

# 根土界面的研究

## I. 钾离子向稻根迁移的数学模型

宣家祥

(中国科学院南京土壤研究所)

用数学模型分析土壤中的养分离子向植物根系的移动,最早由 Bouldin<sup>[1]</sup>, Olsen<sup>[9]</sup> 和 Passioura<sup>[10]</sup> 在六十年代初所提出,近年又陆续发展出若干数学模型来处理土壤-植物系统中的离子迁移过程。如 Nye<sup>[7,8]</sup> 的瞬时态模型, Baldwin<sup>[2]</sup> 的稳态模型以及 Claassen 等<sup>[3,4]</sup> 的模拟模型等。这些模型都是根据连续性方程式的某一形式,并按照实际问题采用直角坐标、柱坐标或球坐标来列出偏微分方程,然后求得满足初始条件与各种边界条件下的解析解或数值解。各种模型的主要区别在于假定体系是有限的还是无限的以及根表面的边界条件的不同。存在于植物根表面的状况是不知道的,所以必须采用简化的估计。一种假定是吸收速度是恒定的;第二种是假定通过根表面的离子通量正比于根外表面的浓度,在根内的浓度视作零或很低;第三种假定是根表的浓度随时间呈指数式下降。无论那一种模型都需经实验验证。如果实验结果和模型预期的结果不一致,则需对模型进行修正,使模型和实际过程等效。这就需要精确知道近根土壤溶液中离子浓度的变化。但直接测定根表离子浓度是异常困难的<sup>[5]</sup>,一般只能根据24小时测得的植物离子吸收量,由扩散方程估算根表的离子浓度或从土壤溶液的平均浓度或依据吸附等温线估算。为了保持一维和径向流动的条件,所采用的验证植物目前还限于玉米、洋葱、葱韭之类。最初是用单一条根,近年已扩展到整株植物并考虑到各条根之间对离子的竞争作用,但这些模型是否适用于水稻则有待验证。考虑到当根的几何形状为平面时, Nye 的模型可得到解析解,本工作采用 Nye 模型来预期水稻根表离子浓度的变化,而应用钾电极原位测定根表离子浓度进行验证,以确定理论观念的偏差程度。

### 一、原 理

养分离子通过土壤向植物根系的运移,在扩散和质流同时存在时的一维溶质运移方程式为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{v}{b} \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1)$$

式中,  $D$  是分散系数,  $v$  是向根的水流量,  $b$  是土壤缓冲力,  $C$  是土壤溶液中可扩散溶质的浓度。

对于下述的初始和边界条件求解。

$$C = C_0, x \geq 0, t = 0 \quad (2)$$

$$bD \frac{dC}{dx} + vC = \alpha C, x = 0, t > 0 \quad (3)$$

推导:

由(1)式对  $t$  进行拉氏变换, 得到(4)式:

$$\frac{d^2 \bar{C}}{dx^2} + \frac{v/b}{D} \frac{d\bar{C}}{dx} - \frac{s}{D} \left( \bar{C} - \frac{C_0}{s} \right) = 0 \quad (4)$$

此时影象的边界条件变成,

$$\bar{C}'(0, s) - h[\bar{C}(0, s)] = 0 \quad (5)$$

$$\text{式中, } h = \frac{\alpha - v}{Db}$$

方程式(4)的解为:

$$\bar{C}(x, s) - \frac{C_0}{s} = A_1 \exp r_1 x + B_1 \exp r_2 x$$

因为,  $\bar{C}'(\infty, s) = 0$ , 所以  $A_1 = 0$

$$\text{则, } \bar{C}(x, s) - \frac{C_0}{s} = B_1 \exp r_2 x \quad (6)$$

$$\text{式中, } r_2 = \frac{-v/b}{2D} - \left( \frac{v^2/b^2}{4D^2} + \frac{s}{D} \right)^{1/2}$$

由影象的边界条件求出常数  $B_1$

$$B_1 = \frac{hC_0}{(r_2 - h)s}$$

那么影象的解为:

$$\begin{aligned} \bar{C} = \frac{C_0}{s} - \frac{hC_0}{s \{ (s/D + v^2/b^2/4D^2)^{1/2} + (h + v/b/2D) \}} \\ \cdot \exp \left\{ \frac{(v/b)x}{2D} - x \left( \frac{v^2/b^2}{4D^2} + \frac{s}{D} \right)^{1/2} \right\} \end{aligned} \quad (7)$$

