

翟建青,代潭龙,王国复,2021. 2020 年全球气候特征及重大天气气候事件[J]. 气象,47(4):471-477. Zhai J Q, Dai T L, Wang G F, 2021. Global climate features and significant weather and climate events in 2020[J]. Meteor Mon, 47(4):471-477 (in Chinese).

2020 年全球气候特征及重大天气气候事件^{*}

翟建青^{1,2} 代潭龙¹ 王国复¹

1 国家气候中心,北京 100081

2 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044

提 要: 2020 年,全球主要温室气体浓度继续保持上升趋势,全球平均温度较工业化前偏高 $1.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$,列历史同期第二高。海平面持续上升,且上升速率更快。2020 年,海洋热容量创历史新高,北极年最小海冰范围为有记录以来第二低,7 月和 10 月海冰范围均创历史最低纪录;南极海冰范围接近长期平均水平。超过 80% 的海洋区域在 2020 年经历了至少一次海洋热浪,海洋发生“强”海洋热浪的地区超过“中等”海洋热浪的地区。年内,非洲萨赫勒地区、非洲之角、印度次大陆及其邻近地区、中国、韩国和日本以及东南亚部分地区遭受暴雨洪涝;南美内陆多地遭受严重干旱,欧洲及澳大利亚、墨西哥等地遭强热浪影响;北美、南美及澳大利亚发生严寒和大雪;北大西洋共生成 30 个热带气旋,创历史纪录。

关键词: 全球平均温度,重大天气气候事件,暴雨洪涝,热带气旋

中图分类号: P461

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.04.008

Global Climate Features and Significant Weather and Climate Events in 2020

ZHAI Jianqing^{1,2} DAI Tanlong¹ WANG Guofu¹

1 National Climate Centre, Beijing 100081

2 Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters,
Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract: In 2020, concentration of the major greenhouse gases on the earth continued to increase. The global mean temperature was $1.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$ higher than before industrialization, ranking the second warmest in the same period in history. Sea level continued to rise at a faster rate. The highest ocean heat content was recorded and the Arctic minimum sea ice range became the second smallest on record, of which record low sea ice extents were observed in the months of July and October. The Antarctic sea ice range remained close to the long term average. Over 80% of the ocean area experienced at least one marine heat wave event in 2020. Areas where “strong” ocean heat waves occur were more than the areas with “moderate” ocean heat waves. On the other hand, many countries and regions suffered from severe torrential rain and floods in 2020, including the Sahel Region of Africa, the Greater Horn of Africa, the India Subcontinent and neighbouring areas, China, Korea, Japan, and parts of southeastern Asia, etc. In addition, severe droughts occurred in many parts of interior South America, while Europe, Australia, Mexico and other places were seriously impacted by severe heat wave events. Moreover, severe cold wave and heavy snowfall

^{*} 国家重点研发计划(2016YFA0600301)和国家自然科学基金项目(42071024、41701103)共同资助

2021 年 3 月 25 日收稿; 2021 年 4 月 12 日收修定稿

第一作者:翟建青,主要从事气象灾害风险管理研究. E-mail:zhaijq@cma.gov.cn

通讯作者:王国复,主要从事气象灾害风险研究. E-mail:wanggf@cma.gov.cn

were experienced in North America, South America and Australia. Also, there were 30 tropical cyclones generated in the North Atlantic, breaking the historic record.

