

向日葵对重金属胁迫反应及其植物修复的研究进展

聂惠, 安玉麟, 李素萍

(内蒙古农牧业科学院, 内蒙古 呼和浩特 010031)

摘要:通过总结近年来国内外对向日葵在重金属胁迫下反应的研究,概述了向日葵对于重金属(Cd、Pb、Cu、Zn、Cr)污染的植物修复作用,并介绍了提高向日葵修复效率的主要措施,即施肥技术、栽培措施、植物修复剂和植物基因改良。

关键词:向日葵;重金属;胁迫;植物修复

中图分类号:S565.5

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2010)09-0088-04

近年来,随着工农业生产的迅速发展,农田土壤中重金属污染日益严重。我国受重金属污染的耕地面积近 2 000 万 hm^2 ,约占耕地面积的 1/5,其中镉(Cd)污染耕地面积占 1.33 万 hm^2 ,其次是铅(Pb)、锌(Zn)、铜(Cu)、汞(Hg)等^[1]。重金属污染不仅范围广、易累积,而且隐蔽性和毒性强,能影响作物的正常生长发育,直接导致粮食减产,并可通过食物链影响人类健康。我国每年因土壤重金属污染导致的粮食减产超过 1 000 万 t,被重金属污染的粮食多达 1 200 万 t,合计经济损失至少 200 亿元^[2]。

传统的土壤污染治理方法耗资大,易破坏土壤微生物和结构,不能有效解决重金属污染。植物修复是筛选和培育特种植物,特别是对重金属具有超常规吸收和富集能力的植物,种植在污染土壤上使其吸收污染物,再将收获植物中的重金属元素加以回收利用^[3]。作为一种廉价的绿色治理技术,植物修复已成为治理和改良重金属污染的热点。主要包括植物提取、植物挥发、植物滤除和植物稳定 4 种技术^[4]。目前应用最广泛的是植物提取技术,包括 2 种方法,一是利用超富集植物的超强吸收能力提取重金属。目前全世界已发现超富集植物 500 多种,其中 360 多种是 Ni 的超富集植物^[5]。这类植物虽然显示出高效的吸收能力

和提取效果,但多数植物生长缓慢、生物量较小、不易成活,难以在实际生产中广泛应用。另一种方法是选用生长较为迅速、生物量较大、富集重金属能力相对较强的非超累积植物提取重金属^[6]。目前对于这类植物的研究较多,如向日葵、蓖麻、豌豆、芥菜、紫花苜蓿等。

向日葵(*Helianthus annuus* L.)根系发达,生物量大,生长迅速,抗旱耐瘠薄,对重金属的耐受性和富集性能都比较强,且能选择性吸收铯等放射性物质^[7]。现就向日葵对重金属胁迫的反应及其植物修复研究作一概述。

1 向日葵对重金属胁迫的反应

重金属胁迫会影响作物正常生长发育。如 Cd 能破坏叶片的叶绿素结构,降低叶绿素含量,使叶片受到严重伤害,致使生长缓慢,植株矮小,根系生长受到抑制^[8]。Cd 对根的抑制效应大于芽^[9]。

研究显示,Cd 胁迫明显抑制了向日葵的幼苗生长和叶绿素合成,使游离 Pro 和 MDA 含量显著增加,可溶性蛋白含量和 POD 活性与胁迫浓度呈明显的倒 U 型关系。随着 Cd 浓度增加,幼苗对 Cd 的吸收显著增加,根中积累的 Cd 含量明显高于叶和茎^[10]。殷恒霞等在分析 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 对向日葵早期幼苗生长的影响时也得出相似结论,即 3 种胁迫明显降低了幼苗生长和叶绿素含量,显著提高了 H_2O_2 水平。它们对胚根伸长的抑制作用依次为: $\text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$ 。进一步分析植株抗氧化系统的变化发现,随着重金属浓度的增加,向日葵酶类抗氧化物质 SOD 和

