地球环境学报
JEE
Journal of Earth Environment
Vol.12 No.5 | Oct. 2021
DOI: 10.7515/JEE212021
研究论文
ARTICLE

太阳活动变化与新型冠状病毒肺炎疫情的发展

张 昊[1]，王 建[1,2]，梁 中[1]，王 婕[1]，孙 威[3]
1. 南京师范大学 地理科学学院，南京 210023
2. 江苏第二师范学院 城市与资源环境学院，南京 210013
3. 上海工程技术大学 数理与统计学院，上海 201620

摘 要：已有研究表明，新型冠状病毒肺炎（以下简称“新冠肺炎”）和以往的传染病大流行与太阳活动存在着密不可分的关系。但是究竟存在什么样的关系，尚未形成一致的意见。并且这些研究大多关注于大流行事件发生的年份与太阳活动周峰谷值年份之间的对应关系，却很少分析大流行的发展过程与太阳活动过程之间的关系。本文基于2020-01-01—2021-09-30太阳黑子数和新冠肺炎确诊数的日、周和月数据，通过序列对比、相关分析以及变化周期比较，探究了两者之间的关系以及可能的成因联系，并利用太阳黑子变化趋势对未来新冠肺炎疫情的发展趋势进行了预测。结果表明：新冠肺炎新增病例数与太阳黑子数呈显著正相关，不仅变化趋势和过程一致，并且存在着多个相似的变化周期。假设其他因素不发生变化，随着太阳活动的增强，未来新冠肺炎新增确诊数可能还会持续地增加，到2022年9月平均每月新增新冠肺炎病例，低方案约为2500万—3000万，中方案可达3300万—3800万，高方案则达4000万—4600万。但是，随着疫苗的普遍接种以及群体免疫力的形成，未来新冠肺炎新增确诊数也有可能比预测值小。

关键词：太阳活动；新型冠状病毒肺炎；关系分析；疫情预测

Changes in solar activity and the development of the COVID-19 pneumonia epidemic

ZHANG Hao[1], WANG Jian[1,2], LIANG Zhong[1], WANG Jie[1], SUN Wei[3]
1. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China
2. School of Urban & Resources and Environment, Jiangsu Second Normal University, Nanjing 210013, China
3. School of Mathematic, Physics and Statistics, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China

Abstract: ***Background, aim, and scope*** Studies have shown that the occurrence of COVID-19 pneumonia and past infectious diseases outbreaks are closely related to changes in solar activity. However, there is no consensus on what kind of relationship exists, and most of these studies focus on the correspondence between the year of pandemic events and the peaks and valleys of the solar cycle, but rarely analyze the relationship between the development process of a pandemic and solar activity. This paper analyzes the COVID-19 pneumonia data and the

收稿日期：2021-09-30；**录用日期：**2021-10-20；**网络出版：**2021-10-25
Received Date: 2021-09-30; **Accepted Date:** 2021-10-20; **Online first:** 2021-10-25
基金项目：国家自然科学基金项目（41807437）；江苏省高校优势学科建设工程资助项目（164320H116）
Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (41807437); Jiangsu Province University Advantageous Discipline Construction Project (164320H116)
通信作者：王 建，E-mail: jwang169@vip.sina.com
Corresponding Author: WANG Jian, E-mail: jwang169@vip.sina.com
引用格式：张 昊，王 建，梁 中，等. 2021. 太阳活动变化与新型冠状病毒肺炎疫情的发展 [J]. *地球环境学报*，12(5): 558–565.
Citation: Zhang H, Wang J, Liang Z, et al. 2021. Changes in solar activity and the development of the COVID-19 pneumonia epidemic [J]. *Journal of Earth Environment*, 12(5): 558–565.

sunspot index in the past 639 d, in order to explore the relationship between them. ***Materials and methods*** Based on the daily, weekly and monthly data on the sunspots number and the number of confirmed cases of COVID-19 pneumonia from January 1, 2020 to September 30, 2021, this paper explores their relationship through sequence comparison, correlation analysis, ensemble empirical mode decomposition (EEMD) and period analysis, and discusses the possible causal relationship between them. The developmental trend of COVID-19 in the future is predicted on the basis of the trend in sunspots. ***Results*** The development process of COVID-19 pneumonia is positively correlated with the change of solar activity on daily, weekly and monthly scales, and not only has the same trend, but also has the same periodic components, for example 3.49—4.04 d, 23.67—24.58 d, 106.50 d, and 319.49 d. ***Discussion*** The development of COVID-19 pneumonia has a strong positive correlation with the changes in sunspots. This indicates that the development of COVID-19 pneumonia may be affected by solar activity. ***Conclusions*** The development of COVID-19 pneumonia may be affected by solar activity. If other factors do not change, with the increase of solar activity the number of new confirmed cases of COVID-19 pneumonia in the future will continue to increase. By September 2022, the average monthly increase in COVID-19 pneumonia cases will be at least 25—30 million, with a median of 33—38 million, and a high scenario of 40—46 million. ***Recommendations and perspectives*** We must pay attention to this phenomenon and take measures as soon as possible. With the implementation of vaccination measures and the presentation of collective immune effects, the number of new cases of COVID-19 pneumonia in the future may be smaller than predicted.

