

# 国外评价土壤侵蚀和土壤生产力关系的模式

李 忠 魁

(中国科学院西北水土保持研究所)

(上接1986年第5期第59页)

(7) 固定作用。象矿化作用一样，固定作用模式也是调整帕普兰 (PAPRAN) 模式得来的。由于固定作用决定残茬分解速率，而残茬分解作用对土壤侵蚀有重要作用，所以固定作用是EPIC模式中一个很重要的过程。日固定量是从作物残茬氮量减去微生物同化量而得到的。

$$WIM = (DCR)(FR)(0.016 - C_{NFR}) \dots \dots \dots (17)$$

式中：WIM—氮固定速率 (公斤/公顷·天)； $C_{NFR}$ —作物残茬中含N量 (克/克)；FR—水平作物残茬 (公斤/公顷)，假如  $C = 0.4FR$ ，微生物量和它们不稳定产物的C:N比等于10，吸收了残茬中的  $C = 0.4$ ，那么  $WIM = 0.016$ 。固定作用可能受到氮或磷的可利用性的限制。

(8) 作物对氮的吸收。应用供需方法可以估价作物对氮的利用情况。利用下式可以算出作物日需氮量：

$$UND_{IDA} = (CNB)_{IDA} (B)_{IDA} - (CNB)_{IDA-1} (B)_{IDA-1} \dots \dots \dots (18)$$

式中： $UND_{IDA}$ —作物需氮量 (公斤/公顷)，IDA是一年中的某一天；CNB—作物最佳含氮量，是生长期的函数；B—累积生物量 (公斤/公顷)。

(9) 氮的固定。固氮作用是豆科作物一个很重要的过程。为了防止抑制植物生长的氮应力，可以添加氮素，用EPIC模式评价氮的固定。植物生长每天受到4个因子最小值的限制。如果氮素的抑制作用灵敏，可以对植物增施足够的氮量 (最多是2.0公斤/公顷·天)，使氮应力因素等于下一个抑制作用生长的最大因子。添加氮素的多少随固定程度而定。

## 2、磷

(1) 地表径流中损失的可溶性磷。EPIC模式利用了莱纳得(Leonard)和吴朝普 (Wauchope) 1980年所描述的把农药划分为消散相和沉淀相的概念。因为磷主要与沉淀相有关，所以，含有可溶性磷的径流方程可以用下述简单公式来表达：

$$YSP = 0.01(C_{LP1})(Q) / K_d \dots \dots \dots (19)$$

式中：YSP—损失在径流量中的可溶性磷的数量 (公斤/公顷)； $C_{LP1}$ —第L土层中不稳定磷的含量 (克/吨)； $K_d$ —泥沙含磷量 (立方米/吨) 与磷溶液浓度的比值，用在EPIC模式中的 $K_d$ 值是175。

