

李氏禾对土壤中铜积累特征及抗性研究

张学洪, 孙家君, 刘杰, 胡澄, 黄海涛, 罗亚平 (桂林工学院资源与环境工程系, 广西桂林 541004)

摘要 [目的] 研究室内生长条件下李氏禾对铜的吸收和抗性特征。[方法] 将从6个采样点采集的李氏禾样本、淤泥和水样带回实验室进行分析。消解液定容后用火焰原子吸收分光光度计(PEAA-700)测定铜的含量。[结果] 电镀污水污染区的李氏禾生长茂盛, 是当地的优势种群。在各植物样品中, 铜含量均为根系>叶柄>羽片。当土壤铜含量达2 000 ng/kg时, 根、茎、叶中铜含量分别为: 500.33、335.81、307.89 ng/kg。在土壤培养条件下, 李氏禾叶中铜含量为46.11~308.07 ng/kg, 铜的生物富集系数为0.40~1.75; 根和茎中铜含量分别为49.22~500.33和39.22~335.81 ng/kg, 铜的最高生物富集系数分别为1.85和1.47。[结论] 李氏禾能在铜污染的环境中生存, 对铜有较强的适应力和抗性, 是一种较理想的植物修复材料。

关键词 李氏禾; 铜; 植物修复; 抗性

中图分类号 S154.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)13-05586-02

Research on the Accumulation Characteristics and Resistance of *Leersia hexandra* Swartz on Cu in Soil

ZHANG Xue-hong et al (Department of Resources and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541004)

Abstract [Objective] The aim was to research the absorption and resistance characteristics of *Leersia hexandra* Swartz growing in room on Cu. [Method] The *L. hexandra* samples, sillage and water samples collected from 6 sampling spots were brought into laboratory for analyses. After the volume of digested solution was constant, the Cu contents were determined by flame atomic absorption spectrophotometer (PEAA-700). [Result] *L. hexandra* grew prosperously in the area polluted by electroplate sewage and was the locally dominant species. The Cu contents in various plant samples were roots > leafstalk > pinna. When the Cu content in soil reached 2 000 ng/kg, the Cu contents in root, stem and leaf were 500.33, 335.81 and 307.89 ng/kg. When *L. hexandra* was cultured in soil, the Cu content in its leaf was 46.11~308.07 ng/kg, with biological enrichment coefficient being 0.40~1.75; the Cu contents in its root and stem were 49.22~500.33 and 39.22~335.81 ng/kg resp., with highest biological enrichment coefficients being 1.85 and 1.47 resp.. [Conclusion] *L. hexandra* could survive in the environment with Cu pollution and had comparatively strong adaptability and resistance on Cu, which was a kind of comparatively perfect phytoremediation material.

Key words *Leersia hexandra* Swartz; Cu; Phytoremediation; Resistance

近年来, 植物修复方法在我国已经引起了广泛重视, 其中以铜污染土壤的植物修复研究开展最早, 且研究人员为数最多。至今陆续发现了一批我国原生的铜耐富集植物, 如海州香薷、鸭跖草、酸模、紫花香薷, 为开展铜污染土壤的植物修复机理及修复技术提供了好材料。李氏禾是我国境内首次发现的铬超富集植物, 并且对铜、镍也有一定的抗性, 该植物繁殖非常迅速, 且可高密度生长, 单位面积生物量大, 适合生长于潮湿和水生环境中, 为重金属污染土壤和水体的植物修复提供了优良的种质资源。笔者在前期野外调查研究的基础上, 进一步研究李氏禾在室内土培移栽试验中对铜的积累特征。

1 材料与方 法

1.1 野外调查与采样 调查区位于广西北部某电镀工业区, 距桂林市约110 km, 电镀厂产生的污水含铜、铬、镍等重金属, 废水经化学分类法处理后排入附近一水塘中, 然后再流入附近一条小河。长期以来在水塘中沉积了大量的含铜、铬、镍等重金属, 对水塘及小河周围环境造成了一定的影响。2006年1月在周围布设6个采样点, 分别采集了李氏禾样本、淤泥和水样, 带回实验室进行分析。

1.2 室内土壤培养 为了研究在室内生长条件下李氏禾对铜的吸收和抗性特征, 从未受重金属污染的桂林市农业科学研究所育种基地采集植物样本。将取回的样本用自来水冲洗干净, 然后用1/2 Hoagland溶液预培养15 d, 控制植物生长