Key words: solar activity; COVID-19 pneumonia; relationship analysis; epidemic prediction

新型冠状病毒肺炎（COVID-19），自 2019 年 12 月报告以来，席卷了全球，已演变成全球大流行（WHO，2020-03-11）。据世界卫生组织网站最新数据显示，截至到 2021 年 9 月 30 日，全球报告确诊病例累计达到 2.331 亿例；死亡报告病例累计达到 477 万例（WHO，2021）。虽然新冠肺炎疫情的爆发被确定是由 2019 年新型冠状病毒引起的，但该病毒的突然出现以及该疫情的发展变化的真正原因仍不清楚。Andersen et al（2020）认为，新型冠状病毒是自然进化的结果，而不是实验室合成的。新病毒的出现通常有几种方式，一种是自然界存在但尚未被检测到的病毒，通过跨物种传播，或者从大气中转移，突然出现在人类身上；另一种是地方性病毒经过基因重组、突变，最终产生新的病原体。新型冠状病毒就是通过基因重组获得了感染人的能力，从而最终在世界范围内造成重大公共卫生威胁（Ji et al，2020）。

一些学者很早就注意到了太阳活动与流感爆发以及传染性疾病发病率之间的关系。Hope-Simpson（1978）调查和分析了太阳活动峰值与流感大流行的关系。Ertel（1994）研究了 1700—1985 年可能或有效的流行病，认为 18 世纪的流行病高发年与太阳活动最弱的时期重合。Tapping et al（2001）则认为，大流行似乎与最强的太阳活动相吻合。Yeung（2006）通过对国际上的一些太阳黑子数进行二项式检验，指出在 1700—2000 年，七次流感大流行与太阳活动的增加相关，太阳黑子对大流行检测的灵敏度为 85.7%。Vaquero and Gallego （2007）的研究结果与 Yeung（2006）的研究结果大致相同。虞震东（1985）研究发现：太阳黑子数的极值时期有时候会出现流感大流行，有时却又不出现流感大流行，由此认为太阳黑子活动的极值时期只是引起流感大流行的一个有利的条件，而不是决定性原因。云梁等（2005）分析发现，猩红热、伤寒与副伤寒、病毒性肝炎、麻疹与太阳黑子活动周期呈负相关。曲江文和高志刚（2012）研究认为：太阳黑子极值年或前后一年新发病毒性传染病的发生率（57.14%）高于其他年份的发生率（24%）。Nasirpour（2021）对 1750—2020 年发生的大流行的分析结果表明：像新冠肺炎这样的世界大流行与太阳黑子数的极值相吻合，36 次大流行中的 27 次（75%）发生在太阳黑子极值上。这些研究表明：太阳活动与流感或者传染病的流行有着一定的关系，但是究竟存在何种关系，尚未形成一致的意见。并且这些研究大多关注于大流行事件发生的年份与太阳活动

DOI: 10.7515/JEE212021

周峰谷值出现年份之间的对应关系，却未见从发展过程演变上来分析大流行与太阳活动之间的关系的研究。本文基于 2020 年 1 月 1 日到 2021 年 9 月 30 日太阳黑子数和新冠肺炎确诊数的日、周和月数据，对太阳黑子数与新冠肺炎确诊数的关系进行了多个方面的分析，以期深入理解两者发展过程中的可能联系。

1 数据及方法

1.1 数据来源

1.1.1 太阳黑子数

太阳黑子数据来自比利时皇家天文台 WDC-SILSO（http://sidc.oma.be/silso/datafiles）。选取了 2020 年 1 月 1 日到 2021 年 9 月 30 日的每日太阳黑子总数和 2020 年 1 月到 2020 年 9 月的每月平均太阳黑子总数。

1.1.2 太阳黑子预测值

每月太阳黑子数的预测值分别来自比利时皇家天文台的 WDC-SILSO（http://www.sidc.be/silso/forecasts）和美国海洋和大气管理局的空间天气预报中心 NOAA-SWPC（https://www.swpc.noaa.gov/products/predicted-sunspot-number-and-radio-flux）。由于拟合是在观察到的 13 个月平滑的每月太阳黑子数上完成的，因此预测范围为：从最后一个月之前的 5 个月到之后的 12 个月，即 2021 年 4 月到 2022 年 9 月。NOAA-SWPC 提供的预测值从最后一个月之前的 5 个月到之后的 240 个月。

