

铜铁铅单一及复合污染对铜草幼苗生长的影响

李锋民¹, 熊治廷¹, 王狄¹, 王新力²

(1. 武汉大学环境科学与工程系, 湖北 武汉 430072; 2. 临沂市环保局产业中心, 山东 临沂, 276000)

摘要: 采用种子萌发实验方法, 研究了不同浓度铜、铁、铅单一及复合污染对铜草幼苗生长的影响。结果表明, 铜铁铅 3 种金属对铜草种子萌发率的影响不同, 铜草种子对铜的耐性最高。铜草幼苗对铜和铁的耐性较高, 能较好地适应在受铜铁污染的土壤中生长期。在铜铁浓度一定的情况下, 铅的加入能极大的影响铜草幼苗的生长。

关键词: 海州香薷; 铜铁铅; 幼苗; 毒性

中图分类号: X503.233 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–0267(2001)02–0071–03

Effects of Copper, Iron and Lead as Single or Synergist Pollutants on Growth of Seedling of *Elsholtzia splendens Nakai ex F. Maekawa*

LI Feng-min¹, XIONG Zhi-ting¹, WANG Di¹, WANG Xin-li²

(1. Department of Environmental Engineering, Wuhan University, Hubei Wuhan 430072 China;

2. Industrialization Centre of Linyi Environmental Bureau, Shandong Linyi 276000 China)

Abstract: Seeds of *Elsholtzia splendens Nakai ex F. Maekawa* are incubated in Hoagland media containing copper, iron or /and lead, in order to evaluate toxicity of several metals on plants. It has been discovered that the three ions exhibit capacity of decreasing the germinating rates differently. The seed showed a greater tolerance on copper. In addition, the seedling of the plant could grow better in those containing either copper or iron media than that containing lead. When the contents of copper and iron were fixed, an addition of lead could apparently inhibit the growth of the seedlings.

Keywords: *Elsholtzia splendens Nakai ex F. Maekawa*; copper/iron/lead; seedling; toxicity

就目前的土壤重金属污染的治理而言, 植物修复比其他物理的、化学的方法操作简单, 用费省, 不造成二次污染, 因而具有广阔的应用前景。植物修复已有非常成功的实例^[1]。找到合适的修复植物是首要的, 目前已广泛研究的超量积累植物就是一类极好的修复植物。Cu 污染一般是工业污染造成的, 而 Cu 污染又与 Fe 污染密不可分(如铜铁伴生矿冶炼造成的污染), Pb 污染的一条重要途径是汽车尾气, 这种污染具有易扩散、分布广的特点, 易与 Cu、Fe 污染相复合, 这是本研究将 Cu、Fe、Pb 一起作为考察对象的原因。海州香薷(亦称铜草, *Elsholtzia splendens Nakai ex F. Maekawa*) 种子采自湖北大冶铜绿山古铜矿遗址(战国时开采的铜矿)。铜草植物体内 Cu 的蓄积浓度

可达 4 500 mg · kg⁻¹(未发表), 从生态学角度讲, 至少适应了生活于高 Cu 土壤中, 因此对其进行研究。

1 材料与方法

1.1 植物材料

海州香薷(亦称铜草, *Elsholtzia splendens Nakai ex F. Maekawa*)。

1.2 种子萌发实验

种子处理及萌发条件见文献[2]。

1.3 重金属处理浓度设计

1.3.1 Cu、Fe、Pb 单一作用浓度都设为 0, 5, 25, 125, 625, 1 250 μmol · L⁻¹。

1.3.2 Cu、Fe、Pb 两两复合实验

根据预实验的结果, 选择 3 种金属的 A (5 μmol · L⁻¹)、C (125 μmol · L⁻¹) 两个浓度进行组合, 共有以下 12 种组合方式:

- (1) CuA + FeA, (2) CuA + FeC, (3) CuA + PbA, (4) CuA + PbC, (5) CuC + FeA, (6) CuC + FeC,

收稿日期: 2000–08–05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(206980233); 湖北省自然科学基金资助

