

用伏秋季降水推定华北小麦底墒的方法

刘庚山, 郭安红, 任三学, 安顺清, 赵花荣

(中国气象科学研究院农业气象和遥感应用研究中心, 北京 100081)

摘要: 利用收集到的华北地区气象台站 20 多年的冬小麦底墒数据, 以及相应年份 7、8、9 月间逐旬降水量的资料, 对无灌溉情况下, 冬小麦底墒与伏秋季降水的关系进行了分析, 筛选出了简单易行的利用伏秋季各旬的降水量推定当年冬小麦底墒的方法, 同时, 统计检验和实际计算的结果表明: 这种利用积分回归方法得到的积分回归方程能够反映出伏秋季逐旬降水量及其分布对该地区冬小麦底墒形成的影响。

关键词: 底墒; 冬小麦; 预测; 积分回归

中图分类号: S11 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2003)02-0095-04

Preliminary Study on Forming Available Soil Water (ASW) Stored at Planting in North China by Rainfall During July to September

LIU Geng-shan, GUO An-hong, REN San-xue, AN Shun-qing, ZHAO Hua-rong

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

Abstract: In this paper, based on the data of available soil water (ASW) stored at planting in 0—50 cm soil layer for winter wheat and corresponding rainfall per 10-days period during July to September at some meteorological stations in North China, we analyzed the relationship between the ASW stored at planting for winter wheat and rainfall under non-irrigation. We worked out some integral regression equations to forecast the ASW stored at planting for winter wheat. These equations are also applied to demonstrate the impacts of precipitation per 10-days period during July to September and its temporal distribution on forming ASW stored at planting for winter wheat in a region.

Key words: Available soil water (ASW) stored at planting; Winter wheat; Forecast; Integral regression

底墒是指作物播种时土壤中作物水分供给层的含水量。以前的研究和农业生产实践表明, 汛期降水形成的底墒是冬小麦重要的水分来源^[1~5]。1997 年在中国气象局河北固城农业气象试验基地进行的无自然降水补给和无人工补水处理的小区试验表明^[1]: 仅依靠底墒(占田间持水量 65%~75%、一般年份)供水的情况下, 冬小麦可存活到成熟期, 底墒的供水时限为成熟期, 并且在这种情况下, 仍能保持一定的产量(750~1 650 kg/hm²), 全生育期内 0~50 cm 底墒的极限利用率可达到 84%~90%, 0~200 cm 极限利用率也达到 51%~64%, 也就是说

在 0~50 cm 和 0~200 cm 土层分别有 58.4~65.2 mm 和 151.7~193.4 mm 有效水分能被冬小麦所利用。由此可见, 我国北方冬小麦底墒对其生育和产量形成有着十分重要的作用^[2]。目前有关冬小麦底墒主要通过以下两种途径取得, 一种是用仪器测定, 这种方法得到的资料较准确, 但观测站点有限, 不能满足农业生产和科学研究的需要; 另外一种方法是估算法, 通常用统计模式和农田水分动态平衡模式来计算。在统计模式中, 目前多用伏秋季的总降水量与土壤湿度建立线性回归方程^[4], 这种方法简便, 有一定的精度, 但未考虑伏秋季降雨量在时

收稿日期: 2002-11-30

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA509B-15); 农业科技成果转化资金项目(02EFN217401301)

作者简介: 刘庚山(1966-), 男, 吉林长春人, 副研究员, 主要从事农田生态环境和农业节水方面的研究工作。

间分布上的影响。农田水分动态平衡模式考虑到了农田水分平衡各分量的影响,但这种方法需要确定初始土壤含水量、农田蒸散量、地表径流量、土壤水分垂直交换量和作物冠层对雨水的截留量等^[3,4],虽然精度较高,可是这些量的精确确定是相当困难的,因此,很少实际应用于农业生产中。目前,只见孔杨庄先生^[5]在推算黄淮海地区冬小麦底墒充足年份的概率时应用过,他对有关参数作了一些假定,因此,在推定冬小麦底墒的数学方法方面还需要进一步研究。本文主要利用收集到的几个华北地区农业气象观测站点的冬小麦底墒资料及相对应的伏秋季逐旬降水量资料,采用统计分析中的积分回归方法,初步分析了伏秋季逐旬降水量与冬小麦底墒的关系,试图给出一种简单实用的估算底墒的科学方法。

1 模式建立的物理及理论基础

1.1 物理基础

华北地区冬小麦底墒形成期是农田水分强烈循环期,底墒是伏秋季农田作物(该地区主要是夏玉米)土壤水分供给层水分动态累积平衡的结果,因此,农田水分平衡方程中每一分量的变化都会对底墒产生影响。在这些分量中,在没有灌溉的条件下,降水量及其时间分布和农田蒸散量是主要影响因素。不同作物在夏季都处于旺盛生长期,虽然耗水量有差异,但一般差异不太大,因此,对于某个地区来说,冬小麦底墒量的大小主要与伏秋季的降水量及其时间分布关系密切。这意味着,用伏秋季逐旬降水量估算冬小麦底墒是有物理基础的。

