

中国油菜产量动态预报方法研究

宋迎波 王建林 陈 晖 杨霏云

(国家气象中心,北京 100081)

提 要: 油菜是我国主要的油料作物之一,开展油菜产量动态预报对农业生产和国家食物安全都具有重要意义。利用全国及主产区油菜产量资料、发育期资料、生理气象指标、日最高气温、日最低气温、日降水量和日日照时数等资料,通过相似系数和欧氏距离建立综合诊断指标,根据历史年油菜产量丰歉气象影响指数,研究分析预报年的油菜产量丰歉气象影响指数,以此建立全国、各主产区油菜产量动态预报方法。结果表明,预报试验和预报检验的丰歉趋势预报正确率、实际单产预报准确率均较高,能够满足业务服务的需要。该方法可使业务预报的时效提前,并实现动态跟踪预报,具有良好的业务应用前景。

关键词: 油菜 综合诊断指标 气象影响指数 动态预报

Methodology on Dynamical Prediction of Rape Yield in China

Song Yingbo Wang Jianlin Chen Hui Yang Feiyun

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: The rape is one of the most major oil plants. It is important to forecast the yield of rape dynamically for agricultural production and national foodstuff security. In this study, a dynamical prediction method has been established both for region-specific rape yield and nationwide yield. The method utilizes the data of rape yield, development stage, physiological meteorological index, daily maximum and minimum temperature, daily precipitation, and daily sunshine duration from individual major producing region and the whole china. The method involves with the calculation of composite diagnostic index from the correlation coefficient and Euclidean distance and the derivation of meteorological influence index for bumper or poor harvest in the prediction year from the historic meteorological influence index. The results indicate that the method has high prediction accuracy of the bumper or poor harvest trend and the actual yield of rape on both trial and test of forecasting and can satisfy the needs of operational application. The method not only can predict efficiency in advance, but also realize the capabilities for dynamical tracking and prediction and has great potential in operational application.

Key Words: rape composite diagnostic index meteorological influence index dynamical prediction

引 言

油菜是我国主要的油料作物之一。以 2000—2004 年为例,油菜播种面积居油料作物的第一位,总产量仅次于花生位居第二位。随着我国经济的发展及农业种植结构的调整,油菜产业逐渐在国民经济中占据越来越重要的地位。宋迎波^[1]研究了油菜播种前和生长季内的气象条件与油菜产量关系,建立了油菜产量气象影响评估模型,但该模型的预报能力不够。目前在业务上应用的油菜产量预报方法多为统计回归,在短时间内难以筛选预测因子,且只能在油菜收获前 1~2 月预报,预报时效不能满足保障我国食品安全的需求。因此,开展油菜产量动态预报,及时为政府部门宏观决策提供科学依据,具有重要的现实意义。王建林等^[2]对新疆棉区棉花产量动态预报进行过一些研究,杨霏云等^[3]对晚稻产量动态预报方法进行过探讨,预报效果比较好。但上述研究的动态预报均为单一区域的作物产量预报,且所用资料为旬平均气象要素,不能有效地反映环境气象条件对作物生长发育的影响。宋迎波等^[4]利用综合聚类指标,建立了赤霉病对小麦产量造成损失的动态预报方法,但预报方法单一,存在一定的不足。作物生长模拟模型具有良好的开展动态预报的前景,马玉平等^[5]利用作物生长模拟模型对东北地区玉米产量预报进行了研究,对作物生育期内的生理生态过程进行动态数值模拟,但模型中部分所需实时数据在业务中仍难以获得,参数的调整也较为困难。为此,文中结合油菜生理指标,利用历史年与预测年油菜播种以来的逐日气象资料,通过相似系数和欧氏距离建立了综合诊断指标,根据历史年油菜产量丰歉气象影

响指数,研究分析预报年的油菜产量丰歉气象影响指数,以此建立油菜产量动态预报方法。

1 资料来源与处理

1.1 资料来源

文中所用的油菜平均单产、种植面积和总产量资料来自国家统计局统计年报。根据我国油菜种植分布、生长特点和气候确定长江中下游区和西南区为油菜主产区域。全国区域油菜主产省是根据 1994—2003 年各省油菜 10 年平均总产量占全国平均总产量达 2% 以上确定的;主产区域中油菜主产省是根据 1994—2003 年区域内各省油菜 10 年平均总产量占主产区域平均总产量达 5% 以上确定的。以各主产省油菜总产量分别占全国或主产区域总产量的百分率为权重,结合资料的完整性状况,在不同省份选取一定数量的代表站,全国区选取 71 个站点,长江中下游区选取 48 个站点,西南区选取 27 个站点。文中所用气象资料为各代表站 1961—2005 年日最高气温、日最低气温、日降水量和日照时数。

