增硝营养对不同基因型水稻苗期吸铵和生长的影响*

段英华　张亚丽　沈其荣†
(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京　210095)

摘　要　随着水稻节水栽培技术越来越得到广泛的应用与推广以及水稻在淹水条件下根际氧化圈的存在, 水稻的硝酸盐营养作用受到更大的关注。利用水培方法研究了 4 种具代表性的水稻基因型(常规籼稻、常规粳稻、杂交籼稻、杂交粳稻) 在苗期(28 d) 的铵(NH_4^+) 吸收动力学特性以及硝(NO_3^-) 对 NH_4^+ 吸收动力学特征和叶片谷氨酰胺合成酶活性(GSA) 的影响。结果表明: 增 NO_3^- 营养可以增加水稻对氮素的吸收, 提高氮素利用率, 进而促进水稻生长; 不同基因型之间 NH_4^+ 吸收速率的差异为: 杂交籼稻> 常规籼稻> 杂交粳稻> 常规粳稻; NO_3^- 的存在促进了水稻对 NH_4^+ 的吸收, 增加水稻吸收 NH_4^+ 的 V_{max}值(4 个品种平均增加 31.5%), 而对其 K_m 值影响不大(4 个品种平均增加 4.26%), 说明 NO_3^- 对 NH_4^+ 吸收的影响主要在于影响 NH_4^+ 载体的运转速率而非吸收位点与 NH_4^+ 之间的亲和性; 增 NO_3^- 营养可以增加叶片谷氨酰胺合成酶(GS) 的活性, 提高水稻同化 NH_4^+ 的能力。

关键词　水稻; NH_4^+; NO_3^-; 吸收
中图分类号　S501　　文献标识码　A

淹水条件下硝化作用被强烈抑制, 使土壤中的 NH_4^+ 浓度大大增加, NH_4^+ 成为水稻田土壤氮(N) 的主要存在形态[1, 2], 因此前人对水稻 N 营养的研究主要侧重在 NH_4^+ 营养而忽略了对 NO_3^- 营养的研究。但实际情况下, 水稻根系能分泌 O_2, 这些 O_2 能被土壤硝化微生物利用, 从而将 NH_4^+ 氧化成 NO_3^-, 在根表形成的 NO_3^- 立即被水稻吸收, 因而通常从水稻田采集的土样中较难测到 NO_3^- 或数量极微。因此, 即便是完全淹水, 水稻根系也是处于铵、硝混合营养中。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 NH_4^+ 易被氧化成 NO_3^-。因此, NO_3^- 存在时水稻对 NH_4^+ 的吸收能力就成为衡量水稻对生态环境适应能力的重要指标之一。

虽然已有报道认为, NO_3^- 的存在可促进水稻对 NH_4^+ 的根系质膜运输、胞内 NH_4^+ 积累及 NH_4^+ 代谢, 而 NH_4^+ 的存在却会抑制 NO_3^- 的吸收、胞质内 NO_3^- 积累及 NO_3^- 代谢[3, 4]。然而 NO_3^- 对水稻 NH_4^+ 吸收的动力学特征及同化的影响至今尚少有报道。本文采用水培方法研究了不同水稻基因型苗期的 NH_4^+ 吸收动力学参数以及 NO_3^- 对 NH_4^+ 吸收动力学特征和谷氨酰胺合成酶活性(GSA) 的影响, 旨在探求 NO_3^- 对不同基因型水稻吸收利用 NH_4^+ 的影响, 为合理调控土壤中 NH_4^+ 与 NO_3^- 比例、促进水稻生产提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料

实验采用 4 种不同基因型水稻(*Oryza sativa*), 分别为扬稻 6 号(常规籼稻)、武育粳 3 号(常规粳稻)、汕优 63(杂交籼稻)、86 优 8(杂交粳稻)。种子经 30% H_2O_2 30 min 消毒, 催芽, 然后播于盛有蛭石的育苗盘生长。7 d 后将幼苗移栽至 pH6.0 的 1/2 国际水稻所(IRRI) 常规营养液中[5], 总 N 浓度为 40 mg L^{-1}, 其中 NH_4^+: NO_3^- 比例分别为 100∶0、50∶50。营养液中 K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、Na^+ 的浓度保持不变。其中 Fe 用 Fe(EDTA-Na_2) 代替, 并加入硅酸钠以保持营养液中的 SiO_2 为 120 mg L^{-1}, 浓度为 5.89 g L^{-1} 的

