· 流行病与统计方法 ·

移动流行区间法在四川省水痘流行阈值及强度分级中的应用

胡新[1],伍霄雲[2],魏荣杰[1]

1. 四川省疾病预防控制中心,四川 成都 610041;2. 眉山市疾病预防控制中心

摘要:目的　应用移动流行区间法(moving epidemic method,MEM)建立四川省水痘流行阈值及强度分级标准,为精准防控提供依据。**方法**　基于中国疾病预防控制信息系统 2014 – 2024 年四川省水痘周发病率数据,针对水痘双峰流行特征(秋冬季第 35 周 – 次年 7 周、春夏季第 8 – 34 周),分流行季构建 MEM 模型。通过交叉验证优化最优参数 δ,采用灵敏度、特异度、约登指数评价模型性能。**结果**　秋冬流行季模型中,删除 2014 – 2015 年第 35 – 7 周数据后,基于 9 年历史数据建模(δ = 2.9),灵敏度、特异度及约登指数分别为 0.837、0.933 和 0.770。春夏流行季模型中,删除 2020 年第 8 – 34 周数据后,采用 9 年历史数据建模(δ = 2.6),灵敏度、特异度与约登指数分别为 0.902、0.943 和 0.845。**结论**　采用拆分流行季的方法,结合 MEM 流行强度评估模型,能准确辨识四川省水痘流行期,可依据流行强度分级实施差异化防控,为四川省水痘防控提供参考依据。

关键词:水痘;移动流行区间法;流行阈值;流行强度;双峰分布

中图分类号:R181.3;R511.5　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1003 – 8507(2025)24 – 4417 – 07

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202508311

Application of the moving epidemic method (MEM) to determine the epidemic threshold and intensity levels of varicella, Sichuan

HU Xin*, WU Xiao – yun, WEI Rong – jie

Sichuan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Chengdu, Sichuan 610041, China

Abstract: Objective　To establish the epidemic thresholds and intensity classification criteria for varicella in Sichuan Province by applying the Moving Epidemic Method (MEM), so as to provide a scientific basis for precision prevention and control. **Methods**　Based on the weekly incidence data of varicella in Sichuan Province from 2014 to 2024, obtained from the China Information System for Disease Control and Prevention, the MEM model was constructed separately for each epidemic season, accounting for its characteristic bimodal peaks (the spring – summer peak from week 8 to week 34 and the autumn – winter peak from week 35 to week 7 of the following year). The optimal parameter (δ) was determined through cross – validation. Model performance was evaluated using sensitivity, specificity, and the Youden index. **Results**　In the autumn – winter model, after excluding data from weeks 35 to 7 of the 2014 – 2015 season, the model was built based on nine years of historical data (δ = 2.9), yielding a sensitivity of 0.837, a specificity of 0.933, and a Youden index of 0.770. In the spring – summer model, after excluding data from weeks 8 to 34 of 2020, the model was constructed using nine years of historical data (δ = 2.6), which resulted in a sensitivity of 0.902, a specificity of 0.943, and a Youden index of 0.845. **Conclusion**　The seasonal stratification approach combined with the MEM epidemic intensity assessment model enables accurate identification of varicella epidemic periods in Sichuan Province, thereby providing a scientific basis for implementing differentiated prevention and control measures based on epidemic intensity levels.

Keywords: Varicella; Moving epidemic method; Epidemic intensity; Epidemic threshold; Bimodal distribution

水痘是由水痘 – 带状疱疹病毒(varicella – zoster virus,VZV)感染引起的一种急性呼吸道传染病,以全身丘疹、瘙痒性水疱为主要临床表现,人类是该病毒的唯一宿主[1],常在学校和托幼机构等聚集性场所暴发流行,不仅影响师生健康和教学秩序,还增加了社会经济负担[2]。提前对潜在的流行阶段及强度开展分级评估,及时启动风险预警和防控措施,是有效防控水痘流行的关键措施。移动流行区间法(MEM)是

基金项目:重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(cstc2020jscx – cylhX0003);NIH 过敏与传染病预防控制项目(5R01AI125842 – 02);四川省科技计划项目(2022YFS0052)

作者简介:胡新(1989—),男,本科,副主任医师,研究方向:传染病预防控制

通信作者:魏荣杰,E – mail:www08www@163.com

WHO 推荐的一种通过动态时间序列建模实现季节性流感流行起始阶段及强度变化特征的精准判定方法[3],近年来被广泛运用于流感、手足口病等相关研究中[4-6]。监测数据显示,四川水痘流行特征与流感、手足口病相似,符合模型纳入条件。本研究基于四川省 2014 - 2024 年水痘发病资料,将 MEM 模型应用于水痘流行强度阈值监测及高峰预警,计算出各个流行分级阈值,评估流行强度,为四川省水痘防控提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 资料来源 四川省 2014 年第 1 周—2024 年第 52 周水痘周发病数来源于中国疾病预防控制信息系统的"传染病报告信息管理系统",按周汇总。同期人口数据来源于中国疾病预防控制信息系统"基本信息系统"。所有数据均无缺失值。

