

余焰文,蔡哲,姚俊萌,等,2019.江西省油菜产量集成预测模型方法研究[J].气象与减灾研究,42(3):206-211.  
Yu Yanwen,Cai Zhe,Yao Junmeng, et al, 2019. Study on integrated forecasting model of rape yield in Jiangxi province[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research,42(3):206-211.

## 江西省油菜产量集成预测模型方法研究

余焰文<sup>1</sup>, 蔡哲<sup>2</sup>, 姚俊萌<sup>2</sup>, 蔡小琴<sup>1</sup>

1. 抚州市气象局, 江西 抚州 344000
2. 江西省农业气象中心, 江西 南昌 330096

**摘要:** 基于气象要素建立关键气象因子模型、气候适宜度模型、辐射积模型,并根据模型预测准确率确定权重系数构建江西省油菜产量集成预测模型,对集成模型的预测效果和基础模型进行对比分析。结果表明:1) 关键气象因子模型 4 月中旬预测准确率低于其他模型,三种基础模型的权重系数依次为 0.3、0.35、0.35,5 月中旬预测准确率基本一致,权重系数依次为 0.34、0.33、0.33。2) 对于集成模型趋势一致率,1991—2010 年回代检验结果 5 月中旬最高,4 月中旬仅次于气候适宜度模型;2011—2015 年两个时次预测趋势一致率均为 100%,达最高。3) 2011—2015 年集成模型预测检验 RMSE 最低,预测准确率均在 97%以上。油菜集成模型预测的准确性和稳定性总体优于基础模型,可应用于江西省气象业务服务。

**关键词:** 油菜产量,集成模型,关键气象因子,气候适宜度,辐射积

**中图分类号:** S165<sup>+</sup> 27.27

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-9033(2019)03-0206-06

**doi:** 10.12013/qxyjzj2019-033

## Study on Integrated Forecasting Model of Rape Yield in Jiangxi Province

Yu Yanwen<sup>1</sup>, Cai Zhe<sup>2</sup>, Yao Junmeng<sup>1</sup>, Cai Xiaoqin<sup>1</sup>

1. Fuzhou Meteorologic Bureau, Fuzhou 344000, China

2. Agricultural Meteorological Center of Jiangxi, Nanchang 330096, China

**Abstract:** Based on meteorological factors, the key meteorological factors model (MFM), climate suitability model (CSM) and PAR model (TEPM) were established, and the integrated model (TIM) of rape yield in Jiangxi was constructed by the weight coefficient according to the prediction accuracy of the three models. Comparative analysis of those models shows that: 1) The prediction accuracy of MFM in mid-April was lower than that of others, and the weight coefficients were 0.3, 0.35 and 0.35 respectively. The three basic models prediction accuracy was basically similar in mid-May, and the weight coefficients were 0.34, 0.33 and 0.33 respectively. 2) The trend consistency rate of TIM was the highest in mid-May from 1991 to 2010, and only second to CSM in mid-April. Moreover, the trend consistency rate predicted by TIM during two periods in 2011 - 2015 reached 100%. 3) The RMSE of TIM from 2011 to 2015 was the lowest, and all the annual prediction accuracy was above 97%. Results show that the accuracy and stability of TIM was better than those of the basic models and could be applied to meteorological services in Jiangxi.

**Key words:** rape yield; the integrated model; key meteorological factors; climate suitability; product of thermal effectiveness and PAR

收稿日期: 2019-06-27; 修订日期: 2019-08-29.

基金项目: 国内外 2019 年作物产量预报专项“基于作物模型的双季稻气象灾害影响评估研究”; 江西省气象局 2018 年青年人才计划项目“基于构建含糖量气象模型的南丰蜜桔采摘期预测研究”。

作者简介: 余焰文, 硕士, 助理工程师, 主要从事农业气象灾害及服务相关研究, E-mail: yuyanwen204@163.com.

蔡哲(通信作者), 硕士, 高级工程师, 主要从事农业气象相关研究, E-mail: caizheread@163.com.

