

## EP中南大学：NMT发现Cd导致桑树根Ca/Mg外排破坏离子平衡，对Na/K无影响

### 基本信息

主题：NMT发现Cd导致桑树根Ca/Mg外排破坏离子平衡，对Na/K无影响

期刊：Environmental Pollution

影响因子：6.792

研究使用平台：NMT重金属胁迫创新平台

标题：Physiological, Anatomical, and Transcriptional Responses of Mulberry (*Morus alba* L.) to Cd Stress in Contaminated Soil

作者：中南大学郭朝晖、曾鹏

### 检测离子/分子指标

Cd<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>

### 检测样品

桑树根（根尖、分生区、伸长区、成熟区和根毛区）

### 中文摘要

木本植物桑树具有具备生物量大、生长周期长而在修复重金属污染土壤上具备较强的应用前景。然而，关于Cd在桑树体内解毒和转运过程，及其解剖特征和分子响应机制尚未完全阐明。本文研究了Cd胁迫下桑树的解剖特征、Cd和矿质元素的吸收和转运以及转录机制。结果表明，桑树对Cd胁迫具有较强的解毒和自我保护能力。当土壤Cd含量小于37.0 mg/kg时，桑树生长和光合色素含量无明显影响，而在37.0-55.4 mg/kg Cd污染土壤中，桑树根系Ca和Mg含量显著（ $p < 0.05$ ）增加了37.85%、40.87%和36.63%、53.06%。同时，植物叶片过氧化物酶、过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化物酶等抗氧化酶活性与Cd含量呈正相关。Cd胁迫下，桑树叶片的细胞结构，茎和根部横截面的组织结构基本保持完整；同时，叶片嗜饿颗粒数量增加和淀粉颗粒的溶解效应显著响应。COG分析和GO分析表明，桑树能增强其催化活性，调节无机离子的运输和代谢过程，增强其抗氧化酶活性和防御机制等过程来减轻Cd的毒害作用。而且，Cd胁迫下，大量与细胞壁生物合成、抗氧化酶活性、谷胱甘肽代谢、螯合作用、植物激素信号转导以及丝裂原活化蛋白激酶（MAPK）信号通路相关的差异表达基因上调。KEGG富集分析表明，植物激素信号转导在桑

树根、茎、叶中显著富集 ( $p < 0.05$ )，脱落酸和乙烯可介导MAPK信号通路增加植物对Cd的耐受性。结果表明，桑树的生理、细胞和组织以及转录调控均能促进其在Cd污染土壤上的适应性。

## 离子/分子流实验处理方法

50  $\mu\text{mol/L}$  CdCl<sub>2</sub> (Cd50) 处理20 d

## 离子/分子流实验结果

采用非损伤微测技术 (NMT) 测定桑树根系的5个部位的Cd<sup>2+</sup>流速 (图1a)，即根冠 (a区)、根分生区 (b区)、根伸长区 (c区)、根成熟区 (d区) 和根毛区 (e区)，可直接反映植物根系对Cd<sup>2+</sup>的吸收情况。5 min内桑树根系的Cd<sup>2+</sup>净流速变化不大 (图1b)，表明桑树根系能够稳定地从培养环境中吸收Cd<sup>2+</sup>，表现出较强的Cd吸收能力。桑树根不同部位Cd<sup>2+</sup>净流速差异显著，范围为6.2237.9 pmol/cm<sup>2</sup>·s (图1c)。桑树根系对Cd<sup>2+</sup>的净吸收顺序为根冠区 (a区) > 根分生区 (b区) > 根伸长区 (c区) > 根成熟区 (d区) > 根毛区 (e区)，表明桑树根系对Cd<sup>2+</sup>的吸收主要集中在根冠区和分生区。这可能是由于根冠区和分生区表皮细胞壁中的角质层未完全形成所致，有利于植物根尖区吸收Cd<sup>2+</sup>。因此，桑树的根冠和分生区是从污染环境中吸收Cd的主要部位。

为确定Cd对桑树根吸收阳离子流速的影响，测定了桑树根成熟区净K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>和Na<sup>+</sup>流速 (图1d-g)。Cd50处理下，桑树根系的K<sup>+</sup>和Na<sup>+</sup>流速较Cd0处理无明显变化 (图1d和e)，而Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>流速明显外排 (图1f和g)，说明桑树在Cd胁迫下能维持正常的Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>吸收平衡但加速了Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>流失。因此，桑树根系中Cd<sup>2+</sup>可能与Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>等同类型二价阳离子的转运和吸收通道竞争。且植物根系细胞质膜中存在不同类型的高亲和力二价阳离子转运蛋白可直接参与Cd<sup>2+</sup>的吸收。综上，Cd胁迫会破坏根系成熟区对Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>的吸收平衡，对Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>的吸收影响较小。

