

气象条件与 SARS 发生的关系分析 *

叶殿秀¹⁾ 张 强¹⁾ 董文杰¹⁾ 陈正洪²⁾ 赵宗群³⁾

1) (中国气象局国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081)

2) (武汉城市气象工程技术中心, 武汉 430074)

3) (北京大学公共卫生学院, 北京 100083)

摘 要 根据 2003 年北京、香港 SARS 高发期间逐日确诊发病人数序列, 运用数理统计和幂律关系方法, 分析了不同地区 SARS 与气象条件之间的关系。结果表明: 京港两地 SARS 高发期的波动量与确诊前 7~10 天的最高气温、最低气温、气温日较差、日照时数呈显著负相关, 与相对湿度、云量呈正相关; 气象条件与 SARS 发病人数呈显著的幂律关系, 为自组织临界态理论在大气科学中的应用提供了观测证据。

关键词: SARS; 气象条件; 组织临界态; 相关分析

文章编号 1006-9585 (2004) 04-0670-10 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

1 引言

SARS 是一种新发现的呼吸道传染病, 患者通常具有发烧、干咳、全身酸痛、呼吸困难等症状, 病情严重者危及生命。SARS 因其突发性、传染性强, 病死率高, 引起全社会 and 世界卫生组织的高度重视。

虽然该病的病因至今尚未完全明确, 但通过现有的病例分析证实, SARS 和其他呼吸道传染病类似, 主要通过短距离飞沫和接触病人呼吸道分泌物传播^[1]。有关研究的结论表明, 特定的气象条件对呼吸道疾病有一定的诱发作用^[2~5]。这是因为气象因子不仅对生物性病原体的繁殖和传播直接产生影响, 而且可以影响易感人群的抵抗力^[4]。王铮等人的研究^[6]认为, SARS 日增人数与气温、湿度等因子的变化有关, 并指出每天发病人数具有 12 天和 3 天的周期。2003 年 9 月中旬在广州召开的防治非典研讨会上, 数位医学专家的研究^[7], 进一步证实 SARS 爆发前后, 一般都有明显的冷空气活动, SARS 流行与气温、气压的变化有不容忽视的关系。本文以人口密集、发病率较高的北京、香港作为研究区, 通过两地爆发期的逐日新增确诊发病人数与前期气象资料的对比分析, 探索 SARS 发病与特定气象条件的关系, 以期为该病预防和机理研究提供新的科学依据。

2 资料处理方法和典型流行区的选择

根据北京市疾病预防控制中心统计, 我国 (包括港澳台地区) 2002 年 11 月 1 日~

2003-12-25 收到, 2004-09-10 收到再改稿

* 国家气象中心业务基金课题 ZK2003C-11 和湖北省气象局科技发展基金课题资助

2003 年 6 月 30 日累计报告 SARS 病例 7 761 人,在我国各省、直辖市、自治区和行政特区的分布状况如图 1 所示。由此图可见,我国除西藏、云南、贵州、青海、海南、黑龙江等地未发现疫情外,(20~45°N, 100°E 以东)之间的广大地区基本上都有 SARS 病例,但各地区的分布数量极为不均,累计病例数超过 100 人的省份集中在南北两条弧带,北方以京津冀为中心向西、向北扩展到山西和内蒙古,南方从广东、香港向东延伸到台湾,上述 8 个地区病例总数为 7 586 人,占全国病例总数近 98%,由此可见 SARS 疫情在地域分布上具有集中、群发的特点。为了进一步探讨 SARS 发病率与气象条件的关系,本文以北京、香港作为我国北方和南方的典型流行区。一方面两地病例总数占全国(包括台湾地区)病例总数的 55%,在全国各地区中遥遥领先,流行期间有较长时间两地的逐日新增病例维持在 20 人以上,发病率之高引起全世界瞩目;另一方面,北京、香港分属我国北方和南方两个 SARS 高发区的中心地带,人口高度集中,地域相对有限,区内气象状况差异不大,较有利于进行 SARS 发病率与气象因子之间的对比分析。两地足够多的病例样本,为我们获得具有统计意义的计算结果提供了必要的资料条件。

本研究所用的北京病例资料取自中国卫生部新闻办公室发布的疫情通报,香港病例资料取自香港卫生署每日疫情通报,北京气象资料来自国家气象中心,香港气象资料取自香港天文台网。气象资料所取时段比相应病例的初始时间提前 14 天。