## 0 引言

光照、温度和降水等气象要素直接影响作物的生长发育进程和最终的产量形成,基于气象要素条件预测作物产量为涉农单位及政府有关决策部门提供预测结论,对保障我国粮油作物安全生产具有重要意义。

国内外学者就作物产量预测研究做了大量工作,经过几十年发展形成了较成熟、准确的技术方法,国外研究大多以 DSSAT、WOFOST 等作物生长模型为主,国内学者将这些模型引进并本地化后成功预测小麦(赵俊芳等,2017;刘文茹等,2018)、玉米(张阳等,2018)和水稻(浩宇等,2013)等作物产量,部分学者采用主成分分析、逐步回归分析等数理统计方法构建气象要素与作物产量的关系模型(郭海英等,2008;宋迎波等,2009;陈斐等,2014)。王雪娥(1992)首次采用模糊数学方法构建气候适宜度模型,赵峰等(2003)、魏瑞江等(2009)在此基础上对适宜度模型中光、温、水要素的隶属函数进行调整,建立气候适宜度动态模型预测作物产量。辐射积模型是一种表示作物生长期中光温效应的数理模型,目前在作物生长发育预测(李青林等,2011)、生物量模拟(石小虎等,2016)等领域得到广泛应用。不同产量预报模型有不同的优势和不足,在不同地区、不同时段的应用结果也不完全一致,易雪等(2011)、邱美娟等(2016)分析比较了不同产量预测模型的预测准

确率,并在此基础上建立了集成预报模型,进一步提高了预测效果。

当前的产量预测模型大多是针对水稻、小麦和玉米等粮食作物为主,油菜是我国主要油料作物之一,目前对于油菜产量预测模型的研究相对较少,关于油菜产量集成预测模型的研究报道较少。文中拟以3种产量预测模型为基础,建立江西省油菜产量动态集成预测模型,以提高预测准确率和稳定性,更好地为油菜的农业生产提供技术指导,为政府相关部门提供决策依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 生育期、产量和气象资料

依据江西省农业气象观测资料对油菜关键生育期进行统一处理,将油菜主要生育期划分为:苗期(10—12月中旬)、越冬期(12月下旬—次年2月上旬)、现蕾抽薹期(2月中旬—3月上旬)、花期(3月中旬—4月上旬)、成熟期(4月中旬—5月中旬)。

气象资料采用1991—2015年江西省87个气象观测站的逐日平均气温、降水和日照时数资料,数据来源于江西省气象局。产量数据为1991—2015年江西省油菜单产资料,来源于江西省统计局。

### 1.2 相关气象指标

参考相关文献(黄淑娥等,2009;董芹等,2015),整理归纳并确定油菜各生长期对应的适宜温度指标、生长期所需光照和降水量下限指标(表1)。

表1 不同时期油菜温度、日照时数和降水量指标

Table 1 Indexes of temperature, sunshine duration and precipitation during different growth periods of rape

生育期	温度/℃					日照时数/h	降水量/mm
	$t_2$	$t_{m0}$	$t$	$t_{b0}$	$t_1$	$S_0$	$R_0$
苗期	25	20	15	7	5	360	180
越冬期	15	10	7	5	3	156	120
现蕾抽薹期	20	15	10	8	5	76	130
花期	25	22	15	10	5	80	190
成熟期	30	25	20	16	10	120	220

注: $t_2$ 、 $t$ 、 $t_1$ 分别为油菜各生育期生长的最高温度、最适温度、最低温度; $t_{m0}$ 、 $t_{b0}$ 表示各生育期最适温度的上限值和下限值; $S_0$ 、 $R_0$ 表示各生育期生长所需日照时数和降水量的下限值。

