

木本植物对汞耐性的研究

林治庆 黄会一

(中国科学院沈阳应用生态研究所)

摘 要

土培与水培相结合的模拟试验结果表明:当年生木本植物对汞具有较强的耐受性,并依不同种而呈现差异。其中加拿大杨>晚花杨>早柳>辽杨。加拿大杨体内汞的耐受阈值约为95—100ppm,每株体内最大汞吸收积累总量约为6779 μg 。超过耐受限度,植物生长发育将出现显著抑制伤害。根细胞壁对汞的亲和吸附,根系脱氢酶活性的提高,以及过氧化物同工酶含量与谱带的增加可直接或间接地有助于植物对汞耐性的增强。

关键词:木本植物,汞,耐性。

植物对有害物质可表现为抗性和耐性。所谓耐性即是植物对进入体内并积累于一定器官内的有害物质的忍耐能力^[1]。木本植物对大气重金属污染物的耐性已为人们所重视并进行了探讨^[2]。土壤重金属污染是重要的环境问题之一。在运用森林生态工程治理和利用重金属污染土壤的实践中,木本植物对汞污染物的耐性研究目前仍为一新的理论课题^[3-4]。筛选高耐汞性木本植物将有助于提高和强化森林生态工程防治土壤汞污染的功能。本文通过模拟试验就木本植物对汞的耐性进行研究。

一、试验材料与方 法

1. 试验材料

加拿大杨 (*populus canadensis*)、晚花杨 (*populus xeuramericana* cv 'serotina')、辽杨 (*populus maximowiczii*) 和早柳 (*salix matsudana*) 的1年生枝条,四月下旬扦插培养。供试土壤为草甸土表土,质地砂壤,有机质含量为2.75%, pH6.94,汞背景浓度为0.71ppm。

2. 试验方法:

(1) 采用土培与水培相结合的模拟试验手段。土培用高30cm、直径30cm瓷盆钵,每盆装干土15kg。将 HgCl_2 与土壤充分搅拌均匀,形成20, 50, 100, 200ppm汞 (Hg^{2+}) 处理浓度,设对照。水培用2000ml三角瓶,以去离子水配制Hoagland培养液,投加 HgCl_2 ,形成1, 3, 5 ppm汞 (Hg^{2+}) 处理浓度并设对照。应试插条粗细均匀一致。土培插条长15cm,每处理重复12株,水培插条长25cm,每处理重复5株。水培液每10天更换一次,每瓶装培养液2200ml。

(2) 样品汞浓度采用WY-401原子吸收分光光度仪“冷原子吸收法”测定。根横断面上汞的分布采用EMP-810电子探针显微分析仪测定。根细胞壁对汞的吸附研究是以去铁酸

本研究得到杨一平、毕庶春、王丽霞、张春兴、张有标等同志协助,特此致谢。
本文于1987年1月21日收到。

常规染色,超薄切片, JEM-100B透射电镜直接比较对照观察进行。根系脱氢酶活性剂测定为三苯基氯化四唑法。过氧化物同工酶研究为聚丙烯酰胺凝胶电泳法。叶面积与叶片蒸腾强度分别用HMY-1活体叶面积仪和Li-1600稳恒态气孔仪箱体测定。

二、结果与讨论

1. 汞对木本植物的毒性

(1) 土壤重金属污染对植物的毒害首先主要作用于根部。不同浓度汞处理土壤上当年生加拿大杨生根数和扦插成活率测定结果见图1; 土壤汞对植物根系萌发具有明显的抑制作用。

