

# 荆州市冬小麦产量动态预报方法对比研究

艾劲松<sup>1, 2</sup> 孙雨轩<sup>3</sup> 刘凯文<sup>1, 4</sup>

(1 江汉平原生态气象遥感监测技术协同创新中心, 荆州 434025; 2 荆州市气象局, 荆州 434020;  
3 长江大学资源与环境学院, 荆州 434025; 4 荆州农业气象试验站, 荆州 434025)

**摘要:** 利用湖北省荆州市1970—2016年日照、降水、温度及冬小麦生长期、产量数据, 采用作物丰歉指数、气候适宜指数方法, 开展了荆州市冬小麦产量动态预报, 并对两种预报方法的效果进行检验。结果表明, 丰歉指数方法的预报准确率高于气候适宜指数法, 计算过程也相对简单。在产量预报精度不下降的前提下, 4月10日可作为产量预报的最优预报日期。

**关键词:** 冬小麦, 丰歉指数, 气候适宜指数, 产量预报

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2018.05.004

## Comparison of Winter Wheat Output Forecast Methods in Jingzhou

Ai Jinsong<sup>1, 2</sup>, Sun Yuxuan<sup>3</sup>, Liu Kaiwen<sup>1, 4</sup>

(1 Collaborative Innovation Center of Remote Sensing Technology in Ecological and Meteorological Monitoring in the Jiangnan Plain, Jingzhou 434025 2 Jingzhou Meteorological Bureau, Jingzhou 434020 3 College of Resources and Environment, Yangtze University, Jingzhou 434025 4 Jingzhou Agrometeorological Trial Station, Jingzhou 434025)

**Abstract:** The data for sunshine duration, precipitation, daily temperature, development stage and yield of winter wheat between 1970 and 2016 in Jingzhou were used in this research for establishing an output forecast method. A meteorological influence index and a climatic suitability index were tested to compare the forecast accuracy. The results showed that the prediction accuracy of the meteorological influence index method was higher than the climatic suitability index, and its calculation is relatively simple. Under the premise that the prediction accuracy is relatively stable, the optimal date for winter wheat harvest is April 10th in Jingzhou, according to the model forecast.

**Keywords:** winter wheat, meteorological influence index, climatic suitability index, output forecast

### 0 引言

荆州市位于长江中游、江汉平原腹地, 是全国重要商品粮基地, 秋播作物主要为小麦和油菜<sup>[1]</sup>。小麦是我国第二大粮食作物, 小麦的产量在我国农业粮食产量中占20%~50%, 平均产量已由20世纪50年代的750 kg/hm<sup>2</sup>左右, 逐渐提高到目前的5575.5 kg/hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。

早在20世纪80年代冬小麦产量的定量预报技术就已起步。当时的核心技术是分析气象条件与粮食产量的关系, 通过数理统计方法建立农业气象条件与气象产量的回归模型。近些年来, 随着现代农业生产的发展, 现代农业气象服务的能力进一步提升, 对产量预报精细、动态、量化的需求又提出了更高更新的

要求, 其中, 在冬小麦生长过程的任一时段, 提供动态、定量的产量预报信息是气象科技保障农业生产的重要职责之一。

现有的冬小麦产量预报方法主要包括气象统计学方法、农学方法、作物生长模型及遥感技术估产法等<sup>[3-10]</sup>。例如, 杜春英等<sup>[10]</sup>利用水稻生育期、气象资料和水稻生理指标结合, 根据相似系数和相似距离方法对水稻生育阶段的气象因子进行综合聚类分析, 建立黑龙江省水稻产量气象影响指数, 从而预测产量, 很好地预报天气气候条件对水稻产量丰歉的影响。刘伟昌等<sup>[11]</sup>、周守华等<sup>[12]</sup>分析了河南省冬小麦生态生理特征, 利用模糊数学等方法分别构建了温度、降水及日照时数适宜度函数。

作物产量预报的方法具有一定的区域和特定作物适用性, 需要经过比较分析, 选择适合本地区、本作物的最适宜预报方法。本文在以往的研究基础上, 采用综合诊断指标和气候适宜度两种方法, 结合冬小麦

