

水稻根系生长对不同氮形态响应的动态变化^①赵学强^{1,2}, 施卫明^{1*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 (中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 土壤养分供应变异很大, 植物根系生长对这种养分变异的响应非常敏感。为了探索水稻根系生长对 N 素供应响应的动态变化规律以及这种适应性变化与水稻 N 效率之间的关系, 采用水培方法, 以两个苗期不同 N 效率水稻品种桂单 4 号和南光为研究材料, 比较了不同铵硝比、不同浓度 NH_4^+ 、不同浓度 NO_3^- 和不同浓度 NH_4NO_3 对水稻根系构型参数的影响。结果表明: NH_4^+ 和 NH_4NO_3 供应显著降低了总根长、总根表面积和总根体积, 且有增加平均根直径的趋势; 而 NO_3^- 供应在 0~1 mmol/L 浓度范围内, 增加了总根长、总根表面积和总根体积, 降低了平均根直径, 但当 NO_3^- 供应超过 1 mmol/L 后, NO_3^- 却有降低总根长、总根表面积和总根体积的趋势, 对平均根直径没有明显影响。苗期 N 高效基因型桂单 4 号总根长和总根表面积在各种 N 素营养条件下均显著高于 N 低效基因型南光。上述结果表明, NH_4^+ 和 NH_4NO_3 都抑制了水稻根系生长, 而 NO_3^- 为低浓度诱导、高浓度抑制根系生长, 根长和根表面积, 对提高水稻 N 效率贡献较大。

关键词: NH_4^+ ; NO_3^- ; 根系; 水稻; 基因型

中图分类号: S501

植物有效获得土壤养分的能力很大程度上取决于其根构型^[1]。土壤中养分变异很大, 植物能够靠调控本身根系生长来适应土壤养分分布的不均一性。这方面最为典型的例子是局部供应 NO_3^- 能够诱导很多植物侧根的生长, 如水稻^[2-4]、拟南芥^[5-7]、小麦^[8]、大麦^[9]和玉米^[10-12]等。这些研究的结果大都集中在两方面, 一是证明了局部供应 NO_3^- 能够诱导植物侧根生长; 二是对这种现象的机理进行了探讨。

虽然有关 NO_3^- 对植物的根系生长影响已经进行了很多研究, 但是稻田由于其特殊的淹水厌氧条件, NH_4^+ 成为水稻无机 N 源的主要形式^[13-14]; 另外, 水稻根际由于硝化作用, 实际情况其根系可能是处于铵硝混合营养中^[15-19]。因此, 针对这种“以铵为主、铵硝共存”的根系 N 素营养环境, 系统地研究 NH_4^+ 、 NO_3^- 和铵硝混合对水稻根系生长的影响显得尤为重要。以前有关铵对植物生长影响的研究主要集中在高浓度 NH_4^+ 毒害方面, 如 NH_4^+ 毒害引起生长减缓、产量降低以及 NH_4^+ 毒害的生理生化机制^[20-21]。

植物的根系生长发育除了受周围环境因素的影响外, 还受遗传因素决定^[5]。在水稻^[2,4]和玉米^[12]上的研究表明, 植物根系生长对 NO_3^- 的响应存在基因型差

异。挖掘植物本身的遗传潜力, 选育具有优良根系的作物品种, 对提高养分效率和减少环境污染具有重要意义。由于基肥在我国农民施肥习惯中所占比例较大, 但是水稻苗期根系却不发达, 对养分吸收能力差。根系构型差异可能是水稻苗期 N 效率差异的原因之一。因此, 在本项研究中, 选择了两个苗期 N 效率不同的水稻品种作为研究材料。

