

## 水稻对硝态氮响应的生理指标筛选\*

张亚丽 段英华 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** 采用温室水培试验方法, 系统评价了40个遗传特性不同的水稻品种对3种比例氮营养( $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  比例分别为100:0、50:50和0:100)的反应和对硝态氮响应的生理指标筛选。结果表明, 40个水稻品种(系)在 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  比为50:50的营养液中生长最佳, 植株总干重最高, 但各个基因型的表现差异较大。根据水稻在两种比例氮营养液(100:0和50:50)中的表现可将水稻分为3种类型: 硝高度响应型、硝中度响应型、硝不响应型。在混合氮营养液中硝高度响应型水稻地上部干重、根干重、总干重和氮积累量显著比单一铵营养液中的高。在评价不同水稻基因型对硝营养的响应时, 根干物重和氮积累量可作为筛选的主要生理指标。

**关键词** 水稻; 品种; 不同氮形态

中图分类号 S501

文献标识码 A

我国农业已进入一个作物生产和环境保护并重的多目标时期。水稻是我国种植面积最大、产量最高、氮(N)用量最多的粮食作物之一。据统计, 我国水稻种植面积约为世界的1/5, 但氮肥用量却占全球N肥用量的1/3以上, 由此产生一系列的环境问题<sup>[1]</sup>。显然水稻对N素的吸收利用效率就成了关键因素。与旱作土壤不同的是, 稻田土壤在淹水条件下硝化作用被强烈抑制, 土壤溶液中的 $\text{NH}_4^+$ 浓度会大大提高,  $\text{NH}_4^+$ 是土壤无机N的主要存在形态<sup>[2,3]</sup>。与 $\text{NO}_3^-$ 相比, 水稻的 $\text{NH}_4^+$ 营养受到了人们的重视<sup>[4]</sup>。然而越来越多的研究表明水稻的根系能吸收 $\text{NO}_3^-$ , 且叶部可还原 $\text{NO}_3^-$ <sup>[5]</sup>; N的同位素试验表明, 水稻幼苗供应 $\text{NO}_3^-$ 可提高移栽的成活率。不同品种的水稻对不同N素形态的生长反应并不相同。据杨肖娥报道<sup>[6]</sup>, 杂交水稻在生殖生长期对硝态氮吸收的能力大于常规水稻。谈建康等<sup>[7]</sup>用不同氮素形态和比例的营养液培养水稻至分蘖期(总N浓度相同), 结果表明, 当 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例为50:50时, 水稻生长最佳。其中杂交稻随着

$\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{NO}_3^--\text{N}$ 比例不同变化显著, 而武育粳的变化较小。然而水稻对不同N形态反应的生理效应并不清楚。另外, 不同水稻品种对不同形态N素的反应国际上尚缺乏系统的研究, 国内有关的研究报道也不多。本研究旨在系统评价不同水稻品种对硝态氮反应的基因型差异, 为水稻在不同N营养条件下的生理效应研究奠定坚实的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 品种选择

从主要水稻产区收集了40个具有不同生理生态特征的水稻(*Oryza sativa* L.)品种(系)(见表1), 可较系统地评价水稻对不同氮形态反应的基因型差异和筛选水稻对硝态氮响应的生理指标。

### 1.2 植株培养

试验于2002年4月至6月在南京农业大学温室实施。水稻种子经30%  $\text{H}_2\text{O}_2$  30 min 消毒, 催芽, 然后播于盛有蛭石的育苗盘, 二叶一心时移栽。每

\* 国家自然科学基金重大项目(30390080)、南京农业大学校内科研创新基金(KJ03005)资助

<sup>†</sup> 通讯作者: Tel: 025-84395212; Fax: 025-84395212; E-mail: qshen@njau.edu.cn

