

# 北京郊区平原粮田土壤水分垂直变异特征

李 红, 周连第, 张有山

(北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100089)

摘要: 通过对北京市通州区徐辛庄镇土壤剖面水分的研究, 得到了京郊平原区粮田的土壤水分垂直变异特征为各层间的变异表现出明显的层次性; 土壤水分随着深度的变化呈曲线形式, 但随着表层土壤水分的减少, 其随着深度的变化近乎于直线; 土壤水分因土壤质地的不同及土体构型的不同而存在着差异。在研究土壤水分垂直变异规律的基础上对不同土层的土壤水分进行了模拟预测。

关键词: 土壤水分; 垂直变异规律; 模拟预测

中图分类号: S152.7 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2002)02-0082-06

在北京地区降水不能满足作物生长发育所需, 而在农业灌水资源又十分短缺的情况下, 如何做到节约灌溉水并能满足作物需水, 就成为京郊农业高产稳产的必要条件。根据土壤水分状况适时地确定灌溉制度就显得非常重要了, 本文研究了京郊平原区粮田的土壤水分垂直空间变化规律并建立其预测模式, 为土壤水分的有效利用与动态调控管理提供决策依据。

## 1 材料和方法

试验在北京市现代化节水示范基地之一的通州区徐辛庄镇进行, 徐辛庄镇位于北京东郊, 土壤属于冲洪积母质上发育的土壤, 土壤类型以潮土为主, 质地以壤质为主。地势较平坦, 长期保持着一年两熟(小麦、玉米)的种植制度。根据徐辛庄镇的土壤类型、养分状况和土壤物理性状, 选择不同土壤质地(砂壤土、轻壤土、中壤土、重壤土)的一等或二等地块各 4 块, 布置了冬小麦、夏玉米连续定位田间试验, 分别在每个生育期对每个处理的 0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~100 cm 的土层取样(五点取样法), 每次降水和灌溉前后各加测 1 次, 采用烘干法分别测定土壤含水量。试验历时 2 年(1999, 2000 年)。对土壤水分采取土壤储水量的形式来表征, 某一土层的土壤储水量用下列公式计算:

$$W=r \cdot v \cdot h$$

式中:  $W$  为某一土层的水分储量(mm);  $r$  为土壤含水量(%);  $v$  为土壤容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $h$  为土层厚度(mm)。

由于式中  $h$  为整个土层的厚度, 故在分析时需要再经过一次累加, 得到各整层(如 0~200 mm, 0~400 mm 等)的土壤储水量; 最后, 通过计算某两层(如 0~200 mm, 0~400 mm)间的储水量之差, 就可得到某一分层(如 200~400 mm)的储水量, 再根据该分层的土壤容重, 即可反推出该分层的土壤含水量。

收稿日期: 2001-05-08  
基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(6012006)  
作者简介: 李 红(1973-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事遥感、GIS 在土壤资源管理中的应用方面的研究工作。

2 结果与分析

2.1 京郊平原区粮田土壤水分的垂直空间变化规律

2.1.1 农田土壤水分的空间变异很大，但各层间的变异又表现出明显的层次性，土壤含水量变异幅度最大的是 0~20 cm，说明表层土壤含水量受灌溉、降水和蒸散的影响最大。

