植物营养与肥料学报 2007,13(6):1098 - 1104
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同铵硝配比营养液对典型生菜硝酸盐吸收动力学的影响

王 波[1,2], 赖 涛[1,3], 沈其荣[1*]
(1 南京农业大学资环学院, 南京 210095; 2 苏州大学园艺系,江苏苏州 215006;
3 深圳市水土保持监测总站,深圳 518036)

摘要: 利用 100% NO_3^--N、10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N、10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N 营养液来研究生菜吸收 NO_3^- 的动力学特征。结果表明,生菜吸收 NO_3^- 的速率随着营养液中 NO_3^- 浓度的增加而增加,增加的幅度随着营养液中 NO_3^- 浓度的增加而减少。NH_4^+-N 的存在对生菜吸收 NO_3^- 有明显抑制作用。与 100% NO_3^--N 处理相比,生菜在 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N、10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N 处理中吸收 NO_3^- 的速率和 Vmax 有明显下降,Km 有少量增加,但差异不显著。申选 1 号在有 NO_3^--N 的营养液中吸收 NO_3^- 的速率均大于耐热耐抽苔生菜,且随着营养液中 NO_3^- 浓度的增加,两者的差距逐渐加大。在 NH_4^+-N 的存在情况下,耐热耐抽苔生菜 Vmax 下降的程度大于申选 1 号,而 Km 增加的程度小于申选 1 号。

关键词: 生菜; 铵硝配比; 硝酸盐; 吸收动力学
中图分类号: S636; S147.2　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2007)06-1098-07

Effects of NH_4^+-N/ NO_3^--N ratios on kinetics of nitrate uptake by two typical lettuce genotypes in hydroponics

WANG Bo[1,2], LAI Tao[1,3], SHEN Qi-rong[1*]
(*1 College of Resource and Environment Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;*
2 Faculty of Horticulture, Soochow University, Suzhou 215006, China;
3 Soil and Water Conservation Monitoring Station of Shenzhen, Shenzhen 518036, China)

Abstract: Dryland crops generally favor NO_3^--N, but some NH_4^+-N is usually beneficial to them. To determine the characteristics of nitrate uptake, two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.), Sx1 and Nrnct, were hydroponically grown in nutrient solution, i. e. 100% NO_3^--N, 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N, 10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N. The results indicated that NO_3^- uptake rate by lettuce increased with NO_3^- content, while the increase rate decreased. Compared with the treatment of 100% NO_3^--N, the rates of NO_3^- uptake by lettuce decreased significantly in the treatments of 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N and 10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N. This indicated that NH_4^+-N in nutrient solution had significant effects on the rates of NO_3^- uptake. The Vmax of NO_3^- uptake kinetics in the treatment of 100% NO_3^--N was significantly higher than that of the treatments of 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N and 10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N. The Km of NO_3^- uptake kinetics in the treatment of 100% NO_3^--N was lower than that of the treatments of 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N and 10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N, but the difference was not significant. NH_4^+-N inhibited NO_3^- uptake, mainly due to the higher Vmax. Different cultivars differed in nitrate uptake characteristics. The NO_3^- uptake rate of Sx1 was higher than that of Nrnct in solution, and the difference increased with NO_3^- content. When there

收稿日期: 2006-11-12　　**修改稿收到日期**: 2007-03-31
基金项目: 国家自然科学基金项目(30270790); 江苏省政府项目(R2317169) 资助。
作者简介: 王波(1965—),男,江苏扬州人,副教授,博士研究生,主要从事蔬菜氮素营养研究。Tel: 025-65880230, E-mail: wangb@suda.edu.cn
* 通讯作者 Tel: 025-84395212, E-mail: shenqirong@njau.edu.cn

was NH_4^+-N in nutrient solution, Vmax of Nrnct decreased more than that of Sx1, and Km of Nrnct increased less than that of Sx1.

