

土壤外源汞污染对大豆幼苗生长的影响研究

王 新, 梁仁禄, 周启星

(中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态系统痕量物质生态过程开放实验室, 辽宁 沈阳 110015)

摘 要: 采用盆栽实验的方法研究了土壤外源汞对大豆幼苗生长发育的影响。结果表明, 随着土壤外源汞浓度的增加, 大豆的出苗率、根系生长速率受到不同程度的抑制。当土壤汞浓度为 $10.0\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $15.0\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 大豆出苗率分别为对照的 78%、67%, 根长与对照相比降低了 20.5%、28.4%。当土壤汞浓度大于 $10\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 大豆幼苗叶绿素含量、蒸腾强度有所降低, 幼苗生长速率减缓。

关键词: 大豆; 汞; 生长发育

中图分类号: X132 文献标识码: A 文章编号: 1000 – 0267(2001)02 – 0074 – 04

Effects of Mercury on Soybean Seedlings Growth

WANG Xin, LIANG Ren-lu, ZHOU Qi-xing

(Laboratory of Ecological Processes of Trace Substances in Terrestrial Ecosystems, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015 China)

Abstract: Pot experiment studies were conducted on soil treated with mercury to probe the effectiveness of the heavy metal on soybean seedling growth. The results gained from this experiment showed that emergence rate and root growth both were restrained with increasing concentrations of mercury in soil. Mercury contents with $10.0\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $15.0\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in the soil reduced the emergence rate of soybean seedling from 100% to 71%, 67% and decreased 20.5%, 28.4% for root depth of soybean seedling, respectively, as comparing with the control. When mercury concentration in soil was more than $10.0\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, the contents of chlorophyll and transpiration rates of soybean seedlings were decreased.

Key words: soybean; mercury; growth and development

汞是毒性较大的重金属元素之一, 也是对植物生长发育和人类健康造成极大危害的环境污染元素。农田土壤一旦遭受汞污染, 汞将大部分残留于土壤中, 且对农作物构成严重的危害。汞对植物的危害表现在它能抑制植物细胞分裂和根系伸长^[1], 降低光合作用和呼吸作用^[2], 抑制作物生长, 降低作物的产量^[3-5]。尽管汞对作物生长发育的水培、砂培试验研究已有一些报道^[8, 13], 但在土培试验条件下汞对植物生长的影响机理还有许多尚未阐明, 通过本研究探

讨草甸棕壤外源汞毒害对大豆生长发育、叶绿素合成及蒸腾强度的影响, 揭示汞对大豆幼苗毒害作用机制, 为汞污染土壤的防治提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土壤选择沈阳生态站草甸棕壤, 其土壤基本理化性质见表 1。

1.2 供试作物

大豆品种为铁丰 24, 挑选大豆籽粒饱满、大小均匀的作为实验用种子。

1.3 盆栽试验污染物浓度的确定

污染物初始浓度的确定参照我国土壤环境质量

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of the soil studied

pH	有机质	C.E.C	机械组成/%			汞背景含量
	/%	/cmol(+) · kg ⁻¹	砂粒	粉粒	粘粒	/mg · kg ⁻¹
6.4 – 6.7	1.76	23.7	21.4	46.5	32.1	0.031

收稿日期: 2000 – 08 – 30

基金项目: 中国科学院陆地生态系统痕量物质生态过程开放研究实验室及“百人计划”污染生态化学资助项目

作者简介: 王 新, 女, 中国科学院陆地生态系统痕量物质生态过程开放研究实验室副研究员, 现主要从事污染生态学研究。

标准 GB15618－1995^[6] 三级标准, 为保证农林业生产和植物正常生长的土壤汞临界值, 选定为 $1.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其它浓度在此基础上依此递增。盆栽试验共设 5 种处理, 每一处理重复 3 次。试验处理及污染物浓度见表 2。

表 2 盆栽实验污染物浓度($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 2 The pollutant concentrations in pot tests

元素	处理1	处理2	处理3	处理4	处理5
Hg	CK (0)	1.5	5.0	10.0	15.0

注: 汞元素化合物为 HgCl_2

1.4 土培试验

将过 2 mm 筛的土壤与设计浓度的污染物充分混匀, 装入塑料盆体中($\Phi=12\text{ cm}$, $H=10\text{ cm}$), 土重均为 500 g, 平衡 1 周后栽种作物。将大豆种子播种于汞污染的土壤中, 每盆栽种 6 粒, 每一处理重复 3 次。室内培养 7 d 后, 放置室外培养, 最后取 35 d 幼苗, 测定幼苗生长指标(株高、鲜重等)、净光合速率、蒸腾强度、气孔阻抗等。试验所获得的数据均为 3 盆试验结果的平均值。

