

# 基于土壤消退指数的田间土壤水分 预报方法的研究

马孝义 王君勤 李志军

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** 在分析现有的土壤水分预报方法的基础上, 研究了不同深度的大田土壤水分消退指数随作物生长时间的变化规律, 探讨了冬小麦生育期土壤墒情预报的经验递推方法, 通过研究表明: 利用土壤水分消退法来进行田间土壤水分预报, 具有方法简单, 所需参数较少且容易获取, 预报结果可靠, 精度较高的优点, 可以满足灌溉预报的要求。  
**关键词:** 土壤水分; 消退指数; 预报  
中图分类号: S 152.7      文献标识码: A      文章编号: 1005-3409(2002) 02-0093-04

## Study on Field Soil Moisture Forecast Based on Soil Moisture Exponential Depletion Relations

MA Xiao-yi, WANG Jun-qin, LI Zhi-jun

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwest Sci-tech University of  
Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** Based on analyzing the advantages and disadvantages of different kinds of soil moisture forecast methods, the soil moisture exponential depletion relations of different depths soil are analyzed, the empirical method to forecast soil moisture based on soil moisture exponential depletion relations is discussed. The results show that the method is simple with few easily acquirable parameters, reliable, and precise, it can forecast the large area field soil moisture.  
**Key words:** soil moisture; depletion; forecast

### 1 问题的提出

对作物耕作层土壤水分的增长和消退程度进行预报, 是制定合理的灌溉制度从而进行适量灌水, 提高土壤水分利用效率的基础和关键。田间土壤水分的变化过程与土壤特征有关, 还受到多种降雨、灌溉、土壤、作物种植等多种因素的影响。对此方面, 过去国内外进行了大量的研究, 概括起来可大致分为以下几类方法, 经验公式法、水量平衡法、消退指数法、土壤水动力学法、时间序列模型法等。经验公式法<sup>[1]</sup>是用影响土壤水分的因素, 如降雨、水汽饱和差等, 通过建立经验模型的方法来进行土壤水分预报的, 它具有方法简单的优点, 但只能适用于特定地区和作物, 预报结果的稳定性和可靠性较差。水量平衡

法<sup>[1]</sup>是基于农田水量平衡原理, 在忽略根层土壤水分深层渗漏和补给的基础上, 通过研究渗入农田土壤的水量与灌水量和降雨量关系, 农田蒸腾蒸发量与土壤含水量及作物生长的关系, 利用农田土壤水分的收支变化进行预报的, 它具有方法简单的优点, 但所需参数仍较多, 预报精度不太高。土壤水动力学法<sup>[2]</sup>是通过建立田间土壤水分运动基本方程, 并利用作物根系的吸水模型和作物蒸腾蒸发模型分析作物吸水和土壤蒸发随作物生长和土壤水分关系的基础, 探寻不同深度处田间土壤水分收支变化机理, 利用数值方法来求解田间不同深度土壤水分动态变化的。该方法具有坚实的物理背景, 且可以预报分层土壤水分动态, 但该方法需要取得许多难以测定的土壤和作物特征参数, 且这些参数又存在着相当大的

<sup>1</sup> 收稿日期: 2001-09-25  
基金项目: 国家自然科学基金项目(49871040); 国家重大科技产业示范工程项目“渠灌类型区农业高效用水模式与产业化示范”(99-021-01-02)。  
作者简介: 马孝义, 男, (1965-), 陕西凤翔人, 教授, 博士, 主要从事农业水土工程方面的研究。