1.1.3 新冠肺炎新增确诊数

新冠肺炎每日新增确诊数来自世界卫生组织（WHO）的报告（https://covid19.who.int/）。

1.2 方法

1.2.1 黑子数和新增确诊数不同时间尺度的计算

利用 Excel、IBM SPSS Statistics 26 和 Matlab 分析软件得到 7 天和 14 天滑动平均序列、周序列和月序列。

1.2.2 线性回归方程的确立

利用 Excel 软件对不同时间尺度的太阳黑子数和新增确诊数序列进行散点图绘制，进而得到线性回归方程和拟合优度 R^2。

1.2.3 聚合经验模态分解方法

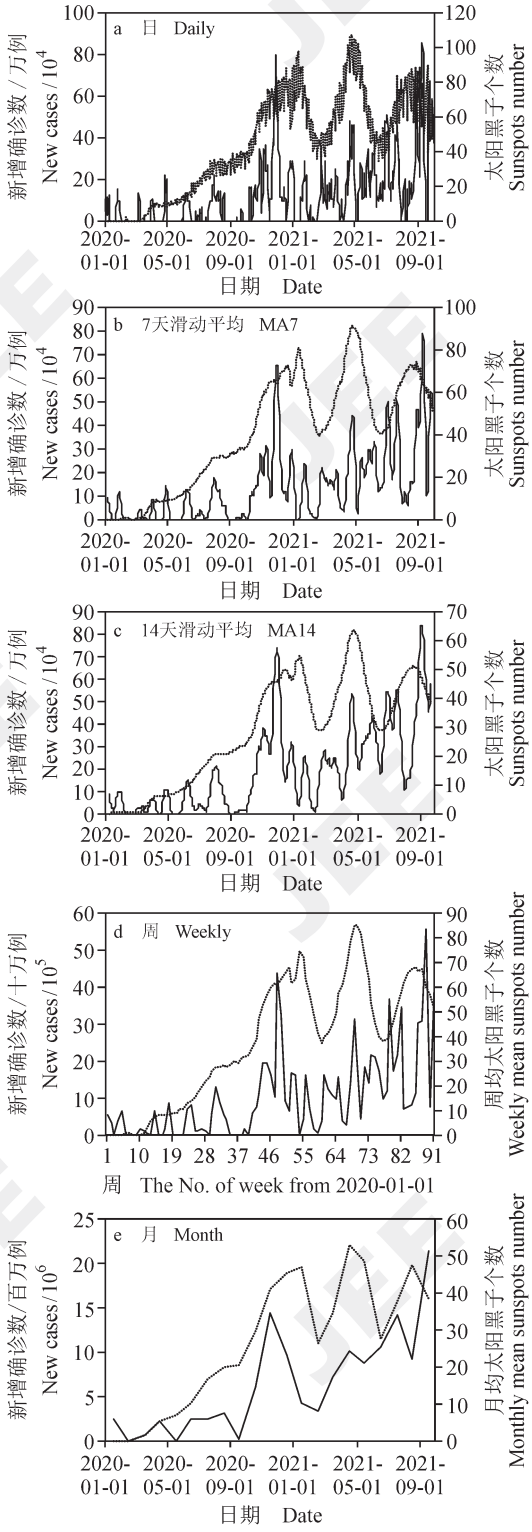
经验模态分解方法（empirical mode decomposition，EMD），适用于分析非线性、非平稳序列信号（Huang et al，1998），该方法将信号视为一系列本征模态函数（IMFs）的混叠，以高频至低频的顺序分解出这些 IMF 分量，不同于小波分析需要借助基函数，而是自适应地把复杂信号分解成一系列完备的正交信号分量，即具备平稳信号特征的 IMFs（庄哲，2018）。基于 EMD 分解出的每个 IMF 分量所蕴含的周期和物理意义可以更加直观。然而经验模态分解方法在广泛应用时可能会存在模态混叠，导致分解的 IMF 分量不一定具有实在的物理意义。针对这个问题，Wu and Huang（2009）对 EMD 进行改进，提出聚合经验模态分解方法（ensemble empirical mode decomposition，EEMD），向信号中加入高斯白噪声，避免模态混叠效应，从而使最终分解的 IMFs 保持物理上的唯一性。基于 EEMD，时间序列可以被分解为若干有物理意义的 IMF 分量以及趋势项（唐洁，2017）。

