

易灵伟,杨爱萍,余焰文,等. 2016. 基于气候适宜指数的江西晚稻产量动态预报模型构建及应用. 气象, 42(7):885-891.

# 基于气候适宜指数的江西晚稻产量动态 预报模型构建及应用<sup>\*</sup>

易灵伟<sup>1</sup> 杨爱萍<sup>2</sup> 余焰文<sup>3</sup> 蔡 哲<sup>2</sup>

1 华中农业大学植物科学技术学院气象学研究室, 武汉 430070

2 江西省气象局农气中心, 南昌 330000

3 南京信息工程大学江苏省农业气象重点实验室, 南京 210044

**提 要:** 本文利用 1981—2014 年江西 91 个气象观测站的地面气象观测资料和同期的分县晚稻产量资料, 结合江西地区气候特点及晚稻生理特性, 构建适用于江西地区晚稻降水、温度、日照及综合适宜度模型, 并根据适宜度与产量的相关关系, 确定气候适宜指数, 建立基于气候适宜指数的江西晚稻产量动态预报模型, 并对模型进行了回代检验及预报检验, 从而实现对江西地区晚稻气候适宜度诊断及晚稻产量动态预报的目的。结果表明: 模型的回代检验、产量丰歉趋势、产量动态预报检验的准确率均较高, 能够满足业务的需要。

**关键词:** 晚稻产量, 气候适宜度, 气候适宜指数, 产量动态预报

中图分类号: P49

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.07.012

## Dynamic Prediction and Its Application for Late Rice Yield Based on Climate Suitability Index in Jiangxi

YI Lingwei<sup>1</sup> YANG Aiping<sup>2</sup> YU Yanwen<sup>3</sup> CAI Zhe<sup>2</sup>

1 Meteorology Laboratory of College of Plant Science and Technology of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070

2 Emergency Warning Centre of Jiangxi Meteorological Bureau, Nanchang 330000

3 Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

**Abstract:** By using the meteorological observation data from 91 weather stations in Jiangxi province during 1981—2014 and the late rice yield data of the corresponding time period, and combining physiological characteristics of late rice and climatic features of Jiangxi, the suitability models for temperature, precipitation and sunshine in the Jiangxi area are constructed. Moreover, according to the correlation between rice yield and suitability, the climate suitability index is determined. Then based on the index, the dynamic prediction model of the late rice in Jiangxi is constructed and tested so as to diagnose the climate suitability of the late rice in Jiangxi and to do dynamic prediction of the late rice yield. The results indicate that the method has high prediction accuracy of the bumper or poor harvest trend and the actual yield in the model test and forecasting test, and it could satisfy the needs of operational services.

**Key words:** late rice yield, climate suitability indicator, climate suitability index, dynamic yield prediction

\* 中国气象局业务建设项目“2015 年作物产量气象预报专项”和江西省气象局 2014 年重点科研项目(ORYZA2000)共同资助  
2015 年 5 月 18 日收稿; 2016 年 3 月 21 日收修定稿  
第一作者: 易灵伟, 主要从事农业气象研究. Email: 1124032918@qq.com  
通信作者: 蔡哲, 主要从事农业气象服务研究. Email: caizheread@163.com

## 引 言

水稻是我国重要的粮食作物,气候条件的适宜程度及变化情况直接影响着水稻的生长发育及产量形成(IPCC,2007;俞芬等,2008;赵峰等,2003;张建军等,2013),因此跟踪气候条件的变化,随时掌握气候适宜程度对晚稻生长发育和产量形成的影响,能够为政府决策部门和农业生产者及时合理地开展田间管理提供理论支撑,对农业生产提供科学依据方面意义重大,是现代农业气象为农服务的重要组成部分。江西省是国家农业大省,作为全国 13 个粮食主产区之一,稻谷生产是江西地区粮食生产的主体(魏淑秋,1995),全省约占全国 2.3%的耕地,生产了约占全国 3.5%的粮食和 9.8%的稻谷,近年来每年稻谷外调量 100 亿斤(1 斤=0.5 kg)左右,为保障国家粮食安全发挥了重要作用。因此,研究江西地区晚稻气候适宜程度及产量预报模型,具有重要意义。

