

土壤铅胁迫对旱柳生长及相关生理特性的影响

李艳丽, 李永杰

(河北省林业调查规划设计院, 河北 石家庄 100083)

摘要:采用盆栽试验方法研究了不同铅胁迫浓度下旱柳幼苗的生长及相关生理指标的变化。结果表明:随着重金属铅胁迫浓度的增加,旱柳的比叶重、株高与地径生长受到抑制;叶绿素含量及根系活力呈下降的趋势;叶片游离脯氨酸含量与细胞膜透性呈逐渐增加趋势。在浓度为 300 mg/kg 时,游离脯氨酸、细胞膜透性及根系活力与对照相比达到显著差异($P < 0.05$);在浓度 600 mg/kg 时,株高、地径与对照相比达到极显著差异($P < 0.01$);叶绿素 a 与对照相比达到显著差异($P < 0.05$);不同铅胁迫浓度对叶绿素 b、叶绿素 a/b 值没有显著的影响。

关键词:旱柳;铅胁迫;生理特性

中图分类号:S 792.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2011)13-0168-03

随着工业化进程的加快,重金属污染已经成为全球性环境问题。土壤作为环境要素之一,也受到不同程度的污染,铅是“五毒”重金属元素之一,在土壤中积累到一定程度就会对植物产生毒害^[1],它不但会影响植物的生长和发育,而且通过食物链影响人类健康^[2]。

有关铅对植物生理效应及其生物学性状的系统研究始于 20 世纪 60 年代^[3]。之后许多研究者一直致力于铅对植物毒害影响的研究^[4-8],并取得了较大进展,但大多集中在对草本及农作物生长的研究,对木本植物影响的研究较少。现以旱柳幼苗为材料,探讨土壤中不同浓度的铅对其生长及相关生理特性的影响,旨在为环境监测中评价土壤重金属污染程度提供参考,同时也为受污染地区绿化树种的选择提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择个体、健康状况基本一致的 2 a 生旱柳为供试材料。

1.2 试验方法

除去根系原土,并用蒸馏水将根系冲洗干净,选用无污染的砂壤土作为盆栽基质,土样过筛后充分混匀,每盆 30 cm(径)×30 cm(高)装土为 10 kg(干重),每盆 1 株苗木,3 次重复,盆下垫托盘。移植后将试验盆放于简易棚内,保持正常通风、光照。待苗木恢复生长 2 个月后进行铅胁迫处理,以 $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 5H_2O$ 水溶液的形式加入到基质中,制成铅浓度(以 1 kg 风

干基质中含纯铅毫克数计)100、300、600、1 000 mg/kg 的污染土壤,另设不添加污染物的基质作为对照,处理 90 d 后取样,测定生长及相关生理指标。

1.3 测定指标

比叶重的测定:取功能叶片,扫描计算出叶面积后置于 80℃ 烘箱烘至恒重,测定烘干叶片重量,然后计算烘干叶片重量与叶面积之比。苗高和地径的测定:用钢卷尺自苗木地茎至顶芽基部测量苗高,用游标卡尺在根茎结合处测量地径。叶绿素含量的测定:采用丙酮浸提法^[9]。在分光光度计波长 644 nm 和 662 nm 处,用分光光度计测定。细胞膜透性:采用电导法进行测定^[10]。以相对电导率表示细胞膜透性大小。根系活力:TTC 法测定^[9]。用 TTC 还原量能表示脱氢酶活性作为根系活力的指标,在分光光度计波长 485 nm 处比色。净光合速率:选择晴好天气的 9:00 ~ 11:00,用 Li-6400 光合仪测定。

1.4 数据处理

用 SPSS 13.0 软件对数据进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 铅胁迫对旱柳生长的影响

