

铅胁迫对茶条槭与五角槭的叶片叶绿素含量和膜脂过氧化及保护酶活性的影响

李亚藏

(安阳工学院 土木与建筑工程学院, 河南 安阳 455000)

摘 要: 采用盆栽方法, 研究茶条槭(*Acer ginnala* Maxim)和五角槭(*Acer mono* Maxim)一年生苗木对铅胁迫的耐受情况。在栽培基质中加入 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 试剂(分析纯), 配制成 Pb^{2+} 质量浓度分别为 100、500、1 000、2 000 mg/kg 的基质, 并设 1 个对照处理。苗木生长 75 d 以后, 取叶样测定各项指标。试验结果: 随着土壤 Pb^{2+} 浓度的增加, 两树种叶片中叶绿素 a 含量(茶条槭除外)、叶绿素 b 含量、叶绿素总量及脯氨酸含量降低, 相对电导率、丙二醛(MDA)含量和过氧化物酶(POD)活性升高, 超氧化物歧化酶(SOD)活性先上升后下降, 上述指标的变化幅度均表现为五角槭大于茶条槭。结果表明: 铅胁迫导致植物体内发生了膜脂过氧化反应, 且反应随胁迫强度的增加而增加, 同时引发抗氧化反应; 在清除过氧化物过程中, SOD 发挥了主要作用, POD 活性变化不明显。综合比较, 两树种对铅胁迫均具有一定的耐受性, 茶条槭的耐受性比五角槭的大, 两树种均可用作铅胁迫环境下的城市绿化树种。

关 键 词: 茶条槭; 五角槭; 铅胁迫; 叶绿素; 膜脂过氧化; 抗氧化酶; 脯氨酸

中图分类号: S792.35 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)04-0404-04

Effect of lead stress on chlorophyll content, membrane lipid peroxidation and protective enzyme activity in leaves of *Acer ginnala* Maxim and *Acer mono* Maxim

LI Ya-cang

(College of Civil and Building Engineering College, Anyang Institute of Technology, Anyang, Henan 455000, China)

Abstract: The membrane lipid peroxidation and protective enzyme activity in the annual seedlings of *Acer ginnala* Maxim and *Acer mono* Maxim were studied under lead stress through pot experiment. Treatments Pb100, Pb500, Pb1000, Pb2000 were added with 100, 500, 1 000 and 2 000 mg/kg of $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (pure Pb^{2+}) respectively and the treatment with no Pb^{2+} addition was served as control(CK). Indexes of the leaf samples were determined 75 d after Pb addition. The results showed that chlorophyll a/b and proline contents decreased while relative conductivity, malondialdehyde (MDA) content and the activity of peroxidase (POD) increased with the increase of lead concentration in soil. The activity of superoxide dismutase (SOD) rose firstly and then went down. The variations of these indexes in *Acer mono* were greater than those in *Acer ginnala*. Lead stress caused membrane lipid peroxidation in the plants and the peroxidation increased with increasing intensity of lead stress, which meanwhile caused anti-peroxidation effect. SOD played an important role and the change of POD was not obvious during the process of removing peroxidation products. In general, both *Acer ginnala* Maxim and *Acer mono* Maxim were tolerant to lead stress and the former had greater tolerance than the latter. Two kinds of trees could be used as landscape trees in lead polluted area.

Key words: *Acer ginnala* Maxim; *Acer mono* Maxim; lead stress; chlorophyll; membrane lipid peroxidation; antioxidant enzyme; proline

收稿日期: 2012-04-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(30371149); 黑龙江省科技计划项目(GCO1KBKB213)

作者简介: 李亚藏(1977—), 女, 河北任丘人, 硕士研究生, 主要从事城市林业和植物抗性生理研究, liyacang@sohu.com

工矿业的飞速发展、城市汽车保有量的增加、城市垃圾堆放等使城市土壤中铅累积量逐渐增加^[1-3]，对城市园林生态系统的健康和稳定构成了一定的威胁^[4]，因此，研究植物对铅的抗(耐)性机理以及筛选抗性强、观赏性良好的重金属污染土壤修复植物，对铅胁迫地区植被恢复及城市绿化具有重要意义。茶条槭(*Acer ginnala* Maxim)和五角槭(*Acer mono* Maxim)树姿优美，叶形奇特，季相明显。笔者对不同强度铅胁迫土壤中两树种叶片的叶绿素含量、膜脂过氧化和抗氧化酶系统的变化进行研究，旨在评价两树种抗铅胁迫的能力，为揭示植物对铅胁迫的抗性机制提供参考。