如果简单地用伏秋季的累计总降水量与当年冬小麦底墒作一元线性回归分析,结果不很理想,相关系数的值很低。以泰安为例,其相关系数只有 0.346,个别点的相对误差在 40% 左右,主要的原因是没有考虑降水量分布的时间特征,即同样多的伏秋季累计降水量,由于降水时间分布的不同(即降落在不同的旬内),将导致不同的冬小麦底墒。逐步回归分析表明:在 9 个因变量(旬降水量)之间,在对底墒贡献方面不存在显著的差异;另外还因为样本数量相对于因变量个数(9 个旬降水量)不足的限制,使得无论多元线性回归还是逐步线性回归方程的稳定性很难保证,因此,本文采用积分回归的方法来探讨这个问题。

1.2 理论基础及计算方法

积分回归方法是为了克服多元回归方法中自变

量数目与样本容量的矛盾,由英国统计学家 Fisher^[6]提出来的,因为为了保证多元回归方程的稳定性,样本容量应保持在自变量数目的 5~10 倍以上;可是有时样本容量很难满足这样的要求,为了保持稳定性,就要减少自变量的数目,因而就有了积分回归这种方法。

一般的多元回归方程可以表示为^[6,7]:

$$y = c_0 + \sum_{i=1}^m b_i(t) X_i(t) \quad (i=1, 2, 3, \dots, N) \quad (1)$$

其中 $X_i(t)$ 代表第 i 个气象变量在 t 时段的取值, $b_i(t)$ 是相应的回归系数, c_0 是常数项。在本例分析中由于只有一类气象变量(旬降水量),因此(1)可以简写成:

$$y = c_0 + \sum_{i=0}^5 b_i(t) X(t) \quad (2)$$

如果时间段划分的很小很小,则(2)式可用积分的形式表示:

$$y = c_0 + \int_0^5 b_i(t) X(t) dt \quad (3)$$

将 $b(t)$ 表示为时间 t 的正交多项式的线性函数,即

$$b(t) = \sum_{j=0}^N b_j p_j(t) \quad (j=0, 1, \dots, N) \quad (4)$$

(4)式中 $p_j(t)$ 为 j 次正交多项式, b_j 为 $p_j(t)$ 的系数,将(4)式代入(3)式得:

$$y = c_0 + \sum_j b_j \int_0^5 p_j(t) X(t) dt \quad (5)$$

本计算中采用切比雪夫正交多项式。实践表明正交多项式的次数一般取 3 或 5,本文选择 3 次切比雪夫正交多项式,由于气象资料多为等间隔观测值,实际计算时,总是取离散化值。故华北地区 7~9 月份的 9 个旬的降水量,已经变换成 4(3+1) 个变量。通过标准的积分回归计算程序求解该问题。

2 资料来源与处理

几个台站 7~9 月份逐旬降水量和冬小麦播种时的土壤湿度资料为 21 年的统计(1979~1999 年),由于要考虑观测地段的一致性、是否灌溉、前茬作物种类等问题,所以对于个别进行了灌溉的站点,利用其灌溉纪录(灌溉量和时间)进行了订正处理,同时为了使观测地段具有的连续性和代表性,对个别观测地段不一致的年份进行了适当的取舍。另外,为保证资料的一致性和可用性,土壤湿度的资料均选择来自前茬作物为玉米的年代。考虑上述种种限制条件,选择讨论计算的站点为黄骅、深州和定州 3 站。

3 分析与讨论

3.1 冬小麦底墒与伏秋季逐旬降水量的回归关系式

利用黄骅站 24 年的资料,通过积分回归分析^[8],结果如下,

$$w=c_0+\sum_{i=1}^9a(i)x(i) \quad (i=1,2,\cdots\cdots 9) \quad (6)$$

(6)式中, w 是 0~50 cm 土层的土壤湿度(占干土重的百分比%), c_0 为常数项, $a(1), a(2), \cdots\cdots a(9)$ 为偏回归系数, $x(1), x(2), \cdots\cdots x(9)$ 分别代表 7~9 月份逐旬的降水量(mm)。表 1 是黄骅站的计算结果, 常数项 $c_0=10.585\ 5$, 对该积分线性回归方程进行统计检验, 其复相关系数为 0.71, 有 $F=(R^2/P)/(1-R^2)(N-P-1)=5.27$, 查 F 分布表, 在 $\alpha=0.01$ 置信水平下, 得到 $F_{\alpha}=4.94, F>F_{\alpha}$, 能通过检验。图 1 是黄骅地区底墒实际观测值与积分回归方程计算值的比较图, 很显然, 用积分回归方法所得到的模拟方程能够很准确地体现底墒的年际变化规律, 也就是说, 能够通过当年度 7~9 月份 9 个旬的降水情况(大小和分布), 比较准确地预测出该年的底墒。

