

徐延红. 夏玉米产量动态预报方法研究[J]. 陕西气象, 2017(3):1-5.

文章编号:1006-4354(2017)03-0001-05

# 夏玉米产量动态预报方法研究

徐延红

(洛阳市气象局, 河南洛阳 471000)

**摘 要:**利用洛阳市 1981—2014 年夏玉米产量资料、生育期内的气象资料,结合夏玉米的生物学特性,分别构建夏玉米温度、光照、水分适宜度模型,利用夏玉米生长季内不同时段的气候适宜度指数与气象产量的相关关系,构建夏玉米产量预报模型,并分别利用 1981—2010 年、2011—2014 年数据进行回代、预报检验。结果表明,气候适宜度与夏玉米气象产量存在显著的相关性,两者变化趋势一致。1981—2010 年各时段预报模型的单产回代检验准确率在 89.19%~91.42%之间,趋势回代检验准确率达 89.66%~96.55%。2011—2014 年预报检验,预报准确率最高为 96.16%,最低为 91.05%,趋势预报准确率最高为 100%,最低为 75%,预报准确率较高,建立的产量动态预报模型可以在业务上推广应用。

**关键词:**气候适宜度;夏玉米;产量动态预报

**中图分类号:**S165.27

**文献标识码:**A

夏玉米是洛阳市主要的粮食作物,单产年际间波动很大,除了受土壤、品种和农业生产技术水平等多种因素的影响,气候波动是玉米产量不稳定的主要因素之一<sup>[1-2]</sup>。定量评估气象条件对夏玉米生产的影响,是农业气象系列化服务的重要内容<sup>[3]</sup>。随着社会经济的发展,农业生产对农业气象产量预报的需求日益增加,准确预报夏玉米产量变化,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。

近年来,随着气候适宜度理论的不完善和发展,该理论成为研究气候变化对作物生长发育量化影响的主要方法之一<sup>[4-5]</sup>。代立芹等<sup>[6]</sup>以河北省夏玉米为例,运用模糊数学方法,建立了气候适宜度评价模型。易灵伟等<sup>[7]</sup>构建了湖北中稻生育期内的日照、温度、降水适宜度的隶属函数,计算 3 项气候要素适宜度的逐旬效应及其对产量的影响,并得出了湖北中稻气候适宜度变化特征及其对产量影响的模型。李曼华等<sup>[8]</sup>建立了基于气候适宜度指数的山东省冬小麦产量动态预报模型。刘伟昌等<sup>[9]</sup>基于冬小麦生长生理生态特性,

开展了基于气候适宜度指数的冬小麦产量动态预报技术研究。气候适宜度模型可以定量分析光、温、水等气象要素对作物生长发育的综合影响<sup>[10]</sup>,为准确预报作物气象产量提供参考。水分条件对作物生长发育的影响是一个复杂的过程,本阶段的大气降水可以通过土壤存储,从而影响以后阶段的作物生长和干物质积累。前人在建立水分适宜度模型时,多数仅考虑了当旬(月)降水状况与作物需水量的关系,而忽略了降水的滞后效应<sup>[11-13]</sup>。因此,构建的预测模型很难完整地反应水分状况对作物产量变化的影响。本文在前人研究的基础上,以洛阳市夏玉米为研究对象,从夏玉米的生理特性出发,并考虑土壤有效水分储量对作物生长的影响,构建气候适宜度模型,开展夏玉米生长发育期的气象条件诊断,建立基于气候适宜度指数的产量动态预报模型,以期进一步探讨更为合理可靠的农业气象产量预报技术方法。

## 1 资料来源与处理方法

### 1.1 资料来源

夏玉米产量资料来源于洛阳市统计局,包括

收稿日期:2016-11-09

作者简介:徐延红(1989—),女,江苏南通人,助理工程师,硕士,主要从事农业气象业务与科研工作。

基金项目:洛阳市气象局 2016 年气象科技课题基金项目(LQ201608)

1981—2014 年洛阳所辖域内 9 县夏玉米单产、种植面积、总产等。气象资料为相应年份 9 县逐日平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数、风速、空气湿度等。

## 1.2 气象产量提取

作物产量受水肥条件、品种、生产技术等因素和气候因素的综合制约<sup>[14]</sup>。为消除品种差异、生产技术改进等非气象因素对作物产量的影响,更为客观地分析不同气象条件下产量波动状况,一般将作物实际产量( $Y$ )分解为趋势产量、气象产量和随机产量,从中剥离出气象产量,表示为

$$Y = Y_t + Y_w + \epsilon, \quad (1)$$

式中: $Y$  为研究区内年平均实际单产( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $Y_t$  为趋势产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ),由品种特性、土壤类型、农业生产技术水平等因素决定,本研究中趋势产量采用三次多项式进行模拟; $Y_w$  为气象产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ),反映气象条件对产量波动的影响; $\epsilon$  为随机变量,可忽略不计<sup>[15]</sup>。

