

三种热量指数预测方法在热量年型预测中的应用

王美玉¹, 王冬妮^{2,3*}, 郭春明^{2,3}, 曲思邈^{2,3}, 苏丽欣^{2,3}

(1. 吉林省气象局, 长春 130062; 2. 吉林省气象科学研究所, 长春 130062; 3. 长白山气象与气候变化吉林省重点实验室, 长春 130062)

摘要:以逐日热量指数为基础, 采用逐步回归模型、灰色模型、均生函数模型在吉林省各区域建立逐月热量指数模型。结果显示: 三种预测模型的回代平均准确率均在 96% 以上, 外推准确率都在 94% 以上, 各模型均可以较准确地预测各个地区的玉米热量指数, 其中均生函数是这三种模型中预测效果最好的。

关键词: 热量指数; 玉米; 逐步回归模型; 灰色模型; 均生函数

中图分类号: S165⁺.2

文献标识码: A

文章编号: 1003-8701(2018)01-0051-08

The Application of Three Heat Index Prediction Methods in the Prediction of Calorie Year

Wang Meiyu¹, WANG Dongni^{2,3*}, GUO Chunming^{2,3}, QU Simiao^{2,3}, SU Lixin^{2,3}

(1. Meteorological Bureau of Jilin Province, Changchun 130062; 2. Jilin Institute of Meteorological Sciences, Changchun 130062; 3. Jilin Provincial Key Laboratory of Changbai Mountain Meteorology & Climate Change, Changchun 130062, China)

Abstract: Based on daily heat index, the monthly heat index model was established using methods of the stepwise regression model, the gray model and the mean generating function model in every region of Jilin Province. The results showed that the average accuracy of the back substitution tests of three models were over 96%, the average accuracy of the extrapolate results of three models were over 94%, each model was able to forecast corn heat index preferably, and the mean generating function model was the best one.

Key words: Heat index; Maize; Stepwise regression model; Gray model; Mean generating function

20 世纪 80 年代中期以来, 东北地区气候显著变暖^[1], 低温冷害发生减少, 且发生程度轻。在气候偏暖时期仍然会出现偏冷的阶段和低温的年份, 如 1985、1986、1995、1998 和 2009 年等年份东北地区仍然发生了程度不同的低温冷害^[2-3]。要做好低温冷害的防御工作, 提高防御效益, 就必须及早了解低温冷害的发生与否, 才有充分的时间准备。热量条件是影响玉米产量的重要因子之一^[4], 因此, 研究玉米热量年型的长期预测技术和方法, 对提高吉林省的农业经济效益, 保证农业高产稳产具有十分重要的现实意义。

郭建平等利用多种方法对东北地区玉米热量指数预测进行了研究, 取得了较好的效果^[5-8], 但其热量指数的计算是以旬或月平均气温为基础, 建立的是区域平均或代表站的热量指数模型, 这种时空的归并必将造成一定程度信息损失。因此, 本文在前人工作的基础上, 结合吉林省玉米生产实际, 对热量指数模型建立过程中的时空尺度进一步细化, 以期对吉林省热量资源长期预测及低温冷害预警提供更加精准的信息。

1 资料与方法

1.1 吉林省玉米热量指数计算

1.1.1 典型站点选择及玉米发育期

根据吉林省各地气候特点, 将吉林省各市州按行政边界分为 4 个区域, 其中白城市、松原市为西部地区, 长春市、四平市、辽源市为中部地区, 吉林市、通化市为东南部地区, 白山市、延边州为东部地区。为了减轻计算工作量, 同时又能较好

收稿日期: 2017-10-17

基金项目: 科技部农业科技成果转化资金项目(2011GB24160001); 吉林省气象局科研项目(201203)