Key words: Lettuce (*Lactuca sativa* L.); NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio; nitrate; kinetics of nitrate uptake

作物体内硝酸盐的积累是由于作物本身对硝酸盐吸收量的多寡、转移速度的快慢、以及还原能力强弱等因素的综合体现[1]。不但不同种类作物间硝酸盐含量有很大的差别，即使同一种类不同品种间，作物体内硝酸盐含量也存在有很大的差别，而且这种差异可以遗传[2]。

根系养分离子吸收动力学研究在研究植物对养分吸收方面占有重要地位。早在 50 年代初 Epstein 和 Hagen[3]就开始研究作物根对养分离子的吸收动力学，至 70 年代初期，Classen 和 Barber[4]建立了根系养分吸收动力学方程式和离子消耗技术。根系养分吸收动力学的研究为阐明养分吸收特性提供了有效的手段。研究表明，根系对 NO_3^- 的吸收是主动吸收，一般符合 Michaelis - Menten 方程的描述[5]。研究作物根系对硝酸盐吸收动力学性质主要通过对 Vmax 和 Km 等两个动力学参数描述来进行，这 2 个动力学参数被广泛用来表征根系吸收 NO_3^- 的效率，以及鉴别作物种类或品种间吸收 NO_3^- 的差异[6]。

Km 数值等于 1/2 Vmax 时外界浓度，大小取决于载体的特性，其倒数表示根系细胞膜上某离子吸收位点对该离子的亲和力，作物吸收某种离子的 Km 值越小，则对该离子的亲和力越大，吸收能力越强。Vmax 反映了植物吸收某种离子的最大潜力，其大小主要与有效载体的数目有关，Vmax 越大，表明吸收该离子的内在潜力就越大。Cacco 等[7]用 Vmax 和 Km 来评价在 NO_3^- 吸收过程中不同基因型植物对环境养分的适应性，他们将植物吸收 NO_3^- 的 Vmax 和 Km 分成 4 种可能组合：①高 Vmax 和高 Km 的基因型植物，适应大肥大水养分条件下的生产；②高 Vmax 和低 Km 的基因型植物，适应较广泛的养分条件，是最理想的模式；③低 Vmax 和低 Km 的基因型植物，适合贫瘠地区的养分条件；④低 Vmax 和高 Km 的基因型植物在任何浓度下都难以生存，没有任何优势。

有关生菜氮素营养已有大量的研究，但在品种水平上研究环境中的 NH_4^+ 对其吸收 NO_3^- 动力学特征的影响尚未见报道。本研究以 2 个典型的生菜品种（对不同铵硝配比氮素营养敏感的申选 1 号及对不同铵硝配比氮素营养钝感的耐热耐抽苔）为材料[8]，在以前研究[9]的基础上，通过用 10% NH_4^+-N 取代营养液中 10% NO_3^--N 和直接在营养液中添加 10% NH_4^+-N 后，分析环境中的 NH_4^+ 对 2 种典型生菜品种吸收 NO_3^- 动力学影响，探讨 NH_4^+ 对植物氮素营养的影响情况，以期为评价生菜不同品种对环境养分状况的适应性及生产上提高生菜产量与品质提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验方法

试验选择本试验小组在前期试验中所得到的典型生菜品种申选 1 号（Shenxuan 1, Sx 1）和耐热耐抽苔（Nairenaichoutai, Nrnct）。它们在长江中下游普遍种植，且大田产量相近。

将所选的 2 个生菜品种消毒后播于盛有干净石英砂的育苗箱中，并将育苗箱放在 18℃的恒温培养箱中发芽，15 d 后移到人工气候室中进行，光强度 6000 lx，温度（25 ± 2）℃，相对湿度 60%。1 周后选择长势均匀的生菜苗移栽到有供氧装置的 20L 周转箱中培养，周转箱上覆盖 26 孔的塑料盖板，每块板上栽同一品种的 24 株苗（另 2 个孔用来通气）。营养液采用专门适用生菜培育的山崎营养液（Yamazaki solution）：$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 236 mg/L，KNO_3 404 mg/L，$NH_4H_2PO_4$ 57 mg/L，$MgSO_4$ 123 mg/L，微量元素采用通用配方。先在山崎营养液中培养 2 周，然后选择长势相近的健壮幼苗，漂洗后吸干根系水分，移植到 0.2 mmol/L $CaSO_4$（pH 6.0）溶液中饥饿 24 h。再进行 NO_3^- 吸收动力学试验。

