

# 不同水稻品种根尖吸收 $\text{NO}_3^-$ 过程中 表皮细胞膜电位变化特征\*

尹晓明 范晓荣 贾莉君 沈其荣<sup>†</sup>

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

**摘要** 越来越多的结果表明给水稻提供部分硝酸盐营养可促进水稻的氮素总吸收量并明显改善水稻的生长发育。利用微电极技术分别测定了 4 个水稻品种即农垦 57(粳稻)、泗优 917(杂粳)、扬稻 6 号(籼稻)和汕优 63(杂籼) 幼苗根尖表皮细胞在 3 种  $\text{NO}_3^-$  浓度( $0.1 \text{ mmol L}^{-1}$ 、 $1 \text{ mmol L}^{-1}$ 、 $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ) 处理过程中膜电位的变化特征。结果表明: 水稻根系吸收  $\text{NO}_3^-$  引起膜的去极化, 去极化到一定程度出现复极化。去极化程度随外界处理液中  $\text{NO}_3^-$  浓度的增加而加强,  $0.1 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NO}_3^-$  处理产生的去极化值平均为 7 mV,  $1 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NO}_3^-$  处理的平均为 11 mV,  $10 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NO}_3^-$  处理的平均为 21 mV; 就复极化来说,  $0.1 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NO}_3^-$  处理自动出现复极化,  $1 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NO}_3^-$  处理和处理  $10 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NO}_3^-$  处理只有当除去  $\text{NO}_3^-$  时才出现复极化。就单位时间膜电位变化大小而言, 扬稻 6 号对外界  $\text{NO}_3^-$  较敏感, 3 种  $\text{NO}_3^-$  浓度引起的去极化值均高于其他 3 个品种, 表现出对  $\text{NO}_3^-$  的吸收能力较强; 泗优 917 和汕优 63 表现出相似的去极化大小和相似的反应时间, 而农垦 57 对  $\text{NO}_3^-$  相对不敏感, 3 种  $\text{NO}_3^-$  浓度引起的去极化值均低于其他 3 个品种, 表现出对  $\text{NO}_3^-$  的吸收能力较弱。另外, 有部分品种的水稻根在吸收  $\text{NO}_3^-$  以后表现为膜电位先超极化后去极化。上述结果表明用根系对  $\text{NO}_3^-$  响应的细胞膜电位变化来研究水稻的硝酸盐营养是有可行性的。

**关键词** 水稻品种;  $\text{NO}_3^-$  浓度; 膜电位

中图分类号 S501 文献标识码 A

研究表明,  $\text{NO}_3^-$  对水稻吸收总氮量和水稻生长发育有明显的促进作用<sup>[1~3]</sup>, 水稻根系的泌氧作用使水稻即便是在完全淹水条件下其根系也能处于一种铵、硝混合营养之中, 因此, 研究水稻的硝营养特征也是一项十分有意义的工作<sup>[4]</sup>。研究作物吸收  $\text{NO}_3^-$  的方法有许多, 如吸收动力学方法、同位素标记法、核磁共振法等。但是, 微电极方法不同于其他方法的最大特点在于它能准确地测定完整植物活体细胞内离子活度及膜电位差, 已被普遍用于研究植物对养分子如  $\text{NO}_3^-$  的吸收及跨膜转运的机制<sup>[5]</sup>。

植物对  $\text{NO}_3^-$  的吸收是借助于高亲和系统(HATS)和低亲和系统(LATS)以  $\text{NO}_3^- / 2\text{H}^+$  共转运的形式进入细胞内的, 因此根系吸收  $\text{NO}_3^-$  必定引起膜电位的变化, 膜电位的变化反映了植物对  $\text{NO}_3^-$  的敏感程度和吸收  $\text{NO}_3^-$  能力的差异。国外对大麦<sup>[6]</sup>、玉

米<sup>[7]</sup>及浮萍<sup>[8]</sup>等植物吸收  $\text{NO}_3^-$  的研究表明, 高亲和系统(HATS)和低亲和系统(LATS)都能引起膜电位去极化, 差别在于不同的植物对  $\text{NO}_3^-$  的响应程度不同。就水稻来说, 用微电极方法研究其氮素(包括  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$ ) 的吸收利用及其膜电位的变化报道甚少, 对水稻根系吸收  $\text{NO}_3^-$  以后膜电位的变化至今国内外还没有报道。本文利用微电极(单电极)方法, 通过测定不同水稻品种在不同  $\text{NO}_3^-$  浓度下的膜电位变化, 以比较水稻品种间吸收  $\text{NO}_3^-$  能力的差异性, 为选育氮素高效吸收的水稻品种提供电生理依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

试验选取 4 个水稻品种, 分别为粳稻(农垦

\* 国家自然科学基金项目(30270790, 30390082)

