

DOI:10.13350/j.cjpb.250727

• 综述 •

我国轮状病毒流行特征及相关疫苗研究进展

丁春卉*

(南京工业大学江浦校区医务室,江苏南京 210000)

【摘要】 轮状病毒严重威胁公共卫生,尤其对婴幼儿健康危害极大。本研究聚焦我国轮状病毒相关领域,深入剖析其流行特征及疫苗研发进展。在流行特征方面,详述病毒的病原学特性,包括三层衣壳、双链 RNA 结构与常见血清型分类,阐述致病机制。我国轮状病毒流行特征呈现明显时空差异,时间上秋冬季高发且存在长期动态变化,地域方面城乡、南北等区域各具特点,人群感染以婴幼儿为主。临床层面,病毒感染引发腹泻、呕吐等症状,还可能致脱水等并发症。当前已上市的国产、进口疫苗各具优势,在预防感染、减轻症状、降低住院率上成效显著。我国轮状病毒疫苗接种策略逐步完善,本研究为后续深入研究流行因素、优化疫苗设计与接种策略提供全面参考。

【关键词】 轮状病毒;流行特征;疫苗;综述

【文献标识码】 A **【文章编号】** 1673-5234(2025)07-0952-04

[*Journal of Pathogen Biology*. 2025 Jul.;20(07):952-955.]

Epidemiological characteristics of rotavirus and research progress of related vaccines in china

DING Chunhui (Nanjing Tech University, Nanjing Jiangsu Province 210000, China)

【Abstract】 Rotavirus seriously threatens public health, especially posing a great hazard to the health of infants and young children. This study focuses on the rotavirus-related fields in China and conducts an in-depth analysis of its epidemiological characteristics and the progress of vaccine research and development. In terms of epidemiological characteristics, it elaborates on the etiological characteristics of the virus, including the triple-layered capsid, double-stranded RNA structure and the classification of common serotypes, and expounds on the pathogenic mechanism. The epidemiological characteristics of rotavirus in China show obvious spatio-temporal differences. In terms of time, the incidence is high in autumn and winter, and there are long-term dynamic changes. Geographically, urban and rural areas, as well as the northern and southern regions, each have their own characteristics. In terms of the population, infants and young children are mainly infected. Clinically, viral infection can cause symptoms such as diarrhea and vomiting, and may also lead to complications such as dehydration. Currently, the domestic and imported vaccines that have been marketed each have their own advantages and have achieved remarkable results in preventing infection, alleviating symptoms and reducing hospitalization rates. The vaccination strategy for rotavirus in China has been gradually improved. This study provides a comprehensive reference for the follow-up in-depth study of epidemic factors, optimization of vaccine design and vaccination strategies.

【Keywords】 rotavirus; epidemiological characteristics; vaccines; review

* 轮状病毒(Rotavirus, RV)作为全球范围内引发婴幼儿腹泻的首要病原体,对公共卫生构成了重大威胁,尤其在发展中国家,其危害更为突出。据世界卫生组织(WHO)统计,在疫苗广泛应用之前,轮状病毒每年致使约22万5岁以下儿童死亡,超200万儿童住院治疗,给无数家庭带来沉重的伤痛与负担。在我国,轮状病毒同样是导致婴幼儿腹泻的关键致病因子,5岁以下儿童因腹泻病住院的47.8%由其引发,每年约有1.3万例死亡病例,这不仅对儿童的健康成长造成严重阻碍,还引发了一系列社会问题,如医疗资源的紧张、家庭经济压力的增大等^[1,2]。深入探究轮状病毒的流行特征,能够精准把握其传播规律、季节性变化、人群易感性差异等关键信息,为制定科学、有效的防控策略提供坚实的数据支撑。而疫苗作为预防轮状病毒感染的核心手段,对其研究进展予以密切关注,有助于评估现有疫苗的成效与局限,加速新型疫苗的研发进程,进而提升疫苗接种的覆盖率与保护效力^[3]。鉴于此,本研究聚焦我国