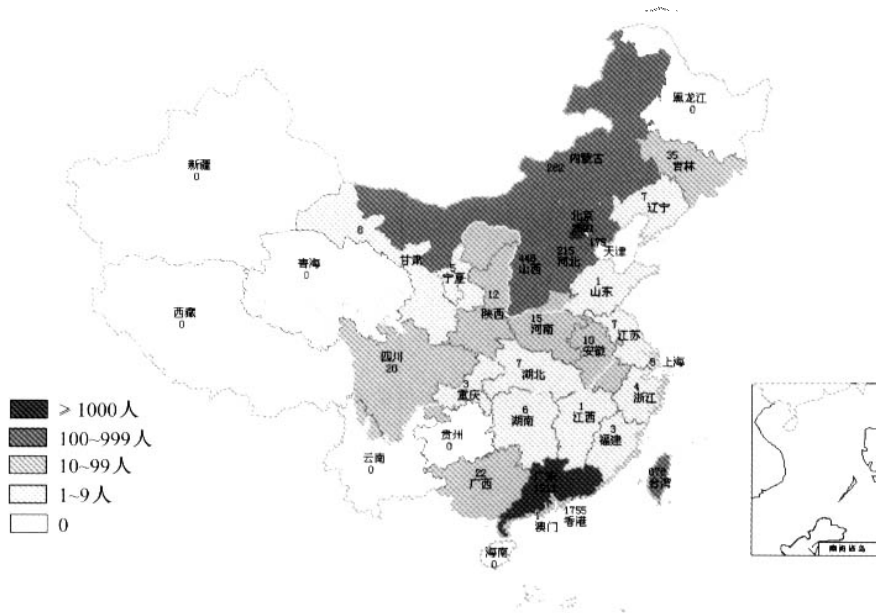


图 1 我国各地区 2002 年 11 月~2003 年 6 月 SARS 确诊人数分布

3 结果与分析

3.1 京港两地 SARS 流行过程各阶段的气象条件分析

从北京 2003 年 4 月 7 日至 6 月 7 日(其中从 4 月 21 日开始每天公布 SARS 新增病

例) 和香港 2003 年 3 月 15 日至 6 月 7 日的病例变化(图略)可知, 北京从 4 月 7 日的 7 例迅速跃升到 4 月 21 日的 143 例后, 大体呈单边下降趋势, 其下降过程大致可分为 4 个阶段。第 1 阶段为 4 月 21 日至 5 月 3 日, 每天确诊人数基本维持在 100 人以上, 其中 4 月 29 日出现 152 例的峰值; 第 2 阶段为 5 月 4 日至 5 月 16 日, 逐日病例从不足 100 下降至 30 以下; 第 3 阶段为 5 月 17 日至 5 月 25 日, 逐日病例大体维持在 10 至 20 人之间; 第 4 阶段为 5 月 26 日至 6 月 7 日, 逐日病例普遍呈个位数甚至无病例发生。香港的走势相对平缓, 自 3 月 15、16 日不足 10 例上升到 3 月 17 日 41 例后, 至 4 月 25 日的 40 天里一直维持在 20 例以上, 其间 3 月底 4 月初和 4 月中旬初分别出现两个 60~80 例的小高峰; 4 月 26 日至 5 月 3 日逐日病例介于 10~20 之间, 但逐日病例不足 10 人足足维持了一个多月(5 月 4 日至 6 月 7 日), 直至 6 月 8 日开始才无新病例发生。

根据北京、香港逐日新增病例的演变情况, 并考虑 SARS 具有 2~12 天的潜伏期^[1], 参照有关医学专家的划分原则^[7], 这里将 SARS 流行期间每天新发病例稳定维持在 20 人以上的时段称为高发期, 高发期前病例从零至不足 20 人的 12 天叫做酝酿发展期, 高发期后日发病例从不足 20 人减少到无病例发生前一天的时段称为下降减退期。循此标准, 北京、香港各时期的起止日期如表 1 所示。同时, 表 1 还列出两地各时期主要气象因子的平均状况或总量。为了叙述方便, 以下将酝酿发展期、高发期和下降减退期分别简称 I、II、III 期。以下着重讨论各阶段主要气象因子的变化特点。

3.1.1 气温

由表 1 可见, 京港两地各时期的气温变化是十分明显和有规律的, 两地各温度因子从 I 期至 II 期及从 II 期至 III 期均递增 5℃左右, 也就是说, 两地从 SARS 始发至减退之间的气温差为 10℃左右。值得注意的是, 尽管香港的平均气温和最低气温始终高于北京, 但两地 I~III 期最高气温的平均值大体相同, 即当日最高气温达到 19℃时 SARS 开始流行, 上升到 24℃左右时发病率最高, 超过 29℃时趋于消亡。

