

水稻吸收离子动力学及离子相互作用

胡正义 竺伟民

(安徽农学院)

动力学参数 K_m (米氏常数, 反映载体活性中心与离子的亲和力) 和 V_{max} (离子最大吸收速度, 与载体的数目和载体的转运效率有关) 值是植物吸收养分数学模拟必不可少的两个参数, 然而这两个参数受植物所处环境的影响, 而受介质中共存离子 (包括 H^+) 的影响尤深^[1-6]。本研究主要了解 3 价稀土元素 La、Ce 对水稻吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 参数的影响, 以及后者对前者的反馈作用。

一、材料与方法

精选水稻种子经消毒后, 在纯石英砂上培养 10 天, 幼苗用蒸馏水冲洗, 除去根部石英砂, 作为本试验的材料。试验在 25℃、光照 6000Lux (每天黑暗 13 小时), 相对湿度 70% 的培养箱内进行。所有试验均重复 3 次。

水稻吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 动力学测定: 吸收液中 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 浓度均为 0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、2.0mmol/L 系列。取稻苗 10 株 (对 NH_4^+)、12 株 (对 NO_3^-) 和 15 株 (对 K^+) 为一组, 分别放入 40ml (对 NH_4^+ 、 NO_3^-) 和 30ml (对 K^+) 上述系列浓度溶液中吸收 3 小时, 取出苗剪下根, 用滤纸吸取根表水份后, 测定鲜根重, 同时测定各系列溶液浓度的变化, 计算出单位根重净吸收速率。

水稻吸收 La、Ce 动力学测定: 取 5 株稻苗为一组, 分别放入 $LaCl_3$ 浓度为 1、2.5、5.0、7.5、10、12.5、15.0 μ mol/L 的 50ml 溶液中予吸收 10 分钟 (使达到稳定吸收速度), 取出稻苗再放入相同浓度的新溶液中吸收 30 分钟, 然后取出稻苗, 按上述方法测定根鲜重和净吸收速率。将稻苗 10 株为一组, 分别放入 $CeCl_3$ 浓度为 1.0、2.5、5.0、7.5、10 μ mol/L 的 25ml 溶液中予吸收 10 分钟, 以上述同样步骤测定水稻净吸收 Ce 的速率。

La、Ce 对水稻吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 动力学影响的测定: 在上述测定 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 动力学的系列浓度溶液中, 分别加入 $LaCl_3$ 和 $CaCl_2$ 使浓度为 1.4、2.4、10 μ mol/L (对 NH_4^+) 或 1.4、5.0 μ mol/L (对 NO_3^- 、 K^+), 按上述方法测定 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 的净吸收速率。

所有测定值根据 Michaelis—menten 半倒数方程 ($C/V = K_m/V_{max} + C/V_{max}$) 计算各自的 K_m 和 V_{max} 值。

关于离子间相互作用类型及有关参数计算, 我们根据前人定义的相互作用类型及有关数学模式^[3,7-10]整理成一个离子相互作用的统一数学模式:

$$V = \frac{dV_{max} \cdot C}{eK_m + C} \dots\dots\dots (1)$$

其中 $d = 1/(1 + C_i/K_{im})$, $e = (1 + C_i/K_i)/(1 + C_i/K_{im})$ 。这里 V 、 C 、 K_m 、 V_{max} 分别代表主离子吸收速率、浓度和动力学参数, C_i 、 K_i 和 K_{im} 分别代表竞争离子的浓度、 K_m 值以及主离子与竞争离子载体复合体的 K_m 值。离子相互作用类型由 K_i 、 K_{im} 以及 C_i 的比值来决定。

