

旱地麦田土壤水分预测模型研究

巫东堂 焦晓燕 韩 雄

(山西省农业科学院土壤肥料所, 太原 030031)

MODEL FOR PREDICTION OF SOIL MOISTURE OF UPLAND WHEAT FIELD

Wu Dongtang, Jiao Xiaoyan and Han Xiong

(*Institute of soil and Fertilizer, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031*)

关键词 预测模型, 土壤水分, 旱地麦田

在黄土高原以及其他干旱半干旱地区, 水分是影响农业生产的主要原因之一。冬小麦根系发达, 最深可达 5m^[1]。生育期内耗水的 40—50%主要来自土壤的有效储水^[2-3], 因此储水状况在很大程度上影响冬小麦生长发育。

建立土壤水分预测模型, 预报土壤水分变化状况, 对冬小麦品种选择, 施肥量确定等农艺措施可以提出更合理的建议。

本文的目的旨在充分供水的土壤水分预测模型研究的基础上^[4-5], 建立非充分供水条件下土壤水分预测模型。

1 试验条件、方法及模型建立

1.1 试验条件与方法

试验点设在黄土高原中部晋中冬麦区, 年平均气温 9.5℃, 年平均降雨量 459.5mm。土壤水分预测模型检验点设在黄土高原南部晋南闻喜县冬小麦区, 平均气温 12.6℃, 年均降雨量 491.7mm。试验点土壤均为褐土, 土壤剖面质地以轻壤为主, 田间持水量、凋萎系数略有差异, 其基本物理参数及水分常数见表 1。

试验采用微区隔离遮雨棚法, 微区面积 2 × 2m²。为保持区内为原状土, 并使区内、外土壤水分不横向移动, 在微区四周挖 3m 深沟, 然后用塑料膜隔离区内外土壤。遮雨棚为移动式, 根据试验设计调节降雨进入微区的数量。供试作物为冬小麦。

试验设 5 个处理:

(1) 充分供水处理: 通过灌水使土壤含水量始终高于田间持水量的 60%以上;

表 1 土壤水分常数

项 目	地点	土层(cm)												
		0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-300
容 重 (g/cm ³)	晋中	1.33	1.30	1.40	1.38	1.21	1.21	1.36	1.35	1.36	1.36	1.30	1.29	1.30
	闻喜	1.31	1.45	1.30	1.78	1.42	1.47	1.35	1.35	1.32	1.26	1.30	1.29	1.27
毛管持水 (g/kg)	晋中	430	420	380	395	405	423	420	389	392	376	420	397	395
	闻喜	371	318	394	376	353	339	374	402	424	439	437	397	406
田间持水 (g/kg)	晋中	206	194	205	207	206	220	217	215	210	205	199	207	205
	闻喜	205	203	206	203	191	193	193	202	195	194	214	215	211
凋萎系数 (g/kg)	晋中	65.0	60.1	71.0	68.3	67.0	69.0	72.2	73.1	75.0	70.1	70.0	70.3	70.0
	闻喜	62.4	59.3	63.6	64.7	73.2	85.8	71.8	68.6	68.0	67.7	65.3	64.4	67.0
质地	晋中	轻壤	轻壤	中壤	中壤	轻壤	中壤	轻壤	轻壤	轻壤	轻壤	轻壤	轻壤	轻壤
	闻喜	轻壤	轻壤	中壤	中壤	轻壤	轻壤	轻壤	中壤	轻壤	轻壤	轻壤	轻壤	轻壤

(2) 雨养供水处理: 小麦生育期不灌水、不遮雨, 供水量为自然降雨量;

(3) 苗期干旱处理: 冬小麦播前蓄墒期和播后苗期通过遮雨棚遮雨, 苗期 0—100cm 土层土壤含水量为 50—120g/kg;

(4) 冬季干旱处理: 蓄墒期不灌水、不遮雨, 苗期和冬季用遮雨棚遮雨, 0—100cm 土层土壤含水量为 50—130g/kg;

