

黑龙江省大豆主产地产量动态预报系统的建立

朱海霞,赵慧颖,李秀芬,纪仰慧,王秋京

(黑龙江省气象科学研究所,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要:利用黑龙江省大豆主产区农业气象试验站产量资料和发育期资料,日最高气温、最低气温、日降水量和日照时数等资料,根据历史相邻两年关键气象因子变化引起大豆产量的丰欠指数,建立动态产量预报模型,并在已建立预报模型的基础上,以 Visual Basic 6.0 为计算机语言开发黑龙江省大豆产量动态预报系统。结果表明:经 2011 – 2013 年大豆产量动态预报检验,5 个代表站 81% 的大豆预报结果丰欠趋势与实际趋势表现一致,单产预报准确率总体较好,越接近大豆成熟,预报准确率越高;经 2016 年业务运行,预报系统可以方便、快捷地实现对黑龙江省主产区大豆产量的动态预报。

关键词:大豆;产量;动态预报;预报系统

中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2017. 06. 0950

System Development of Dynamic Forecast on Soybean Yield of Main Areas in Heilongjiang Province

ZHU Hai-xia,ZHAO Hui-ying,LI Xiu-fen,JI Ying-hui,WANG Qiu-jing

(Heilongjiang Province Institute of Meteorological Sciences, Harbin 150030, China)

Abstract: Soybean is one of the most important oil crops in China and Heilongjiang province is the main production base of soybean in China. It is significant to study soybean yield prediction method for the national economy and the people's livelihood in this region. Based on bumper or poor harvest of soybean due to meteorological element variation between two adjoined years in history, a dynamic prediction model was established for region-specific soybean yield, by using the data of yield of agro-meteorological experimental station in major soybean producing areas in development stage, daily maximum and minimum temperature, daily precipitation and daily sunshine duration. On base of these models, dynamic forecast system of soybean yield was established with computer language of VB 6. 0. The result showed that mean accuracy was high for forecast trend and forecast yield of these soybean models by verifying yield from 2011 to 2013, true real trend was consistent with 81% soybean forecast trend of five stations, and the forecast accuracy of yield was better in general. The forecast accuracy was higher when soybean was gradually ripe. The forecast system could expediently and quickly forecast soybean yield of main areas in Heilongjiang province with the operation of 2016.

Keywords: Soybean; Yield; Dynamic Forecast; Forecast system

大豆是黑龙江省三大主栽作物之一,产量及出口量均居全国首位,在全国农业生产中占有极为重要的地位^[1],大豆产量的变动直接影响到黑龙江省粮食产量的波动,进而影响全国商品粮的供给及油料出口供应。对于产量预报的研究,国外开展较早,苏联、美国等国家在农业气象预报方面的研究已取得了较多成果^[2-3]。目前,我国在作物产量预报方面研究成绩斐然,关于大豆产量预报多为统计预报。娄秀荣等^[4]利用气象指标评估黑龙江省大豆丰欠年型,发现影响大豆产量丰欠年型的气象指标具有较高的指示性,可供农业气象业务服务和大豆产量预报使用。郑昌玲等^[5]通过西太平洋月平均海温、北半球 500 hPa 平均高度场环流等资料,利用加权方法建立了巴西大豆产量预报集合模型。孙玉亭等^[6]通过分析不同播种期干物质积累量与积温的关系,证实大豆基本遵循 S 曲线型的分布规律,并可以在大豆收获前 50 d 左右作产量预报,姜丽霞等^[7]基于 Logistic 方程开展大豆农业气象产量

收稿日期:2017-06-07
基金项目:中国气象局气候变化专项(CCSF201606);中国气象局核心业务发展专项(CMAHX20160205);国家自然科学基金项目(31671576)。
第一作者简介:朱海霞(1978 -),女,硕士,高级工程师,主要从事农业气象领域的相关研究。E-mail:hxzhu0301@126.com。
通讯作者:李秀芬(1973 -),女,硕士,高级工程师,主要从事农业气象业务和研究工作。E-mail:ge-2003@163.com。

预测模拟,实现了黑龙江省大豆的产量预报。

黑龙江省农业气象试验站的作物产量要素资料的规范化及可用化始于 1980 年,其大豆测产地段具有代表性,其测产资料不受政治因素的影响,可以表征当地的大豆单产水平,但关于农业气象试验站的大豆测产序列资料的研究目前仍然较少。上述关于黑龙江省大豆的产量预报,预报的时效一般为大豆的收获前后,而在黑龙江省大豆生长发育的早期阶段开展大豆产量动态预报未见报道;为此,本文对黑龙江省 1980 – 2013 年农业气象试验站作物产量资料与气候的特征进行分析,拟采用郑昌玲等^[8]基于作物产量丰欠指数选择气象相似年型,建立黑龙江省主产地大豆单产动态预报模型,在此基础上建立农业气象产量预测模式,以 Visual Basic 6.0 语言为基础,开发黑龙江省主产区大豆产量预报系统,以期实现对黑龙江省大豆产量的连续、动态、定量预报。