2 研究结果

2.1 新冠肺炎新增确诊数和太阳黑子数不同时间尺度上时间序列比较

本文基于 2020 年 1 月 1 日到 2021 年 9 月 30 日（共 639 天、91 周和 21 个月）的新冠肺炎新增确诊数和太阳黑子数，从日、周、月三个尺度来对比分析新冠肺炎新增确诊数与太阳黑子数之间的时间序列。由图 1a、图 1b 和图 1c 可以看出，从 2020 年初新冠肺炎疫情刚刚开始的时候，新增确诊数和太阳黑子数都比较少，在 2020 年 7 月之前，随着太阳黑子数的缓慢增加，新增确诊数也在缓慢增加；在 7 月到 10 月太阳黑子数骤降，而新增确诊数增加的速度也缓慢了很多。在 10 月后，太阳黑子数迅速增加并在 11 月底到达一个较大峰值，与此同时新增确诊数也迅速增加，并在 12 月底到次年 1 月初到达高峰。此后，太阳黑子数迅速减少，新增确诊数也随之迅速减少并在 2 月下旬出现一个谷值。在接下来的两个月的时间里，新增确诊数和太阳黑子数又逐步增加，在 4 月中下旬双双达到第二个峰值。此后二者又同时减少，在 6 月中下旬出现另一个谷值，此后又再次回升。

DOI: 10.7515/JEE212021



黑色实线代表太阳黑子数，灰色虚线代表新增确诊数；MA7 和 MA14 分别代表 7 天和 14 天滑动平均。

The black solid line represents the sunspots number, and the gray dotted line represent the number of new cases; MA7 and MA14 represent the 7 d and 14 d moving average, respectively.

图 1　新增新冠肺炎确诊数和太阳黑子数变化比较

Fig. 1　Comparison of the number of newly diagnosed COVID-19 pneumonia and sunspots number

2.2　新冠肺炎新增确诊数和太阳黑子数不同时间尺度上时间序列的相关性分析

由图 2 和表 1 可以看出，在日的时间尺度上，对时间序列进行滑动平均处理，随着滑动平均天数的增加，每日新增确诊数与每日太阳黑子数相关系数逐渐增大，相关系数依次为 0.477、0.53 和 0.636，这表示每日新增确诊数和每日太阳黑子数呈显著正相关，显著性通过了 0.01 水平的检验，并且在消除了偶然的扰动后，相关系数明显增加。在周和月的时间尺度上，随着时间尺度的增加，相关系数由 0.547 增加到 0.701，显著性都通过了 0.01 水平的检验。不同时间尺度的分析都表明太阳黑子数和新冠肺炎新增确诊数之间具有显著的正相关关系。

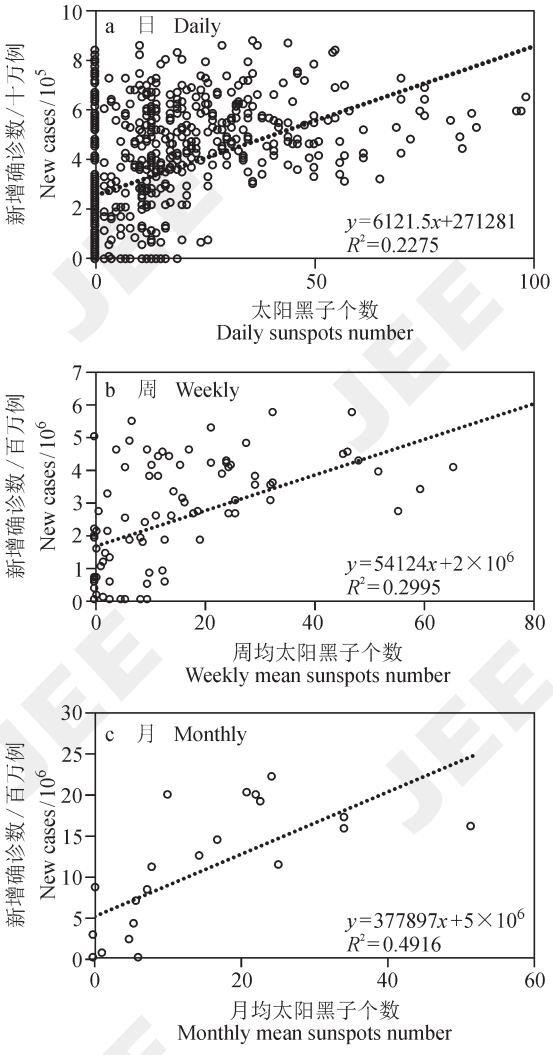


图 2　不同时间尺度新增新冠肺炎确诊数与太阳黑子数关系图

Fig. 2　Relation of new cases of COVID-19 pneumonia with sunspots number at different time scales

DOI: 10.7515/JEE212021

表 1 不同时间尺度新增确诊数和太阳黑子数时间序列的相关性分析
Tab. 1 Correlation analysis of the number of new cases with the sunspots number at different time scales

	每日太阳黑子数 Daily sunspots number	7 天滑动平均太阳黑子数 7 d moving average sunspots number	14 天滑动平均太阳黑子数 14 d moving average sunspots number	周均太阳黑子数 Weekly mean sunspots number	月均太阳黑子数 Monthly mean sunspots number
每日新增确诊数 Daily new cases	0.477**				
7 天滑动平均新增确诊数 7 d moving average new cases		0.553**			
14 天滑动平均新增确诊数 14 d moving average new cases			0.636**		
每周新增确诊数 Weekly new cases				0.547**	
每月新增确诊数 Monthly new cases					0.701**

*：在 0.05 级别（双尾），相关性显著。**：在 0.01 级别（双尾），相关性显著。
*: significant correlation at the 0.05 level (two-tailed). **: significant correlation at the 0.01 level (two-tailed).

