

## 增铵营养对番茄植株伤流液组分及含量的影响<sup>①</sup>

徐新娟<sup>1,3</sup>, 卢颖林<sup>2</sup>, 李庆余<sup>2</sup>, 任庆菊<sup>4</sup>, 董彩霞<sup>2\*</sup>, 沈其荣<sup>2</sup>

(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 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 3 河南科技学院, 河南新乡 453003; 4 山东省章丘市农业局, 山东章丘 250200)

**摘要:** 在总氮(N)浓度相等的条件下, 研究全硝营养(100% NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)和25%增铵营养(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=25%:75%)对开花期和幼果期番茄植株伤流液各组分含量的影响。结果表明, 增铵营养显著增加幼果期伤流液中K的含量, 对Ca、Mg、P元素含量没有显著影响; 增铵营养下伤流液中NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的含量下降、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>含量增加, 氨基酸、苹果酸等的含量均显著增加, 氨基酸/硝态氮含量之比显著提高, 表明喜硝作物适当增铵不仅能够提高根系活力, 显著促进K的吸收以供果实发育之需, 而且提高了植株整体同化N素的能力。

**关键词:** 增铵营养; 番茄; 伤流液

**中图分类号:** S501

伤流液是植物在根压的作用下从植物茎基部输导组织溢出的汁液, 其数量和成分可以作为根系代谢活动强弱的重要指标。研究表明, 伤流液的组成成分受根系生长环境、矿质营养的种类和供应强度影响<sup>[1-4]</sup>。有关N素形态对植株伤流液组分及含量的影响在玉米、水稻、番茄上均有报道<sup>[5-8]</sup>, 但供试无机态N素形态均为NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>以一定比例配施能显著促进大部分蔬菜的生长, 已成为共识<sup>[9-13]</sup>。本课题组前期的工作表明, 与供给100%NO<sub>3</sub><sup>-</sup>相比, 营养液中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup>为25%:75%时大番茄幼苗的根系发达, 生物量增加<sup>[14]</sup>, 单果重也显著增加, 植株整体N代谢增强<sup>[15]</sup>。从整个果实发育时期来看, 开花期两处理下叶片和果实硝酸还原酶(NR)和谷氨酰胺合成酶(GS)活性均无显著差异, 而幼果期叶片和果实中NR、叶片中GS活性均显著高于其他采样时期, 表明幼果期是番茄果实发育的一个关键时期<sup>[15]</sup>。因此, 本文从番茄的开花期和幼果期入手, 初步研究全硝营养(100%NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)和25%增铵营养(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=25%:75%)处理下番茄植株伤流液的组分及含量的差异, 从植物营养角度探讨增铵营养促进番茄生长的可能调节机制。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料与番茄培养

供试番茄品种为“宝大903”。采用特制的基质-营养液共培养塑料钵(钵体积为10L)培养番茄, 每钵3棵。设置2个处理, 每处理4个重复。以100%硝酸盐处理为对照(CK), 在全N浓度相等(15mmol/L)的基础上设NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:NO<sub>3</sub><sup>-</sup>=25%:75%(以下称增铵营养T)。以KNO<sub>3</sub>提供NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>提供NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。两处理下K、Ca、P、Mg、S浓度分别为6、4、2、1、2mmol/L, Cl、B、Mn、Zn、Cu、Mo浓度分别为:50、25、2.0、2.0、0.5、0.5μmol/L, 以EDTA-Fe(20μmol/L)为Fe源, 加入二氰胺(7μmol/L)作为硝化抑制剂, pH设为6.3~6.5。营养液浓度从1/2到全营养, 逐步提高浓度。移栽初期每次浇液0.5L, 后期随蒸腾量增加浇液量增至1L到2L, 隔天浇一次营养液, 试验期间营养液的总用量约为45L/盆。

#### 1.2 伤流液的采集

参照陈范骏等<sup>[16]</sup>的方法, 称取1g脱脂棉, 塞入自封袋中, 在距根基2cm处用手术刀片切断茎秆, 3min后用洁净滤纸吸走断茎处的组织液, 以防韧皮部汁液的交叉污染, 然后迅速将袋子套住茎秆并使茎断面与脱脂棉接触。3h后取下袋子, 立即将伤流液挤脱下来, -70℃冷冻保存, 用于K、Mg、Ca、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>及可溶性糖、有机酸和游离氨基酸含量的测定。测定之前过0.22μm的滤膜。

