

西北地区玉米产量动态业务预报方法探讨*

王建林 杨霏云 宋迎波

(国家气象中心,北京 100081)

摘 要

通过分析西北地区气候生产力与玉米产量的关系,土壤水分与降水量以及土壤水分与降水量和土壤初始含水量之和的关系表明:西北地区降水气候生产力与玉米产量、土壤水分与降水量和土壤初始含水量之和有着显著的相关性。在此基础上,利用玉米生长季内的降水量和播种期的土壤水分含量对 Miami 降水模型进行了改进,应用改进后的 Miami 降水模型开展以月为时间步长的玉米产量动态趋势预报,具有较为理想的业务服务效果。同时,利用此方法评价西北地区降水对玉米生长发育和产量形成的影响也非常适用。但是,由于此方法没有考虑灌溉水的作用,故不适用于灌溉农区。

关键词:气候生产力 土壤水分 玉米产量 动态预报

引 言

我国开展农业气象产量预报业务服务已有十多年的历史,目前,预报对象的种类已达到 9 种(早稻、一季稻、晚稻、冬小麦、玉米、棉花、大豆、油菜和全国粮食总产量),预报的基本方法是统计预报^[1],预报时效一般在作物收获前 1~2 个月,预报准确率也在逐步提高和稳定(见表 1)。但是,我国加入 WTO 以后,现行的预报时效已经不能满足国家的需求,开展动态滚动预报的迫切性越来越高,而动态滚动预报的方法尚不成熟。作者曾经用综合聚类指标的方法对新疆棉区的棉花产量动态预报进行过一些研究^[2],预报效果也比较好,但由于新疆棉区是以灌溉为主,西北玉米产区是以降水为主,所以本文拟采用气候生产力的计算思路,对玉米产量动态业务预报方法做一些探讨。

表 1 1997~2001 年中国主要作物平均单产预报误差

年份	早稻	一季稻	晚稻	冬小麦	玉米	棉花	粮食作物	%
1997	1.50	2.18	1.50	5.99	11.50	7.71		
1998	4.05	4.12	1.75	9.16	4.33	6.34		
1999	2.18	1.12	0.42	1.32	1.11	5.64		0.06
2000	0.88	2.13	5.32	2.34	4.09	3.67		0.11
2001	1.37	1.29	2.18	1.60	2.72	0.61		2.06
平均	2.00	2.17	2.23	4.08	4.75	4.79		0.74

* 国家科技部重大基础性研究项目“中国西部农业和生态的气候资源及灾害数据库”资助。

2003-01-17 收到,2003-03-26 收到修改稿。

1 资料

本文所用的资料来源于“中国西部农业和生态的气候资源及灾害数据库”。资料类型为：山西省昔阳(1981 ~ 2000 年)和长治(1986 ~ 2000 年)、甘肃省礼县(1989 ~ 2000 年)和平凉(1987 ~ 2000 年)、内蒙古自治区准格尔旗(1994 ~ 2000 年)共 68 年的日平均温度(℃)、日降水量(mm)、土壤湿度(%)、玉米发育期、玉米产量(kg·hm⁻²)，以及各站点的土壤容重。

2 气候生产力与产量的关系

有关气候生产力的估算方法已有许多研究成果，本文的目的不是研究如何计算气候生产力，而是通过分析气候生产力和玉米产量的关系，研究如何利用气候生产力开展玉米产量动态业务预报的途径，为此选用计算简便，资料易于获取的 Miami 模型^[3]：

$$B_T = 30000 / (1 + e^{1.315 - 0.119 T}) \tag{1}$$

$$B_N = 30000 (1 - e^{-0.000664 N}) \tag{2}$$

玉米产量资料用下式处理： $B_y = Y / C$ (3)

式中 T 为年平均气温(℃)， N 为年降水量(mm)， B_T 、 B_N 分别为以气温和降水计算的植物干物质产量(kg·hm⁻²)； B_y 为玉米的生物产量(kg·hm⁻²)， Y 为玉米经济产量(kg·hm⁻²)， C 为玉米的经济系数。

