

# A Study of Hazards of Soil Heavy Metals Cu Stress on Plants

Meijiao Gao, Ling Jin, Xiaorui Guo\*

Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin  
Email: \*[xruiguo@nefu.edu.cn](mailto:xruiguo@nefu.edu.cn)

Received: Apr. 12<sup>th</sup>, 2014; revised: May 4<sup>th</sup>, 2014; accepted: May 12<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In recent years, heavy metals pollution in soil is more and more serious, which has been attracting more and more attentions. The excess usage of copper bactericide and industrial pollution had caused severe copper toxicity to plants. This article made a brief review on the research progress, including heavy metals Cu toxicity, mechanism of plant resistance to Cu stress and phytoremediation, and we outlook the trends on how to investigate soil heavy metal pollution of Cu in the future.

## Keywords

Plants, Copper Toxicity, Mechanism of Action, Phytoremediation

---

# 土壤中重金属Cu胁迫对植物的危害研究

高媚娇, 金 玲, 郭晓瑞\*

东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨  
Email: \*[xruiguo@nefu.edu.cn](mailto:xruiguo@nefu.edu.cn)

收稿日期: 2014年4月12日; 修回日期: 2014年5月4日; 录用日期: 2014年5月12日

---

## 摘 要

土壤重金属污染严重的问题日益受到人们的关注。随着我国重金属污染加重及含Cu杀菌剂的大量使用, \*通讯作者。

植物遭受Cu毒害也越来越严重。本文从重金属Cu的毒害,植物抗Cu胁迫作用机理以及植物修复等方面做出了简要综述,对土壤中重金属Cu污染的研究提出了展望。

## 关键词

植物, Cu毒害, 作用机理, 植物修复

## 1. 引言

近年来,由于人类的活动,全球生态破坏及环境污染日趋严峻,环境问题已威胁到人类的健康与生存。其中,重金属对土壤环境的破坏尤为严重,已引起人们的广泛关注。重金属污染源广泛,包括采矿、冶炼、金属加工、化工、废电池处理、电子、制革和染料等工业排放的三废及汽车尾气排放、农药和化肥的施用等。据报道,目前我国受铜、镉、铬、铅等重金属污染的耕地面积近 2000 万  $\text{hm}^2$ , 约占总耕地面积的 1/5, 其中工业三废污染耕地 1000 万  $\text{hm}^2$ , 污水灌溉的农田面积已达 330 多万  $\text{hm}^2$ 。重金属在植物根、茎、叶及籽粒中的大量累积,不仅严重地影响植物的生长和发育,而且会进入食物链,危及人类的健康[1]-[3]。

Cu 作为重要的重金属污染物,以其毒性强,危害大,在植物体内易积累,难降解的特性深受人们的关注[4]。Cu 虽然是植物生长发育的必需元素,也是人体正常代谢所必需的微量元素,其在常量时对生物有益,但过量时则导致毒害,严重时导致植物细胞死亡,Cu 通常在矿区、冶炼厂等环境中含量常超标。

## 2. 重金属 Cu 对植物的毒害

随着矿产资源的大量开发,农药、化肥的广泛使用以及城市污泥、污水的农用,重金属对土壤、水体的污染越来越严重[5] [6]。当环境中重金属离子含量超过其对重金属离子的自净作用时,将对植物代谢和生长发育产生影响[7]。

### 2.1. 重金属 Cu 对种子萌发的影响

种子在重金属胁迫下的萌发情况与植物本身的耐受性有一定关系。种子萌发初期重金属对蛋白质代谢和氨基酸代谢表现为促进作用,但随着种子萌发的进行,高浓度重金属对银杏种子生理代谢产生抑制效应。陈颖等[8]对 Cu 胁迫下喜树种子发芽情况的研究表明,低浓度的 Cu 对发芽率有一定促进作用,发芽势提前,高浓度 Cu 抑制胚根和胚芽的生长。刘文莉等[9]的研究表明金属浓度相关性不显著,但低浓度铜溶液对萌发有明显促进作用。低浓度的 Cu 可以激活夏蜡梅种子萌发过程中淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活力,高浓度则抑制。

### 2.2. 重金属 Cu 对植物生长的影响

生长量和生物量的变化程度是植物对重金属胁迫响应的综合体现及对重金属胁迫的综合反应。微量的 Cu 对植物生长具有促进作用,一般植物叶片的正常 Cu 含量为  $5\sim 30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,高于  $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  时则可能引起植物中毒[10]。Cu 对植物毒害效应的表现之一是抑制生长[11] [12]。刘春生等[13]研究表明,褐土施加过量 Cu 会抑制苹果树新梢的伸长,其抑制程度随 Cu 施入量的增加而加剧。酸性土壤施 Cu 过量或波尔多液残留累积会引起柑橘树皮开裂和流胶,反复喷施波尔多液会使树体生长减缓,出现部分落叶,枝梢枯萎,甚至全树死亡[14]。

