



## 重金属与非损伤微测技术 (NMT) 科研结合点

### 一、摘要

#### 1、表型研究

- 1) 定量检测根、叶、藻、生物膜、细菌、真菌等活样，对环境中  $\text{Cd}^{2+}/\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$  的实时吸收速率
- 2) 定量检测  $\text{Cd}^{2+}/\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$  在活体植物体内的转运速率，包括根木质部装载、茎木质部导管运输、叶肉吸收、液泡区隔) 等过程
- 3) 定量测定重金属存在的条件下，动植物组织、细胞对  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  等元素吸收速率的变化，研究重金属导致的元素失衡过程
- 4) 定量测定活体样品内外部不同位置的  $\text{Cd}^{2+}/\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$  浓度

#### 2、机制

##### 1) $\text{Ca}^{2+}$ 信号

以  $\text{Cd}^{2+}/\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$  吸收转运速率作为落脚点，从  $\text{Ca}^{2+}$  信号促 ROS 产生、ROS 调节质膜  $\text{Cd}^{2+}/\text{Cu}^{2+}/\text{Pb}^{2+}$  转运载体，辅以  $\text{Ca}^{2+}$  通道抑制剂、RBOH 抑制剂、ROS 清除剂等，验证  $\text{Ca}^{2+}$  如何参与调控重金属吸收转运，验证 Nramp、HMA、IRT、ZIP、Ctr、Fet4 等功能

