· 调查报告与分析 ·

手足口病发病预测 4 种时间序列预测模型比较*

刘超，孟园园，张庆雯

【摘　要】目的 比较季节性差分自回归移动平均模型（SARIMA）、温特线性与季节指数平滑模型、Census X12 季节分解模型和线性组合预测模型 4 种时间序列预测模型对手足口病发病的预测性能，为手足口病的预测提供方法支撑。**方法** 收集中国疾病预防控制中心 2008 年 1 月 — 2019 年 12 月发布的中国手足口病月度发病人数和《中国统计年鉴 — 2020》发布的年末常住人口数据，据此测算出 2008 年 1 月 — 2019 年 12 月中国手足口病的月度发病率数据；以 2008 年 1 月 — 2018 年 12 月中国手足口病月度发病率数据作为样本建模数据分别构建 SARIMA 模型、温特线性与季节指数平滑模型、Census X12 季节分解模型和线性组合预测模型，以 2019 年 1 — 12 月中国手足口病月度发病率数据作为样本外评估预测数据评价 4 个模型的预测效果。**结果** SARIMA 模型、温特线性与季节指数平滑模型、Census X12 季节分解模型和线性组合预测模型的平均绝对误差（MAD）分别为 10.311、14.433、8.424 和 9.334，预测误差的方差（MSE）分别为 30.757、112.847、12.007 和 18.847，平均相对误差的绝对值（MAPE）分别为 1.725 %、2.415 %、1.409 % 和 1.562 %；拟合效果最好的时间序列预测模型为 Census X12 季节分解模型，其次为线性组合预测模型，再次为 SARIMA 模型，温特线性与季节指数平滑模型的拟合效果最差。**结论** Census X12 季节分解模型能较好地预测全国手足口病的发病情况，可为今后手足口病的预防控制工作提供决策性依据。

【关键词】 手足口病；发病预测；季节性差分自回归移动平均模型（SARIMA）；温特线性与季节指数平滑模型；Census X12 季节分解模型；线性组合预测模型；比较

中图分类号:R 181　**文献标识码:**A　**文章编号:**1001-0580(2022)02-0218-06　**DOI:**10.11847/zgggws1133517

Four time series prediction models for incidence prediction of hand, foot and mouth disease: a comparative study

LIU Chao, MENG Yuan-yuan, ZHANG Qing-wen (*Department of Statistics*, *College of Economics*, *Hebei University*, *Baoding*, *Hebei Province* 071000, China)

【Abstract】 Objective To compare the performance of seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) model, Winter linear and seasonal exponential smoothing model, Census X12 seasonal decomposition model, and linear combination prediction model in incidence prediction of hand, foot and mouth disease (HFMD) for facilitating incidence prediction of the disease. **Methods** Data on reported monthly HFMD incidence from January 2008 through December 2019 were collected from the dataset published by China Center for Disease Control and Prevention and those on annual population during the same period were collected from China Statistical Yearbook 2020 for calculating the monthly incidence of HFMD in China in the period; then monthly incidence of HFMD in China from January 2008 to December 2018 was used as sample modeling data to construct SARIMA model, Winter linear and seasonal exponential smoothing model, Census X12 seasonal decomposition model and linear combination prediction model; finally the monthly incidence of HFMD in China from January through December 2019 was used as the out-of-sample evaluation prediction data to evaluate prediction efficacy of the four models. **Results** The mean absolute deviation (MAD), mean square error (MSE), mean absolute percentage error (MAPE) were 10.311, 30.757, 1.725% for SARIMA model, 14.433, 112.847, 2.415% for Winter linear and seasonal exponential smoothing model, 8.424, 12.007, 1.409% for Census X12 seasonal decomposition model, and 9.334, 18.847, 1.562% for linear combination prediction model, respectively. The optimum model established was Census X12 seasonal decomposition model, followed by linear combination prediction model, SARIMA model, and Winter linear and seasonal exponential smoothing model. **Conclusion** The established Census X12 seasonal decomposition model could well predict the incidence of HFMD in China and the utilization of the model could facilitate developing strategies on HFMD prevention and control.

