

郑州冬麦田底墒推算方法初探*

吕厚荃 安顺清 刘庚山

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

提 要

根据 1991~1996 年郑州冬小麦播种前 0~200 cm 的土壤水分观测资料, 应用 3 次多项式模拟了底墒的垂直分布. 结果表明土壤水分随土层深度呈增加的变化趋势, 0~50 cm 土壤水分与 0~200 cm 的底墒相关达到 0.01 显著水平, 可以用 0~50 cm 土壤水分推算 0~200 cm 土层底墒.

关键词: 土壤水分 底墒 推算方法

引 言

华北地处东亚季风区, 降水多集中在夏季, 小麦生长季的降水仅占该地区年降水量的 20%~40%, 一般不足 150 mm, 多有干旱发生. 小麦全生育期间的耗水量约为 350 mm 左右^[1], 而华北地区小麦生长季内的降水量仅相当于小麦耗水量的 40%, 有相当一部分水分消耗需要靠底墒和灌溉来补充, 在一些干旱的年份显得更为突出. 民间流传的农谚“麦收隔年墒”正是对底墒在小麦生产中重要性的高度概括. 许多学者已对与华北地区节水抗旱有关的冬小麦耗水规律及其蒸腾蒸发方面进行了研究, 但对底墒, 特别是 1 m 土层以下的深层底墒消耗的研究尚未深入展开. 小麦生长后期, 根长可达 200~220 cm^[2], 生育过程中消耗的 1.5~2.5 m 深的土壤水分占总需水量的 10%~25%^[1], 由此可见深层底墒在小麦产量形成中的作用是不容忽略的. 掌握较深层麦田底墒分布规律及其形成和消耗过程, 对非灌溉地区水分资源的管理和合理利用、麦区的农业干旱评估以及制定防旱抗旱对策都具有十分重要的意义.

长期以来, 常规土壤湿度观测资料大多局限于 1 m 深土层以上, 甚至仅限于 50 cm 土层的观测, 因此有必要研究由浅层土壤水分来推算深层土壤墒情的方法, 以满足深层土壤底墒与作物耗水及产量形成研究的需要. 本文以郑州冬麦田为例, 探讨了华北地区冬麦田底墒的推算方法.

1 资料来源

本文所用资料为郑州农业气象试验站 1991~1996 年 10 月 1 日的土壤湿度观测值.

* 本文由农业干旱综合应变防御技术研究专题资助.

1997-09-23 收到, 1998-02-16 收到修改稿.

部分观测小区(1991年的2,3小区和1992、1993、1994年的4,5,6小区)为回填土,底部与下层土壤隔离,亦即小区内土壤水分只接受自然降水,而不受地下水的影响. 试验区土质为砂壤土,前茬栽培作物分别为棉花(1991~1993年)和玉米(1994~1996年),土壤水分系土壤中子仪采集的土壤容积含水量,在20 cm土层以下,每隔20 cm取样一次直至200 cm. 文中的底墒系小麦播种前的土壤墒情,以各年麦播前某一天的土壤湿度观测值来表示,由于各年观测小区数目及区域不尽相同,每一组观测值都视为独立的样本组.

2 底墒的垂直分布

底墒的分布不仅受制于土壤特性和降水与灌溉时段的分布,而且还取决于土壤的垂直分布特性以及前茬作物的耗水特性和地下水位深度等各种因素. 图1给出1991~1996年10月1日不同观测小区平均土壤湿度随土层深度的变化.