轮状病毒的流行特征及相关疫苗研究进展,旨在为降低轮状病毒感染率、减轻疾病负担贡献力量,守护婴幼儿的健康成长。

1 轮状病毒的病原学特性

1.1 病毒结构与分类 轮状病毒隶属于呼肠病毒科轮状病毒属,是一种无包膜的双链 RNA 病毒,其病毒颗粒呈现出独特的二十面体结构,直径约为70~75 nm。从内至外,由核心、内层衣壳、外层衣壳三层衣壳精细包裹着11个双链 RNA 片段,共同构成了轮状病毒复杂而有序的结构体系^[4]。核心部分包含着病毒的遗传物质,即双链 RNA,它承载着病毒的关键基因信息,掌控着病毒的复制、转录等生命活动;内层衣壳由 VP6 蛋白组成,这一蛋白不仅为病毒提供了结构支撑,还在病毒的血

* **【通信作者(简介)】** 丁春卉(1984-),女,江苏南京人,本科,主治医师,主要研究方向为内科、全科医学。E-mail: 13913009217@163.com

清型分类中扮演着重要角色。依据 VP6 抗原性的差异,轮状病毒被细分为 A-J 等多个组群,其中 A 组轮状病毒是引发 5 岁以下儿童急性胃肠炎的最常见病原体;外层衣壳则由 VP4 和 VP7 两种蛋白构成,它们作为病毒的主要抗原,能够诱导机体产生中和抗体,是轮状病毒免疫反应的关键靶点。同时,基于 VP4 和 VP7 抗原性的不同,又可进一步将 A 组轮状病毒划分为多种 P 型和 G 型血清型,这些不同血清型的组合,使得轮状病毒呈现出丰富的多样性^[5-6]。目前,已发现与人类腹泻相关的 A 群轮状病毒有 14 种 G 型抗原和 17 种 P 型抗原,其中, G1、G2、G3、G4、G9 以及 P[8]、P[4] 等血清型在全球范围内广泛流行,是引发婴幼儿轮状病毒感染的常见罪魁祸首。在我国, G9P[8]、G3P[8]、G1P[8]、G2P[4] 和 G3P[4] 这几种血清型组合超过 A 群轮状病毒相关腹泻病例的 70%,其中 G9P[8] 更是占据主要流行株的地位^[7-8]。

1.2 致病机制 轮状病毒主要通过肠道感染,当病毒经粪-口途径或其他潜在途径进入人体后,凭借其外层衣壳蛋白 VP4 与小肠黏膜上皮细胞表面的特异性受体紧密结合。在胰蛋白酶等肠道内物质的“协助”下,VP4 蛋白被裂解,进一步促进病毒与细胞的融合,从而病毒颗粒顺利进入上皮细胞内^[9]。入侵后的轮状病毒利用细胞内的物质与能量,以自身携带的双链 RNA 为模板,大量复制新的病毒基因组,并合成各种病毒蛋白。随着病毒的疯狂增殖,上皮细胞不堪重负,逐渐发生变性、坏死,最终脱落,致使小肠黏膜屏障遭受严重破坏,肠道的防御力降低。受损的小肠黏膜上皮细胞功能紊乱,正常的吸收与分泌机制失衡。一方面,肠黏膜上的绒毛酶,如乳糖酶、麦芽糖酶、蔗糖酶等活性显著降低,双糖转化为单糖的过程受阻,未被吸收的双糖在肠腔内积聚,形成高渗透压环境,吸引大量水分涌入肠腔,引发渗透性腹泻;另一方面,病毒感染刺激肠神经系统,激活肠道的分泌功能,促使肠液过度分泌,进一步加重腹泻症状。同时,肠道的紊乱还会引发呕吐反射,导致患儿频繁呕吐,无法正常进食与补充水分,严重时可引发脱水、电解质紊乱,甚至危及生命,给患儿的健康带来极大威胁。