收稿日期: 2018年6月21日; 修回日期: 2018年8月7日  
第一作者: 艾劲松(1972—), Email: 234154303@qq.com  
通信作者: 孙雨轩(1995—), Email: 2055730170@qq.com  
资助信息: 荆州市气象局科技发展基金项目(JZ201706)

的生长气象指标，分别构建产量动态预报模型。在此基础上开展小麦丰歉指数和气候适宜指数预报的效果对比，选择最优的荆州市冬小麦动态产量预报模型和最适宜的预报时间，应用于荆州市作物产量气象预报业务中。

## 1 资料来源与处理

### 1.1 资料来源

气象资料来源于荆州市气象局1970—2016年地面气象观测资料、荆州农业气象试验站1970—2016年农业气象观测资料；历史产量预报资料来源于荆州市统计局。其中，2012—2016年的资料用于回代检验。

#### 1) 产量资料处理

相关研究表明，相同区域内，相邻两年作物单产的变化主要是由相邻两年气候因素的差异引起的<sup>[13]</sup>。为此，对冬小麦单产进行如下处理：

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

式中， $i$ 代表第 $i$ 年， $i-1$ 为第 $i$ 年的上一年。 $\Delta Y_i$ 为第 $i$ 年与第 $i-1$ 年的冬小麦平均单产的丰歉值， $Y_i$ 和 $Y_{i-1}$ 分别为第 $i$ 年和第 $i-1$ 年冬小麦的平均单产。

#### 2) 发育期资料处理

冬小麦资料采用1970—2016年发育期及产量资料，包括播种、出苗、三叶、分蘖、拔节、孕穗、抽穗、开花、乳熟、黄熟和成熟的日期。

### 1.2 冬小麦预报模型的建立

#### 1.2.1 基于丰歉指数法的产量预报模型

##### 1) 气候资料处理

从作物开始播种到每个月的1日、6日、11日、16日、21日和26日每隔5 d（或4 d、6 d）累积一次。分别计算候积温、候累积日照和候累积降水量。

在冬小麦的生长发育过程中，降水量的时间分布和降水量具有同等重要性，为了考虑降水量及其时间分布差异对冬小麦生长发育的影响，采用下式把累积降水量进行了标准化处理<sup>[14]</sup>。将处理后的降水量称为标准化降水量

$$\hat{P}_i = \frac{P_i}{S_{pi}}, \quad (2)$$

$$S_{pi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (P_i - \bar{P})^2}{m-1}}, \quad (3)$$

式中， $\hat{P}_i$ 为标准化降水量， $P_i$ 为累积降水量， $S_{pi}$ 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。

##### 2) 预报方法

利用欧氏距离和相关系数法计算预报年气象因子与历史上任意一年同一时段同类气象要素差异，建立

丰歉指数综合诊断指标。

欧氏距离计算方法如下

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

相关系数计算方法如下

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

丰歉指数计算方法如下

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

式(4)~(6)中， $i$ 为历史上的任意一年， $j$ 为气象要素符号， $X_{ij}$ 为预报年作物播种至发布预报时第 $j$ 个气象要素差异， $X_{kj}$ 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， $c_{ik}$ 为预报年与历史上某一年的丰歉指数。 $c_{ik}$ 越大，则预报年与历史上某一年的相似程度越高。

##### 3) 预报模型

丰歉指数法的预报年产量从丰歉指数序列中，选取丰歉指数最大的前9个年份作为相似年，以其对应的单产为依据，统计获得预报年的预报产量。其统计方法包括大概率法和加权法。

大概率法计算公式如下

$$\Delta Y = \begin{cases} \frac{\sum \Delta Y_{i(+)}}{l} & (l > m) \\ \frac{\sum \Delta Y_{i(-)}}{m} & (l < m) \end{cases}, \quad (7)$$

加权法计算公式如下

$$\Delta Y = \frac{\sum \Delta Y_{i(+)} \times a_{(+)}}{l} + \frac{\sum \Delta Y_{i(-)} \times a_{(-)}}{m}, \quad (8)$$

$$a_{(+)} = \frac{l}{3} \times 100\%, \quad (9)$$

$$a_{(-)} = \frac{m}{3} \times 100\%, \quad (10)$$

式中， $\sum \Delta Y_{i(+)}$ 为9个历史相似年型中结果为正值的累加， $\sum \Delta Y_{i(-)}$ 为9个历史相似年型中结果为负值的累加， $l$ 为预报结果为正值的个数， $m$ 为预报结果为负值的个数。

