

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897-20140414003

刘涛, 邓红梅, 王耀龙, 等. 硝酸铊对浮萍 (*Lemna gibba* L.) 的生长抑制及其氧自由基损伤作用[J]. 生态毒理学报, 2014, 9(6): 1112-1117
Liu T, Deng H M, Wang Y L, et al. Growth inhibition of thallium(I) -nitrate on duckweed (*Lemna gibba* L.) with relation to its oxidative stress [J].
Asian Journal of Ecotoxicology, 2014, 9(6): 1112-1117 (in Chinese)

硝酸铊对浮萍 (*Lemna gibba* L.) 的生长抑制及其氧自由基损伤作用

刘涛¹, 邓红梅^{2,*}, 王耀龙^{2,3}, 陈永亨², 陈敏婵², 巫贵明², 曾冬媚², 杜建莹²,
顾颖诗², 许旭超²

1. 广州大学土木工程学院, 广州 510006
2. 广州大学环境科学与工程学院, 广州 510006
3. 华南师范大学化学与环境学院, 广州 510006

收稿日期: 2014-04-14 录用日期: 2014-07-25

摘要: 为了探讨硝酸铊 (Tl(I) -nitrate) 对浮萍 (*Lemna gibba* L.) 的生长抑制作用及其可能的氧化损伤机制, 设置了 Tl(I) -nitrate 的 8 个处理组 (0.005、0.01、0.02、0.04、0.08、0.1、0.5 和 1.0 mg·L⁻¹) 和对照组 (0.0 mg·L⁻¹), 进行 96 h 急性毒性实验, 测定 96 h 内超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性及丙二醛含量。结果表明: 96 h 暴露时间下, 浮萍生长受抑制程度与 Tl(I) 浓度之间呈正相关, Tl(I) -nitrate 对浮萍的 96 h EC₅₀ 为 0.076 mg·L⁻¹, NOEC 为 0.01 mg·L⁻¹。CAT 活性随着 Tl(I) -nitrate 浓度升高逐渐降低, 在 0.5 和 1 mg·L⁻¹ 时, 有极显著差异 (p < 0.01) 产生, SOD 活性在 0.1 mg·L⁻¹ 时显著升高 (> 46%), POD 活性和 MDA 含量在 Tl(I) 浓度 0.5 mg·L⁻¹ 时明显上升。当 Tl(I) -nitrate 胁迫超出浮萍抗氧化酶系统清除活性氧的能力时, 活性氧积累导致浮萍受到不可逆转的氧化损伤。Tl(I) -nitrate 对浮萍生长产生明显的抑制作用

关键词: Tl(I); 浮萍; 抗氧化酶; 丙二醛

文章编号: 1673-5897(2014)6-1112-06 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Growth Inhibition of Thallium(I) -nitrate on Duckweed (*Lemna gibba* L.) with Relation to Its Oxidative Stress

Liu Tao¹, Deng Hongmei^{2,*}, Wang Yaolong^{2,3}, Chen Yongheng², Chen Minchan², Wu Guiming²,
Zeng Dongmei², Du Jianying², Gu Yingshi², Xu Xuchao²

1. School of Civil Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China
2. School of Environmental Science and Engineering, Guangzhou 510006, China
3. School of Chemistry and Environmental Science, South China Normal University, Guangzhou 510063, China

Received 14 April 2014 **accepted** 25 July 2014

Abstract: To evaluate the growth inhibition of thallium(I) -nitrate on duckweed (*Lemna gibba* L.) with relation to its possible oxidative damage mechanism, nine Tl(I) -nitrate concentration levels (0, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.1, 0.5, 1.0 mg·L⁻¹) were set for 96 hours' acute toxicity test. The activities of SOD, POD,

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 41170399); 国家级大学生创新训练项目 (No. 201211078017)

