

# 效率系数和一致性指数及其在干旱预测 精度评价中的应用

王 蕾<sup>1</sup>, 王鹏新<sup>1</sup>, 田 苗<sup>2</sup>, 刘峻明<sup>1</sup>, 李 俐<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083;

2. 江苏省农业科学院农业经济与信息研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 基于关中平原 2003—2014 年 Aqua - MODIS 数据的条件植被温度指数的干旱监测结果, 引入效率系数和一致性指数对自回归求和移动平均 (ARIMA) 模型和季节性 ARIMA 模型的预测精度进行了评价, 并分析了其在干旱预测精度评价中的适用性。两种干旱预测模型的精度评价结果为 ARIMA 模型与季节性 ARIMA 模型的效率系数分别为 -0.04 与 -4.27, 一致性指数分别为 0.40 与 0.37, 表明 ARIMA 模型对于干旱的预测精度高于季节性 ARIMA 模型, 这与均方根误差、皮尔森相关系数及 Kappa 系数等的评价结果一致, 且效率系数对不同干旱预测模型的预测性能的区分效果尤为显著, 对于干旱预测模型的精度评价比一致性指数更为合理。因此, 效率系数更适合用于遥感干旱预测模型的精度评价。

**关键词:** 效率系数; 一致性指数; 精度评价; 干旱预测

中图分类号: S165+.2 文献标志码: A

## Application of the coefficient of efficiency and index of agreement on accuracy assessment of drought forecasting models

WANG Lei<sup>1</sup>, WANG Peng-xin<sup>1</sup>, TIAN Miao<sup>2</sup>, LIU Jun-ming<sup>1</sup>, LI Li<sup>1</sup>

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Institute of Agricultural Economy and Information, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

**Abstract:** The coefficient of efficiency and index of agreement are usually used to evaluate the accuracy of hydrological models. Based on the drought monitoring results from the vegetation temperature index using Aqua - MODIS data from 2003 to 2014 in the Guanzhong Plain, China, the coefficient of efficiency and index of agreement were employed to assess the precision accuracy of two drought forecasting models, the Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) and Seasonal ARIMA (SARIMA) models, and to analyze the performance of these models as well. The results showed that the coefficients of efficiency of the two models were -0.04 and -4.27, and the values of the index of agreement of the two models were 0.40 and 0.37, respectively, indicating that the performance of the ARIMA model was better than that of the SARIMA model. These results were in good agreement with the ones based on root mean square error, Pearson's correlation coefficient and Kappa coefficient. Particularly, the assessments of the coefficient of efficiency were reasonable and remarkable than those of the index of agreement. Therefore, the coefficient of efficiency was suitable for the accuracy assessment of the drought forecasting models.

**Keywords:** coefficient of efficiency; index of agreement; accuracy assessment; drought forecasting

干旱是全球影响最为广泛的自然灾害之一, 具有持续时间长、波及范围广、出现频率高等特点, 已经严重制约了国民经济尤其是农业生产的发展<sup>[1]</sup>。由于干旱的影响因子繁多, 且监测指标多样, 因此干

旱的预测研究也较为复杂<sup>[2]</sup>。传统的干旱预测通常采用点上的监测数据, 该数据采集周期较长, 且缺乏区域代表性, 不能准确、迅速、全面地收集地面信息。遥感技术为实时、大面积的干旱监测和预测的实现

收稿日期: 2014-12-23

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41371390, 41071235); 国家科技支撑计划项目 (2012BAH29B03)

作者简介: 王 蕾 (1988—), 女, 河南郑州人, 硕士研究生, 主要从事定量遥感及其在干旱预测中的应用研究。E-mail: 409118258@qq.com。

通信作者: 王鹏新 (1965—), 男, 陕西礼泉人, 教授, 博士生导师, 主要从事定量遥感及其在农业中的应用研究。E-mail: wangpx@cau.edu.cn。

提供了条件。常见的基于植被指数(如 NDVI)和地表温度(LST)的干旱监测方法有数种,如距平植被指数、条件植被指数、条件温度指数、归一化温度指数、温度植被干旱指数、条件植被温度指数(VTCI)等,其中 VTCI 既考虑了区域内 NDVI 的变化,又考虑了 NDVI 值相同条件下 LST 的变化,适用于研究一特定年内某一时期某一区域的干旱程度<sup>[3-5]</sup>。

目前,被引进到大范围遥感面上预测结果精度评价的指数为 Kappa 及其相关的各项指标。然而,Kappa 及修正后的 Kappa 系数结合其相关的评价指标虽然可以用于干旱预测结果的精度评价,但是 Kappa 系数本身与总体精度密切相关,且受研究因素的阳性和阴性比例之差及测量偏倚的复杂影响<sup>[6]</sup>。因此存在需要选择 Kappa 系数及其相关的各项指标中的某一指标进行干旱预测精度评价的问题。