本项研究就是在以上研究背景下开展进行的。以两个苗期不同 N 效率的水稻品种为材料, 通过水培试验, 研究不同浓度 NH_4^+ 、 NO_3^- 和二者混合对水稻根系生长发育影响的动态变化规律以及基因型差异。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验采用两个苗期不同 N 效率水稻品种桂单 4 号和南光。这两个品种是首先对 199 个不同来源的粳稻品种初步筛选, 得到了不同 N 效率水稻品种 10 个, 进而在苗期根据吸 N 量和对 N 的响应差异, 从这 10 个品种中选出了两个苗期不同 N 效率水稻品种即桂单 4 号和南光。桂单 4 号在苗期具有较高的吸 N 量和 N 响应, 而南光在苗期吸 N 量和 N 响应较低。

①基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (30390083) 资助。

* 通讯作者 (wmshi@issas.ac.cn)

作者简介: 赵学强 (1977—), 男, 河南汤阴人, 博士研究生, 主要从事植物营养分子生理研究。E-mail: xqzhao@issas.ac.cn

1.2 试验方法

挑选均一水稻种子经 100 ml/L H_2O_2 浸泡表面消毒 30 min 后, 37 °C 黑暗下用蒸馏水浸种 24 h 后催芽 2~3 天, 然后挑选发芽大小一致的种子, 转移到 50 ml 外部涂黑离心管内的纱网上, 培养 2 天后去掉纱网, 用干净海绵包裹水稻地上部继续在离心管培养 7 天, 每个离心管一株水稻。离心管内盛放木村 B 培养液^[22], pH 值 5.5, 除 N 外, 其他元素同木村 B 培养液。另外, 在含有 NH_4^+ 培养液中加入硝化抑制剂二氰胺 5.89 mg/L, 以防止 NH_4^+ 的硝化。每天更换营养液 1 次, 以维持营养液中离子的浓度。植物生长室条件: 温度为 $(25 \pm 2)^\circ C$, 相对湿度为 75%, 光强为 300 μmol photon/($m \cdot s$), 昼夜循环为光 14 h / 黑暗 10 h。

1.3 N 供应浓度和形态

①不同铵硝比试验。采用 100 : 0 (0.5 mmol/L $(NH_4)_2SO_4$), 50 : 50 (0.5 mmol/L NH_4NO_3), 0 : 100 (0.5 mmol/L $Ca(NO_3)_2$) 的铵硝比例; ②不同 NH_4^+ 水平试验。 NH_4^+ 浓度系列为 0、0.5、1、2、4、8、10 mmol/L, NH_4^+ 采用 $(NH_4)_2SO_4$; ③不同 NO_3^- 水平试验。 NO_3^- 浓度系列为 0、0.5、1、2、4、8、10 mmol/L, NO_3^- 采用 $Ca(NO_3)_2$; ④不同 NH_4NO_3 水平试验。 NH_4NO_3 浓度系列为 0、0.1、0.2、0.5、1、1.5、2 mmol/L。

每个处理重复 5 次。

1.4 根系生长参数的测定分析

将苗龄 10 天左右 (3 叶期) 的幼苗收获, 用于根系各个生长参数的测定分析。根系参数的测定分析采用 WinRHIZO 根系分析系统 (加拿大 Regent 公司, <http://www.regentinstruments.com/>), 测定参数包括总根长、总根表面积、总根体积和平均根直径。

1.5 数据统计分析

所有数据采用 Excel 2003 处理分析, 平均值的差异显著性检验使用统计软件 SPSS 11.5 按照邓肯多重比较法检测。

2 结果与分析

2.1 不同铵硝比对水稻根系生长的影响

表 1 结果表明, 单一 NH_4^+ 营养和铵硝混合营养下水稻总根长、总根表面积和总根体积都显著低于单一 NO_3^- 营养, 单一 NH_4^+ 营养和铵硝混合营养之间没有显著差异; N 高效水稻基因型桂单 4 号总根长和总根表面积均显著高于 N 低效基因型南光, 其他根系参数在两个品种之间差异不显著; 平均根直径在不同铵硝比营养之间及品种之间没有显著差异。另外, 从表 1 括号中相对值的变化看, 两个品种之间没有差异。

表 1 不同铵硝比对水稻根系生长的影响

Table 1 Effects of $NH_4^+ : NO_3^-$ ratio on root growth of two rice plants different in genotype