由影象表求出原函数:

$$\begin{aligned} C = C_0 - \frac{1}{2} C_0 \left\{ \operatorname{erf} C \frac{x + vt/b}{2(Dt)^{1/2}} + \frac{Dh}{Dh + v/b} \cdot e^{-vx/bD} \cdot \operatorname{erf} C \frac{x - (vt/b)}{2(Dt)^{1/2}} \right\} \\ + \frac{C_0(2Dh + v/b)}{2(Dh + v/b)} \cdot e^{hx - hs(-v/b - Dh)} \cdot \operatorname{erf} C \frac{x + (2Dh + v/b)t}{2(Dt)^{1/2}} \end{aligned} \quad (8)$$

以  $h = \frac{(\alpha - v)}{Db}$  代入, 并移项, 于是得到:

$$\begin{aligned} C/C_0 = 1 - \frac{1}{2} \left\{ \operatorname{erf} C \frac{x + vt/b}{2(Dt)^{1/2}} + \frac{\alpha - v}{\alpha} \left( \exp \frac{-vx}{bD} \right) \operatorname{erf} C \frac{x - vt/b}{2(Dt)^{1/2}} \right\} \\ + \frac{1}{2} \frac{2\alpha - v}{\alpha} \exp \left( \frac{(\alpha - v)(x + at/b)}{bD} \right) \operatorname{erf} C \frac{x + (2\alpha - v) \cdot t/b}{2(Dt)^{1/2}} \end{aligned} \quad (9)$$

(9)式为方程式(1)的解析解。

当  $t \rightarrow \infty$  时,  $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$ , 溶质在根表的分布趋于稳态, 则(10)式成立<sup>[8]</sup>。

$$C/C_0 = 1 + \left(\frac{\nu}{\alpha} - 1\right) \cdot e^{-\nu x/bD} \quad (10)$$

而当  $x = 0$  时,

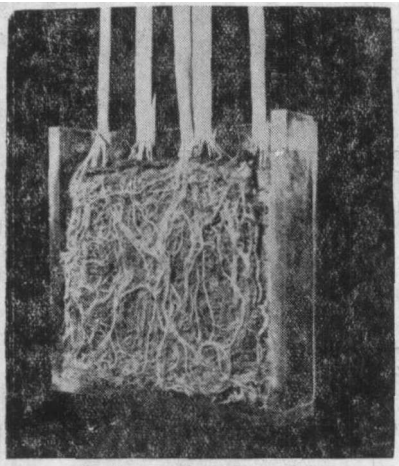
$$C/C_0 = 1 + \left(\frac{\nu}{\alpha} - 1\right) \cdot e^0 = \frac{\nu}{\alpha} \quad (11)$$

这说明,在稳态时近根表面的溶质浓度仅决定于  $\nu/\alpha$  的数值。

## 二、实 验

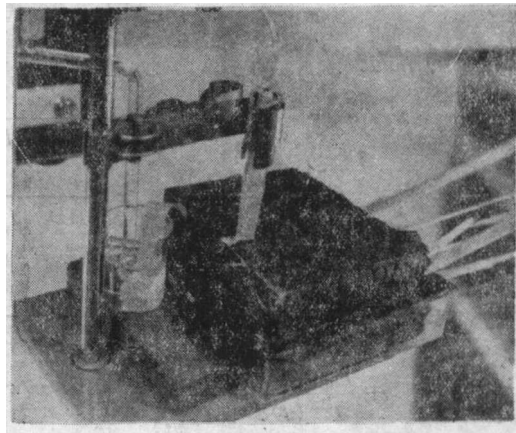
### (一) 盆栽试验

盆栽是按数学模型的要求而设计的。取二个敞口的有机玻璃半盒(长 10 厘米×宽 2.0 厘米×高 8.5 厘米),用夹具夹紧。在二半盒间隔以一尼龙网筛或玻璃纸使分成二室。一室植稻,另一室不植稻。使植稻的一边形成平面排根(见照片 1)与另一块均一的土壤相接触。供试的土壤为太湖地区的黄泥土(过 60 孔),设施钾和不施钾二个处理,每个处理重复 3 次。供试水稻品种为松粳 6 号。8 月 5 日直播,每盒种四粒。水稻生长一月左右松开夹具,取下不植稻的那块土壤,用 PVC 膜钾电极和平板 pH 电极测定离根面不同距离的钾离子浓度和 pH 的变化,并分层取样用 1 N  $\text{NH}_4\text{AC}$  提取,用火焰光度计测定速效钾的含量。同时在不植稻的一边再装上 200 克均匀混和的黄泥土,待水稻再生长一月左右,取下土块按以上步骤继续测定一次。