2 我国轮状病毒流行特征

2.1 时间分布规律

2.1.1 季节性波动 依据我国多地长期监测数据,轮状病毒感染呈现出鲜明的季节性波动特征,秋冬季高发态势显著。以北方地区为例,每年 10 月至次年 2 月间,轮状病毒感染率急剧攀升,寒冷干燥的气候为病毒传播营造了“温床”。在此期间,婴幼儿腹泻病例中轮状病毒阳性检出率常超 50%,部分地区甚至高达 70%。这主要归因于低温环境下,病毒在物体表面存活时间延长,可达数周之久,且人们户外活动减少、室内通风不畅,增加了病毒传播风险。而南方地区,虽整体流行趋势与北方相似,但流行高峰略滞后,通常出现在 11 月至次年 3 月,这与南方冬季相对温和、湿度较大,病毒传播条件稍有差异有关。值得注意的是,部分地区在春夏季亦会出现小高峰。如长江中下游地区,5~7 月间,伴随气温升高、雨水增多,轮状病毒活跃度有所上升,感染病例增多。这或许是因为夏季人们频繁使用空调,室内外温差大,人体免疫力易受影响,同时,雨水冲刷可能致使水源污染,为病毒传播提供契机。

2.1.2 长期流行趋势变化 近年来,我国轮状病毒流行高峰时段与强度悄然生变。一方面,随着气候变暖、城市化进程加

速,北方部分城市冬季流行高峰有所提前,且峰值感染率呈下降趋向。如北京地区,近十年监测数据显示,轮状病毒感染高峰从原本的 12~1 月提前至 11~12 月,最高感染率由过往的 65% 降至 50% 左右,这可能与冬季供暖期提前、室内环境改善,以及公众卫生意识提升相关。另一方面,南方地区在暖冬年份,流行高峰持续时间延长,感染率波动加剧。在一些沿海城市,暖冬时轮状病毒感染可从 10 月绵延至次年 4 月,且不同年份感染率差异显著,反映出气候异常对病毒流行的复杂影响^[10-12]。此外,病毒流行强度的变化还与人群免疫水平、防控措施落实程度紧密相连,疫苗接种率较高地区,流行高峰感染人数明显减少,疫情防控成效初显。

2.2 地域分布差异

2.2.1 城乡流行对比城市与农村地区 在轮状病毒流行特征上呈现出诸多差异。在发病率层面,城市地区整体发病率相对低于农村。以北京、上海等一线城市为例,城区儿童轮状病毒年感染率较低,而同期周边农村地区感染率较高。这主要归因于城市卫生条件优越,饮用水净化、污水处理系统完备,有效减少了病毒传播媒介;且家长健康素养较高,注重儿童手卫生、饮食卫生等防控措施落实。

在病毒血清型别分布上,城市以 G9P[8]、G1P[8] 等优势血清型为主,且型别相对集中。农村地区则血清型更为多样,除常见型别外,还常检测出一些相对罕见的血清型组合,如 G5P[6]、G8P[4] 等。这或许与农村地区家禽家畜养殖普遍,人与动物接触频繁,增加了不同毒株交叉传播、重组变异几率相关,为病毒防控带来额外挑战。

2.2.2 不同区域特点 我国幅员辽阔,南北方及沿海、内陆地区因自然环境、社会经济因素不同,轮状病毒流行特征各异。北方地区,受温带大陆性气候影响,冬季寒冷干燥,轮状病毒感染高峰期集中且明显,10 月至次年 2 月间病例数占全年 70% 以上,婴幼儿聚集场所,如幼儿园、早教班等,常出现聚集性发病^[13]。南方地区,亚热带、热带气候使得全年气温较高、湿度大,病毒传播季节延长,流行高峰虽多见于秋冬季,但春夏季亦有散发,且南方夏季台风、暴雨频繁,易引发洪涝灾害,水源污染风险增大,进一步助推病毒传播,部分沿海城市在台风季后轮状病毒感染率可显著上升。

发达地区,凭借优质医疗资源与较高疫苗接种率,重症病例占比相对少,疫情传播速度能得到有效遏制;欠发达地区,医疗基础设施薄弱、疫苗接种普及慢,一旦疫情暴发,重症患儿救治难度大,且人口流动相对少,当地流行毒株型别相对稳定,但偶有输入性病例引发新毒株传播风险,需强化监测预警^[13]。