效率系数(Nash - sutcliffe efficiency coefficient)和一致性指数(Index of agreement)常用于水文模型的精度评价。效率系数反映的是模型预测值与实际监测值的平均值之间的接近程度<sup>[7-8]</sup>。一致性指数是对决定系数等基于相关性的精度评价系数的改进,取值越接近 1 表示模型预测结果与实际监测值之间的符合程度越高。Zeng 等应用效率系数对河流的径流量预测模型进行了精度评价<sup>[9]</sup>,验证了效率系数在水文预测模型精度评价中的适用性。在水文模型的应用中,通常采用若干个地面观测数据进行相应的精度评价,然而对于遥感干旱预测结果来说,存在着基于像元的成千上万的数据样本。因此如何利用水文模型评价指标进行遥感干旱预测模型的精度评价成为一个需要解决的问题。目前应用效率系数和一致性指数评价遥感干旱预测模型的研究还鲜见报道。本研究基于 2003—2014 年 Aqua - MODIS 数据的 VTCI 干旱监测结果,应用效率系数和一致性指数对自回归求和移动平均模型(Autoregressive integrated moving average, ARIMA)和季节性 ARIMA 模型(Seasonal ARIMA, SARIMA)的干旱预测结果进行精度评价<sup>[2,10]</sup>,以期选择适用于遥感干旱预测精度评价的方法。

## 1 精度评价指数的机理

### 1.1 效率系数

效率系数( $E$ )是由 Nash 和 Sutcliffe 在 1970 年提出的<sup>[11]</sup>,常用于水文领域的模型性能评价:

$$E = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

式中, $O_i$  为 VTCI 的监测值; $P_i$  为 VTCI 的预测值; $\bar{O}$  为监测值的平均值; $n$  为样本总数。 $E$  的取值范围是从负无穷到 1,值越大表示预测值与监测值的一致性程度越高<sup>[12-13]</sup>。

可以看出,效率系数是预测值与监测值的均方误差和监测值的方差的比率被 1 减去得到的差值<sup>[14]</sup>,因而式(1)可改写为:

$$E = 1.0 - n \frac{\bar{V}}{\sigma^2} \quad (2)$$

式中, $\sigma^2$  为监测值的方差; $\bar{V}$  为预测值与监测值的平均方差:

$$\bar{V} = n^{-1} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \quad (3)$$

### 1.2 一致性指数

一致性指数( $d$ )是对基于相关性的精度评价指数的一种改进,定义为<sup>[13]</sup>:

$$d = 1.0 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (4)$$

一致性指数的物理意义是预测值与监测值的均方误差和潜在误差(Potential error)的比率被 1 减去得到的差值,其取值范围为 0~1,值越大表示监测值与预测值的一致性程度越高。

### 1.3 其他精度评价指标

其他精度评价指标包括 Kappa 系数及其相关的各种指标<sup>[6]</sup>、均方根误差(RMSE)和皮尔森相关系数等。本文将基于上述各种精度评价指标对干旱预测模型的评价结果进行对比分析,优选出精度较高的干旱预测模型和精度评价方法。

## 2 数据处理与精度评价过程

### 2.1 研究区概况

陕西省是我国干旱发生的高风险区,干旱缺水已成为制约陕西经济发展的瓶颈问题。关中平原位于陕西省中部,西起宝鸡,东至潼关,北起北山,南止秦岭,包括西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南 5 市和杨凌示范区。关中平原为典型的大陆性季风气候区,属暖温带半湿润气候,降水量较少,年平均降水量为 550~700 mm,年平均气温为 12℃~13℃。关中平原是陕西省自然条件最好的地区,号称“八百里秦川”,集中了陕西省的大中城市,是陕西省粮食的主产区,农村经济的发展增长中心,一旦发生干旱将对社会经济造成严重影响<sup>[6]</sup>。由于年内降水分配不均,而导致作物在全生育期间呈现不同程度的水分不足现象,故关中平原出现春旱的机率较高<sup>[16]</sup>。且干旱发生的空间差异明显,气象干旱程度由西南向东

北逐渐加剧,东北部和中北部地区是气象干旱最为严重的区域。在早年地区内普遍发生不同程度的气象干旱,但干旱程度差异较大;在正常年份局部分地区仍可能发生气象干旱<sup>[17]</sup>。

## 2.2 数据处理

2.2.1 干旱监测结果的生成 本研究的数据源为关中平原 2003—2014 年 Aqua - MODIS 反演的 VTCI 干旱监测结果和应用 ARIMA、SARIMA 模型的 VTCI 干旱预测结果。VTCI 已被证实是一种适合关中平原的近实时的干旱监测方法,其定义为<sup>[18]</sup>:

$$VTCI = \frac{LST_{\max}(NDVI_i) - LST(NDVI_i)}{LST_{\max}(NDVI_i) - LST_{\min}(NDVI_i)} \quad (5)$$

其中:

$$LST_{\max}(NDVI_i) = a + bNDVI_i \quad (6)$$

$$LST_{\min}(NDVI_i) = a' + b'NDVI_i \quad (7)$$

式中,NDVI 为归一化植被指数;LST 为地表温度;LST<sub>max</sub>(NDVI<sub>i</sub>) 和 LST<sub>min</sub>(NDVI<sub>i</sub>) 分别表示在研究区域内,当 NDVI<sub>i</sub> 值等于某一特定值时的所有像元地表温度的最大值和最小值,并被称作热、冷边界,LST(NDVI<sub>i</sub>) 表示某一像元的 NDVI 值为 NDVI<sub>i</sub> 时的地表温度, $a$ 、 $b$ 、 $a'$  和  $b'$  为待定系数,由研究区域的散点图近似获得。