1.5 测定方法

叶绿素含量测定采用丙酮和乙醇混合液(丙酮: 无水乙醇 = 1: 1)浸提法^[7], 净光合速率、蒸腾强度、气孔阻抗采用美国 CID 公司生产的 CI-301 PS 便携式光合作用测定仪测定。测定时间 2000 年 7 月 4 日, 上午 10:00—11:30, 测定时气温 $30.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $32.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 叶面温度 $32.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $34.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度 25%—30%。

2 结果与讨论

2.1 土壤外源汞对大豆出苗的影响

由大豆出苗率状况来看(表 3), 大豆对土壤不同浓度汞的敏感程度有所不同。总的趋势是随着土壤汞

表 3 土壤不同汞浓度对大豆出苗的影响
Table 3 Effects of various concentrations of mercury in soil on emergence of soybean seedling

土壤汞浓度 $/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	栽种种子数 $/\text{粒}$	大豆出苗数	出苗率 $/\%$
CK	6	6	100
1.5	6	5.6	93
5.0	6	5.3	88
10.0	6	4.7	78
15.0	6	4	67

浓度的增加, 大豆出苗率降低。低浓度时(汞浓度为 $1.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 对大豆出苗率影响甚小, 出苗率为 93%。随着土壤汞浓度的增加出苗率逐渐下降, 当土壤汞浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 出苗率分别

为 78%、67%, 有 20%—30% 的大豆未出苗, 说明高剂量汞的存在抑制了大豆的破土出苗。

2.2 土壤外源汞对大豆幼苗根的毒害

土壤汞污染对植物的毒害首先作用于根部, 土壤不同浓度汞处理对大豆幼苗根长及幼苗侧根重的影响结果见表 4。

表 4 土壤不同浓度汞对大豆幼苗根生长的影响
Table 4 Effects of various concentrations of mercury in soil on root growth of soybean seedling

土壤汞浓度 $/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	根长 $/\text{cm}$	35d 幼苗侧根重 $/\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$	侧根重占对照 $/\%$
CK	8.8	0.165	100
1.5	8.25	0.157	95.15
5.0	7.75	0.150	90.91
10.0	7.00	0.123	74.55
15.0	6.30	0.115	69.70

土壤不同浓度汞处理对幼苗根生长产生不同程度的抑制作用。低浓度汞($1.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $5.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)处理时, 根长与对照相比分别降低了 6.3%、11.9%, 土壤汞浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $15\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 根长与对照相比降低了 20.5% 和 28.4%。实验观察发现, 当土壤汞浓度在 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上时, 大豆根端形态发生变化, 受害的根扭曲变形, 膨大变粗, 根系根毛稀疏, 并呈褐色; 幼苗地上部受害比根缓慢。汞低浓度($1.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $5.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)时对根端的毒害作用相对较小, 根的形态在整个苗期生长过程中基本正常。当土壤汞浓度为 $10.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $15.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 幼苗侧根重为对照的 74.55%、69.7%。林舜华等研究结果曾表明^[8], 汞对根部有明显的毒害, 抑制根系生长, 与本实验结果相同。

2.3 土壤外源汞对大豆幼苗生长的影响

本实验采用幼苗鲜重及株高为指标反映大豆幼苗的生长状况(见表 5)。

表 5 土壤不同浓度汞对大豆幼苗生长的影响
Table 5 Effects of various concentrations of mercury in soil on growth of soybean seedling

土壤汞浓度 $/\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	35d 幼苗鲜重 $/\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$	幼苗鲜重占对照 $/\%$	株高 $/\text{cm}$
CK	2.63	100	36.0
1.5	2.55	96.96	31.9
5.0	2.49	94.68	30.6
10.0	2.22	84.41	28.0
15.0	1.91	72.62	27.5

表 5 结果表明, 土壤汞浓度为 $1.5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 幼苗鲜重下降幅度甚低, 但随着土壤汞浓度的升高, 幼苗鲜重逐渐降低, 当土壤汞浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、15

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,大豆幼苗鲜重比对照分别降低了 15.6%、27.38%。高浓度汞已明显抑制大豆幼苗的正常生长发育。不同浓度汞处理之间幼苗株高差异不明显,而汞处理大豆幼苗株高比对照株高下降了 4.1—8.5 cm。正如潘瑞炽^[9]指出,汞可使植株根系发育不良,植株变矮,与本实验结果一致。

在幼苗生长阶段,大豆幼苗对土壤不同浓度汞的耐性有所不同(见表 6)。大豆对汞的耐性强弱可通过

表 6 大豆幼苗对汞的耐性指数(%)
Table 6 Resistance index of soybean seedling against mercury

土壤汞浓度/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	根	苗
CK	100	100
1.5	93.75	88.60
5.0	88.07	85.00
10.0	79.55	77.78
15.0	71.59	76.39