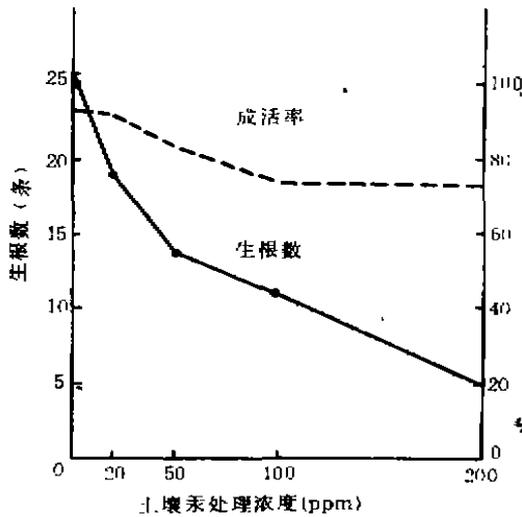


图1 加拿大杨生根数和扦插成活率

Fig.1 Amount of root and Survival rate in cassage with *P. canadensis*

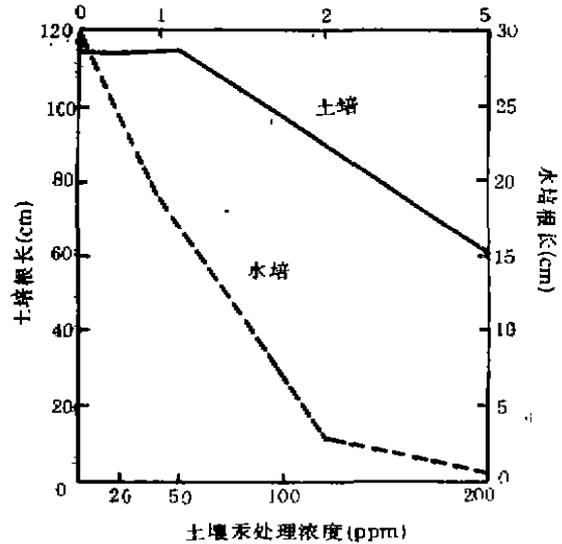


图2 加拿大杨最长根生长

Fig.2 The longest root of *P. canadensis*

用。100ppm汞处理可导致加拿大杨生根数下降57%,由对照组的26条减少到11条。汞处理土壤上加拿大杨扦插成活率随处理浓度的增高而降低。100ppm汞处理上扦插成活率为74%。受汞影响,加拿大杨根长生长也同时受到明显抑制(见图2)。土培100ppm与水培3ppm以上汞处理,与对照相比,根长分别降低21%和90%以上。根系根毛稀疏,根端呈锈色狮尾形状。其中水培汞处理最为显著。狮尾状根的出现是由于重金属对植物生长点细胞分裂产生了抑制,从而导致生长点附近细胞的不断分裂所致^[6]。

(2) 运用X射线显微分析技术对加拿大杨根系中汞的分布进行探测发现:汞在根器官中以近维管柱与内皮层区域富集量为最高。高浓度的汞对植物根系的直接影响,以及通过运输,汞在植物地上部的积累将必然导致叶面积增长和叶片蒸腾强度受到抑制和影响。图3表明:土壤汞对加拿大杨叶面积增长的抑制作用随着汞处理浓度的升高而逐渐加强。与对照叶面积(3997cm²/株)相比,100ppm汞处理叶面积约减少70%,平均为1185cm²/株。叶片蒸腾强度除在20ppm汞处理上出现17%的较大降低外,在其它各处理间则呈缓慢降低。在光照为1000—1290μE·m⁻²·s⁻¹,相对湿度为45.6%的条件下,200ppm汞处理上加拿大杨叶片蒸腾强度约为2.38μg·cm⁻²·s⁻¹。与此相关,气孔气流速度(cm³·s⁻¹),气体扩散阻力(s·cm⁻¹)

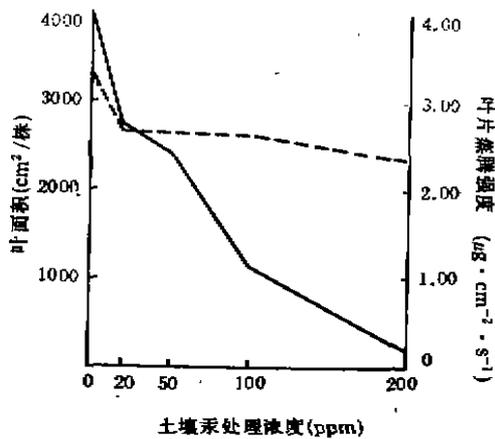


图3 加拿大杨叶面积和叶片蒸腾强度
Fig.3 Leaf area and leaf transpiration of *P. canadensis*

也表现出相似的变化规律。土壤加拿大杨叶片上汞的可见伤害出现于100ppm以上汞处理生长后期。伤害以成熟叶为主并以叶基部为重。其症状为黄褐色坏死斑，同时伴有提前落叶衰老。

据报道^[21]，大气重金属污染物铅、镉、铜对木本植物叶片的急性伤害症状是相似的，并且木本植物常常对大气中某几种重金属有明显的耐性。

2. 木本植物对汞的耐性

(1) 植物对汞的耐性强弱可通过耐性指数(%)加以检验。本文耐性指数定义为汞处理植物根系鲜重占对照组根系鲜重的百分率。耐性指数越大，表明植物对汞的耐受

能力越强。不同种木本植物，含汞水培20天，耐性指数测定结果表明，植物对汞的耐性强度不

表1 木本植物对汞的耐性指数(%)