## 1.3 气候适宜度模型的建立

1.3.1 温度适宜度模型 根据前人建立的作物温度适宜度模型<sup>[16]</sup>,通过确定模型中夏玉米生长发育所需的最适温度  $T_0$ ,上限温度  $T_H$  以及下限温度  $T_L$ <sup>[1]</sup>,建立夏玉米温度适宜度模型。

$$S(T) = (T - T_L)(T_H - T)^B / (T_0 - T_L)(T_H - T_0)^B, \quad (2)$$

$$B = (T_H - T_0) / (T_0 - T_L), \quad (3)$$

式中: $S(T)$  为某旬的温度隶属函数,表示温度对作物的适宜程度,它是在  $0 \sim 1$  之间变化的不对称抛物线函数,反映了适宜度随着气温的增加而增加,达到某个值后,适宜度随温度的升高而下降,该函数是从不适宜到适宜再到不适宜的连续变化过程; $T$  为某旬的日平均气温( $^{\circ}\text{C}$ )。

1.3.2 水分适宜度模型 水分是作物重要的构成部分,直接参与植物体的代谢过程,它不仅影响本生育阶段,还会对以后阶段作物的生长发育和干物质积累产生后遗性影响<sup>[17]</sup>。在作物生长季节,如果土壤干旱缺水,作物生理需水得不到满足,有机体就不能正常生长发育,产量受到抑制。采用模糊数学的概念对水分适宜状况进行描述<sup>[10]</sup>。

$$S(R) = ET_a / T_m, \quad (4)$$

$$T_m = k_c \cdot ET_0, \quad (5)$$

式中: $S(R)$  为某旬水分隶属函数,表示水分条件对玉米生长发育以及最终产量的影响; $T_m$  为某旬作物需水量,单位  $\text{mm}$ ;  $k_c$  为作物系数; $ET_0$  为参考作物蒸散量,由 Penman-Monteith 公式计算得到<sup>[18]</sup>;  $ET_a$  为实际耗水量,单位  $\text{mm}$ ,指水分供应受限制的情况下,作物实际能得到的水量,其数值取决于可利用水资源(大气降水与前期的土壤有效水分储量之和)与作物需水量的关系<sup>[19]</sup>。

(1) 当  $P_a + S_{a1} \geq T_m$  时,  $ET_a = T_m$ ; 本旬土壤水分有效储量  $S_{a2} = P_a + S_{a1} \geq T_m$ 。

(2) 当  $P_a + S_{a1} < T_m$  时,  $ET_a = P_a + S_{a1}$ ; 本旬土壤水分有效储量  $S_{a2} = 0$ 。

其中,  $S_{a1}$  为前一句的土壤有效水分储量,  $P_a$  为本句的大气降水。

播前土壤有效水分储量  $S_a(\text{mm})$  为播前  $i$  旬降水量总和减去播前  $i$  旬土壤水分消耗。

$$S_a = \sum_{i=1}^3 P_a - \sum_{i=1}^3 k \times P, \quad (6)$$

式中,  $k$  为经验校正指数,  $P$  为可能蒸腾蒸发量,  $i$  为旬数,本文中取前 3 旬。

1.3.3 光照适宜度模型 为了定量分析光照条件对玉米生长发育的满足程度,引入玉米对日照时数的反应函数<sup>[20]</sup>,计算公式为

$$S(S) = \begin{cases} \frac{S}{S_0} & S < S_0 \\ 1 & S \geq S_0 \end{cases}, \quad (7)$$

式中: $S(S)$  为某旬的光照隶属函数; $S$  为某旬实际日照时数( $\text{h}$ );  $S_0$  为各旬日照时数的临界值( $\text{h}$ )<sup>[1]</sup>,当旬日照时数超过临界值时,夏玉米对光照条件的反应即达到适宜状态。

