土壤铅污染对密毛白莲蒿茎叶解剖结构影响的研究

罗于洋, 王树森, 闫 洁, 田 盼
(内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘 要: 对 200 mg/L 铅溶液处理的非矿区、矿区密毛白莲蒿的茎、叶解剖结构进行了比较研究。结果表明,非矿区密毛白莲蒿茎在铅胁迫下组织结构变化较小。矿区密毛白莲蒿茎表现出对铅的适应性,茎表皮加厚,细胞壁加厚,木质部导管壁出现加厚现象,导管中有黑色物质。非矿区密毛白莲蒿叶在铅胁迫下整个组织结构极其松散,组织内部的细胞形状不规则,细胞大小不规律,且排列混乱,部分细胞出现了解体的现象,完整的细胞中叶绿体含量明显减少。而矿区密毛白莲蒿叶解剖结构变化较小,其组织结构较完整而且内部细胞排列很紧密,细胞形状较规则,大小均一。矿区密毛白莲蒿在铅胁迫下表现出了很强的耐受性,为铅污染土壤植物修复的理论研究和技术实施提供了一种新的种质资源。

关键词: 密毛白莲蒿; 解剖结构; 土壤铅污染
文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2010)03-0182-04 **中图分类号**: X53, Q13

Effects of Lead Stress on Anatomic Structure of Stems and Leaves of Artemisia Sacrorum var. Messerschmidtiana

LUO Yu-yang, WANG Shu-sen, YAN Jie, TIAN Pan
(College of Ecology and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, *China)*

Abstract: The morphological anatomy of stems and leaves of *Artemisia sacrorum* Ledeb. var. *messerschmidtiana* at 200 mg/L of lead was studied. The changes were manifested as follows: For the stems of non-mining area eco-type at 200 mg/L of lead, there were few changes in the organizational structure. The stems of mining area eco-type showed the adaptability to lead: both the thickness of epidermal and cell wall increased. The thickness of catheter of xylem increased and there was black substance in the catheter. For the leaves of non-mining area eco-type, there were great changes by lead stress. The entire structure of organization was loose; the shape of cell was irregular; the sizes of cells were not the same; some cells appeared disintegration in the organization; and the chloroplast contained in the whole cells decreased significantly. But for the leaves of mining area eco-type, the organization was completed; the cells arranged closely; the shapes of cells were regular; and the sizes of cells were the same. Mining area eco-type appeared strong adaptability to lead stress, which provides an excellent germplasm resource for the theory and practice of phytoremediation of lead contaminated soil.

Keywords: Artemisia sacrorum **Ledeb. var.** messerschmidtiana; **microstructure; lead stress**

随着人类利用和开发自然资源的手段越来越先进,矿产资源的开采速度被大大地加快了。连年持续地开采加重了矿区周围环境的重金属污染,使农田、水体及人类身心健康受到威胁,因此加快铅锌矿山的生态恢复与植被重建研究,控制和减轻重金属对环境的污染和危害就成为迫在眉睫的事情[1]。植物提取修复是目前研究最多且最有发展前途的一种污染土壤植物修复技术,重金属超富集植物的发现是植物提取修复技术研究的基础。

作者在以往的研究中发现,密毛白莲蒿(*Artemisia sacrorum* Ledeb. var. *messerschmidtiana*)是铅的超富集植物,自然条件下,密毛白莲蒿叶中铅含量达 2 375.27 mg/kg,叶对铅的富集系数为 1.15。密毛白莲蒿为内蒙古山地半灌木群落的主要建群植

收稿日期:2009-12-10 **修回日期**:2010-01-26
资助项目:内蒙古自治区自然科学基金项目"内蒙古大井古铜矿重金属超富集植物筛选及其耐性研究"(200711020608); 内蒙古自治区高等学校科学研究项目"内蒙古白音诺尔铅锌矿重金属超富集植被筛选及其耐性研究"(NJ06102); "内蒙古农业大学科技创新团队资助计划"(NDTD2010-11)
作者简介:罗于洋(1968—),女(汉族),陕西省榆林市人,副教授,博士,硕士研究生导师,主要从事环境保护、沙生植物资源保护与利用教学与科研工作。E-mail:luo680715@163.com。