1.2 资料处理

1.2.1 产量资料处理

作物平均单产的变化在总产量的变化中起着决定性的作用^[6],而相邻两年油菜单产的变化主要是由相邻两年的气象条件差异引起的^[7],为此,对油菜平均单产做以下处理^[8]:

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

式(1)中 i 代表第 i 年, $i-1$ 为第 i 年的上一年。 ΔY_i 为第 i 年与第 $i-1$ 年平均单产的丰歉值, Y_i 和 Y_{i-1} 分别为第 i 年和第 $i-1$ 年油

菜的平均单产。

1.2.2 发育期资料处理

油菜发育期资料统一采用 2002—2004 年 3 年的平均发育期资料。

1.2.3 气象资料处理

1.2.3.1 日平均气温

日平均气温由下式计算:

$$t_a = \frac{t_h + t_l}{2} \quad (2)$$

式(2)中 t_a 为日平均气温, t_h 为日最高气温, t_l 为日最低气温。

1.2.3.2 日有效温度

油菜在不同生育阶段均有不同的最适温度、上限温度和下限温度^[8], 当实际温度超过其上、下限温度时, 油菜正常的生长发育将会受到影响, 甚至导致死亡。因此, 引入日有效温度的概念, 在计算过程中分别考虑了高温和低温对作物生长发育的抑制作用, 是对作物生长发育真正起作用的温度, 计算方法为:

①当日最高气温低于某阶段油菜的上限温度, 日最低气温高于油菜的下限温度时, 日有效温度为:

$$\hat{t}_a = \frac{t_h + t_l}{2} \quad (t_h \leq t_{\max} \text{ 且 } t_l \geq t_{\min}) \quad (3)$$

式(3)中 \hat{t}_a 为日有效温度, t_{\max} 为油菜的上限温度, t_{\min} 为油菜的下限温度。

②当日最高气温高于某阶段油菜的上限温度时, 日有效温度为:

$$\hat{t}_a = \begin{cases} \frac{(t_{\max} + t_l)}{2} \times \left[1 - \frac{(t_h - t_{\max})}{k_1} \right] & ((t_{\max} + a) > t_h > t_{\max}) \\ \text{或 } t_h \geq (t_{\max} + a) \text{ 连续 3 天及以下} & \\ 0 & (t_h \geq (t_{\max} + a) \text{ 连续 3 天以上}) \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中 $t_{\max} + a$ 为油菜不同发育期的最小致死上限温度, a 的取值是通过计算机模拟, 以产量动态预报模型的最终预报准确率到达最佳为目标, 文中取 $a = 5$; k_1 为日最高气温高

于油菜上限温度时计算有效温度的折算系数, k_1 的取值是通过计算机模拟, 以产量动态预报模型的最终预报准确率达到最佳为目标, 文中取 $k_1 = 5$ 。

③当日最低气温低于某阶段油菜的下限温度时, 日有效温度为:

$$\hat{t}_a = \begin{cases} \frac{(t_h + t_{\min})}{2} \times \left[1 - \frac{(t_{\min} - t_l)}{k_2} \right] & (t_{\min} - b) < t_l < t_{\min} \\ \text{或 } t_l \leq (t_{\min} - b) \text{ 连续 3 天及以下,} & \\ \text{且 } \frac{t_h + t_l}{2} > 0 & \\ 0 & (\frac{t_h + t_l}{2} \leq 0) \\ 0 & (t_l \leq (t_{\min} - b) \text{ 连续 3 天以上}) \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中 $t_{\min} - b$ 为油菜各发育期最大致死下限温度, b 的取值是通过计算机模拟, 以产量动态预报模型的最终预报准确率到达最佳为目标, 文中取 $b = 10$; k_2 为最低气温低于某阶段油菜的下限温度时计算有效温度的折算系数, k_2 的取值是通过计算机模拟, 以产量动态预报模型的最终预报准确率到达最佳为目标, 文中取 $k_2 = 10$ 。