作者简介: 李锋民(1975—), 男, 武汉大学环境科学与工程系硕士研究生, 从事植物毒理学和植物修复研究。

(7)CuC + PbA, (8)CuC + PbC, (9)FeA + PbA, (10)FeA + PbC, (11)FeC + PbA, (12)FeC + PbC

1.3.3 Cu、Fe、Pb 三者复合实验

3种金属仍选用A、C两个浓度,进行复合,有以下8种复合方式:

(13)CuA + FeA + PbA, (14)CuA + FeA + PbC
(15)CuA + FeC + PbA, (16)CuA + FeC + PbC
(17)CuC + FeA + PbA, (18)CuC + FeA + PbC
(19)CuC + FeC + PbA, (20)CuC + FeC + PbC

1.4 数据统计与处理

以上每个处理设3个重复,培养结束后测定各组萌发率及幼苗根长、苗长,其值用 $(\bar{x} \pm \delta_{n-1})$ 表示。用概率单位法求半效应浓度 $EC_{50}^{[3]}$ 。TI值按文献[4]计算。

2 结果与讨论

2.1 重金属胁迫对种子萌发率的影响

2.1.1 不同浓度的 Cu、Fe、Pb 对种子萌发率的影响

图1表示出不同浓度的Cu、Fe、Pb单一作用对铜草种子萌发率的变化。金属浓度为 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 对铜

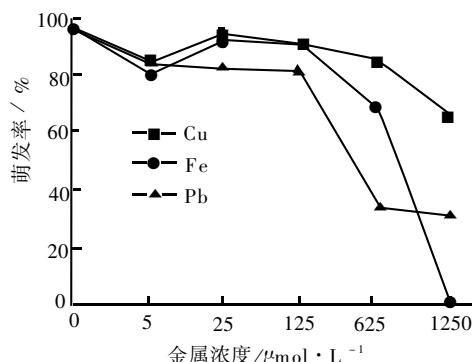


图1 不同浓度Cu、Fe、Pb对铜草种子萌发率的影响

Figure 1 Effects of various concentrations of copper, iron and lead on germination of seeds of *Elsholtzia splendens*

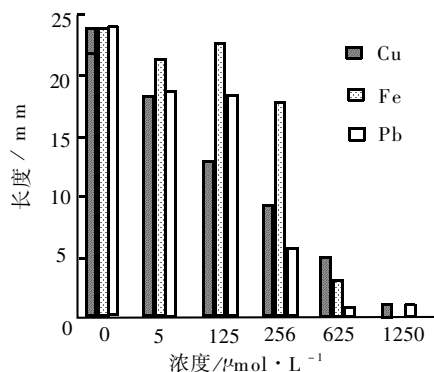


图2 Cu、Fe、Pb对根长的影响

Figure 2 Effects of various concentrations of Cu、Fe、Pb on root length of the plant

草种子的萌发率较低而在B、C两点萌发率却较A点有偏高的趋势,这与一般认为的低浓度刺激效应有明显区别。3种金属的半效应浓度存在区别,以摩尔浓度表示分别为 1191.2 、 646.8 、 $687.6 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;以 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示为 75.6 、 36.2 、 $142.3 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,由于重金属的毒性大小与其负电性有关,因而考察一种金属离子的毒性不能仅用其 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度作为单位,比较几种金属毒性也不能以一定的 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度为单位,而应以摩尔浓度为单位。我们的实验也显示,以摩尔浓度为单位能更好地反映其毒性顺序。3种金属对种子萌发率影响能力大小顺序为: $\text{Fe} \approx \text{Pb} > \text{Cu}$,说明铜草种子萌发过程中对Cu有较高的耐性,显示出其适应在高铜环境生长的特点。

2.1.2 Cu、Fe、Pb 复合污染对铜草种子萌发率的影响

Cu、Fe、Pb复合污染下的铜草种子萌发率多在60%—80%,变化不太明显。这是由于 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $125 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的浓度对种子萌发来讲是较低的浓度,还不能完全抑制萌发(表未给出)。但萌发后幼苗的生长状况却明显受金属浓度的影响。这也表明用幼苗的生长状况比用种子萌发率能更好地反映其受毒害的程度。