### 1.3 气象产量分离

文中通过指数平滑法构建趋势产量序列以分离出气象产量(赵桂涛等,2016),指数平滑法的特点是对距离预测期较近的数据给予较大的权数,对距离预测期较远的数据给予较小的权数,权数由近到远按指数规律递减。通过趋势产量序列( $Y_t$ )分离出气象产量( $Y_w$ ),为突出气象产量序列在时间上的可比性,弱化不同年份生产力水平的影响,文中使用相

对气象产量( $Y_r$ )进行分析,其表达式为

$$Y_r = \frac{Y_w}{Y_t} \times 100\% \quad (1)$$

### 1.4 模型构建

利用1991—2010年油菜产量数据构建以4月中旬和5月中旬为预报时段的油菜产量预测模型,并使用2011—2015年油菜产量数据对模型进行验证。油菜产量预测集成模型是以关键气象因子模

型、气候适宜度模型和辐热积模型(光温效应模型)三种常规产量预测模型为基础,并参考余焰文等

(2018)三种模型构建方法,表2给出了三中基础预测模型的表达式。

表2 三种基础预测模型

Table 2 The three basic models

预测时间	模型类别	油菜产量预测模型
4月中旬	关键气象因子模型	$Y_r = 33.953 - 0.003X_1 - 0.011X_2 - 0.005X_3 + 0.005X_4 - 0.003X_5$
	气候适宜度模型	$Y_r = -28.795 + 12.548S_1$
	辐热积模型	$Y_r = -31.322 + 0.013TEP_1$
5月中旬	关键气象因子模型	$Y_r = 28.518 - 0.003X_1 - 0.01X_2 - 0.005X_3 + 0.005X_4 - 0.003X_5 + 0.002X_6$
	气候适宜度模型	$Y_r = -52.124 + 16.751S_2$
	辐热积模型	$Y_r = -38.354 + 0.013TEP_2$

注: $Y_r$ 表示相对气象产量; $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 分别表示苗期降水量、越冬期降水量、越冬期日照时数、现蕾抽薹期日照时数、花期降水量、成熟期降水量; $S_1$ 和 $S_2$ 分别表示苗期至花期和苗期至成熟期的综合气候适宜度; $TEP_1$ 和 $TEP_2$ 表示苗期至花期的辐热积和苗期至成熟期的辐热积。

根据三种常规模型预测结果的准确率确定其在集成模型中的权重系数,集成模型为

$$Y_i = q_1 \times Y_{i1} + q_2 \times Y_{i2} + q_3 \times Y_{i3} \quad (2)$$

其中, $Y_i$ 表示集成模型预测产量; $Y_{i1}$ 、 $Y_{i2}$ 、 $Y_{i3}$ 分别为关键气象因子模型、气候适宜度模型和辐热积模型的预测产量; $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 为权重系数,计算式为

$$q_i = \frac{p_i}{\sum p} \quad (3)$$

其中, $q_i$ 表示第*i*个模型的权重系数; $p_i$ 表示其预测准确率。

### 1.5 模型检验

#### 1) 结果一致性检验

通过产量预测值的增减趋势与实际产量的增减趋势对比判断模型预测结果的一致性,以趋势一致率*Q*表示,计算式为

$$Q = \frac{n'}{n-1} \quad (4)$$

其中, $n'$ 表示预测产量与实际产量增减趋势一致年份数; $n$ 表示样本总年份数。

#### 2) 结果准确率检验

检验采用回归估计均方根误差(RMSE)和准确率(*P*)两个参数,计算式分别为

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - S_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$P = 1 - \frac{|S - O|}{O} \times 100\% \quad (6)$$

其中, $O$ 和 $S$ 分别为实际产量和预测产量; $n$ 为构建模型的样本数量; $i$ 为样本序列号。 $P$ 越大、 $RMSE$ 越小说明模型预测值与实际值的偏差越小,模型预测的精度越高。