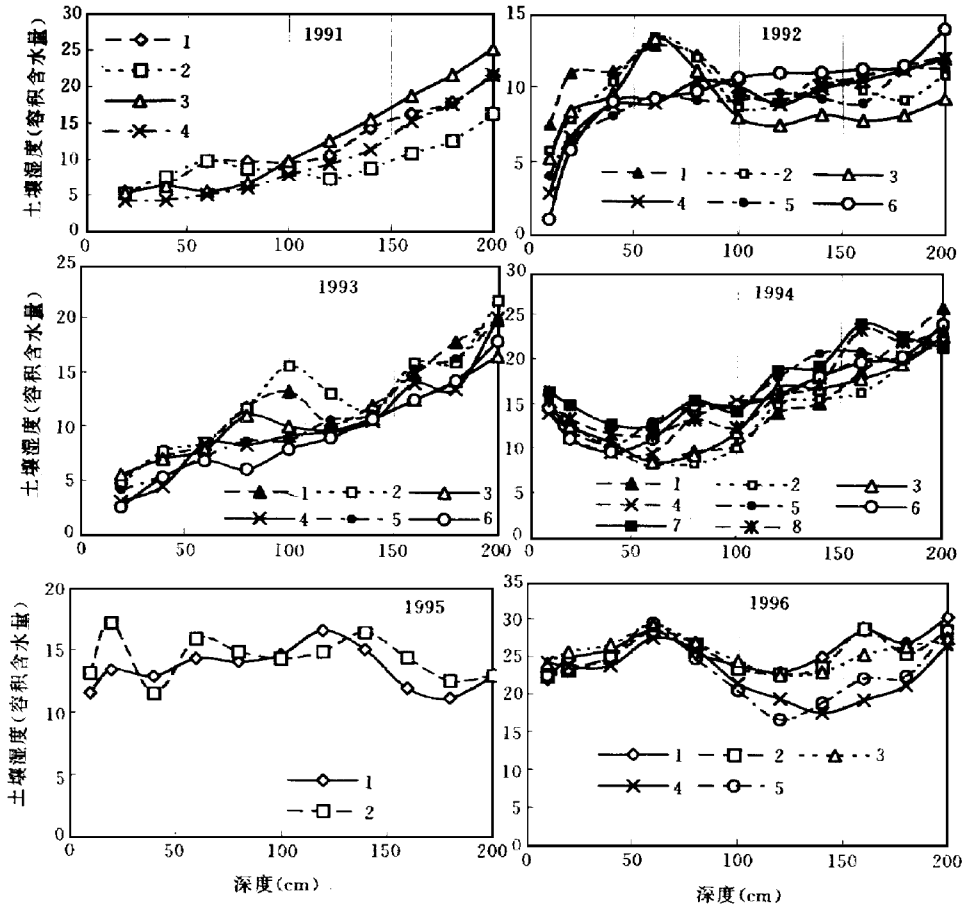


图1 1991~1996年10月1日各小区土壤湿度随深度的变化
(图例右侧数字表示观测小区)

由图 1 看出:在同一年的不同小区,土壤水分随土层深度呈增加的变化趋势基本相同,特别是在较深土层,如果该地区地下水位较深,底层隔离小区与非隔离小区的深层土壤水分并无明显差别,然而在上部土层内各小区则有较为明显的差异,除 1995、1996 年外,各年在 50~100 cm 土层上下都存在较大的差别.由于 1991~1994 年使用了回填土小区(1991 年的 2、3 小区和 1992、1993、1994 年的 4、5、6 小区),因而可以认为这种差异是小区土壤性质造成的.

1991~1996 年各年平均土壤湿度随土层深度的变化,年际间的差异较大(图 2). 华北中部地区 1991 年为夏早年份,其余年份都有不同程度的春旱和初夏旱.从 6~9 月的降水

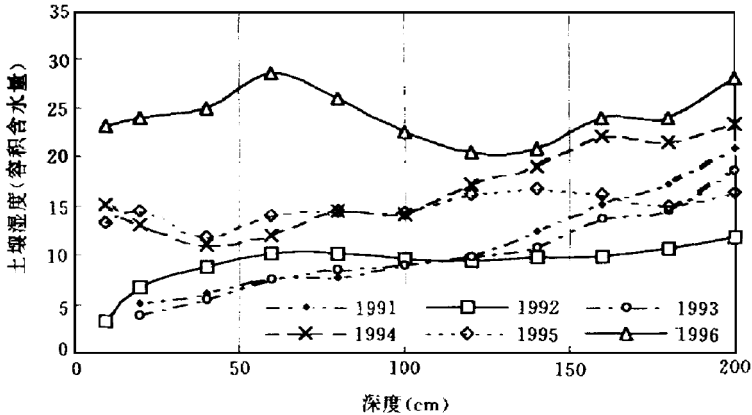


图 2 不同年份 10 月 1 日平均土壤湿度随深度的变化

分布来看,1991、1993 年这一时段的降水不足 300 mm,而其余年份均在 400 mm 以上.从图 1 和图 2 看出,除 1992 年以外,6~9 月降水少的年份各土层的土壤含水量均小于降水多的年份.在所有年份中,1992 年 1 m 以下土层土壤湿度明显低于其余年份,土壤容积含水量比夏季降水偏少的 1991、1993 年低 3%~7%,这也许与该年份冬季及仲春至夏初曾出现了较长时间的干旱,小麦后期水分供应不足,深层土壤水分消耗大于其它年份有关,所以在 6~9 月降水量远多于 1991、1993 年的情况下,仅有 1 m 以上土层土壤含水量高于 1991、1993 年,深层土壤水分明显少于各年.1995 年也有类似的情况,造成较深土层土壤水分不足.而 1996 年则由于 8~9 月降水较多,使 50~100 cm 土层土壤湿度大于 100~200 cm 土层,降水的时段分布影响着底墒的分布.

