

可生物降解螯合剂 GLDA 和磷素活化剂 促进东南景天提取土壤重金属的潜力

Efficiency of Biodegradable Chelate GLDA and Phosphorus Activators on Heavy Metals Phytoextraction with *Sedum alfredii* Hance

卫泽斌, 吴启堂*, 龙新宪, 陈 诚, 陈晓红

(华南农业大学资源环境学院 广东高校土壤环境与废物资源农业利用重点实验室, 广州 510642)

关键词: 植物提取; GLDA; 磷素活化剂; 东南景天; 可生物降解

中图分类号: X173 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2014)07-1402-03 doi:10.11654/jaes.2014.07.021

植物提取是重金属污染土壤的植物修复技术中去除重金属最具前途的方式之一。为了进一步提高植物对重金属的提取效率,向土壤施加螯合剂增加土壤重金属的可溶性,促进植物对重金属的吸收和积累,该技术被称为螯合诱导植物提取技术。EDTA(乙二胺四乙酸)由于其较强的络合能力,是目前常用和研究较多的螯合剂。但 EDTA 在环境中不易被生物降解,施入土壤的 EDTA 有着较长的残留效应,因此施用 EDTA 存在潜在的环境风险。因此,选择适宜的螯合剂是螯合诱导植物提取技术的关键。其中,可生物降解的螯合剂 EDDS(乙二胺二琥珀酸)成为 EDTA 的主要替代品^[1-2],但是 EDDS 价格昂贵,难以推广应用。因此,寻找易生物降解、环保安全的促进植物提取重金属的螯合剂或材料等成为必然。

近年来,一种可生物降解的螯合剂 GLDA(谷氨酸 N,N-二乙酸, L-glutamic acid N,N-diacetic acid)引起人们注意。GLDA 主要由植物原料制成,容易生物降解,在螯合能力方面, GLDA 与 EDTA 的效率相当^[3-4]。GLDA 用于淋洗污染土壤的重金属已有研究报道^[5-6],本论文比较研究了 GLDA 和 EDTA 对东南景天地上部重金属积累的影响,为植物修复效率的提高提供强化措施和科学依据。

此外,利用微生物也可提高植物对重金属的提取效率^[7], Whiting 等^[8]研究发现接种根际细菌后土壤溶液中 Zn 含量增加,超富集植物对 Zn 的吸收能力增加 3 倍。有报道应用生物工程技术研制成的一种纯生物菌剂——土壤磷素活化剂(许博士®),可以把土壤中被固定的无效磷释放出来,变为可吸收利用的有效磷,同时还可以把锌、锰和钼等各种阳离子释放出来^[9]。因此,我们将这种生物型磷素活化剂应用于超富集植物东南景天的植物修复上,在改善土壤养分的同时,研究其能否活化土壤重金属,从而促进东南景天的生长和吸收重金属,为选择提高植物修复效率的材料提供新的尝试。

通过盆栽试验,研究了可生物降解螯合剂 GLDA(谷氨酸, N,N-乙酰乙酸四钠, GLDA-Na₄, 产品名-Dissolvine® GL-47, 购自阿克苏诺贝尔)、EDTA(乙二胺四乙酸二钠)和“许博士®”土壤磷素活化剂(购自黑龙江埃格瑞生物技术有限公司)对 Zn/Cd 超累积植物东南景天(*Sedum alfredii* H)吸收和提取重金属的影响。试验在华南农业大学生态环境实验基地(有遮雨)进行,每盆装土 2 kg。试验设置螯合剂 EDTA 和 GLDA 的用量均为 5 mmol·kg⁻¹ 土;土壤磷素活化剂在东南景天种植前与土壤混匀,其用量设置 5 个水平,分别为每千克污染土壤 0(对照)、0.5、1、2、4 g 磷素活化剂。东南景天 2012 年 10 月扦插,2013 年 3 月添加螯合剂,螯合剂溶于水,用花洒淋于土壤表面。两周后收获东南景天地上部,留茬 2 cm 左右继续生长至 6 月份,第 2 次收获东南景天。

结果表明,施加 GLDA 促进了两季东南景天的生长,施加 EDTA 明显抑制了第 2 季东南景天的生长(图1),

收稿日期: 2014-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41371308, 41071306); 国家 863 项目(2012AA06A202); 广东省自然科学基金项目(S2011030002882); 广东省科技计划项目(2012A030700003)