【Key words】 hand, foot and mouth disease; incidence prediction; seasonal autoregressive integrated moving average model; Winter linear and seasonal exponential smoothing model; Census X12 seasonal decomposition model; linear combination prediction model; comparison

手足口病是由多种肠道病毒所引起的急性传染病，于 2008 年被列入国家丙类法定传染病，具有极强的传染性，且传播速度快，在幼儿园等儿童聚集的场所容易出现暴发性传染[1－2]，对儿童健康造成严重威胁。手足口病的暴发通常具有长期趋势性、季节变动性、周期性和不确定性等特征，目前手足口病发病的预测方法主要包括平稳时间序列预测法、时间序列平滑预测法和时间序列分解法等。在以往的研究中，这几种预测方法已经在手足口病的发病预测中有所应用[3－6]，但是不同预测方法的预

* **基金项目:**河北省社会科学基金（HB18TJ001）

作者单位:河北大学经济学院统计学系，河北 保定 071000

作者简介:刘超（1985－），男，河北孟村人，副教授，博士，研究方向：大数据分析。

测效果各有不同，仍需要通过实证结果加以验证。为此，本研究以中国疾病预防控制中心发布的中国手足口病月度发病人数和《中国统计年鉴 — 2020》[7]发布的 2008 — 2019 年年末常住人口数据为依据测算出的 2008 年 1 月 — 2018 年 12 月中国手足口病月度发病率数据为基础，分别构建手足口病发病的季节性差分自回归移动平均模型（seasonal autoregressive integrated moving average model, SARIMA）、温特线性与季节指数平滑模型、Census X12 季节分解模型和线性组合预测模型，预测 2019 年 1 — 12 月的发病率与当时的实际发病率比较，并以平均绝对误差（mean absolute deviation，MAD）、预测误差的方差（mean square error, MSE）和平均相对误差的绝对值（mean absolute percentage error, MAPE）作为判断准则，比较此 4 种时间序列预测模型的预测效果和稳健性，旨在探索中国手足口病发病的最优预测方法，增强手足口病发病的预测能力，为今后手足口病的防治和预防工作提供决策依据。结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 资料来源　收集中国疾病预防控制中心发布的 2008 年 1 月 — 2019 年 12 月中国手足口病月度发病人数和《中国统计年鉴 — 2020》发布的年末常住人口数据，以此测算出 2008 年 1 月 — 2019 年 12 月中国手足口病月度发病率数据。其中 2008 年 1 月 — 2018 年 12 月中国手足口病月度发病率数据为样本建模数据，2019 年 1 — 12 月中国手足口病月度发病率数据为样本外评估预测数据。

1.2 统计分析　采用 EVIEWS 8.0 软件进行统计分析。以 2008 年 1 月 — 2018 年 12 月的中国手足口病月发病率数据为基础，分别构建手足口病发病的 SARIMA 模型、温特线性与季节指数平滑模型、Census X12 季节分解模型和线性组合预测模型，预测 2019 年 1 — 12 月中国手足口病发病率与当时的实际发病率比较，并以 MAD、MSE、MAPE 为标准进行验证，比较各个模型的预测效果和稳健性[8－10]。

1.2.1 SARIMA 模型　SARIMA 模型是平稳时间序列预测法中的重要模型，适用于含有季节效应的时间序列的建模，建模的基本步骤：绘制时序图、ADF 单位根检验法（Augmented Dickey-Fuller, ADF）、数据的平稳化处理、模型识别和参数估计以及白噪声检验等[11]；当多个模型均通过检验时，通过比较各模型的拟合优度、赤池信息准则和施瓦兹准则等选取最优模型[12]。模型的基本形式为：

$$\nabla^d \nabla_S^D Y_t = \frac{\Theta(B)\Theta_s(B)}{\Phi(B)\Phi_s(B)}\varepsilon_t \tag{1}$$

