

天津市农田土壤水分监测预报研究

姚奎元 孟宪钺 刘淑梅

(天津市气象科学研究所, 天津 300074)

摘 要 利用卫星监测的土壤含水量资料, 研究了土壤水分与各气象要素之间的关系以及土壤水分自身的变化规律; 并根据这些规律建立由多种预测模式组成的土壤水分动态监测与预测系统。该系统的预测准确率在 90% 以上。

关键词 土壤水分 监测 预报模式

干旱是天津乃至华北地区的主要气候特点之一, 因此, 随时掌握土壤水分的动态变化尤为重要。本文利用气象卫星对土壤含水量进行遥感监测原理, 对旱季作物农田土壤含水量的自身变化规律及气象因子的影响、建立各种预报模式进行土壤含水量预报等方面进行了一些探讨。

1 土壤水分遥感监测原理

1.1 热惯量法

热惯量法是指物质对温度变化的热反应的一种量度, 表示单位为: $\text{Cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ 。热惯量可由下列关系式表示:

$$P = (KDC)^{1/2}$$

式中: P —土壤热惯量, K —土壤导热率, D —土壤密度, C —土壤比热。

从式中看出, 土壤热惯量与土壤密度、比热、导热率成正比, 而土壤密度、比热、导热率变化主要取决于土壤固、气、液三相的组成变化。一般来说, 在短时间内, 上述因素中变化最大的是土壤液相与气相的比例, 而这一变化又主要是由土壤含水量的增减引起的。研究表明, 在土壤密度相同的情况下, 含水量较高的土壤昼夜温差相对较小, 土壤比热也较大, 故土壤热惯量就较大。因此, 可以借助于测量土壤的热惯量变化来监测土壤含水量的变化。

从热传导方程的推导也可得到如下的结论:

$$P = B(1 - A) / \Delta T$$

B 为土壤类型常数, A 为白天地表反照率, ΔT 为温度日较差, 由于同一天中 A 变化较小, 因而, P 主要与 ΔT 有关。以上分析可知, 土壤热惯量与土壤吸收的辐射成正比, 与地表日温差成反比, 而造成地表日温差的主要原因之一是土壤含水量的大小, 土壤含水量大其日温差小,

土壤含水量小其日温差大。由此,推导出土壤含水量与土壤热惯量成正比,即热惯量大的土壤含水量大,热惯量小的土壤含水量就小。从而,我们就可利用 NOAA/AVHRR 红外波段的资料监测土壤表面温度,通过计算相同地点的日温差及相应的各种订正及处理后,最终达到监测土壤湿度的目的。

1.2 土壤—植被反射理论法

在对大量遥感资料的分析中,我们发现土壤含水量的大小直接影响植被反射率,一般的讲,物质的反射率随光谱的增长而升高,随土壤含水量的增加而变小。掌握了这一特性就有可能利用接收到的某一波段范围内的光谱数据分析土壤含水量的变化规律,从而达到监测土壤含水量变化的目的。

如何选择极轨卫星通道数据,关键在于确定所使用的波段,从 CH1 至 CH5 通道的大量的数据分析中发现,利用 CH1、CH2、CH5 通道的资料进行土壤含水量的分析存在着较大的难度;单独使用 CH3 或 CH4 通道资料分析效果也不理想,但将这两个通道的资料结合起来,即 CH3-CH4,则使用效果较为明显。

2 站点及资料的选择

本文中所用的历史资料取自我市具有较好代表性的宝坻县气象站,资料年代为 1983~1992 年(其中气象资料为 1981~1995),气象资料包括逐旬降水、平均气温、蒸发量、日照时数、平均湿度和风速,农业气象资料为逐旬土壤湿度百分率(0~5cm, 5~10cm, 10~20cm, ..., 90~100cm, 共 11 个层次)。

