

邱美娟,刘布春,刘园,等.春玉米产量动态预报技术的改进方法探索[J].气象与环境科学,2020,43(1):1-8.

Qiu Meijuan, Liu Buchun, Liu Yuan, et al. Exploration of an Improved Method for Yield Dynamic Prediction of Spring Maize[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2020, 43(1): 1-8.

doi:10.16765/j.cnki.1673-7148.2020.01.001

春玉米产量动态预报技术的改进方法探索

邱美娟¹, 刘布春¹, 刘园¹, 张玥滢¹, 肖楠舒^{1,2}, 庞静漪^{1,3}, 王珂依¹, 王丽伟⁴

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/作物高效用水与抗灾减损国家工程实验室/农业部农业环境重点实验室, 北京 100081; 2. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110866; 3. 营口市气象局, 辽宁 营口 115001; 4. 吉林省气象信息网络中心, 长春 130062)

摘 要: 为及时、准确地进行玉米产量预报,为吉林省玉米产量预报业务提供参考依据,为政府调控提供科技支撑,利用吉林省1980—2016年春玉米产量和50个气象站逐日气温、降水量、日照时数等资料,基于相似距离和相关系数构建综合诊断指标筛选气温、降水量、日照时数等各类气象要素历史相似年,根据各类气象要素历史相似年与预报年的玉米产量丰歉气象影响指数之间的关系,建立吉林省春玉米产量动态预报模型。同时,对历史相似年的筛选方法进行改进,利用欧氏距离直接筛选综合气候历史相似年,根据气候历史相似年与预报年的玉米产量丰歉气象影响指数之间的关系,构建春玉米产量预报模型。对比改进前、后的产量预报模型的预报,结果表明:两种方法在吉林省玉米单产预报中,预报准确率均较高,普遍在85%以上。产量预报模型对2002—2013年的预报检验结果表明,改进方法后2002—2013年单产预报平均准确率提高了3.9个百分点,均方根误差降低了4个百分点,标准差降低了2。对2014—2016年的预报检验结果表明,改进方法的玉米产量预报结果优于传统方法的预报结果。改进方法比传统方法准确率更高,稳定性更强,应用价值更高。

关键词: 综合诊断指标;产量预报;相似年;春玉米;产量丰歉

中图分类号: S165⁺.27

文献标识码: A

文章编号: 1673-7148(2020)01-0001-08

引 言

农业气象产量预报是各级政府制定粮食调控计划所需的重要信息,是气象为农服务的主要产品之一^[1-3]。根据中国气象局制定的《农业气象产量预报质量考核办法》,全国各省每年于7月15日和8月25日之前分别上报秋粮产量趋势预报和定量预报结果,上报结果的准确性不仅对于本省的业务考核非常重要,对整个政府调控都起着至关重要的作用。因此,粮食产量预报技术的提高一直是一项重要的研究课题。

国内外相关领域学者对作物产量预报技术的研

究已经有很多^[4-8]。我国农业气象工作者自20世纪70年代末就开展了作物产量预报的研究工作^[9-10],随着业务发展的需要,逐步研制了适合我国不同区域不同时空尺度的作物产量预报模型,主要为统计模型^[11]、动力生长模型^[12-13]和遥感估产模型^[14-15]等几大类。近几年在全国产量预报业务上比较常用的统计方法主要有气候适宜度影响指数方法^[16-18]、关键气象因子影响指数方法^[19-21]及产量历史丰歉气象影响指数方法等^[22-24]。这些研究对我国农业气象产量预报业务的发展都具有重大的意义。其中,在研究产量历史丰歉气象影响指数方法时,前人大多是根据相关系数和相似距离原理,对作

收稿日期:2018-09-14;修订日期:2019-04-08

基金项目:中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2014-IEDA);农业农村资源监测统计项目(2130111-20147-2019);国家重点研发计划“重大自然灾害监测预警与防范”重点专项(2017YFC1502804)