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: qshen@njau.edu.cn

作者简介: 尹晓明(1970-), 女, 安徽阜阳人, 硕士, 助研, 主要从事植物营养生理方面的研究

收稿日期: 2004-03-15; 收到修改稿日期: 2004-07-02

57)、杂交粳稻(泗优917)、籼稻(扬稻6号)和杂交粳稻(汕优63)。水稻种子经3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消毒30 min, 蒸馏水洗净后放入培养箱(37℃), 出芽后转入光照培养箱在蒸馏水中生长5~6 d, 然后转移到含0.5 mmol L<sup>-1</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的营养液(国际水稻所常规营养液)中生长2周, 营养液每天更换2次。

## 1.2 微电极制作

单孔玻璃毛细管(含硼硅酸盐, 外径1.0 mm, 内径0.58 mm)由电极制作仪(PE-21型, 日本产)加工成微电极, 电极成细针状, 针头直径约0.5 μm。

## 1.3 膜电位测定

### 1.3.1 静息膜电位测定

选择健康幼嫩的根固定透明玻璃槽内, 加满缓冲液(即Basic solution)后静置10 min, 缓冲液含 Mes 5 mmol L<sup>-1</sup>, CaCl<sub>2</sub> 0.5 mmol L<sup>-1</sup>, KCl 0.05 mmol L<sup>-1</sup>, pH 5.94, 电极内注入

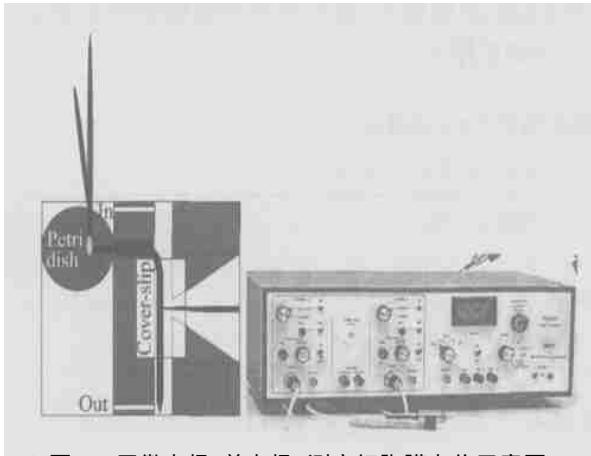


图1 用微电极(单电极)测定细胞膜电位示意图  
(示意图由 Anthony J. Miller 教授提供)

Fig. 1 Sketch of measurements of membrane potential using microelectrode (single). The sketch was provided by Dr Anthony J. Miller, at Rothamsted Research, UK in 2003

0.1 mmol L<sup>-1</sup> KCl, 接通电路, 在显微镜下借助微操纵仪轻轻地将电极垂直地插入根皮层细胞(插入部位距离根尖1~2 cm), 电极另一端连接一台电压记录仪(WPI FD223)。膜电位经信号放大仪处理后由电压记录仪记录并可在显示器上观察, 待电压走势平稳后记录电压值。每个品种分别用不同的根重复10次以上。主要操作和运行过程见图1。

### 1.3.2 不同水稻品种在不同 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度处理下的膜电位测定

当水稻根在缓冲液(Basic solution)中的静息电位平稳以后, 将槽内缓冲液用输液管分别替换为0.05 mmol L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>+ Basic solution、0.5 mmol L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>+ Basic solution、5 mmol L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>+ Basic solution, 记录膜电位的变化。每个品种每个处理浓度分别用不同的根重复3次以上。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水稻品种幼苗根在缓冲液中的膜电位

4个水稻品种在缓冲液中的膜电位值见表1。水稻根系表皮细胞膜电位平均为-68 mV, 文献报道大麦和玉米表皮细胞膜电位分别为-73 mV 和 -63 mV<sup>[6,7]</sup>, 水稻皮层细胞膜电位平均为-106 mV, 接近 Wang 等测定的数值<sup>[9]</sup>。就不同作物来说, 水稻膜电位绝对值小于大麦和玉米(见表2)。膜电位(E)即离子分布达到平衡状态时细胞膜内外的电势差, 也称 Nernst 电势。可用公式表示为(20℃时):  $E = (58/Z) \log(A_o/A_i)$ , 其中 Z 代表离子化合价, A<sub>o</sub> 和 A<sub>i</sub> 分别代表离子在细胞外和细胞内的浓度。因此, 当根系处在不同缓冲系统中时膜电位不同。表2列出了几种农作物在不同缓冲液中的膜电位数。

表1 4个水稻品种根系在缓冲液中的静息膜电位

Table 1 Resting membrane potential in roots of 4 rice cultivars in basic solution

