

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

薛生国, 朱锋, 叶晟, 王钧, 吴雪娥. 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究. 生态学报, 2011, 31(20): 6143-6148.

Xue S G, Zhu F, Ye S, Wang J, Wu X E. Physiological Response of *Mirabilis jalapa* Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6143-6148.

紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究

薛生国*, 朱 锋, 叶 晟, 王 钧, 吴雪娥

(中南大学冶金科学与工程学院环境工程系, 长沙 410083)

摘要: 铅是一种毒性强的重金属元素, 一旦进入环境将很难修复, 进而通过食物链危及人类健康。傅里叶变换红外光谱法 (FTIR) 具有准确度高、简便快捷、分辨率高的特点, 是一种探讨植物重金属耐性机理的可行方法。紫茉莉是一种生长快的多年生草本植物, 有应用于铅污染土壤植物稳定的前景。通过温室培养, 研究不同铅处理条件下 (0, 50, 100, 200, 500, 1000 $\mu\text{mol/L}$), 紫茉莉不同组织器官 (根、茎、叶) 的傅立叶红外光谱 (FTIR) 图谱变化, 结果发现, 生长介质铅处理浓度低于 500 $\mu\text{mol/L}$ 时对紫茉莉的生长基本没有影响, 当 Pb 处理浓度达到 1000 $\mu\text{mol/L}$ 时, 生物量略显降低, 但是各处理浓度间生物量差异性不显著。紫茉莉根组织在 3420, 2920, 1610, 1060 cm^{-1} 等处峰高先上升后下降, 反映蛋白质、氨基酸、糖类、羧酸等物质在低铅处理条件下往往作为渗透性调节物质出现, 有机物含量升高, 但随着铅含量的升高, 其合成和运输受限, 有机物含量逐渐下降; 茎组织在 2920, 1630, 1380, 1060 cm^{-1} 等处峰高无明显变化; 叶组织在 1650 cm^{-1} 处峰高随铅处理浓度升高而升高, 这可能与紫茉莉叶中蛋白质和氨基酸等物质含量升高有关。这表明, 紫茉莉通过根系有机物含量的变化, 将植物吸收的 Pb 大部分积累在根部, 阻止 Pb 向地上部分运输, 有效的保护了植物地上部分。

关键词: 紫茉莉; 铅胁迫; 耐性; 化学组分; 傅立叶变换红外光谱

Physiological Response of *Mirabilis jalapa* Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy

XUE Shengguo*, ZHU Feng, YE Sheng, WANG Jun, WU Xue'e

Department of Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract: Industries such as metal smelters, refineries, and mining operations have been indicated as major sources of metals release into the environment. Pb is a highly toxic and cumulative poisonous element. Similar to other metals, once released into the environment, it is difficult to recover and can adversely affect human health. *Mirabilis jalapa* Linn. is a fast growing plant, with the proven ability to stabilize Pb from contaminated soils. Fourier transform infrared (FTIR) spectrometry, which is accurate, simple and efficient, with high resolution, was used to investigate the physiological changes in chemical composition of *M. jalapa* L. exposed to six different levels of Pb in solution (0, 50, 100, 200, 500, 1000 $\mu\text{mol/L}$). At Pb concentration below 500 $\mu\text{mol/L}$, *M. jalapa* could grow normally, without any symptoms of Pb toxicity, although with a lower biomass at 1000 $\mu\text{mol/L}$ Pb than the control samples. Using the roots, stems and leaves of *M. jalapa*, absorption bands corresponding to carbohydrates, ester and proteins varied differently. The absorbance of the dominating bands near 3420, 2920, 1610, 1060 cm^{-1} which corresponded to organic acids, carbohydrate, protein and amino acids elevated initially and then decreased in root tissues, but no obvious changes in leaves and stems were noted. All these results suggested that *Mirabilis jalapa* inhibited the transportation of Pb from roots to shoots. Hence, it is practical to apply FTIR to explore the physiological mechanism of lead tolerance by higher plants.