水稻产量预报业务在我国已经有了较长时间的研究应用,其预报方法多为统计回归方法,其预报的时效多在晚稻收获的前 1~2 个月(帅细强,2014;唐余学等,2011)。但是,考虑到全球变暖这个大范围的气候背景,以及随着经济发展带来的耕作方式的改变,传统的水稻产量预报方法已经不能满足农业生产以及粮食安全预警的要求。郑昌玲等(2007)率先利用作物产量的丰歉情况及对应的气候影响指数对早稻的产量进行动态预报,所得到的预报效果较为理想,但是这种方法没有考虑气候因子的变化情况,从而影响了预报的稳定性。近年来,利用气候适宜性模型及产量丰歉值来开展作物产量动态预报的方法已经得到充分的研究及初步的应用,刘伟昌等(2008)利用气候适宜指数对河南省冬小麦产量进行了动态预报;宋迎波等(2008;2013)利用气候适宜度模型对全国油菜产量进行了动态预报,确定冬小麦气候适宜诊断指标;魏瑞江等(2015)研究并建立了日光温室黄瓜小气候适宜度定量评价模型;易雪等(2010)利用早稻气候适宜度指数模型对湖南地区早稻的产量进行了动态预报;李德等(2012)对冬小麦冬季干旱时段灌溉气象适宜指数作了研究。然而有关晚稻的产量动态预报模型研究较少,同时有关江西地区水稻产量动态预报模型的研究也不多见。本文拟在前人研究的基础上,结合江西地区的气候实

际状况及对应的晚稻生长发育特性,构建适用于江西地区的晚稻降水、温度及日照适宜度模型,在此基础上建立晚稻气候适宜指数,制定气候适宜指标,并由此进行江西地区晚稻气候适宜度诊断,最终构建晚稻产量动态预报模型。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

气象资料来源于江西省气象局,包括江西 91 个气象观测站的日最高温度(单位:°C)、日最低温度(单位:°C)、日平均温度(单位:°C),以及逐日的日照时数(单位:h)以及日降水量(单位:mm)等地面气象观测资料;资料年份为 1980—2014 年。其中,1980—2010 年气象资料用于模型建立与模型的回代检验,2011—2014 年气象资料用于模型预报检验。

晚稻产量数据来源于江西省统计年鉴,主要包括 1980—2014 年晚稻种植大县的单产(单位:kg·hm<sup>-2</sup>)、种植面积(单位:hm<sup>2</sup>)以及同期江西全省的晚稻单产和种植面积等。

根据江西晚稻种植分布同时考虑到晚稻的生长特点,选取了 35 个与江西省晚稻总产量相关性达到 0.8 以上的站点(乐安、东乡、樟树、高安、峡江、丰城、永丰、瑞金、宁都、崇仁、新干、兴国、安福、南丰、乐平、万载、宜丰、金溪、南城、万安、奉新、抚州、遂川、余干、信丰、莲花、永新、吉安县、都昌、新建、吉水、泰和、永修、玉山、南昌县)作为代表站点,用于本文对江西地区晚稻适宜度模型的建立与研究。

### 1.2 发育期资料处理

考虑到全球变暖的大范围气候背景以及晚稻品种改良对晚稻生长发育造成的影响,本文中江西晚稻发育期判断标准统一参照江西省气象局现行的《江西晚稻生产周年气象服务方案》,主要用于判断某旬晚稻所处的发育阶段,并根据该发育阶段的生理指标计算当旬的晚稻气候适宜度值。

