

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202302039

周帅, 2023. 新冠疫情对全球生物多样性热点地区森林面积的影响 [J]. 广西植物, 43(8): 1478–1487.

ZHOU S, 2023. A global perspective on the influence of COVID-19 pandemic on forest areas in biodiversity hotspots [J]. *Guihaia*, 43(8): 1478–1487.



新冠疫情对全球生物多样性热点地区森林面积的影响

周 帅^{1,2*}

(1. 山西省林业和草原科学研究院, 太原 030012; 2. 山西农业大学, 山西 太谷 030800)

摘 要: 森林是维持生物多样性的重要保障, 森林面积的损失常常会导致区域生物多样性的降低或丧失。为探讨新冠疫情对全球生物多样性的影响, 该文利用 Image J 软件筛选出全球生物多样性热点地区占国土面积超 60% 的国家作为研究对象, 以全球生物多样性热点地区的森林损失面积、生物多样性完整性数据、年度 (2020 年和 2021 年) 新冠疫情影响数据、国内生产总值 (GDP) 为研究对象, 进行关联分析、线性混合效应模型构建和回归预测。结果表明: 虽然新冠病毒的每百万人口感染数量与森林损失面积表现为显著负相关, 具体表现为新冠疫情显著减少了因城市和农业大规模扩张而导致的森林损失面积, 但在新冠疫情暴发的 2 年 (2020 年和 2021 年) 期间, 全球生物多样性热点地区的森林损失总量仍然持续上升, 主要原因是新冠疫情间接加速了人工林和天然林的采伐。回归模型预测显示, 新冠疫情期间, 全球生物多样性热点地区的森林损失面积在 2020 年和 2021 年分别增加了 5.83% 和 21.78%。综上所述, 虽然新冠疫情对生物多样性热点地区的森林损失具有一定的抑制作用, 但森林损失面积仍然在增加。该研究结果为制定生物多样性的保护措施提供了数据支撑。

关键词: 新冠疫情, 生物多样性, 森林, 遥感, 预测模型

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2023)08-1478-10

A global perspective on the influence of COVID-19 pandemic on forest areas in biodiversity hotspots

ZHOU Shuai^{1,2*}

(1. *Shanxi Academy of Forestry and Grassland Sciences, Taiyuan 030012, China*; 2. *Shanxi Agricultural University, Taigu 030800, Shanxi, China*)

Abstract: Forests play a crucial role in maintaining biodiversity, and the loss of forest is often associated with regional biodiversity decline or loss. Therefore, this study aimed to investigate the influence of COVID-19 pandemic on global biodiversity using Image J software to identify countries with more than 60% of the world's biodiversity hotspots, by analyzing data on forest loss area, biodiversity integrity data, annual (in 2020 and 2021) COVID-19 infection data, and

收稿日期: 2023-06-13

基金项目: 中央财政林业改革发展资金项目 (SX202223145)。

第一作者: 周帅 (1987-), 博士研究生, 工程师, 主要从事植物生理生态研究, (E-mail) zhoushuai87@foxmail.com。

* 通信作者

Gross Domestic Product (GDP) in global biodiversity hotspots, using correlation analysis, linear mixed-effects model construction, and regression prediction. The results revealed although a significant negative correlation between the number of COVID-19 infections per million population and forest loss area, namely, the pandemic reduced forest loss due to large-scale urban and agricultural expansion, the total forest loss in global biodiversity hotspots continued to rise during the pandemic years (2020 and 2021), largely due to the indirect acceleration of logging activities in natural and artificial forests. The regression model predicted that the forest loss area in global biodiversity hotspots increased by 5.83% and 21.78% in 2020 and 2021, respectively, during COVID-19 pandemic. Consequently, notwithstanding COVID-19 pandemic's restraining effect on forest loss in biodiversity hotspots, the forest loss area still exhibits an upward trend. The results provide the data supports for developing the protective measures of biodiversity.

Key words: COVID-19, biodiversity, forest, remote sensing, predictive model

生物多样性与动植物的生存环境密切相关 (Vais et al., 2020)。近年来,由于栖息地减少,全球生物多样性丧失日渐加剧,因此人类的生存环境受到威胁 (Cardinale et al., 2012; Pereira et al., 2020)。有研究显示,由于森林的生物多样性高于农田、城市、草原等区域,因此常将生物多样性热点地区的森林覆盖面积作为评价生物多样性破坏程度的重要指标 (Gong et al., 2019; Marín et al., 2021)。森林作为生物多样性的重要载体,其面积正在持续减少。来自 Global Forest Watch 网站 (www.globalforestwatch.org) 的报告显示,2019 年全球原生林面积减少了 2.8% (Chraïbi et al., 2021)。究其原因,一是人类活动,包括森林采伐、滥伐、农业用地侵占等;二是火灾、病虫害等自然灾害的发生 (Abd Latif et al., 2015; Rosa et al., 2021)。

新冠疫情在一定程度上影响了人类的行为习惯和社会规则,如办公场所、交通方式、消费习惯、贸易方式等的转变 (Askitas et al., 2020; Baldwin & Tomiura, 2020),原因在于多国政府为了减缓病毒的传播,采取多种限制人们活动的措施。其中,“居家隔离”政策最为典型,这相当于在全球范围内进行了 1 次“禁闭试验” (Bates et al., 2020),通过对数据的对比和分析,可以发现人类行为对生态系统的影响,并且可以据此制定相应的生物多样性保护措施。目前,已有研究利用民众上传到科学论坛的数据变化,来评估疫情对区域生物多样性 (Maria Sanchez-Clavijo et al., 2021) 和淡水鱼类多样性的干扰程度 (Cooke et al., 2021)。针对新冠疫情对生物多样性的影响,虽然有部分学者持乐观态度 (Sills et al., 2020; Zambrano-Monserrate et al., 2020),但也有学者相对谨慎 (Corlett et al., 2020)。有研究发现,疫情会加剧

生物多样性的减少 (Pinder et al., 2020; Rahman et al., 2021)。从新冠疫情对森林影响的角度来研究, Buongiorno (2021) 利用 GFPMX 模型预测了疫情对林产品的影响; Sannigrahi 等 (2022) 分析了森林火灾与新冠疫情的关联; Lugo-Robles 等 (2021) 评估了森林面积与疫情的关系。但是,目前尚未发现对全球范围内森林覆盖面积的研究。