1.3.4 逐旬综合适宜度 综合考虑温度、光照、降水,夏玉米气候适宜度模型<sup>[1]</sup>为

$$S(C) = A_T S(T) + A_R S(R) + A_S S(S), \quad (8)$$

$$A_T = \frac{|a_T|}{|a_T| + |a_R| + |a_S|}, \quad (9)$$

$$A_R = \frac{|a_R|}{|a_T| + |a_R| + |a_S|}, \quad (10)$$

$$A_S = \frac{|a_S|}{|a_T| + |a_R| + |a_S|}, \quad (11)$$

式中: $S(C)$  为旬综合适宜度,  $A_T$ 、 $A_R$ 、 $A_S$  分别为

各旬温度、降水、日照的适宜度权重系数,  $a_T$ 、 $a_R$ 、 $a_S$  分别为不同年份各旬的温度、降水、日照适宜度与相应年份的气象产量的相关系数。

1.3.5 气候适宜度指数 将夏玉米播种至成熟的气候适宜度指数加权后,可构成全生育阶段的气候适宜度指数。将各旬综合适宜度与相应年份的气象产量作相关分析,逐旬相关系数的绝对值与生育期相关系数总和绝对值的比值作为该旬气候适宜度的权重。

$$S(CI) = \sum_{i=1}^n R_i S(C)$$

(12)

$$R_i = \frac{|r_i|}{\sum_{i=1}^n |r_i|}$$

(13)

式中,  $S(CI)$  为全生育期气候适宜度指数,  $R_i$  为各旬综合适宜度指数的权重系数,  $r_i$  为第  $i$  旬综合适宜度与相应年份的气象产量的相关系数,  $n$  为全生育期所包含的旬数。

2 结果与分析

2.1 适宜度指数的年际变化

利用 1981—2010 年洛阳 9 县气象资料,分别计算了夏玉米历年全生育期的温度、水分、光照适宜度(如图 1)。从图 1 可以看出,洛阳市温度适宜度最高,在 0.75~0.96 之间,多年平均值为 0.91,热量较为充裕,可以满足夏玉米生长需求。光照适宜度指数在 0.58~0.96 之间,多年平均值为 0.82。水分适宜度指数波动最大,最大值为 0.98,最小值为 0.33,多年平均值仅为 0.76,说明降水条件是洛阳地区夏玉米产量形成的主要限制因素。

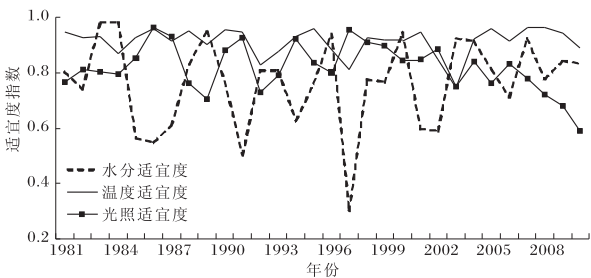


图 1 1981—2010 年洛阳市夏玉米全生育期适宜度指数的年际变化

2.2 气候适宜度指数与气象产量的关系

为了消除不同物理量之间的量纲影响,首先

将气候适宜度与气象产量进行归一化处理,使结果值映射到[0,1]之间。在此基础上,将洛阳市 1981—2010 年各年气候适宜度与对应年份气象产量作相关分析,结果表明,两者相关系数为 0.73,通过了显著性水平 0.01 的检验,表明全生育期的气候适宜度与夏玉米气象产量的年际变化有很好的 consistency(图 2)。说明本研究建立的夏玉米气候适宜度模型能够客观地反映洛阳地区的气候适宜性水平以及气象条件对产量的影响。

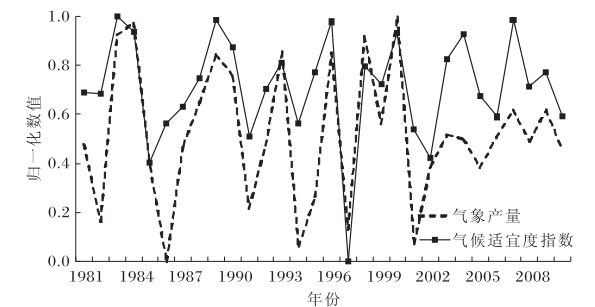


图 2 1981—2010 年洛阳市夏玉米全生育期气候适宜度指数与气象产量的年际变化

2.3 基于气候适宜度指数的夏玉米产量动态预报模型

分别建立夏玉米从播种到 7 月 10 日、7 月 20 日、7 月 31 日、8 月 10 日、8 月 20 日、8 月 31 日、9 月 10 日、9 月 20 日、9 月 30 日的气候适宜度指数,建立基于不同时段气候适宜度指数的夏玉米产量动态预报模型(见表 1)。X 为夏玉米播种至起报日期的气候适宜度指数,Y 为相应气象产量。