作者简介:邱美娟(1987-),女,辽宁庄河人,工程师,博士,从事农业气象灾害和农业气象产量预测研究。E-mail:qmjcams@163.com

通讯作者:刘布春(1968-),女,内蒙古巴彦淖尔人,研究员,博士,从事农业减灾和农业灾害风险管理研究。E-mail:liubuchuan@caas.cn

物生育阶段的各类气象因子进行综合聚类分析,建立综合诊断指标,分别寻找各类气象要素的历史相似年,根据历史相似年作物产量丰歉气象影响指数,采用加权分析、大率等确定预报年作物产量丰歉气象影响指数,从而预测产量^[6,11,22-23,25]。但是,气象条件对产量形成的影响是复杂的、系统的,前人在建立综合诊断指标时将光、温、水分别剥离出来,分析各自的历史相似年,有一定的片面性。本研究拟在前人研究的基础上,对筛选气象要素历史相似年的方法进行改进,提出一种筛选综合光、温、水的气候相似年的方法,建立产量动态预报模型,进行产量预测,以期提高产量预报准确率和稳定性,为政府调控提供更好的科技支撑。

1 资料与方法

1.1 资料及处理

气象资料为吉林省50个气象站1980—2016年逐日最高气温、最低气温、降水量和日照时数,均来自吉林省气象局。逐日平均气温由逐日最高气温、最低气温相加求平均计算得到。作物资料为1980—2016年吉林省春玉米单产、总产、种植面积数据,来自吉林省统计局。

1.1.1 气象资料处理

以吉林省50个气象站历史年与预报年作物播种后的逐日最低气温、最高气温、日照时数和降水量等气象要素的资料为基础,计算作物播种后各单站日平均气温。利用单站气象要素计算得到全省日平均气温、全省日平均日照时数、全省日平均降水量。利用全省日平均要素从春玉米播种开始,至每月的逢5、10、15、20、25、30日(或28、29、31日)逐次计算,得到各时间全省平均积温、累积降水量、累积日照时数等要素,再根据累积降水量计算得到全省标准化降水量。具体计算方法参考文献[26]。

相邻两年各气象要素变化量为

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

式中, ΔX_i 为相邻两年同类气象要素的差值, X_i 和 X_{i-1} 分别为第*i*年和第*i-1*年的平均积温、标准化降水量、累积日照时数等同类气象要素值。

1.1.2 春玉米单产处理方法

对单产作如下处理:

$$\Delta Y_i = (Y_i - Y_{i-1}) / Y_{i-1} \times 100 \quad (2)$$

式(2)中,*i*代表的第*i*年,而*i-1*则是代表第*i*年的前

1年。 ΔY_i 为第*i*年与第*i-1*年的春玉米单产丰歉值(即产量丰歉气象影响指数), Y_{i-1} 和 Y_i 分别为第*i-1*年和第*i*年全省春玉米单产,单位均为 kg/hm^2 。

1.2 基本原理和步骤

春玉米产量与管理措施、环境气象要素、土壤条件及品种类型等多种因素均有关系。在一定区域内,气象因子对相邻两年春玉米产量波动的影响起关键性作用,春玉米品种、肥力等的影响相对比较稳定。相邻两年春玉米产量的变化几乎是由气象要素的变化引起的,因此,相邻两年春玉米单产的变化可用其与气象要素的关系表示,即

$$\Delta Y = F(\Delta X) \quad (3)$$

式中, ΔY 为相邻两年春玉米单产变化,即产量丰歉气象影响指数, ΔX 为相邻两年气象因子的差值。如果不考虑春玉米品种变化,同一地区不同年份,如果两年的气象要素相近或者相似,则其作物产量也应相近。

1.2.1 气象相似年筛选

以往各省在研究基于产量历史丰歉气象影响指数的粮食产量预报技术时,通常利用式(4)(5)(6)建立综合诊断指标,判断预报年与历史年的各个气象要素变化的相似程度,筛选气象要素相似年^[22-24]。

相似距离:

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \Delta X_{kj})^2} \quad (4)$$

相关系数:

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N [(\Delta X_{ij} - \bar{\Delta X}_i)(\Delta X_{kj} - \bar{\Delta X}_k)]}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (\Delta X_{ij} - \bar{\Delta X}_i)^2 \sum_{j=1}^N (\Delta X_{kj} - \bar{\Delta X}_k)^2}} \quad (5)$$

综合诊断指标:

$$C_{ik} = \frac{r_{ik}}{d_{ik}} \times 100\% \quad (6)$$

(4)–(6)式中,*k*为预报年,*i*为历史上任意一年,*j*为气象要素的序号, ΔX_{kj} 为预报年第*j*个气象要素相邻两年的变化量, ΔX_{ij} 为历史上任意一年同一时段同类气象要素相邻两年的变化量,*N*是样本长度。 $\bar{\Delta X}$ 是第*i*序列或第*j*序列*N*个样本的平均值。 C_{ik} 是预报年(即*k*年)和历史上的任意一年(即*i*年)的综合诊断指标,若 C_{ik} 值越大,则一般认为预报年(*k*年)同历史上第*i*年的相似程度就越高。

