

# 地膜覆盖下土壤水分效应的模拟研究

王树森 邓根云

(北京市农林科学院农业综合发展研究所, 北京)

## 摘 要

通过分析地膜覆盖后土壤水分平衡的变化特点, 建立了地膜覆盖前后农田土壤湿度变化的模拟方程。系统阐述了地膜覆盖土壤水分效应的形成机制及其变化规律。指出了地膜因子、气象因子及植物因子等在土壤水分效应形成中的作用, 为地膜覆盖在农业生产中的优化利用提供了理论依据。

**关键词** 地膜覆盖 土壤水分

地膜覆盖的保水效应主要取决于薄膜对土壤与空气间水分交换的隔绝作用。早在60年代初期, 国外就有人〔3〕指出了地膜覆盖栽培的节水效果。随着地膜覆盖应用技术的迅速推广, 人们对地膜水分效应的研究也逐步深入。Mahrer等〔4〕最近利用土壤水分运动方程, 对薄膜覆盖后土壤水分的时空分布规律进行了理论分析, 并得出了与实验较为一致的结论。在国内, 一些学者也曾对地膜覆盖后土壤的水分状况及其变化规律进行了观测和报道〔1〕, 但其结论仅限于对离散观测结果的对比分析。由于地膜对土壤水分的影响受植被覆盖度、地膜覆盖指数及气象等众多因子的制约, 膜下土壤湿度变化复杂。用离散的试验观测结果来分析地膜的水分效应具有很大的局限性, 其结果差异较大。为此, 本文从土壤水分平衡方程出发, 通过建立土壤水分变化模拟方程, 对地膜覆盖后农田土壤的水分效应进行较为系统的分析和讨论。

## 地膜覆盖前后土壤水分含量模拟方程的建立

### 1. 土壤水分平衡方程

该方程为:  $W_n - W_{n-1} - R + F + P - I + E_t = 0$  (1)

式中  $W$ : 含水量;  $R$ : 降水;  $F$ : 径流;  $P$ : 渗漏;  $I$ : 灌溉;  $E_t$ : 实际蒸散量;  $n$ : 时段。在无灌溉的情况下, 如果忽略土壤深层的渗漏, 则 (1) 式可简化为:

$$W_n = W_{n-1} + R - F - E_t \quad (2)$$

当初始时段的土壤水分含量  $W_0$  为已知值时, 利用方程 (2) 即可求得任一时段的农田土壤水分变化情况。式中  $R$  取台站观测值,  $F$  和  $E_t$  的值通过求算得到。

## 2. 无地膜覆盖农田土壤的径流 ( $F_b$ ) 与实际蒸散量 ( $E_{tb}$ ) 的计算方法

(1)  $F_b$  值的求算 地表径流损失量受降雨量、降雨强度和下垫面状况等众多因素影响。虽然已有不少学者对地表径流损失量进行过研究, 但由于其形成因子的复杂性, 精确地测定和计算其值尚有困难。我们又不失其物理意义的基础上为简化起见, 采用如下计算公式:

$$F_b = \begin{cases} 0 & R \leq S - W_b \\ R - S + W_b & R > S - W_b \end{cases} \quad (3)$$

式中  $S$  为田间持水量;  $W_b$  为无地膜覆盖的土壤湿度。

(2)  $E_{tb}$  值的求算 农田实际蒸散量受土壤因子、植物因子和气象因子的共同制约。若分别取土壤水分含量  $W$ , 叶面积系数  $L$  和潜在蒸散  $E_0$  来代表上述三类因子的影响, 则农田实际蒸散量可表示为:

$$E_t = E_0 \cdot f_1(L) \cdot f_2(W) \quad (4)$$

式中  $f_1(L)$  为植物影响函数, 采用线性模式可写为:

$$f_1(L) = 1 + (K_c - 1)L/L_{max} \quad (5)$$

式中  $K_c$  为相应作物处于最大叶面积系数  $L_{max}$  时的蒸散系数。

蒸散量与土壤水分的关系比较复杂。近来人们多用土壤有效水分含量与蒸散的关系来进行计算。对于这种关系, 不同作者得出了不同的模式和曲线(Baier等〔5〕)。在此, 我们采用已得到广泛应用的三基点模式, 即:

$$f_2(W) = \begin{cases} 1 & W > W_k \\ (W - W_p)/(W_k - W_p) & W_k \geq W \geq W_p \\ 0 & W < W_p \end{cases} \quad (6)$$

式中  $W_k$  和  $W_p$  分别为土壤临界含水量和蒸散等于零时的含水量。根据公式 (4)、(5)、(6)、(7) 可得出无地膜覆盖情况下, 农田土壤实际蒸散量的递推公式:

$$E_{tb} = \begin{cases} E_0[1 + (K_c - 1)L_b/L_{max}] & W_b > W_k \\ E_0[1 + (K_c - 1)L_b/L_{max}](W_b - W_p)/(W_k - W_p) & W_k \geq W_b \geq W_p \\ 0 & W_b < W_p \end{cases} \quad (7)$$