3.1.2 气压和风

气压走势与气温相反, 京港两地均为从 I 期至 III 期持续下降。北京各时期风速无明显变化, 香港则呈逐步变小趋势。

表 1 北京香港 SARS 流行各时期气象因子均值或总量一览表

地区	时期	起止日 (历时)	日平均 气温/℃	日最高 气温/℃	日最低 气温/℃	气压/ hPa	相对湿 度/%	降水量/ mm	风速/ m s ⁻¹	云量 (成)	日照/h
北京	酝酿发展 (I)	4-4~4-15 (12 天)	13.8	19.0	8.2	1008.1	45	4	2.9	4.5	7.3
	高发 (II)	4-16~5-16 (31 天)	18.3	23.5	12.8	1007.8	56	13	2.9	5.6	6.8
	下降消亡 (III)	3-5~3-16 (12 天)	23.6	29.6	17.5	1003.7	54	24	2.7	5.4	7.6
香港	酝酿发展 (I)	3-5~3-16 (12 天)	17.3	19.2	15.4	1019.1	78	21	7.5	7.5	3.4
	高发 (II)	3-17~4-25 (40 天)	22.2	24.3	20.5	1013.8	84	97	5.9	8.0	3.0
	下降消亡 (III)	4-26~6-7 (43 天)	26.8	29.0	25.3	1008.7	80	314	5.4	7.4	5.2

3.1.3 相对湿度和雨量

香港毗邻海洋，相对湿度明显高于北京，但两地均以 II 期湿度最高，III 期次之，I 期最小，这与文献 [8] 证实的 SARS 病毒具有不耐干燥的特性相吻合。由于 4~5 月华南为雨季，华北为干季，香港相应时段的雨量远超过北京，但两地的雨量均呈明显增多趋势。

3.1.4 云量和日照

有关研究指出^[9]，SARS 爆发前后，随着云量增加使具有杀菌作用的紫外线减少，从而导致 SARS 病毒的活跃程度加强，这从两地均以 II 期云量最多，日照最少的观测事实得到证明。

3.1.5 冷空气活动

有关专家指出^[7]，SARS 爆发前后一般都有明显的冷空气活动。为了考察京港两地是否符合这一规律，特取两地 SARS 爆发流行前后 20 天气温、气压的逐日变化曲线（图 2）进行分析。由于日平均气温、日最高气温和日最低气温的变化趋势基本一致，在此以日最高气温曲线代表气温的走向。从图 2 可清楚看出，两地 I 期开始前后都有一次明显的冷空气活动。北京（图 2a）4 月 5~10 日最高气温从 24.2℃ 下降到 8.1℃，降幅达 16.1℃，同时气压从 6 日的 1 006 hPa 迅速上升到 9 日的 1 019 hPa，在此期间风速骤增，4 月 7 日平均风速达 5.8 m s⁻¹，为本年度北京 4~6 月的最大值。香港（图 2b）3 月 3 日~9 日最高气温从 23.6℃ 下降到 15.8℃，降幅近 8℃，相对应气压从 5 日的 1009.6 hPa 上升至 9 日的 1023.1 hPa，其间 3 月 4 日和 9 日的日平均风速都超过了 10 m s⁻¹，为本年度香港 3~5 月的最大值。