作者简介: 张亚丽(1971~), 副教授, 在职博士生, 主要从事植物营养研究

收稿日期: 2003-09-25; 收到修改稿日期: 2003-12-01

表 1 试验所用水稻品种

Table 1 Rice varieties used in the experiment

序号 No	品种(系) Variety	来源 Source	备注 Note	序号 No.	品种(系) Variety	来源 Source	备注 Note
1	粳杂 Jingza	IFC <sup>1)</sup>	粳杂 Hybrid Japonica	21	秋田小町 Qiutianxiaoting	IFC <sup>1)</sup>	常粳 Japonica
2	丰源 A9613 Fengyuan A9613	IFC <sup>1)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	22	黄壳子 Huangkezi	IFC <sup>1)</sup>	常粳 Japonica
3	丰源 A9614 Fengyuan A9614	IFC <sup>1)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	23	鲁香糯 Luxiangnuo	IFC <sup>1)</sup>	常粳 Japonica
4	特优 559 Teyou 559	IBH <sup>2)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	24	武育粳 3 号 Wuyujing No. 3	CANAU <sup>3)</sup>	常粳 Japonica
5	II 优 838 II you 838	IBH <sup>2)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	25	9516	CANAU <sup>3)</sup>	常粳 Japonica
6	汕优 63 Xianyou 63	IBH <sup>2)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	26	9522	CANAU <sup>3)</sup>	常粳 Japonica
7	南农 63-93 Nannong 63-93	CANAU <sup>3)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	27	9325	CANAU <sup>3)</sup>	常粳 Japonica
8	丰丝占 Fengsizhan	IRR <sup>4)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	28	武运粳 7 号 Wuyunjing No. 7	IBH <sup>2)</sup>	常粳 Japonica
9	茉莉新占 Molixinzhan	IRR <sup>4)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	29	南粳 39 Nanjing 39	IBH <sup>2)</sup>	常粳 Japonica
10	丰华占 Fenghuazhan	IRR <sup>4)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	30	9915	IBH <sup>2)</sup>	常粳 Japonica
11	丰八占 Fengbazhan	IRR <sup>4)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	31	998-1	IBH <sup>2)</sup>	常粳 Japonica
12	丰富占 1 号 Fengfuzhan No. 1	IRR <sup>4)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	32	广陵香粳 Guanglingxiangjing	CAYU <sup>5)</sup>	常粳 Japonica
13	矮秀占 Aixiuzhan	IRR <sup>4)</sup>	籼杂 Hybrid Indica	33	扬稻 4 号 Yangdao No. 4	CAYU <sup>5)</sup>	常籼 India
14	两优培九 Liangyoupeiji	CAYU <sup>5)</sup>	两系杂交 Two hybrid	34	扬稻 6 号 Yangdao No. 6	IFC <sup>1)</sup>	常籼 India
15	巴西旱稻 Baxihandao	CANAU <sup>3)</sup>	旱稻 Upland rice	35	镇稻 232 Zhendao 232	IFC <sup>1)</sup>	常籼 India
16	有芒旱稻 Youmanghandao	IFC <sup>1)</sup>	旱稻 Upland rice	36	南京 11 号 Nanjing No. 11	IFC <sup>1)</sup>	常籼 India
17	无芒旱稻 Wumanghandao	IFC <sup>1)</sup>	旱稻 Upland rice	37	矮子占 Aizizhan	IFC <sup>1)</sup>	常籼 India
18	井越旱稻 Jingyuehandao	IFC <sup>1)</sup>	旱稻 Upland rice	38	高雄籼育 Gaoxiongxianyu	IFC <sup>1)</sup>	常籼 India
19	扬州 1 号 Yangzhou No. 1	CAYU <sup>5)</sup>	旱稻 Upland rice	39	绿黄占 Luhuangzhan	IRR <sup>4)</sup>	常籼 India
20	小田代 5 号 Xiaotiandai No. 5	IFC <sup>1)</sup>	常粳 Japonica	40	茉莉占选 Molizhanxuan	IRR <sup>4)</sup>	常籼 India

1) IFC: 江苏省农业科学院粮食作物研究所 Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Science; 2) IBH: 江苏省农业科学院农业生物遗传生理研究所 Institute of Biology and Heredity, Jiangsu Academy of Agricultural Science; 3) CANAU: 南京农业大学农学院 College of Agriculture, Nanjing Agricultural University; 4) IRR: 广东省农业科学院水稻研究所 Institute of Rice Research, Guangdong Academy of Agricultural Science; 5) CAYU: 扬州大学农学院 College of Agriculture, Yangzhou University

孔 2 苗。水培试验开始时的营养液为 1/2 浓度的营养液, 三叶一心后为完全营养液。将 40 个具有不同生理生态特征的水稻品种生长在  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  比分别为 100:0、50:50 和 0:100 的营养液(国际水稻所常规营养液)中, 总 N 浓度为  $40 \text{ mg L}^{-1}$ 。营养液中  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$  的浓度保持不变。为了维持营养液中  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  的浓度和离子平衡, 每隔 2 天换一次营养液(在一开始两次更换营养液时测定了纯  $\text{NH}_4^+$  处理营养液中的  $\text{NO}_3^-$ , 结果均未检测到  $\text{NO}_3^-$  的存在, 说明每隔 2 天更换一次营养液能确保营养液中没有发生硝化过程)。所有营养液均用去离子水配制, 以避免试验误差。营养液 pH 值每天用  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  KOH 和 HCl 调至 6.0 左右。水培容器为 500 ml 的塑料杯, 上覆 1 孔塑料盖, 塑料杯和盖用遮光布包裹。随机区组设计, 3 次重复。

