



苏丹法希尔, 盘旋在联合国和非洲联盟驻达尔富尔特派团上空的沙尘暴
图片来源: UNAMID/Adrian Dragnea

沙尘暴： 应对全球挑战

沙尘入侵

2010年, 随着大规模沙尘暴从蒙古和华北向北京漂移, 中国发布了五级污染预警, 这次沙尘漂浮在81万平方公里区域上空, 对2.5亿人口的健康构成了威胁。¹2016年5月, 一系列严重的沙尘暴席卷了伊朗东南部的里根县, 掩埋了16个村庄, 造成900万美元的经济损失。²几个月后, 严重的尘埃和沙云吞没了阿布扎比, 导致城市能见度降低到500米, 住院的哮喘患者人数增加了20%。^{3,4}然而, 这些只是近年来沙尘暴在世界许多地方威胁损害人们生活的几个例子。在人类历史上此类事件不胜枚举。⁵

干旱和半干旱地区的沙子和粉砂颗粒在强烈的湍流风侵蚀下, 被卷入空中, 这样就形成了沙尘暴。沙尘暴相对靠近地面移动, 每个颗粒能够播散多远由颗粒的大小和风速决定。沙尘暴将大量细粉砂颗粒和较小的粘土颗粒卷入大气中。⁶

沙尘暴能在大陆和海洋之上穿行数千公里, 并在途中裹挟其它污染物, 并把颗粒吹撒到其它地方。风把撒哈拉沙漠(最主要的沙尘来源地)的尘埃向西吹撒到美洲, 向北吹撒到欧洲, 向东吹撒到中国。⁶源于中亚和中国的尘埃能抵达朝鲜半岛、日本、太平洋岛屿、北美等国家和地区。