* 国家自然科学基金项目(30390082)
† 通讯作者, E-mail: qrshen@njau.edu.cn
作者简介: 段英华(1982~), 女, 河北省任县人, 主要从事植物营养研究。Tel: 025-84395212
收稿日期: 2004-03-15; 收到修改稿日期: 2004-06-10

二氰胺作为硝化抑制剂。实验过程中, 每天用稀 HCl 和稀 NaOH 调整 pH 各一次, 自动间隙通气 2 h, 每 3 天换一次营养液。在生长至 28 d 时测定 NH_4^+ 吸收动力学参数及 NO_3^- 对其参数的影响。

1.2　植株干重及含氮量的测定

在水稻生长至 28 d 时分别采集地上部和地下部, 称取干重并将其经 H_2SO_4-H_2O_2 消化后用流动分析仪(型号为 AA3) 测定全氮含量。

1.3　水稻对 NH_4^+ 的吸收动力学实验

水稻对 NH_4^+ 的吸收动力学试验采用浓度梯度法[6]。在进行吸收实验的前 2 天, 将营养液更换为无 N 的国际水稻所常规营养液。吸收液中 NH_4^+ 浓度系列为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.4、0.6、0.8、1.0、1.5、2.0 mmol L^{-1}, K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+} 的浓度不变, 共 10 个处理, 重复 3 次。测定时取生长均匀的健壮秧苗 3 株为一个测量单位, 将其根系全部浸入 20 ml 的 NH_4^+ 系列吸收液中, 在温度(29 ±1) ℃、光照强度为 9 000 lx的条件下吸收 2 h, 对根系称重并用流动分析仪(型号为 AA3) 测定营养液中 NH_4^+ 的含量。

与此同时, 在上述 NH_4^+ 浓度系列中分别加入 0.5 mmol L^{-1} NO_3^-, 以研究 NO_3^- 对水稻吸收 NH_4^+ 的特征的影响。

根据吸收前后 NH_4^+ 浓度的变化量, 计算单位干根重在单位时间内的 N 净吸收量, 即根系对 N 的净吸收速率。采用 Michaelis-Menten 方程的 Hofstee 转换式处理数据, 求出吸收动力学参数 V_{max}(最大吸收速率) 和 K_m(表观米氏常数)。

1.4　叶片谷氨酰胺合成酶活性(GSA) 的测定

在秧苗培养至 28 d 时, 测定叶片中谷氨酰胺合成酶(GS) 的活性。叶片 GSA 的测定方法采用体外分析法[7]略有改进: 剪取材料, 加入石英砂和磷酸缓冲液, 研磨成匀浆, 用 20 000 r min^{-1}离心 20 min 后得到的上清液即酶的提取液。吸取 0.6 ml 咪唑-盐酸溶液、0.4 ml 谷氨酸钠、0.4 ml ATP-Na、0.2 ml 硫酸镁和 1.2 ml 酶粗提液。混合后在 25 ℃保温5 min, 保温结束后加入 0.2 ml 羟胺, 再在 25 ℃保温 15 min 后加 0.8 ml 三氯乙酸-三氯化铁-盐酸混合液中止反应, 用 20 000 r min^{-1}离心 10 min, 用分光光度计在 540 nm 处测吸光度。