### 1.3 分析测定

水稻长至八叶一心时收获。整个植株分为地上部和根系, 分别测量鲜重和干重。干样经粉碎后测定全氮量。倒二叶叶绿素含量采用日产 SPAD-502 型叶绿素计测定, 所得数据进行方差分析, 并进行多重比较。

表 2 不同氮形态对水稻苗期生长的影响<sup>1)</sup>

Table 2 Effect of different nitrogen forms on growth of rice seedlings

$\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$	地上部干重	根干重	总干重	叶绿素含量 <sup>2)</sup>	分蘖数	氮含量	氮积累量
	Top DW (g pot <sup>-1</sup> )	Root DW (g pot <sup>-1</sup> )	Total DW (g pot <sup>-1</sup> )	Chll. content (%)	Tillers (plant <sup>-1</sup> )	N concentration (%)	N accumulation (mg pot <sup>-1</sup> )
100:0	1.57±0.34a	0.39±0.10b	1.96±0.42b	41.86±2.07a	2.9±0.50a	2.97±0.34a	57.91±11.90b
50:50	1.68±0.26a	0.48±0.15a	2.16±0.37a	41.87±2.19a	3.0±0.52a	2.99±0.47a	64.58±13.24a
0:100	1.27±0.19b	0.46±0.17ab	1.73±0.33c	38.31±2.74b	2.2±0.44b	2.52±0.39b	42.93±7.30c

1) 表中数据为 40 个品种的平均值, a、b 指在 5% 显著水平下的差异 Each value was the average of 40 varieties, a and b: significance at 5% level of probability; 2) SPAD 值 SPAD readings

从表 3 可看出, 水稻不同品种的地上部干重和总干重与分蘖数呈极显著正相关, 说明混合氮营养液下干重的增加主要来自于水稻分蘖数的增加。除水稻叶绿素含量外, 水稻氮积累量与其他的 6 种生长性状都呈极显著的正相关关系, 说明氮积累量的增加主要与总干重和氮含量有极密切的关系。另外, 水稻分蘖数与其氮含量、氮积累量呈显著相关关系, 说明氮吸收和积累的增加促进了分蘖的发生和生长。不同水稻品种间叶绿素含量与水稻含氮量成极显著正相关, 而与其他性状指标相关不显著。从表 3 可推断出, 植株总干重、分蘖数和植株氮积累量可作为植株生长的主要性状指标。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 N 素形态对水稻苗期生长的影响

从表 2 可看出, 不同形态 N 素对水稻生长的影响差异显著。水稻在  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  为 50:50 的营养液中生长最佳, 植株总干重最高; 其次为  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  为 100:0 的营养液培养的水稻;  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  为 0:100 的营养液培养的水稻生长较差。在混合 N 营养液中生长的水稻地上部干重、总干重、分蘖数、氮积累量较  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  为 0:100 的营养液下生长的水稻分别增加了 32%、25%、36%、19%、50%, 由于  $\text{NH}_4^+$  能够显著提高水稻体内的氮含量, 所以水稻的分蘖数增加, 从而大大提高了水稻的干重和氮的积累量。在混合 N 营养液中生长的水稻地上部干重、地下部干重、总干重、氮积累量较  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  为 100:0 的营养液下生长的水稻分别增加了 7%、23%、10%、12%, 这说明  $\text{NO}_3^-$  营养对根部生长发育有较大的促进作用, 主要表现在更多的侧根发生, 根系生长的改善进而促进了地上部分的生长, 从而导致水稻总干重和氮积累量的增加。不同品种根系生物量对硝营养存在较大的差异性。

### 2.2 水稻对硝响应的生理指标筛选

在筛选水稻对硝态氮响应的生理指标时, 依据基因型的绝对值可能会引起较大的偏差, 因而很难真实反应基因型的遗传特性。本文在对 40 个水稻品种(系)进行聚类分析时采用两种氮处理下的数据比值(即 50:50、100:0), 运用 SPSS 统计分析程序, 根据 40 个品种(系)对硝营养响应的强弱, 对地上部干重、根干重、总干重、单株分蘖数、叶绿素含量、总氮浓度、氮积累量 7 个形态和生理指标进行 Ward 最小方差聚类分析, 以欧氏距离为计算准则, 将 40 个水稻品种(系)分为三类:

表3 不同水稻品种(系)的生长相关关系

Table 3 Correlation coefficients of seven growth characteristic among the 40 varieties of rice

	地上部干重 Top DW	根干重 Root DW	总干重 Total DW	叶绿素含量 Chll. content	分蘖数 Tillers	氮浓度 N concentration
根干重 Root DW	0.4804**					
总干重 Total DW	0.9512**	0.727**				
叶绿素含量 Chll. content	0.0916	-0.0581	0.133			
分蘖数 Tillers	0.595**	0.3674**	0.594**	0.002*		
氮浓度 N concentration	0.056	-0.170	0.051	0.300**	0.212*	
氮积累量 N accumulation	0.820**	0.387**	0.778**	0.110	0.633**	0.571**

注: \* 和\*\* 分别为 5% 和 1% 显著水平 Note: \* and\*\* : significance at 5% and 1% levels of probability, respectively

第一类为硝高度响应型。籼型杂交: II 优 838; 常粳: 武运粳 7 号、998 1; 常籼: 扬稻 6 号、南京 11 号、矮子占、丰丝占、茉莉新占、丰八占、矮秀占共 10 个品种。

第二类为硝中度响应型。籼型杂交: 汕优 63、南农 63-93; 旱稻: 无芒旱稻、井越旱稻、扬州 1 号; 常粳: 秋田小町、9516、南粳 39、9915、广陵香粳; 常籼: 镇稻 232、丰富占 1 号、茉莉占选共 13 个品种。

第三类为硝不响应型。粳型杂交: 粳杂; 籼型杂交: 丰源 A9613、丰源 A9614、特优 559; 两系杂交: 两优培九; 旱稻: 巴西旱稻、有芒旱稻; 常粳: 小田代 5 号、黄壳子、鲁香糯、武育粳 3 号、9522、9325; 常籼: 扬稻 4 号、高雄籼育、绿黄占、丰华占共 17 个品种。

表 4 分析了三类水稻品种 7 个形态和生理指标

在两种比例氮营养液(100:0 和 50:50)中的表现。结果表明,硝高度响应型和硝中度响应型水稻在混合营养液中 7 个形态和生理指标均比在单一铵营养液中的高,其中硝高度响应型的水稻地上部干重、根干重、总干重和氮积累显著比在单一铵营养液中的高,其中根干重的差异极显著水平。吴平等<sup>[11]</sup>实验表明,生长在  $\text{NO}_3^-$  环境下的水稻侧根较缺  $\text{NO}_3^-$  下水稻侧根生长得好。对玉米、大麦、小麦、拟南芥的研究都表明,对这些作物局部供应  $\text{NO}_3^-$  比部分供应  $\text{NH}_4^+$  或其他 N 源更能促进侧根伸长<sup>[9~15]</sup>。从表 4 可推测,对硝反应敏感的水稻其侧根发达,进而增加了植株总干重和 N 积累量。对硝不敏感型水稻品种(系)混合营养液中 7 个形态和生理指标略比在单一铵营养液中的高,但差异不明显。

表4 三组水稻品种主要生长指标的差异

Table 4 Differences in main growth indices between three groups of rice genotypes

水稻类型 Type	$\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$	地上部干重 Top DW (g pot <sup>-1</sup> )	根干重 Root DW (g pot <sup>-1</sup> )	总干重 Total DW (g pot <sup>-1</sup> )	叶绿素含量 <sup>1)</sup> Chll. content (%)	分蘖数 Tillers (plant <sup>-1</sup> )	氮含量 Nitrogen concentration (%)	氮积累量 Nitrogen accumulation (mg pot <sup>-1</sup> )
硝高度响应 High response to $\text{NO}_3^-$	100:0 50:50	1.43±0.21b 1.69±0.22a	0.35±0.08B 0.50±0.13A	1.78±0.36b 2.19±0.30a	41.89±1.85 42.15±2.18	3.07±0.45 3.06±0.57	3.07±0.36 3.15±0.41	54.22±11.68b 68.03±12.68a
硝中度响应 Intermediate response to $\text{NO}_3^-$	100:0 50:50	1.50±0.25 1.68±0.25	0.39±0.10 0.47±0.16	1.89±0.34 2.14±0.37	42.17±1.92 41.97±1.93	2.52±0.40 3.08±0.45	3.05±0.32 2.96±0.44	57.35±11.17 63.15±12.62
硝不响应 Nonresponse to $\text{NO}_3^-$	100:0 50:50	1.68±0.31 1.69±0.25	0.42±0.10 0.47±0.14	2.11±0.39 2.15±0.34	41.61±2.21 41.63±2.29	3.05±0.44 2.79±0.47	2.82±0.30 2.84±0.47	59.34±9.63 60.32±11.48