#### 1.2.2 基于气候适宜度的产量预报模型

##### 1) 温度适宜度处理

根据前人建立的作物温度适宜度模型，通过确定模型中冬小麦各生长发育期所需的最低温度 $t_l$ 、最高温度 $t_h$ 和适宜温度 $t_o$ <sup>[15-21]</sup>。

站点温度适宜度可以按照下式计算

$$F_{(t)} = \frac{(t_i - t_l) \times (t_h - t_i)^B}{(t_o - t_l) \times (t_h - t_o)^B}, \quad (11)$$

$$B = \frac{t_h - t_o}{t_o - t_l}, \quad (12)$$

式中,  $t_l$ 为日平均温度,  $t_h$ 为冬小麦生长过程所能承受的最高气温,  $t_o$ 为适宜温度,  $t_l$ 为最低温度。其中,  $t_l$ 、 $t_o$ 和 $t_h$ 各值如表1所示。

表1 冬小麦各时段的 $t_l$ 、 $t_o$ 和 $t_h$ 值<sup>[16]</sup>

Table 1 The constants for  $t_l$ ,  $t_o$  and  $t_h$  in each development stage

旬序	$t_l$	$t_o$	$t_h$
1—3	4	15	33
4—15	3	14	30
16—19	10	16	33
20—23	12	20	33

区域旬温度适宜度则用下面公式计算

$$F_{(t)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F_{(ti)} \quad (13)$$

### 2) 日照适宜度处理

日照是冬小麦进行光合作用、提高产量及品质的必要条件<sup>[22]</sup>。本文以日照时数达可照时数的70%为临界点<sup>[23]</sup>, 70%以上为达到适宜状态。

区域日照适宜度计算公式如下

$$F_{(si)} = \begin{cases} 1 & S_i \geq S_0 \\ e^{-[(S_i - S_0)/b]^2} & S_i < S_0 \end{cases}, \quad (14)$$

式中,  $S_i$ 为实际日照时数(h),  $S_0$ 为日照百分率为70%的日照时数,  $b$ 为常数,  $S_0$ 和 $b$ 值见表2。区域旬日照适宜度计算方法如下

$$F_{(s)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F_{(si)} \quad (15)$$

表2 冬小麦不同生育期的 $S_0$ 和 $b$ 值<sup>[24]</sup>

Table 2 The constant for  $S_0$  and  $b$  in each development stage of winter wheat

生育期	$S_0$	$b$
播种期	7.69	4.15
分蘖期	7.68	4.14
拔节期	8.55	4.61
抽穗期	9.21	4.93
成熟期	9.25	4.99

### 3) 降水适宜度处理

降水是土壤水分和作物水分的主要来源, 其对作物生长适宜性的影响具有层次性特点, 目前国际通用的降水适宜度模型大多是建立在作物蒸散量模型的基础之上, 作物处于不同的降水阶段会表现出不同的生理反应<sup>[25]</sup>。本文是根据中国气象局和荆州本地实际情况选择的适宜的降水适宜度模型。

降水适宜度计算公式如下

$$F_{(p)} = \begin{cases} 1 & -30\% \leq \text{某时段降水距平百分率} \leq 30\% \\ P/R & \text{某时段降水距平百分率} < -30\% \\ R/P & \text{某时段降水距平百分率} > 30\% \end{cases}, \quad (16)$$