①基金项目: 国家自然科学基金项目(30600382)和土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金项目(055131)资助。

\* 通讯作者(cxdong@njau.edu.cn)

作者简介: 徐新娟(1979—), 女, 河南漯河人, 硕士, 主要从事植物营养生理研究。E-mail: xiaye0623@163.com

### 1.3 测定项目

分别采用 ICP 和自动流动分析仪测定 K、Mg、Ca 等矿质元素和  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{NO}_3^-$  的含量，测定前将伤流液稀释 50 倍。参照李合生<sup>[17]</sup>的方法，采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量，茚三酮比色法测定游离氨基酸含量。伤流液中有机酸含量采用 HPLC 法测定<sup>[18]</sup>。色谱条件为：色谱柱：德国 Merck 公司生产的 Hibar® column RT 250 mm × 4.6 mm，填料直径为 5 μm，柱温：30℃，流动相：0.5%  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4$  (pH = 2.5) 缓冲液，使用前用 0.45 μm 滤膜抽滤，流速：1 ml/min，水为超纯水。紫外检测波长 214 nm，进样量：20 μl。

### 1.4 数据处理

所有数据采用 SPSS 13.0 处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 增铵营养对番茄伤流液中 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 含量的影响

如图 1 所示，两个采样时期下，番茄伤流液中  $\text{NO}_3^-$  含量远高于  $\text{NH}_4^+$  含量，这表明  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  两种 N 素形态在番茄体内存在不同的代谢场所。 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  在植物体内有着不同的吸收机制<sup>[19]</sup>， $\text{NO}_3^-$  被根系吸收到体内后，绝大部分随蒸腾流上运到叶片，在硝酸还原酶 (NR) 的作用下还原同化为氨基酸和蛋白质；而

$\text{NH}_4^+$  被吸收到体内后，90% 以上直接在根系内同化为氨基酸<sup>[20-21]</sup>。开花期两处理中  $\text{NO}_3^-$  含量差异不大，但均达到 500 mg/L 左右，而幼果期伤流液中  $\text{NO}_3^-$  含量迅速下降，且增铵营养显著低于全硝处理。两个采样时期下，增铵营养中伤流液  $\text{NH}_4^+$  的含量均显著高于全硝处理，而随着果实的生长，两处理下伤流液中  $\text{NH}_4^+$  含量也显著下降。幼果期伤流液中  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  含量下降的原因可能与植株吸水量增加导致的稀释效应有关，也可能与地上部 (叶片和果实) 同化  $\text{NO}_3^-$  的能力增强导致对底物  $\text{NO}_3^-$  需求量的增加、根系同化  $\text{NH}_4^+$  的能力增强有关。董园园等<sup>[15]</sup>指出，增铵营养下开花期叶片硝酸还原酶 (NR) 和谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性与全硝处理无显著差异，但幼果期增铵营养下叶片和幼果 NR 活性均显著低于全硝处理，叶片中的 GS 活性却显著高于全硝处理，表明果实的迅速发育促进了植株的 N 代谢，使更多的  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  被同化，降低了伤流液中  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的含量。进一步的研究应结合相应时期根系对  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的吸收能力综合分析伤流液中  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  含量变化的原因。从图 1 还可以看出，两个采样时期中全硝处理下伤流液中都含有一定浓度的  $\text{NH}_4^+$ ，尤其在开花期含量高达 50 mg/L，如此高的  $\text{NH}_4^+$  的来源还需待进一步研究。

