

# 国外粮食产量业务预报系统

陈晖 王建林 宋迎波 杨霏云

(国家气象中心,北京 100081)

**摘要** “国外粮食产量业务预报系统”是在 Windows 9x/2000/NT 平台下,应用 Microsoft Visual Basic 6.0 工具研制的。主要包括数据管理、数据处理、数据统计分析、平均单产预报、种植面积估算和总产量预报等模块,利用该系统可分别对美国小麦、美国玉米、美国大豆、印度小麦、印度稻谷、巴西大豆、中国稻谷、中国小麦、中国玉米 9 种粮食作物进行生长期农业气象条件分析、平均单产预报、种植面积估算和总产量预报。系统结构合理、操作简便、自动化程度高。以美国玉米为例对该系统进行介绍。美国玉米总产量预报 2001~2004 年最大误差 8.4%(绝对值),平均误差 2.4%,平均准确率在 90%以上;2005 年预报正确,能够满足业务服务的需要。

**关键词** 美国玉米 农业气象条件 总产量预报 业务系统

## 引言

随着我国经济社会的快速发展以及人口的持续增长,对粮食的需求量不断增加。然而,由于我国农业生产能力仍比较低,还无法完全避免自然灾害的影响,高温干旱、低温冷害、暴雨洪涝等常常导致粮食严重减产,粮食安全问题已成为国民经济持续发展和社会安定的重要问题之一。要解决我国的粮食安全问题,首先要搞好国内粮食的生产,同时,也可以充分利用国际市场来调节国内粮食的余缺,通过制定合理的粮食进出口计划,确保我国的粮食安全。美国是世界第一大玉米生产国,例如 2001~2003 年美国玉米平均总产量占世界玉米总产量的 39.4%(图 1),位居世界首位。美国玉米产量的 30%左右用于出口,列世界第 1。亚洲是美国玉米的主要出口地,日本、中国、中国台湾、韩国等都是美国玉米出口的重要市场。近几年中国每年从美国进口玉米达 500 多万吨,进口数量世界排名第 3。

目前,国内开展的美国玉米产量预报工作还很有限。刘艳等<sup>[1]</sup>对中国玉米产量形成的影响因素进行了分析,杨霏云等<sup>[2]</sup>建立了中国玉米产量评估模型,但对玉米产量的预报能力不够。为此,在国外粮食产量业务预报服务系统中,开展美国玉米产量预

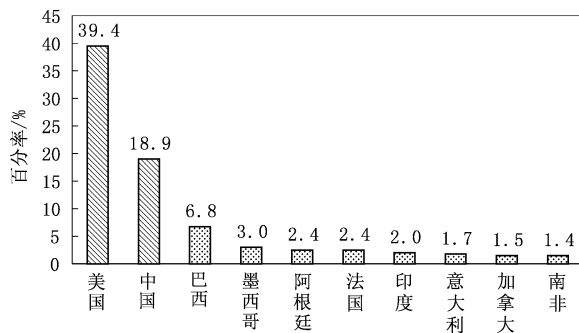


图 1 主要玉米生产国 2001~2003 年平均玉米产量占世界玉米总产量的百分率

报,使国家有关部门及时掌握美国玉米的生产情况,对我国粮食进出口及国家粮食安全都具有极其重要的意义。“国外粮食产量业务预报系统”是基于 Windows 9X/2000/NT 平台,用 Microsoft Visual Basic 6.0 可视化开发工具研制的。主要由数据管理、数据处理、数据统计、平均单产预报、种植面积预报和总产量预报等六大功能模块构成(以下均以美国玉米为例进行介绍)。

## 1 数据管理功能

数据管理功能是对系统涉及到的玉米平均单产、玉米总产量、玉米种植面积、日降水量、日平均气

温等所有数据进行管理。主要包括数据追加、数据修改、数据查询、数据拷贝、数据质量控制等功能。

产量资料为 1961~2005 年美国玉米历年平均单产 (kg/hm<sup>2</sup>)、种植面积 (10<sup>3</sup> hm<sup>2</sup>) 和总产量 (10<sup>4</sup> t)。日降水量、日平均气温资料为 1982~2005 年 14 个美国玉米代表站的历年逐日资料。