## 2 结果与分析

### 2.1 集成模型权重系数确定

分析比较3个基础模型1991—2010年的预测准确率,并通过式(3)确定在集成模型中的权重系数(表3)。分析可知,各基础模型5月中旬预测准确率均高于4月中旬,其中关键气象因子模型5月中旬预测准确率提高13.06%。辐热积模型预测准确率略高于气候适宜度模型,二者4月中旬预测准确率较关键气象因子模型提高近10%,但是5月中旬预测准确率较关键气象因子模型偏低近2%。根据权重系数计算式(3),关键气象因子、气候适宜度及辐热积模型4月中旬集成模型中的权重系数分别为0.30、0.35、0.35,5月中旬集成模型的权重系数分别为0.34、0.33、0.33。

表3 各基础模型在集成模型中的权重系数

Table 3 Weight coefficients of each basic model in the integrated model

模型	准确率/%		权重系数	
	4月中旬	5月中旬	4月中旬	5月中旬
关键气象因子	83.1	96.1	0.30	0.30
气候适宜度	93.8	93.9	0.35	0.33
辐热积	94.1	94.2	0.35	0.33

### 2.2 产量预测趋势一致性检验

表4给出了不同模型4月中旬和5月中旬油菜产量预测趋势一致率结果。分析可知,从1991—2010年回代检验的预测趋势一致率来看,各模型5月中旬预测一致率高于4月中旬,仅辐热积模型偏低近10%,关键气象因子和集成模型提高近10%,气候适宜度模型提高近5%。4月中旬预测趋势一致率以气候适宜度模型最高,其他模型持平,5月中旬预测趋势一致率以辐热积最低,其他模型持平。

1991—2010年总体而言气候适宜度模型预测一致率最高,其次为集成模型和关键气象因子模型,辐热积最低。从2011—2015年预测检验结果看,集成模型预测趋势一致率最高,4月中旬和5月中旬均为100%,辐热积模型均为80%,气候适宜度模型则从4月中旬的100%降至5月中旬的60%,关键气象

因子最低。综合分析1991—2015年预测趋势,5月中旬预测趋势一致率以集成模型预测最高,辐热积模型最低;4月中旬则以气候适宜度最高,集成模型次之,关键气象因子模型最低;结合两个预测时间的结果来看,集成模型预测趋势一致率最高,其次为气候适宜度模型。

表4 不同模型油菜产量预测趋势一致率结果

Table 4 Prediction trend consistency rates of different models

年份	关键气象因子模型		气候适宜度模型		辐热积模型		集成模型	
	4月中旬	5月中旬	4月中旬	5月中旬	4月中旬	5月中旬	4月中旬	5月中旬
1992	-	+	+	+	-	-	-	+
1993	+	+	+	+	+	+	+	+
1994	-	-	-	-	+	-	-	-
1995	-	+	+	+	+	+	+	+
1996	+	-	+	+	-	-	+	-
1997	+	+	-	+	-	-	+	-
1998	-	+	-	-	+	-	-	+
1999	-	+	-	-	-	-	-	+
2000	+	+	+	+	+	+	+	+
2001	-	+	+	+	+	+	-	+
2002	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	+	-	-	-	-	-	-	-
2004	+	+	+	+	+	+	+	+
2005	+	+	+	+	+	+	+	+
2006	-	+	+	+	-	-	-	+
2007	+	-	+	+	+	+	+	+
2008	+	+	-	-	+	+	+	-
2009	+	+	+	+	-	+	+	+
2010	+	-	+	+	+	-	+	+
2011	-	+	+	-	+	+	+	+
2012	-	+	+	-	+	-	+	+
2013	-	-	+	+	+	+	+	+
2014	+	+	+	+	+	+	+	+
2015	+	+	+	+	-	+	+	+
1991—2010年 一致率/%	57.90	68.40	63.20	68.40	57.90	47.40	57.90	68.40
2011—2015年 一致率/%	40.00	80.00	100.00	60.00	80.00	80.00	100.00	100.00
1991—2015年 一致率/%	54.20	70.80	70.80	66.70	62.50	54.20	66.70	75.00