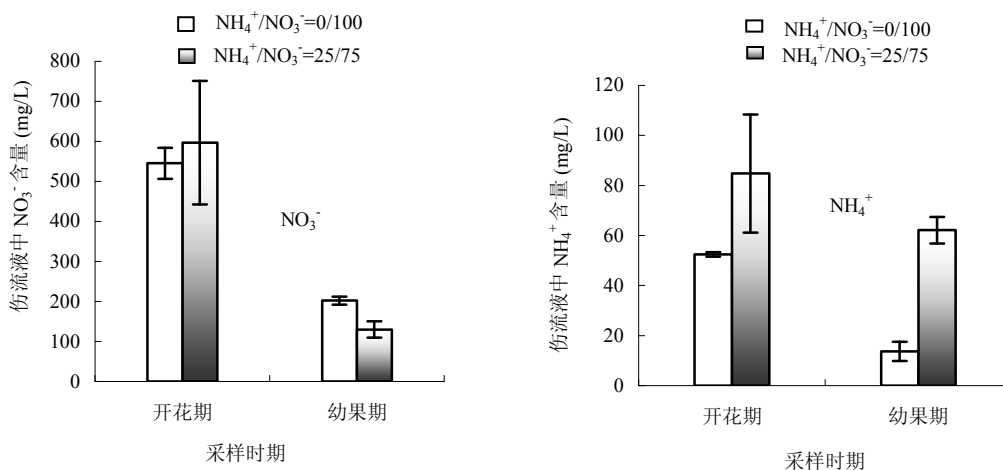


图 1 增铵营养对番茄植株伤流液中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  含量的影响

Fig. 1 Effects of enhanced ammonium nutrition on contents of  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NH}_4^+$  in tomato xylem sap

### 2.2 增铵营养对番茄伤流液中矿质元素含量的影响

如图 2 所示，番茄伤流液中以 Ca、K 含量最多，Mg、P 含量较低。与开花期相比较，幼果期各处理 Ca 及全硝处理 K 显著降低，各处理 Mg 和 P 的含量变化不

大。这与 Khamis 等<sup>[22]</sup>的研究结果一致。两个时期采样结果表明，增铵营养对伤流液中 Ca、Mg、P 含量影响不大，但对 K 含量有显著不同的影响。开花期增铵处理 K 含量显著低于全硝处理，是全硝处理的 82%，这

可能主要由于营养液中 $\text{NH}_4^+$ 对K的吸收有颉颃作用而影响了植株对K的吸收;而幼果期增铵营养中K含量显著增加,是全硝处理的2倍,且是开花期测定值的1.2倍。溶液中 $\text{NH}_4^+$ 的存在使得 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$ 的颉颃作用一直存在,但是幼果期K的含量却显著增加,可能有两个原因:①K是果实发育的重要元素,幼果的迅速发育对K的需求量增加;②K是植物体内 $\text{NO}_3^-$ 运输的主

要陪伴离子,与植物体内有机酸代谢密切相关。有报道指出,供 $\text{NO}_3^-$ 植株体内木质部汁液中K与苹果酸结合运到根部发生脱羧反应,将 $\text{HCO}_3^-$ 与根际 $\text{NO}_3^-$ 进行阴离子的交换,将 $\text{HCO}_3^-$ 分泌到根外介质,K伴随 $\text{NO}_3^-$ 上运到叶片进行同化<sup>[23]</sup>,因此K的增加也可能与增铵营养下N代谢增强有关。

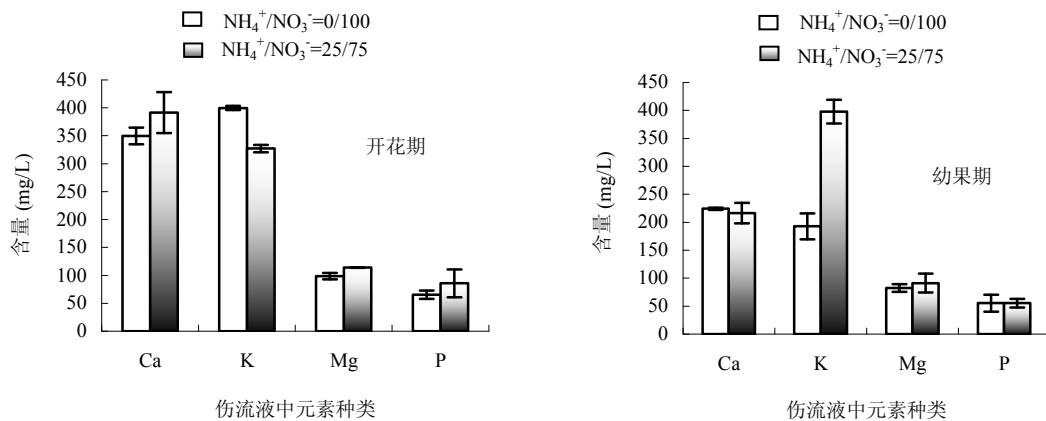


图 2 增铵营养对番茄植株伤流液中 Ca、K、Mg、P 含量的影响

Fig. 2 Effects of enhanced ammonium nutrition on contents of Ca, K, Mg and P in tomato xylem sap