在积温、标准化降水量、累积日照时数三类因子

中分别选出3个最大的 C_{ik} 值所对应的历史相似年型,通过分析确定9个历史相似年型春玉米产量丰歉气象影响指数与春玉米实际产量丰歉气象影响指数之间的关系,最终采用加权平均分析方法计算预报年春玉米产量丰歉气象影响指数。

以下研究中称这种方法为传统方法。

1.2.2 气象相似年筛选改进方法

上述传统的筛选气象要素相似年的方法,是通过相似距离和相关系数的关系得到综合诊断指标,从而分别筛选出积温、标准化降水量、累积日照时数相似年份。但是这种方法得到的结果通常是积温相似的年份,标准化降水量和累积日照时数未必相似,甚至3个要素的相似年各不相同。本研究对传统计算方法进行改进,试图探寻一种可以直接筛选出气候相似年的方法。

对于选定的站点,计算预报年与历史年同一段气象数据的欧氏距离 d_{sik} ,由于积温、标准化降水量、累积日照时数等气象因子变化量数据的量纲不同,因此在计算欧氏距离时首先对各个气象要素的变化量进行标准化处理:

$$\Delta X_s = (\Delta X - \Delta X_{\min}) / (\Delta X_{\max} - \Delta X_{\min}) \quad (7)$$

式中, ΔX 为各类气象要素的变化量, ΔX_s 为标准化后的各类气象要素的变化量, $\Delta X_{\max}$ 、 $\Delta X_{\min}$ 分别为各类气象要素变化量在整个数据空间中的最大、最小值。标准化处理后,欧氏距离计算如下:

$$d_{sik} = \sqrt{\sum_{j=1}^N \sum_{n=1}^3 (\Delta X_{sknj} - \Delta X_{sinj})^2} \quad (8)$$

ΔX_{sknj} 为预报年 k 的第 n 类标准化气象变量, ΔX_{sinj} 为历史年 i 的第 n 类标准化气象变量, n 为气象要素种类(这里指积温、标准化降水量、累积日照时数等3类), j 、 N 的含义同上。 d_{sik} 值越小,则一般认为预报年(k 年)同历史上第 i 年的相似程度就越高。因此,选出9个最小 d_{sik} 值所对应的历史相似年型,同样采用加权平均分析方法根据9个历史相似年型春玉米产量丰歉值计算预报年春玉米产量丰歉值。

以下研究中称这种方法为改进方法。

1.2.3 模型的建立与检验

根据两种方法各自得到的气象要素相似程度最高的9个年份的产量丰歉值,根据产量丰产(或歉产)概率的大小,以概率为权重,利用加权平均分析方法,分别建立产量丰歉值预报模型:

$$\Delta Y_k = \frac{\sum \Delta Y_{i(+)} }{l} \times a_{(+)} + \frac{\sum \Delta Y_{i(-)} }{m} \times a_{(-)} \quad (9)$$

式中, ΔY_k 为预报年单产丰歉预报值; $\sum \Delta Y_{i(+)}$ 为9个历史年产量丰歉值中,产量为丰的数值累加, $\sum \Delta Y_{i(-)}$ 为9个历史年产量丰歉值中,产量为歉的数值累加; l 为产量为丰的数值个数, m 为产量为歉的数值个数; $a_{(+)}$ 、 $a_{(-)}$ 分别为预报试验结果为正值、负值的概率,即

$$a_{(+)} = l/9 \quad (10)$$

$$a_{(-)} = m/9 \quad (11)$$

利用建立的产量丰歉预报模型对1981—2013年吉林省春玉米单产趋势进行预报试验,预报丰歉趋势与实际丰歉趋势一致者为“预报准确”,并根据趋势预测结果计算预报产量,即

$$Y_i = Y_{i-1} (1 + \Delta Y_i / 100) \quad (12)$$

式(12)中各变量含义同式(2)。

为评价传统方法和改进方法各自建立的产量预报模型的预报效果,选择丰歉趋势准确率、产量预报准确率、归一化均方根误差、标准差等进行评价。

(1) 丰歉趋势准确率

丰歉趋势准确率为回代检验趋势预报准确的年数占总参与检验年数的百分比。

(2) 产量预报准确率

$$\text{单年预报准确率} = [1 - (Y_1 - Y_2) / Y_2] \times 100\% \quad (13)$$

式中, Y_1 为某年的产量预报值, Y_2 为来源于吉林省统计局的此年的实际产量值。将各年准确率平均值作为多年平均准确率。

(3) 均方根误差

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{1i} - Y_{2i})^2 / n} \times 100 \quad (14)$$

