

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2016.02.001

纳米二氧化钛和铜对大型溞的联合毒性

李 轶¹, 殷亚远¹, WANG Chao², 朱小山³, 吴乾元³, 张文龙¹

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 香港高等教育科技学院, 香港特别行政区 999077;

3. 清华大学深圳研究生院, 广东 深圳 518055)

摘要:为进一步研究纳米二氧化钛(nTiO_2)与铜(Cu^{2+})的相互作用和生物效应,选取大型溞(*Daphnia magna*)为受试生物,研究 nTiO_2 与 Cu^{2+} 对*Daphnia magna*的联合毒性效应和*Daphnia magna*体内抗氧化系统的变化。结果表明, nTiO_2 与 Cu^{2+} 对*Daphnia magna*的72 h半致死浓度(LC_{50})和半抑制浓度(EC_{50})分别为22.742 mg/L、16.739 mg/L和11.635 $\mu\text{g/L}$ 、10.129 $\mu\text{g/L}$ 。当 nTiO_2 与 Cu^{2+} 共存时,其联合作用的72 h- LC_{50} 和72 h- EC_{50} 分别为12.721 mg/L、8.827 mg/L和12.405 $\mu\text{g/L}$ 、10.559 $\mu\text{g/L}$ 。 nTiO_2 与 Cu^{2+} 联合作用于*Daphnia magna*后,*Daphnia magna*体内超氧化物歧化酶(SOD)和还原型谷胱甘肽(GSH)活性表现为先诱导后抑制,脂质过氧化的产物丙二醛(MDA)含量逐渐升高。这表明,机体的抗氧化体系受到活性氧自由基(ROS)攻击已经崩溃,无法为*Daphnia magna*提供保护,氧化伤害是 nTiO_2 与 Cu^{2+} 联合毒性的关键原因。

关键词: 纳米二氧化钛;铜;大型溞;联合毒性效应;酶活性;体内抗氧化系统

中图分类号:X171.5

文献标志码:A

文章编号:1000-1980(2016)02-0095-06

Joint toxicity of titanium dioxide nanoparticles and copper on *Daphnia magna*

LI Yi¹, YIN Yayuan¹, WANG Chao², ZHU Xiaoshan³, WU Qianyan³, ZHANG Wenlong¹

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Faculty of Science and Technology, Technological and Higher Education Institute of Hong Kong, Hong Kong 999077, China;

3. Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: To understand the interaction of titanium dioxide nanoparticles (nTiO_2) and copper (Cu^{2+}) and their biological effects, using *Daphnia magna* as a test animal, we studied the joint toxicity effects of nTiO_2 and Cu^{2+} on *Daphnia magna* and its internal antioxidant system. The results show that the respective values of 72 h- LC_{50} and 72 h- EC_{50} of *Daphnia magna* exposed to nTiO_2 were 22.742 and 16.739 mg/L and the values of *Daphnia magna* exposed Cu^{2+} were 11.635 and 10.129 $\mu\text{g/L}$. When nTiO_2 and Cu^{2+} coexisted, the respective values of 72 h- LC_{50} and 72 h- EC_{50} of *Daphnia magna* exposed to nTiO_2 were 12.721 and 8.827 mg/L and the values of *Daphnia magna* exposed to Cu^{2+} were 12.405 and 10.559 $\mu\text{g/L}$. When *Daphnia magna* were exposed to both nTiO_2 and Cu^{2+} , the activity of superoxide dismutase (SOD) and reduced glutathione (GSH) was first induced and then inhibited, and the malondialdehyde (MDA) content produced during lipid peroxidation increased gradually. This indicated that the antioxidant system had been attacked by reactive oxygen species (ROS), and it could not provide protection for *Daphnia magna*, which was the key reason for the joint toxicity of Cu^{2+} and nTiO_2 .