空间变异,这些都限制了该方法的大田应用。时间序列法<sup>[3]</sup>是基于土壤水分动态如下 3 个特点:其一是由于气候和作物种植等因素的趋势性变化,使其土壤水分的变化在不同年份呈趋势性的上升或下降;其二是由于作物需水规律和气候要素的年周期变化使土壤水分动态呈周期性;其三是由于某些随机性的气候波动,使土壤水分在不同年份的相同阶段并不相同。并把这些变化规律分别用土壤水分变化的趋势分量、周期分量和随机分量表示,用时间序列的通用加法模型来表达,通过研究上述三个分量的变化规律,建立相应的动态预报模拟模型对土壤水分进行预报的。该方法具有所需参数少的优点,但对年际气候因素变化较大时,但方法较复杂,其稳定性还有待研究。消退指数法<sup>[4,5]</sup>则是基于不同深度土壤在降雨和灌溉的间隔中的土壤水分消退因素,如农田蒸腾蒸发量和深层渗漏与补给主要是受土壤水分及作物生育阶段影响这一规律,计算其消退指数,利用递推方法进行土壤水分预报的。该方法可直接根据前期土壤水分资料进行预报,所需参数较少且易获得,方法比较简单。过去国内外对此方法有一定研究<sup>[5]</sup>,但对消退指数随土壤深度的变化规律和野外大田的实际预报尚少见报道。

本文利用设在陕西杨凌示范区五泉乡的渠灌类型区农业高效用水的科技产业示范项目试验区的冬小麦生长期土壤水分动态观测资料,研究不同深度的土层贮水量的消退指数随时间的变化规律,探讨消退指数预报法的适用性,以期为大田土壤水分的预报提供简单、可靠、精度较高、可操作性强的方法。

## 2 土壤水分消退模型

土壤水分状况是由气候、土壤特征、作物吸水等多种因素综合决定的。按文献[5]提出的土壤水分消退模型,在作物生长期内,田间土壤水分平衡可表示为:

$$w_2 - w_1 = P_e + I - ET - Q \quad (1)$$

式中:  $w_1$ 、 $w_2$  分别为时刻  $t_1$ 、 $t_2$  的土层贮水量;  $P_e$ 、 $I$ 、 $ET$ 、 $Q$  分别为相应时段内的有效降水量、灌水量、蒸散量及下边界水分通量(包括深层土壤水分的补给和深层渗漏,以向深层渗漏为正)。

在上述各量中,土壤贮水量可由实测的土壤含水率计算得到;灌水量和有效降雨量作为系统输入。而蒸散量、下边界水分通量很难准确测定和计算。土壤水分的减少是由蒸散和深层渗漏造成的,除较大降水或灌溉后短期内有一定的深层渗漏外,一般情况下下边界水分通量比蒸散量要小。在蒸散量与

土壤贮水量之间可近似假定为线性关系。基于此假设在无降雨和灌水的时段内,土壤贮水量的变化率与贮水量( $w$ )之间的关系表示为:

$$ET = dw/dt = -kw \quad (2)$$

式中:  $k$ ——土壤水分消退指数,主要与气象、土壤、作物等条件有关。

对上式在时间  $t_1$ — $t_2$  内进行积分即可得到无降水及灌水时土壤水分消退的指数模式:

$$w_2 = w_1 e^{-k(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

降水及灌水增加了土壤贮水量。在考虑此情况下,以日为单位的土壤贮水量的递推关系可为:

$$w_{t+1} = w_t e^{-k\Delta t} + P_e + I \quad (4)$$

式中:  $w_t$ 、 $w_{t+1}$ ——第  $t$  日和  $t+1$  日的土壤贮水量,  $\Delta t = 1d$ 。

上文的有效降雨量对土壤水分预报是十分重要的,它受多种因素影响,可用下式计算:

$$P_e = \alpha \cdot P \quad (5)$$

式中:  $P$ ——降雨量,  $\alpha$ ——降雨入渗系数,其值与一次降雨的雨量、降雨强度、降雨延续时间、土壤特征、地面植被和地形等有关。根据对陕西关中西部的研究<sup>[6]</sup>,冬小麦生育期一次降雨量小于 5 mm 时,  $\alpha$  为 0;降雨量为 5~50 mm 时,  $\alpha$  为 1.0~0.8;降雨量大于 50 mm 时,  $\alpha$  为 0.7~0.8。