前茬作物为棉花的年份(1991、1992、1993 年)土壤水分总体上少于前茬为玉米的年份(1994、1995、1996 年)(图 2),这也许与作物的不同耗水特性有关.研究表明,棉花在其生育期间对 1.5 m 土层以上水分利用量占其需水量的 50%~60%,对 1.5~2.5 m 土层的水分利用量也达需水量的 35%~45%,约 209~269 mm,而夏玉米对上述土层水分的利用量则分别占其需水量的 15%~25%和 15%~20%,消耗量均不足 100 mm^[1].由此可见,棉花对深层土壤水分的消耗量远大于夏玉米,因此,除了年际间夏季降水的差异造成底墒的差别外,前茬作物耗水特性也是影响底墒垂直分布的因素.

表 1 不同小区土壤湿度的多项式模拟结果

年	样本数	小区	相关系数	标准误差	相对误差(%)	多项式
1991	10	1	0.9868***	1.0107	6.27	3
		2	0.9776***	0.7888	5.00	3
		3	0.9979***	0.5569	4.57	3
		4	0.9989***	0.3480	2.08	3
1992	11	1	0.9190*	0.8644	4.73	6
		2	0.8823*	1.2557	8.06	4
		3	0.9021*	1.1551	6.77	4
		4	0.9619***	0.8415	8.87	3
		5	0.9711***	0.5985	5.15	3
		6	0.9977***	0.3350	3.22	5
1993	10	1	0.9689***	1.4061	8.68	3
		2	0.9637**	1.7741	7.81	4
		3	0.9792***	0.8319	5.14	3
		4	0.9804***	1.1876	8.40	3
		5	0.9930***	0.7350	4.16	3
		6	0.9936***	0.6416	6.49	3
1994	11	1	0.9738***	1.1974	6.35	3
		2	0.9563***	1.4957	4.96	3
		3	0.9610***	1.4841	5.63	3
		4	0.9948***	0.6933	3.82	3
		5	0.9752***	1.2486	5.43	3
		6	0.9682***	1.3708	4.91	3
		7	0.9678***	1.2217	3.88	3
		8	0.9720***	1.3135	4.08	3
1995	11	1	0.9678***	1.2217	3.96	3
		2	0.9720***	1.3135	4.49	3
1996	11	1	0.9506*	1.2651	2.57	6
		2	0.9096**	1.6306	3.14	6
		3	0.9552**	0.8347	1.71	5
		4	0.9194**	1.5148	4.11	3
		5	0.8703**	2.2288	6.04	3

注: *、**、*** 分别代表 0.05、0.01、0.001 的显著水平。

图 1、图 2 显示了麦播季节各年份不同小区的土壤水分随土层深度的变化,以及在相同年份各小区土壤水分垂直分布的趋势相近,但在一定的深度存在着高值和低值,而且年际间差异较大.为使土壤水分中子仪观测资料与相应的常规观测资料相对应,必须对每 20 cm 以下土层资料进行插值,为此采用多项式回归的方法对各小区土壤水分的垂直分布进行模拟,基本方程为:

$$y = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_nx^n \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

式中 y 代表土壤湿度、 x 代表土层深度、 c 为回归系数.其模拟结果如表 1 所示.

表 1 显示了式(1)具有良好的模拟效果,大部分达到 0.001 的显著水平,平均相对误差不超过 10%.从多数年份(1991、1993、1994、1995 年)看,采用 3 次多项式较为适宜,少数年份则需要用 4~6 次多项式,对于 2 m 深的土层采用 3 次以上的多项式来模拟较为适宜.

3 0~200 cm 内各土层土壤水分的关系

表层土壤水分受外界环境的影响较大,随着土层的加深,土壤水分相对趋于稳定.分别取 0~20、0~50、0~100、0~150、0~200 cm 5 个土层来进行讨论.

表 2 列出了不同年份各土层的平均土壤含水量,表中所列数值为多项式计算结果.由表 2 看出,年际间有所不同,0~50 cm 土层的水分含量约占 0~200 cm 土层的 12%~25%,0~100 cm 土层约占 30%~50%.0~200 cm 含水量最少的年份为 1992 年,与含水量最高的 1996 年比,相差近 300 mm,该年份 150~200 cm 土层土壤含水量明显少于其它年份.