基于森林面积与生物多样性的密切关系和日趋成熟的森林面积遥感观测手段,本研究重点分析了新冠疫情期间 (2020 年和 2021 年,下同) 的全球生物多样性热点地区的森林损失面积。拟探讨: (1) 新冠疫情暴发前后,全球生物多样性热点地区的森林损失面积是否存在差异; (2) 如果存在差异,那么新冠疫情的严重程度与森林损失面积是否关联; (3) 如果存在关联,那么新冠疫情对森林损失面积是否有影响。因此,本文以全球生物多样性完整性数据为依据,筛选出新冠疫情期间全球生物多样性热点地区占国土面积超 60% 的国家作为研究对象,基于遥感观测的 2001—2021 年间的森林损失面积、2020 年和 2021 年的新冠疫情每百万人口感染数据、国内生产总值 (GDP) 进行相关性分析和预测,以期了解在全球生物多样性热点地区新冠疫情严重程度与森林损失面积的关联情况,分析森林覆盖率与生物多样性之间的内在联系,为制定生物多样性的保护措施提供数据支撑。

1 研究数据与研究方法

1.1 研究数据获取

依据 Hill 等 (2019) 的研究结果,结合 Global Forest Watch 网站的“全球生物多样性完整性”数据,利用 Image J 软件筛选出全球生物多样性热点

地区占国土面积超 60% 的国家(简称为全球生物多样性热点国家,下同)作为研究对象。利用 Global Forest Watch 网站的“森林覆盖减少”图层数据,以及森林减少原因数据,以国界为范围,提取研究对象的年度森林损失面积(Hansen et al., 2013)和 5 种原因(大规模农业扩张、中小规模农业占用、人工林和天然林采伐、森林火灾损失、城市扩张)导致的年度森林损失面积。在 Our World In Data 网站(www.ourworldindata.org)提取研究对象的新冠疫情数据,以研究对象在 2020 年 12 月 31 日和 2021 年 12 月 31 日的每百万病例累积量(Ritchie et al., 2020),分别作为 2020 年和 2021 年单位感染人口数量的数据。在联合国网站(www.un.org)获取研究对象在新冠疫情暴发前两年(2018 年和 2019 年),以及新冠疫情期间的 GDP。Global Forest Watch 和 Our World in Data 网站的数据已被多项研究使用,具备高可信度(Curtis et al., 2018; Cook-Patton et al., 2020; Tegally et al., 2022)。

1.2 数据分析方法

在对研究对象的年度森林损失面积进行比较时,为排除各国原有森林面积可能引起的差异,本研究分别对各研究对象在 2001—2021 年,以及 2019—2021 年的年度森林损失面积进行归一化处理。森林损失面积与单位感染人口数量的相关性分析采用 Spearman 检测方法。在构建线性混合效应模型时,为使分析数据平衡,本研究选取了疫情前期(2018 年和 2019 年)和疫情期(2020 年和 2021 年)的数据作为数据集。为衡量疫情防控期间研究对象经济实力对森林损失面积的潜在影响,本研究引入了各国在研究期内的年度 GDP。线性混合效应模型以 GDP 和每百万病例累积量作为固定效应,国别和年度取样作为随机效应,分别对 5 种原因导致的森林损失面积建模。首先,基于模型拟合结果、新冠疫情严重程度与 GDP 的关联(Pardhan & Drydakis, 2021)、GDP 与森林损失面积的关联(Wang et al., 2016)等因素,初步构建线性混合效应结构方程;然后,依据卡方检验的显著性,对结构方程进行优化;最后,确定新冠疫情严重程度对年度森林损失面积的影响模型。年度森林损失面积拟合采用公式(1),数据统计分析采用 2023 年 R Core Team 的 R 4.2.2 软件。其中,线性混合模型主要采用“nlme”包,结构方程主要采

用“piecewiseSEM”包,绘图采用 Origin 2019 软件和 QGIS 3.28.3 软件。

$$y = y_0 + A \left[m_u \frac{2}{\pi} \frac{w}{4(x-x_c)^2 + w^2} + (1-m_u) \frac{\sqrt{4\ln 2}}{\sqrt{\pi} w} e^{-\frac{4\ln 2}{w^2}(x-x_c)^2} \right] \quad (1)$$

式中: y 表示森林损失面积; x 表示年份; y_0 、 A 、 m_u 、 x_c 、 w 为公式系数。

2 结果与分析

2.1 2001—2021 年森林损失情况

所筛选出的符合条件的国家有 53 个。新冠疫情暴发后的两年(2020 年和 2021 年),生物多样性热点地区整体的森林损失面积较 2019 年持续增加,2020 年和 2021 年分别增加了 3.66% 和 12.49%(图 1)。排除了国家间原有森林面积对结果造成的影响后,各国 2020 年和 2021 年的平均森林损失面积呈下降趋势,表明国家间差异较大(图 2)。