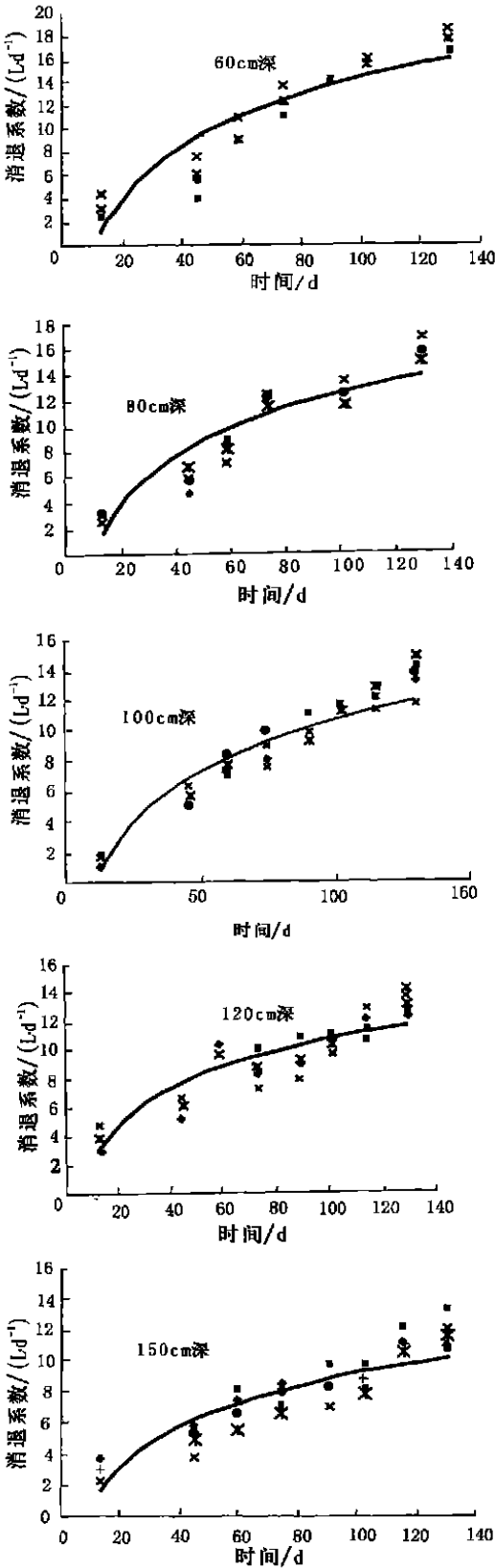
## 3 结果分析与讨论

### 3.1 田间试验

本研究田间试验在渠灌类型区农业高效用水科技产业示范项目试验区进行的,该试验区位于设在陕西杨凌示范区五泉乡,土壤为中壤土。共设 6 个试验小区,分别位于宝鸡峡灌区二支渠二十二、二十三、二十四斗,按斗渠分别编号为二十二斗东区、二十二斗西区至二十四斗东区和二十四斗西区。每小区分取 3 点取土测定求其均值计算土壤含水量。本文利用的试验资料主要为 2001 年冬小麦生长期(1 月 25 日~6 月 10 日收获约 130 d)的土壤水分观测资料,试验中土壤含水率采用重量法测定,测量深度为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5、2.0 m,然后计算出 0.6、0.8、1.0、1.2、1.5 m 土层贮水量。降雨量采用西北农林科技大学节水灌溉试验站的自动气象站同一时段采集的降雨数据。

### 3.2 不同深度消退指数的变化规律

利用消退指数来预报土壤水分的关键是确定该地区的不同深度的土壤水分消退指数值。它的影响



图中: 时间为小麦生长期时间(d), 以 2001 年元月 25 日为起点, 消退指数单位为 1/d

图 1 不同深度的消退指数动态变化过程  
因素很多, 与当地的气象要素、土壤特征、作物吸水及前期土壤水分状况等因素有关。但对特定的地区

来说, 由于土壤特征稳定不变, 而气象要素又存在以年为周期的显著变化, 作物吸水也由作物种类和生育期时间决定, 因此消退指数主要与作物种类及作物生育期相关。在无降水及灌水或去除降雨影响, 土壤水分消退指数  $k$  可由观测资料推求。据式(3)式可得到