作者简介: 王美玉(1981-), 女, 工程师, 硕士, 从事农业气象生态管理与研究。

通讯作者: 王冬妮, 女, 硕士, 副研级高工, E-mail: wdn_0_0_0_0@163.com

地代表区域特征,在各区内选取一个典型站作为研究对象。根据多年经验,选取白城、长春、梅河口、和龙分别代表吉林省西部、中部、东南部、东部。

尽管吉林省不同区域的热量条件、玉米品种

和发育期有一定差异,但根据近30年农业气象观测站的玉米发育期观测资料分析,各区域玉米发育期差异较小。因此,吉林省各典型站点采用统一玉米发育期(表1)。

表1 吉林省玉米发育期

苗期	营养生长期	营养、生殖并进期	开花—灌浆期	灌浆—成熟期
5中~5下	6上~6下	7上~7中	7下~8上	8中~9中

1.1.2 玉米热量指数计算

玉米热量指数充分结合了玉米的生长发育特性,是一个能够真正反映一地区热量条件对玉米影响的指标,计算公式如下:

$$F(T) = 100 \times \frac{(T_0 - T_1)(T_2 - T)^B}{(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B} \dots\dots\dots(1)$$

$$B = (T_2 - T_0)/(T_0 - T_1) \dots\dots\dots(2)$$

式中 T 为5~9月逐日平均气温; T_1 、 T_2 、 T_0 分别为该时段内玉米生长发育所需的下限温度、上限温度和适宜温度,具体值见表2。

表2 高产条件下玉米各发育期的 T_1 、 T_2 、 T_0 ℃

生长发育时期	苗期	营养生长期	营养、生殖并进期	开花—灌浆期	灌浆—成熟期
T_1	8.0	11.5	14.0	14.0	10.0
T_2	27.0	30.0	33.0	32.0	30.0
T_0	20.0	24.5	27.0	25.5	19.0

利用1960~2010年各典型站的逐日平均气温资料代入(1)式,计算获得各站历年逐日的 $F(T)$,按月求平均计算出各站历年逐月的平均 $F(T)$,将逐月 $F(T)$ 相加进而计算出5~9、6~9、7~9、8~9月热量指数之和。

1.2 玉米热量指数长期预测方法

1.2.1 逐步回归预测方法

逐步回归是在多元线性回归分析的基础上发展起来的,与多元线性回归分析相比,该方法能够有效和准确地选择解释变量^[9]。预测因子选择国家气候中心气候系统诊断预测室整理的74类

大气环流特征量资料(见表3),因子初选方法是计算上年8~12月至当年预报月前两个月的环流特征量因子(8×74个序列),与当年预报月开始至9月热量指数之和的单相关系数(共8×74个相关系数),通过0.05显著性检验的预测因子作为建立预测模型的备选因子。备选因子与自预报月开始到生育期结束(9月)热量指数之和进行逐步回归,从5月开始并逐月滚动建立5、6、7、8共计4月的玉米热量指数的预测模型。1960~2005年资料用于建立逐步回归模型,2006~2010年资料用于试报检验。

表3 74类大气环流特征量

序号	环流特征量	序号	环流特征量
1	北半球副高面积指数(5°~360°E)	2	北非副高面积指数(20°W~60°E)
3	北非大西洋北美副高面积指数(110°W~60°E)	4	印度副高面积指数(65°~95°E)
5	西太平洋副高面积指数(110°~180°E)	6	东太平洋副高面积指数(175°~115°W)
7	北美副高面积指数(110°~60°W)	8	大西洋副高面积指数(55°~25°W)
9	南海副高面积指数(110°~120°E)	10	北美大西洋副高面积指数(110°~20°W)
11	太平洋副高面积指数(110°E~115°W)	12	北半球副高强度指数(5°~360°E)
13	北非副高强度指数(20°W~60°E)	14	北非大西洋北美副高强度指数(110°W~60°E)
15	印度副高面积强度指数(65°~95°E)	16	西太平洋副高强度指数(110°~180°E)