照片 1 水稻根的平面

Photo. 1 A plane of root system of rice



照片 2 钾电极的原位测定

Photo. 2 In situ measurement of potassium with potassium-selective electrode

### (二) 电极的原位测定

电极原位测定最大的问题是电极  $E_0'$  的漂移和残余液接界电位。实验中我们注意到这些问题,尽量使定标溶液的离子强度与待测土壤的离子强度相接近。并采用每测一个样本就定位一次的方法,以减少电极  $E_0'$  漂移所引起的误差。此外,测定时使土壤和盐桥之间通过滤纸条相连接以减少土粒的影响(见照片 2)。

### (三) 方程式中各参数的测定

1. 土壤钾的扩散系数 ( $D'$ ) 的测定: 采用离子交换膜法<sup>[12]</sup>。把氢离子饱和的阳离子交换膜放在容重为 1.35 克/厘米<sup>3</sup>, 含水量为 40% 的平滑的土壤表面, 作为扩散离子的“阱”, 并使二者接触良好。扩散池放在 25°C 的恒温恒湿箱中扩散 24 小时, 取下树脂膜, 用蒸馏水冲洗去粘附的土壤, 用 0.2N HCl 连续浸提, 用火焰光度计测定 K<sup>+</sup> 的含量, 而后按公式:

$$D' = \frac{M_t^2 \cdot 3.1416}{4C_0^2 \cdot t}$$

计算出土壤钾的扩散系数 ( $D'$ )。式中,  $M_t$  为在时间  $t$  内进入单位面积离子交换膜中钾离子的总量 (毫克/厘米<sup>2</sup>);  $C_0$  是可扩散的钾离子在土壤中均一的初始浓度 (毫克/厘米<sup>3</sup>), 它包括代换性钾和水溶性钾。按此法测得钾在黄泥土中的  $D'$  值为  $1.7 \times 10^{-7}$  厘米<sup>2</sup>/秒。在本工作中, 忽略水动力分散作用, 故可以扩散系数代替分散系数进行计算。

2 土壤缓冲力 ( $b$ ) 的测定: 可按公式,  $D = D_e \cdot \theta \cdot f_1 \cdot \frac{dC_e}{dC}$  估算  $b$  值。式中,  $D_e$  为在溶液中钾离子的扩散系数;  $\theta$  为土壤的容积含水量;  $f_1$  为土壤的阻抗因子;  $\frac{dC_e}{dC}$  为土壤缓冲力 ( $b$ ) 的倒数。按此式估算黄泥土的  $b$  值为 35.2。而按 Beckett 的方法, 以 AR (钾钙活度比) 对  $\Delta K$  (毫克当量/100 克土) 作图, 由所得之直线的斜率求得线性缓冲力 (PCBK) 则为 113  $\frac{\text{毫克当量}/100 \text{ 克土}}{(\text{摩尔/升})^{1/2}}$ 。

3. 向根水流通量 ( $v$ ) 的测定: 从蒸腾的数据算出<sup>[3]</sup>。在供试的有机玻璃半盒不种水稻的一方, 上盖一层石蜡油防止水面蒸发。测量 6 小时内蒸腾的水量求得蒸腾速度。由于蒸腾仅发生在一天中间, 取此值的一半来计算向根的水流通量。

4. 根的吸收系数 ( $\alpha$ ) 的测定: 在土壤中测定  $\alpha$  是较困难的, 因为它涉及到根表浓度和钾离子通量  $F$  的数据。按已有的文献, 钾离子的通量 ( $F$ ) 由钾离子的吸收速度 (摩尔/秒) 除以根的表面积 (厘米<sup>2</sup>) 求得。所以必须知道单株含钾量和根的平均半径与总根长的数据, 但这些数值在活体状态很难直接测定。考虑到水稻吸收的钾主要来自土壤代换性钾和非代换性钾, 因此我们采用浓度-距离剖面法计算平均的  $\bar{F}$  值。在水稻吸收一段时间后测定离根不同距离土壤的 1N NH<sub>4</sub>AC 提取的含钾量, 并假定非代换性钾的减少量与代换性钾的减少量相接近, 就可计算出无稻根的土块中总共减少的钾量。平面排根与无稻根的那块土壤接触的面积可以测定, 持续吸收的时间是知道的, 即可求出  $\bar{F}$  值。例如由表 4 中不施钾的处理可以算出。

