

© [2025] [旭月（北京）科技有限公司] 版权所有

严禁任何商业用途

未经书面授权，禁止复制、修改、传播；

禁止用于任何商业目的，包括但不限于广告、销售、商业宣传等行为。

非损伤微测技术（NMT）标准实验流程（SOP）

研究方向	3
盐胁迫	3
根表排 Na^+ 速率检测/ SOS1 活性	3
根表保 K^+ 能力检测	8
根表排 H^+ 速率检测/质子泵活性	15
根木质部卸载 Na^+ 能力检测	22
根木质部装载 Na^+ 能力检测	27
根表盐胁迫 Ca^{2+} 信号检测	35
叶肉细胞盐胁迫 Ca^{2+} 信号检测	40
盐胁迫跨膜钙信号检测	46
液泡区隔 Na^+ 能力/液泡膜 NHX1 活性检测	51
液泡排 H^+ 速率检测/质子泵活性	56
液泡 K^+ 转运检测	61
叶肉细胞排 Na^+ 速率检测/ SOS1 活性	66
叶肉细胞保 K^+ 能力检测	71
叶肉细胞排 H^+ 速率检测/ H^+ -ATPASE 活性	80
根表吸 Na^+ 速率检测	88
根表失 K^+ 速率检测	95
叶肉细胞失 K^+ 速率检测	100
重金属胁迫	107
根表吸收重金属离子速率检测	107
根表排重金属离子速率检测/拒重金属能力检测	111
液泡吸重金属离子速率检测/区隔重金属离子能力检测	115
根木质部卸载重金属离子能力检测	120
根木质部装载重金属离子能力检测	125
根表排 H^+ 速率检测/泌酸调节重金属离子转运能力检测	133
重金属活性氧信号检测	139
重金属胁迫 Ca^{2+} 失衡检测	145

液泡排 H^+ 速率检测/质子泵活性	151
叶肉细胞吸收重金属离子速率检测	156
叶肉细胞排重金属离子速率检测	161
叶肉细胞排 H^+ 速率检测/质子泵活性	166



研究方向

盐胁迫

根表排 Na^+ 速率检测/ SOS1 活性

1. 实验意义

探究耐盐材料的耐盐机制，是否与盐胁迫下，SOS1，即质膜 Na^+-H^+ 逆向转运体活性强，引起的细胞排 Na^+ 强有关。排 Na^+ 速率越大，代表 SOS1 活性越强。

2. 经典案例

[Mol Plant 谢旗：NMT 发现 VPS23A 促盐胁迫下根排 \$\text{Na}^+\$ 为 ESCRT 组分增强 SOS 模块功能维持拟南芥耐盐提供证据](#)

[EMBO J 中农郭岩/南农章文华：NMT 发现盐激后磷脂酸促根排 \$\text{Na}^+\$ 吸 \$\text{K}^+\$ 为磷脂酸通过调控 SOS 和 AKT1 维持钠钾稳态提供关键证据](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer[®]；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Na^+

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培

6. 样品准备

(1) 对照组：

未经盐处理的植物样品。

(2) 处理组：

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株

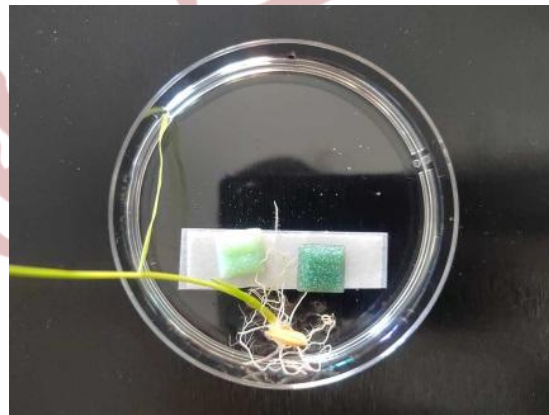
7.2. 根选取

- (1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根
- (2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致
- (3) 优先新生根或嫩根

8. 检测流程

8.1. 前处理

(1) 将对照组/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 加入测试液浸没根，静置 30min 后检测。不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.3. 检测过程

(1) 检测位点：根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置， d =根直径。

(2) 检测时长：5-10 分钟。

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

(1) 测试液：

1.0 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

(2) 校正液：

10.0 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

(1) 物镜倍数：4 倍（根直径 $\geq 200 \mu\text{m}$ ）；10 倍（根直径 $< 200 \mu\text{m}$ ）

(2) 采样规则：X-30

(3) 传感器—样品表面距离： $5 \mu\text{m}$

11. 参考文献

[1] 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.

[2]Chen G, Xuan W, Zhao P, et al. OsTUB1 confers salt insensitivity by interacting with Kinesin13A to stabilize microtubules and ion transporters in rice. *New Phytol.* 2022 Sep;235(5):1836–1852. DOI: 10.1111/nph.18282.

[3]Li J, Shen L, Han X, et al. Phosphatidic acid-regulated SOS2 controls sodium and potassium homeostasis in *Arabidopsis* under salt stress. *EMBO J.* 2023 Feb 22:e112401. DOI: 10.15252/embj.2022112401.

[4]Su Y, Liu Y, Xiao S, et al. Isolation, characterization, and functional verification of salt stress response genes of NAC transcription factors in *Ipomoea pes-caprae*. *Front Plant Sci.* 2023 Feb 1;14:1119282. DOI: 10.3389/fpls.2023.1119282.



根表保 K⁺能力检测

1. 实验意义

探究盐胁迫下植物的保钾能力，K⁺外排越小，保钾能力越强。

2. 经典案例

[J Exp Bot 江苏师范大学：多倍体维持钠钾稳态促耐盐能力的新机制](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer[®]；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

K⁺

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

6. 样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

6.1. 预处理方式

对照组：

未经盐处理的植物样品。

处理组：

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

6.2. 瞬时处理方式

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 根选取

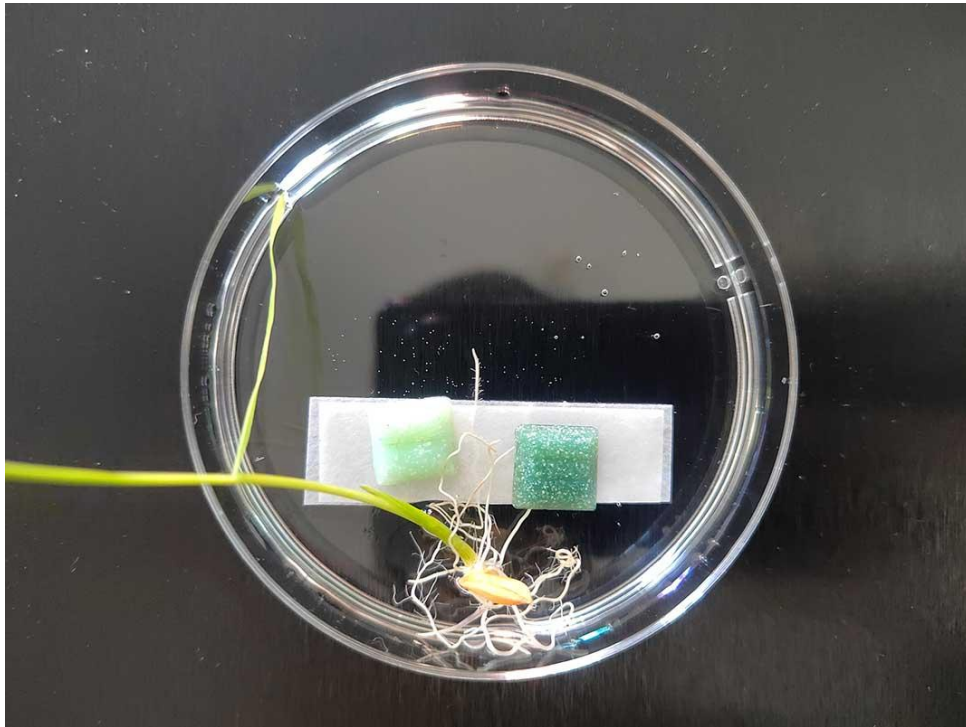
- (1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根
- (2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致
- (3) 优先新生根或嫩根

8. 检测流程

8.1. 预处理

8.1.1. 前处理

- (1) 将对照组/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 在对照组/处理组样品中加入相应的测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.1.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.1.3. 检测过程

(1) 检测位点：根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置， d =根直径

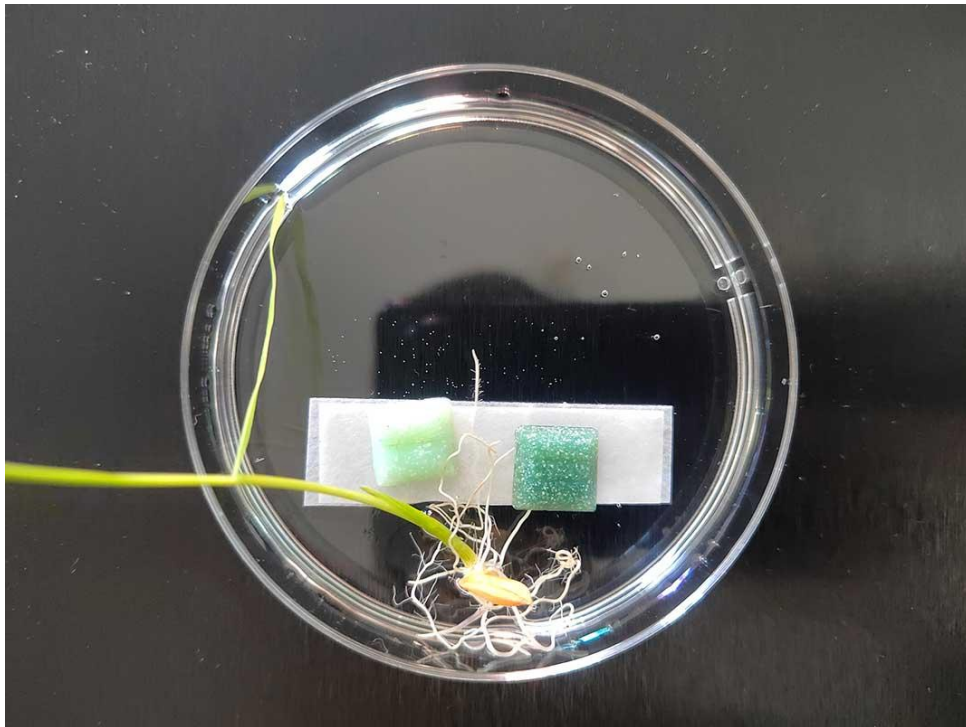
(2) 检测时长：5-10 分钟

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

8.2. 检测流程-瞬时处理

8.2.1. 前处理

(1) 将样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在直径 35mm 培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(1) 加入 3mL 测试液浸没根，静置 30min。

8.2.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.2.3. 检测过程

(1) 先检测盐处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 盐处理母液后，检测处理后信号。

(2) 检测位点：根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置， d =根直径

(3) 检测时长：盐处理前 5 分钟，盐处理后 5~10 分钟

(4) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

9.1. 预处理

测试液

对照组：0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组：

胁迫浓度<250 mM时：150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

胁迫浓度≥250 mM时：300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液

对照组：0.5 mM NaCl, 50 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组：150/300 mM NaCl, 50 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

9.2. 瞬时处理

盐处理母液：

胁迫浓度<250 mM时：300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8（盐处理终浓度为150mM NaCl）

胁迫浓度≥250 mM时：600 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8（盐处理终浓度为300mM NaCl）

测试液：0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液：0.5 mM NaCl, 50 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

(1) 物镜倍数: 4 倍 (根直径 $\geq 200\text{ }\mu\text{m}$) ; 10 倍 (根直径 $< 200\text{ }\mu\text{m}$)

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: $5\text{ }\mu\text{m}$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3–9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Wang J, Cai C, Geng P, et al. A New Discovery of Argon Functioning in Plants: Regulation of Salinity Tolerance. *Antioxidants*. 2022; 11(6):1168. doi: 10.3390/antiox11061168.
3. Liu J, Zhang J, Ma G, et al. Melatonin improves rice salinity stress tolerance by NADPH oxidase-dependent control of the plasma membrane K^+ transporters and K^+ homeostasis[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2020. doi: 10.1111/pce.13759.
4. Liu Y, Yu Y, Sun J, et al. Root-zone-specific sensitivity of K^+ - and Ca^{2+} -permeable channels to H_2O_2 determines ion homeostasis in salinized diploid and hexaploid *Ipomoea trifida*. *J Exp Bot*. 2019 Feb 20;70(4):1389–1405. DOI: 10.1093/jxb/ery461.

根表排 H^+ 速率检测/质子泵活性

1. 实验意义

探究耐盐材料的耐盐机制，是否与盐胁迫下质膜质子泵活性强有关。质膜 H^+ -ATPase 向细胞外、根外泌 H^+ ，形成 H^+ 电化学梯度，驱动次级转运体对各种营养物质、离子的转运。还可以有效抑制盐碱胁迫引起的根际碱化，降低 pH，促进根生长。

2. 经典案例

[Mol Plant 山大 刘树伟: NMT 发现 TaCCD1 提升碱胁迫下根 \$H^+\$ -ATPase 活性 为解析 TaCCD1 调控小麦耐碱分子机制提供证据](#)

[Plant Cell 浙大金崇伟: NMT 发现酸胁迫下 STOP1 促根吸 \$H^+\$ 致根际 pH \$\uparrow\$ 为探究 STOP1-NRT1.1 提升植物 NUE 及耐酸机制提供证据](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer[®]; SMP300-XY 系列; 耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

H^+

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培

6. 样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

6.1. 预处理方式

对照组：

未经盐处理的植物样品。

处理组：

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

6.2. 瞬时处理方式

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 根选取

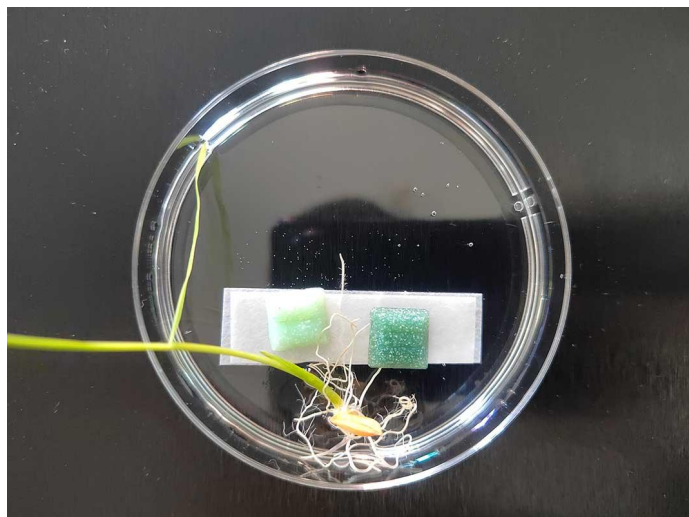
- (1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根
- (2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致
- (3) 优先新生根或嫩根

8. 检测流程-

8.1. 预处理

8.1.1. 前处理

- (1) 将对照组/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 在对照组/处理组样品中加入相应的测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液

8.1.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.1.3. 检测过程

(1) 检测位点：根成熟区。距离根尖顶点 $5000\ \mu\text{m}$ 的位置

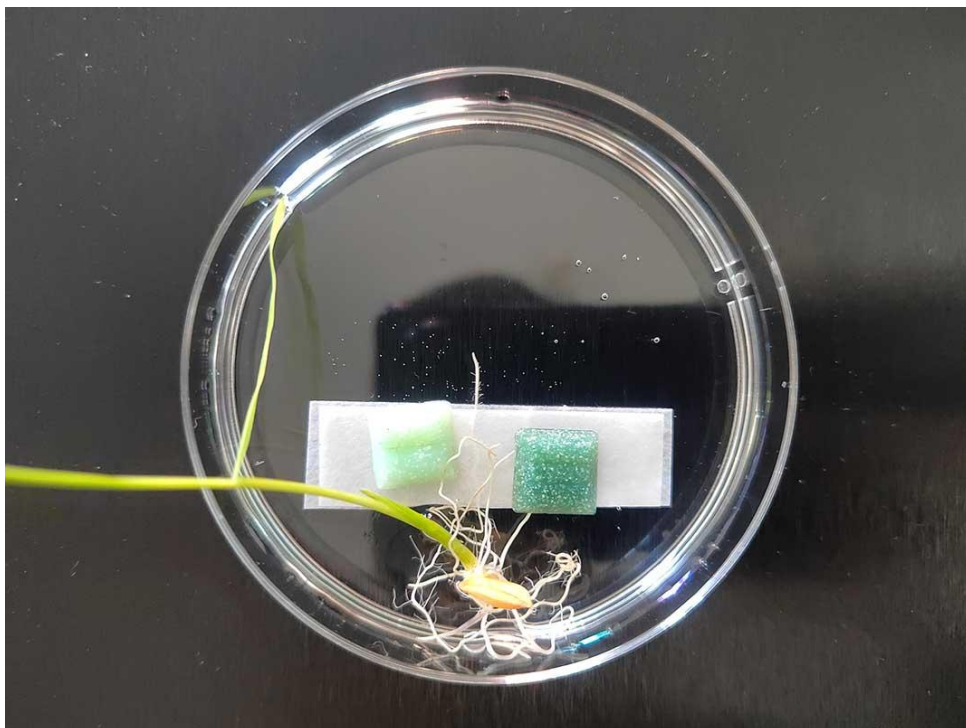
(2) 检测时长：5-10 分钟

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

8.2. 瞬时处理

8.2.1. 前处理

(1) 将样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在直径 35mm 培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 加入 3mL 测试液浸没根，静置 30min。

8.2.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.2.3. 检测过程

(1) 先检测盐处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 盐处理母液后，检测处理后信号。

(2) 检测位点：根成熟区。距离根尖顶点 $5000\ \mu\text{m}$ 的位置

(3) 检测时长：盐处理前 5 分钟，盐处理后 5~10 分钟

(4) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

9.1. 预处理

(1) 测试液

对照组：0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组：

胁迫浓度<250 mM 时：150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

胁迫浓度≥250 mM 时：300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

(2) 校正液

对照组：0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH6.8

处理组：150/300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH6.8

9.2. 瞬时处理

(1) 盐处理母液：

胁迫浓度<250 mM 时：300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8（盐处理终浓度为 150mM NaCl）

胁迫浓度≥250 mM 时：600 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8（盐处理终浓度为 300mM NaCl）

(2) 测试液：0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

(3) 校正液：0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH6.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

(1) 物镜倍数：4 倍（根直径≥200 μm）；10 倍（根直径<200 μm）

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: $5\ \mu\text{m}$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI: 10.5281/zenodo.8227586.
2. Lan T, Xu Y, Guo S, et al. Investigation of Na^+ , K^+ and Ca^{2+} distribution and ion fluxes of the halophyte Chinese iris under NaCl stress by non-invasive micro-test techniques. Research Square, 2022 DOI: 10.21203/rs.3.rs-1708018/v1
3. Liu X, Ma F, Zhu H, et al. Effects of magnetized water treatment on growth characteristics and ion absorption, transportation, and distribution in *Populus × euramericana* ‘Neva’ under NaCl stress, Canadian Journal of Forest Research, 2017, 47(6): 828-838. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0460

根木质部卸载 Na⁺能力检测

1. 实验意义

用来表征植物将盐胁迫下摄入的钠离子阻隔在地下部的能力。

2. 经典案例

[Plant J 郑大农学院：硼通过促进 BnaA2. HKT1 介导的根木质部 Na⁺卸载赋予油菜耐盐能力](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®; SMP300-XY 系列; 耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Na⁺