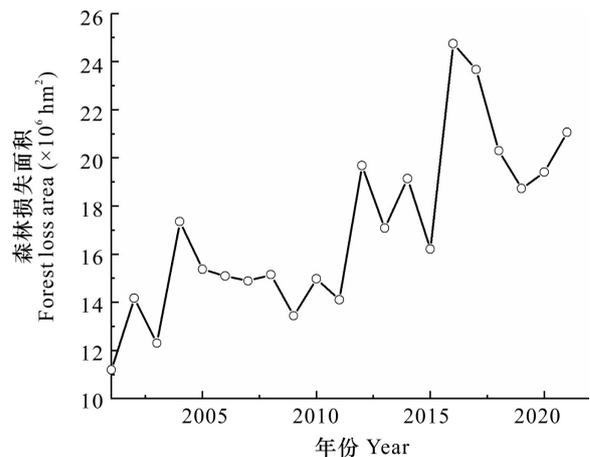
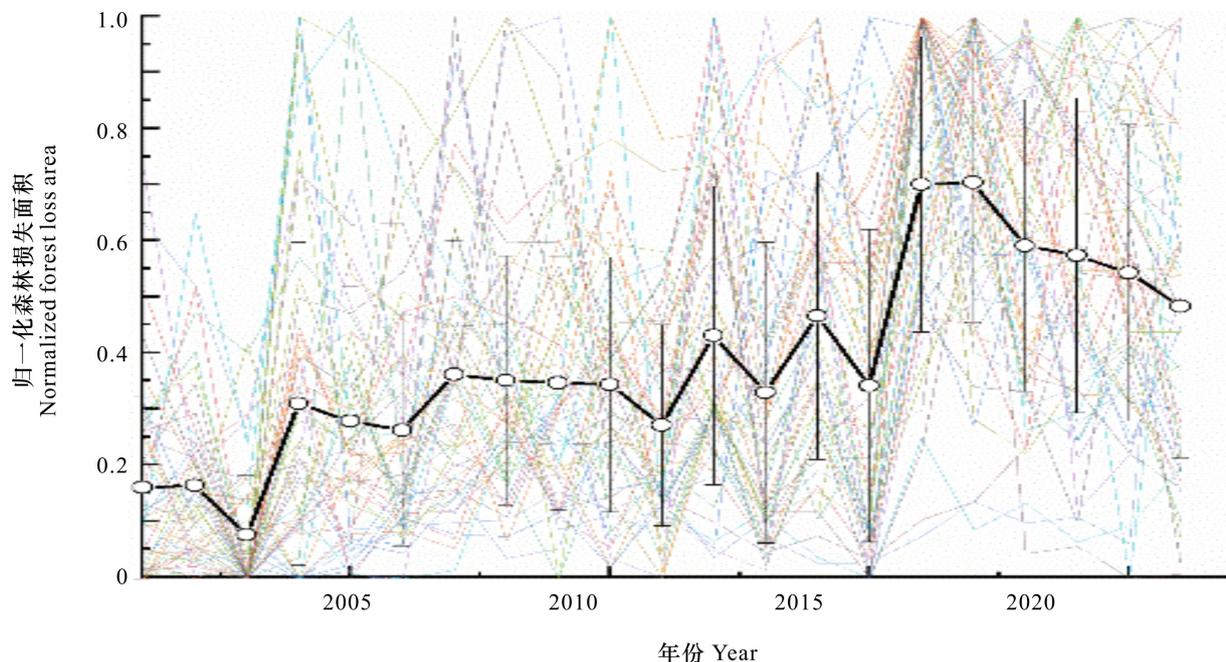


图 1 全球生物多样性热点国家在 2001—2021 年的森林损失总面积

Fig. 1 Total area of forest loss in global biodiversity hotspot countries from 2001 to 2021

2.2 2019—2021 年森林损失情况

图 3 为各国 2019 年新冠疫情尚未大规模暴发时,以及新冠疫情暴发后第 1 年(2020 年)和第 2 年(2021 年)的森林损失面积。53 个国家的森林损失变动情况可以分为 4 类:第 1 类是下降型,即与 2019 年相比,2020 年和 2021 年的森林损失面



各国的森林损失面积为归一化后的数据,粗线表示平均值,细线表示各国的数据。

Forest loss area of each country is the normalized data, with the thick line representing the average value and the thin line representing the data of each country.

图 2 全球生物多样性热点国家在 2001—2021 年的森林损失归一化数据

Fig. 2 Normalized forest loss data for countries in global biodiversity hotspot countries from 2001 to 2021

积持续下降的国家(图 3:a),共计 28 个;第 2 类是先升后降型,即与 2019 年相比,森林损失面积在 2020 年上升,而在 2021 年则下降的国家(图 3:b),共计 12 个;第 3 类是无变化型,即森林损失面积在疫情前后无明显变化趋势的国家(图 3:c),共计 3 个;第 4 类是上升型,即与 2019 年相比,2020 年和 2021 年的森林损失面积逐年增加的国家(图 3:d),共计 10 个。

对 4 类情况涉及的国家数量进行统计,统计结果显示在新冠疫情暴发的两年期间,森林损失面积减少的国家占比达到 75.47%(下降型和先升后降型的国家数量之和),上升型的国家占比为 18.87%(图 4)。由此可见,在新冠疫情暴发的两年内,全球生物多样性热点地区超过四分之三国家的森林损失面积下降,而接近五分之一国家的森林损失面积上升。

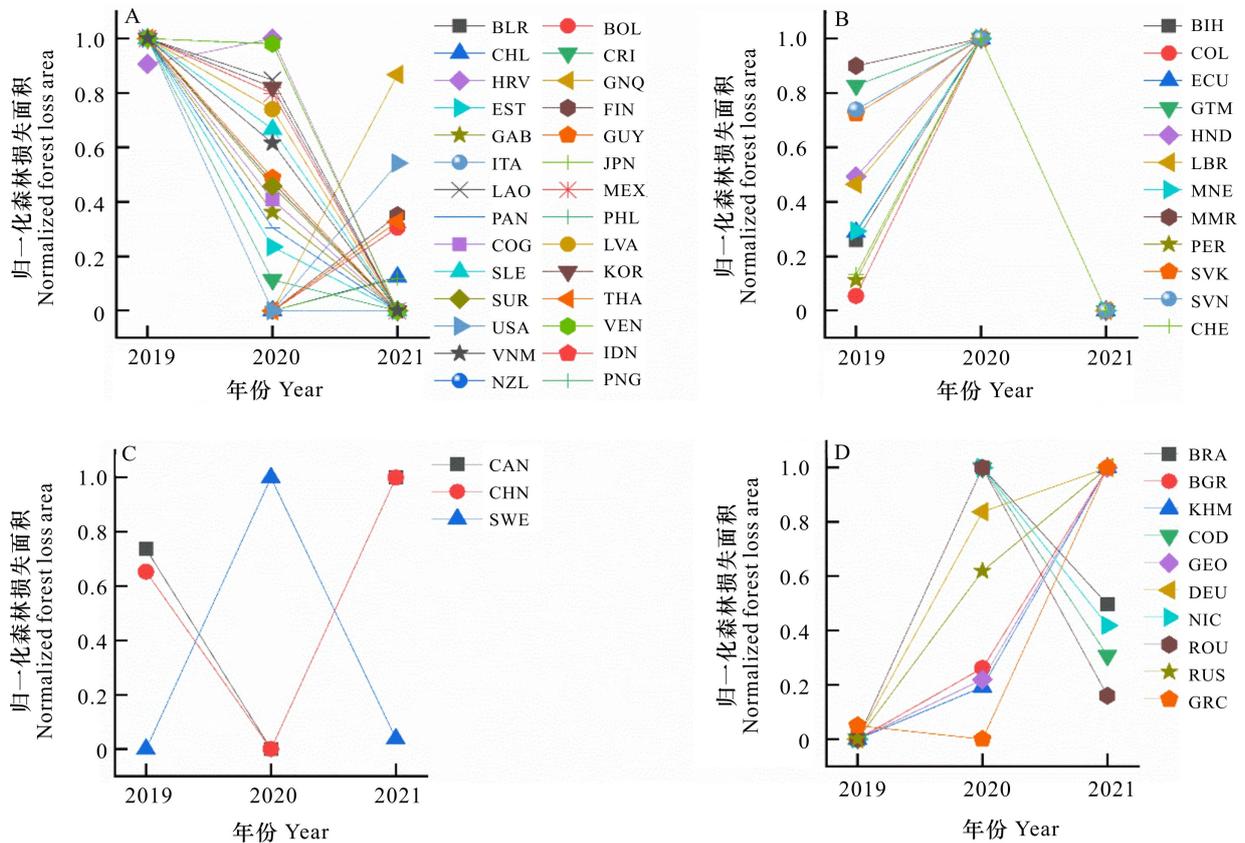
对 4 类情况各国的森林损失面积进行统计,统计结果显示在新冠疫情暴发的两年期间,上升型国家的森林损失面积占比达到 53.82%,下降型和先升后降型国家分别为 26.82%和 6.14%,合计达