2.1.2 土壤水分随着深度的变化呈曲线的形式，但是随着表层土壤水分的减少，其随着深度的变化近乎于直线(图 2)。

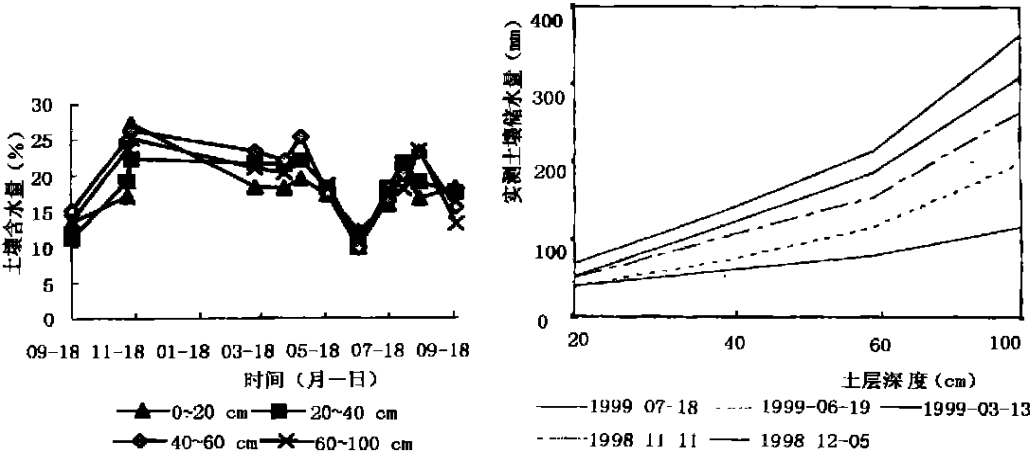


图 1 不同土层土壤含水量关系

图例中的数字是指田间取样的时间  
图 2 土壤水分随土壤深度的变化

2.1.3 土壤水分因土壤质地的不同存在着差异 从图 3 可以推出：整体来讲，粘壤的土壤储水量最高，沙壤储水量最低，中壤和重壤的储水量居中。这同时也可以说明我们用土壤储水量来表征土壤水分的合理性，因为土壤储水量在计算的过程中考虑了土壤容重，这也在一定的程度上消除了土壤质地对土壤水分的影响，因为容重是土壤物理性质的综合指标，一

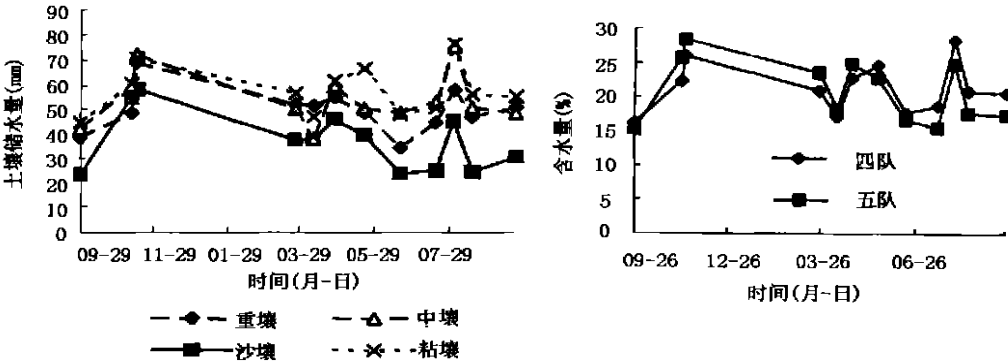


图 3 不同土壤质地土壤储水量随时间的变化曲线

图 4 不同的土体构型对土壤水分的影响

般情况下，土壤质地越粘，则土壤的容重相对越大。

2.1.4 土壤水分因土体构型的差异也存在着差异 四队和五队的表层土壤都是重壤质，但是它们的土体构型不同，其中四队在 50~60 cm 有一粘土层(这在华北地区是一良好结构)，所以从总体上来讲，四队表层土壤的含水量要比五队的高，其中反常的一段是在冬季至初春，这期间小麦几乎不生长，以田间蒸发为主，由于五队没有粘土层，底层土壤水分容易向上运输补给，因而该时期表层土壤水分较四队略高，见图 4。

2.2 京郊平原区粮田土壤水分的预测

为了选择合适的统计预测模型，以九队渔池在 1999 年 3 月~7 月的部分数据分别进行了线性拟合、二次拟合和三次拟合，结果如下：

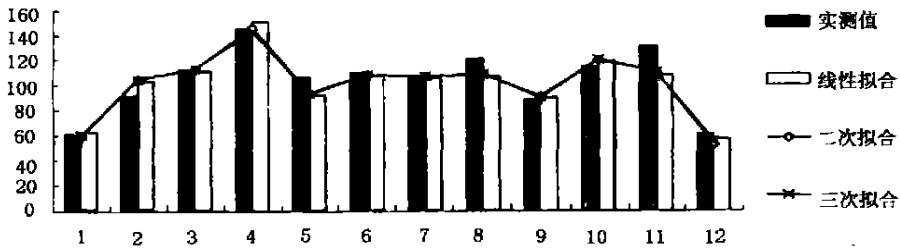


图 5 线性拟合、二次拟合和三次拟合结果比较

从图 5 的曲线拟合图分析可以得出，二次曲线拟合要比直线拟合效果略好，三次曲线拟合的效果要比二次曲线拟合效果略好。但是从它们各自的预测误差(绝对)比较来看，三次曲线拟合比二次曲线拟合在预测精度上提高了 0.2%，比线性拟合在预测精度上提高了 0.3%，因而就计算速度和简洁而言，在不较大影响预测精度时，我们还是选择线性拟合。

2.2.1 0~40 cm 土层土壤储水量预测 通过表 1 相关矩阵中的相关系数及图 6 的表土层与次表土层土壤储水量之间的散点图，可以利用线性回归进行分析：

表 1 相关矩阵

	0~40 cm 土层储水量	0~20 cm 土层储水量
相关系数 0~40 cm 土层储水量	1.000	0.914
0~20 cm 土层储水量	0.914	1.000