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

6. 样品准备

(1) 对照组：

未经盐处理的植物样品。

(2) 处理组：

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 根选取

(1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根。

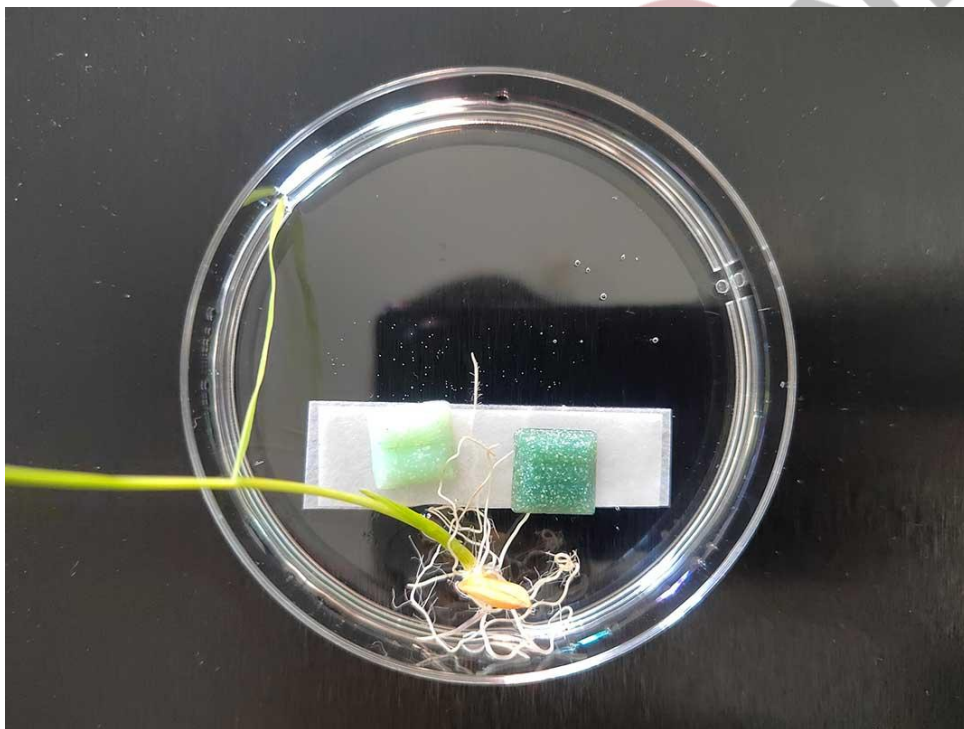
(2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致。

(3) 优先新生根或嫩根。

8. 检测流程

8.1. 前处理

(1) 将对照组/处理组的样品取出，在距离根尖 1cm 的位置横切，暴露出木质部，弃去根尖部分，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



样品固定

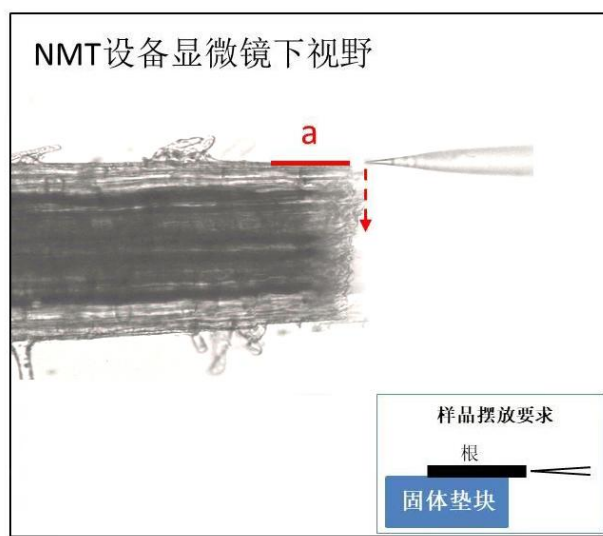
(2) 加入测试液浸没根，静置 2 小时，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：
35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液

8.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.3. 检测过程

(1) 将 a 边缘调清晰后，再将传感器尖端调清晰，此时传感器尖端与 a 边缘对齐，将传感器沿箭头方向移动 0.5d (d=根直径)。



木质部检测方法

- (2) 检测位点：木质部。距离根边缘向根中心 0.5d 的位置 (d=根直径)
- (3) 检测时长：5-10 分钟
- (4) 重复数：n≥8，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

测试液：1.0 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液：10 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

10. 检测参数

- (1) 物镜倍数：4 倍 (根直径≥200 μm)；10 倍 (根直径<200 μm)
- (2) 采样规则：X-30
- (3) 传感器—样品表面距离：5 μm

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Hua Y, Pei M, Song H, et al. Boron confers salt tolerance through facilitating BnaA2.HKT1-mediated root xylem Na⁺ unloading in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant J.* 2024 Nov;120(4):1326-1342. doi: 10.1111/tpj.17052.
3. Liu Z, Yin K, Zhang Y, et al. *Populus trichocarpa* EXPA6 Facilitates Radial and Longitudinal Transport of Na⁺ under Salt Stress. *Int J Mol Sci.* 2024 Aug 29;25(17):9354. doi: 10.3390/ijms25179354.
4. Xu H, Chen H, Halford NG, et al. Ion homeostasis and coordinated salt tolerance mechanisms in a barley (*Hordeum vulgare* L.) doubled haploid line. *BMC Plant Biol.* 2025 Jan 14;25(1):52. doi: 10.1186/s12870-024-06033-0.

根木质部装载 Na^+ 能力检测

1. 实验意义

通过检测根木质部组织细胞装载钠离子的速率，探究盐胁迫下，植物将根吸收的钠离子，转运到地上部分的能力。木质部组织吸收钠离子的速率越大，代表该材料往地上部分转运钠离子的能力越强。

2. 经典案例

Int J Mol Sci [北京林大学者盐胁迫成果：毛果杨 EXPA6 促进盐胁迫下 \$\text{Na}^+\$ 的径向和纵向运输](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®; SMP300-XY 系列; 耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...; 品牌旭月; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Na^+

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

6. 样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

6.1. 预处理方式

对照组：

未经盐处理的植物样品。

处理组：

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块

6.2. 瞬时处理方式

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 根选取

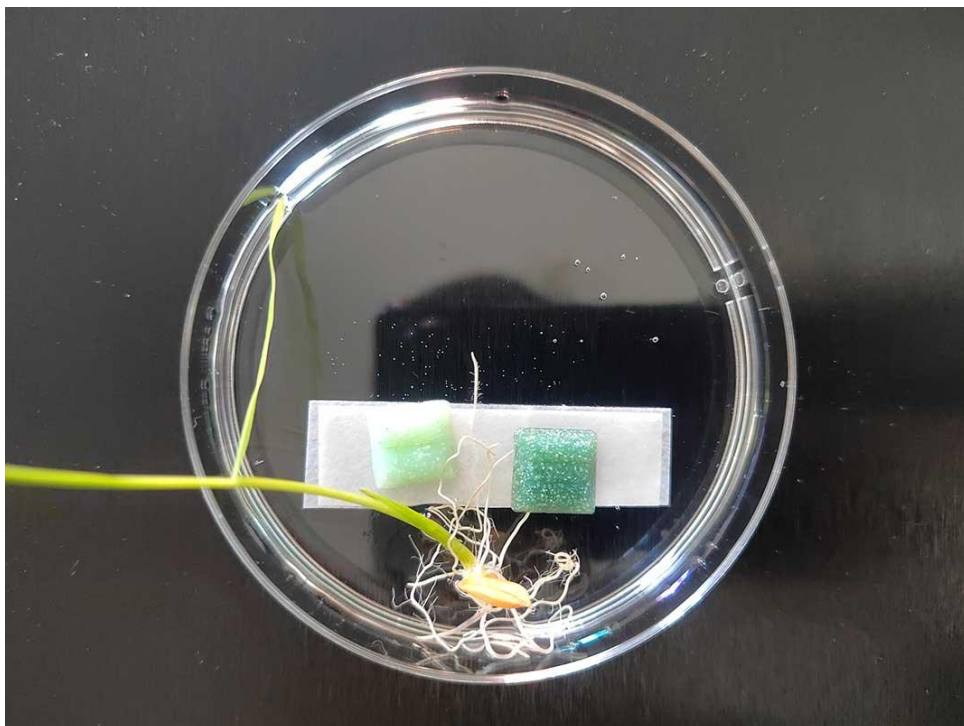
- (1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根。
- (2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致。
- (2) 优先新生根或嫩根。

8. 检测流程

8.1. 预处理

8.1.1. 前处理

1. 将未经盐处理的样品分为对照组和处理组，将样品取出，在距离根尖 1mm 的位置横切，暴露出木质部，弃去根尖部分，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



样品固定

2. 对照组：加入对照组测试液浸没叶片，静置 2 小时后检测。

3. 处理组：加入处理组测试液浸没叶片，静置 2 小时后检测。

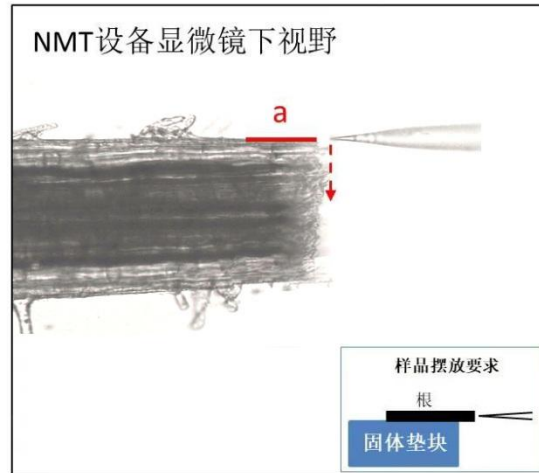
注：在步骤 2、3 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.1.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.1.3. 检测过程

1. 将 a 边缘调清晰后，再将传感器尖端调清晰，此时传感器尖端与 a 边缘对齐，将传感器沿箭头方向移动 0.5d（d=根直径）。



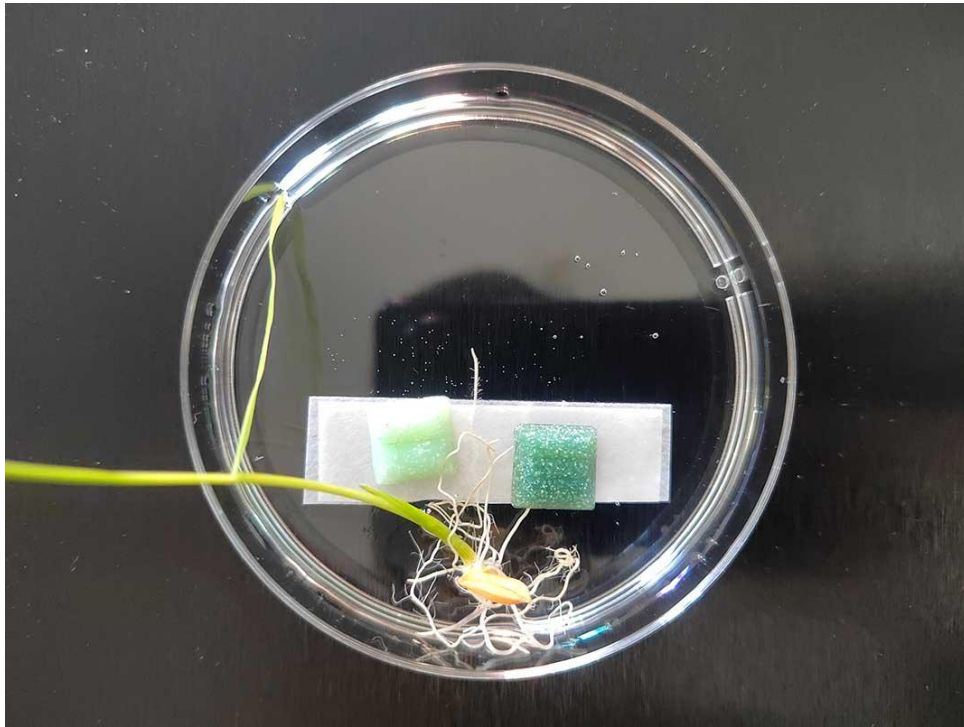
木质部检测方法

2. 检测位点：木质部。距离根边缘向根中心 $0.5d$ 的位置（ d =根直径）
3. 检测时长：5-10 分钟
4. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

8.2. 检测流程-瞬时处理

8.2.1. 前处理

1. 将样品取出，在距离根尖 1mm 的位置横切，暴露出木质部，弃去根尖部分，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品按压固定在直径 35mm 培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



样品固定

2. 加入 3mL 测试液浸没根，静置 2 小时。

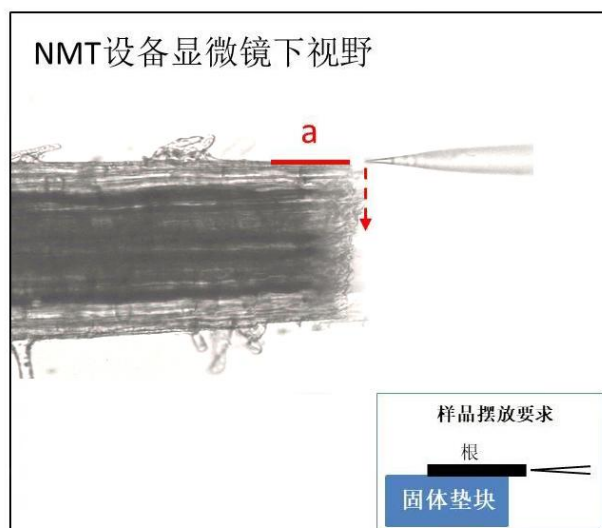
8.2.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.2.3. 检测过程

(1) 将 a 边缘调清晰后，再将传感器尖端调清晰，此时传感器尖端与 a 边缘对齐，将传感器沿箭头方向移动 0.5d (d=根直径)。

(2) 先检测盐处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 盐处理母液后，检测处理后信号。



木质部检测方法

- (3) 检测位点：木质部。距离根边缘向根中心 $0.5d$ 的位置 (d =根直径)
- (4) 检测时长：盐处理前 5 分钟，盐处理后 5~10 分钟
- (5) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

9.1. 预处理

测试液

对照组：1.0 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组：150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液

对照组：10 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组：15 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

9.2. 瞬时处理

盐处理母液：300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8 (盐处理终浓度为 150mM NaCl)

测试液: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液: 5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

10. 检测参数

(1) 物镜倍数: 4 倍 (根直径 $\geq 200\ \mu\text{m}$); 10 倍 (根直径 $< 200\ \mu\text{m}$)

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: $5\ \mu\text{m}$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.

2 Xu H, Chen H, Halford NG, et al. Ion homeostasis and coordinated salt tolerance mechanisms in a barley (*Hordeum vulgare* L.) doubled haploid line. BMC Plant Biol. 2025 Jan 14;25(1):52. doi: 10.1186/s12870-024-06033-0.

根表盐胁迫 Ca^{2+} 信号检测

1. 实验意义

检测盐胁迫下根的 Ca^{2+} 实时跨膜吸收（内流）速率

2. 经典案例

[山东省农科院原院长团队一区 TOP 期刊盐胁迫成果：钙离子/钙调蛋白在花生中调节盐胁迫的反应的机制](#)

[厦大学者一区 TOP 植科经典期刊盐胁迫成果：NADPH 氧化酶促 \$\text{H}_2\text{O}_2\$ 生成调控离子平衡及氧化还原态，介导水杨酸增强红树耐盐性](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer[®]；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Ca^{2+}

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培

6. 样品准备

(1) 对照组：

未经盐处理的植物样品。

(2) 处理组：

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株

7.2. 根选取

(1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根

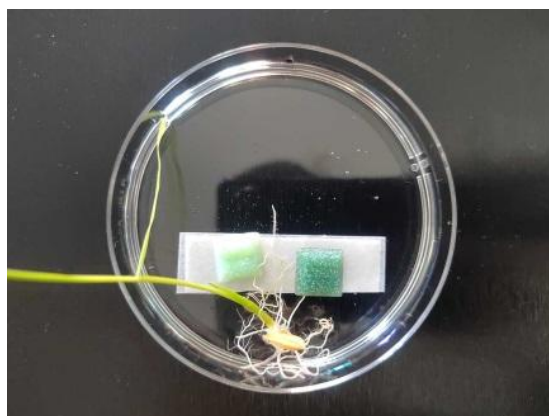
(2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致

(3) 优先新生根或嫩根

8. 检测流程

8.1. 前处理

(1) 将对照组/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 对照组：加入对照组测试液浸没叶片，静置 30 分钟后检测。

(3) 处理组：加入处理组测试液浸没叶片，静置 1 小时后检测。

注：在步骤 2、3 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.3. 检测过程

(1) 检测位点：根分生区。距离根尖顶点 $2d$ 的位置， d =根直径。

(2) 检测时长：5-10 分钟。

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

(1) 测试液

对照组: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

(2) 处理组:

胁迫浓度<250 mM 时: 150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

胁迫浓度≥250 mM 时: 300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

(3) 校正液

对照组: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 5.0 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 15/30 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 5.0 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

(1) 物镜倍数: 4 倍 (根直径≥200 μm); 10 倍 (根直径<200 μm)

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: 5 μm

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01): 3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.

2. Wei S, Chen M, Wang F, et al. OsCaM1-1 Is Responsible for Salt Tolerance by Regulating Na⁺/K⁺ Homeostasis in Rice. Plant Cell Environ. 2024 Oct 24. doi: 10.1111/pce.15212.

3. Wu X, Li J, Song LY, et al. NADPH oxidase-dependent H₂ O₂ production mediates salicylic acid-induced salt tolerance in mangrove plant *Kandelia obovata* by regulating Na⁺ /K⁺ and redox homeostasis. *Plant J.* 2024 Feb 2. doi: 10.1111/tpj.16660.

4. Ma Z, Zhao X, He A, et al. Mycorrhizal symbiosis reprograms ion fluxes and fatty acid metabolism in wild jujube during salt stress. *Plant Physiol.* 2022 Aug 1;189(4):2481-2499. doi: 10.1093/plphys/kiac239.



叶肉细胞盐胁迫 Ca²⁺信号检测

1. 实验意义

检测盐胁迫下叶细胞的 Ca²⁺ 实时跨膜吸收（内流）速率

2. 经典案例

[集大谢潮添：NMT 发现 H2O2 和 Ca²⁺调控坛紫菜排 Na⁺保 K⁺应答盐胁迫](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Ca²⁺

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可。

6. 样品准备

(1) 对照组：

未经盐处理的植物样品。

(2) 处理组：

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 叶片选取

(1) 根据您的研究需求，选择植株上特定位置的叶片，例如从下往上数的第 x 片叶片。部分研究可能无此要求，同一研究的叶片选取标准需保持一致。

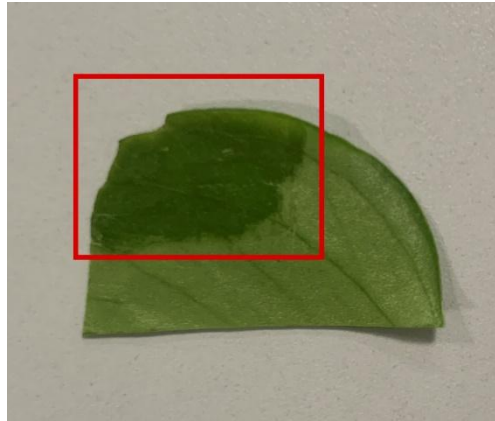
(2) 同一组内，叶龄、叶片颜色、大小尽量一致

(3) 优先完整无损伤的叶片

8. 检测流程

8.1. 前处理

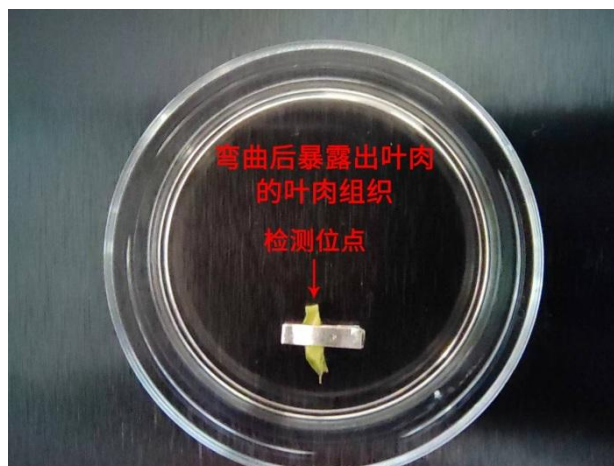
(1) 将未经盐处理的样品分为对照组和处理组，从目标叶片上剪取 1cm*1cm 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 1cm*0.3cm 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 80~100 μm ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。





叶肉细胞样品固定

(3) 对照组：加入**对照组测试液**浸没叶片，静置 3 小时后检测。

(4) 处理组：加入**对照组测试液**浸没叶片，静置 3 小时，再转移至**处理组测试液**中静置 1 小时后检测。

注：在步骤 3、4 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.2. 样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

8.3. 检测过程

(1) 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点

(2) 检测时长：5-10 分钟

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求，可在同一株上取不止 1 片叶片，也可在同一叶片上取不止 1 块叶片组织，一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

(1) 测试液:

对照组: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

(2) 校正液:

对照组: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 5.0 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 5.0 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

(1) 物镜倍数: 4 倍

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: 5 μ m

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9.