式中, $RMSE$ 为均方根误差, Y_{1i} 为第 i 年的产量预报值, Y_{2i} 为第 i 年的产量实际值, n 为参与检验的年数。

(4) 标准差

标准差是描述样本中资料与平均值差异的平均状况的统计量,衡量资料围绕平均值的平均变化幅度,计算公式为

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (15)$$

在本研究中, SD 为标准差, X_i 为第 i 年的预报

准确率, $\bar{X}$ 为预报准确率的平均值, n 为参与检验的年数。

2 结果与分析

2.1 基于传统方法的产量丰歉预报模型

2.1.1 气象要素相似年

表 1 为利用传统方法通过建立综合诊断指标判断各类气象要素在各个预报时间的 3 个最相似年。由表 1 可见,不同预报时间,同一气象因子的相似年有重复性,但也有差别性,并且相似年的优先顺序也

有所变化。如不同预报时间,2010 年均是其温度相似年,但在预报时间 8 月 11 日时,2010 年是其第一相似年,而在其他预报时间,2010 年均是其第二相似年。同一预报时间,不同气象要素的相似年具有差别性,但也存在重复性。如预报时间 7 月 11 日,1984 年和 1990 年是其温度相似年,但却不是降水和日照时数相似年,而 2010 年既是其温度相似年,又是其降水相似年。利用综合诊断指标值判断气象要素相似年,能够体现作物生长发育过程中不同气象要素的变化情况。

表 1 传统方法筛选得到的吉林省 2013 年不同预报时间各气象因子 3 个最相似年

年

预报时间	温度相似年			降水相似年			日照时数相似年		
7 月 11 日	1984	2010	1990	2010	1996	1994	2004	1985	1994
7 月 21 日	1984	2010	1990	2010	1996	1994	1985	2003	2004
8 月 1 日	1984	2010	1990	2010	1996	1994	1985	1989	1994
8 月 11 日	2010	1984	1990	1996	2010	1994	1985	1989	1994
8 月 21 日	1984	2010	1990	1996	2010	2007	1985	1981	1994

注:预报年以 2013 年为例,相似年顺序根据综合诊断指标值由大到小排列,下同

2.1.2 模型预报试验

本研究在春玉米播种后即可逐旬建立产量丰歉预报模型进行产量预报,限于篇幅,结合业务中产量预报结果上报考核的相关规定时间,研究中将春玉米产量动态预报时间定为 7 月 11 日、7 月 21 日、8 月 1 日、8 月 11 日和 8 月 21 日。基于传统方法构建春玉米产量丰歉动态预报模型,将 1981—2013 年历年资料代入产量丰歉预报模型,计算得到当年相对于上一年的春玉米单产丰歉值,并根据公式(12),利用上一

年的实际产量推算出当年的预报产量。利用上述方法对 2002—2013 年吉林省春玉米单产丰歉预报模型进行 7 月 11 日至 8 月 21 日的逐旬动态预报试验,结果见表 2。

由表 2 可见,2002—2013 年各预报时间单产预报平均准确率为 88.0%~89.1%;12 年的丰歉趋势动态预报准确率平均在 58.3%~75.0%,即 12 年中有 7~9 年的趋势预报是正确的;各预报时间的均方根误差为 13.7%~14.8%,标准差为 9.5~10.9。

表 2 基于传统方法的吉林省 2002—2013 年玉米单产动态预报试验结果

预报时间	单产预报平均准确率/%	丰歉趋势准确率/%	均方根误差/%	标准差
7 月 11 日	88.7	58.3	13.7	9.5
7 月 21 日	88.4	58.3	14.3	10.3
8 月 1 日	88.0	58.3	14.3	9.5
8 月 11 日	88.0	75.0	14.8	10.6
8 月 21 日	89.1	66.7	14.2	10.9
平均值	88.4	63.3	14.3	10.2

2.1.3 模型预报检验

利用传统方法研究的玉米产量丰歉动态预报方法,对 2014—2016 年吉林省玉米单产进行 7 月 11 日至 8 月 21 日的逐旬动态预报检验,预报准确率和丰歉趋势预报结果分别见表 3 和表 4。