采用关中平原的 Aqua - MODIS 数据,应用最大值合成技术,分别生成每年 3—5 月以旬为单位的 NDVI 和 LST 最大值合成产品;基于多年某一旬的 NDVI 和 LST 最大值合成产品,应用最大值合成技术分别生成多年的旬 NDVI 和 LST 最大值合成产品;对多年某一旬的 LST 最大值合成产品,逐像元取最小值,生成多年的旬 LST 最大 - 最小值合成产品。根据 VTCI 计算方法,生成了 2003—2014 年每年 3—5 月以旬为单位的时间序列 VTCI 数据,即 VTCI 干旱监测结果。图 1 为 2014 年 5 月上旬 VTCI 干旱监测结果。

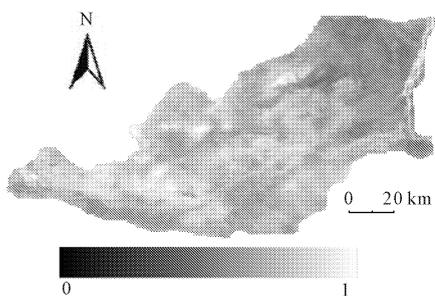


图 1 2014 年 5 月上旬 VTCI 干旱监测结果

Fig.1 Drought monitoring results of VTCI in the first ten days of May, 2014

2.2.2 干旱预测结果的生成 将 2003—2014 年每年 3 月上旬—5 月下旬的 VTCI 干旱监测结果作为输入数据,根据田苗等对 VTCI 时间序列的分析,运用 SARIMA 模型和 ARIMA 模型对关中平原未来的干旱状况进行预测<sup>[10]</sup>,得到 2003—2014 年每年 3 月上旬 - 5 月下旬的干旱预测结果。预测的基本过程为首先采用多年 VTCI 时间序列数据确定模型参数,即构建模型,待模型参数确定后,再应用所确定的参数对每年同期的 VTCI 进行预测。

## 2.3 精度评价过程

以 VTCI 的监测结果为监测真值,应用效率系数、一致性指数、Kappa 系数、均方根误差等对上述两种预测模型的预测结果进行精度评价。具体评价过程是以 2003—2014 年每年 3 月上旬至 5 月下旬每一旬的 12 幅 VTCI 监测结果(参考图 1,图像大小:191×405 像元)和相应旬的 12 幅 VTCI 预测结果序列对应作为一对数据整体,逐像元计算各个精度评价指数的值,并将该旬所有像元精度评价值的均值作为该旬这种精度评价指数的值。综合 9 旬的精度评价指数,采用 9 旬的均值作为预测模型的精度评价指数值。然后对比分析 ARIMA 模型和 SARIMA 模型的效率系数、一致性指数以及其他几种精度评价指标的评价结果。同时,为了直观地表达上述两种精度评价指数不同取值范围内像元的分布情况,以 4 月下旬为例,生成了两种指数的频率图,进而判断几种指数对于干旱预测模型精度评价的适用性。最后,应用不同精度评价指数的评价结果对两种干旱预测模型的预测精度进行评估和分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 均方根误差和皮尔森相关系数

均方根误差(RMSE)表示的是 VTCI 预测值与监测值之间的偏差程度,反映模型预测值与监测值之间的拟合度的高低。皮尔森相关系数( $r$ )是利用预测值与监测值之间相关度的高低来检验模型的预测性能的优劣。逐像元计算 2003—2014 年 Aqua - MODIS 的 VTCI 的 ARIMA 模型预测值和 SARIMA 模型预测值的 RMSE 及  $r$  并求均值,得到 9 旬两种模型预测结果的 RMSE 和  $r$ (如图 2)。可以看出,各旬的 SARIMA 模型的 RMSE 值均明显大于 ARIMA 模型的 RMSE 值,说明 ARIMA 模型的预测值与实际监测值之间的误差低于 SARIMA 模型。同时,几乎所有旬的 ARIMA 模型的皮尔森相关系数均明显高于 SARIMA 模型,反映了 ARIMA 模型预测值与监测值之间的相关性要高于 SARIMA 模型预测值与监测值

