

水稻根表钙离子浓度的实验 测定与理论计算

宣家祥

(中国科学院南京土壤研究所)

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF CALCIUM ION CONCENTRATION NEAR THE SURFACE OF RICE ROOTS AND ITS THEORE- TICAL CALCULATION

Xuan Jia xiang

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

为了阐明植物养分的实际有效性,研究土/根界面的化学性质的微域差异是十分重要的^[1,3]。

我们以前的工作已经证明^[2],用钾离子选择电极原位测定水稻根际微区中钾离子的分布,与用 Nye 的数学模型预期者基本相吻合,说明可以用离子选择电极技术研究土/根界面的离子状况。本工作继续用钙离子选择电极与 Nye 的模型对水稻根际钙离子状况进行研究。

一、材料与方 法

(一) 盆栽试验

用尼龙网隔根试验盒进行,设计同前^[3]。一室植稻,另一室不植稻。植稻的一边形成平面排根与另一块均匀的土壤相接触。供试土壤为太湖地区的黄泥土,设施钾(N P K)(每200克土壤施 KCl 0.15克, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 0.20克)与对照(N P)二个处理,每个处理重复三次。供试水稻品种为杂优-6号,8月6日直播,每盒种二粒。水稻生长不同时间后松开夹具,取下不植稻的土壤,用小型 PVC 膜钙电极测定根表面的钙离子浓度,并分层取样用 EDTA 滴定法测定交换性钙的含量。钙的扩散系数用离子交换膜法测定^[4];土壤缓冲力 b 值用平均缓冲力估算。同时取植株样品,测定干物质重、钙的含量以及根的鲜重、干重和总根长。在显微镜下测量或用鲜根重与总根长计算出根的平均半径,然后由根半径和根长求出根的总表面积^[3]。

(二) 计算方法

1. 养分流的分析:按公式,

$$\bar{F} = \frac{(U_2 - U_1)}{(t_2 - t_1)} \cdot \frac{1}{S} \quad (1)$$

式中 U_1 和 U_2 分别为 t_1 和 t_2 时的植株养分含量; $\bar{S}$ 为 t_1 和 t_2 时的平均根表面积。当根呈指数

$$\text{生长时, } \bar{S} = \frac{S_2 - S_1}{\ln S_2 / S_1}$$

$$\text{在其它情况下, } \bar{S} = \frac{S_2 + S_1}{2}$$

2. 根表钙离子相对浓度的计算: 按 Nye 提出的稳定状态下根系与土壤平面接触时表面溶质浓度的预测公式:

$$C/C_0 = 1 + (\nu/\alpha - 1)\exp(-\nu x/bD) \quad (2)$$

式中 C/C_0 为离子的相对浓度; ν 为向根的水流通量(厘米³/秒·厘米²); α 为根的吸收系数(厘米/秒); b 为土壤的缓冲力; D 为离子的扩散系数(厘米²/秒)。

二、结 果

(一) 钙的微域分布和变化 供试水稻不同生育期内根表钙离子浓度变动在 $5.9 \times 10^{-3} M - 1.1 \times 10^{-2} M$ 之间, 平均为 $8.5 \times 10^{-3} M$, 代换性钙变动在 12.0—16.4 毫克当量/100 克土(表 1); 在生长早期未见到根表钙有明显的积聚现象($C/C_0 < 1$, 且代换性钙低于初始值)。在生长后期随着根的吸收系数的降低可以见到施钾处理根际的代换性钙含量较根外略高(表 2)。

由表 3 可见, 供试水稻在生长后期呈现 pH 为微酸性的土壤环境, 且施钾处理者根际 pH 较对照为低。

(二) 养分流的分析 钙离子向水稻根的平均流量是由其吸收速度(摩尔/秒)除以

表 1 根表钙离子浓度的动态变化

测定日期	电 极 法		化 学 法				备注
	Ca ⁺⁺ (M×10 ³)		代换性钙 (m.e./100 克土)				
	对照	施钾	对 照		施 钾		
	0.12mm	0.12mm	0~2mm	2~9mm	0~2mm	2~9mm	
9 月 7 日	6.71	6.20	12.3	14.6	12.0	14.8	初始时, C ₀ = 7.80 × 10 ⁻³ M 代换性 钙为 15.8 m.e./100 克土
9 月 15 日	6.67	7.73	12.0	14.2	13.4	14.2	
9 月 25 日	5.93	6.02	(0~7mm)	(7~12mm)	(0~7mm)	(7~12mm)	
11 月 2 日	8.25	10.70	15.6	14.4	16.4	14.0	