### 1.3 气候适宜度模型及气候适宜指数构建

#### 1.3.1 旬降水适宜度度计算

江西地区雨量充沛,全省多年平均降水量在 1635 mm 左右,在晚稻生长发育期,即 6—10 月多年平均总降水量在 692.1 mm,能充分满足晚稻生

长发育对水分的需求,因而在较长时间段内,对晚稻生长发育所需水分总量调控实施较为容易。但是罗伯良等(2008)研究指出,强降水会对晚稻的抽穗扬花产生较大的影响;江西地区从 4 月上旬就进入汛期,并且汛期一直持续到 9 月下旬,而 9 月下旬为江西地区晚稻的抽穗扬花期,在此期间遭遇强降水将影响晚稻产量形成和稻米品质。同时江西 6 月下旬到 7 月中旬也会出现降水过少现象,常引发伏旱或伏秋旱的发生,会对晚稻播种面积及移栽返青期的生长发育造成影响(陆叔铭,1992;徐进华等,2013);针对江西地区伏旱及伏秋旱的情况,江西地区水库数目众多,水库蓄水丰富,干旱年份中晚稻灌溉用水多由水库蓄水提供,晚稻产量无明显下降,只有在较为极端的情况下才对晚稻生长产生影响。综上本研究定义晚稻抽穗扬花期降水距平的影响临界值为 50%,其他发育期降水距平的影响临界值为-80%。得出江西地区单站旬降水适宜度判定标准见表 1。

表 1 江西地区单站旬降水适宜度判定标准  
Table 1 Criteria for precipitation suitability of each one station in Jiangxi

发育期时段	$R^\phi$ 值	判定标准
抽穗扬花期	1	单站旬降水距平 $\leq 50\%$
	$R^\phi = R_0/R$	单站旬降水距平 $> 50\%$
其他发育期	1	单站旬降水距平 $> -80\%$
	0.9	单站旬降水距平 $\leq -80\%$

表 1 中, $R^\phi$  为单站旬降水适宜度标准, $R_0$  为多年(1981—2010 年)单站点旬平均降水量, $R$  为站点某旬的降水量。

考虑到暴雨出现对晚稻的生长有一定的影响,对单站旬降水适宜度做出如下调整:

$$\tilde{R} = R^\phi - \lambda \times D_r \quad (1)$$

式中, $\tilde{R}$  为单站降水适宜度, $\lambda$  为暴雨对适宜度的影响系数,本文暴雨影响系数取 0.05, $D_r$  为单旬内站点出现的暴雨日数。

根据江西各单站晚稻的逐旬降水适宜度,得出江西地区晚稻旬降水适宜度:

$$\tilde{R}(r_k) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{R}(r_{ik}) \quad (2)$$

式中, $\tilde{R}(r_k)$  为江西地区晚稻第  $k$  旬降水适宜度, $n$  为站点数, $\tilde{R}(r_{ik})$  为第  $i$  站点第  $k$  旬的单站降水适宜度。

### 1.3.2 旬平均温度、光照、综合适宜度及气候适宜指数计算

关于温度适宜度、日照适宜度、综合适宜度计算

的相关研究较多,且相关研究较为深入,结果较为成熟,本文中旬平均温度、日照及综合适宜度计算的计算方法直接采用前人(马树庆,1994)的计算方法,同时气候适宜指数的定义及计算方法见易雪等(2010)文献。计算公式中的相关参数均采用黄淑娥等(2012)中数值,具体参数及其值见表 2。表 2 中, $s_0$  为晚稻相应生育期光照达到适宜状态时的日照时数, $b$  为日照适宜度参数, $t_l$  为所处生育阶段的下限温度, $t_0$  为所处生育阶段的最适温度, $t_h$  为所处生育阶段的上限温度。

表 2 江西晚稻各生长发育阶段临界温度、适宜日照时数( $s_0$ )及日照参数( $b$ )值

Table 2 Critical temperature indices, appropriate hours of sunshine ( $s_0$ ) and sunshine parameters ( $b$ ) in the growth stage of late rice

发育期阶段	$t_l/^\circ\text{C}$	$t_0/^\circ\text{C}$	$t_h/^\circ\text{C}$	$s_0/\text{h}$	$b$
苗期	12	25	40	8.73	4.70
返青期	15	26	35	9.54	5.36
分蘖期	16	28	37	9.08	4.90
拔节—孕穗期	19	28	38	8.31	4.49
抽穗—开花期	20	27	35	7.63	4.11
乳熟期	15	23	35	6.63	3.57

### 1.4 产量动态预报模型的建立及回代检验

据相关研究,相邻两年气象条件的差异是造成相邻两年作物产量变化的决定性因素(王建林等,1990;宋迎波等,2006),据此,对晚稻单产进行如下处理:

$$\Delta Y_i = (Y_i - Y_{i-1})/Y_{i-1} \times 100\% \quad (3)$$

式中, $\Delta Y_i$  为第  $i$  年与第  $i-1$  年的江西地区晚稻单产丰歉值, $Y_i$  与  $Y_{i-1}$  分别为第  $i$  年与第  $i-1$  年江西地区晚稻单产。