## 3. 地膜覆盖后农田土壤径流 ( $F_m$ ) 与实际蒸散量 ( $E_{tm}$ ) 的变化及计算方法

(1)  $F_m$  值的求算 地膜覆盖后隔绝了降雨在被覆盖土壤表面上的直接入渗。土壤表面入渗面积的减少, 使得径流量相应提高。参照式 (3), 地膜覆盖后地表径流公式可写为:

$$F_m = \begin{cases} 0 & R \leq K_r(S - W_m) \\ R - K_r(S - W_m) & R > K_r(S - W_m) \end{cases} \quad (8)$$

式中  $W_m$  为膜地土壤湿度,  $K_r$  定义为薄膜径流系数, 其大小采用条状覆膜农田土壤降水入渗

区域的截面积与无地膜覆盖农田土壤入渗截面积（即剖面总面积）的比值来表示。其计算方法采用已有的土壤水分二维入渗实验与理论研究结果（Sawhney等〔6〕,Turner等〔7〕）。

（2） $E_{tm}$  值的求算 地膜影响农田蒸散首先表现在对土壤蒸发的直接抑制作用。无作物覆盖情况下，地膜覆盖后土壤蒸发值可表示为：

$$E_m = (1 - K)E_b \quad (9)$$

式中 $E_m$ 和 $E_b$ 为相同条件下的土壤盖膜与不盖膜的水分蒸发量， $K$ 为地膜覆盖指数。

随着作物的生长，植被覆盖度不断增加。水分从土壤表面的直接蒸发量在农田总蒸散量中所占比重将日趋减小，土壤水分的散失将以植物蒸腾作用为主。农田水分蒸散中蒸发与蒸腾的大小其变化关系，可采用内岛在热量平衡分析的基础上建立的如下计算公式〔2〕：

$$E_b = E_{b0} \exp(-K_e L) \quad (10)$$

式中 $K_e$ 为减弱系数，在计算中取值0.6。综合公式（4）、（9）和（10）即可得出：

$$E_{tm} = E_0 [1 - K \cdot \exp(-K_e L_m)] \cdot f_1(L_m) \cdot f_2(W_m) \quad (11)$$

式中 $L_m$ 为地膜覆盖条件下作物的叶面积系数。因此，地膜覆盖条件下农田蒸散可以写为：

$$E_{tm} = \begin{cases} E_0 [1 - K \cdot \exp(-K_e L_m)] \cdot [1 + (K_c - 1) L_m / L_{max}] & W_m > W_k \\ E_0 [1 - K \cdot \exp(-K_e L_m)] \cdot [1 + (K_c - 1) L_m / L_{max}] \cdot (W_m - W_p) / (W_k - W_p) & W_k \geq W_m > W_p \\ 0 & W_m < W_p \end{cases}$$

$$W_m > W_k$$

$$W_k \geq W_m > W_p \quad (12)$$

$$W_m > W_p$$

## 地膜覆盖后土壤水分的变化规律及其形成机制

对比以上地膜覆盖前后土壤水分变化的模拟方程不难看出，地膜覆盖对土壤水分的影响主要取决于以下三方面因子的作用。

### 1. 地膜因子

地膜覆盖指数 $K$ 是直接影响土壤水分效应的主要因子之一。一方面，随着土壤表面薄膜覆盖面积的增加，薄膜径流系数 $K_e$ 亦将增大。而 $K_e$ 值的增大在一定条件下可增加农田径流，减弱土壤对降水的有效吸收，因而不利于降水后薄膜下土壤湿度的提高。另一方面，对比（7）、（12）两式可以看出，地膜覆盖使膜下土壤的水分蒸散损失减弱，地膜覆盖指数越大，膜下土壤的水分蒸散损失越小。地膜对土壤水分蒸散的阻碍作用，使土壤湿度维持在较高的状态。地膜对土壤湿度以上两种方向相反的作用将导致膜下土壤湿度波动减缓。

### 2. 气象因子

降雨和决定潜在蒸散的气象要素是影响地膜覆盖土壤水分效应的主要气象因子。在降雨强度大、频率高而潜在蒸散小的时段或地区，地膜覆盖可对地表径流产生较大的影响，从而使薄膜抑制土壤湿度增加的作用表现较为突出。反之，在降雨小、频率低而潜在蒸散大的干旱

时段或地区, 地膜覆盖对地表径流的影响较小, 其作用将以抑制土壤水分蒸发损失为主, 起到明显的保墒作用。

### 3. 植物因子

植被覆盖情况对地膜覆盖后土壤的水分效应具有明显的影响。首先, 植物叶面积系数越大, 地膜因子在减弱土壤蒸散中的作用 ( $K \cdot e^{-K_e L_m}$ ) 越小, 从而使地膜对土壤的保墒作用减弱。其次, 由于地膜覆盖后增温等作用, 在通常情况下, 作物生长旺盛, 叶面积系数增大 ( $L_m > L_b$ ), 农田水分蒸散量也相应增加, 从而加速土壤湿度的下降。因此, 植被的存在将消弱地膜保墒作用。植被覆盖度越大, 地膜覆盖的土壤水分效应越小。