### 2.3 增铵营养对番茄伤流液中可溶性糖和游离氨基酸含量的影响

伤流液中可溶性糖和氨基酸总量是衡量根系活力的重要指标。如图 3 所示,增铵营养对伤流液中可溶性糖含量影响不大,但显著增加伤流液中游离氨基酸含量,在幼果期尤为突出。与开花期相比较,幼果期

全硝处理下伤流液中可溶性糖含量和氨基酸含量均有下降趋势,而增铵营养下伤流液中的氨基酸含量在幼果期则显著提高。这表明适量增铵能显著促进根系活力,提高 N 素同化能力,促进氨基酸的合成,并且随着果实的发育,增铵营养使根系同化能力进一步增强。

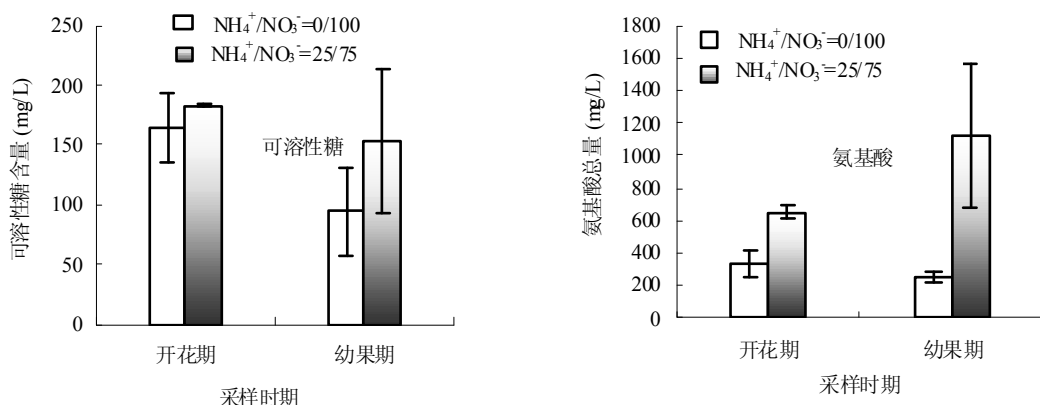


图 3 增铵营养对番茄植株伤流液中可溶性糖和氨基酸含量的影响

Fig. 3 Effects of enhanced ammonium nutrition on contents of total soluble sugar and amino acid in tomato xylem sap

### 2.4 增铵营养对番茄伤流液中氨基酸/硝态氮比值的影响

陈范骏等<sup>[16]</sup>指出,根伤流液中的氨基酸/硝态氮浓度变化可以认为是根内无机 N 吸收、同化(与碳水化

合物供应有关)及地上与地下N循环共同作用的结果,因而有可能反映不同N素水平条件下植株整体的代谢适应性。本文研究结果表明,增铵营养显著提高了植株伤流液中氨基酸/硝态氮比值(图4),表明增铵营养能显著促进硝态氮向氨基酸的转化,两个时期相比较,幼果期氨基酸/硝态氮比值显著高于开花期,也表明随果实的发育,根系活力增加,同化N素的能力进一步提高,对硝态氮吸收、利用能力进一步增强,增铵营养表现的尤为突出。

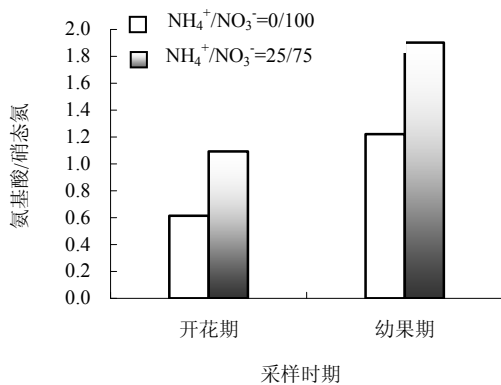


图 4 增铵营养对番茄伤流液中氨基酸/硝态氮比值的影响

Fig. 4 Effects of enhanced ammonium nutrition on ratio of amino acids to nitrate in tomato xylem sap