数据查询供用户查询、浏览资料,在查询的基础上,可以实现资料拷贝;数据修改是修改系统中的错误数据;数据追加是将实时资料及时追加到系统相应的数据文件中,供业务预报使用。由于美国气象资料的缺(错)比较严重,在进行气象资料处理之前,首先用式(1)对缺(错)资料进行修补和质量控制。

$$x_i = am_i + b \quad (1)$$

$x_i$  为缺(错)值,  $m_i$  为缺(错)值日期前两年同一天同类气象要素的平均值,  $a$ 、 $b$  为某气象要素缺(错)值年与同一气象要素前两年平均值的回归系数。

## 2 数据处理功能

数据处理功能是将逐日降水量、逐日平均气温处理成美国玉米平均单产预报所用的各种要素。要素种类和处理方法包括区域平均、积温、累积降水量和分段累积降水量、标准化降水量和分段标准化降水量、相对气象要素。

(1) 区域平均。利用式(2)计算美国玉米主产区生长季(5月11日至9月30日)内逐日区域平均气温和平均降水量。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

$\bar{x}$  为逐日区域平均气温或降水量,  $n$  为美国玉米代表站数,  $x_i$  为各代表站逐日平均气温或降水量。

(2) 积温。积温是大于 0℃ 的逐日区域平均温度的累积。积温累计从起始日开始,每隔 5 天(月末或为 6 天)增加累计一次,即 5 月 11 日至 5 月 15 日,5 月 11 日至 5 月 20 日,……。

(3) 累积降水量、分段累积降水量。累积降水量是逐日区域平均降水量的累积,其计算方法与积温相同。分段累积降水量是逐日区域平均降水量每 5 天的累积量,即 5 月 11 日至 5 月 15 日,5 月 16 日至 5 月 20 日,……。

(4) 标准化降水量、分段标准化降水量。标准化降水量、分段标准化降水量是用式(3)把累积降水量、分段累积降水量标准化处理后的降水量。

$$\hat{P}_i = \frac{P_i}{S_{P_i}} \quad (3)$$

其中:

$$S_{P_i} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (P_i - \bar{P})^2} \quad (4)$$

$\hat{P}_i$  为标准化降水量或分段标准化降水量,  $P_i$  为累积降水量或分段累积降水量,  $S_{P_i}$  为累积降水量或分段累积降水量的标准差,  $m$  为样本长度,  $\bar{P}$  为累积降水量或分段累积降水量的平均值。

(5) 相对气象要素。研究表明<sup>[3]</sup>,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的差异引起的,因此,对上述所有气象要素做式(5)处理:

$$\Delta X_i = X_i - X_{i-1} \quad (5)$$

$\Delta X_i$  为相邻两年气象要素的差值,  $X_i$  和  $X_{i-1}$  分别为第  $i$  年和第  $i-1$  年的积温、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。

## 3 数据统计分析功能

该功能是统计分析任意一年任意时段的气象要素、任意两年同一时段气象要素的对比,以此来评估气象条件对作物产量丰歉的利弊影响(图 2)。

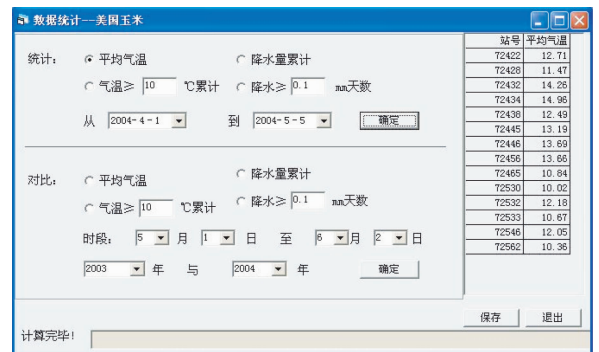


图 2 数据统计分析功能界面

## 4 产量预报功能

### 4.1 平均单产预报功能

#### 4.1.1 预报原理

相邻两年气象条件的变化是导致相邻两年作物单产变化的主要因素,即

$$\Delta Y = f(\Delta m) \quad (6)$$

$\Delta Y$  为相邻两年作物单产变化,即作物产量气象影响指数,  $\Delta m$  为相邻两年气象条件的变化。 $\Delta Y$  的计算最理想的方法是通过试验研究获得。但由于气候条件、地理背景和作物品种等因素的差异较大,大量