1.2　NO_3^- 吸收动力学试验处理

NO_3^- 吸收动力学试验设 3 个处理，分别是 100% NO_3^--N（以山崎营养液为基础，修改其配方使其只含有硝酸盐。具体 7 个处理浓度分别为：0、0.05、0.10、0.15、0.20、0.50、1.00、2.00 mmol/L）、90% NO_3^--N + 10% NH_4^+-N（将 7 个浓度处理中 10% NO_3^--N 分别换成 10% NH_4^+-N）、100% NO_3^--N + 10% NH_4^+-N（将 7 个浓度处理中 10% NO_3^--N 分别换成 10% NH_4^+-N）。NH_4^+-N 以 NH_4Cl 形式提供，为了防止 NH_4^+ 的硝化作用，分别加入 7 μmol/L 硝化抑制剂（$C_2H_4N_4$）。将饥饿过的生菜分别浸入 100 mL 营养液中，起始 pH 为 6.5，吸收 2 h，每培养瓶 10

株,4次重复。

1.3 收获与测定

将吸收后的溶液体积进行测量,并用流动注射分析仪(AutoAnalyzer 3, Bran + Luebbe Gmbh, Germany)测定硝酸盐含量[10-11]。

1.4 数据处理

吸收动力学数据按照 Michaelis - Menten 方程的 Hofstee 转换式进行处理,统计分析采用 SPSS11.5。

2 结果与分析

2.1 100% NO_3^--N 处理对生菜 NO_3^- 吸收动力学的影响

在全 NO_3^--N 营养液中,试验发现申选1号和耐热耐抽苔对 NO_3^- 的吸收速率均随着营养液中 NO_3^- 浓度的增加而加大,且各吸收曲线均符合 Michaelis - Menten 方程的描述(图1)。但从营养液中 NO_3^- 浓度对生菜吸收 NO_3^- 相对速率影响的角度来看,随着 NO_3^--N 浓度逐步增加,开始生菜对 NO_3^- 吸收速率的增加幅度较大,然而随着 NO_3^- 浓度的进一步增加,生菜对 NO_3^- 吸收速率虽然增加,但增加幅度减少,表现出递减的趋势。

不同生菜品种对 NO_3^- 的吸收速率存在一定差异。除在 NO_3^- 浓度为0的营养液中,申选1号吸收 NO_3^- 的速率小于耐热耐抽苔外(实际上是 NO_3^- 外渗速率);其它有 NO_3^--N 的营养液中,申选1号 > 耐热耐抽苔。而且随着 NO_3^- 浓度的增加,2个品种之间的差异逐渐加大,说明从对 NO_3^- 吸收速率的角度来看,申选1号具有比耐热耐抽苔更强的优势。

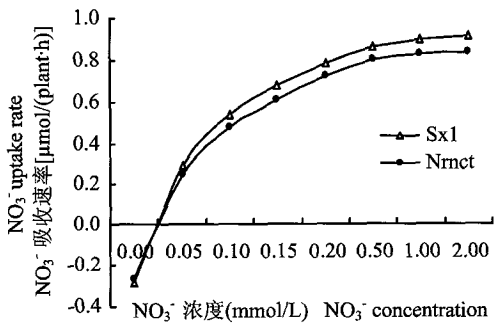

图1 不同品种生菜的 NO_3^- 吸收速率随着 NO_3^- 浓度的变化

Fig.1 Rates of NO_3^- uptake by different cultivars of lettuce in Yamazaki solution without NH_4^+

(Sx1—申选1号 Shenxuan 1; Nrnct—耐热耐抽苔 Nairenaichoutai; 下同 The same symbol is used for other tables and figures.)

表1显示,2个生菜品种中申选1号的 Km 小于耐热耐抽苔(前者为后者的91.9%),差异达显著水平;而 Vmax 差异不显著。说明在100% NO_3^--N 处理中,申选1号与耐热耐抽苔生菜在吸收 NO_3^- 动力学上的差异主要表现在 Km 上,即申选1号根系细胞膜 NO_3^- 吸收位点与 NO_3^- 的亲和力较耐热耐抽苔大。根据 Cacco 等[7]评判植物对环境养分的适应性标准,申选1号比耐热耐抽苔生菜更加适应贫瘠的肥水条件,而耐热耐抽苔需要大水大肥条件。从 Cmin 来看,申选1号的 Cmin 仅为耐热耐抽苔的91.9%,两者差异达显著水平,说明申选1号根系对低浓度 NO_3^- 的忍受能力与耐热耐抽苔相比存在显著差异。

表1 100% NO_3^--N 处理对生菜 NO_3^- 吸收 Vmax、Km 和 Cmin 的影响

Table 1 Effects of 100% NO_3^--N on kinetic parameters of NO_3^- uptake by different lettuce cultivars at the seedling stage

品种 Cultivar	Vmax [μmol/(plant·h)]	Km (mmol/L)	Cmin (mmol/L)
Sx1	1.0071 a	0.0924 b	0.3021 b
Nrnct	0.9324 a	0.1005 a	0.3286 a

注(Note):表中数据是重复的平均值,不同字母表示品种间在0.05水平上的差异显著性,下同。Data in table are the means of replications. Different letters between cultivars mean significant at $P < 0.05$ level and the same symbol is used for other tables.

