

下呼吸道感染疾病负担及影响因素研究进展

马圆¹ 韩萱¹ 马礼兵^{1,2} 冯录召¹

¹中国医学科学院北京协和医学院群医学及公共卫生学院,北京 100730;²桂林医学院附属医院呼吸与危重症医学科,桂林 541001

通信作者:冯录召,Email:fengluzhao@cams.cn;马礼兵,Email:malibing1984@163.com

【摘要】 下呼吸道感染对人群健康产生重大威胁,特别在婴幼儿及老年人群,其造成的健康损害与疾病负担尤为显著。受到地域、人群、病原检测手段等多方面的影响,下呼吸道感染在各个国家和地区的情况、病原谱差异很大。该组疾病的流行及严重程度受到病原体、人群特征、外界环境等多种因素的共同影响。及时了解当地下呼吸道感染的疾病流行情况、病原谱及其影响因素,有助于因地制宜地制定综合防控策略及更加合理地分配和利用医疗卫生资源。

【关键词】 下呼吸道感染; 流行病学; 疾病负担; 病原谱; 影响因素

基金项目:中国医学科学院中央级公益性科研院所基本科研业务费(2021-RC330-002)

Research progress on disease burden and influencing factors of lower respiratory tract infection

Ma Yuan¹, Han Xuan¹, Ma Libing^{1,2}, Feng Luzhao¹

¹School of Population Medicine and Public Health, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China; ²Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Affiliated Hospital of Guilin Medical University, Guilin 541001, China

Corresponding authors: Feng Luzhao, Email: fengluzhao@cams.cn; Ma Libing, Email: malibing1984@163.com

【Abstract】 Lower respiratory tract infection poses a major threat to the population's health, which brings about severe health damage and disease burden, especially in infants and the elderly. The prevalence and pathogen spectrum of lower respiratory tract infections differ in countries and regions as influenced by various factors such as region, population, and pathogen detection methods. The prevalence and severity of this group of diseases are jointly affected by pathogens, host characteristics, and the external environment. Monitoring programs set for the local epidemic situation, pathogen spectrum, and influencing factors of lower respiratory tract infection helps develop comprehensive prevention and control strategies according to local conditions and allocate and utilize medical and health resources more reasonably.

【Key words】 Lower respiratory tract infection; Epidemiology; Disease burden; Pathogenic spectrum; Influencing factors

Fund program: Non-profit Central Research Institute Fund of Chinese Academy of Medical Sciences (2021-RC330-002)

下呼吸道感染(lower respiratory tract infection, LRTI)包括肺炎、支气管扩张症、支气管炎、气管炎等疾病^[1],是常见的感染性疾病,也是全球主要的感染性疾病死因。根据

WHO评估,2019年LRTI在全球总死因、全球伤残调整寿命年(disability adjusted life years, DALYs)的病因中均排名第4位^[2],是需要优先解决的公共卫生问题。

DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20220505-00383

收稿日期 2022-05-05 本文编辑 张婧

引用格式:马圆,韩萱,马礼兵,等.下呼吸道感染疾病负担及影响因素研究进展[J].中华流行病学杂志,2023,44(2):341-347. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220505-00383.

Ma Y, Han X, Ma LB, et al. Research progress on disease burden and influencing factors of lower respiratory tract infection [J]. Chin J Epidemiol, 2023, 44(2):341-347. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20220505-00383.



全球疾病负担研究(GBD)估计,2019年全球LRTI发病率为6 295/10万,死亡率为34.3/10万,2019年共造成249万人死亡和9 720万DALYs^[3]。我国学者基于GBD结果进一步估计,中国2019年的LRTI发病率和死亡率分别为3 926/10万、13.0/10万^[4]。LRTI在各年龄段都引起一定死亡率,其中在老年人与儿童中更高。尤其对于5岁以下儿童,LRTI是首要的感染性疾病死因,占总死亡数的15%,全球平均死亡率高达118.9/10万^[5]。中国LRTI的疾病负担高于欧洲、北美洲地区国家,以2017年GBD数据为例,美国、英国的5岁以下儿童LRTI发病率分别为4 771.1/10万和2 584.8/10万,死亡率分别为3.3/10万和3.1/10万,而中国则高达9 231.5/10万和26.3/10万^[5]。

受时间、地域、人群、病原检测手段等多方面的影响,LRTI在各国家和地区的流行情况、病原谱差异很大^[1,3]。其流行及严重程度受到病原体、人群特征、外界环境多种因素的共同影响。因此,及时了解当地LRTI的疾病流行情况、病原谱及其影响因素,有助于因地制宜地制定综合防控策略,以及更加合理地分配和利用医疗卫生资源。

一、LRTI的疾病负担

在LRTI中,细支气管炎在2岁以下儿童中较为常见,2004–2018年加拿大安大略省2岁以下儿童住院率为12.7/1 000人年~14.0/1 000人年,死亡率为2.8/10万人年^[6]。细支气管炎多为轻度、自限性感染,但部分儿童会进展为呼吸衰竭,是婴幼儿住院的主要病因^[7],同时也是5岁以下儿童的重要死因^[8]。支气管扩张曾被认为是罕见病,但近年来由于其发病率和患病率逐渐升高而越发被关注。支气管扩张的发病率随着年龄的增长显著增加,发病的平均年龄在60~70岁^[9]。欧洲、北美洲地区国家的支气管扩张患病率为67.0/10万~566.1/10万^[10],中国40岁以上人群为1 249/10万^[11],而在澳大利亚、阿拉斯加、新西兰等地的儿童原著居民和社会低收入人口的负担更为显著^[12],患病率分别达到14.7/1 000^[13-14]、15/1 000新生儿^[15]、1.6/1 000^[16]。肺炎是临床中常见的疾病^[17],造成了严重的医疗资源消耗和经济负担^[18]。其中,肺结核作为肺炎的一种特殊类型,2020年的发病率为127/10万^[19],造成全球1 000万人患病和150万人死亡^[20],在全球死因排序中居第13位。肺炎是LRTI疾病中的重要类型,本文将重点介绍肺炎的疾病负担。