水稻品种	$NH_4^+ : NO_3^-$	总根长 (cm)	总根表面积 (cm^2)	总根体积 (mm^3)	平均根直径 (μm)
桂单 4 号	100 : 0	152 b (100)	11.4 bc (100)	70 bc (100)	243 c (100)
	50 : 50	151 b (99)	12.4 b (109)	83 ab (119)	250 c (103)
	0 : 100	202 a (133)	16.7 a (146)	97 a (138)	263 bc (108)
南光	100 : 0	102 c (100)	8.8 d (100)	67 c (100)	294 a (100)
	50 : 50	117 c (115)	9.8 cd (111)	67 c (100)	269 abc (92)
	0 : 100	147 b (144)	12.7 b (145)	90 a (135)	278 ab (95)

注: 表中数据为 5 个重复的平均值, 同一列不同字母表示在 $p < 0.05$ 显著水平下的差异; 括号中的数值为把纯铵当作 100 的相对值。

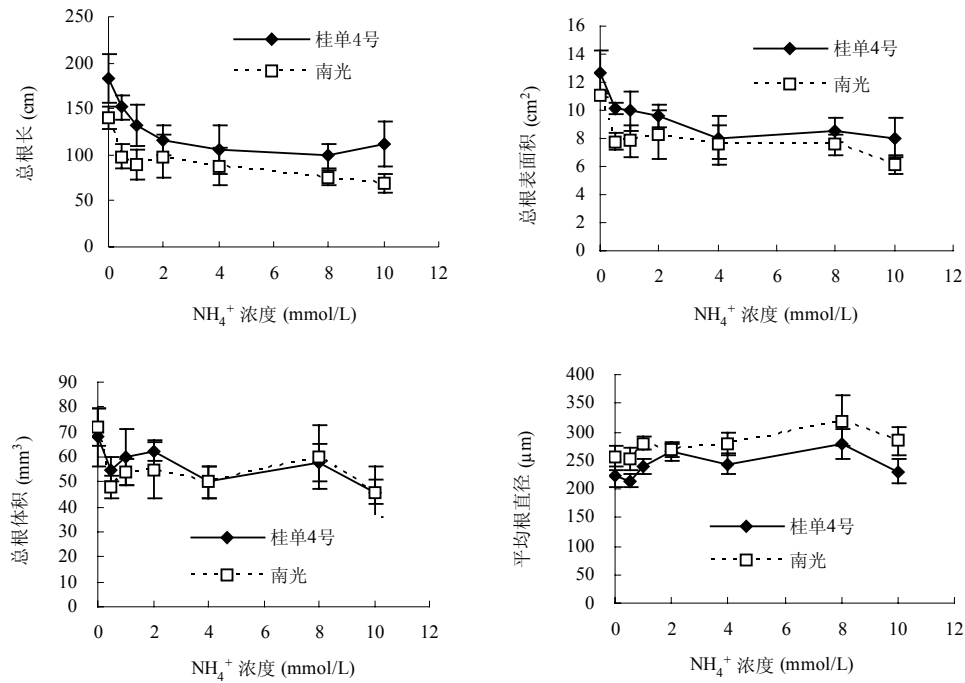
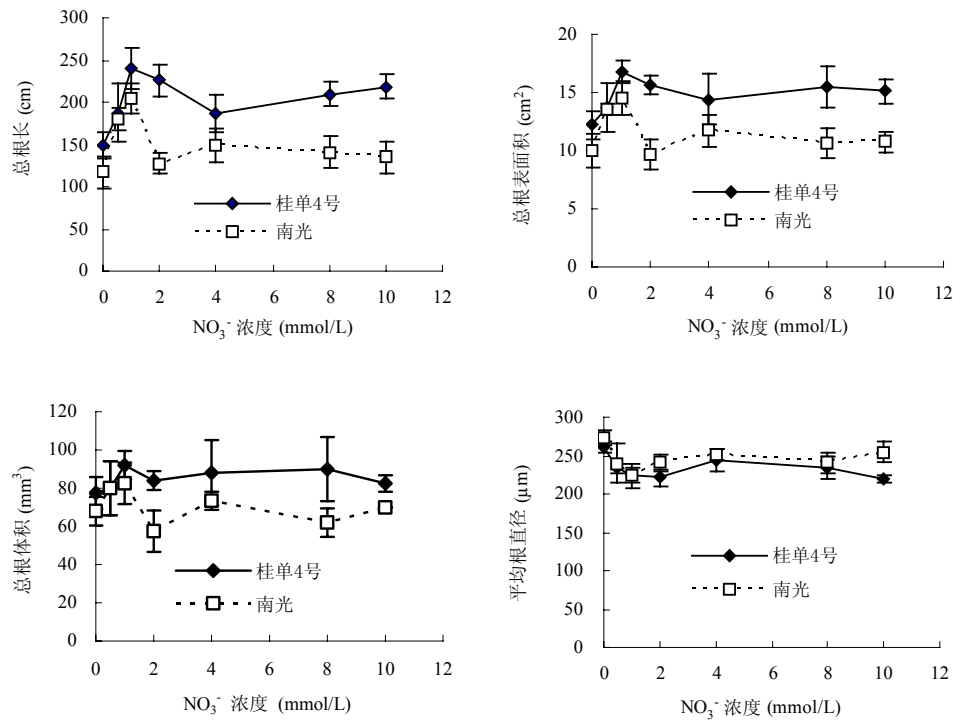
2.2 NH_4^+ 对水稻根系生长的影响