环境14 h光照, 25℃白天/20℃晚上, 相对湿度70%~80%, 待植物根部生长状况良好时, 用于土培试验的研究。

供试土壤为水稻土, 采自桂林农业科学研究所试验田。测定其基本理化性质: pH值为6.9、有机质含量为28.0 g/kg、阳离子交换量11.9 cmol/kg、速效K含量为97.8 mg/kg、碱解N含量为150.0 mg/kg、速效P含量为9.5 mg/kg、等。所采用的测定方法为: pH值用CaCl₂浸提—电位法测定; 有机质用重铬酸钾氧化—外加加热法; 有效磷用0.05 mol/L HCl—0.025 mol/L 0.5 H₂SO₄浸提法; 钼锑抗比色法; 阳离子交换容量用1 mol/L 乙酸铵交换法。

土壤自然风干后, 过5 mm筛。把土壤装入塑料盆中, 每盆装10 kg, 然后加入去离子水, 充分拌匀, 进行土壤预培养。在培养过程中保持土壤的一定湿度。土壤培养1周后, 开始盆栽试验。把培养的土壤分装入塑料小盆中, 每盆装0.5 kg(按干土计), 铜添加量为0、100、200、500、1 000、2 000 ng/kg, 土壤中的铜以CuSO₄的形态加入。每盆各施10 ml 1/2 Hoagland溶液, 与土壤充分拌匀, 预培养1周后分别取一定量土样, 进行土壤吸收铜含量的测定与收获后土壤含铜量进行比较, 之后每盆移栽15株左右, 重复3次。

试验过程中保持土壤一定湿度, 并且每隔1周每盆各施10 ml 1/2 Hoagland溶液。每隔20 d测量1次植物生长高度, 生长60 d后, 收获植株的地上部, 测定地上部茎、叶的铜含量, 最后测定土壤及根部铜的含量, 分析植株吸收铜的富集特征。

1.3 土壤与植物分析 淤泥样品自然风干、研磨, 过100目筛后供分析使用。植物样品先用自来水冲洗几遍, 洗净附着在表面的尘土, 溶液培养的植物根部需用0.1 mol/L的CaCl₂浸泡30 min, 用去离子水冲洗3次, 再用吸水纸把表面水吸干。将样品分为根、茎、叶3部分称鲜重, 将新鲜样品放在烘

基金项目 国家自然科学基金项目(40663002, 20665003); 教育部科学技术研究重点项目(206116); 广西新世纪十百千人才工程项目(文号桂政发[2006]62号); 广西科学基金项目(桂科青0542006); 广西科学基金项目(桂科青0640071); 广西科学基金项目(桂科青0640072)。

作者简介 张学洪(1963-), 男, 湖北荆州人, 博士, 教授, 从事重金属污染的治理研究。

收稿日期 2008-01-15

箱内105 杀青30 min,然后低温80 左右烘干24 h,磨碎,再测定样品各部分干重。土壤样品用HCl + HNO₃ + HClO₄ 消解(2 2 1,体积比);植物样品用HNO₃ + HClO₄ 消解(4 1,体积比)。消解液定容后用火焰原子吸收分光光度计(PEAA700)测定铜的含量。

表1 野外生长条件下李氏禾对铜的积累特征 广西桂林

Table 1 The accumulation characters of *Leersia hexandra* Swartz to Cu under outdoor growth condition(Guilin, Guangxi)

采样点 Sampling site	淤泥中铜含量 ng/ kg Cu content in sillage	水中铜含量 ng/ L Cu content in water	叶中铜含量 ng/ kg Cu content in leaf	根茎铜含量 ng/ kg Cu content in rhizome	叶/ 淤泥 Leaf/ sillage	叶/ 水 Leaf/ water
F1	146.20	5.75	1 325.50	192.00	9.07	230.52
F2	97.40	6.70	1 984.60	268.90	20.38	296.21
F3	138.40	5.65	2 129.30	1 171.20	15.39	376.87
F4	70.20	5.85	1 895.60	241.40	27.00	324.03
F5	273.70	5.75	1 892.90	576.90	6.92	329.20
F6	203.50	5.55	1 079.20	750.10	5.30	194.45
平均 Mean	154.90	5.88	1 717.85	533.42	14.01	291.88