之间的相关性。这些结果均表明, ARIMA 模型的预测结果与监测值之间的一致性程度比 SARIMA 模型

的一致性程度更高, 适合用于关中平原的干旱预测。

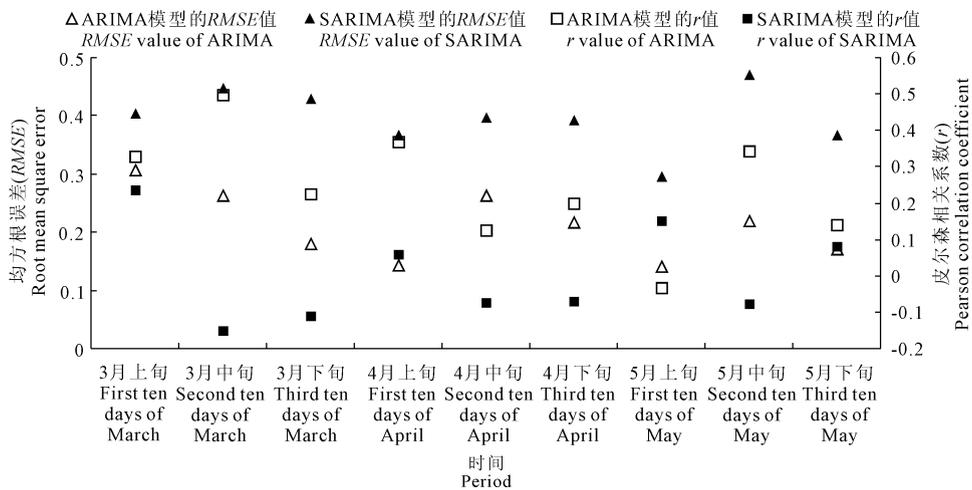


图 2 ARIMA 和 SARIMA 模型的均方根误差和皮尔森相关系数

Fig. 2 Root mean square errors and Pearson's correlation coefficients of the ARIMA and SARIMA models

### 3.2 Kappa 系数及其相关的各项指标

Kappa 最早由 Cohen 提出, 在评价遥感分类精度方面应用广泛<sup>[6]</sup>, Kappa 相关的总体精度 ( $P_0$ ) 是指干旱预测结果与实际监测结果一致的概率; 阳性一致率 ( $P_{pos}$ ) 和阴性一致率 ( $P_{neg}$ ) 分别表示预测结果中的干旱一致率和不旱一致率; 通过计算 Kappa 的最大值、最小值可得到 Kappa 的取值范围; 修正过的 Kappa 系数 (Prevalence and bias adjusted Kappa, PABAK) 是通过计算流行率指数 (Prevalence index, PI) 和偏倚指数 (Bias index, BI), 分析判断 Kappa 出现反论的原因, 进而计算得到的。采用 2003—2014

年的 Aqua - MODIS 反演的 VTCI 监测值和 ARIMA、SARIMA 模型的预测值计算两个模型的 Kappa 系数 ( $K$ )、总体精度 ( $P_0$ )、阳性一致率 ( $P_{pos}$ )、阴性一致率 ( $P_{neg}$ )、流行率指数 ( $PI$ )、偏倚指数 ( $BI$ )、kappa 系数的最大值 ( $K_{max}$ ) 和最小值 ( $K_{min}$ ) 以及修正过  $PI$  和  $BI$  的 Kappa 系数 ( $PABAK$ )<sup>[6]</sup> 并求均值, 得到两种模型预测结果 3 月上旬至 5 月下旬的 Kappa 系数及其相关的各项指标的值, 取各指数 9 旬的均值得到两种模型的各种精度评价指标的值 (表 1), 并基于各旬的计算结果生成了散点图 (图 3 和 4)。

表 1 ARIMA、SARIMA 模型的 Kappa 系数及与 Kappa 相关的各种指标

Table 1 Kappa coefficients and their associated indexes of the ARIMA and SARIMA models

| 模型<br>Model | 评价指数 Evaluation index |       |           |           |       |       |           |           |         |
|-------------|-----------------------|-------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-----------|---------|
|             | $K$                   | $P_0$ | $P_{pos}$ | $P_{neg}$ | $PI$  | $BI$  | $K_{max}$ | $K_{min}$ | $PABAK$ |
| ARIMA       | 0.29                  | 0.70  | 0.47      | 0.79      | -0.43 | 0.18  | 0.46      | -0.17     | 0.41    |
| SARIMA      | 0.16                  | 0.61  | 0.49      | 0.67      | -0.21 | -0.04 | 0.32      | -0.25     | 0.21    |

由表 1 可知,  $PI$  和  $BI$  的绝对值都较小, 因此认为此时 Kappa 系数不存在反论, 不需要用  $PABAK$  来代替  $K$  值。由图 3 可知, 两种模型的 Kappa 系数及总体精度值的变化趋势一致, 而且两者的值均是 ARIMA 模型的精度评价指标的值大于相应的 SARIMA 模型的精度评价指标值。同时, 由图 4 可知, ARIMA 模型预测结果的阴性一致率明显高于 SARIMA 模型, 表明 ARIMA 模型预测结果与监测结果之间的不旱一致率高于 SARIMA 模型。同时, 两种模型的阳性一致率变化趋势和取值均较为接近, 而且

SARIMA 模型预测结果与实际监测值之间的干旱一致率略高于 ARIMA 模型。综合考虑上述各种指数的精度评价结果, 可以认为 ARIMA 和 SARIMA 模型均适合用于关中平原的干旱预测。

### 3.3 一致性指数

逐像元计算 ARIMA 和 SARIMA 模型的一致性指数 ( $d$ ) 并求均值, 得到两种预测模型 3 月上旬—5 月下旬的精度评价结果, 并根据计算结果得到散点图 (图 5)。同时, 为了验证  $d$  对两种模型的区分效果, 以 4 月下旬为例, 生成  $d$  的频率分布图 (共  $12 \times 30 \times 892$  个

像元)(图 5)。由图 5 可知,多数旬 ARIMA 模型的  $d$  值大于 SARIMA 模型的  $d$  值,且从  $d$  值的频率分布来看(图 6),ARIMA 模型和 SARIMA 模型的  $d$  值分

别集中在 0.25 和 0.42 附近,即 ARIMA 模型的  $d$  值的分布更趋近于 1,表明 ARIMA 模型的预测精度较高,且预测性能优于 SARIMA 模型的预测性能。