通过方差分析，可以从  $F$  检验看出回归方程的均方值远大于残差的均方值， $F$  检验的显著性概率为 0，因此无论临近值取 0.05，还是取 0.01， $F$  检验的  $p$  值均小于临界值，这表明，表土层土壤储水量对次表土层的土壤储水量具有明显的影响作用。

通过残差统计分析，可以得到 0~40 cm 土层土壤储水量与 0~20 cm 土层储水量之间的关系可以用下面的模型来表示：

$$X_2=2.069X_1+0.0714$$

式中， $X_2$  为土壤 0~40 cm 土层土壤储水量， $X_1$  为土壤 0~20 cm 土层储水量。

2.2.2 模型的残差分布分析 残差分布不呈正态分布的原因有：错误的设置了方程式的模型；实际上仅有一少部分的残差能够应用到分析中去；非连续性方差等等。其中最简单的方法是用来对比观测量残差分布图与假设的正态分布图的方法是 P—P 图，如图 7 建立的次表

土层(0~40 cm)土壤储水量的累加概率图, 用累加的分布点来进行相互的比较, 如果两种分布相同, 那么在 P-P 图中只有一条斜线, 观测数据在假设直线(正态分布)周围的分布, 可以对两种分布进行比较。从图 7 中可以看出, 被检验的数据基本上成一条直线, 因而也可以认为正态分布的假设基本成立。

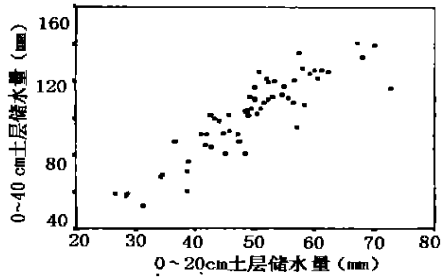


图 6 0~20 cm 与 0~40 cm 储水量散点图

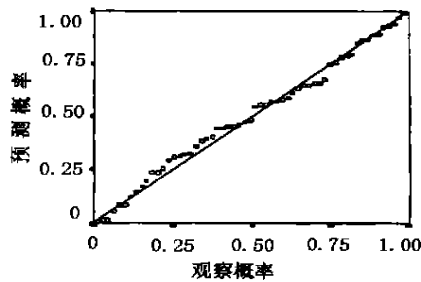


图 7 观测量的累加概率

通过对模型的残差分布检验, 认为它服从正态分布, 这就说明了设置方程式模型是适合的。

2.2.3 0~60 cm 土层的土壤储水量的预测 根据 0~40 cm 土层土壤储水量预测的方法, 我们对其他土层的土壤储水量进行预测, 结果如表 2。

表 2 0~60 cm 土层土壤储水量与其他两层偏相关系数

	0~60 cm 土层储水量	0~40 cm 土层储水量	0~20 cm 土层储水量
0~60 cm 土层储水量	1.000	0.985	0.907
0~40 cm 土层储水量	0.985	1.000	0.946
0~20 cm 土层储水量	0.907	0.946	1.000

从表 2 的相关系数可以看出: 0~60 cm 与 0~40 cm 土层的储水量之间相关系数大于与 0~20 cm 土层的储水量间的相关系数, 而且从图 8 的散点图也可以看出 0~60 cm 与 0~40 cm 土层的土壤储水量之间的关系较与 0~20 cm 土层的土壤储水量间关系更接近直线关系, 更便于表达。因而可以用 0~40 cm 土壤储水量直接预测 0~60 cm 土壤储水量。

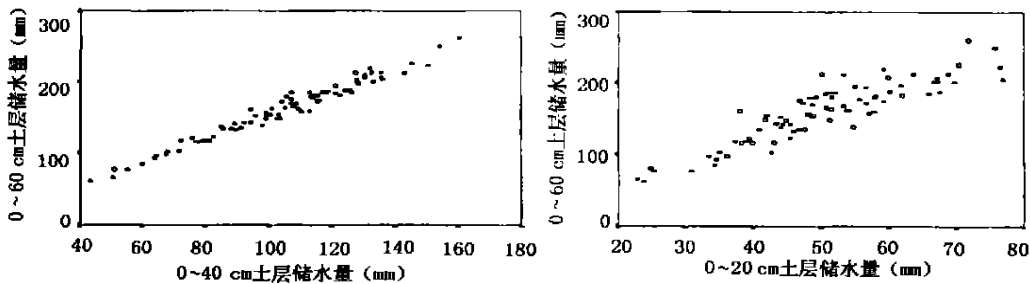


图 8 0~60 cm 与 0~40 cm、0~20 cm 土壤储水量关系

按照 0~40 cm 土壤储水量的预测方法, 我们对 0~60 cm 土壤储水量进行了预测, 得到

了预测公式如下：

$$X_3=1.638X_2-10.019$$

式中， $X_3$  为 0~60 cm 土壤储水量， $X_2$  为 0~40 cm 土壤储水量。

2.2.4 0~100 cm 土层的土壤储水量的预测 从表 3 的相关系数可以看出：0~100 cm 与 0~60 cm 土层储水量间的相关系数大于它与 0~40 cm 土层的土壤储水量之间相关系数，又大于与 0~20 cm 土层的土壤储水量间的相关系数，而且从它们的散点图也可以看出 0~100 cm 与 0~60 cm 土层的土壤储水量之间的关系接近直线关系。因而可以用 0~60 cm 土壤储水量直接预测 0~100 cm 土壤储水量。

