

# 铜、镉、砷单一及其复合污染对浮萍的毒性效应\*

钱湛 孙健 铁柏清 毛晓茜 湛灵芝

(湖南农业大学资源环境学院 长沙 410128)

**摘要** 通过实验室水培试验研究不同浓度处理水平下 Cu、Cd、As 单一及其复合污染对紫背浮萍叶绿素和丙二醛浓度的影响结果表明,同一浓度处理水平下,单一重金属污染对浮萍叶绿素的生态毒性效应为  $Cd > Cu > As$ ,对丙二醛的生态毒性效应为  $Cd \approx As > Cu$ 。与单一污染相比,As + Cd 和 Cu + Cd 复合污染对浮萍叶绿素毒性增强,表现为协同作用,加强了对浮萍叶细胞的伤害;而 As + Cu 和 As + Cu + Cd 复合污染对叶绿素联合毒性作用趋向于毒性减少的拮抗作用。复合污染对浮萍丙二醛的生态毒性效应情况则较复杂,除 As + Cd 外其余 3 种复合污染组合对浮萍细胞膜均有一定增透作用。

**关键词** 重金属 浮萍 单一污染 复合污染 联合毒性效应

**The toxic effect of Cu, Cd, As and their compound pollution on the duckweed.** QIAN Zhan, SUN Jian, TIE Bo-Qing, MAO Xiao-Qian, ZHAN Ling-Zhi (College of Resources and Environment, Agricultural University of Hunan, Changsha 410128, China), *CJEA*, 2006, 14(3): 135~137

**Abstract** Through the experiment of water train in laboratory, the effect of Cu, Cd, As and their compound pollution on the chlorophyll and MDA (Methane Dicarboxylic Aldehyde) concentration in the duckweed were studied. The results show that at the same concentration level, the single-toxicity order of Cu, Cd, As to the chlorophyll of duckweed is  $Cd > Cu > As$ ,  $Cd \approx As > Cu$  is the MDA's single-toxicity order. Compared with the single pollution, the eco-toxicity of compound pollution of As + Cd and Cu + Cd becomes stronger, which presents a synergistic effect, as far as the lethal concentration to the cell of duckweed's lamina is concerned; As + Cu and As + Cu + Cd is inclined to an antagonistic effect of which the eco-toxicity of compound pollution becomes weaker. The eco-toxicity of duckweed's MDA is relatively complex. Besides As + Cd, the other compound pollution has an effective over-penetration on the cell membrane of duckweed.

**Key words** Heavy metal, Duckweed, Single pollution, Compound pollution, Combined toxicological effect

(Received Mar. 15, 2005; revised May 10, 2005)

目前有关重金属污染问题已见诸报道,其中大多数研究仅仅是针对单一重金属污染进行的,现行的水质标准也只是根据单一重金属的毒性实验确定的<sup>[1]</sup>。但自然环境中污染的发生常常是多组分的,故只片面地对单一重金属污染进行研究并不能有效反映出重金属的毒性效应。 $Cu^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$ 、 $As^{2+}$  是水体环境污染中最常见的 3 种重金属污染物,它们不仅对水生生物产生毒害作用,且能通过食物链在人体中不断积累,严重危害人们的身体健康。利用浮萍生长抑制实验检测植物毒性简便、快捷、灵敏,且浮萍生长迅速,易于操作,实验结果重现性好,易于解析<sup>[2]</sup>,对于变化很大的工业废水的监测和环境影响评价尤为合适。本试验研究了 Cu、Cd、As 单一及其复合污染对浮萍的毒性效应,为利用水生植物监测和净化重金属污染废水提供科学依据。

