

# 保护性耕作土壤水分模型<sup>①</sup>

李洪文<sup>②</sup> 高焕文

(机械工程学院)

**摘要** 在2年初步试验的基础上,通过对山西寿阳县年雨量、气温与蒸散量的分析,建立了保护性耕作土壤水分模型及其相关子模型。用此模型能预测特定地区作物各生长阶段的土壤含水量、任意年的降水量、任一天的平均气温和年蒸散量与径流量。试验验证结果表明,此模型能较好地反映各种耕作处理下土壤水分的变化情况。

**关键词** 土壤水分; 预测模型; 保护性耕作

**中图分类号** S152.7; S157.42

## Soil Moisture Model of Conservation Tillage

Li Hongwen Gao Huanwen

(College of Machinery Engineering, CAU)

**Abstract** On the base of two year's experiments, through analysis of annual precipitation, temperature and evapotranspiration of Shouyang, Shanxi province, a main soil moisture model and submodels are developed. For a specific district, this model can simulate soil water content in any stage, annual precipitation, average temperature of a day, annual evapotranspiration and runoff. Verification with experiments shows that this model can be used to express the variation rules of soil water content, soil temperature, evapotranspiration, runoff and water loss for the fields with conservation tillage (in Shouyang and similar districts).

**Key words** soil moisture; simulation model; conservation tillage

国内外对土壤水分模型已有较多的研究<sup>[1-4]</sup>,但是这些模型多数没有全面考虑耕作措施、覆盖方式对地温、蒸散、径流等的影响,而且对于降雨量的预测,多是利用多年雨量的平均值和随机方法进行估计,忽略了年雨量可能存在的规律性;因此预测精度较低,难以用预测的年雨量判断全年和各时期的降雨情况,无法定量说明各种耕作模式的地温状况、蒸散量、径流量,以及土壤保蓄水的能力。笔者在保护性耕作研究中,结合山西寿阳县试验区的具体情况,研制了保护性耕作土壤水分模型,2年的初步试验表明,模型基本上能够反映保护性耕作的土壤水分

收稿日期:1995-10-09

①国家“八五”科技攻关项目

②李洪文,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)46信箱,100083

变化情况<sup>[5]</sup>。

## 1 模型编制

保护性耕作土壤水分模型包括1个水分主模型和4个相关子模型。

### 1.1 雨量子模型

年雨量分布规律。某地的降雨量受许多随机因素的影响,是随时间变化的随机过程。传统上利用数理统计方法进行回归分析,不可避免地会损失一些信息。利用时间序列方差分析方法可以分析各因素间的关系。

输入 $n$ 年(例如40 a)的年雨量 $x_1, \dots, x_n$ ,按某一时间间隔分为 $k$ 组,每组内样本容量为 $n_1, \dots, n_k$ ,每组数据为 $x_{ij}(i=1, \dots, k, j=1, \dots, n_k)$ ,则 $x_1, \dots, x_n$ 被分为 $x_{11}, \dots, x_{1n_1}, \dots, x_{k1}, \dots, x_{kn_k}$ 。那么

$$F = \left[ \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \right] \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_k} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \right]^{-1}$$

服从 $F$ 分布。其中: $\bar{x}_i$ 为第 $i$ 组样本的均值; $\bar{x}$ 为全体样本的均值。

首先从原序列中分析出一个主要周期,然后从原序列中除去这个周期的影响,在剩余的新序列中再寻找第2个主要周期。由此可得出雨量具有周期为 $M$ 的周期性分布规律,并将周期对应年分为 $M$ 个周期年,以周期对应的各年雨量均值作为周期年雨量 $R_k(k=1, \dots, M)$ 。

月雨量分布规律。第 $k$ 周期年各月的平均雨量 $R_m(k, l)(l=1, \dots, 12)$ 可按下列公式计算:

$$R_m(k, l) = \frac{1}{G} \sum_{i=1}^G R(y, l)$$

式中: $G$ 为属于第 $k$ 周期的时间, $a$ ;  $R(y, l)$ 为 $y$ 年第 $l$ 月的总雨量。

日雨量的预测。先判断预测年所在的周期年 $k$ ;再判断第 $j$ 天所在月份 $l$ ;第 $j$ 天的雨量( $R_j$ )为

$$R_j(j) = \begin{cases} 0, & R_{ND}(j) > p(k, j) \\ R'_j(j), & R_{ND}(j) \leq p(k, j) \end{cases}$$

