

## 培养液 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比对甜菜幼苗 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 吸收特性的影响

张多英<sup>1,2</sup> 马凤鸣<sup>1,\*</sup> 赵越<sup>1</sup> 李彩凤<sup>3,1</sup> 马国巍<sup>1</sup> 李士龙<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>东北农业大学, 黑龙江哈尔滨 150030; <sup>2</sup>黑龙江东方学院, 黑龙江哈尔滨 150086; <sup>3</sup>黑龙江省农业科学院, 黑龙江哈尔滨 150086)

**摘要:** 采用标准偏高糖型甜研7号与标准偏丰产型甜研8号2个二倍体纯系品种及水培方法,研究了子叶期(11 d)甜菜对  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的吸收特性以及不同  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  比对苗期(31 d)甜菜吸收特性的影响。发现了子叶期甜研7号较甜研8号对  $\text{NH}_4^+$  有较大的  $V_{\max}$ , 有利于  $\text{NH}_4^+$  的吸收。低  $\text{NH}_4^+$  浓度比促进甜菜对  $\text{NO}_3^-$  的吸收。而且甜研7号受到的影响相对大于甜研8号。不同  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  也影响甜菜对  $\text{NH}_4^+$  的吸收速率, 2品种所受的影响并不相同。2品种遗传特性不同导致了甜研7号对  $\text{NH}_4^+$  的吸收较甜研8号敏感。高浓度  $\text{NH}_4^+$  的存在促进了甜研7号与甜研8号对  $\text{NH}_4^+$  的吸收。说明可以通过调节甜菜对  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  的吸收与同化关系来调控甜菜的氮代谢, 以提高甜菜的产量与质量。

**关键词:** 甜菜;  $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{NH}_4^+$ ; 吸收特性

中图分类号: S566

## Effect of $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ Ratio in Culture Solution on Nitrate and Ammonium Uptake in Seedlings of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.)

ZHANG Duo-Ying<sup>1,2</sup>, MA Feng-Ming<sup>1,\*</sup>, ZHAO Yue<sup>1</sup>, LI Cai-Feng<sup>3,1</sup>, MA Guo-Wei<sup>1</sup> and LI Shi-Long<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang; <sup>2</sup>Heilongjiang Oriental College, Harbin 150086, Heilongjiang; <sup>3</sup>Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Solution culture experiments were carried out to study uptake character at cotyledon stage and the effect of  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratio on nitrate and ammonium uptake at seedling stage with two cultivars of sugar beet, including high sugary Tianyan 7 and prolific Tianyan 8.  $V_{\max}$  of  $\text{NH}_4^+$  was higher in Tianyan 7 than in Tianyan 8 at cotyledon stage (Table 1). It was benefit for Tianyan 7 to uptake  $\text{NH}_4^+$ . After cultivated with different  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ , there was significant deviation of  $\text{NO}_3^-$  uptake between Tianyan 7 and Tianyan 8 (Fig. 3 and Fig. 4). Nitrate uptake was enhanced by optimal ammonium in nutrient solution. Tianyan 7 was more affected than Tianyan 8 (Table 2). Ammonium uptake was also affected by  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratio in culture solution (Fig. 5 and Fig. 6). It was enhanced by high  $\text{NH}_4^+$  concentration in nutrient solution (Table 3), and Tianyan 7 was more sensitive to ammonium uptake than Tianyan 8 due to the different genetic properties of two cultivars. In conclusion nitrogen metabolism can be regulated through regulating the relationship between nitrate and ammonium uptake and assimilation to increase output and quality of sugar beet.

**Key words:** Sugar beet; Nitrate; Ammonium; Uptake character

甜菜是黑龙江省主要糖料作物。其吸收的氮素形态主要为  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$ , 大量施用  $\text{NO}_3^-$  肥虽然可以提高甜菜的产量, 却使甜菜的含糖率及品质下降<sup>[1-3]</sup>。前人就不同  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  水平与比例对甜菜生理特性的影响做了相关研究, 并提出适当  $\text{NO}_3^-$  配

施  $\text{NH}_4^+$  氮肥提高甜菜体内的 GS 活性, 促进蔗糖积累<sup>[4-5]</sup>。但关于甜菜对  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  的无机吸收方面的报道较少, 而在水稻等作物上已有许多报道<sup>[6-10]</sup>。本研究旨在从氮素的吸收角度, 联系甜菜氮素的代谢, 寻求适宜的  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  配施比例, 为提高甜菜

基金项目: 国家自然科学基金(30270782)。

作者简介: 张多英(1980-), 女, 黑龙江巴彦人, 硕士。E-mail: duo0314@yahoo.com.cn

\* 通讯作者(Corresponding author): 马凤鸣(1947-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 植物生理学。Tel: 0451-55190298 E-mail: fengming\_ma@sohu.com

Received(收稿日期): 2004-12-03; Accepted(接受日期): 2005-09-18.