表 1 的结果表明了水稻根系生长受到 NH_4^+ 的抑制或者 NO_3^- 的诱导作用, 但这很难说清楚是因为 NH_4^+ 的抑制还是 NO_3^- 的诱导。为了进一步区分 NH_4^+ 和 NO_3^- 对水稻根系生长的单独效应, 我们比较了水稻根系生长对不同浓度 NH_4^+ 、 NO_3^- 和 NH_4NO_3 供应的动态变化 (图 1~3)。图 1 表明, 随着 NH_4^+ 浓度的升高, 水稻总根长、总根表面积和总根体积都降低; 水稻总根长和总根表面积桂单 4 号也略高于南光; 平均根直

径随着 NH_4^+ 水平的升高有轻微升高趋势。

2.3 NO_3^- 对水稻根系生长的影响

与 NH_4^+ 抑制水稻根系生长不同的是, NO_3^- 对水稻根系生长的影响比较复杂。在一定 NO_3^- 浓度范围内, 随着 NO_3^- 浓度的升高, 水稻总根长、总根表面积和总根体积都升高 (图 2)。两个水稻品种根系达到最高值的 NO_3^- 浓度均为 1 mmol/L, 但当 NO_3^- 浓度超过 1 mmol/L 时, 水稻总根长、总根表面积和总根体积又开始下降 (图 2)。N 高效基因型桂单 4 号的总根长、总

图 1 NH_4^+ 对两个基因型水稻根系生长的影响Fig. 1 Effects of NH_4^+ on root growth of two rice plants different in genotype图 2 NO_3^- 对两个基因型水稻根系生长的影响Fig. 2 Effects of NO_3^- on root growth of two rice plants different in genotype

根表面积和总根体积均显著高于 N 低效基因型南光, 这种品种间的差异比在不同浓度 NH_4^+ 水平下大, 这表明 NO_3^- 对水稻 N 效率具有重要贡献。随 NO_3^- 浓度升高, 平均根直径轻微下降, 这与 NH_4^+ 对根直径的影响正好相反。