1.2 四川省水痘流行季节划分 监测数据分析表明,四川省水痘发病率时间分布呈典型双峰特征[7]。为满足移动流行区间法(MEM)对单峰型时序数据结构的要求,本研究将完整年度数据划分为两个独立的单峰流行季。划分流程如下:首先对历年每周水痘发病率数据求取算术平均值。然后基于周平均发病率分布图,识别相邻主峰间的显著低谷点,最后以低谷点所对应的周次为分界点,将全年数据分割为两个独立的单峰流行季,分别计算这两个独立的单峰流行季的强度阈值进而比较分析。

1.3 统计分析

1.3.1 MEM 建模分析与评价 本研究构建 MEM 模型并进行评价的具体步骤如下:

①确定流行季节阶段:基于历史监测数据,应用最大累积和百分比算法进行自适应阈值计算,精确界定每个历史流行季内三个阶段的周次范围,将流行季节划分为流行前期、流行期、流行后期。

②计算流行起始与终止阈值:在所有历史流行季的流行前期数据中,选取发病率最高的 n 个值(n = 30/N,N 为纳入建模的流行季总数),计算 n 个值的算术平均数,并求取其单侧 95% 置信区间上限,确定为流行起始阈值。采用相同算法,基于所有历史流行季的流行后期数据,选取发病率最高的 n 个值,计算其算术平均数及其单侧 95% 置信区间上限,得到流行终止阈值。

③计算流行强度分级阈值:利用所有历史流行季流行期内的发病率数据,选取流行期内发病率最高的 n 个值(n = 30/N,N 为流行季数),计算其几何均数,再求取该几何均数的单侧 40%、90%、97.5% 置信区间的上限,分别作为中、高和极高流行阈值。

④模型评价:采用灵敏度、特异度和约登指数综合评价模型对历史数据的拟合优度。最优模型参数(δ)通过最大化约登指数确定。评价依据的"金标准"由 MEM 对每个流行季的阶段划分为流行前期、流行期和流行后期。计算公式分别为,灵敏度 = (流行期内周报告发病率大于流行阈值的总周数)/(流行期总周数),特异度 = (流行前期和流行后期 2 个时期内周报告发病率小于流行阈值的总周数)/(流行前期和流行后期 2 个时期的总周数),约登指数 = 灵敏度 + 特异度 - 1。

⑤交叉验证:为评估模型的稳定性和泛化能力,采用留一法交叉验证,依次将每一个历史流行季单独作为"目标季"留出。使用 MEM 步骤①对该目标季进行流行期划分(作为金标准);利用剩余的所有流行季数据,执行 MEM 步骤①(阶段划分)和步骤②(阈值计算),预测该目标季的流行起始与终止阈值;将预测阈值应用于目标季的实际数据,计算该季的灵敏度、特异度和约登指数等评价指标;循环直至所有流行季均被留出一次。设定约登指数 < 0.5 作为模型拟合效果差的标准,该阈值表明模型预测方向接近随机水平。最终建模过程中,将删除所有约登指数低于此阈值的年份数据,以确保模型的准确性和可靠性。

1.3.2 数据分析 利用 Excel 2019 软件整理原始数据,通过 R 4.4.2 软件中的"MEM"程序包完成统计分析(包括选择最优参数选择、评价历史数据拟合效果、建模),检验水准 α = 0.05。

2 结 果

2.1 流行特征分析 2014—2024 年期间,四川省水痘发病率最高值在 2023 年第 48 周(2.325/10 万),最低值在 2023 年第 4 周(0.107/10 万),呈典型的季节性双峰分布特征,见图 1。

2.2 流行季时间范围的确定 对 2014—2024 年水痘数据进行平滑,其年度分布呈现"双峰相当"模式,见图 2。主峰位于第 48 周(1.432/10 万),次峰在第 23 周(1.296/10 万);2 个低谷分别出现在第 8 周(0.280/10 万)和第 34 周(0.320/10 万)。因此以 2 个低谷所在周为界,将 2014 年到 2024 年各年度的第 35 至次年第 7 周定义为秋冬季流行季,2015 年到 2024 年各年度的第 8 ~ 34 周定义为春夏季流行季,以此分别建立秋冬季和春夏季 MEM 模型。

2.3 模型参数 δ 的选择 基于 2014—2024 年四川省水痘周发病率数据,设定参数 δ 的测试范围为 2.0 至 3.0(步长 0.1),分别构建秋冬与春夏两个流行季的预警模型。结果显示,当秋冬流行季 δ = 2.9、春夏流行季 δ = 2.4 时,模型预测精度达到最优状态。不