$$\bar{F} = \frac{2 \times 3 \times \frac{250}{20} (5 \times 11.3 - 7.6 - 9.0 - 10.0 - 10.6 - 11.0)}{64 \text{ 厘米}^2 \times 1.98 \times 10^6 \text{ 秒} \times 39.1} \cdot 10^{-5}$$

$$= 1.26 \times 10^{-12} \text{ 摩尔/厘米}^2 \cdot \text{秒}$$

然后, 根据  $\alpha$  的定义 ( $\alpha = \bar{F}/C_r$ ,  $C_r$  为根表土壤溶液中的钾离子浓度) 由钾电极实测得到的根表平均钾离子浓度计算供试水稻对 K<sup>+</sup> 的平均  $\alpha$  值。

### 三、结果与讨论

#### (一) 根系表面的边界条件的选择

用数学模型来分析根-土界面的养分状况,通常都把植物吸收与根表浓度的关系作为数学上的边界条件来处理。把根系的吸收视作通量 (flux) 或流入量 (influx), 并认为通量正比于根表面的浓度。采用这种处理方法的优点是可使土壤参数和植物参数能在同一状况下考虑, 但它是建筑在植物对离子的吸收与根表的离子浓度呈线性函数关系这样一个基本假定之上的, 因此具有一定的条件性。对于钾离子来说, 只有根表面的离子浓度小于  $5 \times 10^{-5} M$  以下, 此关系才近似成立<sup>[6]</sup>。据我们用钾电极实测, 供试水稻距根表 20 微米处的土壤微区内钾离子的浓度在  $1 \sim 3 \times 10^{-5} M$ , 恰符合这种情况, 所以我们选用  $F = \alpha C$  作为边界条件。

#### (二) 植物参数 $\alpha$ 和 $\nu$ 值的确定

稻株对钾离子的吸收系数  $\alpha$  主要决定于根的代谢作用与根内钾离子的含量。由表 1 可见, 二种处理的水稻在试验前与试验结束时稻根的  $\alpha$  有减小的趋势, 但二者的平均值比较接近, 所以我们选取平均值作为  $\alpha$  的计算数据。施钾的植株和不施钾的植株相比较, 施钾者向根的水流通量约增高 (1—2/3 倍), 计算时我们取试验中期的实测值作为  $\nu$  的数据。

表 1 从土壤钾的减少量计算得的稻根对钾的吸收系数 ( $\alpha$ )<sup>\*</sup>

Table 1 Absorbing power of rice roots for potassium ( $\alpha$ ) calculated from the decrease of potassium in soil

处 理 Treatment	$\alpha$ (cm/sec.)			备 注 Note
	试 验 前 Before experiment	试 验 结 束 时 After experiment	平 均 值 Mean value	
不 施 钾 Check	$6.2 \times 10^{-3}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$5.1 \times 10^{-3}$	试验前系指直播至分蘖, 水稻从不插稻的一侧的土壤中的吸收; 试验结束时, 指水稻从新栽入的土壤中的吸收。
施 钾 With potassium	$5.7 \times 10^{-3}$	$3.4 \times 10^{-3}$	$4.6 \times 10^{-3}$	

\* 二个重复的平均值。\* Mean value of two repetitions.

#### (三) $C/C_0$ 的实测值与理论计算值的比较

表 2 中理论计算值系按公式 (10) 计算得出。由表 2 可见, 离水稻根表不同距离的钾离子的相对浓度 ( $C/C_0$ ) 的实测值与计算值是相接近的。而在表 3 中, 当  $\nu$  增大时, 实测值与理论计算值符合得更好一些。这说明, 用 Nye 的模型来预期水稻根表的养分状况, 在供试的条件下它的偏差是不大的。

#### (四) 水稻根土界面的养分环境

根际微区存在着钾的亏缺区和 pH 升高的现象, 国外已有报道, 但主要是旱作方面的

表 2 水稻根表钾离子相对浓度 ( $C/C_0$ ) 的模型计算值与实测值的比较(黄泥土)Table 2 Comparison between calculated and measured relative concentration of potassium ( $C/C_0$ ) (Slightly acid paddy soil)

项 目 Item	$K^+(C/C_0)$			
	根表 20 $\mu$ 20 $\mu$ from root surface	2mm	4mm	9mm
实 测 值 Measured value	0.15	0.40	0.74	0.84
计 算 值 Calculated value	0.19	0.41	0.58	0.81