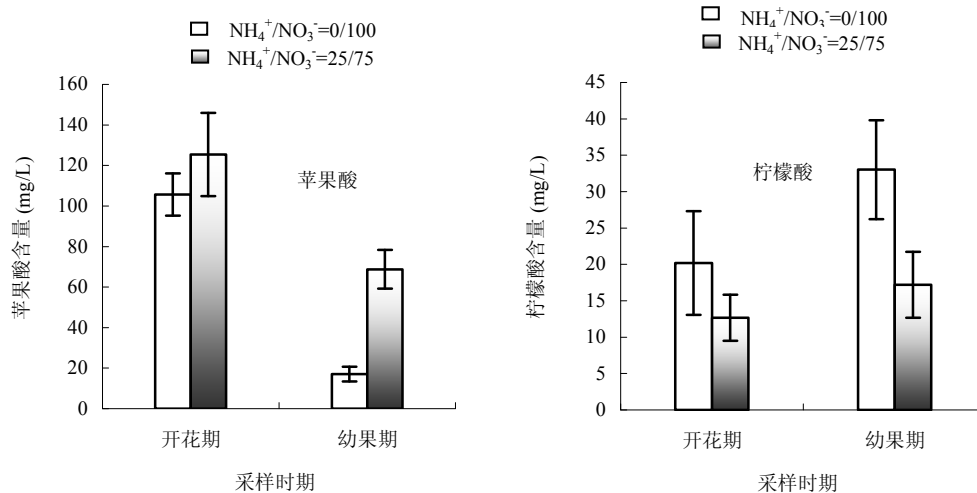


图 5 增铵营养对番茄伤流液中苹果酸和柠檬酸含量的影响

Fig. 5 Effects of enhanced ammonium nutrition on contents of malate and citrate in tomato xylem sap

其是 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 又已被证实是一种信号物质, 不仅启动N代谢反应, 而且启动C代谢<sup>[25]</sup>, 而 α-酮戊二酸则是 C、N 代谢的枢纽, 对C代谢和N代谢都有重要的调节作用。为了维持细胞内pH的稳定及为 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 同化提供前体物质, 启动 C 的回补反应。增铵营养促进了有机

## 2.5 增铵营养对番茄伤流液中苹果酸和柠檬酸含量的影响

田中民等<sup>[24]</sup>研究认为, 正常培养在白羽扇豆木质部伤流液中有有机酸种类主要以苹果酸、柠檬酸和反丁烯二酸为主。本实验中, 我们发现番茄植株伤流液中的有机酸主要以苹果酸和柠檬酸为主, 还含有少量的草酰乙酸、α-酮戊二酸及微量的反丁烯二酸, 其中苹果酸含量最高。如图 5 所示, 番茄伤流液中苹果酸的含量以增铵营养较高, 在幼果期两处理达到显著差异水平。幼果期伤流液中苹果酸含量较高, 与伤流液中K元素含量较高一致(图 2), 表明K与苹果酸之间有较强的相关关系。但幼果期苹果酸含量比开花期显著下降。与苹果酸的变化不同的是, 伤流液中柠檬酸的含量以增铵营养低于全硝处理, 且增铵营养对两个采样时期的伤流液柠檬酸含量没有显著的影响, 全硝处理则有增加的趋势。

碳(C)、氮(N)代谢是植物体内两大主要代谢过程, 既相互联系又相互制约。一方面, C 代谢中呼吸作用三羧酸(TCA)循环过程中的多种底物是 N 代谢中各种氨基酸合成的前体物质; 另一方面, N 素尤

酸代谢, 表现在 PEPCase 活性的增加<sup>[26-27]</sup>。本文研究结果表明, 增铵营养下木质部伤流液中苹果酸含量显著增加, 这与我们的前期结果<sup>[15]</sup>叶片和果实中 PEPCase活性显著提高的报道是一致的。但由于苹果酸、柠檬酸既是氨基酸合成的前体物质, 又是呼吸作