1 材料与方法

1.1 材料

研究资料为五大连池、穆棱(资料长度为 1980 – 2013 年);呼玛、黑河市、拜泉、汤原、佳木斯市、宝清(1982 – 2013 年);嘉荫、巴彦、虎林(1983 – 2013 年);哈尔滨市、双城(1984 – 2013 年);庆安(1985 – 2013 年);嫩江、龙江(1987 – 2013 年);海伦、富锦、饶河(1990 – 2013 年)农业气象试验站有观测资料以来的大豆单位面积产量及农业气象试验站逐

日气象资料,包括最高气温、最低气温、降水量和日照时数。

1.2 方法

1.2.1 产量资料 研究表明,相邻两年单位面积作物的产量变化主要是由相邻的气象条件差异引起的^[5],利用常规方法分别计算每年大豆比上一年单产增减率。

$$\Delta Y_i = ((Y_i - Y_{i-1}) / Y_{i-1}) \times 100\% \quad (1)$$

式中*i*代表*i*年,*i* – 1 为第*i*年的上一年。 ΔY_i 为第*i*年与*i* – 1 年平均单产的丰欠值,*Y_i*和 *Y_{i-1}*分别为第*i*年与第*i* – 1 年大豆平均单产。

1.2.2 发育期资料 发育期资料统一采用 2011 – 2013 年 3a 的平均值,主要用来判断预测大豆所处的发育阶段,主要包括播种、出苗、三真叶、旁枝、开花、结荚、鼓粒和成熟,各发育期所需上限温度分别为 39℃、39℃、36℃、36℃、30℃、30℃、30℃和 25℃ 下限温度为 7℃、7℃、17℃、17℃、18℃、18℃、14℃和 9℃,根据该发育阶段的生理指标计算当天的有效温度。

1.2.3 气象要素因子 气象要素因子分别为积温、有效积温累积、累积降水量、分段累积降水量、标准化降水量、分段标准化降水量、累积日照时数、分段累积日照时数、标准化日照时数和分段标准化日照时数^[8]。

为节省篇幅,对上述气象要素因子符号化,以利于文字书写(表 1)。

表 1 大豆产量预报气象因子的符号化
Table 1 Symbol of prediction factors of soybean yield

| 要素 Meteorological element | 因子 Factor | 符号 Symbol |
|------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|
| 温度 Temperature | 积温 Accumulated Temperature | AT |
| | 有效积温 Effective Accumulated Temperature | EAT |
| 降水 Precipitation | 累积降水量 Accumulated Precipitation | AP |
| | 分段累积降水量 Sectional Accumulated Precipitation | SAP |
| | 标准化降水量 Standardized Precipitation | SP |
| | 分段标准化降水量 Sectional Standardized Precipitation | SSP |
| 日照 Sunshine | 累积日照 Accumulated Sunshine | AS |
| | 分段累积日照 Sectional Accumulated Sunshine | SAS |
| | 标准化日照 Standardized Sunshine | SS |
| | 分段标准化日照 Sectional Standardized Sunshine | SSS |

(1)AT 的计算:从播种日开始,每 5 d(月末为 6 d)累计逐日平均温度,以哈尔滨市为例,从 4 月 21 日播种开始,分别计算到 4 月 25 日、4 月 30 日、5 月 5 日……9 月 30 日的积温,形成积温序列,同理获得有效积温序列。

(2)日平均温度($t_a,^{\circ}\text{C}$):根据日最高($t_h,^{\circ}\text{C}$)、日最低($t_l,^{\circ}\text{C}$)计算。

$$t_a = (t_h + t_l) / 2 \tag{2}$$

(3)日有效温度($t_a^{\wedge},^{\circ}\text{C}$):对作物生长发育有作用的温度范畴。因计算过程较为复杂,具体参见文献^[8]。

(4)AP、SAP、AS 和 SAS 的计算:根据各站逐日降水量和日照时数资料,计算各时段播种日至预报日的时段累积值,即 AP 和 AS,计算各时段的累计值,即为 SAP 和 SAS。

(5)SP、SSP、SS 和 SSS 计算:考虑降水与日照时数及其时间分布差异对大豆生长发育的影响,将 AP 进行标准化处理,即 SP(\hat{p}_i)。

$$\hat{p}_i = \frac{p_i}{S_{pi}}$$
$$S_{pi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})^2}{m - 1}} \tag{3}$$

式中, \hat{p}_i 为 SP, p_i 为 AP, S_{pi} 为 AP 的标准差, m 为样本长度, \bar{p} 为 AP 平均值。SSP、SS 和 SSS 计算方法与此类似。

1.2.4 动态预报模型构建^[8]