的试验研究在短期内无法实现,特别是在国外开展试验更是难以实现。目前国内已经开展了一些这方面的试验研究,但由于不同试验的结果差异甚大,且代表性较差,因此,现阶段以试验研究为基础计算作物产量气象影响指数仍无法在具体业务中实现。为此,采用以下方法解决  $\Delta Y$  的计算问题<sup>[4]</sup>。

相似距离:

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta X_{kj})^2} \quad (7)$$

相关系数:

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta \bar{X}_i)(\Delta X_{kj} - \Delta \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta \bar{X}_i)^2 \sum_{j=1}^N (\Delta X_{kj} - \Delta \bar{X}_k)^2}} \quad (8)$$

综合诊断指标:

$$C_{ik} = \frac{r_{ik}}{d_{ik}} \times 100\% \quad (9)$$

式(7)~(9)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,  $\Delta X_{kj}$  为预报年作物播种后至发布预报时的第  $j$  个气象要素差异,  $\Delta X_{ij}$  为历史上任意一年同一时段同类气象要素差异,  $N$  为样本长度。  $C_{ik}$  为预报年( $k$ 年)与历史上任一年( $i$ 年)的综合诊断指标,  $C_{ik}$  越大,则预报年( $k$ 年)与历史某一年的气象影响程度越一致。

在不考虑作物品种变化的条件下,同一地区的不同年份,如果相邻两年的气象条件变化一致,则其产量的变化也应相近。但由于作物品种的不断更新、农业生产水平力的不断提高、发布预报时刻之后气象条件的不断变化等诸多原因,使得虽然气象条件变化最为一致的年份,而作物产量的变化却不一定最接近。因此,在确定  $\Delta Y$  的计算方法时,选取  $C_{ik}$  值最大的 3 个历史年型,通过分析研究 3 个历史年型作物产量的变化( $\Delta Y$ )与预报年作物产量的实际变化,最终确定具体的  $\Delta Y$  计算方法。

#### 4.1.2 业务预报因子和预报方法的确定

从累积降水量、分段累积降水量、标准化降水量、分段标准化降水量中任意选取一个因子,与积温组成一组因子(共 4 组因子),根据上述原理,利用 1995~2004 年美国玉米的实际产量资料和气象资料,用文献[5]提供的对比分析方法,确定美国玉米平均单产的预报因子为累积降水量、积温;业务预报方法为综合诊断指标 3 个最大值对应的历史年的

$\Delta Y$  平均值乘以 0.4,结果见表 1。

表 1 美国玉米平均单产丰歉趋势预报结果

年份	实际增减/%	8月31日预报/%	趋势预报
1995	-18.1	-10.8	正确
1996	12.0	10.6	正确
1997	-0.3	-7.4	正确
1998	6.1	3.9	正确
1999	-0.5	-5.0	正确
2000	2.3	3.2	正确
2001	0.9	3.3	正确
2002	-5.9	-7.6	正确
2003	9.4	10.0	正确
2004	12.6	5.5	正确

注:趋势预报中如符号一致,判定为正确。

从表 1 可以看出,1995~2004 年美国玉米平均单产丰歉趋势预报结果均为正确,总体正确率达到 100%。

利用式(10)对表 1 中趋势预报结果进行处理,得到美国玉米平均单产预报结果,见表 2。

$$y_i = y_{i-1}(1 + \Delta y_i) \quad (10)$$

$y_i$  为第  $i$  年的平均单产,  $y_{i-1}$  为第  $i-1$  年的平均单产,  $\Delta y_i$  为第  $i$  年与第  $i-1$  年平均单产的增减百分率,  $i$  为年份序号。

表 2 美国玉米平均单产预报结果

年份	实际产量	8月31日预报	准确率/%
	kg·hm <sup>-2</sup>	kg·hm <sup>-2</sup>	
1995	7123.0	7756.7	91.1
1996	7977.7	7880.9	98.8
1997	7952.2	7384.2	92.9
1998	8438.2	8263.9	97.9
1999	8397.9	8016.3	95.5
2000	8591.0	8663.3	99.2
2001	8672.2	8872.8	97.7
2002	8157.0	8016.6	98.3
2003	8923.6	8972.7	99.4
2004	10052.3	9416.2	93.7