2.2 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N 处理对生菜 NO_3^- 吸收动力学的影响

将营养液中10% NO_3^--N 用相应组分的 NH_4^+-N 取代后,对不同生菜品种 NO_3^- 吸收动力学存在明显的差异(图2)。比较不同品种生菜在10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N 处理中吸收 NO_3^- 的速率发现,不同品种对 NO_3^- 吸收速率的大小不一。除没有 NO_3^--N 的营养液之外,在有 NO_3^- 的营养液中,申选1号的吸收速率均是大于耐热耐抽苔。且随着 NO_3^- 浓度的增加,2个品种之间的差异逐渐加大,这与在100% NO_3^--N 营养液中的表现相似,也符合 Michaelis - Menten 方程的描述。说明从对 NO_3^- 吸收速率的角度来看,即使将营养液中10% NO_3^--N 用10% NH_4^+-N取代,申选1号仍然具有比耐热耐抽苔生菜更强的优势。

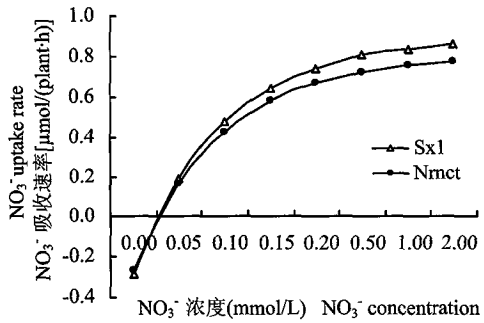

图 2　10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N 处理对生菜 NO_3^- 吸收动力学的影响

Fig.2　Kinetic characteristics of NO_3^- uptake by different cultivars of lettuce in response to 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N

比较图 1 与图 2 发现，在各个浓度下，2 个品种生菜在 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N 处理中吸收 NO_3^- 的速率均小于在 100% NO_3^--N 处理中所获得的吸收 NO_3^- 的速率。

10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N 处理对生菜吸收 NO_3^- 的 Vmax、Km 和 Cmin 的影响(表 2)看出，申选 1 号吸收 NO_3^- 的 Vmax 大于耐热耐抽苔生菜，后者仅为前者的 89.1%，差异达显著水平；而在全 NO_3^--N 营养液中申选 1 号和耐热耐抽苔生菜吸收 NO_3^- 的 Vmax 差异不显著。从吸收 NO_3^- 的 Km 和 Cmin 来看，申选 1 号和耐热耐抽苔生菜之间没有显著差异。

表 2　10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N 处理对生菜 NO_3^- 吸收 Vmax、Km 和 Cmin 的影响

Table 2　Effects of 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N on kinetic parameters of NO_3^- uptake by lettuce cultivars at the seedling stage

品种 Cultivar	Vmax [μmol/(plant·h)]	Km (mmol/L)	Cmin (mmol/L)
Sx1	0.9135 a	0.0942 a	0.3972 a
Nrnct	0.8143 b	0.1022 a	0.4042 a

比较表 2 和表 3 发现，将营养液中 10% NO_3^--N 用 NH_4^+-N 替换后，申选 1 号的 Vmax 下降了 9.3%，耐热耐抽苔生菜的 Vmax 下降了 10.0%，差异均达显著水平。说明 10% NO_3^--N 被 10% NH_4^+-N 替换后，对用于 NO_3^- 吸收的有效载体数量存在显著的影响。申选 1 号和耐热耐抽苔生菜的 Km 虽增加但差异均不显著，说明营养液中 10% NO_3^--N 被 10% NH_4^+-N 替换后，生菜对 NO_3^- 的亲和力没有变化。因此营养液中部分 NH_4^+-N 取代 NO_3^--N 后，生菜对 NO_3^- 吸收特性的变化主要是由于生菜吸收 NO_3^- 的 Vmax 而引起，也就是说部分 NO_3^--N 用 NH_4^+-N 替换后主要影响生菜吸收 NO_3^- 的有效载体数量，对根系细胞膜吸收 NO_3^- 的吸附位点与 NO_3^- 的亲和力没有影响。从对生菜吸收 NO_3^- 的 Cmin 的影响来看，营养液中 10% NO_3^--N 用 NH_4^+-N 替换后，申选 1 号和耐热耐抽苔生菜的 Cmin 分别提高了 31.5% 和 23.0%，差异均达极显著水平。说明环境中部分 NH_4^+-N 取代 NO_3^--N 后使植物对低浓度 NO_3^- 的忍受能力明显下降。