到 32.96%(图 5)。这些变化表明新冠疫情期间,上升型国家的森林损失面积所占比例最高。因此,图 4 与图 5 结果显示出了相矛盾的变化趋势。

2.3 新冠疫情严重程度与森林损失面积的关联分析

分别以新冠疫情暴发两年间、第 1 年、第 2 年的生物多样性热点国家的森林损失面积与单位感染人口数量(每百万人口感染数量)进行 Spearman 相关性分析(图 6)。由图 6 可知,疫情暴发两年间(2020—2021 年),单位感染人口数量与森林损失面积呈极显著负相关。类似的,在疫情暴发第 1 年(2020 年),新冠疫情严重程度就显示出与森林损失面积呈显著负相关;进入新冠疫情暴发的第 2 年(2021 年),这一趋势愈加明显,相关系数从 2020 年的 -0.36 ($P < 0.01$) 降低到 -0.43 ($P < 0.01$)。

混合效应模型(表 1,表 2)显示,新冠疫情期间,单位感染人口数量与城市扩张导致的森林损失面积呈显著负相关,表明新冠疫情越严重,城市扩张占用林地的面积越小。表 1 和表 2 还显示,在新冠疫情前后,城市扩张和商业采伐造成的森林面积减少均会受到 GDP 的显著影响。结构方程模型揭



国名采用国际通用的 ISO 代码。BLR. 白俄罗斯; BOL. 玻利维亚; CHL. 智利; CRI. 哥斯达黎加; HRV. 克罗地亚; GNQ. 赤道几内亚; EST. 爱沙尼亚; FIN. 芬兰; GAB. 加蓬; GUY. 圭亚那; ITA. 意大利; JPN. 日本; LAO. 老挝; MEX. 墨西哥; PAN. 巴拿马; PHL. 菲律宾; COG. 刚果共和国; LVA. 拉脱维亚; SLE. 塞拉利昂; KOR. 韩国; SUR. 苏里南; THA. 泰国; USA. 美国; VEN. 委内瑞拉; VNM. 越南; IDN. 印度尼西亚; NZL. 新西兰; PNG. 巴布亚新几内亚; BIH. 波斯尼亚和黑塞哥维那; COL. 哥伦比亚; ECU. 厄瓜多尔; GTM. 危地马拉; HND. 洪都拉斯; LBR. 利比里亚; MNE. 黑山; MMR. 缅甸; PER. 秘鲁; SVK. 斯洛伐克; SVN. 斯洛文尼亚; CHE. 瑞士; CAN. 加拿大; CHN. 中国; SWE. 瑞典; BRA. 巴西; BGR. 保加利亚; KHM. 柬埔寨; COD. 刚果民主共和国; GEO. 格鲁吉亚; DEU. 德国; NIC. 尼加拉瓜; ROU. 罗马尼亚; RUS. 俄罗斯; GRC. 希腊。A. 下降型, 即与疫情开始前(2019年)相比, 2020年和2021年的森林损失面积持续下降的国家; B. 先升后降型, 即2020年上升、2021年下降的国家; C. 无变化型, 即无明显变化趋势的国家; D. 上升型, 即森林损失面积逐年增加的国家。各国的森林损失面积为归一化后的数据。

Country names are ISO Country code. BLR. Belarus; BOL. Bolivia; CHL. Chile; CRI. Costa Rica; HRV. Croatia; GNQ. Equatorial Guinea; EST. Estonia; FIN. Finland; GAB. Gabon; GUY. Guyana; ITA. Italy; JPN. Japan; LAO. Lao P. D. R.; MEX. Mexico; PAN. Panama; PHL. Philippines; COG. Republic of Congo; LVA. Latvijas Republika; SLE. Sierra Leone; KOR. Korea; SUR. Suriname; THA. Thailand; USA. United States; VEN. Venezuela; VNM. Vietnam; IDN. Indonesia; NZL. New Zealand; PNG. Papua New Guinea; BIH. Bosnia and Herzegovina; COL. Colombia; ECU. Ecuador; GTM. Guatemala; HND. Honduras; LBR. Liberia; MNE. Montenegro; MMR. Myanmar PER. Peru; SVK. Slovak; SVN. Slovenia; CHE. Switzerland; CAN. Canada; CHN. China; SWE. Sweden; BRA. Brazil; BGR. Bulgaria; KHM. Cambodia; COD. Democratic Republic of the Congo; GEO. Georgia; DEU. Germany; NIC. Nicaragua; ROU. Romania; RUS. Russia; GRC. Greece. A. Descending type, i. e., countries with sustained declines in forest loss in 2020 and 2021 compared to before the outbreak began (2019); B. Ascending then descending type, i. e., rising countries in 2020 and falling countries in 2021; C. Invariant type, i. e., countries with no significant trend of change; D. Ascending type, i. e., countries where forest loss is increasing year by year. Forest lost area for each country is normalized data.