DOI:10.5281/zenodo.8227586.

2. Wei S, Chen M, Wang F, et al. OsCaM1-1 Is Responsible for Salt Tolerance by Regulating Na⁺/K⁺ Homeostasis in Rice. Plant Cell Environ. 2024 Oct 24. doi: 10.1111/pce.15212.

3. Wu X, Li J, Song LY, et al. NADPH oxidase-dependent H₂O₂ production mediates salicylic acid-induced salt tolerance in mangrove plant Kandelia obovata by regulating Na⁺/K⁺ and redox homeostasis. Plant J. 2024 Feb 2. doi: 10.1111/tpj.16660.

4. Ma Z, Zhao X, He A, et al. Mycorrhizal symbiosis reprograms ion fluxes and fatty acid metabolism in wild jujube during salt stress. *Plant Physiol.* 2022 Aug 1;189(4):2481–2499. doi: 10.1093/plphys/kiac239.



盐胁迫跨膜钙信号检测

1. 实验意义

检测盐胁迫下根、茎、叶细胞的 Ca^{2+} 实时跨膜吸收（内流）速率。

2. 经典案例

[Plant Cell Environ 北林陈少良：H2O2 和 \$\text{Ca}^{2+}\$ 调节植物盐胁迫下的 \$\text{K}^+/\text{Na}^+\$ 平衡](#)

[Hortic Res 江苏师大学者：NMT 结合根系转基因技术快速验证耐盐基因功能](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Ca^{2+}

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

6. 样品准备

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 根、叶片、茎选取

状态良好且外观较为一致。

8. 检测流程

8.1. 叶片原生质体提取

(1) 取 10g 叶子，用锋利的刀片将叶片切成细长条状。

(2) 边切边将切好的叶片放入盛有 5mL 酶解液（500mM 甘露醇，20mM KCl，

10mM MES, 20mM CaCl₂, 0.1% BSA w/v, 1.5% 纤维素酶 w/v (Cellulase R-10, Yakult), 0.4% 离析酶 w/v (Macerozyme R-10, Yakult) 的培养皿中。

(3) 将培养皿放入真空泵内并施加 100 m Bar, 抽真空 30 分钟。期间始终将培养皿置于黑暗中。

(4) 将培养皿放入摇床中, 保持黑暗, 50 rpm, 28°C 孵育 4 小时。

(5) 小心地将原生质体转移到 100 μ m 尼龙网漏斗中, 将释放的原生质体过滤到 10 ml 离心管中。用 3 mL 洗涤缓冲液 (500mM 甘露醇, 0.04% BSA w/v) 清洗叶条, 以收获最大数量的原生质体。最后用额外的 4mL 洗涤缓冲液轻轻冲洗漏斗。

(6) 在室温下以 100g 离心原生质体悬液 5 分钟, 以沉淀原生质体。用移液器小心取出并弃除上清液。

(7) 用 3 ml 洗涤缓冲液重悬沉淀。要去除原生质体酶溶液, 重复步骤 6) 7) 一次。

(8) 用适当体积的原生质体储存液 (600mM 甘露醇, 0.2mM MES, pH5.8) 重悬最后的沉淀。

8.2. 前处理

(1) 在 35mm 培养皿中滴入一滴测试液, 使用镊子将固定样品玻片放置到培养皿中, 并压一下玻片使其贴在皿底。

(2) 吸取 100 μ L 原生质体悬液, 滴入到 35mm 培养皿中的固定样品玻片中心处, 静置 10 分钟,

(3) 向培养皿中缓慢加入 3mL 测试液, 再吸出弃去。

(4) 再次缓慢加入 3mL 测试液, 静置 10min。

8.3. 样品前处理视频:



扫码查看

8.4. 检测过程

(1) 先检测盐处理前的信号，再瞬时加入 3 mL 盐处理母液（300 mM NaCl, 0.5 mM CaCl_2 , 500 mM 甘露醇, 0.2 mM MES, pH5.8）后，检测处理后信号。

(2) 检测位点：原生质体表面

(3) 检测时长：盐处理前 5 分钟，盐处理后 10~20 分钟

(4) $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 个原生质体。如同一培养皿中有多个原生质体符合检测要求，可在同一培养皿中检测不止 1 个原生质体。

9. 耗材清单

盐处理母液：300 mM NaCl, 0.5 mM CaCl_2 , 500 mM 甘露醇, 0.2 mM MES, pH5.8

测试液：1.0 mM NaCl, 0.5 mM CaCl_2 , 500 mM 甘露醇, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液：1.0 mM NaCl, 0.5 mM CaCl_2 , 500 mM 甘露醇, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

- (1) 物镜倍数: 20 倍
- (2) 采样规则: X-10
- (3) 传感器—样品表面距离: $2\ \mu\text{m}$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI: 10.5281/zenodo.8227586.
2. Zhang L, Liu X, Wei M, et al. Ammonium has stronger Cd detoxification ability than nitrate by reducing Cd influx and increasing Cd fixation in *Solanum nigrum* L. *J Hazard Mater.* 2021 Dec 1;425:127947. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127947.
3. Zhu M, Li Q, Zhang Y, et al. Glycine betaine increases salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) by regulating Na^+ homeostasis. *Front Plant Sci.* 2022 Sep 30;13:978304. DOI: 10.3389/fpls.2022.978304.
4. Liu J, Ma J, He C, et al. Inhibition of cadmium ion uptake in rice (*Oryza sativa*) cells by a wall-bound form of silicon. *New Phytol.* 2013, 200: 691-699. doi: 10.1111/nph.12494.

液泡区隔 Na^+ 能力/液泡膜 NHX1 活性检测

1. 实验意义

探究耐盐材料的耐盐机制，是否与盐胁迫下， NHX1 ，即液泡膜 Na^+-H^+ 逆向转运体活性强，引起的液泡区隔 Na^+ 强有关。吸 Na^+ 速率越大，代表 NHX1 活性越强。该研究主要以研究茎、叶的液泡为主。

2. 经典案例

[中科院植物所李银心组：利用非损伤微测技术检测植物 \$\text{NHX1}\$ 活性](#)

[Plant J：根系液泡隔离 \$\text{Na}^+\$ 的活性是大麦耐盐的关键参数](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Na^+

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

6. 样品准备

对照组：

未经盐处理的植物样品。

处理组：

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 根、叶片、茎选取

状态良好且外观较为一致。

8. 检测流程

8.1. 叶片液泡提取

1. 取 10g 叶子，用锋利的刀片将叶片切成细长条状。
2. 边切边将切好的叶片放入盛有 5mL 酶解液（500 mM 甘露醇，20 mM KCl，10 mM MES，20 mM CaCl₂，0.1% BSA w/v，1.5% 纤维素酶 w/v (Cellulase R-10, Yakult)，0.4% 离析酶 w/v (Macerozyme R-10, Yakult)）的培养皿中。
3. 将培养皿放入真空泵内并施加 100 m Bar，抽真空 30 分钟。期间始终将培养皿置于黑暗中。
4. 将培养皿放入摇床中，保持黑暗，50 rpm，28°C 孵育 4 小时。
5. 小心地将原生质体转移到 100 μ m 尼龙网漏斗中，将释放的原生质体过滤到 10 ml 离心管中。用 3 mL 洗涤缓冲液（500mM 甘露醇，0.04% BSA w/v）清洗叶条，以收获最大数量的原生质体。最后用额外的 4 mL 洗涤缓冲液轻轻冲洗漏斗。
6. 在室温下以 100g 离心原生质体悬液 5 分钟，以沉淀原生质体。用移液器小心取出并弃除上清液。
7. 用 3 ml 洗涤缓冲液重悬沉淀。要去除原生质体酶溶液，重复步骤 6、7 一次。
8. 用适当体积的液泡储存液（600 mM 甘露醇，10 mM HEPES，pH7.0）重悬最后的沉淀。

8.2. 前处理

- （1）在 35mm 培养皿中滴入一滴测试液，使用镊子将固定样品玻片放置到培养皿中，并压一下玻片使其贴在皿底。
- （2）吸取 100 μ L 液泡悬液，滴入到 35mm 培养皿中的固定样品玻片中心处，静置 10 分钟。
- （3）向培养皿中缓慢加入 4mL 测试液，再吸出弃去。
- （4）再次缓慢加入 4mL 测试液，静置 30min。

8.3. 样品前处理视频



扫码查看

8.4. 检测过程

- (1) 检测位点：液泡表面
- (2) 检测时长：5-10 分钟
- (3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 个液泡。如同一培养皿中有多个液泡符合检测要求，可在同一培养皿中检测不止 1 个液泡。

9. 耗材清单

测试液：20 mM NaCl, 500 mM 甘露醇, 0.2 mM HEPES, pH7.0

校正液：2 mM NaCl, 500 mM 甘露醇, 0.2 mM HEPES, pH7.0

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

- (1) 物镜倍数：20 倍
- (2) 采样规则：X-10

(3) 传感器—样品表面距离: $2\text{ }\mu\text{m}$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01): 3–9. DOI: 10.5281/zenodo.8227586
2. Zhang G, Yuan S, Qi H, et al. The Na^+/H^+ Exchanger NHX1 Controls H^+ Accumulation in the Vacuole to Influence Sepal Color in *Hydrangea macrophylla*. *Int. J. Plant Biol.* 2023, 14, 266–275. DOI: 10.3390/ijpb14010022
3. Zhang X, Shen Z, Sun J, et al. NaCl-elicited, vacuolar Ca^{2+} release facilitates prolonged cytosolic Ca^{2+} signaling in the salt response of *Populus euphratica* cells[J]. *Cell Calcium*, 2015, 57(5–6): 348–365. DOI: 10.1016/j.ceca.2015.03.001.

液泡排 H⁺速率检测/质子泵活性

实验意义

液泡通过区隔胞浆中的 Na⁺，有效降低 Na⁺浓度，缓解毒害作用，Na⁺跨液泡膜进入液泡时，需要在液泡膜表面形成的 H⁺浓度梯度来协助，即液泡排 H⁺。

经典案例

[JXB 中科院植物所李银心：Na⁺/H⁺转运蛋白通过影响液泡 pH 值和激活抗氧化系统](#)

推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

H⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

对照组

未经盐处理的植物样品。

处理组

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 根、叶片、茎选取

状态良好且外观较为一致。

检测流程

叶片液泡提取

1. 取 10g 叶子，用锋利的刀片将叶片切成细长条状。

2. 边切边将切好的叶片放入盛有 5mL 酶解液（500 mM 甘露醇，20 mM KCl，10 mM MES，20 mM CaCl_2 ，0.1% BSA w/v，1.5% 纤维素酶 w/v (Cellulase R-10，

Yakult), 0.4% 离析酶 w/v (Macerozyme R-10, Yakult)) 的培养皿中。

3. 将培养皿放入真空泵内并施加 100 m Bar, 抽真空 30 分钟。期间始终将培养皿置于黑暗中。

4. 将培养皿放入摇床中, 保持黑暗, 50 rpm, 28°C 孵育 4 小时。

5. 小心地将原生质体转移到 100 μ m 尼龙网漏斗中, 将释放的原生质体过滤到 10 ml 离心管中。用 3 mL 洗涤缓冲液 (500mM 甘露醇, 0.04% BSA w/v) 清洗叶条, 以收获最大数量的原生质体。最后用额外的 4 mL 洗涤缓冲液轻轻冲洗漏斗。

6. 在室温下以 100g 离心原生质体悬液 5 分钟, 以沉淀原生质体。用移液器小心取出并弃除上清液。

7. 用 3 ml 洗涤缓冲液重悬沉淀。要去除原生质体酶溶液, 重复步骤 6、7 一次。

8. 用适当体积的液泡储存液 (600 mM 甘露醇, 10 mM HEPES, pH7.0) 重悬最后的沉淀。

前处理

1. 在 35mm 培养皿中滴入一滴测试液, 使用镊子将固定样品玻片放置到培养皿中, 并压一下玻片使其贴在皿底。

2. 吸取 100 μ L 液泡悬液, 滴入到 35mm 培养皿中的固定样品玻片中心处, 静置 10 分钟。

3. 向培养皿中缓慢加入 4mL 测试液, 再吸出弃去。

4. 再次缓慢加入 4mL 测试液, 静置 10min。

样品前处理视频



扫码查看视频

检测过程

1. 检测位点：液泡表面
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 个液泡。如同一培养皿中有多个液泡符合检测要求，可在同一培养皿中上检测不止 1 个液泡。

耗材清单

测试液：

对照组：1.0 mM NaCl, 0.5 mM CaCl_2 , 500 mM 甘露醇, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组：20 mM NaCl, 0.5 mM CaCl_2 , 500 mM 甘露醇, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液：

对照组：1.0 mM NaCl, 0.5 mM CaCl_2 , 500 mM 甘露醇, 0.2 mM MES, pH6.8

处理组：20 mM NaCl, 0.5 mM CaCl_2 , 500 mM 甘露醇, 0.2 mM MES, pH6.8

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：20 倍
2. 采样规则：X-10
3. 传感器—样品表面距离：2 μm

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3–9. DOI:10. 5281/zenodo. 8227586.
2. Zhang L, Liu X, Wei M, et al. Ammonium has stronger Cd detoxification ability than nitrate by reducing Cd influx and increasing Cd fixation in *Solanum nigrum* L. *J Hazard Mater.* 2021 Dec 1;425:127947. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127947.
3. Zhu M, Li Q, Zhang Y, et al. Glycine betaine increases salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) by regulating Na⁺ homeostasis. *Front Plant Sci.* 2022 Sep 30;13:978304. DOI: 10.3389/fpls.2022.978304.
4. Liu J, Ma J, He C, et al. Inhibition of cadmium ion uptake in rice (*Oryza sativa*) cells by a wall-bound form of silicon. *New Phytol.* 2013, 200: 691–699. doi: 10.1111/nph.12494.



液泡 K⁺转运检测

实验意义

盐胁迫下液泡的 K⁺维持细胞质低 Na⁺/K⁺比以保护代谢，协同 Na⁺区隔化提供电荷平衡，同时作为关键渗透溶质维持细胞膨压。

经典案例

[郑州大学学者一区 TOP 期刊发表植物耐盐最新成果，在果胶去甲基化介导的细胞壁 Na⁺阻滞调控油菜耐盐上取得进展](#)

推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer[®]；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

K⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

对照组

未经盐处理的植物样品。

处理组

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 根、叶片、茎选取

状态良好且外观较为一致。

检测流程

叶片液泡提取

1. 取 10g 叶子，用锋利的刀片将叶片切成细长条状。

2. 边切边将切好的叶片放入盛有 5mL 酶解液 (500 mM 甘露醇, 20 mM KCl, 10 mM MES, 20 mM CaCl₂, 0.1% BSA w/v, 1.5% 纤维素酶 w/v (Cellulase R-10, Yakult), 0.4% 离析酶 w/v (Macerozyme R-10, Yakult)) 的培养皿中。
3. 将培养皿放入真空泵内并施加 100 m Bar, 抽真空 30 分钟。期间始终将培养皿置于黑暗中。
4. 将培养皿放入摇床中, 保持黑暗, 50 rpm, 28°C 孵育 4 小时。
5. 小心地将原生质体转移到 100 μ m 尼龙网漏斗中, 将释放的原生质体过滤到 10 ml 离心管中。用 3 mL 洗涤缓冲液 (500mM 甘露醇, 0.04% BSA w/v) 清洗叶条, 以收获最大数量的原生质体。最后用额外的 4 mL 洗涤缓冲液轻轻冲洗漏斗。
6. 在室温下以 100g 离心原生质体悬液 5 分钟, 以沉淀原生质体。用移液器小心取出并弃除上清液。
7. 用 3 ml 洗涤缓冲液重悬沉淀。要去除原生质体酶溶液, 重复步骤 6、7 一次。
8. 用适当体积的液泡储存液 (600 mM 甘露醇, 10 mM HEPES, pH7.0) 重悬最后的沉淀。

前处理

1. 在 35mm 培养皿中滴入一滴测试液, 使用镊子将固定样品玻片放置到培养皿中, 并压一下玻片使其贴在皿底。
2. 吸取 100 μ L 液泡悬液, 滴入到 35mm 培养皿中的固定样品玻片中心处, 静置 10 分钟。
3. 向培养皿中缓慢加入 4mL 测试液, 再吸出弃去。
4. 再次缓慢加入 4mL 测试液, 静置 10min。

样品前处理视频



扫码查看视频

检测过程

1. 检测位点：液泡表面
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 个液泡。如同一培养皿中有多个液泡符合检测要求，可在同一培养皿中上检测不止 1 个液泡。

耗材清单

测试液：

对照组：50 mM KNO_3 ，50 mM KCl ，350 mM 甘露醇，0.2mM HEPES，pH7.0

处理组：20 mM NaCl ，50 mM KNO_3 ，50 mM KCl ，310 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH7.0

校正液：

对照组：5 mM KNO_3 ，5 mM KCl ，350 mM 甘露醇，0.2mM HEPES，pH7.0

处理组：20 mM NaCl ，5 mM KNO_3 ，5 mM KCl ，310 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH7.0

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数: 20 倍
2. 采样规则: X-10
3. 传感器—样品表面距离: $2\ \mu\text{m}$

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Zhang L, Liu X, Wei M, et al. Ammonium has stronger Cd detoxification ability than nitrate by reducing Cd influx and increasing Cd fixation in *Solanum nigrum* L. *J Hazard Mater.* 2021 Dec 1;425:127947. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127947.
3. Zhu M, Li Q, Zhang Y, et al. Glycine betaine increases salt tolerance in maize (*Zea mays* L.) by regulating Na^+ homeostasis. *Front Plant Sci.* 2022 Sep 30;13:978304. DOI: 10.3389/fpls.2022.978304.
4. Liu J, Ma J, He C, et al. Inhibition of cadmium ion uptake in rice (*Oryza sativa*) cells by a wall-bound form of silicon. *New Phytol.* 2013, 200: 691-699. doi: 10.1111/nph.12494.