收稿日期:2010-06-20

基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费资助项目(nyhyzx 07-016)

第一作者简介:聂惠(1978-),女,内蒙古自治区呼和浩特市人,硕士,助理研究员,主要从事向日葵遗传育种工作。E-mail:nh52004@sina.com。

CAT 活性先升高后降低,非酶类抗氧化物质 Pro 和 GSH 含量也有升高^[11]。这些都说明了向日葵幼苗通过不同的防御机制来抵御细胞内重金属的毒害。

Pb、Cu 对向日葵生长表现出“低促高抑”现象,低浓度促进生长,高浓度则抑制生长。随着 Pb 浓度增加,叶绿素含量逐渐下降,游离 Pro 积累量呈增多趋势^[12]。Pb、Cu 可抑制幼苗根系活力,刺激茎叶 Pro 生成,改变茎、叶、根蛋白质含量分配水平。且 Pb-Cu 交互作用对幼苗的营养生长和生理生化反应具有协同作用^[13]。

Fozia Andaleeb 等研究了铬(Cr)对向日葵生长的影响。结果表明,随着 Cr 浓度的增加,向日葵芽、根生长和株高水平都受到抑制,形态学指标如根重、茎重和植株总重逐渐降低,产量指标如单盘粒数、总粒数和百粒重均显著下降^[14]。

2 向日葵对重金属污染的植物修复

2.1 向日葵对 Cd 的植物修复

Cd 是土壤污染中最具毒性的重金属之一,由于其高移动性和高毒害性,1984 年被联合国环境规划署列为“危害全球环境的化学物质和化学过程清单”的首位,由于其难降解性和高积累性,可以通过急性或慢性毒性作用积累于生物体内,较低浓度就能对植物产生毒害^[10]。我国土壤环境的 Cd 污染严重,污染地区涉及 11 个省市 25 个地区,农田污染面积约 1.3 万 hm^2 ,污染区稻米中的 Cd 含量在 1.32~5.43 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[15]。

向日葵对土壤 Cd 污染具有一定的耐性。Cd 在向日葵体内的分布规律为低浓度时叶>根>籽实>茎,高浓度时根>叶>籽实>茎。各部位的 Cd 含量随着土壤重金属浓度的增加而增加,但这种增加是有限度的,超过限度就会对植株造成伤害,使生物量下降,Cd 吸收总量降低^[1]。

同时,向日葵对水体 Cd 污染也有明显的修复效果。采用向日葵种苗过滤法能够在 72 h 内使水体中的 Cd 浓度明显降低。但由于 Cd 的强毒害作用,当水体 Cd 浓度较高时会影响植物正常生长进而影响过滤效果^[16]。与蓖麻和玉米相比,向日葵种苗对 Cd 的富集能力更强,在 1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ Cd 溶液中,去除效果最好。幼苗从溶液中吸收的 Cd 绝大部分集中于根部^[17]。牛之欣等

在研究水培条件下向日葵、蓖麻、紫花苜蓿和芥菜对 Cd 的富集特征时发现,4 种植物根部与地上部对 Cd 的富集量随重金属浓度的增加而增加,而富集系数随重金属浓度的增加而减小,与生物量和重金属浓度呈现一定的相关性。通过比较看出,向日葵对 Cd 具有较强的吸收潜力,可以作为 Cd 污染修复的备选植物^[18]。

2.2 向日葵对 Pb 的植物修复

Pb 作为 3 种重金属(Pb、Cd、Hg)环境激素物质之一,对人体和生物(主要为动物)体内的正常激素功能产生影响,具有类似雌激素的作用,能导致包括人类在内各种生物的生殖功能下降,肿瘤免疫力降低,并引起各种生理异常^[12]。芝加哥是美国儿童 Pb 中毒数目最多的地区,当地即采用种植向日葵等植物来清除 Pb 污染。