图 3 全球生物多样性热点国家在 2019—2021 年森林损失面积的标准化数据

Fig. 3 Normalized data on forest loss area in global biodiversity hotspot countries from 2019 to 2021

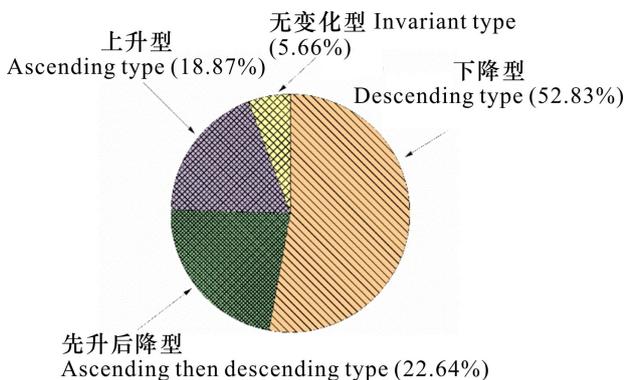


图 4 新冠疫情暴发两年间 4 类森林损失面积变化类型的国家数量占比

Fig. 4 Proportion of the number of countries with four types of forest loss area types during two year of COVID-19 outbreak

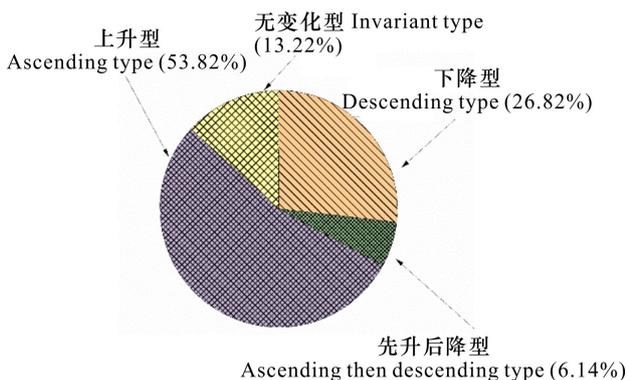
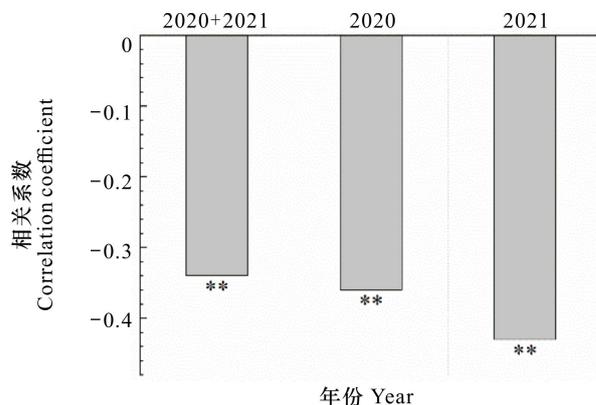


图 5 新冠疫情暴发两年间 4 类森林损失面积变化类型的国家森林损失面积占比

Fig. 5 Proportion of the forest loss area of countries with four types of forest loss area types during two year of COVID-19 outbreak

示了新冠疫情对森林损失的 4 条影响路径(图 7): (1) 每百万人口感染数量→城市扩张→森林损失; (2) 每百万人口感染数量→GDP→城市扩张→森林损失; (3) 每百万人口感染数量→GDP→大规模农业扩张→森林损失; (4) 每百万人口感染数量→GDP→人工林和天然林采伐→森林损失。

在 4 条路径中, 新冠疫情的每百万人口感染数量对森林损失的标准系数分别为 -1.4×10^{-4} ($= -0.07 \times 0.002$)、 0.5×10^{-4} ($= 0.06 \times 0.41 \times 0.002$)、 -18.4×10^{-4} [$= 0.06 \times (-0.18) \times 0.17$]、 39.1×10^{-4} ($= 0.06 \times 0.21 \times 0.31$), 对森林损失的总体影响标准化系数为 19.8×10^{-4} 。



** 表示相关系数在 0.01 水平上显著。

** indicates that the correlation coefficient is significant at the 0.01 level.

图 6 新冠疫情暴发两年间全球生物多样性热点国家的森林损失面积与每百万人口感染数量的 Spearman 相关性系数

Fig. 6 Spearman's correlation coefficient between forest loss area and infections per million population in global biodiversity hotspot countries during two year of COVID-19 outbreak

表 1 新冠疫情暴发前全球生物多样性热点国家的森林损失面积与 GDP 的线性混合模型系数

Table 1 Coefficients of linear mixed models for forest loss area versus GDP in global biodiversity hotspot countries before COVID-19 outbreak

系数 Coefficient	中小规模 农业占用 Small- and medium-scale agriculture occupancy	城市扩张 Urban expansion	大规模 农业扩张 Large-scale agriculture expansion
截距 Intercept	0.44	-7.27×10^{-5}	0.25
GDP	-7.30×10^{-6}	3.65×10^{-7}	-4.52×10^{-6}
随机效应方差 Random effects variance	0.14	<0.01	0.08
固定效应 R^2 Fixed effects R^2	0.12	0.27	0.08
R^2	0.99	0.91	0.99

注: 表中仅为截距或斜率显著的模型系数, 粗体代表在 0.05 水平上显著相关。下同。

Note: Only model coefficients with significant intercepts or slopes are shown in the table, and bold represents a significant correlation at the 0.05 level. The same below.

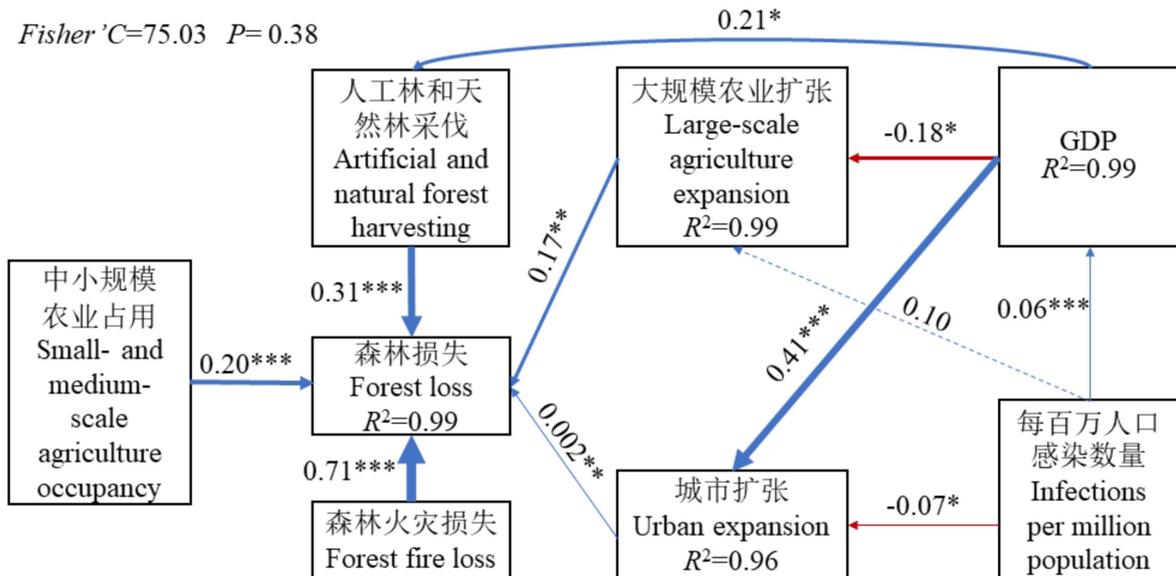
2.4 新冠疫情对森林损失面积影响的估计值

为定量研究新冠疫情对生物多样性热点地区森林损失的影响, 采用 PsdVoigt 1 公式拟合 2001—

表 2 新冠疫情暴发后全球生物多样性热点国家的森林损失面积与 GDP 和每百万人口感染数量的线性混合模型系数

Table 2 Coefficients of linear mixed models for forest loss area versus GDP and infections per million population in global biodiversity hotspot countries after COVID-19 outbreak