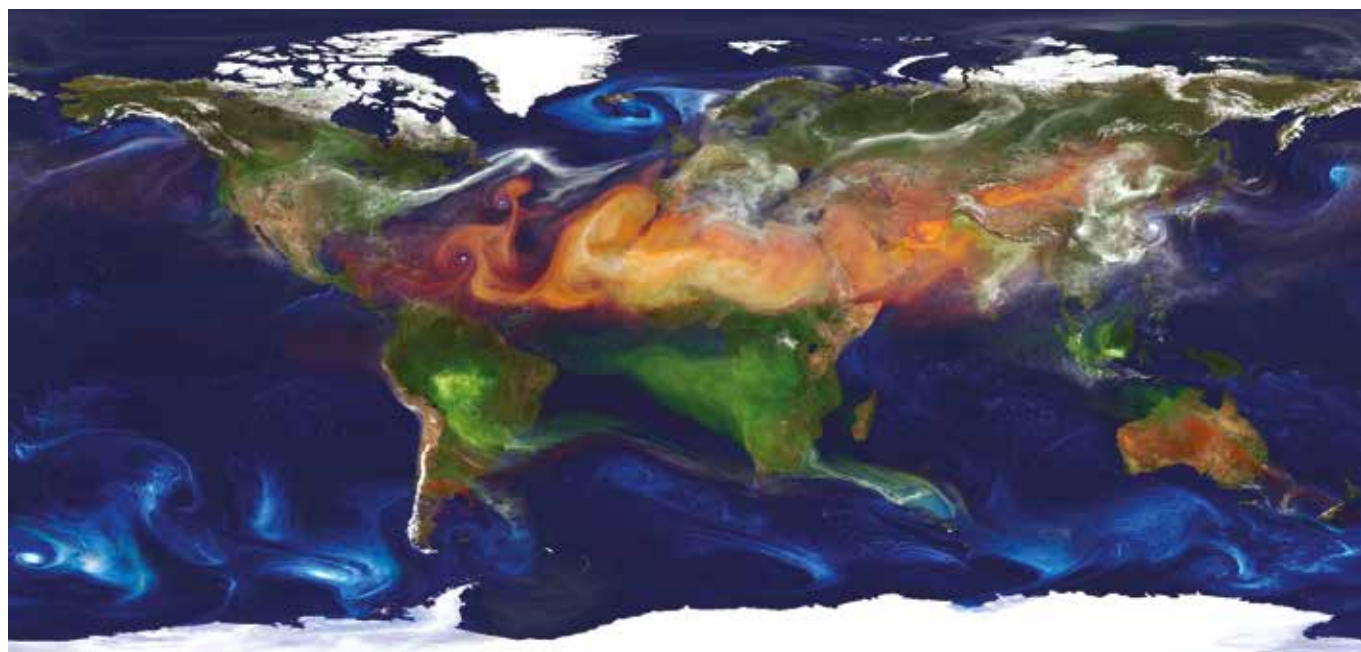


2003年的一项案例研究追踪了1990年来自中国的一个羽状沙尘带的大量尘埃,它们到达了欧洲的阿尔卑斯山脉,在两周内向东移动了2万多公里。⁷尘埃在整个地球系统的生物地球化学过程中发挥着重要作用。它是一种大面积黄土土壤的组成物质。⁸矿物尘埃沉积为陆地和海洋生态系统提供了铁及其它微量元素等营养物质,促进了基本生产力和浮游植物生长。⁹撒哈拉沙漠的尘埃是亚马逊热带雨林的天然肥料,因为它为雨林输入了磷,弥补了河流流动造成的损失。¹⁰同样,夏威夷雨林也从来自中亚的尘埃中获得营养。¹¹但与此同时,来自非洲和亚洲的尘埃可能会对加勒比海珊瑚礁造成损害。¹²

尘埃还能损害动物和人类的健康,尤其是在干旱和半干旱地区。对于人类来说,吸入细颗粒可能会导致

或加重哮喘、支气管炎、肺气肿和矽肺病。¹³更细小的粉尘还可能携带一系列污染物、孢子、细菌、真菌和过敏原。其它常见问题包括眼部感染、皮肤刺激和溪谷热。在萨赫勒地区国家,来自撒哈拉沙漠的尘埃浓度与脑膜炎的发病具有很强的相关性。¹⁴长期接触细粉尘也可能会引发由呼吸系统和心血管疾病、肺癌以及急性下呼吸道感染导致的过早死亡。¹⁵

沙尘暴还会造成其它社会经济损失。¹⁶⁻¹⁹从短期来看,这些损失包括牲畜的患病和死亡、作物破坏、建筑物和其它基础设施的损坏、交通停滞以及清除成吨沙尘所花费的昂贵费用。一场沙尘暴造成的经济损失可达数亿美元。从长期来看,这些损失包括土壤侵蚀、生态系统污染、使人丧失精力的慢性健康问题和荒漠化。



GEOS-5模拟生成的分辨率为10公里的全球悬浮微粒画像。褐色/红色部分表示粉尘排放。

图片来源: William Putman, 美国国家宇航局/戈达德太空飞行中心

来自自然、土地管理不善和气候变化的诱发因素

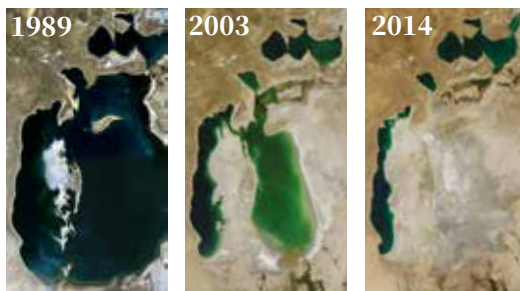
沙尘的活动因时间而有所不同,如季节、年度、个十年或数十年。²⁰一项2012年进行的研究将2003至2009年的卫星数据与更早时期的数据进行了对比。研究显示,过去三十年来,澳大利亚、中亚和美国的高原地区的尘埃活动变化较大,而北非、中东和南美洲的沙尘活动几乎保持平稳。^{21,22}进一步研究表明,由于自然和人为因素导致了沙尘暴及雾霾,这些地区重度沙尘频繁发生。²¹⁻²³

全球约25%的沙尘排放是由人为因素造成的。人为因素主要包括来土地利用变化(包括因过度取水和灌溉用水导致的水体枯竭)、森林砍伐以及不可持续的农业生产方式,这些还导致了土壤风蚀。这些都是土地退化的表现。在干旱地区,当农业土壤被过频过深耕种,作物残留物被清除时,土壤就暴露了出来。为了安置较大设备而移除树篱和堆垛的做法还加剧了风蚀。牧场的过度放牧导致土壤覆盖物的丧失。土壤失去地面覆盖物后,风会吹走土壤中含有大量营养物质和有机物质的细颗粒物。模型模拟表明,自1900年以来,由于土地利用和气候变化的综合影响,全球范围内的尘埃排放量已上升了25%至50%。²⁴