从表 2 可以看出,1995~2004 年美国玉米平均单产预报准确率都在 90%以上,最低值为 91.1%,最高值为 99.4%,10 年平均准确率为 96.4%。平均单产预报功能界面如图 3 所示。



图 3 平均单产预报功能界面

### 4.2 种植面积预报功能

粮食产量的高低取决于单位面积产量的高低,也取决于作物种植面积的多少。作物种植面积的多少主要由该作物的期望收入、其它作物的期望收入、非农业收入、上一年该作物的种植面积等因素决定的。鉴于长序列的作物期望收入资料和非农业收入资料不易获取,本文主要以上一年作物种植面积为预报依据,以预报年的农业政策(该作物的期望收入)做订正进行预报。

图 4 为 1962~2003 年美国玉米当年种植面积与上一年种植面积的关系图。从图 4 可以看出,当年玉米种植面积与上一年玉米种植面积有一定的线性关系。同样,1962~2000 年、1962~2001 年、1962~2002 年二者也具有一定的线性关系。具体的相关系数和回归方程系数见表 3。

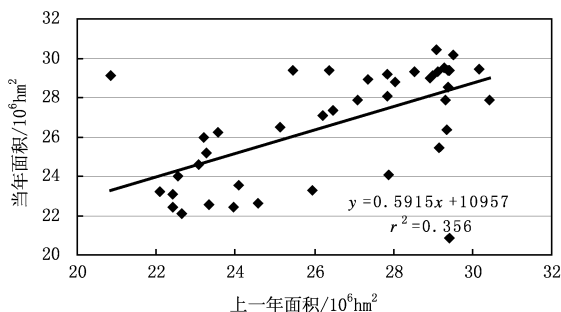


图 4 1962~2003 年美国玉米当年种植面积与上一年种植面积关系

美国玉米当年种植面积( $s_i$ )与上一年种植面积( $s_{i-1}$ )的回归方程为

$$s_i = as_{i-1} + b \quad (11)$$

表 3 美国玉米当年种植面积与上一年种植面积的回归方程系数和相关系数

	$a$	$b$	$r^2$	$r$
1962~2000 年	0.5862	11062.0	0.3451	0.5875
1962~2001 年	0.5826	11146.0	0.3482	0.5901
1962~2002 年	0.5855	11087.0	0.3514	0.5928
1962~2003 年	0.5915	10957.0	0.3560	0.5967

利用式(11)预报的 2001~2004 年美国玉米种植面积见表 4。

表 4 美国玉米种植面积预报结果与误差

年份	上一年面积	预报	实际面积	误差	实际增减	预报增减
	$10^3 \text{ hm}^2$	$10^3 \text{ hm}^2$	$10^3 \text{ hm}^2$	%	%	%
2001	29316	28247	27846	1.4	-5.0	-3.6
2002	27846	27369	28050	-2.4	0.7	-1.7
2003	28050	27510	28789	-4.4	2.6	-1.9
2004	28789	27986	29668	-5.7	3.1	-2.8

从表 4 可以看出,预报的相对误差绝对值为 1.4%~5.7%,平均误差为 3.5%;但从与上一年的增减值预报看,预报的增减值均为负值,与实际增减值不完全相符。考虑到预报年玉米的期望收入(农业政策对种植面积的影响),用平均误差进行订正,订正的方法为:如果预报年的实际种植面积比上一年减少,则认为玉米的期望收入下降,预报年的误差应减去平均误差;如果预报年的实际面积比上一年增加,则认为玉米的期望收入增加,预报年的误差应加上平均误差。订正结果见表 5。

表 5 美国玉米种植面积订正预报结果与误差

年份	上一年面积	预报	实际面积	误差	实际增减	预报增减
	$10^3 \text{ hm}^2$	$10^3 \text{ hm}^2$	$10^3 \text{ hm}^2$	%	%	%
2001	29316	27261	27846	-2.1	-5.0	-7.0
2002	27846	28359	28050	1.1	0.7	1.8
2003	28050	28530	28789	-0.9	2.6	1.7
2004	28789	29015	29668	-2.2	3.1	0.8