野外调查发现,电镀污水污染区生长的李氏禾非常茂盛,是当地的优势种群,说明污染区生长条件下李氏禾对铜具有较强的抗性。同时也发现,野外生长的李氏禾根非常细小,根部生物量明显低于非污染区李氏禾生长的生物量,但根部铜含量明显高于叶中铜含量。导致这种结果可能是由于生长在污染区的李氏禾能够将吸收的大量铜转运到地上部分,但生长在非污染区的李氏禾根比表面积较大,而且长期处于铜处理土壤中对铜离子可能产生了物理吸附,再加上

2 结果与分析

2.1 电镀污水污染及水培条件下李氏禾对铜的抗性 在前期研究中,广西某电镀厂池塘边生长的李氏禾叶片铜含量平均为1 717.85 ng/ kg,明显高于1 000 ng/ kg 的临界值(表1)。

收获后没有经过特殊的离子交换剂对根部表面的铜离子进行交换,故在分析中导致根部的铜含量增加,也有可能是非污染区的李氏禾具有限制铜向地上部分运输的机制,这种机制可能就是其对铜有较强抗性的原因。

2.2 土培条件下土壤及植物样品吸收重金属情况分析 在未移栽植物前与收获植物后,取一定量各浓度土壤及植物样品进行烘干、消解、测量其铜含量,分析其吸附效果及变化情况(表2)。

表2 重金属溶液施加土壤后的浓度变化

Table 2 Changes of concentration of heavy metal solution with the addition of soil

项目Items		铜加入量 Addition amount of Cu					
		0	100	200	500	1 000	2 000
铜含量 ng/ kg	移栽土壤Soil sampled at transplanting stage	28.61 ±0.25	132.06 ±0.28	237.63 ±0.26	576.43 ±1.52	909.74 ±0.16	1 100.22 ±0.56
	收获土壤Soil sampled at harvest stage	26.63 ±0.21	120.05 ±0.81	216.04 ±0.28	524.03 ±1.33	827.65 ±0.28	1 000.58 ±0.65
Cu content	叶Leaf	46.54 ±0.01	52.75 ±0.23	80.00 ±0.85	150.42 ±1.25	163.49 ±0.23	307.89 ±0.02
	茎Stem	39.22 ±0.53	47.03 ±0.11	125.40 ±1.21	200.22 ±0.61	287.96 ±0.18	335.81 ±0.18
	根Root	49.22 ±0.67	60.38 ±0.19	84.12 ±1.78	277.54 ±0.85	341.96 ±10.14	500.33 ±0.34
生物富集系数 Biological concentration factor	叶Leaf	1.75	0.88	0.74	0.58	0.40	0.62
	茎Stem	1.47	0.78	1.16	0.77	0.70	0.67
	根Root	1.85	1.00	0.78	1.06	0.83	1.00

2.3 土壤中不同浓度铜处理对李氏禾生物量的影响 在普通植物中,铜的分布规律为根系最高,茎叶较少。同样,从李氏禾中不同部位的含铜量来看,铜的分布规律完全相同,在各植物样品中铜含量均依次为:根系 > 叶柄 > 叶片,当土壤含铜量为0 ng/ kg 时(含铜背景值为26.63 ng/ kg),根、茎、叶中铜的含量分别为:49.22、39.22、46.54 ng/ kg,但随着土壤中铜浓度的增加李氏禾中不同部位的含铜量也随之增加,当土壤含铜量达到2 000 ng/ kg 时,根、茎、叶中铜的含量分别为:500.33、335.81、307.89 ng/ kg,这说明,铜在该植物体中比较容易向上运输,显示出李氏禾对铜有一定的抗性,可以在高处理浓度下存活,但从植物中的含铜量、生物富集系数和地上与地下部含铜量的比值来看,李氏禾还不符合目前国际上定义的“超富集植物”标准。

浓度的土壤条件下存活,而且生长状况没有受到明显的抑制,这一特性表明其在铜污染环境的植物修复中有一定的潜力。当在处理浓度达到5 000 ng/ kg 时李氏禾依然未出现明显的枯死现象,并且生物量在铜处理浓度为0 时最大,为0.10 g/ 株;在铜处理浓度为2 000 ng/ L 时最小,为0.43 g/ 株。李氏禾在1 ~2 000 ng/ kg 的铜处理浓度,生物量整体下降趋势不明显,但与对照生物量相比有显著差异(P < 0.05),说明铜的加入对李氏禾的生长有一定的影响。