式中，$\Theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \cdots\cdots - \theta_q B^q$，$\Theta_S(B) = 1 - \theta_S B^S - \theta_{2S} B^{2S} - \cdots\cdots - \theta_{QS} B^{QS}$，$\Phi(B) = 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \cdots\cdots - \varphi_p B^p$，$\Phi_S(B) = 1 - \varphi_S B^S - \varphi_{2S} B^{2S} - \cdots\cdots - \varphi_{PS} B^{PS}$，$\{\varepsilon_t\}$代表白噪声序列，$t$ 代表时间，B 代表滞后算子，d 代表简单差分的阶数，D 代表季节差分的阶数，S 代表一个季节循环中观测值的个数，p 为自回归 AR（p）项的阶数，q 为移动平均 MA（p）项的阶数，P 为季节自回归 SAR（P）项的阶数，Q 为季节移动平均 SMA（Q）项的阶数。该模型可以简记为 SARIMA$(p, d, q)\times(P, D, Q)_s$。

1.2.2 温特线性与季节指数平滑模型　温特线性与季节指数平滑模型是时间序列平滑预测法中的重要模型，可以同时修正时间序列数据的季节性和倾向性，因此这种方法可以同时修正手足口病发病数据序列的倾向性变动和季节性变动[4]。温特线性与季节指数平滑模型由以下 3 个基本公式构成：

$$S_t = \alpha\frac{x_t}{I_{t-L}} + (1-\alpha)(S_{t-1} + b_{t-1}) \tag{2}$$

$$b_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1} \tag{3}$$

$$I_t = \beta\frac{x_t}{S_t} + (1-\beta)I_{t-L} \tag{4}$$

式中，α、β、γ 为平滑系数，取值在（0, 1）之间，模型中各平滑参数 α、β、γ 由系统自动拟合[13]；S_t 代表水平平滑部分，为无季节因素影响的手足口病发病率指数平滑平均数；b_t 代表趋势平滑部分，为手足口病发病率变化趋势的指数平滑平均数；I_t 代表季节部分，为季节因子的指数平滑平均数；x_t 代表当前时刻的实际值，为季节长度或时间周期[14]。基于温特线性与季节指数平滑模型的预测公式为：

$$Y_{t+m} = (S_t + b_t m)I_{t+m-L} \tag{5}$$

式中，m 代表超前预测期数，t 代表时序期数，L 代表季节性长度。

1.2.3 Census X12 季节分解模型　Census X12 季节分解模型是时间序列分解法中的重要模型。中国手足口病发病数据常伴随着明显的季节性波动，利用 Census X12 季节分解模型可对手足口病的发病数据进行季节调整，易取得较好的预测效果[15]。模型基本形式为：

$$Y = TC + S + I \tag{6}$$

式中，Y 代表中国手足口病发病率，TC 为手足口病发病率的趋势循环变动要素，S 为季节变动要素，I 为不规则变动要素[16]。

1.2.4 线性组合预测模型　综合以上几种模型，可以构建中国手足口病发病率的线性组合预测模型。模型基本形式如下：

$$y_{0t} = W_1 y_{1t} + W_2 y_{2t} + \cdots + W_n y_{nt} \tag{7}$$

式中，y_{0t} 为 t 期的组合预测值；y_{1t}，$y_{2t}\cdots y_{nt}$ 为 n 个独立预测模型在 t 期的预测值；W_1，$W_2\cdots W_n$ 为对应的 n 个独立预测模型组合权数[17]。其中权数的确定采取组合预测误差方差最小原则加以确定[18]，即：

$$W_i = \frac{\frac{1}{Q_i}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{i}{Q_i}}(i = 1,2,\cdots,n) \quad (8)$$

式中，Q_i 为第 i 种单项预测模型的残差平方和。

2 结 果

2.1 SARIMA 模型

2.1.1 序列的平稳性检验及处理（图 1） 以 2008 年 1 月 — 2018 年 12 月中国手足口病月度发病率作为建模数据，绘制中国手足口病发病率序列图，如图 1 所示。从总体上看，中国手足口病发病率在 2014 年之前呈现上升趋势，达到峰值后呈逐年下降趋势。根据图 1 大致判断出手足口病发病率序列为不平稳序列，且具有显著的趋势性和季节性，流行周期为 12 个月（$s = 12$）。ADF 检验结果显示，ADF 统计值为 – 2.532，表明在 5 % 的显著性水平下不能拒绝原假设，说明手足口病发病率序列是不平稳序列。对手足口病发病率序列进行一阶差分和一阶季节差分处理，结果显示，ADF 统计值为 – 10.423，表明在 5 % 的显著性水平下拒绝原假设，判断出经过差分处理后的手足口病发病率序列为平稳序列。