社区获得性肺炎(community-acquired pneumonia, CAP)是感染性肺炎常见的临床类型。2010–2012年美国<18岁儿童CAP的发病率为157/10万,其中,<2岁最高(622/10万),其次为2~4岁(238/10万),≥5岁儿童则进一步降低^[21]。而美国18–64岁人群的CAP发病率为327/10万,≥65岁人群则高达2 093/10万^[22]。我国存在流感疫苗、肺炎球菌疫苗接种率低等问题^[23-24],一定程度上导致CAP的发病率相对较高,其中以儿童为甚。有研究显示,我国城市地区CAP发病率为713/10万,随年龄的变化呈现U形曲线:5岁以下儿童和80岁以上老年人分别为6 580/10万、1 498/10万^[25]。另一项研究则提示,中国5岁以下儿童中,1岁以下婴幼儿的

发病率最高^[26]。CAP发病率除了在各年龄组间有差异,在我国城乡地区之间、不同地理区域之间也有差异,即城市地区的发病率高于农村地区^[26],东部地区发病率最高,其次是东北地区^[25],而东南地区CAP发病率则相对较低^[27]。

CAP是各国人群住院和死亡的重要原因。2001–2014年美国年龄标化的肺炎相关年均住院率为465/10万,其中,2014年肺炎相关住院的总费用为843.9亿美元^[28]。根据美国国家生命统计数据报告,2013年流感和肺炎死亡率为18.0/10万^[29]。对于儿童CAP患者,美国<1岁儿童住院率最高,为567.6/10万,1~4、5~19岁依次降低^[28]。中国台湾地区略低于美国,18岁以下CAP患者住院率为69.5/10万,其中2~5岁儿童最高,达到229.7/10万,平均住院天数为8.4 d^[30]。中国31个省份的住院负担则相对较重,5岁以下儿童住院率为1 396/10万,1岁以下儿童最高,为2 752/10万,平均住院天数、平均医药费分别为9.8 d和5 722元^[26]。对于65岁以上老年人,2015年美国CAP住院率、死亡率、总住院费用分别为847/10万、22.5/10万、2.3亿美元,均高于心肌梗死、中风、骨质疏松性骨折^[31]。中国全因肺炎住院负担研究显示,50~69岁老年人肺炎住院率为940/10万,≥70岁老年人达到2 030/10万^[32]。此外,CAP与远期死亡增加相关。一项美国研究则指出,CAP住院患者的病死率为6.5%,其中,30 d病死率为13.0%,6个月为23.4%,1年后高达30.6%^[22]。一项覆盖了中国3个省份13个中心的中国肺炎研究网(CAP-China)研究则显示,≥65岁CAP住院患者的平均病死率为5.7%,60 d病死率为7.6%。其中,≥85岁老年人的病死率最高,达到11.9%,60 d病死率达到14.1%^[33]。

1. 肺炎链球菌肺炎:肺炎链球菌是导致CAP的重要病原体,在欧洲、北美洲、亚太等地区均被发现是常见的致病菌^[18,34-35]。据统计,全球死于肺炎链球菌感染的儿童中,81%表现出肺炎^[36],造成全球至少18%的严重肺炎病例和33%的肺炎死亡^[37]。越来越多的证据表明,肺炎链球菌很可能与病毒共同感染或为病毒的继发感染^[38-40]。

在肺炎球菌结合疫苗(PCV)使用后,全球5岁以下儿童LRTI死亡率降低^[38]。但在全球范围内,PCV接种水平存在明显的地区差异,肺炎链球菌感染仍是儿童和成年人LRTI发病和死亡的首要病因。有研究估计,2015年全球肺炎链球菌性肺炎导致的死亡占LRTI总死亡的55.4%^[41]。2016年全球肺炎链球菌性肺炎的发病率为26.7/1 000,死亡率为16.1/10万,致命归因分数(fatal attributable fraction)为50.05%;其中70岁以上老年人的发病率(72.8/1 000)和死亡率(122.3/10万)高于5岁以下儿童(70.7/1 000、54.0/10万),但致命归因分数(45.74%)低于5岁以下儿童(52.25%)^[42]。

2. 流感病毒性肺炎:流感病毒感染可导致LRTI,LRTI住院患者中的流感比例比门诊/急诊患者低23%^[43]。流感相关的严重疾病和住院往往发生在高龄、有潜在健康问题的人群^[44]。

研究估计,2017年全球流感导致的LRTI发病率、住院率、死亡率分别为713.1/10万、123.8/10万、1.9/10万,中国则

分别为 151.8/10 万、52.4/10 万、0.8/10 万;流感在全球范围内共导致 9 459 000 例 LRTI 相关的住院、81 536 000 住院天数和 145 000 例死亡^[43]。老年人的住院和死亡风险较高,2021 年一项流感相关的 LRTI 系统综述表明,全球≥65 岁人群的住院率高于 20~64 岁成年人,分别为 437/10 万和 80/10 万^[45];另一项研究则显示,全球<65、65~74、≥75 岁人群流感相关死亡率分别为 1.0/10 万~5.1/10 万、13.3/10 万~27.8/10 万、51.3/10 万~99.4/10 万^[46]。此外,流感疾病负担还受不同季节、循环毒株、是否接种流感疫苗及接种率等因素的影响^[47]。

二、LRTI 病原学特征

LRTI 多表现为多种病原微生物的混合感染。近年来, CAP 的病原学特征发生改变,病毒性肺炎的检出率明显增加,而细菌性肺炎的检出率降低。根据中国 CAP 研究数据,2001~2005 年,细菌病因(包括非典型病原体和其他细菌)远高于病毒病因(分别为 30.3%~53.1% 和 10.6%~19.0%),但在 2009~2016 年,病毒感染检出率提高至 21.1%~34.9%,细菌检出率下降到 7.8%~24.8%^[48-49];欧洲、北美洲地区国家表现出相同的趋势^[50]。在欧洲,48.4% 的 LRTI 患者检出病毒,21.1% 的患者检出细菌,10.0% 的患者同时检出了细菌和病毒^[40]。而美国肺炎住院患者中,病毒性肺炎约占 22%,细菌性肺炎占 11%,病毒合并细菌感染占 3%,真菌或分枝杆菌占 1%^[51]。分子生物学诊断技术的发展,扩大了可检测病原体的种类和范围,可导致病毒病原体的检出率升高。而细菌感染的检出率下降可能的原因:①抗菌药物的广泛使用使得细菌性病原体的检出率下降,例如患者痰标本的获取多在早期经验性使用抗菌药物之后^[52];②肺炎球菌疫苗等的接种使得相关感染减少^[53];③1990~2010 年的病原诊断技术可能导致了细菌病原体的过度诊断,例如依赖血清学检查可导致衣原体和支原体的检出率偏高^[50];④现有诊断技术能够检测的病原体种类仍然有限^[54],约 50% 无法做出病原学诊断^[50]。例如,有研究指出,一种血清型特异的尿酶联免疫吸附试验可使肺炎球菌的诊断率提高 15%~20%^[55],但这种检测只能检测出 13 价 PCV 中的菌株,而这些菌株的发病率已经大幅度下降^[56]。