作者简介: 刘涛 (1974-) 男, 硕士, 主要研究方向为水污染控制; E-mail: 412275842@qq.com

* 通讯作者 (corresponding author) E-mail: denghongmei51@126.com

CAT and MDA were measured. Results showed that the growth inhibition of *L. gibba* was positively correlated with the concentrations of Tl(I) -nitrate, and the 96 h EC_{50} and NOEC of were $0.076 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ and $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectively. As Tl(I) -nitrate concentration increased, CAT activities in *L. gibba* gradually decreased, the statistically significant differences ($p < 0.01$) were observed at the concentrations of 0.5 and $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, SOD activity increased significantly (the increasement ratio $> 46\%$) at $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. While the POD activities and the MDA contents significantly increased at $0.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, compared with the control. With Tl(I) -nitrate concentration increasing, antioxidant enzymes were unable to eliminate the increased concentration of reactive oxygen species (ROS), which resulted in irreversible oxidative damage. Tl(I) -nitrate could obviously inhibit the growth of *L. gibba*.

Keywords: Tl; *Lemna gibba* L.; antioxidant enzymes; Malondialdehyde

铊(Tl)是一种有毒重金属,其对哺乳类动物的急性毒性高于Hg、Pb、Cu等元素^[1]。Tl及其化合物已被列入水体优先控制污染物黑名单和我国地表水环境质量标准(GB3838-2002)的监测指标体系^[2]。Tl在环境中有两种价态,一价Tl(I)和三价Tl(III)^[3]。虽然Tl(III)对动植物的毒害作用是Tl(I)的几千倍^[4],但Tl(I)较Tl(III)更稳定,且能形成更稳定的化合物,因此Tl(I)广泛存在于环境中^[5]。由于Tl(I) (1.49 \AA)与K(I) (1.33 \AA)离子半径相近,其毒性主要表现于动植物的无差别吸收^[6]。近年来,由于含Tl资源的开发及利用,使得环境中Tl的浓度不断增加。特别是通过矿山风化淋滤、工业废水排放、大气沉降及土壤冲刷等进入水体的Tl不断增加,对水生生态环境带来潜在的影响,并通过食物链而影响人体健康^[7]。

目前Tl对水生生物毒性效应的研究主要集中在水生动物以及藻类上^[5,8-9]。现已开展的研究指出,Tl对大西洋鲑鱼,初始致死浓度约为 $30 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[10],对于淡水藻 *Chamydomonas reinhardi*, Tl的半致死剂量为 $3.06 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[11],Tl对大型蚤 48 h LC_{50} 为 $1.66 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[8]。而水生植物作为水生生态系统结构的重要组成部分和主要的初级生产者,对于保持水生生态系统的完整性不可或缺。因此开展Tl对水生植物的毒性试验,补充水生植物的毒性试验数据很有必要。浮萍(*Lemna gibba* L.)为浮萍科水生维管束植物,因其分布广泛、容易获得、繁殖速度快等优点已经被国内外很多学者应用水生生态毒理学的研究。本实验以 *L. gibba* L. 作为实验生物,研究硝酸铊对其毒性,为Tl的水生态风险评估及相关水质标准的制定提供参考。

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 仪器与试剂

仪器: 双光束紫外-可见分光光度计(U-2910

型,Hitachi公司,日本),台式高速冷冻离心机(TL-18M型,上海市离心机械研究所,中国),电子分析天平(BT125D型,Sartorius公司,德国)。

试剂: 硝酸铊(Tl(I) -nitrate)为优级纯(Acros, Belgium),其它试剂为国产分析纯。

1.2 实验材料

浮萍(*Lemna gibba* L.)由中国科学院广州地球化学研究所提供,将浮萍分别用10%的NaClO和0.1% HgCl₂处理2 min除菌,再用无菌水冲洗后用Swedish Standard medium(SSM)培养液培养。然后用1%蔗糖和牛肉膏培养液分别进行真菌和细菌的无菌检验。若培养液2 d出现浑浊,则重复除菌。除菌成功后,取无菌浮萍放入装有灭菌SSM培养液^[12]的500 mL锥形瓶中,在4 000 lx多波段培养箱, $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 温度下,光暗周期为12 h: 12h,对浮萍进行适应性和扩大培养。