2.3 人群感染特征

2.3.1 年龄分布 轮状病毒感染在婴幼儿群体中呈现出显著的高发态势,5 岁以下儿童作为主要易感人群,承受着病毒侵袭的巨大风险。其中,6 月龄至 2 岁婴幼儿更是感染的“重灾区”^[14]。这一阶段婴幼儿免疫系统尚处发育初期,肠道黏膜屏障脆弱,对病毒的抵御能力薄弱。母乳中抗体水平随月龄增长而降低,而自身免疫系统尚未成熟,难以有效识别与清除入侵病毒,致使病毒有机可乘。以医院儿科门诊数据为例,秋冬季婴幼儿腹泻病例中,轮状病毒检测阳性率在 6 月龄至 2 岁年龄段最高,患儿频繁腹泻、呕吐,脱水、电解质紊乱风险骤增,严重

威胁健康成长^[15]。随着年龄增长,儿童感染轮状病毒后的症状逐渐减轻,感染率亦有所下降。5岁以上儿童感染率相对较低,约为10%~20%,且多表现为轻症或无症状感染。这得益于免疫系统的逐步完善,机体能够更高效地应对病毒挑战^[16]。

青少年与成人虽非轮状病毒感染的主要群体,但在特定情形下,感染风险不容忽视。如在人员密集场所,如学校和养老院等,病毒易快速传播,引发小规模感染。此外,免疫功能低下者,如艾滋病患者、接受化疗的肿瘤患者,以及老年人,由于机体免疫防线削弱,感染后病情往往较重,可能出现持续腹泻、脱水,甚至引发其他并发症,给临床治疗带来诸多难题^[17]。

2.3.2 性别与感染关联 综合多地区流行病学调查结果,性别对轮状病毒感染率的影响并不显著。在同等环境暴露条件下,男性与女性儿童感染轮状病毒的概率大致相当。部分研究数据显示,男性儿童感染率略高于女性,差异通常在5%以内,无统计学意义^[18]。

不过,在病情严重程度方面,一些研究提示可能存在性别差异。有报道称,男性患儿在感染轮状病毒后,发生中重度脱水、电解质紊乱的比例相对较高,这或许与男性儿童生理特点、饮食习惯,以及家长对不同性别儿童症状关注程度差异有关。男性儿童好动、出汗多,腹泻呕吐时更易失水;部分家长对男孩饮食管控相对宽松,可能导致肠道负担加重,进而影响病情发展。但这些因素对病情的具体影响机制尚待深入探究,以精准阐释性别在轮状病毒感染进程中的潜在作用。

3 轮状病毒感染的临床影响

3.1 常见症状表现 轮状病毒感染婴幼儿后,通常在1~3 d潜伏期后骤然发病,腹泻作为最突出症状,来势汹汹。患儿每日排便次数可达10余次甚至数十次,粪便多呈现为黄色水样或蛋花汤样,这是由于病毒侵袭小肠黏膜上皮细胞,致使细胞变性、坏死,肠道吸收功能严重受损,大量未被吸收的肠液积聚于肠腔,伴随肠道蠕动加速,形成频繁腹泻。在感染高峰期的秋冬季节,儿科门诊因轮状病毒腹泻就诊患儿占比颇高^[19]。

呕吐症状亦是常见症状,多在发病初期出现,常先于腹泻或与腹泻相伴而生,较为频繁,严重时进食后即刻呕吐,可导致患儿无法正常摄入营养与水分,加剧脱水风险。发热症状紧随其后,多为低热至中度发热,体温一般在37.5~39℃之间,持续2~3 d,少数患儿可出现高热,体温超39℃,发热与病毒引发机体免疫反应相关,免疫系统为对抗病毒“侵袭”,释放炎性介质,刺激体温调节中枢,引发体温升高。部分患儿还伴有腹痛、腹胀、哭闹不安等表现,腹痛多为脐周阵发性隐痛,因肠道痉挛、蠕动紊乱所致,这些症状交织,给患儿带来极大痛苦,严重影响患儿健康状态与生长发育。