$$k = (\ln w_1 - \ln w_2) / (t_2 - t_1) \tag{6}$$

据二十二斗西、二十三斗西、二十四斗南和二十四斗北 4 个小区(二十二斗东、二十三斗东留作预报) 土壤水分观测资料, 按式(6)求得 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.5 m 深度土壤消退指数, 见图 1。可以看出, 随着深度的增加, 消退指数逐渐减小。这是由于土壤水分消退量, 即蒸腾蒸发量主要发生在上层土壤的缘故。消退指数离散性也随土壤的深度而变化, 在中等深度离散程度较小, 较浅和较深土壤的消退指数离散程度较大。这是由于对较浅的土层, 土壤水分补给和深层渗漏相对较大, 与上文的假定不相吻合而造成的。对较深土层而言, 由于深层土壤的水分对土壤蒸腾蒸发量和作物吸水影响不显著, 与假定的土层贮水消退量与其贮水量呈线性关系也有一定的差距, 所以计算的消退指数离散程度较大。

同时由于作物生长期中气温、蒸发、蒸腾的存在着显著差别, 消退指数随作物生长时间而显著变化。建立不同深度土层消退指数与作物生长时间的经验关系, 见表 1。可以看出: 表 1 中经验公式可以概括不同深度土层消退指数变化趋势, 作为土壤贮水量预报的基础参数。

表 1 不同深度的土壤消退指数时间的变化过程

土壤深度/m	经验公式	相关系数 $R$
0.6	$k = (6.466 \ln t - 15.41) \times 10^{-3}$	0.813
0.8	$k = (5.332 \ln t - 11.94) \times 10^{-3}$	0.857
1.0	$k = (4.764 \ln t - 11.29) \times 10^{-3}$	0.928
1.2	$k = (3.648 \ln t - 7.55) \times 10^{-3}$	0.858
1.5	$k = (3.618 \ln t - 6.15) \times 10^{-3}$	0.725

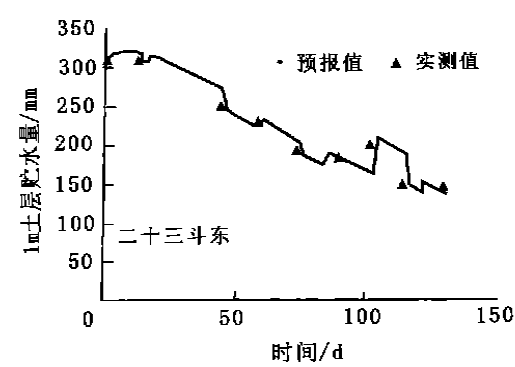
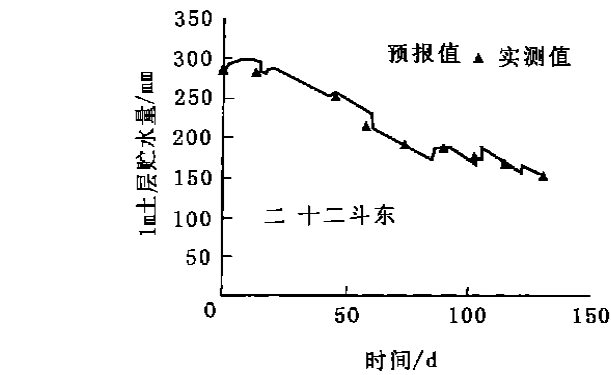
表内经验公式中,  $t$  为小麦生长期时间(d), 以 2001 年元月 25 日为起点,  $k$  的单位: 1/d。