Key words: global mean temperature, significant weather and climate event, severe rainstorm and flood, tropical cyclone

引 言

世界气象组织 2020 年报告(WMO, 2020)显示,2020 年全球主要温室气体浓度继续保持上升趋势,全球平均温度较工业化前偏高 $1.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$,为历史第二高;全球海洋持续变暖,全球海洋热容量为有记录以来最高,0~700 m 海洋热容量略低于 2019 年,0~2000 m 海洋热容量则略高于 2019 年(NOAA National Centers for Environmental Information, 2021);海平面持续上升,且有速率加快的趋势;全球海洋热浪发生面积略低于 2019 年;7 月和 10 月北极海冰范围达历史最低,南极海冰范围与常年持平。

2020 年全球多地发生重大天气气候事件,例如北大西洋异常活跃的风暴,非洲和亚洲多地发生暴雨洪涝灾害,南美内陆等地出现严重的干旱,西欧及俄罗斯、美国、澳大利亚等地发生的高温热浪,美国西部、澳大利亚等地发生的野火以及全球各地出现的低温冷害等,给世界多国社会经济的可持续发展、人员生命及财产安全带来不利影响。

在气候变化背景下,全球极端天气气候事件风险将进一步增加(IPCC, 2014)。总结和研究全球气候特征和重大天气气候事件特征有利于更好地开展气象灾害风险管理工作,从而实现减轻灾害风险(秦大河等, 2015;尹宜舟等, 2020)。国家气候中心长期关注中国和全球主要天气气候事件的发生发展和影响(孙劭等, 2018; 2019),并对极端天气气候事件影响及其定量评估技术开展了大量研究(封国林等, 2012;姜彤等, 2018;中国气象局气候变化中心, 2020),本文侧重对 2020 年全球主要气候特征及发生的重大天气气候事件进行综述。文中所用资料主要来自 WMO(2020)、GPCC 全球降水量观测资料集、OISST 全球海温资料集、NCEP/NCAR 大气再分析数据集和美国国家气候数据中心气候观测资料集。

1 全球主要气候特征

1.1 地表温度位列历史第二高

2020 年(1—10 月)全球平均温度较工业化前(1850—1900 年)基线偏高 $1.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$,为有记录以来的 3 个最暖年之一,超过 2019 年,列历史同期第二高(2016 年为第一高)(图 1)。过去 6 年(2015—2020 年)是有记录以来最暖的 6 年,2016—2020 年和 2011—2020 年的平均温度均是有记录以来最高。

在空间上,全球大多数陆地区域的温度高于 1981—2010 年多年平均值,美国西南部局地、南美洲的北部和西部、中美洲部分地区以及包括中国在内的欧亚大陆温度均明显偏高,尤其是欧亚大陆北部部分区域高于常年值 5°C ;欧洲则是有记录以来最温暖的一年。加拿大西部、巴西局地、印度北部和澳大利亚东南部温度则低于 1981—2010 年多年平均值(图 2)。

1.2 全球海洋持续变暖,海平面高度与 2019 年相当

海洋热容量是地球系统热量积累的一种量度,大约 90%的热量储存于海洋。随着温室气体浓度增加,地球系统积累大量能量,增加的能量使海洋变暖,随之而来水的热膨胀又导致海平面上升。2019 年全球海洋 0~2000 m 深度持续变暖,创历史新高。中等深度(700~2000 m)海洋热储量增加的速度与 0~300 m 深度热储量增加的速度相当。海洋变暖速率在过去 20 年表现出显著的增长。此外,有明确迹象表明,在过去 60 年里,700 m 以下海洋的热量吸收与热容量随时间的增加趋势有关。2010—2019 年,0~2000 m 深度的海洋升温速率达到了历史最高,为 $1.2(0.8) \pm 0.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (WMO, 2020)。2020 年全球海洋热容量与 2019 年相比基本持平,为有记录以来最高;0~700 m 深度的海洋热容量略低于 2019 年,0~2000 m 深度的海洋热容量则略高于 2019 年;6 个最高的热容量都发生在过去 6 年

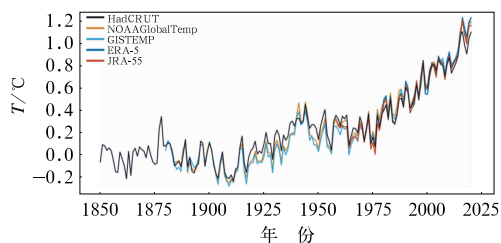


图1 全球平均温度距平(相对于1850—1900年平均值)时间序列(WMO,2020)