从表 3 可以看出,2014—2016 年吉林省玉米单

产逐旬预报结果的准确率普遍较高,其中,2014 年玉米单产预报准确率为 86.1%~92.5%,2015 年玉米单产预报准确率为 94.3%~98.1%,2016 年玉米单产预报准确率为 90.8%~98.0%。而产量丰歉趋势预报的结果不稳定,2014 年单产趋势预报各时间均不正确,2015 年在 8 月 11 日和 21 日预报正确,

2016 年各时间均预报正确。

表 3 基于传统方法的吉林省 2014—2016 年玉米单产动态预报准确率检验

年份	预报准确率/%				
	7 月 11 日	7 月 21 日	8 月 1 日	8 月 11 日	8 月 21 日
2014	91.7	92.5	86.1	88.9	88.9
2015	97.9	96.6	98.1	94.3	95.3
2016	92.1	90.8	98.0	97.2	97.1

表 4 基于传统方法的吉林省 2014—2016 年玉米单产丰歉趋势动态预报检验结果

年份	$\Delta Y_{\text{实际}}/\%$	$\Delta Y_{\text{预报}}/\%$				
		7 月 11 日	7 月 21 日	8 月 1 日	8 月 11 日	8 月 21 日
2014	-6.8	1.0	0.2	6.2	3.5	3.5
2015	-0.2	1.9	3.2	1.7	-5.8	-4.9
2016	4.9	13.2	14.6	7.0	7.9	7.9

注: ΔY 代表实际产量丰歉影响指数, $\Delta Y_{\text{预报}}$ 为预报的产量丰歉影响指数, 下同

2.2 基于改进方法的产量丰歉预报模型

2.2.1 气象要素相似年

表 5 为利用改进方法筛选的各个预报时间的 9 个气候相似年。由表 5 可见, 通过该方法直接筛选

出的气候相似年, 随着预报时间的推进, 气候相似年的优先顺序也随之有所变化, 并且筛选出的相似年与传统方法筛选出的相似年有相似性, 但也有一定差异。

表 5 改进方法筛选得到的吉林省 2013 年不同预报时间各气象因子 3 个最相似年

年

预报时间	气候相似年								
7 月 11 日	2010	1984	1992	1988	1986	1995	1999	1987	2006
7 月 21 日	2010	1992	1986	1988	1984	1995	1987	1999	2006
8 月 1 日	2010	1986	1988	1992	1984	1995	1987	1999	2009
8 月 11 日	2010	1986	1988	1992	1984	1995	1987	1999	2009
8 月 21 日	2010	1986	1988	1992	1984	1995	1987	2000	1993

注: 预报年以 2013 年为例

2.2.2 模型预报试验

将 1981—2013 年历年资料代入改进的预报模型, 对吉林省玉米单产进行动态预报试验。2002—2013 年动态预报试验结果见表 6。

由表 6 可见, 2002—2013 年各预报时间单产预报平均准确率为 91.8%~93.0%, 相比传统方法, 平均提高了 3.9 个百分点。从逐年情况看(图 1), 各预报时间多数年份改进方法的预报准确率比传统方法的高。改进方法预报准确率高于传统方法预报准

确率的年份, 7 月 11 日的预报结果中有 8 年, 7 月 21 日的预报结果中有 11 年, 8 月 1 日的预报结果中有 10 年, 8 月 11 日的预报结果中有 8 年, 8 月 21 日的预报结果中有 8 年。12 年的丰歉趋势动态预报准确率平均为 58.3%~75.0%, 与传统方法相比几乎无差异。各预报时间的均方根误差为 9.3%~11.2%, 与传统方法相比平均降低 4 个百分点。标准差为 7.1~9.1, 与传统方法相比平均降低了 2.0。从各项评价指标来看, 改进方法均优于传统方法。

表 6 基于改进方法的吉林省 2002—2013 年玉米单产动态预报试验结果

预报时间	单产预报平均准确率/%	丰歉趋势准确率/%	均方根误差/%	标准差
7 月 11 日	91.8	58.3	11.2	9.1
7 月 21 日	92.4	58.3	10.4	8.6
8 月 1 日	92.7	58.3	9.9	7.9
8 月 11 日	93.0	75.0	9.3	7.1
8 月 21 日	91.8	66.7	10.8	8.4
平均值	92.3	63.3	10.3	8.2