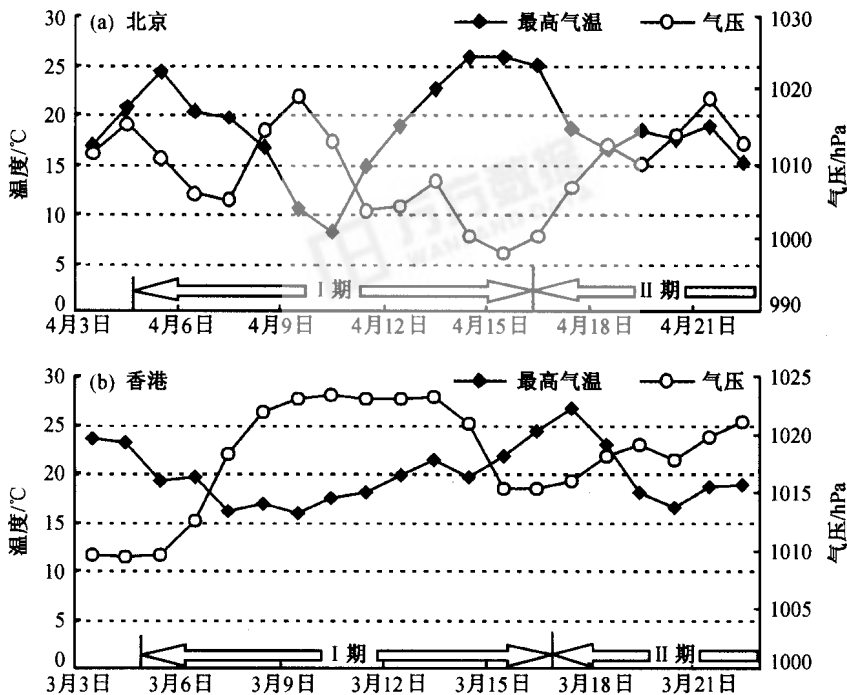


图 2 2003 年北京 (a)、香港 (b) SARS 爆发前后 20 天日最高气温、气压的逐日变化

此外,从图2还发现两地在II期开始前后又都出现一次较强的冷空气活动。北京4月15~18日的最高气温为 $25.8\sim 16.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,下降近 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$,相应15~21日的气压为 $998.0\sim 1\,018.7\text{ hPa}$,在此期间日平均风速多次超过 4.0 m s^{-1} 。同样,香港3月17~21日的最高气温为 $26.6\sim 18.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,降幅达 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$,3月16~22日气压为 $1\,015.3\sim 1\,021.1\text{ hPa}$,其中3月22日再次出现 10 m s^{-1} 以上的平均风速。

以上统计分析表明:不论在我国北方或南方,SARS从发生、发展至消亡的全过程莫不与特定的气象条件有关,特别与气温、日照和气压的变化有关。两地从初春到初夏在气温阶梯式走高和气压波浪式下降的背景下,逐步进入适宜于SARS病毒生长、繁殖、传播、扩散的气象环境。出现在疫情初期和高发期的两次冷空气活动,一方面随着气温剧降大大削弱了人们的抵抗力和免疫力,另一方面冷空气前锋伴随着湿下沉气流,使得病毒容易滞留、存活积蓄、浓度提升而增加了人体感染机会,从而对疫情的诱发和加剧具有推波助澜的作用。

3.2 SARS发病人数与气象因子相关分析

SARS从出现、流行到爆发,无论是北京还是香港,政府部门和社会各界都及时采取了一系列有效措施,遏制了SARS发病居高不下的态势。与此同时,发病人数在下降过程中还时有反复和波动,而气象条件的变化正是造成发病人数产生波动的原因之一。

影响SARS发病人数的因素很多,影响机制也很复杂,但可以归纳为两方面:一是人为干预因素,二是环境因素。为了分析气象因子对SARS发生、发展的影响,首先必须从实际发病人数 y_t 中去掉因人为控制措施造成的时间变化趋势项 y'_t ,把发病人数的波动量 y_e 从中分离出来。本文采用正交多项式法模拟趋势项^[10](见图3)。根据 $y_e = y_t - y'_t$,可计算出逐日发病人数的波动量 y_e 。