受到人口年龄结构、是否吸烟、人群免疫水平、抗菌药物的使用,以及病原体变异等的影响,LRTI 的病原谱特征也因地而异、因时而异^[1]。2015 年一项基于全球监测数据的系统研究提示,LRTI 主要归因于 4 种病原体:肺炎链球菌、流感嗜血杆菌、呼吸道合胞病毒(RSV)、流感病毒^[57],但病原体在不同国家的分布情况差异较大。例如,在病毒类病原体中,欧洲地区 LRTI 患者中较常见的是鼻病毒(20.1%)、流感病毒(9.9%)、冠状病毒(7.4%)^[40];美国成年人 CAP 住院患者中,较常见的病毒为鼻病毒(8.8%),其他病毒依次为流感病毒(5.8%)、人偏肺病毒(4.0%)、RSV(3.1%)^[51];而中国较常见的为流感病毒(28.4%),其次是 RSV(3.6%)、腺病毒(3.3%)、冠状病毒(3.0%)^[49]。其原因可能在于病原体的流行受到疫苗接种、人群特征(年龄、吸烟、

共患病等)、气候气象等因素的影响^[49,58]。

儿童 CAP 常见病原体的构成与成年人不同,且在不同年龄段间有差异。美国一项研究指出,18 岁以下肺炎住院患者中,较常见的病原体包括:RSV(28%)、鼻病毒(27%)、人偏肺病毒(13%)、腺病毒(11%)、肺炎支原体(8%)。其中,RSV、腺病毒、人偏肺病毒在<5 岁儿童中更为常见,而肺炎支原体在≥5 岁儿童中更为常见^[21]。而在中国台湾地区 18 岁以下儿童中,病原体检出率由高到低依次为:肺炎链球菌(31.6%)、肺炎支原体(22.6%)、腺病毒(5.9%)、流感病毒(4.9%)、RSV(4.9%)。其中,RSV、肺炎链球菌、肺炎支原体分别在<2、2~5、>5 岁儿童中更为常见^[30]。值得注意的是,国内外病原学研究结果的差异,除了受到不同地域、人群本身的差异的影响外,还与研究纳入检测的病原体种类有关,因此,不同研究中报告的病原体检出率不宜直接比较。但是,各研究中的病原体检出率等仍有助于了解不同地域、不同人群中病原体的分布特征。此外,研究结果受检测方法影响较大,病原培养、抗体、抗原、PCR 等检测方法的敏感度差异较大^[59],需要结合实际科学判读。

三、LRTI 及致病的影响因素

人体暴露病原体后,是否感染发病,以及发病后产生的不同临床表现受到病原体、人群特征、外界环境的共同影响。病原体与宿主之间相互作用、相互适应,而外界环境也会同时影响病原体和宿主,包括病原体的变异和生存力、人的免疫状态和环境适应等。因此,LRTI 的发生发展是一个受多因素影响的复杂过程。

1. 病原体:不同病原体的传播能力、致病力不同。在病毒性病原中,流感病毒、人鼻病毒、副流感病毒的基本再生数(R_0)为 1~5^[60],感染后通常症状轻,且多具有自限性,但人感染 H5N1、H5N6、H7N9 等亚型禽流感病毒的病死率高,分别达到 66.0%、68.8%、40.4%^[61-63]。RSV 传染性较强(R_0 : 1.2~9.1),是 5 岁以下儿童病毒性肺炎常见的病原体,是 1 岁以下婴儿急性 LRTI 住院的重要因素^[35,64]。人类冠状病毒(HCoV-229E、HCoV-NL63、HCoV-OC43、HCoV-HKU1)是引起普通感冒的常见病原体,但 β 属的中东呼吸综合征冠状病毒(MERS-CoV)、严重急性呼吸综合征病毒(SARS-CoV)以及正在大流行的新型冠状病毒(2019-nCoV)的致病性强,可引起严重肺炎和死亡^[65-66]。其中,MERS-CoV 不易在人与人之间传播, R_0 为 0.7,而 SARS-CoV 为 1.7~1.9^[65],2019-nCoV 的 Omicron 变异株 R_0 的均值达 8.2^[67]。人腺病毒(R_0 : 2.3~5.1)在封闭和拥挤的环境下常可暴发流行^[68-69],可引起严重肺炎,也可导致眼结膜炎、膀胱炎和胃肠道疾病等,近期报道的多个国家出现了不明原因儿童严重急性肝炎病例可能亦与腺病毒感染有关。细菌所导致的肺炎往往较为严重,致死性相较于病毒病更强^[42]。例如,肺炎链球菌可引起侵袭性肺炎链球菌疾病,包括菌血症、脑膜炎和菌血症性肺炎等,是 5 岁以下儿童致死、致残的主要病因之一^[70]。

传播途径和感染部位也是病原体致病的影响因素。LRTI 病原体主要经呼吸道飞沫(咳嗽、喷嚏)和接触传播

(如握手后触摸眼鼻等)^[71]。其中,飞沫传播主要累及传染源周围的密切接触者,是流感病毒、百日咳杆菌、脑膜炎双球菌等病原体的主要传播方式。部分病原体还可见气溶胶传播,气溶胶能够比飞沫传播的距离更远,在空气中飘浮的时间更长,主要病原体为结核分枝杆菌、麻疹病毒^[72]等。此外,腺病毒的主要传播途径为呼吸道飞沫和接触传播,但也可经粪口途径传播,病毒感染结膜、胃肠道后,经眼结膜分泌物、粪便及尿液排出体外^[69]。