Table 1 Index(%) of tolerance for woody-plants to mercury

项目	树种	加拿大杨	晚花杨	辽杨	旱柳
		根系鲜重(g)	对照 3 ppm	0.75 0.18	0.98 0.22
汞耐性指数(%)		24.00	22.45	13.92	19.64

依同植物种而异。表现为：加拿大杨>晚花杨>旱柳>辽杨。其中加拿大杨、晚花杨、旱柳对汞的耐性基本处于同一水平并明显高于辽杨(见表1)。

木本植物对于汞的急性侵害可以表现出较强的恢复适应能力。

将水培30天已生根的加拿大杨移入含汞5ppm培养液中培养，6小时后枝叶出现萎蔫，48小时后萎蔫开始减轻、恢复，至72小时虽老叶出现黑色坏死而脱落，但幼叶萎蔫完全消失，生长呈现正常状态。

(2) 树木生物生长量不仅能反映树木的生理状况，同时也反映出树木对立地条件的适应程度。当年生加拿大杨对不同浓度汞处理土壤中汞的耐受能力综合分析见表2。经统计检验可见：50ppm汞处理土壤上加拿大杨生物生长量与对照相比差异接近显著。高于50ppm汞处

表2 当年生加拿大杨对土壤汞的耐受能力*

Table 2 Capacity of Hg-tolerance of annual Canada poplar*

土壤汞处理浓度(ppm)	对照	20	50	100	200
树高生长量(cm)	94.0	96.3	93.1	49.5	16.4
根系生物生长量(kg,g)	22.00	19.31	22.54	4.41	0.62
整株生物生长量(kg,g)	78.10	68.40	63.87	15.59	4.25
体内汞富集浓度(ppm)	0.57	5.00	93.87	233.77	195.17

* 表中结果均为扦插生长140天后测定，整株生物生长量平均变异系数为20%。

理，汞对加拿大杨生物生长则产生极显著抑制，生物生长量下降79%以上，树高生长量为对照的53%以下。综上所述，根据不同浓度汞处理加拿大杨体内汞的富集浓度以及由此而引起的汞伤害、抑制程度，可以看出当年生加拿大杨体内汞的最高允许富集

浓度，即汞耐受阈值约为95—100ppm。

3. 木本植物对汞的耐性机理初步分析

草本植物对重金属耐性机理的研究多年来一直受到人们的重视,一些学者认为,植物细胞壁、质膜透性和体内有机酸含量等在植物对重金属的耐性机理方面起重要作用^[6]。本研究采用不同试验技术对木本植物的部分耐汞过程进行分析。

(1) 植物根细胞壁对汞的亲合吸附作用。与对照相比,含汞水培45天,3ppm汞处理加拿大杨根细胞内明显出现汞的黑色沉积(见图4),并主要沿细胞壁呈规则排列。高于5ppm汞处理,细胞组织整体染色明显加深。通过电镜的直接观察证明了木本植物根细胞对汞存在较强的亲合吸附作用,其在木本植物对低浓度汞的耐性方面具有重要意义。对于进入细胞质内的汞的耐性则主要依靠植物体内某些生理生化代谢作用加以实现。

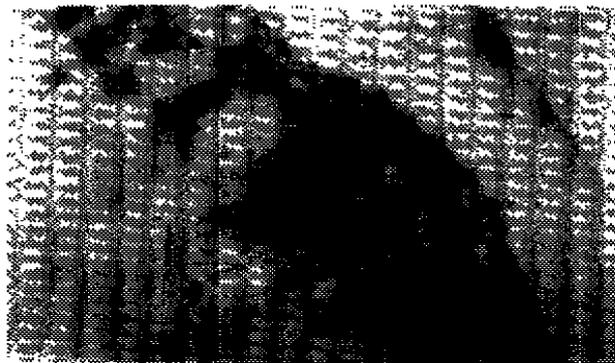


图4 加拿大杨根细胞壁对汞的吸附
Fig.4 Absorption of cell wall of *P. canadensis* to mercury($\times 10,000$)

(2) 植物根系脱氢代谢过程增强。含汞水培40天,3ppm汞处理加拿大杨、晚花杨、辽杨和旱柳根系脱氢酶活性与对照组相比均有不同程度的提高。每克(鲜重)根系,每小时还原TTCH毫克数分别增加1.87倍、2.74倍、0.39倍和1.46倍,呈现晚花杨>加拿大杨>旱柳>辽杨,增加幅度与植物耐性指数大小相关联。Mathys认为,重金属与各种有机酸相结合形成重金属-有机酸复合体是导致重金属毒性降低的主要原因^[7]。各种有机酸作为体内脱氢代谢的中间产物,其含量高低直接受控于体内脱氢酶活性。因此说本研究为Mathys假说提供了佐证。