通过对上述 5 个农业气象观测站 68 个 B_T 、 B_N 和 B_y 的分析表明， B_T 与 B_y 之间相关不显著，而 B_N 和 B_y 之间的变化存在明显的一致性(见图 1)，并具有显著的相关性(见表 2)。说明西部地区玉米生产与降水的关系较为密切，雨水丰沛的年份，玉米产量一般较高，反之，产量则较低。

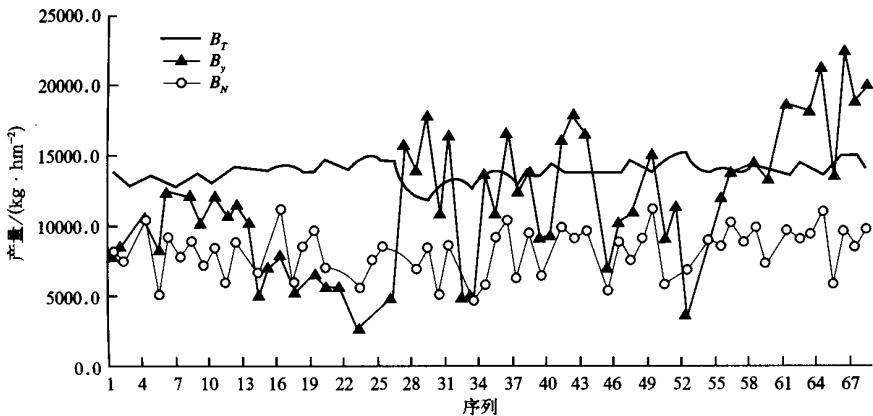


图 1 B_T 、 B_N 与 B_y 的变化曲线

表 2 B_N 和 B_y 的相关性

站名	相关系数	样本长度	置信度检验值	信度
平凉	0.4969	14	0.4575	0.100
礼县	0.7501	12	0.7079	0.010
准格尔	0.9053	7	0.8745	0.010
昔阳	0.5850	20	0.5614	0.010
长治	0.4709	15	0.4409	0.100
总体	0.4978	68	0.4078	0.001

3 土壤水分与降水量的关系

影响农田土壤水分的因素很多,除降水、灌溉、棵间蒸发、作物蒸腾外,还有植被对雨水的截留、地表径流、毛管上升水等等,安顺清等人对土壤水分作过很多研究^[4],本文的重点不是研究土壤水分的变化及其影响因子,而是针对以降水为主的玉米产区,通过分析土壤水分与降水的关系,研究在没有土壤水分实际观测资料的情况下,能够用降水量简单计算某一时刻土壤水分的业务应用方法。

$$R_{Ki} = \sum_{j=1}^k R_{i,j} \quad (4)$$

$$W_i = 200 \times S_i \times \rho \quad (5)$$

$$P_i = W_{i-1} + R_{Ki} \quad (6)$$

式中 R_{Ki} 为两次土壤水分观测之间的降水量, $R_{i,j}$ 为两次土壤水分观测之间某一天的降水量, k 为两次土壤水分观测之间的天数; W_i 为某一时刻 0~20 cm 的土壤水分(m), S_i 为某一时刻农业气象观测站观测的土壤湿度(%), ρ 为观测地点 0~20 cm 的土壤容重; P_i 为两次土壤水分观测之间的降水量与上一次观测时的土壤水分之和, W_{i-1} 为上一次观测时的土壤水分。

通过对 W_i 与 R_{Ki} 、 P_i 的相关分析发现,由于两次土壤水分观测之间一般为 10 天(或 5 天),西北地区在这一期间的 R_{Ki} 通常较小,加之蒸发、植株截留等原因, W_i 与 R_{Ki} 之间的关系显著性不明显,而 P_i 因为包含了上一次观测时的土壤水分,即前期降水的作用,所以 W_i 与 P_i 之间某些年份有着显著的相关性(见表 3),另一些年份的相关性较差。