系数 Coefficient	中小规模农业占用 Small- and medium-scale agriculture occupancy	城市扩张 Urban expansion	大规模农业扩张 Large-scale agriculture expansion	人工林和天然林采伐 Artificial and natural forests harvesting
截距 Intercept	0.34	2.00×10^{-3}	0.22	0.37
GDP	-1.00×10^{-6}	2.83×10^{-7}	-2.80×10^{-6}	9.10×10^{-6}
每百万人口感染数量 Infections per million population	$<0.00 \times 10^{-8}$	-1.56×10^{-8}	-6.00×10^{-8}	$<0.00 \times 10^{-8}$
随机效应方差 Random effect variance	0.15	<0.01	0.08	0.63
固定效应 R^2 Fixed effect R^2	0.02	0.17	0.03	0.05
R^2	0.99	0.96	0.99	0.99

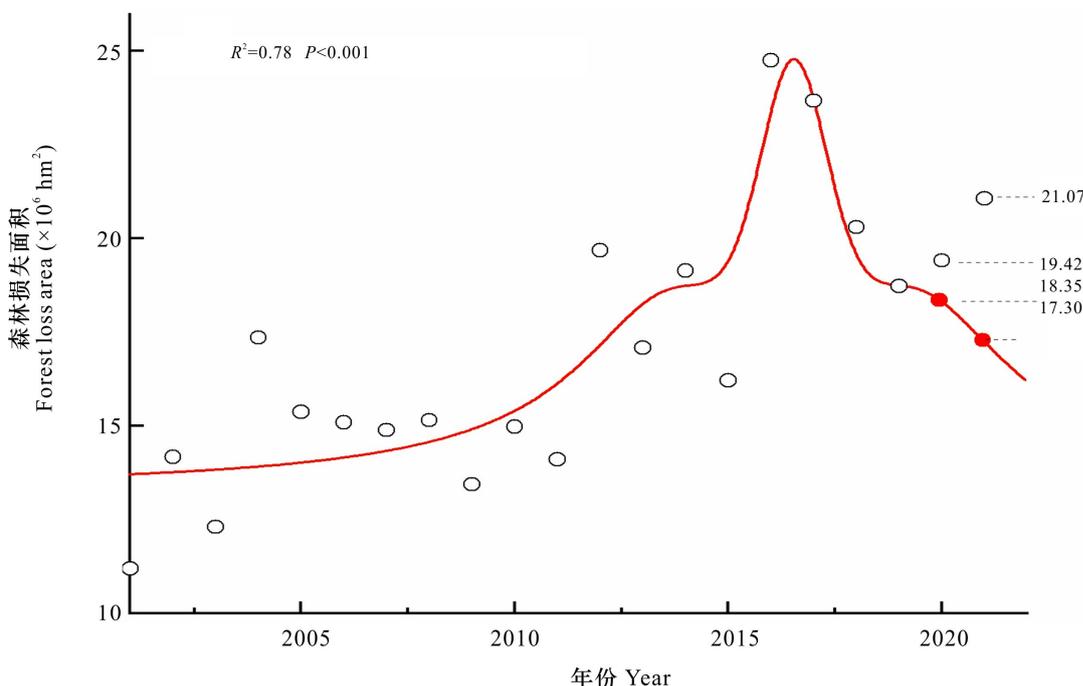


模型以新冠疫情期(2020年和2021年)的数据构建;蓝线和红线分别表示正效应和负效应,实线表示效应达到显著水平;虚线表示效应未达到显著水平; *表示 $P < 0.05$, ***表示 $P < 0.001$, R^2 表示单个变量的拟合程度。
 Model are constructed with data from the epidemic period (2020 and 2021); The blue and red lines indicate positive and negative effects, respectively, the solid line indicates that the effect reaches a significant level, the dashed line indicates that the effect don not reach a significant level; * indicates $P < 0.05$, *** indicates $P < 0.001$, and R^2 indicates the degree of individual variable fit.

图 7 新冠疫情暴发后全球生物多样性热点国家的森林损失面积与 GDP 和每百万人口感染数量的结构方程模型
 Fig. 7 Structural equation model of forest loss area versus GDP and infections per million population in global biodiversity hotspot countries after COVID-19 outbreak

2019年间的森林损失总面积,根据获得的模型预测新冠疫情若没有暴发,2020年和2021年的生物多样性热点地区森林损失总面积。拟合结果(图8)显示,模型的决定系数 R^2 为0.78 ($P < 0.001$)。

该模型揭示,在新冠疫情暴发后第1年,森林损失面积较预测值增加了1 069 039.2 hm^2 ,增加幅度为5.83%;在疫情暴发后第2年,损失面积较预测值增加了3 767 853.9 hm^2 ,增加幅度为21.78%。



红线表示基于 2001—2019 年森林损失面积的拟合曲线，红色圆点表示预测的 2020 年和 2021 年森林损失面积，空心圆点表示实测的各年森林损失面积，拟合公式为 PsdVoigt 1。

Red line represents the fitting curve based on the forest loss area from 2001 to 2019, red dots represent the predicted forest loss area in 2020 and 2021, hollow dots represent the measured forest loss area in each year. Fitting formula is PsdVoigt 1.