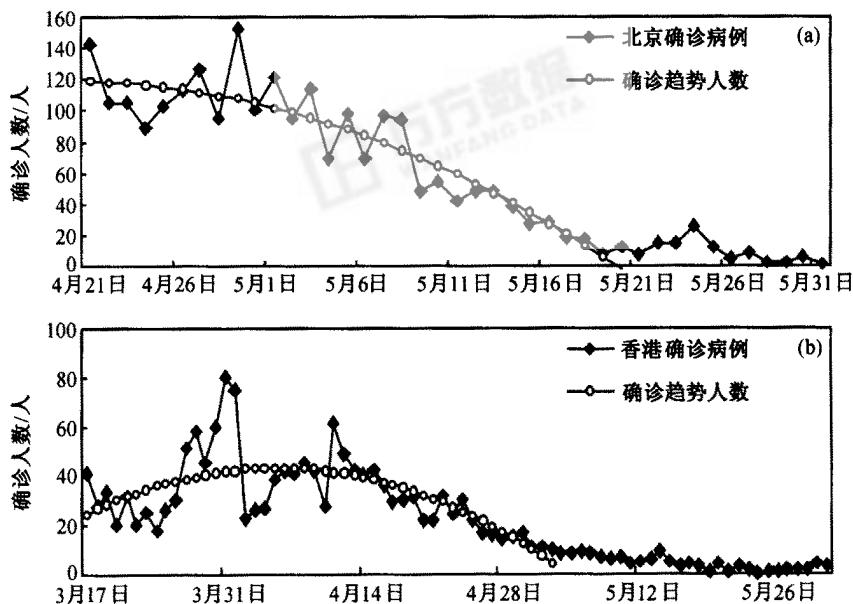


图3 2003年北京(a)、香港(b)逐日确诊人数的变化和时间趋势项曲线

我们对北京、香港两地 SARS 爆发期逐日发病人数的波动量 (y_c) 与前期间隔 3~13 天的日气温、日照等气象因子序列进行了相关分析。结果如图 4 所示。

计算结果显示：北京 SARS 发病波动量与 9 天前的最高气温和 8 天前的最低气温呈负相关，并通过 0.01 的显著性水平检验；与 9 天前的气温日较差和 10 天前的日照时数呈负相关，并通过 0.05 的显著性水平检验（见图 4 左）。香港 SARS 发病波动量与 8 天前的最高气温、7 天前的最低气温、9 天前的气温日较差和 9 天前的日照时数均呈显著负相关，均通过信度 0.05 检验（见图 4 右）。