品种 Cultivars	根部 Root	静息膜电位 <sup>1)</sup> Membrane potential (mV)	变幅 Range (mV)	测定次数 <sup>2)</sup> Number of measurements
泗优917 Siyou 917	表皮 Epidermal cells	-71±10.9	-60~ -89	12
	皮层 Cortical cells	-118±9.6	-109~ -131	12
农垦57 Nongken 57	表皮 Epidermal cells	-67±5.6	-56~ -82	17
	皮层 Cortical cells	-110±16.4	-90~ -140	15
汕优63 Shanyou 63	表皮 Epidermal cells	-62±1.8	-56~ -65	18
	皮层 Cortical cells	-113±9.8	-107~ -124	18
扬稻6号 Yangdao 6	表皮 Epidermal cells	-73±7.0	-56~ -85	18
	皮层 Cortical cells	95±6.2	-90~ -102	18

1) 平均值±标准差 Average±standard deviation; 2) 总数 Total number

表2 几种作物幼根系在不同缓冲液中的静息膜电位

Table 2 Resting Membrane potential in young roots of several crops bathed with different basic solution

作物 Crops	缓冲液 (pH= 6.0) Buffer	膜电位 Membrane potential (mV)	来源 Sources
大麦 Barley	0.2 mmol L <sup>-1</sup> CaSO <sub>4</sub>	- 225	Glass 等 <sup>[6]</sup>
玉米 Maize	0.15 mmol L <sup>-1</sup> CaCl <sub>2</sub> + 0.05 mmol L <sup>-1</sup> Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	- 153	McClure 等 <sup>[7]</sup>
	0.15 mmol L <sup>-1</sup> CaSO <sub>4</sub> + 0.05 mmol L <sup>-1</sup> Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	- 139	
水稻 Rice	Johnsons 培养液(0.2 mmol L <sup>-1</sup> Ca, 0.2 mmol L <sup>-1</sup> K, 0.2 mmol L <sup>-1</sup> P) + 0.002 mmol L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> Cl	- 116	Wang 等 <sup>[9]</sup>
	Johnsons 培养液+ 0.1 mmol L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> Cl	- 89	
	0.2 mmol L <sup>-1</sup> CaSO <sub>4</sub>	- 137	

由表2可见,不同作物静息膜电位不同,同一作物在不同缓冲液中的膜电位也不同。研究表明<sup>[10]</sup>,增加外界溶液中K<sup>+</sup>和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>浓度使膜电位绝对值减

小,增加Ca<sup>2+</sup>浓度使膜电位绝对值增大,阴离子对膜电位的影响很小,高等植物细胞膜电位主要与K<sup>+</sup>的扩散相关。

表3 4个水稻品种根对不同浓度NO<sub>3</sub><sup>-</sup>产生的去极化Table 3 Depolarization of roots in 4 rice cultivars to different NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations

品种 Cultivars	0.1 mmol L <sup>-1</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		1.0 mmol L <sup>-1</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		10 mmol L <sup>-1</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
	去极化大小 Magnitude of depolarization (mV)	变幅 Range (mV)	去极化大小 Magnitude of depolarization (mV)	变幅 Range (mV)	去极化大小 Magnitude of depolarization (mV)	变幅 Range (mV)
泗优 917 Siyou 917	4.2±1.1	3~ 6	9.8±2.4	8~ 13	20±5.2	17~ 26
农垦 57 Nongken 57	2.6±1.3	1~ 4	6.5±1.9	5~ 9	21±5.1	15~ 25
汕优 63 Shanyou 63	8.8±2.9	4~ 11	9±2.9	5~ 16	19.5±3.7	17~ 25
扬稻 6号 Yangdao 6	10.6±3.6	7~ 16	16.8±2.9	13~ 19	22.5±1.7	22~ 25

## 2.2 不同水稻品种幼苗根对不同浓度NO<sub>3</sub><sup>-</sup>响应的膜电位变化特征

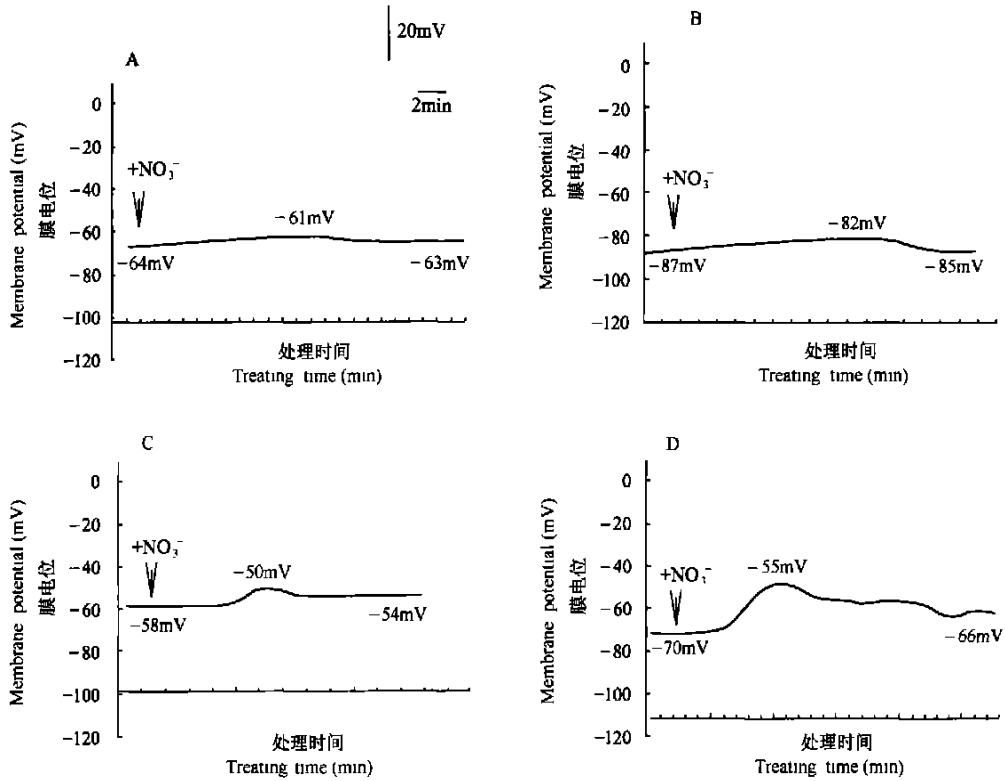
### 2.2.1 水稻根系吸收NO<sub>3</sub><sup>-</sup>以后引起膜电位的去极化和复极化

