2015—2024年六安市水痘发病的季节性特征分析*

张 欢[1#] 张 磊[2#] 王 瑶[1] 陈亚飞[1] 潘 璠[1] 马冰欣[3] 秦 伟[1,3△]

【提 要】 **目的** 比较季节指数、圆形分布法、扫描统计量三种方法在水痘季节特征分析中的应用效果，为传染病季节性分析方法的选择及水痘防控策略的制定和优化提供科学依据。**方法** 采用季节指数法、分段式圆形分布法和SaTScan扫描法，对2015—2024年六安市水痘季节性进行综合分析，使用Mann-Kendall趋势检验分析发病高峰的变化趋势。**结果** 六安市水痘发病呈秋冬季为主、春夏季次之的双峰分布，季节指数显示1月、6月及10—12月为高发月份。圆形分布法计算春夏季高峰期集中在4月下旬至8月上旬，秋冬季高峰期在10月中旬至次年1月中旬。SaTScan扫描显示高峰期分别在5月下旬至6月下旬、11月上旬至12月中旬。春夏季发病高峰有后移趋势，秋冬季高峰有前移趋势。**结论** 三种方法均可用于多峰分布的传染病季节性分析。初步判断时可选用季节指数法，需要精确分析高峰范围可使用圆形分布法或扫描统计量，后者扫描出的时间范围更为精确。建议综合使用三种方法，以更精准地进行水痘的监测预警及防控。

【关键词】 水痘 季节指数 圆形分布法 扫描统计量 季节分析
【中图分类号】 R181.3；R195.1 【文献标志码】 A **DOI** 10.11783/j.issn.1002-3674.2026.05.023

传染病的季节性表现为特定季节内发病率上升，是疾病时间分布的关键特征[1]。准确分析传染病的季节性特征，并在流行高峰前实施针对性预防措施，对控制传染病传播至关重要。目前，常用的传染病季节性分析方法包括图表法、季节指数法、集中度法和圆形分布法，这些传统方法均有各自的优势和局限性，常用于单峰分布的疾病资料[2-4]，在多峰分布的传染病中应用较少。扫描统计量作为一种新兴技术，其分析结果可能更加精确、稳定，但在传染病季节性分析中的应用尚不广泛[5-6]。本研究以双峰分布的六安市水痘发病资料为样本，比较分析季节指数法、分段式圆形分布法和扫描统计量的应用效果，为传染病季节性分析方法的选择及水痘防控策略的制定和优化提供科学依据。

资料与方法

1. 数据来源

通过中国疾病预防控制信息系统收集2015—2024年六安市水痘病例信息。水痘病例为发病时间在2015年1月1日至2024年12月31日，现住址为六安市的报告病例。

2. 研究方法

（1）季节指数

季节指数（C）是根据某一月份或者季度占全年平均数值的大小，反映疾病在一个年度内各月份或季度的发病季节特征。计算公式为：

$$C = A/B \times 100\%$$

式中，A为各年某一月份病例数的平均数，B为各年所有病例数的月平均数。C≥100%表示该月为发病高峰月，C<100%为非高峰月。

（2）分段式圆形分布法

根据病例时间分布，将发病时间划分为春夏季（3—8月）和秋冬季（9月至次年2月）两个高峰季节，对两个高峰季节分别进行分析。其原理为将每个高峰季节的总天数转化为360°，则春夏季1天对应1.9565°（360°/184），秋冬季1天对应1.9890°（360°/181），闰年秋冬季1天对应1.9780（360°/182）。每个高峰季节第一天的0时记为0°，每月的中间一天为月中值，对应角度为月中位角。将每月的病例数按照月中位角进行三角函数转换，计算每个高峰季的集中趋势、平均角和角度标准差，再反推出发病高峰日和高峰期范围。计算公式为：

$$x = \frac{\sum f_i \cos\alpha_i}{n}, y = \frac{\sum f_i \sin\alpha_i}{n}, r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\bar{\alpha} = \arctan\left(\frac{y}{x}\right), s = \frac{180\sqrt{-2\ln r}}{\pi}, Z = nr^2$$