除病原体本身的特性外,病原体变异也影响着疾病的流行强度,例如抗原变异、耐药变异等。抗原变异以流感病毒为代表,易发生漂移和转变,是流感季节性流行和大流行的原因^[73]。目前病原体耐药变异已经成为全球性的健康威胁和重要致死原因^[74],而LRTI是病原体耐药性疾病负担较重的感染性疾病综合征,在2019年导致40多万例耐药性直接相关和150多万例间接相关的死亡。肺炎链球菌作为全球重要LRTI死因^[42],位居全球耐药性死亡相关的病原体前6位^[74]。当前检测平台匮乏与能力不足等导致诊断不及时、治疗不精准,以及二线药和三线药的可及性差等,都会加剧耐药流行。

2. 人群特征:LRTI的发病和死亡风险受到年龄、健康状况、营养状况、免疫状态等人群特征的影响。儿童、老年人、慢性病人(心脑血管疾病、糖尿病、慢性阻塞性肺疾病、恶性肿瘤等)较一般人群更容易患LRTI,且发生严重并发症和死亡的风险较高^[75]。儿童营养不良是LRTI疾病负担重要的影响因素^[4],有研究指出,儿童营养不良的改善使2015年LRTI相关的DALYs较2005年减少了8.9%^[41]。老年人由于机体免疫力以及吞咽、咳嗽反射功能的下降,患吸入性肺炎的风险增加^[76],对于患有脑血管疾病等基础疾病的老年人,病情更为严重,病死率高达40%~60%^[77]。另外,随着器官移植、肿瘤化疗、免疫治疗等医学技术的广泛应用,免疫缺陷相关肺炎的发病率逐年升高^[78]。免疫缺陷患者受到常见肺炎病原体和机会病原体的双重威胁,大大增加了LRTI的患病风险,且治疗效果差、病死率高^[78-79]。

接种相关疫苗是预防LRTI发病和死亡的重要干预措施。根据GBD数据,由于B型流感嗜血杆菌(Hib)疫苗和PCV接种率的增加,2016年Hib和肺炎球菌性肺炎在全球范围内所致的5岁以下儿童LRTI死亡较2000年分别降低了5.86%和7.24%^[42],而全球5岁以下儿童LRTI的死亡率大幅度降低主要归因于Hib疫苗(11.4%)和PCV(6.3%)的接种^[5]。其中,PCV除了能够直接降低肺炎球菌病的发病和死亡,还可以预防流感病毒和RSV等病毒感染的死亡,形成群体免疫保护未接种人群来间接降低LRTI的疾病负担^[41]。然而,PCV在我国的接种率远低于全球平均水平,且存在东、西部地区覆盖率差异较大的问题^[54],这可能是我国5岁以下儿童LRTI疾病负担明显高于欧洲、北美洲地区国家的重要原因。接种流感疫苗可预防流感及其并发症,降低感染后的重症和死亡风险^[80-81]。根据《世界卫生组织流感疫苗立场文件(2022年版)》,对于考虑启动或扩大季节性流感

疫苗接种规划的国家,WHO建议应考虑以下目标群体接种疫苗:卫生工作者、患有合并症和潜在疾病者、老年人和孕妇^[82]。

除疫苗接种外,佩戴医用口罩等防护措施也可有效减少LRTI,一项Meta分析表明,佩戴医用口罩可显著降低流感、流感样病例、严重急性呼吸综合征(SARS)、2019-nCoV感染等呼吸道传染病的社区传播,且早期使用口罩并配合做好手卫生可以降低LRTI的发病率^[83]。

3. 外界环境:自然环境和社会环境均会影响LRTI疾病的流行。自然环境中,气候、地理位置、季节等是CAP的影响因素,有研究显示,我国CAP在不同地理区域的发病率有所差异,且呈季节变化,即夏、秋季降低,冬、春季升高^[25]。社会环境中,空气污染、二手烟、居住空间拥挤等均为LRTI的危险因素^[4,84]。其中,空气污染是影响健康的主要环境因素。有研究指出,空气质量的改善使得2015年全球LRTI相关的DALYs减少了4.3%^[41],而我国2017年LRTI导致的DALYs中有35.6%归因于空气污染^[85]。空气污染影响LRTI的机制可能在于污染物能够改变下呼吸道细菌的生长和定植,并且减弱抗菌药物的治疗效果^[86]。此外,2019-nCoV感染疫情对LRTI可能产生较大的影响,如停工、停产、出行减少等防疫措施,无形中减少了污染排放^[87],从而减少LRTI等空气污染相关疾病的发生;疫情期间佩戴口罩、保持社交距离等非药物干预措施也显著降低了急性LRTI的死亡,且死亡率的降低水平明显高于其他死因,达到17.1%^[88]。然而,2019-nCoV感染本身就可以导致CAP,其对LRTI的影响仍需进一步观察。

在上述因素中,空气污染物、儿童营养不良、二手烟被认为是LRTI年龄标准化DALYs的3个重要因素^[4]。因此,制定并实施包括建设好病原体检测与监测体系、提升高危人群疫苗接种覆盖率,以及更加重视室内外空气污染治理、儿童营养改善、控烟等的综合防控策略,对于降低LRTI的疾病负担具有重要意义。

四、结语

LRTI病原体复杂且变异性强、发病率高且医疗负担重,对人群生命健康产生重大威胁,在婴幼儿及老年人群尤甚。因而,明晰病原谱与流行病学特征及其影响因素等,能为LRTI的防治提供重要参考。尤其对于具有较强传染性的病原体,更应从社会综合防控角度出发,结合群医学理念,落实好人群健康促进和疾病的预防-诊断-控制-治疗-康复六位一体工作,进行长期主动监测,指导做好管理和控制传染源(早筛早诊)、阻断传播方式(非药物干预)、保护易感人群(疫苗接种)、分级分类救治(有效药物)等各项环节工作,助力实现LRTI包括新发突发呼吸道传染病的精准防控与高效救治,最大程度地减少LRTI的疾病负担与社会影响。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] Feldman C, Shaddock E. Epidemiology of lower