水稻根吸收NO<sub>3</sub><sup>-</sup>以后先引起膜电位的去极化,去极化到一定程度以后出现复极化,这与Glass等对大麦的研究结果一致<sup>[6]</sup>。虽然根系吸收其他离子也会影响膜电位的变化,但是,本次实验处理前与处理后溶液的离子组成和浓度大部分相同(都是Basic solution),不同的是处理液中Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>的浓度,为了消除高浓度Ca<sup>2+</sup>对膜电位的影响(0.05 mmol L<sup>-1</sup> Ca<sup>2+</sup>基本不影响膜电位<sup>[9]</sup>,0.5 mmol L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>处理液中Ca<sup>2+</sup>与Basic solution中Ca<sup>2+</sup>浓度相等),在用5 mmol L<sup>-1</sup> Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>处理根系之前,将Basic solution中Ca<sup>2+</sup>的浓度调节到5 mmol

L<sup>-1</sup>,这样处理前与处理后溶液离子组成和浓度只存在NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的差异,因此,处理后膜电位的变化可以认为是由于外界加入NO<sub>3</sub><sup>-</sup>而引起的。从膜电位变化的特点来看,膜的去极化程度随处理液中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度升高而增强。在3种NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度处理下,扬稻6号对外界NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度较敏感,膜电位的去极化数值高于其余品种,说明其对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>吸收很快,泗优917与汕优63去极化程度相似并接近于扬稻6号,而农垦57对外界NO<sub>3</sub><sup>-</sup>最不敏感,去极化现象较小,说明其对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>吸收很慢或对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>亲和力较低,吸收NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的能力也较弱。汪晓丽等所作吸收动力学的结果表明,籼稻对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的亲和力高于粳稻<sup>[11]</sup>,农垦57 K<sub>m</sub>值为0.2 mmol L<sup>-1</sup>,高于其他3个品种,这与本文对水稻根膜电位的测定结果一致。4个水稻品种幼苗

根在不同浓度 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 中膜的去极化和复极化反应见

图 2~ 图 4。



A: 农垦 57 Nongken 57; B: 泗优 917 Siyou 917; C: 汕优 63 Shanyou 63; D: 扬稻 6 号 Yangdao 6