Fig.1 Global average temperature anomalies (compared to the 1850—1900 average; WMO, 2020)

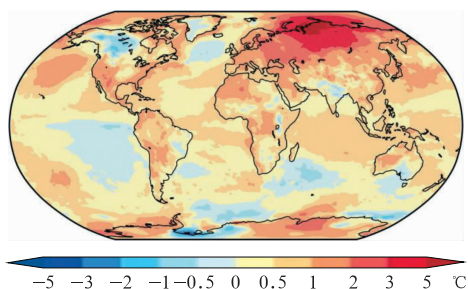


图2 2020年全球平均温度距平(相对于1981—2010年平均值)空间分布(WMO,2020)

Fig.2 Spatial distribution of global average temperature anomalies in 2020 (compared to the 1981—2010 average; WMO, 2020)

(2015—2020年);2020年,北大西洋和南大西洋以及太平洋、印度洋和南大洋局部区域的海洋升温速率更高(NOAA National Centers for Environmental Information,2021)。

2020年全球平均海平面与2019年相当。年末,全球平均海平面有小幅下降,这主要是因为降雨将海水从海洋转移到陆地上,暂时降低了全球平均海平面。在区域尺度上,海平面继续不均匀上升;1993年1月至2020年1月,马达加斯加以东印度洋、新西兰以东太平洋及阿根廷拉普拉塔/南美洲巴西里约热内卢以东的南大西洋等南半球区域上升趋势最为强烈。

1.3 全球海洋热浪发生面积低于2019年和2016年,北极海冰范围持续偏低

2020年,除格陵兰岛南部大西洋和东赤道太平洋外,82%的海洋经历了至少一次海洋热浪,低于2019年(84%)和2016年(88%)的峰值,大部分海

洋至少经历了一次“强”海洋热浪(海洋热浪分为中等、强、严重和极端四个等级)。年内任意一天,全球均有大约五分之一的海洋发生海洋热浪,这与2019年相似,但略低于2016年的峰值(23%)。此外,东北太平洋半持续性暖区在2020年再现,该暖区在2013年左右形成并持续至2016年(WMO,2020)。

3月5日,北极海冰范围达到全年最大,超过1500万 km^2 。9月15日北极海冰范围为全年最小,仅为374万 km^2 ,为有记录以来第二低,也是北极海冰范围第二次缩小到400万 km^2 以下(2012年最小面积为339万 km^2);7月和10月,北极海冰范围达历史最低水平。南极海冰仍然接近长期平均水平;3月2日,南极观测到最小海冰范围(273万 km^2),出现时间较常年偏晚;9月28日为全年最大范围,有1895万 km^2 ;9月和10月南极平均海冰范围均高于常年平均水平(WMO,2020)。

2 全球重大天气气候事件

2.1 暴雨洪涝

2020年,非洲和亚洲多地发生暴雨洪涝灾害。

非洲地区。3—5月(“长雨季”),非洲之角大部分地区降水量远高于平均水平;夏季季风期间,从塞内加尔到苏丹,萨赫勒地区绝大多数地区的降水量高于平均水平。上述区域多地发生洪涝灾害,其中苏丹和肯尼亚受影响最严重,造成肯尼亚285人死亡,苏丹155人死亡,80多万人受影响。此外南苏丹、埃塞俄比亚、索马里、乌干达、乍得、尼日利亚、尼日尔、贝宁、多哥、塞内加尔、科特迪瓦、喀麦隆和布基纳法索均有人员伤亡或人口大规模流离失所。许多湖泊和河流达到历史高水位,如5月的维多利亚湖和尼亚美的尼日尔河及9月喀土穆的蓝尼罗河。其他因暴雨洪涝导致生命损失的地区还有刚果民主共和国和卢旺达(4月和5月)以及也门(7月)。9月5日,塞内加尔的霍姆博勒日降水量达到225.8 mm,为有记录以来当地降水量最大的一天。