2.1.1 对旱柳比叶重的影响 由表 1 可知,随着铅浓度的增加,比叶重呈逐渐下降的趋势,且与铅胁迫浓度呈负相关关系(相系数 $r = -0.987, p < 0.01$)。在浓度 100、300 mg/kg 时,比叶重与对照相比分别下降了 11.05%、21.82%;随处理浓度的增加,比叶重继续下降,在浓度 600 mg/kg 时,比叶重与对照相比下降了 38.18%;在 1 000 mg/kg 时,比叶重与对照相比下降 52.72%。从差异水平上来看,各处理与对照相比均达到显著差异($P < 0.01$)。

2.1.2 对旱柳株高的影响 在重金属铅的胁迫下,旱柳株高增长量随着铅浓度的增加呈下降的趋势,且与铅胁迫浓度呈负相关(相系数 $r = -0.929, P <$

第一作者简介:李艳丽(1979-),女,本科,工程师,现主要从事林业资产评估工作。E-mail:liy20100826@163.com。

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD03A0104-2)。

收稿日期:2011-04-11

0.01)。由表 1 可知,在浓度 100、300 mg/kg 时,株高与对照相比分别下降了 3.46%、21.97%;随处理浓度的增加,株高增长量继续下降,在浓度为 600、1 000 mg/kg 时,株高与对照相比下降了 34.32%、60.68%。从差异水平上来看,在浓度 600 mg/kg 时与对照达到显著差异($P < 0.01$)。

2.1.3 对旱柳地径的影响 随着铅浓度的增加,地径增长量与株高变化相似,呈下降趋势,且与铅胁迫浓度呈负相关(相系数 $r = -0.909, P < 0.01$)。由表 1 可知,在浓度 100、300 mg/kg 时,地径增长量与对照相比分别下降了 12.77%、19.15%,差异不显著;在浓度 600、1 000 mg/kg 时,苗高增长量与对照相比分别下降了 40.43%、46.81%。从差异水平上来看,在浓度 600 mg/kg 与对照达到显著差异($P < 0.01$)。

表 1 土壤铅胁迫对旱柳生长的影响

处理水平 /mg · kg ⁻¹	比叶重 /g · m ⁻²	株高增长量 /cm	地径增长量 /cm
0	55.18 ± 1.33Aa	48.83 ± 3.82Aa	0.47 ± 0.06Aa
100	49.08 ± 1.37Bb	47.14 ± 4.51Aa	0.41 ± 0.04Aa
300	43.14 ± 2.03Cc	38.10 ± 3.99ABc	0.38 ± 0.04Aa
600	34.15 ± 2.13Dd	32.07 ± 4.47Bc	0.28 ± 0.02Bb
1 000	26.09 ± 1.96Ee	19.20 ± 3.36Cd	0.25 ± 0.01Bb

注:表中数据为 3 次重复的平均值。差异显著性用 Duncan 检验,同一列不同大写字母和小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。下同。

2.2 相关生理特性的影响

2.2.1 土壤铅胁迫对旱柳叶绿素的影响 随着土壤铅胁迫浓度的增加,旱柳幼苗叶绿素 a、b 及叶绿素 a+b 的含量呈下降的趋势,且与铅胁迫水平呈显著的负

表 2 土壤铅胁迫对旱柳叶绿素含量的影响

处理水平 /mg · kg ⁻¹	叶绿素 a /mg · g ⁻¹	叶绿素 b /mg · g ⁻¹	叶绿素 a+b /mg · g ⁻¹	叶绿素 a/b
CK	1.52 ± 0.04Aa	0.34 ± 0.03Aa	1.86 ± 0.07Aa	4.42 ± 0.24Aa
100	1.48 ± 0.04Aab	0.33 ± 0.04Aa	1.81 ± 0.08ABa	4.50 ± 0.45Aa
300	1.43 ± 0.10Aab	0.32 ± 0.04Aa	1.76 ± 0.14ABa	4.40 ± 0.27Aa
600	1.33 ± 0.03ABb	0.31 ± 0.03Aa	1.64 ± 0.06ABab	4.33 ± 0.31Aa
1 000	1.13 ± 0.10Bc	0.30 ± 0.01Aa	1.43 ± 0.11Bb	3.78 ± 0.15Aa