- respiratory tract infections in adults[J]. *Expert Rev Respir Med*, 2019, 13(1): 63-77. DOI: 10.1080/17476348.2019.1555040.
- [2] World Health Organization. The top 10 causes of death [EB/OL]. (2020-12-09) [2022-05-04]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>.
- [3] Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). GBD 2019 cause and risk Summary: Lower respiratory infections- Level 3 cause[DB/OL]. Seattle, USA: IHME, University of Washington, 2020. [2022-05-04]. https://www.healthdata.org/results/gbd_summaries/2019/lower-respiratory-infections-level-3-cause.
- [4] Ruan ZL, Qi JL, Qian ZM, et al. Disease burden and attributable risk factors of respiratory infections in China from 1990 to 2019[J]. *Lancet Reg Health West Pac*, 2021, 11:100153. DOI:10.1016/j.lanwpc.2021.100153.
- [5] GBD 2017 Lower Respiratory Infections Collaborators. Quantifying risks and interventions that have affected the burden of lower respiratory infections among children younger than 5 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet Infect Dis*, 2020, 20(1): 60-79. DOI:10.1016/S1473-3099(19)30410-4.
- [6] Mahant S, Parkin PC, Thavam T, et al. Rates in bronchiolitis hospitalization, intensive care unit use, mortality, and costs from 2004 to 2018[J]. *JAMA Pediatr*, 2022, 176(3): 270-279. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2021.5177.
- [7] Worrall G. Bronchiolitis[J]. *Can Fam Physician*, 2008, 54(5):742-743.
- [8] GBD 2013 Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national age-sex specific all-cause and cause-specific mortality for 240 causes of death, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013[J]. *Lancet*, 2015, 385(9963):117-171. DOI:10.1016/S0140-6736(14)61682-2.
- [9] Chalmers JD. New insights into the epidemiology of bronchiectasis[J]. *Chest*, 2018, 154(6): 1272-1273. DOI: 10.1016/j.chest.2018.08.1051.
- [10] Guan WJ, Han XR, de la Rosa-Carrillo D, et al. The significant global economic burden of bronchiectasis: a pending matter[J]. *Eur Respir J*, 2019, 53(2): 1802392. DOI:10.1183/13993003.02392-2018.
- [11] 周玉民, 王辰, 姚婉贞, 等. 我国 7 省市城区 40 岁及以上居民支气管扩张症的患病情况及危险因素调查[J]. *中华内科杂志*, 2013, 52(5): 379-382. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1426.2013.05.006.
- Zhou YM, Wang C, Yao WZ, et al. The prevalence and risk factors of bronchiectasis in residents aged 40 years old and above in seven cities in China[J]. *Chin J Intern Med*, 2013, 52(5): 379-382. DOI: 10.3760/cma.j.issn. 0578-1426.2013.05.006.
- [12] Chang AB, Bush A, Grimwood K. Bronchiectasis in children: diagnosis and treatment[J]. *Lancet*, 2018, 392(10150):866-879. DOI:10.1016/S0140-6736(18)31554-X.
- [13] Chang AB, Grimwood K, Mulholland EK, et al. Bronchiectasis in indigenous children in remote Australian communities[J]. *Med J Aust*, 2002, 177(4): 200-204. DOI:10.5694/j.1326-5377.2002.tb04733.x.
- [14] Singleton RJ, Valery PC, Morris P, et al. Indigenous children from three countries with non-cystic fibrosis chronic suppurative lung disease/bronchiectasis[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2014, 49(2): 189-200. DOI: 10.1002/ppul.22763.
- [15] Singleton R, Morris A, Redding G, et al. Bronchiectasis in Alaska Native children: causes and clinical courses[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2000, 29(3): 182-187. DOI: 10.1002/(SICI)1099-0496(200003)29:3<182::AID-PPUL5>3.0.CO;2-T.
- [16] Twiss J, Metcalfe R, Edwards E, et al. New Zealand national incidence of bronchiectasis "too high" for a developed country[J]. *Arch Dis Child*, 2005, 90(7): 737-740. DOI:10.1136/adc.2004.066472.