在较低浓度含 Pb 溶液中,向日葵具有很强的积累 Pb 的能力。植株根部与地上部对 Pb 的富集量随重金属浓度的增加而增加,富集系数则相反,它与生物量和重金属浓度具有一定的相关性^[19]。采用向日葵种苗过滤法可以使水体中的 Pb 在 72 h 内由 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 迅速减少至 5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下,其中根部的积累量最高^[20]。根部是最主要的富集部位,茎、叶和种子的吸收量很低,种子吸收最低。随着处理浓度的增加,向日葵对 Pb 的迁移总量先增大后减小^[12-13]。

2.3 向日葵对 Cu 的植物修复

Cu 虽然是植物生长的必需元素,但当细胞内 Cu^{2+} 超过一定浓度时,会对细胞造成伤害。当土壤中的有效 Cu 含量达到 200 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,植物的正常生长受到严重影响^[21]。我国部分果园由于长期使用波尔多液,导致土壤中 Cu 含量增加,平均 Cu 浓度超过 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[22]。当土壤中的 Cu 达到 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,小麦中的 Cu 含量达到危险水平^[23]。

向日葵对 Cu 有明显的积累能力。采用种苗过滤法能够在 96 h 内使水体中的 Cu 浓度显著降低,滤出的 Cu 主要积累于幼苗根部,在茎、叶中也有一定量的积累^[24]。不同处理浓度下,向日葵对 Cu 的积累能力不同。在 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cu 浓度时,植株积累的 Cu 主要集中于根部,地上部的含量很低;而在 200 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 浓度时,叶中 Cu 含量

超过根部,叶根比达 1.27。说明当土壤 Cu 浓度较高时,地上部对 Cu 有较高的积累,集中收获地上部分可移出土壤中过多的 Cu^[25]。另外,Cu 由向日葵根向茎叶运输的能力大于 Pb^[13]。

2.4 向日葵对 Zn 的植物修复

向日葵幼苗对 Zn 污染具有很好的修复作用,根部吸收的部分 Zn 可以通过有效途径输送并保存到其它器官中。利用向日葵种苗根和茎的积累过滤,可以使水体的 Zn 浓度在 144 h 内明显降低^[26]。Arash Zamyadi 等研究发现,经向日葵幼苗过滤后,被污染水体中的 Zn、Cu、Pb 浓度均在 FAO(联合国粮农组织)和 EPA(美国环保署)规定的农田灌溉水质标准的安全范围内,充分证明利用向日葵作为重金属污染的过滤清除系统是非常可行的^[27]。

2.5 向日葵对 Cr 的植物修复

Fozia Andaleeb 等研究证明,向日葵对 Cr 污染具有一定的修复作用,根部对 Cr 的吸收效果非常明显,但向其它部位的转移速度较慢。茎对 Cr 也有一定的吸收作用,种子的吸收速度要比根、茎慢得多^[14]。

3 提高向日葵修复效率的主要措施

3.1 施肥技术

对生长于 Cu 污染土壤的向日葵进行 CO₂ 施肥处理后,植株体内的 Cu 含量显著增加,Cu 积累的叶根比也显著增加,说明 CO₂ 施肥有利于 Cu 由根向叶片的运输,从而提高了植物的修复效率^[28]。Mahmoud Solhi 等研究证明,通过合理施肥、调节 pH 和使用螯合剂 DTPA,可以使向日葵对重金属 Zn 和 Pb 的吸收大幅提高^[1]。

3.2 栽培措施

Liphadzi 等在研究不同栽培密度对向日葵修复重金属污染的效果时发现,在稀植(2 万株·hm⁻²)条件下,植物叶片中的 Cd、Ni、Pb、Cu、Zn 含量明显高于密植(6 万株·hm⁻²)处理,但由于密植时单位面积的生物量是稀植时的 1.5 倍左右,所以向日葵在密植条件下对土壤中重金属的去除效率比稀植条件高^[12]。