(1)相邻两年产量变化量:研究认为,对同一地点而言,相邻两年间,土壤类型、作物品种等因素相对稳定,两年间气象因子的差异是决定产量波动的主要影响因素^[9]。

$$\Delta Y = F(\Delta x) \tag{4}$$

式中, ΔY 为相邻两年作物单产的变化,称为作物产量气象影响指数, Δx 为相邻两年气象要素的变化量。

(2)气象要素变化量:由于相邻两年作物平均单产的变化主要是由相邻两年气象条件差异引起的,因此,对所有的气象因子都要做如下处理:

$$\Delta X_i = X_i - X_{i-1} \tag{5}$$

式中, ΔX_i 为相邻两年气象因子的差值, X_i 和 X_{i-1} 分别为第 i 年和第 $i-1$ 年气象因子值。

①气象因子综合聚类指标:

相似距离

$$d_k = \sqrt{(\sum_{j=1}^N \Delta X_{ij} - \Delta X_{kj})^2} \tag{6}$$

相关系数

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta \bar{X}_i)(\Delta X_{kj} - \Delta \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta \bar{X}_i)^2 \sum_{j=1}^N (\Delta X_{kj} - \Delta \bar{X}_k)^2}} \tag{7}$$

综合聚类指标

$$C_{ik} = \frac{r_{ik}}{d_k} \times 100\% \tag{8}$$

式中, k 为预报年, i 为历史上的任意一年, j 为气象要素的序号, ΔX_{ki} 为预报年作物播种至预报时第 j 个气象要素变化量, ΔX_{ij} 为历史上任意一年同一时段同类气象要素变化量, N 为样本长度。 C_{ik} 为预报年(k 年)与历史上任一年(i 年)的综合聚类指标, C_{ik} 越大,则认为预报年(k 年)与历史该年的相似程度越高。

②相似年选择与因子组合:针对上述 10 种因子,选取 C_{ik} 值最大的 3 个相似年型,作为建模基础数据。从日照(AS、SAS、SS、SSS)、温度(AT、EAT)和降水(AP、SAP、SP、SSP)3 类因子中分别选取 1 个因子,共 32 种组合,通过对比所选气象相似年与预报年的趋势和单产变化,选定预报值与实际值最接近的组合,获得关键气象因子。

A 因子组合分析:根据 32 种组合的预报试验结果,对每种组合的某两个单因子(或 3 个单因子)的 6 个预报试验结果(或 9 个)与实际产量丰欠值进行分析对比,可选择预报试验结果的平均值,也可选择预报结果中符号一致结果的平均值,再进行 4 种(或 8 种)组合,以此确定关键气象因子与预报方法。

B 大概率、加权平均、综合影响指数等分析:具体参见文献^[8]。

基于 Visual Basic 6.0,编程实现上述建模过程,同时为节省篇幅,表 2 为预报方法符号的简化,以利于文字书写。

表 2 大豆产量预报方法的符号化
Table 2 Symbol of forecast methods of soybean yield

| 预报方法 | 符号 |
|--------------------------------|--------|
| Forecast methods | Symbol |
| 趋势一致的平均 Average of Same Trend | AST |
| 简单平均 Average | A |
| 大概率分析 Maximum probability | M |
| 加权平均 Weighted Average | WA |
| 综合影响指数 Integrated Impact Index | III |

2 结果与分析

2.1 大豆产量动态预报模型

根据上述原理和分析方法,分别对 19 站有观测资料至 2010 年大豆进行了 4 月 21-9 月 30 日的逐旬的模型构建,在研究分析 5 月 31 日-9 月 30 日,共 13 旬预报结果的基础上,确定了各站、各时段关键气象因子和预报方法,以拜泉站、富锦站、庆安站、汤原站和虎林站为例,结果见表 3。

表 3 黑龙江省主产区大豆动态预报关键气象因子和预报方法

| Table 3 Key factors and methods of dynamic forecast of soybean yield of main areas in Heilongjiang province | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|---------------|----------|------------------|-----|-----|
| 区域 | 时间 | 温度 | 降水 | 日照 | 预报方法 | | |
| Zone | Time(month-day) | Temperature | Precipitation | Sunshine | Forecast methods | | |
| 拜泉 | 05 - 31 | EAT | SSP | SS | A | A | AST |
| Baiquan | 06 - 10 | | SAP | SS | | AST | AST |
| | 06 - 20 | | SAP | SS | | A | A |
| | 06 - 30 | | SSP | SS | | A | A |
| | 07 - 10 | AT | SAP | SS | | | |
| | 07 - 20 | | SAP | SS | | AST | A |
| | 07 - 31 | AT | SSP | AS | III-A | | |
| | 08 - 10 | | SP | SS | | AST | A |
| | 08 - 20 | AT | SP | AS | III-A | | |
| | 08 - 31 | AT | SSP | AS | III-A | | |
| | 09 - 10 | | SSP | SS | | AST | AST |
| | 09 - 20 | | SSP | SS | | AST | AST |
| | 09 - 30 | | SSP | SS | | AST | AST |
| 富锦 | 05 - 31 | | SP | SSS | | A | A |
| Fujin | 06 - 10 | AT | SP | SSS | AST | AST | AST |
| | 06 - 20 | | SP | SSS | | A | A |
| | 06 - 30 | | SP | SSS | | A | A |
| | 07 - 10 | | AP | SSS | | A | AST |
| | 07 - 20 | AT | SSP | | A | AST | |
| | 07 - 31 | EAT | AP | | A | AST | |
| | 08 - 10 | | AP | AS | | A | A |
| | 08 - 20 | AT | AP | | A | AST | |
| | 08 - 31 | | AP | AS | | A | A |
| | 09 - 10 | | AP | SS | | A | A |
| | 09 - 20 | | AP | SS | | A | A |
| | 09 - 30 | | AP | SS | | A | A |
| 庆安 | 05 - 31 | AT | SSP | AS | AST | A | AST |
| Qingan | 06 - 10 | EAT | SSP | | A | A | |
| | 06 - 20 | EAT | SSP | | AST | A | |
| | 06 - 30 | AT | SP | | A | A | |
| | 07 - 10 | AT | SSP | | A | A | |
| | 07 - 20 | AT | SAP | | AST | AST | |
| | 07 - 31 | AT | SSP | | A | A | |
| | 08 - 10 | AT | SSP | | A | AST | |
| | 08 - 20 | EAT | AP | | AST | AST | |
| | 08 - 31 | AT | AP | SAS | A | AST | AST |
| | 09 - 10 | AT | AP | SAS | A | AST | AST |
| | 09 - 20 | EAT | SP | AS | AST | AST | AST |
| | 09 - 30 | AT | SSP | | AST | AST | |