- [17] Musher DM, Thorner AR. Community-acquired pneumonia[J]. *N Engl J Med*, 2014, 371(17): 1619-1628. DOI:10.1056/NEJMr1312885.
- [18] Welte T, Torres A, Nathwani D. Clinical and economic burden of community-acquired pneumonia among adults in Europe[J]. *Thorax*, 2012, 67(1): 71-79. DOI: 10.1136/thx.2009.129502.
- [19] World Health Organization. Global tuberculosis report 2021[R]. Geneva:World Health Organization, 2021.
- [20] World Health Organization. Tuberculosis[EB/OL]. (2021-10-14) [2022-05-04]. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/tuberculosis>.
- [21] Jain S, Williams DJ, Arnold SR, et al. Community-acquired pneumonia requiring hospitalization among U.S. children [J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(9): 835-845. DOI: 10.1056/NEJMoa1405870.
- [22] Ramirez JA, Wiemken TL, Peyrani P, et al. Adults hospitalized with pneumonia in the United States: incidence, epidemiology, and mortality[J]. *Clin Infect Dis*, 2017, 65(11):1806-1812. DOI:10.1093/cid/cix647.
- [23] 杨媛, 张婷, 谢淑云, 等. 中国肺炎球菌性疾病防治现状及策略: 感染性疾病防治的群医学实践[J]. *中华医学杂志*, 2022, 102(8): 605-610. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20211104-02434.
- Yang Y, Zhang T, Xie SY, et al. The current situation and strategy of prevention and treatment of pneumococcal diseases in China: practice of population medicine in prevention and treatment of infectious diseases[J]. *Natl Med J China*, 2022, 102(8):605-610. DOI:10.3760/cma.j.cn112137-20211104-02434.
- [24] Zhou L, Su QR, Xu Z, et al. Seasonal influenza vaccination coverage rate of target groups in selected cities and provinces in China by season (2009/10 to 2011/12) [J]. *PLoS One*, 2013, 8(9): e73724. DOI: 10.1371/journal.pone.0073724.
- [25] Sun YX, Li H, Pei ZC, et al. Incidence of community-acquired pneumonia in urban China: a national population-based study[J]. *Vaccine*, 2020, 38(52): 8362-8370. DOI:10.1016/j.vaccine.2020.11.004.
- [26] Li Y, An ZJ, Yin DP, et al. Disease burden of community acquired pneumonia among children under 5 y old in China: a population based survey[J]. *Hum Vaccin Immunother*, 2017, 13(7): 1681-1687. DOI: 10.1080/21645515.2017.1304335.
- [27] Jiang N, Li R, Bao J, et al. Incidence and disease burden of community-acquired pneumonia in southeastern China: data from integrated medical resources[J]. *Hum Vaccin Immunother*, 2021, 17(12): 5638-5645. DOI: 10.1080/21645515.2021.1996151.
- [28] Hayes BH, Haberling DL, Kennedy JL, et al. Burden of pneumonia-associated hospitalizations: United States, 2001-2014[J]. *Chest*, 2018, 153(2): 427-437. DOI: 10.1016/j.chest.2017.09.041.
- [29] Xu JQ, Murphy SL, Kochanek KD, et al. Deaths: final data for 2013[J]. *Natl Vital Stat Rep*, 2016, 64(2):1-119.
- [30] Chi H, Huang YC, Liu CC, et al. Characteristics and etiology of hospitalized pediatric community-acquired pneumonia in Taiwan[J]. *J Formos Med Assoc*, 2020, 119(10): 1490-1499. DOI:10.1016/j.jfma.2020.07.014.
- [31] Brown JD, Harnett J, Chambers R, et al. The relative burden of community-acquired pneumonia hospitalizations in older adults: a retrospective observational study in the United States[J]. *BMC Geriatr*, 2018, 18(1):92. DOI:10.1186/s12877-018-0787-2.
- [32] Hu YZ, Han YT, Yu CQ, et al. The hospitalization burden of all-cause pneumonia in China: a population-based study, 2009-2017[J]. *Lancet Reg Health West Pac*, 2022, 22: 100443. DOI:10.1016/j.lanwpc.2022.100443.
- [33] Han XD, Zhou F, Li H, et al. Effects of age, comorbidity and