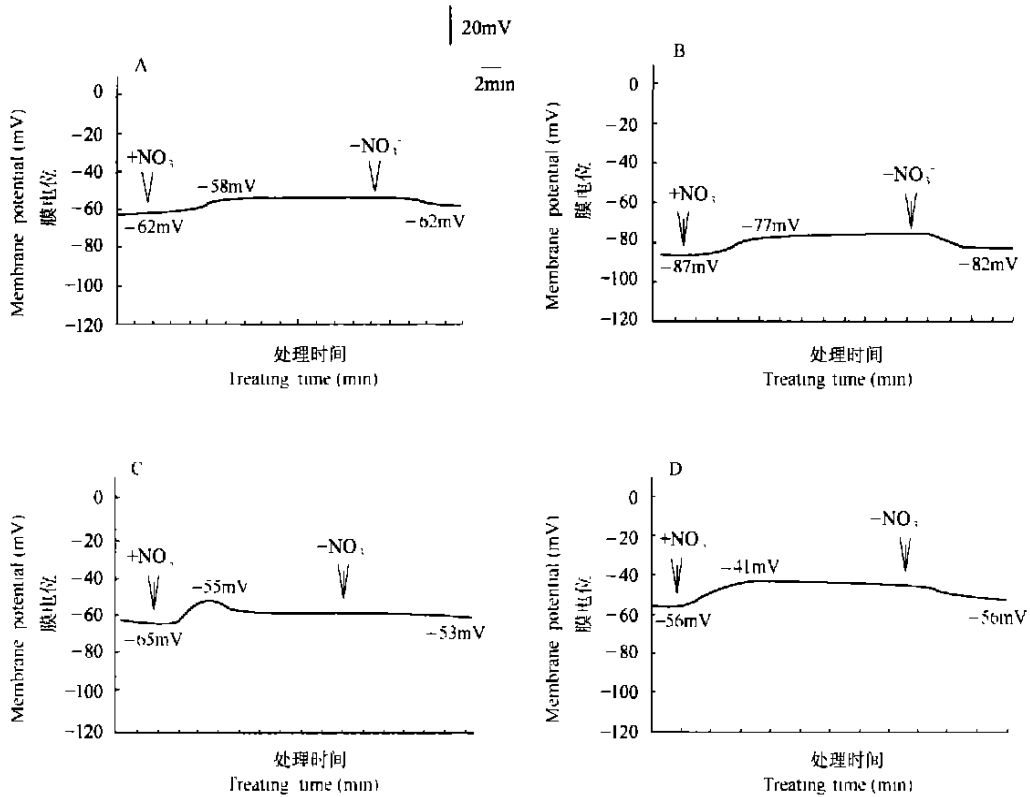
A: 农垦 57 Nongken 57; B: 泗优 917 Siyou 917; C: 汕优 63 Shanyou 63; D: 扬稻 6 号 Yangdao 6

图 2 4 个水稻品种根在 0.1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理下产生的去极化和复极化

Fig. 2 Depolarization and repolarization patterns at 0.1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in roots of four rice cultivars

水稻对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的吸收发生很快, 在加入 0.1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 后约 1min 左右就开始去极化, 去极化到一定程度后慢慢复极化(见图 2)。在供试水稻品种中, 0.1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 引起较小的去极化反应, 平均为 7mV, 但是扬稻 6 号在此浓度下即产生较强的去极化(15mV), 玉米根在 0.1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理下产生 6 mV 的去极化<sup>[7]</sup>, 但是大麦去极化程度较高, 达到 39 mV<sup>[6]</sup>; 在 1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理下, 4 个水稻品种去极化大小平均为 11 mV, 农垦 57 对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 反应较慢, 泗优 917 与汕优 63 去极化程度相似(见图 3); 在 10 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理下, 各水稻品种均产生了较强的去极化, 平均为 21 mV(见图 4), 而大麦在 10 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理下产生 47 mV 的去极化<sup>[6]</sup>。另外, 就复极化的特征来说, 1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 10 mmol L<sup>-1</sup>

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 产生的去极化到一定程度以后膜电位保持平稳, 随着处理液中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 被不断洗去以后缓慢地出现复极化, 这与 0.1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理时自动复极化的现象不同。Glass 等发现大麦的复极化现象有以下几种<sup>[6]</sup>: 一种是低浓度(如 0.1 mmol L<sup>-1</sup>) NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 引起去极化以后缓慢地自动地复极化, 这与本文用 0.1 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理水稻根系时复极化的产生现象类似; 第二种是高浓度(如 15 mmol L<sup>-1</sup>) NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 引起去极化以后快速的自动的部分复极化; 还有一种是无论低浓度还是高浓度的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 引起的去极化只有将处理液中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 洗去才出现复极化。可见, 水稻和大麦的复极化既有相似之处又各有特点, 但是复极化的产生与否以及与哪些因素有关还需进一步研究。



A: 农垦 57 Nongken 57; B: 泗优 917 Siyou 917; C: 汕优 63 Shanyou 63; D: 扬稻 6号 Yangdao 6

A: 农垦 57 Nongken 57; B: 泗优 917 Siyou 917; C: 汕优 63 Shanyou 63; D: 扬稻 6号 Yangdao 6