图 8 2001—2022 年全球生物多样性热点地区森林损失面积的拟合图

Fig. 8 Fitted plot of forest loss area in global biodiversity hotspot areas from 2001 to 2022

3 讨论

新冠疫情暴发前，已有研究观察到人类经济活动与森林损失具有密切联系 (Wang et al., 2016)，如商业开发导致全球 27% 的林地被毁 (Curtis et al., 2018)。本研究也发现了类似现象：新冠疫情暴发前，经济活动与城市扩张毁林和大规模农业开发毁林之间存在显著关联；新冠疫情暴发后，GDP 与城市扩张、大规模农业扩张，以及人工林和天然林采伐的关联仍然显著。因此，新冠疫情前后，人类经济活动始终对森林损失面积具有重要影响。

关于新冠疫情与森林面积的关联，现有研究存在多种观点。在森林覆盖面积方面，Lugo-Robles 等 (2021) 发现，森林面积与 WHO 公布的公共卫生事件暴发频繁呈显著正相关，并发现新冠病毒感染率与森林面积存在相似的联系；而 Li 等 (2022) 发现，低收入国家森林覆盖率与新冠疫情

致死率呈负相关。在森林损失面积方面，一些研究发现新冠疫情与毁林面积存在正相关关系 (Brancalion et al., 2020; Rahman et al., 2021)，但也有研究观察到负相关关系 (Yang et al., 2020)。研究所涉及的时空尺度不一致，可能是前述研究结论各异的原因，如 Lugo-Robles 等 (2021) 和 Li 等 (2022) 都只考察了一段时期内的平均森林覆盖面积，而 Brancalion 等 (2020)、Yang 等 (2020) 和 Rahman 等 (2021) 的研究区域仅涉及部分国家或地区。

本研究发现，新冠疫情对森林损失面积的影响有两种表现：一种是新冠疫情导致毁林增加。有研究发现在热带地区实施封城措施仅 1 个月，毁林面积就达到了新冠疫情发生前的 2 倍 (Brancalion et al., 2020)，孟加拉国的研究同样发现类似现象 (Rahman et al., 2021)。另一种是新冠疫情抑制城市扩张。Yang 等 (2020) 也发现这一现象。对于导致第一种现象的原因，可能与新冠疫情对人类健康及医疗系统的冲击，以及各国

为降低感染率而实行的各类隔离政策有关 (Askitas et al., 2020; Baldwin & Tomiura, 2020)。例如,人类因实施疫情防护与隔离政策增加了林产品的需求,导致大量的人工林和天然林被采伐。对于第二种现象产生的原因,可能源于各国实施的居家隔离政策抑制了经济发展,进而限制了城市扩张和农业大规模开发,加之野生动物交易的减少,森林及其附属的生物多样性得到了保护 (Gibbons et al., 2022)。

在新冠疫情期间,虽然只有 10 个国家的森林损失面积持续增加,但他们的森林损失面积却占到总森林损失面积的 53.82%,本研究结果表现出了相矛盾的变化趋势。这种现象可能与各国原有的森林覆盖面积差异较大有关,也可能与各国的防疫政策不同,以及随机事件的发生有关。例如,新冠疫情期间印尼的森林砍伐放缓,是由油棕扩张放缓和油价下跌引起的 (Gaveau et al., 2022)。

目前,利用遥感技术获取大尺度森林损失面积的方法已经较为成熟 (Hill et al., 2019),如 Global Forest Watch 据此计算了全球森林损失面积 (Bovolo & Donoghue, 2017)。但是,也有研究发现遥感产品的分辨率不同以及不同类型的地面干扰情况均会影响森林覆盖面积的计算,可能导致森林损失面积的空间范围和变化时间出现估计偏差 (Milodowski et al., 2017)。因此,今后的研究还需要引入不同来源的观测数据以提高研究精度。此外,还可以将各国的防疫政策、人类行为变化、突发森林灾害等因素纳入研究疫情影响的模型,以提高模型的估算准确度。本研究采用模型预测的方法评估新冠疫情对森林损失面积的影响,这种方法得到的结果可能掺杂了其他因素的影响作用,增大疫情的效应值。但是,鉴于本研究采用的分析数据和统计方法具有较高的可信度和准确性,研究结果仍然支持下述推论,即采取与“禁闭实验”类似的措施可以抑制人类活动,以减少森林面积流失,但由于复杂网络关系的存在,这一措施可能诱发森林面积发生更大规模的损失,反而降低区域的生物多样性。

4 结论

本研究所涉及的国家共计 53 个,与新冠疫情暴发前相比,新冠疫情暴发后的两年(2020 年和

2021 年),各国的森林平均损失面积持续降低,但总损失面积持续增加,主要原因在于五分之一森林损失面积持续增加的国家损失面积占总损失量的 53.82%。新冠病毒单位感染人口数量与森林损失面积呈极显著负相关,其中新冠疫情对因城市扩张而导致的森林损失有显著负效应。新冠疫情对森林损失的影响存在 4 条路径,总影响程度与疫情防控期间因城市扩张而导致的森林面积减少的程度相当。基于 2001—2019 年的森林损失面积建立的回归模型显示,新冠疫情期间,2020 年和 2021 年的森林损失总量分别比预测值增加了 5.83% 和 21.78%。综上所述,新冠疫情对全球生物多样性热点地区的森林损失面积存在影响,虽然抑制了一部分人类活动对森林的破坏,但仍然通过复杂网络关系增加了森林的损失面积。

参考文献:

- ABD LATIF Z, ZAQQWAN HM, SAUFI M, et al., 2015. Deforestation and carbon loss estimation at tropical forest using multispectral remote sensing: case study of Besul Tambahan Permanent Forest Reserve [C]. 4th International Conference on Space Science and Communication (IconSpace). Langkawi, Malaysia, IEEE: 348-351.
- ASKITAS N, TATSIRAMOS K, VERHEYDEN B, 2020. Lockdown strategies, mobility patterns and COVID-19 [J]. Covid Econ, 23: 263-302.
- BALDWIN R, TOMIURA E, 2020. Thinking ahead about the trade impact of COVID-19 [J]. Econ Time COVID-19, 59: 59-71.
- BATES AE, PRIMACK RB, MORAGA P, et al., 2020. COVID-19 pandemic and associated lockdown as a “Global Human Confinement Experiment” to investigate biodiversity conservation [J]. Biol Conserv, 248: 108665.
- BOVOLO CI, DONOGHUE D NM, 2017. Has regional forest loss been under estimated? [J]. Environ Res Lett, 12(11): 111003.
- BRANCALION PHS, BROADBENT EN, DE-MIGUEL S, et al., 2020. Emerging threats linking tropical deforestation and the COVID-19 pandemic [J]. Perspect Ecol Conserv, 18(4): 243-246.
- BUONGIORNO J, 2021. GFPMX: A cobweb model of the global forest sector, with an application to the impact of the COVID-19 pandemic [J]. Sustain, 13(10): 5507.
- CARDINALE BJ, DUFFY JE, GONZALEZ A, et al., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity [J]. Nature, 486(7401): 59-67.
- CHRAIBI E, ARNOLD H, LUQUE S, et al., 2021. A remote sensing approach to understanding patterns of secondary succession in tropical forest [J]. Rem Sen, 13(11): 2148.