- adherence to current antimicrobial guidelines on mortality in hospitalized elderly patients with community-acquired pneumonia[J]. *BMC Infect Dis*, 2018, 18(1):192. DOI:10.1186/s12879-018-3098-5.
- [34] File TM, Marrie TJ. Burden of community-acquired pneumonia in North American adults[J]. *Postgrad Med*, 2010, 122(2):130-141. DOI:10.3810/pgm.2010.03.2130.
- [35] Song JH, Thamlikitkul V, Hsueh PR. Clinical and economic burden of community-acquired pneumonia amongst adults in the Asia-Pacific region[J]. *Int J Antimicrob Agents*, 2011, 38(2):108-117. DOI:10.1016/j.ijantimicag.2011.02.017.
- [36] Wahl B, O'Brien KL, Greenbaum A, et al. Burden of *Streptococcus pneumoniae* and *Haemophilus influenzae* type b disease in children in the era of conjugate vaccines: global, regional, and national estimates for 2000-15[J]. *Lancet Glob Health*, 2018, 6(7):e744-757. DOI:10.1016/S2214-109X(18)30247-X.
- [37] Walker CLF, Rudan I, Liu L, et al. Global burden of childhood pneumonia and diarrhoea[J]. *Lancet*, 2013, 381(9875): 1405-1416. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60222-6.
- [38] Malosh RE, Martin ET, Ortiz JR, et al. The risk of lower respiratory tract infection following influenza virus infection: a systematic and narrative review[J]. *Vaccine*, 2018, 36(1):141-147. DOI:10.1016/j.vaccine.2017.11.018.
- [39] Hanada S, Pirzadeh M, Carver KY, et al. Respiratory viral infection-induced microbiome alterations and secondary bacterial pneumonia[J]. *Front Immunol*, 2018, 9: 2640. DOI:10.3389/fimmu.2018.02640.
- [40] Ieven M, Coenen S, Loens K, et al. Aetiology of lower respiratory tract infection in adults in primary care: a prospective study in 11 European countries[J]. *Clin Microbiol Infect*, 2018, 24(11):1158-1163. DOI:10.1016/j.cmi.2018.02.004.
- [41] GBD 2015 LRI Collaborators. Estimates of the global, regional, and national morbidity, mortality, and aetiologies of lower respiratory tract infections in 195 countries: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015[J]. *Lancet Infect Dis*, 2017, 17(11): 1133-1161. DOI:10.1016/S1473-3099(17)30396-1.
- [42] GBD 2016 Lower Respiratory Infections Collaborators. Estimates of the global, regional, and national morbidity, mortality, and aetiologies of lower respiratory infections in 195 countries, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016[J]. *Lancet Infect Dis*, 2018, 18(11): 1191-1210. DOI: 10.1016/S1473-3099(18)30310-4.
- [43] GBD 2017 Influenza Collaborators. Mortality, morbidity, and hospitalisations due to influenza lower respiratory tract infections, 2017: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Lancet Respir Med*, 2019, 7(1): 69-89. DOI:10.1016/S2213-2600(18)30496-X.
- [44] Chaves SS, Aragon D, Bennett N, et al. Patients hospitalized with laboratory-confirmed influenza during the 2010-2011 influenza season: exploring disease severity by virus type and subtype[J]. *J Infect Dis*, 2013, 208(8):1305-1314. DOI:10.1093/infdis/jit316.
- [45] Lafond KE, Porter RM, Whaley MJ, et al. Global burden of influenza-associated lower respiratory tract infections and hospitalizations among adults: a systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS Med*, 2021, 18(3): e1003550. DOI:10.1371/journal.pmed.1003550.
- [46] Iuliano AD, Roguski KM, Chang HH, et al. Estimates of global seasonal influenza-associated respiratory mortality: a modelling study[J]. *Lancet*, 2018, 391(10127): 1285-1300. DOI:10.1016/S0140-6736(17)33293-2.
- [47] Centers for Disease Control and Prevention. Disease burden of flu[EB/OL]. (2022-01-07) [2022-05-04]. <https://www.cdc.gov/flu/about/burden/index.html>.
- [48] Shang LH, Xu JY, Cao B. Viral pneumonia in China: from surveillance to response[J]. *Lancet Public Health*, 2020, 5(12):e633-634. DOI:10.1016/S2468-2667(20)30264-4.
- [49] Zhou F, Wang YM, Liu YM, et al. Disease severity and clinical outcomes of community-acquired pneumonia caused by non-influenza respiratory viruses in adults: a multicentre prospective registry study from the CAP-China Network[J]. *Eur Respir J*, 2019, 54(2): 1802406. DOI:10.1183/13993003.02406-2018.
- [50] Musher DM, Abers MS, Bartlett JG. Evolving understanding of the causes of pneumonia in adults, with special attention to the role of pneumococcus[J]. *Clin Infect Dis*, 2017, 65(10): 1736-1744. DOI: 10.1093/cid/cix549.
- [51] Jain S, Self WH, Wunderink RG, et al. Community-acquired pneumonia requiring hospitalization among U.S. adults[J]. *N Engl J Med*, 2015, 373(5): 415-427. DOI: 10.1056/NEJMoa1500245.
- [52] Musher DM, Montoya R, Wanahita A. Diagnostic value of microscopic examination of Gram-stained sputum and sputum cultures in patients with bacteremic pneumococcal pneumonia[J]. *Clin Infect Dis*, 2004, 39(2): 165-169. DOI:10.1086/421497.
- [53] Moberley S, Holden J, Tatham DP, et al. Vaccines for preventing pneumococcal infection in adults[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2013, 2013(1): CD000422. DOI: 10.1002/14651858.CD000422.pub3.
- [54] Shoar S, Musher DM. Etiology of community-acquired pneumonia in adults: a systematic review[J]. *Pneumonia*, 2020, 12(1):11. DOI:10.1186/s41479-020-00074-3.
- [55] Leeming JP, Cartwright K, Morris R, et al. Diagnosis of invasive pneumococcal infection by serotype-specific urinary antigen detection[J]. *J Clin Microbiol*, 2005, 43(10): 4972-4976. DOI: 10.1128/JCM.43.10.4972-4976.2005.
- [56] Kobayashi M, Bennett NM, Gierke R, et al. Intervals between PCV13 and PPSV23 vaccines: recommendations of the Advisory Committee on Immunization Practices (ACIP) [J]. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*, 2015, 64(34): 944-947. DOI:10.15585/mmwr.mm6434a4.
- [57] GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015[J]. *Lancet*, 2016, 388(10053): 1459-1544. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31012-1.
- [58] Radovanovic D, Sotgiu G, Jankovic M, et al. An international perspective on hospitalized patients with viral community-acquired pneumonia[J]. *Eur J Intern Med*, 2019, 60:54-70. DOI:10.1016/j.ejim.2018.10.020.
- [59] Charlton CL, Babady E, Ginocchio CC, et al. Practical guidance for clinical microbiology laboratories: viruses causing acute respiratory tract infections[J]. *Clin Microbiol Rev*, 2018, 32(1): e00042-18. DOI: 10.1128/CMR.00042-18.
- [60] Leung NHL. Transmissibility and transmission of respiratory viruses[J]. *Nat Rev Microbiol*, 2021, 19(8): 528-545. DOI:10.1038/s41579-021-00535-6.
- [61] Bi YH, Tan SG, Yang Y, et al. Clinical and immunological characteristics of human infections with H5N6 avian influenza virus[J]. *Clin Infect Dis*, 2019, 68(7):1100-1109. DOI:10.1093/cid/ciy681.
- [62] World Health Organization. Avian influenza weekly update number 838[EB/OL]. (2022-04-01) [2022-05-04]. https://www.who.int/docs/default-source/wprodocuments/emergency/surveillance/avian-influenza/ai-20220401.pdf?sfvrsn=30d65594_220.
- [63] Wu ZQ, Zhang Y, Zhao N, et al. Comparative epidemiology of human fatal infections with novel, high (H5N6 and H5N1) and low (H7N9 and H9N2) pathogenicity avian influenza A viruses[J]. *Int J Environ Res Public Health*,