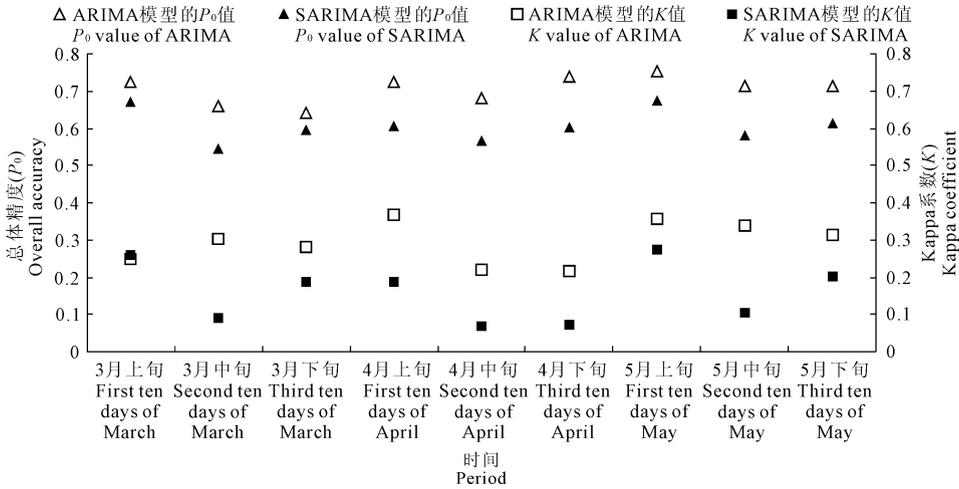


图 3 ARIMA、SARIMA 模型的 Kappa 系数和总体精度

Fig.3 Kappa coefficients and overall accuracies of the ARIMA and SARIMA models

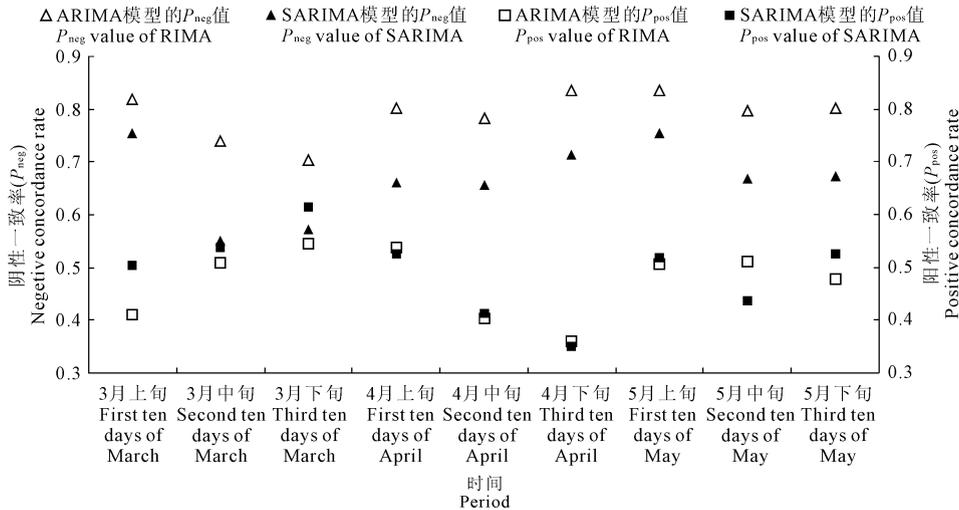


图 4 ARIMA、SARIMA 模型的阳性和阴性一致性

Fig.4 Positive consistency and negative consistency of the ARIMA and SARIMA models

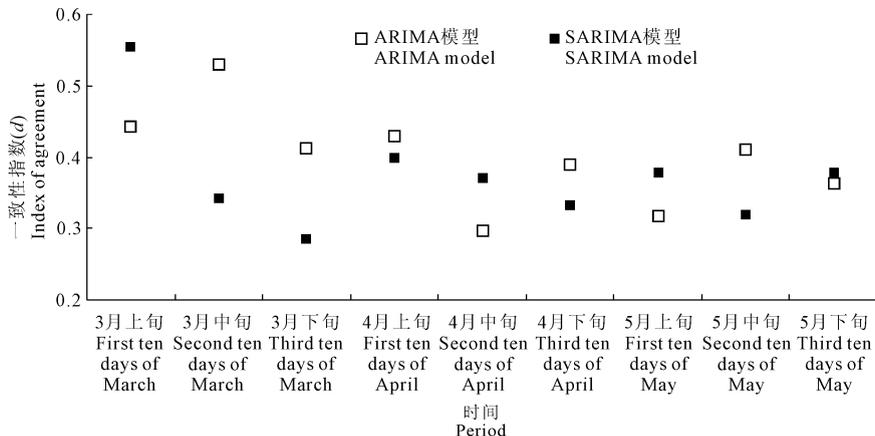


图 5 ARIMA、SARIMA 模型的一致性指数 ( $d$ )