不同植物忍受 Cu 毒害的程度不同,当外源 Cu 质量分数 $>10.4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,番茄植株干重减小,叶片

Cu 含量达  $34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [15]。水稻幼苗遭受 Cu 毒害, Cu 质量分数的临界值为  $35.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  [16]。当土壤 Cu 含量为  $75 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  时, 苹果砧木产生毒害, 植株变矮、主干变细、生长量变小; 而同浓度的 Cu 对海棠果则有促进生长作用[13]。

植株 Cu 毒害表现在生育迟缓、矮小, 主根生长不良, 原生根呈褐色且粗短, 根毛变少[11]。植物受 Cu 毒害的最初部位是根[17], 过量的 Cu 积累于根部导致根受到伤害, 进而影响整个植株的生长[18], 水稻各器官 Cu 累积量随土壤施 Cu 量的增加而增加, 其分配规律为: 根 > 茎叶 > 糙米; 同一水稻器官吸收率自下而上呈下降趋势, 反映出金属离子不易向地上部位转移的特点[19] [20]。

### 2.3. 重金属 Cu 对植物生理生化的影响

#### 2.3.1. 重金属 Cu 对植物光合作用的影响

叶绿素是绿色植物进行光合作用的主要色素, 叶绿素含量同光合作用的关系十分密切, 其含量在一定程度上反映植物同化物质的能力。叶绿素含量的多少直接影响光合能力的强弱, 适量的 Cu 有利于叶绿素的形成与稳定, 这是因为 Cu 与叶绿体色素形成配位化合物, 相反高浓度 Cu 会伤害叶绿素, 降低其含量。由于 Cu 局部积累过多, 与叶绿体中蛋白质-SH 结合或取代其中的  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ , 致使叶绿素蛋白中心离子组成发生变化而失活[21]。

#### 2.3.2. 重金属 Cu 对植物酶活性的影响

Cu 作为细胞色素氧化酶、酚氧化酶、抗坏血酸氧化酶、多胺氧化酶、超氧化物歧化酶等的辅基而参与呼吸代谢, 这些氧化酶将呼吸代谢底物的电子传递到分子氧, 形成水或者过氧化氢, 在此过程中产生能量。微量 Cu 会促进酶与底物结合, 而过量 Cu 则显著降低酶的活性。在 Cu 胁迫下的植物抗氧化酶活性变化是一个非常复杂的生理过程, 但大多数研究者认为: SOD、POD、CAT 活性的维持和提高是植物耐受重金属胁迫的物质基础之一[22]。有研究者指出: 在低浓度重金属胁迫时, 植物细胞内抗氧化酶活性增加, 但随重金属浓度的增大和胁迫时间的延长而降低[23]。

#### 2.3.3. 重金属 Cu 对植物膜透性的影响

植物细胞膜系统是细胞与外界环境进行物质交换和信息传递的界面和屏障, 其透性是评定植物对污染、胁迫反应的指标之一[24]。Bowler 等[25]指出, 植物在逆境中可以增强膜脂质过氧化作用的进程, 启动膜脂质过氧化作用或膜脂脱脂作用, 破坏膜的结构, 影响膜的功能。Cu 胁迫下柑桔叶片细胞膜脂过氧化加剧, 膜脂过氧化产物 MDA 含量显著增加[26]。

## 3. 植物抗重金属 Cu 胁迫机理研究

生态环境中过量的重金属会限制植物的正常生长、发育和代谢, 但仍然有许多植物能够在高浓度的重金属环境中生长、繁殖, 并完成生活史, 这表明在长期的进化过程中植物也相应地产生了多种抵抗重金属毒害的防御机制[27]-[30]。

### 3.1. 植物的抗逆性

植物的抗逆性即一些植物通过限制重金属离子跨膜吸收和与体外分泌物结合等外部保护机制, 使其不吸收环境中高含量的重金属从而免受伤害[27]。植物可以通过限制重金属离子跨膜吸收来降低体内重金属离子的浓度[31]。Mench 等[32]报道, 高等植物也可以通过根系分泌物与重金属离子结合, 保持其在重金属污染的环境中较正常生长。此外, 一些植物特有的外生菌根在驱避重金属离子对共生宿主的毒害中也起到了重要的作用[33]。

### 3.2. 植物的耐受性

植物的耐受性是指植物体内具有某些特定的生理机制使植物生存于高含量的重金属环境中而不受伤害,此时植物体内具有较高浓度重金属[27]。目前,普遍认为植物的耐性机制主要有络合解毒机制和螯合作用、区隔化作用、酶系统的解毒作用等。重金属胁迫能导致大量的活性氧自由基产生,但植物体内的多种抗氧化酶系统能够清除氧自由基而保护细胞免受伤害[34]。李子芳等[35]的研究表明,植物在重金属胁迫下,体内的抗氧化酶活性升高。