##### 2) 泌 $\text{H}^+$ 调节根际 pH

定量检测重金属胁迫下根部实时泌  $\text{H}^+$  速率及根表 pH，表征植物在重金属下通过促进养分吸收及排出重金属离子应对胁迫的能力

##### 3) 吸 / 泌 $\text{O}_2$ 调节根际氧化还原电位

扫码查看重金属文献专辑

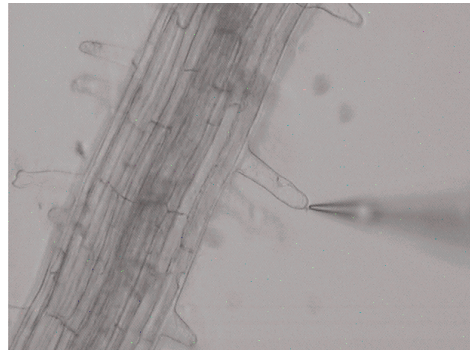


## 样品检测视频

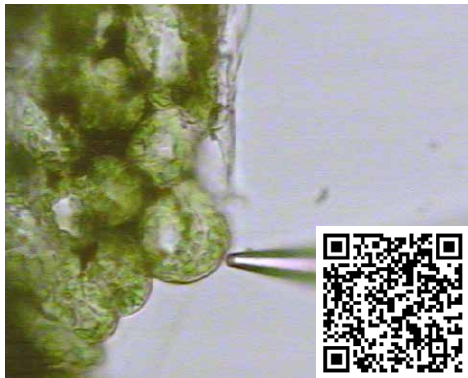
根



根毛



叶肉



原生质体 / 液泡



## 应用报告视频

**活体跨膜转运技术在重金属研究上的应用**

专家介绍



主讲人：刘蕊琦  
中关村NMT产业联盟秘书长，联盟非损伤检测技术(NMT)高级认证工程师

QR code

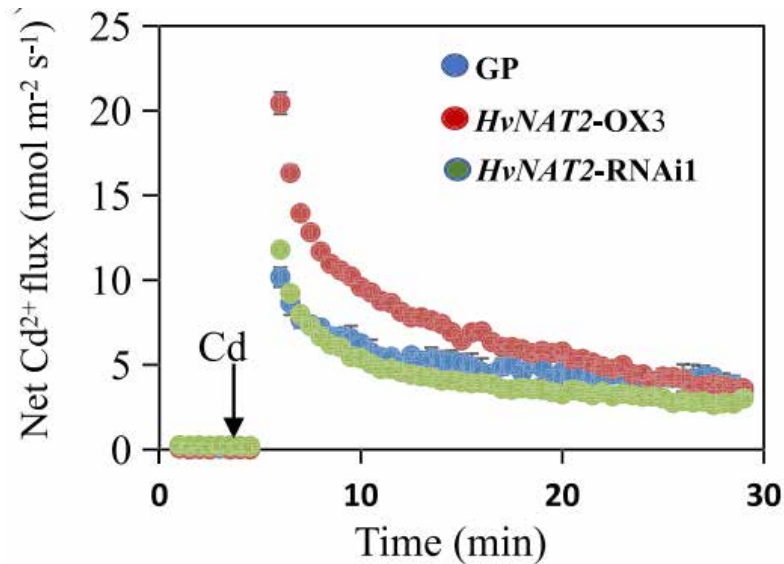


## 二、应用案例

### 1、*J Adv Res* 浙大邬飞波：非损伤微测技术发现 NAT2 促大麦吸 Cd 为 NAT 作为潜在重金属生物修复基因提供证据

通讯作者：浙江大学、扬州大学邬飞波

所用 NMT 设备：非损伤微测技术平台



图注. 为了研究不同基因型植株根表皮细胞  $\text{Cd}^{2+}$  流速的影响, 研究用非损伤微测技术检测了  $\text{CdCl}_2$  处理后根表皮细胞  $\text{Cd}^{2+}$  流速动态变化。结果表明, 添加  $10 \mu\text{M}$   $\text{CdCl}_2$  导致植株表皮细胞  $\text{Cd}^{2+}$  迅速内流; 与 GP 对照相比, *HvNAT2-OX3* 植株的  $\text{Cd}^{2+}$  转运流速最高; *HvNAT2-OX3* 植株的总  $\text{Cd}^{2+}$  流速和平均  $\text{Cd}^{2+}$  流速均显著高于 GP (分别为 31% 和 39%), 而 *HvNAT2-RNAi1* 根部的稳态  $\text{Cd}^{2+}$  流速显著降低了 23%。

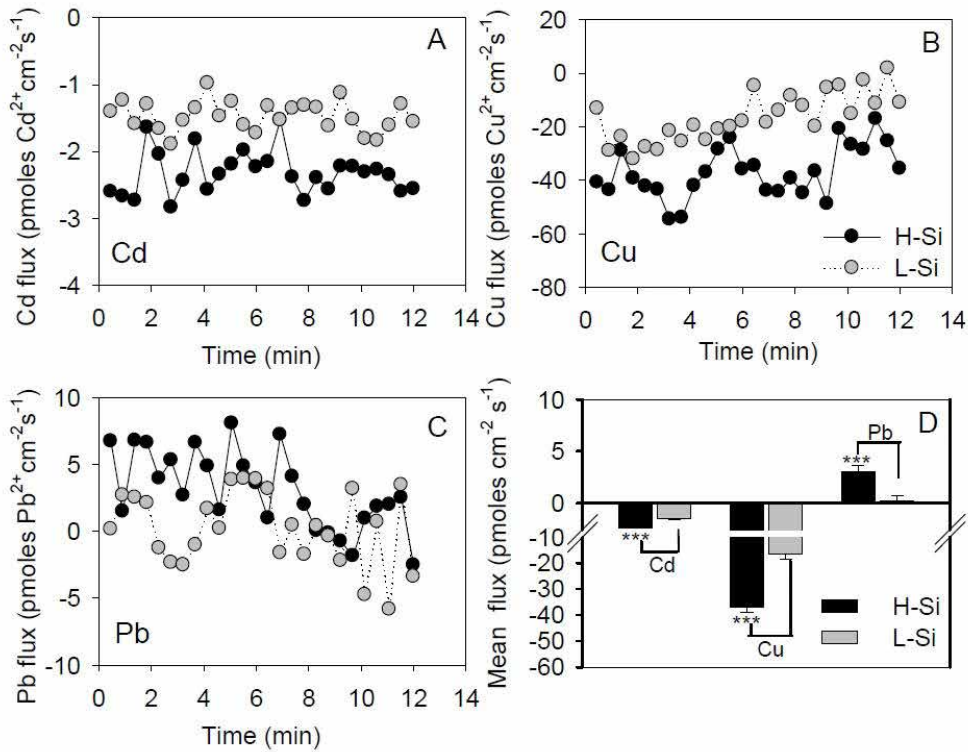


扫码查看本文详细报道

## 2、*Environ Pollut* 深大潘科：硅藻的 Si 依赖性 Cd/Cu/Pb 耐受力的机制

通讯作者：深圳大学潘科

所用 NMT 设备：NMT 重金属阻控机制分析仪



图注. Cd<sup>2+</sup> 的流速在 -2.84 和 -0.98 之间变化, Cu<sup>2+</sup> 的金属流量在 -54.66 和 1.77 之间, Pb<sup>2+</sup> 的金属量在 -5.84 和 8.07。Cd<sup>2+</sup> 和 Cu<sup>2+</sup> 的负值表明这些离子的吸收超过了它们的消除。然而, 对于 Pb<sup>2+</sup>, L-Si 和 H-Si 电池的值均为正值, 表明在与金属的初始接触期间, Pb<sup>2+</sup> 的消除比吸收更快。H-Si 细胞对 Cd<sup>2+</sup> 和 Cu<sup>2+</sup> 的吸收率比 L-Si 细胞快 (p<0.05)。相反, H-Si 细胞的 Pb<sup>2+</sup> 流出量明显高于 L-Si 细胞 (p<0.05)。表明了富硅细胞比缺硅细胞具有更高的金属吸附和流入速率。