Key words: nTiO_2 ; Cu; *Daphnia magna*; joint toxicity; enzyme activity; internal antioxidant system

收稿日期: 2015-09-30

基金项目: 国家自然科学基金(51322901, 51479066); 水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07506-002-2)

作者简介: 李轶(1975—), 男, 江苏盐城人, 教授, 博士, 主要从事污水处理与资源化、水环境治理与修复和水资源保护研究。E-mail: envly

@hhu.edu.cn

纳米二氧化钛(titanium dioxide nanopartilces, nTiO_2)是一种广泛应用于商业产品的人工纳米材料,比如化妆品、油漆、涂料和防晒霜等^[1]。 nTiO_2 的广泛应用,以及逐年增加的产量,使 nTiO_2 不可避免地进入到水环境中。近年来,在地表水中已经可以检测到 nTiO_2 (质量浓度为 $16\text{ }\mu\text{g/L}$)^[2-3]。美国10个具有代表性的污水处理厂的进水 nTiO_2 质量浓度为 $181\sim 1\,233\text{ }\mu\text{g/L}$ ^[4]。Federici等^[5]发现, nTiO_2 能产生活性氧(ROS),导致细胞损伤。当彩虹鳟鱼(*rainbow trout*)暴露于低浓度(0.1 mg/L 、 0.5 mg/L 和 1 mg/L)的 nTiO_2 时,鱼体内的抗氧化酶活性产生变化。 nTiO_2 进入水环境中会与环境中的污染物相互作用,从而会对污染物的毒性和迁移转化产生影响^[6-9]。Yang等^[6]研究发现 nTiO_2 具有很强的吸附能力,促进了重金属(如Cd、As)在生物体内的富集,对水生生物产生潜在的威胁。目前已经有研究表明,即使是低浓度的 nTiO_2 也会明显增强铜对大型溞(*Daphnia magna*, 简称为*D. magna*)的毒性,且会促进铜在大型溞体内的累积^[7]。但是,Rosenfeldt等^[8-9]发现 nTiO_2 会减轻铜对大型溞的毒性,这是由于 Cu^{2+} 与 nTiO_2 结合得很牢固,而且 nTiO_2 快速地团聚且沉降,降低Cu的生物有效性。以上研究存在着矛盾,并且更多地研究较高浓度的纳米材料对污染物毒性效应的影响,未考虑到环境中纳米颗粒的实际浓度和生物体内抗氧化系统的变化^[10-11]。为进一步探究 nTiO_2 对Cu毒性的影响,本文考察两者共存时对模式生物大型溞的联合毒性效应以及溞体内酶活性的变化。通过研究更深入地理解MNMs潜在的健康风险,为MNMs的环境风险管理提供参考。

1 材料与生物

1.1 试验材料及储备液

nTiO_2 白色粉末购自南京埃普瑞纳米材料有限公司,平均粒径 15 nm ,锐钛矿型,纯度大于 99.5% 。其余试剂均为国产优级纯或分析纯,纯度均高于 99.0% 。玻璃仪器在使用前均用 10% 浓硝酸浸泡 48 h ,并用去离子水冲洗干净,高温高压($121\text{ }^\circ\text{C}$ 、 15 min)灭菌后待用。

试验体系是曝气 3 d 的自来水,pH为 7.8 ,总有机碳(TOC)为 1.57 mg/L ,自来水中Ti、Cu、Cd和Pb的质量浓度分别为 0.60 ng/L 、 70 ng/L 、 9 ng/L (ICP-MS)。取 0.25 g nTiO_2 溶于 250 mL 曝气 3 d 的自来水中,超声 10 min 后静置 5 min ,反复 3 次,配成 1 g/L 的 nTiO_2 母液备用。

1.2 受试生物及其培养

模式生物大型溞,由清华大学深圳研究生院水环境安全实验室提供,并参照国家标准方法^[12]培养。培养温度 $23\text{ }^\circ\text{C}$,光暗周期 $14\text{ h}:10\text{ h}$ 。每天定时投喂斜生栅藻(*Scenedesmus obliquus*),藻的培养参照文献^[13]。