3.2 并发症风险 轮状病毒感染若未得到及时、有效控制,极易引发一系列并发症,给患儿健康带来更大威胁。脱水作为最为常见且凶险的并发症之一,时刻危及患儿生命。患儿因频繁剧烈呕吐与大量水样腹泻,短时间内体液大量流失,若未及时补充,脱水迅速接踵而至。轻度脱水时,患儿便会显现出口干舌燥、尿量减少、精神稍显萎靡等症状;随着脱水加剧,中度脱水患儿皮肤弹性显著下降、眼窝深陷、囟门凹陷,哭闹时泪少甚至无泪,心率加快,血压开始波动;而重度脱水一旦发生,患儿将陷入昏迷状态,血压急剧下降,引发休克,生命垂危。据临床统计,约30%~50%的轮状病毒感染患儿会出现不同程度脱

水,其中5%~10%发展为重度脱水,在医疗资源匮乏地区,因脱水救治不及时导致的死亡病例屡见不鲜。

与脱水相伴相生的电解质紊乱,同样是不容忽视的并发症。大量体液丢失过程中,钠、钾、氯等关键电解质也随之大量流失,打乱了机体正常的电解质平衡。低钠血症可致患儿嗜睡、抽搐、昏迷;低钾血症引发肌无力、心律失常,严重时心脏骤停;低钙血症使得患儿手足抽搐、惊厥发作。电解质紊乱不仅加重患儿病情,还极大增加了治疗复杂性与难度,需严密监测并精准补充电解质,稍有差池便可能引发严重后果。

部分患儿在感染轮状病毒后,还会遭受呼吸系统与中枢神经系统损害。病毒感染引发机体免疫过度激活,炎性介质大量释放,波及临近呼吸系统,诱发支气管炎、肺炎,患儿出现咳嗽、咳痰、气促、呼吸困难等症状,延长病程,增加住院时长与治疗成本。约2%~3%患儿会出现惊厥、急性脑病、脑炎等中枢神经系统并发症,惊厥发作时患儿全身抽搐、意识丧失,急性脑病与脑炎则可致患儿精神萎靡、意识障碍、运动功能异常,遗留神经系统后遗症,给患儿家庭与社会带来沉重负担,凸显出及时防控轮状病毒感染、降低并发症风险的紧迫性^[20]。

4 轮状病毒疫苗研究进展

4.1 目前已有疫苗轮状病毒疫苗 最早由比利时团队于1982年研制,其效果未达到预期,随后各国科研机构不断改进。目前,全球已有多种轮状病毒疫苗上市,包括单价和五价疫苗,接种后可有效降低感染率和重症风险。其中葛兰素史克公司的口服五价重配轮状病毒减毒活疫苗(RV5)和默克公司的口服单价轮状病毒减毒活疫苗(RV1)应用较广。RV5需接种3剂,保护效力可达69.9%;RV1接种2剂,保护效力约85%^[21]。不同疫苗在不同地区的保护效果存在差异,如RV5在中山市的研究显示保护效果低于临床试验数据^[22]。我国以兰州生物制品研究所为例,其研制的疫苗涵盖单价与三价等品类。在早期临床试验中,对数千名婴幼儿持续观测,发现接种后机体能快速产生特异性免疫应答,有效抵御本土流行毒株侵袭^[23]。

4.2 新型疫苗研发动态

4.2.1 亚单位疫苗研发 亚单位疫苗作为轮状病毒新型疫苗研发的关键方向,聚焦病毒关键蛋白,如VP6、VP7等,致力于构建更为安全、高效的免疫屏障。鉴于VP7作为决定病毒血清型的关键蛋白,科研团队针对流行的G1、G3、G9等主要血清型,分别克隆其VP7基因,运用昆虫细胞-杆状病毒表达系统进行表达。所表达的VP7蛋白经纯化后,免疫动物可诱导产生针对相应血清型的中和抗体。部分研究将多种血清型VP7蛋白联合使用,旨在拓宽疫苗血清型覆盖范围,抵御不同毒株侵袭。当前,亚单位疫苗研发虽已取得阶段性成果,但仍面临蛋白表达量提升、免疫原性增强、佐剂优化等诸多挑战。

