

巴伯教授谈“土壤养分的生物有效性”

一、养分向根迁移的途径

养分随蒸腾流进入植物体的途径称为质流。当根吸收周围土壤的养分后，近根表面的养分浓度下降，形成浓度梯度，又促使养分由高浓度向低浓度扩散。一般认为，根截获对养分吸收的贡献很小，仅占1—5%。因此，质流和扩散是养分向根迁移的两条主要途径。质流提供养分的数量可以根据植物的蒸腾强度和土壤溶液中的养分浓度来计算。由于养分种类的不同，质流和扩散的贡献也不相同。Barber等的结果表明，钙、镁、硫酸根和硝酸根离子主要通过质流途径提供给植物的量，一般大于植物的需要量。而对磷、钾和大部分的微量元素，质流的贡献很小，主要依靠扩散途径。

二、离子吸收的数学模型及其验证

Barber及其合作者建立并应用数学模式预测植物养分吸收。该模式的特点是将土壤养分供应的有关参数和植物吸收的因素结合起来考虑。为了简化模拟的条件，对该模式作了如下的假定。(1)植物对养分的吸收仅在根表面的土壤溶液中进行。(2)根毛，根分泌物和菌根对养分吸收的影响暂不考虑。(3)土壤中的养分通过质流和扩散迁移至根表面。(4)根吸收养分的速率与养分浓度的关系服从Michaelis—Menten方程。(5)植物根看作为光滑的园柱体。(6)不考虑植物的养分吸收特性与根龄或苗龄的关系。(7)土壤的养分缓冲性能(b)和养分在土壤中的有效扩散系数(D_e)不随养分浓度的变化而变

化。(8)植物的养分吸收与水分吸收速率关系不大等等。该数学模型共含有11个参数。

在土壤的养分供应能力方面： C_{II} ：为土壤溶液中养分的初始浓度；b为土壤的缓冲能力； D_e 为土壤养分的有效扩散系数。在根系生长特性方面： L_0 为根的初始长度； r_0 为根的平均半径；k为根生长速率； r_1 为两条根之间距离的一半。在根系的养分吸收动力学方面： I_{max} 为根对该养分的最大吸收率； K_m 为米氏常数，即根系与养分的亲和力，其值为吸收率在1/2 I_{max} 时相对应的溶液中养分的浓度； C_{min} 为净吸收率等于零时外界溶液的最低浓度。 V_0 为流向根面的水通量。

模型推导出的连续方程为：

$$\frac{\partial C_I}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r D_e \frac{\partial C_I}{\partial r} + \frac{r_0 V_0 C_I}{b} \right)$$

式中： C_I 为养分在土壤溶液中的浓度，t为时间，r为距根表面的径向距离。

有下列初始条件和边界条件：

t=0时，根表面上的养分浓度 $C_{II} = C_{I0}$

当根系之间的养分吸收互相不竞争时， $t > 0$ ， $r = r_1$ ， $C_I = C_{II}$ 。当根系之间吸收养分有竞争，根际养分浓度梯度互相重叠时，则 $t > 0$ ， $r = r_1$ 时，养分向根的通量 $J_r = 0$ 。

当 $t > 0$ ， $r = r_0$ 时， $D_e \frac{\partial C_I}{\partial r} + V_0 C_I$

$$= \frac{I_{max} C_I}{K_m + C_I} - E$$

根据这些初始和边界条件，用Crank—

美国普渡大学巴伯(S.A.Barber)教授于1985年6月19—22日访问了南京土壤研究所，作了学术报告和进行了座谈。本文是他学术报告的有关内容，经施卫明同志整理。

Nicolson方法解上述连续方程就能得到不同时间,距根不同距离的养分浓度和根面上的养分吸收量。若要得到一段时间(t_m)内,植株的养分总吸收量可由下列积分方程求得:

$$\text{总吸收量 } T = 2\pi r_0 L_0 \int_0^{t_m} J_r(r_0, S) dS \\ + 2\pi r_0 \int_0^{t_m} \frac{df}{dt} \int_0^{t_m-t} J_r(r_0, S) dS dt$$