原料根产量与含糖率提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试品种

供试品种为黑龙江省甜菜 (*Beta vulgaris* L.) 主栽品种二倍体纯系,标准偏高糖型甜研7号和标准偏丰产型甜研8号,由黑龙江大学呼兰甜菜研究所提供。

### 1.2 子叶期幼苗准备

种子经过漂白粉液灭菌0.5 h,冲洗后在去离子水洗净的石英砂中于黑暗条件下水培发芽10 d后,选取生长整齐的幼苗移栽在含0.2 mmol/L  $\text{CaSO}_4$  的培养缸中,置 Conviron 人工气候箱饥饿培养1 d [光强  $250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 温度  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 相对湿度 75%], 用于测定甜菜子叶期 (11 d 龄) 幼苗对  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的吸收特性。

### 1.3 苗期幼苗准备

挑选上述均匀一致的幼苗移至20 L 营养缸中,每缸20株,每隔7 d 换1次培养液,每天调 pH 至6.5。培养液以 Hoagland 配方<sup>[11]</sup>为基础,以  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  和  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  为氮源,在总氮量固定(4 mmol/L)的情况下,设定  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  的浓度比例分别为4:0、4:1、3:1、1:1、1:3、1:4、0:4。选取苗龄31 d 生长整齐的幼苗(植株已长至3对真叶)移栽在含0.2 mmol/L  $\text{CaSO}_4$  的培养缸中,置 Conviron 人工气候箱饥饿培养1 d [光强  $250 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 温度  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ , 相对湿度 75%], 用于测定此时期幼苗对  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  的吸收特性。

### 1.4 幼苗对 $\text{NO}_3^-$ 与 $\text{NH}_4^+$ 吸收的最大吸收速率 ( $V_{\text{max}}$ )

甜菜幼苗对  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{NH}_4^+$  吸收的  $V_{\text{max}}$  测定采用浓度梯度法<sup>[6]</sup>。将准备好的11 d 龄及31 d 龄幼苗每3株一组,分别移入体积30 mL, 浓度0.05、0.1、0.2、1、2、5 mmol/L  $\text{KNO}_3$  或  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  中培养,每浓度设3次重复。在  $\text{KNO}_3$  溶液中培养4 h, 在  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  溶液中培养7 h, 随后取出幼苗测定其根鲜重,并按 Eisenthal<sup>[12]</sup> 图解法求得  $V_{\text{max}}$ 。

### 1.5 溶液中 $\text{NO}_3^-$ 测定

应用直接比色法<sup>[13]</sup>。取1.5 mL 溶液,加水定容至15 mL,在210 nm 波长下测定吸光值。以溶液中  $\text{NO}_3^-$  的减少量为幼苗根系的净吸收量。仪器为 Varian 的 Cary 50 型紫外-可见分光光度计。

### 1.6 溶液中 $\text{NH}_4^+$ 测定

根据开氏法<sup>[14]</sup>,待测液25 mL 加2 g 氧化镁进行蒸馏,冷凝管下端用10 mL 加有2滴混合指示剂的硼酸溶液吸收,待吸收液达30~40 mL 时停止蒸馏,用盐酸标准溶液滴定。以溶液中  $\text{NH}_4^+$  的减少量为幼苗根系的净吸收量。仪器采用 VELP 凯氏定氮仪。

## 2 结果与分析

### 2.1 子叶期甜菜 (11 d 龄) 对 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NH}_4^+$ 吸收的动力学参数

子叶期 (11 d 龄) 甜菜幼苗对  $\text{NO}_3^-$  与  $\text{NH}_4^+$  的吸收速率如图1、图2所示。甜研7号对  $\text{NO}_3^-$  的吸收速率要明显低于甜研8号,而对于  $\text{NH}_4^+$ , 甜研7号的吸收速率则较高。