2.3 周期组分的对比分析

利用聚合经验模态分解方法（EEMD），对 2020 年 1 月 1 日到 2021 年 9 月 30 日每日黑子数和每日新增新冠肺炎确诊数进行了分析，分解出一系列周期成分（图 3、图 4）。为了更好地显示周期成分，去除了每日新增新冠肺炎确诊数的趋势项（方差贡献率 59.2%）和每日太阳黑子数的趋势项（方差贡献率 37.9%）。结果表明：两个序列存在着多个相同和相似的周期成分，如 3.49—4.04 d、23.67—24.58 d、106.50 d、319.49 d 和 641.02 d 的周期（表 2）。因而，从另外一个角度表明每日新增新冠肺炎确诊数与太阳活动的变化存在着密切的关联。

2.4 两者成因联系的讨论

研究发现，目前已发现的大部分新发病毒性传染病的病原体是具有高变异率的 RNA 病毒，对病毒的基因组来说，点突变、基因重组和基因重排被认为是导致新发病毒性传染病出现的三种基本的变异机制（Hope-Simpson，1978）。在实验室中采用紫外线以及 γ 射线等辐射分别使流感病毒实现了多重感染再复活以及交叉感染再复活，表明太阳活动导致的太阳辐射和宇宙射线的变化可能是新发传染病病毒点突变的一种物理性诱变因素（曲江文和高志刚，2012）。在太阳黑子峰值年前后，太阳活动到达高峰，不仅总体太阳辐射增强，而且来自日冕质量喷射和太阳耀斑产生的高通量带电粒子大大增多。在一次比较大的太阳耀斑爆发后，地球轨道上的质子和氦离子通量可增加四个数量级之多（王同权等，1999）。而当太阳黑子处于谷值时，由于太阳磁场变弱，照射到地球上的银河宇宙射线就会增强，高能质子通量相对于太阳黑子峰值时可上升一个数量级（程彭超和闵锐，2017）。

本文对于新冠肺炎疫情、太阳黑子的序列对比、相关分析和周期组分分析发现，新冠肺炎疫情的发展过程与太阳黑子的变化具有很强的正相关，表明新冠肺炎疫情的发展过程受到太阳活动的影响。影响的可能路径有：（1）太阳活动增强引发的太阳辐射增强，导致了人体免疫力下降；（2）太阳活动增强，破坏了臭氧层，导致紫外线增强，在一定范围内可以起到消毒作用，抑制病毒传播（普布卓玛，2002），但是超过一定范围就会干扰人类的免疫力，有利于疫情的发展（Wickramasinghe，2014）；（3）太阳活动增强有利于把由于彗星等带到平流层的病毒传播到地球近地面（Qu，2016；Qu and Wickramasinghe，2017）；（4）太阳活动导致地球气候和生态环境的变化从而有利于病毒变异和传播（曲江文和高志刚，2012；Qu，2016；Wu，2020）。其中，第四个途径的作用是长期的，可能是新冠肺炎疫情爆发的一个不可忽视的基础和背景条件，但是对于疫情短期的发展变化过程可能不是重要的作用途径。