2.2 重金属对铜草幼苗生长的影响

2.2.1 Cu、Fe、Pb 单一作用下对铜草幼苗根长、苗长的影响

重金属对植物种子萌发及幼苗的影响一般认为存在一个较低浓度下的刺激效应和高浓度下的抑制效应。从图2和图3中,我们没有发现低浓度的Cu、Fe、Pb对铜草幼苗生长的刺激效应。3种金属随浓度的升高,对幼苗的抑制作用逐渐增强,即使在 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的低浓度下也抑制了幼苗的生长,但3种金属对幼苗抑制的强度又有不同,Cu、Pb在125

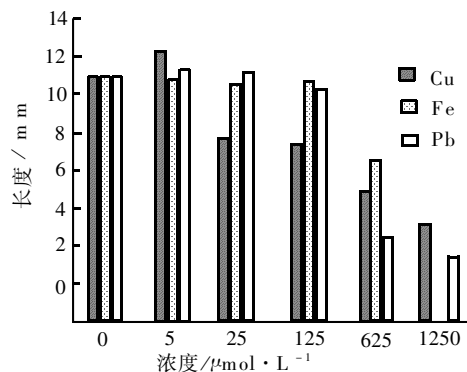


图3 Cu、Fe、Pb对苗长的影响

Figure 3 Effects of various concentrations of Cu、Fe、Pb on seedling length of the plant

$\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时已明显地抑制了根的伸长, 而同样浓度的 Fe 产生的抑制作用却不明显。然而, 当 Fe 浓度为 $625 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 根长却急剧下降(3.34 mm), 仅为 CK 长度(23.8 mm)的 14.03% 。

重金属与植物作用时, 总是最先接触到根部, 根起吸收重金属的作用, 同时根细胞壁中存在大量交换位点, 能将重金属离子固定在这些位点上, 从而阻止重金属离子进一步向地上部分转移^[5, 6]。因此, 根是植物体中最重要的络合重金属的部位, 也是最易受重金属毒性影响的部位。我们发现, 在较高浓度的重金属胁迫下, 铜草种子的胚根刚突破种皮, 伸长约 $1\text{--}2 \text{ mm}$ 即变为黑色, 停止生长。在此种情况下计算萌发率时仍计为萌发, 此时萌发率已不能很好地体现其受抑的程度, 而根长则能灵敏地表明这种抑制。以 3 种金属对铜

草幼苗根长、苗长的影响也可以看出, 根的生长更易受到抑制。在 $125 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Pb}$ 作用下, 苗长为 CK 的 92.3% , 而根长却仅为 28.9% 。以 EC_{50} 值也可以看出这一特点。Cu、Fe、Pb 对苗长抑制的 EC_{50} 分别为 671.9 、 579.2 、 $517.0 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 而对根长抑制的 EC_{50} 分别为 195.7 、 532.0 、 $228.7 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, EC_{50} 值越高说明影响越小。在 $125 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下铜草对铁的耐性最强。比较种子萌发率和幼苗生长状况可以发现, 在种子萌发过程中对铜有最高的耐性, 而在幼苗生长过程中则对铁有最高的耐性。因此, 在进行植物修复时, 若为单一 Cu 污染可以直接将铜草种子种入铜污染土壤, 若为铁污染则可以在种子萌发后将幼苗植入受污染土壤。

2.2.2 Cu、Fe、Pb 复合污染对铜草幼苗生长的影响

有毒物质复合作用一般分为相加作用、相减作用、

表 1 Cu、Fe、Pb 两两复合对铜草幼苗生长的影响 (mm)

Table 1 Synergism from double elements of Cu、Fe、Pb on the growth of seedling of the plant