### 4. 重金属 Cu 污染治理方法研究

重金属污染土壤的植物修复是指将某种特定的植物种植在重金属污染的土壤上,而该种植物对土壤中的污染元素具有特殊的吸收富集能力,将植物收获并进行妥善处理(如灰化回收)后即可将该种重金属移出土壤,达到污染治理与生态修复的目的[36]。与传统的重金属污染治理方法(物理法、化学法)相比,植物修复技术以其成本低,不破坏土壤结构和不造成二次污染等优点而备受人们推崇。

我国在植物修复方面的研究虽然尚处于起步阶段,但已有不少学者进行了探索与尝试。穆立蕾等、鲁敏等、杨学军等分别对哈尔滨、沈阳、上海等城市的主要绿化树种对大气重金属污染物吸收(吸滞)能力和净化能力进行了比较,并筛选出一些吸收、净化能力强的绿化树种[37]-[39];咎启杰等对红树林生态系统重金属污染、吸收、累积和循环等方面进行了较为系统、全面的研究[40]。目前,人们已从自然界筛选到 400 多种重金属超积累植物,它们可作为修复重金属污染土壤的优先考虑品种[41]。由于木本植物具有茂密的枝叶、高大的树干、发达的根系、高产的生物量、较长的生长周期且极少与人类食物链相连,使其在治理重金属污染土壤时具有非常大的潜力。

### 5. 展望

尽管重金属 Cu 污染近年来越来越受到人们关注,并在治理方面取得一些成就,但还有很多地方有待深入研究,需要以后继续开展研究工作,主要包括以下几个方面:1) 积极开展重金属 Cu 污染源的研究,只有更加充分地了解重金属 Cu 的污染源,才能做好相关研究,在重金属污染监测与防治中对症下药,减少盲目性。2) 积极开展重金属 Cu 在植物中的吸收、储存、迁移和循环等机理的研究。3) 对于重金属 Cu 污染的土壤,应尽量采用植物修复技术进行改良,但目前对于可利用重金属 Cu 的超富集植物还不够多,因此,今后应继续寻找和筛选对重金属 Cu 的超富集植物。

### 项目基金

感谢国家科技支撑计划课题(2012BAD21B0501)、林业公益性行业科研专项经费(20120460108)、国家林业局林业科学技术推广项目([2012] 46)的资助。

### 参考文献 (References)

- [1] Hart, J.J., Welch, R.M. and Norvell, W.A. (1998) Characterization of cadmium binding, uptake, and translocation in intact seedlings of bread and durum wheat cultivars. *Plant Physiology*, **116**, 1413-1420.
- [2] World Health Organization (1992) International programme on chemical safety Cd. *Environmental Health Criteria*, Geneva, 134.
- [3] Sugiyama, M. (1994) Role of cellular antioxidants in metal-induced damage. *Cell Biology and Toxicology*, **10**, 1-22.
- [4] 周以富,董亚英 (2003) 几种重金属土壤污染及其防治的研究进展. *环境科学动态*, **1**, 15-16.
- [5] 陈怀满 (1996) 土壤——植物系统中的重金属污染. *科学出版社*, **1**, 1-14.
- [6] 杨世勇,王方,谢建春 (2004) 重金属对植物的毒害及植物的耐性机制. *环境科学报*, **1**, 71-72.