DOI: 10.7515/JEE212021

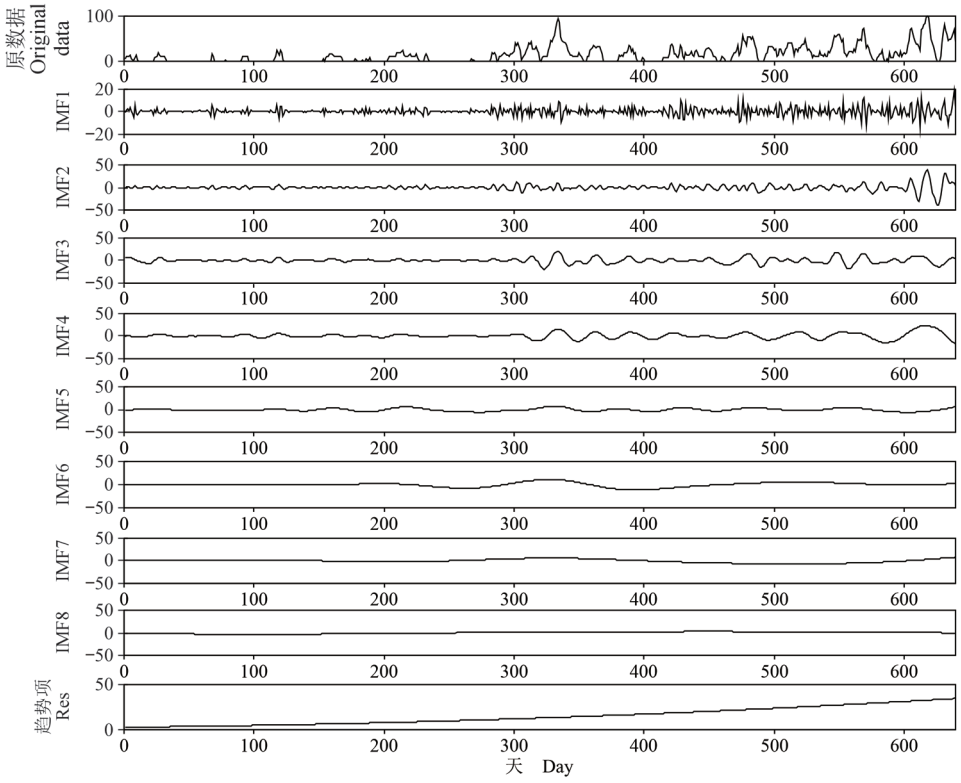


图 3　每日太阳黑子数 EEMD 分析结果

Fig. 3　Results of the EEMD analysis of the daily sunspots number

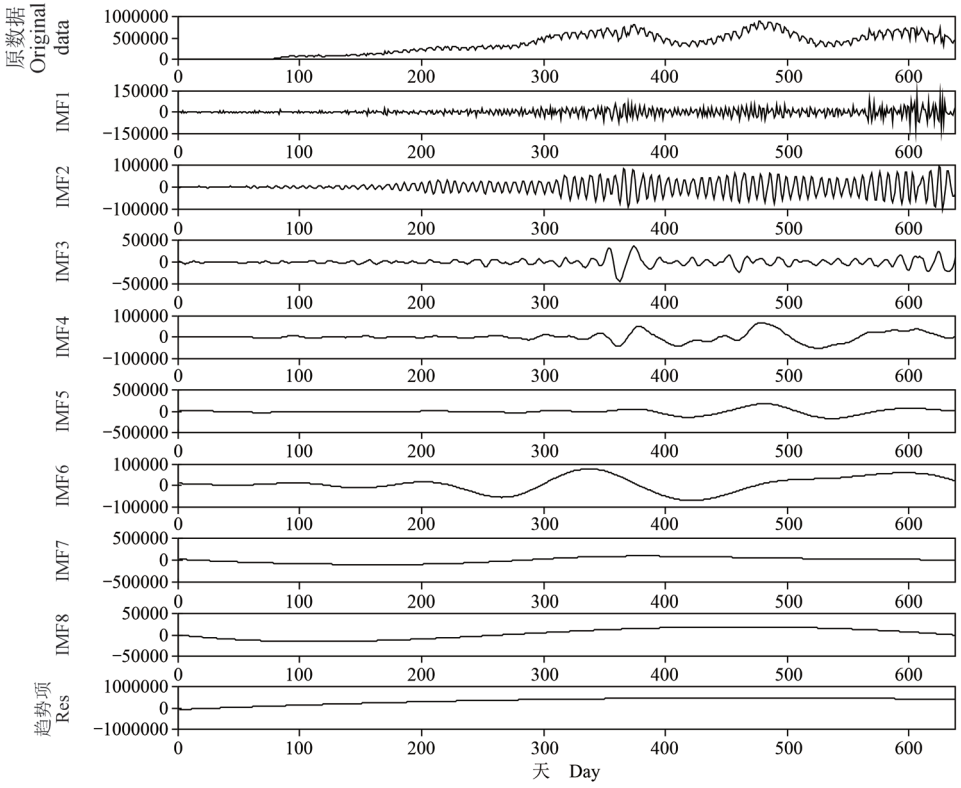


图 4　每日新冠肺炎新增确诊数 EEMD 分析结果

Fig. 4　Results of the EEMD analysis of the daily new cases of COVID-19 pneumonia

DOI: 10.7515/JEE212021

表 2 每日太阳黑子数和新增新冠肺炎确诊数 EEMD 分析结果

Tab. 2 Results of EEMD analysis of daily sunspots number and new cases of COVID-19 pneumonia

每日太阳黑子数的周期成分 Periodic components of daily sunspots number		
组分 Groups	准周期 Quasi-cycle/d	方差贡献率 Variance contribution rate
S-IMF1	4.04	0.06
S-IMF2	16.82	0.24
S-IMF3	23.67	0.21
S-IMF4	45.64	0.22
S-IMF5	106.50	0.05
S-IMF6	213.22	0.13
S-IMF7	319.49	0.05
S-IMF8	641.02	0.03
每日新增确诊数的周期成分 Periodic component of daily new cases		
组分 Groups	准周期 Quasi-cycle/d	方差贡献率 Variance contribution rate
C-IMF1	3.49	0.05
C-IMF2	7.02	0.07
C-IMF3	24.58	0.01
C-IMF4	106.50	0.11
C-IMF5	127.88	0.18
C-IMF6	319.49	0.11
C-IMF7	641.02	0.45
C-IMF8	641.02	0.00

S：太阳黑子数，C：新增确诊数。

S: sunspots number, C: new cases.