2.3　10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N 处理对生菜的 NO_3^- 吸收动力学的影响

在 100% NO_3^--N 营养液中添加 10% NH_4^+-N 后，对申选 1 号和耐热耐抽苔 NO_3^- 吸收速率有明显的影响(图 3)。在 10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N 处理中，生菜对 NO_3^- 的吸收与溶液中 NO_3^- 浓度的关系和在 100% NO_3^--N 和 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N 处理中相类似，也符合 *Michaelis - Menten* 方程的描述。

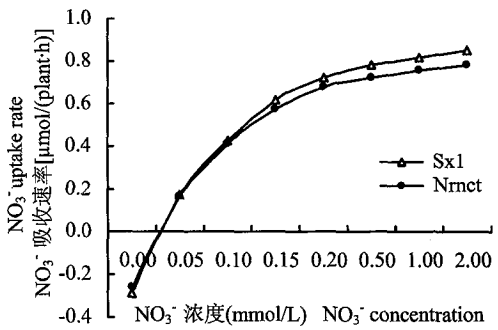

图 3　10% NH_4^+-N + 100% NO_3^--N 处理(增铵)对不同品种生菜 NO_3^- 吸收动力学的影响

Fig.3　Effects of 10% NH_4^+-N added to 100% NO_3^--N solution on kinetic of two cultivars of lettuce

在 100% NO_3^--N 营养液中增加 10% NH_4^+-N 后发现，申选 1 号吸收 NO_3^- 的 Vmax 与耐热耐抽苔生菜相比有明显的差异(表 3)。耐热耐抽苔生菜的 Vmax 仅为申选 1 号的 90.3%，差异达显著水平。说明在营养液中增加部分 NH_4^+-N 后，申选 1 号吸收 NO_3^- 的有效载体数目显著高于耐热耐抽苔，这与用 10% NH_4^+-N + 90% NO_3^--N 营养液中的结果相类似(表 2)，但与在 100% NO_3^--N 营养液中获得的结果不同(图 1)。从吸收 NO_3^- 的 Km 和 Cmin 来看，申选 1 号和耐热耐抽苔生菜之间没有显著差异。

表3 NH_4^+-N+100%NO_3^--N处理(增铵)对不同品种生菜NO_3^-吸收Vmax、Km和Cmin的影响

Table 3 Effects of 10% NH_4^+-N+100%NO_3^--N solution on kinetic parameters of NO_3^- uptake by different lettuce cultivars at the seedling stage

品种 Cultivar	Vmax [μmol/(plant·h)]	Km (mmol/L)	Cmin (mmol/L)
Sx1	0.8946 a	0.0967 a	0.3719 b
Nrnct	0.8076 b	0.1046 a	0.3882 a

表4表明,当营养液中有NH_4^+-N存在时,2个品种生菜吸收NO_3^-的Km有所上升(平均为3.1%)。两品种间增加幅度虽略有差异,但差异不大。在2个有NH_4^+-N处理中,生菜品种吸收NO_3^-的Vmax明显下降,下降幅度平均为11.6%。申选1号Vmax的减少率为10.23%,而耐热耐抽苔生菜为13.03%。

表4还看出,增加10% NH_4^+-N和替换10% NH_4^+-N处理对生菜吸收NO_3^-的Vmax和Km的影响也存在一定的差异。增加10% NH_4^+-N处理对生菜吸收NO_3^-的Vmax和Km的影响比替换10% NH_4^+-N处理要大。增加10% NH_4^+-N处理的Vmax平均减少12.28%,Km平均增加4.37%;替换10% NH_4^+-N处理的Vmax平均减少10.98%;Km平均增加1.82%,这可能是营养液中氮素总量和铵硝配比不同所引起的。