叶肉细胞排 Na^+ 速率检测/ SOS1 活性

1. 实验意义

探究耐盐材料的耐盐机制，是否与盐胁迫下， SOS1 ，即质膜 Na^+/H^+ 逆向转运体活性强，引起的排 Na^+ 强有关。排 Na^+ 速率越大，代表 SOS1 活性越强。

2. 经典案例

[Int J Mol Sci 联盟专家 S Shabala 等: 盐胁迫下 \$\text{NHXs}\$ 调节耐盐水稻叶肉排 \$\text{Na}^+\$ 、 \$\text{K}^+\$ 速率下降 为水稻耐盐研究提供新见解](#)

[J Exp Bot: 华中农大别之龙|离子流揭示中国南瓜与印度南瓜的耐盐策略](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®; SMP300-XY 系列; 耗材 XY-NY- Na^+ 、XY-NY- K^+ ...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Na^+

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可。

6. 样品准备

(1) 对照组：

未经盐处理的植物样品。

(2) 处理组：

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 叶片选取

(1) 根据您的研究需求，选择植株上特定位置的叶片，例如从下往上数的第 x 片叶片。部分研究可能无此要求，同一研究的叶片选取标准需保持一致。

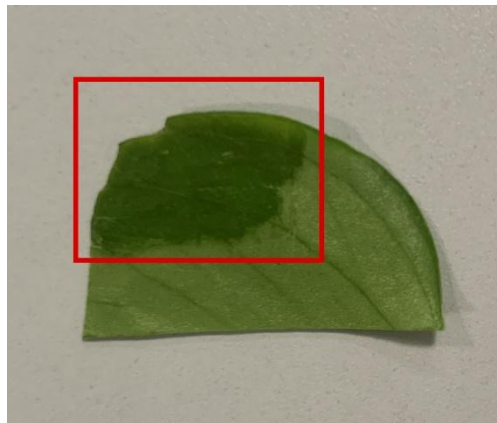
(2) 同一组内，叶龄、叶片颜色、大小尽量一致

(3) 优先完整无损伤的叶片

8. 检测流程

8.1. 前处理

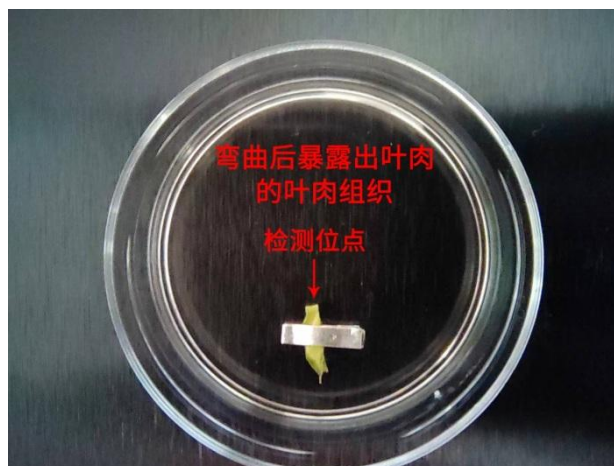
(1) 将未经盐处理的样品分为对照组和处理组，从目标叶片上剪取 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 $1\text{cm} \times 0.3\text{cm}$ 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 $80 \sim 100 \mu\text{m}$ ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。





叶肉细胞样品固定

(3) 对照组：加入测试液浸没叶片，静置 3.5 小时后检测。

4. 处理组：加入处理液浸没叶片，静置 3 小时，再转移至测试液中静置 30 分钟后检测。

注：在步骤 3、4 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.2. 样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

8.3. 检测过程

(1) 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点

(2) 检测时长：5-10 分钟

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求，可在同一株上取不止 1 片叶片，也可在同一叶片上取不止 1 块叶片组织，一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

处理液: 150 mM NaCl, 5 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8 测试液:
对照组/处理组: 1.0 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液:

对照组/处理组: 10 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

- (1) 物镜倍数: 4 倍
- (2) 采样规则: X-30
- (3) 传感器—样品表面距离: 5 μm

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9.
DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Qin R, Hu Y, Chen H, et al. MicroRNA408 negatively regulates salt tolerance by affecting secondary cell wall development in maize. *Plant Physiol.* 2023 May 31;192(2):1569–1583. DOI: 10.1093/plphys/kiad135.
3. Solis CA, Yong MT, Zhou M, et al. Evolutionary Significance of NHX Family and NHX1 in Salinity Stress Adaptation in the Genus *Oryza*. *Int J Mol Sci.* 2022 Feb 14;23(4):2092. DOI: 10.3390/ijms23042092.
4. Li S, Sun M, Miao L, et al. Multifaceted regulatory functions of CsBPC2 in cucumber under salt stress conditions. *Hortic Res.* 2023 Mar 15;10(5):uhad051. DOI: 10.1093/hr/uhad051.

叶肉细胞保 K⁺能力检测

1. 实验意义

探究盐胁迫下植物的保钾能力，K⁺外排越小，保钾能力越强。

2. 经典案例

[Int J Mol Sci 联盟专家 S Shabala 等: 盐胁迫下 NHXs 调节耐盐水稻叶肉排 Na⁺、K⁺速率下降 为水稻耐盐研究提供新见解](#)

[Tree Physiol 中国林科院张华新、杨秀艳: NMT 发现白刺通过维持叶肉排 Na⁺保 K⁺能力及 H⁺泵活性来适应盐胁迫](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®; SMP300-XY 系列; 耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

K⁺

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可。

6. 样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

6.1. 预处理方式

对照组：

未经盐处理的植物样品。

处理组：

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块

6.2. 瞬时处理方式

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 叶片选取

(1) 根据您的研究需求，选择植株上特定位置的叶片，例如从下往上数的第 x 片叶片。部分研究可能无此要求，同一研究的叶片选取标准需保持一致。

(2) 同一组内，叶龄、叶片颜色、大小尽量一致

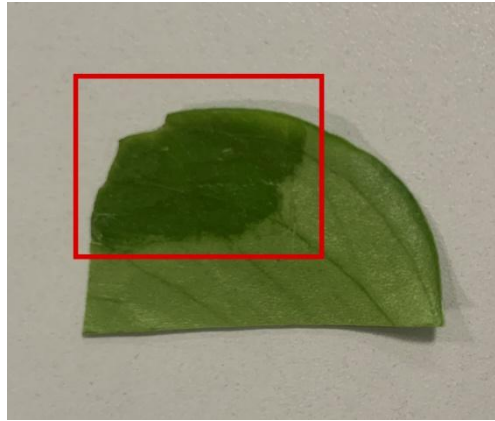
(3) 优先完整无损伤的叶片

8. 检测流程

8.1. 预处理

8.1.1. 前处理

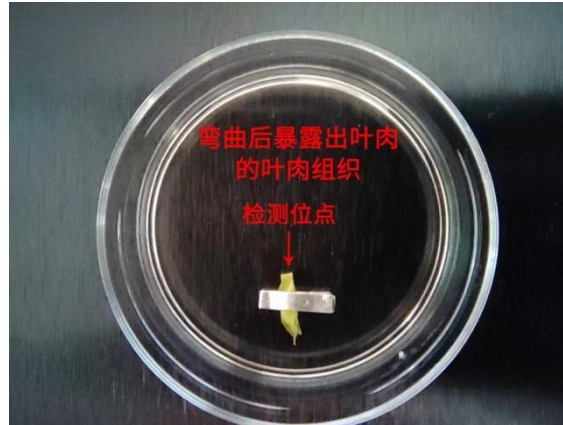
(1) 将未经盐处理的样品分为对照组和处理组，从目标叶片上剪取 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 $1\text{cm} \times 0.3\text{cm}$ 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 $80 \sim 100 \mu\text{m}$ ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。





叶肉细胞样品固定

(3) 对照组：加入**对照组测试液**浸没叶片，静置 3 小时后检测。

(4) 处理组：加入**处理组测试液**浸没叶片，静置 3 小时后检测。

注：在步骤 3、4 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.1.2. 样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

8.1.3. 检测过程

(1) 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点

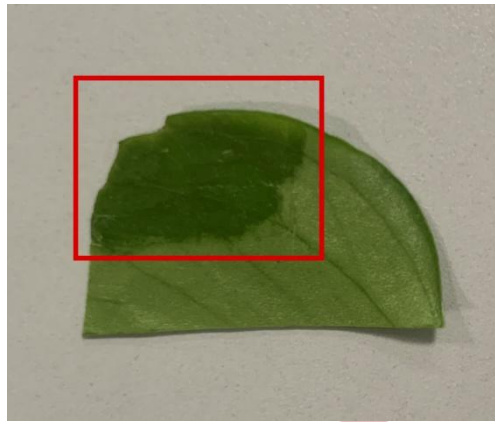
(2) 检测时长：5-10 分钟

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求，可在同一株上取不止 1 片叶片，也可在同一片叶片上取不止 1 块叶片组织，一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

8.2. 检测流程-瞬时处理

8.2.1. 前处理

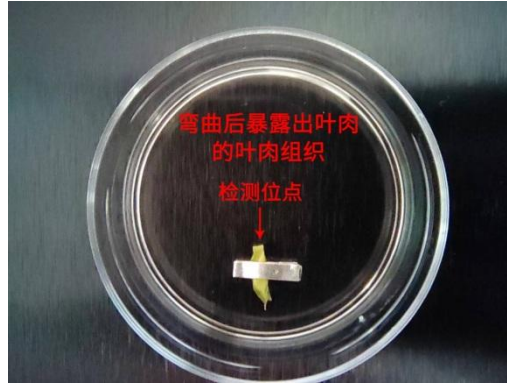
(1) 从目标叶片上剪取 1cm*1cm 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 1cm*0.3cm 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 80~100 μm ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。





叶肉细胞样品固定

(3) 将叶肉组织放入 35mm 的培养皿中，加入 3mL 测试液浸没叶片，静置处理 3 小时，全程给予同培养环境光强一致的光照。

8.2.2. 样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

8.2.3. 检测过程

- (1) 先检测盐处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 盐处理母液后，检测处理后信号。
- (2) 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点
- (3) 检测时长：盐处理前 5 分钟，盐处理后 5~10 分钟
- (4) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求，可在同一株上取不止 1 片叶片，也可在同一片叶片上取不止 1 块叶片组织，一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

9.1. 预处理

测试液

对照组: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液

对照组: 0.5 mM NaCl, 50 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 150 mM NaCl, 50 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

9.2. 瞬时处理

盐处理母液: 300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8 (盐处理终浓度为 150mM NaCl)

测试液: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液: 0.5 mM NaCl, 50 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

(1) 物镜倍数: 4 倍

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: 5 μm

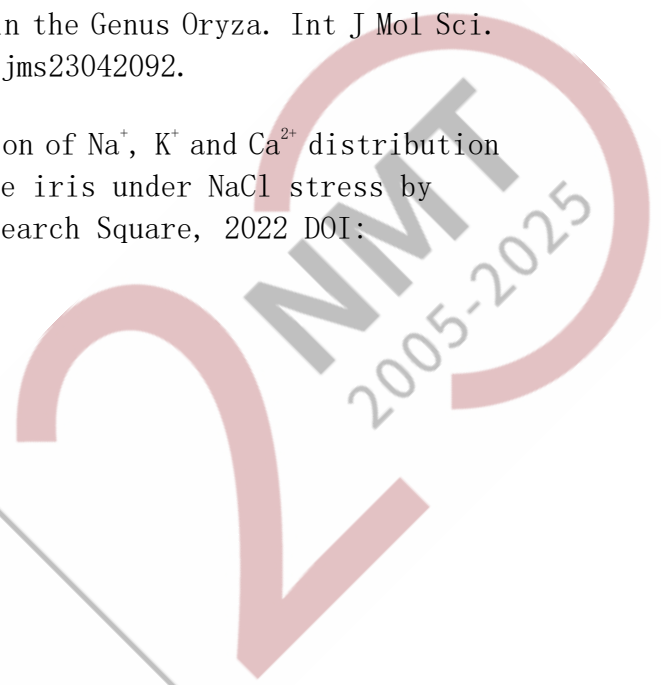
11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3–9. DOI:10. 5281/zenodo. 8227586.

2. Li S, Sun M, Miao L, et al. Multifaceted regulatory functions of CsBPC2 in cucumber under salt stress conditions. *Hortic Res.* 2023 Mar 15;10(5):uhad051. doi: 10.1093/hr/uhad051.

3. Solis C, Yong M, Zhou M, et al. Evolutionary Significance of NHX Family and NHX1 in Salinity Stress Adaptation in the Genus *Oryza*. *Int J Mol Sci.* 2022 Feb 14;23(4):2092. doi: 10.3390/ijms23042092.

4. Lan T, Xu Y, Guo S, et al. Investigation of Na⁺, K⁺ and Ca²⁺ distribution and ion fluxes of the halophyte Chinese iris under NaCl stress by non-invasive micro-test techniques. *Research Square*, 2022 DOI: 10.21203/rs.3.rs-1708018/v1



叶肉细胞排 H⁺速率检测/H⁺-ATPase 活性

1. 实验意义

探究耐盐材料的耐盐机制，是否与盐胁迫下质膜质子泵活性强有关。质膜质子泵向细胞外、根外泌 H⁺，形成 H⁺ 电化学梯度，驱动次级转运体对各种营养物质、离子的转运。

2. 经典案例

[Aquat Toxicol 南京地湖所谢丽强: NMT 发现微囊藻毒素 LR 可破坏苦草根叶 Ca/H 平衡 从而影响营养物质积累](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®; SMP300-XY 系列; 耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

H⁺

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可。

6. 样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

6.1. 预处理方式

对照组：

未经盐处理的植物样品。

处理组：

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块

6.2. 瞬时处理方式

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 叶片选取

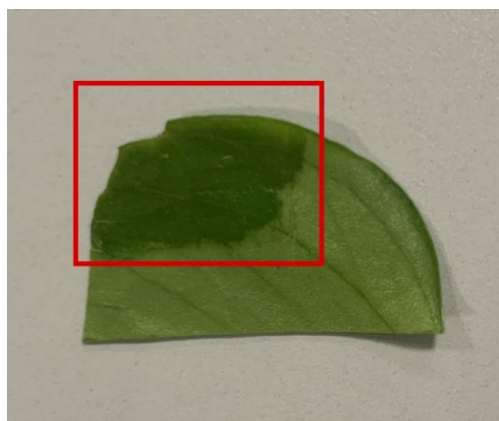
- 1) 根据您的研究需求，选择植株上特定位置的叶片，例如从下往上数的第 x 片叶片。部分研究可能无此要求，同一研究的叶片选取标准需保持一致。
- 2) 同一组内，叶龄、叶片颜色、大小尽量一致
- 3) 优先完整无损伤的叶片

8. 检测流程-

8.1. 预处理

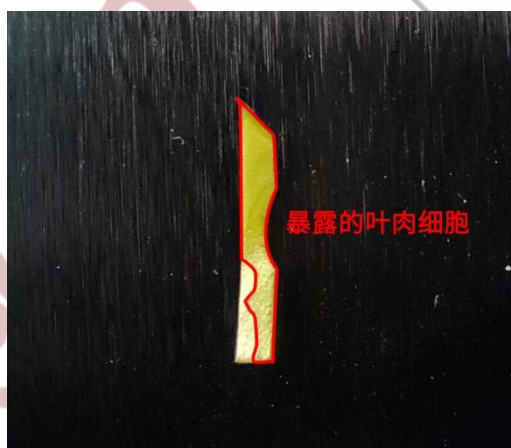
8.1.1. 前处理

- (1) 将未经盐处理的样品分为对照组和处理组，从目标叶片上剪取 1cm*1cm 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 1cm*0.3cm 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 80~100 μm ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。



叶肉细胞样品固定

(3) 对照组：加入对照组测试液浸没叶片，静置 3 小时后检测。

(4) 处理组：加入处理组测试液浸没叶片，静置 3 小时后检测。

注：在步骤 3、4 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.1.2. 样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

8.1.3. 检测过程

(1) 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点

(2) 检测时长：5-10 分钟

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求，可在同一株上取不止 1 片叶片，也可在同一片叶片上取不止 1 块叶片组织，一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

8.2. 瞬时处理

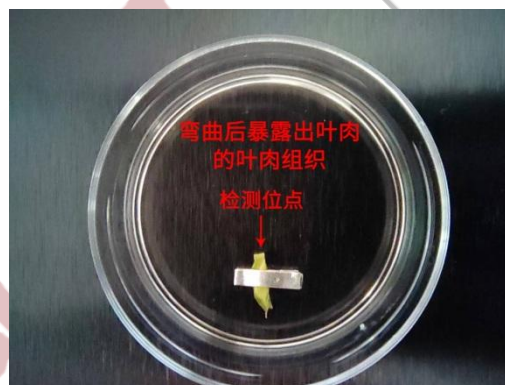
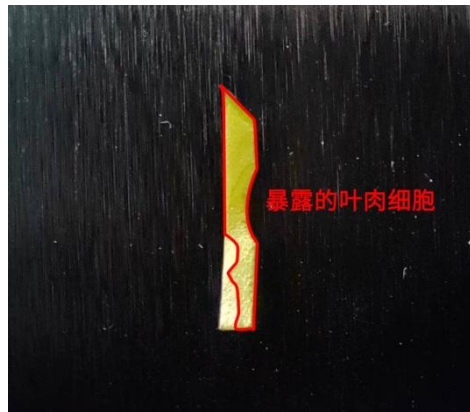
8.2.1. 前处理

(1) 从目标叶片上剪取 1cm*1cm 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 1cm*0.3cm 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 80~100 μm ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。



叶肉细胞样品固定

(3) 将叶肉组织放入 35mm 的培养皿中，加入 3mL 测试液浸没叶片，静置处理 3 小时，全程给予同培养环境光强一致的光照。

8.2.2. 样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

8.2.3. 检测过程

(1)先检测盐处理前的信号,再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 盐处理母液后,检测处理后信号。

(2) 检测位点: 外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点

(3) 检测时长: 盐处理前 5 分钟, 盐处理后 5~10 分钟

(4) 重复数: $n \geq 8$, 即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求, 可在同一株上取不止 1 片叶片, 也可在同一叶片上取不止 1 块叶片组织, 一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

9.1. 预处理

测试液

对照组: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液

对照组: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH6.8

处理组: 150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH6.8

9.2. 瞬时处理

盐处理母液: 300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8 (盐处理终浓度为 150mM NaCl)

测试液: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液: 0.5 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH6.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

- (1) 物镜倍数: 4 倍
- (2) 采样规则: X-30
- (3) 传感器—样品表面距离: $5\text{ }\mu\text{m}$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI: 10.5281/zenodo.8227586.
2. Qin R, Hu Y, Chen H, et al. MicroRNA408 negatively regulates salt tolerance by affecting secondary cell wall development in maize. *Plant Physiol.* 2023 Mar 2:kiad135. DOI: 10.1093/plphys/kiad135.
3. Solis C, Yong M, Zhou M, et al. Evolutionary Significance of NHX Family and NHX1 in Salinity Stress Adaptation in the Genus *Oryza*. *Int J Mol Sci.* 2022 Feb 14;23(4):2092. doi: 10.3390/ijms23042092.
4. Li S, Sun M, Miao L, et al. Multifaceted regulatory functions of CsBPC2 in cucumber under salt stress conditions. *Hortic Res.* 2023 Mar 15;10(5):uhad051. doi: 10.1093/hr/uhad051.