1.3 铊对浮萍生长的影响

按照经济合作与发展组织(OECD)化学品测试准则中的浮萍急性毒性测试法^[12]进行,在预实验的基础上设置8个Tl(I) -nitrate浓度梯度,即0(对照)、0.005、0.01、0.02、0.04、0.08、0.1、0.5和 $1.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。试验在500 mL锥形瓶中进行,培养液及锥形瓶均进行高温湿热灭菌。每个浓度设3个重复,取扩大培养后叶片完好、大小相近的7个3叶无菌浮萍随机放入装有灭菌SSM培养液^[12]的500 mL锥形瓶中。分别在24、48、72和96 h记录浮萍的叶子数,96 h后,分别测定浮萍的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)的活性以及丙二醛(MDA)含量。

1.4 指标测定方法

SOD活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)法^[13], POD活性的测定采用愈创木酚法^[13],CAT活性的测

定采用分光光度法^[14],MDA 含量的测定采用三氯乙酸-巴比妥酸法^[13]

1.5 数据处理

数据以平均值 ± 标准差表示,采用 SPSS 17.0 统计分析软件,在 p = 0.05 的置信水平对 SOD、POD、CAT 活性及 MDA 含量的变化情况进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),并用 Origin 8.0 软件绘图(在以下各柱形图中,*,**分别表示:与对照组相比,p < 0.05、p < 0.01)。

2 结果(Results)

2.1 Tl(I)对浮萍生长的影响

Tl(I)对浮萍96h急性毒性实验的剂量-反应关系见图1。由图1可以看出,不同浓度的Tl(I)处理组在96h的暴露时间后,浮萍的生长受到不同程度的抑制,且抑制程度与Tl(I)浓度呈正相关。

Tl(I)对浮萍的96h急性毒性实验结果如表1所示,采用概率单位-浓度对数法可以得出Tl(I)-nitrate对浮萍的96h-EC₅₀为0.076 mg·L⁻¹。通过方差分析,与空白试验组没有显著性差异的最高浓度可以认为是NOEC值,可以得出Tl(I)-nitrate对浮萍NOEC值为0.01 mg·L⁻¹。

2.2 Tl(I)对浮萍SOD活性的影响

96h后,浮萍SOD活性的变化如图2所示,从图中可以看出,Tl(I)浓度超过0.1 mg·L⁻¹的各处理组,浮萍的SOD活性有大幅度的增加,分别比对照增加了50.57%、78.79%和46.23%,与对照相比,存

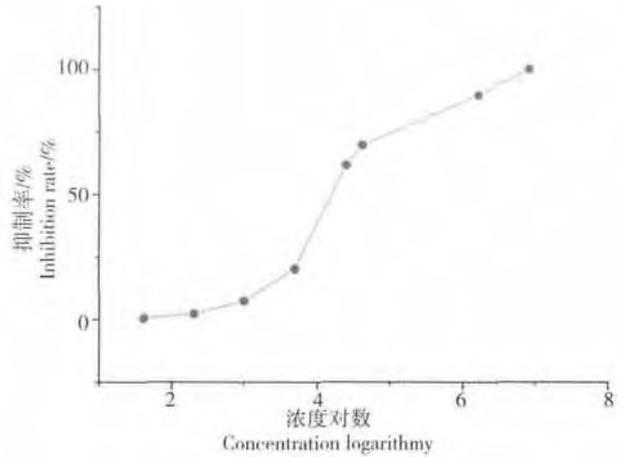


图1 Tl(I)对浮萍的96h剂量-反应关系

Fig. 1 96 h dose-response relationship of Tl(I) to L. gibba

在显著差异。试验结果表明:当Tl(I)浓度超过0.1 mg·L⁻¹时,对浮萍SOD活性有显著的激活作用,其意义具有对外界不良环境的指示作用。

2.3 Tl(I)对浮萍POD活性的影响

Tl(I)对浮萍POD活性的影响结果如图3所示,从图中可以看出,当Tl(I)浓度在0.5 mg·L⁻¹时,POD活性显著增加,当Tl(I)浓度在1 mg·L⁻¹以上时,POD活性开始降低。试验结果表明:在Tl(I)浓度为1.0 mg·L⁻¹时,对浮萍胁迫超过了自身抗氧化调节能力,导致其活性下降,表明高浓度Tl(I)对浮萍产生了不可修复的伤害,POD活性降低通常是植物受到严重过氧化损伤的标志。