遥感资料选用实时 NOAA11 和 NOAA12 气象卫星白天和夜间的 512·512 局地数据资料,分辨率为 1.1km,在建模前进行了地理位置订正。

3 土壤水分变化规律及气候影响因子

3.1 麦田土壤水分变化规律

图 1 中给出了宝坻 1983~1992 年 3~12 月的年平均土壤含水量和平均降水量的动态变化曲线,大致可分为四个阶段。

土壤水分恢复阶段:从冬小麦收获后(6月中旬)一直持续到汛期结束(10月)。该阶段气温较高土壤水分蒸发量大,总蒸发量为 192mm,但同期降水集中,降水量为 488mm,降水量远大于蒸发量有利于土壤的水分储存。冬小麦播种后气温逐渐降低,麦田耗水量逐渐减少,降水量明显大于作物耗水量,所以,土壤水分的恢复程度取决于每年汛期的降水量的多少。

土壤水分相对稳定阶段:从 11 月到翌年 3 月初冬小麦返青,此阶段平均降水量为 22.7mm。由于该阶段气温低,冬小麦停止生长,土壤冻结,降水量基本补充了土壤水分的消耗量,土壤水分的变幅很小,保持相对稳定。

土壤水分缓慢消耗阶段:从 3 月初开始到 5 月上旬冬小麦拔节孕穗期,气温逐渐回升,冬小麦生长加快,耗水量增大。该阶段的降水量小于土壤的耗水量,土壤水分入不敷出。

土壤水分大量消耗阶段:从 5 月中旬冬小麦抽穗开花到灌浆成熟,是冬小麦一生中需水量最多的阶段。这个阶段气温高,蒸发量大,是土壤含水量消耗最多的阶段。

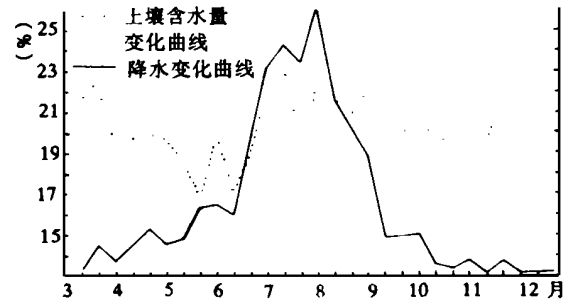


图 1 土壤含水量与降水量变化曲线

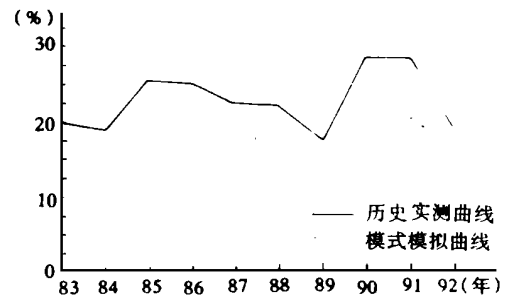


图 2 3 月下旬模式 ⑤ 的历史模拟曲线

3. 2 影响土壤水分的气候因子

3. 2. 1 降水量与土壤含水量之间的关系 土壤水分的主要来源为降水, 降水量的大小直接影响着土壤含水量的比例, 但并非所有的降水都与土壤含水量呈现一一对应的线性关系, 特别是汛期的短时雷雨天大风天气, 由于降水时间短, 雨量集中, 土壤来不及完全吸收, 就已形成径流流失; 另外土壤本身的含水量大小、地面植被情况也影响降水的渗透程度。而汛期前后的降水与土壤墒情有着较好的线性关系。

3. 2. 2 温度、风速、湿度、日照时数、蒸发量与土壤含水量之间的关系 从热力学和流体力学的观点出发, 土壤含水量与温度、风速、日照时数、蒸发量之间有着明显的负相关的关系, 温度高、日照多、风速大、空气湿度小将导致蒸发加大, 土壤含水量损失较大; 反之, 则蒸发较小, 土壤含水量的损失也较小。