2.2.3 模型预报检验

利用改进方法对2014—2016年吉林省玉米单产进行7月11日至8月21日的逐旬动态预报检验,预报准确率和丰歉趋势预报结果分别见表7和表8。

从表7可以看出,2014—2016年吉林省玉米单产逐旬预报结果的准确率普遍较高。其中,2014年玉米单产预报准确率为85.9%~93.7%,2015年玉米单产预报准确率为97.3%,2016年玉米单产预报准确率为98.2%~99.8%。与传统方法相比,2014年7月11

日、7月21日和2015年7月11日、8月1日的预报准确率稍低,偏低0.6~6.6个百分点,而其他预报时间预报准确率均比传统方法的高,偏高0.7~7.6个百分点。而产量丰歉趋势预报的结果不稳定(表8),2014年7月11日和7月21日的单产趋势预报不正确,2015年除7月11日,其他时间均预报不正确,2016年各时段均预报正确。与传统方法相比,丰歉趋势预报准确率没有明显提高。

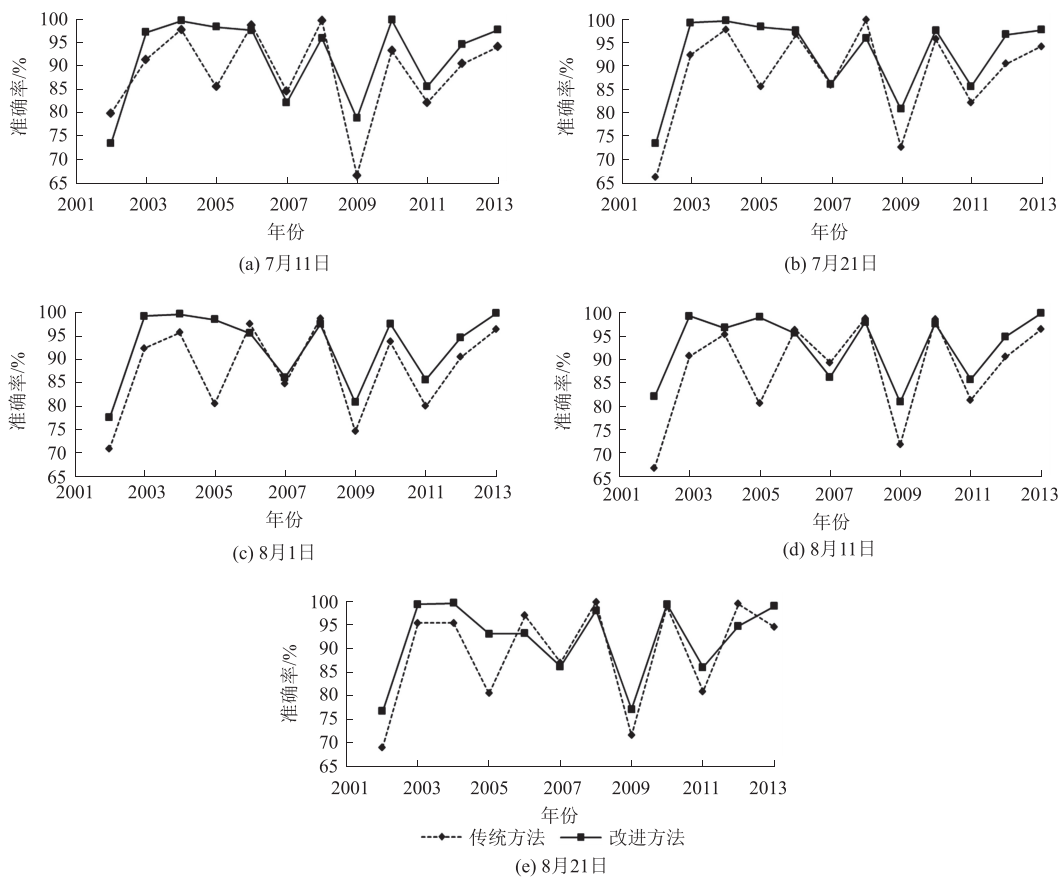


图1 基于两种方法的吉林省2002—2013年玉米产量预报试验结果准确率

表7 基于改进方法的吉林省2014—2016年玉米单产动态预报检验准确率

年份	预报准确率/%				
	7月11日	7月21日	8月1日	8月11日	8月21日
2014	85.9	85.9	93.7	93.7	93.7
2015	97.3	97.3	97.3	97.3	97.3
2016	98.2	98.2	99.8	99.8	98.4