注:“+”表示预测产量与实际产量趋势一致,“-”表示不一致。

### 2.3 产量预测准确率检验

表5给出了不同模型2011—2015年油菜预测产量及平均准确率。 $RMSE$ 的大小表示油菜预测结果与真实值之间的偏差, $RMSE$ 越小则说明预测结果越接近真实值。不同时段预测结果表明关键气象因子模型和适宜度模型 $RMSE$ 较大且变化幅度较大,集成模型和辐热积模型 $RMSE$ 相对稳定,且均以集成模型 $RMSE$ 最小,分别为 $27.08\text{ kg/hm}^2$ 和 $25.80\text{ kg/hm}^2$ 。

对比模型2011—2015年预测准确率,适宜度模

型两个时段预测结果累积有50%频次的准确率均低于95%,其他模型预测准确率基本均在95%以上,但适宜度模型5月中旬平均预测准确率较4月中旬提高约2.2%。两个时段预测平均准确率均以集成模型最高,分别为98.09%和98.10%,其次为辐热积模型和灌浆气象因子模型。集成模型两个时段预测结果连续5a预测准确率均在97%以上,气候适宜度模型2013—2015年5月中旬预测准确率均在99%以上,但是4月中旬预测效果较差,平均准确率不足95%。



表5 不同模型预测产量及平均准确率

Table 1 Prediction yield and accuracy of different models

年份	实际产量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	关键气象因子模型		气候适宜度模型		辐射积模型		集成模型	
		4月中旬	5月中旬	4月中旬	5月中旬	4月中旬	5月中旬	4月中旬	5月中旬
2011	1228.0	1289.01	1265.12	1174.35	1156.60	1206.59	1227.00	1220.03	1216.73
2012	1245.8	1261.79	1297.18	1184.44	1151.30	1225.54	1217.71	1222.03	1222.82
2013	1284.0	1236.98	1234.81	1292.43	1296.09	1257.61	1246.48	1263.61	1258.88
2014	1320.5	1340.50	1327.22	1320.67	1327.21	1397.19	1397.55	1353.40	1350.43
2015	1356.6	1439.74	1413.27	1363.17	1357.19	1390.80	1400.08	1395.81	1390.41
RMSE ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )		51.97	44.03	36.76	53.33	41.53	44.8	27.08	25.80
平均准确率/%		96.49	96.87	94.74	97.02	97.25	97.14	98.09	98.10

### 3 结论与讨论

文中以关键气象因子模型、气候适宜度模型和辐射积模型3种模型为基础,并根据模型预测准确率确定权重系数构建江西省油菜产量集成预测模型,对集成模型的预测效果和基础模型进行对比分析,结果表明:

1) 产量预测结果趋势一致率上,集成模型2011—2015年两个时段预测检验的一致率均为100%,1991—2010年回代检验结果仅次于气候适宜度模型,1991—2015年总体上集成模型预测结果一致率准确性高、稳定性好,优于三种基础模型。

2) 产量预测结果准确性上5月中旬RMSE较4月中旬有明显下降,集成模型表现最为明显,两个时段产量预测RMSE均为最小。2011—2015年集成模型预测平均准确率超过98%,为最高,且每年预测准确率均在97%以上,优于三种基础模型。

经过几十年的发展和研究,目前单个作物产量预测模型在预测时效性和准确性上都取得较大进展,但是仍有各自的局限性。关键气象因子模型忽略气象要素对作物生长发育的生物学意义,从统计学出发筛选出对产量敏感性强的气象因子构建和产量间的关系,由于各地区的气象要素和产量变化不一致,往往导致选择的气象因子也不一致(李涵茂等,2015;帅细强等,2015)。气候适宜度模型和辐射积模型一定程度上能反映气象条件对作物的影响生物学意义,所选取的气象指标会影响预测效果,可通过改进气象指标进一步提高预测的准确性(王贺然等,2018)。集成模型综合了基础模型的优点,稳定性较好,缺点是对基础模型的依赖性强,基础模型的预测效果直接影响到集成模型的准确性,且只能反映出预测时段前气象条件对作物产量的影响,而无法反映预测时段产量对不同气象条件的响应。