续表 3

序号	环流特征量	序号	环流特征量
17	东太平洋副高强度指数(175°~115°W)	18	北美副高强度指数(110°~60°W)
19	大西洋副高强度指数(55°~25°W)	20	南海副高强度指数(100°~120°E)
21	北美大西洋副高强度指数(110°~20°W)	22	太平洋副高强度指数(110°E~115°W)
23	北半球副高脊线(5°~360°E)	24	北非副高脊线(20°W~60°E)
25	北非大西洋北美副高脊线(110°W~60°E)	26	印度副高脊线(65°~95°E)
27	西太平洋副高脊线(110°~150°E)	28	东太平洋副高脊线(175°~115°W)
29	北美副高脊线(110°~60°W)	30	大西洋副高脊线(55°~25°W)
31	南海副高脊线(100°~120°E)	32	北美大西洋副高脊线(110°~20°W)
33	太平洋副高脊线(110°~115°E)	34	北半球副高北界(5°~360°E)
35	北非副高北界(20°W~60°E)	36	北非大西洋北美副高北界(110°W~60°E)
37	印度副高北界(65°~95°E)	38	西太平洋副高北界(110°~150°E)
39	东太平洋副高北界(175°~115°W)	40	北美副高北界(110°~60°W)
41	大西洋副高北界(55°~25°W)	42	南海副高北界(100°~120°E)
43	北美大西洋副高北界(110°~20°W)	44	太平洋副高北界(110°E~115°W)
45	西太平洋副高西伸脊点	46	亚洲区极涡面积指数(1区, 60°~150°E)
47	太平洋区极涡面积指数(2区, 150°E~120°W)	48	北美区极涡面积指数(3区, 120°~30°W)
49	大西洋欧洲区极涡面积指数(4区, 30°W~60°E)	50	北半球极涡面积指数(5区, 0°~360°N)
51	亚洲区极涡强度指数(1区, 60°~150°E)	52	太平洋区极涡强度指数(2区, 150°E~120°W)
53	北美区极涡强度指数(3区, 120°~30°W)	54	大西洋欧洲区极涡强度指数(4区, 30°W~60°E)
55	北半球极涡强度指数(5区, 0°~360°N)	56	北半球极涡中心位置(JW)
57	北半球极涡中心强度(JQ)	58	大西洋欧洲环流型W
59	大西洋欧洲环流型C	60	大西洋欧洲环流型E
61	欧亚纬向环流指数(IZ, 0°~150°E)	62	欧亚经向环流指数(IM, 0°~150°E)
63	亚洲纬向环流指数(IZ, 60°~150°E)	64	亚洲经向环流指数(IM, 60°~150°E)
65	东亚槽位置(CW)	66	东亚槽强度(CQ)
67	青藏高原500 hPa高度强度(25°~35°N, 80°~100°E)	68	青藏高原500hPa高度强度(30°~40°N, 75°~105°E)
69	印缅槽强度(15°~20°N, 80°~100°E)	70	冷空气
71	编号台风(个数)	72	登陆台风(个数)
73	太阳黑子(个数)	74	南方涛动指数

1.2.2 GM(1,1)预测方法

灰色模型(Grey Model)是灰色系统理论的基本模型,也是灰色系统理论的核心,是灰色预测、决策、控制的基础。灰色预测是指根据过去及现在已知的或非确知的信息,建立一个从过去引申到未来的灰色模型,从而确定系统在未来发展变化的趋势,并为规划决策提供依据。灰色系统理论建模主要是找出系统内因素本身或因素之间的数学关系,从而了解系统的动态行为和发展趋势。它是以灰色模块(是时间序列在时间数据平面上的连续曲线或逼近曲线与时间轴所围成的区域)为基础,以微分拟合法而建成的模型。

GM(1,1)预测模型计算步骤如下:

(1)设有原始数列

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\},$$

进行一次累加后生成数列

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\},$$

其中
$$X^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n。$$

(2)建立微分方程 $\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = u$, 利用最小

二乘法求解参数 a、u, 只需求解

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n。$$
 其中

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n) + x^{(1)}(n-1)] & 1 \end{bmatrix},$$

$$Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}.$$

(3) 求出模型的时间响应方程

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak} + \frac{u}{a},$$

$k = 0, 1, \dots, n-1$ 。

作累减还原, 即

$$\hat{x}_1^{(0)}(k+1) = \hat{x}_1^{(1)}(k+1) - \hat{x}_1^{(1)}(k),$$

可以得到还原成原始序列的预测模型

$$\hat{x}_1^{(0)}(k+1) = (1 - e^a) \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-ak},$$