表 3 长治、礼县等站 W_i 与 P_i 的相关性

	年代	样本长度	相关系数		年代	样本长度	相关系数
长治	1994	29	0.7568	昔阳	1981	17	0.7335
	1997	27	0.8304		1994	22	0.7766
	1998	27	0.9860		1995	16	0.9038
	1999	28	0.7663		1996	25	0.7296
	2000	28	0.7226		1998	23	0.7925
礼县	1995	8	0.7887	2000	15	0.7224	
准格尔	1994	15	0.7423	平凉	1989	10	0.8823

对相关性显著年份的所有 290 个资料研究分析表明,西北玉米产区的土壤水分 W_i

与 P_i 存在着明显的函数关系(见图 2)。

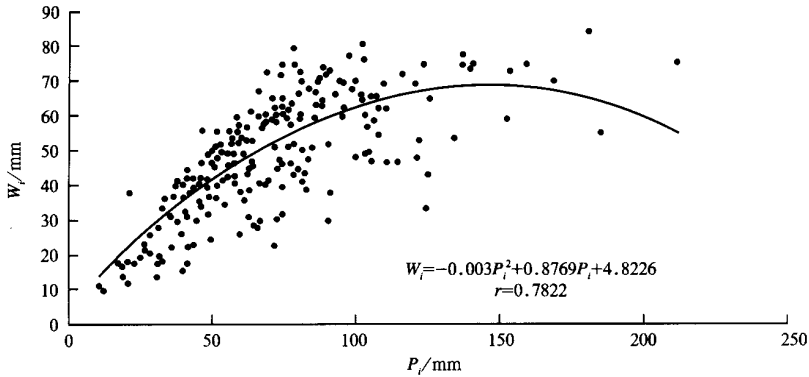


图 2 W_i 与 P_i 的关系

上述结果表明:我国西北玉米产区的土壤水分与自然降水在一定程度上有着密切的关系,利用降水量和土壤初始含水量预测未来的土壤水分在一定条件下是可行的。

4 动态业务预报模型的建立

根据以上分析,西北地区玉米产量与当地的气候生产力(B_N)有相当密切的关系,说明利用 B_N 的变化研究玉米产量的变化是可行的。

4.1 Miami 模型的改进

式(2)中 N 为全年降水量,而玉米生长期一般在 4 月中下旬至 9 月中下旬,为此将式(2)改写为:

$$B_{wp} = 30000(1 - e^{-0.000664 W_p}) \tag{7}$$

$$W_p = W_0 + \sum_{j=d_1+1}^{d_2} R_j \tag{8}$$

式中 B_{wp} 为利用 W_p 计算的气候生产力, W_p 为玉米播种期 0 ~ 20 cm 的土壤水分与全生育期的降水量之和, W_0 为播种期的土壤水分, R_j 同上, d_1 为播种期, d_2 为收获期。研究表明 B_N 与 B_{wp} 虽然在数值上不同,但二者的变化却是完全一致的。表 4 给出了 B_{wp} 与玉米产量(Y)的相关性及增减变化趋势。

表 4 平凉、礼县等站 B_{wp} 与 Y 的相关性及增减变化趋势

	相关系数	趋势正确率(%)
平凉	0.6019	92.3
礼县	0.7536	81.8
准格尔	0.9271	83.3
昔阳	0.9975	78.9
长治	0.4746	85.7
总体	0.5186	84.1

从表 4 可以看出,利用玉米全生育期的降水量和播种期的土壤水分计算的气候生产力与玉米产量仍然存在显著的相关性,且相关系数与表 2 相比也有不同程度的提高;同时, B_{wp} 的增减趋势与玉米产量丰歉趋势的一致性在 78.9% 以上。说明对式(2)的改进是

可行的,利用式(7)、(8)以及 W_i 与 P_i 的关系开展玉米产量趋势预报,其结果基本能够满足业务服务的需求。

4.2 动态业务预报模型的建立

根据玉米生长特点和业务服务的需要,以月为时间步长开展动态预报较为合适。西北地区玉米一般在4月中旬至5月上旬播种,9月中旬至10月上旬收获。为此,第一次预报时间定为5月20日(t_1),此时玉米基本上处于出苗至七叶期;第二次预报时间定为6月20日(t_2),此时大部分玉米处于七叶至拔节期;第三次预报时间定为7月20日(t_3),此时大部分玉米处于拔节至抽雄期;第四次预报时间定为8月20日(t_4),此时大部分玉米处于抽雄至开花吐丝期;第五次预报时间定为9月20日(t_5),此时玉米处于灌浆至成熟阶段。