2.4 土壤培养条件下李氏禾对铜的吸附特征 土壤培养试验结果显示,李氏禾叶中铜含量为46.11 ~308.07 ng/ kg,叶中铜的生物富集系数为0.40 ~1.75。当土壤中铜浓度为2 000 ng/ kg 时,叶中铜含量达到最大(307.89 ng/ kg),高于其他浓度条件下铜含量;当土壤中铜浓度为0 时,叶中铜的生物富集系数达到最大(1.75),高于其他浓度下叶的生物富集系数。

土壤培养结果表明,李氏禾能在1 ~2 000 ng/ kg 铜处理

(下转第5590 页)

表径流发生发展产生一定的影响,而下层的土壤水分状况则基本上不影响径流量。这可能与青藏高原夏季局地强降水频繁发生,径流多为瞬时降水强度大于土壤入渗速率导致产流有直接关系。

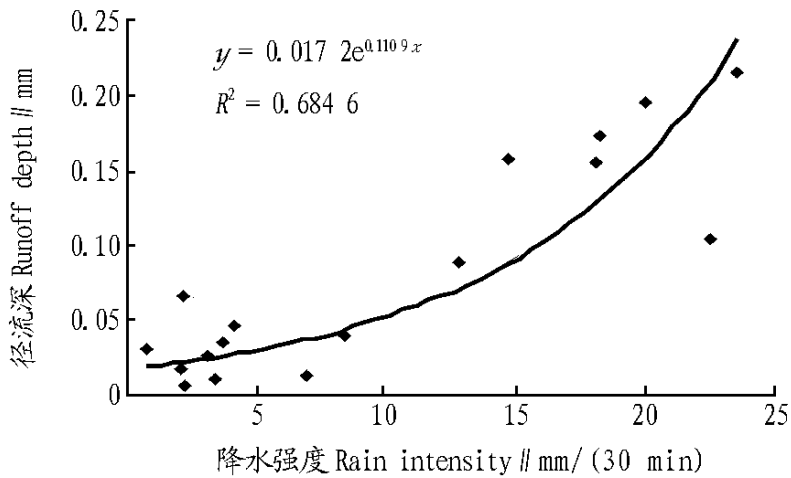


图2 降水强度与地表径流相关图

Fig.2 Relationship between precipitation and surface runoff

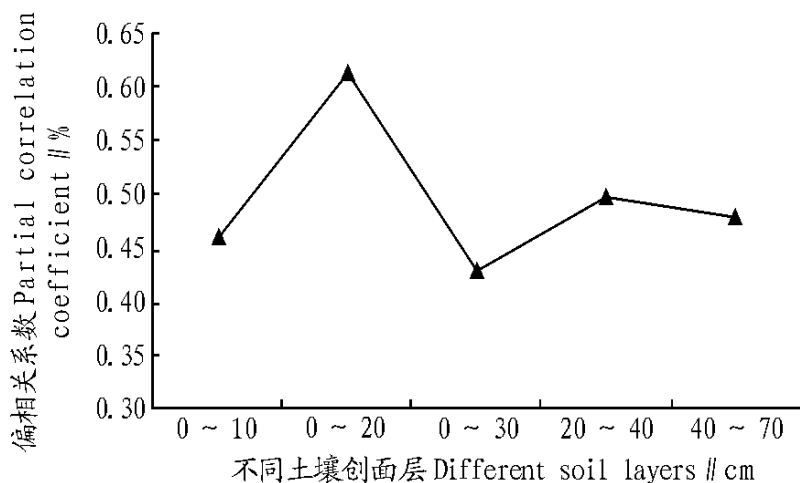


图3 不同层次前期土壤水分与径流量的偏相关分析

Fig.3 Partial correlation analysis on runoff and soil moisture of different rainfall phases

3 结论与讨论

(1) 高寒草甸草原年平均径流系数为0.18%,地表径流主要发生在夏秋季,其中以夏季最多,占年总径流量的57.3%,其次是秋季,占总径流量36.0%,春季地表径流最少,仅占总径流量的6.7%,冬季无地表径流发生;地表径流造成的水土流失主要集中在盛夏的7、8月,年水土流失量主要由几次大降水造成。

(上接第5587页)

土壤培养条件下,根和茎也对铜表现出一定的富集作用,根中铜的含量为49.22~500.33 mg/kg,茎中铜的含量为39.22~335.81 mg/kg,根、茎中铜的最高生物富集系数最高分别达到1.85、1.47。

虽然李氏禾在土培条件下,各部位含铜量均很高,但都没有达到超富集的定义标准。但在土培条件下,李氏禾在铜处理浓度为2000 mg/kg时,依然可以正常生长,可见李氏禾在土壤中各种成分的综合作用下,可以在高浓度铜污染的条件下生存,说明李氏禾对铜的抗性比较高。