$k = 1, 2, \dots, n-1$ 。

采用关联度检验, 反映了每一时刻两数列相对变化速率的一致程度, 而关联度则反映了特定时段内两数列相对变化速率一致程度的平均状况。定义函数 $X(t)$ 和 $Y(t)$ 的关联度函数为:

$$\zeta(t) = \frac{1}{1 + \left| \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} - \frac{1}{Y} \frac{dY}{dt} \right|}$$

$\zeta(t) \in [0, 1]$, $X(t)$ 与 $Y(t)$ 在 t 时刻的相对变化速率越接近, $\zeta(t)$ 就越大。结合本研究, 上式改用差分的形式, 取 $\Delta t = 1$, 则原始数列 $X^{(0)}(t)$ 和预测值 $\hat{X}^{(0)}(t)$ 的关联函数为:

$$\zeta(t) = \frac{1}{1 + \left| \frac{X^{(0)}(t+1) - X^{(0)}(t)}{X^{(0)}(t)} - \frac{\hat{X}^{(0)}(t+1) - \hat{X}^{(0)}(t)}{\hat{X}^{(0)}(t)} \right|}$$

$t = 1, 2, \dots, n-1$ 。

则根据关联度的定义

$$r = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} \zeta(t)$$

可以计算出 $X^{(0)}(t)$ 和 $\hat{X}^{(0)}(t)$ 的关联度。

本文采用在各个领域都得到了广泛应用的 GM(1, 1) 预测模型。研究中利用 1960~2005 年的资料建立模型, 并进行模型回代检验, 2006~2010 年的资料用于模型的试报检验。

1.2.3 均生函数预测方法

气候上的时间序列蕴含着不同时间尺度震荡特征, 指数平滑模型和灰色模型等可制作多步预测, 但他们表示的是一种指数增长, 对于气候序列不适用。魏凤英^[10]拓宽了数理统计中算术平均值的概念, 定义了时间序列的均值生成函数 (Mean Generating Function, 简称均生函数), 提出了视均生函数为原序列生成的、体现各种长度周

期性的基函数的新构思。在基函数的基础上, 给出新的建模方案, 借助多元分析的手段, 作为解决时间序列预测问题的一种尝试。均生函数在气候预测方面获得了广泛应用。

设热量指数序列为:

$$F(t) = \{F(1), F(2), \dots, F(n)\}, 1 \leq t \leq n, n \text{ 为样本数}, F(t) \text{ 的算术平均值:}$$

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(i) \dots \dots \dots (3)$$

拓展此式, 定义 $F(t)$ 的均值生成函数为:

$$\bar{F}(l, i) = \frac{1}{n_l} \sum_{j=0}^{n_l-1} F(i + jl) \dots \dots \dots (4)$$

其中

$$i = 1, 2, \dots, l, 1 \leq l \leq m; n_l = INT(n/l);$$

$$m = INT(n/2), INT$$

表示取整。根据 (4) 式, 可以得到 m 个均生函数:

$$\begin{aligned} &\bar{F}(1, 1), \\ &\bar{F}(2, 1), \bar{F}(2, 2), \\ &\bar{F}(3, 1), \bar{F}(3, 2), \bar{F}(3, 3) \\ &\vdots \\ &\bar{F}(m, 1), \bar{F}(m, 2), \dots, \bar{F}(m, m) \end{aligned}$$

可见, 均生函数是由时间序列按一定的时间间隔计算均值而派生的。对 $\bar{F}(l, i)$ 做周期性延拓:

$\bar{X}(l, t) = \bar{F}(l, i)$, 其中 $t = 1, 2, \dots, n$, 且 $t = i \pmod{l}$, 这里的 mod 表示同余, 即表示 $\text{mod}(t - i, l) = 0$ 。