式中f_i为第i月病例数，α_i为第i月中位角，n为总病例数，$\bar{\alpha}$为平均角，s为角标准差，r为圆形分布集中趋势。n>100时，使用Rayleigh's检验进行平均角$\bar{\alpha}$的检验，检验统计量为Z，检验水准α=0.05。

（3）扫描统计量

通过建立动态时空二维圆柱体扫描窗口，可对研究区域内的病例数据进行不同时间尺度的扫描分析。选择Poisson分布模型，采用高值聚类扫描方式。参考相关文献[7-8]，将时间窗口设置为研究周期的20%，时间精度和聚合范围设为“天”。对总体发病数据使用回顾性季节扫描，再分别对春夏季和秋冬季两个发病高峰进行回顾性单纯时间扫描。根据期望病例数和

* 基金项目：安徽省高等学校科学研究项目（2024AH050195）
1.六安市疾病预防控制中心（237010）
2.安徽国防科技职业学院信息技术学院
3.安徽医科大学公共卫生学院
#共同第一作者
△通信作者：秦伟，E-mail：luancdc@163.com

实际病例数计算得到对数似然比(log likelihood ratio, *LLR*)和相对危险度(relative risk, *RR*)。*LLR*最大的扫描窗口作为时空聚集区,使用蒙特卡罗随机化试验进行检验,蒙特卡洛模拟次数为999,$P<0.05$时,认为存在发病高峰期。

3. 统计学处理

数据的整理、季节指数和圆形分布相关指标的计算均使用excel 2016软件实现,使用SaTScan 10.1.3进行回顾性季节扫描和单纯时间扫描,R 4.4.2软件进行平均角($\bar{\alpha}$)的Mann-Kendall趋势检验,检验水准$\alpha=0.05$,统计图使用GraphPad Prism 8.0.2绘制。

结　果

1. 概况

2015—2024年共报告六安市水痘病例25636例,其中2例死亡病例,年均报告发病率37.98/10万~85.34/10万。2019年报告发病率最高,病例数也最多,为4128例。其次为2018年,报告3349例,年均报告发病率69.77/10万。2016年年均报告发病率最低。由六安市水痘发病曲线(图1)可知,六安市各年的水痘发病均呈明显的春夏季和秋冬季双峰分布,春夏季高峰在3月至8月,秋冬季高峰在9月至次年2月,秋冬季为主高峰,春夏季为次高峰。

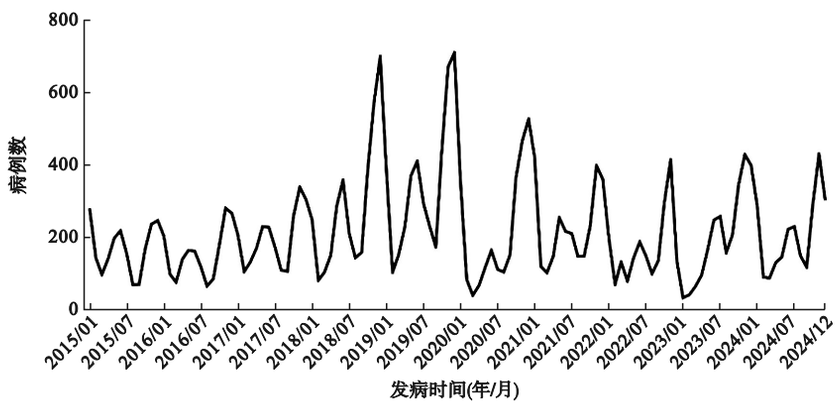


图1　2015—2024年六安市水痘发病曲线图

2. 季节指数法

对2015—2024年各月水痘的季节指数进行计算,结果如图2所示。1月、6月及10—12月的季节指数大于100%,为高发月份。其中11月的季节指数最高,达到196.32%,其次为12月的182.93%。