为达到预测江西地区晚稻产量前景的目的,利用 1981—2010 年  $\Delta Y$  和晚稻生长发育期不同时段的气候适宜指数,建立从 6 月下旬播种到 8 月中旬拔节分蘖期、播种到 9 月中旬抽穗期、播种到 10 月上旬灌浆成熟期三个关键生长发育时段的产量动态预报模型。

利用得出的预报模型,对江西地区 1981—2010 年晚稻产量进行了动态预报,并对其进行回代检验。检验方法如下:如果通过预报模型得出的  $\Delta Y_{\text{预报}}$  与实际的  $\Delta Y$  符号相一致,则判定通过动态预报模型得出的丰歉趋势正确,否则即为不通过。根据  $\Delta Y_{\text{预报}}$  的结果,利用式(4)对江西地区晚稻实际单产

进行回代检验,并进行正确率的计算,正确率计算方法见式(5),最终得到江西地区 30 年的丰歉趋势正确率以及实际单产平均正确率。

$$Y_i = Y_{i-1}(1 + \Delta Y_{\text{预报}}) \quad (4)$$

$$\text{正确率} = \left(1 - \left| \frac{\Delta Y_{\text{预报}} - \Delta Y}{\Delta Y} \right| \right) \times 100\% \quad (5)$$

式(4)和式(5)中各变量意义与式(3)相同。

## 2 结果与分析

### 2.1 各要素气候适宜度及气候适宜指数变化特征及分析

#### 2.1.1 气候适宜度特征及分析

根据所构建的各要素适宜度模型及综合适宜度模型,利用 1981—2010 年期间各选定观测点晚稻生长季 6 月下旬至 10 月下旬时段内,逐日气温、降水、日照时数资料,对历年晚稻温度、降水、日照适宜度进行逐旬计算,历年晚稻全生育期内温度、降水、日照适宜度分别采用各旬适宜度的 30 年平均值来表示,得出江西地区晚稻全生育期多年间各要素适宜度逐旬变化,如图 1。

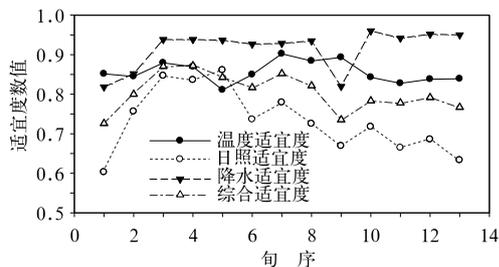


图 1 江西地区晚稻全生育期各适宜度逐旬变化

Fig. 1 Decadal variation of suitability index during the whole growth period of late rice in Jiangxi

由图 1 可知,各要素适宜度值均在 0.60 以上,但各要素适宜度值差别较大,其中以降水适宜度最高,在 0.85~0.99,最高值出现在第 10 旬(9 月下旬),最低值出现在第 9 旬(9 月中旬),这是由于 9 月中旬江西地区普遍降水较少,常有秋旱发生,后降水增多,达到适宜晚稻生长的程度造成的;温度适宜度次之,在 0.83~0.95,且波动幅度较小,反映出江西地区温度在晚稻全生育期间均保持稳定且适宜;日照适宜度最低,在 0.60~0.87,主要表现为第 3 至第 5 旬较高,其余时段均相对较低,这是由于江西

地区进入汛期较早,降水过多带来的寡照天气不利于晚稻生长发育而形成的;综合适宜度在 0.73~0.87 波动,且振幅较小,反映出江西地区气候适宜性较稳定。

#### 2.1.2 气候适宜指数年际变化特征及分析

对江西地区 1981—2010 年气象资料进行处理,并由此进行各气候因子的气候适宜指数计算,得出江西省晚稻历年全生育期温度、降水、日照以及综合适宜指数值,见图 2。

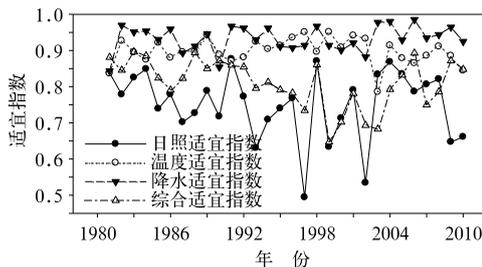


图 2 江西省晚稻历年全生育期适宜指数年际变化

Fig. 2 Interannual variation of suitability index during the whole growth period of late rice in Jiangxi