表1 硝酸铊对浮萍96h的EC₅₀及NOEC

Table 1 96 h-EC₅₀ values and NOEC of Tl(I)-nitrate to L. gibba

浓度组/(μg·L ⁻¹) Concentration group/(μg·L ⁻¹)	5	10	20	40	80	100	500	1 000
对数浓度 Concentration logarithm	1.61	2.30	3.0	3.69	4.38	4.61	6.21	6.91
抑制率/% Inhibition rate/%	0.5	2.3	7.5	20.3	61.7	69.7	89.7	100
概率单位 Probit	2.42	3	3.56	4.17	5.3	5.52	6.26	7.26
回归方程 Regression equation	y = 2.0851x + 0.9828				r ² = 0.9782			
96 h-EC ₅₀ /(μg·L ⁻¹)					76			
95% 置信区间/(μg·L ⁻¹) 95% confidence interval/(μg·L ⁻¹)					49 ~ 116			
不可见效应浓度/(μg·L ⁻¹) NOEC/(μg·L ⁻¹)					10			

2.4 TI(I) 对 CAT 活性的影响

TI(I) 对浮萍 CAT 活性的影响结果如图 4 所示, 从图中可以看出 除了 0.005 mg·L⁻¹ 与对照组相比不存在明显差异 其余各浓度组均与对照存在显著差