2.5 新冠疫情发展趋势的预测

根据对新冠肺炎新增确诊数和太阳黑子数的相关分析结果（图 2），可以获得两者之间的线性回归方程，月尺度上的拟合优度 R^2 最高，达到 0.49。

在 SIDC 和 SWPC 网站上总共提供了 7 种月均太阳黑子数预测结果，其中 SIDC 上包括 6 种预测结果，分别为标准曲线法（SC）、组合法（CM）、麦克尼什和林肯法（ML），以及这三种方法经过卡尔曼滤波器处理后得到的结果。利用该文得到的线性回归方程以及 7 种太阳黑子的预测结果，可以预测未来新冠肺炎疫情发展的趋势。结果表明：假设在防疫措施和卫生条件保持不变情况下，随着太阳黑子数的增加，每月新增新冠肺炎病例将会呈现持续的增加。到 2022 年 9 月平均每月新增新冠肺炎病例，低方案为 2500 万—3000 万，中方案为 3300 万—3800 万，高方案为 4000 万—4600 万（图 5）。但是实际上，随着疫苗接种等措施的实施以及集体免疫效果的呈现，未来新冠肺炎新增病例数量有可能比预测的数值小。

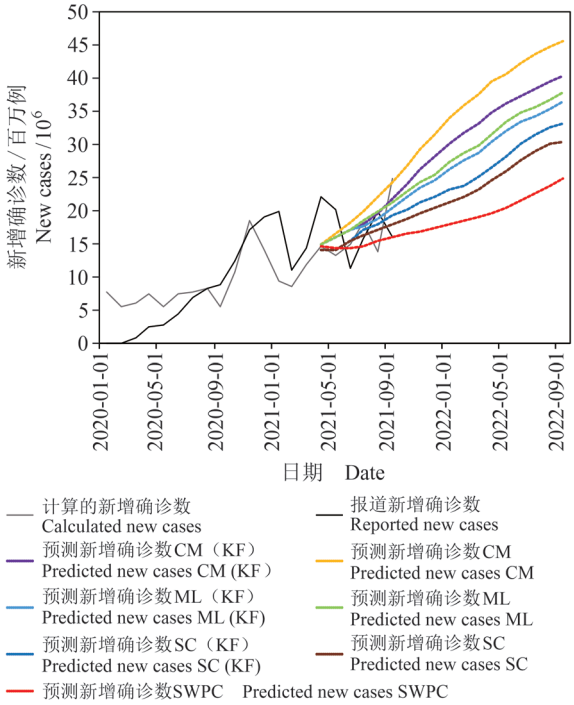


图 5 根据太阳活动变化趋势预测的新冠肺炎疫情发展趋势

Fig. 5 Prediction of COVID-19 pneumonia epidemic trend based on the trend of solar activity

3 结论

通过序列对比、相关分析以及周期比较发现，新冠肺炎新增病例数与太阳黑子数呈显著正相关，不仅变化趋势一致，并且存在着多个相似的变化周期，如 3.49—4.04 d、23.67—24.58 d、106.50 d、319.49 d 和 641.02 d 的周期，表明两者可能存在着成因上的联系。

太阳活动可能通过辐射变化影响病毒变异、传播和人体免疫力或者通过太阳风将可能存在于平流层的病毒输送到地球表面，而影响疫情的发展。

在其他因素保持不变的情况下，新冠肺炎新增确诊数将会随着太阳黑子数的增加而持续增加，到 2022 年 9 月平均每月新增新冠肺炎病例，低方案为 2500 万—3000 万，中方案为 3300 万—3800 万，高方案为 4000 万—4600 万。但是实际上随着疫苗接种等措施的实施以及集体免疫效果的呈现，未来新冠肺炎新增病例数量有可能比预测的数值小。

DOI: 10.7515/JEE212021

参考文献

程彭超 , 闵　锐 . 2017. 近地空间辐射环境与防护方法概述 [J]. *辐射防护通讯* , 37(1): 14–21. [Cheng P C, Min R. 2017. An overview of near-earth space radiation and its protection [J]. *Radiation Protection Bulletin*, 37(1): 14–21.]