物,高 0.5～1.0 m,在白音诺尔矿区大面积分布。密毛白莲蒿的发现为探讨铅在植物体中的超积累机理和铅污染土壤植物修复的理论与实践提供了一种新的种质资源。

本研究以内蒙古赤峰市白音诺尔铅锌矿区自然生长的密毛白莲蒿为研究对象,通过对铅胁迫下非矿区和矿区密毛白莲蒿茎叶解剖结构影响的比较研究,探讨铅胁迫对超富集植物解剖结构的影响,在细胞水平上探讨重金属对密毛白莲蒿的毒害机理,从而为铅锌矿山的生态恢复与植被重建提供一定的理论依据。

1　实验材料和方法

1.1　采样区自然地理概况

采样区位于内蒙古自治区赤峰市巴林左旗白音乌拉苏木境内的白音诺尔铅锌矿区。该矿区是目前中国长江以北最大最富的多金属矿床,现已探明的铅锌金属储量 2.488×10^6 t,矿石中含有铅、锌、银、镉等主要金属,铅加锌平均品位 7.68 %。矿区位于东经 118°51′30″—118°54′30″,北纬 44°26′00″—44°27′30″。该区气温变化较大,1 月平均气温 - 14.1 ℃,最低气温达 - 39.6 ℃,7 月份平均气温 22.45 ℃,冰冻期从 10 月至翌年 4 月,最大冻土深度 2.5 m,平均年降雨量 337.9 mm,雨季多在 6—8 月。植被类型为草甸草原,土壤类型为淡黑钙土。另一取样地蛮汉山位于内蒙古乌兰察布市凉城县境内,东经 112°2′—113°2′,北纬 40°10′—40°50′之间。蛮汉山是我国北部森林气候区和草原气候区的过渡地带,年平均降水量 411.4 mm,年平均气温 5.9 ℃,最高气温 39.3 ℃,最低气温 - 34.0 ℃,生长期 130 d 左右,≥10 ℃积温3 032.5 ℃左右。蛮汉山土壤为酸性岩砂壤质中厚淋溶灰褐土,植被为典型森林灌丛草原。

1.2　取样方法

矿区密毛白莲蒿为 2008 年 5 月上旬在白音诺尔铅锌矿尾矿区采集,选择生长状况良好且较为一致的密毛白莲蒿幼株。非矿区密毛白莲蒿为同时采集于蛮汉山的生长状况良好的密毛白莲蒿幼株。将两地采回的植株带回苗圃分开寄栽,待植株生长恢复后再移于室内的塑料盆里。

1.3　植株培养

将非矿区、矿区密毛白莲蒿用浓度为 200 mg/L 的醋酸铅溶液培养,各设 4 个重复。

将苗床内的密毛白莲蒿幼株移栽至塑料盆中(盆口直径 15 cm,高 12 cm)进行砂培,每盆中栽植 3～4 株小苗,共栽 4 盆,放置于通风和光照良好的地方进行培养。每隔 2 d 浇 1 次去离子水,预培养 14 d 后植株生长状况良好,此时进行 200 mg/L 的醋酸铅溶液处理。培养期间,每隔 3 d 浇 1 次营养液(40 ml/盆),每隔 3 d 浇 1 次去离子水(20 ml/盆),每隔 5 d 浇 1 次醋酸铅溶液(15 ml/盆);在每个塑料盆下放置塑料盘一个,不定期将盘内积液倒回盆中。植株培养 50 d 后,虽然生长缓慢,但生长状况良好,整株拔出进行相关实验指标的测定。

1.4　茎叶解剖结构实验方法

植株培养 50 d 后做标记,然后将茎叶脱水、透蜡、包埋、切片、展片、染色、封片。在电子显微镜(Olympus-BX41TF)下观察,并记录观察结果。

2　结果与分析

2.1　密毛白莲蒿茎解剖结构[2-3]