表 2 土壤代换性钙的微域分布 (抽穗期)

离根距离 (mm)	代换性钙 (m.e./100 克土)	
	对 照	施 钾
0~7	15.6	16.4
7~12	14.4	14.0
12~16	14.6	14.0
16~20	14.6	13.8

表 3 水稻土/根界面上 pH 的微域差异

处 理	pH			
	0.12mm*	1mm	3mm	13mm
对 照	6.34	6.59	6.68	6.88
施 钾	6.01	6.32	6.44	6.65

* 与根的距离。

根的表面积(厘米²)求得,所以必须知道植株含钙量和根的总表面积的数据(见表4)。由表5可见,钙离子向稻根的平均流量为 $5.3 \times 10^{-12} - 6.5 \times 10^{-12}$ 摩尔/秒·厘米²,施钾者略低。

表 4 生长期内水稻的干物质、根的总表面积和钙的含量

处 理	三叶期后天数	干物质(克/盆)	根面积(厘米 ²)	Ca(%)
对 照	44	1.71	177	0.568
	47	2.28	236	0.570
	81	10.14	491	0.430
施 钾	44	2.97	234	0.486
	47	3.92	294	0.486
	81	12.41	526	0.382

表 5 养分流的分析

处 理	$\bar{F}$ (摩尔/秒·厘米 ²)	$\bar{\alpha}$ (厘米/秒)	备 注
施 钾	5.3×10^{-12}	0.70×10^{-6}	$\bar{\alpha} = \frac{\bar{F}}{\bar{C}_l}$ $\bar{C}_l$...根表钙离子的平均浓度
对 照	6.5×10^{-12}	0.93×10^{-6}	

(三) 水稻根表钙离子的相对浓度 表中理论计算值由式(2)算出。当 $x = 0$ 时, $C/C_0 = \nu/\alpha$, 故由 ν 和 α 的数值即可求出根表离子的相对浓度。由表6可见,尽管理论计算值包含着假定而实际测量值存在着误差,但根表 C/C_0 的实测值与计算值是相接近的,且与文献报道值一致^[11],说明 Nye 的模型也可用于根表钙离子浓度的预测。

表 6 水稻根际土壤中钙离子相对浓度的实测值与理论计算值

项 目	$\text{Ca}^{2+}(C/C_0)$			
	施 钾			对 照
	0.12mm*	3mm	10mm	0.12mm
实测值	1.37	1.16	0.89	1.06
计算值	1.47	1.08	1.00	0.99

注: $C_0 = 7.80 \times 10^{-3} M$, $bD = 1.70 \times 10^{-7}$ 厘米²/秒, $\bar{\nu} = 8.80 \times 10^{-7}$ 毫升/秒·厘米² (对照), $\bar{\nu} = 1.03 \times 10^{-6}$ 毫升/秒·厘米² (施钾)

* 与根的距离。

三、讨 论

(一) 钙的吸收系数的确定 用公式(2)计算 C/C_0 。必须知道植物参数 α 和 ν 的数值。 α 定义为单位面积摄入溶质量与根表面溶质浓度的比值($\alpha = \frac{F}{C_{lr}}$),因此这必定涉及到是以根的总表面积还是以活性根面积来计算的问题。现在知道除种苗外只有总根量的一小部分对养分吸收有贡献,尤其对于钙^[6,9],但从外观上区分活性根与非活性根是困难的。较简单的方法是假定根在吸收一段时间后突然停止,此段时间称为“根的持续时间”^[10],然后由根系生长与时间的关系式计算根的活性分数。对于不同的植物根的持续时间曾假定为5天、7天和16天,我们假定稻根的持续时间为10天。据此算出稻根的活性分数并以活性根的面积来计算稻根对钙的吸收通量。然后依据 α 的定义求出钙的有效吸收系数。