用的底物, 因此, 其含量的变化可能由多种原因所引起。

### 3 小结

伤流液中的养分主要是根系吸收和转化的结果<sup>[6]</sup>, 可以认为是植株在生长期地上部分和地下部分养分元素循环共同作用的结果<sup>[28]</sup>。通过对番茄植株开花期和伤流液组分的分析, 结果表明, 增铵营养显著增加伤流液中 K 含量, 对  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、可溶性糖、游离氨基酸总量以及苹果酸和柠檬酸的含量也有较大影响, 这可能都与  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$  不同的代谢特点有关<sup>[19]</sup>。增铵营养下伤流液中氨基酸含量的增加有多种原因<sup>[8]</sup>, 但通过硝态氮的转化合成的氨基酸很可能占主要比例<sup>[6]</sup>。硝态氮和铵态氮的共同存在很可能导致某些生理过程发生变化, 从而促进了植株的 N 素同化能力, 其影响的机理还需要进一步研究。

### 参考文献:

- [1] Amarante L and Sodek L. Waterlogging effect on xylem sap glutamine of nodulated soybean. *Biologia Plantarum*, 2006, 50(3): 405-410
- [2] Amarante LD, Lima JD, Sodek L. Growth and stress conditions cause similar changes in xylem amino acids for different legume species. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 58: 123-129
- [3] 朱建华, 耿明建, 曹享云, 刘武定. 硼对棉花不同品种根系吸收活力、根系分泌物和伤流液组分的影响. *棉花学报*, 2001, 13(3): 142-145
- [4] 苏帆, 王毅, 瞿兴, 杨跃, 王巍, 耿明建, 付丽波, 杨华, 洪丽芳. 菜籽饼肥与化肥配合施用对烤烟伤流液组分的影响. *华中农业大学学报*, 2006, 25(3): 249-253
- [5] 郭世伟, 邹春琴, 张福锁, 江荣风. 铁营养状况及不同形态氮素对玉米体内不同铁库铁再利用的影响. *土壤学报*, 2001, 38(4): 464-470
- [6] 宋海星, 李生秀. 水、氮供应对玉米伤流及其养分含量的影响. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(6): 574-578
- [7] 李勇, 周毅, 郭世伟, 沈其荣. 铵态氮和硝态氮营养对水、旱稻根系形态及水分吸收的影响. *中国水稻科学*, 2007, 21(3): 294-298
- [8] 葛体达, 唐东梅, 芦波, 夏含嫣, 宋世威, 黄丹枫. 番茄根系分泌物、木质部和韧皮部汁液组分对矿质氮和有机氮营养的响应. *园艺学报*, 2008, 35(1): 39-46
- [9] 曹翠玲, 李生秀. 氮素形态对小麦中后期的生理效应. *作物学报*, 2003, 29(2): 258-262
- [10] 杨月英, 张福锁, 乔晓军. 不同形态氮素对基质培番茄生育、产量及品质的影响. *华北农学报*, 2003, 18(1): 86-89
- [11] 陈巍, 罗金葵, 姜慧梅, 沈其荣. 不同形态氮素比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响. *土壤学报*, 2004, 41(3): 420-425
- [12] 罗金葵, 陈巍, 张攀伟, 茆泽圣, 沈其荣. 增铵对小白菜生长和叶绿素含量的影响. *土壤学报*, 2005, 42(4): 614-618
- [13] 金松南, 艾呈祥, 姚峰君, 张力思, 刘庆忠. 氮素形态对新高梨生长和果实品质的影响. *落叶果树*, 2007(4): 1-3
- [14] Dong CX, Shen QR, Wang G. Tomato growth and organic acid changes in response to partial replacement of  $\text{NO}_3^-$  by  $\text{NH}_4^+$ . *Pedosphere*, 2004, 14(2): 159-164
- [15] 董园园, 董彩霞, 卢颖林, 缪晨, 沈其荣.  $\text{NH}_4^+$  部分代替  $\text{NO}_3^-$  对番茄生育中后期氮代谢相关酶活性的影响. *土壤学报*, 2006, 43(2): 261-266
- [16] 陈范骏, 米国华, 刘建安, 张福锁. 玉米自交系木质部伤流液中氮素形态差异及其与氮效率的关系. *中国农业科学*, 1999, 32(5): 43-48
- [17] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000: 125-128
- [18] 董彩霞, 董园园, 王健, 沈其荣, 王格. 同一流相测定植物体内 12 种有机酸和维生素 C 的高效液相色谱法. *土壤学报*, 2005, 42(2): 331-335
- [19] 赵首萍, 赵学强, 施卫明. 高等植物氮素吸收分子机理研究进展. *土壤*, 2007, 39(2): 173-180
- [20] Touraine B, Grignon N, Grignon C. Charge balance in  $\text{NO}_3^-$ -Fed soybean. Estimation of  $\text{K}^+$  and carboxylate recirculation. *Plant Physiology*, 1988, 88: 605-612
- [21] Kafkafi U. Root temperature, concentration and the ratio  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  effect on plant development. *J. Plant Nutrition*, 1990, 13(10): 1291-1306
- [22] Khamis M, Abbadi J, Sattelmacher B, Gerendás J, Kafkafi U. Influence of N form (vs.) and salinity on tomato yield and fruit composition. *Plant nutrition-Food security and Sustainability of Agro-ecosystems*, 2001: 304-305
- [23] Touraine B, Muller B, Grignon C. Effect of phloem-translocated malate on  $\text{NO}_3^-$  uptake by roots of intact soybean plants. *Plant Physiology*, 1992, 99: 1118-1123
- [24] 田中民, 秦芳玲, 王波. 缺磷白羽扇豆根系分泌物收集方法的比较研究. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2002, 31(4): 154-158
- [25] Scheible WR, Gonzalez-Fontes A, Lauerer M, Müller-Rober B, Caboche M, Stitt M. Nitrate acts as a signal to induce organic acid metabolism and repress starch metabolism in tobacco. *The Plant*