表 1 黄骅站逐旬偏回归系数

偏回归系数	值
a(1)	0.001 465
a(2)	0.008 176
a(3)	0.019 883
a(4)	0.028 551
a(5)	0.034 647
a(6)	0.038 645
a(7)	0.041 014
a(8)	0.042 224
a(9)	0.042 745

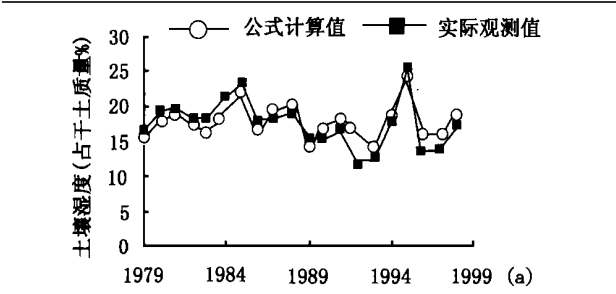


图 1 黄骅站计算值和与实际观测值比较

另外, 从其各旬的偏回归系数随旬数的变化图(图 2)上可以看出, 偏回归系数从 7 月份的上旬(图 2 第 1 旬)开始, 越往后越大, 直到 9 月下旬达到最

大值, 可见伏秋季后几旬的降水量对底墒的贡献比前几旬要大。

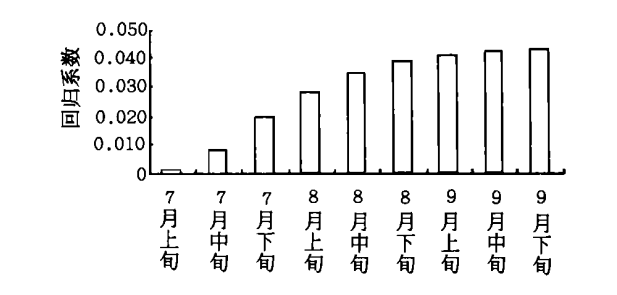


图 2 黄骅各旬回归系数随旬序的变化

同样, 可以得到关于公式(8)的深州和定州的计算结果(表 2), 深州和定州底墒的积分回归方程计算值和实际观测值也都同样较准确地表达了这两个地区底墒年际变化的特征。

表 2 深州和定州逐旬偏回归系数和统计检验

偏回归系数	深 州	定 州
a(1)	0.008 58	0.010 02
a(2)	0.016 82	0.013 37
a(3)	0.016 88	0.013 51
a(4)	0.016 88	0.013 51
a(5)	0.016 93	0.013 86
a(6)	0.018 95	0.015 76
a(7)	0.024 29	0.021 23
a(8)	0.033 69	0.029 56
a(9)	0.048 09	0.041 05
常数项 c_0	12.601 1	10.994 0
统计检验	$F=28.16>F_{0.01}=4.94$ 通过 $\alpha=0.01$ 检验	$F=58.78>F_{0.01}=4.94$ 通过 $\alpha=0.01$ 检验

3.2 积分回归方程的分析讨论

图 3、4 表明, 深州和定州的偏回归系数随旬序的变化曲线的基本趋势是一致的, 只是在个别地方

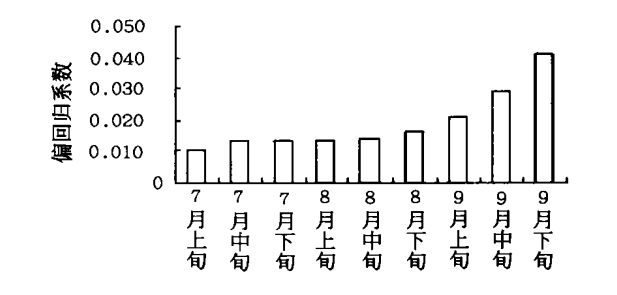


图 3 定州各旬偏回归系数随旬序的变化

(旬)存在细微的不同。(图 2~4)中, 深州和定州的形状更为相像, 而与黄骅的形状差异较大, 这是由于前两个地区基本都在河北省的中部, 气候条件、土壤性质和夏玉米的生长状况比较接近, 而黄骅相对而言, 它位于沧州地区的东部, 靠近大海(向东 20~30 km 即是渤海), 其土壤性质(含盐量很高)、降水、