2.4 NH_4NO_3 营养对水稻根系生长的影响

NH_4NO_3 对水稻根系生长的影响规律 (图 3) 与 NH_4^+ 对水稻根系生长的影响具有相似性 (图 1, 表

1)。这就说明铵硝共存时, N 对水稻根系生长的影响主要体现在 NH_4^+ 的影响, 即 NH_4^+ 的影响大于 NO_3^- 的影响。但是两个基因型之间各个根构型参数的差异比在纯 NH_4^+ 营养下明显。品种之间差异在硝铵混合营养条件下比纯 NH_4^+ 培养条件大, 这可能是 NO_3^- -N 的加入使品种之间根系生长差异变大, 这也暗示着 NO_3^- 对水稻 N 效率提高有重要意义。

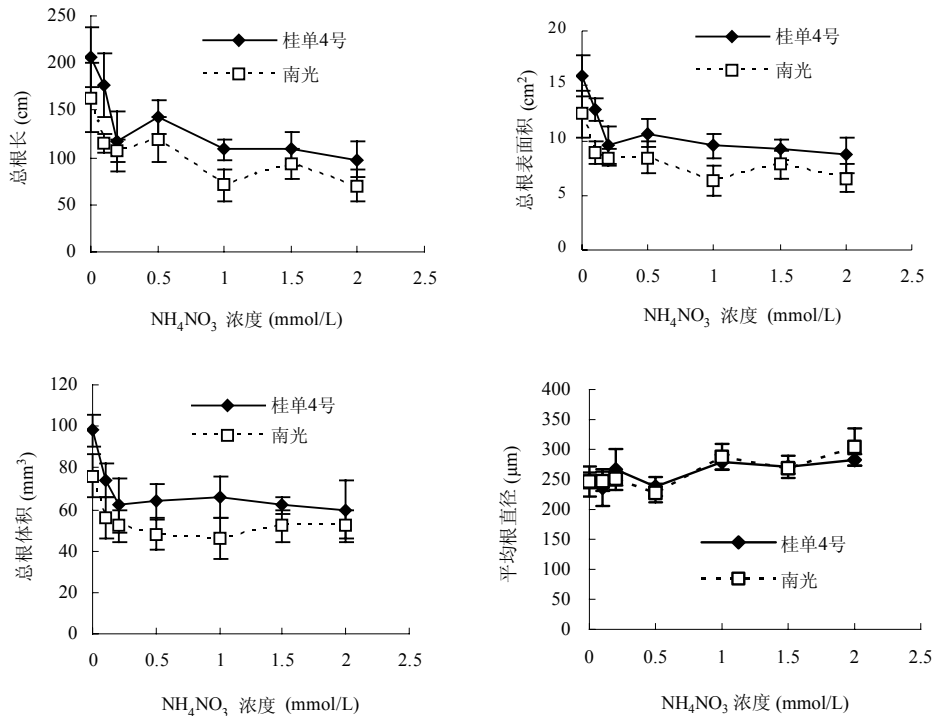


图 3 NH_4NO_3 对两个水稻基因型根系生长的影响

Fig. 3 Effects of NH_4NO_3 on root growth of two rice plants different in genotype

3 讨论

关于 NO_3^- 如何诱导植物侧根生长目前主要存在两种观点: ① NO_3^- 作为一种信号, 可以诱导一些基因的表达或者改变植物体内生长物质 (如生长素或细胞分裂素) 的分布等, 从而改变根系生长^[5-7,11]; ② NO_3^- 作为一种 N 素营养元素, 可以改变植物体内 C、N 代谢和碳水化合物运输分布, 进而影响根系发育^[3-4,23-24]。采用整个根系供 NO_3^- 和 NH_4^+ 的方法, 本试验的结果表明低浓度 NO_3^- 对根系有诱导作用, 但高浓度 NO_3^- 却抑制了根系生长 (表 1、图 2)。这就证明, NO_3^- 在浓度极微量条件下可能是主要作为一种信号物质来刺激根系生长的, 但是当浓度较高时, NO_3^- 作为营养物

质的作用远远大于信号功能, 从而高浓度的 NO_3^- 抑制根系生长。这也可能就是 Zhang 等^[6]提出 NO_3^- 的局部信号诱导和系统营养抑制的“根系生长双调控途径”。