### 参考文献(References)

- 陈斐,杨沈斌,申双和,等,2014.基于主成分回归法的长江中下游双季早稻相对气象产量模拟模型[J].中国农业气象,35(5):522-528. Chen F, Yang S B, Shen S H, et al, 2014. Simulation model of relative meteorological yield of double-cropping early rice in middle and lower reaches of Yangtze river based on principal component regression[J]. Chin J Agrometeorol, 35(5): 522-528. (in Chinese)
- 董芹,霍焱,蒋骏,等,2015.油菜生育期气象指数等级及灾害预警指标研究[J].江苏农业科学,43(10):84-90. Dong Q, Huo Y, Jiang J, et al, 2015. Study on meteorological index grade and disaster early warning index of rape growth period[J]. Jiangsu Agric Sci, 43(10):84-90. (in Chinese)
- 郭海英,万信,杨兴国,2008.利用气象与生态要素预测冬小麦产量[J].气象科技,36(4):440-443. Guo H Y, Wan X, Yang X G, 2008. Method for estimating winter wheat yield with meteorological and ecological factors[J]. Meteor Sci Technol, 36(4):440-443. (in Chinese)
- 浩宇,景元书,马晓群,等,2013.ORYZA2000模型模拟安徽地区不同播期水稻的适应性分析[J].中国农业气象,34(4):425-433. Hao Y, Jing Y S, Ma X Q, et al, 2013. Analysis on the simulation adaptability of ORYZA2000 model for rice with different sowing date in Anhui province[J]. Chin J Agrometeorol, 34(4):425-433. (in Chinese)
- 黄淑娥,祝必琴,辜晓青,等,2009.鄱阳湖地区油菜生产气象条件分析与种植气候区划[J].江西农业大学学报,31(5):945-949. Huang S E, Zhu B Q, Gu X Q, et al, 2009. An analysis of meteorological conditions for rape production and planting climate division in Poyang Lake Area[J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 31(5):945-949. (in Chinese)
- 李涵茂,帅细强,戴平,等,2015.基于关键气象因子的湘北早稻产量动态预报[J].湖南农业科学,(1):114-116. Li H M, Shuai X Q, Dai P, et al, 2015. The dynamic prediction of early rice yield based on key meteorological factors in northern Hunan[J]. Hunan Agric Sci, (1):114-116. (in Chinese)
- 李青林,毛罕平,李萍萍,2011.黄瓜地上部分形态—光温响应模拟模型[J].农业工程学报,27(9):122-127. Li Q L, Mao H P, Li P P, 2011. Simulation of cucumber organ above-ground with relation to light and temperature[J]. Trans CSAE, 27(9):122-