(2) 泥沙对磷的转运。我们用描述转运有机氮的方法以负荷函数模拟泥沙对磷的转运。磷的负荷函数是

$$YP = 0.001 (Y)(C_p)(ER) \dots \dots \dots (20)$$

式中：YP—径流中沉淀相损失的磷（公斤/公顷），C<sub>r</sub>—表土层的含磷量（克/吨）。

(3) 矿化作用。琼斯 (Jones) 等人在1982年提出的磷矿化模式在结构上同氮矿化模式相似。每一土层的新鲜有机磷层的矿化作用，用下式来估价：

$$RMP = (DCR)(FOP) \dots\dots\dots (21)$$

式中：RMP—新鲜有机磷的矿化速率（公斤/公顷·天），每一土层的稳定有机磷与腐殖质有关；FOP—作物残茬中的新鲜有机磷（公斤/公顷）。

(4) 固定作用。琼斯等人1982年还提出了磷固定模式，它在结构上与氮固定模式相似。磷的日固定量等于微生物同化的数量减去作物残茬中含有的磷素数量。

$$WIP = (DCR')(FR)(0.16LF_i - C_{PFR}) \dots\dots\dots (22)$$

式中：WIP—磷的固定速率（公斤/公顷·天）；C<sub>PFR</sub>—作物残茬中的含磷量，DCR'—限制氮和磷分解率的系数，假定C=0.4FR，土壤微生物同化的FR中的碳为0.4，则WIP为0.16；LF<sub>i</sub>—不稳定磷固定因子，它可以使土壤微生物的P:C比作为不稳定磷含量的函数而在0.01—0.02之间变化。不稳定磷固定因子呈线性变化：当C<sub>LP</sub>=0时，其值为0.01；C<sub>LP</sub>=10时，其值为0.02；当C<sub>LP</sub>>10时，其值不变，仍为0.02。

(5) 无机磷的循环。无机磷模式也是琼斯等人1982年提出的。无机磷在三种状态之间转化，即不稳定型、活跃型和稳定型。在施用磷肥时，磷是处于不稳定状态的(可被植物利用)。但是，它也可能很快就转化为活跃型的。在不稳定型与活跃性无机物之间的流动遵循平衡方程。

$$MPR_i = 0.1SWF_i \exp(0.115T_i - 2.88) \left[ AP_i - MP_{s,i} \left( \frac{PSP_i}{1 - PSP_i} \right) \right] \dots\dots\dots (23)$$

式中：MPR—第i层的无机磷流率（公斤/公顷·天），T—土壤温度（℃），MP<sub>s</sub>—在活跃无机磷组中磷的数量（公斤/公顷）；PSP—磷吸收系数，它的意义是，在完成初期的磷迅速吸收后，残留在活跃型组的肥料磷用式(23)计算磷的日变化值，加在活跃型无机磷一组，并从稳定型一组中扣除。显而易见，当不稳定型磷小于MP<sub>s,i</sub> (PSP<sub>i</sub>) / (1 - PSP<sub>i</sub>) 时，交流就会反向。磷的吸收系数是土壤物理和化学性质的函数。活跃型和稳定型无机磷组间的交流，遵从下述方程：

$$ASPR_{j-\omega} (4 MP_{s,i} - MP_{s,i})$$

式中：ASPR—第i层土壤的活跃型和稳定型无机磷组之间的流率（公斤/公顷·天）；ω—无机磷每天的交流系数；MP<sub>s</sub>—稳定无机磷的数量（公斤/公顷），本式计算磷的日变化值加在稳定型一组，并从活跃型一组中扣除。很明显，当MP<sub>s,i</sub>>4MP<sub>s,i</sub>时，交流就会反向。交流系数ω是PSP的函数，对于非石灰性土壤，ω = exp(-1.77PSP - 7.05)

而石灰性土壤

$$\omega = 0.00076$$

(6) 作物吸收的磷。作物利用磷的多少，由氮模式所描述的供需研究方法来估计。植物对磷的日需求量用式(18)计算，方程写为

$$UPD_{iDA} = (C_{PB})_{iDA} (B)_{iDA} - (C_{PB})_{iDA-1} (B)_{iDA-1} \dots\dots\dots (24)$$

式中：UPD<sub>iDA</sub>—植物需磷量（公斤/公顷），C<sub>PB</sub>—植物需磷的最佳浓度。对植物施磷量用下式估算：

$$UPS_{iDA} = 1.5UPD_{iDA} \sum_{i=1}^M (SWF)_i (L F_u)_i \frac{RW_i}{RWT_{iDA}}$$

式中：UPS—土壤供磷量（公斤/公顷）； $LF_u$ —可被吸收的不稳定型磷因子；RW—第i土层中根的重量；RWT—该年某天的根总重量（公斤/公顷）。不稳定型磷可被植物吸收，它呈线性地变化在0（ $C_{LP} = 5$ 时）到1.0（ $C_{LP} = 14.5$ 时）之间，同氮的情况相似，实际吸收的磷是植物需磷量（UPD）和土壤供磷量（UPS）的最小值。