- [7] 何翠屏 (2004) 环境中重金属污染及其对植物生长发育的影响. *青海草业*, **13**, 26-29.
- [8] 陈颖, 孙丰盛, 曹福亮 (2008) 铜处理对喜树种子萌发及幼苗生长、生理代谢的动态影响. *西北林学院学报*, **23**, 1-6.
- [9] 刘文莉, 金则新, 柯世省 (2007) 铜对夏蜡梅种子萌发代谢的影响. *云南农业大学学报*, **22**, 132-137.
- [10] 常红岩, 孙百晔, 刘春生 (2000) 植物铜素毒害研究进展. *山东农业大学学报*, **31**, 227-230.
- [11] 黄细花, 赵振纪, 刘永厚 (1993) 铜对紫云英生长发育影响的研究. *农业环境保护*, **12**, 1-6.
- [12] 王宏康, 阎寿沧 (1990) 污泥施肥时铜对农作物的污染. *环境科学*, **11**, 6-11.
- [13] 刘春生, 史衍玺, 马丽 (2000) 过量铜对苹果树生长及代谢的影响. *植物营养与肥料学报*, **6**, 451-456.
- [14] 庄伊美 (1994) 柑橘营养与施肥. 中国农业出版社, 北京.
- [15] Rboads, F.M., Olson, S.M. and Ma, N.A. (1989) Copper toxicity in tomato plants. *Journal of Environmental Quality*, **18**, 195-197.
- [16] Fernando, C.L. and Fernando, S.H. (1992) Copper toxicity in rice: Diagnostic criteria and effect on tissue Mn and Fe. *Soil Science*, **15**, 130-135.
- [17] 赵振纪, 黄细花, 刘永厚 (1993) 铜对土壤植物系统的影响及其临界值指标的研究. *环境与开发*, **8**, 4-9.
- [18] Alva, A.K. and Chen, E.Q. (1995) Effects of external copper concentrations on uptake of trace elements by citrus seedlings. *Soil Science*, **159**, 59-64.
- [19] 苏流坤, 袁换祥 (1997) 土壤中铜、砷对水稻生长发育影响的研究. *热带亚热带土壤科学*, **26**, 194-197.
- [20] 康立娟, 赵明亮, 赵成爱 (1999) 铜对水稻的影响及迁移积累规律的研究. *广东微量元素科学*, **6**, 43-44.
- [21] Hsu, B. and Lee, J. (1988) Toxic effects of copper on photosystem of spinach chloroplasts. *Plant Physiology*, **87**, 116-119.
- [22] Wang, G.L. and Zhang, J.C.H. (2009) Effects of Cu and Zn stress on physiological indications of *Ludwigia prostrata* Roxb. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, **33**, 43-47.
- [23] Xu, X., Sun, Z.H.Y., Pan, Y.Z.H. and Han, L. (2007) Review on responses of garden plants to heavy metal stress. *World Forestry Research*, **20**, 36-41.
- [24] 张义贤, 张丽萍 (2006) 金属对大麦幼苗膜质过氧化及脯氨酸和可溶性糖含量的影响. *农业环境科学学报*, **2006**, 857-860.
- [25] Bowler, C. and Montagu, M.V. (1992) Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **48**, 83-116.
- [26] 邱栋梁, 张国军, 余东 (2007) Cu 胁迫对柑桔叶片膜透性及酶活性的影响. *农业环境科学学报*, **26**, 1008-1013.
- [27] 江行玉, 赵可夫 (2001) 植物重金属伤害及其抗性机理. *应用与环境生物学报*, **7**, 92-99.
- [28] Tomsett, A.B. and Thurman, D.A. (1998) Molecular biology of metal tolerance of plants. *Plant, Cell & Environment*, **11**, 383-394.
- [29] Dong, J., Mao, W.H. and Zhang, G.P. (2007) Root excretion and plant tolerance to cadmium toxicity. *Plant, Soil and Environment*, **53**, 193-200.
- [30] Baker, A.J.M. (1987) Metal tolerance. *New Phytologist*, **106**, 93-111.
- [31] 郑逢中, 林鹏, 郑文教 (1994) 红树植物秋茄幼苗对镉耐性的研究. *生态学报*, **14**, 408-414.
- [32] Mench, M. and Martin, E. (1991) Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L., *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. *Plant and Soil*, **132**, 187-196.
- [33] Colpaert, J.V. and Assche, J.A.V. (1992) Zinc toxicity in ectomycorrhizal *Pinus sylvestris*. *Plant and Soil*, **143**, 201-211.
- [34] 黄玉山, 罗广华 (1997) 镉诱导植物的自由基过氧化损伤. *植物学报*, **39**, 522-526.
- [35] 李子芳, 刘惠芬, 熊肖霞 (2005) 镉胁迫对小麦种子萌发幼苗生长及生理生化特性的影响. *农业环境科学学报*, **24**, 17-20.
- [36] 张健, 孙根年 (2004) 土壤重金属污染与植物修复研究进展. *云南师范大学学报*, **24**, 52-57.
- [37] 穆立蕃, 孙海燕, 祝宁 (2004) 东北主要绿化树种对大气重金属污染物吸收能力的研究. *林业研究*, **15**, 73-76.
- [38] 鲁敏, 李英杰 (2003) 绿化树种对大气重金属污染物吸滞能力. *城市环境与城市生态*, **16**, 51-52.
- [39] 杨学军, 唐东芹, 许东新 (2004) 上海地区绿化树种重金属污染防护特性的研究. *应用生态学报*, **15**, 687-690.

- [40] 咎启杰, 李珍珍, 李春华 (1991) 杨树、京桃、丁香叶片对大气中重金属污染物 Cu、Cr、Pb、Zn 净化能力的探讨. *环境保护科学*, **17**, 71-76.
- [41] 章金鸿, 李玫, 潘南明 (2002) 深圳福田红树林对重金属 Cu、Pb、Zn、Cd 的吸收、累积与循环. *云南环境科学*, **19**, 53-56.