耐性指数加以表示,耐性指数(Tolerance Index)计算方法为:

$$TI = \frac{\text{土壤外源汞进入土壤后根(苗)长度}}{\text{对照土壤根(苗)长度}} \times 100$$

土壤汞浓度为 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,大豆幼苗根、苗的耐性指数在 88% 以上。而随着土壤汞浓度的上升,大豆幼苗根、苗的耐性指数逐渐下降,反映出土壤汞浓度越高,根、苗的耐性指数越低。而耐性指数的大小,直接显示出作物对汞的耐受能力强弱。高浓度时耐性指数降低,作物的耐受能力也随之下降,低浓度时反之。

大豆幼苗根、苗的耐性指数比较而言,土壤汞浓度为 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,根比叶的耐性指数大,低浓度时根的耐受能力更强。土壤汞浓度超过 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,根、苗的耐性指数差异不大,是因为根是汞的主要蓄积部位,具有较高的耐性。苗的耐性虽低,由于有少部分汞转移到苗中,因此表现出的耐性指数高。一些学者认为,植物细胞壁、质膜透性和体内有机酸含量等对重金属的耐受性起到了重要的作用^[10]。

2.4 土壤外源汞对大豆幼苗叶绿素含量及光合强度的影响

光合作用是绿色植物特有的生理功能,而叶片叶绿素含量与光合作用密切相关。土壤汞浓度的不同,对大豆幼苗叶绿素含量和净光合速率影响有所不同(见表 7)。

由表 7 可知,土壤汞浓度为 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,叶绿素含量和净光合速率与对照相比略有降低,但并未影响大豆幼苗的正常生长。土壤汞浓度为 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 15

表 7 汞对大豆幼苗叶绿素含量及净光合速率的影响
Table 7 Effects of mercury on contents of chlorophyll and net photosynthesis rate in soybean seedling

土壤汞浓度/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	叶绿素含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$	净光合速率/ $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
CK	2.54	14.21
1.5	2.47	12.88
5.0	2.43	12.26
10.0	2.13	8.92
15.0	2.07	7.39

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,叶绿素含量由 $2.54 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 下降到 $2.13 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、 $2.07 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$;净光合速率比对照下降了 37.2%、48%。叶绿素含量及净光合速率的下降与汞对叶绿体结构破坏并阻碍叶绿素合成有关,说明汞能降低大豆幼苗的光能利用。正如严国安^[11]和韩宏英^[12]研究结果所示,汞能降低斜生栅藻的叶绿素含量并抑制其光合作用。

2.5 土壤外源汞对大豆幼苗水分代谢的影响

植物的水分代谢过程包括植物体从外界吸收水分、植物体的水分运输与分配以及水分由植物体表面散失到外界等。当外源汞进入土壤—大豆幼苗体系后,大豆幼苗的水分吸收和输导受到阻碍,由蒸腾作用的变化可表现出来(见表 8)。

表 8 土壤汞对大豆幼苗水分代谢的影响
Table 8 Effects of mercury in the soil on metabolism of water in soybean seedling

土壤汞浓度/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	蒸腾强度/ $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔阻抗/ $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
CK	2.20	10.60
1.5	2.00	13.20
5.0	2.10	13.80
10.0	1.93	15.20
15.0	1.67	21.20

表 8 结果表明,随着土壤汞浓度的增加,气孔阻抗升高,大豆幼苗蒸腾强度下降,不同浓度汞处理与对照相比下降了 4.55%—24.1%,这说明汞进入大豆体内后,伤害了幼苗根系和叶片,抑制了大豆幼苗对水分的吸收,阻碍水分疏导,使植物体内水分平衡失调。影响了大豆幼苗的正常的水分代谢。

3 结论

3.1 土壤外源汞影响了大豆幼苗的生长发育。大豆幼苗对不同浓度汞的敏感程度不同。当土壤汞浓度为 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,大豆出苗率为 93%,根长、幼苗鲜重比对照分别下降了 6.3%、3%。当土壤汞浓度为 10、 $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,有 20%—30% 的大豆未出苗,根长、幼苗鲜重比对照下降了 20.5%、28.4% 和 15.6%、