2　结果与分析

2.1　不同基因型水稻苗期 NH_4^+ 吸收动力学特征

从图 1 可看出, 28 d 苗龄时, 4 个供试水稻基因型对 NH_4^+ 的吸收速率随 NH_4^+ 浓度的变化符合 Michaelis-Menten 方程的描述, NH_4^+ 吸收速率是: 汕优 63(杂交籼稻) > 扬稻 6 号(常规籼稻) > 86 优 8(杂交粳稻) > 武育粳 3 号(常规粳稻)。由表 3 可见, 在两种 N 营养条件下, 不同基因型水稻根系干重同样为汕优 63(杂交籼稻) > 扬稻 6 号(常规籼稻) > 86 优 8(杂交粳稻) > 武育粳 3 号(常规粳稻)。即根系生物量积累和 NH_4^+ 吸收速率以及水稻对 NH_4^+ 的吸收总量表现出较好的一致性(见表 4)。

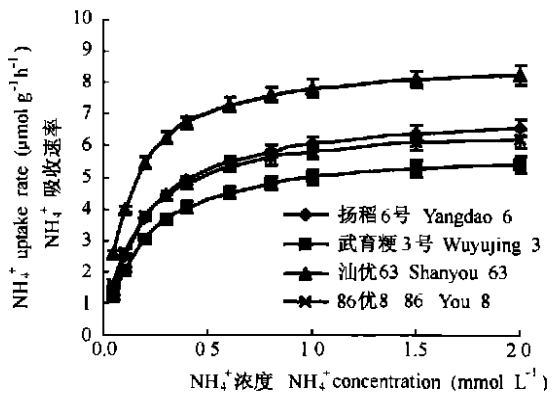


图 1　不同水稻基因型苗期(28 d 龄) 吸 NH_4^+ 特征

Fig. 1　NH_4^+ uptake by different genotypes of rice (28-day-old)

表 1 给出了 4 种不同水稻基因型 NH_4^+ 吸收的 V_{max}值和 K_m 值。这两个参数可用来表征养分离子吸收的动力学过程特点。V_{max} 表示离子吸收所能达到的最大速率, V_{max}越大, 离子吸收的内在潜力越大。K_m 的倒数表示根系吸收位点对离子的亲和力大小。K_m 越小, 亲和力越大[8]。就本试验而言, 籼稻(扬稻 6 号) 吸 NH_4^+ 的 V_{max} 值比粳稻(武育粳 3 号) 的大 20%, K_m 值比粳稻的小 5%。杂交籼稻(汕优 63) 对 NH_4^+ 吸收的 V_{max}值比杂交粳稻(86 优 8) 的大 30%, K_m 值比杂交粳稻的小 30%。另外, 汕优 63(杂交籼稻) 与扬稻 6 号(常规籼稻) 相比, 86 优 8(杂

表 1　苗期(28 d 龄) 不同基因型水稻的 NH_4^+ 吸收动力学参数

Table 1　The kinetic parameters of NH_4^+ uptake by rice of different genotypes at the seedling stage (28-day-old)