表4 不同处理对不同品种生菜NO_3^-吸收动力学参数Vmax和Km变化幅度的影响

Table 4 Effects of 10% NH_4^+-N+100%NO_3^--N and 10% NH_4^+-N+90%NO_3^--N on Vmax and Km of NO_3^- uptake by different lettuce cultivars compared with those in 100%NO_3^--N at the seedling stage

处理 Treatment	品种 Cultivar	Vmax减少(%) Vmax decrease	Km增加(%) Km increase
10% NH_4^+-N+90%NO_3^--N	Sx1	9.29	1.95
	Nrnct	12.67	1.69
10% NH_4^+-N+100%NO_3^--N	Sx1	11.17	4.65
	Nrnct	13.39	4.08

3 讨论

同种植物的不同基因型在离子吸收上往往存在较大的差别。研究证明,许多作物在NH_4^+、NO_3^-、$H_2PO_4^-$、K^+等离子的吸收方面存在显著的基因型差异[12-27]。本试验结果表明,生菜在NO_3^-吸收上存在明显的基因型差异,在衡量NO_3^-吸收动力学的2个生理参数Vmax和Km都体现出这种吸收差异。在100%NO_3^--N处理下,申选1号的Vmax和耐热耐抽苔生菜之间没有差异。申选1号的Km比耐热耐抽苔生菜小0.0081 mmol/L,前者为后者的91.9%,品种之间差异显著。说明在100%NO_3^--N处理中,申选1号和耐热耐抽苔生菜在吸收动力学上的差异主要体现在Km上。Vmax的大小体现了离子吸收的最大速度,它主要与细胞膜上运转离子的载体数量有关,Km主要体现离子与离子载体吸附位点之间的亲和性[28],这说明在全NO_3^--N环境中造成申选1号和耐热耐抽苔生菜在NO_3^-吸收上的差异是申选1号根细胞膜上吸附位点与NO_3^-之间的亲和力大于耐热耐抽苔所造成的。

有研究证实,在环境中添加NH_4^+可以影响植物吸收NO_3^-的动力学参数。如Youngdahl等[29]曾发现,NH_4^+可以影响植物吸收NO_3^-的Vmax,而对Km的影响很小,即NH_4^+主要影响植物吸收NO_3^-有效载体数目,而对根系细胞吸收位点与NO_3^-吸收的亲和性影响较小。本试验也表明,当营养液中有NH_4^+存在时,申选1号的Vmax为全NO_3^--N营养液中的89.8%(2个处理平均,下同),耐热耐抽苔生菜为87.0%,差异均达显著水平;申选1号在全NO_3^--N营养液中的Km为有NH_4^+存在时的93.9%,耐热耐抽苔生菜为94.9%,差异均不显著。

无论是将营养液中10%NO_3^-换成NH_4^+后,还是直接在营养液中添加10% NH_4^+后,这2个生理参数Vmax和Km的差异随着营养液中氮素营养的变化仍然得以保持,申选1号在NO_3^-吸收上均表现出较为明显的优势(图1,图2,图3)。本试验发现,在100%NO_3^--N营养液中,耐热耐抽苔生菜的Vmax为申选1号的96.1%,将营养液中10% NO_3^-换成

NH_4^+，以及直接在营养液中添加 10% NH_4^+ 后，耐热耐抽苔生菜的 Vmax 为申选 1 号的 90.9%。在全 NO_3^--N 营养液中，申选 1 号的 Km 为耐热耐抽苔的 85.3%，将营养液中 10% NO_3^- 换成 NH_4^+，以及直接在营养液中添加 10% NH_4^+ 后，耐热耐抽苔生菜的 Km 为申选 1 号的 99.3%。NH_4^+-N 的存在，耐热耐抽苔 Vmax 下降的程度大于申选 1 号，耐热耐抽苔 Km 增加的程度小于申选 1 号，说明申选 1 号更加适应贫瘠的肥水条件，而耐热耐抽苔则需要大水大肥条件。

综上所述，NH_4^+ 对申选 1 号和耐热耐抽苔生菜吸收 NO_3^- 动力学参数的影响主要体现在植物对 NO_3^- 的 Vmax 上，而对 Km 的影响很小。NH_4^+ 对 NO_3^- 吸收的影响可能通过 2 种途径：一是影响了控制 NO_3^- 载体蛋白合成的基因的表达，进而减少了细胞膜上载体蛋白的总量；二是 NH_4^+ 的存在可能影响载体所处细胞膜上的周边环境，例如膜电位的改变[30]、膜极化程度的改变[31]、膜结构的改变[32]等，从而降低了载体对离子的运转速度。

参 考 文 献：

[1] Solomonson L P, Barber M J. Assimilatory nitrate reductase: Functional properties and regulation[J]. Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol., 1990, 41: 225-253.