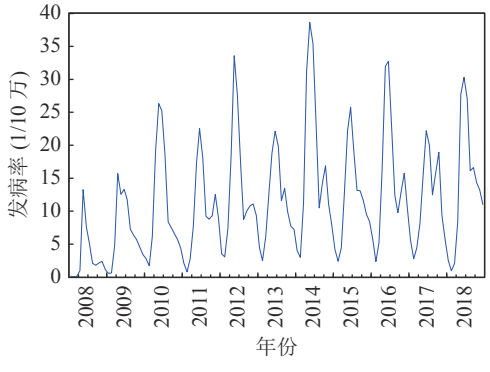


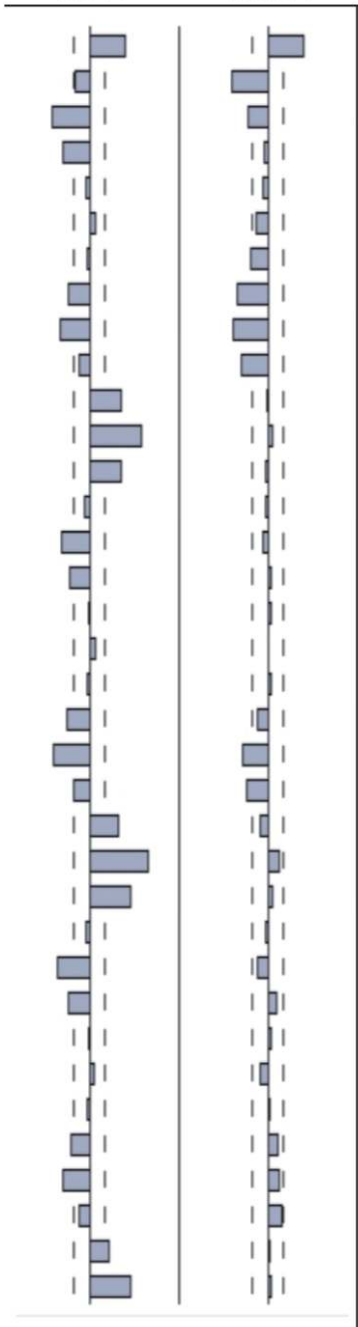
图 1 2008 — 2018 年中国手足口病发病率序列图

2.1.2 模型的识别及参数估计（图 2，表 1、2） 2008 年 1 月 — 2018 年 12 月中国手足口病发病率序列经过一阶差分以及一阶季节差分后达到平稳，由此确定 $d = 1$、$D = 1$，初步确定模型 SARIMA$(p, 1, q)\times(P, 1, Q)_{12}$。根据处理后手足口病发病率序列的自相关图和偏自相关图（图 2）可知，相应的 Q 统计量在 5 % 的显著性水平下拒绝原假设，说明为非纯随机序列，表明可以对处理后的序列进行建模。依据自相关系数和偏自相关系数特征初步判断 $p = 1$、$q = 2$、$P = 1$、$Q = 1$，进行逐个试验，由此得到各备选模型的参数估计，如表 1 所示。在 5 % 的显著性水平下，SARIMA$(1, 1, 1)\times(1, 1, 1)_{12}$、SARIMA$(2, 1, 1)\times(1, 1, 1)_{12}$、SARIMA$(2, 1, 2)\times(1, 1, 1)_{12}$、SARIMA$(2, 1, 2)\times(1, 1, 0)_{12}$ 模型系数均不显著，不予讨论。其余模型在 5 % 显著性水平下均通过了 t 检验，通过比较各模型的拟合优度、赤池信息准则等（表 2），最终选择的模型为 SARIMA$(1, 1, 2)\times(1, 1, 1)_{12}$ 模型，该模型调整后的拟合优度为 0.661，赤池信息准则值为 4.989。