续表 3

| 区域 Zone | 时间 Time(month-day) | 温度 Temperature | 降水 Precipitation | 日照 Sunshine | 预报方法 Forecast methods | | |
|----------------|-----------------------|-------------------|---------------------|----------------|--------------------------|-----|-----|
| 汤原 Tangyuan | 05 - 31 | EAT | AP | SAS | AST | A | AST |
| | 06 - 10 | EAT | SAP | SS | A | AST | A |
| | 06 - 20 | EAT | SP | SS | A | AST | A |
| | 06 - 30 | EAT | SP | SAS | A | AST | AST |
| | 07 - 10 | | SP | AS | | AST | A |
| | 07 - 20 | EAT | SP | AS | A | AST | A |
| | 07 - 31 | EAT | SP | SS | A | | |
| | 08 - 10 | AT | SP | AS | WA | | |
| | 08 - 20 | AT | SSP | SAS | WA | | |
| | 08 - 31 | EAT | | SAS | A | | A |
| | 09 - 10 | EAT | SP | | A | | |
| | 09 - 20 | EAT | SSP | SAS | A | A | AST |
| | 09 - 30 | EAT | SP | AS | A | A | A |
| | | | | | | | |
| 虎林 Hulin | 05 - 31 | EAT | | SAS | A | | A |
| | 06 - 10 | AT | AP | SAS | A | A | A |
| | 06 - 20 | | SSP | SAS | | A | A |
| | 06 - 30 | | AP | AS | | AST | A |
| | 07 - 10 | | AP | AS | | AST | A |
| | 07 - 20 | | AP | SAS | | AST | A |
| | 07 - 31 | | SSP | AS | | AST | A |
| | 08 - 10 | EAT | SAP | SS | WA | | |
| | 08 - 20 | | SAP | SS | | A | A |
| | 08 - 31 | EAT | SP | SS | AST | A | A |
| | 09 - 10 | AT | AP | SS | WA | | |
| | 09 - 20 | AT | AP | SS | WA | | |
| | 09 - 30 | AT | AP | SS | WA | | |
| | | | | | | | |

2.2 模型验证

利用以上 5 月 31 日 - 9 月 30 日逐旬大豆产量预报模型,对 2011 - 2013 年大豆单产丰欠趋势进行逐旬检验。根据趋势预测结果,利用公式 $Y_i = Y_{i-1} \times (1 + \Delta Y_i) \times 100\%$ 对 2011 - 2013 年的大豆单产进行了预报检验,并根据预测产量与实际产量的比较得到准确率,结果见表 4。

从表 4 中可以看出,2011 和 2013 年拜泉站 13 个动态预报模型中,预报增减趋势与实际趋势基本一致,2012 年预报趋势与实际趋势完全一致,62% 的模拟结果单产预报准确率超过 90%,88% 的模拟结果单产预报准确率超过了 85%,预报效果较好;富锦站 3 年中预报增减趋势与实际趋势基本一致,

65% 的模拟结果单产预报准确率超过 90%,尤其是 2012 年单产预报准确率均很高。2011 年庆安站 85% 的模拟结果预报增减趋势与实际趋势一致,2012 和 2013 年模型预报增减趋势和实际趋势完全一致,且这两年的 73% 的模拟结果单产预报准确率超过 90%,23% 的模拟结果单产预报准确率超过 95%,预报效果较好。汤原站在 3 年中 64% 的模拟结果预报增减趋势与实际基本一致,但单产预报准确率略差。虎林站 3 年中 70% 的模拟结果预报增减趋势与实际趋势一致,且 69% 的模拟结果单产预报准确率超过 90%,尤其是接近大豆成熟的 9 月的预报准确率偏高。5 个代表站预报结果总体表现为越接近大豆成熟,单产预报的准确率就越高。