## 1 试验材料与方法

供试紫背浮萍 (*Spirodela polyrrhiza*) 采自未受污染的较清洁池塘中,经洗净、挑选后置于经曝气澄清的自来水中驯养 7d 后进行实验处理。 $NaAsO_3$ 、 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 、 $CdCl_2$  等均为分析纯。采用加有约 1.5cm 高培养液的搪瓷盘,日光灯照射  $27(\pm 2)^\circ C$  下进行室内培养实验,每隔 2d 向盘内添加培养液以保持水面高度,培养液采用 Hongland 及 Snyder(1993)的配方<sup>[3]</sup>。As、Cu、Cd 按照离子浓度各配置 1000mg/L 母液,用培养液作稀释水,稀释浓度范围见表 1。实验时取外型完好、植物体(浮萍的叶状体称为植物体)形状和大小均相近的浮萍进行实验,每培养皿加入 10~12 个植物体,在与浮萍培养相同条件下连续光照培养,每隔 1d 观察并

\* 中日合作丰田基金项目 (Toyota Fund D01-B3-010) 和湖南农业大学科技创新基金 (040PT02) 资助

收稿日期:2005-03-15 改回日期:2005-05-10

表 1 处理元素种类与浓度水平设计\*

Tab.1 Treatment elements and concentration level design

重金属种类 Kind of heavy metals	处理水平/mg·L <sup>-1</sup> Treatment levels				
	CK	I	II	III	IV
As	0	0.03	0.09	0.18	0.36
Cu	0	0.01	0.22	0.44	0.88
Cd	0	2.00	4.00	6.00	8.00
As + Cu	0	0.03 + 0.01	0.09 + 0.22	0.18 + 0.44	0.36 + 0.88
As + Cd	0	0.03 + 2.00	0.09 + 4.00	0.18 + 6.00	0.36 + 8.00
Cu + Cd	0	0.01 + 2.00	0.22 + 4.00	0.44 + 6.00	0.88 + 8.00
As + Cu + Cd	0	0.03 + 0.01 + 2.00	0.09 + 0.22 + 4.00	0.18 + 0.44 + 6.00	0.36 + 0.88 + 8.00

\* 参照文献[4,5]采用混合成分按比例同时增加和减小的策略设置混合重金属离子浓度。

将匀浆液转入 10mL 具塞刻度离心管中,并把荡洗匀浆器的丙酮同样转入离心管,之后用丙酮稀释到 10mL,置于 4℃ 冰箱中静置提取 72h,取出 2000r/min 离心 10min,取上清液,于波长 663nm、645nm、630nm 和 750nm 处测定其吸光值,光程为 1cm。叶绿素 a 含量以匀浆液中叶绿素 a 的浓度(C<sub>a</sub>)表示,其计算式为:

$$C_a = 11.64 \times OD_{663} - 2.16 \times OD_{645} + 0.10 \times OD_{630} + 9.85 \times OD_{750} \quad (1)$$

测定丙二醛含量时取不同重金属培养液中相当于 0.2g 干物质质量的新鲜叶片,加 4mL 0.15mol/L、pH 为 7 的磷酸缓冲液,样品在冰冷的研钵中磨成匀浆,4000r/min 离心 20min,取其上清液测定酶活性。取 0.5mL 提取液,加入 3mL 0.5% 的硫代巴比妥酸煮沸 15min,然后迅速冷却(冰浴冷却),1800r/min 离心 15min 后测定 532nm 和 600nm 的光密度值,其计算式为  $\Delta\text{emol}(532 - 600\text{nm}) = 1.55 \times 10^{-5}$ ,以  $\mu\text{mol}/\text{mg Fw}$  表示<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 Cu、Cd、As 单一污染对浮萍叶绿素浓度的影响

图 1 表明,与对照相比,当 Cu 浓度为 0.01mg/L 时浮萍叶绿素含量略有下降,浓度升高后浮萍叶绿素含量逐渐下降,但总体下降趋势较小。当 Cu 浓度为 0.88mg/L 时浮萍叶绿素含量达到量低值 15.4mg/mL;随 Cd 浓度的增高,浮萍叶绿素含量逐渐递减,当 Cd 浓度为 8mg/L 时浮萍叶绿素含量达到最低值 11.3mg/L,其叶绿素含量降幅最大;As 对浮萍叶绿素含量影响较小,As 浓度为 0.03mg/L 时浮萍叶绿素含量最低,其余浓度叶绿素含量呈略为增高趋势。以上现象说明不同浓度梯度下 Cd 毒害对浮萍叶绿素的影响较大,而 Cu 和 As 毒害对浮萍叶绿素的影响较小。相同浓度下浮萍叶绿素含量降幅依次为 Cd>Cu>As,实验观察其受害症状发现,受 Cd 毒害的浮萍叶片完全失绿变白,且其脱根现象也极为严重;受 Cu 毒害的浮萍主要是叶片失绿变白现象严重,脱根现象不明显;受 As 毒害的浮萍主要表现为边缘失绿以及根系变短。据此分析,可能 Cd 毒害主要作用于植物的叶绿体,而 Cu、As 毒害对叶绿体影响较小。