2 试验方法

2.1 nTiO_2 与 Cu^{2+} 的单独毒性试验

*D. magna*毒性试验方法参照国家标准方法^[12]。首先配制 $\text{nTiO}_2/\text{Cu}^{2+}$ 试验液:用曝气 3 d 的自来水逐级稀释 $\text{nTiO}_2/\text{Cu}^{2+}$ 母液,得到一系列不同浓度的试验液(nTiO_2 质量浓度分别为 0 、 0.5 mg/L 、 1 mg/L 、 5 mg/L 、 10 mg/L 、 15 mg/L ; Cu^{2+} 质量浓度分别为 0 、 $5\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $7.5\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $12.5\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $15\text{ }\mu\text{g/L}$)。每个浓度组设置 3 个平行样,每个试验平行组将 10 头 5 日龄*D. magna*放入盛有 50 mL 溶液的烧杯中,将装有溶液的烧杯置于摇床上培养^[12-14]。烧杯用封口膜封口避免溶液蒸发,同时在封口膜上开 $5\sim 6$ 个小孔以满足*D. magna*生长的需要。每 24 h 观察一次,并且为了更准确判断 nTiO_2 的毒性,连续观察 72 h ^[14]。试验结束后,计算 72 h-LC_{50} 和 72 h-EC_{50} 。

2.2 nTiO_2 与 Cu^{2+} 的联合毒性试验

考虑到实际环境中 nTiO_2 的质量浓度为 $10\sim 1\,000\text{ }\mu\text{g/L}$ ^[2-3, 6],并且参照之前 nTiO_2 与 Cu^{2+} 单独毒性试验得到的最大无观察效应浓度(NOEC),设置 nTiO_2 质量浓度为 0.1 mg/L , Cu^{2+} 质量浓度分别为 0 (对照)、 $5\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $7.5\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $10\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $12.5\text{ }\mu\text{g/L}$ 、 $15\text{ }\mu\text{g/L}$; Cu^{2+} 质量浓度为 $1\text{ }\mu\text{g/L}$, nTiO_2 质量浓度分别为 0 (对照)、 0.5 mg/L 、 1 mg/L 、 5 mg/L 、 10 mg/L 、 15 mg/L 。其他试验方法与单独毒性试验一致。

2.3 酶活性及蛋白含量的检测

72 h 试验结束后,取 50 头*D. magna*,用生理盐水冲洗干净,滤纸吸干,将溞体小心移入已称重的 1.5 mL 的离心管中,称重测得溞体的湿重,加入一定体积预冷匀浆液(0.01 mol/L 蔗糖, $0.000\,1\text{ mol/L}$ EDTA-2Na,

0.01 mol/L Tris-HCl, pH=7.4),得到质量体积浓度为1%的溞体匀浆液。然后迅速转移到玻璃匀浆器中匀浆。再以10000 r/min离心10 min取上清液待测。蛋白含量、超氧化物歧化酶(SOD)、还原型谷胱甘肽(GSH)酶活性和脂质过氧化物(LPO)的测定采用南京建成生物研究所试剂盒测定。

3 结果与讨论

3.1 nTiO₂ 与 Cu²⁺对 D. magna 的单独毒性

图1(a)表明低浓度(0.5 mg/L、1 mg/L)组中 D. magna 的活性未受到抑制,但是在高浓度(5 mg/L、10 mg/L、15 mg/L)组,nTiO₂ 明显抑制了 D. magna 的活动,甚至出现死亡。由于主要考察 nTiO₂ 在较低浓度时对 D. magna 的影响,本次试验各浓度抑制率和死亡率均低于50%,因此按照标准的 EPA Tsk 法^[15],可大致算得 nTiO₂ 对 D. magna 的72 h-LC₅₀和72 h-EC₅₀值的范围(表1)。图1(b)表明随着浓度增大,Cu²⁺对 D. magna 的活动抑制作用逐渐增强,严重地会出现死亡现象,呈现明显的剂量效应关系。按照标准的 EPA Probit 法^[15],可得到 Cu²⁺对 D. magna 的72 h-LC₅₀和72 h-EC₅₀值(表1),与已有的研究保持一致^[16-17]。