图 3 4 个水稻品种根在  $1 \text{ mmol L}^{-1} \text{NO}_3^-$  处理下产生的去极化和复极化

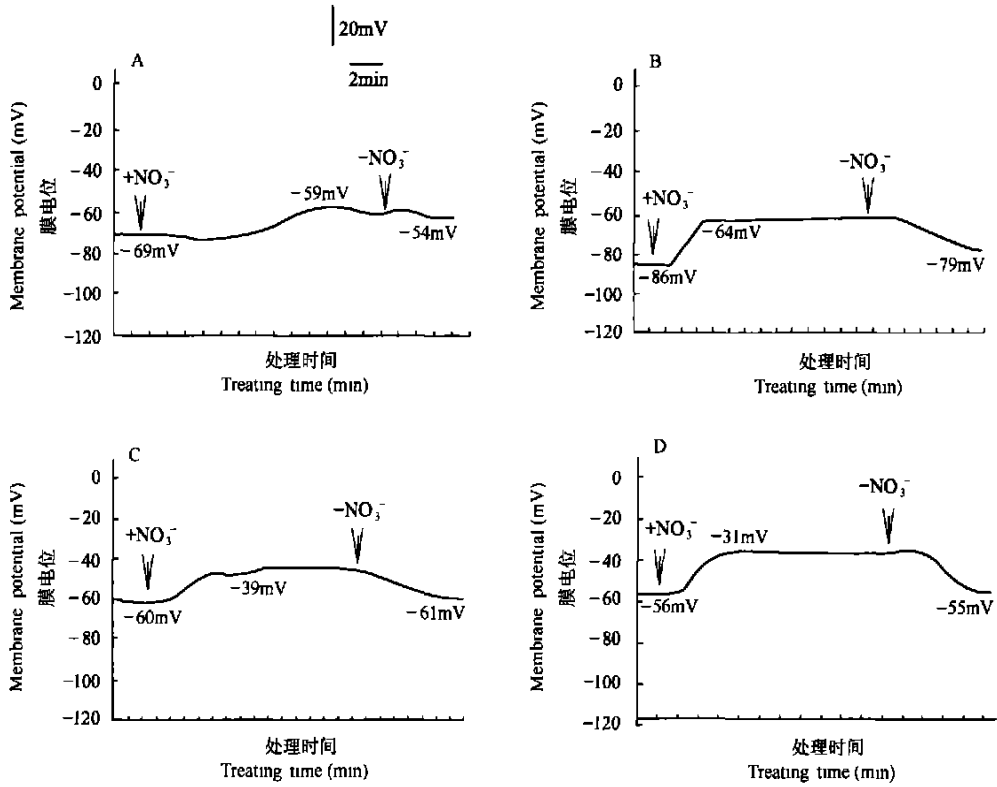
Fig. 3 Depolarization and repolarization patterns at  $1 \text{ mmol L}^{-1} \text{NO}_3^-$  in roots of four rice cultivars

从极化开始到复极化结束,这是膜电位变化的全过程。在实验中作者发现,4个水稻品种对3个浓度的 $\text{NO}_3^-$ 处理膜电位变化的全过程所需要的时间基本都在30min左右,差别在于从加入 $\text{NO}_3^-$ 处理到形成最大去极化所需要的时间不同,扬稻6号对 $\text{NO}_3^-$ 反应较快,从加入 $\text{NO}_3^-$ 到形成最大去极化大约需要5min,农垦57对 $\text{NO}_3^-$ 反应相对较慢,形成最大去极化大约需要10min,泗优917与汕优63对 $\text{NO}_3^-$ 反应近似,形成最大去极化所需要的时间分别为6min、7min。浮萍对 $\text{NO}_3^-$ 的反应膜电位变化的全过程大约需要50min<sup>[8]</sup>,而玉米对 $\text{NO}_3^-$ 的反应时间较短<sup>[7]</sup>(全过程约20min)。因此,扬稻6号在单位时间内形成较大的去极化,表明它吸收 $\text{NO}_3^-$ 较快,而农垦57在单位时间内形成较小的去极化,表明它对 $\text{NO}_3^-$ 吸收较慢。各品种对 $\text{NO}_3^-$ 的响应特征

和膜电位变化的时间进程可参见图2~图4。

### 2.2.2 水稻根系吸收 $\text{NO}_3^-$ 后产生超极化现象

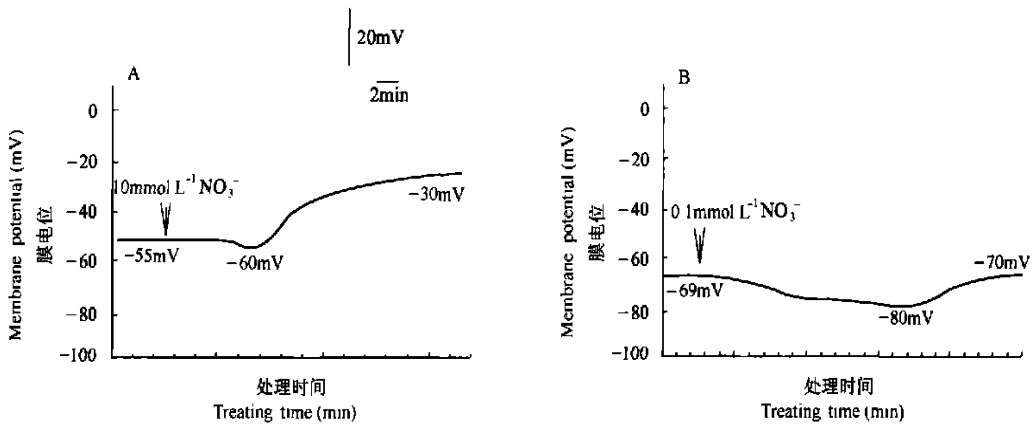
超极化即膜电位变得比极化时更负的现象。本研究发现,有部分水稻品种的部分根系吸收 $\text{NO}_3^-$ 以后先产生超极化反应,接着形成去极化。在 $0.1 \text{ mmol L}^{-1} \text{NO}_3^-$ 和 $1 \text{ mmol L}^{-1} \text{NO}_3^-$ 处理下,超极化过程缓慢,大约持20min(见图5B),在 $10 \text{ mmol L}^{-1} \text{NO}_3^-$ 处理下超极化的产生稍快,大约需要10min(见图5A),这与McClure等<sup>[7]</sup>在以玉米为材料时(实验前幼苗生长在含 $\text{NO}_3^-$ 的培养液中)膜电位先去极化然后超极化的现象不同。Thibaud等认为玉米的超极化是 $\text{NO}_3^-$ 运输蛋白在起作用<sup>[12]</sup>,而Ullrich等则认为超极化是由于质子泵的被激活<sup>[8]</sup>,但是超极化的原因及其与 $\text{NO}_3^-$ 浓度之间的关系等问题目前还不清楚。