亚洲地区。1月,印度尼西亚遭受洪水灾害,雅加达的哈利姆机场日降水量达377 mm(1月1日),为1996年以来最多。印度遭受自1994年以来最多雨的两个季风季节之一,6—9月印度全国平均降水量较多年平均水平高9%。8月,巴基斯坦降水量为有记录以来最多的一个月,8月28日卡拉奇-费萨尔

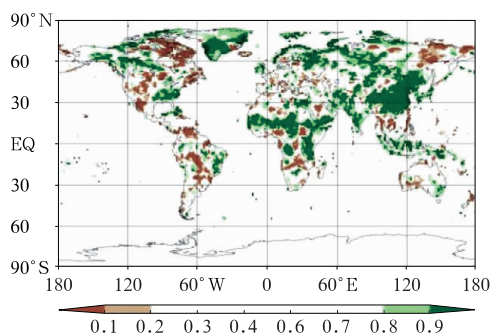


图 3 2020 年 1—9 月全球总降水量在历史基准期 (1951—2010 年) 百分位序列中的位置 (WMO, 2020)

Fig. 3 Position of global total precipitation from January to September 2020 in the percentile sequence of the historical based period (1951–2010) (WMO, 2020)

的降水量为 231 mm, 为卡拉奇地区有记录以来日降水量最高。印度、巴基斯坦、尼泊尔、孟加拉国、阿富汗和缅甸死亡人数超过 2000 人。中国长江流域季风季节持续降雨, 6—7 月尤其多雨, 造成严重洪涝, 影响长江干流及支流, 三峡大坝以最大泄洪能力泄洪, 经济损失超过 150 亿美元, 造成至少 279 人死亡。夏季朝鲜半岛季风季节同样多雨, 韩国夏季为历史第三多雨季。7 月, 日本西部部分地区遭受严重洪水影响。10 月和 11 月, 东南亚部分地区遭受严重暴雨洪涝, 越南中部受影响最重, 并向西蔓延至柬埔寨。

2.2 高温热浪、干旱和野火

2020 年, 南美内陆多国遭受干旱、热浪和野火; 北美洲及俄罗斯西伯利亚地区遭遇高温、干旱和野火; 欧洲多地发生严重干旱和高温事件; 亚洲多地遭遇高温; 澳大利亚和新西兰遭受高温干旱和大火。

南美内陆受干旱影响最严重的地区包括阿根廷北部、巴拉圭和巴西西部边境地区。1—8 月, 阿根廷东北部地区发生有记录以来的第二强干旱, 同期, 巴拉圭的降水量也远低于历史平均水平。据估计, 巴西农业损失接近 30 亿美元, 阿根廷、乌拉圭和巴拉圭的损失则更大。1—3 月, 秘鲁北部也经历了干旱。随着干旱的持续, 强热浪在 9 月底和 10 月初席卷上述地区, 并向东部和北部延伸, 覆盖了巴西大部分内陆地区。10 月 5 日, 巴西的库亚巴、库里蒂巴、贝洛奥里藏特和巴拉圭的亚松森等多地气温达到有