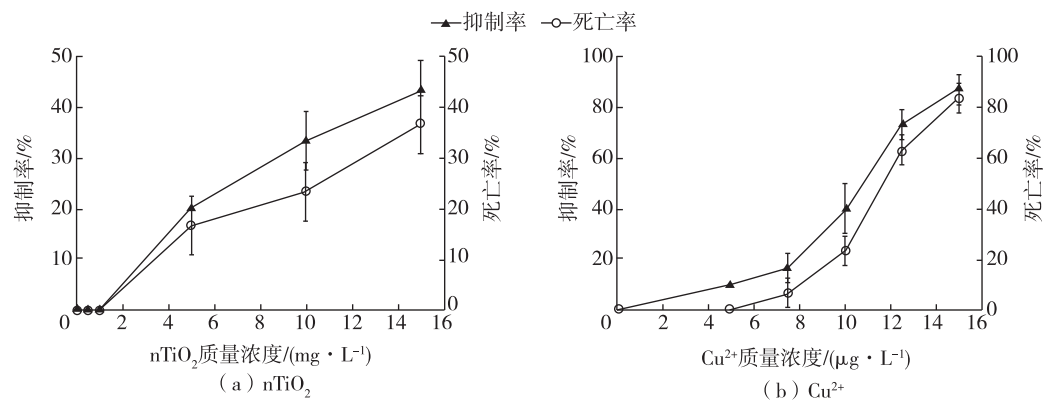


图1 nTiO₂ 与 Cu²⁺分别对 D. magna 的72 h 活动抑制和致死效应

Fig. 1 Separate effect of nTiO₂ and Cu²⁺ on 72 h immobilization or mortality of D. magna

3.2 nTiO₂ 与 Cu²⁺对 D. magna 的联合毒性效应

联合毒性试验中 D. magna 的72 h-LC₅₀和72 h-EC₅₀值见表1。图2(a)表明当 Cu²⁺的质量浓度为1 μg/L 时,nTiO₂ 的毒性显著增强(p<0.05);图2(b)表明当 nTiO₂ 质量浓度在0.1 mg/L 时,Cu²⁺ 在较低浓度(5 μg/L、7.5 μg/L、10 μg/L)时,毒性有所增强,但在高浓度(12.5 μg/L、15 μg/L)时,毒性却降低了(p<0.05)。这可能与纳米材料和污染物的相互作用有关。nTiO₂ 能够吸附大量的重金属离子,从而降低溶液中的自由金属离子,如果 nTiO₂ 未进入生物体内,便会导致毒性降低;当吸附有金属离子的 nTiO₂ 进入生物体内,那么金属离子的累积和毒性就会改变。

表1 D. magna 的72 h-EC₅₀和72 h-LC₅₀值
Table 1 72 h-EC₅₀和72 h-LC₅₀ values of D. magna

试验组	72 h-EC ₅₀ / (mg · L ⁻¹)	95% 置信区间	72 h-LC ₅₀ / (mg · L ⁻¹)	95% 置信区间
nTiO ₂	16.739	11.540 ~ 171.204	22.742	9.502 ~ 585.773
Cu ²⁺	0.010129	10.154 ~ 13.502	0.011635	8.342 ~ 12.357
nTiO ₂ +Cu ²⁺	0.010559	10.486 ~ 16.618	0.012405	8.381 ~ 14.237
Cu ²⁺ +nTiO ₂	8.827	6.528 ~ 74.727	12.721	4.050 ~ 50.031

注:nTiO₂+Cu²⁺:nTiO₂ 质量浓度为0.1 mg/L,Cu²⁺ 的质量浓度分别为0(对照),5 μg/L、7.5 μg/L、10 μg/L、12.5 μg/L、15 μg/L;Cu²⁺+nTiO₂: Cu²⁺ 的质量浓度为1 μg/L,nTiO₂ 质量浓度分别为0(对照),0.5 mg/L、1 mg/L、5 mg/L、10 mg/L、15 mg/L。