3.3 植物修复剂

添加螯合剂和有机酸等能够促使重金属离子解吸和溶解,提高其生物有效性。EDTA 是目前

使用最广、效果较好的螯合剂之一,可以明显提高向日葵对重金属的吸收量,显著促进土壤重金属特别是 Pb 的溶解和在植物地上部的积累^[1,12]。采用向日葵修复 Cd-Ni 复合污染土壤时,加入 EDTA 和柠檬酸可使地上部重金属含量显著提高。当加入 EDTA 2.5 mmol·kg⁻¹ 或柠檬酸 5 mmol·kg⁻¹ 时,向日葵提取的 Cd 总量达最大值;当一次加入 5 mmol·kg⁻¹ EDTA 或分 2 次加入 10 mmol·kg⁻¹ 柠檬酸时,植株提取的 Ni 总量最大^[29]。Liphadzi M S 等通过研究 EDTA 对向日葵和杨木治理农场重金属污染的影响,证明了加入 EDTA 可以明显增强向日葵对重金属的去除效果^[30]。

3.4 植物基因改良

通过转基因技术或遗传育种技术可以改善植物对重金属的富集能力,提高其生长速度或生物量。转基因技术可使植物大量表达关键酶来提高螯合剂的活性与含量和对重金属的解毒与富集能力。目前相关研究仅局限于实验室范围,其在田间条件下的实际效果尚不能确定^[1]。

4 结论

向日葵是经济价值很高的油料作物,具有种植方便、适应范围广、抗旱耐盐碱、易于机械化收割和增产潜力大等特点。许多研究表明,向日葵对重金属污染也具有较强的耐受性和植物修复能力。虽然重金属污染会对其生长发育造成影响,可能会有一部分积累于果实,但它可以有效去除土壤中的重金属元素,收获其籽粒、秸秆等也可作为生物柴油、供热燃料和造纸制板等加工业提供原料。因此,种植向日葵是治理土壤重金属污染的一条行之有效的途径,并可创造良好的经济、社会和生态效益。

参考文献:

- [1] 张守文. 重金属 Cd 污染土壤的植物修复研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [2] 杨苏才,南钟仁,曾静静,等. 土壤重金属污染现状与治理途径研究进展[J]. 安徽农业科学,2006,34(3):549-552.
- [3] 周琼. 我国超富集·富集植物筛选研究进展[J]. 安徽农业科学,2005,33(5):910-912,916.
- [4] 亢希然,范稚莲,莫良玉,等. 超富集植物的研究进展[J]. 安徽农业科学,2007,35(16):4895-4897.
- [5] 赵磊,罗于洋. 我国草本植物中重金属富集、超富集植物筛选研究进展[J]. 内蒙古草业,2009,21(1):43-47.