在沙尘事件多发的地区,人类活动与频发的沙尘之间的关系有时候是显而易见的。加利福尼亚州的欧文斯(干)湖在1913年开始向洛杉矶引水渠引水后变得干涸,成为了尘埃源。²⁵阿根廷南部的巴塔哥尼亚由于不可持续的放牧引发了荒漠化,成为了主要的人为尘埃源。²⁶集约化的农业活动使印度河-恒河流域成为南亚的主要尘埃源。²²在澳大利亚,农业用地开荒和水资源需求扰乱了水文环境,导致尘埃大幅增加。²⁷伊犁河上游大坝自1970年建成以来,哈萨克斯坦的巴尔喀什湖迅速萎缩。

2000年至2013年逐渐缩小的咸海

在数十年的大规模调水后,咸海已经枯竭,成为尘埃颗粒的主要来源



来源

1989年·美国马里兰大学全球土地覆盖系

2003年·Jacques Descloitres, 美国国家宇航局/戈达德太空飞行中心

2014年·Jesse Allen, 美国国家宇航局地球观测所

最后,过去几十年来开展的大规模调水工程,将该地区的主要河流,锡尔河和阿姆河的大量水调到其它地方,因此流入咸海的河流流量减少,从而导致了整个地区的干旱和荒漠化。²⁸几十年前被禁用的人造肥料和农药的顽固残留物造成了污染,使咸海盆地的大部分区域成为了有毒尘埃的主要来源。²⁹

除了自然因素以及土地管理不善产生的尘埃以外,人为的气候变化是产生尘埃的重要因素。目前的许多多尘地区的干旱程度可能会进一步加重,从而向大气传播更多尘埃。这些地区包括位于非洲和欧洲的大部分地中海地区、撒哈拉北部、西亚、中亚、美国西南部及澳大利亚南部。^{30,31}大气中的尘埃增加也会反过来影响气候系统。一方面,它可能会干扰地球的辐射平衡,加剧干旱地区的干旱程度。³²另一方面,尘埃可以通过播云来增加某些地区的降水。³³

因此,沙尘暴跨越国家、区域和大陆界限,与一系列的环境和发展问题联系在一起。人为的气候变化将进一步加剧已在沙尘暴地区沿用数十年的不可持续的土地和水资源管理。可以通过快速有效的行动来减少这种威胁。

沙尘暴的来源和影响

农业、引水、砍伐森林等土地利用变化产生了**全球25%的尘埃**

自1900年以来,由于人类活动导致的尘埃排放已**增加了25-50%**

沙尘暴含有各种大小的颗粒

小于**10微米**(百分之一毫米)的颗粒被吸入后会引起心脏和肺部疾病

在沙尘暴中,尘埃浓度达到**100-1000 微克/米**

2017年1月,伊朗的一场沙尘暴中,细颗粒浓度超过了**10 000 微克/米**

世卫组织把安全空气质量的细颗粒物浓度设为小于或等于**50微克/米**

当强烈的湍流风侵蚀干旱地形中的沙子和淤泥颗粒,并把它们抛向空中时,就形成了沙尘暴

由于**气候变化**,更大的可变性和更多的极端事件增加了来自沙尘暴的风险

生态恢复措施有助于减少当地沙尘暴的频率和严重程度

包括**欧洲和非洲的地中海地区、撒哈拉北部、中亚和西亚、美国西南部和澳大利亚南部**在内的干旱地区可能会变得更干燥,面临更多的**沙尘暴**

1993年,中国西北部的一场沙尘暴杀死了近**12万头牲畜**;毁坏了**373,333公顷庄稼**;掩埋了2,000公里灌溉水渠

沙尘暴可携带一系列污染物、孢子、真菌、细菌和过敏原。从撒哈拉沙漠带来的尘埃可在萨赫勒地区引起脑膜炎爆发。

一场沙尘暴导致的经济损失可达**数亿美元**

沙尘暴毁坏庄稼,杀死牲畜并侵蚀肥沃的土壤



通过关注较小规模来减少损害

从中长期来看,要有效减少沙尘暴威胁应着重采取保护性战略。³⁴当然,预警系统和减灾程序在防备工作中也十分重要,同时,为了进一步完善服务,区域性计划也正在推进。实时应对沙尘暴的一些程序包括向公共服务提供通告,关闭学校、机场、铁路和公路,以及医院急救服务。