记录培养箱内浮萍的生长和变化情况。实验共进行 96h,每种重金属离子及其复合均设 5 个处理,每处理 3 个重复。叶绿素 a 含量测定按张彤方法<sup>[2]</sup>略有改动。将容器中已称量的浮萍放入研钵中,加入 4mL 90% 丙酮并研磨 5min,充分捣匀,

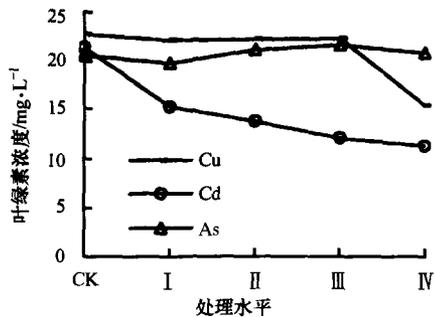


图 1 Cd、Cu、As 单一污染对浮萍叶绿素浓度的影响

Fig.1 The effect of Cd,Cu,As single pollution on the chlorophyll concentration in the duckweed

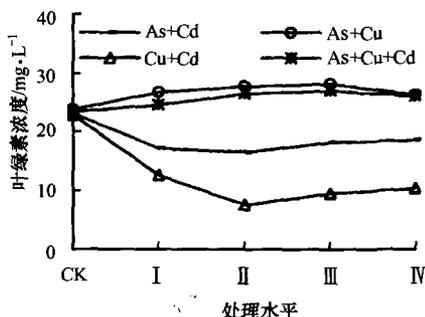


图 2 Cu、Cd、As 复合污染对浮萍叶绿素浓度的影响

Fig.2 The effect of Cu,Cd,As compound pollution on the chlorophyll concentration in the duckweed

### 2.2 Cu、Cd、As 复合污染对浮萍叶绿素浓度的影响

重金属复合污染对浮萍叶绿素浓度的影响呈较大波动性。总体而言,与单一污染相比,As + Cu 和 As + Cu + Cd 复合污染浮萍叶绿素含量略有增加,表现为拮抗作用;而 As + Cd 与 Cu + Cd 复合污染浮萍叶绿素含量减少,表现为协同作用。就增加幅度而言,As + Cu 比 As + Cu + Cd 在低浓度下增加幅度大,就减小幅度而言,Cu + Cd 比 As + Cd 在低浓度下减小幅度大。可见 As + Cu 与 As + Cu + Cd 在低浓度处理水平下叶绿素增加幅度比高浓度处理水平下高,而 Cu + Cd 与 As + Cd 则正好相反(图 2)。

### 2.3 Cu、Cd、As 单一污染对浮萍丙二醛浓度的影响

丙二醛是膜脂的过氧化产物,对膜有毒害作用。浮萍在受到重金

属毒害后,其膜透性增加,表明浮萍细胞膜系明显受损<sup>[5]</sup>。另外膜透性的增加也导致浮萍中丙二醛含量的进一步增加。故浮萍中丙二醛含量是重金属对浮萍污染程度大小的指标之一,丙二醛含量越大,重金属对浮萍污染程度也越大。由图 3 可知 Cu 对浮萍丙二醛含量的影响呈降低趋势,而 Cd 和 As 对浮萍丙二醛含量呈略为升高趋势,表明 Cu 对浮萍细胞膜的影响较小,而 Cd 和 As 对浮萍细胞膜透性有较大增溶作用。

