

基于气象关键因子的河南省夏玉米产量预报研究

李树岩, 刘伟昌

(中国气象局·河南省农业气象保障与应用技术重点实验室/河南省气象科学研究所, 河南 郑州 450003)

摘 要:以河南省 13 个地市 1990—2006 年逐旬光温水气象资料为基础,通过相关分析确定了影响河南省夏玉米产量的关键气象因子,建立了 7 月中旬—9 月中旬的夏玉米气象产量预报模型。将全省由南至北划分为三个区域,分区回代 1990—2006 年资料对模型预报准确率进行回代检验,并利用 2007—2010 年资料对模型进行试报。检验结果表明,模型回代准确率全省为 88.4%,不同区域间回代准确率差异明显,北部最高 92.9%,中部次之 87.4%,南部最低 83.4%,分析原因主要受夏玉米产量年际波动的影响;模型预报准确率全省为 94.9%,各区域差别不大,基本在 95% 左右。

关键词:产量预报;关键气象因子;夏玉米

中图分类号: S162.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0223-05

Research on the yield prediction of summer maize in Henan Province based on meteorological key factors

LI Shu-yan, LIU Wei-chang

(China Meteorological Administration/Key Laboratory of Agrometeorological Safeguard and Applied Technique in He'nan Province/He'nan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou, He'nan 450003, China)

Abstract: Base on 10-days meteorological data of average air temperature, precipitation and sunshine hours in summer maize growth period from 1990 to 2006 from 13 Cities of Henan Province, the key meteorological factors affected maize yield has been confirmed though the correlation analysis, also has established the meteorological yield prediction model for summer maize from the middle 10-days of July to the middle 10-days of September. The whole province can be divided into three regions from south to north. The forecast accuracy of the model was carried out the back substitution test by the regional return test from the data of 1990 to 2006, also the model was carried out the predictions test by the data of 2007 to 2010. The test results showed that: The accuracy rate of the model back substitution test in whole province was 88.4%. The difference of the back substitution test accurate rate was obvious between different regions, the maximum in north region was 92.9%, middle region was 87.4% belong second, and south region was lowest as 83.4%. Analyzing the causes, major affected by the yearly fluctuation of the summer maize yield. The model prediction accuracy rate was 94.9% in whole province, and it has no obvious differences for each region, the basic accuracy was about 95%.

Keywords: yield prediction; key meteorological factors; summer maize

夏玉米是河南重要的粮食作物,其产量波动将直接影响全年粮食生产的稳定性。随着社会经济的发展,对农业产量预报的需求日益增加,准确预报作物产量变化,为农业生产提供预测信息,对保障粮食安全和农业发展具有重要意义。从 20 世纪 80 年代中后期开始,我国就已经开始研究农作物产量的预报方法^[1-4],近年来逐渐由固定时间、静态的预报发展为在农作物全生育期、连续的、动态的预报^[5-7],并应用于水稻、小麦、油菜、棉花等主要农作物产量预报业务中。具体的预报方法主要分为两类,一是

收稿日期:2013-11-22
基金项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206022)
作者简介:李树岩(1979—),女,河北唐山人,硕士,高级工程师,从事农业气象灾害风险评估、气候资源利用及作物模型应用等研究。
E-mail: lsy-126com@126.com。

基于统计原理而建立,主要包括丰歉指数法^[8]、适宜度指数^[9-11]、气象关键因子^[12-14]等,目前应用较为广泛;二是基于作物模型的产量预测方法^[15-16],是未来发展的重要方向,但目前在业务中应用还面临很多问题。鉴于气象关键因子方法较为成熟,但在河南夏玉米产量预报工作中未得到充分应用,本文拟建立基于气象关键因子的产量预报模型,为提高夏玉米产量预报的业务服务水平提供方法支撑。

玉米最终产量的形成是播种到成熟期各个生育期生物量不断积累的过程,温度、降水、光照等气象条件贯穿整个生长过程,是影响其生长发育的基础,也是影响产量形成的重要因素^[17],在某个生育期内,如果光、温、水中的其中一个因素或几个因素对产量形成起到关键作用,就可以认为这些因素就是影响产量形成的关键气象因子。本文拟利用夏玉米单产和生育期内多年气象资料,以旬为步长,分析夏玉米全生育期内各旬平均气温、降水量、日照时数与气象产量的相关性,筛选出显著相关的关键气象因子,建立气象产量动态预报的多元回归模型,并应用该模型实现夏玉米产量动态预报。