由图 2 可知,各要素的适宜指数差别较大,其中降水适宜指数最高,在 0.84~0.99,反应出江西地区降水量充沛,能充分满足晚稻生长发育对水分的需求;温度适宜度次之,在 0.78~0.95,且各旬适宜指数波动较平稳,说明江西地区晚稻生育期间温度条件适宜且常年保持稳定,有利于晚稻的种植;光照适宜指数最低,在 0.49~0.88,且波动幅度最大,说明光照条件是江西地区晚稻产量形成的限制因素。同时各适宜指数在 1997—1998、2001—2002 年有一次较大的波动,日照适宜指数及综合适宜指数在此期间内出现了最小值,这是因为江西地区 1997—1998、2002 年间全省范围内出现了严重的旱、涝灾害,影响了江西地区晚稻的生长发育,其余年份综合适宜指数均较高,反应出江西地区的气候条件有利于晚稻的产量形成,与实际情况相吻合。对比图 1 和图 2 可知,江西地区晚稻历年全生育期适宜指数变化趋势与适宜度变化趋势基本吻合,各要素的适宜度与适宜指数值高低排序相一致,反映出所构建的适宜指数能较好地诊断江西地区适宜度状况。

### 2.2 产量动态预报模型的回代检验

6 月下旬播种分别到 8 月中旬拔节分蘖期、9 月中旬抽穗期、10 月上旬灌浆成熟期三个关键生长发

育时段的产量动态预报模型及全生育期的产量预报模型见表 3。

表 3 江西地区晚稻产量动态预报模型及单产丰歉趋势、产量回代检验平均正确率

Table 3 The dynamic prediction models and average accuracy of return test for late rice of the bumper or poor harvest trend and the actual yield in Jiangxi

预报时段	预报模型	产量丰歉趋势准确率/%	产量回代检验准确率/%
8月中旬拔节分蘖期	$\Delta Y = 0.490x - 0.228$	86.7	95.3
9月中旬抽穗期	$\Delta Y = 0.450x - 0.261$	83.3	95.4
10月上旬灌浆成熟期	$\Delta Y = 0.461x - 0.305$	90	95.4
全生育期	$\Delta Y = 0.442x - 0.327$	/	/

从表 3 可知,由三个关键生长发育时段气候适宜指数所构建的产量动态预报模型模拟出的结果均有较好的准确性,其中在产量丰歉趋势准确率上达到了 83% 以上,在产量回代检验中准确率超过了

95%,说明本文建立的晚稻产量动态模型模拟产量的形成具有较高的准确性。值得指出的是,9月中旬抽穗期为晚稻产量形成的最关键时期,但是产量丰歉趋势准确率的低值出现在该时期,本文认为这是由抽穗扬花期内短时强降水天气造成的。

### 2.3 气候适宜度分级标准与预报检验

参照产量丰歉值的判定标准,定义当年晚稻产量为平偏丰年时,该年晚稻气候条件为基本适宜,并定义此时  $\Delta Y$  临界值为 1%;定义当年晚稻产量为歉年时,该年晚稻气候条件为不适宜,并定义此时  $\Delta Y$  临界值为 -5%。

由全生育期预报模型计算可知,江西地区晚稻种植气候指标的适宜临界值为 0.763,不适宜临界值为 0.627。为更合理区划江西地区气候条件的适宜性,将气候适宜指标分为 5 级,气候指标分级及相应气候适宜指数值见表 4。

表 4 气候适宜指标分级

Table 4 Classification of climatic suitability indicator

等级	适宜 $\Delta Y \geq 5\%$	较适宜 $1\% \leq \Delta Y < 5\%$	基本适宜 $-1\% < \Delta Y < 1\%$	较不适宜 $-5\% < \Delta Y \leq -1\%$	不适宜 $\Delta Y \leq -5\%$
适宜指标	$x \geq 0.853$	$0.763 \leq x < 0.853$	$0.763 < x < 0.717$	$0.627 < x \leq 0.717$	$x \leq 0.627$