记录以来最高。从年中开始, 阿根廷、巴拉圭和巴西 3 个国家都发生了严重的野火, 其中部分最严重的野火发生在巴西西部的潘塔纳尔湿地。

在北美洲, 4 月, 强热浪影响加勒比海地区和墨西哥; 4 月 12 日, 韦吉塔斯的气温达到 39.7°C , 创古巴纪录, 哈瓦那也达到 38.5°C 的历史最高温度; 墨西哥东部多地气温超过 45°C ; 9 月, 多米尼加、格林纳达和波多黎各的高温天气均创下国家和地区纪录。7 月 25 日, 加拿大尤里卡的温度达到了创纪录的 21.9°C , 斯瓦尔巴群岛机场的气温达到了 21.7°C 。7—9 月, 美国西南部为有记录以来同期最热、最干燥的时段。加利福尼亚州和俄勒冈州西部发生最具破坏性的火灾, 超过 8500 座建筑被毁, 41 人死亡。8 月 16 日, 死亡谷气温达到 54.4°C , 这是过去 80 年里已知的世界最高气温; 9 月 6 日, 伍德兰山气温达 49.4°C , 是大洛杉矶地区的历史最高气温。年内, 俄罗斯大部地区异常温暖, 尤其是西伯利亚; 1—8 月, 俄罗斯平均气温比多年平均气温高出 3.7°C , 较 2007 年最高纪录还高 1.5°C ; 在西伯利亚北部部分地区, 气温较多年平均水平高出 5.0°C 或更多。受高温天气影响, 西伯利亚北部许多地区发生了大规模野火, 导致北极夏季与野火相关的碳排放达到创纪录的水平, 而气温升高也导致俄罗斯北极海岸的海冰消退异常早。

春、夏季, 欧洲中北部部分地区发生干旱。4 月, 罗马尼亚和白俄罗斯发生有记录以来最严重干旱, 德国和捷克共和国发生历史第二严重干旱; 3 月 13 日至 4 月 24 日瑞士日内瓦经历了创纪录的 43 d 干旱; 8 月, 西欧发生高温热浪; 法国北部发生仅次于 2019 年的高温热浪, 荷兰德比尔特连续 8 d 温度超过 30°C 。

在亚洲地区, 中国台北于 7 月 24 日创下有记录以来最热的一天, 温度达 39.7°C ; 6 月 19 日至 7 月 1 日, 香港遭受连续 13 个热夜, 日最低气温在 28°C 或以上, 其后在 7 月 5—15 日又连续发生 11 个热夜。9 月初, 地中海东部发生极端高温事件, 以色列耶路撒冷 (42.7°C) 和埃拉特 (48.9°C) 创下历史最高纪录。8 月 17 日, 滨松 41.1°C 的气温追平了日本国家纪录。

在澳大利亚, 1 月 4 日, 悉尼西部的彭里斯气温达到 48.9°C , 是澳大利亚都市区观测到的最高气温, 堪培拉在同一天达到 44.0°C 的历史新高。澳大利亚东部的大火从 2019 年下半年一直持续到 2020

年初,在2月初的大雨后终于得到控制。2019年12月底至2020年2月底,新西兰发生有记录以来最长时间的干旱事件。

2.3 严寒和大雪

2020年,北美、南美及澳大利亚等多地遭受低温寒潮。

1月17—18日,北美纽芬兰发生冬季最严重的暴风雪,圣约翰降雪量为75 cm,破单日降雪量历史纪录。9月第二周,科罗拉多州低地出现大范围降雪。10月,落基山脉和中部各州的广大地区爆发异常低温和冬季降水;俄克拉何马城发生破坏性冰暴,导致大半个城市电力中断,持续数天;10月25日,蒙大拿州的波托马克市温度达 -33.9°C ,为美国气温降至 -30°C 的最早秋日(不含阿拉斯加)。

6月底和7月初,南美洲火地岛经历1995年以来最严重的寒潮。7月1日,巴西里奥格兰德记录到最高气温为 -8.8°C ,最低气温为 -16.5°C 。8月,巴拉圭部分地区出现创纪录最低气温。巴塔哥尼亚积雪覆盖范围为2000年以来第二大,沿火地岛海岸部分地区形成海冰。8月,秘鲁北部亚马孙地区的寒潮使卡巴拉科查气温达 12.8°C ,为1975年以来该地区最低气温。

8月初,澳大利亚塔斯马尼亚州出现异常的低海拔降雪;4日朗塞斯顿出现自1921年以来该市最显著的降雪;7日塔斯马尼亚州中部高地的利亚文温度达到 -14.2°C ,创历史最低纪录。