(5) 拔节后干旱处理: 蓄墒期和拔节前不灌水、不遮雨, 拔节后遮雨造成冬小麦后期干旱, 0—200cm 土层土壤含水量为 40—150g/kg。

在冬小麦生育期内每隔 20 天测一次 300cm 土层含水量: 0—60cm 每 10cm 为一测定层, 60—300cm 每 20cm 为一测定层(烘干法测定)。

1.2 农田蒸散模型的建立

在充分供水时, 农田蒸散量与大气蒸发力及作物二因素有关, 蒸散模式为:

$$ET_m = K_c \cdot ET_0 \quad (1)$$

ET_m 为充分供水时的农田蒸散量; ET_0 为标准蒸散量, 其反映大气蒸发力强弱, 用彭曼公式计算^[7]; K_c 为作物系数, 反映作物对农田蒸散量的影响, 不同作物不同生育期的 K_c 值不同。

非充分供水时, 农田蒸散量不仅受大气蒸发力、作物蒸腾影响, 同时也受土壤湿度因素影响, 其模型为:

$$ET = K_w \cdot K_c \cdot ET_0 \quad (2)$$

ET 为非充分供水时农田蒸散量; K_w 为土壤湿度系数; 土壤湿度系数与土壤有效水含量之间的关系用三基点模式表示, 即:

$$K_w = \begin{cases} 0 & W_s < W_1 \\ (W_s - W_p) / (W_k - W_p) & W_1 \leq W_s \leq W_2 \\ 1 & W_s > W_2 \end{cases} \quad (3)$$

式中 W_s 、 W_p 和 W_k 分别为实际土壤含水量、凋萎系数和田间持水量; W_1 和 W_2 分别为蒸散量为零时土壤含水量上限和土壤临界含水量, 即充分供水量土壤含水量下限。

1.3 土壤水分预测模型的建立

根据农田水分平衡式, 在黄土高原地势平坦地区, 不考虑地表径流、地下水补给和土壤水渗漏时,

$$ET = S_1 - S_2 + P \quad (4)$$

式中 S_1 和 S_2 分别为某时段的始、末土壤贮水量, P 为该时段的降雨量, ET 为蒸散量。已知初始土壤贮水量和该时段的降雨量时, 根据蒸散模型 (2), 则可预测出该时段末土壤贮水量。

2 结果与讨论

2.1 冬小麦作物系数的确定

作物系数是在土壤充分供水时农田实际蒸散量 (ET_m) 与标准蒸散量 (ET_0) 的比值。

$$K_c = ET_m / ET_0 \quad (5)$$

不同生育期作物系数表达式为:

$$K_{ci} = ET_{mi} / ET_{0i} \quad (6)$$

ET_{0i} 用该时段气象资料由彭曼公式计算, ET_{mi} 在充分供水时, 通过测定该时段农田蒸散量获得。

据 Salisu Abolulmunin^[6]报道, 就轻壤而言, 土壤有效水含量大于最大有效水含量 50%, 大于田间持水量 60% 时, 土壤水分能满足作物生长所需。国内一些研究结果也表明, 土壤含水量为田间持水量 60—80% 时为充分供水。根据充分供水处理的蒸散量求出小麦各生育期作物系数 (表 2), 所得作物系数与联合国粮农组织推荐的作物系数^[7]比较, 除苗期大于推荐值, 其他时期相差不大。

表 2 冬小麦各生育期作物系数

时期 (月·日)	生育期	降雨+灌水 (mm)	S_1-S_2 (mm)	ET_a (mm/天)	ET_0 (mm/天)	K_c
10·10—10·20	出苗—封冻	1.1	63.3	1.57	2.06	0.76
10·20—3·2	封冻—解冻	31.3	10.4	0.41	1.18	0.35
3·2—3·20	解冻—返青	24.7	-6.7	1.00	2.00	0.50
3·20—4·10	返青—拔节	21.4	14.6	1.71	2.71	0.63
4·10—4·29	拔节—抽穗	55.7	9.2	3.42	3.87	0.88
4·29—5·20	抽穗—开花	106.5	24.5	6.23	5.29	1.18
5·20—6·10	开花—灌浆	72.4	44.1	5.55	5.61	0.99
6·10—6·20	灌浆—成熟	22.4	12.2	3.46	5.73	0.60