注:  $C_0 = 1.11 \times 10^{-4}M$ ,  $bD = 6.0 \times 10^{-6}cm^2/sec.$ ,  $v = 0.97 \times 10^{-3}cm^3/sec \cdot cm^2$ ,  $\bar{\alpha} = 5.1 \times 10^{-3}cm/sec.$

表 3 施钾对  $C/C_0$  值的影响(分蘖—抽穗)Table 3 Effect of K application on  $C/C_0$  value (Tillering-Earing stage)

项 目 Item	$K^+(C/C_0)$					备 注 Note
	根表 20 $\mu$ 20 $\mu$ from root surface	2mm	4mm	6mm	9mm	
实 测 值 Measured value	0.32	0.50	0.79	0.81	0.96	取前期施钾的 水稻与黄泥土 接触一个月后 测定
计 算 值 Calculated value	0.32	0.58	0.74	0.84	0.92	

注:  $C_0 = 1.11 \times 10^{-4}M$ ,  $bD = 6.0 \times 10^{-6}cm^2/sec.$ ,  $v = 1.46 \times 10^{-3}cm^3/sec \cdot cm^2$ ,  $\bar{\alpha} = 4.6 \times 10^{-3}cm/sec.$

结果。由表 4—6 可见供试的水稻根际土壤微区内呈现出一个钾离子的亏缺区和 pH 为中性至微碱性的土壤环境,其影响范围约 10 毫米,在 0—2 毫米范围内影响最大,而愈靠近稻根速效钾的含量愈低, pH 愈高。水稻根际土壤微区中出现钾的亏缺区,可由方程式 (11) 得到解释。由式 (11) 可见,在稳态时根际土壤微区养分的亏缺或累积决定于  $v/\alpha$  的比值。当  $v/\alpha > 1$  根表离子出现累积,  $< 1$  则出现亏缺,在供试的土壤植株条件下  $v/\alpha$  均小于 1,所以根表出现钾的亏缺。关于根际土壤 pH 升高的现象可能与根表  $HCO_3^-$  的积聚有关<sup>[11]</sup>。

表 4 施钾对钾离子微域分布的影响(直播—分蘖)

Table 4 Effect of K application on the distribution of potassium in soil of rhizosphere (Seeding-Tillering stage)

离 根 距 离 Distance from root	速效钾 (mg/100g soil) Available potassium		
	不施钾 Check	施钾* Applied potassium	
0—3mm	7.6	0—2mm	10.5
3—6mm	9.0	3—5mm	16.9
6—9mm	10.0	5—8mm	22.5
9—12mm	10.6	8—12mm	23.9
12—15mm	11.0	12—16mm	24.0
15—18mm	11.3	16—20mm	24.2

\* 500 克黄泥土加 KCl 0.226 克和  $KNO_3$  0.30 克。0.226g KCl and 0.30g  $KNO_3$  added to 500g soil.

表5 植株与土壤接触一月后,土壤速效钾的微域变化\*(分蘖—抽穗)

Table 5 Variation of available potassium in soil of rhizosphere after seeding for one month (Tillering—Earing)

离根距离 Distance from root	速效钾 (mg/100g soil) Available potassium	
	不施钾植株 Rice plant not supplied with K	施钾植株 Rice plant supplied with K
0—2mm	5.4	6.0
2—4mm	6.2	7.6
4—6mm	6.6	7.9
6—9mm	7.3	8.8
9—12mm	8.5	9.4
12—15mm	8.5	9.4

\* 二个重复的平均值。\* Mean value of two repetitions.

表6 土壤与稻根接触一月后,根际土壤 pH 的变化\*(黄泥土)

Table 6 Variation of pH of rhizosphere soil after seeding for one month (Slightly acid paddy soil)

时期 Period	离根距离 (mm) Distance from root	pH
直播—分蘖 Seeding-Tillering	0.12	7.99
	3	7.58
	9	7.56
	12	7.56
分蘖—抽穗 Tillering-Earing	0.02	7.85
	2	7.46
	6	7.27
	9	6.98
	12	6.97

\* 二个重复的平均值。

\* Mean value of two repetitions.