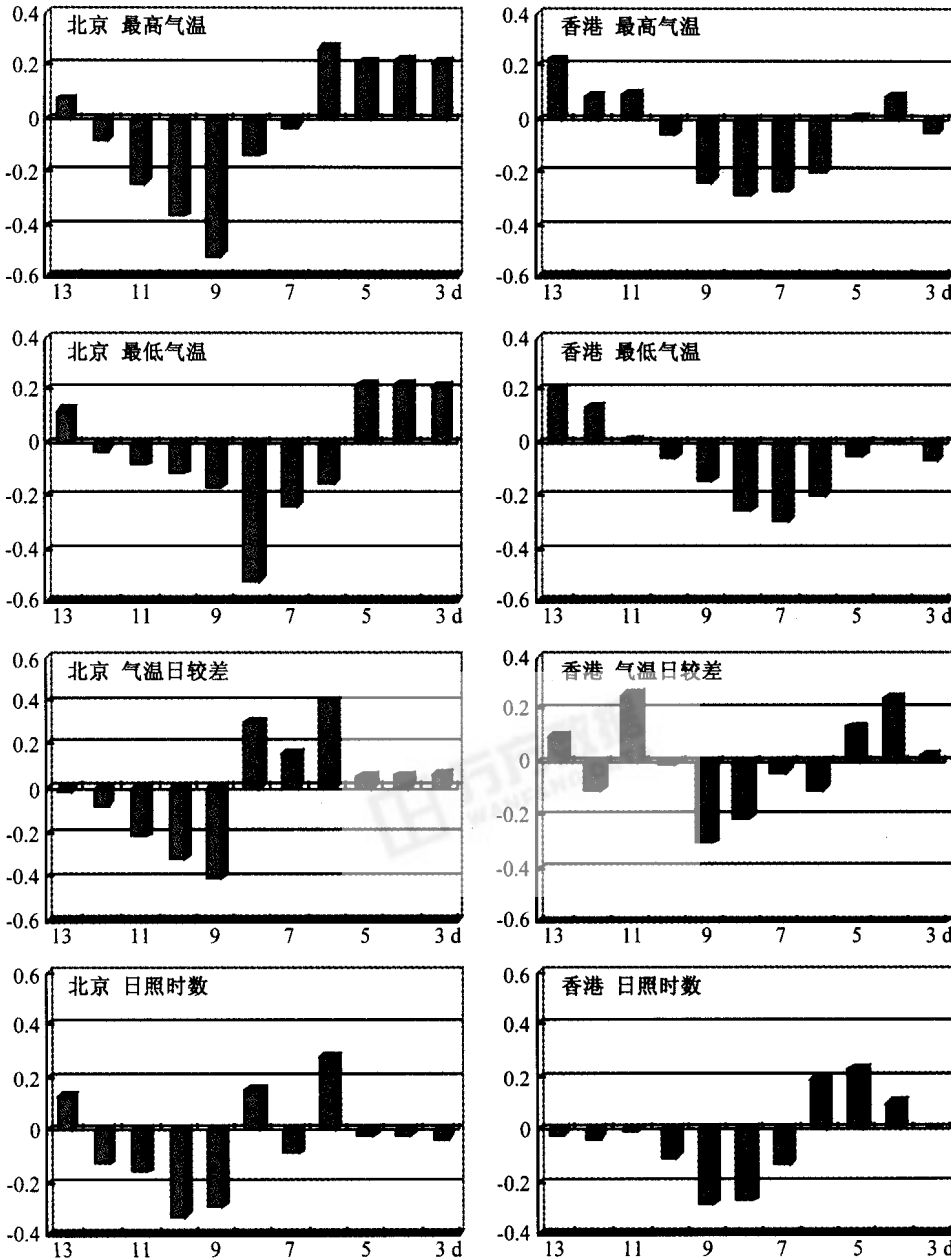


图 4 2003 年北京（左图）和香港（右图）SARS 波动量和前 3~13 天气象要素的相关系数

另外,北京 10 天前的云量和 9 天前的相对湿度与当天确诊人数的波动量呈显著正相关,但香港则无显著性关系。这主要是因为香港毗邻海洋属湿润气候,SARS 流行期多云、高湿天气多,云量一般在 7.5 成以上,相对湿度一般在 80% 以上,且变化不大。但无论是北京还是香港,SARS 高发期(日新增确诊病例 20 例以)的云量和相对湿度均高于发展期和消退期。

以上结果说明,日最高气温和日最低气温较低,气温日较差小,日照时数较少,预示着一周以后发病人数有较大的正波动(偏多),或者说,这样的气象条件对 SARS 病毒的传播、扩散和感染可能起推波助澜的作用。由此推论:SARS 病毒感染与确诊前 6~11 天(潜伏期内)的气象条件关系密切。

3.3 SARS 与气象条件关系的物理机理分析

自然界中许多现象表面上看起来非常紊乱、不对称和无序^[11~13]。SARS 作为一种传染疾病,其传播运动形式是一种非常丰富和复杂的自然现象。其复杂性表现为:时空活动的不连续性,极高的自由度,以及复杂的外部条件,比如气象条件。因此,对于 SARS 问题要想写出一组定量描述的非线性自洽微分方程是相当困难的。从现代物理学知,合作现象中存在着临界现象和相变,SARS 也有一般的自然规律,即它具有发生、发展、消亡高度组织化的临界现象。自组织临界态理论属于整体理论,即它所描述的总体特征不取决于微观机制,因此不能通过分析系统中的各部分去了解系统的总体特征。根据这一理论,许多复合系统自然地朝着临界态演变,在这种临界态下,小事件引起的连锁反应能对系统中的任一组元产生影响。此外,复合系统永远不会达到平衡态,而是从一个亚稳态向下一个亚稳态演变。探讨 SARS 的传播过程与气象条件的关系,对预防 SARS 类似的传染疾病具有重要的意义。

北京 SARS 爆发前 9 天的气象条件与 SARS 发病人数的负幂律关系见图 5。图 5a 为 4 月 12 日至 5 月 22 日日最高气温 T_m (取 $\ln T_m$) 与 4 月 21 日至 5 月 31 日 SARS 发病人数 y (取 $\ln y$) 的负幂律关系, $y \propto e^{-\beta T_m}$, $\beta = 12.388$; 图 5b 为日最低气温 T_n (取 $\ln T_n$) 与 SARS 发病人数 y (取 $\ln y$) 的幂律: $\beta = 8.662$ 。