2.2 土壤水分预测模型

根据农田水分平衡式和非充分供水时, 农田蒸散量计算式, 旱地土壤水分预测模型

为:

$$S_3 = S_1 + P - K_w \cdot K_c \cdot ET_0 \quad (7)$$

S_3 值为土壤贮水量的预测值; S_1 为已知土壤贮水量, 可通过实测值或前茬作物产量、降雨等因素估算; ET_0 、 P 通过气象观测值获得; K_c 为冬小麦作物系数, 不同时期取不同值。因此, 要预测土壤水分, 关键是 K_w 值的确定, K_w 可由下式获得:

$$K_w = (S_2 - S_1) / (K_c \cdot ET_0) \quad (8)$$

根据 1991—1992 年度雨养供水、苗期干旱、冬季干旱、拔节后干旱 4 个处理和 1992—1993 年度雨养供水处理的主要生育期始末 0—300cm 土层土壤贮水量测定结果, 由 (8) 式计算出不同相对有效水含量条件下的 K_w 值 (表 3), 并对土壤相对有效水含量进行回归, 二者之间呈正相关, 相关系数 $r = 0.629$, 回归式为:

$$K_w = -0.2651 + 1.9869 \frac{W_s - W_p}{W_k - W_p} \quad (9)$$

由于小麦不同生育期对不同深度土壤水分利用状况不同, 故根层土壤含水量, 即在苗

表 3 土壤相对有效水含量和 K_w 值关系

处理*	日期 (月·日)	$\frac{W_s - W_p}{W_k - W_p}$	K_w	$\frac{W_s - W_p^*}{W_k - W_p}$	K_w^*	
1991	苗期	10·10—10·30	0.4317	0.450	0.2457	0.344
		10·30—11·20	0.4030	0.314	0.1924	0.221
	旱	11·20—3·2	0.3836	0.430	0.2768	0.382
	冬季	3·2—3·20	0.4797	0.654	0.4741	0.667
	旱	3·20—4·10	0.4507	0.561	0.4507	0.561
1992	拔干	4·10—4·29	0.5202	0.639	0.5202	0.639
	节	4·29—5·20	0.4193	0.517	0.4193	0.517
	后旱	5·20—6·10	0.3237	0.306	0.3237	0.306
雨养处理		4·10—4·29	0.5056	0.848	0.5056	0.848
		4·29—5·20	0.4467	0.573	0.4467	0.573
		5·20—6·10	0.3646	0.652	0.3646	0.652
1992	雨养	5·10—11·23	0.4664	0.96	0.4990	0.805
		11·23—3·22	0.4446	0.68	0.3981	0.587
1993	处理	3·22—4·19	0.4540	0.61	0.4540	0.610
		4·19—5·19	0.4110	0.69	0.4110	0.691
		5·19—6·24	0.3449	0.485	0.3449	0.458

* 苗期按 0—100cm, 冬季按 0—200cm, 其他时间按 0—300cm 土层土壤含水量计算。

期用 0—100cm, 冬季用 0—200cm, 其它时期用 0—300cm 土层土壤含水量计算 K_w 值, K_w 值与土壤相对有效水含量回归方程式为:

$$K_w = 0.0696 + 1.5817 \frac{W_s - W_p}{W_k - W_p} \quad (10)$$

该方程相关系数 $r=0.8764^{***}$, 达极显著水平, K_w 和根层土壤含水量相关性明显高于 0—300cm 土层土壤含水量的相关性。(10)式的物理意义表现在 K_w 值是土壤湿度影响因素, 与土壤相对有效水含量有关, 用土壤相对有效水含量 $(W_s - W_p) / (W_k - W_p)$ 计算 K_w 更具有科学意义。