表 1 基于气候适宜度指数的夏玉米产量动态预报模型		
起报日期	气象产量预报模型	R 值
7-10	$Y = 439.70X - 93.83^*$	0.50
7-20	$Y = 430.78X - 145.66^{**}$	0.63
7-31	$Y = 439.23X - 179.97^{**}$	0.68
8-10	$Y = 412.19X - 205.53^{**}$	0.73
8-20	$Y = 352.16X - 205.04^{**}$	0.75
8-31	$Y = 316.69X - 204.60^{**}$	0.74
9-10	$Y = 298.65X - 206.07^{**}$	0.73
9-20	$Y = 286.07X - 216.62^{**}$	0.73
9-30	$Y = 291.98X - 234.87^{**}$	0.73

注: \* 表示通过 0.01 显著性水平检验, \*\* 表示通过 0.001 显著性水平检验。

### 3 产量预报模型的检验

根据以上建立的夏玉米产量动态预报模型,进行产量逐旬滚动预报。利用三次多项式拟合方法计算逐年的趋势产量,加上以上模型计算所得的气象产量,获得本地夏玉米单产预报值。将预报产量与实际产量比较,分析其预报准确性。单产预报准确率

$$\Delta Y_1 = \left( \frac{Y_{\text{预报值}} - Y_{\text{实际值}}}{Y_{\text{实际值}}} \right) 100\%。$$
 (14)

根据当年产量与上一年实际单产的增减情况计算产量变化百分率( $\Delta Y_2$ ),计算公式如下式

$$\Delta Y_2 = \left( \frac{Y_i - Y_{i-1}}{Y_{i-1}} \right) 100\%,$$
 (15)

式中, $Y_i$ 、 $Y_{i-1}$  为第*i*、*i*−1年的单产,如果预报 $\Delta Y_2$ 与实际 $\Delta Y_2$ 符号一致,则判定为趋势预报正确。

#### 3.1 回代检验

利用产量预报模型,对 1981—2010 年的夏玉米单产进行了动态预报回代检验,结果如表 2 所示。各旬单产的回代检验准确率在 89.19%~91.42%之间,趋势的回代检验准确率达 89.66%~96.55%,准确率较高,能够满足业务服务的需求。

表 3 2011—2014 年三个不同起报时间(月-日)洛阳市夏玉米单产动态预报检验结果

年份	实际值 /(kg/hm <sup>2</sup> )	7-20		8-20		9-20	
		预测值	准确率	预测值	准确率	预测值	准确率
		/(kg/hm <sup>2</sup> )	/%	/(kg/hm <sup>2</sup> )	/%	/(kg/hm <sup>2</sup> )	/%
2011	4 652	4 476	96.21	4 555	97.93	4 522	97.21
2012	4 814	4 522	93.95	4 484	93.15	4 682	97.27
2013	4 756	4 720	99.24	4 156	83.79	3 948	83.02
2014	4 173	3 975	95.24	3 578	85.73	3 731	89.40
单产预报平均准确率/%		96.16		91.05		91.73	

表 4 2011—2014 年三个不同起报时间(月-日)洛阳市夏玉米产量趋势预报检验结果

年份	实际增减 /%	预测增减/%		
		7-20	8-20	9-20
2011	−4.65	−8.25	−6.63	−7.31
2012	3.47	−2.79	−3.62	0.64
2013	−1.20	−1.94	−13.66	−17.97
2014	−12.25	−16.43	−24.77	−21.55
平均准确率/%		75	75	100

表 2 1981—2010 年洛阳市夏玉米产量  
预报模型回代检验结果

起报日期	单产检验准确率/%	趋势检验准确率/%
7-10	89.19	89.66
7-20	90.45	93.10
7-31	91.02	89.66
8-10	91.35	89.66
8-20	91.42	93.10
8-31	91.08	96.55
9-10	90.91	96.55
9-20	90.79	96.55
9-30	90.82	96.55

#### 3.2 预报检验

用上述产量动态预报模型,对 2011—2014 年洛阳市夏玉米产量进行动态预报,进一步检验模型的适用性和准确率,结果见表 3 和表 4。从表 3 和表 4 可以看出,以 7 月 20 日、8 月 20 日和 9 月 20 日为起报日期,单产预报准确率分别为 96.16%、91.05%、91.73%。产量趋势预报检验中,以 7 月

20 日、8 月 20 日为起报日期,有三年预测趋势与实际一致,预报准确率都为 75%;以 9 月 20 日为起报日期,预测年份的增减趋势均与实际一致,准确率为 100%。该产量动态预报模型在产量增减趋势预报以及定量预报方面均达到了较高的水平。