3 结论

在我国境内已经发现了许多海州香薷、鸭跖草、酸模、

(2) 径流量与降水量呈明显的线性正相关关系;与30 min最大雨强表现出指数函数关系,与0~20 cm表层的土壤水分呈显著的正相关关系;降水量的多少直接影响着径流量,但根据降水量的多少来判断是否产生径流或产生多少径流则是非常不可靠的。

(3) 该文研究结论对揭示高寒草甸草原降水特性、土壤水分对草地地表径流和水土流失的影响,评价高寒草地天然牧草对降雨的吸收利用能力,建立特定区域地表径流和水土流失预报方程及实现水资源的可持续利用有着极其重要的意义。但其局限性在于只分析了特定坡度背景下的一般规律,若要研究不同坡度、草地地表径流及土壤侵蚀的影响,需要在以后的工作中设定不同的试验处理进行专题研究。

参考文献

- [1] 郑郁善,陈卓梅,邱尔发,等.不同经营措施笋用麻竹人工林的地表径流研究[J].生态学报,2003,23(11):2387-2395.
- [2] 申卫国,周国逸,彭少麟,等.南亚热带鹤山5种生态系统的地表径流[J].热带亚热带植物学报,1999,7(4):273-281.
- [3] MACKENSEN J, FOLSTER H. Cost analysis for a sustainable nutrient management of fast growing tree plantations in East Kalimantan, Indonesia[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 131(3):239-253.
- [4] 周国逸,闫俊华,申卫军,等.马占相思人工林和果园地表径流规律的对比研究[J].植物生态学报,2000,24(4):451-458.
- [5] 黄炎和,卢程隆.闽南次降雨量与土壤侵蚀量的关系研究[J].水土保持学报,2002,16(3):67-78.
- [6] 朱连奇,许叔明,陈沛云.山区土地利用覆被变化对土壤侵蚀的影响[J].地理研究,2003,22(4):433-438.
- [7] 姚治君,廖俊国,陈传友.云南玉龙山东南坡降雨因子与土壤流失关系的研究[J].自然资源学报,1991,6(1):46-53.
- [8] 卫伟,陈利顶,傅伯杰,等.半干旱黄土丘陵沟壑区降雨特征值和下垫面因子影响下的水土流失规律[J].生态学报,2006,26(11):3847-3853.
- [9] 李林锋,刘新田.雷州半岛降雨特性与地表径流关系的小区试验[J].湛江海洋大学学报,2004,24(3):70-73.
- [10] 郭雨华,赵廷宁,孙保平,等.草地坡面水动力学特性及其阻延地表径流机制研究[J].水土保持研究,2006,13(4):264-267.
- [11] 朱宝文,宋理明,许存平,等.高寒草甸草原草地近地层气象要素变化特征[J].中国农业气象,2007,28(4):389-392.
- [12] 黄承标.西江坪常绿阔叶林地地表径流的研究[J].广西植物,1991,11(3):247-253.
- [13] CHRINO E, BONET A, BELLOT J, et al. Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain[J]. Catena, 2006, 65(1):19-29.
- [14] 贾志伟,江忠善,刘志.降雨特征与水土流失关系的研究[C]//中国科学院,水利部.西北水土保持研究所集刊,2006:9-14.

紫花香薷等铜的耐富集植物,并一直运用于铜污染环境的植物修复中。李氏禾能对重金属铜产生抗性,所以该种植物的发现对多种重金属复合污染环境的治理具有重要意义。土壤条件下的多种营养及各种元素的综合作用,将会对李氏禾在铜污染土壤中的生长有一定的促进作用,今后将对李氏禾对铜的解毒机理方面作进一步的研究。

参考文献

- [1] 韦朝阳,陈同斌.重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J].生态学报,2001,21(7):1196-1203.
- [2] KAMBHAMPATI MS, BEGONA GB, BEGONA MFT, et al. Phytoremediation of a lead-contaminated soil using *Moringa* *Guy* (*Ipomoea* *Iacunsa* L.): Effects of a synthetic chelate[J]. Environmental Contamination and Toxicology, 2003, 71:379-386.
- [3] 李永丽,李欣,李硕,等.东方香蒲 (*Typha orientalis* Presl) 对铅的富集特征及其EDTA效应分析[J].生态环境,2005,14(4):555-558.