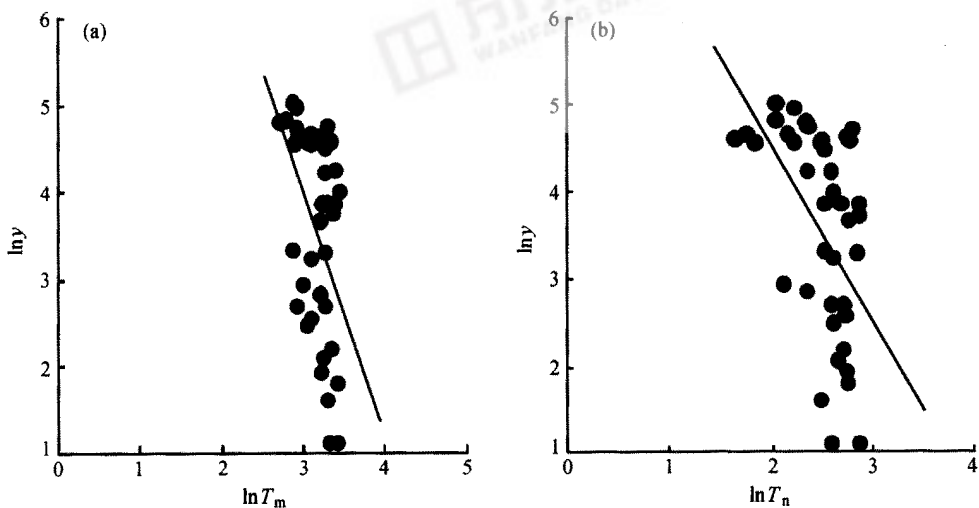


图 5 2003 年北京日最高气温 T_m (a)、日最低气温 T_n (b) 与 SARS 发病人数 y 幂律关系

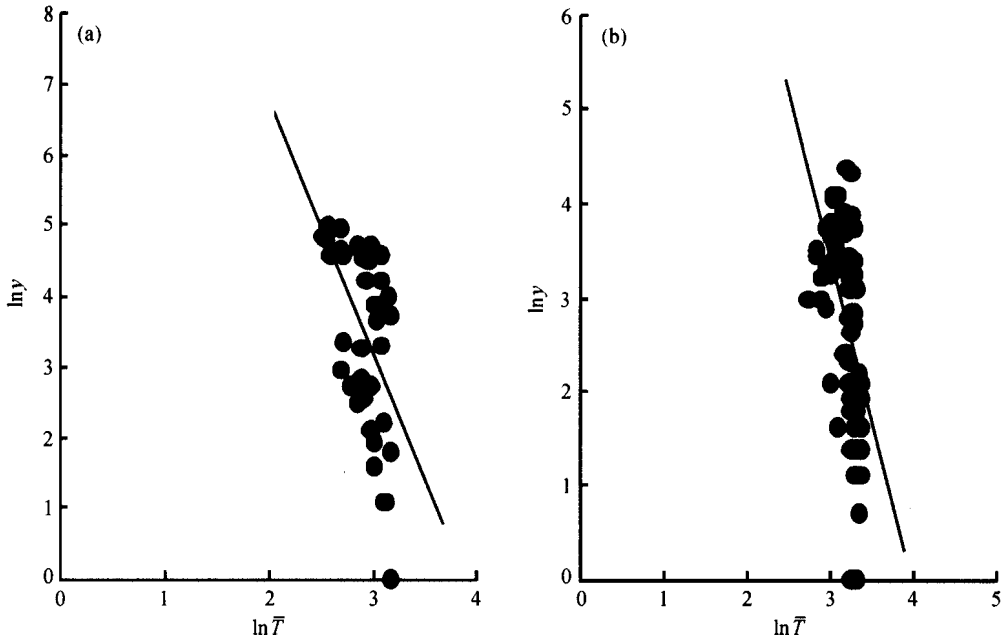


图 6 2003 年北京 (a)、香港 (b) 平均气温 $\bar{T}_a$ 与 SARS 发病人数 y 幂律关系

图 6 为平均气温与 SARS 发病人数的负幂律关系, 图 6a 为北京 (4 月 21 日至 5 月 31 日), $\beta=13.850$; 图 6b 为香港 (3 月 15 日至 5 月 31 日), $\beta=13.853$ 。尽管图 3 中北京与香港的 SARS 发病人数与时间趋势变化有很大差异, 但从它们与平均气温的幂律关系来看, 它们的传播机理还是有一定的共性。当然 SARS 作为一种传染病是一个发展的过程, 它的传播机理, 有待于从模式的模拟进行研究, 它与气象条件的关系也有待于从模式中进一步验证。

4 结论

通过以上分析, 初步得出以下几点结论或建议:

(1) SARS 作为一种传染性很强的呼吸道急性传染病, 具有和其他呼吸道传染病类似的传染方式和途径, 特定的气象条件对该病的发病率具有一定的影响。

(2) 出现在疫情初期和高发期的冷空气活动, 一方面削弱了易感人群的抵抗力和免疫力; 另一方面随着气压的增高, 下沉气流加强, 病毒较易在近地层滞留, 因而对疫情的诱发和加剧具有推波助澜的作用。

