

PCE 中农韩振海 / 王忆: NMT 发现缺铁时 MPK4-1 促根泌 H^+ 为 MPK4-1 磷酸化 RBOHD 促苹果根际酸化参与缺铁应答提供证据



ORIGINAL ARTICLE | [Full Access](#)

MxMPK4-1 phosphorylates NADPH oxidase to trigger the MxMPK6-2-MxbHLH104 pathway mediated Fe deficiency responses in apple

Longmei Zhai, Qiran Sun, Min Gao, Xinxin Cheng, Xiaojun Liao, Ting Wu, Xinzhong Zhang, Xuefeng Xu, Yi Wang ✉, Zhenhai Han ✉

First published: 23 June 2022 | <https://doi.org/10.1111/pce.14384>

Longmei Zhai and Qiran Sun contributed equally to this study.

一、基本信息

研究使用平台: NMT 植物营养创新平台

期刊: Plant, Cell & Environment

主题: NMT 发现缺铁胁迫下 MxMPK4-1 磷酸化 MxRBOHD 促苹果根际泌 H^+ 参与缺铁应答

标题: MxMPK4-1 phosphorylates NADPH oxidase to trigger the MxMPK6-2-MxbHLH104 pathway mediated Fe deficiency responses in apple

影响因子: 7.947

作者: 中国农业大学王忆、韩振海、翟龙妹, 孙琪然

二、检测离子 / 分子指标

H^+

三、样品信息

苹果砧木根成熟区

四、中文摘要

缺铁 (Fe) 是植物中的营养胁迫, 通常发生在碱性和钙质土壤中。丝裂原激活的蛋白激酶 (MPK) 是 MAPK 级联的最终参与者, 参与不同的生理过程。当植物遭受缺铁胁迫时, MPK 功能的机制仍不清楚, 因为对 MPK 网络的研究有限, 包括底物蛋白和下游途径。在这里, MAPK 激酶 MPK4-1 在铁缺乏条件下, 在铁高效苹果砧木的根部诱导, 而在铁低效砧木的根部没有诱导。MxMPK4-1 在苹果愈伤组织和苹果根中的过表达增强了对 Fe 缺乏的反应。研究发现 MxMPK4-1 与 NADPH 氧化酶 (NOX) 相互作用 - 呼吸爆发氧化酶同源物 MxRBOHD1 和 MxRBOHD2, 其积极调节对 Fe 缺乏的反

收稿日期: 2022-12-26

编辑作者 E-mail: yanhan@nmtia.org.cn

应。此外，MxMPK4-1 在 Ser797 和 Ser906 处磷酸化了 MxRBOHD2 的 C 末端，并分别通过这些磷酸位点对 NOX 活性进行了正负调控。与过表达 MxRBOHD2 的苹果愈伤组织相比，MxMPK4-1 和 MxRBOHD2 的共表达显著增强了缺铁反应。本研究还证明，来自 MxMPK4-1-MxRBOHD2 的过氧化氢调节 MxMPK6-2-MxbHLH104 途径，阐明了在缺铁胁迫下小金支原体中涉及不同 MPK 蛋白的系统网络。

五. 离子 / 分子流实验处理方法

苹果属山定子幼苗根系缺铁处理 7 天

六. 离子 / 分子流实验结果

通过非损伤微测技术 (NMT) 检测根系 H^+ 流速发现，缺铁胁迫下，过表达 MxMPK4-1 能够促进根系 H^+ 流速的升高，这可能是造成根际溶液 pH 降低的原因。

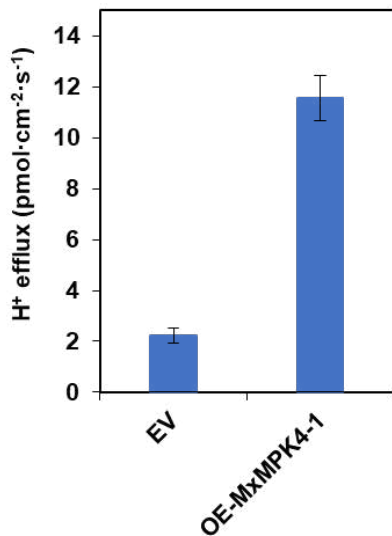


图 1. 过表达 MxMPK4-1 对苹果砧木根系 H^+ 外泌的影响。正值代表外排。

同样地，通过非损伤微测技术 (NMT) 检测根系 H^+ 流速发现，缺铁胁迫下，过表达 MxRBOHD1 和 MxRBOHD2 也能够促进根系 H^+ 流速的升高，这将有利于增强根部铁离子的可溶性，有助于根系对铁的吸收。

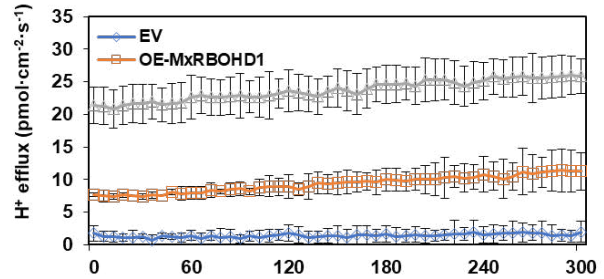


图 2. 过表达 MxRBOHD1 和 MxRBOHD2 对苹果砧木根系 H^+ 外泌的影响。正值代表外排。

七、其它实验结果

- MAPK 级联中 MxMPK4-1 正向调控小金海棠的缺铁应答反应；
- MAPK 级联中 MxMPK4-1 与 ROS 合成酶 MxRBOHD1/2 蛋白互作；
- ROS 合成酶 MxRBOHD1/2 是缺铁通路中的正调控因子；
- MxMPK4-1 通过对 MxRBOHD2 的 C 端磷酸化，对 ROS 信号通路进行调控，正向调控缺铁应答。
- MxMPK4-1-MxRBOHD1/2 模块产生的 ROS 信号可引发 MxMPK6-2-MxbHLH104 途径。

八、结论

在本研究首次报道 MxMPK4-1 直接磷酸化 MxRBOHD1 和 MxRBOHD2，调控 ROS 的产生，参与小金海棠的缺铁应答。此外，来自 NOX MxRBOHD1/2 的 H_2O_2 参

与了 MxMPK6-2-MxbHLH104 对铁缺乏反应的诱导。

九、测试液

0.1mM CaCl₂, pH6.0

关键字：苹果木本植物；缺铁；MPKs；
NADPH 氧化酶；磷酸化；RBOHs；植物类

文献信息：Zhai L, Sun Q, Gao M, Cheng X, Liao X, Wu T, Zhang X, Xu X, Wang Y, Han Z. MxMPK4-1 phosphorylates NADPH oxidase to trigger the MxMPK6-2-MxbHLH104 pathway mediated Fe deficiency responses in apple. *Plant Cell Environ.* 2022 Sep;45(9):2810-2826. doi: 10.1111/pce.14384. Epub 2022 Jul 6. PMID: 35748023.

（责任编辑：李雪霏）