同参数 δ 取值对应模型的评价结果见表 1 和表 2。此时秋冬季模型的灵敏度、特异度和约登指数分别为 0.791,0.966 和 0.757,春夏季模型的灵敏度、特异度和约登指数分别为 0.826,0.953 和 0.779。

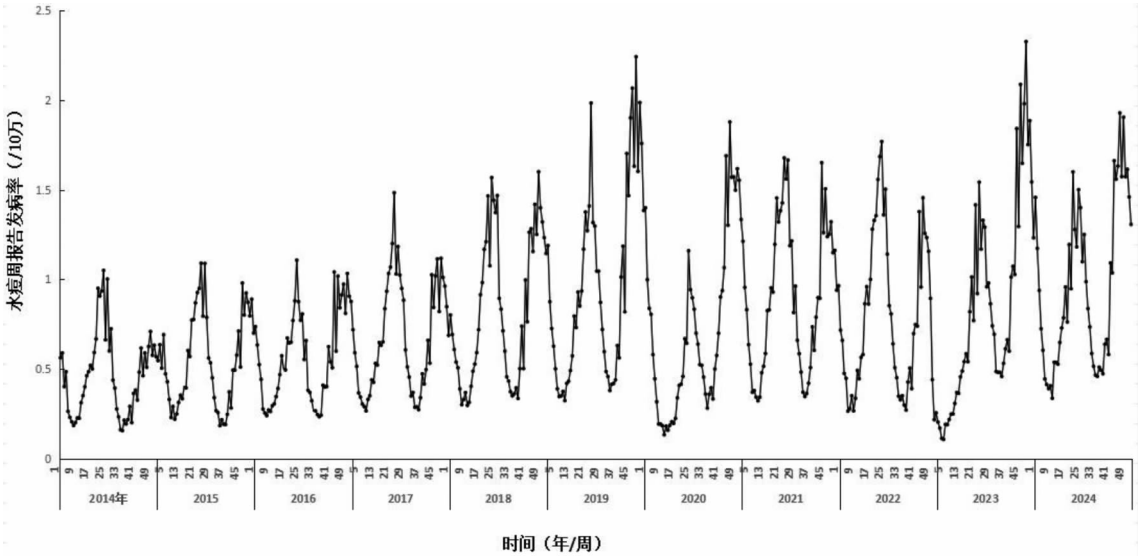


图 1　2014—2024 年四川省水痘周发病率分布图

Fig. 1　Distribution of weekly incidence rates of varicella in Sichuan Province, 2014 – 2024

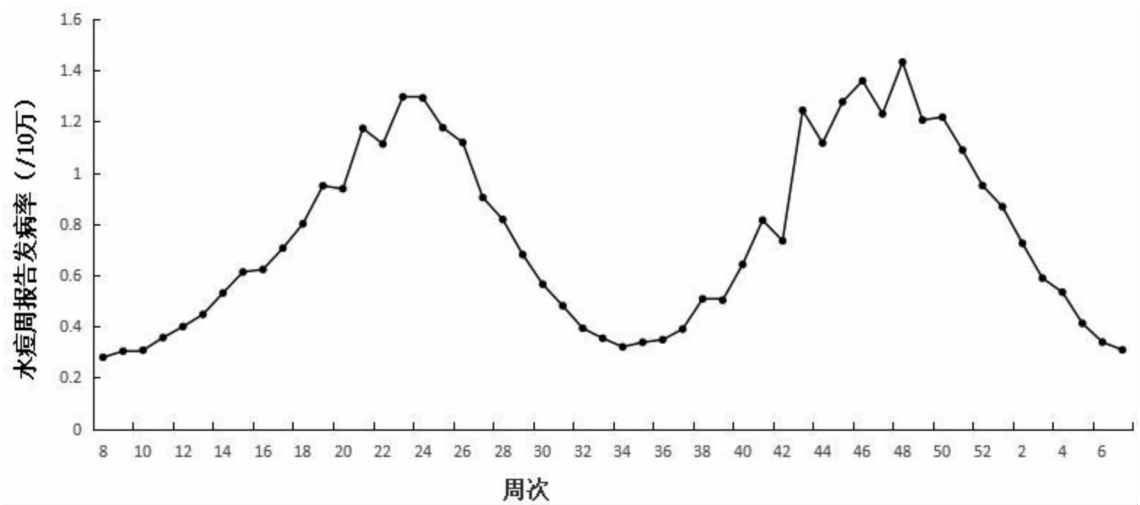


图 2　2014—2024 年四川省水痘周平均发病率分布图

Fig. 2　Distribution of average weekly incidence rate of varicella in Sichuan Province, 2014 – 2024