为了验证上述模拟方程的拟合效果, 1987年在北京地区进行了玉米地膜覆盖试验, 对土壤水分变化情况进行了实际观测和模拟。试验用薄膜宽度90厘米, 薄膜间裸地宽度30厘米, 均匀条状覆盖。图A表示了地膜覆盖栽培和无膜覆盖试验区土壤湿度的模拟结果及其对实测值(取样烘干法)良好的拟合情况。不难看出, 地膜覆盖后农田土壤水分的变化有如下特点:

(1) 玉米生长前期, 膜地土壤水分含量明显高于裸地。其原因在于, 这个时期玉米叶面积系数小, 又处于北方春季的少雨季节, 大强度的降水过程很少出现, 地膜的水分效应主要表现为保墒作用。而在玉米生育中期和后期, 植被覆盖度增大, 降雨量和降雨强度增加, 地膜对土壤湿度升高的抑制作用将逐渐占据主导地位, 从而使薄膜下土壤湿度接近并逐渐低于无膜覆盖的土壤。

(2) 无膜覆盖的土壤在连续较长一段时间无水分供应后, 含水量逐渐下降到较低值; 而遇较大的降雨后, 含水量又迅速上升至较高值。地膜覆盖后, 由于薄膜对土壤水分散失和雨水入渗的双向抑制作用, 土壤水分含量变化趋于平缓。

(3) 地膜使土壤获得降雨减少, 径流增加。在模拟时段内, 没有出现强度大、雨量多的降雨过程。根据模拟结果, 无膜覆盖区地表径流为零, 而在地膜覆盖区, 径流量为25.9毫米。

利用上述模型, 我们还可模拟分析不同地膜覆盖指数下土壤的水分效应及其差异(另文讨论)。对于不同土壤条件对地膜覆盖后土壤水分效应的影响, 还有待于进一步研究。

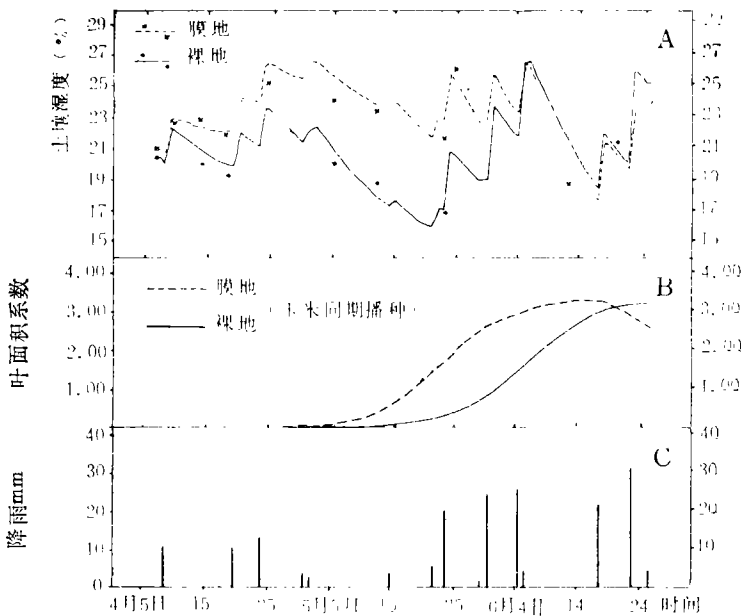


图 玉米膜地与裸地模拟结果

A. 土壤水分模拟曲线与实测值随时间的变化 B. 地膜覆盖与裸地玉米的实测叶面积系数 C. 模拟时段内的降水分布

## 参 考 文 献

- [1] 中国地膜覆盖栽培研究会主编:《地膜覆盖栽培技术大全》,农业出版社,1988:35~41
- [2] 翁笃鸣等:《小气候和农田小气候》,农业出版社,1981
- [3] Proceedings of the 7th international agricultural plastics congress, 1977
- [4] Mahrer, Y. et al: Temperature and moisture regimes in soils mulched with transparent polyethylene, Soil Sci. Soc. Amer. J., 48 (2) 1984 :362~367
- [5] Baier, W. et al: A new versatile soil moisture budget, Can. J. Plant Sci., 1966 (46) :299~351
- [6] Sawhney, B.L. et al: Two-dimensional water infiltration from a trench in unsaturated soils, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1974 (38) :867~871
- [7] Turner, N.C. et al: Lateral movement at the periphery of a one-dimensional flow of water, Soil Sci., 1974 (118):70~77

## Simulation of the Soil Water Effect under Plastic Mulch

Wang Shusen     Deng Genyun

*(Institute of Comprehensive Development of Agriculture,  
Beijing Municipal Academy of Agriculture and Forestry  
Sciences, Beijing)*

### Abstract

The simulating models about the change of soil water content under plastic mulch were established by analysing the changes of soil water balance after mulching. The forming mechanism and the changing regular of soil water content under plastic mulch were systematically expounded. The functions of plastic mulch, meteorology factors and so on in soil water effect were discussed in this paper. This supplies theoretical basis for the optimum application of plastic mulch in agriculture.

**Key words:** Plastic mulch; Soil water content