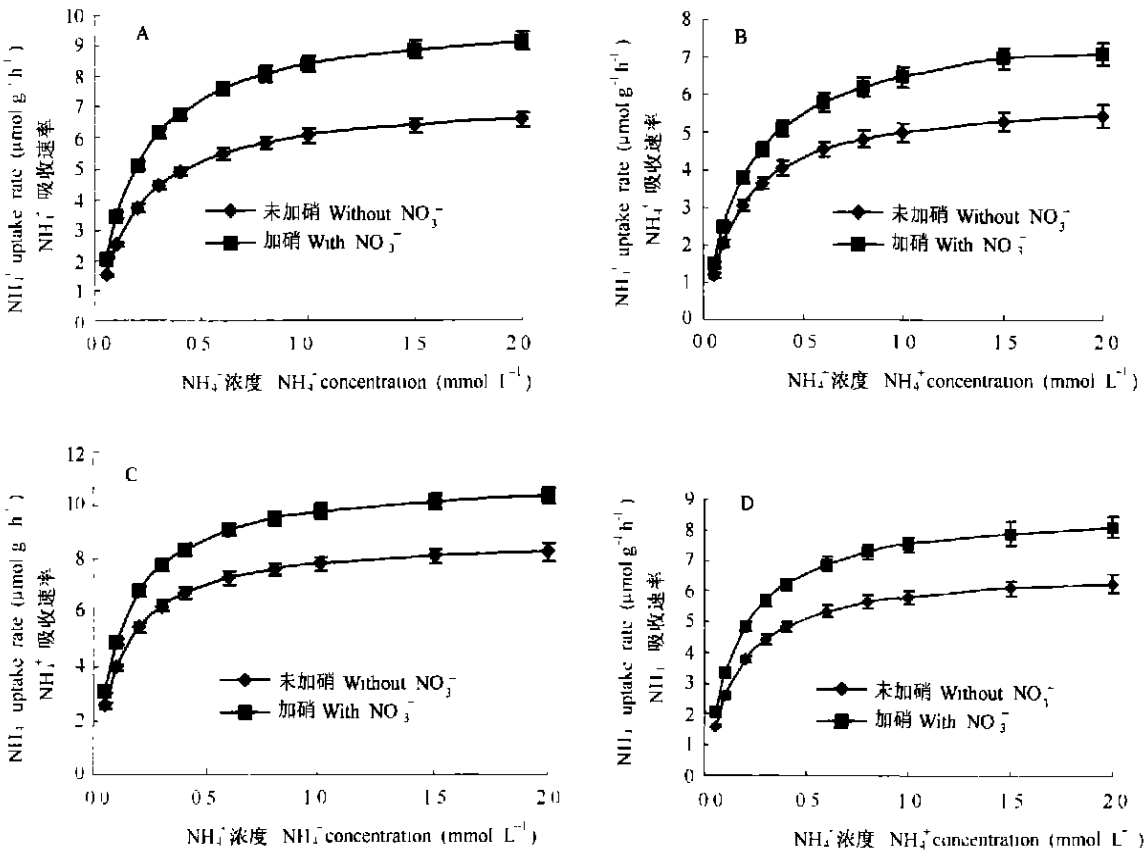
基因型 Genotype	V_{max}(μmol g^{-1} h^{-1})	K_m(mmol L^{-1})
扬稻 6 号 Yangdao 6	7.214	0.189
武育粳 3 号 Wuyujing 3	6.023	0.199
汕优 63 Shanyou 63	8.769	0.121
86 优 8 86 You 8	6.745	0.158

交粳稻) 与武育粳 3 号(常规粳稻) 相比, 前者的 V_{max} 值较大, K_m 值较小, 说明在 NH_4^+ 吸收速率方面, 很可能籼稻较之粳稻, 杂交稻较之常规稻对 NH_4^+ 具有更高的吸收速率和亲和力。

2.2 NO_3^- 对不同基因型水稻 NH_4^+ 吸收动力学的影响

在增硝营养下, 4 个供试水稻基因型的 NH_4^+ 吸收依然符合 Michaelis-Menten 方程的描述(图 2) , 且 4 个水稻基因型对 NH_4^+ 的吸收速率都有所增加, 说明 NO_3^- 的存在促进了水稻对 NH_4^+ 的吸收。NO_3^- 存在的条件下, 不同基因型的 NH_4^+ 吸收仍然是: 汕优 63 (杂交籼稻) > 扬稻 6 号(常规籼稻) > 86 优 8(杂交粳稻) > 武育粳 3 号(常规粳稻) 。

从表 2 可以看出, 各基因型水稻在增 NO_3^- 营养下吸收 NH_4^+ 的 V_{max} 增加了 26% ~ 39%, K_m 增加了 1.06% ~ 9.55%。也就是说, NO_3^- 的存在大大增加了各基因型水稻对 NH_4^+ 吸收的最大速率, 而对 NH_4^+ 离子的亲和力影响不大。总的来说, 增硝营养可促进各个基因型水稻对 NH_4^+ 的吸收, 提高 NH_4^+ 载体的运转速率, 从而增加了 NH_4^+ 向植株体内的运输, 而对吸收位点与 NH_4^+ 之间的亲和性影响不大。



A: 扬稻 6 号 Yangdao 6; B: 武育粳 3 号 Wuyujing 3; C: 汕优 63 Shanyou 63; D: 86 优 8 86 You 8