根表吸 Na^+ 速率检测

1. 实验意义

检测盐胁迫下，根实时吸收钠离子的速率。

2. 经典案例

[ACS Nano 江苏师大甘薯团队：NMT 为生物质衍生碳点的 \$\text{Ca}^{2+}\$ 动员特性提高植物环境胁迫适应性提供关键证据](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®; SMP300-XY 系列; 耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

Na^+

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培

6. 样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

6.1. 预处理方式

（1）对照组：

未经盐处理的植物样品。

（2）处理组：

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

6.2. 瞬时处理方式

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 根选取

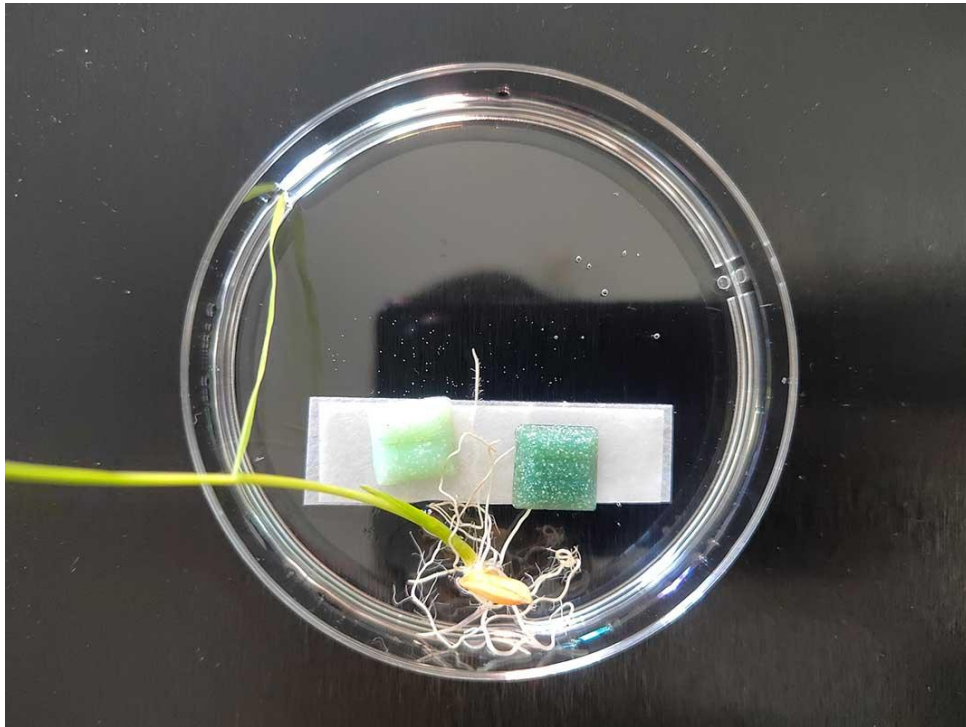
- (1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根
- (2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致
- (3) 优先新生根或嫩根

8. 检测流程

8.1. 预处理

8.1.1. 前处理

- (1) 将对照组/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 加入测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液

8.1.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.1.3. 检测过程

(1) 检测位点：根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置， d =根直径

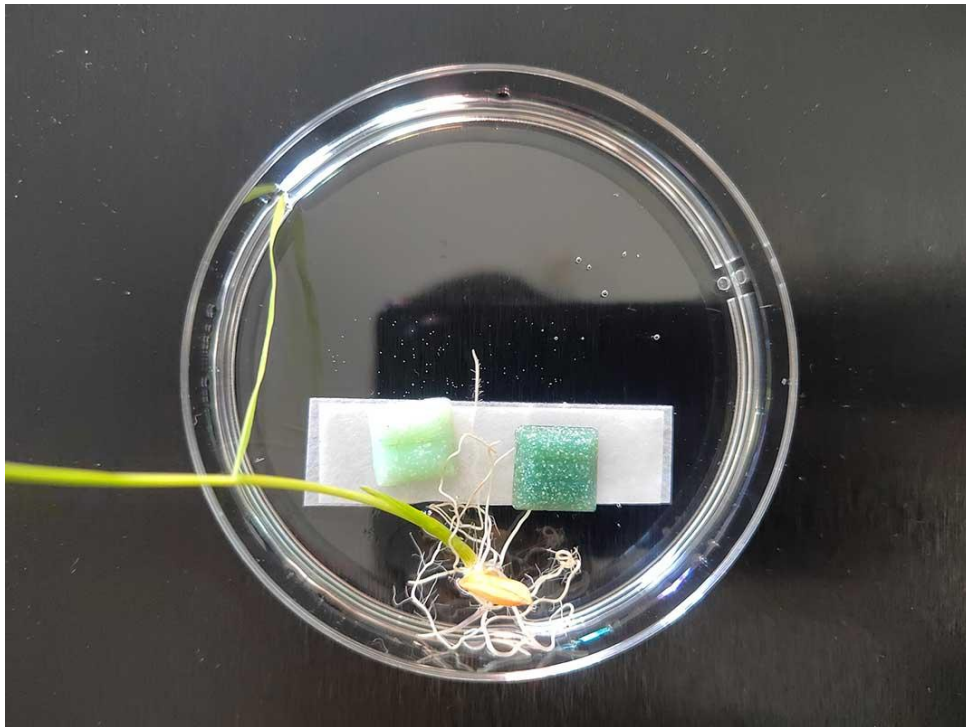
(2) 检测时长：5-10 分钟

(3) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

8.2. 瞬时处理

8.2.1. 前处理

(1) 将样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在直径 35mm 培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 加入 3mL 测试液浸没根，静置 30min。

8.2.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.2.3. 检测过程

(1) 先检测盐处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 盐处理母液后，检测处理后信号。

(2) 检测位点：根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置， d =根直径

(3) 检测时长：盐处理前 5 分钟，盐处理后 5~10 分钟

(4) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

9.1. 预处理

(1) 测试液

对照组：1.0 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组：胁迫浓度<250 mM时：150 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

胁迫浓度≥250 mM时：300 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

(2) 校正液

对照组：10 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组：15/30 mM NaCl, 5.0 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

9.2. 瞬时处理

(1) 盐处理母液：

胁迫浓度<250 mM时：300 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8（盐处理终浓度为150mM NaCl）

胁迫浓度≥250 mM时：600 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8（盐处理终浓度为300mM NaCl）

(2) 测试液：1.0 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

(3) 校正液：10 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.5 mM CaCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

(1) 物镜倍数：4 倍（根直径≥200 μm）；10 倍（根直径<200 μm）

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: $5\text{ }\mu\text{m}$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.

2. Li Y, Tang Z, Pan Z, et al. Calcium-Mobilizing Properties of Salvia miltiorrhiza-Derived Carbon Dots Confer Enhanced Environmental Adaptability in Plants. ACS Nano. 2022 Mar 22;16(3):4357-4370. doi: 10.1021/acsnano.1c10556.

根表失 K⁺速率检测

1. 实验意义

探究盐胁迫下植物根的失钾程度，用于反映在盐胁迫下植物维持体内钾钠平衡的能力。

2. 经典案例

[J Exp Bot 江苏师范大学：多倍体维持钠钾稳态促耐盐能力的新机制](#)

[Environ Exp Bot 佛山大学&哥本哈根大学学者：硼改善大麦耐盐作用的机制基础](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®；SMP300-XY 系列；耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

K⁺

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

6. 样品准备

对照组：

未经盐处理的植物样品。

处理组：

100~400 mM NaCl 处理 24 小时。NaCl 或 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3$ 浓度与您课题的其它实验胁迫浓度保持一致。常见样品胁迫浓度参考：

拟南芥、水稻、烟草：100~150 mM NaCl

棉花：200 mM NaCl

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株

7.2. 根选取

(1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根

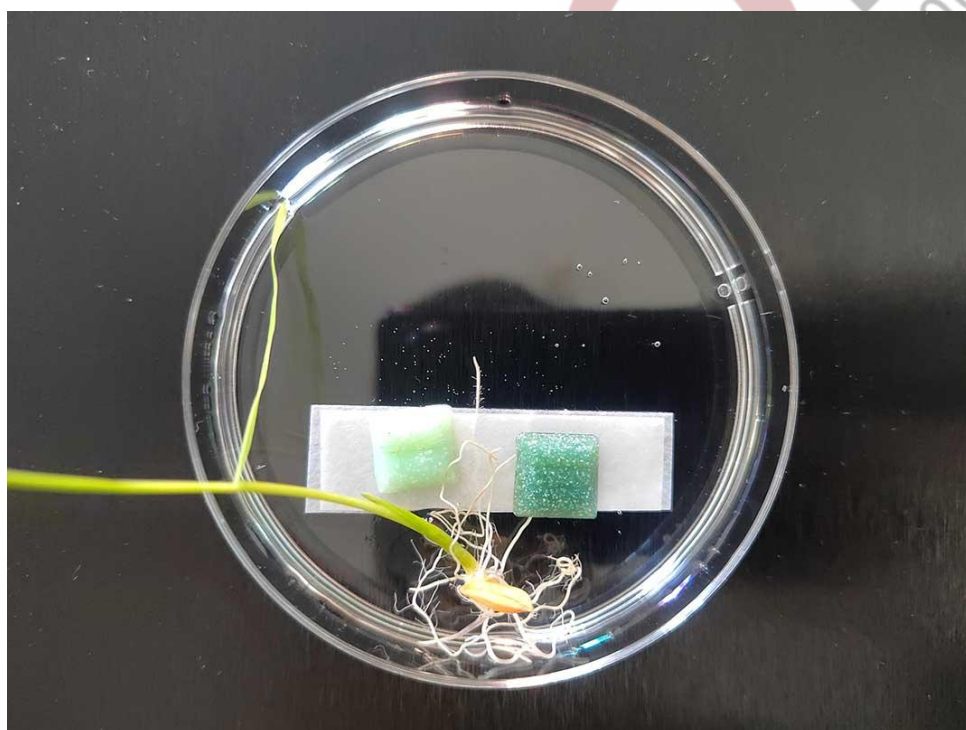
(2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致

(3) 优先新生根或嫩根

8. 检测流程

8.1. 前处理

(1) 将对照组/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 在对照组/处理组样品中加入相应的测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.2. 样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

8.3. 检测过程

(1) 检测位点:

K^+ : 根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置, d =根直径

(2) 检测时长: 5-10 分钟

(3) 重复数: $n \geq 8$, 即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求, 可在同一株上取不止 1 条根, 一组内使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

测试液

对照组: 0.5 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组:

胁迫浓度 < 250 mM: 150 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

胁迫浓度 ≥ 250 mM: 300 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

校正液

对照组: 0.5 mM NaCl, 1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 150/300 mM NaCl, 1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

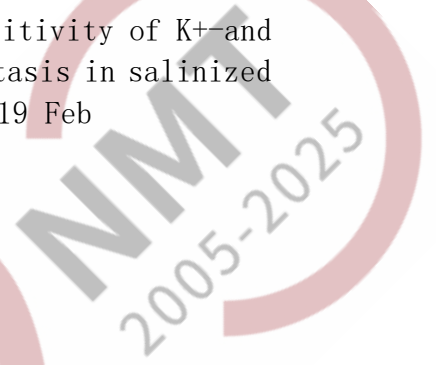
(1) 物镜倍数: 4 倍 (根直径 $\geq 200 \mu m$); 10 倍 (根直径 $< 200 \mu m$)

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: $5 \mu m$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01) :3-9. DOI:10. 5281/zenodo. 8227586.
2. Qu M, Havshøi NW, Huang X, et al. Understanding the mechanistic basis of ameliorative effects of boron on salinity in barley (*Hordeum vulgare*). *Environ Exp Bot*. 2024;105690. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105690.
3. Liu Y, Yu Y, Sun J, et al. Root-zone-specific sensitivity of K^{+} - and Ca^{2+} -permeable channels to H_2O_2 determines ion homeostasis in salinized diploid and hexaploid *Ipomoea trifida*. *J Exp Bot*. 2019 Feb 20;70(4):1389-1405. doi: 10.1093/jxb/ery461.



叶肉细胞失 K⁺速率检测

1. 实验意义

探究盐胁迫下植物叶肉的失钾程度，用于反映在盐胁迫下植物维持胞内钾钠平衡的能力。

2. 经典案例

[Int J Mol Sci 联盟专家 S Shabala 等: 盐胁迫下 NHXs 调节耐盐水稻叶肉排 Na⁺、K⁺速率下降 为水稻耐盐研究提供新见解](#)

3. 推荐实验设备

耐盐机制分析仪 MechLyzer®; SMP300-XY 系列; 耗材 XY-NY-Na、XY-NY-K-...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

4. 检测指标

K⁺

5. 样品培养

5.1. 苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

5.2. 培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可。

6. 样品准备

(1) 对照组：

未经盐处理的植物样品。

(2) 处理组：

本实验使用未经盐处理的植物样品，样品在实验过程中进行盐处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

7. 样品选取

7.1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

7.2. 叶片选取

(1) 根据您的研究需求，选择植株上特定位置的叶片，例如从下往上数的第 x 片叶片。部分研究可能无此要求，同一研究的叶片选取标准需保持一致。

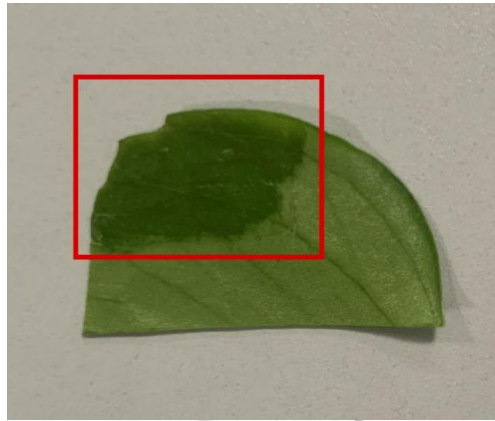
(2) 同一组内，叶龄、叶片颜色、大小尽量一致

(3) 优先完整无损伤的叶片

8. 检测流程

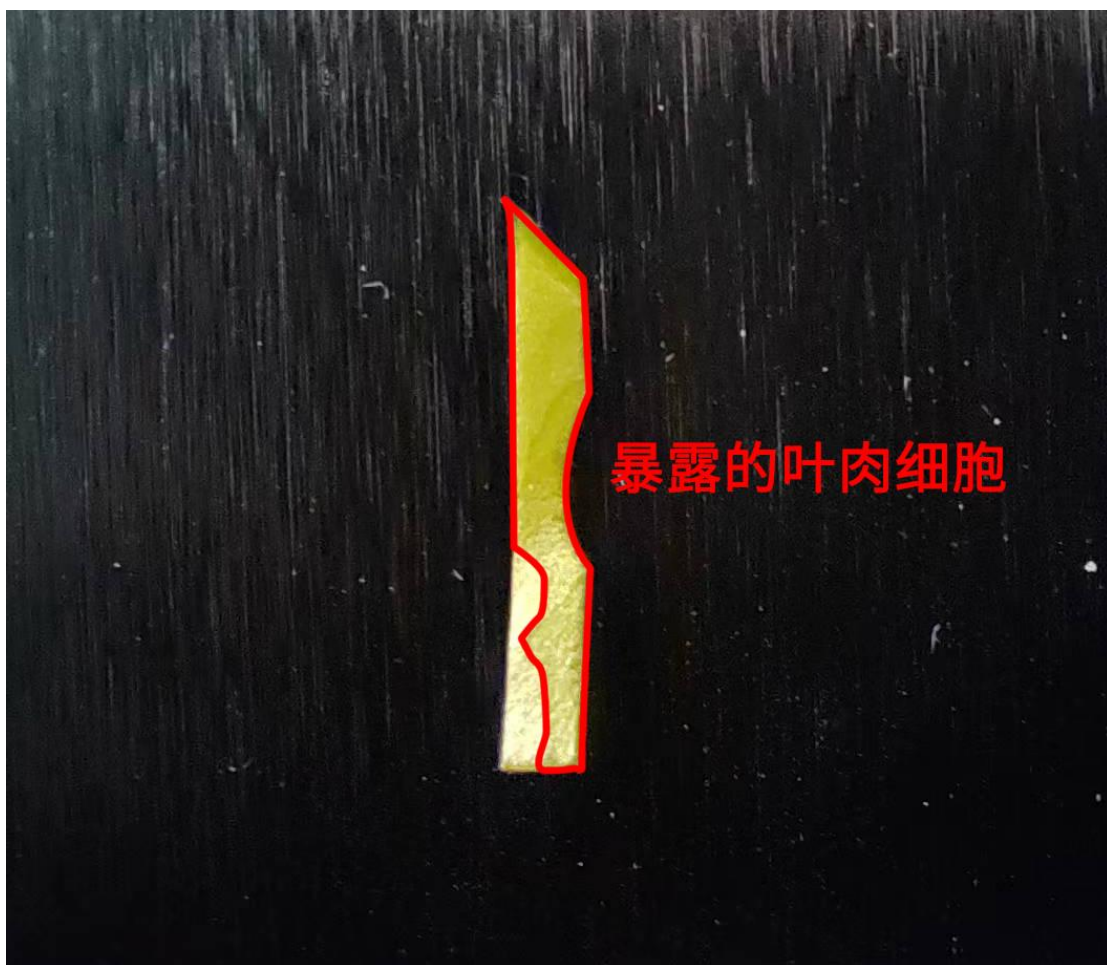
8.1. 前处理

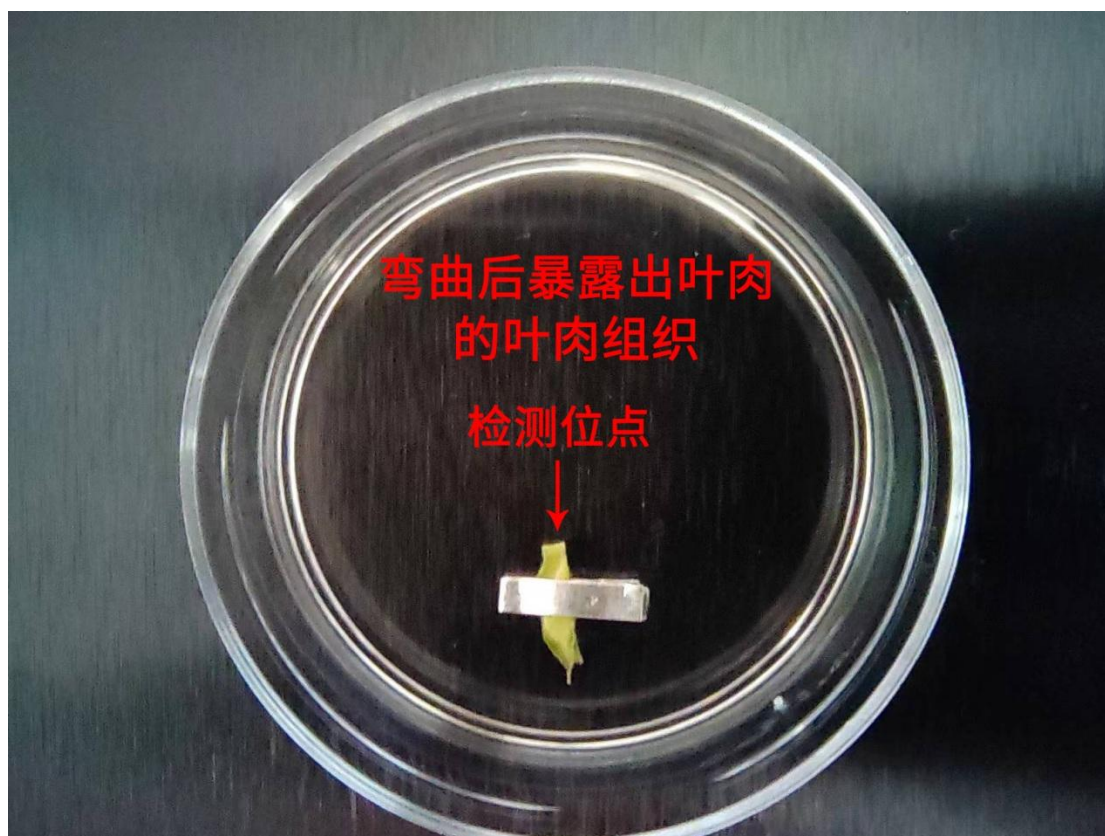
(1) 将未经盐处理的样品分为对照组和处理组，从目标叶片上剪取 1cm*1cm 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 1cm*0.3cm 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 80~100 μm ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。





叶肉细胞样品固定

(3) 对照组：加入对照组测试液浸没叶片，静置 3 小时后检测。

(4) 处理组：加入处理组测试液浸没叶片，静置 3 小时后检测。

注：在步骤 3、4 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

8.2. 样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

8.3. 检测过程

(1) 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点

(2) 检测时长：5-10 分钟

(3) 重复数: $n \geq 8$, 即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求, 可在同一株上取不止 1 片叶片, 也可在同一片叶片上取不止 1 块叶片组织, 一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

9. 耗材清单

(1) 测试液

对照组: 0.5 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 150 mM NaCl, 0.1 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

(2) 校正液

对照组: 0.5 mM NaCl, 1.0 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

处理组: 150 mM NaCl, 1.0 mM KCl, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

10. 检测参数

(1) 物镜倍数: 4 倍

(2) 采样规则: X-30

(3) 传感器—样品表面距离: $5 \mu\text{m}$

11. 参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01): 3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.