普布卓玛 . 2002. 臭氧层变化与流行性脑膜炎及鼠疫流行的关系 [J]. *西藏大学学报* , 17(1): 63–64. [Pubuzhuoma. 2002. The relationship between the change of ozone layer and the epidemic meningitis and the spread of bubonic plague [J]. *Journal of Tibet University*, 17(1): 63–64.]

曲江文 , 高志刚 . 2012. 太阳黑子活动对新发病毒性传染病发生的影响 [J]. *环境与健康杂志* , 29(2): 188–190. [Qu J W, Gao Z G. 2012. Influence of sunspot activity on the occurrence of emerging viral infectious diseases [J]. *Journal of Environment and Health*, 29(2): 188–190.]

唐　洁 . 2017. 基于 EEMD 的陕西降水量与太阳黑子活动关系分析 [J]. *干旱区资源与环境* , 31(4): 154–159. [Tang J. 2017. Relation between rainfall of Shaanxi Province and activities of sunspot based on ensemble empirical mode decomposition [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 31(4): 154–159.]

王同权 , 沈永平 , 王尚武 , 等 . 1999. 空间辐射环境中的辐射效应 [J]. *国防科技大学学报* , 21(4): 36–39. [Wang T Q, Shen Y P, Wang S W, et al. 1999. Radiation effects in the space radiation environment [J]. *Journal of National University of Defense Technology*, 21(4): 36–39.]

虞震东 . 1985. 用宇宙线环境信息预报流感流行 [J]. *自然杂志* , 8(10): 740–742, 768. [Yu Z D.1985. Forecasting influenza epidemics with cosmic ray environmental information [J]. *Chinese Journal of Nature*, 8(10): 740–742, 768.]

云　梁 , 岳在文 , 王志强 , 等 . 2005. 太阳黑子活动周期与传染病发病率关系的探讨 [J]. *内蒙古中医药* , 24(4): 38. [Yun L, Yue Z W, Wang Z Q, et al. 2005. Relationship between sunspot activity cycles and the incidence of infectious diseases [J]. *Inner Mongolia Journal of Traditional Chinese Medicine*, 24(4): 38.]

庄　哲 . 2018. 基于振动数据驱动的受电弓裂纹故障诊断研究 [D]. 成都 : 西南交通大学 . [Zhuang Z. 2018. Research on vibration data-driven for pantograph crack fault diagnosis [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University.]

Andersen K G, Rambaut A, Lipkin W I, et al. 2020. The proximal origin of SARS-CoV-2 [J]. *Nature Medicine*, 26(4): 450–452.

Ertel S. 1994. Influenza pandemics and sunspots—easing the controversy [J]. *Naturwissenschaften*, 81(7): 308–311.

Hope-Simpson R E. 1978. Sunspots and flu: a correlation [J]. *Nature*, 275(5676): 86.

Huang N E, Shen Z, Long S R. et al. 1998. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [C]. Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 454(1971): 903–995.

Ji W, Wang W, Zhao X F, et al. 2020. Cross-species transmission of the newly identified coronavirus 2019-nCoV [J]. *Journal of Medical Virology*, 92(4): 433–440.

Nasirpour M H, Sharifi A, Ahmadi M, et al. 2021. Revealing the relationship between solar activity and COVID-19 and forecasting of possible future viruses using multi-step autoregression (MSAR) [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 38074–38084.

Qu J W, Wickramasinghe C. 2017. SARS, MERS and the sunspot cycle [J]. *Current Science*, 113(8): 1501–1502.

Qu J W. 2016. Is sunspot activity a factor in influenza pandemics? [J]. *Reviews in Medical Virology*, 26(5): 309–313.

Tapping K F, Mathias R G, Surkan D L. 2001. Influenza pandemics and solar activity [J]. *Canadian Journal of Infectious Diseases*, 12: 61–62.

Vaquero J M, Gallego M C. 2007. Sunspot numbers can detect pandemic influenza A: the use of different sunspot numbers [J]. *Medical Hypotheses*, 68(5): 1189–1190.

WHO. 2020-03-11. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19-11 March 2020 [DB/OL]. https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020.

WHO. 2021. WHO coronavirus (COVID-19) dashboard [DB/OL]. https://covid19.who.int/.

Wickramasinghe N C. 2014. The search for our cosmic ancestry [M]. Singapore: World Scientific: 81.

Wu J. 2020. The sunspot cycle leads to origin and epidemic mechanism of novel coronavirus COVID-19 [J]. *Natural Science*, 12(10): 670–680.

Wu Z, Huang N E. 2009. Ensemble empirical mode decomposition: a noise-assisted data analysis method [J]. *Advances in Adaptive Data Analysis*, 1(1): 1–41.

Yeung J W K. 2006. A hypothesis: sunspot cycles may detect pandemic influenza A in 1700—2000 A.D. [J]. *Medical Hypotheses*, 67(5): 1016–1022.

DOI: 10.7515/JEE212021