- [6] 杨勇,王巍,江荣凤,等.超累积植物与高生物量植物提取镉效率的比较[J].生态学报,2009,29(5):2732-2737.
- [7] 郑洁敏,李红艳,牛天新,等.盆栽条件下3种植物对污染土壤中放射性铯的吸收试验[J].核农学报,2009,23(1):123-127.
- [8] 周毅.土壤镉污染对作物的影响[J].农业环境与发展,1986(4):1-2,18.
- [9] 周青,黄晓华,张一.镉对种子萌发的影响[J].农业环境保护,2000,19(3):156-158.
- [10] 郭艳丽,台培东,韩艳萍,等.镉胁迫对向日葵幼苗生长和生理特性的影响[J].环境工程学报,2009,3(12):2291-2296.
- [11] 殷恒霞,李霞,米琴,等.镉、锌、铜胁迫对向日葵早期幼苗生长的影响[J].植物遗传资源学报,2009,10(2):290-294.
- [12] 肖璇.油菜和向日葵修复 Pb 污染土壤的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [13] 郭平,刘畅,张海博,等.向日葵幼苗对 Pb、Cu 富集能力与耐受性研究[J].水土保持学报,2007,21(6):92-113.
- [14] Fozia A, Muhammad A Z, Muhammad A, et al. Effect of chromium on growth attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) [J]. Journal of Environmental Sciences, 2008(12):1475-1480.
- [15] 黄承玲,张道勇,潘响亮.向日葵根分泌物对针铁矿吸附 Cd^{2+} 的抑制效应[J].地理科学,2009,29(3):455-460.
- [16] 奉若涛,渠荣遴,李德森,等.水体重金属污染的植物修复研究(Ⅲ)——种苗过滤去除水中重金属镉[J].农业环境科学学报,2003,22(1):28-30.
- [17] 王燕燕,徐镜波,盛连喜.不同作物种苗对水中重金属镉去除的比较研究[J].环境科学,2007,28(5):988-992.
- [18] 牛之欣,孙丽娜,孙铁珩.水培条件下4种植物对 Cd、Pb 富集特征[J].生物学报,2010,29(2):261-268.
- [19] Niu Z X, Sun L N, Sun T H, et al. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture[J]. Environmental Sciences, 2007,19(8):961-967.
- [20] 渠荣遴,李德森,杜荣骞,等.水体重金属污染的植物修复研究(Ⅱ)——种苗过滤去除水中重金属铅[J].农业环境保护,2002,21(6):499-501.
- [21] 夏立江,王宏康.土壤污染与防治[M].上海:华东理工大学出版社,2001.
- [22] 单正军,王连生,蔡道基,等.果园土壤铜污染状况及其对作物生长的影响[J].农业环境保护,2002,21(2):119-121.
- [23] 庞金华.上海粮食中元素的含量及土壤的安全值[J].长江流域资源与环境,1997,6(2):149-155.
- [24] 渠荣遴,李德森,杜荣骞.水体重金属污染的植物修复研究(Ⅳ)——种苗过滤去除水中重金属铜[J].农业环境科学学报,2003,22(2):167-169.
- [25] 王永芬,席磊.向日葵对土壤中铜的积累作用研究[J].中国生态农业学报,2006,14(4):131-133.
- [26] 渠荣遴,李德森,杜荣骞.水体重金属污染的植物修复研究(Ⅰ)——种苗过滤去除水中重金属锌[J].农业环境保护,2002,21(4):297-300.
- [27] Arash Z, Abdolmajid L A, Hassanoghli. Phytoremediation Treatment of Water Contaminated With Zinc, Copper and Lead [C]//International Commission on Irrigation and Drainage. International Commission on Irrigation and Drainage Nineteenth Congress. Symposium (R. 09). Beijing: International Commission on Irrigation and Drainage, 2005,9:142-144.
- [28] 席磊,王永芬. CO_2 气肥对向日葵 Cu 积累能力影响的研究[J].安徽农业科学,2008,36(2):636-637,643.
- [29] 王学锋,崔倩. EDTA、柠檬酸对向日葵吸收重金属 Cd-Ni 的影响[C]//中国农业生态环境保护协会.第二届全国农业环境科学学术研讨会论文集.天津:中国农业生态环境保护协会,2007:221-225.
- [30] Liphadzi M S, Kirkham M B, Mankin K R, et al. EDTA-assisted heavy metal uptake by poplar and sunflower grown at a long-term sewage-sludge farm [J]. Plant and Soil, 2003,10(1):171-182.

Review on Sunflower Response and Phytoremediation to Heavy Metal Stress

NIE Hui, AN Yu-lin, LI Su-ping

(Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry, Huhhot, Inner Mongolia 010031)

Abstract: The response and phytoremediation of sunflower to heavy metal (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr) stress were discussed by summarizing the related studies in recent years. And four measures to increase phytoremediation efficiency of sunflower were generalized. They were fertilizer practice, cultural practice, plant restorative and genetic modification.

Key words: sunflower; heavy metal; stress; phytoremediation