2.1.3 白噪声检验 在 SARIMA$(1, 1, 2)\times(1, 1, 1)_{12}$ 模型中，滞后算子根的倒数均落在了单位圆内，表明模型具有稳定性。该模型对应的残差序列的 Q 统计量在 5 % 显著性水平下均不能拒绝原假设，表明残差序列为纯随机序列，说明 SARIMA 模型提取的信息比较充分。2008 年 1 月 — 2018 年 12 月中国手足口病发病率序列的 SARIMA 模型为 $\nabla\nabla_{12}^{Y_t} = \frac{(1+0.459B+0.399B^2)(1+0.887B^{12})}{(1-0.451B)(1+0.215B^{12})}\varepsilon_t$，由此可计算出 2019 年 1 — 12 月中国手足口病发病率的预测值。

2.2 温特线性与季节指数平滑模型 根据模型的估计结果可知，$\alpha = 1.000\,0$，$\beta = 0.000\,0$，$\gamma = 0.000\,0$，残差平方和为 1 666.977，均方根误差为 3.554，水平平滑部分为 19.151，趋势平滑部分为 0.093，2018 年 1 — 12 月的季节指数分别为 0.271、0.152、0.423、1.183、2.207、2.132、1.622、0.877、0.893、0.891、0.776、0.573。由此可以得出预测模型为 $Y_{t+m} = (19.151 + 0.092\,7m)I_{t+m-L}$，式中，$m$ 的取值为 1 ~ 12，I_{t+m-L} 的取值为 2018 年 1 月 — 2018 年 12 月各月的季节指数，根据该预测模型可以得到 2019 年 1 — 12 月中国手足口病发病率的预测值。

2.3 Census X12 季节分解模型（图 3） 根据 Census X12 季节分解模型，2008 年 1 月 — 2018 年 12 月中国手足口病发病率序列分解为季节因素 S、趋势循环因素 TC 和不规则因素 I。经过季节调整后，中国手足口病发病率呈现阶段性特征，2014 年之前呈增长态势，2014 年之后发病率趋于平稳，手足口病发病率于 2014 年 5 月达到最大值 38.658 4/10 万，如图 3 所示。根据中国手足口病发病率序列的季节因素可知，中国手足口病的发病数波动存在明显的季节性，每年均会出现 1 次波峰和波谷现象，且波动幅度随时间的推移逐渐缩小；根据趋势循环因素可知，波峰通常出现在 4 — 7 月，波谷通常出现在 1 —2 月，即在夏秋季比较常见；根据不规则因素可知，手足口病发病率的不规则变动在 2009 年之前波动不太稳定，在 2009 年之后波动较为稳定，且趋于逐渐平缓的状态，历史最大的波动幅度出现在 2008 年。



	自相关系数	偏自相关系数	Q值	P值
1	0.424	0.424	24.14	<0.001
2	−0.169	−0.426	28.01	<0.001
3	−0.441	−0.235	54.47	<0.001
4	−0.305	−0.048	67.20	<0.001
5	−0.043	−0.061	67.46	<0.001
6	0.072	−0.127	68.17	<0.001
7	−0.028	−0.203	68.28	<0.001
8	−0.249	−0.345	77.09	<0.001
9	−0.343	−0.401	93.93	<0.001
10	−0.112	−0.300	95.75	<0.001
11	0.364	114.940	114.94	<0.001
12	0.601	0.052	167.74	<0.001
13	0.369	−0.030	187.85	<0.001
14	−0.055	−0.023	188.30	<0.001
15	−0.322	−0.063	203.84	<0.001
16	−0.233	0.035	212.07	<0.001
17	−0.016	0.034	212.11	<0.001
18	0.078	0.015	213.06	<0.001
19	−0.020	0.042	213.12	<0.001
20	−0.269	−0.110	224.51	<0.001
21	−0.420	−0.295	252.39	<0.001
22	−0.176	−0.249	257.32	<0.001
23	0.338	−0.086	275.71	<0.001
24	0.677	350.240	350.24	<0.001
25	0.470	0.061	386.61	<0.001
26	−0.038	−0.030	0.06	<0.001
27	−0.374	410.270	410.27	<0.001
28	−0.241	0.098	420.09	<0.001
29	−0.002	0.043	420.09	<0.001
30	0.061	−0.087	420.72	<0.001
31	−0.031	0.028	420.89	<0.001
32	−0.216	0.111	429.13	<0.001
33	−0.216	0.111	429.13	<0.001
34	−0.112	0.163	447.53	<0.001
35	0.233	0.027	457.36	<0.001
36	0.479	0.044	499.41	<0.001