表8 基于改进方法的吉林省2014—2016年春玉米单产丰歉趋势动态预报检验结果

年份	$\Delta Y_{\text{实际}}/\%$	$\Delta Y_{\text{预报}}/\%$				
		7月11日	7月21日	8月1日	8月11日	8月21日
2014	-6.8	6.3	6.3	-0.9	-0.9	-0.9
2015	-0.2	-2.8	2.5	2.5	2.5	2.5
2016	4.9	3.0	3.0	5.2	5.2	3.2

3 结论与讨论

研究对传统筛选气象要素相似年的方法进行改进,并且对比了两种方法建立的产量动态预报模型的产量预报结果。

通过将1981—2013年历年资料代入两种方法建立的各项预报时间产量丰歉预报模型,对吉林省玉米单产进行动态预报试验,结果表明:两种方法2002—2013年各预报时间单产预报平均准确率均较高,但改进方法相比传统方法,平均提高了3.9个百分点,且多数年份改进方法的预报准确率比传统方法的高。丰歉趋势动态预报准确率两种方法相比几乎无差异。各预报时间的均方根误差均小于15%,改进方法与传统方法相比,平均降低4个百分点。标准差均小于11,改进方法与传统方法相比平均降低了2。标准差越小,说明模型预报结果稳定性越高。对2014—2016年玉米产量预报检验结果表明改进方法优于传统方法。

前人利用传统的产量历史丰歉气象影响指数方法,对中国不同区域不同作物作了大量的研究^[11,23-24]。从研究结果看,准确率均较高,适用于各地的本地化业务应用。本研究提出的春玉米产量预报技术的改进方法,是一种筛选综合光、温、水的气候相似年的方法,从而建立产量丰歉动态预报模型。该方法简洁、准确率高,相比传统方法,能够更准确地预报当地的玉米产量,具有重要业务应用价值。但产量丰歉预报模型中仅考虑了气温、降水和日照时数对产量的影响,没有考虑其他气象要素的影响,也没有考虑极端气象灾害发生时对产量的影响,这些因素可能是导致模型产量丰歉趋势预报正确性低的重要原因。因此,在后续研究中,应该综合考虑各种影响因素,在提高单产预报准确率的基础上,进一步提高产量丰歉趋势预报的正确性。

参考文献

- [1] 庄立伟,王馥棠,王石立. 农业气象产量预测业务系统的研制[J]. 应用气象学报,1996,7(3):294-299.
- [2] 王雪姣,潘学标,王森,等. 基于COSIM模型的新疆棉花产量动态预报方法[J]. 农业工程学报,2017,33(8):160-165.
- [3] 邱美娟,郭春明,王冬妮,等. 基于气候适宜度指数的吉林省大豆单产动态预报研究[J]. 大豆科学,2018,37(3):445-451.
- [4] 徐延红. 基于AEZ模型的产量动态预报研究[J]. 气象与环境科

学,2018,41(2):18-22.