扫码查看本文详细报道

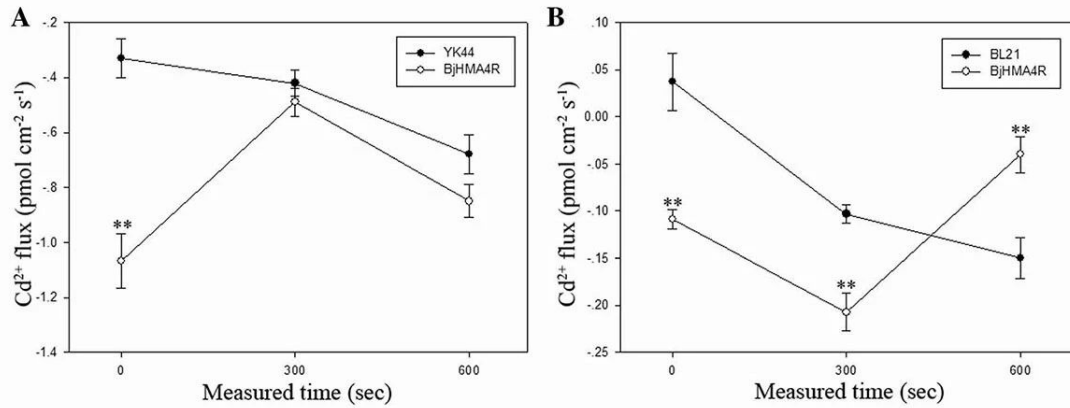


测样咨询

### 3、*BMC Plant Biol* 国科大柴团耀：BjHMA4R 通过结合胞质 Cd<sup>2+</sup> 促植物耐镉

通讯作者：中国科学院大学生命科学学院柴团耀

所用 NMT 设备：人工智能全自动非损伤微测系统



图注. 与对照细胞相比, 在镉胁迫下, BjHMA4R 的过度表达可以增加转基因酵母和大肠杆菌细胞的 Cd<sup>2+</sup> 内流。随着处理时间的延长, 酵母细胞的 Cd<sup>2+</sup> 通量趋于一致 (A), 与对照细胞相比, 大肠杆菌的转基因细胞具有显著的 Cd<sup>2+</sup> 流出。

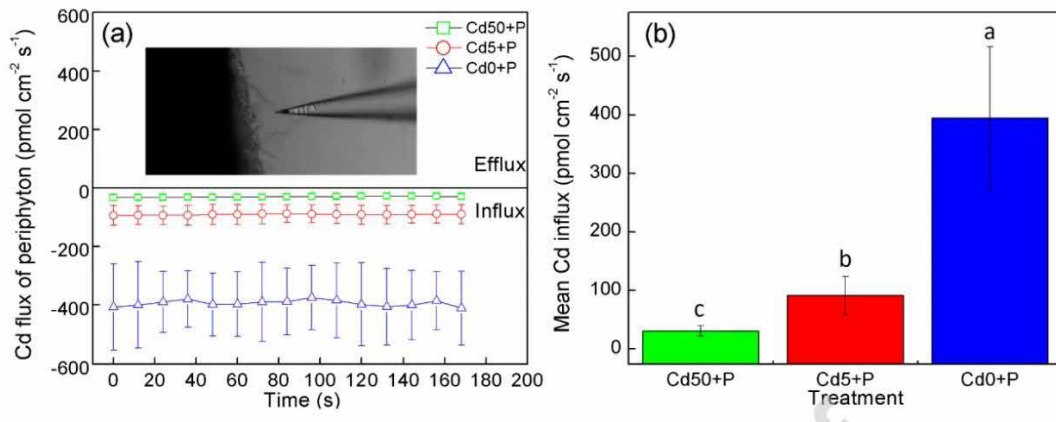


扫码查看本文详细报道

#### 4、*Environ Pollut* 中科院南土所刘俊琢：NMT 验证稻田生物膜大量吸附 Cd 降低水稻 Cd 积累

通讯作者：中国科学院南京土壤研究所刘俊琢

所用 NMT 设备：NMT 活体生理检测仪<sup>®</sup> (Physiolyzer<sup>®</sup>)



图注. 外围生物的净 Cd<sup>2+</sup> 流速为负, 表明外围生物能够吸收 Cd<sup>2+</sup>. 高镉污染下的外围生物比低镉污染下具有更低的 Cd<sup>2+</sup> 积累能力. 在 Cd0+P、Cd5+P 和 Cd50+P 处理下, 外周生物的平均净 Cd<sup>2+</sup> 流入率分别为 394、90 和 30。