2. Solis C, Yong M, Zhou M, et al. Evolutionary Significance of NHX Family and NHX1 in Salinity Stress Adaptation in the Genus Oryza. Int J Mol Sci. 2022 Feb 14;23(4):2092. doi: 10.3390/ijms23042092.



重金属胁迫

根表吸收重金属离子速率检测

实验意义

检测重金属胁迫下，根实时吸收重金属离子的速率。

经典案例

[Plant Physiol 南农：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](#)

[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](#)

[Environ Pollut：硅藻的\[Si 依赖性 Cd/ Cu/ Pb 耐受力\]的机制](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer®；HMP300-XY 系列；耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

Cd²⁺、Pb²⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

重金属处理 24 小时。重金属浓度可与您课题组的其它实验胁迫浓度保持一致。如处理浓度 $Cd < 5 \mu M$ 、 $Pb < 5 \mu M$ ，则分别将处理浓度提升至 $5 \mu M$ 、 $5 \mu M$ 。因处理时长较短，建议在此基础上，适当调高胁迫浓度。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

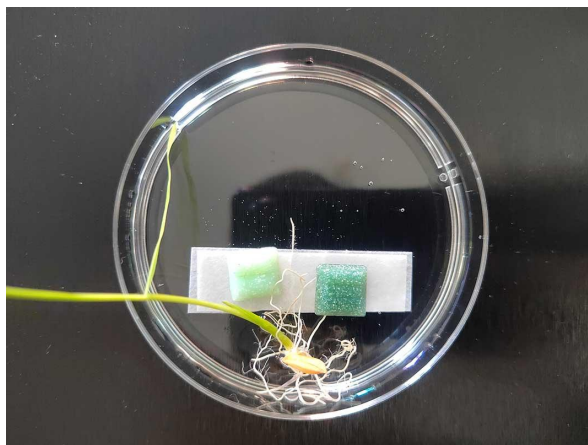
2. 根选取

- 1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根。
- 2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致。
- 3) 优先新生根或嫩根。

检测流程

前处理

1. 将重金属处理后的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

2. 加入测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

检测过程

1. 检测位点：根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置， d =根直径

2. 检测时长：5-10 分钟

3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

指标: Cd^{2+}

测试液: $x\text{mM CdCl}_2$, 0.2 mM MES, pH5.8; x =胁迫浓度; 重金属化合物与胁迫成分保持一致

校正液: $10x\text{mM CdCl}_2$, 0.2 mM MES, pH5.8

指标: Pb^{2+}

测试液: $x\text{mM Pb}(\text{NO}_3)_2$, 0.2 mM MES, pH5.8; x =胁迫浓度; 重金属化合物与胁迫成分保持一致

校正液: $10\text{ mM Pb}(\text{NO}_3)_2$, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数: 4 倍 (根直径 $\geq 200\text{ }\mu\text{m}$); 10 倍 (根直径 $< 200\text{ }\mu\text{m}$)
2. 采样规则: X-30
3. 传感器—样品表面距离: $5\text{ }\mu\text{m}$

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Li L, Mao D, Sun L, et al. CF1 reduces grain-Cd levels in rice (*Oryza sativa*). *Plant J.* 2022 Jun;110(5):1305-1318. doi: 10.1111/tpj.15736.
3. Liu S, Ji X, Chen Z, et al. Silicon facilitated the physical barrier and adsorption of cadmium of iron plaque by changing the biochemical composition to reduce cadmium absorption of rice roots. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2023 May;256:114879. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.114879.
4. Li L, Yu S, Peijnenburg W J G M, et al. Determining the fluxes of ions (Pb^{2+} , Cu^{2+} , and Cd^{2+}) at the root surface of wetland plants using the scanning ion-selective electrode technique[J]. *Plant and Soil*, 2016, 414(1-2):1-12. doi: 10.1007/s11104-016-3109-5

根表排重金属离子速率检测/拒重金属能力检测

实验意义

检测重金属胁迫下，根实时排出/阻隔重金属离子的速率。

经典案例

[EEB 山农杨兴洪: NMT 发现甜菜碱促烟草保 K⁺吸 H⁺排 Cd²⁺ 为探究其提升烟草 Cd 耐受机制提供证据](#)

[Plant Physiol : 山东大学、山东省农科院 | 线粒体丙酮酸载体调控植物耐镉的机理](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer[®]; HMP300-XY 系列; 耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

Cd²⁺、Pb²⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

重金属处理 24 小时。重金属浓度可与您课题组的其它实验胁迫浓度保持一致。如处理浓度 $Cd < 10 \mu M$ 、 $Pb < 20 \mu M$ ，则分别将处理浓度提升至 $10 \mu M$ 、 $20 \mu M$ 。因处理时长较短，建议在此基础上，适当调高胁迫浓度。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

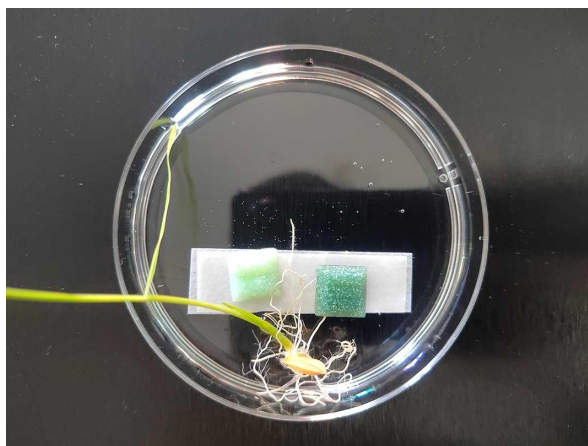
2. 根选取

- 1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根。
- 2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致。
- 3) 优先新生根或嫩根。

检测流程

前处理

1. 将重金属处理后的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

2. 加入测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

检测过程

1. 检测位点：根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置， d =根直径
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

指标： Cd^{2+}

测试液：0.0025 mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

校正液：0.025 mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8

指标： Pb^{2+}

测试液：0.005 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8；

校正液：0.05 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：4 倍（根直径 $\geq 200\text{ }\mu\text{m}$ ）；10 倍（根直径 $< 200\text{ }\mu\text{m}$ ）
2. 采样规则：X-30
3. 传感器—样品表面距离：5 μm

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Chongyang Li, Tianpeng Zhang, Pengwen Feng, et al. Genetic engineering of glycinebetaine synthesis enhances cadmium tolerance in BADH-transgenic tobacco plants via reducing cadmium uptake and alleviating cadmium stress damage, *Environmental and Experimental Botany*, Volume 191. 2021. 104602. ISSN 0098-8472. doi:10.1016/j.envexpbot.2021.104602.
3. He L, Jing Y, Shen J, et al. Mitochondrial Pyruvate Carriers Prevent Cadmium Toxicity by Sustaining the TCA Cycle and Glutathione Synthesis. *Plant Physiol.* 2019 May;180(1):198-211. doi: 10.1104/pp.18.01610. Epub 2019 Feb 15.

液泡吸重金属离子速率检测/区隔重金属离子能力检测

实验意义

探究耐重金属材料的耐性机制，是否与重金属胁迫下，液泡区隔重金属离子能力强有关。液泡吸收重金属离子的速率越大，代表液泡区隔能力越强。该研究主要以研究茎、叶细胞的液泡为主。

经典案例

[Plant Physiol Bioch 北京林业大学 陈少良：H2S 通过调节胡杨细胞膜和液泡膜的 Cd²⁺转运来缓解 Cd²⁺毒害](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer[®]；HMP300-XY 系列；耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

Cd²⁺、Pb²⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

重金属处理 24 小时。重金属浓度可与您课题组的其它实验胁迫浓度保持一致。如处理浓度 $\text{Cd} < 5 \mu\text{M}$ 、 $\text{Pb} < 5 \mu\text{M}$ ，则分别将处理浓度提升至 $5 \mu\text{M}$ 、 $5 \mu\text{M}$ 。因处理时长较短，建议在此基础上，适当调高胁迫浓度。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 根、叶片、茎选取

状态良好且外观较为一致。

检测流程

叶片液泡提取

1. 取 10g 叶子，用锋利的刀片将叶片切成细长条状。
2. 边切边将切好的叶片放入盛有 5mL 酶解液（500 mM 甘露醇，20 mM KCl，10 mM MES，20 mM CaCl_2 ，0.1% BSA w/v，1.5% 纤维素酶 w/v (Cellulase R-10, Yakult)，0.4% 离析酶 w/v (Macerozyme R-10, Yakult)) 的培养皿中。
3. 将培养皿放入真空泵内并施加 100 m Bar，抽真空 30 分钟。期间始终将培养皿置于黑暗中。

4. 将培养皿放入摇床中，保持黑暗，50 rpm，28℃孵育 4 小时。
5. 小心地将原生质体转移到 100 μm 尼龙网漏斗中，将释放的原生质体过滤到 10 ml 离心管中。用 3 mL 洗涤缓冲液（500mM 甘露醇，0.04% BSA w/v）清洗叶条，以收获最大数量的原生质体。最后用额外的 4 mL 洗涤缓冲液轻轻冲洗漏斗。
6. 在室温下以 100g 离心原生质体悬液 5 分钟，以沉淀原生质体。用移液器小心取出并弃除上清液。
7. 用 3 ml 洗涤缓冲液重悬沉淀。要去除原生质体酶溶液，重复步骤 6、7 一次。
8. 用适当体积的液泡储存液（600 mM 甘露醇，10 mM HEPES，pH7.0）重悬最后的沉淀。

前处理

1. 在 35mm 培养皿中滴入一滴测试液，使用镊子将固定样品玻片放置到培养皿中，并压一下玻片使其贴在皿底。
2. 吸取 100 μL 液泡悬液，滴入到 35mm 培养皿中的固定样品玻片中心处，静置 10 分钟。
3. 向培养皿中缓慢加入 4mL 测试液，再吸出弃去。
4. 再次缓慢加入 4mL 测试液，静置 30min。

样品前处理视频



扫码查看视频

检测过程

1. 检测位点：液泡表面
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 个液泡。如同一培养皿中有多个液泡符合检测要求，可在同一培养皿中上检测不止 1 个液泡。

耗材清单

指标： Cd^{2+}

测试液：0.01 mM CdCl_2 ，500 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH7.0；

校正液：0.1 mM CdCl_2 ，500 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH7.0

指标： Pb^{2+}

测试液：0.1 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，500 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH7.0；

校正液：1 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，500 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH7.0

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：20 倍
2. 采样规则：X-10
3. 传感器—样品表面距离：2 μm

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Sun J, Wang R, Zhang X, et al. Hydrogen sulfide alleviates cadmium toxicity through regulations of cadmium transport across the plasma and

vacuolar membranes in *Populus euphratica* cells. *Plant Physiology and Biochemistry* 65(0): 67–74. doi: 10.1016/j.plaphy.2013.01.003.

3. Liao Q, Jian S, Song H, et al. Balance between nitrogen use efficiency and cadmium tolerance in *Brassica napus* and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Sci.* 2019 Jul;284:57–66. DOI: 10.1016/j.plantsci.2019.04.003.



根木质部卸载重金属离子能力检测

实验意义

通过检测木质部组织细胞卸载重金属离子的速率，探究重金属胁迫下，植物将根吸收的重金属离子，阻隔在地下部分的能力。

经典案例

[Plant Cell Environ 中科院植物所 曲乐庆:发现 OsHIPP9 突变抑制水稻吸 Cu 为其在水稻根外皮层中螯合 Cu 参与 Cu 吸收提供证据](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer®; HMP300-XY 系列; 耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

Cd^{2+} 、 Pb^{2+}

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

重金属处理 24 小时。重金属浓度可与您课题组的其它实验胁迫浓度保持一致。如处理浓度 $Cd < 10 \mu M$ 、 $Pb < 20 \mu M$ ，则分别将处理浓度提升至 $10 \mu M$ 、 $20 \mu M$ 。因处理时长较短，建议在此基础上，适当调高胁迫浓度。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

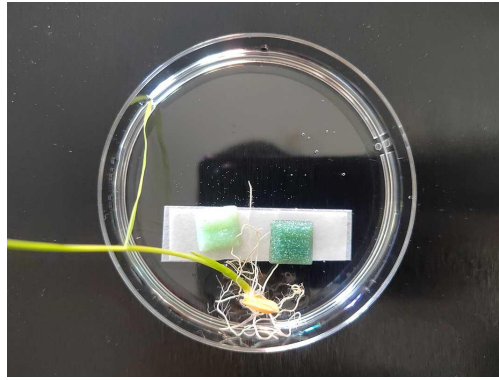
2. 根选取

- 1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根。
- 2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致。
- 3) 优先新生根或嫩根。

检测流程

前处理

1. 将重金属处理后的样品取出，在距离根尖 1cm 的位置横切，暴露出木质部，弃去根尖部分，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



样品固定

2. 加入测试液浸没根，静置 2 小时，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

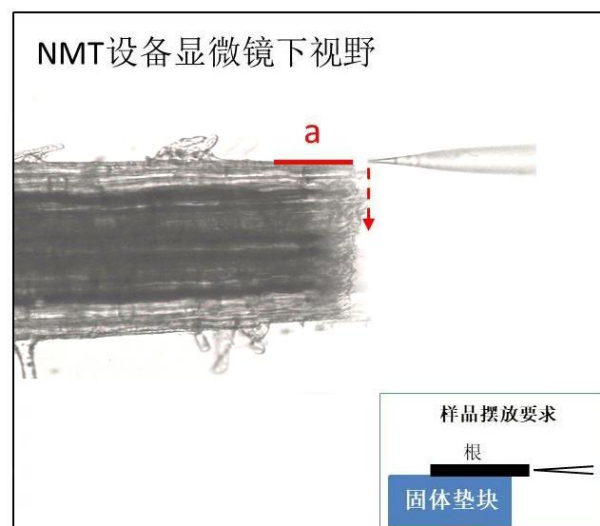
35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

检测过程

1. 将 a 边缘调清晰后，再将传感器尖端调清晰，此时传感器尖端与 a 边缘对齐，将传感器沿箭头方向移动 0.5d（d=根直径）。



木质部检测方法

2. 检测位点：木质部。距表皮层向心方向 0.5 倍根部直径处（ d =通过中心的最大直线距离）

3. 检测时长：5-10 分钟

4. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

中关村 NMT 产业联盟 GiP 项目联络官

耗材清单

指标： Cd^{2+}

测试液：0.0025mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8； x =胁迫浓度；重金属化合物与胁迫成分保持一致

校正液：0.025 mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8

指标： Pb^{2+}

测试液：0.005 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8； x =胁迫浓度；重金属化合物与胁迫成分保持一致

校正液：0.05 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8

检测参数

1. 物镜倍数：4 倍（根直径 $\geq 200 \mu\text{m}$ ）；10 倍（根直径 $< 200 \mu\text{m}$ ）

2. 采样规则：X-30

3. 传感器—样品表面距离：5 μm

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.

2. Hua L, Liang Z, Wei T, et al. Cadmium Tolerance Mechanism of *Solanum nigrum* Based on Subcellular Distribution and Organic Acid Content. *Water Air Soil Pollut* 233, 318 (2022). doi:10.1007/s11270-022-05803-6.

3. Xiong S, Kong X, Chen G, et al. Metallochaperone OsHIPP9 is involved in the retention of cadmium and copper in rice. *Plant Cell Environ.* 2023 Feb 27. doi: 10.1111/pce.14576.



根木质部装载重金属离子能力检测

实验意义

通过检测木质部组织细胞装载重金属离子的速率，探究重金属胁迫下，植物将根吸收的重金属离子，转运到地上部分的能力。木质部组织吸收重金属离子的速率越大，代表该材料往地上部分转运重金属离子的能力越强。

经典案例

[Plant Cell Environ 中科院植物所 曲乐庆:发现 OsHIPP9 突变抑制水稻吸 Cu 为其在水稻根外皮层中螯合 Cu 参与 Cu 吸收提供证据](#)

[Ecotoxicol Environ Saf 东农周爱民、乔坤: NMT 发现低 Cd 耐受性黑麦草吸 Cd 更强具备土壤重金属修复潜力](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer®; HMP300-XY 系列; 耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...; 品牌旭日; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

Cd²⁺、Pb²⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

预处理方式

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块

瞬时处理方式

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 根选取

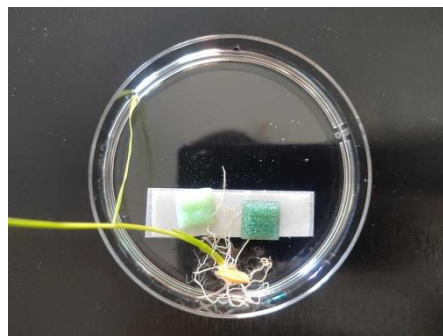
- 1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根。
- 2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致。
- 3) 优先新生根或嫩根。

检测流程

预处理

前处理

1. 将样品取出，在距离根尖 1mm 的位置横切，暴露出木质部，弃去根尖部分，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



样品固定

2. 加入测试液浸没根，静置 2 小时后检测，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

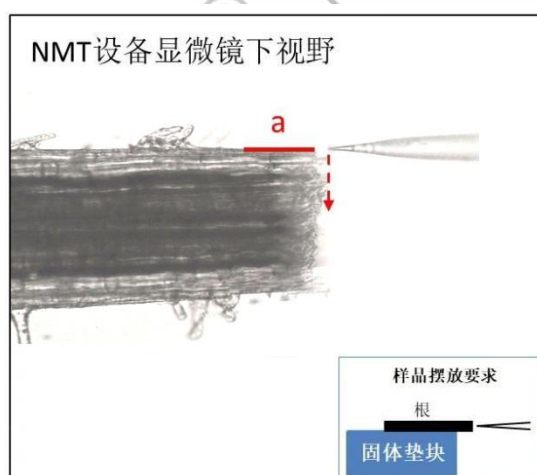
35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

检测过程

1. 将 a 边缘调清晰后，再将传感器尖端调清晰，此时传感器尖端与 a 边缘对齐，将传感器沿箭头方向移动 0.5d（d=根直径）。



2 木质部检测方法

2. 检测位点：木质部。距表皮层向心方向 0.5 倍根部直径处（d=通过中心的最大直线距离）

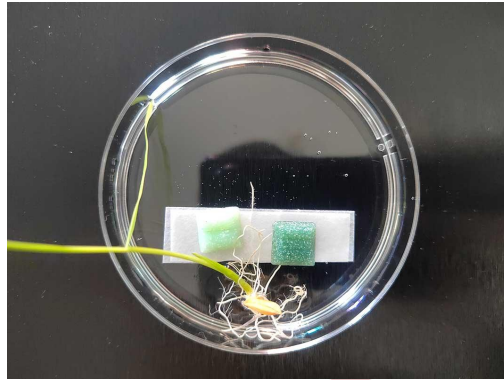
3. 检测时长：5-10 分钟

4. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根/茎符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

瞬时处理

前处理

1. 将样品取出，在距离根尖 1mm 的位置横切，暴露出木质部，弃去根尖部分，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品按压固定在直径 35mm 培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