### （五）土壤温度

通过模拟每个土层中心的日平均温度，可以研究养分循环和水文状况（威廉斯等人，1983年）。估算土温的最后方程是：

$$T(z, t) = \bar{T} + \left[ \frac{AM}{2} \cos \left( \frac{2\pi}{365} (t - 200) \right) \right] + TG - T(0, t) e^{-z/DD} \dots \dots \dots (25)$$

式中：z—地表下的土层深度（毫米）；t—时间（天）， $\bar{T}$ 是年平均气温（℃）；AM—日平均气温（℃）的年变化范围；DD—土壤温度的衰减深度（毫米）。本式提供了评价气温（z = 0）和土温的可能性。由于气温是用EPIC模式的气象因子提供的，所以土壤温度模式，应当把气温作为过渡值应用。用此方程我们就可预报任一深度的土温。

### （六）作物生长模式

1、生长势。在EPIC模式中，采用了一个简单模式来模拟各种作物的生长情况，包括玉米、高粱、小麦、大麦、燕麦、向日葵、大豆、紫花苜蓿、棉花、花生和牧草。当然，每种作物的模式参数是不一样的。EPIC模式能够模拟一年生和多年生作物的生长情况。一年生作物是从播种日起，开始生长发育，直到收获日，或者积温等于作物的热潜力时为止。多年生作物（比如紫花苜蓿和牧草）在霜后开始休眠，且全年维持着根系的功能。当日平均气温超过植物的基点温度时，这些作物就开始生长。

生物量在一天内增加多少，用下式估算：

$$\Delta B_P = (BE) (PAR) \dots \dots \dots (26)$$

式中： $\Delta B_P$ —生物量日增长势（公斤/公顷）；BE—作物把能量转换为生物量的参数（公斤/兆焦尔）；PAR—产生光合作用的光辐射量（兆焦尔/平方米）。

根的日生长量用下式估算：

$$\Delta RWT = \Delta B_P (0.4 - 0.2B_1) \dots \dots \dots (27)$$

式中： $B_1$ 是累积生物量符号，无量纲，在0—1间变化。

根的日脱落量用下式估算：

$$\Delta RWS = 0.1 (\Delta B_P) (B_1) \dots \dots \dots (28)$$

式中： $\Delta RWS$ —根在一天的脱落量（公斤/公顷）。根带区的根重量变化，是作为植物水分利用和每个土层根累积重量的函数来模拟的，用下式估算：

$$RW_j = RW_{0j} + (\Delta RWL) (RWF)_j \dots \dots \dots (29)$$

式中： $RW_0$ 和 $RW$ —干旱始末第j土层的根重（公斤/公顷）； $\Delta RWL$ —一天内根活体重量的变化（公斤/公顷）；RWF—根重量分布因子。根活体重量的变化等于根的总生长量减去根的脱落量。

2、抑制生长的因子。据研究，抑制作物根生长的应力因子，主要有土壤通气性、土壤强度、毒铅对根生长的影响和土壤温度应力等。

### (七) 耕作

设计EPIC模式耕作因子的目的，是要在耕作深度以内把养分和作物残茬混合起来，模拟容重的变化，并把直立残茬转换为匍匐残茬。每一耕作活动都有这种混合效能。耕作混合作用方程是：

$$X_i = (1 - EF)X_{oi} + \left( \frac{Z_i - Z_{i-1}}{PD} \right) EF \sum_{j=1}^i X_{oj} \dots \dots \dots (30)$$

式中：X<sub>i</sub>—经混合后第i土层的混合物数量（公斤/公顷）；EF—耕作结果的混合效率（0—1）；X<sub>oj</sub>—混合前第j层的混合物量（公斤/公顷）；M—耕作深度（毫米）内的土层数。每次耕作的耕层容重变化可用下式来模拟：

$$BDP_i = BDP_{oi} - \left( BDP_{oi} - \frac{2}{3} BD_{oi} \right) (EF) \dots \dots \dots (31)$$