- 2017, 14(3):263. DOI:10.3390/ijerph14030263.
- [64] Spencer JA, Shutt DP, Moser SK, et al. Epidemiological parameter review and comparative dynamics of influenza, respiratory syncytial virus, rhinovirus, human coronavirus, and adenovirus[J]. MedRxiv, 2020. DOI: 10.1101/2020.02.04.20020404.
- [65] Petrosillo N, Viceconte G, Ergonul O, et al. COVID-19, SARS and MERS: are they closely related? [J]. Clin Microbiol Infect, 2020, 26(6): 729-734. DOI: 10.1016/j.cmi.2020.03.026.
- [66] The Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19)—China, 2020[J]. China CDC Wkly, 2020, 2(8): 113-122. DOI:10.46234/ccdcw2020.032.
- [67] Liu Y, Rocklöv J. The effective reproductive number of the Omicron variant of SARS-CoV-2 is several times relative to Delta[J]. J Travel Med, 2022, 29(3): taac037. DOI: 10.1093/jtm/taac037.
- [68] 人腺病毒呼吸道感染预防控制技术指南编写审定专家组. 人腺病毒呼吸道感染预防控制技术指南(2019年版)[J]. 中华预防医学杂志, 2019, 53(11):1088-1093. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2019.11.004. Expert Writing Group of Technical Guidelines for Prevention and Control of Human Adenovirus Respiratory Infection. Technical guidelines for prevention and control of human adenovirus respiratory infection (2019 edition) [J]. Chin J Prev Med, 2019, 53(11): 1088-1093. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0253-9624.2019. 11.004.
- [69] Lynch III JP, Kajon AE. Adenovirus: epidemiology, global spread of novel types, and approach to treatment[J]. Semin Respir Crit Care Med, 2021, 42(6):800-821. DOI: 10.1055/s-0041-1733802.
- [70] 鲍燕敏, 郑跃杰, 杨永弘. 《中国儿童肺炎链球菌性疾病诊断、治疗和预防专家共识》解读[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2021, 36(21): 1601-1604. DOI: 10.3760/cma. j. cn101070-20210617-00698. Bao YM, Zheng YJ, Yang YH. Interpretation of expert consensus for diagnosis, treatment and prevention of pneumococcal diseases in children[J]. Chin J Appl Clin Pediatr, 2021, 36(21): 1601-1604. DOI: 10.3760/cma. j. cn101070-20210617-00698.
- [71] Kutter JS, Spronken MI, Fraaij PL, et al. Transmission routes of respiratory viruses among humans[J]. Curr Opin Virol, 2018, 28: 142-151. DOI: 10.1016/j.coviro.2018.01.001.
- [72] Gopaldaswamy R, Shanmugam S, Mondal R, et al. Of tuberculosis and non-tuberculous mycobacterial infections—a comparative analysis of epidemiology, diagnosis and treatment[J]. J Biomed Sci, 2020, 27(1):74. DOI:10.1186/s12929-020-00667-6.
- [73] 安艺萌, 周旭, 王佑春, 等. 流感病毒抗原性进化及对流感疫苗研发的启示[J]. 中华预防医学杂志, 2021, 55(11): 1339-1345. DOI: 10.3760/cma. j. cn112150-20210802-00740. An YM, Zhou X, Wang YC, et al. Antigenic evolution of influenza virus and the implications for influenza vaccine development[J]. Chin J Prev Med, 2021, 55(11): 1339-1345. DOI:10.3760/cma.j.cn112150-20210802-00740.
- [74] Antimicrobial Resistance Collaborators. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis[J]. Lancet, 2022, 399(10325): 629-655. DOI: 10.1016/S0140-6736(21)02724-0.
- [75] 中华预防医学会疫苗与免疫分会. 主要慢性病人群众流感疫苗和肺炎球菌疫苗接种专家共识[J]. 中国疫苗和免疫, 2021, 27(6):711-742. DOI:10.19914/j.CJVI.2021130. Vaccine and Immunization Branch, Chinese Preventive Medicine Association. Expert consensus on influenza vaccination and pneumococcal vaccination for patients with certain chronic diseases[J]. Chin J Vaccines Immun, 2021, 27(6):711-742. DOI:10.19914/j.CJVI.2021130.
- [76] 田玮, 丁宁. 影响老年吸入性肺炎患者短期预后的危险因素分析[J]. 中华急诊医学杂志, 2019, 28(6):743-747. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.06.016. Tian W, Ding N. Analysis of risk factors affecting short-term prognosis in elderly patients with aspiration pneumonia[J]. Chin J Emerg Med, 2019, 28(6): 743-747. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.06.016.
- [77] Metheny NA, Clouse RE, Chang YH, et al. Tracheobronchial aspiration of gastric contents in critically ill tube-fed patients: frequency, outcomes, and risk factors[J]. Crit Care Med, 2006, 34(4): 1007-1015. DOI:10.1097/01.CCM.0000206106.65220.59.
- [78] 张瑾, 邓扬嘉, 何苗, 等. 免疫缺陷患者重症肺炎诊断进展[J]. 中华肺部疾病杂志:电子版, 2021, 14(3):383-386. Zhang J, Deng YJ, He M, et al. Progress in the diagnosis of severe pneumonia in patients with immunodeficiency[J]. Chin J Lung Dis: Electron Ed, 2021, 14(3):383-386.
- [79] Hill AT. Management of community-acquired pneumonia in immunocompromised adults: a consensus statement regarding initial strategies[J]. Chest, 2020, 158(5): 1802-1803. DOI:10.1016/j.chest.2020.08.003.
- [80] 国家免疫规划技术工作组流感疫苗工作组. 中国流感疫苗预防接种技术指南(2021-2022)[J]. 中华流行病学杂志, 2021, 42(10): 1722-1749. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20210913-00732. National Immunization Advisory Committee (NIAC) Technical Working Group (TWG), Influenza Vaccination TWG. Technical guidelines for seasonal influenza vaccination in China (2021-2022) [J]. Chin J Epidemiol, 2021, 42(10): 1722-1749. DOI: 10.3760/cma. j. cn112338-20210913-00732.
- [81] Demicheli V, Jefferson T, Di Pietrantonj C, et al. Vaccines for preventing influenza in the elderly[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2018, 2(2):CD004876. DOI: 10.1002/14651858.CD004876.pub4.
- [82] World Health Organization. Vaccines against influenza: WHO position paper – May 2022 – Vaccins antigrippaux: note de synthèse de l'OMS – mai 2022[J]. Wkly Epidemiol Rec, 2022, 97(19):185-208.
- [83] Chaabna K, Doraiswamy S, Mamtani R, et al. Facemask use in community settings to prevent respiratory infection transmission: a rapid review and meta-analysis[J]. Int J Infect Dis, 2021, 104: 198-206. DOI: 10.1016/j.ijid.2020.09.1434.
- [84] World Health Organization. Pneumonia[EB/OL]. [2022-05-04]. <https://www.who.int/health-topics/pneumonia#tab=tab.1>.
- [85] Yin P, Brauer M, Cohen AJ, et al. The effect of air pollution on deaths, disease burden, and life expectancy across China and its provinces, 1990-2017: an analysis for the Global Burden of Disease Study 2017[J]. Lancet Planet Health, 2020, 4(9): e386-398. DOI: 10.1016/S2542-5196(20)30161-3.
- [86] Hussey SJK, Purves J, Allcock N, et al. Air pollution alters *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus pneumoniae* biofilms, antibiotic tolerance and colonisation[J]. Environ Microbiol, 2017, 19(5): 1868-1880. DOI: 10.1111/1462-2920.13686.
- [87] Wang XY, Zhang RH. How did air pollution change during the COVID-19 outbreak in China? [J] Bull Amer Meteor Soc, 2020, 101(10): E1645-1652. DOI: 10.1175/BAMS-D-20-0102.1.
- [88] Qi JL, Zhang DD, Zhang X, et al. Short- and medium-term impacts of strict anti-contagion policies on non-COVID-19 mortality in China[J]. Nat Hum Behav, 2022, 6(1):55-63. DOI:10.1038/s41562-021-01189-3.