$$\text{降水距平百分率} = (P - R) / R \times 100\%, \quad (17)$$

式中,  $P$ 为区域某旬降水量,  $R$ 为多年区域平均降水量。

### 4) 预报模型

气候适宜度计算公式

$$F_{i(c)} = \sqrt[3]{F_{(t)} \times F_{(p)} \times F_{(s)}}, \quad (18)$$

式中,  $F_{(t)}$ 、 $F_{(p)}$ 和 $F_{(s)}$ 分别是温度、降水和日照适宜度。

基于气候适宜度的预报模型的计算公式如下

$$F_{(c)} = \sum_{i=1}^n K_i F_{i(c)}, \quad (19)$$

式中,  $K_i$ 、 $F_{i(c)}$ 分别为第 $i$ 旬的权重系数和气候适宜度。

$$K_i = R_i / \sum_{i=1}^n R_i, \quad (20)$$

式中,  $R_i$ 为各旬气候适宜度与小麦单产丰歉值的相关系数,  $n$ 为冬小麦全生育期的旬数。

## 1.4 回代检验

运用准确率计算公式如下

$$\text{准确率} = \left( 1 - \left| \frac{Y_a - Y_b}{Y_b} \right| \right) \times 100\%, \quad (21)$$

式中,  $Y_a$ 为预报值,  $Y_b$ 为实际产量。

## 2 结果与分析

### 2.1 丰歉指数法产量动态预报

采用丰歉指数法计算出历年的综合诊断指标序列, 可分别采用大概率法和加权法两种统计方式, 计算预报年的产量。为了比较两种统计方法的效果, 采用两种方式分别对2012—2016年小麦产量动态预报做回代检验, 得到其预报准确率(表3)。

表3 丰歉指数产量动态预报准确率(%)

Table 3 The prediction accuracy of meteorological influence index method (%)

预报日期	方法	2016	2015	2014	2013	2012
3月20日	大概率法	65.32	89.40	75.43	78.24	92.67
	加权法	76.71	91.33	81.69	95.14	92.74
3月31日	大概率法	71.73	87.07	85.50	79.11	92.74
	加权法	90.69	88.87	86.77	95.47	93.21
4月10日	大概率法	69.41	91.25	67.17	73.11	92.74
	加权法	96.44	94.91	77.51	93.22	92.67
4月20日	大概率法	95.58	91.25	83.63	93.81	92.47
	加权法	96.45	94.92	89.70	96.73	91.05
4月30日	大概率法	67.59	92.17	76.83	66.26	91.84
	加权法	83.25	95.18	82.40	78.94	96.79

对比表明,采用加权法得到的产量预报准确率均显著高于大概率法。可见大概率法选取相似年型的误差较大,不能代表相似年型的气象产量平均水平。而加权法综合考虑了增产年份和减产年份的平均水平,数值波动较小,代表性优于大概率法。此外,随着预报日期越来越接近成熟收获期,产量预报的准确率更高,其中多数年份4月份预报的产量准确率均在90%以上。通过对比4月10日、20日、30日预报结果来看,三次的预报准确率差异较小,随着预报时间推迟,其准确率提高的幅度有限。由此可认为,荆州市冬小麦丰歉指数产量预报选择4月10日作为预报日期比较适宜。

## 2.2 气候适宜指数法产量动态预报

以2012—2016年作为回代检验年,分别以1—5月的月末为预报时间点进行预报,分析了预报回代检验准确率(表4)。

表4 气候适宜指数法预报回代检验准确率(%)  
Table 4 Climatic suitability index back generation test accuracy (%)

预报日期	2016	2015	2014	2013	2012
1月末	71.20	68.72	93.79	82.07	77.08
2月末	81.49	68.39	85.58	80.98	74.71
3月末	80.80	66.22	93.89	91.41	72.28
4月末	89.82	73.49	96.87	97.20	83.92
5月末	94.94	78.79	98.59	99.93	86.61

由上表可见,预报时间越接近收获期,产量预报准确率越高,这与丰歉指数法的产量动态结论相似。但从预报效果来看,年际间预报准确率差异较大,2015年预报准确率低于80%,2012年预报准确率最高也仅为86.61%。可见,丰歉指数预报模型的预报效果相对优于气候适宜指数法。这也可能与气候适宜指数法中计算温度、日照适宜度所需参数值有关。本文采用的预报参数直接引用其他地区的值,未经过本地化订正,存在一定误差,导致预报结果有较大差异。

## 3 结论与讨论

在产量预报方法选择方面,综合比较来看,丰歉指数法的预报效果优于气候适宜指数法。在小麦产量动态预报时间选择方面,1—3月产量预报准确率相对较低,4—5月的产量预报准确率均在90%以上。其中,4月10日、20日、30日的丰歉指数产量预报准确率差异较小。此外,荆州市冬小麦品种一般为半冬性或偏春性,一般在5月中下旬收获。为了兼顾预报准确率和尽量提前预报时效,可以选择4月10日作为产量预报的预报日期。