基金项目: 国家公益性 (环保) 行业科研项目 (200909065; 201109056); 国家自然科学基金项目 (40771181)

收稿日期: 2011-06-21; 修订日期: 2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sgxue70@yahoo.com.cn

Key Words: *Mirabilis jalapa* Linn. ; Lead stress; Tolerance; Chemical composition; FTIR

铅是一种毒性较强的重金属元素,影响神经、造血、消化、免疫、骨骼等器官,严重危害人类健康^[1]。随着现代工业的发展,矿山开发,化肥农药的不合理施用,汽车尾气排放,导致环境中 Pb 含量显著增加。铅是植物生长的非必需元素,植物生长的环境 Pb 含量过高会导致代谢过程紊乱,生长发育受到抑制,甚至死亡,而且 Pb 还能通过食物链威胁人类的健康。

矿业废弃地物理结构不良、养分缺乏、重金属毒性大等因素,一般植物难以生长^[2]。金属尾矿废弃地由于其污染面积大,难以治理的特点而成为矿业废弃地重金属污染治理的难点。植物稳定技术利用耐性植物的机械固定作用、根系吸附和根际沉淀作用,降低重金属的生物有效性,是一种比较有前景的环境友好技术^[3-4]。适宜的耐性植物是植物稳定技术的基础。Baker^[5]认为,植物对重金属的耐性通过积累性和排斥性两条途径实现,积累性指即重金属在植物体内以不具生物活性的解毒形式存在,如细胞壁的 Pb 沉淀作用阻止过多的 Pb 进入原生质,进入原生质的 Pb,还可以通过向液泡中输送而减少原生质中的浓度,以蛋白质类、有机酸等物质与 Pb 反应形成螯合物和沉淀降低自由态的 Pb;排斥性指重金属被植物吸收后通过主动运输或老化器官脱落排出体外,或者重金属在植物体内的运输受到阻碍。

植物在受到重金属胁迫时,生长发育以及体内重金属积累特征都会产生相应变化,同时微观响应机制也会产生变化^[6-7]。傅里叶红外光谱(FTIR)作为一种基于化合物中官能团和极性键振动的结构分析技术,已广泛应用于大分子化合物结构分析以及蛋白质的二级结构解析,是获取分子结构信息的有力工具,而且只要生物体各种化学组分含量相对稳定,样品处理方法参照统一要求,其红外光谱是相对稳定的^[8]。国内学者已开始应用 FTIR 技术开展植物重金属耐性机制研究^[9-11]。任利民等应用 FTIR 技术研究美洲商陆对锰毒的生理响应,认为植物化学组份的变化有助于揭示超富集植物的锰耐性机理^[12]。薛生国等采用 FTIR 法探讨酸模叶蓼对锰胁迫生理响应的影响,发现酸模叶蓼根、茎、叶的 1060 cm^{-1} 处在最高浓度下峰值的变化,主要表现是膜脂过氧化,可能与锰耐性有关^[13]。紫茉莉(*Mirabilis jalapa* Linn)是在我国矿区发现的一种耐性植物,具有生长迅速、生物量大、观赏价值高的特点,是一种较为理想修复重金属污染土壤的乡土植物。因此,开展紫茉莉重金属耐性的研究对其应用于重金属污染土壤修复具有重要意义。本文利用傅立叶变换红外光谱分析紫茉莉在 Pb 胁迫下不同组织器官(根、茎、叶)的化学组成的变化,以期对铅污染环境修复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

供试植物为紫茉莉,种子采自湖南省某矿业废弃地。紫茉莉属于紫茉莉科(Nyctaginaceae)紫茉莉属,是一种多年生草本花卉植物,高达 50—100cm,花有紫红、粉红、红、黄、白等各种颜色,观赏价值较高。

1.2 铅胁迫处理

紫茉莉种子萌发两周后,选取生长一致的幼苗,依次用自来水和去离子水洗净根系,移入装有 20 L 1/2 Hoagland 营养液的外壁涂黑的塑料箱中。设定 6 个处理,Pb 浓度分别为 0、50、100、200、500、1000 $\mu\text{mol/L}$ 。Pb 以硝酸铅形式加入,每个浓度处理重复 3 次实验。每 4d 换 1 次营养液,保持 pH 值在 5.5 左右,保持连续通气。35d 后收获紫茉莉植株,用自来水和去离子水洗净,称重,分别取根、茎、叶 3 部分于 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱杀青 30 min,然后于 75 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中干燥 48 h,用不锈钢粉碎机粉碎,过 200 目筛。