$V_{\text{max}}$  表示离子吸收所能达到的最大速率,  $V_{\text{max}}$  越大,离子吸收的内在潜力越大,与载体的数目和载体的转运效率有关<sup>[15]</sup>。

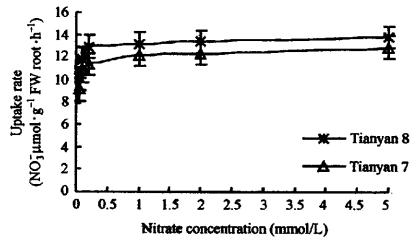


图1 子叶期 (11 d 龄) 甜菜幼苗  $\text{NO}_3^-$  吸收速率随  $\text{NO}_3^-$  浓度的变化

Fig.1 The  $\text{NO}_3^-$  uptake rate of sugar beet seedlings at cotyledon stage (11-day-old) on  $\text{NO}_3^-$  concentrations

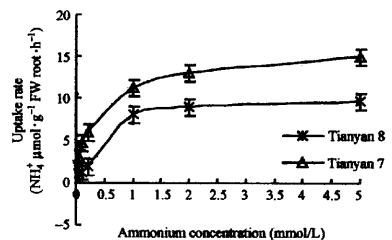


图2 子叶期 (11 d 龄) 甜菜幼苗  $\text{NH}_4^+$  吸收速率随  $\text{NH}_4^+$  浓度的变化

Fig.2 The  $\text{NH}_4^+$  uptake rate of sugar beet seedlings at cotyledon stage (11-day-old) on  $\text{NH}_4^+$  concentrations

从表1可以看出,甜研7号与甜研8号对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>吸收的V<sub>max</sub>大致相近,说明二者根系对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的吸收潜力基本相同。但对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的V<sub>max</sub>,甜研7号(13.3 mmol/L)高于甜研8号(6.7 mmol/L),这说明对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>甜研7号比甜研8号有较大的根系吸收潜力,有利于吸收NH<sub>4</sub><sup>+</sup>。

表1 不同品种甜菜子叶期幼苗(11 d龄)对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>吸收的V<sub>max</sub>  
Table 1 V<sub>max</sub> of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> uptake in different sugar beet cultivars at cotyledon stage (11-day-old)

| 品种<br>Cultivar | 对NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 的V <sub>max</sub><br>V <sub>max</sub> of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> uptake | 对NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 的V <sub>max</sub><br>V <sub>max</sub> of NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> uptake |
|----------------|--|--|
|                | (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol·g <sup>-1</sup><br>FW root·h <sup>-1</sup> )                            | (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> μmol·g <sup>-1</sup><br>FW root·h <sup>-1</sup> )                            |
| 甜研7号 Tianyan 7 | 12.6 ± 0.64  | 13.3 ± 0.48  |
| 甜研8号 Tianyan 8 | 13.7 ± 0.51  | 6.7 ± 0.28   |

2.2 不同NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>处理后苗期甜菜(31 d龄)对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的吸收

不同NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>处理31 d后,甜研7号对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的吸收速率是,3:1 > 1:1 > 1:3 > 1:4, 4:1 > 0:4 > 4:0 (如图3所示),甜研8号对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的吸收速率差异较甜研7号小(如图4所示)是,1:3 > 1:4 > 3:1 > 0:4, 1:1 > 4:0 > 4:1。营养液中不同NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>影响了甜菜对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的吸收速率,总体上看,营养液中过高浓度的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>或NH<sub>4</sub><sup>+</sup>都降低甜菜对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的吸收速率,只有适当的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>比例能够提高甜菜对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的吸收速率。

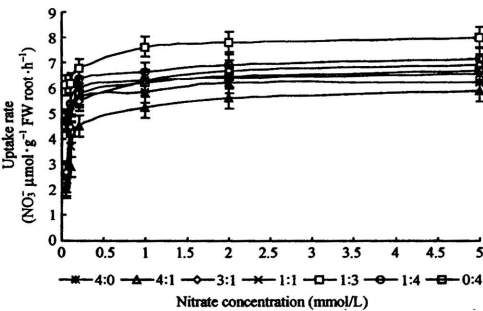


图3 苗期(31 d龄)甜研7号幼苗NO<sub>3</sub><sup>-</sup>吸收速率随NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度的变化

Fig.3 The NO<sub>3</sub><sup>-</sup> uptake rate of Tianyan 7 at seedling stage (31-day-old) on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations

不同NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>处理后苗期甜菜的最大吸收速率发生了变化(如表2所示),并显示出显著的差异。但是相对甜研7号,甜研8号的变化差异幅度较小。随

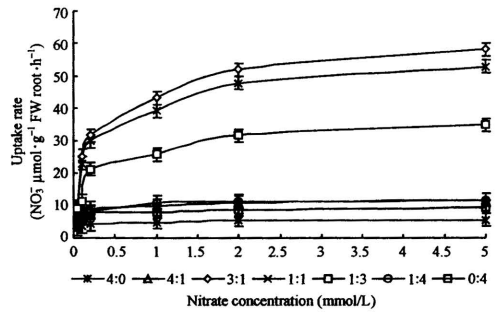


图4 苗期(31 d龄)甜研8号幼苗NO<sub>3</sub><sup>-</sup>吸收速率随NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度的变化

Fig.4 The NO<sub>3</sub><sup>-</sup> uptake rate of Tianyan 8 at seedling stage (31-day-old) on NO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentrations

着营养液中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>所占比例的增加,甜菜对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>的V<sub>max</sub>有先增加后下降的趋势。在NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>为3:1时,V<sub>max</sub>最高且甜研7号具有最大吸收潜力。当NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>为1:3时,甜研7号对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>有最大的吸收潜力。

表2 不同NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>条件下不同类型甜菜品种苗期(31 d龄)对NO<sub>3</sub><sup>-</sup>吸收的V<sub>max</sub>

| Table 2 V <sub>max</sub> of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in different sugar beet cultivars at seedling stage with different NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ratio(31-day-old) |   |                |
|--|---|----------------|
| 营养液中NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ,NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 浓度比例  | V <sub>max</sub> (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> μmol·g <sup>-1</sup> FW root·h <sup>-1</sup> ) |                |
| Ratio of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 甜研7号 Tianyan 7  | 甜研8号 Tianyan 8 |
| 4:0  | 5.2 g   | 6.2 e          |
| 4:1  | 11.7 d  | 5.8 f          |
| 3:1  | 57.1 a  | 6.7 c          |
| 1:1  | 52.1 b  | 6.5 d          |
| 1:3  | 32.1 c  | 8.0 a          |
| 1:4  | 11.2 e  | 6.9 b          |
| 0:4  | 9.5 f   | 6.5 d          |

注:1)应用SPSS软件分析,表中数据为3次重复的平均值,列内不同字母表示在0.05水平上的差异显著性,下同。

Notes:1)Using SPSS analyses system, data in table are the means of three replications, which within a column followed by a different letter are significantly different at the 0.05 probability level. The same below.

2.3 不同NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>处理后苗期甜菜(31 d龄)对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的吸收

31 d龄时,不同NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>处理后,甜研7号对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的吸收速率是:1:3 > 3:1 > 1:1 > 4:1 > 4:0 > 4 > 1:4(如图5所示),甜研8号(如图6所示)是:1:3,0:4 > 3:1 > 4:0 > 1:4 > 1:1 > 4:1。适宜NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>提高甜菜对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的吸收速率。

由表3可以看出,当NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>为1:3时,甜研7号、甜研8号对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的V<sub>max</sub>均最大,且甜研7号对离子的吸收潜力较甜研8号大。

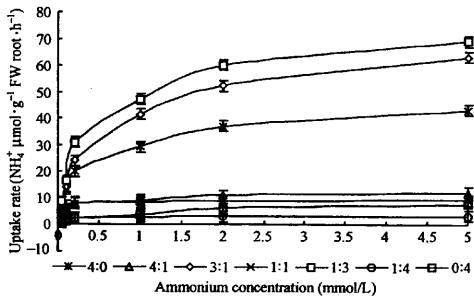


图 5 苗期(31 d 龄)甜研 7 号幼苗 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 吸收速率随 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度的变化

Fig.5 The NH<sub>4</sub><sup>+</sup> uptake rate of Tianyan 7 at seedling stage (31-day-old) on NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentrations

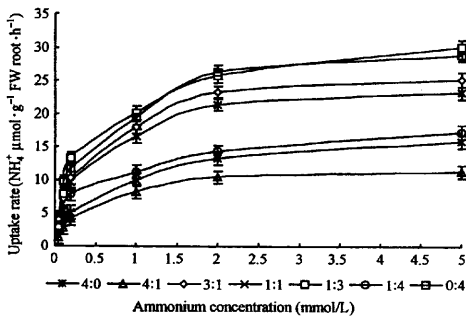


图 6 苗期(31 d 龄)甜研 8 号幼苗 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 吸收速率随 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度的变化