3.3 D. magna 体内 SOD 酶活性的变化

生物体内 SOD 等酶类抗氧化系统能保护细胞免受活性氧自由基(ROS)的损伤,在抗氧化平衡中起着至关重要的作用^[18]。图3(a)表明,随着 nTiO₂ 浓度的增加,SOD 活性缓慢升高,然后下降。当1 μg/L Cu²⁺和不同浓度 nTiO₂ 共存时,SOD 活性迅速升高,然后下降(p<0.05)。图3(b)表明,随着 Cu²⁺浓度的增加,SOD 活性迅速升高,然后下降。当0.1 mg/LnTiO₂ 和不同浓度 Cu²⁺共存时,SOD 活性变化趋势与 Cu²⁺单独作用时

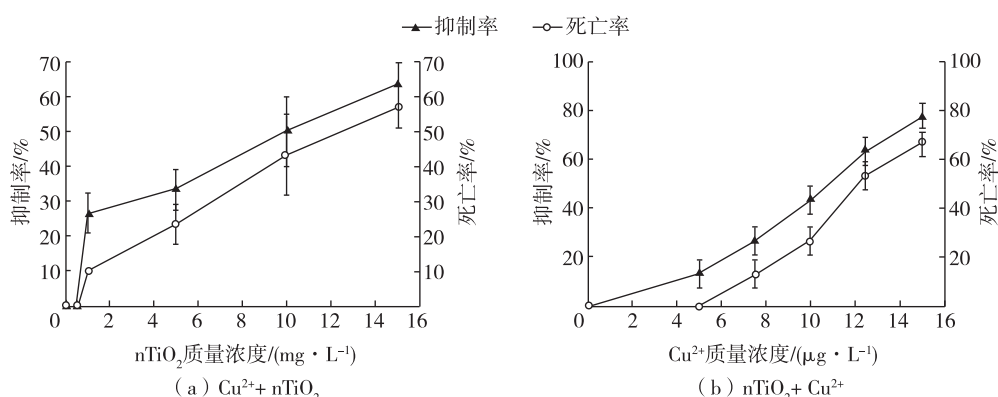


图2 nTiO_2 和 Cu^{2+} 混合后对 $D. magna$ 的 72 h 活动抑制和致死效应

Fig. 2 Joint effect of nTiO_2 and Cu^{2+} on 72 h immobilization or mortality of $D. magna$

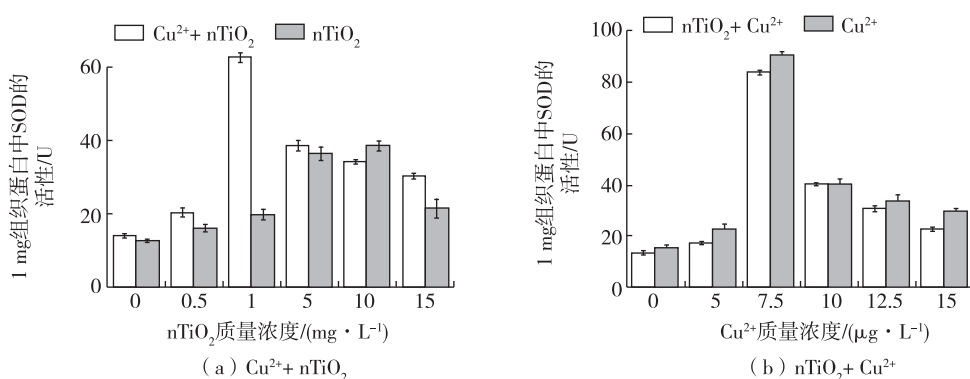


图3 nTiO_2 和 Cu^{2+} 对 $D. magna$ SOD 的影响

Fig. 3 Effect of nTiO_2 and Cu^{2+} on SOD activity of $D. magna$

类似($p < 0.05$)。这可能是 nTiO_2 和 Cu^{2+} 相互作用后,迫使机体产生超氧自由基($\text{O}_2^- \cdot$)等活性氧物质, SOD 活性增强去除 $\text{O}_2^- \cdot$,随着继续增加的 ROS 对 SOD 酶蛋白的攻击,最终使 SOD 活性随之降低^[19]。