根据以上预报时间,将式(8)写为:

$$W_P = W_0 + \sum_{j=d_1+1}^{t_1} R_j + \sum_{j=t_1+1}^{t_2} R_j + \sum_{j=t_2+1}^{t_3} R_j + \sum_{j=t_3+1}^{t_4} R_j + \sum_{j=t_4+1}^{t_5} R_j \quad (9)$$

假设: $Z_1 = W_0 + \sum_{j=d_1+1}^{t_1} R_j, \quad Z_2 = \sum_{j=t_1+1}^{t_2} R_j, \quad \dots \dots$

则 $W_P = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5$

式(7)变为:

$$\begin{aligned} B_{wp} &= 30000(1 - e^{-0.000664(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)}) \\ &= 30000(1 - e^{-0.000664 Z_1} \times e^{-0.000664(Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5)}) \\ &= 30000(1 - e^{-0.000664(Z_1 + Z_2)} \times e^{-0.000664(Z_3 + Z_4 + Z_5)}) \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \quad (10)$$

假设: $D_1 = e^{-0.000664 Z_1} \quad D_2 = e^{-0.000664(Z_1 + Z_2)} \quad \dots \dots$
 $D_5 = e^{-0.000664 W_P}$

在实际业务预报中,每一次预报,只要计算出相应的 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 ,再利用式(11)计算相邻两年的增减百分率即可。

$$\Delta D_{n,t} = - (D_{n,t} - D_{n-1,t}) / D_{n-1,t} \times 100\% \quad (11)$$

式中 $\Delta D_{n,t}$ 为相邻两年某次预报 $D_{n,t}$ 与上一年对应的 $D_{n-1,t}$ 增减百分率, n 为年代, t 为预报时次,其值为 1~5; $\Delta D_{n,t}$ 大于 0 为增产, $\Delta D_{n,t}$ 小于 0 为减产。计算结果详见表 5。

从表 5 可知,利用此方法开展动态预报尽管增减幅度有一定的差距,但增减趋势的正确率还比较高,5 次预报的多年平均正确率分别达到 58.7%、68.3%、84.1%、82.5%、84.1%,即 5 月 20 日第一次预报的正确率多年平均值较低,6 月 20 日第二次预报的正确率增加了近 10%,7 月 20 日以后的 3 次预报正确率都在 80% 以上,具有一定的业务应用价值。从表 5 还可以看出,利用此方法评价西北地区降水对玉米生长发育和产量形成的影响也非常适用。如平凉 1999 年玉米播种(4 月 13 日)至 5 月 20 日的降水量(含播种期的土壤水分)较 1998 年同期偏少 25.6%,计算得出的产量较 1998 年减产 3.4%;5 月 20 日至 6 月 20 日降水量较 1998 年同期增加 69.7%,但播种以来的总降水量仍偏少 8.7%,计算结果产量减产 1.5%;6 月 20 日至 7 月 20 日降水量较 1998 年同期增加 23.1%,但播