1 资料与方法

1.1 资料来源

在全省选择安阳、焦作、开封、洛阳、漯河、南阳、平顶山、商丘、新乡、许昌、郑州、周口和驻马店 13 个夏玉米主产地市作为研究区域。所用产量资料来源于河南省统计年鉴。气象资料包括逐旬平均气温、旬降水量、旬日照时数,来源于河南省气象局。资料年代均为 1990—2010 年。为比较不同地区模型预报误差的大小,根据地理位置将全省划分为北、中、南部三个区域,其中北部地区包括安阳、新乡、焦作、郑州和开封,中部地区包括洛阳、许昌、平顶山和商丘,南部地区包括南阳、漯河、驻马店和周口。

1.2 研究方法

1.2.1 产量资料处理 粮食产量可分解为社会经济因素决定的趋势产量、气象因素决定的气象产量和偶然因素造成的随机产量^[18],即

$$Y = Y_h + Y_m + \delta \tag{1}$$

式中, Y 为实际产量, Y_h 为趋势产量, Y_m 为气象产量, δ 为随机产量,通常可以忽略不计。趋势产量可以通过拟合函数从实际产量中分离出来,本研究采用 5 a 滑动平均法^[19],拟合趋势产量。用实际产量减去趋势产量,则得到气象产量由 1990—2010 年安阳

市夏玉米单产变化曲线图(图 1)可见,趋势产量与实际产量的变化趋势基本一致。

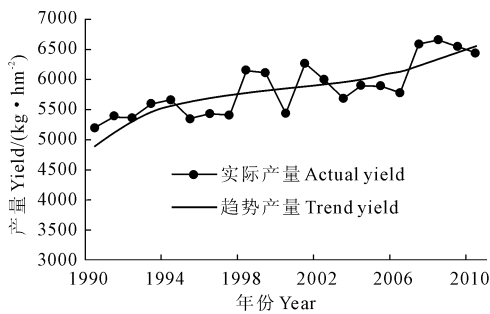


图 1 安阳市 1990—2010 年产量变化曲线

Fig.1 The variation curve of yield from 1990 to 2010 in Anyang City

利用实际产量减去趋势产量得到气象产量 Y_m , 由于不同地区的产量水平有较大差异,为了便于比较,将气象产量转化为相对气象产量,见公式(2), Y_r 为相对气象产量,以百分率(%)表示。

$$Y_r = Y_m / Y_b \tag{2}$$

1.2.2 关键气象因子选择 河南夏玉米生长季主要集中在 6—9 月份,一般 6 月上旬播种,9 月中下旬收获。根据夏玉米生育期特点,以旬为单位将夏玉米全生育期划分为 12 旬,分析气象产量与每旬平均气温、降水量、日照时数的相关关系,另外考虑 5 月份降水对玉米播种前底墒的影响,引入 5 月份降水量作为相关因子,将通过显著性检验的因子作为影响夏玉米产量的关键气象因子。结果显示:5 月下旬—6 月中旬降水量,6 月上旬日照时数,6 月下旬降水量,7 月中旬平均气温和日照时数,7 月下旬平均气温、降水量和日照时数,8 月上旬平均气温,8 月中旬平均气温,8 月下旬降水量和日照时数,9 月上旬降水量,9 月中旬日照时数等因子与气象产量呈显著相关。其中 6 月上旬夏玉米大多处于播种—出苗期,出苗前日照时数对玉米生长基本无影响,因此舍弃“6 月上旬日照时数”这一因子,共筛选出 13 个关键气象因子见表 1。

上述关键气象因子具有较明显的生物学意义,分别反映了夏玉米出苗、拔节、抽雄开花、灌浆期等正常生长对光温水气象条件的需求。一般情况下,5 月下旬—6 月中旬为夏玉米播种—七叶期,此期间水分是主要限制因子,水分不足将直接影响出苗率和幼苗生长,因此水分条件与夏玉米产量呈显著正相关。6 月下旬夏玉米主要处于七叶—拔节期,是根部生长的重要时期,适当的干旱可以促进根系下扎,水分过多会造成植株旺长,根系纤弱,降低后期对倒伏、干旱等灾害的抵抗能力,这也是通常农业生

产所说的“蹲苗”的作用,因此夏玉米产量与水分呈极显著负相关与日照时数呈极显著正相关。7月下旬—8月上旬夏玉米处于抽雄开花期,对高温、干旱很敏感,高温会造成花粉活力下降,影响花丝授粉穗粒数降低,同时又是需水临界期,对水分要求较高。8月上旬—8月下旬夏玉米处于灌浆期,是产量形成最重要的时期,这一时期需水量大,但由于实际生产