3.4 $D. magna$ 体内 MDA 含量变化

氧化伤害表现为氧自由基攻击生物膜,引发脂质过氧化,而 MDA 是这一过程的产物,因而 MDA 可以反映机体内脂质过氧化的程度^[20]。图 4(a)表明,随着 nTiO_2 浓度的增加,MDA 含量逐渐升高。当 $1 \mu\text{g/L}$ Cu^{2+} 和不同浓度 nTiO_2 共存时,1 mg/L 、5 mg/L 、10 mg/L 、15 mg/L nTiO_2 浓度组的酶活性均显著高于对照组,而且 Cu^{2+} 和不同浓度 nTiO_2 共存时,会加重 nTiO_2 对 $D. magna$ 的脂质过氧化伤害($p < 0.05$)。图 4(b)表明,随着 Cu^{2+} 浓度的增加,MDA 含量逐渐升高。当 0.1 mg/L nTiO_2 和不同浓度 Cu^{2+} 共存时,MDA 含量变化趋势与 Cu^{2+} 单独作用时类似。

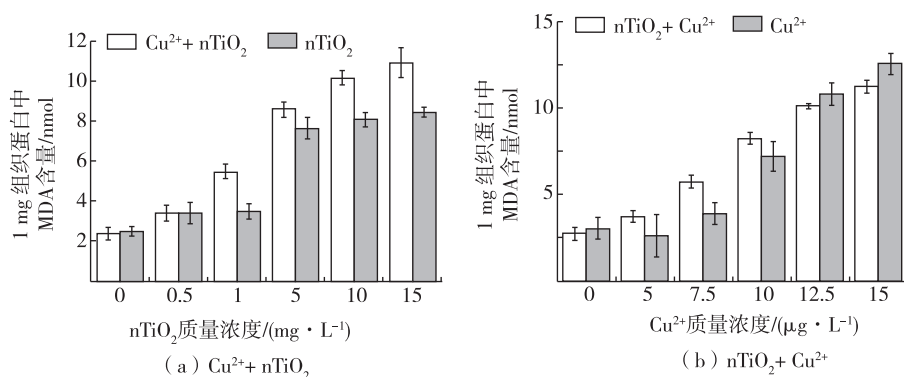


图4 nTiO_2 和 Cu^{2+} 对 $D. magna$ MDA 的影响

Fig. 4 Effect of nTiO_2 and Cu^{2+} on MDA content of $D. magna$

3.5 *D. magna* 体内 GSH 含量的变化

GSH 能够清除 *D. magna* 体内的活性氧,还可以在谷胱甘肽硫转移酶的催化下与污染物结合,降低毒性^[21]。图 5(a)表明,随着 nTiO₂ 浓度的增加,GSH 含量升高,然后下降。当 1 μg/L Cu²⁺ 和不同浓度 nTiO₂ 共存时,GSH 含量迅速升高,然后下降。0.5 mg/L、1 mg/L、5 mg/L、10 mg/L、15 mg/L nTiO₂ 浓度组的 GSH 含量均显著高于对照组,当 nTiO₂ 浓度大于 0.5 mg/L 后,*D. magna* 体内 GSH 含量就开始下降($p < 0.05$),这表明,Cu²⁺ 和不同浓度 nTiO₂ 共存时,会加重 nTiO₂ 对 *D. magna* 的氧化伤害。图 5(b)表明,随着 Cu²⁺ 浓度的增加,GSH 含量逐渐升高。7.5 μg/L、10 μg/L、12.5 μg/L Cu²⁺ 浓度组的 GSH 含量均显著高于对照组,当 Cu²⁺ 质量浓度大于 7.5 μg/L 后,GSH 含量下降;当 0.1 mg/L nTiO₂ 和不同浓度 Cu²⁺ 共存时,GSH 含量变化趋势与 Cu²⁺ 单独作用时类似($p < 0.05$)。