1.3 傅里叶红外光谱分析

应用傅里叶红外光谱仪(美国 Nicolet 公司 Nexus 670,光谱范围 4000—400 cm^{-1} ,分辨率 1 cm^{-1})测定紫茉莉根、茎和叶组织样品的的光谱信息。

1.4 数据分析

实验数据采用 Microsoft Excel 2003 进行分析,并采用 Origin(7.0)进行红外光谱数据图谱处理。

2 结果与分析

2.1 不同浓度铅处理对紫茉莉生长的影响

不同浓度铅处理条件下紫茉莉均能正常生长(能完成整个植物生长发育过程),各处理间差异不明显($P>0.05$)。高浓度 Pb(1000 $\mu\text{mol/L}$)处理下紫茉莉叶片微卷,根部稍许发黑,这可能是因为在高浓度铅处理条件下紫茉莉对铅胁迫的一种生理响应。随着铅处理浓度的升高,紫茉莉生物量略呈上升趋势,但在1000 $\mu\text{mol/L}$ 铅处理条件下,生物量又略显降低,但是不同处理条件下生物量差异不显著,这表明紫茉莉对生长介质中的铅具有极强的耐性。

2.2 紫茉莉根的 FTIR 分析

3420 cm^{-1} 的自由羟基的伸缩振动峰主要来自于紫茉莉根系中多糖、纤维素、半纤维素等碳水化合物(图2)^[14],由图3可以看出,在低浓度 Pb 处理条件下,该峰的吸光度上升,在200 $\mu\text{mol/L}$ 铅处理条件下达到最高,随着铅处理浓度的继续提高,该峰处吸光度下降。这说明低浓度 Pb 促进了紫茉莉根系碳水化合物的分泌,高浓度铅胁迫则抑制了碳水化合物的分泌,随着铅浓度的继续升高,根外表皮细胞壁的羟基吸附结合 Pb^{2+} ,使细胞壁表面的氢键减弱。

2920 cm^{-1} 附近是羧酸 O—H 与甲基伸缩振动重叠峰,主要来自于维生素和种膜及细胞壁的组织等成分(图2)。该处峰也呈现在低浓度 Pb 处理下吸光度上升,随铅处理浓度继续提高吸光度下降的趋势(图3)。这可能是在低浓度 Pb 的胁迫下,紫茉莉的根部由于抗性机制不断分泌有机酸螯合 Pb,导致羧酸谱带上升,但当 Pb 的处理浓度继续升高,Pb 对紫茉莉的毒害加深,有可能导致植物的一系列生理生化过程失调,影响了植物的抗性机制,导致有机酸分泌减少,同时有机酸不断螯合 Pb^{2+} ,造成羧酸 O—H 的减少,峰值下降。

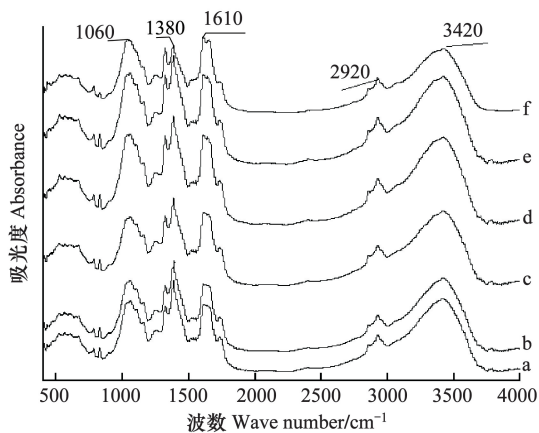


图2 不同铅处理下紫茉莉根系的傅里叶红外光谱图(400—4000 cm^{-1})

Fig.2 Absorption FTIR spectra in the 400 to 4000 cm^{-1} region in the roots of *M. jalapa*

a: control; b: 50 $\mu\text{mol/L}$; c: 100 $\mu\text{mol/L}$; d: 200 $\mu\text{mol/L}$; e: 500 $\mu\text{mol/L}$; f: 1000 $\mu\text{mol/L}$