防备工作通过学校、媒体和社交网络以及电信渠道普及教育,从而提高公众对沙尘暴风险的认识。防备工作还应包括对贵重资产采取技术性实际保护,例如在人口稠密地区和重要基础设施的上风口种树或设立障碍,以促使沙尘在这些地区以外沉积。规划道路和消除陷阱等行动,可以把风力及负荷从需要保护的场所引开。

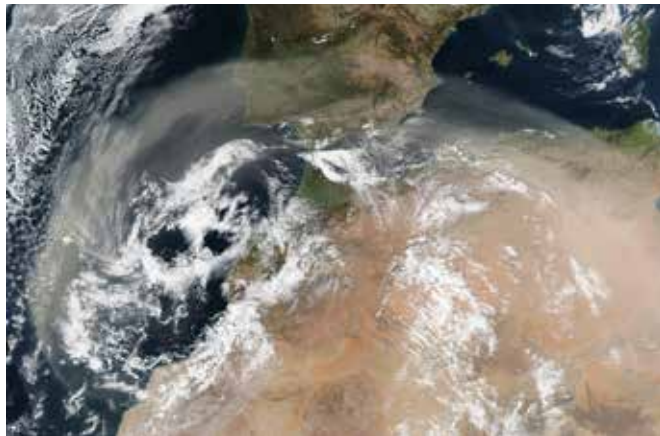
从中长期来看,减少沙尘暴的威胁应侧重于实施预防性战略,促进整个地区的土地和水资源可持续管

▶ 视频:非洲宏伟的“绿色长城”



视频链接: <https://www.youtube.com/watch?v=jLnRHg-0l4>

图片来源:在塞内加尔耕耘土地,IFPRI/Milo Mitchell摄,CC BY-NC-ND 2.0授权 © TIME



2017年2月21日,从北非吹向欧洲和大西洋的羽状沙尘带

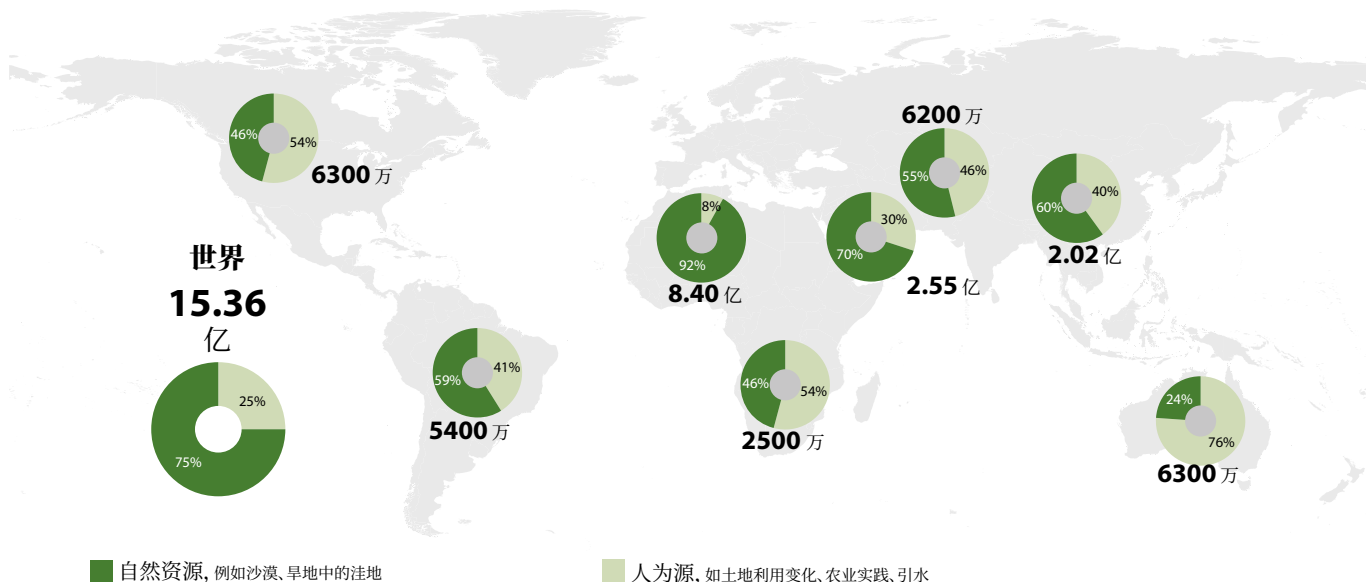
图片来源:美国国家宇航局图片,Jeff Schmaltz摄,LANC/EOSDIS Rapid Response