根据表 4 设定的分级指标,对 1981—2010 年江西地区晚稻产量丰歉情况进行检验。结果表明,实际产量的丰歉情况与气候适宜指标判断的结果较一致,具体结果见表 5。由表 5 可知,用于诊断的 30 年资料中,有 12 年预测结果与实际产量丰歉值完全一致,13 年差一个级别,5 年差 2 个或 2 个以上级

别,基本一致(完全一致与差一个级别的总正确率之和)的概率达到 83.3%。以上结果反应出本文建立的气候适宜指数模型较合理,同时运用气候适宜指数建立的预报模型,能较合理地诊断江西地区晚稻的气候适宜性程度,能较好地应用于晚稻产量前景的预测。

表 5 1981—2010 年江西地区晚稻气候适宜指标检验

Table 5 The test of climate suitability indicator of late rice in Jiangxi during 1981—2010

等级	适宜	较适宜	基本适宜	较不适宜	不适宜	总数
实际年数/a	8	10	6	4	2	30
判断完全一致年数/a	3	6	1	2	0	12
判断差一个级别的年数/a	5	3	3	1	1	13
完全一致准确率/%	37.5	60	16.7	50	0	40
差一个级别准确率/%	62.5	50	50	25	1	43.3
基本一致准确率/%	100	90	66.7	75	50	83.3

利用上述三个关键生长发育阶段的产量动态预报模型,对江西地区 2011—2014 年 4 年的晚稻产量进行动态预报,并就实际产量与预报结果进行对比检验,结果见表 6。

由表 6 可知,2011—2014 年从播种到 8 月中旬拔节分蘖期、9 月中旬抽穗期、10 月上旬灌浆成熟期三个关键生长发育阶段的预报结果准确率较高,准确率平均值分别为 97.15%、97.08%、96.20%,达

到了业务工作中晚稻收获前一个月准确率 95% 以上的预测标准,说明本文建立的晚稻产量动态模型

能够较合理地模拟产量的形成,能够满足业务服务的需要。

表 6 2011—2014 年江西地区晚稻单产动态预报对比检验结果

Table 6 The test results of dynamic prediction for late rice yield in Jiangxi during 2011—2014

年份	$\Delta Y/\%$	$\Delta Y_{\text{预报}}/\%$			实际单产值 /kg·hm <sup>-2</sup>	8月中旬		9月中旬		10月上旬	
		8月 中旬	9月 中旬	10月 上旬		预测值 /kg·hm <sup>-2</sup>	准确率 /%	预测值 /kg·hm <sup>-2</sup>	准确率 /%	预测值 /kg·hm <sup>-2</sup>	准确率 /%
2011	0.7	4.3	3.8	4.8	5863	6112.6	95.7	6083.2	96.2	6142.5	95.2
2012	2.9	3.6	4.5	4.5	5880	6076.8	96.7	6125.4	95.8	6125.2	95.8
2013	2.1	2.6	3.1	5.2	5892	6031.9	97.6	6064.9	97.1	6184.9	95.0
2014	2.1	3.5	2.9	3.3	6015	6100.5	98.6	6060.4	99.2	6084.5	98.8

### 3 结论与讨论

本文基于江西地区晚稻生理特性以及江西地区的实际气候条件,同时结合前人的研究成果,分别构建了适合江西地区的晚稻日照、降水、光照适宜度模型;就江西地区雨量充沛,能充分满足晚稻生长需要的实际情况,分生育期阶段构建了降水适宜度模型,同时创新性的引进了暴雨影响系数的概念,综合考虑了江西地区实际降水情况对晚稻生长发育的影响。利用所构建的气候适宜度模型计算了 1981—2010 年江西地区晚稻不同生长发育时段的气候适宜指数,并与产量丰歉值进行了相关性分析,结果显示两者相关性显著,说明本文所构建的晚稻气候适宜度模型及气候适宜指数能合理模拟反映晚稻的气候适宜性水平及其动态变化。

考虑到江西地区晚稻全生育期的气候适宜指数与相应年份的产量丰歉值相关性显著,因此构建江西地区晚稻种植的气候适宜指标及级别等级,利用所构建的气候适宜指标的级别等级对 1981—2010 年江西地区晚稻产量的丰歉情况进行回代检验,检验结果的基本准确率达到 83.3%,反映出指标回代检验的效果较理想,说明本文所建立的气候适宜指标可用于诊断江西地区晚稻的气候适宜程度。