A: 农垦 57 Nongken 57; B: 泗优 917 Siyou 917; C: 汕优 63 Shanyou 63; D: 扬稻 6 号 Yangdao 6  
 A: 农垦 57 Nongken 57; B: 泗优 917 Siyou 917; C: 汕优 63 Shanyou 63; D: 扬稻 6 号 Yangdao 6

图 4 4 个水稻品种根在 10 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 处理下产生的去极化和复极化

Fig. 4 Depolarization and repolarization patterns at 10 mmol L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in roots of four rice cultivars



A: 农垦 57 Nongken 57; B: 泗优 917 Siyou 917

A: 农垦 57 Nongken 57; B: 泗优 917 Siyou 917

图 5 水稻幼苗根系吸收 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 产生的超极化反应

Fig. 5 Hyperpolarization patterns in roots of rice seedlings treated with nitrate

2.2.3 低亲和系统(LATS)和高亲和系统(HATS)都能引起去极化 水稻幼苗膜电位的去极化程度随

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度的升高而增强,这说明低亲和系统(LATS)和高亲和系统(HATS)都能引起去极化,而且两个系

统呈现出加合效应,即高浓度  $\text{NO}_3^-$  产生的去极化效应中包含了低浓度  $\text{NO}_3^-$  产生的去极化,这与 Glass 等<sup>[6]</sup>对大麦的研究结果是一致的。

在本实验中,各水稻品种对  $0.1 \text{ mmol L}^{-1} \text{NO}_3^-$  的敏感程度不同,说明品种间对低浓度  $\text{NO}_3^-$  的亲合力不同,而对  $10 \text{ mmol L}^{-1} \text{NO}_3^-$  的处理都产生较强的去极化而且大小十分相近,这可能与 LATS 基因的表达有关<sup>[13]</sup>。

### 3 小 结

水稻幼苗根系吸收  $\text{NO}_3^-$  以后产生膜的去极化和复极化,有的还有超极化。各品种在单位时间内产生的最大去极化及从开始去极化到复极化结束所需的时间均不同,反应了品种间吸收  $\text{NO}_3^-$  能力的差异。本实验的研究结果表明,农垦 57 对  $\text{NO}_3^-$  吸收能力较弱;扬稻 6 号吸收  $\text{NO}_3^-$  能力较强,泗优 917 和汕优 63 对  $\text{NO}_3^-$  响应程度相似,两者可能有相似的  $\text{NO}_3^-$  吸收机制。