其中: $R'_j(j) = R_m(k, l) + [2R_{ND}(j) - 1]R_d(k, l)$ ,  $R_d(k, l)$ 为样本标准差; $R_{ND}(j)$ 为 $(0, 1)$ 之间的随机数; $p(k, j)$ 为第 $k$ 周期年第 $l$ 月第 $j$ 天降雨的概率; $R_m(k, l)$ 为第 $k$ 周期年第 $l$ 月的降雨平均值。

### 1.2 温度子模型

根据各周期年每天的平均气温 $\theta_a$ ,采用随机方法,可以预测任意一天的平均温度:

$$\theta_a(j) = \theta_a(k, j) + [2R_{ND}(j) - \theta_d(k, j)]$$

式中: $\theta_a(j)$ 为第 $j$ 天平均气温; $\theta_a(k, j)$ 为第 $k$ 周期年第 $j$ 天的平均气温; $\theta_d(k, j)$ 为第 $k$ 周期年每天平均气温的标准差。

对于保护性耕作的地温,根据试验所得地温差别进行处理。图1示出各种耕作处理后每天的平均地温的比较。

### 1.3 蒸散量子模型

潜在蒸发量。温度是蒸发量的主要影响因素,且较易获得,因此为了使用方便,利用气温进

行蒸发量的计算。

对寿阳地区 40 a 的日均气温与日潜在蒸发量的回归分析表明,日潜在蒸发量  $E'(j)$  与日均气温  $\theta_a(j)$  呈指数关系,即  $E'(j) = 1.919\exp[0.043\theta_a(j)]$ 。

实际蒸散量。实际蒸散量  $E(j)$  受光照百分率、土壤干燥度、降雨影响因数、作物

影响因数、地表覆盖物影响因数等因素的影响,因此每天的实际蒸散量  $E(j)$  为

$$E(j) = \begin{cases} E'(j)k_l k_c k_s, & W(j) \geq W_k \\ E'(j)k_l k_d k_r k_c k_s, & W(j) < W_k \end{cases}$$

式中:  $W(j)$  为第  $j$  天的土壤湿度;  $W_k$  为临界含水量;  $k_l$  为光照百分率,由历史资料查得;  $k_c$  为作物影响因数,取经验数据;  $k_s$  为地表覆盖影响因数,  $k_s = 1 - 0.5C$  (其中  $C$  为地表覆盖率)<sup>[6]</sup>;  $k_d$  为土壤干燥度,有

$$k_d = \begin{cases} 1, & W(j) > 0.70F_c \\ 0.606, & 0.55F_c \leq W(j) \leq 0.70F_c \\ 0.333, & W(j) < 0.55F_c \end{cases}$$

其中  $F_c$  为田间持水量;  $k_r$  为降雨影响因数,有

$$k_r = \begin{cases} 1, & t_R = 0 \\ 0.75, & t_R = 1 \\ 0.65, & t_R = 2 \\ 0.55, & t_R = 3 \end{cases}$$

其中  $t_R$  为连续降雨时间, d。

### 1.4 径流量子模型

对于降雨强度不大的北方旱地,可以不考虑降雨强度对径流  $F$  的影响。假设在  $h/cm$  深的耕层充满水之前不产生径流,则在传统耕作地表,一次降雨可能产生径流的最小临界雨量  $R_{min}$  可按下列公式求得:

$$R_{min} = (w_{max} - w) \rho h$$

式中:  $w_{max}$  为土壤全持水量, %;  $w$  为土壤含水率, %;  $\rho$  为土壤密度,  $g \cdot cm^{-3}$ ;  $h$  为土层深度, cm。则

$$F(i) = \begin{cases} 0, & R(i) < R_{min} \\ k[(R(i) - R_{min})], & R(i) \geq R_{min} \end{cases}$$

式中:  $F(i)$  为第  $i$  天的径流量, mm;  $k$  为径流因数;  $R(i)$  为第  $i$  天的降雨量, mm;  $R_{min}$  为产生径流所需的最小雨量, mm。