通过计算江西地区晚稻从 6 月下旬播种到 8 月中旬拔节分蘖期、9 月中旬抽穗期、10 月上旬灌浆成熟期三个关键生长发育时段的气候适宜指数,建立了三个关键生长发育时段的晚稻产量动态预报模型,分别对 2011—2014 年晚稻的产量进行预报,预报结果的准确率平均值分别为 97.15%、97.08%、96.20%,达到了业务工作中晚稻收获前一个月准确

率 95% 以上的预测标准,反映出所构建的产量动态预报模型效果较好,能够应用于实际工作中。

但是,本文仅考虑的是实际气候条件对晚稻产量的影响,未综合考虑生产管理措施及短时间内发生的气象灾害对晚稻生长发育的影响,特别是未考虑成熟收获阶段可能发生的短期强对流天气的影响,从而影响了模型的整体稳定性。因此,在实际的工作业务中,还需借鉴其他方法进行改善,对最终的产量预报结果进行适当订正。

### 参考文献

- 黄淑娥,田俊,吴慧峻. 2012. 江西省双季水稻生长季气候适宜度评价分析. 中国农业气象, 33(4): 527-533.
- 李德,张学贤,刘瑞娜. 2012. 冬小麦冬季干旱时段灌溉气象适宜指数研究. 气象, 38(12): 1565-1571.
- 刘伟昌,陈怀亮,余卫东,等. 2008. 基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究. 气象与环境科学, 31(2): 21-24.
- 陆叔铭. 1992. 江西省伏、秋旱分布特征及其预测. 气象, 18(5): 26-31.
- 罗伯良,张超,林浩. 2008. 近 40 年湖南省极端强降水气候变化趋势与突变特征. 气象, 34(1): 80-85.
- 马树庆. 1994. 吉林省农业气候研究. 北京: 气象出版社, 33.
- 帅细强. 2014. 基于气候适宜指数的湖南早稻产量动态预报. 中国农学通报, 30(33): 56-59.
- 宋迎波,王建林,陈辉,等. 2008. 中国油菜产量动态预报方法研究. 气象, 34(3): 93-99.
- 宋迎波,王建林,杨霏云. 2006. 粮食安全服务. 北京: 气象出版社, 20-25.
- 宋迎波,王建林,郑昌玲,等. 2013. 冬小麦气候适宜诊断指标确定方法探讨. 气象, 39(6): 768-773.
- 唐余学,范莉,杨园燕,等. 2011. 基于关键气象因子的中稻单产动态预报. 中国农业气象, 32(增 1): 140-143.
- 王建林,赵四强. 1990. 全国棉花产量预报模式. 气象, 16(5): 26-30.
- 魏瑞江,王鑫,朱慧钦. 2015. 日光温室黄瓜小气候适宜度定量评价模型. 气象, 41(5): 630-638.

- 魏淑秋. 1995. 农业气象统计. 福建:福建科学技术出版社, 157-162.
- 徐进华, 袁晋琰, 简海燕, 等. 2013. 江西省宜春市主要农业气象灾害分析与防御. 农业灾害研究, 3(1): 37-40.
- 易雪, 王建林, 宋迎波. 2010. 气候适宜度指数在早稻产量动态预报上的应用. 气象, 36(6): 85-89.
- 俞芬, 千怀遂, 段海来. 2008. 淮河流域水稻的气候适宜度及其变化趋势分析. 地理科学, 35(4): 537-542.
- 张建军, 马晓群, 许莹. 2013. 安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标的建立与试用. 气象, 39(1): 88-93.
- 赵峰, 千怀遂, 焦士兴. 2003. 农作物气候适宜度研究——以河南省冬小麦为例. 资源科学, 25(6): 77-87.
- 郑昌玲, 杨霏云, 王建林, 等. 2007. 早稻产量动态预报模型. 中国农业气象, 28(4): 412-416.
- IPCC. 2007. Impacts, adaptation and vulnerability, working group II contribution to the intergovernmental panel on climate change fourth assessment report. Brussels: IPCC.