1 材料和方法

1.1 材 料

供试苗木：茶条槭和五角槭一年生实生苗。

栽培基质：东北地区典型的暗棕壤腐殖层和淀积层土壤的混合物(pH 5.5，有机质 10%)和风化沙。

1.2 方 法

采用纯度为 99%的 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 试剂(分析纯)，配制成 Pb^{2+} 质量浓度分别为 100、500、1 000、2 000 mg/kg 的基质，对应设置 4 个铅处理，分别记

作 Pb100、Pb500、Pb1000、Pb2000，并设 1 个对照(CK)处理。每处理 4 盆，每盆栽植 3 株。

土壤处理、苗木栽植及指标测定方法见文献[5]。采用磺基水杨酸法测定脯氨酸含量^[6]。苗木栽植后，桶下垫托盘，采用常规水分管理措施，每次浇水后将渗到托盘中的溶液倒回到桶中。处理 70 d 后进行指标测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 2000 和 SPSS 13.0 软件处理试验数据。

2 结果与分析

2.1 铅胁迫对茶条槭和五角槭叶片叶绿素含量的影响

表 1 结果显示：除茶条槭叶绿素 a 含量外，叶片叶绿素 a 含量和叶绿素 b 含量两树种均表现为随土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加而降低；茶条槭的各处理间差异不显著；五角槭除 Pb100 处理叶绿素 a 含量外，其余各处理叶绿素 a 含量和叶绿素 b 含量均与对照差异显著，与对照相比，Pb2000 处理五角槭叶绿素 a 含量和叶绿素 b 含量的下降幅度(分别为 40.0%和 73.7%)均比茶条槭的(分别为 13.7%和 48.3%)大。

表 1 各处理茶条槭和五角槭叶片的叶绿素含量

Table 1 Chlorophyll content in leaves of the *Acer ginnala* Maxim and the *Acer mono* Maxim under different treatments

树种	处理	叶绿素 a/(mg·g ⁻¹)	叶绿素 b/(mg·g ⁻¹)	叶绿素总量/(mg·g ⁻¹)	叶绿素 a 与叶绿素 b 的含量比
茶条槭	CK	2.96±0.06	1.24±0.05	4.20±0.11	(2.39±0.03)a
	Pb100	2.44±0.08	0.95±0.14	3.38±0.13	(2.92±0.05)ac
	Pb500	2.70±0.11	0.63±0.06	3.33±0.19	(4.25±0.10)bd
	Pb1000	2.71±0.01	0.62±0.04	3.31±0.05	(4.48±0.13)bd
	Pb2000	2.56±0.13	0.64±0.13	3.19±0.10	(4.12±0.17)cd
五角槭	CK	(3.25±0.04)a	(1.26±0.03)a	(4.51±0.01)a	(2.58±0.08)a
	Pb100	(2.61±0.19)ab	(0.59±0.05)b	(3.20±0.15)b	(4.39±0.09)b
	Pb500	(2.51±0.07)bc	(0.55±0.04)b	(3.05±0.10)bc	(4.62±0.20)b
	Pb1000	(2.16±0.16)bc	(0.44±0.04)bd	(2.61±0.18)cd	(4.88±0.08)b
	Pb2000	(1.96±0.11)c	(0.33±0.04)cd	(2.29±0.13)d	(6.08±0.17)c

两树种叶片叶绿素 a 与叶绿素 b 的含量和(叶绿素总量)随土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加而降低，五角槭各铅处理(除 Pb100 外)均与对照差异显著，Pb2000 处理比对照降低了 49.2%；茶条槭受铅胁迫的影响较小，Pb2000 处理比对照低 23.9%，但各处理间差异不显著。

两树种叶片叶绿素 a 与叶绿素 b 的含量比随土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加而升高，除茶条槭的 Pb100 处理外，两树种其他各铅处理均与对照差异显著，Pb2000 处理比对照的增加幅度，五角槭的(135.4%)比茶条槭的(73.0%)大。

2.2 铅胁迫对茶条槭和五角槭叶片膜质过氧化、质膜透性及脯氨酸含量的影响

由表2可见:除茶条槭对照外,两树种叶片的MDA含量随着土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加而升高,茶

条槭各处理与对照差异不显著, $Pb2000$ 处理比对照高21.5%;五角槭除 $Pb100$ 处理外,其余各处理均与对照差异显著, $Pb2000$ 处理比对照高38.8%。

表2 各处理茶条槭和五角槭的叶片MDA含量、相对电导率和脯氨酸含量

Table 2 MDA content, relative conductivity and proline content in leaves of the *Acer ginnala* Maxim and the *Acer mono* Maxim under different treatments