作者简介: 卫泽斌(1980—),男,山西人,讲师,主要研究方向为污染环境修复。E-mail: wehovo@scau.edu.cn

* 通信作者: 吴启堂 E-mail: wuqitang@scau.edu.cn

显著提高了东南景天地上部的 Zn、Cd 含量(表 1)和东南景天对土壤 Zn、Cd 的提取量(表 2)。施加 GLDA

后,当季东南景天地上部 Zn、Cd 含量比对照处理分别增加了 53%、46%,东南景天对 Zn 和 Cd 的提取量

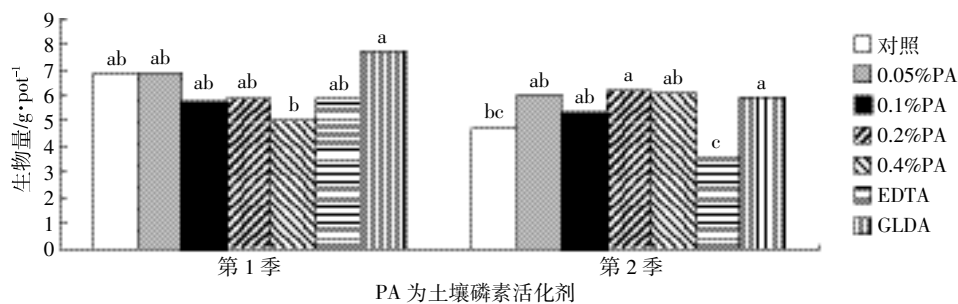


图 1 不同处理东南景天的生物量

Figure 1 Yields of plant parts for *S. alfredii* among the different treatments

表 1 不同处理东南景天重金属含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 1 Concentration of Cd, Zn and Pb of plant parts for *S. alfredii* among the different treatments($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

处理	Cd	Zn	Pb
第 1 季			
对照	15.21±2.11bc	1486±107c	12.48±2.23b
0.05%PA	15.38±1.35bc	1814±168bc	11.76±0.96b
0.1%PA	17.67±0.78abc	2050±154ab	10.60±2.31b
0.2%PA	17.91±4.82abc	1830±198bc	11.98±0.49b
0.4%PA	19.76±4.38ab	2085±339ab	11.50±3.78b
EDTA	14.29±2.26c	2374±394a	150.4±64.3a
GLDA	22.15±3.56a	2275±272a	17.93±4.36b
第 2 季			
对照	5.24±0.61b	1466±140c	12.22±1.80b
0.05%PA	6.23±0.96b	1823±127bc	13.16±3.03b
0.1%PA	6.37±0.87b	2169±195b	11.15±1.00b
0.2%PA	8.53±0.78b	1401±136c	8.80±1.19b
0.4%PA	7.75±1.27b	1509±104c	6.77±0.95b
EDTA	5.03±0.97b	2287±198ab	171.3±17.1a
GLDA	13.96±3.08a	2686±154a	16.66±2.76b

注:PA 为土壤磷素活化剂;根据 Duncan 检验($P=0.05$),同列具有相同字母的数据间无显著性差异。下同。

表 2 不同处理东南景天重金属提取量($\text{mg}\cdot\text{pot}^{-1}$)

Table 2 Cd, Zn and Pb uptake by plants under different treatments($\text{mg}\cdot\text{pot}^{-1}$)

处理	Cd	Zn	Pb
第 1 季			
对照	0.102 3±0.013 0b	10.08±1.47b	0.085 8±0.025 3b
0.05%PA	0.105 4±0.019 4b	12.48±1.83b	0.080 9±0.011 8b
0.1%PA	0.101 4±0.012 9b	11.81±2.81b	0.061 3±0.018 4b
0.2%PA	0.103 2±0.012 6b	10.84±2.81b	0.070 9±0.016 4b
0.4%PA	0.093 6±0.024 5b	10.48±4.78b	0.055 4±0.024 2b
EDTA	0.083 1±0.017 5b	13.73±2.52ab	0.835 8±0.022 6a
GLDA	0.166 6±0.013 4a	17.28±2.53a	0.137 1±0.037 5b
第 2 季			
对照	0.024 7±0.002 5cd	6.973±0.716d	0.058 5±0.009 9b
0.05%PA	0.037 3±0.004 7bc	10.56±0.67bc	0.061 7±0.007 5b
0.1%PA	0.033 7±0.004 3bcd	11.50±0.86b	0.059 2±0.004 8b
0.2%PA	0.051 1±0.003 0b	8.463±0.813cd	0.053 3±0.007 4b
0.4%PA	0.046 9±0.007 8b	8.664±0.597bcd	0.041 2±0.006 1b
EDTA	0.017 3±0.003 6d	8.107±1.494cd	0.582 4±0.055 5a
GLDA	0.080 9±0.012 3a	15.90±0.78a	0.097 5±0.011 0b