图 2　中国手足口病发病率序列一阶差分后的自相关图

表 1　备选模型参数估计的 *t* 统计量结果

模型	AR(1)	AR(2)	MA(1)	MA(2)	SAR(12)	SMA(12)
$(1,1,1)\times(1,1,1)_{12}$	−0.981		1.719 [a]		−2.029 [b]	−47.216 [c]
$(1,1,1)\times(0,1,1)_{12}$	−2.364 [b]		3.346 [b]			−30.338 [c]
$(1,1,1)\times(1,1,0)_{12}$	−2.044 [b]		2.897 [c]		−8.566 [c]	
$(2,1,1)\times(1,1,1)_{12}$	15.780 [c]	−6.444 [c]	−27.984 [c]		−1.553	−47.703 [c]
$(2,1,1)\times(0,1,1)_{12}$	20.185 [c]	−7.143 [c]	−31.644 [c]			−28.936 [c]
$(2,1,1)\times(1,1,0)_{12}$	8.193 [c]	−2.598 [b]	−39.092 [c]		−8.440 [c]	
$(1,1,2)\times(1,1,1)_{12}$	3.117 [c]		−3.269 [c]	−3.704 [c]	−2.283 [b]	−41.004 [c]
$(1,1,2)\times(0,1,1)_{12}$	3.326 [c]		−3.661 [c]	−3.505 [c]		−22.883 [c]
$(1,1,2)\times(1,1,0)_{12}$	3.654 [c]		−4.737 [c]	−3.486 [c]	−8.092 [c]	
$(2,1,2)\times(1,1,1)_{12}$	11.939 [c]	−6.189 [c]	−8.053 [c]	0.227	−1.534	−47.183 [c]
$(2,1,2)\times(0,1,1)_{12}$	22.987 [c]	−43.681 [c]	−43.670 [c]	194.235 [c]		−38.762 [c]
$(2,1,2)\times(1,1,0)_{12}$	0.673	0.924	−1.389	−2.685 [c]	−8.428 [c]	

注：a $P<0.1$，b $P<0.05$，c $P<0.01$。

表 2 通过 *t* 检验备选模型的比较

模型	拟合优度	调整后的拟合优度	回归标准误差	赤池信息准则	施瓦兹准则
$(1,1,1)\times(0,1,1)_{12}$	0.546	0.538	1 336.282	5.316	5.386
$(1,1,1)\times(1,1,0)_{12}$	0.461	0.450	1 371.374	5.454	5.530
$(2,1,1)\times(0,1,1)_{12}$	0.637	0.628	1 062.381	5.112	5.207
$(2,1,1)\times(1,1,0)_{12}$	0.559	0.546	1 121.768	5.283	5.384
$(1,1,2)\times(1,1,1)_{12}$	0.674	0.661	829.176	4.989	5.115
$(1,1,2)\times(1,1,0)_{12}$	0.613	0.603	1 138.853	5.173	5.267
$(1,1,2)\times(1,1,0)_{12}$	0.559	0.546	1 121.569	5.272	5.373
$(2,1,2)\times(0,1,1)_{12}$	0.602	0.588	1 164.851	5.222	5.269

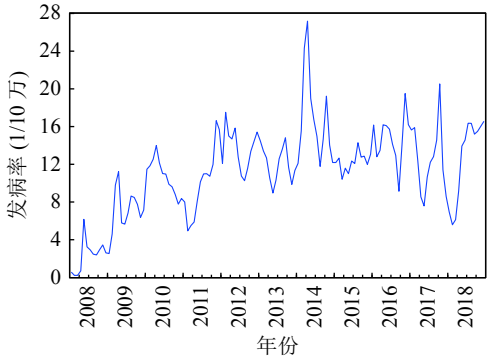


图 3 季节调整后手足口病发病率的时序图

2.4 线性组合预测模型 基于 SARIMA 模型、温特线性与季节指数平滑模型和 Census X12 季节分解模型构建中国手足口病发病的线性组合预测模型，其预测模型的基本形式为 $y_{0t}=0.261y_{1t}+0.071y_{2t}+0.668y_{3t}$。式中，$y_{1t}$ 代表 SARIMA 模型的预测值，y_{2t} 代表温特线性与季节指数平滑模型的预测值，y_{3t} 代表 Census X12 季节指数的预测值。由此可以得到线性组合预测模型 2019 年中国手足口病发病率的预测值。