扫码查看本文详细报道

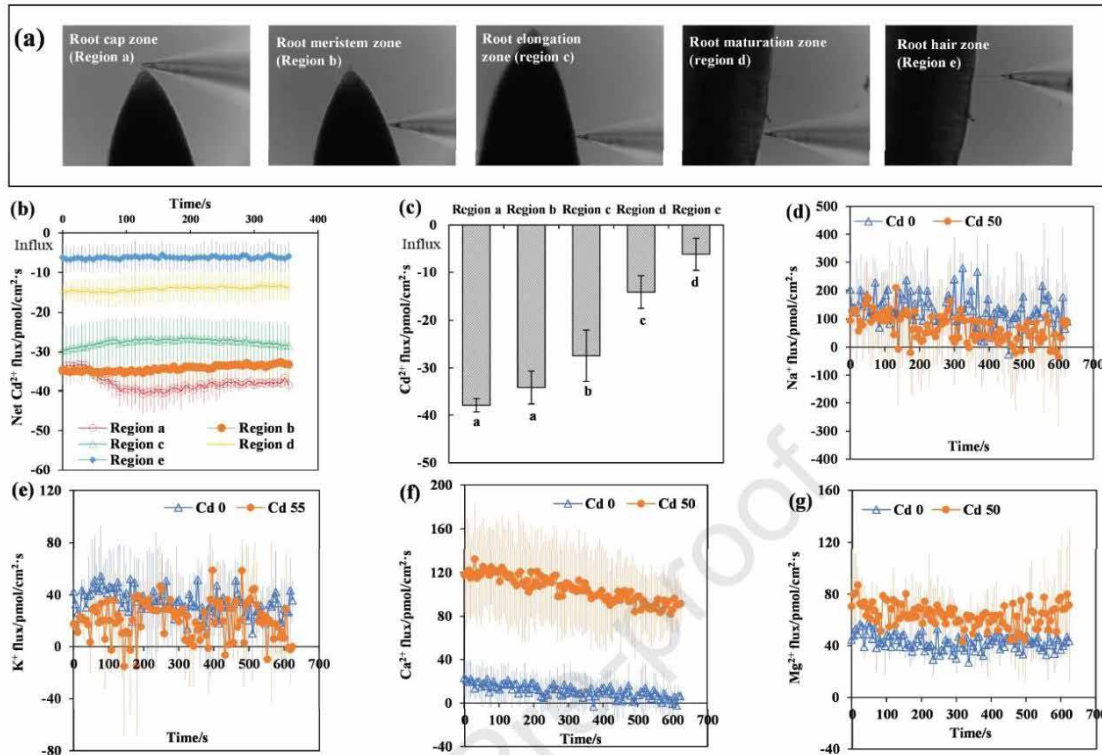


测样咨询

## 5、*Environ Pollut* 中南大学郭朝晖、曾鹏：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

通讯作者：中南大学郭朝晖

所用 NMT 设备：NMT 重金属阻控机制分析仪



图注. 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  $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  和  $Na^+$  流速 (d-g)。Cd50 处理下, 桑树根系的  $K^+$  和  $Na^+$  流速较 Cd0 处理无明显变化 (d, e), 而  $Ca^{2+}$  和  $Mg^{2+}$  流速明显外排 (f, g), 说明桑树在 Cd 胁迫下能维持正常的  $Na^+/K^+$  吸收平衡但加速了  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  流失。因此, 桑树根系中  $Cd^{2+}$  可能与  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  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  $Cd^{2+}$  的吸收。综上, Cd 胁迫会破坏根系成熟区对  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$  的吸收平衡, 对  $Na^+/K^+$  的吸收影响较小。