由此构造出热量指数的均生函数延拓矩阵

$$\begin{aligned} &(X(l, t))_{n, m} : \\ &X = \begin{bmatrix} \bar{F} & \bar{F}(2, 1) & \bar{F}(3, 1) & \dots & \bar{F}(m, 1) \\ \bar{F} & \bar{F}(2, 2) & \bar{F}(3, 2) & \dots & \bar{F}(m, 2) \\ \bar{F} & \bar{F}(2, 1) & \bar{F}(3, 3) & \dots & \\ \bar{F} & \bar{F}(2, 2) & \bar{F}(3, 1) & \dots & \vdots \\ & & & & \bar{F}(m, m) \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \bar{F} & \bar{F}(2, i_2) & \bar{F}(3, i_3) & \dots & \bar{F}(m, i_m) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

式中 $\bar{F}(2, i_2)$ 表示顺序取 $\bar{F}(2, 1), \bar{F}(2, 2)$ 之一, $\bar{F}(3, i_3)$ 表示取 $\bar{F}(3, 1), \bar{F}(3, 2), \bar{F}(3, 3)$ 之一, 以此类推。

本文引入 1960~2010 年吉林省省各区域玉米热量指数序列, 按照上述计算方法得到吉林省各区域 $F_5 \sim F_8$ 的均生函数。将均生函数视为备选因子, 原始序列作为预报量, 依照通常的逐步回

归步骤进行计算。

2结果与分析

2.1 逐步回归预测模型

利用 1960 ~ 2005 年当年 1 ~ 3 月和上年 8 ~ 12 月逐月的 74 类大气环流特征量与选取的典型站点 1960 ~ 2005 年逐年 5 ~ 9 月热量指数之和 F_5 进行相关分析,初选出达到 0.05 显著检验的预测因

表 4 逐步回归预报模型

区域	预报月	预测模型
西部	5	$F_5=254.171+0.06775X_{1156}-1.661X_{0328}+0.667X_{1152}+2.386X_{0333}+1.898X_{0827}+0.984X_{1016}-0.581X_{1022}+0.291X_{0362}$
	6	$F_6=492.944-1.086X_{0165}+0.05735X_{1156}-1.994X_{0126}-1.066X_{0928}+0.411X_{1152}$
	7	$F_7=90.953-0.584X_{0165}+1.46X_{0344}+0.04136X_{1156}+0.668X_{0557}+0.317X_{0467}+0.319X_{1152}$
	8	$F_8=76.853+0.87X_{0436}+0.399X_{0546}+0.05113X_{0156}+2.343X_{0109}$
中部	5	$F_5=254.062+3.884X_{1205}+1.102X_{0265}-1.258X_{0137}-2.669X_{1211}$
	6	$F_6=279.844-0.739X_{0165}-0.388X_{1052}+0.05257X_{1156}-1.065X_{0137}+0.472X_{0265}+0.271X_{0966}+0.342X_{1152}+0.632X_{1218}+1.335X_{0331}$
	7	$F_7=220.855-0.852X_{0137}+0.0422X_{1156}+0.347X_{1152}+0.594X_{0217}+0.332X_{0121}+0.02907X_{0156}$
	8	$F_8=159.823+0.369X_{0469}+0.479X_{0557}-2.321X_{0224}+0.02966X_{0156}+0.02945X_{0156}+0.262X_{0121}$
东南部	5	$F_5=385.384-0.762X_{1158}+1.125X_{1205}-1.113X_{0958}+0.06677X_{0156}+0.863X_{1057}$
	6	$F_6=102.856-0.951X_{1158}+0.607X_{1205}-1.177X_{0137}+0.865X_{0265}+1.929X_{0425}+0.296X_{0966}$
	7	$F_7=293.059-0.69X_{0137}+0.03766X_{1156}-0.31X_{1052}-0.348X_{0162}+0.04039X_{0156}+0.344X_{1221}-4.503X_{0471}$
	8	$F_8=163.679+0.363X_{0469}-0.494X_{0660}+0.04452X_{0156}-0.375X_{0162}+0.319X_{0574}+0.689X_{0542}+0.54X_{0218}$
东部	5	$F_5=294.895+2.429X_{1026}+1.103X_{1060}+0.0875X_{0156}+1.097X_{1057}-0.491X_{0964}$
	6	$F_6=297.397+3.224X_{0425}-0.588X_{0964}-0.16X_{1163}+0.542X_{0421}-3.183X_{0104}$
	7	$F_7=131.994+3.351X_{0531}+2.044X_{1127}+1.125X_{0441}+10.249X_{1172}+0.522X_{1152}-2.063X_{0542}-0.54X_{1158}$
	8	$F_8=157.479+1.423X_{0531}+0.04277X_{0156}+0.396X_{0574}+0.168X_{0521}-0.347X_{0162}-0.395X_{0660}$