表 1　2014—2024 年四川省秋冬流行季水痘 MEM 模型参数 δ 的筛选

Table 1　Selection of the parameter (δ) for the MEM model for varicella during the autumn – winter seasons in Sichuan Province, 2014 – 2024

δ 值	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	马修相关系数	约登指数
2.0	0.892	0.777	0.901	0.759	0.664	0.669
2.1	0.873	0.840	0.926	0.744	0.691	0.714
2.2	0.851	0.841	0.924	0.712	0.664	0.692
2.3	0.842	0.874	0.938	0.708	0.680	0.716
2.4	0.824	0.885	0.943	0.688	0.669	0.710
2.5	0.821	0.890	0.945	0.685	0.669	0.711
2.6	0.782	0.920	0.957	0.649	0.652	0.702
2.7	0.769	0.944	0.969	0.642	0.660	0.713

（续表）

δ 值	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	马修相关系数	约登指数
2.8	0.771	0.936	0.965	0.642	0.655	0.707
2.9	0.744	0.979	0.988	0.626	0.666	0.723
3.0	0.612	0.993	0.995	0.529	0.563	0.605

表 2 2015—2024 年四川省春夏流行季水痘 MEM 模型参数 δ 的筛选

Table 2 Selection of the parameter (δ) for the MEM model for varicella during the spring – summer seasons in Sichuan Province, 2015 – 2024

δ 值	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	马修相关系数	约登指数
2.0	0.927	0.748	0.874	0.846	0.697	0.675
2.1	0.903	0.841	0.914	0.822	0.740	0.744
2.2	0.874	0.882	0.933	0.788	0.738	0.755
2.3	0.874	0.903	0.944	0.792	0.756	0.777
2.4	0.826	0.953	0.970	0.745	0.746	0.779
2.5	0.808	0.961	0.975	0.727	0.735	0.769
2.6	0.789	0.980	0.986	0.712	0.733	0.769
2.7	0.778	0.980	0.986	0.702	0.722	0.758
2.8	0.778	0.980	0.986	0.702	0.722	0.758
2.9	0.735	0.994	0.996	0.666	0.695	0.729
3.0	0.729	0.994	0.996	0.662	0.689	0.723

2.4 *历史数据拟合效果* 通过交叉验证法验证历史数据的模型拟合度时，将拟合效果较差（约登指数 < 0.5）的年份予以删除。最终，秋冬流行季预警模型的最优 δ 值为 2.9，模型灵敏度、特异度和约登指数分别为 0.837、0.933 和 0.770；春夏流行季预警模型的最优 δ 值为 2.6，模型灵敏度、特异度和约登指数分别为 0.902、0.943 和 0.845，各年份监测数据在删除前后的拟合效果详见表 3 和表 4。

表 3 2014—2024 年四川省秋冬流行季水痘 MEM 模型删除前后各年份监测数据交叉验证拟合效果

Table 3 Cross – validation results of the MEM model for varicella during the autumn – winter seasons in Sichuan Province, 2014 – 2024, before and after the exclusion of surveillance data

年份	灵敏度		特异度		阳性预测值		阴性预测值		马修相关系数		约登指数	
	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后
2014—2015	0.485	–	1.000	–	1.000	–	0.500	–	0.492	–	0.485	–
2015—2016	0.531	0.531	1.000	1.000	1.000	1.000	0.411	0.411	0.467	0.467	0.531	0.531
2016—2017	0.635	0.635	1.000	1.000	1.000	1.000	0.548	0.548	0.590	0.59	0.635	0.635
2017—2018	0.892	0.892	0.982	0.982	0.988	0.988	0.848	0.848	0.856	0.856	0.875	0.875
2018—2019	1.000	1.000	0.938	0.844	0.956	0.896	1.000	1.000	0.946	0.869	0.938	0.844
2019—2020	0.989	0.989	0.964	0.964	0.979	0.979	0.981	0.981	0.957	0.957	0.953	0.953
2020—2021	0.946	0.946	0.947	0.947	0.981	0.981	0.857	0.857	0.866	0.866	0.894	0.894
2021—2022	0.683	0.743	0.939	0.939	0.958	0.962	0.590	0.639	0.584	0.64	0.622	0.681
2022—2023	1.000	1.000	0.909	0.818	0.933	0.875	1.000	1.000	0.921	0.846	0.909	0.818
2023—2024	0.857	0.905	1.000	0.970	1.000	0.974	0.846	0.889	0.852	0.869	0.857	0.874