理。这适用于农田、牧场、沙漠和城市。这些战略应与气候变化适应和减缓措施以及保护生物多样性的措施结合实施。目前,许多脆弱地区并没有这些关键的综合战略。³⁴

中国的三北防护林项目,又称“绿色长城”,是于1978年开始的一项综合性项目,旨在解决严重的水土流失问题。人类数十年对自然资源的不可持续开采,使得洪水和大面积沙尘暴加剧了已有的问题。研究成果和经验教训表明,如果采用在社区和地方行之有效的做法,加上已适应具体地区的当地植物物种,二者的结合和加强,会取得成功。³⁵这种思考再一次强调了推行生态系统服务,如粮食生产、碳固存、水土保持、防汛减灾、为生物多样性提供栖息地,保护自然资源以及预防沙尘暴。³⁶通过观察“绿色长城”发现,周边植被指数明显提高,把来自气候变化和人类活动压力的影响也考虑进去,推断出这些措施有效降低了沙尘暴强度。^{37,38}在内蒙古库布奇沙漠地区,公私社区投资在五千多平方公里的沙漠地带种植当地树种、灌木和草,减少了沙尘暴的频次和对家庭及基础设施造成的相关损害。³⁹



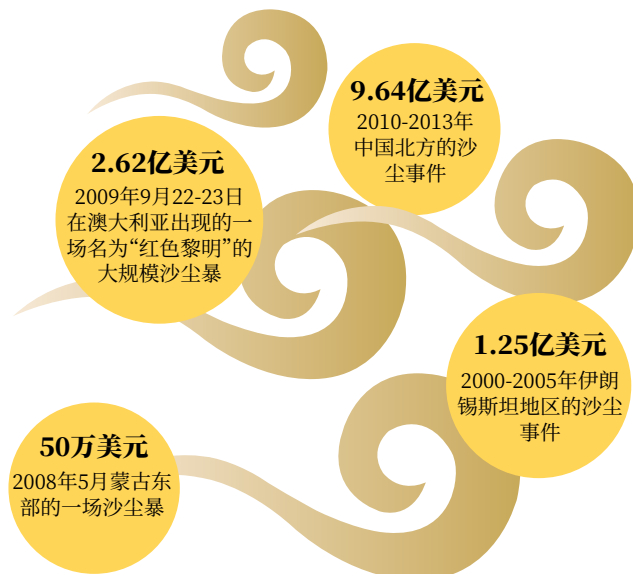
尘埃排放源(吨/年)



数据来源: Ginoux 等人(2012)³⁹

在非洲,撒哈拉“绿色长城”计划和“萨赫勒倡议”也在当地和社区取得了成效。⁴⁰该倡议已超越了植树的愿景,开始重点关注更广泛的可持续发展问题:在塞内加尔,人们开始在270多平方公里的土地上种植无需浇水的本土树木。接着,其它动植物相继重新出现,修复了生态系统。毛里塔尼亚、乍得、尼日尔、埃塞俄比亚以及尼日利亚的社区正在沿着旱地边缘地区种植菜园,当地的一些年轻人也加入其中,不再为工作而迁移。同样,为了取得项目成功,仔细选择了能很好地适应当地条件,与水资源可用性相匹配并且为当地居民所熟悉的植物物种,由当地居民负责维护土壤恢复和景观。⁴¹