2.2.3 土壤铅胁迫对旱柳叶片游离脯氨酸的影响 游离脯氨酸的积累是植物对环境胁迫的普遍反应,植物体内脯氨酸含量的增加是植物对逆境胁迫的一种生理生化反应^[12]。随着铅胁迫浓度的增加,旱柳叶片的游离脯氨酸含量呈增加的趋势(表 3),且与铅胁迫水平表现出显著的正相关(相系数 $r = 0.927, P < 0.01$)。在铅胁迫浓度 100 mg/kg 时,旱柳叶片游离脯氨酸含量为 4.39 μg/g,与对照相比增加了 0.25 倍,差异不显著;随着铅胁迫浓度的增加,叶片脯氨酸含量分别为对照的 0.80~3.06 倍,其中在浓度 300 mg/kg 时,叶片脯氨酸含量与对照相比达到显著差异($P < 0.05$)。

2.2.4 土壤铅胁迫对旱柳根系活力的影响 根系活力是植物根系生命活动强弱重要反映指标,在各种逆境胁迫下,能否维持较高的根系活力是树木抗逆能力强弱的一种体现^[13]。随着铅胁迫浓度的增加,旱柳根系活力呈下降的趋势,且与铅胁迫水平表现出极显著的负相关(相系数 $r = -0.963, P < 0.01$)。从表 3 可看出,在浓度 100 mg/kg,根系活力为 31.60 mg/g,与对照相比分别下降了 8.81%,差异不显著;在浓度 300

相关(相系数 $r_a = -0.961, r_b = -0.684, r_{总} = -0.953, P < 0.01$)。由表 2 可知,叶绿素 a 与对照相比降幅为 2.63%~25.66%;叶绿素 b 与对照相比分别下降幅度为 3.78%~13.37%;叶绿素 a+b 与对照相比下降了 2.84%~23.39%;叶绿素 a/b 值在浓度 100 mg/kg 时大于对照,比对照增加了 1.16%,之后随浓度增加呈下降趋势,在较高浓度 600、1 000 mg/kg 时,叶绿素 a/b 值分别比对照减少了 2.30%、14.21%。方差分析结果表明,在浓度 600 mg/kg 时,叶绿素 a 与对照相比达到显著差异($P < 0.05$);在浓度 1 000 mg/kg 时,叶绿素 a+b 与对照相比达到显著差异($P < 0.01$)。不同浓度铅胁迫对叶绿素 b 含量、叶绿素 a/b 值没有显著的影响。

2.2.2 土壤铅胁迫对旱柳细胞膜透性的影响 植物细胞电解质渗漏是细胞膜受损伤的直接证据,细胞外渗液的电导率可作为植物细胞膜透性的变化及损伤的生理指标之一^[11]。随着铅胁迫浓度的增加,旱柳叶片电导率与铅胁迫水平表现出显著的正相关性(相系数 $r = 0.951, P < 0.01$)。由表 3 可以看出,在浓度 100 mg/kg 时,旱柳叶片电导率为 6.53%,与对照(5.47%)相比上升了 19.38%,差异不显著;在浓度 300 mg/kg 时,叶片相对电导率为 8.74%,与对照相比上升了 59.78%,达到显著差异($P < 0.05$);在浓度 600、1 000 mg/kg 时,电导率分别为 10.27%、12.12%,与对照相比分别上升了 87.75%、121.57%,达到显著差异($P < 0.01$)。

mg/kg 时,根系活力为 25.11 mg/g,与对照相比下降了 27.69%,达到显著差异($P < 0.05$);之后随着胁迫浓度增加,根系活力继续下降,在浓度 600、1 000 mg/kg 时,根系活力与对照相比分别下降了 58.68%、80.79%,达到极显著差异($P < 0.01$)。