Fig.6 The NH<sub>4</sub><sup>+</sup> uptake rate of Tianyan 8 at seedling stage (31-day-old) on NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentrations

表 3 不同 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 条件下不同类型品种苗期甜菜(31 d 龄)对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 吸收的 V<sub>max</sub>

Table 3 V<sub>max</sub> of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> uptake in different sugar beet cultivars at seedling stage (31-day-old) with different NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

| 培养液中 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 、NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 浓度比例 | V <sub>max</sub> (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , μmol·g <sup>-1</sup> FW root·h <sup>-1</sup> ) |                  |
|--|---|------------------|
| Ratio of NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 甜研 7 号 Tianyan 7  | 甜研 8 号 Tianyan 8 |
| 4:0  | 9.9 e   | 22.4 d           |
| 4:1  | 12.7 d  | 12.5 g           |
| 3:1  | 61.2 b  | 24.0 c           |
| 1:1  | 41.1 c  | 14.9 f           |
| 1:3  | 67.5 a  | 30.0 a           |
| 1:4  | 3.5 g   | 16.1 e           |
| 0:4  | 5.2 f   | 27.8 b           |

### 3 讨论

关于 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对植物生长的影响,近年来国内外一直有争议。NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 通常在吸收和同化过程中较 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 节省能量,但高浓度的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 在根系中的同化可能耗尽碳水化合物,或者因积累而引起毒害作用<sup>[15-16]</sup>。而植株根系可对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 主动吸收且较 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

具更高的亲和力,但有研究表明,高氮下 KNO<sub>3</sub> 处理虽然显著增加了小麦的氮吸收,却没有相应提高氮还原同化能力,体内产生了一定程度的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 累积现象,从而导致与分配有关的氮素利用效率指标(氮收获指数、植株氮生产力等)的显著下降<sup>[17]</sup>。因而目前认为单独使用均不如混合使用 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 有利于植株生长<sup>[18-20]</sup>。目前大部分的工作都集中在不同 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 处理后植物对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 吸收与同化以及植株生长势方面的研究<sup>[21-22]</sup>,对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 吸收与同化鲜有报道。有研究表明甜研 7 号体内硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)活性与氮素形态相关<sup>[5]</sup>。NR 活性随 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度比例增加而升高,当 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 为 1:1 时,甜菜体内 GS 活性最高,并且在此比例下有较高的产量与含糖量。但是目前还没有关于甜研 8 号的相关报道。在本试验中,不同 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 影响了甜菜对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的吸收速率,两品种所受的影响并不相同。高浓度 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的存在促进了甜研 7 号与甜研 8 号对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的吸收,甜研 7 号对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 较甜研 8 号敏感。看来 NR 与 GS 的活性变化也影响到了甜菜对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的吸收,可以通过调节甜菜对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 与 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的吸收与同化关系来调控甜菜的氮代谢,以提高甜菜的产量与质量。

### References

- [1] Qu W-Z(曲文章), Cai J(崔杰), Cao M-Z(高妙贞), Bai X-H(白祥和), Li B-S(李宾胜). Effect of nitrogen application amount on nitrogen metabolism, yield and quality in sugar beet. *China Sugarbeet* (中国甜菜), 1994, (4): 16-21 (in Chinese with English abstract)
- [2] Zhang H-J(张宏纪), Ma F-M(马凤鸣), Li W-H(李文华), Yan G-P(闫桂萍). Effect of different nitrogen forms on glutamate synthetase activities in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Heilongjiang Agric Sci* (黑龙江农业科学), 2001, 6: 7-10 (in Chinese with English abstract)
- [3] Li H-Y(李海燕), Ma F-M(马凤鸣), Zhu Y-M(朱延明), Cao J-G(高继国). Relationship between activities of nitrogen and sucrose metabolism enzymes and sucrose metabolism in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *J Northeast Agric Univ* (东北农业大学学报), 2002, 33(1): 1-7 (in Chinese with English abstract)
- [4] Zhao Y(赵越), Wei Z-M(魏自民), Ma F-M(马凤鸣). Influence of the different level ammonium nitrogen on NRA and GSA in sugar beet. *Sugar Crops of China* (中国糖料), 2003, 1: 22-25 (in Chinese with English abstract)
- [5] Li C-F(李彩凤), Ma F-M(马凤鸣), Zhao Y(赵越), Li W-H(李文华). Effects of nitrogen forms on key enzyme activities and related products in sugar and nitrogen metabolism of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(1): 128-132 (in Chinese)