沙尘暴造成的经济损失



减少沙尘暴破坏的多边支持

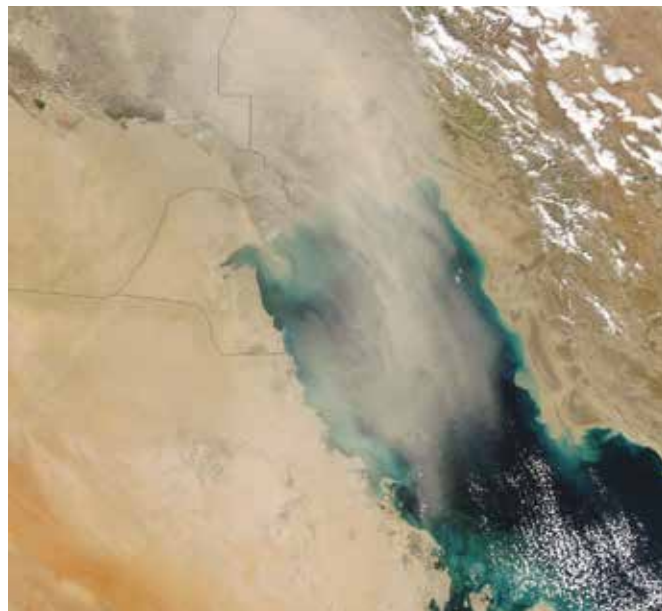
应对沙尘暴威胁的综合战略反映了里约三公约,即《联合国防治荒漠化公约》(UNCCD)、《联合国生物多样性公约》和《联合国气候变化框架公约》及与之分别提出的遏制土地退化、防止陆地生物多样性丧失和应对气候变化威胁的建议行动。在《联合国防治荒漠化公约》的支持下,西亚和东北亚已制定了沙尘暴区域行动计划,东北亚计划已全面实施。⁴²

每项里约公约都与相应的多边机构合作,为土地和水资源管理工作提供支持。联合国可持续发展目标,尤其有关解决土地和水资源完整性和管理问题的目标1、2、5、13和15,特别是目标15.3:“到2030年,防治荒漠化,恢复退化的土地和土壤,包括受荒漠化、干旱和洪涝影响的土地,努力建立一个没有土地退化的世界”,反映了国际社会在这些问题上的团结一致。区域框架、协定和行动计划,如《东北亚区域预防和减少沙尘暴总体规划》,以及《联合国防治荒漠

▶ 视频:与荒漠化斗争:致力于将沙漠变绿洲的中国牧民



视频链接: <https://www.youtube.com/watch?v=giTXPUrYYJ0> © CCTV English
图片来源:中国宁夏防治荒漠化,摄影:Bert van Dijk,根据CC BY-NC-SA 2.0授权



2017年2月19日,波斯湾上空的沙尘暴

图片来源:美国国家宇航局图片, Jeff Schmaltz 摄, LANCE/EOSDIS Rapid Response

化公约》(UNCCD)要求的国家行动计划,也制定了减少沙尘暴威胁的政策。

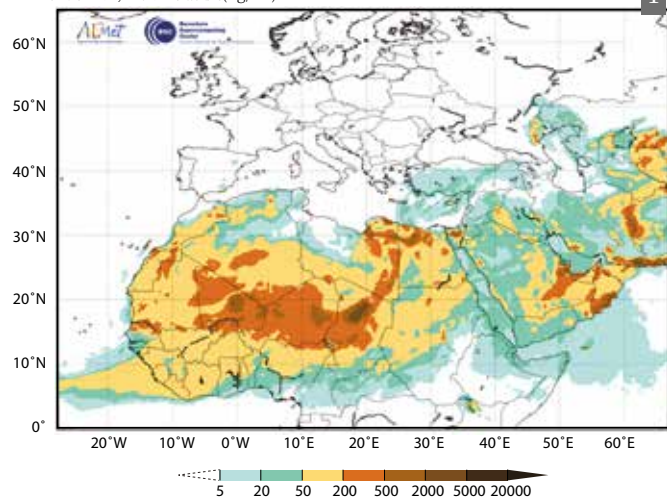
世界气象组织已建立了沙尘暴预警咨询和评估系统,以增强各国在为用户提供及时又准确的沙尘暴预报、观测、信息和知识方面的能力。⁴³该系统提供沙尘威胁的全球和区域预测,并建立了美洲、亚洲、北非、中东和欧洲区域中心。⁴⁴