- Cell, 1997, 9(5): 783–798
- [26] Sugiharto B, Sugiyama T. Effects of nitrate and ammonium on gene expression of phosphoenolpyruvate carboxylase and nitrogen metabolism in maize leaf tissue during recovery from nitrogen stress. *Plant Physiology*, 1992, 98: 1403–1408
- [27] Sagi M, Dobrat A, Kipnis T. Nitrate Reductase, phosphoenolpyruvate carboxylase and glutamine synthetase in annual ryegrass as affected by salinity and nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, 21(4): 707–723
- [28] 任思荣, 朱建国, 李辉信, 谢祖彬, 曾青, 王小治. 大气CO<sub>2</sub>浓度升高对水稻伤流液中矿质元素的影响. *农业环境科学学报*, 2007, 26(5): 1849–1853

## Effects of Enhanced Ammonium Nutrition on Composition and Content of Tomato Xylem Sap in Two Growing Stages

XU Xin-juan<sup>1,3</sup>, LU Ying-lin<sup>2</sup>, LI Qing-yu<sup>2</sup>, REN Qing-ju<sup>4</sup>, DONG Cai-xia<sup>2</sup>, SHEN Qi-rong<sup>2</sup>

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

2 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;*

3 *Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003, China;* 4 *Zhangqiu Agricultural Bureau, Zhangqiu, Shandong 250200, China*)

**Abstract:** The xylem sap was collected in two growing stages to investigate the effects of enhanced ammonium nutrition (25% replacement of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N by NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) on the contents of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca, Mg, K, P, soluble carbohydrate, amino acid, and organic acids during tomato maturation. The results showed that the contents of K, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, amino acid, soluble carbohydrate and malate, the ratio of amino acid content to NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in xylem sap increased significantly under enhanced ammonium nutrition in young fruit stage, while NO<sub>3</sub><sup>-</sup> content decreased significantly. No significant effect on the contents of Ca, Mg and P, which indicated that comparing to the single nitrate in solution, enhanced ammonium nutrition could not only improve the root activity in absorbing enough K to meet the requirement of fruit development, but also increase the ability of N metabolism.

**Key words:** Enhanced ammonium nutrition, Tomato, Xylem sap