注:X下标的前2位表示月份,01~06分别表示当前的1~6月,07~12分别表示上年的7~12月;后2位表示大气环流指数的序号

子,再与 F_5 进行逐步回归分析,分别建立吉林省

不同区域 5 ~ 9 月热量指数之和 F_5 的预测模型 1。

同理,利用上年 9 ~ 12 月和当年 1 ~ 4 月逐月大气环流特征量与当年 F_6 进行相关分析后得出的预

表 5 GM(1, 1)预报模型的参数

预报月	典型站	模型中参数		关联度
		a	u	
5	白城	-0.000 662 169	411.616 7	0.963 4
	长春	-0.001 081 997	406.340 7	0.959 34
	梅河口	-0.001 509 022	389.930 8	0.945
	和龙	-0.000 205 248	355.334 7	0.931 7
6	白城	-0.000 420 981	334.006 9	0.961 9
	长春	-0.000 944 106	330.118 4	0.958 3
	梅河口	-0.001 500 442	316.456 4	0.945
	和龙	-0.000 592 997	285.611 7	0.926 4
7	白城	-0.000 286 073	253.497 9	0.960 5
	长春	-0.000 485 404	253.833 3	0.962 1
	梅河口	-0.000 761 906	246.717 1	0.951 91
	和龙	-0.000 104 85	229.274 1	0.943 7
8	白城	-0.000 119 157	167.936 7	0.941 3

续表 5

预报月	典型站	模型中参数		关联度
		a	u	
8	长春	-0.000 307 43	169.360 64	0.946 1
	梅河口	-0.000 676 258	164.910 14	0.935 5
	和龙	-0.000 356 353	159.733 4	0.932 6

测因子再与 F_6 逐步回归,得到模型 2。以此类推, 归模型见表 4。

逐月滚动建立模型。吉林省各区域的热量指数回

2.2 GM(1, 1)预测模型

表 6 均生函数预报模型

典型站	预报月	预测模型
白城	5	$F_5=58.829+0.50775X_2+0.17545X_3-0.06515X_4-0.26490X_6+0.41811X_7+16.74884X_8-16.78225X_9+0.03038X_{10}$
	6	$F_6=41.700+0.46549X_2+2.49275X_3-2.35954X_5+0.27429X_6$
	7	$F_7=24.785-1.19094X_2+1.41970X_3+3.60971X_4+0.27823X_6-3.62370X_7+0.13697X_8+0.17079X_9+0.24019X_{10}$
	8	$F_8=-7.471+0.27821X_1+0.26073X_3+0.18819X_5+0.31438X_{10}$
长春	5	$F_5=7.706+0.43289X_1-0.06467X_3+1.28096X_4-0.99800X_6+0.26333X_9$
	6	$F_6=54.693+0.37202X_1+0.49258X_2+0.16554X_5-0.06708X_6-0.19667X_9$
	7	$F_7=6.142+0.56386X_1-0.85083X_2+1.25332X_3-0.30095X_4+0.10787X_5+0.20651X_7+0.18289X_8+0.12897X_9$
	8	$F_8=33.575+44.03973X_1-43.64567X_2+1.27276X_3+0.81541X_4-1.03653X_5-0.64131X_6-0.10769X_9$
梅河口	5	$F_5=105.095+0.39966X_1-0.17892X_3+4.37465X_4-4.22851X_5+0.18488X_7$
	6	$F_6=120.544-0.25041X_3+1.23824X_6+0.30446X_7+0.20574X_8-1.12655X_9$
	7	$F_7=22.405+0.11365X_1+0.23717X_3-0.13236X_4+0.22757X_5-0.20937X_6+0.12016X_9+0.41332X_{10}$
	8	$F_8=33.506+0.36659X_1+0.42703X_6-0.19793X_9$
和龙	5	$F_5=25.668-0.31586X_1+0.54633X_2+0.46260X_5+0.45560X_6-0.23368X_{10}$
	6	$F_6=31.225+0.29262X_2+0.05986X_3+0.45136X_4+2.19121X_6+0.08559X_9-2.05182X_{10}$
	7	$F_7=34.553-0.10970X_1+0.22093X_3+0.28282X_5+0.29347X_6-0.78865X_7+0.83349X_9$
	8	$F_8=9.419+24.31995X_1-24.00681X_2+0.33285X_4+0.28728X_8$