- with English abstract)
- [6] Youngdahl L J, Pacheco R, Street J J, Vlek P L G. The kinetics of ammonium and nitrate uptake by young rice plants. *Plant & Soil*, 1982, 69:225-232
- [7] He W-S(何文寿), Li S-X(李生秀), Li H-T(李辉桃). Character of ammonium and nitrate uptake in rice. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 1998, 12(4): 249-252(in Chinese with English abstract)
- [8] Garnett T, Smethurst P J. Ammonium and nitrate uptake by *Eucalyptus nitens*: effects of pH and temperature. *Plant & Soil*, 1999, 214: 133-140
- [9] Kronzucker H J, Siddiqi M Y, Glass A D M. Kinetics of  $\text{NH}_4^+$  influx in spruce. *Plant Physiol*, 1996, 110:773-779
- [10] Malavolta E. Study on the nitrogenous nutrition of rice. *Plant Physiol*, 1954, 29:98-99
- [11] Kousai Y Z (山崎肯哉), Liu B-Z(刘步州). Whole Book about Natural Solution(营养液栽培大全). Beijing: Beijing Agricultural University, 1989 (in Chinese)
- [12] Eisenthal B, Athel C B. The direct linear plot (a new graphical procedure for estimating enzyme kinetic parameters). *Biochem J*, 1974, 139: 715-720
- [13] Chen M-C(陈明昌), Zhang Q(张强), Yang J-L(杨晋玲). Selection and verification of methods for determination of nitrate in soil extracts. *J Shanxi Agric Sci* (山西农业科学), 1995, 23(1):31-36 (in Chinese with English abstract)
- [14] Liu G-S(刘光崧), Jiang N-H(蒋能慧), Zhang L-D(张连第), Liu Z-L(刘兆礼). Soil Physical and Chemical Analysis & Description of Soil Profiles(土壤理化分析与剖面描述). Beijing: Standards Press of China, 1996. pp 33-334 (in Chinese)
- [15] Wang M Y, Siddiqi M Y, Ruth T J, Glass A D M. Ammonium uptake by rice roots: Fluxes and subcellular distribution of 13  $\text{NH}_4^+$  influx across the *plasmalemma*. *Plant Physiol*, 1993, 103: 1249-1267
- [16] Wu P(吴平), Yin L-P(印莉萍), Zhang L-P(张立平). Nutrition and Molecular Physiology of Plant(植物营养与分子生理学). Beijing: Science Press, 2001 (in Chinese)
- [17] Sun C-F(孙传范), Dai T-B(戴廷波), Cao W-X(曹卫星). Effect of the enhanced ammonium nutrition on the growth and nitrogen utilization of wheat under different N levels. *Plant Nutr & Fertilizer Sci* (植物营养与肥料学报), 2003, 9(1):33-38(in Chinese with English abstract)
- [18] Bloom A J, Jackson L E, Smart D R. Root growth as a function of ammonium and nitrate in the root zone. *Plant Cell Environ*, 1993, 16: 389-394
- [19] Alfoldi Z, Pinter L. Accumulation and partitioning of biomass and soluble carbohydrates in maize seedlings as affected by source of nitrogen, nitrogen concentration, and cultivar. *J Plant Nutr*, 1992, 15(11):2567-2583
- [20] Xiao Y-B(肖彖波), Li W-X(李文学), Duan Z-Y(段综颜), Zhang F-S(张福锁). Uptake and regulation of nitrate in plants. *Res China Agric Sci & Technol*, 2002, 4(2): 56-59 (in Chinese with English abstract)
- [21] Dai T-B(戴廷波), Cao W-X(曹卫星), Sun C-F(孙传范). Responses of different wheat varieties to mixed  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  nutrition at early stage. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 2000, 23(1): 14-18 (in Chinese with English abstract)
- [22] Song H-X(宋海星), Shen S-L(申斯乐), Yan S(闫石), Ma S-Y(马淑英). Effect of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_4^+$ -N on soybean seedling and nitrogen accumulation. *Soybean Sci* (大豆科学), 1995, 16:178-180 (in Chinese with English abstract)