气候特征和夏玉米的生长状况均与以上两地区有较大的不同,因而,反应在偏回归系数随旬序的变化图上,也就有了这种形状上的差异。

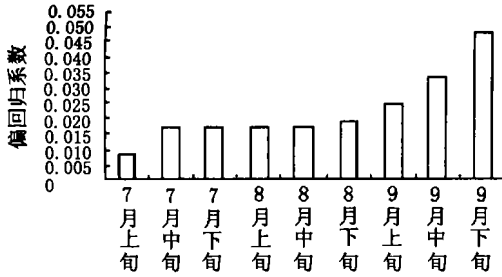


图4 滦州偏回归系数随时间变化

为了说明降水时间分布的不同对底墒的影响,我们选择黄骅地区 1981 年和 1985 年的底墒进行比较,该站 1981 年和 1985 年伏秋季(7~9 月份)累积降水量分别为 533.9 mm 和 497.6 mm,后者比前者少 36.3 mm,但基本在同一水平上,似乎这两年的冬小麦底墒也应该相差无几,至少 1985 年的底墒不会大于 1981 年的。但实际情况是:1981 年的冬小麦底墒量为 19.1%(占干土质量百分比),而 1985 年的则为 22.1%,后者反而比前者大,之所以产生这样的差别,最根本的原因就是该站这两个年份伏秋季降水量分布的差异造成的,1981 年的伏秋季降水只有 2.3 mm 降在 9 月份,另外的绝大多数降落在 8 月中旬以前;而 1985 年 9 月份却有 99.6 mm 的降水量,而且 9 月下旬还有一场 31.6 mm 的降水,所以产生了冬小麦底墒的较大差异,因此可以认为:不仅伏秋季的总降水量影响着冬小麦底墒,而且伏秋季的降水量的分布状况也显著地影响着冬小麦底墒。

公式(6)中不同旬降水量前的偏回归系数是他们对底墒的不同贡献。无论哪一个台站,这种贡献的大小都是越到后期越大,这一变化特征从数学方法上反应了底墒形成的实际情况。

4 结论

由于冬小麦底墒的形成过程相当复杂,使得准确地估算、预测底墒也较困难,但从以上分析,仍然可以看出:

在影响冬小麦底墒的因子中,底墒与伏秋季降水量总和的关系并不十分明显,线性相关系数值相当低,多项式高次幂曲线虽然能够比它在拟合趋势上有所进步,即复相关系数较高,拟合曲线趋势相一

致,但精度有限,且缺乏明确的物理意义,不便于实际应用。

用 7~9 月份 9 个降水量旬值作为因子的积分回归效果最好,能够比较客观准确地反映出各旬降水量对冬小麦底墒的形成作出的不同贡献,即能够从旬降水量大小和时间分布两个角度反映出底墒的形成特点。

逐步回归分析的结果显示:各因子间没有十分明显的贡献差别,尤其是 8 月份和 9 月份各旬降水量对冬小麦底墒的贡献更是难分上下,这也同样符合农业生产的实际情况。

由于目前我们能够收集到的冬小麦底墒资料绝大多数是 50 cm 深的,因此,得到的积分回归方程也只能给出相同深度的底墒,然而,冬小麦的供水层厚度远不止如此,更深层的底墒量的推算,可参考相关文献^[9]。

各个台站的积分回归方程式(8)中的偏回归系数,显著地依赖于该地区的气候条件、土壤特性和前茬作物的平均生长状况。在华北地区,大多数气象台站气候背景大致相同,如果台站间的土壤特性和冬小麦的前茬作物生长状况再一致的话,那么,就可以从有土壤湿度观测纪录的台站得到的积分回归方程,来计算没有土壤湿度观测台站的底墒,从而,为这些地区提供底墒资料,以指导该地区冬小麦播种前的补充灌溉。

参考文献:

- [1] 安顺清,刘庚山,吕厚荃,等. 冬小麦底墒供水特征研究[J]. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 119—127.
- [2] 刘庚山,安顺清,吕厚荃,等. 华北地区不同底墒对冬小麦生长发育及产量影响的研究[J]. 应用气象学报, 2000, 11(增刊): 164—169.
- [3] Lange O L, Kappen L, Schulze E D. Water and Plant Life[M]. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1976.
- [4] 华北作物水分胁迫与干旱研究课题组. 作物水分胁迫与干旱研究[M]. 郑州:河南省科学技术出版社, 1992.
- [5] 韩湘玲,曲曼丽. 黄淮海地区农业气候资源开发利用[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1987.
- [6] 屠其璞,王俊德,丁裕国,等. 气象应用概率统计学[M]. 北京:气象出版社, 1994.
- [7] 魏淑秋. 农业气象统计[M]. 福州:福建科学技术出版社, 1985.
- [8] 徐士良. Fortran 常用算法程序集(第2版)[M]. 北京:清华大学出版社, 1995.
- [9] 吕厚荃,安顺清,刘庚山. 郑州冬麦田底墒推算方法初探[J]. 应用气象学报, 1999, 10(1): 59—65.