注:X下标即表示周期长度,如 X_3 表示周期长度为3年的热量指数的延拓均生函数

表 7 各模型滚动预报的准确率 (%)

预报月	典型站	回代检验			试报检验		
		逐步回归	GM(1, 1)	均生函数	逐步回归	GM(1, 1)	均生函数
5	白城	98.8	97.2	98.5	97.7	97.9	97.0
	长春	97.9	97.1	98.3	93.9	98.1	97.6
	梅河口	97.5	96.5	98.1	99.2	97.3	96.4
	和龙	96.4	95.1	97.1	93.2	95.5	94.3
	平均	97.7	96.5	98.0	96.0	97.2	96.3
6	白城	98.6	97.5	98.4	94.2	97.6	96.7
	长春	99.0	97.7	98.7	94.8	97.7	96.6
	梅河口	98.0	96.9	98.5	95.9	96.3	98.3
	和龙	97.2	95.7	97.6	93.1	93.9	97.0
	平均	98.2	97.0	98.3	94.5	96.4	97.2
7	白城	98.6	97.8	98.7	97.4	98.2	98.2
	长春	98.9	98.2	99.1	97.1	98.4	98.2
	梅河口	98.7	97.8	98.8	98.0	97.9	98.6
	和龙	98.5	97.2	98.6	97.5	96.2	98.2
	平均	98.7	97.8	98.8	97.5	97.7	98.3

续表 7

预报月	典型站	回代检验			试报检验		
		逐步回归	GM(1, 1)	均生函数	逐步回归	GM(1, 1)	均生函数
8	白城	98.6	98.0	98.8	97.6	98.6	98.2
	长春	99.0	98.4	99.1	98.2	98.5	99.0
	梅河口	98.9	98.1	98.9	97.7	98.2	98.8
	和龙	98.7	97.5	98.6	95.8	97.2	98.4
	平均	98.8	98.0	98.9	97.3	98.1	98.6

表 5 为吉林省各区域玉米热量指数逐月 GM(1, 1)模型的参数,由表 5 可见,模型的关联度都通过了显著性检验。

2.3 均生函数预测模型

利用 1960~2005 年的热量指数资料从 5 月份开始逐月建立模型(表 6),并作 5 步外延,预测 2006~2010 年 5 年的热量指数。

2.4 三种预测模型结果检验

5 月份建立的模型(模型 1)预测的 5~9 月的热量指数,预测值与实际值相比即可获得预测的正确率。6 月份建立的模型(模型 2)预测 6~9 月玉米热量指数之和(F_6 测),再加上可以得到的 5 月份的热量指数实际值,就可以算出玉米整个生长阶段 5~9 月的热量指数之和;以此类推。通过预测值与实际值对比计算准确率,计算公式如下:

$$\text{准确率} = \left[1 - \left| \frac{\text{预报值} - \text{实际值}}{\text{实际值}} \right| \right] \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

由表 7 可见,以上三种预测模型的回代平均准确率均在 96% 以上,外推准确率都在 94% 以上,说明逐月建立的模型可以较准确地预测各个地区的玉米热量指数,完全能满足实际使用的需求。回代检验结果表明均生函数模型与逐步回归模型优于灰色模型,外推检验结果表明,均生函数模型与灰色模型优于逐步回归模型。此外,随着逐月滚动建立的模型,越到生育阶段的后期,