从表 5 可以看出,订正后的相对预报误差绝对值为 0.9%~2.2%,平均误差为 1.6%,从与上一年的增减预报看,预报的增减值与实际增减值趋势完全一致。订正后的预报结果均比订正前有明显改进。种植面积预报功能界面如图 5 所示。

### 4.3 总产量预报功能

利用预报的美国玉米平均单产和种植面积(单产-

面积法), 预报 2001~2004 年美国玉米总产量, 见表 6。

表 6 单产-面积法预报 2001~2004 年美国玉米总产量

年份	上一年总 产/ $10^4$ t	预报总 产/ $10^4$ t	实际总 产/ $10^4$ t	误差 %	实际增减 %	预报增减 %
2001	25185.4	24188	24148	0.2	-4.1	-4.0
2002	24148.5	22734	22881	-0.6	-5.3	-5.9
2003	22880.5	25599	25690	-0.4	12.3	11.9
2004	25690.5	27321	29823	-8.4	16.1	6.3

从表 6 可以看出, 美国玉米总产量最大预报误差为 8.4% (绝对值), 平均预报误差为 2.4%, 从上一年比较的增减趋势看, 预报的增减趋势与实际增减趋势完全一致。总产量预报功能界面如图 6 所示。

## 5 业务预报效果检验

利用国外粮食产量业务预报系统, 预报 2005 年美国的玉米总产量为  $28030.8 \times 10^4$ t, 与实际产量相比, 预报准确率为 100.0%, 详见表 7。

表 7 2005 年美国玉米产量预报结果

	实际值	预报值	准确率/%
单产预报/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	9315.5	9290.0	99.7
面积预报/ $10^3 \text{hm}^2$	30081.8	30173.1	99.7
最终总产预报/ $10^4$ t	28022.8	28030.8	100.0

## 6 结语

国外粮食产量业务预报系统是利用累积降水量和积温, 采用历史气象影响指数方法建立的国外粮食平均单产预报方法; 利用自相关方法和政策因素建立的种植面积预报方法; 利用单产-面积法建立的总产量预报方法。该系统不仅能够进行数据统计分析, 还能够开展平均单产预报、种植面积预报和总产量预报等。历史拟合和业务试报结果表明, 单产、面积和总产量的预报准确率都在 90% 以上, 能够满足业务服务的需要。

## 参考文献

- [1] 刘艳, 李红, 张利群. 玉米的产量因素分析[J]. 黑龙江气象, 2006, (3): 17-19.
- [2] 杨霏云, 娄秀荣. 2000 年农业气象条件对全国玉米产量的影响评价[J]. 气象科技, 2001, 29 (增刊): 77-81.
- [3] 王建林, 赵四强. 全国棉花产量预报模式[J]. 气象, 1990, 16 (5): 26-29.
- [4] 宋迎波, 王建林, 杨霏云, 等. 粮食安全气象服务[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 188-196.
- [5] 王建林, 宋迎波, 杨霏云, 等. 世界主要产粮区粮食产量业务预报方法研究[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 53-54.

# Overseas Crop Yield Forecast System

Chen Hui Wang Jianlin Song Yingbo Yang Feiyun

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

**Abstract:** The Overseas Crop Yield Forecast System was developed with the tools of Microsoft Visual Basic 6.0 under the Windows 9x/2000/NT platform. The system consists of such modules as data management, data processing, data calculation and analysis, average unit yield forecasting, planting area estimation, total production forecasting, etc. It can analyze the agrometeorological average unit yield, estimate planting areas, and forecast the total productions of American wheat, American corn, American soybean, Indian wheat, Indian rice, Brazilian soybean, Chinese rice, Chinese wheat, and Chinese corn. The system has a reasonable architecture and is easy to use and highly automatized. Taking American corn as an example, a description is made to this system. The biggest error of the total production forecasting of American corn from 2001 to 2004 is 8.4% (absolute value), and the average error is 2.4%. The forecasting is totally accurate for 2005. The average forecasting accuracy of the system is above 90% and it can meet the current demands of agrometeorological service.

**Key words:** American corn, agrometeorological condition, total production forecasting, operational system