- [5] 成林,刘荣花. 农学模式在冬小麦产量动态预报中的应用[J]. 气象与环境科学,2017,40(2):28-32.
- [6] 邱美娟,宋迎波,王建林,等. 山东省冬小麦产量动态集成预报方法[J]. 应用气象学报,2016,27(2):191-200.
- [7] Dumont B, Leemans V, Ferrandis S, et al. Assessing the potential of an algorithm based on meanclimatic data to predict wheat yield[J]. Precision Agriculture,2014,15(3):255-272.
- [8] Marletto V, Ventura F, Fontana G, et al. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model[J]. Agricultural and Forest Meteorology,2007,147(1):71-79.
- [9] 王书裕. 作物产量的预报方法[J]. 气象学报,1984,42(3):349-355.
- [10] 王建林,王宪彬,太华杰. 中国粮食总产量预测方法研究[J]. 气象学报,2000,58(6):738-744.
- [11] 帅细强,陆魁东,黄晚华. 不同方法在湖南省早稻产量动态预报中的比较[J]. 应用气象学报,2015,26(1):103-111.
- [12] 胡莉婷,潘学标,王雪姣,等. 基于COSIM模型的棉花区域产量动态预测研究—以新疆阿克苏市为例[J]. 棉花学报,2018,30(1):83-91.
- [13] 马鸿元,黄健熙,黄海,等. 基于历史气象资料和WOFOST模型的冬小麦区域产量集合预报[J]. 农业机械学报,2018,49(9):1-15.
- [14] 张建华. 作物估产的遥感—数值模拟方法[J]. 干旱地区资源与环境,2000,14(2):82-86.
- [15] 李卫国,王纪华,赵春江,等. 基于遥感信息和产量形成过程的小麦估产模型[J]. 麦类作物学报,2007,27(5):904-907.
- [16] 邱美娟,郭春明,王冬妮,等. 基于气候适宜度指数的吉林省大豆单产动态预报研究[J]. 大豆科学,2018,37(3):446-453.
- [17] 代立芹,李春强,康西言,等. 基于气候和土壤水分综合适宜度指数的冬小麦产量动态预报模型[J]. 中国农业气象,2012,33(4):519-526.
- [18] 帅细强. 基于气候适宜度指数的湖南早稻产量动态预报[J]. 中国农学通报,2014,30(33):56-59.
- [19] 唐余学,罗擎擎,范莉,等. 基于关键气象因子的中稻单产动态预报[J]. 中国农业气象,2011,32(增刊):140-143.
- [20] 李树岩,刘伟昌. 基于关键气象因子的河南省夏玉米产量预报研究[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(5):223-227.
- [21] 黄珍珠,李寅,陈慧华,等. 基于气象关键因子的广东省橡胶产量预报[J]. 热带农业科学,2018,38(2):107-112.
- [22] 郑昌玲,杨菲云,王建林,等. 早稻产量动态预报模型[J]. 中国农业气象,2007,28(4):412-416.
- [23] 宋迎波,王建林,陈晖,等. 中国油菜产量动态预报方法研究[J]. 气象,2008,34(3):93-99.
- [24] 杜春英,李帅,王瞭瞭,等. 基于历史产量丰歉影响指数的黑龙江省水稻产量动态预报[J]. 中国农业气象,2010,31(3):427-430.
- [25] 杨霏云,朱玉祥,李文科,等. 统计方法在中国农业气象中的应用进展[J]. 气象与环境科学,2016,39(3):121-129.
- [26] 邱美娟. 基于动力与统计相结合的精细化冬小麦产量动态预报集成技术研究[D]. 北京:中国气象科学研究院,2014.

Exploration of an Improved Method for Yield Dynamic Prediction of Spring Maize

Qiu Meijuan¹, Liu Buchun¹, Liu Yuan¹, Zhang Yueying¹, Xiao Nanshu^{1,2},
Pang Jingyi^{1,3}, Wang Keyi¹, Wang Liwei⁴

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS/National Engineering Laboratory of Efficient Crop Water Use and Disaster Reduction/Key Laboratory of Agricultural Environment, MOA, Beijing 100081, China;

2. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

3. Yingkou Meteorological Office, Yingkou 115001, China;

4. Jilin Meteorological Information Network Center, Changchun 130062, China)

Abstract: In order to predict the yield of maize in time and accurately, provide reference frame for maize prediction business of Jilin province and scientific support for government regulation, this paper, based on the data of spring maize yield and daily temperature, precipitation, sunshine hours etc. from 50 meteorological stations during 1980—2016 in Jilin province, constructs a comprehensive diagnostic index to screen out history similar years of temperature, precipitation, sunshine hours and other meteorological factors by using the methods of similar distance and correlation coefficient. Then, the dynamic forecast model of spring maize yield for Jilin is established according to relationship of the meteorological influence index for bumper or poor harvest of maize yield between the historical similar years of each kind of meteorological factors and the forecast year. At the same time, the selection method of historical similar year is improved, and the comprehensive climate history similar years are screened directly based on Euclidean distance. The forecast model of spring maize yield is established based on the meteorological influence indexes for bumper or poor maize yield in historical similar years and forecast years. The prediction effects of the forecast model before and after the improvement are compared. The research reveals that the prediction accuracies of the two methods are both high in the maize yield prediction in Jilin, generally over 85%. However, the results of yield prediction model for 2002—2013 indicate that the average accuracy rate of the improved method for the 2002—2013 yield has increased by 3.9% on average, the root mean square error has decreased by 4%, and the standard deviation has decreased by 2. Moreover, the test results of maize yield prediction for 2014—2016 years are also better than by the traditional methods. Compared with traditional methods, the improved method has high accuracy, strong stability and high application value.

Key words: comprehensive diagnostic index; yield prediction; similar years; spring maize; bumper or poor harvest of yield