>50</sub>分别为 9.1 mg/L 和 12.405 g/L。因此,有必要研究水产消毒剂的使用能否造成这些有害理化因子含量的增加。迄今为止,仅稳定性二氧化氯被实验证实因其氧化作用能够降低养殖水体中氨氮

和亚硝酸盐含量(祝丹丹等 2010,鱼小民 2012)。本实验发现,在异育银鲫养殖水中加入聚维酮碘至终浓度 0.2~1.4 mg/L 的 14 d 内,养殖水中氨氮含量、亚硝酸盐氮含量也有所降低,可能与聚维酮碘在水中所释放出的游离碘的氧化作用有关(周燕等 2004)。

## 参 考 文 献

- Halling-Sørensen B, Nors-Nielsen S, Lanzky P F, et al. 1998. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment—A review. *Chemosphere*, 36(2): 357–393.
- Kobraei M E, White D S. 1996. Effects of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid on Kentucky algae: simultaneous laboratory and field toxicity testings. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 31(4): 571–580.
- Lanzky P F, Halting-Sørensen B. 1997. The toxic effect of the antibiotic metronidazole on aquatic organisms. *Chemosphere*, 35(11): 2553–2561.
- Satyanarayan S, Bejankiwar R S, Chaudhari P R, et al. 2004. Impact of some chlorinated pesticides on the haematology of the fish *Cyprinus carpio* and *Puntius ticto*. *Journal of Environmental Sciences*, 16(4): 631–634.
- Wollenberger L, Halling-Sørensen B, Kusk K O. 2000. Acute and chronic toxicity of veterinary antibiotics to *Daphnia magna*. *Chemosphere*, 40(7): 723–730.
- 曹海鹏, 何珊, 刘丽玲, 等. 2011. 鲟源病原性嗜水气单胞菌拮抗芽孢杆菌的鉴定及其生物学特性. *微生物学通报*, 38(9): 1377–1384.
- 程越国. 2010. 益生菌在水产养殖上的应用. *水产养殖*, (10): 191.
- 龚路军, 付国斌, 李赛城, 等. 2007. 水产用聚维酮碘的使用技术. *渔业致富指南*, (11): 51–52.
- 国家环境保护局. 1990. 化学农药环境安全评价试验准则. *农药科学与管理*, (2): 1–4.
- 国家环境保护总局. 2007. GB/T 21281-2007 危险化学品鱼类急性毒性分级试验方法. 北京: 中国环境科学出版社, 2.
- 黄辨非, 阮国良, 缪有玲. 2005. 2 种碘制剂对异育银鲫鱼苗的急性毒性试验. *长江大学学报: 自科版*, 2(11): 60–63.
- 黎艳霞, 杨俭美. 1997. 4 种杀虫药剂对大型蚤(*Daphnia magna*)的毒性和酶活性影响的比较. *北京大学学报: 自然科学版*, 33(2): 197–202.
- 李贵生, 何建国, 李桂峰, 等. 2000. 水体理化因子对斑节对虾生长影响的研究. *中山大学学报: 自然科学版*, 39(增

- 刊): 107 - 114.
- 李天保, 赵增元, 王勇强, 等. 1998. 聚乙烯吡咯烷酮碘对中国对虾的毒性试验. *海洋科学*, 21(6): 9 - 10.
- 李仪奎. 1991. *中药药理实验方法学*. 上海: 上海科学技术出版社, 286 - 292.
- 林忠婷, 李建军, 陈琳, 等. 2011. 非离子氨和亚硝酸氮对虎鱼仔鱼的急性毒性及安全浓度评价. *中国比较医学杂志*, 21(9): 45 - 48.
- 刘淇, 李鹏飞, 李健, 等. 2007. 常见渔用消毒剂对大型蚤和卤虫无节幼体的毒性. *水利渔业*, 27(2): 101 - 103.
- 刘庆坤, 姜玉声, 丛文虎, 等. 2012. 聚维酮碘对三疣梭子蟹大眼幼体及仔蟹的急性毒性研究. *水产科学*, 30(9): 563 - 567.
- 刘征涛, 周风帆, 于红霞, 等. 1994. 有机毒物对水蚤的急性毒性. *环境化学*, 13(3): 263 - 265.
- 吕豪, 梁峻, 龙强. 2003. 聚维酮碘对海湾扇贝等贝类幼虫的毒性试验研究. *水产科学*, 22(6): 8 - 11.
- 聂湘平, 王翔, 陈菊芳, 等. 2007. 三氯异氰尿酸与盐酸环丙沙星对蛋白核小球藻的毒性效应. *环境科学学报*, 27(10): 1694 - 1701.
- 农业部畜牧兽医局. 2003. 农业部发布《渔药临床试验技术规范》. *中国兽药杂志*, 37(1): 11 - 14.
- 邱洪流, 谢琴, 谢帆. 2006. 两种碘伏消毒液杀菌效果比较研究. *中国消毒学杂志*, 23(6): 555 - 556.
- 邵晴, 余晓斌. 2008. 好氧反硝化细菌的筛选及反硝化特性研究. *生物技术*, 18(3): 63 - 65.
- 沈阳环境监测中心站. 2010. HJ535-2009 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法. 北京: 中国环境科学出版社, 2 - 6.
- 王秀英, 周军辉. 2009. 水体中生石灰和漂白粉对小球藻生长抑制的研究. *水生态学杂志*, 2(2): 145 - 147.
- 谢凤君, 陈惠志, 赵幼一. 1992a. GB/T 13267-91 水质 物质对淡水鱼(斑马鱼)急性毒性测定方法. 北京: 中国标准出版社, 9 - 14.
- 谢凤君, 乔佩文, 向珺云, 等. 1992b. GB/T 13266-91 水质 物质对蚤类(大型蚤)急性毒性测定方法. 北京: 中国标准出版社, 1 - 4.
- 叶济宇. 1985. 关于叶绿素含量测定中的 Arnon 计算公式. *植物生理学通讯*, (6): 69 - 69.
- 鱼小民. 2012. 二氧化氯可降解亚硝酸盐和氨氮. *海洋与渔业*, (3): 60.
- 袁丰华, 林黑着, 李卓佳, 等. 2010. 凝结芽孢杆菌对尖吻鲈的生长、消化酶及非特异性免疫酶的影响. *上海海洋大学学报*, 19(6): 792 - 797.
- 张俊杰, 鄢庆彬, 李胜忠, 等. 2010. 聚维酮碘和二氧化氯对泥鳅的急性毒性试验. *水产科学*, 29(12): 729 - 731.
- 张梁, 何斌, 殷亮, 等. 2004. 三种碘伏对温和气单胞菌的杀灭效果及安全性评价. *河南水产*, (1): 26 - 28.
- 郑江. 2007. 蛋白核小球藻对碘的生物富集作用. *水利渔业*, 27(6): 52 - 54.
- 周红, 菅小东, 马馨, 等. 2008. GB/T 21805-2008 化学品藻类生长抑制试验. 北京: 中国标准出版社, 2 - 8.
- 周燕, 何效平. 2004. 高效杀菌剂——聚维酮碘. *职业卫生与病伤*, 19(2): 144 - 145.
- 祝丹丹, 苏喆, 康雅, 等. 2010. 二氧化氯预氧化处理微污染黄河水的中试研究. *给水排水*, 36(5): 28 - 31.