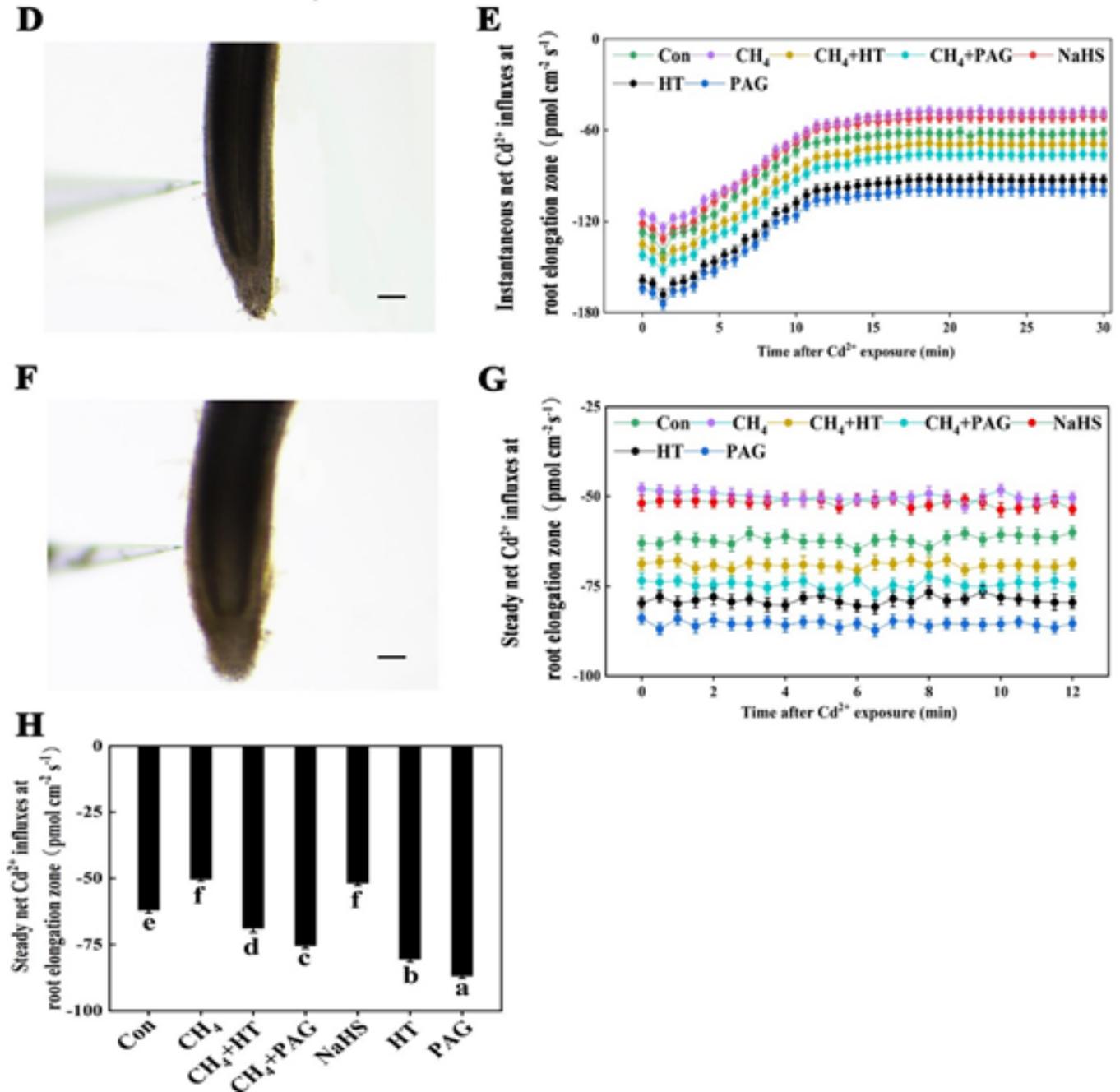


图1. Cd胁迫下桑根 $\text{Cd}^{2+}$ 流速 (a)、桑树根不同区域 $\text{Cd}^{2+}$ 净流速 (b-c) 和成熟根 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 流速 (d-g)。

## 其他实验结果

- Cd胁迫下桑树的耐性可能与调节Ca、Mg的吸收和抗氧化酶活性保护有关。
- Cd胁迫下，桑树根和茎的筛管对阻断Cd的运输和降低其毒性起关键作用，而导管对部分 $\text{Cd}^{2+}$ 、矿质元素、水分等物质的运输起主导作用。
- Cd胁迫下，桑树叶中嗜饿颗粒数量和体积的增加以及淀粉颗粒的溶解作用可能在提高桑树Cd的耐性方面具有重要作用。此外，Cd胁迫下桑树叶的细胞结构基本保持完整，使植物能够维持正常的生理代谢功能。