表 4 2011 – 2013 年大豆单产丰欠趋势动态预报结果和产量预报准确率

Table 4 The outcome and accuracy of dynamic forecast of soybean yield from 2011 to 2013

(%)

| 年 Year | 时间 Time /(month-day) | 拜泉 Baiquan | | 富锦 Fujin | | 庆安 Qingan | | 汤原 Tangyuan | | 虎林 Hulin | |
|-----------|------------------------------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| | | 预测趋势 | 准确率 | 预测趋势 | 准确率 | 预测趋势 | 准确率 | 预测趋势 | 准确率 | 预测趋势 | 准确率 |
| | | Predicted trend | Accuracy | Predicted trend | Accuracy | Predicted trend | Accuracy | Predicted trend | Accuracy | Predicted trend | Accuracy |
| 2011 | 05 – 31 | – 10. 3 | 93. 6 | – 9. 3 | 86. 6 | – 10. 8 | 94. 4 | – 3. 9 | 91. 5 | – 0. 8 | 96. 8 |
| | 06 – 10 | – 2. 9 | 98. 7 | – 9. 3 | 86. 6 | – 4. 8 | 87. 4 | 0. 2 | 86. 8 | 28. 1 | 66. 7 |
| | 06 – 20 | 3. 6 | 91. 9 | – 6. 2 | 82. 7 | 6. 0 | 74. 5 | – 2. 3 | 89. 7 | – 10. 6 | 93. 0 |
| | 06 – 30 | – 4. 6 | 99. 5 | – 6. 2 | 82. 7 | – 13. 1 | 97. 2 | 2. 9 | 83. 8 | 13. 2 | 82. 3 |
| | 07 – 10 | – 1. 6 | 97. 3 | 19. 1 | 51. 1 | – 15. 7 | 99. 8 | – 3. 1 | 90. 6 | – 0. 6 | 96. 6 |
| | 07 – 20 | – 4. 4 | 99. 7 | 17. 8 | 52. 7 | – 16. 6 | 98. 8 | 2. 0 | 84. 8 | – 3. 8 | 99. 9 |
| | 07 – 31 | 10. 7 | 84. 5 | – 17. 6 | 96. 9 | – 5. 7 | 88. 4 | – 2. 8 | 90. 2 | – 7. 2 | 96. 5 |
| | 08 – 10 | – 9. 6 | 94. 3 | – 10. 9 | 88. 6 | – 10. 9 | 94. 6 | – 3. 2 | 90. 8 | 11. 8 | 83. 7 |
| | 08 – 20 | – 21. 6 | 81. 8 | – 23. 4 | 95. 7 | – 0. 9 | 82. 7 | – 0. 4 | 87. 5 | – 7. 9 | 95. 8 |
| | 08 – 31 | 10. 7 | 84. 5 | – 23. 6 | 95. 5 | – 3. 1 | 85. 3 | – 5. 7 | 93. 6 | – 1. 7 | 97. 8 |
| | 09 – 10 | – 3. 2 | 98. 9 | – 7. 2 | 84. 0 | – 4. 1 | 86. 5 | – 2. 6 | 90. 1 | – 2. 5 | 98. 6 |
| | 09 – 20 | – 3. 2 | 98. 9 | – 7. 2 | 84. 0 | – 2. 8 | 85. 0 | 0. 5 | 86. 5 | – 2. 5 | 98. 6 |
| | 09 – 30 | – 3. 2 | 98. 9 | – 12. 1 | 90. 1 | 0. 8 | 80. 7 | 1. 1 | 85. 9 | – 2. 5 | 98. 6 |
| | 实际趋势 Actual trend | – 4. 2 | | – 20. 0 | | – 15. 5 | | – 11. 4 | | – 3. 9 | |
| 2012 | 05 – 31 | 12. 4 | 92. 3 | 20. 2 | 97. 0 | 0. 7 | 97. 0 | – 6. 4 | 84. 1 | 3. 1 | 95. 5 |
| | 06 – 10 | 24. 8 | 80. 4 | 14. 4 | 98. 0 | 6. 4 | 97. 5 | 2. 6 | 92. 2 | 11. 6 | 86. 9 |
| | 06 – 20 | 2. 9 | 98. 6 | 5. 0 | 90. 0 | 6. 4 | 97. 5 | 2. 0 | 91. 6 | – 10. 9 | 90. 3 |
| | 06 – 30 | 6. 0 | 98. 4 | 5. 0 | 90. 0 | 19. 0 | 85. 3 | 7. 2 | 96. 3 | 6. 5 | 92. 1 |
| | 07 – 10 | 19. 8 | 85. 2 | – 4. 4 | 82. 0 | 19. 4 | 84. 9 | 0. 5 | 90. 3 | 8. 5 | 90. 0 |
| | 07 – 20 | 7. 9 | 96. 6 | 31. 3 | 87. 4 | 25. 0 | 79. 5 | – 0. 9 | 89. 1 | – 4. 1 | 97. 2 |
| | 07 – 31 | 6. 9 | 97. 6 | 27. 2 | 91. 0 | 15. 7 | 88. 5 | – 6. 9 | 83. 6 | 4. 7 | 93. 9 |
| | 08 – 10 | 13. 3 | 91. 4 | 6. 4 | 91. 2 | 21. 3 | 83. 1 | – 3. 4 | 86. 8 | – 2. 3 | 99. 0 |
| | 08 – 20 | 16. 7 | 88. 2 | 15. 3 | 98. 9 | 12. 6 | 91. 4 | – 10. 4 | 80. 5 | 12. 8 | 85. 6 |
| | 08 – 31 | 6. 9 | 97. 6 | 6. 4 | 91. 2 | 8. 0 | 95. 9 | – 0. 1 | 89. 8 | – 13. 1 | 88. 1 |
| | 09 – 10 | 16. 5 | 88. 3 | 25. 1 | 92. 8 | 9. 7 | 94. 3 | 4. 4 | 93. 8 | – 9. 7 | 91. 6 |
| | 09 – 20 | 16. 5 | 88. 3 | 21. 8 | 95. 6 | 7. 0 | 96. 9 | – 1. 4 | 88. 6 | – 9. 7 | 91. 6 |
| | 09 – 30 | 16. 5 | 88. 3 | 21. 8 | 95. 6 | 27. 5 | 77. 2 | – 3. 8 | 86. 5 | – 16. 9 | 84. 2 |
| | 实际趋势 Actual trend | 4. 3 | | 16. 7 | | 3. 8 | | 11. 3 | | – 1. 3 | |
| 2013 | 05 – 31 | – 8. 0 | 83. 8 | 14. 2 | 89. 7 | 29. 5 | 91. 4 | 15. 5 | 96. 3 | 14. 4 | 87. 9 |
| | 06 – 10 | 4. 3 | 68. 3 | 6. 8 | 96. 9 | 3. 5 | 86. 8 | 10. 5 | 99. 3 | 11. 5 | 90. 7 |
| | 06 – 20 | – 3. 9 | 78. 6 | 14. 2 | 89. 7 | 15. 6 | 96. 9 | 7. 9 | 97. 0 | – 3. 1 | 95. 0 |
| | 06 – 30 | – 13. 1 | 90. 3 | 14. 2 | 89. 7 | 2. 3 | 85. 8 | – 6. 5 | 84. 0 | 11. 7 | 90. 5 |
| | 07 – 10 | – 2. 5 | 76. 9 | 14. 8 | 89. 2 | 26. 4 | 94. 1 | 3. 7 | 93. 1 | 17. 4 | 84. 9 |
| | 07 – 20 | – 16. 7 | 94. 8 | – 9. 5 | 87. 3 | 19. 3 | 100. 0 | 5. 8 | 95. 0 | 39. 0 | 63. 8 |
| | 07 – 31 | – 16. 6 | 94. 6 | – 11. 6 | 85. 3 | 24. 7 | 95. 4 | 24. 5 | 88. 1 | 18. 2 | 84. 2 |
| | 08 – 10 | – 13. 5 | 90. 7 | – 4. 2 | 92. 5 | 22. 6 | 97. 3 | 9. 6 | 98. 5 | – 0. 3 | 97. 7 |
| | 08 – 20 | – 10. 1 | 86. 4 | – 12. 5 | 84. 5 | 9. 0 | 91. 4 | 25. 7 | 87. 1 | – 18. 3 | 80. 1 |
| | 08 – 31 | – 16. 6 | 94. 6 | 11. 3 | 92. 5 | 17. 7 | 98. 6 | 16. 3 | 95. 5 | 2. 3 | 99. 8 |
| | 09 – 10 | – 18. 8 | 97. 4 | 18. 7 | 85. 4 | 17. 7 | 98. 6 | – 4. 9 | 85. 4 | 8. 2 | 94. 0 |