2.4 热带风暴和北大西洋飓风

2020年,全球热带气旋数量多于历史平均水平。截至11月17日,北大西洋共有30个热带气旋生成,是多年平均水平的两倍多,并打破了2005年创下的纪录;其他地区的气旋数量接近或略低于常年平均水平。

除北大西洋和北印度洋外,气旋强度和寿命的累积能量指数均远低于长期平均水平,西北太平洋较长期平均水平低50%左右。虽然北大西洋的累积能量季节值高于平均水平,但远低于季节纪录。

北大西洋有大量热带气旋登陆。12个气旋登陆美国,打破历史纪录;其中5个在路易斯安那州登陆。8月27日,飓风劳拉(Laura)在路易斯安那州西部的查尔斯湖附近登陆,强度达到4级,对该季度

美国影响最重,还造成海地和多米尼加共和国大规模的洪水破坏;共造成3个国家77人死亡,经济损失达140亿美元。11月3日,4级飓风埃塔(Eta)在尼加拉瓜东海岸登陆,并缓慢穿过尼加拉瓜、洪都拉斯和危地马拉,造成上述地区严重洪涝;“埃塔”于11月6日移至近海后再次增强为热带风暴,并再次在古巴和美国佛罗里达群岛登陆。

4月6日,西南太平洋5级气旋哈罗德(Harold)在瓦努阿图共和国北部岛屿登陆,17000多所房屋受损或被毁,瓦努阿图大约65%的人口受到影响,30人死亡,卢甘维尔市是受灾最重的城市之一。斐济共和国哈罗德到南维提岛主岛,以及汤加和所罗门群岛也遭受重大损失。

5月20日,热带气旋安攀(Amphphan)在孟加拉湾东部的印度—孟加拉国边界附近登陆,为北印度洋有记录以来损失最大的热带气旋,给印度造成大约140亿美元的经济损失。印度和孟加拉国两国有129人丧生。在孟加拉湾,“安攀”达到5级强度,虽然在登陆前减弱为2级风暴,但仍对加尔各答市及其周边地区造成广泛破坏。

9月初,2个热带气旋在几天内袭击了朝鲜半岛。3日,台风美莎克(Maysak)在韩国釜山附近登陆,随后“海神”(Haishen)于7日登陆。2d内,“美莎克”给韩国济州岛带来了963.5 mm的降雨,岛上阵风高达 $177\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。2个热带气旋导致朝鲜半岛和日本西部发生严重洪涝,造成日本西部一艘船沉没,41人死亡。

10月和11月不到5周的时间里,8个热带气旋和低气压在越南登陆,导致该地区发生大洪水。

11月1日,本季最强热带气旋天鹅(Goni)穿过菲律宾北部,首次登陆时的10 min平均风速为 $220\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (或更高),为有记录以来最强的登陆气旋之一,造成至少25人死亡。一周内,台风环高(Vamco)给马尼拉和其他地区造成严重洪水,67人死亡。

2.5 温带气旋及风暴

2020年造成损失最大的极端事件之一是8月10日发生在美国中西部的一次强对流事件,从南达科他州至俄亥俄州均受到此次事件影响。爱荷华州受灾最重,农业损失严重,200万 hm^2 的玉米和大豆

作物被夷为平地;锡达拉皮兹市超过 90% 的建筑遭到破坏。此次强对流事件造成的损失总额估计达 75 亿美元。

1 月,严重雷暴影响澳大利亚东部。20 日,堪培拉发生冰雹灾害,最大冰雹直径为 5 cm,导致该市大量汽车和建筑受损;墨尔本东郊发生严重冰雹灾害;共造成 11 亿美元的经济损失。10 月 31 日,昆士兰州发生冰雹灾害,布里斯班郊区最大冰雹直径达 14 cm。其他严重风暴还包括巴西南部的飓风(6 月 30 日),该过程中龙卷风、冰雹和风速超过 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,造成 12 人死亡。