### 4 结论与讨论

(1)基于气候适宜度指数的夏玉米产量预报模型,综合考虑了光温水多要素对产量形成的影

响,且模型参数较易获取,通过构建气候适宜度开展作物产量预报的方法已日趋成熟。本研究利用夏玉米生育期内的气象资料与夏玉米的生理特性相结合,构建了作物生育期内光温水适宜度模型,考虑多因子对产量的协同效应,利用加权平均法,建立气候适宜度指数,从而预测产量。模型的预报值与实际值拟合程度较好,单产回代检验准确率在 89.19%~91.35%之间,趋势检验准确率达 89.66%~96.55%。预报检验中,单产预报准确率在 91%以上,4 年中至少 3 年趋势预报正确。该模型可以较好地反应玉米产量波动与气象条件的关系,能准确地预测夏玉米产量,基本满足夏玉米产量预报业务服务的需求。

(2)水分状况对作物生长发育的影响存在滞后效应。本研究中将水分储量考虑到模型中,更为客观地反映了水分状况对作物生长以及产量波动的影响。但是水分适宜度模型未考虑极端强降水、洪涝等重大气象灾害对产量形成的影响,从而影响了模型预测的稳定性,导致个别灾害年份模型预测准确率较低。因此,需要进一步探讨预测灾害年气象条件对产量的影响。

#### 参考文献:

- [1] 李树岩,余卫东. 基于气候适宜度的河南省夏玉米产量预报研究[J]. 河南农业大学学报,2015,49(1):27-34.
- [2] 韩卫红,李建刚,马翔龙. 豫西旱作区夏玉米生产限制因素分析及增产对策探讨[J]. 河南农业科学,2007,36(10):37-39.
- [3] 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,1999:2-3.
- [4] 柳芳,薛庆禹,黎贞发. 天津棉花气候适宜度变化特征及其产量动态预报[J]. 中国农业气象,2014,35(1):48-54.
- [5] 侯英雨,张艳红,王良宇,等. 东北地区春玉米气候适宜度模型[J]. 应用生态学报,2013,24(11):3207-3212.
- [6] 代立芹,李春强,魏瑞江. 河北省夏玉米气候适宜度及其变化特征分析[J]. 生态环境学报,2011,20(6-7):1031-1036.
- [7] 易灵伟,杨爱萍,刘文英,等. 湖北中稻气候适宜度指标构建及其对产量影响的定量评估与应用[J]. 中国农学通报,2015,31(23):109-115.
- [8] 李曼华,薛晓萍,李鸿怡. 基于气候适宜度指数的山东省冬小麦产量动态预报[J]. 中国农学通报,2012,28(12):291-295.
- [9] 刘伟昌,陈怀亮,余卫东. 基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J]. 气象与环境科学,2008,31(2):21-24.
- [10] 李树岩,彭记永,刘荣花. 基于气候适宜度的河南夏玉米发育期预报模型[J]. 中国农业气象,2013,34(5):576-582.
- [11] 宫丽娟,王晨轶,王萍,等. 东北三省玉米气候适宜度变化分析[J]. 玉米科学,2013,21(5):140-146.
- [12] 任玉玉,千怀遂. 河南省棉花气候适宜度变化趋势分析[J]. 应用气象学报,2006,17(1):87-93.
- [13] 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.
- [14] 赵霞,王宏伟,谢耀丽,等. 豫南雨养区夏玉米产量与气象因子的关系[J]. 河南农业科学,2010,15(3):18-22.
- [15] 王建林,宋迎波. 棉花产量动态预测方法研究[J]. 中国棉花,2002,29(9):5-7.
- [16] 刘清春,千怀遂,任玉玉,等. 河南省棉花的温度适宜性及其变化趋势分析[J]. 资源科学,2004,26(4):51-56.
- [17] 陈亚新,于健. 考虑缺水滞后效应的作物-水模型研究[J]. 水利学报,1998,29(4):70-74.
- [18] 张淑杰,张玉书,隋东,等. 东北地区参考蒸散量的变化特征及其成因分析[J]. 自然资源学报,2010,25(10):1750-1761.
- [19] 王学强,贾志宽,李铁冰. 基于 AEZ 模型的河南小麦生产潜力研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(7):85-90.
- [20] 徐玲玲,吕厚荃,方利. 气候变化对黄淮海地区夏玉米气候适宜度的影响[J]. 资源科学,2014,36(4):782-787.