续表 4

| 年 Year | 时间 Time /(month-day) | 拜泉 Baiquan | | 富锦 Fujin | | 庆安 Qingan | | 汤原 Tangyuan | | 虎林 Hulin | |
|-----------|----------------------------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| | | 预测趋势 | 准确率 | 预测趋势 | 准确率 | 预测趋势 | 准确率 | 预测趋势 | 准确率 | 预测趋势 | 准确率 |
| | | Predicted trend | Accuracy | Predicted trend | Accuracy | Predicted trend | Accuracy | Predicted trend | Accuracy | Predicted trend | Accuracy |
| | 09-20 | -18.5 | 97.1 | 18.7 | 85.4 | 16.4 | 97.6 | 24.0 | 88.6 | 8.0 | 94.2 |
| | 09-30 | -16.7 | 94.8 | -6.4 | 90.4 | 14.4 | 95.9 | 16.3 | 95.5 | 1.5 | 99.4 |
| | 实际趋势 Actual trend | -20.8 | | 3.6 | | 19.3 | | 11.3 | | 2.0 | |

准确率 = $(1 - \left| \frac{Y_{\text{预报}} - Y_{\text{实际}}}{Y_{\text{实际}}} \right|) \times 100\%$; 其中 $Y_{\text{预报}}$ 为预报的某区域某年产量值, $Y_{\text{实际}}$ 为农业气象试验站实际测产。

Accuracy = $(1 - \left| \frac{Y_{\text{预报}} - Y_{\text{实际}}}{Y_{\text{实际}}} \right|) \times 100\%$, $Y_{\text{predicted}}$: Predicted yield of some area or year, Y_{actual} : Actual yield of agrometeorological experimental station determined.