本文用微电极方法对不同水稻品种根系吸收  $\text{NO}_3^-$  膜电位变化的测定结果与吸收动力学得出的结果一致,而且膜电位更直观地反映了植物对  $\text{NO}_3^-$  吸收的生理过程,是研究不同作物吸收  $\text{NO}_3^-$  能力差异的新途径。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 张亚丽,段英华,沈其荣. 水稻对硝态氮响应的生理指标筛选. 土壤学报, 2004, 41(4): 571~ 576. Zhang Y L, Duan Y H, Shen Q R. Screening of physiological indices for response of rice to nitrate (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(4): 571~ 576
- [ 2 ] 张亚丽,董园园,沈其荣,等. 不同水稻品种对铵态氮和硝态氮吸收特性的研究. 土壤学报, 2004, 41(6): 918~ 923. Zhang Y L, Dong Y Y, Shen Q R, et al. Characteristics of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  uptake by rices of different genotypes (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(6): 918~ 923
- [ 3 ] 李华,杨肖娥,罗安程. 不同氮源与钾水平对杂交组合及常规稻生长的养分吸收的影响. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 278~ 284. Li H, Yang X E, Luo A C. Effect of nitrogen sources and potassium levels on growth and nutrient content of hybrid, its parent and conventional rice (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(3): 278~ 284
- [ 4 ] 张亚丽,沈其荣,段英华. 不同氮素营养对水稻的生理效应. 南京农业大学学报, 2004, 27(2): 130~ 135. Zhang Y L, Shen Q R, Duan Y H. Physiological effects of different nitrogen forms on rice (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 2004, 27(2): 130~ 135
- [ 5 ] Miller A J, Susan J S. Nitrate transport and compartmentation in cereal root cells. Journal of Experiment Botany, 1996, 47: 843~ 854
- [ 6 ] Glass A D M, Jon E S, Leon V K. Studies of the uptake of nitrate in barley. Plant Physiol., 1992, 99: 456~ 463
- [ 7 ] McClure P R, Kochian L V, Spanswick R M. Evidence for cotransport of nitrate and protons in maize roots. Plant Physiol., 1990, 93: 281~ 289
- [ 8 ] Ulrich W R, Novacky A. Nitrate- dependent membrane potential changes and their induction in *Lemna gibba*. Plant Sci. Lett., 1981, 22: 211~ 217
- [ 9 ] Wang M Y, Glass A D M, Shaff J E, et al. Ammonium uptake by rice roots. Plant Physiol., 1994, 104: 899~ 906
- [ 10 ] Higinbotham N, Etherton B, Foster R J. Effect of external K,  $\text{NH}_4^+$ , Na, Ca, Mg and H ions on the cell transmembrane electropotential of *Avena Coleptile*. Plant Physiol., 1964, 39: 196~ 203
- [ 11 ] 汪晓丽,封克,盛海君,等. 不同水稻基因型苗期  $\text{NO}_3^-$  吸收动力学特征及其受吸收液中  $\text{NH}_4^+$  的影响. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1 306~ 1 311. Wang X L, Feng K, Sheng H J, et al. Kinetics of nitrate uptake by different rice genotypes and the effects of ammonium on nitrate uptake at the seedling stage (In Chinese). Agricultural Science in China, 2003, 36(11): 1 306~ 1 311
- [ 12 ] Thibaud J B, Grignon C. Mechanism of nitrate uptake in corn roots. Plant Sci. Lett, 1981, 22: 279~ 289
- [ 13 ] Grawford N M, Glass A D M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. Trends in Plant Science, 1998, 3: 389~ 395

## MEMBRANE POTENTIAL CHANGES OF EPIDERMAL CELLS IN THE ROOT TIPS OF RICE CULTIVARS DURING THE UPTAKE OF NITRATE

Yin Xiaoming Fan Xiaorong Jia Lijun Shen Qirong<sup>\*</sup>

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract** More and more evidence showed that rice plant could grow better if provided in part with nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Changes of the membrane potential of epidermal cells in root tips of four rice (*Oryza Sativa* L.) cultivars, i. e., Nongken 57 (*Japonica*), Siyou 917 (Hybrid *Japonica*), Yangdao 6 (*Indica*), Shanyou 63 (Hybrid *Indica*) were monitored using micro-electrodes in different concentrations of  $\text{NO}_3^-$  (0.1 mmol L<sup>-1</sup>, 1 mmol L<sup>-1</sup> and 10 mmol L<sup>-1</sup>, respectively). The results were as follows. The absorption of  $\text{NO}_3^-$  by the roots made the membrane potential depolarized, and then repolarized. The magnitude of depolarization increased with the increasing of  $\text{NO}_3^-$  concentrations and the average depolarization were 7 mV, 11 mV and 21 mV under the concentrations of 0.1 mmol L<sup>-1</sup>  $\text{NO}_3^-$ , 1 mmol L<sup>-1</sup>  $\text{NO}_3^-$  and 10 mmol L<sup>-1</sup>  $\text{NO}_3^-$ , respectively. Repolarization appeared 20 minutes after the treatment of 0.1 mmol L<sup>-1</sup>  $\text{NO}_3^-$  while it did only after the  $\text{NO}_3^-$  was withdraw in the treatment of 1 mmol L<sup>-1</sup>  $\text{NO}_3^-$  and 10 mmol L<sup>-1</sup>  $\text{NO}_3^-$ . Among the four rice cultivars tested, Yangdao 6 was most sensitive to  $\text{NO}_3^-$  with its higher level of depolarization and less time to reach the maximum of membrane potential, while Nongken 57 was less sensitive to  $\text{NO}_3^-$  with its lower level of depolarization and more time to reach the maximum of membrane potential. Siyou 917 and Shanyou 63 exhibited the similar manner on the two aspects. This suggested that Yangdao 6 has the strongest capability to take up  $\text{NO}_3^-$  while Nongken 57 has the poorest absorption of  $\text{NO}_3^-$ . Besides, hyperpolarization followed by depolarization was found in parts of rice roots during the absorption of  $\text{NO}_3^-$ . The results obtained in this experiment implied that response of electro-potentials of cell membranes to  $\text{NO}_3^-$  could be a feasible way to the study of nitrate nutrition in rice plants.

**Key words** Rice cultivars;  $\text{NO}_3^-$  concentration; Membrane potential