Fig.5 Values of the index of agreement ( $d$ ) of the ARIMA and SARIMA models

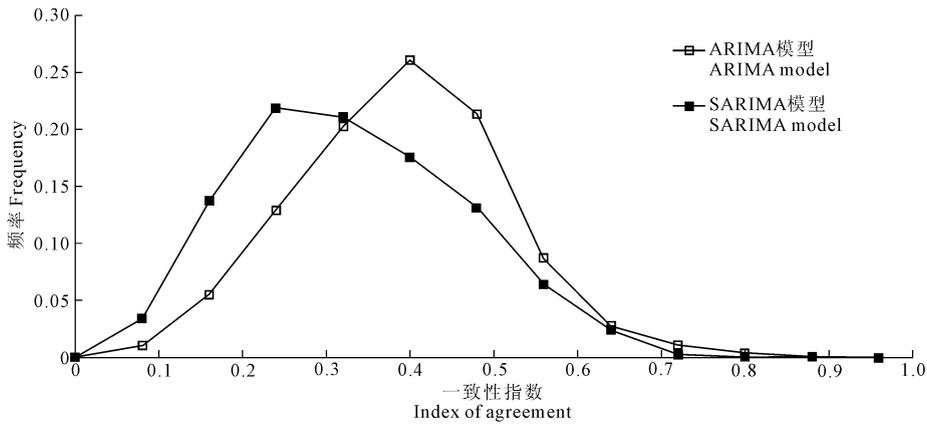


图 6 ARIMA、SARIMA 模型一致性指数 ( $d$ ) 评价结果的频率分布

Fig.6 Frequency distribution of the index of agreement of the ARIMA and SARIMA models

### 3.4 效率系数

逐像元计算 ARIMA 和 SARIMA 模型的效率系数并求均值,得到两种模型预测结果 3 月上旬—5 月下旬的效率系数值,并根据计算结果得到两种预测模型各旬效率系数 ( $E$ ) (图 7)。同样的,为验证  $E$  对两种模型的区分效果,生成 2003—2014 年 4 月下旬  $E$  的频率分布图 (图 8)。

由图 7 可知,每旬的 ARIMA 模型的  $E$  值均明显大于 SARIMA 模型的相应值,且 ARIMA 模型和 SARIMA 模型的  $E$  值分别集中在 0 和 -3 附近,表明 ARIMA 模型的预测性能明显优于 SARIMA 模型的预测性能。从  $E$  值的频率分布图来看 (图 8), ARIMA

模型的  $E$  值主要分布在  $[-1, 1]$  的区间,且频率的分布较为集中,而 SARIMA 模型的  $E$  值主要分布在  $[-10, 0]$  的区间,且频率的分布非常分散,频率的变化也较为平缓,这些结果均表明 ARIMA 模型的预测性能更优。从理论上分析,效率系数  $E$  的取值范围为从负无穷到 1, 值越大表示预测值与监测值的一致性程度越高,值为 0 时表示模型的预测结果总体可信,但预测误差较大,取值远小于 0 时则表明模型的预测结果不可信<sup>[9,11]</sup>。因此, ARIMA 模型的预测结果总体较好,但预测误差较大,而 SARIMA 模型的预测精度显著低于 ARIMA 模型的预测精度。可见,效率系数适用于干旱预测模型的精度评价。

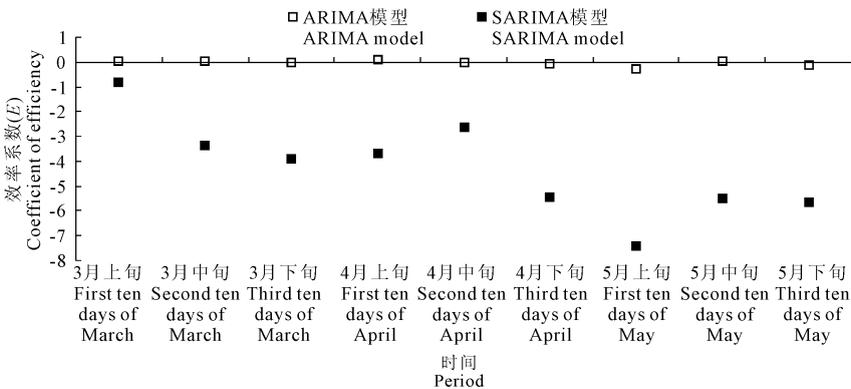


图 7 ARIMA、SARIMA 模型的效率系数 ( $E$ )

Fig.7 Values of the coefficient of efficiency ( $E$ ) of the ARIMA and SARIMA models

### 3.5 评价结果的对比分析

ARIMA 和 SARIMA 模型的各种精度评价指数的平均值见表 2。可以看出,效率系数 ( $E$ ) 和一致性指数 ( $d$ ) 对两种模型的精度评价结果与均方根误差 ( $RMSE$ )、皮尔森相关系数 ( $r$ )、Kappa 系数 ( $K$ )、总体精度 ( $P_0$ ) 及阴性一致率 ( $P_{neg}$ ) 的评价结果一致,评

价结果均为 ARIMA 模型对关中平原干旱的预测能力优于 SARIMA 模型的预测能力。综合考虑,可以得出 ARIMA 模型更适合用于关中平原的干旱预测的结论。同时,由于效率系数相对一致性指数对两种模型的区分度更高,因此认为效率系数更适合用于遥感干旱预测模型的精度评价。