表 5 各预报节点趋势预报和产量预报准确率

Table 5 The accuracy of trend and yield of soybean forecast time (%)

| 时间 Time (month-day) | 趋势预报准确率 Accuracy of trend | 产量预报准确率 Accuracy of yield |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 05-31 | 87 | 91.9 |
| 06-10 | 73 | 88.2 |
| 06-20 | 80 | 90.5 |
| 06-30 | 73 | 89.9 |
| 07-10 | 80 | 87.1 |
| 07-20 | 73 | 88.4 |
| 07-31 | 73 | 90.6 |
| 08-10 | 73 | 92.0 |
| 08-20 | 73 | 87.8 |
| 08-31 | 87 | 93.4 |
| 09-10 | 93 | 92 |
| 09-20 | 87 | 91.8 |
| 09-30 | 73 | 90.8 |

表 5 为大豆预报模型 5 个代表点 3 年趋势预报准确率和单产预报准确率平均值。13 个时间节点预报模型趋势预报准确率平均值均超了 73%, 尤其是 9 月 10 日准确率超过了 90%, 各预报节点模型单产预报准确率均超过了 87%, 除 6 月上旬、7 月上中旬, 8 月中旬模型外, 其余模型的产量预报准确率超过了 90%。

表 6 各年预报准确率

Table 6 The accuracy of soybean forecast of each year (%)

| 年份 Year | 趋势预报准确率 Accuracy of trend | 产量预报准确率 Accuracy of yield |
|------------|------------------------------|------------------------------|
| 2011 | 77 | 89.4 |
| 2012 | 77 | 90.8 |
| 2013 | 83 | 90.8 |

表 6 为年预报准确率, 3 年的趋势预报均比较准确, 2013 年预报效果最好, 3 年的产量预报准确率表现较为一致, 平均单产预报准确率在 90% 左右。

2.3 大豆产量预报系统实现

基于作物产量历史丰欠气象影响指数构建黑龙江省大豆产量预报模型, 因涉及的气象因子较多, 计算过程复杂, 通过计算机语言可以实现快速的大豆产量动态预报。

2.3.1 系统软硬件环境 Pentium II 以上 PC 机, Windows 98 以上系列软件平台, 开发语言为 Visual Basic 6.0。

2.3.2 系统结构与主要功能 借助 Visual Basic 6.0 的特性, 采用菜单与屏幕控件相结合的形式, 各个部分的功能均以模块化方式实现, 以人机交互的形式进行操作。系统各模块形式上相互独立, 逻辑上又相互联系。系统包括数据的基础计算和预报趋势与单产两部分, 具体功能如图 1。

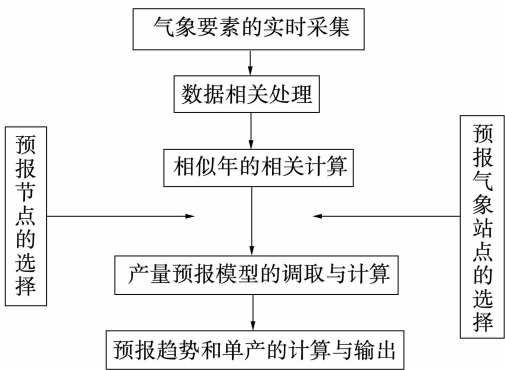


图 1 黑龙江省主产区大豆产量动态预报流程图

Fig. 1 Flow chart of dynamic forecast of soybean yield of main areas in Heilongjiang province

2.3.3 系统应用实例 该系统于 2016 年在大豆生长发育的中后期对黑龙江省 19 个建模站进行动态的大豆产量趋势与单产预报, 该系统可以进行气象各要素值任意时段的统计分析, 以及与历史资料的比较分析; 如图 2 所示, 系统界面简单大方, 操作简便灵活, 能够实现大豆产量的动态预报。