127. (in Chinese)
- 刘文茹,陈国庆,刘恩科,等,2018.基于DSSAT模型的长江中下游冬小麦潜在产量模拟研究[J].生态学报,38(9):231-241. Liu W R, Chen G Q, Liu E K, et al, 2018. The variations in winter when potential yields in the the middle and lower reache soft the Yangtze river under the RCP scenarios[J]. Acta Eco Sinica, 38(9):3219-3229.(in Chinese)
- 邱美娟,宋迎波,王建林,等,2016.山东省冬小麦产量动态集成预报方法[J].应用气象学报,27(2):191-200. Qiu M J, Song Y B, Wang J L, et al, 2016. Integrated technology of yield dynamic prediction of winter wheat in Shandong province[J]. J Appl Meteor Sci, 27(2):191-200.(in Chinese)
- 石小虎,蔡焕杰,赵丽丽,等,2016.不同水分处理下基于辐射积的温室番茄干物质生产及分配模型[J].农业工程学报,32(3):69-77. Shi X H, Cai H J, Zhao L L, et al, 2016. Greenhouse tomato dry matter production and distribution model under condition of irrigation based on product of thermal effectiveness and photosynthesis active radiation[J]. Trans CSAE, 32(3):69-77. (in Chinese)
- 帅细强,陆魁东,黄晚华,2015.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,26(1):103-111. Shuai X Q, Lu K D, Huang W H, 2015. A comparative study on dynamic forecasting of early rice yield by using different methods in Hunan province[J]. J Appl Meteor Sci, 26(1):103-111.(in Chinese)
- 宋迎波,王建林,郑昌玲,等,2009.美国小麦产量业务预报方法研究[J].气象科技,37(2):186-189. Song Y B, Wang J, Zheng C L, et al, 2009. Research on operational forecast of wheat yields for America[J]. Meteor Sci Technol, 37(2):186-189.(in Chinese)
- 王贺然,张慧,王莹,等,2018.基于两种方法建立辽宁大豆产量丰歉预报模型对比[J].中国农业气象,39(11):725-738. Wang H R, Zhang H, Wang Y, 2018. A comparative study on forecast model for soybean yield by using different statistic methods in Liaoning province[J]. Chin J Agrometeorol, 39(11):725-738. (in Chinese)
- 王雪娥,1992.玉米气候适宜度动态模型的建立和应用[J].南京气象学院学报,15(2):63-72. Wang X E, 1992. The foundation and application of dynamic models for corn-climatic suitability-degree[J]. J Nanjing Inst Meteor, 15(2):63-72 (in Chinese)
- 魏瑞江,宋迎波,王鑫,2009.基于气候适宜度的玉米产量动态预报方法[J].应用气象学报,20(5):622-627. Wei R J, Song Y B, Wang X, 2009. Method for dynamic forecast of corn yield based on climatic suitability[J]. J Appl Meteor Sci, 20(5):622-627 (in Chinese)
- 易雪,王建林,宋迎波,等,2011.早稻产量动态集成预报方法研究[J].中国水稻科学,25(3):307-313. Yi X, Wang J L, Song Y B, et al, 2011. Study on dynamic integrated prediction of early rice yield[J]. Chin J Rice Sci, 25(3):307-313.(in Chinese)
- 余焰文,杨爱萍,蔡小琴,等,2018.三种油菜产量预测模型在江西的应用比较[J].气象科技,46(5):190-195. Yu Y W, Yang A P, Cai X Q, et al, 2018. Comparison of three models for predicting rape yield in Jiangxi[J]. Meteor Sci Technol, 46(5):190-195. (in Chinese)
- 赵桂涛,刘中聚,冯尚宗,等,2016.基于气象因素的临沂水稻产量评估预测模型[J].江西农业学报,28(10):71-74. Zhao G T, Liu Z J, Feng S Z, et al, 2016. Prediction and evaluation model of rice yield based on meteorological factors in Linyi[J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 28(10):71-74.(in Chinese)
- 赵峰,千怀遂,焦士兴,2003.农作物气候适宜度模型研究--以河南省冬小麦为例[J].资源科学,25(6):77-82. Zhao F, Qian H S, Jiao S X, 2003. Climatic suitability model of crop: A case study of winter wheat in Henan province[J]. Res Sci, 25(6):77-82(in Chinese)
- 张阳,王连喜,李琪,等,2018.基于WOFOST模型的吉林省中西部春玉米灌溉模拟[J].中国农业气象,39(6):411-420. Zhang Y, Wang L X, Li Q, et al, 2018. Irrigation simulation of spring maize in central and western of Jilin province based on WOFOST model[J]. Chin J Agrometeorol, 39(6):411-420.(in Chinese)
- 赵俊芳,蒲菲琦,闫伟兄,等,2017.基于APSIM模型识别气象因子对内蒙春小麦潜在产量的影响[J].生态学杂志,36(3):757-765. Zhao J F, Pu F Y, Yan W X, et al, 2017. Identifying the effects of meteorological variables on spring wheat potential yield in Inner Mongolia based on APSIM model[J]. Chin J Eco, 36(3):757-765.(in Chinese)