3.3 田间土壤水分的预报及其检验

利用表 1 给出的消退指数变化规律结果, 以 2001 年 1 月 25 日土壤水分 1 m 贮水量作为初始量, 根据(5)式的递推关系, 对二十二斗东区和二十三斗东区的不同深度的土壤贮水量进行预报, 并与其实测值进行比较, 见图 2; 经计算上述两区的预报平均误差分别为 3.38%、7.35%, 对其它不同深度的预报误差见表 2。可以看出: 随着深度的变化预报误差不同, 在中等深度精度较高, 在浅深度时误差较大; 对此有待进一步的研究。这些都说明, 土壤水分

消退指数可以反映该农田水分消退过程, 利用消退指数进行田间土壤水分的预报, 仅需时间和降雨及

灌水资料, 结果稳定可靠, 精度较高。



(图中的时间以 2001 年 1 月 25 日为起点)

图 2 1 m 土层的土壤贮水量的预报与实测对比

表 2 不同深度的土壤贮水量的预报与实测误差对比

土壤深度/m	(二十二斗东) 平均误差/%	(二十三斗东) 平均误差/%
0.6	12.41	15.21
0.8	8.92	9.80
1.0	3.38	7.35
1.2	7.62	11.58
1.5	10.44	13.90

4 结 论

通过本文的研究可以得出以下几点结论:

(1) 土壤消退指数随作物生长期时间不同而显著变化, 随其深度的增大而减小, 其离散程度也随深

度有所变化, 在中等深度, 消退指数离散程度较小, 较为稳定, 可作为预报的基础资料。

(2) 利用消退指数法预报土壤含水量具有公式简单, 仅需降雨和灌水及前期土壤水分资料, 所需参数少而且容易获取, 预报结果稳定可靠, 预报精度能满足实用要求, 是一种适合野外大田土壤水分预报的实用方法。

(3) 由于各地土壤特征和作物吸水状况的不同, 在不同作物种类的消退指数的变化规律及其区域特征还有待进一步的研究, 以便能将该方法用于更大范围的土壤水分预报。

参考文献:

[ 1 ] 康绍忠, 刘晓明, 熊运章. 土壤- 植物- 大气连续水分传输理论及应用[ M ]. 北京: 水利电力出版社, 1994.  
[ 2 ] 康绍忠, 张富仓, 梁银丽. 玉米生长条件下农田土壤水分动态预报方法的研究[ J ]. 生态学报, 1997, 17( 3 ): 245- 251.  
[ 3 ] 康绍忠. 土壤水分动态随机模拟的研究[ J ]. 土壤学报, 1990( 1 ): 17- 24.  
[ 4 ] 朱志龙. 土壤水分消退规律分析[ J ]. 水文, 1994( 1 ): 36- 39.  
[ 5 ] 尚松浩, 雷志栋, 杨诗秀. 冬小麦田间墒情预报的经验模型[ J ]. 农业工程学报, 2000, 16( 5 ): 31- 33.  
[ 6 ] 康绍忠, 贺正中, 张学. 陕西省作物需水量与分区灌溉模式[ M ]. 北京: 水利电力出版社, 1991.

( 上接第 40 页 )

当地的实际情况出发, 选择易于实施和推广的畦田“三改”技术, 长畦改短畦, 宽畦改窄畦, 大畦改小畦, 作为项目区的主要节水灌溉技术。借鉴波涌灌溉、块

田灌溉和水平畦田灌溉等节水型灌水技术的特点, 适当增大入畦单宽流量, 对畦灌进行技术的组装和集成, 有利于改进畦灌技术, 提高灌水效率和质量, 减小灌溉用水量。

参考文献:

[ 1 ] 水利辉煌 50 年编撰委员会. 水利辉煌 50 年[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.  
[ 2 ] 林性粹, 赵乐诗, 等. 旱作物地面灌溉节水技术[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.  
[ 3 ] 汪志农主编. 灌溉排水工程学[ M ]. 北京: 中国农业出版社, 2000.  
[ 4 ] 许迪, 等. 田间节水灌溉新技术应用研究[ J ], 节水灌溉, 2001( 4 ).  
[ 5 ] 王文焰, 等. 波涌灌溉试验研究与应用[ M ]. 西安: 西北工业大学出版社, 1994.