图 2 NO_3^- 对不同水稻基因型在苗期(28 d 龄) 吸收 NH_4^+ 的影响

Fig 2 The effects of NO_3^- on NH_4^+ uptake by different genotypes of rice (28-day-old)

2.3 增 NO_3^- 营养对水稻生长的影响

从表 3 可看出, 增硝营养对水稻苗期生长有显著的促进作用。与纯铵营养相比, 在增硝营养下生长的 4 个供试水稻基因型地上部干重、根系和总干物重均显著增加, 其中扬稻 6 号的增幅最大, 总干物重增幅高达 42%, 而其他 3 个水稻基因型的增幅约为 14%。由表 3 还可看出, 增硝营养对不同基因型水稻生长的影响并不相同。其生物量在两种 N 营养条件下均为: 汕优 63(杂交籼稻) > 扬稻 6 号(常规籼稻) > 86 优 8(杂交粳稻) > 武育粳 3 号(常规粳稻) 。

表 2　NO_3^- 对不同基因型水稻苗期(28 d 龄) NH_4^+ 吸收动力学参数的影响

Table 2　Effects of NO_3^- on the kinetic parameters of NH_4^+ uptake by rice at the seedling stage (28-day-old)

基因型 Genotype	加 NO_3^- 后的 NH_4^+ 吸收动力学参数 Kinetic parameters of NH_4^+ uptake with NO_3^- present		加 NO_3^- 后的 NH_4^+ 吸收动力学参数的增幅 Increments of kinetic parameters of NH_4^+ uptake with NO_3^- present	
	V_{max} ($\mu mol\ g^{-1}\ h^{-1}$)	K_m ($mmol\ L^{-1}$)	V_{max}的增加率 Increase rate of V_{max}(%)	K_m 的增加率 Increase rate of K_m(%)
扬稻 6 号 Yangdao 6	10.03	0.191	39	1.06
武育粳 3 号 Wuyujing 3	7.916	0.218	31	9.55
汕优 63 Shanyou 63	11.02	0.125	26	3.30
86 优 8 86 You 8	8.765	0.163	30	3.16

表 3　增 NO_3^- 营养对不同基因型水稻干重的影响

Table 3　Effect of partial replacement of NH_4^+ by NO_3^- on the DW of rice($g\ pot^{-1}$)

干重 DW	NH_4^+ : NO_3^-	扬稻 6 号 Yangdao 6	武育粳 3 号 Wuyujing 3	汕优 63 Shanyou 63	86 优 8 86 You 8
地上部干重 Top DW	100:0	1.65±0.09 a	1.29±0.04 a	2.60±0.07 a	1.53±0.04 a
	50:50	2.36±0.06 b	1.47±0.03 b	3.02±0.11 b	1.70±0.05 b
根干重 Root DW	100:0	0.31±0.03 a	0.24±0.01 a	0.50±0.02 a	0.27±0.01 a
	50:50	0.42±0.02 b	0.28±0.02 b	0.56±0.01 b	0.32±0.02 b
总干重 Total DW	100:0	1.96±0.13 a	1.53±0.04 a	3.10±0.09 a	1.80±0.03 a
	50:50	2.78±0.12 b	1.75±0.07 b	3.58±0.11 b	2.02±0.07 b

注: 表中数据为 3 个重复的平均值, a、b 指在 5% 显著水平下的差异 Note: Each value was the average of three replicates. a and b indicated the significant difference at 5% level of probability. DW: Dry weight

增 NO_3^- 营养可促进水稻对 N 的吸收(表 4)。与纯铵营养相比, 在增硝营养下生长的 4 个供试水稻基因型的地上部 N 积累量分别增加了 62%、35%、34%、36%; 根 N 积累量分别增加了 82%、44%、52%、51%; 总 N 积累量分别增加了 63%、36%、36%、37%; 均呈显著性差异。从表 3 和表 4 可看出, 不同基因型水稻对增 NO_3^- 营养的敏感性不同, 扬稻 6 号(常规籼稻) 的反应最为敏感, 在增 NO_3^- 营养下其生物量和氮积累量的增幅远高于其他 3 个水稻基因型。