树种	处理	MDA 含量/($nmol \cdot g^{-1}$)	相对电导率/%	脯氨酸含量/($\mu g \cdot g^{-1}$)
茶条槭	CK	(32.45±2.04)ab	(19.22±0.33)a	(277.67±10.18)a
	Pb100	(29.21±2.42)a	(20.30±0.43)a	(246.80±3.22)a
	Pb500	(35.99±0.78)ab	(20.85±0.56)a	(227.28±11.10)a
	Pb1000	(36.50±0.88)ab	(21.28±0.95)ab	(210.76±21.27)b
	Pb2000	(39.41±4.55)b	(23.02±0.71)b	(247.80±5.03)a
五角槭	CK	(34.46±1.40)a	(18.53±0.46)a	175.04±5.64
	Pb100	(41.87±2.70)ab	(21.23±0.32)b	142.09±16.27
	Pb500	(44.45±2.51)b	(22.11±0.55)bc	113.97±29.59
	Pb1000	(45.62±1.62)b	(22.98±0.38)c	102.29±13.34
	Pb2000	(47.81±2.89)b	(24.21±0.26)d	106.96±14.31

茶条槭和五角槭叶片的相对电导率随土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加而升高,茶条槭仅 $Pb2000$ 处理与对照差异显著, $Pb2000$ 处理比对照高19.8%;五角槭各处理均与对照差异显著, $Pb2000$ 处理比对照高30.7%。

两树种各处理的脯氨酸含量茶条槭于 $Pb1000$ 处理显著低于其他各处理;五角槭也于 $Pb1000$ 处理时出现谷值,但各处理间差异不显著。

2.3 铅胁迫对茶条槭和五角槭叶片保护酶活性的影响

表3结果显示,茶条槭和五角槭叶片的SOD活性随着土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加呈现先升高后下降的变化趋势,茶条槭于 $Pb1000$ 处理达到峰值且显著高出对照(比对照高10.1%);五角槭于 $Pb500$ 处理达到峰值,且显著高于对照(比对照高5.9%); $Pb2000$ 处理茶条槭比对照高5.3%,五角槭比对照低3.1%。

茶条槭和五角槭叶片的POD活性随土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加而增加, $Pb2000$ 处理茶条槭和五角槭分别比对照高100.0%和75.0%,但各处理间差异不显著。

表3 各处理茶条槭和五角槭叶片的保护酶活性

Table 3 Activity of protective enzyme in the leaves of the *Acer ginnala* Maxim and the *Acer mono* Maxim under different treatments

树种	处理	SOD 活性/($U \cdot g^{-1}$)	POD 活性/($U \cdot min^{-1} \cdot g^{-1}$)
茶条槭	CK	(624.33±1.52)a	6.00±2.00
	Pb100	(647.08±4.91)ab	6.67±1.33
	Pb500	(662.63±7.53)ab	8.00±0.00
	Pb1000	(687.40±15.98)b	9.33±1.33
	Pb2000	(657.16±9.99)ab	12.00±2.31
五角槭	CK	(645.36±5.18)a	10.67±3.53
	Pb100	(677.03±4.53)b	12.00±2.31
	Pb500	(683.37±4.57)b	13.33±1.33
	Pb1000	(673.00±5.99)b	16.00±0.00
	Pb2000	(625.49±3.96)a	18.67±1.33

3 结论与讨论

叶绿素含量的高低可反映光合作用能力的强弱。本研究结果显示,随土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加,两树种的叶绿素a(茶条槭除外)、叶绿素b、叶绿素总量均下降。叶绿素含量减少主要是由于叶绿素合成量减少或降解加速造成的。Somashkaraiah等^[7]认为可能是重金属离子被植物吸收后,作用于叶绿素生物合成的几种酶(原叶绿素酯还原酶、 δ -氨基乙酰丙酸合成酶和胆色素原脱氨酶)的肽链中富含SH

的部分改变了其正常构型,抑制了酶的活性,阻碍了叶绿素的合成。Woolhouse^[8]认为,随着叶片的衰老,叶绿素含量逐渐下降,叶绿素 a 比叶绿素 b 下降得更快。本试验结果与此不相符,两树种叶片叶绿素 a 与叶绿素 b 的含量比随土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加而升高,说明铅对叶绿素 b 的影响大于对叶绿素 a 的影响,具体机制有待研究。