4.2.2 病毒样颗粒疫苗探索 病毒样颗粒(Virus-like particles, VLPs)疫苗作为轮状病毒新型疫苗研发的前沿方向,它凭借与天然病毒高度相似的结构,却无病毒核酸,完美规避了毒力回复突变风险,在免疫原性与安全性上展现独特优势。在构建轮状病毒VLPs时,研究人员多聚焦于VP2、VP6和VP7等关键蛋白。部分研究表明,免疫后的动物在后续轮状病毒攻毒实验中,感染率显著降低,症状减轻,肠道病毒载量锐减,有力证实VLPs疫苗的免疫保护效力^[24]。

4.2.3 嵌合疫苗研究前沿 嵌合疫苗作为轮状病毒新型疫苗

研发的新兴力量,展现出独特的创新理念与应用潜力。它以轮状病毒 VP6 蛋白为稳固基石,巧妙融合其他关键抗原表位。科研人员将目光聚焦于 VP4 抗原表位,将其精准嵌入 VP6 载体,成功构建 VP4/P2A-VP6 基因,并于真核表达载体中稳定表达。动物实验中,以小鼠为模型,接种该嵌合疫苗后,机体免疫应答迅速激活。血清学检测显示,VP4 和 VP6 特异性抗体水平显著升高^[25]。

5 结语

我国轮状病毒流行呈现显著的季节性与地域性差异,秋冬季高发,北方地区尤为明显,南方则稍有滞后且存在小高峰波动;城乡间发病率、血清型分布不同,农村防控难度更大;5岁以下儿童易感,6月龄至2岁为感染高峰,性别对感染率影响小,但男性患儿病情或稍重。临床以腹泻、呕吐、发热为主要症状,脱水、电解质紊乱等并发症凶险,严重威胁患儿生命健康。轮状病毒疫苗接种对预防儿童腹泻有显著效果,积极推动疫苗接种,结合多种防控措施,能有效降低感染风险,保障儿童健康。当前,我国轮状病毒疫苗属于非免疫规划疫苗,需个人自费自愿接种。然而,受多种因素制约,接种率处于较低水平。经济因素不容忽视,部分家庭,尤其是农村及偏远地区家庭,经济收入有限,难以承担疫苗费用;此外,疫苗供应不足、家长认知不足等问题也制约了接种率的提升。