### (五) 数学模拟方法的评价

由以上讨论可见,尽管在土-根体系这样一个复杂的生物系统中进行数学模拟困难是很多的,但从本工作看,如能选择一个大体上符合根表实际情况的边界条件并能选择一个合适的测定方法测得植物参数和土壤参数的平均值,用数学模型来预测根-土界面的离子环境是有可能的。不仅如此,还可先假定一种边界条件,然后通过实验值和计算值的比较来证实所假定的根-土界面的情况。当然,把试验盒中的结果推广到田间,无疑存在相当的距离。因为在田间情况下,质流和扩散这二过程往往相互作用,不像这里假定的质流和扩散互相独立,是一个加和的关系。其次在试验盒中栽水稻,根系生长受到一定的抑制,可能影响植物的吸收。例如初步的计算表明,在试验盒中4株水稻形成的平面排根,其钾离子的通量( $F$ )与一般6公斤大盆中水稻单株的钾离子通量( $F$ )相接近,除了根间存在着竞争作用之外,可能已影响到植物的吸收。尽管如此,从以上结果来看,这种微域分布的趋势在田间总还是存在着的,而在田间的根系,由于吸收作用较强甚至可能更强化这种趋势。

## 四、结 语

土壤中离子向根的迁移可用一维连续性方程式来描述。本工作推导并验证 Nye 提出的稳定状态下根系与土壤平面接触时根系表面溶质浓度的预测公式。结果表明, 水稻根际土壤微区内的钾离子相对浓度 ( $C/C_0$ ) 的理论计算值与实测值相接近, 当  $\nu$  增大时二者符合得更好。在供试的条件下, 水稻根际土壤微区内存在着钾的亏缺区和中性偏碱的土壤 pH 环境。钾的亏缺, 是由于  $\nu/\alpha$  的比值小于 1 之故。本工作还说明, 尽管在土-根体系这样一个复杂的生物系统中进行数学模拟困难很多, 但如能选择一个大体上符合根表实际情况的边界条件并用一个适宜的方法测定植物参数的平均值, 用数学模型来预期根表的离子环境是有可能的。

## 参 考 文 献

- [1] Bouldin, D. R., 1961: Mathematical description of diffusion processes in the soil-plant system. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 25: 476—480.
- [2] Baldwin, J. P. et al., 1973: Uptake of solute by multiple root system from soil III. A model for calculating the solute uptake by a randomly dispersed root systems developing in a finite volume of soil. *Plant and Soil*, 38: 621—635.
- [3] Claassen, N. et al., 1976: Simulation model for nutrient uptake from soil by a growing plant root system. *Agron., J.* 68: 961—964.
- [4] Cushman, J. H., 1979: An analytical solution to solute transport near root surface for low initial concentration, I. equation development. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43: 1087—1092.
- [5] Mengel, K., 1978: Potassium dynamics in the rhizosphere and potassium uptake by roots, in "Potassium in soil and crops" 127—145, Edited by G. S. Sekhon, Potash Institute of India.
- [6] Mengel, K., 1980: Demands of modern plant nutrition on soil tests, in "Proceeding of the international symposium on the application of electro-ultrafiltration in agriculture production" I, 1—16, Budapest, Hungary.
- [7] Nye, P. H. et al., 1964: Simultaneous diffusion and mass flow to plant roots, 8th int. Congr. Soil Sci, (Bucharest) 11:534—542.
- [8] Nye, P. H. et al., 1977: Solute movement in the soil-root system. p. 149—161. Blackwell Sci. pub., London.
- [9] Olsen, S. R. et al., 1962: Phosphate diffusion to plant roots. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26, 222—227.
- [10] Passioura, J. B., 1963: A mathematical model for the uptake of ions from the soil solution. *Plant and soil*, 18: 225—238.
- [11] Riley, D. et al., 1969: Bicarbonate accumulation and pH change at the soybean (*Glycine max* (L.) Merr). root soil interface. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 33: 905—908.
- [12] Vaidyanathan, 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.



## MATHEMATICAL MODEL FOR THE MOVEMENT OF POTASSIUM IONS TO RICE ROOTS

Xuan Jia-xiang

*(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)*

### Summary

There have been several mathematical models for the transportation of nutrient ions in soil towards single root or root system of a single plant. But whether these models can match the root systems of the rice plants grown in a clump remains to be verified. In order to test the models, rice plants were grown in a box consisting of two compartments separated by a sheet of nylon sieve to form a plane of rice roots. A comparison was made between the values of relative concentration of potassium ion in soil near the root surface predicted from Nye's model and those measured with a miniature potassium selective electrode.

The results obtained showed that the measured values of relative concentration of potassium ion in the soil of rice rhizosphere were approximate to the theoretically calculated values, and their agreement was even better when water flux increased. It is possible to predict ion concentration near root surface using mathematical models even under more complex situations.

In this experiment it was also observed that there were a deficit zone of potassium and a neutral or weakly alkaline pH environment in micro-areas of rhizosphere of rice plant.