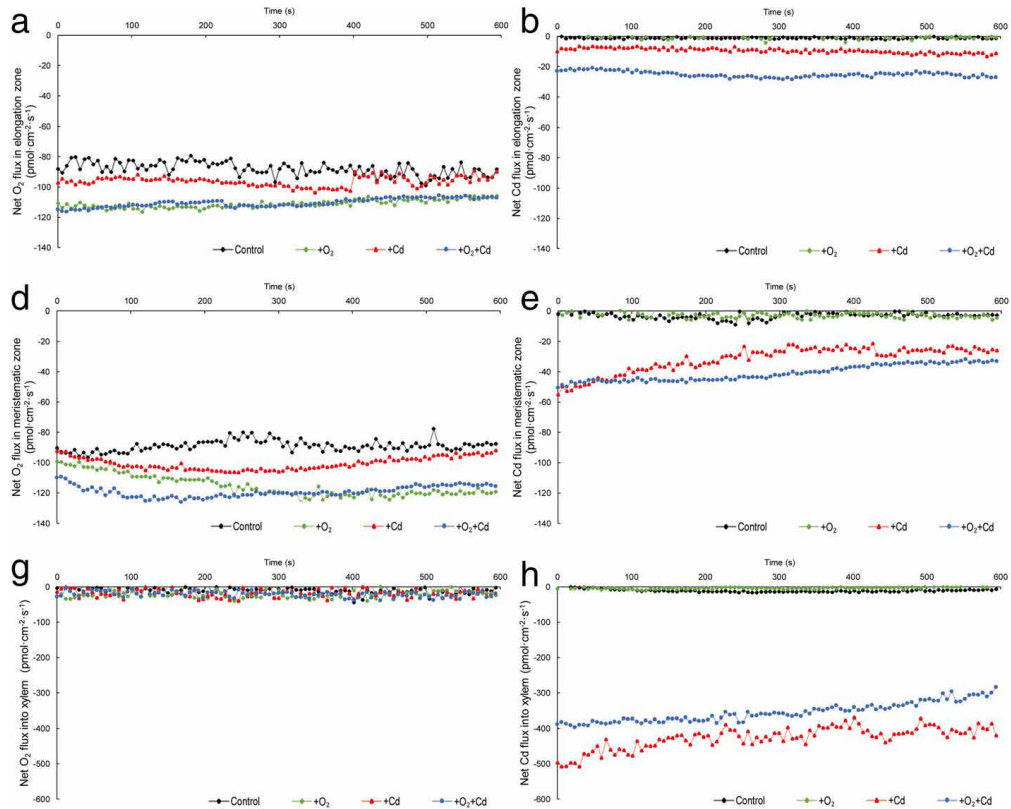


扫码查看本文详细报道

## 6、Rice 浙江理工熊杰：通气促进水稻根部 Cd 滞留

通讯作者：浙江理工大学熊杰

所用 NMT 设备：人工智能高通量非损伤微测系统



图注. 曝气促进了水稻幼苗生长, 减轻了 Cd 的毒性。横切面发现 Cd 加速根成熟和衰老, 而通气延迟了根的成熟和衰老。非损伤微测技术 (NMT) 显示, 通气增加了根表面的净 O<sub>2</sub> 和 Cd<sup>2+</sup> 流入, 同时降低了木质部中的净 Cd<sup>2+</sup> 流入。



扫码查看本文详细报道



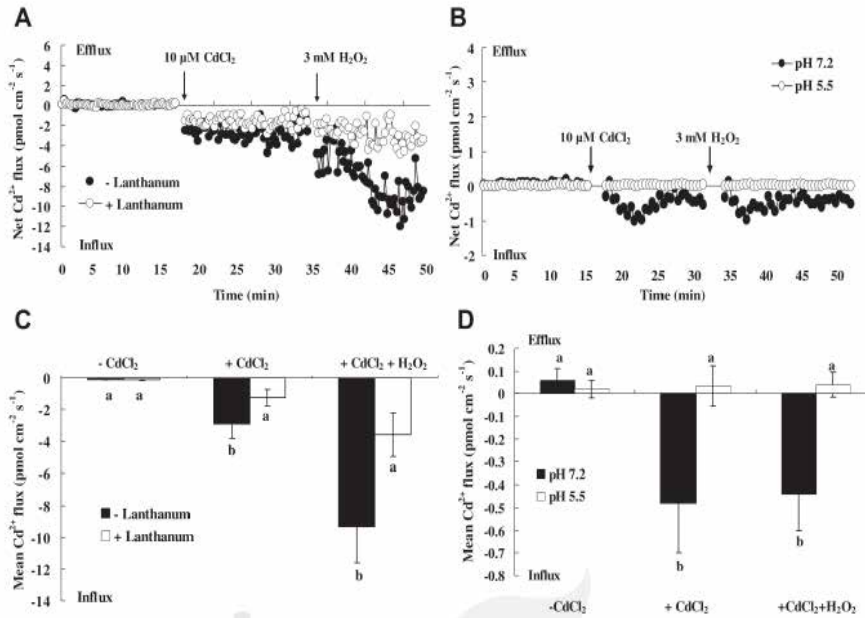


测样咨询

## 7、Plant Physiol Biochem 北林陈少良：H<sub>2</sub>S 通过调节胡杨细胞膜和液泡区隔 Cd<sup>2+</sup> 从而缓解 Cd<sup>2+</sup> 毒害

通讯作者：北京林业大学陈少良

所用 NMT 设备：非损伤微测系统（平台版）



图注. 在 Cd<sup>2+</sup> 胁迫下用 NaHS 处理的细胞中抗坏血酸过氧化酶、过氧化氢酶、谷胱甘肽还原酶都显著增加, 导致 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 积累和脂质过氧化下降。而且, NaHS 减少了胞质中 Cd<sup>2+</sup> 的积累, 但是液泡中的 Cd<sup>2+</sup> 有少量增加。Cd<sup>2+</sup> 流速图谱揭示了 H<sub>2</sub>S 抑制了通过质膜 Ca<sup>2+</sup> 通道的 Cd<sup>2+</sup> 内流, 但是能够被 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 激活。NaHS 促进了液泡的 Cd<sup>2+</sup> 内流, 依赖于通过液泡的 pH 梯度。总之, 这些结果说明了 H<sub>2</sub>S 通过提高抗氧化系统和细胞 Cd<sup>2+</sup> 的平衡来缓解 Cd<sup>2+</sup> 毒害。通过 H<sub>2</sub>S 上调的抗氧化酶被 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 所减少, 因此通过 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 激活的 PM Ca<sup>2+</sup> 通道减少了 Cd<sup>2+</sup> 内流。H<sub>2</sub>S 刺激液泡 Cd<sup>2+</sup> 的区隔化可能是激活了液泡 Cd<sup>2+</sup>/H<sup>+</sup> 反向转运系统。