【参考文献】

- [1] Black RE, Perin J, Yeung D, et al. Estimated global and regional causes of deaths from diarrhoea in children younger than 5 years during 2000-2021: a systematic review and Bayesian multinomial analysis[J]. *Lancet Glob Health*, 2024, 12(6): e919-e928.
- [2] WHO. Rotavirus vaccines: WHO position paper-July 2021 [J]. *Wkly Epidemiol Rec*, 2021, 96(28): 301-320.
- [3] Henschke N, Bergman H, Hungerford D, et al. The efficacy and safety of rotavirus vaccines in countries in Africa and Asia with high child mortality[J]. *Vaccine*, 2022, 40(12): 1707-1711.
- [4] Caddy S, Papa G, Borodavka A, et al. Rotavirus research, 2014-2020[J]. *Virus Res*, 2021(304): 198499.
- [5] 曾渊君. 轮状病毒 VP4 蛋白交叉中和单抗及其抗病毒机制研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2022.
- [6] Kuri P R, Goswami P. Reverse vaccinology-based multi-epitope vaccine design against Indian group A rotavirus targeting VP7, VP4, and VP6 proteins [J]. *Microb Pathog*, 2024(193): 106775.
- [7] Diller JR, Carter MH, Kanai Y, et al. Monoreassortant rotaviruses of multiple G types are differentially neutralized by sera from infants vaccinated with ROTARIX and RotaTeq[J]. *J Infect Dis*, 2021, 224(10): 1720-1729.
- [8] 甸子琴, 樊茂, 蒋红君, 等. 2015-2017年云南省轮状病毒感染情况及基因分型分析[J]. *中国病原生物学杂志*, 2019, 14(1): 78-82, 87.
- [9] Tate JE, Burton AH, Boschi-Pinto C, et al. Global, regional, and national estimates of Rotavirus mortality in children <5 years of age, 2000-2013[J]. *Clin Infect Dis*, 2016, 62(Suppl 2): s96-s105.
- [10] 奇梦怀, 张宇耕, 闫绍宏, 等. 2017-2021年呼和浩特市哨点医院5岁以下儿童病毒性腹泻监测分析[J]. *医学动物防制*, 2023, 39(8): 732-735.
- [11] 李彩霞, 张昌, 张薇, 等. 2021-2022年广东省5岁以下婴幼儿腹泻病例中A组轮状病毒分子流行病学分析[J]. *中国人兽共患病学报*, 2024, 40(9): 834-840.
- [12] 朱瑞. 2018年-2021年住院患儿轮状病毒胃肠炎的流行病学特征及临床分析[D]. 山西医科大学, 2023.
- [13] 王双双, 陈丽琴, 李亚玲, 等. 2020至2022年新生儿轮状病毒感染流行病学特征分析[J]. *昆明医科大学学报*, 2023, 44(5): 26-31.
- [14] 杨王建, 吴杰, 吴月璞. 2012-2021年丽水市7308例儿童A群轮状病毒感染流行特征及与气候因素的相关性分析[J]. *中国妇幼保健*, 2024, 39(2): 325-328.
- [15] 郑琼梅. 1574例轮状病毒和诺如病毒性肠炎住院患儿临床特征差异分析[D]. 大理大学, 2023.
- [16] Troeger C, Khalil IA, Rao PC, et al. Rotavirus Vaccination and the global burden of rotavirus diarrhea among children younger than 5 years[J]. *JAMA Pediatr*, 2018, 172(10): 958-965.
- [17] Oh EJ, Jeon JS, Kim JK. Effects of climatic factors and particulate matter on Rotavirus A infections in Cheonan, Korea, in 2010-2019[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2021, 28(32): 42332-44338.
- [18] Florez ID, Nino-Serna LF, Beltran-Arroyave CP. Acute Infectious Diarrhea and Gastroenteritis in Children[J]. *Current Infect Dis Rep*, 2020, 22(2): 4.
- [19] 赵华, 黄为, 谢武娟, 等. 2018-2019年重庆市病毒性腹泻病原监测分析[J]. *公共卫生与预防医学*, 2023, 34(6): 68-71.
- [20] Karve S, Krishnarajah G, Korsnes JS, et al. Burden of acute gastroenteritis, norovirus and rotavirus in a managed care population [J]. *Human Vaccines Immunother*, 2014, 10(6): 1544-1556.
- [21] Troeger C, Khalil IA, Rao PC, et al. Rotavirus vaccination and the global burden of rotavirus diarrhea among children younger than 5 years [J]. *JAMA Pediatr*, 2018, 172(10): 958-965.
- [22] 叶世南, 王翠玲, 毛云霞, 等. 2018-2023年中山市轮状病毒腹泻流行特征及轮状病毒疫苗保护效果研究[J]. *预防医学情报杂志*, 2024, 40(12): 1517-1522.
- [23] 黄腾, 李荣成, 周旭, 等. 国产Ⅲ价轮状病毒基因重配株疫苗安全性和免疫原性初步研究[J]. *应用预防医学*, 2014, 20(6): 349-351, 354.
- [24] Harish, Changotra, Avni, Vij. Rotavirus virus-like particles (RV-VLPs) vaccines: An update [J]. *Rev Med Virol*, 2017, 27(6): 10.
- [25] Saha D, Ota MOC, Pereira P, et al. Rotavirus vaccines performance: dynamic interdependence of host, pathogen and environment[J]. *Exp Rev Vaccines*, 2021, 20(8): 945-957.

【收稿日期】 2025-01-21 【修回日期】 2025-04-14