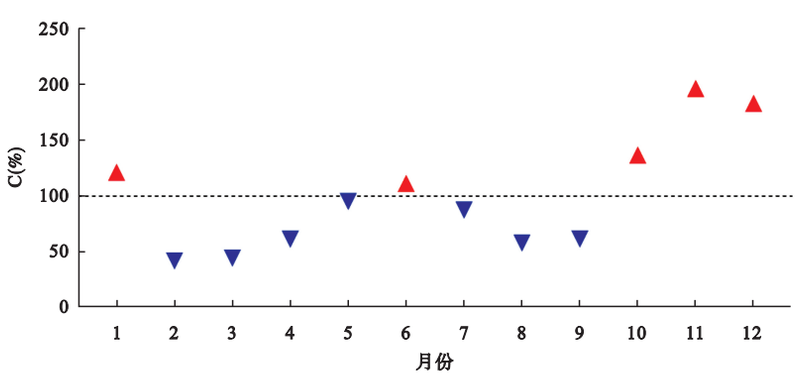


图2　2015—2024年六安市水痘季节指数分析结果

3. 圆形分布法

使用分段式圆形分布法对各年春夏季和秋冬季水痘发病数据分别进行分析。总体上看,2015—2024年六安市水痘春夏季发病高峰日在6月12日,高峰期为4月22日至8月2日。秋冬季发病高峰日在11月27日,高峰期为10月14日至次年1月10日。各年高峰季节的$\bar{\alpha}$均存在($P<0.001$)。结果详见表1。

4. SaTScan扫描

SaTScan季节扫描显示,2015—2024年六安市总体水痘发病高峰在10月23日至次年1月3日(*LLR*=2182.96, *RR*=2.44, $P=0.001$)。对各年的春夏季和秋冬季分别进行单纯时间扫描,2015—2024年六安市水痘春夏季总体发病高峰期为5月22日至6月26日,秋冬季总体发病高峰期为11月7日至12月12日。各年高峰期稍有差异,但整体结果较稳定,详见表1。

5. 发病高峰的趋势分析

使用Mann-Kendall趋势检验分析各年份高峰季节平均角($\bar{\alpha}$)的变化趋势发现,2015—2024年春夏季水痘的发病高峰有后移趋势($Z=3.04$, $P=0.002$),2015—2023年秋冬季水痘的发病高峰有前移趋势($Z=$