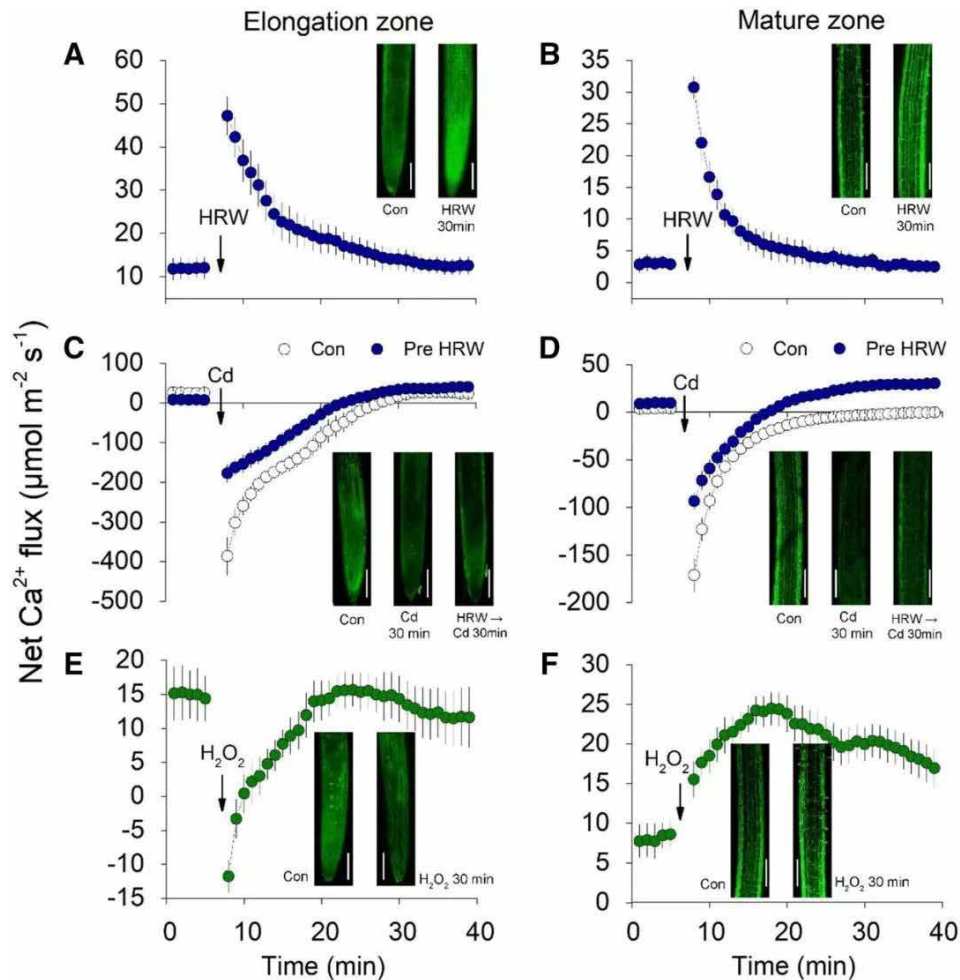


扫码查看本文详细报道

## 8、Plant Physiol 南农崔瑾：NMT 主导钙依赖的活性氧信号介导富氢水促根系拒镉的研究

通讯作者：塔斯马尼亚大学 Sergey Shabala

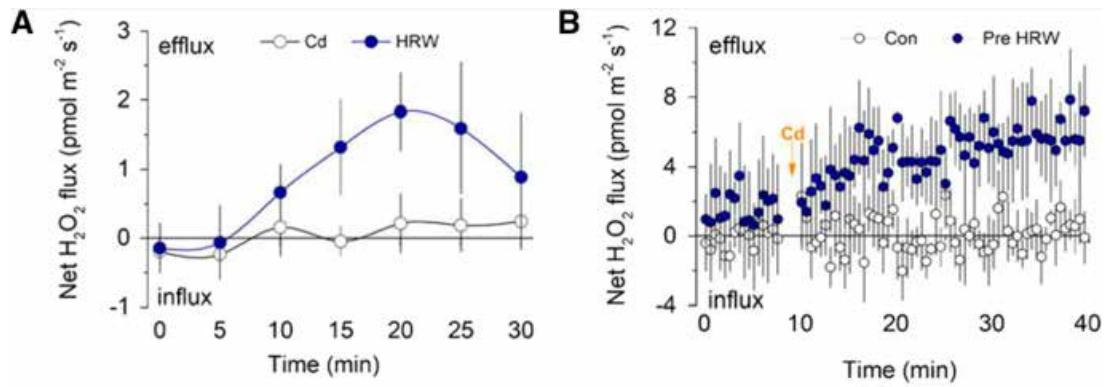
所用 NMT 设备：非损伤微测系统（平台版）



图注. 胞质  $\text{Ca}^{2+}$  是普遍存在的第二信使, 在这项研究中, 添加 HRW 导致伸长和成熟根区都有快速的  $\text{Ca}^{2+}$  流入。这些结果暗示  $\text{Ca}^{2+}$  参与 HRW 减少的 Cd 吸收。加入  $\text{H}_2\text{O}_2$  导致  $\text{Ca}^{2+}$  迅速增加从根伸长区流出。使用了两种  $\text{Ca}^{2+}$  通道抑制剂 ( $\text{Gd}^{3+}$  和  $\text{La}^{3+}$ ) 来进一步验证  $\text{Ca}^{2+}$  作为植物根部  $\text{Cd}^{2+}$  转运体 HRW 信号转导成分的作用。结果表明在 Cd 条件下 HRW 激活了  $\text{Ca}^{2+}$  通道, HRd 预处理诱导的 Cd 胁迫下 BcIRT1 表达下调被  $\text{Gd}^{3+}$  协同处理完全抵消。



测样咨询



图注. 通过 NMT 研究了富氢水对 Cd 诱导的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 外排的影响 (A-B)。在 Cd 处理下 30min 内 (A 中的白点) 未测量到来自根部伸长区的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 转运, 而 15min 富氢水处理导致 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 外排量显著增加。这种增加在 20min 时达到最大值然后开始下降 (A 中的蓝点)。加入镉后约 15min, 与对照相比, 用富氢水预处理的根中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 外排量显著增加 (B)。