1.2.3.3 气象要素区域平均值

本研究主要针对油菜主产区以及全国区域的产量预报, 利用下式计算各区域油菜生长季内逐日气象要素。

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{i,j} \quad (6)$$

式(6)中 \bar{X}_i 分别为选定区域逐日平均气温、平均有效温度、平均降水量和平均日照时数, n 为该区域内的油菜代表站个数, $X_{i,j}$ 分别为各代表站的逐日平均气温、有效温度、降水量和日照时数, 当日平均气温 $\leq 0^\circ\text{C}$ 时, 此站点温度不参加平均。

1.2.3.4 积温、有效温度累积、累积降水量、

累积日照时数

积温是大于 0℃ 的逐日区域平均温度的累积;有效温度累积是逐日区域平均有效温度的累积;累积降水量是逐日区域平均降水量的累积;累积日照时数是逐日区域平均日照时数的累积。考虑到油菜产量动态预报业务的需要,从油菜播种至每月的 5 日、10 日、15 日……30 日(或 31 日、或 28 日、或 29 日),每隔 5 天(月末为 6 天或 4 天)累计一次。

1.2.3.5 分段累积降水量、分段累积日照时数

分段累积降水量是逐日区域平均降水量每 5 天的累积量。它与累积降水量的差别在于每次计算时的起点不是从油菜的播种日期开始的,而是从上一次计算终点的下一天开始的。分段累积日照时数的计算方法与分段累积降水量相同。

1.2.3.6 标准化降水量、标准化日照时数

为了考虑降水量及其时间分布差异对油菜生长发育的影响,采用式(7)把累积降水量进行了标准化处理,将处理后的降水量称之为标准化降水量。

$$\hat{p}_i = \frac{p_i}{S_{p_i}} \quad (7)$$

$$\text{其中: } S_{p_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (p_i - \bar{p})^2}{m-1}}$$

式(7)中 \hat{p}_i 为标准化降水量, p_i 为累积降水量, S_{p_i} 为累积降水量的标准差, m 为样本长度, \bar{p} 为累积降水量平均值。

标准化日照时数的计算方法和标准化降水量相同。

1.2.3.7 分段标准化降水量、分段标准化日照时数

分段标准化降水量、分段标准化日照时数的计算方法与标准化降水量的计算方法相同,只是将式(7)的累积降水量改为分段累积

降水量或分段累积日照时数。

1.2.3.8 相对气象要素

相对气象要素由下式求得:

$$\Delta X_i = X_i - X_{i-1} \quad (8)$$

式(8)中 ΔX_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、有效温度累积、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、分段标准化日照时数等 10 种气象因子。

2 基本原理

油菜产量的形成与品种类型、土壤条件(肥力、水分)、环境气象条件以及管理措施等多种因素有关,研究表明^[7]:在一定区域范围内,影响相邻两年油菜产量波动的诸多因素中,气象因子往往起着重要的、甚至是关键性的作用,而油菜品种和肥力却是相对稳定的,相邻两年油菜产量的变化基本上是由气象条件的变化引起的,因此,相邻两年油菜单产变化可用下式表达:

$$\Delta Y = F(\Delta m) \quad (9)$$

式(9)中 ΔY 为相邻两年油菜单产的变化,即油菜产量丰歉气象影响指数, Δm 为相邻两年气象条件的变化。关于 ΔY 的计算,最理想的方法是通过试验研究获得。但由于我国的气候条件、地理背景和油菜品种等因素的差异较大,大量的实验研究在短期内难以实现。尽管目前国内已经开展了一些这方面的试验研究,但由于不同试验的研究结果差异甚大,且代表性不够,因此,现阶段以试验研究为基础计算油菜产量丰歉气象影响指数仍无法在具体业务中实现。为此,用以下方法解决 ΔY 的计算问题^[8]。

$$\text{欧氏距离 } d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta X_{kj})^2} \quad (10)$$

相关系数

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta \bar{X}_i)(\Delta X_{kj} - \Delta \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta \bar{X}_i)^2 \sum_{j=1}^N (\Delta X_{kj} - \Delta \bar{X}_k)^2}} \quad (11)$$

$$\text{综合诊断指标 } C_{ik} = \frac{r_{ik}}{d_{ik}} \times 100\% \quad (12)$$

式(10)~(12)中 k 为预报年, i 为历史上的任意一年, j 为气象要素序号, ΔX_{ij} 为预报年油菜播种至发布预报时第 j 个气象要素差异, ΔX_{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)与历史某一年的相似程度越高。在不考虑油菜品种变化的条件下, 同一地区的不同年份, 如果相邻两年的气象条件变化相似, 其产量的变化也应相近, 但由于油菜品种的不断更新、农业生产水平不断提高、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相似的年份, 而油菜产量的变化却不一定最接近。因此, 在确定 ΔY 的计算方法时, 在温度、降水和日照 3 类因子中分别选取 C_{ik} 值最大的 3 个历史相似年型, 通过分析研究 3 个相似历史年型油菜产量的变化 ΔY 与预报年油菜产量的实际变化, 最终确定具体的 ΔY 的计算方法。