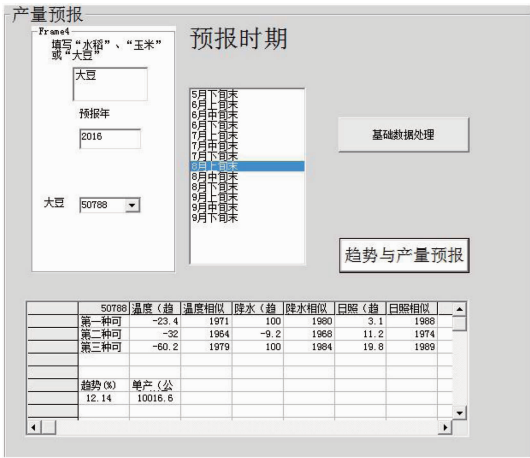


图2 黑龙江省主产区大豆产量动态预报实例

Fig. 2 Application of dynamic forecast system of soybean yield of main areas in Heilongjiang province

3 结论与讨论

本研究的3年试验中,5个代表站81%的预报结果增减趋势与实际趋势表现一致,81%的模拟结果单产预报准确率超过了85%,61%的模拟结果单产预报准确率超过了90%,并随着大豆的生长发育,越接近大豆成熟阶段,其趋势预报和单产预报的效果总体表现出越好的趋势。从2011-2013年各代表点大豆产量趋势预报单产预报效果来看,上述获得的各气象站点各旬的预报模型可以用于黑龙江省主产区大豆生长季动态的丰欠趋势和单产预报。

基于Visual Basic 6.0,开发了黑龙江省大豆动态产量预报系统,主要功能是气象数据基础计算及预报趋势与单产,界面简洁,操作灵活,经2016年业务运行,该系统能够方便、快捷实现大豆产量的动态预报。

对大豆生育期、产量资料、气象资料与大豆的生理指标做相应的处理,获得气象要素因子,依据历史年中相邻两年关键气象因子变化引起大豆产量的丰欠指数,利用相关系数和相似距离方法对大豆生育阶段的气象因子进行综合聚类分析^[8],获得最大的3个相似年型,对3个相似年大豆产量丰欠指数做大概率、加权平均等处理,确定关键气象因子与预报方法,最终建立黑龙江省大豆主产地大豆动态预报模型,从而预测大豆丰欠趋势和单产。预

报模型及预报系统解决了常规统计方法在短时间内筛选预报因子难的问题,使预报时效明显提前,可在大豆播种1个月后进行逐旬的滚动预报。为了获得更好的预报效果,并增强预报的实效性,精细预报单元,具体到每个县站,同时开发了主产区大豆产量动态预报系统,在大豆重要的发育期能够实现对主产区快速,及时进行动态、连续、定量预报。

参考文献

[1] 姜丽霞,李帅,李秀芬,等. 黑龙江省近三十年气候变化对大豆发育和产量的影响[J]. 大豆科学,2011,30,(6):921-926. (Jiang L X, Li S, Li X F, et al. Impacts of climate change on development and yield of soybean over past 30 years in Heilongjiang province[J]. Soybean Science,2011,30(6):921-926.)

[2] 赵四强. 日本作物产量预报简介[J]. 气象,1985,11(3):25-26. (Zhao S Q. Brief introduction of crop yield forecast in Japan [J]. Meteorological Monthly,1985,11(3):25-26.)

[3] Graybiu J S, Cox W J, Otis D J. Yield and quality of forage maize as influence by hybrid, planting date, and plant density [J]. Agronomy Journal,1991,83(3):559-563.

[4] 娄秀荣,杨霁云,王建林. 黑龙江省大豆产量丰歉年型气象指标的初步研究[J]. 气象,2001,27(12):47-49. (Lou X R, Yang F Y, Wang J L. Study on meteorological indicators of high and low bean yield in Heilongjiang province[J]. Meteorological Monthly, 2001,27(12):47-49.)

[5] 郑昌玲,王建林,宋迎波,等. 巴西大豆产量预报方法研究 [J]. 大豆科学,2010,29(3):420-423. (Zheng C L, Wang J L, Song Y B, et al. Prediction model of soybean yield for Brazil [J]. Soybean Science, 2010,29(3):420-423.)

[6] 孙玉亭,王春乙. 大豆产量预报的生长动态模式[J]. 气象,1984,9(5):24-26. (Sun Y T, Wang C Y. Growing dynamic model of forecasting soybean yield [J]. Meteorological Monthly, 1984, 9(5):24-26.)

[7] 姜丽霞,那济海,朱海霞,等. 基于 Logistic 方程的大豆产量预报方法[J]. 大豆科学,2008,27(3):414-419. (Jiang L X, Na J H, Zhu H X, et al. Method for forecasting soybean yield based on logistic equation [J]. Soybean Science,2008,27(3):414-419.)

[8] 郑昌玲,王建林,宋迎波,等. 大豆产量动态预报模型研究 [J]. 大豆科学,2008,27(6):943-948. (Zheng C L, Wang J L, Song Y B, et al. Dynamic prediction model of soybean yield per unit [J]. Soybean Science, 2008,27(6):943-948.)

[9] 王馥堂,李郁竹,王石立. 农业产量气象模拟与模型引论 [M]. 北京:科学出版社,1990:5. (Wang F T, Li Y Z, Wang S L. Introduce to meteorologicals imulat ion and model of agricultural yield [M]. Beijing: Science Press, 1990:5.)