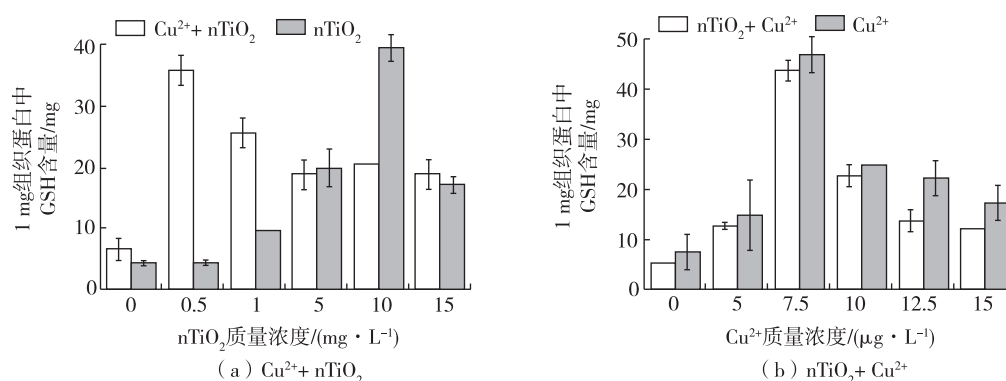


图 5 nTiO₂ 和 Cu²⁺ 对 *D. magna* GSH 的影响

Fig. 5 Effect of nTiO₂ and Cu²⁺ on GSH content of *D. magna*

4 结 论

D. magna 暴露于 nTiO₂ 或 Cu²⁺ 溶液中,SOD 和 GSH 的活性开始逐渐增加,随后逐渐降低;MDA 的含量明显增加。当 *D. magna* 暴露于 nTiO₂ 和 Cu²⁺ 混合溶液中,*D. magna* 体内酶活性的变化趋势与上述现象类似,但可以看出 nTiO₂ 和 Cu²⁺ 相互作用后对 *D. magna* 体内酶活性的影响比 nTiO₂ 和 Cu²⁺ 单独作用时更大。nTiO₂ 可能导致重金属 Cu 毒性的增强,也有可能起到毒性减弱的作用。nTiO₂ 和 Cu²⁺ 相互作用后可能通过产生 ROS 攻击 *D. magna* 引起氧化伤害的途径,引发毒性。

参考文献:

- [1] CHEN X, MAO S S. Titanium dioxide nanomaterials: synthesis, properties, modifications, and applications [J]. Chemical Review, 2007, 107: 2891-2959.
- [2] KAGI R, ULRICH A, SINNET B. Synthetic TiO₂ nanoparticle emission from exterior facades into the aquatic environment [J]. Environmental Pollution, 2008, 156(2): 233-239.
- [3] TAN Cheng, FAN Wenhong, WANG Wenxiong. Role of titanium dioxide nanoparticles in the elevated uptake and retention of cadmium and zinc in *Daphnia magna* [J]. Environmental Science and Technology, 2011, 46(1): 469-476.
- [4] KISER M A, WESTERHOFF P, BENN T. Titanium nanomaterial removal and release from wastewater treatment plants [J]. Environmental Science and Technology, 2009, 43(17): 6757-6763.
- [5] FEDERICI G, SHAW B J, HANDY R D. Toxicity of titanium dioxide nanoparticles to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Gill injury, oxidative stress, and other physiological effects [J]. Aquatic Toxicology, 2007, 84(4): 415-430.
- [6] YANG Weiwan, WANG Ying, HUANG Bin, et al. TiO₂ Nanoparticles Act As a Carrier of Cd Bioaccumulation in the Ciliate *Tetrahymena thermophila* [J]. Environmental Science and Technology, 2014, 48(13): 7568-7575.
- [7] FAN Wenhong, CUI minming, LIU Hong, et al. Nano-TiO₂ enhances the toxicity of copper in natural water to *Daphnia magna* [J]. Environmental Pollution, 2011, 159(3): 729-734.
- [8] ROSENFELDT R R, SEITZ F, SCHULZ R, et al. Heavy metal uptake and toxicity in the presence of titanium dioxide nanoparticles: a factorial approach using *daphnia magna* [J]. Environmental Science and Technology, 2014, 48: 6965-6972.