2008 年 11 月,对 200 mg/L 铅溶液处理的非矿区、矿区密毛白莲蒿茎进行实验室解剖结构研究,结果如图 1,2 和表 1 所示。

2.1.1　表皮

如图 1 所示,200 mg/L 铅溶液处理的非矿区密毛白莲蒿茎的表皮细胞由一层细胞组成,细胞多不规则且大小不一,细胞排列紧密。如图 2 所示,矿区密毛白莲蒿茎表皮加厚,由 1～3 层细胞组成,细胞多为不规则型,细胞排列整齐而紧密,颜色加深。

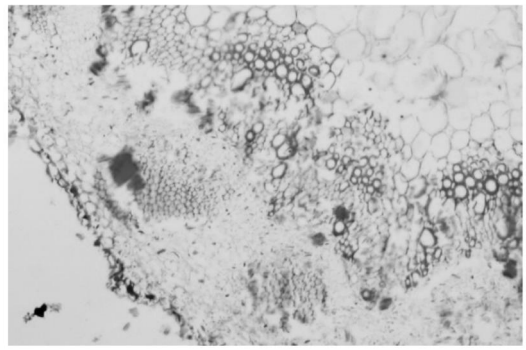

图 1　200 mg/L 铅溶液处理的非矿区密毛白莲蒿茎横切面解剖结构(10 倍)

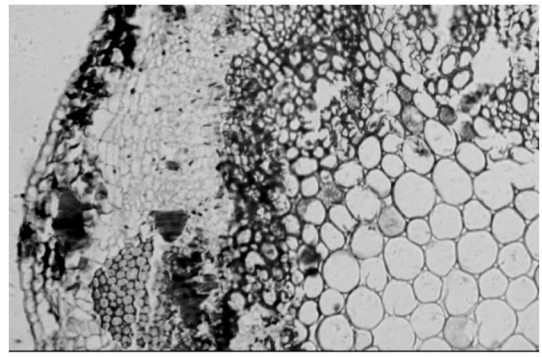

图 2　200 mg/L 铅溶液处理的矿区密毛白莲蒿茎横切面解剖结构(10 倍)

表 1 非矿区、矿区密毛白莲蒿茎横切面的显微特征比较

种 名	非矿区密毛白莲蒿	矿区密毛白莲蒿
表 皮	由 1 层细胞组成,细胞不规则,大小不一,细胞排列较紧密	由 1～3 层细胞组成,细胞不规则,细胞排列紧密
皮 层	细胞大小不一,近圆形,排列疏松	细胞呈圆形或长方形,排列疏松
木质部	木质部导管孔径较大,分布均匀	木质部导管管壁加厚,且导管中有黑色物质
髓	细胞近圆形,细胞大	细胞近圆形,细胞大

2.1.2 皮层 如图 1 所示,200 mg/L 铅溶液处理的非矿区密毛白莲蒿茎薄壁组织的细胞大小不一,近圆形,排列疏松,含叶绿体较少。如图 2 所示,矿区密毛白莲蒿茎薄壁细胞组织细胞呈圆形或长方形,排列疏松,含叶绿体多。细胞中有黑色物质。

2.1.3 维管柱 如图 1 所示,200 mg/L 铅溶液处理的非矿区密毛白莲蒿茎韧皮部细胞小,质密。木质部导管孔径较大,分布均匀。髓特别发达,由大型的薄壁组织细胞组成,形状圆形或不规则,排列较为疏松,有机质大多储存在髓中。如图 2 所示,矿区密毛白莲蒿茎薄壁组织细胞比较大,木质部导管管壁加厚,且导管中有黑色物质。

2.2 密毛白莲蒿叶解剖结构[4-9]

2008 年 11 月,对浓度为 200 mg/L 的铅溶液处理的非矿区密毛白莲蒿、矿区密毛白莲蒿叶进行实验室解剖结构研究,结果如图 3,4 和表 2 所示。

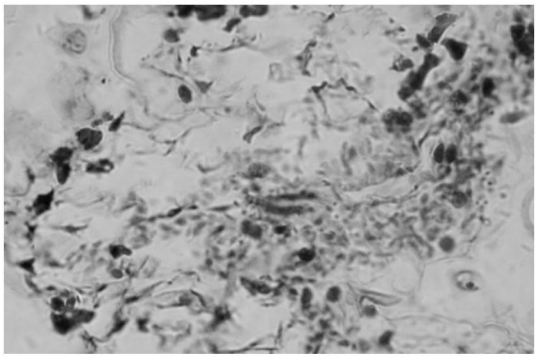

图 3 200 mg/L 铅溶液处理的非矿区密毛白莲蒿叶横切面解剖结构(40 倍)