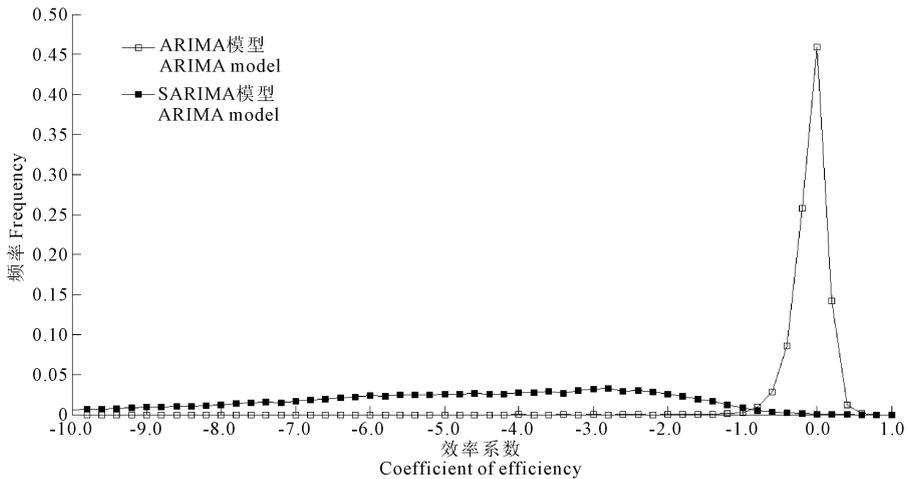
图 8 ARIMA、SARIMA 模型的效率系数 ( $E$ ) 评价结果的频率分布

Fig.8 Frequency distribution of the coefficient of efficiency of the ARIMA and SARIMA models

表 2 几种精度评价指数对 ARIMA 和 SARIMA 模型的评价结果

Table 2 Accuracy assessment results of the ARIMA and SARIMA models using several accuracy evaluations indices

| 模型<br>Models | 评价指数 Evaluation index |      |      |       |           |           |        |      |
|--------------|-----------------------|------|------|-------|-----------|-----------|--------|------|
|              | $E$                   | $d$  | $K$  | $P_0$ | $P_{pos}$ | $P_{neg}$ | $RMSE$ | $r$  |
| ARIMA        | -0.04                 | 0.40 | 0.25 | 0.70  | 0.47      | 0.79      | 0.21   | 0.24 |
| SARIMA       | -4.27                 | 0.37 | 0.16 | 0.61  | 0.49      | 0.67      | 0.40   | 0.00 |

## 4 结论与讨论

一致性指数和效率系数常用于水文预测模型的精度评价,与观测值和预测值之差、观测值和观测值的均值之差以及预测值和观测值的均值之差密切相关。相对于通常采用若干地面观测数据构建的水文预测模型,遥感干旱预测模型是基于成千上万甚至数百万的数据样本,因此在利用水文预测模型的精度评价指标时需重点剖析数据样本的特性。基于 VTCI 的干旱监测结果以及 ARIMA 和 SARIMA 模型的干旱预测结果,在分析两预测模型的一致性指数和效率系数,尤其是一致性指数和效率系数的频率分布基础上,得出了 ARIMA 模型更适合用于关中平原的干旱预测,以及效率系数更适合于遥感干旱预测模型精度评价的结论。

干旱预测模型精度评价的另一重要因素是对干旱等级预测的精度,即预测结果是旱还是旱,是轻旱还是中旱等,而 Kappa 系数及其相关指标,尤其阳性一致率对于干旱等级预测结果的评价具有明显的优势<sup>[6]</sup>。因此,应用效率系数,并结合 Kappa 系数和阳性一致率等对于干旱预测模型进行精度评价,可获得更合理、更全面的精度评价结果。

在干旱预测模型的精度评价中,不同精度评价

指数的分级标准及其理论意义和含义也不尽相同。对于从水文学领域引进的效率系数而言,它们在遥感干旱预测模型中评价结果的分类标准还未建立,还不能赋予其评价结果以确切的含义。在水文学领域,效率系数  $E$  值为 0 时表示模型的预测结果总体可信,但预测误差较大,若按此进行推理,则 ARIMA 模型的预测结果属于此类。因而,如何为基于“海量”遥感数据的干旱预测模型中的效率系数建立评价标准并确定预测值与监测值之间一致性程度的等级还需要在后续的研究中进一步完善。

### 参考文献:

- [1] Patel N R, Parida B R, Venus V, et al. Analysis of agricultural drought using vegetation temperature condition index (VTCI) from Terra/MODIS satellite data[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2012, 184(12): 7153-7163.
- [2] 韩 萍,王鹏新,王彦集,等.多尺度标准化降水指数的 ARIMA 模型干旱预测研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(2): 212-218.
- [3] 王鹏新,龚健雅,李小文.条件植被温度指数及其在干旱监测中的应用[J].武汉大学学报(信息科学版),2001,26(5): 412-418.
- [4] 薛 辉,倪绍祥.我国土壤水分热红外遥感监测研究进展[J].干旱地区农业研究,2006,24(6): 168-172.