表 3 土壤铅胁迫对旱柳叶片相对电导率、脯氨酸含量及根系活力的影响

处理水平 /mg · kg ⁻¹	相对电导率 /%	脯氨酸 /μg · g ⁻¹	根系活力 /mg · g ⁻¹
CK	5.47 ± 0.52Cd	3.52 ± 0.28Cd	34.73 ± 4.13Aa
100	6.53 ± 1.00Cd	4.39 ± 0.46Ccd	31.67 ± 4.48Aab
300	8.74 ± 1.20Bc	6.32 ± 0.57BCbc	25.11 ± 4.32Ab
600	10.27 ± 0.53ABb	8.31 ± 1.15Bb	14.35 ± 3.13Bc
1 000	12.12 ± 0.59Aa	14.30 ± 1.36Aa	6.67 ± 1.88Bd

3 结论与讨论

随着铅胁迫浓度的增加,旱柳幼苗的叶片比叶重明显减小,与浓度表现出显著的负相关,比叶重反映了叶片的厚薄度、叶密度、充实度和有机物贮藏量的多少,研究结果表明,重金属铅胁迫抑制了旱柳对养分积累。

在该试验设定的铅胁迫浓度范围内,叶绿素 a、叶

绿素 b 的含量随浓度的增加呈下降的趋势,叶绿素 a/b 总体上呈下降趋势,说明铅胁迫对叶绿素 a 的影响比叶绿素 b 大。在浓度 600 mg/kg 时,叶绿素总量与对照相比较,达到显著差异。铅胁迫导致植物叶片叶绿素下降的原因是多方面的,首先,过量的铅影响了叶绿素生物合成的相关酶活性和抑制了叶绿素的合成^[14-15];其次,铅胁迫下活性氧自由基的作用,使叶绿体结构功能遭破坏或叶绿素分解^[16];此外,由于铅的存在拮抗了植物对其它营养元素的吸收,阻断了营养元素向叶部运输,使叶绿素正常合成受阻^[17]。许多研究表明,重金属铅胁迫可引起植物叶片褪绿及叶绿素含量的下降^[18-20],该试验结果与上述结论一致。

脯氨酸是植物细胞内的重要保护物质,具有渗透调节和保护细胞膜结构的稳定作用^[21]。试验结果表明,旱柳幼苗叶片游离脯氨酸含量均呈明显增加趋势,且与胁迫水平表现出显著的正相关。在低浓度 100 mg/kg 时胁迫时,细胞质膜透性并未有显著的变化,说明此时幼苗植株体内积累的脯氨酸对其抗胁迫起到积极的作用。随着胁迫浓度的增加,脯氨酸含量仍在显著持续增加,但细胞质膜透性却急剧增大,说明铅胁迫加剧了膜脂过氧化作用,导致叶片细胞膜损伤较严重,使质膜透性增大,细胞内溶物大量外渗。

根系是直接接触重金属胁迫的最原初器官,极易受到重金属的毒害,当胁迫产生时,根系可通过信息物质的传递来影响地上部的生长行为。在该试验中,根系活力随胁迫浓度的增加呈下降的趋势,与铅胁迫水平表现出极显著的负相关,根系活力是根系生命活动强弱的重要指标反映,在浓度 600 mg/kg 时,与对照相比达到极显著差异,表明旱柳幼苗根系遭受严重损害。旱柳的株高、地径增长量随着铅处理浓度的增加呈下降趋势,在浓度 600 mg/kg 时,株高、地径的增长量与对照相比达到极显著差异。由于根系活力受到不同程度的损失,根系发育受阻,旱柳植株的生长均受到不同程度的抑制作用。

Effect of Lead Stress on the Growth and Some Physiological Characteristics in *Salix matsudana* Seedling

LI Yan-li, LI Yong-jie

(Academy of Forestry Inventory and Planning of Hebei, Shijiazhuang, Hebei 050051)

Abstract: The effect of lead stress on the growth and some physiological indexes of *Salix matsudana* under different concentration treatments by using pot-culture method were studied. The results showed that the specific leaf weight, plant height and ground diameter of *Salix matsudana* seedling had an inhibited growth, and the gross content of chlorophyll and root activity exhibited an decreasing tendency, while the changes of praline contents and cell membrane permeability was opposite with increasing concentrations of lead stress. When the concentration of lead were 300 mg/kg, the proline contents, cell membrane permeability and root activity had a significantly difference respectively ($P < 0.05$) in comparison with control. When the concentration of lead was 600 mg/kg, the plant height and ground diameter had a significantly difference respectively ($P < 0.05$) in comparison with control. The lead stress had no obvious influence on the Chlorophyll a and the ratio of Chlorophyll a to Chlorophyll b.