表5 平凉、昔阳等站不同时间的预报结果(%)与产量丰歉(%)对比

	年代	5月	6月	7月	8月	9月	产量		年代	5月	6月	7月	8月	9月	产量	
		20日	20日	20日	20日	20日	丰歉			20日	20日	20日	20日	20日	丰歉	
平凉	1988	3.2	-1.7	0.4	-0.1	-3.7	9.2	礼县	1990	2.3	0.6	5.3	4.7	14.0	12.3	
	1989	-1.0	1.1	-0.3	1.3	6.0	20.0		1991	-5.2	-2.4	-8.6	-12.7	-22.2	-31.0	
	1990	3.3	0.3	2.4	3.8	4.3	3.7		1992	-0.3	2.5	4.1	7.8	10.1	11.7	
	1991	-5.5	-0.1	-6.6	-14.6	-20.1	-20.4		1993	1.0	-0.7	4.7	5.6	3.2	8.6	
	1992	-0.2	0.9	3.6	14.4	16.0	50.2		1994	-0.6	-3.2	-6.2	-10.4	-12.6	-15.3	
	1993	0.7	-5.7	-4.4	-11.7	-10.2	-5.4		1995	0.4	-0.2	-1.9	-1.7	1.9	-0.7	
	1994	1.2	6.1	10.4	7.2	5.3	2.8		1996	1.1	1.0	0.2	0.6	-1.9	-33.1	
	1995	-1.7	-5.6	-10.3	-7.8	-4.2	-17.2		1997	-1.4	-2.5	-2.9	-3.0	-7.0	-29.3	
	1996	0.0	3.7	5.4	5.8	4.6	19.3		1998	3.4	4.7	5.2	9.0	10.0	65.7	
	1997	0.9	-5.0	-8.5	-7.2	-12.8	-11.2		1999	0.1	-0.5	0.8	0.4	4.0	9.5	
昔阳	1998	6.5	8.7	13.2	8.5	12.0	7.0	准格尔	2000	-4.1	-3.4	-4.6	-7.6	-6.1	2.4	
	1999	-3.4	-1.5	0.6	0.3	-1.6	-9.5		1995	0.6	0.9	-3.0	-10.0	-3.1	-11.7	
	2000	-5.6	-5.9	-14.5	-11.1	-11.7	-50.9		1996	-1.1	-0.4	1.9	2.6	0.6	27.2	
	1982	1.0	-2.9	-4.5	3.9	8.7	-20.9		1997	3.0	2.6	-0.7	-3.1	-9.5	-39.3	
	1983	4.2	6.5	10.1	-1.3	3.3	52.8		1998	1.9	3.8	10.6	8.6	11.6	51.8	
	1984	-1.8	-4.4	-4.9	-10.1	-18.1	-25.0		1999	0.4	-1.0	-10.4	-13.3	-14.3	-70.5	
	1985	-1.1	-2.1	0.5	3.1	11.0	12.1		2000	-5.0	-4.4	-2.2	0.5	-0.8	6.7	
	1986	0.4	-0.3	-1.2	-3.1	-13.5	-33.5		长治	1987	-0.3	5.1	4.1	-3.7	-2.6	18.6
	1987	-2.3	4.4	4.4	6.5	7.4	0.8			1988	1.4	-5.3	4.8	13.9	12.7	17.9
	1988	1.5	-2.2	3.7	8.1	9.6	74.2			1989	-0.3	5.1	-9.3	-13.2	-15.0	0.0
1989	-0.8	1.9	-7.5	-5.9	-6.4	9.0	1990	0.6		-0.6	1.0	-2.3	2.6	0.5		
1990	0.2	0.5	3.6	-4.9	-1.4	-5.9	1991	-1.7		-2.2	-1.5	-3.0	-6.2	-7.1		
1991	-0.5	-1.4	-5.0	-5.9	-6.3	-42.4	1992	2.5		0.7	3.5	4.4	3.7	15.1		
1992	1.9	-4.4	-4.6	-2.2	-6.6	-27.5	1993	-0.2		-1.9	0.1	1.1	1.0	22.9		
1993	-2.3	-1.2	4.1	10.1	10.2	47.9	1994	0.0		0.7	0.0	-4.6	-4.3	-2.4		
1994	0.6	0.4	3.2	-4.2	-7.7	6.0	1995	-1.9		-1.7	-7.6	5.2	8.1	-0.4		
1995	-0.8	4.9	-1.4	4.3	13.2	25.4	1996	-0.3		2.1	8.5	9.6	9.1	16.5		
1996	4.7	1.6	7.7	23.3	19.8	9.4	1997	-0.6	-3.0	-14.3	-28.8	-34.6	-36.0			
1997	-4.4	-7.1	-17.5	-49.1	-50.7	-39.6	1998	3.9	5.6	16.0	16.7	22.1	66.3			
1998	4.7	5.2	9.2	7.4	5.6	27.0	1999	-4.2	-3.4	-4.3	-4.6	-7.9	-16.2			
1999	-5.7	-4.0	-6.9	0.0	1.0	-69.1	2000	1.0	-1.3	-1.5	1.3	1.3	6.2			
2000	-0.9	-2.3	3.4	3.3	3.6	120.5	趋势正确率%	58.7	68.3	84.1	82.5	84.1	—			