综上所述, 温度为土壤含水量的变化提供了热量条件, 而风速、空气湿度则为土壤含水量的变化提供了动力条件, 所以, 气候因子对土壤含水量的影响是十分重要的。这就为建立预测模式提供了依据。

4 土壤含水量预测模式及历史模拟

从对宝坻县气象站十年的各层土壤湿度资料与各气候因子的相关分析, 结合各区、县的土壤类型和气候特点, 并根据不同阶段的地面植被分布情况, 建立了 7 个不同的预测模式(模式推导过程略), 即:

- ① $Q = 0.8 Q_0 + 0.25 (R + R^{\wedge}) - 0.26 [1 + 0.5 \cdot (V + 1)] + S[I, J]$
- ② $Q = 1.60 + 0.77 Q_0 + 0.44 (R + R^{\wedge}) - 0.19 (T + T^{\wedge}) + S[I, J]$
- ③ $Q = 0.75 Q_0 - 0.05 T^{\wedge} + 0.79 R - 0.58 + S[I, J]$
- ④ $Q = 0.6502 Q_0 + 0.277 + R^{\wedge} - 0.23 T^{\wedge} + 3.98 + S[I, J]$
- ⑤ $Q = 0.6132 Q_0 + 0.1774 + R^{\wedge} - 0.234 T^{\wedge} + 8.46 + S[I, J]$
- ⑥ $Q = 0.6 Q_0 - (0.36 e^{0.07 T} + 0.64 - 0.54 R^{\wedge}) [0.39 (V + 1.5) + 0.27] - 0.5 + S[I, J]$
- ⑦ $Q = 0.6 Q_0 - (0.71 e^{0.05 T} + 0.48 - 0.41 R^{\wedge}) [0.11 (V + 1.5)] + 0.8 + S[I, J]$

其中: Q 为下一旬土壤含水量的预测值; Q_0 为本旬土壤含水量实测值;
 R^{\wedge} 为下一旬降水量上限预测值; V 为下一旬大风日数预测值;
 T 为下一旬平均气温下限预测值; T^{\wedge} 为下一旬平均气温上限预测值;

R 为下一旬降水量下限预测值; $S[I, J]$ 为各区县不同时期的订正系数。

从 7 个不同的模式针对不同时期土壤含水量以及各区县的土壤类型及气候特点给予不同的经验性订正系数,使模式的模拟性更好。如小麦返青、起身期使用模式⑤预测效果较好,其历史拟合率为 98.51%(见图 2);小麦返青和汛期以后使用模式①预测效果较好,其历史拟合率为 92.22%;对汛期中期使用模式②和模式④预测效果较好,其历史拟合率分别为 90.31%和 89.73%;对汛期初、中期采用模拟动态预测法(模式⑥、⑦)进行预测效果较好,其历史拟合率达 98.15%(见图 3);对汛期后期采用模式③,其历史拟合率为 92.53%(见图 4)等。