Key words: *Salix matsudana*; lead stress; physiological characteristics

参考文献

- [1] 杨刚,伍钧,唐亚. 铅胁迫下植物抗性机制的研究进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12):1507-1512.
- [2] 刘秀梅,聂俊华,王庆仁. Pb 对农作物的生理生态效应[J]. 农业环境保护, 2002, 21(3):201-203.
- [3] 黄化刚,李廷轩,杨肖娥,等. 植物对铅胁迫的耐性及其解毒机制研究进展[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3):696-704.
- [4] Kazmina N M. Effect of Lead on the Photosynthetic Apparatus of Annual Grasses[J]. Biology Bulletin, 2005(2):147-150.
- [5] 姚婧,陈雪梅,王友保. Pb 污染土壤对高羊茅种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2008, 26(1):61-65.
- [6] 明华,曹莹,胡春胜,等. 铅胁迫对玉米光合特性及产量的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(1):74-78.
- [7] 林伟,张燕. 铅污染对黄瓜幼苗根系活力的影响[J]. 广西民族大学学报, 2007, 2(1):45-50.
- [8] 杜连彩. 铅胁迫对小白菜幼苗叶绿素含量和抗氧化酶系统的影响[J]. 中国蔬菜, 2008(5):17-19.
- [9] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [10] 朱宇林. 银杏对镉、铅及其复合污染的生理响应与抗性研究[D]. 南京:南京林业大学, 2006:82-83.
- [11] 田如男,袁安全,薛建辉. 4 种常绿阔叶乔木树种幼苗抗铅胁迫能力的比较[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2005, 29(6):82-84.
- [12] 汤章诚. 逆境条件下脯氨酸的积累及意义[J]. 植物生理学通讯, 1984, 13(1):15-21.
- [13] 蔡囊. 5 种阔叶落叶树种对土壤 Cu 污染的耐性评价研究[D]. 北京:北京林业大学, 2009:44.
- [14] Singh R P, Tripathi R D, Sinha S K, et al. Response of higher plants to lead contaminated environment[J]. Chemosphere, 1997, 34:2467-2493.
- [15] Gallego S M, Benzides M P, Tomaro M. Effect of heavy metal ion excess on sunflower leaves: Evidence for involvement of oxidative stress[J]. Plant Science, 1996, 121:151-159.
- [16] 孙塞初,王焕校,李启任. 水生微管植物受镉污染后的生理变化及受害机制初探[J]. 植物生理学报, 1985, 11(2):113-121.
- [17] 鲁先文,宋小龙,王三应,等. 重金属铅对小麦叶绿素合成的影响[J]. 潍坊教育学院学报, 2008, 21(2):47-48, 59.
- [18] 李德明,贺立红,朱祝军. 几种重金属离子对小白菜种子萌发及生理活性的影响[J]. 种子, 2005, 24(6):27-29.
- [19] Kastori R, Pleshicar M, Sakac D, et al. Effect of excess lead on sunflower growth and photosynthesis[J]. Plant Nutrition, 1998, 21(1):75-85.
- [20] Kosobrukhov A, Knyazeva I, Mudrik V. Plantago major plants responses to increase content of lead in soil: Growth and photosynthesis[J]. Plant Growth Regulation, 2004, 42(2):145-151.
- [21] 杨华庚,陈慧娟. 高温胁迫对蝴蝶兰幼苗叶片形态和生理特性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(11):123-127.