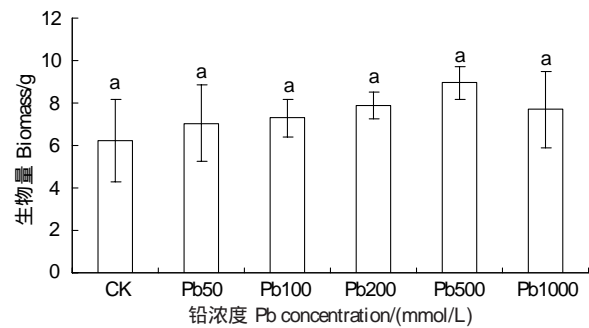


图1 不同浓度铅处理对紫茉莉生物量的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of Pb on the biomass of *Mirabilis jalapa*

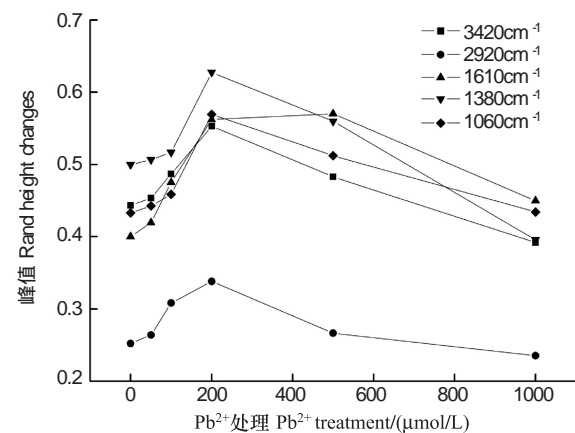


图3 不同铅处理下紫茉莉根系的特征峰(3420 cm^{-1} , 2920 cm^{-1} , 1610 cm^{-1} , 1380 cm^{-1} and 1060 cm^{-1})变化谱图

Fig.3 The band height changes of 3420 cm^{-1} , 2920 cm^{-1} , 1610 cm^{-1} , 1380 cm^{-1} and 1060 cm^{-1} in the roots of *M. jalapa*

1655—1590 cm^{-1} 附近 N—H 酰胺的弯曲振动峰是蛋白质的特征红外光谱(图2)。该处峰的吸光度也呈

现随 Pb 处理浓度升高先升高后降低的趋势(图 3)。氨基酸、多肽和蛋白质类物质是紫茉莉根部响应 Pb 胁迫的根系分泌物,低浓度下 Pb 刺激了这类物质的合成和分泌,用以络合 Pb,减轻重金属 Pb 对植物的毒性,高浓度 Pb 的则抑制了该类物质的合成。

1060 cm^{-1} 附近的峰是醇、酯基、醚基或酚类的 C—O 基团的伸缩振动峰(图 2)^[14],该峰在中低浓度 Pb 处理下上升可能是低 Pb 促进该类物质的合成,也可能是由于化学吸附羟基与 Pb^{2+} 作用,导致 C—O 峰强度增加。当处理浓度继续升高,该类物质的根部运输受到影响,峰高降低^[12-13]。

2.3 紫茉莉茎的 FTIR 分析

图 4 所示为不同铅浓度处理条件紫茉莉茎组织的红外光谱图,图 5 所示为不同铅浓度下紫茉莉茎组织的特征峰变化图。1380 cm^{-1} 附近的峰是为含油脂化合物的甲基 C—H 的变形振动峰,在 1630 cm^{-1} 附近的峰是氨基酸,多肽和蛋白质类物质 N—H 酰胺的弯曲振动峰该处,2920 cm^{-1} 附近的峰是植物体内有机酸类物质的羧酸 O—H 的伸缩振动峰,在 3420 cm^{-1} 附近的峰代表紫茉莉茎中碳水化合物分子间氢键 O—H 自由羟基的伸缩振动峰(图 4)。