注：删除后指利用删除 2014/2015 年数据后的样本进行建模；“–”表示该年份删除或无法计算。

表 4 2015—2024 年四川省春夏流行季水痘 MEM 模型删除前后各年份监测数据交叉验证拟合效果

Table 4 Cross – validation results of the Moving Epidemic Method (MEM) model for varicella during the spring – summer seasons in Sichuan Province, 2015 – 2024, before and after exclusion of surveillance data by year

年份	灵敏度		特异度		阳性预测值		阴性预测值		马修相关系数		约登指数	
	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后
2015	0.717	0.733	1.000	1.000	1.000	1.000	0.685	0.750	0.701	0.742	0.717	0.733
2016	0.605	0.606	1.000	1.000	1.000	1.000	0.551	0.618	0.577	0.612	0.605	0.606
2017	0.817	0.900	1.000	1.000	1.000	1.000	0.720	0.861	0.767	0.880	0.817	0.900
2018	0.930	0.989	0.964	0.942	0.977	0.958	0.893	0.985	0.882	0.937	0.894	0.931
2019	0.969	1.000	0.912	0.952	0.955	0.971	0.939	1.000	0.887	0.961	0.881	0.952
2020	0.497	–	1.000	–	1.000	–	0.574	–	0.534	–	0.497	–

（续表）

年份	灵敏度		特异度		阳性预测值		阴性预测值		马修相关系数		约登指数	
	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后	删除前	删除后
2021	0.985	1.000	0.859	0.787	0.933	0.886	0.966	1.000	0.871	0.835	0.843	0.787
2022	0.984	1.000	0.873	0.896	0.929	0.931	0.970	1.000	0.878	0.913	0.857	0.896
2023	0.811	0.875	0.979	1.000	0.988	1.000	0.712	0.846	0.744	0.860	0.790	0.875
2024	0.919	1.000	0.932	0.900	0.970	0.944	0.828	1.000	0.824	0.922	0.850	0.900

注：删除后指利用删除 2020 年数据后的样本进行建模；“－”表示该年份删除或无法计算。

2.5　模型建立　MEM 模型显示，秋冬流行季开始阈值为 0.7，中等、高等和极高的流行强度阈值分别为 1.44、2.13 和 2.54。春夏流行季开始阈值为 0.6，中等、高等和极高的流行强度阈值分别为 1.30、1.80 和 2.08。就各年流行高峰的流行水平而言，2022－2023 年秋冬季达到极高流行水平，2019 年春夏季、2022 年春夏季以及 2018－2019 年秋冬季达到高流行水平，其余均为中或低流行水平，见表 5、表 6。

表 5　2015—2024 年四川省秋冬流行季水痘流行水平

Table 5　Epidemic Intensity levels of Varicella during the autumn－winter seasons in Sichuan Province, 2015－2024

年份	发病率峰值（/10 万）	峰值时间（周次）	流行阈值	中等强度阈值	高等强度阈值	极高强度阈值	流行水平
2015—2016	1.041	43	0.690	1.485	2.099	2.445	低
2016—2017	1.117	48	0.691	1.472	2.116	2.483	低
2017—2018	1.600	48	0.693	1.408	2.124	2.547	中
2018—2019	2.241	48	0.680	1.355	1.963	2.312	高
2019—2020	1.877	46	0.669	1.380	2.073	2.481	中
2020—2021	1.650	43	0.670	1.404	2.118	2.540	中
2021—2022	1.455	45	0.691	1.422	2.135	2.555	中
2022—2023	2.325	48	0.659	1.355	1.955	2.299	极高
2023—2024	1.928	46	0.665	1.373	2.047	2.443	中

表 6　2015—2024 年四川省春夏流行季水痘流行水平

Table 6　Epidemic Intensity levels of Varicella during the spring－summer seasons in Sichuan Province, 2015－2024

年份	发病率峰值（/10 万）	峰值时间（周次）	流行阈值	中等强度阈值	高等强度阈值	极高强度阈值	流行水平
2015	1.090	24	0.590	1.306	1.786	2.050	低
2016	1.107	23	0.587	1.333	1.743	1.963	低
2017	1.483	23	0.593	1.268	1.790	2.084	中
2018	1.567	23	0.585	1.238	1.752	2.042	中
2019	1.983	24	0.579	1.239	1.731	2.007	高
2021	1.677	23	0.573	1.230	1.722	1.999	中
2022	1.768	23	0.567	1.227	1.710	1.980	高
2023	1.542	23	0.590	1.247	1.771	2.068	中
2024	1.599	21	0.573	1.242	1.759	2.051	中