表 4　增 NO_3^- 营养对不同基因型水稻 N 积累量的影响

Table 4　Effect of partial replacement of NH_4^+ by NO_3^- on the N accumulation of rice($mg\ pot^{-1}$)

氮积累量 N accumulation	NH_4^+ : NO_3^-	扬稻 6 号 Yangdao 6	武育粳 3 号 Wuyujing 3	汕优 63 Shanyou 63	86 优 8 86 You 8
地上部 N 积累量 Top N accumulation	100:0	57.2±5.61 a	38.6±2.24 a	93.1±2.87 a	47.3±1.99 a
	50:50	93.0±7.32 b	52.2±3.85 b	125±4.21 b	64.3±2.84 b
根 N 积累量 Root N accumulation	100:0	4.56±0.27 a	3.37±0.33 a	8.05±0.39 a	3.89±0.42 a
	50:50	8.32±0.34 b	4.84±0.71 b	12.2±1.13 b	5.86±0.51 b
总 N 积累量 Total N accumulation	100:0	61.8±6.28 a	42.0±3.29 a	101±7.71 a	51.2±2.37 a
	50:50	101±8.86 b	57.0±4.61 b	137±9.06 b	70.2±4.51 b

注: 表中数据为 3 个重复的平均值, a、b 指在 5% 显著水平下的差异 Note: Each value was the average of three replicates. a and b indicated the significant difference at 5% level of probability

2.4 不同形态氮(NH_4^+ / NO_3^-)对水稻叶片 **GSA** 的影响

图 3 表明, 纯 NH_4^+ 营养下供试水稻幼苗叶片 GSA 为 0.93~ 1.48 mmol g^{-1} min^{-1}。添加 NO_3^- 后, 供试水稻幼苗叶片 GSA 增加到了 1.04~ 1.71 mmol g^{-1} min^{-1}, 四个水稻基因型的 GSA 分别增加了 23%、11%、16%、13%。说明增硝营养可以提高各水稻基因型的 GSA, 提高水稻同化利用 NH_4^+ 的能力。不同基因型水稻的 GSA 有一定的差异, 在两种营养条件下 GSA 的大小均为: 汕优 63(杂交籼稻) > 扬稻 6 号(常规籼稻) > 86 优 8(杂交粳稻) > 武育粳 3 号(常规粳稻)。

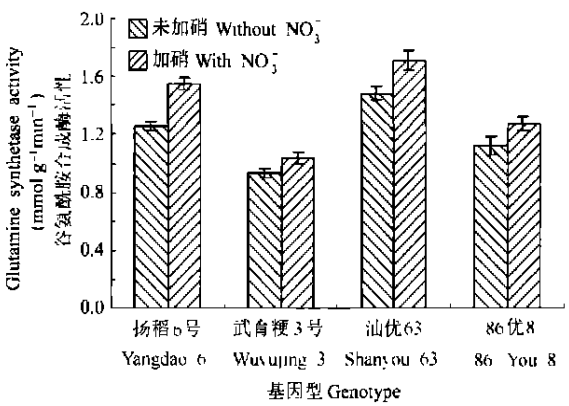


图 3 28 d 龄时不同水稻基因型的叶片 GSA

Fig. 3 Leaf GSA of different genotypes of rice (28-day-old)

3 讨 论

同种作物的不同基因型在离子吸收上往往存在较大的差别, 在小麦、大麦、玉米等作物上都已证明, K^+ 和 $H_2PO_4^-$ 等离子的吸收存在着明显的基因型差异[9,10]。试验表明, 水稻在 N 素吸收上也存在着明显的基因型差异[6,8,12]。本实验的 4 个水稻基因型中, 扬稻 6 号对 NO_3^- 最为敏感, 这与我们以前的研究结果[13]相同。就本试验而言, 籼稻与粳稻相比, 杂交籼稻与杂交粳稻相比, 前者在氮素吸收上显示出较为明显的优势。