27.38%。结果表明低浓度汞基本保证了大豆幼苗的正常生长发育，而高浓度汞已表现出对幼苗生长发育的抑制，且高浓度汞毒害使大豆的根尖形态发生了变化。

3.2 随着土壤汞浓度增加大豆幼苗叶绿素含量有所下降，与对照相比叶绿素含量下降了 2.76 % — 8.5%，汞毒害使叶绿素的合成受到一定程度抑制，叶绿体结构遭到不同程度破坏，使幼苗光能利用率下降，碳源积累速度减缓。同时汞的毒害抑制大豆幼苗水分吸收，阻碍幼苗水分疏导，使组织含水量下降，进而影响了大豆幼苗的正常水分代谢，导致幼苗生长速度减慢。

3.3 土壤生态系统对外源汞尽管有一定的缓冲、固定能力,但这种能力也是有限的。进入土壤生态系统中的汞可被作物吸收富积而降低农产品的生物学质量。因此,像汞这种高毒元素,向土壤生态系统输入时,必须严格执行土壤环境质量标准,避免造成土壤汞污染。

参考文献：

[1] Vallee B I and Ulmer D D . Biochemical effects of mecury, cadmium and lead[J]. *Annu Rev Biochem* , 1972, **41**: 91 – 128.

[2] Spalding B P. Effect of divalent metal chlorides on respiration and extractable enzymatic activities of douglas fir needle litter[J]. *J Environ Qual*, 1979 , 8: 105 – 109.

[3] 瞿爱权,等. 汞对水稻、油菜影响的研究初报[J]. 环境科学, 1980 , **1**(6):5.

[4] 杨克斌. 汞对单子叶植物生长的影响及在各部位之分布[J]. 环境污染与防治,1984,(6):14.

[5] 马成仓,等. Hg 浸种对玉米种子萌发过程中几种酶活性的影响[J]. 应用生态学报,1997,**8**(1):110.

[6] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京:中国环境科学出版社,1996.84 – 85.

[7] 苏正淑,张宪政. 几种测定植物叶绿素含量的方法比较[J]. 植物生理学通讯,1989,**25**(5):77 – 78.

[8] 林舜华,等. 几种污染物对水稻蒸腾作用的影响[J]. 生态学报, 1984, **26**(1):85 – 93.

[9] 潘瑞炽,等. 植物生理学[M]. 第二版,下册. 北京:高等教育出版社,1984.146 – 147.

[10] 林治庆,黄会一. 木本植物对汞耐性的研究[J]. 生态学报,1989, **9**(4):315 – 319.

[11] 严国安,李益健,等. 汞对固定斜生藻净化污水及其生理特征的影响[J]. 应用生态学报,1995,**6**(3):323 – 328.

[12] 韩宏英. 汞对斜生藻生长发育及光合作用的影响[J]. 环境科学学报,1984,**4**(2):157 – 163.

[13] 张义贤. 重金属对大麦 (*Hordeum vulgare*)毒性的研究 [J]. 环境科学学报, 1997,**17**(2):199 – 205.

(上接第 73 页)

草对 Cu、Fe 污染较为适应,而对 Pb 污染较为敏感。这为我们实际应用铜草进行 Cu、Fe 污染土壤的生物修复提供依据,应尽量避免或减少受 Cu、Fe 污染的土壤再度受 Pb 污染,这能更有利于 Cu、Fe 的生物蓄积。

3 结论

3.1 由于重金属最先与根接触,并且重金属能抑制根尖细胞核的分裂,根长的变化是一个重要的指示植物受重金属毒性影响的指标。

3.2 根长和苗长的变化更能体现重金属毒性的大小。

3.3 铜草具有较强的耐 Cu、Fe 的能力,而在受 Cu、Fe 污染的情况下, Pb 的加入能极大地抑制铜草幼苗的生长。

3.4 在不同的生长阶段铜草对金属的耐性大小不同,在种子萌发阶段对铜有最高的耐性,而在幼苗生长阶

段,当金属浓度低于 625 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时铁的抑制作用最小。

参考文献：

[1]Moffat A S . Plants proving their worth in toxic metal cleanup [J]. *Science* , 1995, 269: 302 – 303.

[2] 李锋民,熊治廷,郑振华. 7 种高等植物对铅的耐性及其生物蓄积研究[J]. 农业环境保护,1999,**18**(6):246 – 250.

[3] 刘毓谷. 卫生毒理学基础[M]. 北京:人民卫生出版社,1996. 78 – 80.

[4] 束圣文. 植物的金属耐性及应用[J]. 中山大学学报论丛,1993, **3** – 4:173.

[5] Allan D L , Jarrel W M. Proton and copper adsorption to maize and soybean root cell walls[J]. *pl physiol* , 1989,89: 823 – 832.

[6] Cristina Branquinho, Dennis H Brown , Fernando Catarino. The cellular location of Cu in lichens and its effects on membrane integrity and chlorophyll fluorescence[J]. *Environ & Exper Botany* , 1997, 38:165 – 179.