很大程度上受到灌溉措施影响,因此在关键因子相关性分析中降水量没有通过显著性检验,在水分条件满足情况下主要受温度和日照影响。9月份为灌浆后期,需要较好的光热条件,降水过多、日照偏少不利于后期干物质的转移,因此气象产量与降水量呈显著负相关与日照时数呈显著正相关。

表 1 筛选的关键气象因子及与气象产量的相关系数					
Table 1 The correlation coefficient of screened key meteorological factors with meteorological yield					
编号 No.	关键气象因子 The key meteorological factor	相关系数 Correlation coefficient	编号 No.	关键气象因子 The key meteorological factor	相关系数 Correlation coefficient
1	5月下旬—6月中旬降水量 Precipitation from late May to mid June	0.146 *	8	8月上旬平均气温 Average temperature in beginning Aug.	-0.315 **
2	6月下旬降水量 Precipitation in late June	-0.155 *	9	8月中旬平均气温 Average temperature in mid Aug.	0.155 *
3	7月中旬平均气温 Average temperature in mid July	0.389 **	10	8月下旬降水量 Precipitation in late Aug.	-0.353 **
4	7月中旬日照时数 Sunshine in mid July	0.336 **	11	8月下旬日照时数 Sunshine in late Aug.	0.183 *
5	7月下旬平均气温 Average temperature in late July	-0.336 **	12	9月上旬降水量 Precipitation in beginning Sept.	-0.206 **
6	7月下旬降水量 Precipitation in late July	0.223 **	13	9月中旬日照时数 Sunshine in mid Sept.	0.152 *
7	7月下旬日照时数 Sunshine in late July	-0.304 **			

注: * 和 ** 分别表示通过 0.1 和 0.01 水平的显著性检验。

1.2.3 气象产量预报模型的建立 为实现以旬为步长的夏玉米产量滚动预报,以 13 个夏玉米主产地市 1990—2006 年气象及产量资料,建立气象产量预报模型。7月中旬河南夏玉米一般进入拔节期,气象条件对夏玉米生长及产量形成已产生了较大影响,因此起报时段设定为 7月中旬,结束时段为 9月中旬。选取起报时段之前的所有关键气象因子作为自变量(如,8月上旬用 $b_1 \sim b_7$ 共七个因子建模),气象产量作为因变量,采用多元线性逐步回归的方法,建立气象产量动态预报模型如公式(3)。在多元逐步回归中,并非所有因子都能进入最终模型,因此

在各旬的预报模型中,最终仅 $b_1、b_2、b_3、b_5、b_7、b_8、b_{10}$ 共 7 个因子参与了建模,其他影响系数较小的因子被舍弃。夏玉米气象产量的动态预报模型在各个预报时段的参数如表 2。

$$Y_m = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i$$

(3)

式中, Y_m 表示相对气象产量, X_i 表示第 i 个关键气象因子, b_0 为常数, b_i 为系数,均随着预报因子数量的增加发生变化, $n = 13$ 为筛选出的气象关键因子个数。

表 2 夏玉米产量预报模型线性回归系数								
Table 2 The linear regression coefficients of the forecasting model for summer maize yield								
起报时段 Begin forecast time	b_0	b_1	b_2	b_3	b_5	b_7	b_8	b_{10}
7月中旬 Mid July	-0.380	0.038	-0.041					
7月下旬 Late July	-88.400		-0.052	3.374				
8月上旬 beginning of July	-11.820		-0.059	2.559	-1.964			
8月中旬 Mid Aug.	61.620		-0.055	2.220	-1.755		-2.604	
8月下旬 Late Aug.	61.620		-0.055	2.220	-1.755		-2.604	
9月上旬 beginning of Sept.	6.174		-0.043	2.043		-0.109	-1.796	-0.085
9月中旬 Mid Sept.	6.174		-0.043	2.043		-0.109	-1.796	-0.085

2 结果与分析

2.1 模型预报效果检验方法

将模拟所得相对气象产量乘以趋势产量,再加上趋势产量,得到模拟产量,最后与实际产量相比较,用准确率进行模型预报效果检验。

$$\text{准确率} = [1 - |(\text{模拟产量} - \text{实际产量})| / \text{实际产量}] \times 100\% \quad (4)$$