(式中 df/dt 为根生长率, S 为根表面积, 方程的前项代表实验开始时原初部分根的吸收量, 方程的后面一项代表实验期间新长出来的根的吸收量。)

为了验证本模型的正确性,在温室条件下,对生长在六种性质不同的土壤上玉米吸磷量的预测值和实测值进行了比较。结果表明,它们之间极为一致,相关系数 $r=0.93$ 。在相同条件下,发现钾的预测值和实测值之间也很吻合($r=0.94$)。用不同品种的大豆进行实验的结果也表明,它们的吸磷量预测值和实测值之间的相关系数 $r=0.96$ 。这表明,在温室条件下,本模型能成功地预测生长在不同土壤上、不同植物品种的养分吸收值。在田间条件下进一步的实验结果表明,几种不同品种的大豆吸收钾素和不同品种的玉米吸收磷素的预测值和实测值之间也都取得了显著的相关性,从而证明了本模型也能适用于预测田间生长条件下的植株养分吸收值。

然而,用小麦、苋苣、蓟草、西红柿、洋葱和胡萝卜六种植物进行试验的结果表明,西红柿和蓟草两种植物的吸磷预测值远不及实测值的一半。造成这种预测值偏低的原因认为是由于根毛的影响,这两种植物都有很长很细的根毛,而在本数学模型中未考虑这部分根毛吸收的磷量。当把模型适当修正后,将根毛吸收的磷加到总吸收值中后,预测值和实测值之间就有了很好的相关性($r=0.89$)。这说明,当把根毛的影响考虑进去后,本数

学模型的适用范围会更广。但是,根毛的数量和长度亦受土壤的水分状况和磷素水平的影响。当土壤较干燥和含磷量较低时,根毛的数量增加,从而有助于改善植株的磷素状况。根毛对养分吸收的贡献还受养分种类的影响。如钾,在根表面的浓度梯度范围较大常超过根毛的长度,所以,根毛对植株吸钾量的贡献则较小。而磷,由于其在根表面的浓度梯度范围较小,因而根毛的作用就相对较大,就有必要考虑根毛对植株吸磷量的贡献。

三、数学模型中各项参数的灵敏度分析

所谓灵敏度分析即是,改变模型中的某一项参数而其他项保持不变时,计算养分吸收预测值的变化以得到该项参数对养分吸收的相对贡献率。进行灵敏度分析时,假设植物对某种元素,未得到充分供应。因此,当增加土壤的供应量或增加植物根的吸收率时,该元素的总吸收量也将增加。结果表明,根生长速率 k 的变化对吸钾量预测值的影响最大。其次是根半径 r_0 。因为只要当两个根之间的距离 r_1 足够大时,根与根之间不会有互相竞争吸收养分的现象出现,因此,吸收根的表面积随 r_0 增大而增加。土壤的养分供应能力方面的参数 C_{ii} , b 和 D_e 对吸钾量的影响仅次于参数 k 和 r_0 ;而 I_{max} , K_m 和 C_{min} 的变化对吸钾量的影响较小, V_0 的变化则几乎没有影响。这也表明了钾主要是通过扩散途径迁移到根表面的。当然,这些参数之间也并不是完全互相独立的,而且某些参数对养分吸收的相对贡献率还受到环境条件的影响。例如,当土壤溶液中养分的初始浓度较高,或者由质流途径提供的养分数量高于根的 I_{max} 值时,则 I_{max} 对植株养分吸收的贡献就会相对增大。反之,当土壤中的养分浓度较低,主要通过扩散迁移到根表面时,则植株的养分吸收主要受土壤的养分供应能力的控制。这样,根 I_{max} 对植物养分吸收的贡献就变得很小。