由图 5 看出,除 3420 cm^{-1} 处峰值出现不规则变化外,其余几处峰均无明显变化,表明在 Pb 处理浓度不断增高的情况下,紫茉莉茎中这几类有机物成分没有明显变化。在一定浓度范围的 Pb 胁迫下,紫茉莉茎中的生理生化过程受影响程度较小,表现出紫茉莉作为 Pb 耐性植物的特性。这与温室实验中得出在 Pb 处理浓度不断增高的情况下紫茉莉茎中 Pb 含量变化不显著的结论相似。

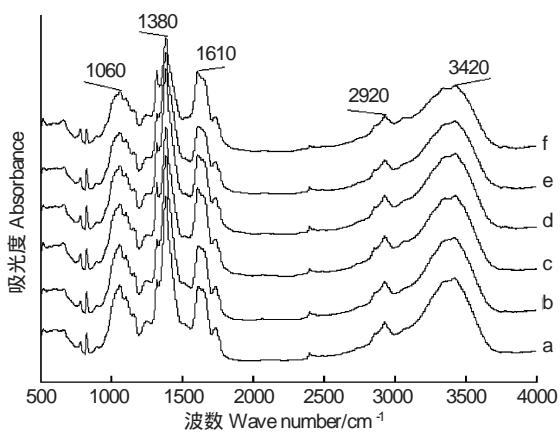


图 4 不同铅处理条件下紫茉莉茎的傅里叶红外光谱图 (400—4000 cm^{-1})

Fig. 4 Absorption FTIR spectra in the 400 to 4000 cm^{-1} region in the stems of *M. jalapa*

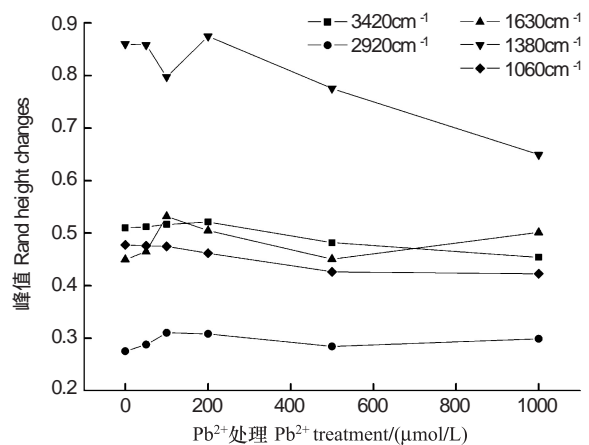


图 5 不同铅处理条件下紫茉莉茎的特征峰(3420 cm^{-1} , 2920 cm^{-1} , 1630 cm^{-1} , 1380 cm^{-1} and 1060 cm^{-1})变化谱图

Fig. 5 The band height changes of 3420 cm^{-1} , 2920 cm^{-1} , 1630 cm^{-1} , 1380 cm^{-1} and 1060 cm^{-1} in the stems of *M. jalapa*

2.4 紫茉莉叶的 FTIR 分析

图 6 所示为不同铅浓度处理条件紫茉莉叶的红外光谱图,图 7 所示为不同铅浓度下紫茉莉叶的特征峰变化图。1650 cm^{-1} 附近的 N—H 酰胺的弯曲振动峰高表现出随 Pb 处理浓度升高而升高外,其余的四个峰随浓度升高变化不明显。这也表明了紫茉莉对 Pb 的耐性特征,在一定浓度范围 Pb 胁迫下,紫茉莉叶的生理生化过程没有受到明显影响。有研究表明,重金属能诱导富脯氨酸蛋白、病害相关蛋白和富甘氨酸蛋白等一些蛋白的合成,并且一些专家还认为这些重金属胁迫诱导蛋白合成可能具有保护植物细胞免受重金属毒害的作用^[15],而 1650 cm^{-1} 附近的 N—H 酰胺的弯曲振动峰随 Pb 处理浓度升高而升高,这可能与紫茉莉叶中氨基酸,多肽和蛋白质类物质含量升高有关。