样品固定

2. 加入 3mL 测试液浸没根，静置 2 小时。

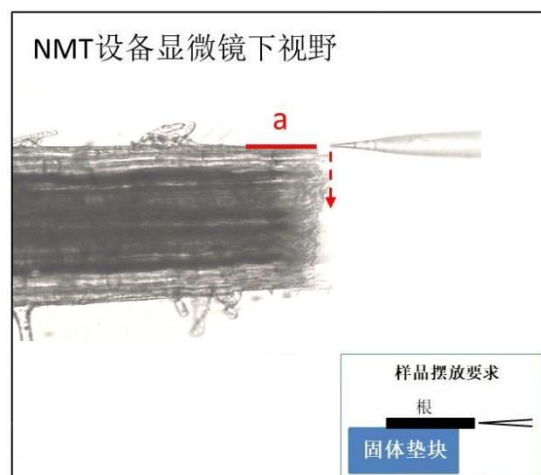
样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

检测过程

(1) 将 a 边缘调清晰后，再将传感器尖端调清晰，此时传感器尖端与 a 边缘对齐，将传感器沿箭头方向移动 $0.5d$ (d =根直径)。

(2) 先检测重金属处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 重金属处理母液后，检测处理后信号。



木质部检测方法

(3) 检测位点：木质部。距表皮层向心方向 0.5 倍根部直径处 (d =通过中心的最大直线距离)

(4) 检测时长：重金属处理前 5 分钟，重金属处理后 5~10 分钟

(5) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

预处理

指标： Cd^{2+}

测试液：0.025 mM CdCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8;

校正液：0.25 mM CdCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8

指标： Pb^{2+}

测试液：0.1 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, 0.2 mM MES, pH5.8;

校正液：1 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, 0.2 mM MES, pH5.8

瞬时处理

指标： Cd^{2+}

重金属处理母液：0.05 mM CdCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8;

测试液：0.0025 mM CdCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8;

校正液：0.025 mM CdCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8

指标：Pb²⁺

重金属处理母液：0.2 mM Pb(NO₃)₂, 0.2 mM MES, pH5.8; x=胁迫浓度; 重金属化合物与胁迫成分保持一致

测试液：0.0025 mM Pb(NO₃)₂, 0.2 mM MES, pH5.8;

校正液：0.025 mM Pb(NO₃)₂, 0.2 mM MES, pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：4 倍（根直径 $\geq 200\text{ }\mu\text{m}$ ）；10 倍（根直径 $< 200\text{ }\mu\text{m}$ ）
2. 采样规则：X-30
3. 传感器—样品表面距离：5 μm

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Hua L, Liang Z, Wei T, et al. Cadmium Tolerance Mechanism of Solanum nigrum Based on Subcellular Distribution and Organic Acid Content. Water Air Soil Pollut 233, 318 (2022). doi:10.1007/s11270-022-05803-6.
3. Xiong S, Kong X, Chen G, et al. Metallochaperone OsHIPP9 is involved in the retention of cadmium and copper in rice. Plant Cell Environ. 2023 Feb 27. doi: 10.1111/pce.14576.
4. Wang J, Zhao J, Feng S, et al. Comparison of cadmium uptake and transcriptional responses in roots reveal key transcripts from high and low-cadmium tolerance ryegrass cultivars[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020, 203:110961. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110961.



NMT
2005-2025

根表排 H^+ 速率检测/泌酸调节重金属离子转运能力检测

实验意义

探究耐重金属材料的耐性机制，是否与重金属胁迫下质膜质子泵活性强有关。质膜质子泵向细胞外、根外泌 H^+ ，形成 H^+ 电化学梯度，驱动次级转运体对各种营养物质、离子的转运。还可通过根泌 H^+ ，调节根际 pH，促进根生长。

经典案例

[PCE 西北农林学者：NMT 发现外生菌根可促灰杨吸 \$Cd^{2+}\$ 提升 \$Cd^{2+}\$ 耐受能力](#)

[北大徐福留：非损伤对蕨类耐镉机制的研究](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer[®]；HMP300-XY 系列；耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

H^+

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

棉花：1~4 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

预处理方式

对照组：

未经重金属处理的植物样品。

处理组：

重金属处理 24 小时。重金属浓度可与您课题组的其它实验胁迫浓度保持一致。

瞬时处理方式

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 根选取

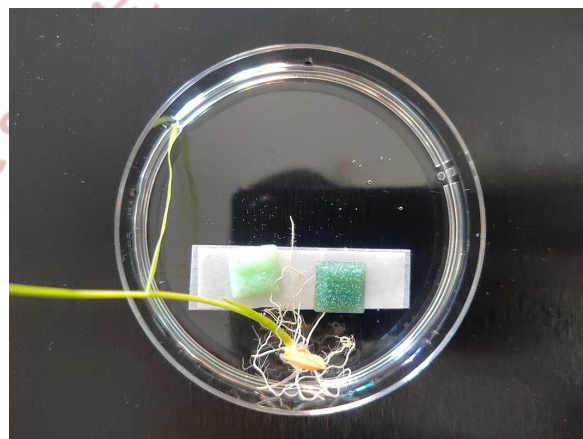
- 1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根
- 2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致
- 3) 优先新生根或嫩根

检测流程

预处理

前处理

1. 将对照组/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

2. 在对照组/处理组样品中加入相应的测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

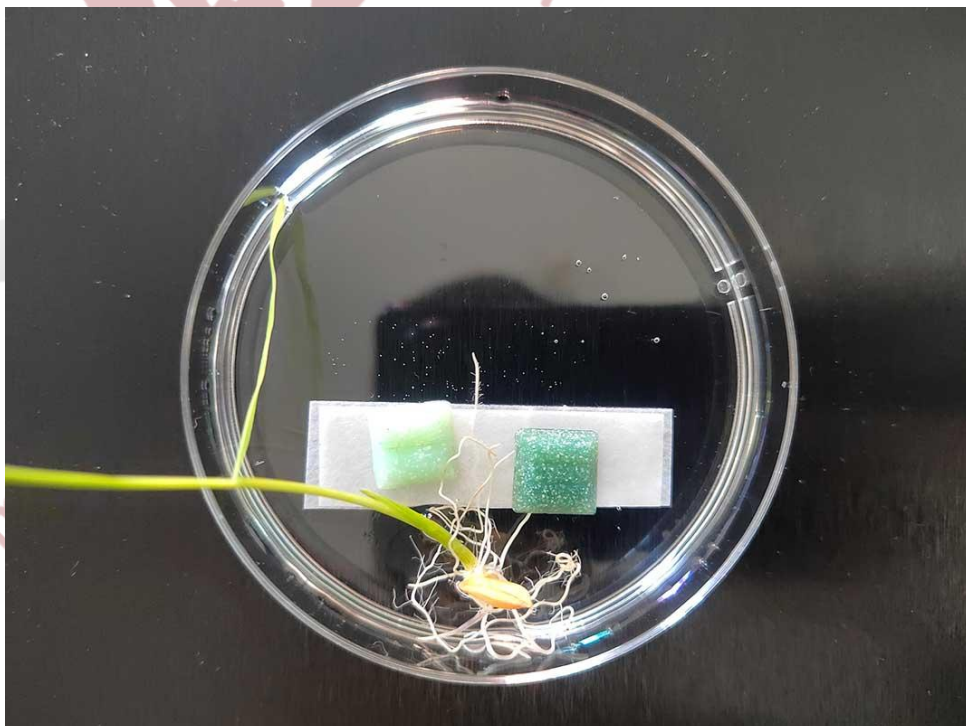
检测过程

1. 检测位点：根成熟区。距离根尖顶点 $5000\ \mu\text{m}$ 的位置
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

瞬时处理

前处理

（1）将样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在直径 35mm 培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 加入 3mL 测试液浸没根，静置 30min。

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

检测过程

(1) 先检测重金属处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 重金属处理母液后，检测处理后信号。

(2) 检测位点：根成熟区。距离根尖顶点 5000 μm 的位置

(3) 检测时长：重金属处理前 5 分钟，重金属处理后 5~10 分钟

(4) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

预处理

测试液：0.2 mM MES, pH5.8;

对照组：

处理组：x mM CdCl₂/Pb(NO₃)₂, 0.2 mM MES, pH5.8; x=胁迫浓度；重金属化合物与胁迫成分保持一致

校正液：

对照组：0.2 mM MES, pH6.8;

处理组：x mM CdCl₂/Pb(NO₃)₂, 0.2 mM MES, pH6.8;

瞬时处理

重金属处理母液：2x mM CdCl₂/Pb(NO₃)₂, 0.2 mM MES, pH6.8;

测试液：0.2 mM MES, pH5.8;

校正液：0.2 mM MES, pH6.8;

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：4 倍（根直径 $\geq 200\ \mu\text{m}$ ）；10 倍（根直径 $< 200\ \mu\text{m}$ ）
2. 采样规则：X-30
3. 传感器—样品表面距离： $5\ \mu\text{m}$

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Zhang LD, Liu X, Wei MY, et al. Ammonium has stronger Cd detoxification ability than nitrate by reducing Cd influx and increasing Cd fixation in *Solanum nigrum* L. *J Hazard Mater.* 2021 Dec 1;425:127947. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127947.
3. Liu D, Zheng K, Wang Y, et al. Harnessing an arbuscular mycorrhizal fungus to improve the adaptability of a facultative metallophytic poplar (*Populus yunnanensis*) to cadmium stress: Physiological and molecular responses. *J Hazard Mater.* 2021 Oct 12;424(Pt B):127430. doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127430.

重金属活性氧信号检测

实验意义

检测重金属胁迫下，根部 H_2O_2 的转运速率。

经典案例

[Plant Physiol 南农：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](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer®；HMP300-XY 系列；耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

H_2O_2

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

预处理方式

对照组：

未经重金属处理的植物样品。

处理组：

重金属处理 24 小时。重金属浓度可与您课题组的其它实验胁迫浓度保持一致。

瞬时处理方式

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 根选取

1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根。

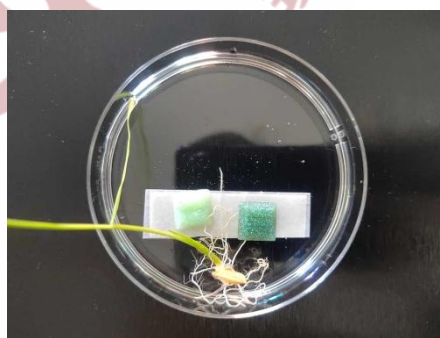
2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致

3) 优先新生根或嫩根。

检测流程

前处理

1. 将对照组/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

2. 在对照组/处理组样品中加入相应的测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

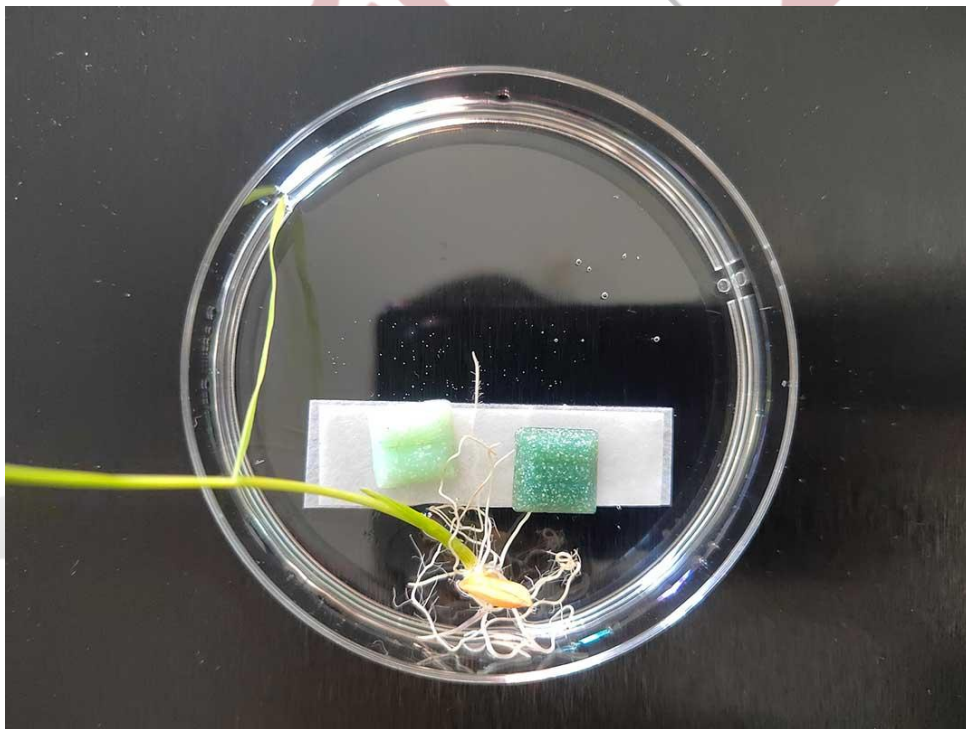
检测过程

1. 检测位点：根伸长区。距离根尖顶点 $4d$ 的位置， d =根直径
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

瞬时处理

前处理

(1) 将样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在直径 35mm 培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

- (2) 加入 3mL 测试液浸没根，静置 30min。

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

检测过程

(1) 先检测重金属处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 重金属处理母液后，检测处理后信号。

(2) 检测位点：根成熟区。距离根尖顶点 5000 μm 的位置

(3) 检测时长：重金属处理前 5 分钟，重金属处理后 5~10 分钟

(4) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

预处理

测试液：

对照组：0.0001 mM H_2O_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

处理组：0.0001 mM H_2O_2 ，x mM $\text{CdCl}_2/\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8；x=胁迫浓度；重金属化合物与胁迫成分保持一致

校正液：10 mM H_2O_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

1 mM H_2O_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

0.1 mM H_2O_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

瞬时处理

重金属处理母液：0.0001 mM H_2O_2 ，2x mM $\text{CdCl}_2/\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8；

测试液：0.0001 mM H_2O_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

校正液：10 mM H_2O_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

1 mM H_2O_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

0.1 mM H_2O_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：4 倍（根直径 $\geq 200\ \mu\text{m}$ ）；10 倍（根直径 $< 200\ \mu\text{m}$ ）
2. 采样规则：X-30
3. 传感器—样品表面距离：5 μm

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Wu Q, Huang L, Su N, et al. Calcium-Dependent Hydrogen Peroxide Mediates Hydrogen-Rich Water-Reduced Cadmium Uptake in Plant Roots. *Plant Physiol.* 2020 Jul;183(3):1331-1344. DOI: 10.1104/pp.20.00377.
3. Zhang Y, Sa G, Zhang Y, et al. Paxillus involutus-Facilitated Cd^{2+} Influx through Plasma Membrane Ca^{2+} -Permeable Channels Is Stimulated by H_2O_2 and H^+ -ATPase in Ectomycorrhizal *Populus × canescens* under Cadmium Stress, *Frontiers in Plant Science*, 2017, 7:1975. doi: 10.3389/fpls.2016.01975.

重金属胁迫 Ca²⁺失衡检测

实验意义

检测重金属胁迫下，根的 Ca²⁺实时跨膜吸收（内流）速率。揭示胁迫早期离子通道调控机制，为抗性基因表达及解毒途径激活提供关键信号传导依据。

经典案例

[浙江农科院&厦大红树特色团队一区 TOP 期刊 \(IF=12.2\) 重金属胁迫成果: 钙调控桑树镉吸收和积累的生理和分子机制](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer[®]；HMP300-XY 系列；耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

Ca²⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

预处理方式

对照组：

未经重金属处理的植物样品。

处理组：

重金属处理 ≥ 24 小时。重金属浓度可与您课题组的其它实验胁迫浓度保持一致。

瞬时处理方式

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 根选取

1) 主根或侧根均可，同一研究需保持一致，即都是主根或都是侧根。

2) 同一组内，根长、根直径、根颜色尽量一致。

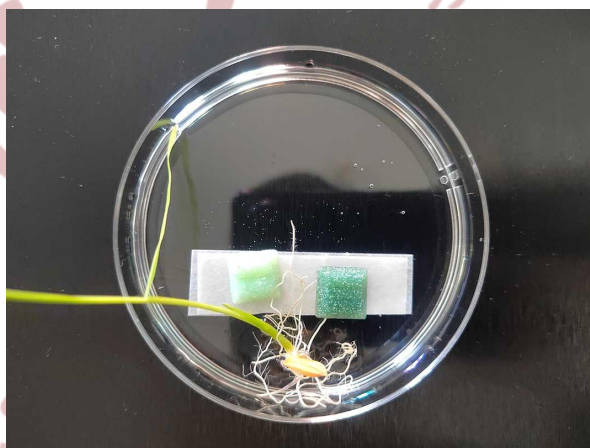
3) 优先新生根或嫩根。

检测流程

预处理

前处理

1. 将对照/处理组的样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

2. 在对照组/处理组样品中加入相应的测试液浸没根，静置 30min，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：

35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

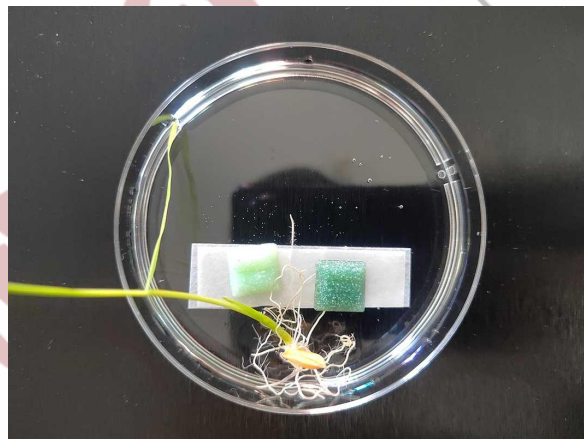
检测过程

1. 检测位点：根分生区。距离根尖顶点 2d 的位置，d=根直径
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数：n $\geq$ 8，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

瞬时处理

前处理

(1) 将样品取出，使用滤纸条和样品固定专用树脂块将样品的一条根，按压固定在直径 35mm 培养皿底部。体积较小样品，可整株置于培养皿中；如体积较大，剪取目标根并固定好。



根样品固定

(2) 加入 3mL 测试液浸没根，静置 30min。

样品前处理视频

《拟南芥根部固定》

检测过程

(1) 先检测重金属处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 重金属处理母液后，检测处理后信号。

(2) 检测位点：根分生区。距离根尖顶点 2d 的位置，d=根直径

(3) 检测时长：重金属处理前 5 分钟，重金属处理后 5~10 分钟

(4) 重复数：n≥8，即每组检测不少于 8 条根。如同一株样品有多条根符合检测要求，可在同一株上取不止 1 条根，一组内使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

预处理

测试液

对照组：0.5 mM CaCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8;

处理组：x mM CdCl_2 , 0.5 mM CaCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8; x=胁迫浓度

校正液：

对照组：5 mM CaCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8;

处理组：x mM CdCl_2 , 5 mM CaCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8; x=胁迫浓度

瞬时处理

重金属处理母液：2x mM CdCl_2 , 0.5 mM CaCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8; x=胁迫浓度

测试液：0.5 mM CaCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8;

校正液：10 mM CaCl_2 , 0.2 mM MES, pH5.8;

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：4 倍（根直径 $\geq 200\text{ }\mu\text{m}$ ）；10 倍（根直径 $< 200\text{ }\mu\text{m}$ ）
2. 采样规则：X-30
3. 传感器—样品表面距离： $5\text{ }\mu\text{m}$

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Dai MJ, Zhang LD, Li J, et al. Calcium regulates the physiological and molecular responses of *Morus alba* roots to cadmium stress. *J Hazard Mater.* 2024 Dec 5;480:136210. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.136210.
3. Yang L, Ma X, Guo Y, et al. Acetylcholine (ACh) enhances Cd tolerance through transporting ACh in vesicles and modifying Cd absorption in duckweed (*Lemna turionifera* 5511). *Environ Pollut.* 2023 Aug 12;335:122305. doi: 10.1016/j.envpol.2023.122305.