很多报道表明, 与单一的 NH_4^+ 营养相比, 在增硝营养下水稻可获得更大的生物量和经济产量[13~15]。张亚丽等[13]研究表明, 植株干重和 N 积累量可作为植株生长的主要性状指标。从本研究结果可看出, 各基因型水稻的植株干重和 N 积累量均在增硝营养下较高, 说明增硝营养比纯铵营养更能促进水稻的生长。其主要表现在发生更多的侧根, 根系生长的改善促进了地上部分的生长, 进而使水稻总干重和氮积累量增加, 提高了氮素利用率。

本研究的结果还表明, 增硝营养可促进水稻对 NH_4^+ 的吸收, 而对 NH_4^+ 的亲和力影响不大。也就是说, NO_3^- 对 NH_4^+ 吸收的影响主要在于影响 NH_4^+ 载体的运转速率而非吸收位点与 NH_4^+ 之间的亲和性。这与前人的研究结果相一致[3,4,16]。NO_3^- 对 NH_4^+ 吸收的影响可能通过两种途径: 一是如前所述, NO_3^- 的存在促进了根系的生长; 二是植株地上部对 NO_3^- 的吸收同化促进了地下部对 NH_4^+ 的吸收利用。本研究结果表明, NO_3^- 的存在可提高 GS 的活性。自 Lea[17] 报道植物体内 95% 以上的氨同化第一步是由 GS 完成后, 相继有很多文献证明 GS 的活力是表征根系氨同化能力的较好指标[17,18]。Konzucker 等[4]对水稻进行分子水平的研究发现, 在增硝营养下, 细胞中 NH_4^+ 的内流量比单一铵营养下增加了 25%, 同时 NH_4^+ 外流量减少了一倍, 也就是说细胞对 NH_4^+ 的净吸收量增加了 50%, 但是细胞质内的 NH_4^+ 含量并无显著变化。他们认为, 只有在 NO_3^- 存在的条件下, 水稻根系前质体的谷氨酰胺合成酶/谷氨酸合酶系统(GS-GOGAT)工作活跃, 从而使吸收的 NH_4^+ 被植株快速同化利用, 进一步增加了水稻对 N 素的吸收以及向地上部的运输。在增硝营养下, 水稻对 NH_4^+ 吸收速率增加, 根系生物量增加, 根系对 N 的总吸收量增加。此外, 由于主要的氨同化酶——谷氨酰胺合成酶活性的提高, 水稻吸收的 N 能够较快地被同化利用, 从而促进各基因型水稻的生长。

参 考 文 献

[1] Arth I, Frenzel P, Conrad R. Denitrification coupled to nitrification in the rhizosphere of rice Soil. Biology and Biochemistry, 1998, 30: 509~ 515

[2] Kronzucker H J, Kirk G J D, Siddiqi M Y, *et al*. Effects of hypoxia on $^{13}NH_4^+$ flux in rice roots: Kinetics and compartmental analysis. Plant Physiol., 1998, 116: 581~ 587

[3] Kirk G J D. Plant-mediated processes to acquire nutrients: Nitrogen uptake by rice plants. Plant and Soil, 2001, 232: 129~ 134

[4] Kronzucker H J, Siddiqi M Y, Class A D M, *et al*. Nitrate-ammonium synergism in rice: A subcellular flux analysis. Plant Physiol., 1999, 119: 1 041~ 1 045

[5] 毛达如主编. 植物营养研究方法. 北京: 北京农业大学出版社, 1994. 16. Mao D R. The Methods of Plant Nutrition Research (In Chinese). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1994. 16

[6] 杨肖娥, 孙羲. 不同水稻品种 NH_4^+ 和 NO_3^- 吸收的动力学. 土壤通报, 1991, 22(5): 222~224. Yang X E, Sun X. The kinetics of ammonium and nitrate uptake by different varieties of rice (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1991, 22(5): 222~224