3 预报因子选择与预报方法

3.1 预报因子与预报方法的确定原则

从日照(累积日照、分段累积日照、标准化日照、分段标准化日照)、温度(积温、有效

温度累积)和降水(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)三类因子中分别选取一个因子, 共组成 32 种组合, 对每种组合中的 3 个因子利用式(10)~(12)分别计算 C_{ik} , 每个因子选取历史上 3 个最大的 C_{ik} , 得到 9 个对应的 ΔY , 采用两种因子的组合法、大概率法、综合诊断指标法^[8]对各区域预报结果与实际产量丰歉进行对比分析, 得到主产区预报因子和预报方法, 然后再根据分区集成预报、全国区预报的情况, 按一定的方式进行集合, 得到全国油菜产量最终预报结果。

3.2 预报因子与预报方法

根据以上原则, 利用历史资料可以确定从油菜播种后每 5 天的预报因子和预报方法, 并可在每候末开展动态滚动预报。但根据常规业务需要, 一般每月开展一次预报, 为此, 利用 1995—2004 年的实际资料, 对油菜播种至收获期间进行逐月动态预报试验, 在研究分析每个时段和每个区域的所有预报结果的基础上, 确定了各区域、各时段的预报因子和预报方法, 文中以 2 月 28 日、3 月 31 日和 4 月 30 日选取的预报因子和预报方法为例作以说明(见表 1)。

4 结果分析

4.1 预报试验

利用上述所选预报因子和预报方法, 对 1995—2004 年各区域、各时段油菜的 ΔY 分别进行了动态预报试验, 如果预报的 ΔY 与实际 ΔY 符号一致, 即判定为正确, 正确率见表 2。

表 1 油菜动态预报所选因子及预报方法

时间	因子与方法	长江中下游区	西南区	分区集成	全国区	全国集合
2 月 28 日	因子	标准化降水 累积日照 积温	分段标准化降水 标准化日照 积温		累积降水 标准化日照 有效温度累积	
	方法	1、标准化降水预报中 2 个以上符号一致结果的平均;2、累积日照预报中 3 个预报结果的平均;3、最终结果选择 1、2 的平均	大概率	区域预报结果的加权平均	1、标准化日照预报中 2 个以上符号一致结果的平均;2、有效温度累积预报中 3 个预报结果的平均;3、最终结果选择 1、2 的平均	分区集成结果与全国预报结果平均
3 月 31 日	因子	标准化降水 标准化日照 积温	分段标准化降水 标准化日照 积温		累积降水 标准化日照 积温	
	方法	综合诊断指标预报中第一种可能	1、分段标准化降水预报中 3 个预报结果的平均;2、标准化日照预报中 2 个以上符号一致结果的平均;3、最终结果选择 1、2 的平均	区域预报结果的加权平均	1、标准化日照预报中 2 个以上符号一致结果的平均;2、积温预报中 3 个预报结果的平均;3 最终结果选择 1、2 的平均	分区集成结果
4 月 30 日	因子	累积降水 标准化日照 有效温度累积	分段累积降水 标准化日照 积温		累积降水 标准化日照 有效温度累积	
	方法	1、标准化日照预报中 2 个以上符号一致结果的平均;2、有效温度累积预报中 3 个预报结果的平均;3、最终结果选择 1、2 的平均	1、分段累积降水预报中 2 个以上符号一致结果的平均;2、标准化日照预报中 3 个预报结果的平均;3、最终结果选择 1、2 的平均	区域预报结果的加权平均	1、标准化日照预报中 2 个以上符号一致结果的平均;2、有效温度累积预报中 3 个预报结果的平均;3、最终结果选择 1、2 的平均	全国预报结果

注:分区集成时以面积为权重,长江中下游产区的权重系数为 73.6%,西南产区的权重系数为 26.4%。

表 2 1995—2004 年油菜 ΔY 动态预报
试验平均正确率(%)