表 2 不同年份各土层的平均土壤含水量(mm)

土层深度(cm)	1991 年	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年
0~20	9.81	12.08	7.00	27.43	29.86	47.03
0~50	28.19	41.08	25.76	60.47	67.92	124.91
0~100	68.31	93.56	72.51	119.73	133.86	253.00
0~150	125.03	141.93	131.88	204.15	225.01	362.46
0~200	213.52	195.68	206.22	304.25	339.36	491.09

鹿洁中在分析土壤水分垂直变化时发现,一定厚度的水分储量与个别层次水分储量之间有良好的关系,某一厚度土层的土壤水分储量与表层的水分储量间有近于直线关系^[3].本文以郑州农业气象试验站各小区实测资料为样本考察了各土层的土壤含水量间的关系,发现各土层土壤含水量之间相关较好(表 3).特别是各相邻土层间相关十分显著.0~50 cm 土层,即许多研究中视为土壤水分活跃层与其它厚度土层土壤湿度相关最为密切,可以利用 0~50 cm 土层土壤湿度推算较厚土层土壤湿度.

表3 各土层间土壤含水量的相关系数

	0~20 cm	0~50 cm	0~100 cm	0~150 cm	0~200 cm
0~20 cm					
0~50 cm	0.9744				
0~100 cm	0.9426	0.9911			
0~150 cm	0.9600	0.9842	0.9878		
0~200 cm	0.9576	0.9624	0.9614	0.9884	

利用 1991~1996 年 0~50 cm 和 0~200 cm 土层土壤含水量资料(共 31 个样本)建立了回归方程:

$$W_{200} = 3.019W_{50} + 113.76 \quad (2)$$

式中 W 为土层湿度,下标代表土层厚度(cm).

图 3 中虚线为式(2)的拟合结果,其相关系数为 0.962,达到 0.01 显著水平,但考虑到前述土壤水分垂直分布的特性,采用了 3 次多项式,即:

$$W_{200} = -0.0006W_{50}^3 + 0.137W_{50}^2 - 5.283W_{50} + 252.72 \quad (3)$$

图 3 的实线为式(3)的拟合结果,复相关系数为 0.969,略优于式(2).

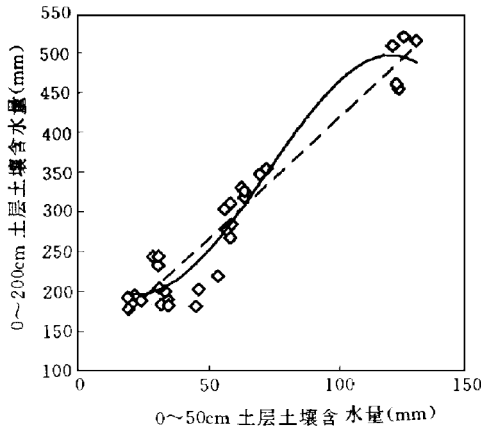


图 3 0~200 cm 土层土壤含水量与 0~50 cm 土层土壤含水量的关系

1997 年为典型的伏旱年,6~9 月总降水量仅 249 mm,以小麦播种前(10 月 16 日)的小区平均土壤湿度代入式(2)和式(3)验证,结果表明,由式(2)计算的 2 m 土层土壤湿度绝对误差为 8 mm,相对误差为 1.9%,而由式(3)计算的相对误差为 17.0%,表明线性回归的拟合效果较好.

4 结 语

由于土壤水分的垂直分布较为复杂,受多种因素的影响,实际分布往往与理论分布差

距较大,对各小区的实际底墒垂直分布采用 3 次以上的多项式模拟效果较好.浅层土壤水分(0~50 cm)与整层土壤水分(0~200 cm)有良好的相关关系,在实际应用中可据此来推算底墒,在郑州地区以线性回归的效果为好.

鉴于试验条件等因素,文中引用资料的年份及观测区域均存在一定的局限性,在华北的其它地区及多雨年份是否可按本文方法建立模型,还有待于进一步研究.

参 考 文 献

- 1 程维新,胡朝炳,张兴权. 农田蒸发与作物耗水量的研究. 北京:气象出版社,1994. 11~35.
- 2 张永忠,李宝庆,杨克定. 植物生长对土壤水分分布的影响. 见:左大康,谢贤群主编. 农田蒸发研究. 北京:气象出版社,1991. 209~216.
- 3 鹿洁中. 土壤水分测定中的几个问题及对策. 北京农业大学学报,1990,16(16):176~182.

PRELIMINARY STUDY OF ESTIMATION FOR SOIL MOISTURE BEFORE WINTER WHEAT SOWING IN ZHENGZHOU

Lu Houquan An Shunqing Liu Gengshan

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Abstract

Based on the observational data of 0—200 cm soil moisture before winter wheat sowing from 1991 to 1996 in Zhengzhou, the vertical distribution of soil moisture before sowing is simulated by using cubic polynomials. The results show that soil moisture would increase with the depth of soil layer. There is a good correlation between 0—50 cm soil moisture and 0—200 cm soil moisture before sowing, the significance level of which reaches 0.01, therefore the 0—200 cm soil moisture before sowing could be estimated from the 0—50 cm soil moisture.

Key words: Soil moisture Soil moisture before sowing Estimation