2 月,温带气旋影响北欧、中欧和西欧,部分地区发生洪涝。10—11 日,风暴西娅拉(Ciara)到达欧洲西北部;严重风灾从爱尔兰蔓延到瑞典、波兰和意大利。

10 月初,风暴亚历克斯(Alex)为法国西部带来极端大风,阵风风速高达 $186 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,同时暴雨覆盖大片区域。3 日,英国全国平均日降水量为 31.7 mm,为有记录以来最大。同时在法国和意大利边界两侧的地中海海岸附近出现极端降水,意大利 24 h 总降水量超过 600 mm,法国超过 500 mm。

瑞士南部地区也出现了极端降水,24 h 降水量达到 421 mm。意大利、法国和瑞士 3 个国家均暴发严重山洪。

2020 年全球重大天气气候事件如图 4 所示。

3 结 论

2020 年, CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等全球主要温室气体浓度继续保持上升趋势;全球平均温度较工业化前(1850—1900 年)基线偏高 $1.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$,列历史同期第二高。海平面持续上升,且近期海平面上升速度更快,部分原因是格陵兰岛和南极洲冰盖融化加剧;全球超过 80% 的海洋区域在 2020 年经历了至少一次海洋热浪,海洋发生“强”(43%)海洋热浪的地区超过“中等”(28%)海洋热浪的地区。2020 年,海洋热容量创历史最高纪录,过去 10 年海洋变暖速度高于长期平均水平。年内,北极最小海冰范围为有记录以来第二低,7 月和 10 月海冰范围均创历史最低纪录;南极海冰范围接近长期平均水平;格陵兰冰盖质量继续下降,冰损失为有卫星记录 40 年来的最高水平。