不同于 NO_3^- 的是, 随着 NH_4^+ 浓度的升高, 根系生长一直受到抑制 (表 1、图 1), 这表明 NH_4^+ 仅作为一种 N 素营养元素, 而不是作为信号 (或者作为一种抑制信号)。产生这种结果的主要原因可能是 NO_3^- 不仅是一种 N 源, 还是重要的信号调控物质。例如, NO_3^- 可以改变植物体内一些植物生长物质的分布, 也可以作为信号物质改变植物体内的 C、N 代谢。但是 NH_4^+ 仅仅是一种 N 源, 而且过量时还可以对植物造成毒害。这些结果说明, NH_4^+ 和 NO_3^- 虽然都是水稻可以利用的无机 N 源, 但对水稻根系生长影响的机制是不

同的。

采用石英砂培方法, 史正军等^[24]的研究结果是: 适量供应 NO_3^- 对水稻根系发育有促进作用, 而当 N 素供应过量时, 对根系发育反而有抑制作用。郭亚芬等^[25]采用琼脂培养方法研究了 NO_3^- 对玉米侧根生长的影响, 结果也表明: 在外部浓度 0.01~1.0 mmol/L 范围内, NO_3^- 供应能显著增加侧根的长度及根生物量, 但当 NO_3^- 供应超过 1.0 mmol/L 后, 侧根长度又开始下降。本研究表明: 当单独供 NO_3^- , 水稻根系生长的最适 NO_3^- 浓度在 1.0 mmol/L 左右, 在这个浓度左右, 水稻具有最大的根长、根表面积和根体积, 高于或者低于这个浓度, 水稻根系生长都会受到抑制。

虽然很多的报道说明 NO_3^- 有诱导根系生长的效应, 但本试验的结果表明: 在 NO_3^- 中加入等量的 NH_4^+ 后, 铵硝混合对水稻根系生长的影响更加倾向于 NH_4^+ 的抑制效应。这就表明, 在等量 N 浓度下, NH_4^+ 的抑制作用大于 NO_3^- 的信号诱导作用。但也不能排除的是, NH_4^+ 可能也可以作为一种信号, 但这种信号不是诱导信号, 而是一种抑制信号 (如抑制基因表达、抑制生长物质合成等)。这些都将值得我们进一步的研究。采用 NH_4^+ 突变体、局部供应生长物质、分析体内生长物质和代谢物质等方法, 对这些问题进行详细研究, 将为解开 NH_4^+ 抑制之谜提供帮助。

有趣的是, 在本试验中, NH_4^+ 和 NO_3^- 对根系直径的影响也不一样。 NH_4^+ 对水稻根系直径增大有轻微诱导作用, 而 NO_3^- 却抑制了根直径增大。这可能由于 NH_4^+ 可以直接参与到 C、N 代谢, 进行有机物的直接合成, 从而形成较粗的根系, 而 NO_3^- 还需要消耗能量才能被硝酸还原酶转化为 NH_4^+ , 进而合成有机物, 这种消耗能量的方式对植物根直径变粗是不利的。Boukcim 等^[26]研究也发现中等浓度 NH_4^+ 能促进雪松根尖直径的变粗; Bloom 等^[27]报道低浓度 NH_4^+ 使番茄根系变长变细。我们实验室的研究结果也表明拟南芥平均根直径随 NH_4^+ 浓度升高先变粗后变细 (NH_4^+ 范围为 0~60 mmol/L) (未发表数据)。如果能够从细胞显微结构进一步揭示这些差别, 将是一件非常有意义的事。

无论外界环境如何调控根系生长, 这些研究的总目的是为了提提高植物吸收养分的效率。植物的养分效率具有明显的基因型差异。郭亚芬等^[25]在研究 NO_3^- 供应对玉米侧根生长的影响时发现, 不同基因型玉米侧根生长达到最大时的 NO_3^- 浓度不同。在目前的研究中, 两个不同 N 效率水稻品种根系生长达到最大时的 NO_3^- 浓度一样。主要的差异是, 苗期 N 高效基因型桂单 4 号根长和根表面积显著高于 N 低效基因型南