(3) 植物根系过氧化物同工酶谱带及含量增加。含汞水培20—45天,木本植物根系过氧化物同工酶含量及组成随汞处理浓度增大而显著增加(见图5)。高于1ppm汞处理,加拿大杨 $R_1 = 0.33$ 带消失,并同时有新带出现。3ppm以上汞处理谱带总数约为对照组2倍。

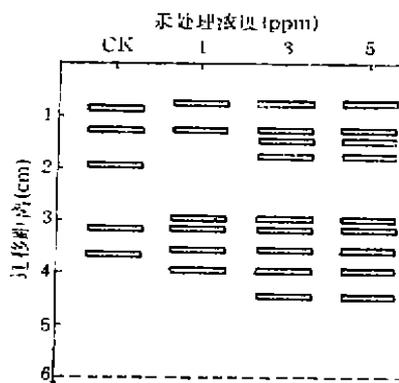


图6 含汞水培加拿大杨根系过氧化物同工酶组成
Fig.6 Component of peroxidase series in the root of *P. canadensis* in Hg-solution

将水培30天的对照组加拿大杨移入5ppm汞培养液中,2天后酶含量便有明显增高, $R_1 = 0.33$ 带没有消失并同时有 $R_1 = 0.50$ 新带出现。过氧化物同工酶是植物体内最常见的氧化酶系。虽然在植物对重金属耐性机理方面所起作用尚待进一步研究,但在汞污染环境,根系过氧化物同工酶含量及组成的增加无疑有助于提高耐汞植物的抗逆生理生化代谢功能。

三、结 论

1. 不同种木本植物对汞的耐性强弱不同,其中加拿大杨>晚花杨>旱柳>辽杨。

当年生加拿大杨体内汞的耐受阈值约为95—100ppm。

2. 受汞毒害，加拿大杨根系生长受到严重抑制。50ppm汞处理土壤上加拿大杨生物生长量与对照相比差异接近显著。100ppm以上汞处理生物生长量下降79%，同时叶片出现黄褐色坏死斑。

3. 木本植物根细胞壁对汞的亲合吸附作用在对低浓度汞的耐性机理方面具有重要意义。根系脱氢酶活性的增强与根系过氧化物同工酶含量及谱带的增加均有助于耐汞植物的抗逆生理生化代谢。

参 考 文 献

- [1] 黄会一, 1983, 植物对大气污染的抗性, 《中国大百科全书》, 环境科学卷, 第482—494页, 中国大百科全书出版社, 北京。
- [2] 黄会一, 张有标等, 1984, 木本植物对大气重金属污染物耐性的研究, 植物生态与地植物学丛刊 8(2):123—132。
- [3] Zimmerman, P.W. & W. Crocker, 1933, The injurious effect of mercury vapor from bichloride of mercury in soil of rose houses. *Boyce Thompson Inst. Prof. Pap.* 1(23):222—226.
- [4] Huckabee, J.W. & Sanz Diaz Francisco et al, 1933, Distribution of mercury in vegetation at Almaden, Spain. *Environmental Pollution (Series A)* 30:211—224.
- [5] 茅野充男, 姜恕译, 1975, 植物的重金属过剩症, 植物生态学译丛(2), 第74—79页, 科学出版社, 北京。
- [6] Thurman, D.A., 1981, Mechanism of metal tolerance in higher plants. In: *Effect of heavy metal pollution on plants* Vol. 2 Applied Science Publishers LTD London & New Jersey pp:239—249.
- [7] Mathys, W., 1977, The role of malate, oxalate and mustard oil glucosides in evolution of zinc-resistance in herbage plants. *Physiol. Plant.* 40:130—136.

STUDY ON THE TOLERANCE OF WOODY-PLANTS TO MERCURY

Lin Zhiquing Huang Huiyi

(Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang)

The simulating tests by using soil and solution cultivation showed that annual woody-plants have certain tolerance to mercury and the tolerant capacity varies with different tree species. The order is as follows: *populus canadensis* > *populus xeuramericana* > *salix matsudana* > *populus maximowiczii*. In the *P. canadensis*, the tolerant threshold cocentration to mercury is about 95—100ppm and the maximum absorbed amount of mercury is about 6779 μ g. Above the threshold, the growth and development of the plants appear evident injures. The affinity adsorption of root cell wall to mercury, the rising of dehydrogen ase activities in root system, and the increase in the amount and the spectral band of peroxidase series may be directly or indirectly helpful for woody-plants to increase Hg-tolerance.

Key words: woody-plants, tolerance, mercury,