[7] 上海植物生理学会编. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 223~235. Plant Physiology Society of Shanghai. Handbook of Plant Physiology Experiments (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985. 223~235

[8] 封克, 汪晓丽, 陈平, 等. 不同苗期水稻 NO_3^- 吸收特点及其受 NH_4^+ 的影响. 中国农业科学, 2003, 36(3): 307~312. Feng K, Wang X L, Chen P, *et al*. Nitrate uptake of rice and effects of ammonium on nitrate uptake at different growth stage (In Chinese). Science Agriculture Sinica, 2003, 36(3): 307~312

[9] Walter J H, Mohamed A, Franz W. Differences between wheat cultivars in acquisition and utilization of phosphorous. Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde, 1996, 159(2): 155~161

[10] Wu F B, Zhang G P, Dominy P. Four barley genotypes respond differently to cadmium: Lipid peroxidation and activities of antioxidant capacity. Environmental and Experimental Botany, 2003, 50: 67~78

[11] 封克, 汤炎, 张素玲. 铵离子对不同基因型水稻吸收硝酸根离子的影响. 植物生理学通讯, 2001, 37(3): 192~193. Feng K, Tang Y, Zhang S L. Effects of ammonium on nitrate uptake by different rice genotypes (In Chinese). Plant Physiology Communications, 2001, 37(3): 192~193

[12] Yamasaki T, Seino K. Use of nitrate fertilizer for the cultivation of paddy rice. Part Ⅰ. About the physiological character of rice seedlings supplied with nitrate as sources of nitrogen. J. Sci. Soil Manure. Jpn, 1965, 36: 153~158

[13] 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. Responses of different rice varieties at the early stage to different nitrogen forms (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(4): 571~576

[14] Youngdahl L, Pacheco R, Street J, *et al*. The kinetics of ammonium and nitrate uptake by young rice plants. Plant and Soil, 1982, 69: 225~232

[15] 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): 49~52. Tan J K, Zhang Y L, Shen Q R, *et al*. Effect of different NH_4^+/NO_3^--N ratios on water use efficiency and its biological characteristics of rice at early stage (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 2002, 25(3): 49~52

[16] 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. Bioresourse Technology, 1995, 53: 125~132

[17] Lea P L. Alternative route for nitrogen in higher plants. Nature, 1974, 251: 614~616

[18] Lea P L. Nitrogen metabolism of plant. New York: Oxford University Press, 1992. 153~186

EFFECT OF NITRATE ON THE AMMONIUM UPTAKE AND GROWTH OF DIFFERENT GENOTYPES OF RICE (*ORYZA SATIVA*) AT THE SEEDLING STAGE

Duan Yinghua　Zhang Yali　Shen Qirong†

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

Abstract　Nitrate is becoming more and more important for N nutrition of rice plants since rice is now cultivated in intermittent irrigation or even in aerobic soil condition. Moreover, the rhizosphere of rice roots is actually in partial oxidized status due to the released oxygen by rice roots. Solution culture experiments were carried out to study the effect of NO_3^- on the NH_4^+ uptake kinetics of rice roots and the glutamine synthetase activity (GSA) in leaves of four typical rice genotypes (Conventional *Indica*, Conventional *Japonica*, Hybrid *Indica*, Hybrid *Japonica*) at the seedling stage (28-day-old). The results obtained were as follows. Partial replacement of NH_4^+ by NO_3^- could improve the growth and N uptake of rice. The rate of NH_4^+ uptake by different genotypes was in following order: Hybrid *Indica* > Conventional *Indica* > Hybrid *Japonica* > Conventional *Japonica*. The presence of NO_3^- could increase the NH_4^+ uptake of rice. This increase was mainly attributed to a significantly increased V_{max} (31.5% on average of the four genotypes) in the treatment with NO_3^- while the K_m values for NH_4^+ (the increased percentage being 4.26% on average of the four genotypes) were not significantly affected by the addition of NO_3^-. NO_3^- could also increase the GSA in the leaves of rice, and thus, the assimilation of NH_4^+ were improved.

Key words　Rice; Ammonium; Nitrate; Uptake