- COOK-PATTON SC, LEAVITT SM, GIBBS D, et al., 2020. Mapping carbon accumulation potential from global natural forest regrowth [J]. *Nature*, 585(7826): 545–550.
- COOKE SJ, TWARDK WM, LYNCH AJ, et al., 2021. A global perspective on the influence of the COVID-19 pandemic on freshwater fish biodiversity [J]. *Biol Conserv*, 253(4): 108932.
- CORLETT RT, PRIMACK RB, DEVICTOR V, et al., 2020. Impacts of the coronavirus pandemic on biodiversity conservation [J]. *Biol Conserv*, 246(2020): 108571.
- CURTIS PG, SLAY CM, HARRIS NL, et al., 2018. Classifying drivers of global forest loss [J]. *Science*, 361(6407): 1108–1111.
- GAVEAU D LA, LOCATELLI B, SALIM MA, et al., 2022. Slowing deforestation in Indonesia follows declining oil palm expansion and lower oil prices [J]. *PLoS ONE*, 17(3): e0266178.
- GIBBONS DW, SANDBROOK C, SUTHERLAND WJ, et al., 2022. The relative importance of COVID-19 pandemic impacts on biodiversity conservation globally [J]. *Biol Conserv*, 36(1): e13781.
- GONG J, XIE Y, CAO E, et al., 2019. Integration of InVEST-habitat quality model with landscape pattern indexes to assess mountain plant biodiversity change: a case study of Bailongjiang watershed in Gansu Province [J]. *J Geogr Sci*, 29(7): 1193–1210.
- HANSEN MC, POTAPOV PV, MOORE R, et al., 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change [J]. *Science*, 342(6160): 850–853.
- HILL SL, ARNELL A, MANEY C, et al., 2019. Measuring forest biodiversity status and changes globally [J]. *Front For Glob Chang*, 2: 70.
- LI H, ZHANG G, CAO Y, 2022. Forest area, CO₂ emission, and COVID-19 case-fatality rate: a worldwide ecological study using spatial regression analysis [J]. *Forests*, 13(5): 736.
- LUGO-ROBLES R, GARGES EC, OLSEN CH, et al., 2021. Identifying nontraditional epidemic disease risk factors associated with major health events from world health organization and world bank open data [J]. *Am J Trop Med Hyg*, 105(4): 896–902.
- MARIA SANCHEZ-CLAVIJO L, JINETH MARTINEZ-CALLEJAS S, ACEVEDO-CHARRY O, et al., 2021. Differential reporting of biodiversity in two citizen science platforms during COVID-19 lockdown in Colombia [J]. *Biol Conserv*, 256: 109077.
- MARÍN AI, ABDUL MD, BASTRUP-BIRK A, et al., 2021. Mapping forest condition in Europe: methodological developments in support to forest biodiversity assessments [J]. *Ecol Indic*, 128: 107839.
- MILODOWSKI D, MITCHARD E, WILLIAMS M, 2017. Forest loss maps from regional satellite monitoring systematically underestimate deforestation in two rapidly changing parts of the Amazon [J]. *Environ Res Lett*, 12(9): 094003.
- PARDHAN S, DRYDAKIS N, 2021. Associating the change in new COVID-19 cases to GDP per capita in 38 european countries in the first wave of the pandemic [J]. *Front Public Health*, 8 (2021): 582140.
- PEREIRA HM, SCHIPPEPER A, ARNETH A, et al., 2020. Global trends in biodiversity and ecosystem services from 1900 to 2050 [J]. *BioRxiv*, DOI: 10.1101/2020.04.14.031716.
- PINDER AC, RAGHAVAN R, BRITTON JR, et al., 2020. COVID-19 and biodiversity: the paradox of cleaner rivers and elevated extinction risk to iconic fish species [J]. *Aquat Conserv*, 30(6): 1061–1062.
- R CORE TEAM, 2023. A language and environment for statistical computing [DB]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RAHMAN MS, ALAM MA, SALEKIN S, et al., 2021. The COVID-19 pandemic: a threat to forest and wildlife conservation in Bangladesh? [J]. *Trees For People*, 5: 100119.
- RITCHIE H, MATHIEU E, RODÉS-GUIRAO L, et al., 2020. Coronavirus pandemic (COVID-19) [DB/OL]. www.ourworldindata.org/coronavirus.
- ROSA MR, BRANCALION PH, CROUZEILLES R, et al., 2021. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs [J]. *Sci Adv*, 7(4): eabc4547.
- SANNIGRAHI S, PILLA F, MAITI A, et al., 2022. Examining the status of forest fire emission in 2020 and its connection to COVID-19 incidents in West Coast regions of the United States [J]. *Environ Res*, 210: 112818.
- SILLS J, PEARSON RM, SIEVERS M, et al., 2020. COVID-19 recovery can benefit biodiversity [J]. *Science*, 368(6493): 838–839.
- TEAM RC, 2023. R: a language and environment for statistical computing [CP]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- TEGALLY H, SAN JE, COTTEN M, et al., 2022. The evolving SARS-CoV-2 epidemic in Africa: Insights from rapidly expanding genomic surveillance [J]. *Science*, 378(6615): eabq5358.
- VAIS AA, VARAKSIN GS, NEZAMOV VI, et al., 2020. Assessment of key habitats of suburban forests in Krasnoyarsk [C]. 3rd. International Conference on Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies (AGRITECH). Krasnoyarsk, RUSSIA, 202010.1088/1755-1315/548/7/072008.
- WANG JY, XIN LJ, TAN MH, et al., 2016. Spatial heterogeneity in Chinese forest area change in the early 21st century [J]. *Forests*, 7(10): 232.
- YANG W, WANG X, ZHANG K, et al., 2020. COVID-19, urbanization pattern and economic recovery: an analysis of Hubei, China [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 17(24): 9577.
- ZAMBRANO-MONSERRATE MA, RUANO MA, SANCHEZ-ALCALDE L, 2020. Indirect effects of COVID-19 on the environment [J]. *Sci Total Environ*, 728: 138813.