(二) 向根水流通量(ν)的计算 ν 由平均蒸腾量(毫升/小时)除以该段时间内平均的根表面积求得,但计算 ν 时究竟是以活性根的面积还是以根的总表面积计算则不明确^[10,11]。我们的初步计算表明,若以活性根的表面积来计算则根据质流估算根表钙似应有较大的积聚。但由表3、6看,根表 pH 在6.0—6.4之间,其钙离子的相对浓度比在1.06—1.37且交换性钙的含量(对照与施钾处理分别为15.6, 16.4毫克当量/100克土)与初始值(15.8毫克当量/100克土)差别不大,表明在供试条件下质流超过吸收而大大增加根表钙的浓度的可能性是不大的,因此我们选择总表面作为 ν 的计算标准。

(三) ν 和 α 的关系 水的吸收对溶质吸收是有影响的。按 Dalton^[12] 可以求得,

$$\alpha = \frac{F'}{C_{lr}} + iRT\omega + (1 - \sigma)\nu \quad (3)$$

式中 F' 是溶质通量的主动吸收组分; i 是溶质的范特霍夫因子; ω 是根的渗透透过性; σ 是反射系数。此式表明,当 $\left(\frac{F'}{C_{lr}} + iRT\omega\right)$ 为常数时, ν 与 α 成线性关系。但在本实验中施钾处理的水稻蒸腾较对照大1.17倍(表6),而其 α 值反而较对照为小(表5),这可能是由于 ν 的增大虽使根表钙的浓度增大,但钾的加入则使 F 值减小,故施钾处理的 α 值未随 ν 的增大而增大。

四、结 语

用数学模型来计算养分离子向根表面的运移,必须借实测的根/土界面浓度来验证。本工作用钙离子选择电极实测稻根微区中的钙离子浓度,并用 Nye 的模型来预期。结果表明,供试水稻在不同生育期内根表微区中钙离子浓度变动在 5.9×10^{-3} — $1.1 \times 10^{-2}M$ 之间,代换性钙变动在12.0—16.4毫克当量/100克土之间,在生长早期未见到根表钙有明显的富集现象,在生长后期施钾处理根表代换性钙较根外略高,且 $C/C_0 > 1$ 。

从养分流的分析看,钙离子向水稻根的平均流量为 5.3×10^{-12} — 6.5×10^{-12} 摩尔/

秒·厘米², 施钾处理较对照略低。在供试条件下, 根表钙离子相对浓度的实测值与计算值相接近, 说明 Nye 的模型也可用于根表钙离子浓度的预测。

参 考 文 献

- [1] [英] E. W. 腊塞尔著(谭世文等译), 1979: 土壤条件与植物生长。第十二章, 科学出版社。
- [2] 宣家祥, 1982: 根土界面的研究 I. 钾离子向稻根迁移的数学模型。土壤学报, 第 19 卷 3 期, 296—304 页。
- [3] Nye, P. H., 1977: Soil properties controlling the supply of nutrients. in "The Soil-Root Interface", (J. L. Harley et al. Ed.), pp. 40—49, Academic press inc. (London).
- [4] Mengel, D. B. et al., 1974: Rate of nutrient per unit of corn root under conditions. Agron. J., 66: 399—402.
- [5] Elgawhary, S. M. et al., 1972: Calcium and strontium transport to plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36: 794—799.
- [6] Bar-Yosef, B., 1971: Fluxes of Ca and P into intact corn roots and their dependance on solution concentration and root age. Plant and Soil, 35: 589—600.
- [7] Rouira, A. D. et al., 1968: Uptake by apical of seminal wheats roots. Nature., 218: 685—686.
- [8] Tinker, P. B., 1969: The transport of ions in the soil around plant roots. in "Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants" (I. H. Robinson Ed.) pp. 135—147, Blackwell scientific pub. Oxford and Edinburgh.
- [9] Loneragan, J. F., 1979: In "The Soil-Root Interface." (J. L. Harley et al. Ed.) pp. 351—367, Academic press inc (London).
- [10] Claassen, N. et al., 1976: Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. Agron. J. 68: 961—964.
- [11] Ney, P. H. et al., 1979: Solute Movement in the Soil-Root System. p. 161, Blackwell Sci. Pub., London.
- [12] Daltion, F. N. et al., 1975: Simultaneous uptake of water and solute by plant roots. Agron. J., 67: 334—339.
- [13] Brewster, J. B. et al., 1970: Nutrient cation flows in the soil around plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 34: 421—426.
- [14] Uaidyanathan, L. V. et al., 1966: The measurement and mechanism of ions diffusion in soil II. An exchange resin paper method for measurement of the diffusive flux and diffusion coefficient of nutrient ions in soil. J. Soil Sci., 17: 175—183.