−2.40，*P*=0.016）。见表2。

表1 2015—2024年六安市水痘病例圆形分布法和SaTScan扫描法结果

高峰季		圆形分布法					SaTScan扫描法			
		r	高峰日	高峰期	*Z*值	*P*值	高峰期	*LLR*	*RR*	*P*值
2015年	春夏季	0.26	6月1日	4月14日—7月20日	56.11	<0.001	6月4日—7月5日	35.10	1.94	0.001
	秋冬季	0.27	12月7日	10月21日—1月23日	72.30	<0.001	11月11日—12月16日	40.43	1.89	0.001
2016年	春夏季	0.23	5月26日	4月6日—7月15日	38.90	<0.001	5月14日—6月18日	17.65	1.67	0.001
	秋冬季	0.27	12月4日	10月18日—1月20日	80.41	<0.001	11月9日—12月14日	58.03	2.05	0.001
2017年	春夏季	0.19	5月29日	4月6日—7月22日	36.09	<0.001	5月10日—6月13日	19.15	1.57	0.001
	秋冬季	0.29	11月28日	10月13日—1月12日	109.16	<0.001	11月7日—12月8日	52.82	1.93	0.001
2018年	春夏季	0.30	6月9日	4月25日—7月25日	108.94	<0.001	6月5日—6月20日	79.73	2.69	0.001
	秋冬季	0.37	12月2日	10月23日—1月12日	314.39	<0.001	11月23日—12月28日	178.38	2.36	0.001
2019年	春夏季	0.22	6月10日	4月20日—7月31日	82.15	<0.001	5月12日—6月16日	69.66	1.92	0.001
	秋冬季	0.40	11月27日	10月19日—1月6日	382.75	<0.001	11月8日—12月13日	207.72	2.46	0.001
2020年	春夏季	0.27	6月21日	5月4日—8月7日	41.40	<0.001	5月24日—6月28日	30.87	2.06	0.001
	秋冬季	0.30	12月4日	10月20日—1月18日	179.18	<0.001	12月10日—1月13日	83.00	1.91	0.001
2021年	春夏季	0.19	6月10日	4月18日—8月2日	40.14	<0.001	5月7日—6月11日	43.42	1.90	0.001
	秋冬季	0.33	11月25日	10月14日—1月7日	152.60	<0.001	11月2日—12月7日	84.03	2.15	0.001
2022年	春夏季	0.15	6月21日	4月24日—8月17日	17.01	<0.001	5月25日—6月11日	28.25	2.12	0.001
	秋冬季	0.53	11月3日	10月1日—12月6日	287.39	<0.001	10月22日—11月26日	241.31	4.12	0.001
2023年	春夏季	0.31	6月29日	5月15日—8月13日	93.28	<0.001	6月19日—7月22日	67.51	2.30	0.001
	秋冬季	0.27	11月23日	10月6日—1月9日	123.47	<0.001	11月21日—12月20日	62.82	1.89	0.001
2024年	春夏季	0.22	6月28日	5月8日—8月19日	44.11	<0.001	6月3日—7月8日	31.42	1.80	0.001
合计	春夏季	0.22	6月12日	4月22日—8月2日	466.82	<0.001	5月22日—6月26日	261.97	1.70	0.001
	秋冬季	0.32	11月27日	10月14日—1月10日	1454.04	<0.001	11月7日—12月12日	780.68	2.01	0.001

表2 各年份高峰季节平均角（$\bar{\alpha}$）Mann−Kendall趋势检验结果

高峰季	$\bar{\alpha}$(°)										*Z*值	*P*值
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024		
春夏季	182.61	170.57	176.65	198.43	199.68	220.12	198.88	220.19	236.21	235.37	3.04	0.002
秋冬季	193.40	188.93	176.84	185.73	174.94	189.48	171.74	127.16	165.28	—	−2.40	0.016

讨 论

水痘是由水痘−带状疱疹病毒原发感染引起的高传染性呼吸道疾病，其发病率和病例数居高不下，常在学校等集体单位引起暴发[9−11]。既往监测发现水痘引起的突发公共卫生事件在六安市疫苗可预防传染病中位居首位[12]，易感儿童抗体水平较低[13]，突破病例发生率高[14]，已成为六安市重点关注的公共卫生问题。因此本研究利用水痘开展三种季节性分析方法的应用比较，具有重要的公共卫生意义。

在描述传染病的时间分布时，常使用病例数或者发病率的统计图、表进行定性描述，如本文的图1，但缺乏统计量化标准，也无法准确确定发病高峰期。季节指数以月平均发病数进行计算，容易理解且操作简单，但缺乏统计推断，可能存在随机误差。本研究中使用季节指数能够确定水痘的高发月份（1月、6月、10—12月），但以月为单位的发病高峰不够精确，可作为发病高峰的初步判断[2]。圆形分布法和集中度均属于向量合成法，一般仅适用于单峰分布的资料分析[15]。对于双峰或多峰分布的疾病，可拆分为多个单峰分别使用圆形分布法进行分析，即分段式圆形分布法，但不同的拆分方式会直接影响分析结果[16−17]。六安市水痘发病曲线显示明显的双峰分布，根据季节指数的计算结果，我们将六安市水痘拆分为春夏季（3—8月）和秋冬季（9月至次年2月）两个高峰，分别进行圆形分布法的计算。圆形分布法中 *r* 的取值反映发病集中趋势，通过平均角和角标准差的计算能够得到精确的发病高峰日期和范围，同时能对平均角的随机误差进行统计推断[18−19]。本研究中除2023年外，其余各年份秋冬季的 *r* 值均大于同年春夏季，说明秋冬季水痘发病的集中趋势更强。计算得到的春夏季高峰期集中在4月下旬至8月上旬，秋冬季高峰期在10月中旬至次年1月中旬，与之前的研究基本一致[20−22]。SaTScan扫描得到的 *LLR* 值同样说明秋冬季为主高峰，扫描出的发病高峰期分别在5月下旬至6月下旬、11月上旬至12月中旬，均在圆形分布法计算的高峰期范围内，其结果更加精确。SaTScan扫描可以适应不同的数据粒度和时间分辨率（天/月/年），实际应用中更加灵活便捷[23]。但扫描时间窗口参数的设置对发病高峰的影响较大，目前尚无统一标准。