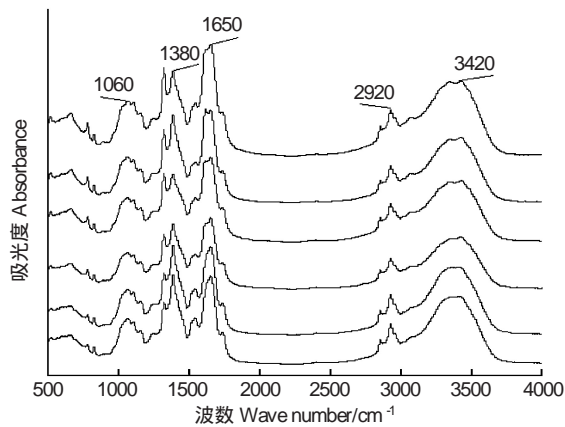


图 6 不同铅处理条件下紫茉莉叶的傅里叶红外光谱图(400—4000 cm^{-1})

Fig. 6 Absorption FTIR spectra in the 400 to 4000 cm^{-1} region in the leaves of *M. jalapa*

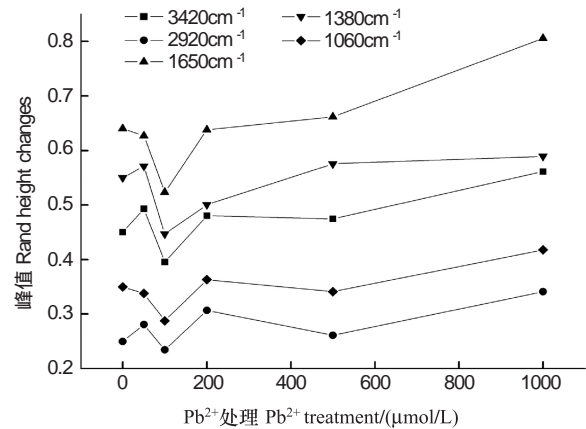


图 7 不同铅处理条件下紫茉莉叶的特征峰(3420 cm^{-1} , 2920 cm^{-1} , 1650 cm^{-1} , 1380 cm^{-1} and 1060 cm^{-1})变化谱图

Fig. 7 The band height changes of 3420 cm^{-1} , 2920 cm^{-1} , 1650 cm^{-1} , 1380 cm^{-1} and 1060 cm^{-1} in the leaves of *M. jalapa*

3 结论

(1)不同浓度铅处理条件下(铅浓度低于 1000 $\mu\text{mol/L}$),紫茉莉均能正常生长,虽然在 1000 $\mu\text{mol/L}$ 铅处理件下,生物量又略显降低,但是不同处理条件下生物量差异不显著,这表明紫茉莉具有极强的铅耐性。

(2)紫茉莉根组织在 3420,2920,1610,1060 cm^{-1} 等处峰高先上升后下降,反映糖类、蛋白质、氨基酸等物质在低铅处理条件下往往作为渗透性调节物质出现,这类有机物含量升高,但随着铅含量的升高,其合成和运输受限,有机物含量逐渐下降。

(3)紫茉莉茎组织在 2920,1630,1380,1060 cm^{-1} 等处峰高无明显变化;叶组织在 1650 cm^{-1} 处峰高随铅处理浓度上升而增加,这可能与紫茉莉叶中氨基酸和蛋白质等含量升高有关。

(4)紫茉莉通过根部有机物含量的变化,将吸收的 Pb 大部分积累在根部,阻止 Pb 向地上部分运输,有效的保护了植物地上部分组织。

致谢:香港浸会大学黄铭洪教授对写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Wang Y J. Damage of plumbum pollution to human health and countermeasures. Journal of Shenyang University, 2004, 16(6): 103-106.
- [2] Wong M H. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. Chemosphere, 2003, 50(6): 775-780.
- [3] Xue S G, Zhou F, Ye S, Tian S X, Wang J, Zhou X H. Progress on phytostabilization of tailing wasteland from metalliferous mines. Environmental Science and Technology, 2009, 32(8): 101-104.
- [4] Conesa H M, Faz A, Arnaldos R. Initial studies for the phytostabilization of a mine tailing from the Cartagena-La Union Mining District (SE Spain). Chemosphere, 2007, 66(1): 38-44.
- [5] Baker A J M. Metal tolerance. New Phytologist, 1987, 106(1): 93-111.
- [6] Liang W B, Xue S G, Shen J H, Wang P, Wang J. Manganese Stress on Morphological Structures of Leaf and Ultrastructures of Chloroplast of a Manganese Hyperaccumulator, *Phytolacca americana*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(13): 3677-3683.
- [7] Lin Q, Shen K L, Zhao H M, Li W H. Growth response of *Zea mays* L. in pyrene-copper co-contaminated soil and the fate of pollutants. Journal of Hazardous Materials, 2008, 150(3): 515-521.
- [8] Bosch A, Serra D, Prieto C, Schmitt J, Naumann D, Yantorno O. Characterization of *Bordetella pertussis* growing as biofilm by chemical analysis and FT-IR spectroscopy. Applied Microbiology and Biotechnology, 2006, 71(5): 736-747.
- [9] Zhang X B, Liu P, Li D T, Xu G T, Jiang M J. FTIR spectroscopic characterization of chromium-induced changes in root cell wall of plants. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(5): 1067-1070.