对于气候适宜性方法的应用,本文仅参考其他地方的方法,直接引用相关参数指标,未做本地化订正,导致预报效果低于丰歉指数法,且预报准确率稳定性较差,年际差异大。后期有必要进一步开展指标订正,进一步检验该方法的适用性。

作物产量除了受气象条件影响外,品种、土壤、施肥水平等因素的影响更大。此外,荆州市地处江汉平原易涝易渍地区。长期以来,小麦产量水平普遍低于其他小麦主产区,而且赤霉病等病虫害为害较严重,品质较差。这些因素都对产量预报准确率产生一定影响,在开展产量预报中也应做相应的考虑。

## 参考文献

- [1] 韩昌友.荆州市粮食生产潜力分析及发展对策.农村经济与科技,2014,25(8):62-63.
- [2] 孟自力,陈昆,闫向泉,等.气象因子变化及其对小麦生产的影响.安徽农业科学,2018,46(7):27-29.
- [3] 成林,刘荣花.农学模式在冬小麦产量动态预报中的应用.气象与环境科学,2017,40(2):28-32.
- [4] 尹东.农业产量预报技术的研究和应用.干旱气象,2007(2):12-16.
- [5] 黄晚华,薛昌颖,李忠辉,等.基于作物生长模拟模型的产量预报方法研究进展.中国农业气象,2009,30(S1):140-143,147.
- [6] 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.气象与环境科学,2016,39(3):121-129.
- [7] 王春玲,申双和,王润元,等.中原地区地温对冬小麦发育期、生长量和产量的影响.干旱气象,2012,30(1):66-70.
- [8] 陈振林,张建平,王春乙,等.应用WOFOST模型模拟低温与干旱对玉米产量的综合影响.中国农业气象,2007(4):440-442,445.
- [9] 帅细强,王石立,马玉平,等.基于水稻生长模型的气象影响评价和产量动态预测.应用气象学报,2008(1):71-81.
- [10] 杜春英,李帅,王晾晾,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.中国农业气象,2010,31(3):427-430.
- [11] 刘伟昌,陈怀亮,余卫东,等.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,2008(2):21-24.
- [12] 周守华,黄永平,熊勤学.江汉平原盛夏冷害的发生趋势和气候背景.中国农业气象,2008(2):234-236.
- [13] 郑昌玲,王建林,宋迎波,等.大豆产量动态预报模型研究.大豆科学,2008,27(6):943-948.
- [14] 罗蒋梅,王建林,申双和,等.影响冬小麦产量的气象要素定量评价模型.南京气象学院学报,2009,32(1):94-99.
- [15] 李曼华,薛晓萍,李鸿怡.基于气候适宜度指数的山东省冬小麦产量动态预报.中国农学通报,2012,28(12):291-295.
- [16] 刘伟昌,陈怀亮,余卫东,等.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,2008,31(2):21-24.
- [17] 王建林,赵四强.全国棉花产量预报模式.气象,1990,16(5):26-30.
- [18] 宋迎波,王建林,陈晖,等.中国油菜产量动态预报方法研究.气象,2008,34(3):93-99.
- [19] 马树庆.吉林省农业气候研究.北京:气象出版社,1994.
- [20] 宋迎波,王建林,杨霏云.粮食安全气象服务.北京:气象出版社,2006.
- [21] 俞芬,千怀遂,段海来.淮河流域水稻我气候适宜度及其变化趋势分析.地理科学,2008,28(4):537-542.
- [22] 王德燕.天长市一季稻气候适宜度及其变化特征分析.安徽农业科学,2018,46(4):159-162.
- [23] 黄璞.中国红黄壤地区作物生产的气候生态适应性研究.自然资源学报,1996,11(4):340-345.
- [24] 赵峰,千怀遂,焦士兴.农作物气候适宜度模型研究.资源科学,2003,11(6):76-82.
- [25] 刘畅.气候变化对京津冀冬小麦的影响研究.南京:南京信息工程大学硕士学位论文,2017.