2.2.1 表皮 如图 3 所示,非矿区密毛白莲蒿叶表皮具有保护作用,由一层细胞构成。表皮细胞不规则,排列松散,细胞大部分解体,且细胞中无叶绿体。如图 4 所示,矿区密毛白莲蒿由一层表皮细胞构成。表皮细胞呈不规则型,细胞较大,排列紧密。部分细胞中无叶绿体,部分细胞中有叶绿体但叶绿体变形。

2.2.2 叶肉 如图 3 所示,非矿区密毛白莲蒿叶栅栏组织部分解体,组织中有晶体出现。细胞小,细胞核小且分布不均匀。海绵组织解体,海绵组织中的细胞解体,核膜和核仁消失。如图 4 所示,矿区密毛白莲蒿栅栏组织由 2～3 层细胞组成,细胞呈长方形或不规则型,排列松散,细胞大小不均匀,细胞核少。海绵组织相对不发达,细胞呈球型或多面体型,细胞间隙较小,少数细胞有细胞核。

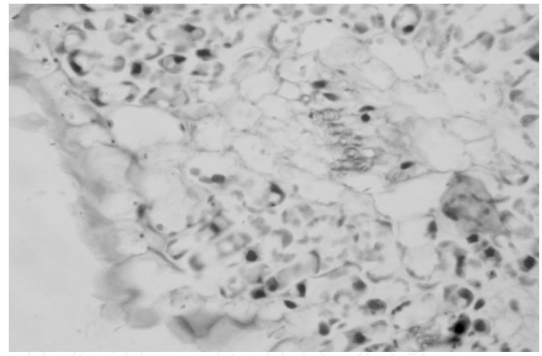

图 4 200 mg/L 铅溶液处理的矿区密毛白莲蒿叶横切面解剖结构(40 倍)

表 2 非矿区和矿区密毛白莲蒿叶片横切面显微特征比较

种 名	非矿区密毛白莲蒿	矿区密毛白莲蒿
表 皮	细胞基本解体,细胞排列松散	细胞较完整,细胞排列较紧密
栅栏组织	栅栏组织解体,细胞小,细胞核小	细胞排列松散,细胞大小不一,细胞核少
海绵组织	细胞解体,核膜、核仁消失	细胞间隙小,细胞大小不一

3 结 论

研究结果表明,矿区密毛白莲蒿对铅含量较高的土壤环境具有较强的适应性。

铅胁迫对非矿区密毛白莲蒿茎组织结构影响不大,矿区密毛白莲蒿则通过加厚细胞壁,加厚导管壁表现出对环境的适应。铅胁迫下矿区密毛白莲蒿叶解剖结构变化较小。

铅胁迫下非矿区密毛白莲蒿茎组织结构变化较小,细胞中几乎没有叶绿体。矿区密毛白莲蒿由于长期生长在铅矿区,表现出对铅的适应性:矿区密毛白莲蒿茎表皮加厚,细胞壁加厚,只有叶绿体含量减少。木质部导管壁出现加厚现象,导管中有黑色物质。

铅胁迫对非矿区密毛白莲蒿叶影响较大,具体表现为:整个组织结构极其松散,组织内部的细胞形状不规则,细胞大小不规律,且排列混乱,部分细胞出现了解体的现象,细胞中叶绿体含量明显减少。铅胁迫下矿区密毛白莲蒿叶解剖结构变化较小,其组织结构