预报范围	2 月 28 日	3 月 31 日	4 月 30 日
长江中下游区	90	100	100
西南区	90	90	100
分区集成	80	100	90
全国区	90	90	100
全国集合	90	100	100

从表 2 可以看出,1995—2004 年各区域油菜逐月 ΔY 动态预报中,除分区集成 2 月 28 日平均预报正确率为 80%外,其余各区域、各时段平均预报试验正确率均在 90%以上,完全能够满足业务服务的需要。

根据 ΔY 的结果,利用式(13)对油菜实际单产进行了预报试验,结果见表 3。

$$Y_i = Y_{i-1} \times (1 + \Delta Y_i) \quad (13)$$

式(13)中各变量意义与式(1)同。

表 3 1995—2004 年油菜单产动态预报
试验平均准确率(%)

预报范围	2 月 28 日	3 月 31 日	4 月 30 日
长江中下游区	90.3	92.9	86.9
西南区	93.3	94.9	93.8
分区集成	92.5	94.6	89.4
全国区	95.1	94.4	94.6
全国集合	96.0	95.1	94.6

从表 3 可以看出,各区域 3 次预报试验的 10 年平均准确率为 86.9%~96.0%,能够满足业务服务的需要。

4.2 预报检验

利用2005年实际气象资料,对各区域油菜 ΔY 进行了动态预报检验,结果见表4。

从表4可以看出,各区域3个时段预报的 ΔY 与实际产量增减符号均为一致,各时段实际单产预报的准确率均在95%以上。

表4 2005年油菜单产动态预报结果

预报区域	ΔY	ΔY 预报/%			实际产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	2月28日		3月31日		4月30日	
		2月 28日	3月 31日	4月 30日		预测值/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	准确率/%	预测值/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	准确率/%	预测值/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	准确率/%
长江中下游区	-2.7	-5.9	-7.3	-7.3	1804.7	1745.4	96.7	1719.4	95.3	1719.4	95.3
西南区	-0.3	-5.4	-2.6	-3.3	1823.7	1730.8	94.9	1782.0	97.7	1769.2	97.0
分区集成	-2.0	-5.8	-6.0	-6.2	1810.1	1741.5	96.2	1735.9	95.9	1732.5	95.7
全国区	-1.1	-3.4	-5.7	-3.4	1793.3	1751.2	97.7	1709.5	95.3	1709.5	95.3
全国集合	-1.1	-4.6	-6.0	-3.4	1793.3	1729.4	96.4	1704.0	95.0	1709.5	95.3

5 结 论

结合油菜生理气象指标,利用历史年与预测年油菜播种以来的逐日气象资料,根据综合诊断指标,研究了油菜产量丰歉气象影响指数,依此建立的全国及各主产区油菜产量动态预报方法,能够客观、定量、动态地预报天气气候条件对油菜产量丰歉的影响。此方法不仅解决了常规统计预报方法在短时间内筛选预报因子难的问题,还使预报时效明显提前,并可开展动态滚动预报,且预报准确率较高,能够满足业务预报的需要。但此方法在油菜产量丰歉气象影响指数的研究中,尚未考虑气象因子量值的变化和油菜实际生产水平的影响,从而影响了定量预报的稳定性。因此,此方法还有待于进一步研究和完善,在具体的业务服务中,还应综合其它预报

方法的预报结果。

参考文献

- [1] 宋迎波. 2000年度农业气象条件对全国油菜产量的影响评价[J]. 气象科技, 2001, 29(增刊): 88-91.
- [2] 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.
- [3] 杨霏云, 王建林. 晚稻单产动态预测方法研究[J]. 气象科技, 2005, 33(5): 433-436.
- [4] 宋迎波, 陈晖, 王建林. 小麦赤霉病产量损失预测方法研究[J]. 气象, 2006, 32(6): 116-120.
- [5] 马玉平, 王石立, 王馥棠. 作物模拟模型在农业气象业务应用中的研究初探[J]. 应用气象学报, 2006, 16(3): 293-303.
- [6] 王建林, 太华杰. 中国粮食总产量结构分析与丰歉评估[J]. 气象, 1998, 24(12): 7-12.
- [7] 王建林, 赵四强. 全国棉花产量预报模式[J]. 气象, 1990, 16(5): 26-29.
- [8] 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: 182-196.