六安市水痘的季节特征可能与六安市所处的地理气候有关[24]。既往研究表明，暴露在低温和高温下会显著增加患水痘的风险，低温的影响更大、更持久[25-27]。秋冬季人群活动多聚集在室内，且使用空调等设备密闭取暖，可能更容易造成水痘传播[28]。除气温外，平均气压、昼夜温差和日照时数对水痘发病都有显著的影响[25]。圆形分布法和SaTScan扫描得到的高峰期均为学生在校活动期间，发病低谷为寒暑假期间，学生之间的接触机会可能也影响了水痘的季节性特征[29-31]。我们还发现六安市水痘春夏季和秋冬季的发病高峰分别有后移和前移的趋势，提示在水痘的监测预警中要充分考虑季节变化趋势，以提高对未来水痘流行时间和强度预测的准确性。

综上，季节指数法、圆形分布法和扫描统计量均可用于多峰分布的传染病季节性分析，且各有优缺点，实际应用中可根据场景进行选用或结合使用。对于发病高峰范围要求不精确，仅进行初步判断，可选用季节指数法。圆形分布法和扫描统计量可确定以“天”为单位的高峰期范围，并进行统计推断。扫描统计量更加灵活，确定的时间范围更为精确。分析结果显示六安市水痘发病呈现秋冬季为主、春夏季次之的双峰分布特征，春夏季和秋冬季高峰分别有后移和前移趋势。建议做好水痘精确监测预警，在流行高峰前开展针对性防控工作。鉴于2剂次水痘疫苗有较好的保护效果，且成本效益较高，提高易感人群的疫苗接种率尤为重要。水痘发病高峰期与学生在校活动期高度重合，建议在入学前积极开展宣传教育，以提高学生2剂次水痘疫苗接种率。

参　考　文　献

[1] 张晶晶, 刘永鹏, 田庆,等. 2005—2020年山东省手足口病发病的季节性特征分析[J]. 现代预防医学,2021,48(22):4054-4058.

[2] 刘天, 黄继贵, 姚梦雷,等. 发病季节性分析的7种常用方法比较[J]. 预防医学,2019,31(2):187-190.

[3] 李翠华, 孙妍兰. 2013—2022年青海省西宁市手足口病季节性特征分析[J]. 疾病监测,2024,39(9):1157-1162.

[4] 岳玉娟, 任东升, 鲁亮. 2010—2021年中国发热伴血小板减少综合征流行病学分析[J]. 疾病监测,2024,39(7):824-830.

[5] 唐咸艳, 周颖, 李峤,等. 不同统计方法在手足口病季节性分析中的比较研究[J]. 中国卫生统计,2015,32(3):410-413.

[6] 陈红缨, 李阳. 时-空数据模型在传染病监测中的应用[J]. 公共卫生与预防医学,2017,28(5):78-81.

[7] 周路平, 张颖, 刘玮,等. 2005—2023年宁夏回族自治区水痘流行病学特征[J]. 中国疫苗和免疫,2024,30(5):583-589.

[8] 候立娟, 黄三唤, 施婷婷,等. 2017—2022年合肥市水痘时空分布及空间聚集性分析[J]. 实用预防医学,2024,31(5):538-542.

[9] Wang M, Li X, You M, et al. Epidemiological Characteristics of Varicella Outbreaks - China, 2006-2022[J]. China CDC Wkly, 2023,5(52):1161-1166.

[10] 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.