表 3 偏相关系数

	0~100 cm 土层 储水量	0~20 cm 土层 储水量	0~40 cm 土层 储水量	0~60 cm 土层 储水量
0~100 cm 土层储水量	1.000	0.874	0.957	0.982
0~60 cm 土层储水量	0.982	0.907	0.985	1.000
0~40 cm 土层储水量	0.957	0.946	1.000	0.985
0~20 cm 土层储水量	0.874	1.000	0.946	0.907

按照 0~60 cm 土壤储水量的预测方法，对 0~100 cm 土壤储水量进行了预测，得到预测公式如下：

$$X_4=1.828X_3-12.883$$

式中， $X_4$  为 0~100 cm 土壤储水量， $X_3$  为 0~60 cm 土壤储水量。

2.3 模型预测精度检验

通过以上建立的不同土层深度的土壤储水量预测模型，我们可以根据土壤表层土壤水分的测定来预测这几层土壤的储水量，由于土壤储水量，既反映了测定时段内一定土层土壤水量的平衡状况，也反映了剖面土壤水的调节能力，即通过农业措施(包括灌溉)对土壤水调节能力发挥的程度，这种能力调节得越好，在收入一定的水量满足对作物供水需要的同时，就越能挖掘了土壤储水的供水潜力，因此，预测结果精度的大小对后期的田间管理也很重要。我们根据上面的预测模型对 1999~2000 年徐辛庄部分地块土壤储水量进行预测，并与实际测定值进行比较，以检验模型的预测精度。通过预测分析得到三个层次的预测平均误差均小于 10%，其中以 0~60 cm 土层的预测结果最好；在这些预测之中相对误差小于 10% 的占 80% 左右，相对误差小于 5% 的占 50% 以上。

3 讨论

通过对徐辛庄镇土壤剖面土壤水分的研究，得到了京郊平原区粮田的土壤水分垂直空间的变化规律，并对不同土层的土壤水分进行了模拟预测，预测结果的精度相对较高，在实践应用中起到了一定的作用。

从土壤水分预测精度分析来看，预测误差较高的点是由于灌溉或降水而造成的，因而在预测时应适当考虑它们的影响，以进一步提高预测精度。

## 参考文献:

- [ 1 ] 施成熙, 粟宗嵩. 农业水文学[ M]. 北京: 农业出版社, 1984.
- [ 2 ] 希勒尔. 土壤水动力学的计算机模拟[ M]. 罗焕杰译. 北京: 农业出版社, 1980.
- [ 3 ] 康绍忠. 旱地土壤水分动态模拟的初步研究[ J]. 农业气象, 1987, 18(2): 25—31.
- [ 4 ] 鹿洁忠. 根据土壤表层数据估算深层土壤水分[ J]. 农业气象, 1987, 18(2): 60—62.
- [ 5 ] 康绍忠. 土壤水分动态的随机模拟研究[ J]. 土壤学报, 1990, 27(1): 17—24.
- [ 6 ] 余优森, 林日暖, 邓振镛, 等. 人工草地土壤水分周年变化规律的研究[ J]. 土壤学报, 1992, 29(2): 175—181.
- [ 7 ] 王 军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响[ J]. 地理学报, 2000, 55(1): 84—91.
- [ 8 ] 陈怀亮, 冯定原, 邹春辉, 等. 用遥感资料估算深层土壤水分的方法和模型[ J]. 应用气象学报, 1999, 2(2): 55—60.

## Study on Vertical Variable Patterns of Soil Water of Field in Beijing Suburbs

LI Hong, ZHOU Lian-di, ZHANG You-shan

(Institute of Plant Nutrients and Resources, Beijing Academy of Agricultural and  
Forestry Sciences Beijing 100089, China)

**Abstract:** In this article, the vertical variable patterns of soil water of field in Beijing suburbs are studied. Soil water is significantly different in different layers. It changes with the depth nonlinearly, but does nearly linearly as the content of soil water decreases. It also changes with the texture of soil and with the structure of soil. On the basis of the study, the soil water of different layers for the decisions of effective soil water management can be accurately predicted.

**Key words:** Soil water; Vertical variable patterns; Imitation prediction