式中：BDP<sub>o</sub>—耕作前第i土层的土壤容重（吨/立方米）；BD<sub>o</sub>—耕作后当土壤完全稳定时的土壤容重。

耕作因子的其它函数，还包括对垄高和地表糙度的模拟。由于耕作方法的改进，限定了这两个变量。同样，人们也规定了每次耕作的日期和深度。如果土壤十分干燥，则耕作必须在某个确定日期进行；如果不很干燥，也可在另一个适宜的时间耕作。

EDIC模式所考虑的收获方式有以下4种：1、采收种子和纤维等的传统收获；2、收获干草（允许混合收割）；3、无收割（如绿肥作物等）；4、一种作物，多项收获，比如棉花。传统收割把作物茎干分成地表层残茬（10%）和直立残茬（90%）两部分。收获后，往往要用切碎机，且割秆前后的高度进一步把残茬分类。干草的收割量也是根据割秆前后的高度估算的。

### (八) 经济因子

作物预算。投资包括固定和不定的两类。固定投资是指财物折旧费，投资的效益或利润，保险费，设备税，土地和基本改进措施的支出（比如修梯田、排水、灌溉系统等）；不定投资项包括机修、燃料和其它能量、机油、种子、肥料、杀虫剂、劳力和灌溉用水的投资。

不定投资的总额为

$$TVC = \sum_{i=1}^M (PR_i) (QA_i) \dots \dots \dots (32)$$

式中：PR—第i项不定投资的单价；QA—每公顷的投资数量。

作物的全部收入，等于作物产量乘以市场售价，再减去非机器费用的消费或收割费，纯利润等于总收入和总费用的差值。

### (九) 植物环境控制

1、排水。地下排水系统可以作为某一面积上的天然亚表层横向径流的改进型式来对待。排水系统的模拟，只要指明包括系统的土层即可。EPIC模式指定水到该土层的移动时间为1天。因为水分的移动时间依赖于土壤性质和排水沟（或管）间距，所以在具体应用排水系统时，可根据需要作调整。

2、灌溉。EPIC模式的使用者有模拟旱区或农灌区的选择自由。如果要说明灌溉，他就必

须规定好相应的径流率（即田间流出的水量/灌水量），开始灌溉时的植物水应力状况，以及是用喷灌或用沟灌浇水的问题。当已达到人们给定的应力水平时，灌水量用下式确定

$$AIR = \frac{FC - SW}{1 - EIR} \dots\dots\dots (33)$$

式中：FC—根区田间持水量（毫米）；SW—灌溉前的根区土壤含水量（毫米）；EIR—径流率。

3、施肥。EPIC模式提出了两种施肥方法。采用第一个方法，使用者可以指定氮肥和磷肥的施用日期、施用率和施用深度；第二个方法则更为简便——只需要输进植物应力参数。播种时，根据该模式采取土样，在必要时每公顷可施用约15公斤氮肥。此外，还要按模式要求施用足量的磷，使得顶部两层的不稳定磷的含量接近开始模拟时的水平。在作物生长季施用额外的氮肥有二次机会（也就是在成熟度为25%和50%时），上部施肥的每次用氮量，通过预测作物的最终生物量来确定，即：

$$BF = B_j + (BE)(PRA - \sum_{k=1}^j RA_k)(0.03)(BFT) \dots\dots\dots (34)$$

$$FN = (C_{NB})(BF) - UN_j - \sum_{i=1}^M WNO_{3,i}$$

式中：BF—作物生长季末的预测生物量（公斤/公顷）； $B_j$ —第j天的累积生物量；BE—能量与作物生物量间的转化系数（公斤/兆焦尔）；PRA—生长季的太阳辐射能；BFT—模式使用者提供的植物应力参数；FN—氮肥施用量（公斤/公顷）； $C_{NB}$ —生长季末的植物含氮量； $UN_j$ —第j天的植物氮总量（公斤/公顷）。BFT值在0—1.0之间变动。因此，使用者预测作物最终生物量时，只需给出BFT的各个应力值水平，就可以调节氮肥施用量。