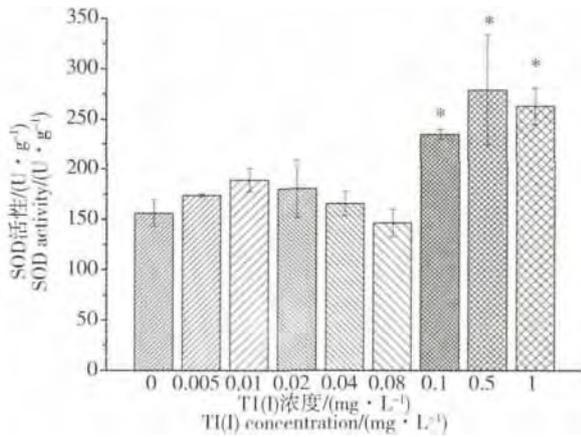


图 2 TI(I) 暴露对浮萍 SOD 活性的影响

Fig. 2 Effects of TI(I) on SOD activities of *L. gibba*

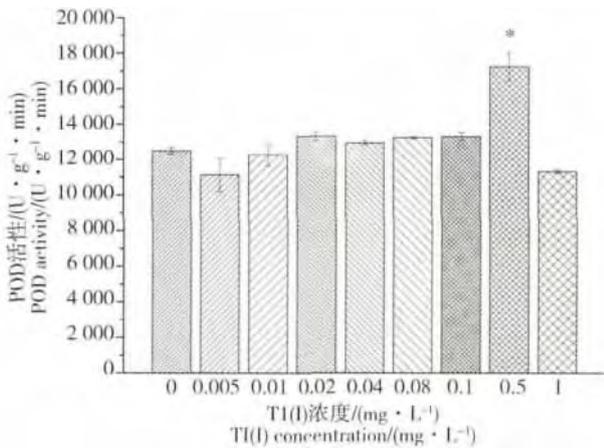


图 3 TI(I) 暴露对浮萍 POD 活性的影响

Fig. 3 Effects of TI(I) on POD activities of *L. gibba*

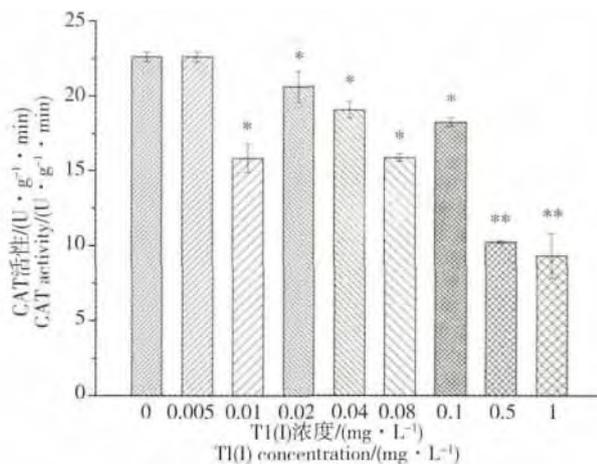


图 4 TI(I) 暴露对浮萍 CAT 活性的影响

Fig. 4 Effects of TI(I) on CAT activities of *L. gibba*

异 并且呈显著下降趋势 其中 TI(I) 浓度 0.5、1 mg·L⁻¹ 处理组 ,CAT 活性与其它浓度组相比 出现极显著下降 ,CAT 活性的分别下降了 55%、59%。

2.5 TI(I) MDA 含量的影响

TI(I) 对丙二醛(MDA)含量的影响如图 5 所示 从图中可以看出 ,TI(I) 浓度为 0.5 mg·L⁻¹、1 mg·L⁻¹ 处理组与对照相比 ,均存在显著差异。试验结果表明在 TI(I) 浓度超过 0.5mg·L⁻¹ 暴露下 ,其 MDA 含量与对照相比显著升高 ,说明 TI(I) 在 0.5 mg·L⁻¹ 以上浓度水平时 ,对浮萍细胞膜产生了明显的损伤。

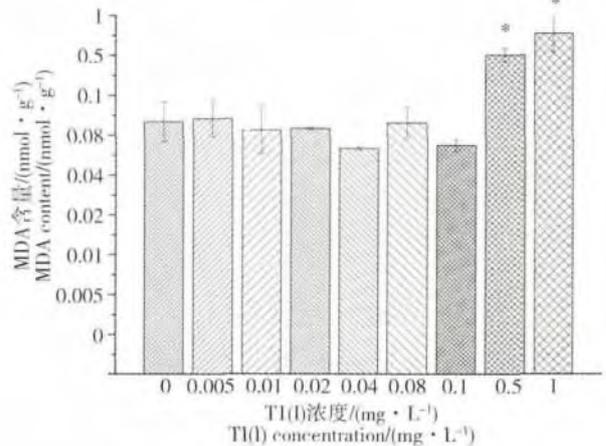


图 5 TI(I) 暴露对浮萍 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effects of TI(I) on MDA of *L. gibba*

3 讨论 (Discussion)

植物体细胞在正常代谢过程中会产生活性氧自由基 (ROS) ,ROS 会对植物细胞的脂类、蛋白质、DNA 等产生氧化损伤^[15] ,而植物体内存在相应的抗氧化酶系统 如超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT) 等能有效的清除这些活性氧自由基 使植物细胞体内产生活性氧与清除活性氧维持动态平衡^[16] ,当环境胁迫引起的活性氧增加超出活性氧清除系统的能力时 ,动态平衡就会被打破 植物细胞的结构和功能就会受到损伤 ,甚至造成植物体死亡。

SOD 是抵御活性氧自由基介导的氧化损伤的第一道防线 ,是受到氧化胁迫的重要生物标志物。SOD 可将超氧阴离子(O₂^{·-}) 歧化为 H₂O₂ 和 O₂。SOD 活性通常在重金属胁迫下会升高 ,甚至在活性氧自由基很高浓度时 ,其它抗氧化酶完全被抑制的情况下仍会升高^[3] ,本试验中 ,当 TI(I) 浓度达到 0.1 mg·L⁻¹ 时 SOD 活性显著升高 ,甚至在 POD、CAT

活性明显受到抑制时仍然保持较高活性水平,类似的SOD活性的刺激作用也在Cd对浮萍胁迫研究中有过报道^[17]。POD、CAT能有效清除SOD歧化产生的H₂O₂,本研究中,随着Tl(I)浓度的升高,在较低浓度区间,POD活性变化并不显著,在0.5 mg·L⁻¹时,POD的活性上升,而后开始下降。我们认为,浮萍在Tl(I)的胁迫下,SOD通过歧化反应清除活性氧自由基并产生过氧化氢。随着浮萍体内过氧化氢的浓度的增加,植物体内的POD启动防卫机制,清除过氧化氢以保护植物,致使POD活性上升。而当Tl(I)浓度进一步增加,超出了浮萍的抗氧化调节能力,POD活性下降。