[11] 王瑶, 秦伟, 许小康,等. 皖西地区某寄宿制学校水痘疫情暴发原因分析[J]. 安徽预防医学杂志,2022,28(1):35-38.

[12] 潘璠, 金正格, 王瑶,等. 2005—2019年六安市疫苗针对传染病突发公共卫生事件流行特征分析[J]. 预防医学,2021,33(7):715-717.

[13] 陈蓓蕾, 王瑶, 陈智超,等. 六安市1～12岁儿童水痘-带状疱疹病毒抗体水平调查[J]. 预防医学,2022,34(5):503-506.

[14] 许小康, 孟祥梅, 王瑶,等. 六安市某小学水痘暴发疫情突破病例分析[J]. 预防医学,2020,32(3):289-291.

[15] 饶华祥, 石燕, 蔡芝锋,等. 基于集中度和圆形分布法的青海省手足口病季节特征分析[J]. 中华疾病控制杂志,2018,22(4):345-348.

[16] 张宇, 李慧, 胡昊,等. 基于分段式圆形分布法分析2017—2022年眉山市手足口病季节性特征[J]. 预防医学情报杂志,2025,41(1):14-19.

[17] 周莹, 夏芳芳, 蔡振练,等. 广州市海珠区2013—2022年流行性感冒发病的季节性特征分析[J]. 热带医学杂志,2024,24(7):1053-1056.

[18] 耿浩翔, 储娜, 李明,等. 2010—2023年安徽省发热伴血小板减少综合征季节性特征分析[J]. 热带病与寄生虫学,2024,22(5):262-266.

[19] 宇应涛, 郭争社, 董雯婷,等. 2003—2019年西安市某三级甲等医院肾综合征出血热患者特征分析[J]. 中国卫生统计,2021,38(1):100-103.

[20] 王苗苗, 胡跃华, 尤美莹,等. 2006—2021年我国水痘突发公共卫生事件流行病学特征[J]. 中华流行病学杂志,2023,44(12):1893-1898.

[21] Xuan K, Zhang N, Li T, et al. Epidemiological Characteristics of Varicella in Anhui Province, China, 2012-2021: Surveillance Study [J]. JMIR Public Health Surveill, 2024,10:e50673.

[22] 张夏晴, 吕勇, 王瑶,等. 六安市2010—2022年水痘流行特征和水痘疫苗保护效果[J]. 中国疫苗和免疫,2023,29(3):285-289.

[23] 曹飞, 雷永春, 朱小康,等. 时空监测软件应用研究进展[J]. 现代医药卫生,2021,37(22):3877-3880.

[24] Zhang Z, Liu N, Zhang J, et al. Epidemiological Characteristics of Varicella under Different Immunisation Strategies in Suzhou Prefecture, Jiangsu Province[J]. Vaccines (Basel), 2022,10(10):1745.

[25] Zhang T, Qin W, Nie T, et al. Effects of meteorological factors on the incidence of varicella in Lu'an, Eastern China, 2015-2020[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2023,30(4):10052-10062.

[26] Wang Z, Li X, Li S, et al. Association between ambient temperature and varicella among adults in Qingdao, China during 2008-2019 [J]. Int J Environ Health Res, 2023,33(7):629-638.

[27] 王瑶, 潘璠, 张欢,等. 气温对六安市水痘发病风险的影响研究[J]. 预防医学,2023,35(8):692-696.

[28] 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.

[29] Bakker KM, Eisenberg MC, Woods R, et al. Exploring the Seasonal Drivers of Varicella Zoster Virus Transmission and Reactivation[J]. Am J Epidemiol, 2021,190(9):1814-1820.

[30] Li Y, Li J, Zhu Z, et al. Exposure-response relationship between temperature, relative humidity, and varicella: a multicity study in South China[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2023,30(3):7594-7604.

[31] 付瑞, 张锡彦, 葛恒康,等. 2018—2022学年淮安市中小学生水痘因病缺课的流行病学特征分析[J]. 现代预防医学,2024,51(21):3911-3916.

（责任编辑：张　悦）