种以来的总降水量仅增加3.0%,计算结果产量增加0.6%;7月20日至8月20日降水量较1998年同期减少10.1%,但播种以来的总降水量增加1.7%,计算结果产量增加0.3%;8月20日到收获期(9月18日)降水量较1998年同期减少46.0%,但播种以来的总降水量减少4.3%,计算结果产量减产1.6%。1999年平凉玉米单产比1998年减产9.5%。虽然二者的减产幅度有一定差异,但减产的趋势是一致的,减幅不同的原因是因为1999年玉米的减产除受干旱影响外,还受到种植结构调整等社会经济因素的影响。

5 讨论与分析

综上所述,利用改进后的Mia mi降水模型开展西北地区以降水为主的玉米产量动态业务预报有一定的应用价值,不仅预报时效比常规方法大大提前,而且趋势预报正确率也基本能够满足业务服务的需要。利用该方法评价降水对玉米生长发育和产量形成的影响,既可以评价某一阶段降水的影响,也可以评价播种以来总的水分状况对玉米的影响,

对现行以旬为单位的农业气象情报具有较大的促进作用。另外,动态预报改进了现行农业气象产量预报对农业生产指导作用较小的特点,可以根据气象条件(降水)的利弊影响,及时发布产量趋势预报,指导农业生产者采取相应措施,趋利弊害,确保玉米等作物稳产高产。

由于本文提出的动态预报方法只考虑了降水的影响,没有考虑灌溉水的作用,因此仅适用于没有灌溉条件的以降水为主的西部农区(或草场)。实际上,在预报中还应考虑温度、日照等气象因素的影响;而且影响玉米产量的因素除气象条件之外,还有种子、种植方式、农业投入、农业政策等多种因素,特别是在范围较小的区域,后者的影响程度可能更大,完全有可能导致此方法的定量预报准确率降低。所以,在实际业务服务中,不能只依靠该方法,应结合其它预报方法和经验订正,使趋势预报和定量预报均达到理想的效果。

参考文献

- 1 王馥棠,李郁竹,王石立.农业产量气象模拟与模型引论.北京:科学出版社,1990.1~104.
- 2 王建林,宋迎波.棉花产量动态预测方法研究.中国棉花,2002.29(9):5~7.
- 3 高素华.中国农业气候资源及主要作物产量变化图集.北京:气象出版社,1995.14~19.
- 4 华北平原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.郑州:河南科学技术出版社,1991.4~30.

METHOD RESEARCH FOR OPERATIONAL DYNAMIC FORECASTING OF MAIZE YIELD IN NORTH WEST OF CHINA

Wang Jianlin Yang Feiyun Song Yingbo

(National Meteorological Center, Beijing, 100081)

Abstract

The study of the relationship between climatic productivity and maize yield, and the relationship between soil water content and precipitation, and the relationship between soil water content and the sum of precipitation and initial soil water content in the North west China is showed that the correlation between climatic productivity of precipitation and maize yield, and the correlation between soil water content and the sum of precipitation and initial soil water content in local area are obvious. Based on them, Miami model of precipitation was improved by soil water content of sowing time and precipitation during maize growing period. The improved Miami model of precipitation is better in operational dynamic forecasting of maize yield trend every month. And also, it is practicable in assessment of precipitation influence on growth and development and dry matter accumulation of maize using this method in the Northwest China. But it is not suitable for the irrigating areas, because temperature and solar hour etc. were not considered in this method.

Key words: Climatic productivity Soil water content Maize yield dynamic forecasting