而对于CAT,随着Tl(I)浓度的升高,其活性始终表现出抑制效应,Tl(I)浓度0.5、1 mg·L⁻¹处理组,CAT活性只有对照组的45%和41%,表明CAT对Tl(I)胁迫比较敏感和容易失活;徐楠等的研究也发现Hg²⁺胁迫下,浮萍的CAT活性随着Hg²⁺升高出现显著降低的现象^[18]。原因可能是在Tl(I)氧化胁迫下,由于H₂O₂的积累使CAT失活;另外,·O₂和H₂O₂一起与CAT反应形成复合物或分别与CAT反应形成复合物,这些钝化形式能抑制CAT活力^[19]。当Tl(I)浓度为0.5、1 mg·L⁻¹时,浮萍的CAT活性大幅度下降,表明高浓度Tl(I)进入浮萍体内后,氧化胁迫产生的H₂O₂积累,超出了浮萍的承受阈值,致使CAT活性快速下降,浮萍遭受较为严重的过氧化损伤。

活性氧(ROS)攻击生物膜中的不饱和脂肪酸(PUFA),引发脂质的过氧化作用,并因此形成脂质过氧化物,如丙二醛(MDA)。氧自由基不仅能通过生物膜中PUFA的过氧化作用引起细胞损伤,而且还能通过脂氢过氧化物的分解引起细胞损伤。所以,测量MDA的含量常常可以反映机体内脂质过氧化的程度,间接地反映出细胞的损伤程度。本研究中,浮萍MDA含量在Tl(I)浓度为0.5、1 mg·L⁻¹时显著升高,原因可能是该浓度水平的Tl(I)胁迫已经超出浮萍抗氧化酶系统清除活性氧的能力,导致活性氧积累,使浮萍细胞膜产生了严重的过氧化损伤。

致谢:感谢中科院广州地化所应光国研究员的帮助和支持。

通讯作者简介:邓红梅(1978-),女,环境科学博士,副教授,主要研究方向为为痕量毒害污染物的环境行为。

参考文献:

[1] 万顺利,马明海,徐圣友,等. 水体中铊的污染治理

- 技术研究进展[J]. 水处理技术,2014,40(2): 15-19
Wan S L, Ma M H, Xu S Y, et al. Research progress of thallium pollution control technology in water [J]. Water Treatment Technology, 2014, 40(2): 15-19
- [2] 邓红梅,陈永亨,刘涛,等. 铊在土壤-植物系统中的迁移积累[J]. 环境化学,2013,32(9):1749-1757
Deng H M, Chen Y H, Liu T, et al. Study on the translocation and accumulation of thallium in soil-plant system [J]. Environmental Chemistry, 2013, 32(9): 1749-1757
- [3] Babić M, Radić S, Cvjetko P, et al. Antioxidative response of Lemna minor plants exposed to thallium(I)-acetate [J]. Aquatic Botany, 2009, (91): 166-172
- [4] Ostęga B K, Sadowska M, Ostrowska S. Thallium speciation in plant tissues-Tl(III) found in Sinapis alba L. grown in soil polluted with tailing sediment containing thallium minerals [J]. Talanta, 2012, (93): 326-329
- [5] Peter, A L J, Viraraghavan T. Thallium: A review of public health and environmental concerns [J]. Environment International, 2005 (31), 493-501
- [6] Mestek O, Polák J, Jüríček M, et al. Trace element distribution and species fractionation in Brassica napus plant [J]. Applied Organometallic Chemistry, 2007, (21): 468-474
- [7] 邓红梅,陈永亨. 水中铊的污染及其生态效应[J]. 环境化学,2008,27(3): 363-367
Deng H M, Chen Y H. Thallium pollution and its ecological effect in water [J]. Environmental Chemistry, 2008, 27(3): 363-367 (in Chinese)
- [8] Lan C H, Lin T S. Acute toxicity of trivalent thallium compounds to Daphnia magna [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, (61): 432-435
- [9] Ralph L, Twiss M R. Comparative toxicity of thallium(I), thallium(III), and cadmium(II) to the unicellular alga Chlorella isolated from lake Erie [J]. Environmental Contamination and Toxicology, 2002, (68): 261-268
- [10] Zitko V, Carson W V, Carson W G, et al. Thallium occurrence in the environment and toxicity to fish [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicity, 1975, 13: 23-30
- [11] Rybova R L, Nepurkova R, Metlicka J K, et al. Thallous ion interactions with transport of ions in the Algae hydrodictyon reticulatum [J]. Archiv fur Hydrobiologie Supplement, 1988, 78: 329-339
- [12] OECD. Test No. 221: Lemna sp. Growth Inhibition Test [M]. OECD Publishing, 2006
- [13] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 164-169