光, 其次为根体积。因此, 根长和根表面积可能是影响水稻根系吸收 N 的重要根系指标。在采用分子或遗传手段改良水稻 N 效率的时候, 根长和根系表面积可以作为重要的根系遗传性状指标加以考虑。

目前的结果表明 NH_4^+ 和 NO_3^- 影响水稻根系的机制是不一样的, NO_3^- 在低浓度下可能主要作为一种信号诱导根系生长, 在高浓度下主要作为营养物质抑制根系生长, 但是 NH_4^+ 仅仅作为营养物质抑制根系生长。 NH_4^+ 和 NO_3^- 对水稻根直径的影响也是不一样的。另外, 根长和根表面积可能是影响水稻 N 效率的重要根系指标。以后的研究如果能够采用局部供 NH_4^+ 、供 NO_3^- 和供 NH_4NO_3 的试验, 再考虑到内源和外源的一些生长物质 (如生长素和细胞分裂素)、N 的同化物 (如谷氨酰胺) 或碳水化合物等的影响, 结合植物显微切片技术, 采用铵硝突变体等, 将为揭示铵硝对水稻根系的生长影响提供更为详细的理论依据。

参考文献:

- [1] Lynch J. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.*, 1995, 109 (1): 7-13
- [2] Wang XB, Wu P, Hu B, Chen QS. Effects of nitrate on the growth of lateral root and nitrogen absorption in rice. *Acta Bot. Sin.*, 2002, 44 (6): 678-683
- [3] 史正军, 樊小林, Klaus D, Sattemacher B. 根系局部供氮对水稻根系形态的影响及其机理. *中国水稻科学*, 2005, 19 (2): 147-152
- [4] 樊小林, 史正军, 吴平. 水肥 (氮) 对水稻根构型参数的影响及其基因型差异. *西北农林科技大学学报*, 2002, 30 (2): 1-5
- [5] Zhang H, Forde BG. An arabidopsis MADS box gene that controls nutrient-induced changes in root architecture. *Science*, 1998, 279: 407-409
- [6] Zhang H, Jennings A, Barlow PW, Forde BG. Dual pathways for regulation of root branching by nitrate. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1999, 96 (11): 6529-6534
- [7] Zhang H, Forde BG. Regulation of *Arabidopsis* root development by nitrate availability. *J. Exp. Bot.*, 2000, 51 (342): 51-59
- [8] Hackett C. A method of applying nutrients locally to roots under controlled conditions and some morphological effects of locally applied nitrate on the branching of wheat roots. *Aust. J. Biol. Sci.*, 1972, 25: 1169-1180
- [9] Drew, MC. Comparison of the effects of a localised supply of phosphate, nitrate, ammonia and potassium on the growth of the seminal root system, and shoot in barley. *New Phytol.*, 1975, 75: 479-490
- [10] Granato TC, Raper CD. Proliferation of maize (*Zea Mays* L.)