各个地区的预测准确率都在逐渐升高。

2.5 判识热量年型的指标及应用

热量指数反映气温对作物生长的适宜程度,因此通过分析玉米单位面积产量与玉米热量指数关系确定热量指数指标。吉林省中西部地区水分条件是制约玉米生产的主要因素,因此在确定热量指标时去除了较严重的干旱年;东南部及东部地区热量条件是制约玉米生产的主要因素,因此直接建立玉米单位面积产量与玉米热量指数关系确定热量指数指标。按照区域划分,计算各区域

表 8 各区域热量指数指标

	偏低年	正常年	偏高年
西部	<399.2	399.2~415.4	>415.4
中部	<389.1	389.1~410.0	>410.0
东南部	<382.1	382.1~405.9	>405.9
东部	<337.3	337.3~354.4	>354.4

内玉米总产、总面积、单位面积产量,然后计算气象产量 y_w (式 6),建立各区域气象产量与热量指数关系模型,以气象产量在 $-5\% \leq y_w \leq 5\%$ 为热量指数正常年, $y_w < -5\%$ 为热量指数偏低年, $y_w > 5\%$ 为热量指数偏高年。表 8 为各区域热量指数指标。

$$y_w = \left[\frac{(y_i - y_{i-1})}{y_{i-1}} \right] \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

表 9 2013 年热量年型预测结果

地 区	2013 年实际值		5 月 1 日预测		6 月 1 日预测		7 月 1 日预测		8 月 1 日预测	
	热量指数	年型	热量指数	年型预测	热量指数	年型预测	热量指数	年型预测	热量指数	年型预测
西部	430.3	高温年	430.1	高温年	416.6	高温年	404.8	正常年	430.8	高温年
中部	440.5	高温年	424.4	高温年	427.6	高温年	436.3	高温年	428.3	高温年
东南部	437.6	高温年	401.1	正常年	427.6	高温年	427.6	高温年	436.7	高温年
东部	383	高温年	335.1	低温年	360.5	高温年	351.5	正常年	390.4	高温年

式中: y_w 为气象产量,为第*i*年单产。

以2013年为例,分别在5月1日、6月1日、7月1日和8月1日预测了生长季热量指数,并根据热量指数预报了2013年热量年型,预报结果见表9。5月1日西部、中部预报结果完全正确,东南部预报差一个等级,东部地区预报结果与实际相反;6月1日所有区域预报结果完全正确;7月1日中部和东南部预测结果完全正确,西部和东部差一个等级;8月1日所有区域预报结果完全正确。

3 结 论

(1)热量指数充分考虑了作物生长发育的温度需求,能够体现温度条件的适宜程度。本文以逐日热量指数为基础,采用逐步回归模型、灰色模型、均生函数模型在吉林省各区域建立逐月热量指数模型,三种预测模型的回代平均准确率均在96%以上,外推准确率都在94%以上,各模型均可以较准确地预测各个地区的玉米热量指数,完全能满足实际使用的需求。

(2)逐步回归模型回代准确率较高,但在外推

时准确率稍低,这也是统计模型的通病。灰色模型回代准确率稍低,外推准确率稍高。均生函数模型在回代及外推时准确率均较高,是这三种模型中预测效果最好的。

(3)实际工作中,热量资源的长期预测是比较困难的。本文采用三种方法预测热量指数,并总结出用热量指数判断热量年型的指标,从而实现了热量年型的长期预测,并取得了较好的预测效果,可在业务上推广应用。

参考文献:

- [1] 潘铁夫.吉林省气候变暖与农业生产[J].吉林农业科学, 1998, 23(1): 86-89.
- [2] 高晓容,王春乙,张继权.气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响[J].生态学报, 2012, 32(7): 2110-2118.
- [3] 马树庆,刘玉英,王 琪.玉米低温冷害动态评估和预测方法[J].应用生态学报, 2006, 17(10): 1905-1910.
- [4] 梁烜赫,徐 曼,王 冰,等.吉林省不同生态区气象因子对玉米产量影响的评价[J].吉林农业科学, 2015, 40(4): 17-20.
- [5] 郭建平,庄立伟,陈玥煜.东北玉米热量指数预测方法研究(I)—热量指数与玉米产量[J].灾害学, 2009, 24(4): 6-10.