比较完整而且内部的细胞排列很紧密,细胞的形状较为规则,大小比较均一,叶绿体含量无明显减少,其细胞中细胞核较少。

细胞是生物结构和功能的基本单位,重金属引起植物细胞解剖结构的改变是一个复杂的过程,植物体内的重金属积累超过一定阀值后,对植物细胞超微结构的损伤是一个重要机制,通过探讨植物受重金属毒害后细胞结构的变化,是在细胞水平上揭示重金属毒害植物机理的途径之一。国内外许多学者从不同的角度报道了重金属对植物细胞结构的破坏。李荣春[10]研究了 Cd,Pb 及其复合污染对烤烟叶片细胞亚显微结构的影响,发现 Cd 对烟叶叶肉细胞亚显微结构具有较强的损伤诱变作用,表现为叶绿体类囊体肿胀或解体,基粒片层紊乱甚至消失,类囊体空泡化;细胞核变形,核仁解体,核质分布不均匀以及出现微核等,较严重的核中央出现大空泡,核膜部分或全部解体,核质分布在空泡的边缘,线粒体脊的消失而使线粒体空泡化。施国新[11]等对汞、镉污染对黑藻叶细胞伤害的超微结构进行了研究。叶细胞遭受 Hg^{2+},Cd^{2+} 毒害初期,高尔基体消失,内质网膨胀后解体,叶绿体中的类囊体和线粒体中的脊突膨胀或呈囊泡状,核中染色质凝集。随着叶细胞遭受毒害程度的加重,核糖体消失,染色质呈凝胶状态,核仁消失,核膜破裂,叶绿体和线粒体解体,质壁分离使胞间连丝拉断,细胞壁部分区域的壁物质松散游离,最后细胞死亡。结果表明,Hg^{2+} 和 Cd^{2+} 对细胞的膜结构和非膜结构都产生毒害作用,只是不同的结构对毒性的耐受性有一定的差异。

内蒙古白音诺尔铅锌矿是目前中国长江以北最大的铅锌多金属矿,在漫长的开发利用过程中,对周围的土壤环境、水体环境等造成了严重的重金属污染。加强该地区对重金属污染环境的研究,着手修复被重金属污染的土壤十分必要。密毛白莲蒿为 Pb 的超富集植物,在矿区大面积分布,在细胞水平上探讨密毛白莲蒿对 Pb 的积累和耐受机理对我国铅锌矿污染土壤植物修复的理论与实践具有重要的意义。

[参 考 文 献]

[1] 束文圣,杨开颜,张志权,等. 湖北铜绿山古铜矿冶炼渣植被与优势植物的重金属含量研究[J]. 应用与环境生物学报,2001,7(1):7-12.

[2] 何涛,吴学明,贾敬芬. 青藏高原高山植物的形态和解剖结构及其对环境的适应性研究进展[J]. 生态学报,2007,27(6):2574-2583.

[3] 李晓燕,王林和,李连国,等. 沙棘茎的形态解剖特征与其生态适应性研究[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(3):188-191.

[4] 韩雪梅,吴树彪,陈慧选,等. 几种矿质元素对青菜叶形态解剖结构的影响[J]. 华北农学报,1997,12(1):65-71.

[5] 石硕,贺学礼,祝东立. 不同海拔高度上两种蒿属植物叶表皮结构比较研究[J]. 河北农业大学学报,2008,31(1):43-47.

[6] 山宝琴,贺学礼. 毛乌素沙地 12 种蒿属植物叶的解剖特征[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(6):211-215.

[7] 蔡永立,王希华,宋永昌. 中国东部亚热带青冈种群叶片的生态解剖[J]. 生态学报,1999,19(6): 844-849.

[8] 何冬梅,刘庆,林波,蒋先敏. 人工针叶林林下 11 种植物叶片解剖特征对不同生境的适应性[J]. 生态学报,2008,28(10):4739-4749.

[9] 赵雪艳,汪诗平. 不同放牧率对内蒙古典型草原植物叶片解剖结构的影响[J]. 生态学报, 2009,29(6):2906-2918.

[10] 李荣春. Cd,Pb 及其复合污染对烤烟叶片生理生化及细胞亚显微结构的影响[J]. 植物生态学报,2000,24(2):238-242.

[11] 施国新,杜开和,解凯彬,等. 汞、镉污染对黑藻叶细胞伤害的超微结构研究[J]. 植物学报,2000,42(4):373-378.