1) SPAD 值 SPAD readings

### 3 讨论

传统观点认为水稻是喜铵作物,但值得注意的是,水稻根系能分泌  $\text{O}_2$ , 这些  $\text{O}_2$  能满足好氧微生物

的生活需要,好氧微生物可将  $\text{NH}_4^+$  氧化成  $\text{NO}_3^-$ , 在根表形成的  $\text{NO}_3^-$  立即被水稻吸收,因而通常从水稻土壤中采集的土样中较难测到  $\text{NO}_3^-$  或数量极微,但实际情况下,即便是完全淹水,水稻根系也是处于铵、硝混合营养中。Kirk<sup>[16]</sup> 建立模型来评价水稻吸

收根际发生硝化作用生成的  $\text{NO}_3^-$  数量, 由该模型可知, 在水作条件下水稻可吸收大量的  $\text{NO}_3^-$ 。而且我国目前逐渐兴起的水稻节水栽培技术使水稻根系的通气条件有了很大的改善, 在较好的通气条件下, 肥料 N 和土壤有机 N 矿化释放出的  $\text{NH}_4^+$  易被氧化成  $\text{NO}_3^-$ , 从而使水稻生长过程中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  在土壤中共存。

因此, 水稻对 N 素的吸收利用能力应该表现为对  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  综合吸收利用能力而不仅仅是其中的一种。很多报道表明: 与单一的铵态 N 或硝态 N 营养相比, 在混合 N 营养下水稻可获得更大的生物量和经济产量<sup>[5, 7]</sup>。在本实验条件下, 40 个不同基因型水稻品种(系)在不同  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  比例的三种营养液中, 其生长亦表现出相同的趋势, 即在混合 N 营养中的生长 > 完全铵营养液 > 完全硝营养液。与单一铵营养相比, 混合 N 营养显著增加了水稻干物质积累, 平均增加了 10% (表 2)。但从不同基因型的生长情况来看, 各基因型水稻对混合 N 营养的反应不尽相同, 硝高度响应的基因型根干重、总干物重增加 43%、23%, 这表明硝高度响应型水稻的总干重的增加主要来自于根干重的增加, 而次敏感型和不敏感型水稻基因型的根干重、干物重分别增加了 28%、13% 和 11%、2% (表 4)。这种对硝营养反应的品种间差异还表现在植株的氮积累量上, 在混合氮营养中 40 个水稻品种的氮积累量与单一铵营养约增加了 11%, 其中敏感型基因型水稻 N 积累量增加幅度高达 25%。在混合氮营养中 40 个水稻品种的氮积累量与单一铵营养约增加了 11%, 其中敏感型基因型水稻 N 积累量增加幅度高达 25%。因此在评价水稻基因型对硝营养的响应时, 根干物重和 N 积累量可作为主要的生理指标。