发展迅速,但灌区地下水资源超采也十分严重,地下水位下降剧烈,特别是 1983 年以来地下水位下降的幅度呈现加剧态势。

地下水超采是导致地下水位下降的主要因素,而区内农业种植结构的变化则是地下水超采的直接原因。1983 年作物种植结构改变前,灌区地下水位变化不大;1983 年之后灌区种植结构发生变化,蔬菜种植面积剧增,作为农业灌溉目的的地下水量不断增加,地下水超采严重,每增加 1 万公顷蔬菜,地下水位降幅为 3.5 m。

灌区年蒸发量不断增加和工业生产取水量的增加也是影响灌区地下水位下降的重要因素。

针对泾惠渠灌区地下水资源超采和地下水位的持续下降问题,应当积极调整农业生产结构,强化农业节水特别蔬菜生产的节水,降低水资源的无效消耗,促进水资源的良性循环。

#### 参 考 文 献:

- [1] 李佩成. 关于水源问题及其解决途径的商榷[J]. 灌溉科技, 1975, (3): 10-20.
- [2] 易秀. 干旱半干旱地区地下水问题[J]. 干旱区研究, 2001, 18 (3): 54-57.

- [3] 王金哲, 张光辉, 母海东, 等. 人类活动对浅层地下水干扰程度定量评价及验证[J]. 水利学报, 2011, 42(12): 1445-1451.
- [4] 魏晓妹, 赵颖娣. 关中灌区农业水资源调控问题研究[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(3): 117-122.
- [5] 李佩成. 论自流灌区的节水与养水[J]. 灌溉排水, 2000, (1): 12-15.
- [6] 沈去凡, 王数, 张凤荣, 等. 曲周地下水位下降对农业种植结构的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(5): 51-56.
- [7] 牛松涛, 郑迎春, 韩淑敏. 农业发展对区域地下水资源的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 06: 104-109.
- [8] 张光辉, 费宇红, 刘春华, 等. 华北漳滏平原地下水位下降与灌溉农业关系[J]. 水科学进展, 2013, 02: 228-234.
- [9] 贺屹. 渠井双灌区地下水超采情况下的动态分析及人工补给研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
- [10] 刘燕. 泾惠渠灌区地下水位动态变化特征及成因分析[J]. 人民长江, 2010, 41(8): 100-107.
- [11] 高占义, 王浩. 中国粮食安全与灌溉发展对策研究[J]. 水利学报, 2008, 39(11): 1273-1278.
- [12] 陈皓锐, 黄介生, 伍靖伟, 等. 灌溉用水效率尺度效应研究评述[J]. 水科学进展, 2011, 22(6): 872-880.
- [13] 刘燕, 朱红艳. 泾惠渠灌区水环境劣变特征及地下水调蓄能力分析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(6): 19-24.
- [14] 李雪静. 泾惠渠灌区地下水合理开发利用分析研究[J]. 地下水, 2000, 22(4): 164-165.
- [15] 张蔚榛. 农业节水问题的几点认识[J]. 中国水利, 2001, 15(8): 40-43.

(上接第 235 页)

- [5] 李艳, 王鹏新, 刘竣明, 等. 基于条件植被温度指数的冬小麦主要生育时期干旱监测效果评价. I 因子权重排序法和熵值法组合赋权[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(6): 159-163.
- [6] 田苗, 王鹏新, 严泰来, 等. Kappa 系数的修正及在干旱预测精度及一致性评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 1-7.
- [7] Ritter A, Munoz-Carpena R. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments[J]. Journal of Hydrology, 2013, 480: 33-45.
- [8] Legates D R, McCabe G J. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation[J]. Water Resources Research, 1999, 35(1): 233-241.
- [9] Zeng Xubin, Kiviat K L, Sakaguchi K, et al. A toy model for monthly river flow forecasting[J]. Journal of hydrology, 2012, 452 - 453: 226-231.
- [10] 田苗, 王鹏新, 韩萍, 等. 基于 SARIMA 模型和条件植被温度指数的干旱预测[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 109-116.
- [11] Nash J E, Sutcliffe J V. River flow forecasting through conceptual models part I - A discussion of principles[J]. Journal of Hydrology, 1970, 10(3): 282-290.
- [12] O'Connell P E, Nash J E, Farrell J P. River flow forecasting through

- conceptual models part II - The Brosna catchment at Ferbane[J]. Journal of Hydrology, 1970, 10(4): 317-329.
- [13] Mandeville A N, O'Connell P E, Sutcliffe J V, et al. River flow forecasting through conceptual models part III - The Ray catchment at Grendon Underwood[J]. Journal of Hydrology, 1970, 11(2): 109-128.
- [14] Altunkerynak A, Wang Keh - Han. A comparative study of hydrodynamic model and expert system related models for prediction of total suspended solids concentrations in Apalachicola Bay[J]. Journal of Hydrology, 2011, 400(3 - 4): 353-363.
- [15] Willmott C J, Ackleson S G, Davis R E, et al. Statistics for the evaluation and comparison of models[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 1985, 90(C5): 8995-9005.
- [16] 张树誉, 李慧, 王鹏新, 等. 条件植被温差指数干旱监测方法的研究与应用[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(4): 118-122.
- [17] 谭学志, 粟晓玲, 邵东国. 基于 SPI 的陕西关中地区气象干旱时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 224-229.
- [18] Sun W, Wang P X, Zhang S Y, et al. Using the vegetation temperature condition index for time series drought occurrence monitoring in the Guanzhong Plain, PR China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(17 - 18): 5133- 5144.