根据试验认为保护性耕作地面产生径流的临界雨量为  $R_{min} - \Delta$ 。  $\Delta$  为保护性耕作与传统耕作地表产生径流所需最小的差额,由试验取得。

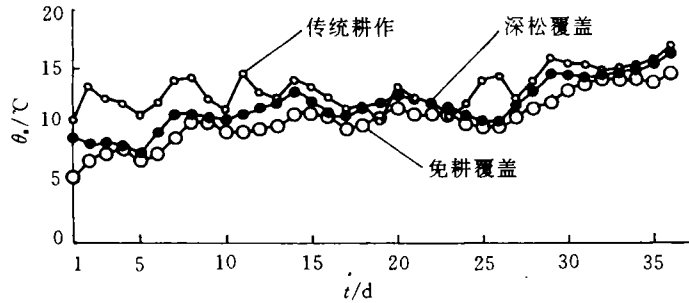


图 1 免耕覆盖、深松覆盖和传统耕作的地温  $\theta_s$  比较

### 1.5 保护性耕作土壤水分模型

根据各子模型所得结果,按图2所示流程图,并根据农田水分平衡方程可以建立保护性耕作土壤水分模型<sup>[7,8]</sup>

$$\Delta w = R + I + M + N - F - D - E - L_g - J_R$$

其中: $R$ 为降雨量; $I$ 为灌溉水量,对于旱地, $I=0$ ; $M$ 为毛管上升水量,对于旱地, $M \approx 0$ ; $N$ 为水汽凝结水量,对于旱地, $N \approx 0$ ; $F$ 为径流量; $D$ 为排水量,对于旱地, $D \approx 0$ ; $E$ 为蒸散量; $L_g$ 为地下渗漏量,对于旱地, $L_g \approx 0$ ; $J_R$ 为雨水截留量,可忽略。这里各个量的单位均为 mm。

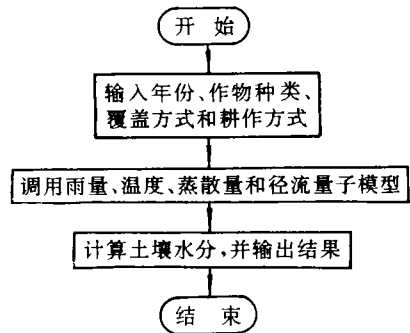


图2 保护性耕作土壤水分模型流程图

## 2 模型的功能

模型中各子模型及主模型都可以输出计算结果,因此模型具有如下功能:

- 1) 预测特定地区各阶段的土壤含水量;
- 2) 预测任意年的降水量;
- 3) 预测任意一天的平均温度;
- 4) 预测田间年蒸散量与径流量;
- 5) 预测年水分损失。

## 3 预测结果的验证

以山西寿阳县试验区的试验结果为例进行模型预测结果的验证。

### 3.1 雨量预测值的验证

时间序列方差分析表明,寿阳县年雨量明显地存在着6a周期,如图3所示。

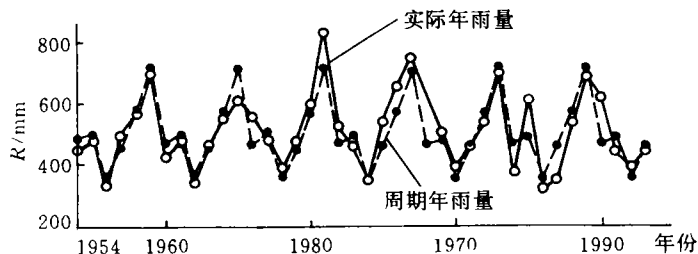


图3 实际年雨量  $R$  及其周期分布

年雨量的预测结果与实测结果列于表1,可以看出,模型能较好地反映寿阳县的降雨规律。

表 1 1974~1993 年年雨量实际值与预测值对比

年份	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
实际值	350.6	541.4	657.6	754.6	467.8	506.6	392.2	453.8	540.2	709.9
预测值	335.6	437.0	518.4	661.0	458.9	540.7	256.6	501.8	642.8	679.0