## 参考文献

- [ 1 ] Vlek P L G, Byrnes B H. The efficiency and loss of fertilizer N in lowland rice. *Fertilizer Research*, 2000, 9: 131~ 147
- [ 2 ] Arth I, Frenzel P, Conrad R. Denitrification coupled to nitrification in the rhizosphere of rice. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30: 509~ 515
- [ 3 ] Kronzucker H J, Kirk G J D, Siddiqi M Y, *et al.* Effects of hypoxia on  $^{13}\text{NH}_4^+$  flux in rice roots: Kinetics and compartmental analysis. *Plant Physiol*, 1998, 116: 581~ 587
- [ 4 ] Wang M Y, Siddiqi M Y, Ruth T J. Ammonium uptake by rice roots 2. Kinetics of  $^{13}\text{NH}_4^+$  influx across the plasmalemma. *Plant Physiol*, 1993, 103: 1 259~ 1 267
- [ 5 ] Raman D R, Spanswick R M, Walker L P. The kinetics of nitrate uptake from flowing nutrient solutions by rice: Influence of pretreatment and light. *Bioresource Technology*, 1995, 53: 125~ 132
- [ 6 ] 杨肖娥, 孙羲. 杂交稻和常规稻生育后期追施  $\text{NO}_3^-$ -N 和  $\text{NH}_4^+$ -N 的生理效应. *作物学报*, 1991, 17(4): 283~ 291. Yang X E, Sun X. Physiological effect of nitrate or ammonia top-dressing on hybrid and conventional rice varieties at the late growth stage (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 1991, 17(4): 283~ 291
- [ 7 ] 谈建康, 张亚丽, 沈其荣, 等. 不同形态氮素对水稻苗期水分利用效率及其生物效应的影响. *南京农业大学学报*, 2002, 25(3): 56~ 62. Tan J K, Zhang Y L, Shen Q R, *et al.* Effects of different  $\text{NH}_4^+$ -N /  $\text{NO}_3^-$ -N ratios on WUE and its biological characteristics of rice at early stage (In Chinese). *J. of Nanjing Agri. Uni.*, 2002, 25(3): 56~ 62
- [ 8 ] Wang X B, Wu P, Hu B, *et al.* Effect of nitrate on the growth of lateral root and nitrogen absorption in rice. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(6): 678~ 683
- [ 9 ] 何文寿, 李生秀, 李辉桃, 等. 六种作物不同生育期吸收铵、硝态氮的特性. *作物学报*, 1999, 25(2): 221~ 226. He W S, Li S X, Li H T, *et al.* Characteristics of absorbing ammonium and nitrate nitrogen of six crops during different growth stages (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(2): 221~ 226
- [ 10 ] Sattelmacher B, Thoms K. Morphology and physiology of the seminal system of young maize (*Zea mays* L.) as influenced by local nitrate supply. *Z. Pflanzenemehr. Bodenkd.*, 1995, 158: 493~ 497
- [ 11 ] Gramer M D, Lewis O A M. The influence of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  nutrition on the carbon and nitrogen partitioning characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.) maize (*Zea mays* L.) plants. *Plant and Soil*, 1993, 154: 289~ 300
- [ 12 ] Zhang H, Forde B G. Regulation of Arabidopsis root development by nitrate availability. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51 (342): 51~ 59
- [ 13 ] Zhang H, Andrea J, Barlow P W, *et al.* Dual pathways for regulation of root branching by nitrate. *Plant Biology*, 1999, 96: 6 529~ 6 534
- [ 14 ] Zhang H, Forde B G. An Arabidopsis MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture. *Science*, 1998, 279: 407~ 409
- [ 15 ] Forde B G, Lorenzo H. The nutritional control of root development. *Plant and Soil*, 2001, 232: 51~ 68
- [ 16 ] Kirk G J D. Plant-mediated processes to acquire nutrients: Nitrogen uptake by rice plants. *Plant and Soil*, 2001, 232: 129~ 134

## SCREENING OF PHYSIOLOGICAL INDICES FOR RESPONSE OF RICE TO NITRATE

Zhang Yali Duan Yinghua Shen Qirong<sup>†</sup>*(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agric. Univ., Nanjing 210095, China)*

**Abstract** Rice is one of the main crops in China and needs a lot of nitrogen fertilizer to ensure high yields. Thus, nitrogen take up and utilization efficiency by rice is an important issue in agricultural production. Due to inhibited nitrification in the bulk soil of lowland rice field, researches on nitrogen nutrition of rice mainly focus much more on ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) than on nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Much evidence has shown that rice can take up not only  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  but also  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ , but is different in capacity which varies with its genotype. The responses of rice to different nitrogen forms and their physiological effects are poorly understood. Hydroponic culture experiments were carried out to study the response of rice to different nitrogen forms ( $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  ratios of 100:0, 50:50, and 0:100). Best growth of rice plants of all genotypes tested was found in the mixed solution of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  but crops different in genotypes responded differently. Based on the rice growth in two nitrogen solutions, i. e.,  $\text{NH}_4^+ / \text{NO}_3^-$  ratios of 100:0 and 50:50, the 40 varieties of rice tested could be divided into three groups, such as high response to  $\text{NO}_3^-$ , intermediate response to  $\text{NO}_3^-$  and non-response to  $\text{NO}_3^-$ . Rice with high response to  $\text{NO}_3^-$  had much higher root dry weight and nitrogen accumulation in the mixed solution of ammonium and nitrate than in the single ammonium solution. Thus, the root dry weight and nitrogen accumulation could be used as physiological indices for screening rice of genotypes with different responses to nitrate.

**Key words** Rice; Genotype; Nitrogen form