- Li H S. Physiological and Biochemical Test Principle and Technology of Plant [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 164 – 169 (in Chinese)
- [14] 李仕飞, 周建平. 分光光度法测定植物过氧化氢酶活性的研究[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(2): 72 – 73
- Li S F, Zhou J P. Measurement of catalase vigor in plants with spectrophotometry [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2007, 13(2): 72 – 73 (in Chinese)
- [15] 周红卫, 施国新, 徐勤松. Cd^{2+} 污染水质对水花生根系抗氧化酶活性和超微结构的影响[J]. 植物生理学通讯, 2003, 39(3): 211 – 214
- Zhou H W, Shi G X, Xu Q S. Effects of Cd^{2+} polluted water on the activities of antioxidant enzymes and ultra-structure in roots of *Alternanthera philoxeroides* [J]. Plant Physiology Communications, 2003, 39(3): 211 – 214 (in Chinese)
- [16] 李君, 周守标, 黄文江, 等. 马蹄金叶片中铜、铅含量及其对生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2355 – 2358
- Li J, Zhou S B, Huang W J, et al. Cu and Pb contents in *Dichondra repens* leaf and their effects on its physiological indexes [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(12): 2355 – 2358 (in Chinese)
- [17] Hou W, Chen X, Song G, et al. Effect of copper and cadmium on heavy metal polluted waterbody restoration by duckweed (*Lemna minor*) [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2007, 45: 62 – 69
- [18] 徐楠, 施国新, 曾晓敏, 等. Hg^{2+} 胁迫对浮萍体细胞 DNA 一级结构和抗氧化酶系的损伤[J]. 植物生态学报, 2003, 27(3): 299 – 303
- Xu N, Shi G X, Zeng X M, et al. Damage to DNA primary structure and antioxidant enzymes in *Lemna minor* induced by Hg^{2+} [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(3): 299 – 303
- [19] Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: Scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1999, 50: 601 – 639 ◆

美国科学家确定与肝脏疾病相关的化学物质

2014 年 10 月 23 日 来源: Chemical watch 网站

美国科学家确定了 123 种与啮齿动物的脂肪肝疾病相关的化学物质, 包括农药、溶剂和多氯联苯/二恶英。他们表示, 由于这些物质与肝脏损害的相关性, 有必要对它们进行更多研究。

这些科学家检索了两个包括约 2000 项啮齿动物毒理学研究的数据库: 环保署的毒理学参考数据库 (ToxRefDB) 和国家毒理学计划的生物系统中的化学影响数据库 (CEBS)。

确定的化合物中有约 44% 为农药或它们的中间体, 并且 ToxRefDB 数据库中有超过 10% 的农药登记研究与脂肪肝相关。相比杀虫剂, 杀真菌剂和灭草剂更经常与脂肪肝联系在一起, 而多氯联苯/二恶英的效力最强。

引自《化学品安全信息周报》2014 年第 44 期总第 308 期 (中国检验检疫科学研究院化学品安全研究所编译)

http://www.chinachemicals.org.cn/reported_detail.aspx?contentid=320&ClassID=230