- [9] ROSENFELDT R R, SEITZ F, SENN L. Nanosized titanium dioxide reduces copper toxicity: the role of organic material and the crystalline phase [J]. *Environmental Science and Technology*, 2015, 49(3): 1815-1822.
- [10] KLAPER R, CRAGO J, BARR J. Toxicity biomarker expression in daphnids exposed to manufactured nanoparticles: changes in toxicity with functionalization [J]. *Environmental Pollution*, 2009, 157(4): 1152-1156.
- [11] GRIFFITT R J, LUO J, GAO J. Effects of particle composition and species on toxicity of metallic nanomaterials in aquatic organisms [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2008, 27(9): 1972-1978.
- [12] 国家环境保护局. GB/T 13266—1991.水质 物质对蚤类(大型蚤)急性毒性测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [13] 华汝成. 单细胞藻类培养与利用 [M]. 北京: 农业出版社, 1987.
- [14] ZHU X, CHANG Y, CHEN Y. Toxicity and bioaccumulation of TiO_2 nanoparticle aggregates in *Daphnia magna* [J]. *Chemosphere*, 2010, 78(3): 209-215.
- [15] 朱小山. 几种人工纳米材料的生态毒理学研究 [D]. 天津: 南开大学, 2007.
- [16] KIM K T, KLAINE S J, LIN S J, et al. Acute toxicity of a mixture of copper and single-walled carbon nanotubes to *Daphnia magna* [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2010, 29(1): 122-126.
- [17] TAO X J, HE Y L, FORTNER J D, et al. Effects of aqueous stable fullerene nanocrystal (nC_{60}) on copper (trace necessary nutrient metal): Enhanced toxicity and accumulation of copper in *Daphnia magna* [J]. *Chemosphere*, 2013, 92(9): 1245-1252.
- [18] GERACITANO L, MONSERRAT J M, BIANCHINI A. Physiological and antioxidant enzyme responses to acute and chronic exposure of *Laeonereis acuta* (Polychaeta, Nereididae) to copper [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 277(2): 145-156.
- [19] GAETKE L M, CHOW C K. Copper toxicity, oxidative stress, and antioxidant nutrients [J]. *Toxicology*, 2003, 189: 147-163.
- [20] 罗义. 氯酚类和四溴双酚-A 诱导鲫鱼活性氧产生及分子致毒机制的研究 [D]. 南京: 南京大学, 2006.
- [21] 王震宇, 赵建, 李娜, 等. 人工纳米颗粒对水生生物的毒性效应及其机制研究进展 [J]. *环境科学*, 2010 (6): 1409-1418. (WANG Zhenyu, ZHAO Jian, LI Na, et al. Review of ecotoxicity and mechanism of engineered nanoparticles to aquatic organisms [J]. *Environmental Science*, 2010 (6): 1409-1418. (in Chinese))

· 简讯 ·

第十四届中国水论坛将在长春市召开

为更好地研讨和解决中国面临的水问题,在国内众多专家的支持和努力下,中国水论坛已经成功举办了十三届学术研讨会。由中国自然资源学会水资源专业委员会、中国地理学会水文地理专业委员会、中国水利学会水资源专业委员会等主办的第十四届中国水论坛将于2016年8月25—27日在吉林省长春市召开。

第十四届中国水论坛将以“面向未来的水安全与可持续发展”为主题,针对国家水安全战略需求以及国际水科学前沿问题开展广泛、深入研讨,尽力搭建好2016年度水科学问题学术交流平台,为我国经济社会可持续发展和生态文明建设的水安全保障提供智力支撑。论坛主要议题:变化环境下水循环演变与水资源配置、水文气象预测及其应用、江河湖库湿地水系的水量-水质-水生态联合调控、地下水管理与污染修复、农业水资源高效利用技术与模式、洪涝干旱对水系统的影响及适应性、水-能源-粮食-生态耦合机制与调控、城市水管理理论方法与技术、国际河流水资源开发与保护、水资源风险管理与安全保障。

(本刊编辑部供稿)