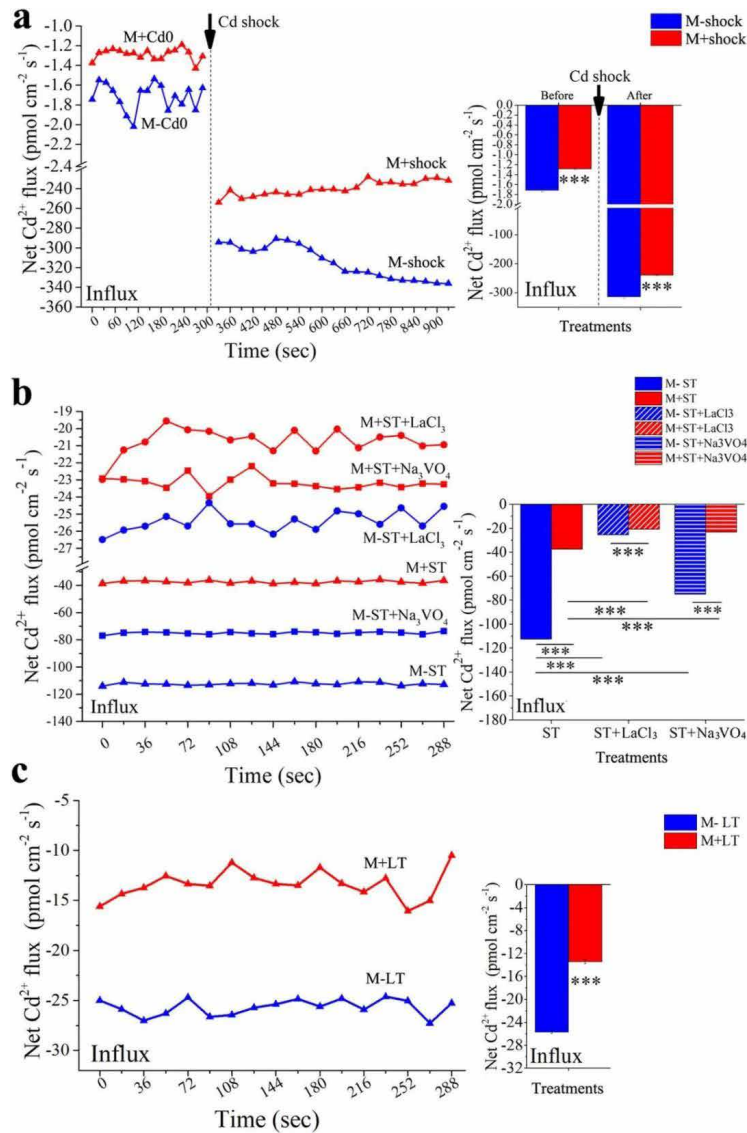


扫码查看本文详细报道

## 9、*J Hazard Mater* 云大赵之伟组：NMT 发现接种 AMF 抑制 Cd 胁迫下滇杨根的泌 H<sup>+</sup> 吸 Cd 为揭示 AMF 增强滇杨对矿区环境适应性机制提供证据

通讯作者：云南大学李涛、赵之伟

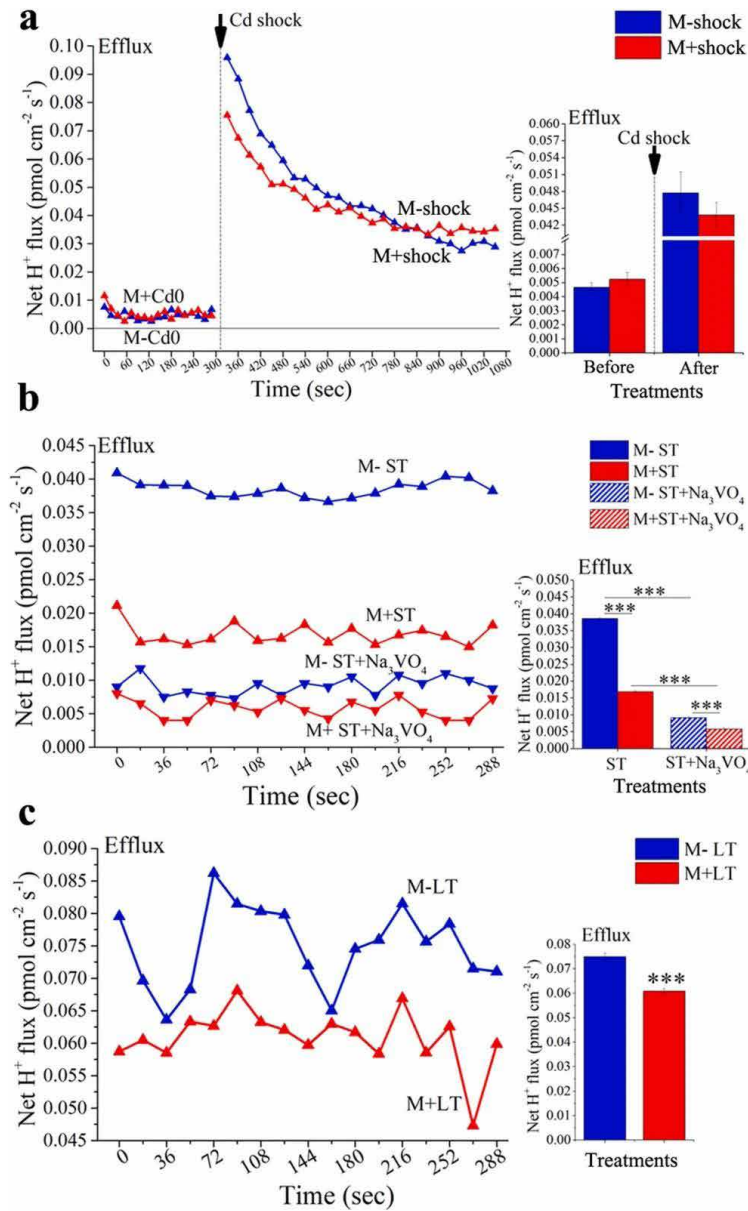
所用 NMT 设备：NMT 重金属阻控机制分析仪



图注. 为了研究 AMF 接种对杨树 Cd<sup>2+</sup> 流速的影响, 研究用非损伤微测技术 (NMT) 检测了杨树根部的 Cd<sup>2+</sup> 净流速。结果表明, 所有处理的杨树都能检测到 Cd<sup>2+</sup> 净内流。所有三个 Cd 处理时期 (实时、短期和长期) 的结果表明, 与对照杨树的根相比, AMF 接种显著降低了杨树根部的 Cd<sup>2+</sup> 内流。添加 LaCl<sub>3</sub> (一种 Ca<sup>2+</sup> 通道的特异性抑制剂) 也显著阻断了短期处理 (ST) 杨树根细胞中 Cd<sup>2+</sup> 的内流, 而不依赖于是否接种 AMF。同样, 在短期处理 (ST) 后, 与非菌根对照 (M-ST+LaCl<sub>3</sub>) 相比, 接种 AMF 进一步显著降低了添加 LaCl<sub>3</sub> (M+ST+LaCl<sub>3</sub>) 的杨树中 Cd<sup>2+</sup> 的内流速率。添加原钒酸钠 (Na<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>, 一种特殊的 H<sup>+</sup>-ATPase 抑制剂) 可显著抑制 H<sup>+</sup> 外排。在添加 Na<sub>3</sub>VO<sub>4</sub> 的条件下, 与非菌根对照 (M-ST+Na<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>) 相比, 经短期 Cd 和 Na<sub>3</sub>VO<sub>4</sub> (M+ST+Na<sub>3</sub>VO<sub>4</sub>) 处理的菌根定殖的杨树根部 Cd<sup>2+</sup> 内流速率显著降低。



测样咨询



图注. 为了研究 AMF 接种对杨树 H<sup>+</sup> 流速的影响, 研究用 NMT 检测了杨树根部的 H<sup>+</sup> 净流速。结果表明, 所有杨树都表现来自根细胞的净 H<sup>+</sup> 外排, 外排速率小于 0.1 pmol cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>。无论是在 Cd 实时处理之前还是之后, 接种 AMF 对未经 Cd 处理的杨树根部 H<sup>+</sup> 外排没有显著影响。然而, 与对照相比, 在短期和长期 Cd 暴露处理下, AMF 接种显著降低了杨树根部的 H<sup>+</sup> 外排速率。



扫码查看本文详细报道