S	R	Cu		Fe		Pb	
		5	125	5	125	5	125
Cu	5	R		16.47 ± 2.94	14.64 ± 0.25	16.17 ± 1.26	8.53 ± 0.24
	125			8.93 ± 1.88	10.86 ± 1.58	7.63 ± 3.53	5.38 ± 3.36
Fe	5	15.49 ± 0.23	10.36 ± 0.61	R		15.72 ± 1.10	12.31 ± 0.99
	125	14.40 ± 1.71	11.15 ± 1.00			8.96 ± 2.10	6.91 ± 1.81
Pb	5	14.89 ± 1.04	8.42 ± 1.43	14.67 ± 0.93	8.55 ± 0.54	R	
	125	13.69 ± 0.14	8.67 ± 2.38	10.87 ± 1.13	7.73 ± 1.14		

协同作用、拮抗作用等。由于不同毒物的相互关系十分复杂, 同时自然环境中有毒物质多共同存在于同一介质中, 因此只考察一种毒物的单一作用已意义不大。由表 1 可以看出, 在 3 种重金属污染两两组合的处理中, 幼苗的生长也符合抑制作用随金属浓度增加而增大的规律, 但抑制作用的大小也与金属的组合方式有关。根长与幼苗的最大值都出现在 Cu 的低浓度与 Pb、Fe 低浓度的两个组合中, 其耐性指数 (TI) 也都在 90 以上, 与相同浓度的 Cu、Fe、Pb 单独作用相比, 耐性

指数有所升高, 说明在较低浓度下 ($5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) Cu 与 Fe、Pb 之间基本符合拮抗的作用类型。由图 2、3 中也发现, CuC + PbC 组中, 幼苗生长受到的抑制是最大的。Cu 与 Fe 的组合整体看来比 Cu 与 Pb 的组合对幼苗的抑制要小, 这也反映出铜草较适应 Cu、Fe 共存的环境。

Cu、Fe、Pb 三者组合对铜草幼苗生长的影响更为复杂。如表 2 所示, 在最低浓度的组合下, 其抑制效果并不明显, 耐性指数也不比同浓度下的单一作用低, 如根的 TI 值为 89.61 ; 而三者高浓度的组合即 CuC + FeC + PbC 却明显地抑制了幼苗的生长, 根的耐性指数仅为 4.12 , 这不仅远低于同浓度下 Cu、Fe、Pb 单一作用时的结果, 也低于两两组合时的 TI 值, 此时三者表现出协同作用的特征。由表 2 中我们也发现与两两组合时相似的规律, 即 Cu 与 Pb 的组合对幼苗生长的抑制起决定性作用, 而 Fe 能适度增加这种抑制。当 Cu 与 Pb 的浓度确定后 (如 CuC + PbC), Fe 浓度由 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 变为 $125 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 根的 TI 值由 47.66 降为 35.46 , 变化较小。而在 Cu、Fe 浓度确定 (同为 CuC + FeC), Pb 浓度也由 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 变为 $125 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 根的 TI 却由 35.46 降为 4.12 , 抑制作用明显增强。这说明铜

(下转第 77 页)

表 2 3 种金属复合污染对铜草幼苗生长的影响

Table 2 Synergism from triple elements of Cu、Fe、Pb on the growth of seedling of the plant

类型	根长/mm	苗长/mm
CuA + FeA + PbA	$15.87 \pm 2.14(89.61)$	$14.13 \pm 1.10(79.79)$
CuA + FeA + PbC	$10.43 \pm 1.10(58.89)$	$12.11 \pm 1.49(68.38)$
CuA + FeC + PbA	$14.78 \pm 0.89(83.46)$	$12.50 \pm 0.50(70.58)$
CuA + FeC + PbC	$7.61 \pm 1.32(42.97)$	$12.05 \pm 1.29(68.04)$
CuC + FeA + PbA	$8.44 \pm 0.73(47.66)$	$8.60 \pm 1.16(48.56)$
CuC + FeA + PbC	$3.21 \pm 0.69(18.13)$	$7.05 \pm 0.36(39.81)$
CuC + FeC + PbA	$6.28 \pm 2.06(35.46)$	$6.57 \pm 1.72(37.10)$
CuC + FeC + PbC	$0.73 \pm 0.13(4.12)$	$3.20 \pm 1.13(18.07)$

对照组: $R = 17.71 \pm 2.20$, $S = 15.63 \pm 1.47$, 括号内为根的耐性指数 (TI)。