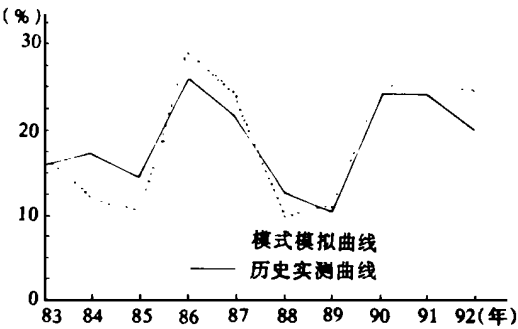


图 3 6 月下旬模式⑦的历史模拟曲线

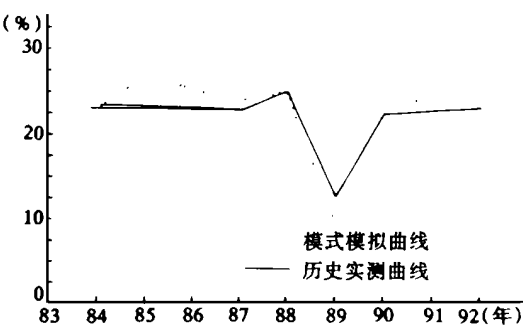


图 4 8 月上旬模式③的历史模拟曲线

为了验证和订正各种模式对土壤含水量的预测结果,我们对卫星所监测到的土壤含水量的遥感信息根据热惯量法和土壤—植被反射理论法的原理并采用动态建模的方法,将监测到的遥感信息经过处理分析出天津地区土壤含水量分布的彩图(见图 5),此外,还可以从分布在我市各区、县 36 个测墒点的实测资料对预测结果进行验证,从而,使我们所作的土壤含水量预测的结果具有较好的客观性和准确性。

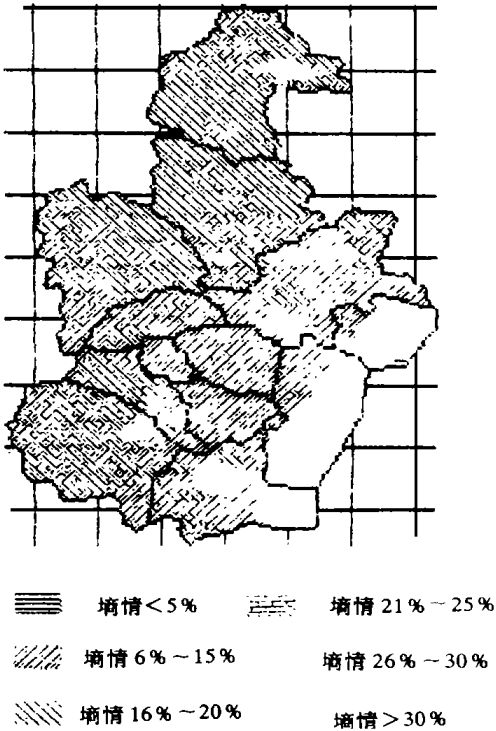


图 5 天津地区 1995 年 5 月 2 日土壤含水量分布遥感实测图

表 1 10cm 层土壤湿度预测结果统计表(%)				
月 旬	基 本 预测值	实 际 综合值	相对误差	准确率
4 月中旬	15.6	16.1	- 3.2	97
4 月下旬	14.1	15.0	- 6.4	94
5 月上旬	15.8	15.5	1.9	98
9 月上旬	25.3	22.7	11.4	90
9 月中旬	21.3	23.2	- 8.9	92
9 月下旬	18.1	18.0	0.6	99
10 月下旬	19.1	19.6	- 2.6	97

使用该预测系统对天津地区 1995 年的土壤含水量的分布情况进行了准业务化的试报。从试报的效果看, 预测准确率达到 90% 以上, 达到了设计的要求(见表 1)。

目前, 我们已开展了对天津地区土壤含水量的动态遥感监测与预测的业务服务, 并使用这些遥感动态监测结果在对各种模式预测结果检验订正及业务服务实践中收到了较好效果。

参 考 文 献

- 1 康绍忠. 旱地土壤水分动态模拟的初步研究. 农业气象, 1987(2): 38~41
- 2 张永勤. 泾川旱塬麦田土壤水分动态规律. 甘肃气象, 1994(4): 30~32
- 3 申双和, 周英. 旱地农田土壤水分动态平衡的模拟. 南京气象学院学报, 1994, 17(4): 462~468

A Study on Monitor and Prediction of Soil Moisture in Tianjin Farmland

Yao Ku Yuan Meng Xian Yue Liu Shumei

(Tianjin Institute of Meteorological Sciences, Tianjin 300074)

Abstract By using soil moisture data from the polar-orbiting satellite monitor, the relationship between soil moisture and meteorological elements and the variation law of soil moisture was studied in this paper. The soil moisture monitor and predictive system consisting of multi-model were established on the basis of these laws. The predictive accuracy of the system was over 90%.

Key words: Soil moisture; Monitoring; Forecast model