农业活动被包括在土地和水资源的综合管理工作中,联合国粮食及农业组织推动保护性农业以解决干旱地区的威胁。1992年,一个名为“世界水土保持方法和技术概览”(WOCAT)的网络首次开始从专家那里收集关于保护性农业和可持续土地管理实践方面的信息。2014年,该网络发展成为一个联盟,并得到《联合国防治荒漠化公约》的承认,被推荐为可以获得最佳实践数据的来源。2017年,

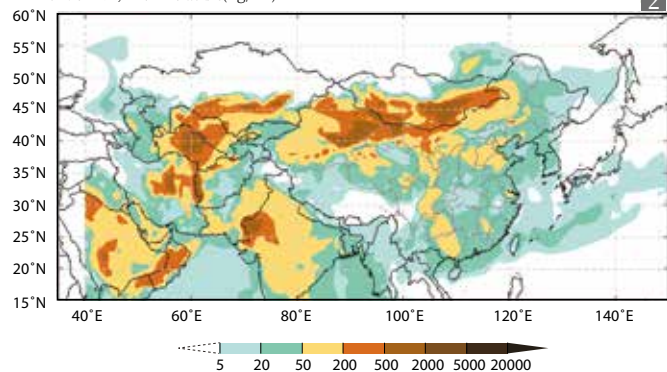


世界气象组织沙尘暴预警咨询和评估系统区域中心的在线尘埃预报

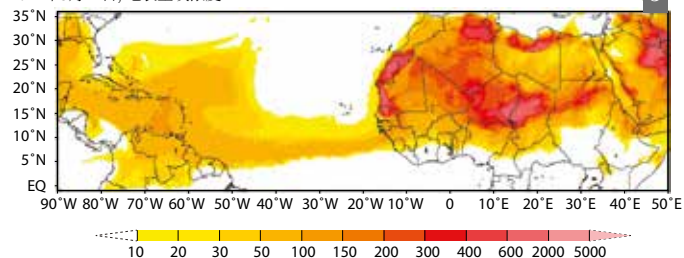
2017年5月18日,地面尘埃浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



2017年5月18日,地表尘埃浓度($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



2017年5月21日,地表尘埃浓度



“世界水土保持方法和技术概览”(WOCAT)拥有超过2000个注册用户,60多个参与机构,以及承担约30个国家和地区的项目。⁴⁵

农业用水占有淡水取用的近70%。⁴⁶保护性农业能够促进有利防止水资源短缺及荒漠化的用水方式,并减少沙尘暴的形成。“2030年水资源集团”汇集了目前世界各地的可行、可借鉴以及实用的水资源管理解决方案的案例研究。这些解决方案已被整合到一个名为“在缺水环境中管理用水”的在线目录,该目录旨在鼓励政策制定者和决策者使用这些方案并采取行动。⁴⁷大部分解决方案都与减少沙尘暴有直接关联。

最后,还需要加强科学研究方面的国际合作与协调,以减少灰尘、全球生物地球化学过程及气候系统三者相互作用的不确定性;改进监测、预测和预警系统方法;对沙尘暴的经济影响、代价及相关缓解措施进行评估;并提高沙尘暴到来之前、期间和之后采取措施的效力。

- 1 北非、中东和欧洲中心
<https://sds-was.aemet.es/>
- 2 世界气象组织沙尘暴预警咨询和评估系统亚洲中心
http://eng.nmc.cn/sds_was.asian_rc/
- 3 泛美区域中心
<http://sds-was.cimh.edu.bb/>