分别是对照处理的 1.7 倍和 1.6 倍。GLDA 处理的第 2 季东南景天地上部 Zn、Cd 含量分别比对照处理增加了 83%、166%，Zn 和 Cd 的提取量分别是对照处理的 2.3 倍和 3.3 倍。GLDA 处理的两季东南景天对 Zn 和 Cd 的提取量均大于 EDTA 处理的。GLDA 也提高了东南景天 Pb 含量和 Pb 提取量，但提高幅度远低于 EDTA。由此可见，与 EDTA 相比，可生物降解螯合剂 GLDA 在诱导植物修复重金属污染土壤特别是 Cd 和 Zn 污染土壤时具有很大的潜力。

土壤磷素活化剂对当季东南景天生物量影响不大，促进了第 2 季东南景天的生长（图 1），0.05% 和 0.1% 用量的磷素活化剂提高了两季东南景天地上部 Zn 含量，提高了第 2 季东南景天对 Zn 的提取量；磷素活化剂也提高了两季东南景天地上部 Cd 含量和第 2 季东南景天对 Zn、Cd 的提取量，但差异不显著。土壤磷素活化剂可以用于超富集植物，在改善土壤养分促进植物生长的同时，可以提高植物对金属的提取量。因此，可以考虑将土壤磷素活化剂应用在重金属污染土壤的植物修复中。

参考文献：

- [1] Tandy S, Bossart K, Muelle R, et al. Extraction of heavy metals from soils using biodegradable chelating agents[J]. *Environmental Science and Technology*, 2004, 38(3):937-944.
- [2] Luo C L, Shen Z G, Li X D, et al. Enhanced phytoextraction of Pb and other metals from artificially contaminated soils through the combined application of EDTA and EDDS[J]. *Chemosphere*, 2006, 63(10): 1773-1784.
- [3] AkzoNobel. Dissolvine® GL technical brochure[R]. Amsterdam: Akzonobel, 2010.
- [4] Begum Z A, Rahman I M M, Tate Y, et al. Formation and stability of binary complexes of divalent ecotoxic ions (Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) with biodegradable aminopolycarboxylate chelants[DL-2-(2-carboxymethyl) nitrilotriacetic acid, GLDA, and 3-hydroxy-2,2'-iminodisuccinic acid, HIDS in aqueous solutions[J]. *Journal of Solution Chemistry*, 2012, 41: 1713-1728
- [5] Begum Z A, Rahman I M M, Tate Y, et al. Remediation of toxic metal contaminated soil by washing with biodegradable aminopolycarboxylate chelants[J]. *Chemosphere*, 2012, 87(10): 1161-1170.
- [6] Begum Z A, Rahman I M M, Sawai H, et al. Effect of extraction variables on the biodegradable chelant-assisted removal of toxic metals from artificially contaminated European reference soils[J]. *Water Air Soil Pollution*, 2013, 224:1381-1401
- [7] 廖晓勇, 陈同斌, 阎秀兰, 等. 提高植物修复效率的技术途径与强化措施[J]. *环境科学学报*, 2007, 27(6):881-893
LIAO Xiao-yong, CHEN Tong-bin, YAN Xiu-lan, et al. Enhancement of heavy metal removal in phytoremediation of soils contaminated with heavy metals[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6):881-893
- [8] Whiting S N, De Souza M P, Terry N. Rhizosphere bacteria mobilize Zn for hyperaccumulation by *Thlaspi caerulescens* [J]. *Environmental Science & Technology*, 2001, 35(15), 3144-3150
- [9] 王萍, 陶正平, 黄春华, 等. 土壤磷素活化剂对番茄生长的影响[J]. *北方园艺*, 2007(2): 19-21.
WANG Ping, TAO Zheng-ping, HUANG Chun-hua, et al. The effect of soil phosphorus activator on tomato growth[J]. *Northern Horticulture*, 2007(2): 19-21.