2.2 模型 1990—2006 年回代检验

将 1990—2006 年气象资料回代预报模型,计算各起报时段的夏玉米气象产量,并计算产量预报准

确率。为判定模型在区域应用的准确性,根据所划分的北、中、南三个地区,分别统计模型回代检验准确率,见表 3。结果表明由北至南模型回代检验准确率不断降低。其中北部地区最高,各旬在 92.6%~93.2%之间,平均为 92.9%。中部地区模型检验准确率在 87.3%~88.1%之间,平均为 87.4%。南部地区各旬检验准确率最低,在 80.8%~84.5%之间,平均为 83.4%。全省各旬平均预报准确率为 88.4%,且随起报时段的推后,预报准确率不断提高。

表 3 产量预报模型 1990—2006 年回代检验准确率/%								
Table 3 The return test accuracy rate of the yield forecasting model from 1990 to 2006								
区域 Area	7 月中旬 Mid July	7 月下旬 Late July	8 月上旬 beginning of Aug.	8 月中旬 Mid Aug.	8 月下旬 Late Aug.	9 月上旬 beginning of Sept.	9 月中旬 Mid Sept.	平均 Average
南部地区 The southern area	80.8	82.8	83.5	83.9	83.9	84.5	84.5	83.4
中部地区 The central area	87.1	87.5	87.0	87.5	87.5	87.3	87.3	87.4
北部地区 The northern area	92.6	92.7	92.7	92.9	92.9	93.2	93.2	92.9
全省 The whole province	87.8	88.2	88.3	88.6	88.6	88.9	88.9	88.4

由以上分析可知,各区域或全省在不同起报时段回代检验准确率差异不大,总体上是随着预报时间推后而提高,但各区域之间回代检验准确率差异较明显,分析其原因发现,主要与各地区夏玉米产量年际变化幅度相关。计算各地市 1990—2006 年夏玉米产量变异系数,结果如表 4 所示。由产量变异系数的分布来看,豫北的安阳、新乡变异系数最小仅

5%左右,豫东南周口、驻马店地区最大接近 30%。各区域由北向南夏玉米产量变异系数不断增大,平均分别为 10.6%、17.9%和 22.5%,产量波动大小与预报模型的回代检验准确率呈负相关,即年际间产量变化幅度越大,利用该模型进行产量预报的准确率越低。

表 4 13 个地市 1990—2006 年夏玉米产量变异系数/%								
Table 4 The variation coefficient of summer maize yield in 13 Cities from 1990 to 2006								
北部地区 The northern area			中部地区 The central area			南部地区 The southern area		
安阳 Anyang	5.6		洛阳 Luoyang	22.0		漯河 Luohe	17.1	
焦作 Jiaozuo	10.5		平顶山 Pingdingshan	13.9		南阳 Nayang	16.2	
开封 Kaifeng	18.7		商丘 Shangqiu	25.7		周口 Zhoukou	26.3	
新乡 Xinxiang	5.7		许昌 Xuchang	10.2		驻马店 Zhumadian	30.3	
郑州 Zhengzhou	12.3		—	—		—	—	
平均 Average	10.6		平均 Average	17.9		平均 Average	22.5	

2.3 模型 2007—2010 年预报检验

利用 2007—2010 年资料,对各起报时段对的夏玉米产量进行试报,结果见表 5。由北到南各区域预报准确率平均分别为 95.4%、95.2%和 94.0%,区域之间差异不大,全省平均为 94.9%,且不同的预报时效之间无显著差异。对比模型回代检验误差

和预报误差可知,2007—2010 年的模型预报准确率明显提高,主要是由于 2007—2010 年夏玉米产量变化较稳定,各地市产量变异系数一般在 0.8%~5.9%范围内波动,区域平均变异系数北向南分别为 1.2%、2.8%和 3.3%,对模型预报误差的影响较小。

表 5 产量预报模型 2007—2010 年预报准确率/%

Table 5 The forecast accuracy rate of yield forecasting model from 2007 to 2010

区域 Area	7 月中旬 Mid July	7 月下旬 Late July	8 月上旬 Beginning of July	8 月中旬 Mid Aug.	8 月下旬 Late Aug.	9 月上旬 Beginning of Sept.	9 月中旬 Mid Spet.	平均 Average
南部地区 The southern area	93.9	94.5	94.1	93.4	93.4	94.4	94.4	94.0
中部地区 The central area	96.2	95.0	96.2	95.0	95.0	94.6	94.6	95.2
北部地区 The northern area	95.8	94.5	96.1	95.2	95.2	95.3	95.3	95.4
全省 The whole province	95.3	94.6	95.5	94.6	94.6	94.8	94.8	94.9