4、施用石灰。EPIC模式还模拟在土壤耕作层施用石灰中和铝毒的结果。一般认为，土壤酸性的来源有两个：一是耕层内用KCl可提取的铝；二是由于施用氨基肥而增加的酸性。消除KCl可提取的铝造成的毒性需要的石灰量，用卡姆拉斯（Kamprath, 1970）方法估计。施用的氮肥包括尿素、硝酸铵或液铵态3种。这3种氮肥施于土壤时，它们产生的酸性相似。中和该土层铝毒所需石灰量用下式计算：

$$EAL = \frac{0.01(ALS)(CEC)(BSA)}{100 - ALS} \dots\dots\dots (35)$$

式中：ALS—第i土层的铝饱和度（%）；CEC—用 $NH_4OA$ 方法测定的阳离子交换量（毫克当量/公斤），BSA是用 $NH_4OA$ 方法测定的基点饱和度，一般情况下，对于 $pH \leq 6.5$ 的土层才考虑使用石灰。而中和氮肥产生的酸性所需石灰量用下式估算：

$$RLN = 0.002 \sum_{j=1}^j FN_j \dots\dots\dots (36)$$

式中：RLN—中和氮肥酸性所需的石灰量（吨/公顷）； $FN_j$ —第j次施用的氮肥数量（公斤/公顷）；J—两次用石灰期间施用氮肥的次数。在每年模拟研究的末期，把式（36）和式（37）相加，同时考虑铝对根生长产生的应力因子，就可以估算出需要的石灰总量。

EPIC模式考虑了3种危害因子，即昆虫、杂草和植物病害。EPIC模式的危害因子表示了这3种危害的总作用。以危害因子与模拟的作物日产量相乘调整作物产量。危害因子在0—1间变动，1表示无危害，0则表示危害因子对作物的完全破坏。（下转第75页）

# THE DISASTROUS SCIENCE SHOULD BE DEVELOPED URGENTLY FOR THE FOUR MODERNIZATIONS

*Guo Fang*

*The Committee of Environmental Science,*

*Chinese Academy of Sciences*

## Abstract

The tendency of development of modern science shows mainly that science and technology are turned acceleratively into productive forces. The social stability and progress create proper conditions for developing production. The development of science itself has become crossing and infiltrative each other, and comprehensive, but the work in the disastrous sciences have made progress slowly as a result of the failure to take forceful measures and correct policies, resulting in heavy disaster, heavy losses and treat to the people in their production and daily. The work of the disastrous science needs to be enhanced and developed. If the departments work with one heart and mind, and with supporting each other, the natural disaster can be conquered surely.

---

(上接第80页) 农药在指定日期施用,并作为EPIC模式耕作活动的一部分。

## 三、模式试验结果

研究人员在美国大陆的150个地点和夏威夷的13个地点做了EPIC模拟试验,并对水文和水蚀因子作了广泛测试。尼克斯等人(1983)的气象因子试验结果是成功的;库勒(Cole, 1982)等人的风蚀因子有限试验结果令人满意;琼斯等人(1983a, 1983b)报导的营养模式的结果很有说服力;作物生长模式的局部试验(Williams, 1983; Williams和Renard, 1983)结果也可以信赖。

确定模式对侵蚀敏感性的方法,是把作物产量与模拟期间50年的累积侵蚀相连系,把最后得到的线性回归方程用于比较50年始末的预计产量。回归分析表明,作物产量的增减取决于土壤和气候特征及施肥率。在一些侵蚀率高、亚表土条件不良的地区,作物产量比一般地区减少40%。

实践证明,EPIC模式是可以采用的,对于不同气候条件、土壤特点和管理措施引起的土壤侵蚀,它都可以给出令人信服的结果。EPIC模式从作物产量的下降程度上,也显示出它反映侵蚀的敏感性。

除此以外,EPIC模式在很多方面都有应用潜力,包括:1、国家土壤保护政策的研究;2、国家水土保持规划的制定与评价;3、科研项目的计划与安排;4、作为一个研究工具。