# 文献电子报

- 桑树不同部位可诱导一系列基因产生适应性响应，并产生不同的生理代谢和调节功能来降低Cd的毒性。
- 桑树组织中与细胞壁形成/修饰相关的差异基因能够有效结合Cd，降低Cd转运能力，从而有效提高桑树对Cd的耐受性。
- 桑树能提高硫代谢活性，缓解Cd的毒害作用。
- 桑树体内硫和GSH代谢的增强可促进植物螯合素（PCs）和金属硫蛋白（MTs）基因的产生，有利于PC或MT-Cd复合物的形成，降低Cd对桑树的毒害作用。
- Cd可能利用Cu<sup>2+</sup>转运通道（HMA5和HMA7），促进Cd从根系向地上部的转运，从而降低Cd对桑树根系的毒害作用。
- 桑树体内HMA3、MTP1、ABC转运蛋白、YSL3、NRAMP2和NRAMP4均能促进Cd的液泡区隔，增强植物对Cd的解毒能力。
- HMA2、HMA3、ABCC2、ABCC10、ABCG2、YSL3、NRAMP2、NRAMP4、HIPP3、HIPP20、HIPP32、HIPP34和HIPP36可能参与了桑树根系对Cd的吸收和木质部转运。
- Zn、Cu和Mn的转运蛋白可能参与了Cd从桑树根到茎的吸收和转运。
- 桑树组织中植物激素相关基因的表达上调可以缓解Cd的毒害作用。
- 脱落酸和乙烯可有效介导MAPK信号通路，提高桑树对Cd的耐受性。

## 结论

桑树根系对Cd的吸收主要集中在根冠区和分生区，Cd主要由HMAs、ABC转运蛋白、YSLs、NRAMPs和HIPPs从根系向地上部转运，还与Zn转运蛋白、Cu转运蛋白和Mn转运ATP酶转运蛋白（

p <0.05）抑制了桑树组织对Zn、Cu、Mn的吸收，而Cd胁迫显著提高了桑树根系中Ca、Mg的含量（p <0.05）。SEM分析表明，Cd胁迫下，桑树根和茎的筛管对阻断Cd的运输和降低其毒性起关键作用。叶片嗜饿颗粒数量增加和淀粉颗粒的溶解效应显著响应于Cd胁迫。此外，Cd胁迫能显著影响桑树基因的表达，在桑树根、茎和叶中分别有1938、1738和1852个基因显著（p <0.05）差异表达。基于GO、COG和iPath分析，在桑树根、茎和叶中分别有372、360和318、37、39和40、2、9和4、4、41和34、13、4和6、3、2和6个上调差异表达基因注释到催化活性、刺激响应、抗氧化活性、转运活性、无机离子转运和代谢以及防御机制等过程，表明这些差异表达基因在桑树不同部位能有效诱导产生适应性反应，并通过不同的生理代谢和调节功能来降低Cd

# 文献电子报

毒害。桑树组织中细胞壁的形成/修饰可有效结合Cd，降低Cd的转运能力。而且，桑树中Cd的转运系数随着污染土壤中Cd含量的升高而逐渐降低。桑树体内硫和GSH代谢的增强可促进PC和MT基因的

表达，增加植

物体内Cd螯合作用。KEGG

富集分析表明，植物激素信号转导显著 ( $p$

$<0.05$ ) 富集于植物体内，脱落酸和乙烯可介导MAPK信号通路增强植物对Cd的耐受性。因此，根系Ca、Mg含量增加，叶片中嗜饿颗粒数量的增加和淀粉颗粒的溶解，以及细胞壁生物合成、谷胱甘肽代谢、螯合作用以及植物激素信号转导等差异表达基因的综合互动，可提高桑树应对Cd胁迫的适应性。

## 测试液

对照组：0.1 mM KCl, 0.1 mM CaCl<sub>2</sub>, 0.1 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.5 mM NaCl, 0.3 mM MES, 0.2 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pH 6.0

Cd处理组：0.1 mM KCl, 0.1 mM CaCl<sub>2</sub>, 0.1 mM MgCl<sub>2</sub>, 0.5 mM NaCl, 0.3 mM MES, 0.2 mM Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.05 mM CdCl<sub>2</sub>, pH 6.0

## 仪器采购信息

- 据中关村NMT产业联盟了解，湖南地区的中国科学院亚热带农业生态研究所于2020年采购了旭月公司的非损伤微测系统。

原文链接：

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117387>

(唯一的)问答 ID: #1344

作者: xuyuenmt

更新时间：2022-07-11 09:46