3　讨　论

我国从 2005 年开始通过传染病信息报告管理系统对水痘病例进行监测报告，并通过突发公共卫生事件报告管理信息系统对水痘暴发疫情进行监测，但目前水痘尚不属于我国法定报告传染病[8]，四川省也未将水痘纳入法定丙类传染病进行报告和管理，仅作为其他传染病进行监测。根据中国疾病预防控制信息系统数据统计，2024 年四川省共报告水痘 42 193 例，报告水痘突发公共卫生事件 10 起，占同期传染病突发公共卫生事件的 14.49%（居第三位），占同期学校传染病突发公共卫生事件的 23.81%，表明四川省水痘处于高发状态，水痘已成为引起学校暴发疫情的主要传染病之一。

MEM 现已广泛应用于流感、手足口病监测预警[9－10]，但较少用于水痘的监测预警。有研究建议 MEM 模型的流行季节数目不宜超过 10 年且最好为单峰流行，效果优于双峰流行，如果流行为双峰型则需进行拆分成为两个单峰进行分析[11]。既往研究[7,12－13]显示，全国水痘发病呈现明显的季节性分布特征，四川与全国水痘发病高峰基本一致，呈典型的季节性双峰分布特征。由于 MEM 模型要求流行季节呈单峰，因此部分地区在构建模型时，有的地区采用纳入主高峰监测数据建模[6,14]，有的地区采用季节拆

分建模[15-16]。针对四川省水痘发病呈现“双峰相当”流行特征,参考广东等地做法[16-17],将研究数据划分为春夏季(第 8 – 34 周)与秋冬季(第 35 – 次年 7 周)两个独立流行季分别建模。研究发现,秋冬流行季 2014—2015 年与春夏流行季 2020 年的模型拟合效果较差,约登指数分别为 0.485 和 0.497。为提高模型稳健性,删除以上年份数据后再次进行交叉验证。其中,秋冬流行季 2014—2015 年被删除,可能与 2013 年 7 月实施的《四川省水痘疫苗使用指导意见(试行)》建议普及 2 剂次疫苗接种政策有关,通过提高疫苗接种率影响了水痘流行规律,导致该年度流行曲线形态偏离预期模式;而春夏流行季 2020 年被删除,则可能与新冠疫情防控所采取的干预措施有关,致使流行规律出现异常[18]。在删除拟合不佳的年份后,重新筛选模型的最优 δ 值。经优化后,四川省水痘秋冬流行季模型的灵敏度、特异度和约登指数分别为 0.837、0.933 和 0.770,春夏流行季模型的灵敏度、特异度和约登指数分别达到 0.902、0.943 和 0.845。与仅选择单峰数据的新疆研究结果(0.73、0.98、0.71)相比[19],本研究模型效能指标结果更优,显示该方法在双峰分布传染病预警中的良好适应性。从流行季节阈值和持续时间来看,秋冬季均高于春夏季,提示秋冬季为防控关键期,这可能与秋冬季人群室内聚集增加、气候条件利于病毒传播有关。

接种水痘疫苗是预防和控制水痘最主要措施之一,预警结果显示,四川省 2022—2023 年秋冬季达到极高流行水平,2022 年春夏季达到高流行水平,这可能与疫情防控期间适龄儿童水痘疫苗接种率降低有关。据四川省 2022 年抗体水平调查结果报道[20],四川省 0 ~ 11 岁健康儿童水痘 – 带状疱疹病毒 IgG 抗体总阳性率仅为 40.8%,抗体水平总体较低,低于云南省昆明市官渡区(71.1%)[21]和浙江省杭州市(65.6%)[22],进一步印证了疫苗接种率对流行强度的显著影响。因此,建议适龄儿童接种 2 剂次水痘疫苗[23],四川省可综合考虑适时将水痘疫苗纳入省级儿童免疫规划。同时,建议四川省各地要积极开展水痘监测预警,及时准确评估水痘流行的开始时间、高峰时间、结束时间和流行强度等关键指标,可根据疾病高、中、低流行水平,分类开展疫情健康风险提示、警示信息通报及预警决策建议等措施,为优先接种疫苗区域、应急接种人群确定及疫情防控干预措施的强化时机提供决策依据。

综上所述,本研究通过拆分流行季的方法,证实了 MEM 模型在确定具有双峰流行特征的四川省水痘流行强度阈值方面具有良好的适用性,能够准确识别水痘流行期,为水痘流行病学的深入研究提供了方法学参考。然而,本研究也存在一定局限性:首先,仅纳入周发病率单一指标,评估维度不够全面;其次,现有文献中 MEM 模型主要应用于流感和手足口病,将其推广应用于水痘等传染病的报道相对较少,其普适性仍需进一步验证。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] 李兰娟,任红. 传染病学[M]. 9 版. 北京:人民卫生出版社,2018.
Li LJ, Ren H. Infectious diseases[M]. 9th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2018. (In Chinese)

[2] 林凯,刘雅文,徐震东,等. 1990—2021 年中国水痘和带状疱疹的疾病负担现状及变化趋势研究[J]. 首都公共卫生,2025,19(3):151 – 156.
Lin K, Liu YW, Xu ZD, et al. Research on the current situation and changing trends of the disease burden of varicella and herpes zoster in China,1990 – 2021[J]. Capital Journal of Public Health, 2025, 19(3): 151 – 156. (In Chinese)

[3] WHO. Global epidemiological surveillance standards for influenza [M]. Geneva: WHO, 2013.