液泡排 H⁺速率检测/质子泵活性

实验意义

液泡通过区隔胞浆中的 Cd，有效降低重金属浓度，缓解毒害作用，重金属离子跨液泡膜进入液泡时，需要在液泡膜表面形成的 H⁺浓度梯度来协助，即液泡排 H⁺。

经典案例

[Plant Physiol Bioch 北京林业大学 陈少良: H₂S 通过调节胡杨细胞膜和液泡膜的 Cd²⁺转运来缓解 Cd²⁺毒害](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer[®]; HMP300-XY 系列; 耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...; 品牌旭月; 产地中国; 发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...; 软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...; 执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021; “国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

H⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

对照组

未经重金属处理的植物样品。

处理组

重金属处理 24 小时。重金属浓度可与您课题组的其它实验胁迫浓度保持一致。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 根、叶片、茎选取

状态良好且外观较为一致。

检测流程

叶片液泡提取

1. 取 10g 叶子，用锋利的刀片将叶片切成细长条状。
2. 边切边将切好的叶片放入盛有 5mL 酶解液（500 mM 甘露醇，20 mM KCl，10 mM MES，20 mM CaCl₂，0.1% BSA w/v，1.5% 纤维素酶 w/v (Cellulase R-10, Yakult)，0.4% 离析酶 w/v (Macerozyme R-10, Yakult)）的培养皿中。
3. 将培养皿放入真空泵内并施加 100 m Bar，抽真空 30 分钟。期间始终将培养皿置于黑暗中。

4. 将培养皿放入摇床中，保持黑暗，50 rpm，28℃孵育 4 小时。
5. 小心地将原生质体转移到 100 μm 尼龙网漏斗中，将释放的原生质体过滤到 10 ml 离心管中。用 3 mL 洗涤缓冲液（500mM 甘露醇，0.04% BSA w/v）清洗叶条，以收获最大数量的原生质体。最后用额外的 4 mL 洗涤缓冲液轻轻冲洗漏斗。
6. 在室温下以 100g 离心原生质体悬液 5 分钟，以沉淀原生质体。用移液器小心取出并弃除上清液。
7. 用 3 ml 洗涤缓冲液重悬沉淀。要去除原生质体酶溶液，重复步骤 6、7 一次。
8. 用适当体积的液泡储存液（600 mM 甘露醇，10 mM HEPES，pH7.0）重悬最后的沉淀。

前处理

1. 在 35mm 培养皿中滴入一滴测试液，使用镊子将固定样品玻片放置到培养皿中，并压一下玻片使其贴在皿底。
2. 吸取 100 μL 液泡悬液，滴入到 35mm 培养皿中的固定样品玻片中心处，静置 10 分钟。
3. 向培养皿中缓慢加入 4mL 测试液，再吸出弃去。
4. 再次缓慢加入 4mL 测试液，静置 10min。

样品前处理视频



扫码查看视频

检测过程

1. 检测位点：液泡表面
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 个液泡。如同一培养皿中有多个液泡符合检测要求，可在同一培养皿中上检测不止 1 个液泡。

耗材清单

测试液：

对照组：500 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH7.0

处理组：0.01 mM CdCl_2 ，/0.1mM PbNO_3 ，500 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH7.0；
x=胁迫浓度；重金属化合物与胁迫成分保持一致

校正液：

对照组：500 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH6.0

处理组：0.01 mM CdCl_2 ，/0.1mM PbNO_3 ，500 mM 甘露醇，0.2 mM HEPES，pH6.0

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：20 倍
2. 采样规则：X-10
3. 传感器—样品表面距离：2 μm

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI:10. 5281/zenodo. 8227586.

2. Liao Q, Jian SF, Song HX, et al. Balance between nitrogen use efficiency and cadmium tolerance in *Brassica napus* and *Arabidopsis thaliana*. *Plant Sci*. 2019 Jul;284:57–66. doi: 10.1016/j.plantsci.2019.04.003.



叶肉细胞吸收重金属离子速率检测

实验意义

检测重金属胁迫下，叶肉细胞实时吸收重金属离子的速率。

经典案例

[北大徐福留：非损伤对蕨类耐镉机制的研究](#)

[Chemosphere：中科院青岛生物能源与过程研究所 | 浮萍超富集 Cd 的分子机制研究](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer®；HMP300-XY 系列；耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...；品牌旭月；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

Cd^{2+} 、 Pb^{2+}

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 叶片选取

（1）根据您的研究需求，选择植株上特定位置的叶片，例如从下往上数的第 x 片叶片。部分研究可能无此要求，同一研究的叶片选取标准需保持一致。

（2）同一组内，叶龄、叶片颜色、大小尽量一致

（3）优先完整无损伤的叶片

检测流程

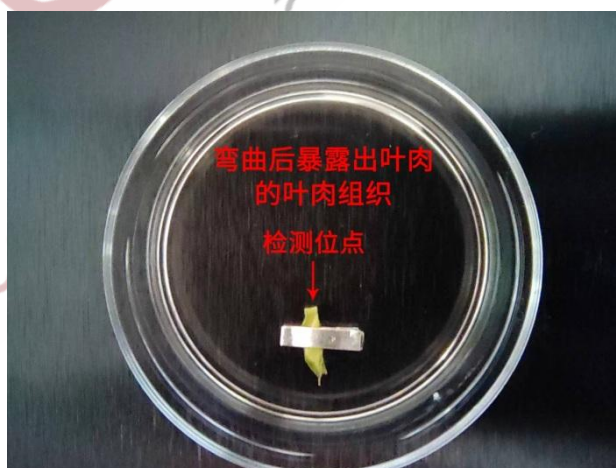
前处理

（1）从目标叶片上剪取 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 1cm*0.3cm 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 80~100 μm ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。



叶肉细胞样品固定

(3) 处理组：加入处理组测试液浸没叶片，静置 3 小时后检测。

注：在步骤 3 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

检测过程

1. 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求，可在同一株上取不止 1 片叶片，也可在同一片叶片上取不止 1 块叶片组织，一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

指标： Cd^{2+}

测试液：0.025 mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

校正液：0.25 mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8

指标： Pb^{2+}

测试液：0.25 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8；x=胁迫浓度；重金属化合物与胁迫成分保持一致

校正液：2.5 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：4 倍
2. 采样规则：X-30

3. 传感器—样品表面距离: $5\text{ }\mu\text{m}$

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Yan C, Dong K, Zhang Y, et al. *Populus euphratica* PeRAX2 interacts with the PeANN1 promoter to regulate gene expression and cadmium tolerance. *Plant Physiol Biochem.* 2025 Jun 9;227:110152. doi: 10.1016/j.plaphy.2025.110152.
3. Lan X Y , He Q S , Yang B , et al. Influence of Cd exposure on H^+ and Cd^{2+} fluxes in the leaf, stem and root of a novel aquatic hyperaccumulator – *Microsorium pteropus*[J]. *Chemosphere*, 2020, 249:126552.

叶肉细胞排重金属离子速率检测

实验意义

检测重金属胁迫下，叶肉细胞实时排出重金属离子的速率。

经典案例

[北大徐福留：非损伤对蕨类耐镉机制的研究](#)

[Chemosphere：中科院青岛生物能源与过程研究所 | 浮萍超富集 Cd 的分子机制研究](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer®；HMP300-XY 系列；耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

Cd^{2+} 、 Pb^{2+}

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4 周

水稻：1~5 周

烟草：1~3 周

杨树：4~7 周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 叶片选取

（1）根据您的研究需求，选择植株上特定位置的叶片，例如从下往上数的第 x 片叶片。部分研究可能无此要求，同一研究的叶片选取标准需保持一致。

（2）同一组内，叶龄、叶片颜色、大小尽量一致

（3）优先完整无损伤的叶片

检测流程

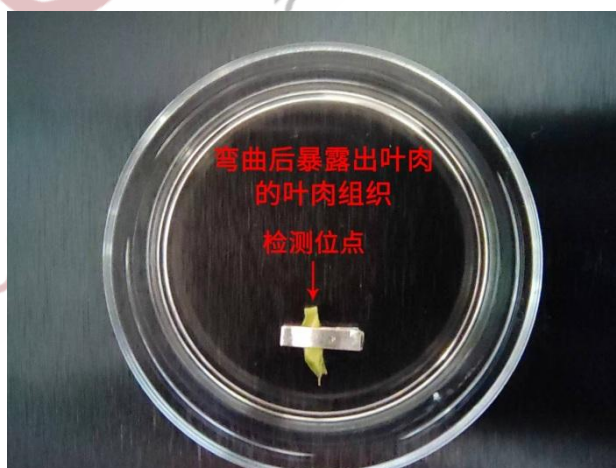
前处理

（1）从目标叶片上剪取 1cm*1cm 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 $1\text{cm} \times 0.3\text{cm}$ 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 $80 \sim 100 \mu\text{m}$ ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。



叶肉细胞样品固定

(3) 处理组：加入处理液浸没叶片，静置 3 小时，再转移至测试液中静置 30 分钟后检测。

注：在步骤 3 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

检测过程

1. 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点
2. 检测时长：5-10 分钟
3. 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求，可在同一株上取不止 1 片叶片，也可在同一片叶片上取不止 1 块叶片组织，一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

指标： Cd^{2+}

处理液：0.025mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；x=胁迫浓度；重金属化合物与胁迫成分保持一致

测试液：0.0025 mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

校正液 0.05 mM CdCl_2 ，0.2 mM MES，pH5.8；

指标： Pb^{2+}

处理液：0.1 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8；x=胁迫浓度；重金属化合物与胁迫成分保持一致

测试液：0.005 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8；

校正液 0.05 mM $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ，0.2 mM MES，pH5.8；

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数: 4 倍
2. 采样规则: X-30
3. 传感器—样品表面距离: $5\ \mu\text{m}$

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023 (01): 3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Yan C, Dong K, Zhang Y, et al. *Populus euphratica* PeRAX2 interacts with the PeANN1 promoter to regulate gene expression and cadmium tolerance. *Plant Physiol Biochem.* 2025 Jun 9;227:110152. doi: 10.1016/j.plaphy.2025.110152.
3. Lan X Y , He Q S , Yang B , et al. Influence of Cd exposure on H^+ and Cd^{2+} fluxes in the leaf, stem and root of a novel aquatic hyperaccumulator - *Microsorium pteropus*[J]. *Chemosphere*, 2020, 249:126552.

叶肉细胞排 H⁺速率检测/质子泵活性

实验意义

重金属胁迫干扰叶肉细胞的离子转运，导致钙、镁、铁等元素失衡；在此过程中，氢离子转运对调节离子失衡具有重要作用

经典案例

[北大徐福留：非损伤对蕨类耐镉机制的研究](#)

推荐实验设备

重金属阻控机制分析仪 MechLyzer[®]；HMP300-XY 系列；耗材 XY-ZJS-Cd、XY-ZJS-Pb...；品牌旭日；产地中国；发明专利 ZL200810115290.9、ZL201210462127.6...；软件著作权 2025SR0907101、2019SR0347969...；执行标准 GB/T19001-2016 / ISO9001:2015 / T/ZFL012-2021；“国际领先”科技成果评价证书号 202111ZK5478

检测指标

H⁺

样品培养

苗龄

苗龄无强制要求。该实验使用苗期样品较多，常见样品苗龄参考：

拟南芥：1~4周

水稻：1~5周

烟草：1~3周

杨树：4~7周

培养方式

水培、琼脂培养基、土培、沙培均可，推荐使用水培和琼脂培养，其次是沙培和基质较松散的土培。

样品准备

该实验分预处理和瞬时处理两种实验方式（两种实验方式的区别请参考视频），如您只选择做其中一种，请优先选择**预处理**方式。如果有条件，建议两种实验方式都做。瞬时处理方式产生的折线数据图，能较好地展示非损伤微测技术“动态实时”的优势，与预处理数据配合，可有效提升此数据结果的吸引力。



瞬时处理与预处理实验区别

预处理方式

对照组：

未经重金属处理的植物样品。

处理组：

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块

瞬时处理方式

本实验使用未经重金属处理的植物样品，样品在实验过程中进行重金属处理，详细流程参见下方“检测流程”版块。

样品选取

1. 植株选取

选取状态良好且外观形态在组内占主流的植株。

2. 叶片选取

(1) 根据您的研究需求，选择植株上特定位置的叶片，例如从下往上数的第 x 片叶片。部分研究可能无此要求，同一研究的叶片选取标准需保持一致。

(2) 同一组内，叶龄、叶片颜色、大小尽量一致

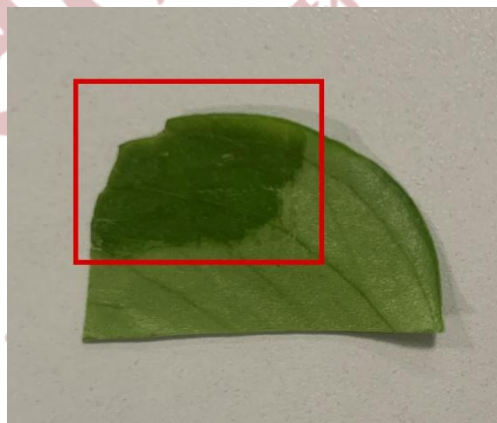
(3) 优先完整无损伤的叶片

检测流程

预处理

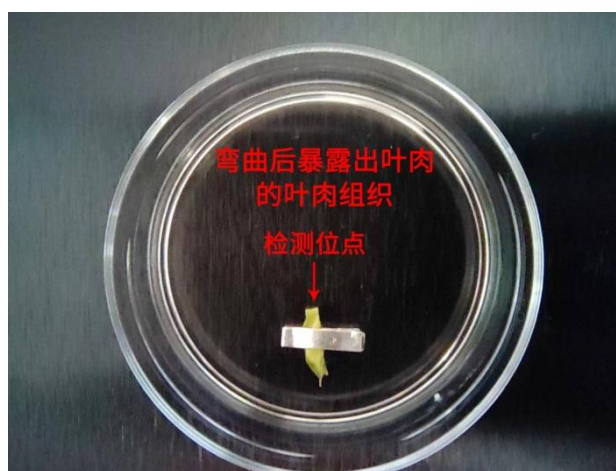
前处理

(1) 将未经重金属处理的样品分为对照组和处理组，从目标叶片上剪取 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 的叶片组织，揭去叶片组织的下表皮，暴露叶肉组织。如果叶片面积较小，直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 $1\text{cm} \times 0.3\text{cm}$ 暴露了叶肉的叶片组织，将暴露了叶肉的一面朝外，沿 1cm 的长边折叠叶片组织，并用铝箔纸条（厚度为 $80 \sim 100 \mu\text{m}$ ）夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意，对折处不要折断，保留曲面即可。



叶肉细胞样品固定

(3) 对照组：加入对照组测试液浸没叶片，静置 3 小时后检测。

(4) 处理组：加入处理组测试液浸没叶片，静置 3 小时后检测。

注：在步骤 3、4 过程中，给予同培养环境光强一致的光照，不同规格的培养皿对应加入测试液体积：35/60/90 mm 培养皿，分别对应 4/10/40 mL 测试液。

样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

检测过程

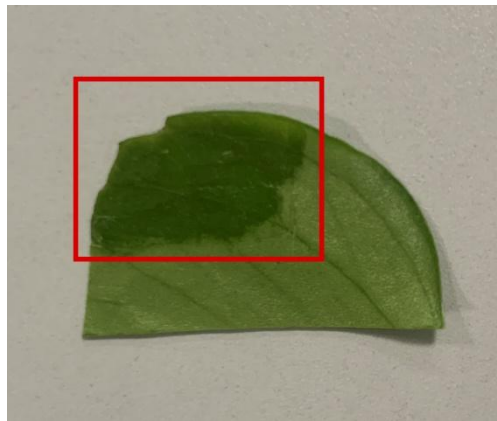
1. 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点
2. 检测时长：5-10 分钟

3. 重复数: $n \geq 8$, 即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求, 可在同一株上取不止 1 片叶片, 也可在同一叶片上取不止 1 块叶片组织, 一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

瞬时处理

前处理

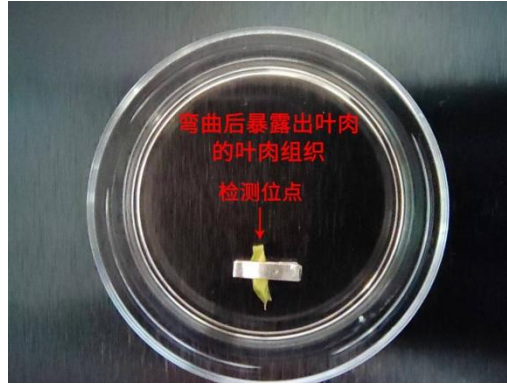
(1) 从目标叶片上剪取 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 的叶片组织, 揭去叶片组织的下表皮, 暴露叶肉组织。如果叶片面积较小, 直接用整片叶片。



叶片暴露叶肉组织

(2) 剪取 $1\text{cm} \times 0.3\text{cm}$ 暴露了叶肉的叶片组织, 将暴露了叶肉的一面朝外, 沿 1cm 的长边折叠叶片组织, 并用铝箔纸条 (厚度为 $80 \sim 100 \mu\text{m}$) 夹紧折叠好的叶片组织尾部。注意, 对折处不要折断, 保留曲面即可。





叶肉细胞样品固定

(3) 将叶肉组织放入 35mm 的培养皿中，加入 3mL 测试液浸没叶片，静置处理 3 小时，全程给予同培养环境光强一致的光照。

样品前处理视频

《叶肉细胞标准固定方法》

检测过程

(1) 先检测重金属处理前的信号，再使用 5mL 的移液枪瞬时加入 3 mL 重金属处理母液后，检测处理后信号。

(2) 检测位点：外侧弯曲面的叶肉组织上的任意一点

(3) 检测时长：重金属处理前 5 分钟，重金属处理后 5~10 分钟

(4) 重复数： $n \geq 8$ ，即每组检测不少于 8 块叶片组织。如同一株样品有多片叶片符合检测要求，可在同一株上取不止 1 片叶片，也可在同一片叶片上取不止 1 块叶片组织，一组实验使用的植株数不可少于 3 株。

耗材清单

预处理

测试液

对照组：0.2 mM MES, pH5.8;

处理组：0.025 mM CdCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8; x=胁迫浓度

校正液:

对照组：0.2 mM MES, pH6.8;

处理组：0.25 mM CdCl₂, 0.2 mM MES, pH6.8; x=胁迫浓度

瞬时处理

重金属处理母液：2x mM CdCl₂, 0.2 mM MES, pH5.8; x=胁迫浓度

测试液：0.2 mM MES, pH5.8;

校正液：0.2 mM MES, pH6.8;

点击[查看购买耗材](#)

检测参数

1. 物镜倍数：4 倍
2. 采样规则：X-30
3. 传感器—样品表面距离：5 μm

参考文献

1. 许越. 非损伤微测技术—2022[J]. NMT 通讯, 2023(01):3-9. DOI:10.5281/zenodo.8227586.
2. Yan C, Dong K, Zhang Y, et al. Populus euphratica PeRAX2 interacts with the PeANN1 promoter to regulate gene expression and cadmium tolerance. Plant Physiol Biochem. 2025 Jun 9;227:110152. doi: 10.1016/j.plaphy.2025.110152.

3. Lan X Y , He Q S , Yang B , et al. Influence of Cd exposure on H⁺ and Cd²⁺ fluxes in the leaf, stem and root of a novel aquatic hyperaccumulator – *Microsorium pteropus*[J]. Chemosphere, 2020, 249:126552.