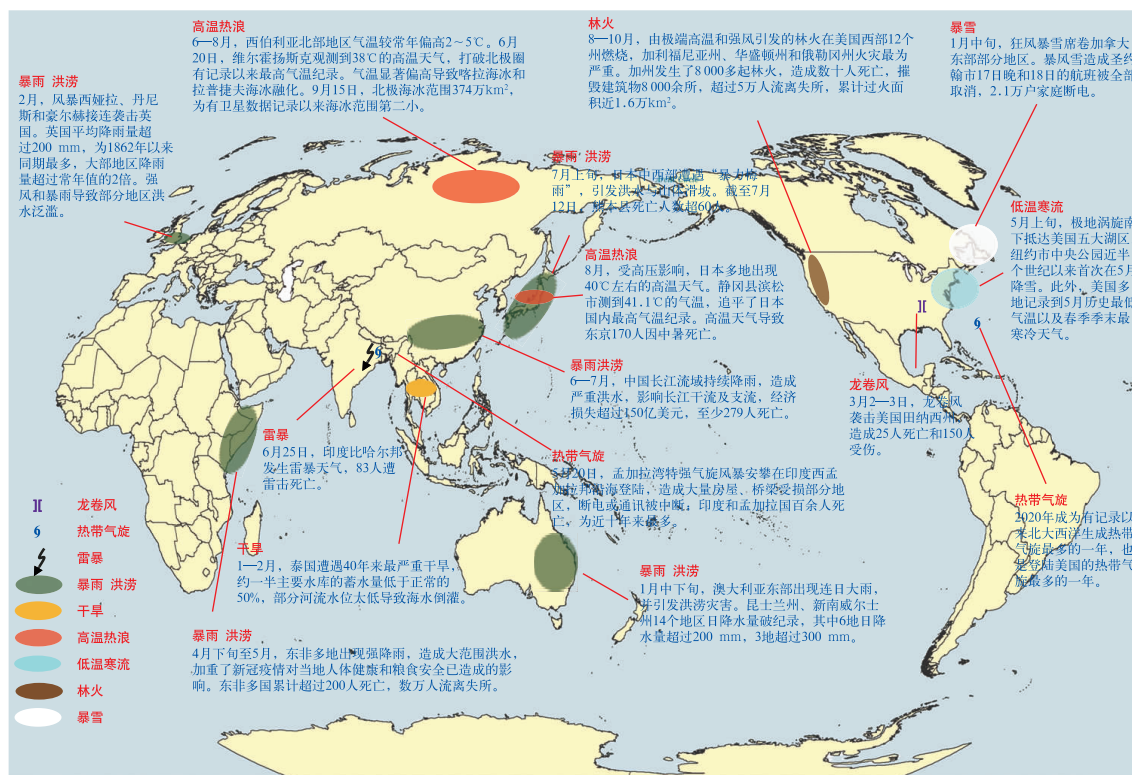


图 4 2020 年全球重大天气气候事件示意图

Fig. 4 Diagram of global major weather and climate events in 2020

2020年,非洲和亚洲大部分地区发生暴雨和洪涝。非洲萨赫勒地区、非洲之角、印度次大陆和邻近地区、中国、韩国和日本,以及东南亚部分地区均遭受暴雨洪涝。截至11月17日,北大西洋飓风季节共有30个命名的风暴,创历史纪录;同期在美国登陆的风暴数量也创历史纪录。2020年,南美内陆的许多地区遭受严重干旱,受影响最严重的地区有阿根廷北部、巴拉圭和巴西西部边境地区;欧洲中部发生严重干旱。俄罗斯、加拿大、美国、澳大利亚和墨西哥等多国遭遇高温,美国和澳大利亚发生巨大野火。北美、南美及澳大利亚等地遭遇低温冷害。南美、中欧和西欧及美国、澳大利亚等多地发生强对流。

参考文献

- 封国林,侯威,支蓉,等,2012. 极端气候事件的检测、诊断与可预测性研究[M]. 北京:科学出版社. Feng G L, Hou W, Zhi R, et al, 2012. Detection, Diagnosis, and Predictability Research of Extreme Climate Events[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- 姜彤,王艳君,翟建青,2018. 气象灾害风险评估技术指南[M]. 北京:气象出版社. Jiang T, Wang Y J, Zhai J Q, 2018. Technical Guide for Risk Assessment of Meteorological Disasters[M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 秦大河,张建云,闪淳昌,等,2015. 中国极端天气气候事件和灾害风险管理及适应国家评估报告[M]. 北京:科学出版社. Qin D H, Zhang J Y, Shan C C, et al, 2015. China National Assessment Report on Risk Management and Adaptation of Climate Extremes and Disasters[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- 尹宜舟,李多,孙劭,等,2020. 2019年全球重大天气气候事件及其成因[J]. 气象,46(4):538-546. Yin Y Z, Li D, Sun S, et al, 2020. Global major weather and climate events in 2019 and the possible causes[J]. Meteor Mon, 46(4):538-546(in Chinese).
- 孙劭,李多,王遵娅,等,2019. 2018年全球重大天气气候事件及其成因[J]. 气象,45(4):533-542. Sun S, Li D, Wang Z Y, et al, 2019. Global major weather and climate events in 2018 and the possible causes[J]. Meteor Mon, 45(4):533-542(in Chinese).
- 孙劭,王东阡,尹宜舟,等,2018. 2017年全球重大天气气候事件及其成因[J]. 气象,44(4):556-564. Sun S, Wang D Q, Yin Y Z, et al, 2018. Global major weather and climate events in 2017 and the possible causes[J]. Meteor Mon, 44(4):556-564(in Chinese).
- 中国气象局气候变化中心,2020. 中国气候变化蓝皮书2020[M]. 北京:科学出版社. Center on Climate Change of China Meteorological Administration, 2020. Blue Book on Climate Change in China, 2020[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press; 1132.
- NOAA National Centers for Environmental Information, 2021. State of the climate: global climate report for annual 2020[EB/OL]. [2021-03-25] <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>.
- WMO, 2020. WMO provisional report on the state of the global climate 2020[EB/OL]. [2021-03-25]. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21804#.YFr4OjOKTIJ.