[4] 杨筱婷,王龙,苟发香,等. 基于移动流行区间法的甘肃省手足口病流行阈值估计及强度分级研究[J]. 疾病监测,2025,40(7):876 – 882.
Yang XT, Wang L, Gou FX, et al. Threshold estimation and intensity classification of hand, foot and mouth disease in Gansu province based on moving epidemic method [J]. Disease Surveillance, 2025, 40(7): 876 – 882. (In Chinese)

[5] 谭亚运,曾令佳,秦颖,等. 移动流行区间法在中国 7 个气候区流感流行阈值制定中的应用效果评价[J]. 中华预防医学杂志,2019,53(10):1007 – 1011.
Tan YY, Zeng LJ, Qin Y, et al. Evaluation of the application of moving epidemic method on making influenza epidemic thresholds in the 7 climate zones in China[J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2019, 53(10): 1007 – 1011. (In Chinese)

[6] 丰燕,徐增豪,凌锋,等. 应用移动流行区间法分析 2012 – 2023 年浙江省流行性感冒流行强度[J]. 预防医学,2024,36(10):829 – 833.
Feng Y, Xu ZH, Ling F, et al. Application of moving epidemic method in evaluation of influenza epidemic intensity in Zhejiang Province from 2012 to 2023[J]. Journal of Preventive Medicine, 2024, 36(10): 829 – 833. (In Chinese)

[7] 邱晓玲,魏荣杰,张霞,等. 2013—2023 年四川省水痘流行特征及短期趋势分析[J]. 预防医学情报杂志,2025,41(7):851 – 860.
Qiu XL, Wei RJ, Zhang X, et al. Epidemiological characteristics and short – term trends of varicella in Sichuan Province from 2013 to 2023[J]. Journal of Preventive Medicine Information, 2025, 41(7): 851 – 860. (In Chinese)

[8] 随海田,李锦成,王淼,等. 2005—2015 年中国水痘流行病学特征[J]. 中国疫苗和免疫,2019,25(2):155 – 159.
Sui HT, Li JC, Wang M, et al. Varicella epidemiology in China, 2005 – 2015[J]. Chinese Journal of Vaccines and Immunization, 2019, 25(2): 155 – 159. (In Chinese)

[9] 崔志贞,许磊,高强,等. 应用移动流行区间法确定淮安市手足口病流行强度阈值[J]. 江苏预防医学,2025,36(1):29 - 32.
Cui ZZ, Xu L, Gao Q, et al. Determination of epidemic intensity threshold for hand - foot - mouth disease in Huai'an City using the moving epidemic interval method[J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2025, 36(1): 29 - 32. (In Chinese)

[10] 丁克琴,谷少华,劳旭影,等. 移动流行区间法在宁波市冬春季流感流行强度预警中应用[J]. 中国公共卫生,2023,39(7):817 - 822.
Ding KQ, Gu SH, Lao XY, et al. Application of moving epidemic method in early warning of influenza incidence intensity in winter - spring season in Ningbo city[J]. Chinese Journal of Public Health, 2023, 39(7): 817 - 822. (In Chinese)

[11] Yang WZ, Li ZJ, Lan YJ, et al. A nationwide web - based automated system for early outbreak detection and rapid response in China[J]. Western Pacific Surveillance and Response Journal: WPSAR, 2011, 2(1): 10 - 15.

[12] 董蒲梅,王淼,刘燕敏. 2016—2019 年中国水痘流行病学特征[J]. 中国疫苗和免疫,2020,26(4):403 - 406.
Dong PM, Wang M, Liu YM. Epidemiological characteristics of varicella in China, 2016 - 2019[J]. Chinese Journal of Vaccines and Immunization, 2020, 26(4): 403 - 406. (In Chinese)

[13] 王淼,曾祥,张一平,等. 中国 2007—2021 年水痘突发公共卫生事件流行病学特征[J]. 中国疫苗和免疫,2023,29(3):274 - 279.
Wang M, Zeng X, Zhang YP, et al. Epidemiological characteristics of varicella public health emergency events in China, 2007 - 2021[J]. Chinese Journal of Vaccines and Immunization, 2023, 29(3): 274 - 279. (In Chinese)