若 $K_{im} \gg C_i$ 和 K_i , 则 $(1 + C_i/K_{im}) \rightarrow 1$, $d \rightarrow 1$, $e \rightarrow (1 + C_i/K_i)$, 即相互作用结果使(1)式中 V_{max} 不变, K_m 值增加 $(1 + C_i/K_i)$ 倍, 属竞争型机理。若 $K_i \approx K_{im}$, 则 $e \rightarrow 1$, $d = 1/(1 + C_i/K_{im})$, 即相互作用结果使 K_m 不变, V_{max} 缩小 $1/(1 + C_i/K_{im})$ 倍, 属非竞争型机理。若 $K_i \gg C_i$ 和 K_{im} , 则 $(1 + C_i/K_i) \rightarrow 1$, $e \rightarrow 1/(1 + C_i/K_{im})$, 即 K_m 和 V_{max} 值均缩小 $1/(1 + C_i/K_{im})$ 倍, 属反竞争型机理。若 $K_{im} > K_i$ 和 C_i 或 $K_i > K_{im}$ 和 C_i , 则属综合型(或称混合型)机理。

K_i 和 K_{im} 值的计算: 根据方程(1)可得

$$dV_{max}^0 = V_{max}^i, \quad eK_m^0 = K_m^i$$

V_{max}^0 和 K_m^0 分别代表无竞争离子存在时的 V_{max} 和 K_m 值, V_{max}^i 和 K_m^i 分别代表有竞争离子存在时的 V_{max} 和 K_m 值, 这些值均在实测中获得, 因此 K_{im} 和 K_i 值可由下列公式计算。

$$K_{im} = C_i / (V_{max}^0 / V_{max}^i - 1), \quad K_i = C_i / (K_m^i / K_m^0 + K_m^i \cdot C_i / K_m^0 \cdot K_{im})$$

NH_4^+ 、 NO_3^- 用离子电极测定, K^+ 用火焰光度法测定, La、Ce 用 DBC-CPA 双波长 (593.5 和 642nm) 分光光度法测定。

二、结果和讨论

(一) 水稻吸收离子的动力学

1. 水稻吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 的动力学

由图 1 可以看出, 根载体对 3 种离子的亲和力 ($1/K_m$) 有明显的不同, $K^+ > NH_4^+ > NO_3^-$ (其 K_m 分别为 0.0897、0.258 和 0.765 mmol/L), 而吸收最大速率, $NH_4^+ > K^+ > NO_3^-$ (V_{max} 分别为 16.41、8.51、7.47 $\mu\text{mol/g} \cdot \text{h}$), 因此总的来说根的吸收能力

$$NH_4^+ > K^+ > NO_3^-.$$

2. 水稻吸收 La⁺、Ce⁺ 的动力学

由图 2 可以看出, 虽然 La、Ce 化学性质很相近, 但动力学曲线差异很大。La 的 K_m 值 (2.787 mmol/L (是 Ce 的 (1.803 mmol/L) 1.5 倍, La 的 V_{max} 值 (2.163 $\mu\text{mol/g} \cdot \text{h}$) 是 Ce 的 (0.492 $\mu\text{mol/g} \cdot \text{h}$) 4.4 倍, 说明水稻根质膜对 Ce 的亲和力比 La 大, 但水稻吸收 La 的能力远大于 Ce。

(二) La、Ce 对水稻吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 动力学的影响

由表 1 表明, La、Ce 均使 NH_4^+ 的 K_m 值和 V_{max} 值减少, 特别是 1.4 $\mu\text{mol/L}$ 时, 两者的减少倍数几乎相等, 且 K_i/K_{im} 比值远大于 1, 故属于典型的反竞争类型, 但高浓度时, 并不很典型。La、Ce 使 NO_3^- 的 K_m 值基本保持不变, 而使 V_{max} 值减少, 且 K_i/K_{im} 比值接近于 1, 故属比较典型的非竞争类型。La、Ce 使 K^+ 的 K_m 值变大, V_{max} 值变小, K_i/K_{im} 比值约为 0.4—0.5, 故属典型的综合竞争类型。由上述可推论, 水稻吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 分别有 3 种性质不同的载体担任。La、Ce