2.3 模型检验及土壤水分预测

以小麦播种时贮水量为初始贮水量, 用(7)、(10)式计算 1990—1991 年度、1991—1992 年度、1992—1993 年度晋南闻喜小麦主要生育期土壤贮水量, 计算值与实测值(表4)三年相对误差分别为 1.3—2.9%、1.9—7.5%、2.1—12.3%。经 χ^2 检验, χ^2 值分别为 1.238 ($< \chi_{0.05, 4}^2 = 9.49$)、3.773 ($< \chi_{0.05, 3}^2 = 7.81$)、10.775 ($< \chi_{0.05, 5}^2 = 11.07$), 预测值和实测值

表4 闻喜点麦田土壤水分预测值与实测值比较

1990—1991 年			1991—1992 年			1992—1993 年		
日期 (月·日)	预测值 (mm)	实测值 (mm)	日期 (月·日)	预测值 (mm)	实测值 (mm)	日期 (月·日)	预测值 (mm)	实测值 (mm)
10·6	—	551.8	10·10	—	533.6	10·10	—	699.1
12·6	518.8	534.0	12·10	495.0	504.6	12·10	650.0	644.5
3·15	522.3	537.0	3·8	490.1	498.5	2·20	653.0	636.7
4·15	505.3	515.1	4·14	488.1	461.8	3·20	601.8	589.5
5·10	475.1	469.0	6·20	415.0	386.0	4·20	546.2	520.1
6·20	435.7	428.7	—	—	—	5·17	525.2	484.8
						6·13	475.1	423.0

表5 闻喜麦田土壤水分预测值与实测值比较(ET_0 为多年平均值)

1990—1991 年			1991—1992 年			1992—1993 年		
日期 (月·日)	预测值 (mm)	实测值 (mm)	日期 (月·日)	预测值 (mm)	实测值 (mm)	日期 (月·日)	预测值 (mm)	实测值 (mm)
10·6	—	551.8	10·10	—	533.6	10·10	—	699.1
12·6	517.6	534.0	12·10	493.5	504.0	12·10	646.3	644.5
3·15	517.6	537.0	3·8	486.1	498.5	2·20	642.8	636.7
4·15	491.7	515.1	4·14	473.0	461.8	2·30	583.8	589.5
5·10	454.0	469.0	6·20	376.2	386.0	4·20	522.8	520.1
6·20	399.3	428.7	—	—	—	5·17	483.8	484.8
						6·13	423.5	423.0

间无显著差异。

为了预测在今后一段时间内气象资料未知条件下的土壤水分, 用多年平均气象资料

计算 ET_0 , 结果见表 5。经 χ^2 检验 1990—1991, 1991—1992, 1992—1993 年度 χ^2 值分别为 5.3 ($< \chi_{0.05,4}^2 = 9.49$)、7.81 ($< \chi_{0.05,3}^2 = 7.81$)、10.775 ($< \chi_{0.05,5}^2 = 11.07$), 差异均未达到显著水平。

上述对预测结果的验证表明, 尽管土壤水分预测模型是根据晋中微区隔离试验结果所建立, 经检验也适用于晋南闻喜点, 而且 3 个试验年度 1990—1991, 1991—1992, 1992—1993 的降雨量与该点多年平均值比较, 分别为降雨中等、偏少、偏多年份, 基本上能代表晋南不同降雨年份, 因此所建模型具有一定的普遍性和准确性。

参 考 文 献

1. 苗果园等, 1989: 黄土高旱地冬小麦根系生长规律的研究。作物学报, 第15卷2期, 104—115页。
2. 苗果园等, 1991: 山西黄土丘陵旱地农田水分循环与利用现状的研究。山西农业大学学报, 第11卷3期, 189—200页。
3. 陈志雄, 1991: 封丘地区土壤水分平衡研究IV. 雨养条件下三个不同湿度麦季的小麦耗水与水分利用率。土壤学报, 第28卷1期, 396—403页。
4. Salisu Abdulmumin and Steven M. Misari, 1990: Crop coefficients of some major crops of the Nigerian semi-arid tropics, *Agricultural Water Management*. 18: 159—171.
5. Dorenbos J. and Kassam A.H. et al., 1979: Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Papers*.