### 2.4 Cu、Cd、As 复合污染对浮萍丙二醛浓度的影响

Cu、Cd、As 复合污染对浮萍丙二醛含量的影响较小,仅 As + Cd 对浮萍丙二醛含量影响随浓度升高呈下降趋势。由图 4 可知 Cu、Cd、As 复合污染对浮萍丙二醛浓度的影响较复杂,除 As + Cd 外其他复合污染对浮萍细胞膜都有一定增透作用。As + Cd 对浮萍丙二醛含量的影响

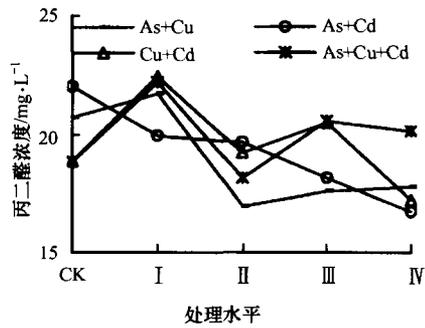


图 4 Cu、Cd、As 复合污染对浮萍丙二醛浓度的影响

Fig.4 The effect of Cu,Cd,As compound pollution on the MDA concentration in the duckweed

As,复合污染中 As + Cu 和 As + Cu + Cd 对叶绿素的影响表现为拮抗作用,而 As + Cd 和 Cu + Cd 则表现为协同作用;单一污染对丙二醛生态毒性大小依次为 Cd≈As>Cu,复合污染的情况则较复杂,除 As + Cd 外其他复合污染对浮萍细胞膜都有一定增透作用。

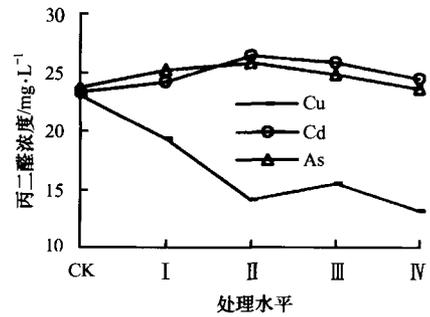


图 3 Cu、Cd、As 单一污染对浮萍丙二醛浓度的影响

Fig.3 The effect of Cu,Cd,As single pollution on the MDA concentration in the duckweed

响可能是因为两者呈现拮抗作用的结果,对浮萍细胞膜增透作用较弱。而其他 3 种复合污染在低浓度时对浮萍丙二醛含量影响较大,在高浓度时影响作用下降。

### 3 小 结

综上所述,叶绿素及丙二醛都是较好的植物分子生态毒理学指标,能较灵敏、准确地指示植物的受伤程度。采用叶绿素及丙二醛变化作为观测指标,可排除实验过程中其他因素的干扰,更直观地反映由重金属污染物引起的对植物的伤害。

本实验表明单一污染对浮萍叶绿素毒性大小依次为 Cd > Cu > As,复合污染中 As + Cu 和 As + Cu + Cd 对叶绿素的影响表现为拮抗作用,而 As + Cd 和 Cu + Cd 则表现为协同作用;单一污染对丙二醛生态毒性大小依次为 Cd≈As>Cu,复合污染的情况则较复杂,除 As + Cd 外其他复合污染对浮萍细胞膜都有一定增透作用。

### 参 考 文 献

- 1 奚旦立等. 环境监测. 北京:高等教育出版社,1996. 12~14
- 2 张 彤,金洪钧. 用浮萍试验检测四种污染物的植物毒性. 中国环境科学,1995,15(4):266~270
- 3 薛应龙. 植物生理学实验手册. 上海:上海科学技术出版社,1985. 60~65
- 4 宋玉芳. 土壤重金属对白菜种子发芽与根伸长抑制的生态毒性效应. 环境科学,2002,23(1):103~107
- 5 张 莉,王友保,刘登义. 利用浮萍检测 Cu、As 及其复合污染的植物学毒性. 安徽师范大学学报(自然科学版),2001,24(4):152~156