2.5 预测模型的比较（表 3、4） 4 种时间序列预测模型预测值比较，SARIMA 模型在 2019 年 1 — 3 月和 2019 年 10 — 11 月的预测精度较低，温特线性与季节指数平滑模型整体预测误差较大，线性组合模型的预测能力较高，Census X12 季节分解模型的预测能力最优（表 3）。以 MAD、MSE 和 MAPE 为判断准则，可以判断出 Census X12 季节分解模型的预测效果优于其他 3 种预测模型（表 4）。通过实证分析与对比，最终选取 Census X12 季节分解模型作为中国手足口病发病率的最优预测模型。

表 3 各预测模型的预测值对比（1/10 万）

时间	实际值	SARIMA模型	温特线性与季节指数平滑模型	Census X12季节分解模型	线性组合预测模型
2019年1月	5.977	7.537	5.223	6.640	6.773
2019年2月	2.014	5.901	2.938	3.726	4.237
2019年3月	3.853	9.362	8.222	6.123	7.117
2019年4月	11.121	18.986	23.087	13.862	15.854
2019年5月	19.187	27.860	43.293	24.210	26.518
2019年6月	24.099	29.499	42.005	27.590	29.113
2019年7月	24.251	23.401	32.112	21.928	23.036
2019年8月	13.802	14.932	17.451	13.231	13.975
2019年9月	13.462	15.653	17.851	14.321	14.919
2019年10月	9.375	16.328	17.898	15.969	16.200
2019年11月	7.154	14.186	15.642	12.014	12.838
2019年12月	4.562	11.657	11.608	8.692	9.673

表 4 手足口病发病率 4 种时间序列预测模型拟合效果比较

模型	MAD	MSE	MAPE（%）
SARIMA模型	10.311	30.757	1.725
温特线性与季节指数平滑模型	14.433	112.847	2.415
Census X12季节指数模型	8.424	12.007	1.409
线性组合预测模型	9.334	18.847	1.562

3 讨 论

手足口病具有极强的传染性，传播速度极快，危害着婴幼儿的身体健康，严重时会引发并发症甚至导致死亡。本研究基于手足口病具有长期趋势性、季节变动性、周期性和不确定性等特征，利用

2008 年 1 月 — 2018 年 12 月中国手足口病的发病数据分别构建了 SARIMA 模型、温特线性与季节指数平滑模型、Census X12 季节分解模型和线性组合预测模型，预测 2019 年 1 — 12 月中国手足口病月度发病率，从而评价各模型的预测效果。结果显示，Census X12 季节分解模型在中国手足口病发病率的预测中精度最高，各月预测值与实际值最为接近，且在 4 种时间序列预测模型中，Census X12 季节分解模型的 MAD、MSE 和 MAPE 值均为最小，其预测能力最优；线性组合模型的预测能力较高，各月预测值与实际值较为接近；SARIMA 模型在 2019 年 1 — 3 月和 2019 年 10 — 12 月的预测精度较低；温特线性与季节指数平滑模型整体预测误差较大。提示应用 Census X12 季节分解模型对中国手足口病发病率进行预测能较好地拟合手足口病的长期趋势、季节变动等发病规律，实现最优预测效果。

但值得注意的是，这 4 种模型均为时间序列模型，对历史数据的依赖程度较高，同时在实际决策与防病措施制定时要综合考虑其他因素的作用，如医疗水平、人群聚集程度、疫苗接种等社会和自然因素[19]。因此，在后续的研究工作中要获得更好的预测效果，手足口病预测模型需进一步加强历史数据的可靠度和准确度，并不断更新数据，以得到更符合实际的预测效果。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

出版授权　作者同意以纸质版和网络版的形式同时出版

参考文献

[1] 杨仁东, 胡世雄, 邓志红, 等. 湖南省手足口病发病趋势 SARIMA 模型预测 [J]. 中国公共卫生, 2016, 32(1): 48 – 52.