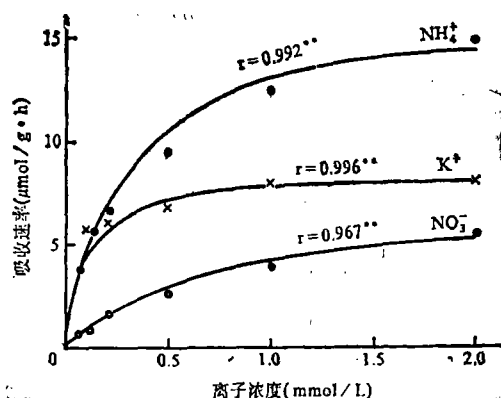


图 1 水稻吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 动力学曲线

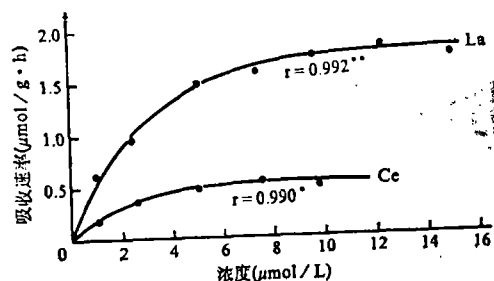
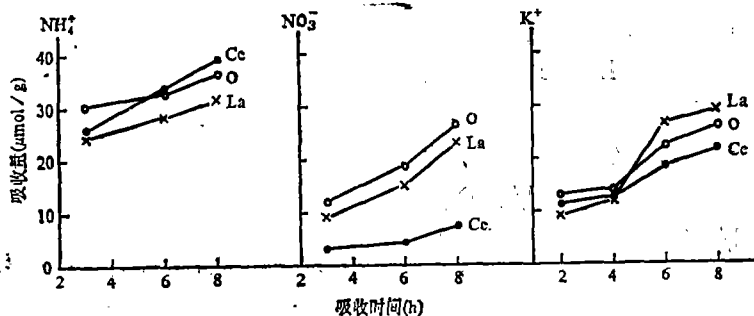


图 2 水稻吸收 La、Ce 动力学曲线

表1

La、Ce 对水稻吸收 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 动力学参数的影响

竞争离子	主离子参数				方程拟合 相关系数 r	竞争离子或离子复合体参数		
	K_m (m mol/L)	K^I_m/K^0_m (e)	V_{max} ($\mu\text{mol/g}\cdot\text{h}$)	V^I_{max}/V^0_{max} (d)		K_i ($\mu\text{mol/L}$)	K_{im} ($\mu\text{mol/L}$)	K_i/K_{im}
吸收 NH_4^+ 参数								
0	0.258		16.411		0.9922**			
1.4 $\mu\text{mol/L}$ La	0.175	0.68	10.922	0.67	0.9909**	72.657	2.785	26.1
1.4 $\mu\text{mol/L}$ Ce	0.179	0.69	11.134	0.68	0.9953**	61.608	2.953	20.9
2.4 $\mu\text{mol/L}$ La	0.161	0.62	9.018	0.54	0.9942**	17.685	2.927	6.0
10 $\mu\text{mol/L}$ Ce	0.156	0.60	8.761	0.53	0.9987**	75.392	11.452	6.0
吸收 NO_3^- 参数								
0	0.765		7.467		0.9673**			
1.4 $\mu\text{mol/L}$ La	0.741	0.97	6.085	0.81	0.9688**	6.904	6.164	1.12
1.4 $\mu\text{mol/L}$ Ce	0.627	0.81	1.801	0.24	0.9969**	0.574	0.445	1.29
5 $\mu\text{mol/L}$ La	0.837	1.09	5.537	0.74	0.9565**	10.14	14.344	0.71
吸收 K^+ 参数								
0	0.0897		8.506		0.9955**			
1.4 $\mu\text{mol/L}$ La	0.119	1.33	5.632	0.66	0.9959**	1.394	2.743	0.51
1.4 $\mu\text{mol/L}$ Ce	0.102	1.14	7.480	0.88	0.9967**	4.776	10.206	0.47
5 $\mu\text{mol/L}$ La	0.147	1.64	5.218	0.61	0.9917**	2.991	7.934	0.38
5 $\mu\text{mol/L}$ Ce	0.136	1.52	5.792	0.68	0.9934**	4.076	10.670	0.38