3 结论与讨论

利用 1990—2006 年夏玉米生长季逐旬气象资料和产量资料,通过相关分析确定了影响河南省夏玉米产量的关键气象因子,并以此为据建立夏玉米 7 月中旬—9 月中旬的气象产量动态预报模型。利用模型对 1990—2006 年夏玉米产量进行回代模拟,模型回代检验准确率全省为 88.4%,受夏玉米产量年际波动的影响,不同区域间模型回代准确率差异明显,北部最高 92.9%,中部次之 87.4%,南部最低 83.4%。利用 2007—2010 年气象和产量资料对模型进行试报检验,预报准确率全省为 94.9%,各区域差别不大,基本在 95%左右。利用该模型预报夏玉米单产准确率较高,一定程度上能够满足业务和服务需要。

基于关键气象因子建立的气象产量动态预报模型方法简单、参数少,易于使用。但在建模原理上存在一些不足,基于统计方法的气象产量预报模型还存在一定的局限性,主要体现在:① 建模时将光、温、水各要素剥离开来,分析其中一个条件对产量的影响,有一定的片面性,且未考虑作物生长自我恢复和人工栽培措施的影响;② 由于受关键因子所在时段限制,时效性较差,在进行逐旬动态预报时,各旬预报精度差异不大,其滚动预报的优势不明显;③ 在回代模型检验中个别年份的预报准确率很低,如 2003 年的周口、驻马店、商丘、南阳等地区,由于发生大面积水洪涝灾害,夏玉米减产严重,实际产量仅相当于正常年份的 20% ~ 50%左右,模型预报准确率低于 50%,因此模型在预报因子处于异常状态下效果较差。

参 考 文 献:

[1] 韩永翔,伊 东.作物产量预报新方法研究[J].干旱地区农业

研究,2002,20(3):124-127.

[2] 姜丽霞,王育光,孙孟梅,等.黑龙江省玉米产量预报模式的研究[J].中国农业气象,2004,25(1):13-16.

[3] 苍艳萍,杨 松,孔德胤.粮食作物产量动态预报技术研究[J].科技资讯,2003,2,164.

[4] 钱 拴,王建林.农业气象作物产量预报的特点与思考[J].气象科技,2003,(5):33-38.

[5] 郑昌玲,杨霁云,王建林,等.早稻产量动态预报模型[J].中国农业气象,2007,28(4):412-416.

[6] 宋迎波,王建林,陈 晖,等.中国油菜产量动态预报方法研究[J].气象,2008,34(3):93-99.

[7] 王建林,杨霁云,宋迎波.西北地区玉米产量动态业务预报方法探讨[J].应用气象学报,2004,15(1):51-57.

[8] 杜春英,李 帅,王瞭踪,等.基于历史产量丰歉影响指数的黑龙江省水稻产量动态预报[J].中国农业气象,2010,31(3):427-430.

[9] 魏瑞江,宋迎波,王 鑫.基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法[J].应用气象学报,2009,20(5):622-627.

[10] 游 超,蔡元刚,张玉芬.基于气象适宜指数的四川盆地水稻气象产量动态预报技术研究[J].高原山地气象研究,2011,31(1):51-55.

[11] 赵 峰,千怀遂,焦士兴,等.农作物气候适宜度模型研究[J].资源学报,2003,11(6):76-82.

[12] 魏中海,王建勇,夏宣炎.粮食产量预测的因子处理和建模方法[J].华中农业大学学报,2004,23(6):680-684.

[13] 唐余学,罗攀攀,范 莉,等.基于关键气象因子的中稻单产动态预报[J].中国农业气象,2011,32(1):140-143.

[14] 顾本文,吉文娟.灰色关联度分析在云南小春作物产量预报中的应用[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):45-48.

[15] 黄晚华,薛昌颖,李忠辉.基于作物生长模拟模型的产量预报方法研究进展[J].中国农业气象,2009,30(增 1):140-143.

[16] 帅细强,王石立,马玉平,等.基于水稻生长模型的气象影响评价和产量动态预测[J].应用气象学报,2008,19(1):71-81.

[17] 陈怀亮,张雪芬.玉米生产农业气象服务指南[M].北京:气象出版社,1999.

[18] 朱自玺,刘荣花,方文松,等.华北地区冬小麦干旱评估指标研究[J].自然灾害学报,2003,12(1):145-150.

[19] YQX/T 107-2009.小麦干旱灾害等级[S].北京:中国气象局,2007.