[2] 杜红斌，王秀峰，崔秀敏. 植物 NO_3^- 积累的生理机制研究[J]. 中国蔬菜，2001，(2)：49-51.
Du H B, Wang X F, Cui X M. Study on the physiological mechanism of nitrate accumulation by plant[J]. China Veget., 2001, (2): 49-51.

[3] Epstein E, Hagen C E. A kinetic study of the absorption of alkalications by barely roots[J]. Plant Physiol., 1952, 27: 457-474.

[4] Claassen N, Barber S A. A method for characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants[J]. Plant Physiol., 1974, 54: 564-568.

[5] Haynes R J. Mineral nitrogen in plant-soil system[M]. Orlando, Florida: Academic Press, 1986. 303-358.

[6] Nielson D R *et al*. Nitrogen in the environment[J]. Soil-Plant-Nitrogen Relat., 1978, (2): 201-235.

[7] Cacco G, Ferrari G, Saccomani M. Variability and inheritance of sulfate uptake efficiency and ATP-sulfurylase in maize[J]. Physiol. Plant, 1980, 48: 375-378.

[8] 王波，沈其荣，赖涛，等. 不同铵硝比营养液对生菜生长发育影响的研究[J]. 土壤学报，2007，44(3)：165-169.
Wang B, Shen Q R, Lai T *et al*. Effects of NH_4^+-N/ NO_3^--N ratios on the growth characteristic of lettuce in hydroponics[J]. Acta Pedol. Sin., 2007, 44(3): 165-169.

[9] 王波，赖涛，孙兴祥，沈其荣. 增铵营养对生菜根系形态影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报，2006，12(5)：745-749.
Wang B, Lai T, Sun X X, Shen Q R. Enhanced effects by some ammonium on the root growth of *Lettuce* in hydropnics[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(5): 745-749.

[10] 牛森. 作物品质分析[M]. 北京：中国农业出版社，1992. 184.
Niu S. Quality analysis of crops[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1992. 184.

[11] 邹瑜. 植物生理生化实验指导[M]. 北京：中国农业出版社，1995. 27.
Zhou Y. Experimental guidance of plant physiology and biochemy[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995.27.

[12] 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[J]. 土壤学报，2004，41(3)：420-425.
Chen W, Luo J K, Jiang H M, Shen Q R. Effects of different NO_3^--N/NH_4^+-N ratios on the biomass and nitrate content of different cultivars of Chinese cabbages[J]. Acta Pedol. Sin., 2004, 41(3): 420-425

[13] 陈巍，罗金葵，尹晓明，等. 硝酸盐在两个小白菜品种体内的分布及调配[J]. 中国农业科学，2005，38(11)：2277-2282.
Chen W, Luo J K, Yin X M *et al*. Distribution and remobilization of nitrate in two cultivars of pakchoi plant[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(11): 2277-2282.

[14] 戴廷波，曹卫星，荆奇. 氮形态对不同小麦基因型氮素吸收和光合作用的影响[J]. 应用生态学报，2001，12(6)：849-852.
Dai T B, Cao W X, Jing Q. Effects of nitrogen form on nitrogen absorption and photosynthesis of different wheat genotypes[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(6): 849-852.

[15] 郭培国，陈建军，郑燕玲. 氮素形态对烤烟光合特性影响的研究[J]. 植物学通报，1999，16(3)：262-267.
Guo P G, Chen J J, Zheng Y L. Study on the effects of nitrogen forms on photosynthetic characteristics in flue cured tobacco[J]. Chin. Bull. Bot., 1999, 16(3): 262-267.

[16] 何文寿，李生秀，李辉桃. 六种作物不同生育期吸收铵、硝态氮的特性[J]. 作物学报，1999，25(2)：221-226.
He W S, Li S X, Li H T. Characterics of absorbing ammonium and nitrate of six crops at different growth stages[J]. Acta Agron. Sin., 1999, 25(2): 221-226.