[2] 潘雍, 宋丹. 天津市河北区 2014 — 2018 年手足口病聚集性疫情特征分析 [J]. 中国公共卫生管理, 2020, 36(4): 532 – 534.

[3] 高雅, 王伶, 吴伟, 等. 辽宁省手足口病疫情季节性 ARIMA 模型预测效果评价 [J]. 中国公共卫生, 2017, 33(10): 1482 – 1484.

[4] 汪鹏, 彭颖, 杨小兵. ARIMA 模型与 Holt-Winters 指数平滑模型在武汉市流感样病例预测中的应用 [J]. 现代预防医学, 2018, 45(3): 385 – 389.

[5] 韩玲, 王鸿, 颜隆, 等. 河北省手足口病发病趋势的时间序列分析 [J]. 中华中医药杂志, 2019, 34(12): 5904 – 5907.

[6] 熊昱阳, 任静朝, 段广才. 中国 2008 — 2016 年手足口病月发病率时间序列分析及预测模型 [J]. 中华疾病控制杂志, 2019, 23(11): 1394 – 1398.

[7] 国家统计局. 中国统计年鉴 2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020: 15 – 16.

[8] 王永斌, 许春杰, 尹素凤, 等. 中国手足口病发病率 ARIMA、RBF 及 ARIMA-RBF 组合模型拟合及预测效果比较 [J]. 中国公共卫生, 2017, 33(5): 760 – 763.

[9] 陶君雯, 张韬, 庄雪菲, 等. 动态贝叶斯网络模型和 SARIMA 模型对手足口病预测效果的比较 [J]. 现代预防医学, 2020, 47(21): 3851 – 3854, 4010.

[10] 高秋菊, 周宇畅, 赵树青, 等. ARIMA 乘积季节模型和 LSTM 深度神经网络对石家庄市手足口病疫情预测效果的比较 [J]. 中华疾病控制杂志, 2020, 24(1): 73 – 78.

[11] 马丽娜, 刘思强, 陆小梅. 定西市安定区手足口病 SARIMA 预测模型研究 [J]. 中国公共卫生管理, 2021, 37(1): 59 – 61.

[12] 黄国, 朱宇平, 黄焕莺. 季节性 ARIMA 模型在江门市手足口病疫情预测中的应用 [J]. 中国卫生统计, 2019, 36(1): 65 – 67.

[13] 张鲁玉, 孙亮, 马兰, 等. SARIMA 模型和 Holt-winters 模型在我国丙肝月报告发病人数预测中的应用比较 [J]. 现代预防医学, 2020, 47(21): 3855 – 3858, 3951.

[14] 苏振宇, 龙勇, 汪於. 基于季节调整和 Holt-Winters 的月度负荷预测方法 [J]. 中国管理科学, 2019, 27(3): 30 – 40.

[15] 滕永平, 华宇. 我国玉米价格波动分析及短期预测 —— 基于 X12 季节调整法、H-P 滤波法及 ARIMA 模型 [J]. 沈阳工业大学学报: 社会科学版, 2019, 12(3): 230 – 235.

[16] 刘亚敏, 刘天, 李晓勇. SARIMA 模型和季节趋势模型在手足口病发病率预测中的应用 [J]. 江苏预防医学, 2019, 30(2): 150 – 152.

[17] 张康军, 刘昆, 邵中军, 等. 我国手足口病时空分布特征及预测模型研究进展 [J]. 解放军预防医学杂志, 2017, 35(6): 683 – 686.

[18] 许舒婷, 缪朝炜, 檀哲, 等. 基于组合算法的电子产品回收预测系统研究 [J]. 管理工程学报, 2020, 34(1): 147 – 153.

[19] 陈琦, 邢学森, 吴杨, 等. 湖北省 2009 — 2015 年手足口病流行病学和病原学分析 [J]. 中华流行病学杂志, 2017, 38(4): 441 – 445.

收稿日期: 2020 - 12 - 14　（郭薇编校）