(3) 通过北京、香港 SARS 爆发期逐日 SARS 发病人数的波动与前期多个气象因子进行相关分析发现: 两地 SARS 高发期的波动量与确诊前 7~10 天的最高气温、最低气温、气温日较差、日照时数呈显著负相关; 此外, 北京波动量与确诊前 10 天的云量呈显著正相关, 而香港的波动量与前期云量相关不显著。由此推断气温偏低、气温日较差小、日照时数少或云量多的天气条件, 有利于 SARS 的扩散和传播。

(4) 北京与香港气候有较大差异, 其 SARS 发病人数与时间趋势变化也有很大的差别, 但从两地 SARS 发病与平均气温的幂律关系来看, 它们的传播机理还是有一定

的共性。

(5) 预防 SARS 感染, 建议阴天或天空云量较多的天气尽量减少到人员密集的场所; 医院、商场、学校等公共场所尽量保持通风、干燥。当然, 少吃生冷食物以及在多人就餐时实行分餐制等也是预防 SARS 感染的良好举措。

鉴于 SARS 的机理及成因尚未完全搞清, 气象条件影响 SARS 的扩散和传播等机理有待于今后进一步研究。

致谢 封国林教授、李维京研究员对本文提出宝贵意见, 在此表示衷心地感谢。

参 考 文 献

- 1 “非典型肺炎” 50 问编委会, “非典型肺炎” 50 问, 北京: 京华出版社, 2003, 3~4.
- 2 李青春、陆晨、刘彦等, 北京地区呼吸道疾病与气象条件关系的分析, 气象, 1999, 25 (3), 8~12.
- 3 赵杰夫、吕中科、赵燕妮, 流行性感冒与气象条件的关系初探, 湖北气象, 1998 (2), 17~18.
- 4 陈正洪、杨宏青、王祖承等, 武汉市呼吸道和心脑血管疾病气象预报研究, 湖北中医学院学报, 2001, 3 (2), 15~17.
- 5 刘家奇、刘达恩、张宜英等, 南宁市十大急症与气象要素变化关系探讨, 气候与环境研究, 1999, 4 (1), 25~31.
- 6 王铮、李山、蔡砥, 北京 SARS 疫情出现明显下降趋势, 科学时报, 2003 年 5 月 14 日.
- 7 游漫民、严艳、林东玲, 气温低可能易发非典, 广州召开防治非典研讨会, 信息时报, 2003 年 9 月 12 日.
- 8 P3 实验室, 锁定 SARS 存活期, 科技日报, 2003 年 5 月 27 日.
- 9 董小平, 高温消毒和紫外线照射可有效杀灭非典冠状病毒, [http: //www. xinhua. org](http://www.xinhua.org)
- 10 叶殿秀、杨贤为、张强, 北京地区非典型性肺炎疫情与气象条件关系的初步分析, 气象, 2003, 2 (3), 17~18.
- 11 Wang Wenhao, Yu Changxuan, Xu Yuong et al., Measurement of Edge Plasma Parameters and Their Electrostatic Fluctuations on the HT-7 Superconducting Tokamak, *Acta Physical Sinica*, 2001, 50 (8), 1521~1527.
- 12 Feng Guolin, Cao Hongxing, Dong Wenjie and Chou jifan, A New Difference scheme with multi-time levels, *Chinese Physics*, 2001, 10 (11), 1004~1010.
- 13 Feng GuoLin, Dai XinGang, Wang Aihui et al., On Numerical Predictability in the Chaos System, *Acta Phys. Sin.* 2001, 50 (4), 611~618.

Analysis on the Relationship between Meteorological Conditions and SARS Occurring

Ye Dianxiu¹⁾, Zhang Qiang¹⁾, Dong Wenjie¹⁾, Cheng Zhenghong²⁾, and Zhao Zongqun³⁾

1) (Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

2) (Wuhan Urban Meteorological Engineering and Technological Center, Wuhan 430074)

3) (Public Health College, Beijing University, Beijing 100083)

Abstract Based on the series of daily SARS incident numbers in Beijing and Hong Kong areas in 2003, the relationship between SARS and preceding meteorological conditions were analyzed by using statistic analysis and power law. The results show that the fluctuation of SARS incident numbers during high incident stages in the two cities significantly negative relate to daily maximum temperature, mini-

mum temperature, daily range of temperature, sunshine hours and positive relate to relative humid and cover of cloud ahead of 7 to 10 days. The close power law relationship between meteorological conditions and SARS incident numbers provides a strong observation evidence for self-organization critical state theory applied in atmospheric science.

Key words: SARS; meteorological condition; self-organization critical state; correlative analysis

田 万方数据
WANFANG DATA