- [10] Gu Y H, Liu P, Chai Q M, Chen J, Xie H K. Effects of Cd stress on FTIR spectra and physiological traits of *Hypnum fertile* Sendtn. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, 29(3): 620-623.
- [11] Gong N, Li R H, Meng Z F, Yang G M. Physiological response of *Brassica chinensis* L. seeds in germination to cadmium toxicity by FTIR—ATR spectroscopy. *Journal of Argo-Environment Science*, 2010, 29(1): 9-14.
- [12] Ren L M, Cheng Z F, Liu P, Li Z G. Studies on the physiological response of *Phytolacca americana* to manganese toxicity by FTIR spectroscopy. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008, 28(3): 582-585.
- [13] Xue S G, Huang Y H, Wang J, Tian S X, Lei J, He Z X. Physiological response of *Polygonum lapathifolium* to manganese stress by FTIR spectroscopy. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2011, 42(6): 1528-1532.
- [14] Lu W Z, Yuan H F, Xu G T, Qiang D M. *NIR Spectra Analysis*. Beijing: China Petrochemical Press, 2000: 19-26.
- [15]] Didierjean L, Frendo P, Nasser W, Genot G, Marivet J, Burkard G. Heavy-metal-responsive genes in maize: identification and comparison of their expression upon various forms of abiotic stress. *Planta*, 1996, 199(1): 1-8.

参考文献:

- [1] 汪晔君. 铅污染对人体健康的危害及防治措施. *沈阳大学学报*, 2004, 16(6): 103-106.
- [3] 薛生国, 周菲, 叶晟, 田守祥, 王钧, 周晓花. 金属尾矿废弃地植物稳定技术研究进展. *环境科学与技术*, 2009, 32(8): 101-104.
- [6] 梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 王萍, 王钧. 锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响. *生态学报*, 2011, 31(13): 3677-3683.
- [9] 张晓斌, 刘鹏, 李丹婷, 徐根娣, 蒋敏姣. 铬诱导植物根细胞壁化学成分变化的 FTIR 表征. *光谱学与光谱分析*, 2008, 28(5): 1067-1070.
- [10] 顾艳红, 刘鹏, 蔡琪敏, 陈洁, 谢鸿锴. FTIR 结合生理特性研究镉胁迫对果灰藓的影响. *光谱学与光谱分析*, 2009, 29(3): 620-623.
- [11] 龚宁, 李荣华, 孟昭福, 杨公明. Cd 对小白菜萌发生理影响的 FTIR-ATR 研究. *农业环境科学学报*, 2010, 29(1): 9-14.
- [12] 任立民, 成则丰, 刘鹏, 李志刚. 美洲商陆对锰毒生理响应的 FTIR 研究. *光谱学与光谱分析*, 2008, 28(3): 582-585.
- [13] 薛生国, 黄艳红, 王钧, 田守祥, 雷杰, 何哲祥. 采用 FTIR 法研究酸模叶蓼对锰胁迫生理响应的影响. *中南大学学报(自然科学版)*, 2011, 42(6): 1528-1532.
- [14] 陆婉珍, 袁洪福, 徐广通, 强冬梅. *现代近红外光谱分析技术*. 北京: 中国石化出版社, 2000: 19-26.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security; a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

广告经营
许 可 证 京海工商广字第 8013 号



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元