注：无相互作用下 La 的 K_m 值为 $2.787 \mu\text{mol/L}$ ，Ce 为 $1.803 \mu\text{mol/L}$ 。图3 不同吸收时间 La、Ce ($1.4 \mu\text{mol/L}$) 对 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ (1mmol/L) 的影响

本身动力学性质差异虽很大，但它们对于 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 K^+ 的影响却显示出基本相似的行为。

由表1还可看出， NH_4^+ 使 La、Ce 的 K_m 值增大几倍至几十倍 (La、Ce 的 K_i 值与原 K_m 值比较)； NO_3^- 使 La 的 K_m 值增大 2—3 倍，而使 Ce 减少 3 倍； K^+ 使 La 的 K_m 值减少 0—1 倍，而使 Ce 增加 1 倍，故推论水稻根吸收 La、Ce 可能由不同载体运载。

(三) 吸收时间对离子相互作用的影响

由图3可以看出，在 8 小时吸收期间，La 始终对 NH_4^+ 有抑制作用，而 Ce 在 6 小时后有促进作用。对于 NO_3^- ，La、Ce 始终都有抑制作用。而对于 K^+ ，Ce 始终有抑制作用，而 La 在 5 小时后有促进作用。其原因有待进一步探讨。

参 考 文 献

- [1] T. H. Van Den Honert et al., Acta Bot. Neer. 10: 216—273, 1961.
 - [2] J. Tromp, Acta Bot. Neer., 11: 147—192, 1962.
 - [3] E. Epstein et al., Plant physiol. 27: 457—475, 1952.
 - [4] H. Fawzay et al., Plant physiol. 29: 234—237, 1954.
 - [5] 黄建国等, 土壤通报, 第20卷, 第1期, 1989。
 - [6] 倪晋山等, 植物生理学报, 第10卷, 第4期, 1984。
 - [7] M. Fried et al., The Soil-Plant System, New York Academic Press. 1967.
 - [8] Dixon and Webb, Enzymes, New York Academic Press. Jnc., 1958.
 - [9] 许祖俊, 酶的作用原理, 科学出版社, 1983。
 - [10] E. Robert et al., Biochem. J. 139, 715—720, 1974.
-

(上接第 277 页)

- [28] Rhodes, L. H. and Gerdemann J. W., Soil Science, 126, 125—126, 1978.
 - [29] Cooper, K. M. and Tinker P. B., New Phytol, 81, 43—52, 1978.
 - [30] Gilmore, A. E., J. Am. Soc. Horti. Sci., 96, 35—38, 1971.
 - [31] Lambert, D. H., Baker D. F. and Cole H., Soil Sci. Soc. Am. J., 43, 976—980, 1979.
 - [32] Timmer, L. W., New Phytol, 85, 15—23, 1980.
 - [33] Bradley, R., Burt A. J. and Read D. J., Nature London. 292, 335—337, 1981.
 - [34] Sieverding, E., Z. Acker und pflanzenbau, 152, 56—67, 1983.
 - [35] Sieverding, E. and Toro S. T., J. Agronomy and Crop Science, 161, 322—332, 1988.
-

欢迎订阅《世界农业》

《世界农业》(月刊)是农业出版社编辑出版专门介绍国外农业的综合性刊物, 广泛介绍世界各国农林牧渔各业的最新成果、经验、以及发展动向, 为我国农业现代化服务。

《世界农业》主要栏目辟有: 农业经济、农村金融、国外考察、国外通讯、各学科专题论述、农业科研机构、农业教育、中外合作、国际会议、国际农产品市场、科技动态、各地报刊选登、世界农业统计等, 并承担中外广告业务。可供各级农业领导干部, 科技人员, 院校师生, 以及对农业感兴趣的各界人士参考阅读。

本刊为月刊, 每月10日出版, 16开本, 每期64页, 定价2.50元, 全国各地邮局均可订阅, 代号82-130。国外总发行为中国出版对外贸易总公司(北京782信箱)。