- roots in response to localized supply of nitrate. *J. Exp. Bot.*, 1989, 40: 263–275
- [11] Guo Y, Chen F, Zhang F, Mi G. Auxin transport from shoot to root is involved in the response of lateral root growth to localized supply of nitrate in maize. *Plant Sci.*, 2005, 169 (5): 894–900
- [12] 郭亚芬, 米国华, 陈范骏, 张福锁. 局部供应硝酸盐诱导玉米侧根生长的基因型差异. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11 (2): 155–159
- [13] Kronzucker HJ, Kirk GJD, Siddiqi MY, Glass ADM. Effects of hypoxia on $^{13}\text{NH}_4^+$ fluxes in rice roots: Kinetics and compartmental analysis. *Plant Physiol.*, 1998, 116: 581–587
- [14] Sonoda Y, Ikeda A, Saiki S, Wirén NV, Yamaya T, Yamaguchi J. Distinct expression and function of three ammonium transporter genes (*OsAMT1;1*–*1;3*) in rice. *Plant Cell Physiol.*, 2003, 44: 726–734
- [15] Rubinigg M, Stulen I, Elzenga JTM, Colmer TD. Spatial patterns of radial oxygen loss and nitrate net flux along adventitious roots of rice raised in aerated or stagnant solution. *Funct. Plant Biol.*, 2002, 29 (12): 1475–1481
- [16] 李振高, 俞慎, 吴胜春, 王俊华, 潘映华. 不同氮肥对水稻根圈微生物生物量及硝化-反硝化细菌的影响. *土壤*, 2003, 35 (6): 490–494
- [17] 段英华, 张亚丽, 沈其荣. 水稻根际的硝化作用与水稻的硝态氮营养. *土壤学报*, 2004, 41 (5): 803–809
- [18] 李振高, 俞慎, 潘映华, 王俊华, 吴胜春. 水稻根际硝化-反硝化作用生态因子的水平空间变异. *土壤学报*, 1999, 36 (1): 111–116
- [19] Yuan F, Ran W, Shen QR. Nitrification potential of soils under liquid incubation conditions. *Pedosphere*, 2005, 15 (3): 379–385
- [20] Britto DT, Kronzucker HJ. NH_4^+ toxicity in higher plants: A critical review. *J. Plant Physiol.*, 2002, 159: 567–584
- [21] Gerendas J, Zhu ZJ, Bendixen R, Ratcliffe RG, Sattelmacher B. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenernähr Bodenkd*, 1997, 160 (3): 239–251
- [22] 薛应龙, 夏镇澳主编. *植物生理实验手册*. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 60–63
- [23] Sattelmacher B, Gerendas J, Thoms K, Brück H, Bagdady NH. Interaction between root growth and mineral nutrition. *Environ. Exp. Bot.*, 1993, 33: 63–73
- [24] 史正军, 樊小林. 水稻根系生长及根构型对氮素供应的适应性变化. *西北农林科技大学学报*, 2002, 30 (6): 1–6
- [25] 郭亚芬, 米国华, 陈范骏, 张福锁. 硝酸盐供应对玉米侧根生长的影响. *植物生理与分子生物学学报*, 2005, 31 (1): 90–96
- [26] Boukcim H, Pages L, Mousain D. Local NO_3^- or NH_4^+ supply modifies the root system architecture of *Cedrus atlantica* seedlings grown in a splitroot device. *J. Plant Physiol.*, 2006, 163(12): 1293–1304
- [27] Bloom AJ, Meyerhoff PA, Taylor AR, Rost TL. Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. *J. Plant Growth Regul.*, 2003, 21: 416–431

Dynamic Responses of Rice in Root Growth to Different NH_4^+ and NO_3^- Supply

ZHAO Xue-qiang^{1,2}, SHI Wei-ming¹

(¹ State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;

² Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Plant root systems are extremely sensitive to availability and distribution of nutrients within soil. In order to explore how rice roots respond to NH_4^+ and NO_3^- supply and whether the responsibility is related to rice N efficiency, effects of $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio in N supply on parameters of root architecture through solution culture experiment using rice plants of two different genotypes, GD4 and NG, was tested. The results showed that both NH_4^+ and NH_4NO_3 significantly decreased total root length, total root surfarea, and total root volume but slightly increased average root diameter. NO_3^- less than 1 mmol/L increased total root length, total root surfarea, and total root volume but decreased average root diameter, whereas when rice roots were exposed to NO_3^- concentration more than 1 mmol/L, the situation was contrary to that of NO_3^- concentration less than 1 mmol/L. Total root length and total root surfarea of N-efficient rice genotype GD4 were higher than that of N-inefficient rice genotype NG. In conclusion, NH_4^+ and NO_3^- had different effects on rice root growth, inhibitory effects for NH_4^+ , stimulative effect for low NO_3^- concentrations whereas inhibitory effects for high NO_3^- concentrations, and root length and root surfarea may contribute to the improvement of rice N efficiency.

Key words: NH_4^+ , NO_3^- , Root, Rice, Genotype