年份	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
实际值	379.3	616.0	318.3	352.6	540.3	693.7	624.2	446.3	379.3	453.8
预测值	480.2	474.6	299.4	424.9	457.7	716.6	430.7	412.8	299.4	580.9

### 3.2 水分损失的验证

由于试验中没有测量蒸散与径流量,因此通过测量 1993 年初与年终的土壤含水量及作物耗水量来计算水分损失。预测的水分损失以蒸散与径流之和计。各种处理下预测值与实际值的对比如图 4。

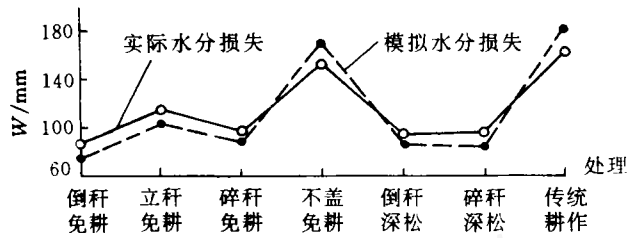


图 4 预测与实际土壤水分损失对比(1993 年)

### 3.3 预测土壤含水量的验证

对于旱地,能否按时播种直接影响到作物的生长状况,因此,这时仅验证春玉米播种时(4月 20 日)的土壤含水量。如图 5 所示。

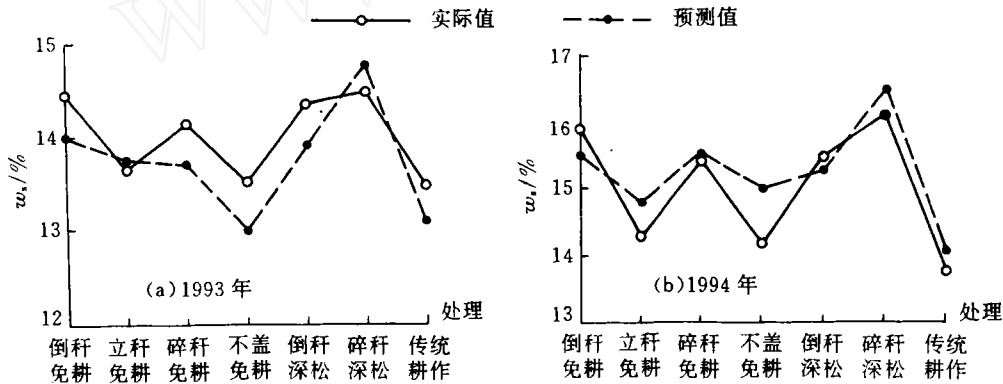


图 5 4 月 20 日土壤含水率  $w_1$  预测值与实际值的对比

## 4 结 论

1)本模型能反映(寿阳及类似地区)保护性耕作的土壤含水量、地温、蒸散、径流及年水分损失的变化情况,对于研究保护性耕作具有指导意义。

2)模型计算结果表明,保护性耕作能显著减少水分损失,增加土壤含水量,保证适时播种,保蓄较多的水分供作物生长。

## 参 考 文 献

- 1 范柯伦 H, 沃尔夫 J. 农业生产模型——气候、土壤和作物. 杨守春, 王海清, 陈同斌, 等译. 北京: 中国农业科技出版社, 1990. 2~11
- 2 Shih S F. Evapotranspiration, water-use efficiency and water table studies of sweet sorghum. *Trans of the ASAE*, 1986, 29(2): 767~773
- 3 牛文元, 周元华, 张 翼, 等. 农田生态系统能量物质交换. 北京: 气象出版社, 1987. 125~137
- 4 左大康, 谢贤群. 农田蒸发研究. 北京: 气象出版社, 1991. 1~14
- 5 李洪文. 北方旱地保护性耕作的土壤水分模型及关键机械技术研究: [学位论文]. 北京: 北京农业工程大学, 1995. 11~56
- 6 Witney B D, Oskoui K E, Speirs R B. A simulation modle for predicting soil moisture status. *Soil & Tillage Research*, 1982(2): 67~80
- 7 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤动力学. 北京: 清华大学出版社, 1988. 146
- 8 康绍忠, 刘晓明, 熊运章. 土壤—植物—大气连续水分传输理论及其应用. 北京: 水利电力出版社, 1991. 43~44

www.cnki.net