MDA 含量对细胞膜具有毒害作用,是最常用的膜脂过氧化指标^[9]。本研究中,铅胁迫导致两树种叶片 MDA 含量增加。MDA 含量增加可能与铅胁迫下细胞内活性氧积累引发膜脂过氧化反应有关。膜脂过氧化反应导致膜的透性增大,这与本试验结果两树种叶片相对电导率升高相符。此外,铅胁迫使细胞膜透性增大的原因,也可能是 Pb^{2+} 进入叶片后与细胞膜蛋白的—SH 结合或与细胞膜上的磷脂作用,形成新的物质,从而使细胞膜的功能受损或结构遭到破坏^[10]。

SOD 和 POD 共同作用可以清除过氧化物。本研究中,随着土壤中 Pb^{2+} 浓度的增加,两树种叶片的 SOD 活性先升高后下降,POD 活性逐渐升高,但各处理间差异不显著,说明两树种对铅胁迫具有一定的抗氧化保护能力,而且这种保护能力的增强以 SOD 活性增强为主。随着 SOD 活性增强,脯氨酸含量下降,这与文献^[11]的结果不一致,可见,脯氨酸并不是使茶条槭和五角槭提高诱导胁迫抗性的主要调节物质。郭凌等^[12]认为,脯氨酸的含量不仅受其合成影响,还受其降解影响。脯氨酸的累积是植物对胁迫的暂时反应。当胁迫解除后,脯氨酸含量立即下降^[13]。本研究中脯氨酸含量下降有可能是由于铅胁迫导致脯氨酸合成减少,也有可能是由于 SOD 活性增强而缓解了铅胁迫,在胁迫缓解过程中脯氨酸的降解过程被激活,含量降低。

本研究结果表明,铅胁迫导致植物体内发生了膜脂过氧化反用,且随胁迫强度的增加而增加,并引发抗氧化反应。综合分析各指标的变化情况,再结合有关生长指标的研究结果^[14],两树种对土壤铅胁迫均具有一定的耐性,且茶条槭的耐性比五角槭的大。在本试验铅胁迫下,两树种并没有出现严重的重金属毒害现象,说明其体内由于铅胁迫导致的活性氧数量在其细胞的防御能力之内。在清除活性氧类物质过程中,不同抗氧化酶发挥的作用不同,

其中,SOD 发挥了主要作用,POD 活性作用不明显。关于两树种不同生长阶段抗重金属污染的耐性机制有待研究。

参考文献:

- [1] 陈立新,赵淑苹,段文标.哈尔滨市不同绿地功能区土壤重金属污染及评价[J].林业科学,2007,43(1):65-71.
- [2] 王崇臣,李曙光,黄忠臣.公路两侧土壤中铅和镉污染以及存在形态分布的分析[J].环境污染与防治,2009,31(5):80-82.
- [3] Lottermoser B G. Natural enrichment of topsoils with chromium and other heavy metals, port macquarie, new south wales[J]. Journal of Soil Research, 1997, 35: 1165-1176.
- [4] 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.
- [5] 李亚藏,王庆成.镉污染胁迫 4 种北方阔叶树苗膜质过氧化和保护酶活性的影响[J].东北林业大学学报,2007,35(5):24-26.
- [6] 郝建军,康宗利,于洋.植物生理学实验技术[M].北京:化学工业出版社,2006:154-156.
- [7] Somashekaraiah B V, Padmaja K, Prasad R K. Phytotoxicity of cadmium ions on germination seedling of mung bean(*Phaseolus vulgarize*): Involvement of lipid peroxides in chlorophyll d deg-radation[J]. Physiol Plant, 1992, 85: 85-89.
- [8] Woolhouse H W. Longevity and senescence in plant[J]. Sci Prog Oxford, 1974, 61: 23.
- [9] 雷冬梅,段昌群,张红叶,等.矿区废弃地先锋植物齿果酸模在 Pb、Zn 污染下抗氧化酶系统的变化[J].生态学报,2009,29(10):5417-5423.
- [10] Liang P, Arthur B P. Differential display of eukaryotic messenger RNA by means of the polymerase chain reaction[J]. Science, 1992, 257: 967-971.
- [11] 刘素纯,萧浪涛,廖柏寒,等.铅胁迫对黄瓜幼苗叶片蛋白质的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2006,32(2):141-143.
- [12] 郭凌,张肇铭,芦冬涛,等.球形红细菌对镉胁迫下小麦幼苗几项生理生化指标的影响[J].农业环境科学学报,2008,27(1):40-45.
- [13] 王艳青,陈雪梅,李悦,等.植物抗逆中的渗透调节物质及其转基因工程进展[J].北京林业大学学报,2001,23(4):66-70.
- [14] 李亚藏,王庆成.土壤铅胁迫下 4 种北方阔叶树种苗木的生长反应及抗性比较[J].南京林业大学学报,2011,35(4):143-146.

责任编辑:王赛群