[14] 张婷瑜,张晓,李俊熹,等. 基于移动流行区间法和综合指数法构建广州市手足口病流行分级预警阈值[J]. 中华疾病控制杂志,2024,28(4):473 - 478.
Zhang TY, Zhang X, Li JX, et al. Establishment of early warning threshold of hand, foot and mouth disease based on moving epidemic method and synthetic index method in Guangzhou[J]. Chinese Journal of Disease Control & Prevention, 2024, 28(4): 473 - 478. (In Chinese)

[15] 伍霄雲,康殿巨,张孟媛,等. 移动流行区间法在四川省手足口病流行阈值及强度分级中的应用[J/OL]. 预防医学情报杂志,1 - 8 [2025 - 10 - 30]. https://doi.org/10.19971/j.cnki.1006 - 4028.250325N.
Wu XY, Kang DJ, Zhang MY, et al. Application of the mobile epidemic range method in the classification of epidemic thresholds and intensity levels of Hand - Foot - Mouth disease in Sichuan Province[J/OL]. Journal of Preventive Medicine Information, 1 - 8 [2025 - 10 - 30]. https://doi.org/10.19971/j.cnki.1006 - 4028.250325N. (In Chinese)

[16] 龙遗芳,张应涛,杨芬. 移动流行区间法在广东省手足口病流行强度评价中的应用[J]. 华南预防医学,2025,51(5):533 - 537,543.
Long WF, Zhang YT, Yang F. Application of moving epidemic method to determine the epidemic intensity of hand - foot - mouth disease in Guangdong Province, China[J]. South China Journal of Preventive Medicine, 2025, 51(5): 533 - 537, 543. (In Chinese)

[17] 姚汶伶,马蒙蒙,刘艳慧,等. 移动流行区间法在广东省广州市冬夏两季流行性感冒流行阈值及强度分级中的应用[J]. 疾病监测,2024,39(2):235 - 240.
Yao ML, Ma MM, Liu YH, et al. Application of moving epidemic method in establishing epidemic and intensity thresholds of influenza in winter and summer seasons in Guangzhou, Guangdong[J]. Disease Surveillance, 2024, 39(2): 235 - 240. (In Chinese)

[18] 胡永娇,邓晶,王青,等. 2014—2020 年重庆市水痘流行特征分析及疫情预测[J]. 公共卫生与预防医学,2024,35(2):39 - 43.
Hu YJ, Deng J, Wang Q, et al. Epidemic characteristics and prediction of varicella in Chongqing in 2014 - 2020[J]. Journal of Public Health and Preventive Medicine, 2024, 35(2): 39 - 43. (In Chinese)

[19] 王悦,亚库普·阿卜杜热扎克,陈薇,等. 2019—2020 年乌鲁木齐市水痘流行强度及高峰期预测研究[J]. 医学动物防制,2024,40(11):1041 - 1044, 1049.
Wang Y, Yakupu·Abodorezak, Chen W, et al. Study on varicella epidemic intensity and peak period prediction in Urumqi City from 2019 to 2020[J]. Journal of Medical Pest Control, 2024, 40(11): 1041 - 1044, 1049. (In Chinese)

[20] 杨庆,漆琪,张恺,等. 四川省 2022 年 0 ~ 11 岁健康儿童水痘 - 带状疱疹病毒抗体水平调查[J]. 中国疫苗和免疫,2023,29(5):554 - 558.
Yang Q, Qi Q, Zhang K, et al. Varicella - zoster virus antibody levels among healthy children aged 0 - 11 years in Sichuan province, 2022[J]. Chinese Journal of Vaccines and Immunization, 2023, 29(5): 554 - 558. (In Chinese)

[21] Xu YY, Liu SJ, Che XR, et al. Seroepidemiology of varicella in Hangzhou, China in the vaccine era[J]. Human Vaccines & Immunotherapeutics, 2018, 14(10): 2464 - 2471.

[22] 徐志荣,郭鸿平,周婷,等. 昆明市官渡区 2019 年 1 ~ 14 岁健康儿童水痘 - 带状疱疹病毒抗体水平[J]. 中国疫苗和免疫,2020,26(3):290 - 292.
Xu ZR, Guo HP, Zhou T, et al. Antibody levels against varicella - zoster virus among 1 - 14 - year - old healthy children in Guandu district of Kunming city, 2019[J]. Chinese Journal of Vaccines and Immunization, 2020, 26(3): 290 - 292. (In Chinese)

[23] 钱晓华,谭顺荣,杨彦基,等. 单剂水痘疫苗接种后人群中暴发水痘疫情的原因分析[J]. 中国生物制品学杂志,2012,25(11):1527 - 1529, 1534.
Qian XH, Tan SR, Yang YJ, et al. Reason for outbreak of varicella in population after immunization with a single dose of varicella vaccine[J]. Chinese Journal of Biologicals, 2012, 25(11): 1527 - 1529, 1534. (In Chinese)

收稿日期:2025-08-21