[17] 李存东，董海荣，李金才. 不同形态氮比例对棉花苗期光合作用及碳水化合物代谢的影响[J]. 棉花学报，2003，15(2)：87-90.
Li C D, Dong H R, Li J C. Influence of various ratios of nitrogen nutrition on photosynthetic and sugar metabolism of cotton[J]. Acta Gossypii Sin., 2003, 15(2): 87-90.

[18] 罗金葵，陈巍，张攀伟，沈其荣. 小白菜适当增铵下硝酸盐累积机理研究[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11(6)：800-803.
Luo J K, Chen W, Zhang P W, Shen Q R. Mechanism of nitrate accumulation of Chinese cabbage under properly enhanced ammonium[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(6): 800-803.

[19] 王建，孙兴祥，沈其荣，周毅. 增铵对不同菠菜生长及品质的影响[J]. 土壤通报，2006，37(2)：326-329.
Wang J, Sun X X, Shen Q R, Zhou Y. Effects of enhanced ammoni-

um nutrition on the growth and quality of spinach[J]. Chin. J. Soil Sci., 2006, 37(2): 326-329.

[20] 孙兴祥，王健，周毅，沈其荣. 不同氮素水平对菠菜生长和品质的影响[J]. 南京农业大学学报，2005, 28 (3): 126-128.
Sun X X, Wang J, Zhou Y, Shen Q R. Effects of different nitrogen levels on the growth and quality of spinach[J]. J. Nanjing Agric. Univ., 2005, 28 (3): 126-128.

[21] 董园园，董彩霞，卢颖林，等. NH_4^+-N 部分代替 NO_3^--N 对番茄生育中后期氮代谢相关酶活性的影响[J]. 土壤学报，2006, 43(2): 261-266.
Dong Y Y, Dong C X, Lu Y L *et al*. Influence of partial replacement of NO_3^--N with NH_4^+-N in nutrient solution on enzyme activity in nitrogen assimilation of tomato at different growing stages[J]. Acta Pedol. Sin., 2006, 43(2): 261-266.

[22] 封克，汪晓丽，陈平，盛海君. 水稻苗期不同时段 NO_3^- 吸收特点及其受 NH_4^+ 的影响[J]. 中国农业科学，2003, 36(3): 307-312.
Feng K, Wang X L, Chen P, Sheng H J. Nitrate uptake of rice and the effect of ammonium on it at different growth stages[J]. Sci. Agric. Sin., 2003, 36(3): 307-312.

[23] Walter J H, Mohamed A, Franz W. Differences between wheat cultivars in acquisition and utilization of phosphorus[J]. Z. Plfanzenernaehr. Bodenkd., 1996, 159(2): 155-161.

[24] Barker A V. Variations in nitrate accumulation among spinach cultivars[J]. Am. Soc. Hort. Sci., 1974, 99 (2): 132-134.

[25] Beusichem V, Kirkby E A, Baas R. Influence of nitrate and ammonium nutrition on the uptake, assimilation and distribution of nutrients in Ricinnus communis[J]. Plant Physiol., 1988, 86: 914-921.

[26] Chen W, Luo J K, Shen Q R. Effect of NH_4^+-N/ NO_3^--N ratios on growth and some physiological parameters of Chinese cabbage cultivars [J]. Pedosphere, 2005, 15(3): 310-318.

[27] Dong C X, Shen Q R, Wang G. Tomato growth and organic acid changes in response to partial replacement of NO_3^--N by NH_4^+-N [J]. Pedosphere, 2004, 14(2): 159-164.

[28] Wary J L, Kinghorn J R. Molecular and genetic aspects of nitrate assimilation[M]. New York: Oxford University Press, 1989.

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

[30] Schubert S, Yan Y. Nitrate and ammonium nutrition of plants: Effects on acid/base balance and adaptation of root cell plasmalemma H^+-ATPase[J]. Z. Pflanzenernaehr. und Bodenkd, 1996, 160: 275-281.

[31] Crawford N M, Glass A D M. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants (Reviews)[J]. Trends Plant Sci., 1998, 3 (10): 389-395.

[32] Colmer T D, Bloom A J. A comparision of NH_4^+ and NO_3^- net fluxes along roots of rice and maize[J]. Plant Cell Environ, 1998, 21: 240-246.