参考文献

- BBC (2010). China sandstorm leaves Beijing shrouded in orange dust. *BBC*, 20 March 2010. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/8577806.stm>
- Tehran Times (2016). Sand storm buries 16 villages in southeastern Iran. *Tehran Times*, 18 May 2016. <http://www.tehrantimes.com/news/402617/Sand-storm-buries-16-villages-in-southeastern-Iran>
- Emirates 24/7 News (2016). NCMS warns of active winds, low visibility. *Emirates 24/7 News*, 4 August 2016. <http://www.emirates247.com/news/emirates/ncms-warns-of-active-winds-low-visibility-2016-08-04-1.637979>
- The National (2016). Asthma attacks on the rise in UAE as winds whip up sand and dust. *The National*, 19 July 2016. <http://inbusiness.ae/2016/07/19/asthma-attacks-on-the-rise-in-uae-as-winds-whip-up-sand-and-dust>
- McLeman, R., Dupre, J., Berrang Ford, L., Ford, J., Gajewski, K. and Marchildon, G. (2014). What We Learned from the Dust Bowl: Lessons in Science, Policy, and Adaptation. *Population and Environment*, 35, 417–440. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24829518>
- Goudie, A.S. and Middleton, N.J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Grousset, F.E., Ginoux, P. and Bory, A. (2003). Case study of a Chinese dust plume reaching the French Alps. *Geophysical Research Letters*, 30(6), 1277. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GL016833/full>
- Pye, K. (1987). *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, London
- Wang, F., Zhao, X., Gerlein-Safdi, C., Mu, Y., Wang, D. and Lu, Q. (2017). Global sources, emissions, transport and deposition of dust and sand and their effects on the climate and environment: a review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11, 13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11783-017-0904-z>
- Yu, H., Chin, M., Yuan, T., Bian, H., Remer, L.A., Prospero, J.M., Omar, A., Winker, D., Yang, Y., Zhang, Y., Zhang, Z. and Zhao, C. (2015). The fertilizing role of African dust in the Amazon rainforest: A first multiyear assessment based on data from Cloud–Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations. *Geophysical Research Letters*, 42, 1984–1991. https://www.researchgate.net/publication/272754426_The_Fertilizing_Role_of_African_Dust_in_the_Amazon_Rainforest_A_First_Multiyear_Assessment_Based_on_CALIPSO_Lidar_Observations
- Chadwick, O.A., Derry, L.A., Vitousek, P.M., Huebert, B.J. and Hedin, L.O. (1999). Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, 397, 491–497. <https://www.nature.com/nature/journal/v397/n6719/pdf/397491a0.pdf>
- Garrison, V.H., Shinn, E.A., Foreman, W.T., Griffin, D.W., Holmes, C.W., Kellogg, C.A., Majewski, M.S., Richardson, L.L., Ritchie, K.B. and Smith, G.W. (2003). African and Asian dust: from desert soils to coral reefs. *BioScience*, 53, 469–480. <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/5/469/241414/African-and-Asian-Dust-From-Desert-Soils-to-Coral>
- Derbyshire, E. (2007). Natural minerogenic dust and human health. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36, 73–77. https://www.wou.edu/las/physci/taylor/g473/med_geo/derbyshire_2007.pdf
- García-Pando, C.P., Stanton, M.C., Diggle, P.J., Trzaska, S., Miller, R.L., Perlwitz, J.P., Baldasano, J.M., Cuevas, E., Ceccato, P., Yaka, P. and Thomson, M.C. (2014). Soil dust aerosols and wind as predictors of seasonal meningitis incidence in Niger. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 679–686. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/122/7/ehp.1306640.pdf>
- WHO (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf
- Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms – what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131–142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>
- Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66(3), 343–355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>
- Almasi, A., Mousavi, A.R., Bakhshi, S. and Namdari, F. (2014). Dust storms and environmental health impacts. *Journal of Middle East Applied Science and Technology*, 8, 353–356. https://www.researchgate.net/publication/271211840_Dust_storms_and_environmental_health_impacts
- Stefanski, R. and Sivakumar, M.V.K. (2009). Impacts of Sand and Dust Storms on Agriculture and Potential Agricultural Applications of a SDSWS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 7(1), 012016. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/7/1/012016/pdf>
- Shao, Y., Klose, M. and Wyrwoll, K.H. (2013). Recent global dust trend and connections to climate forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 1–12. https://www.researchgate.net/publication/263182073_Recent_global_dust_trend_and_connections_to_climate_forcing_GLOBAL_DUST_TREND
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E. and Gill, T.E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40, 2–31. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2000RG000095/full>
- Ginoux, P., Prospero, J.M., Gill, T.E., Hsu, N.C. and Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000388/epdf>
- Stanelle, T., Bey, I., Raddatz, T., Reick, C. and Tegen, I. (2014). Anthropogenically induced changes in twentieth century mineral dust burden and the associated impact on radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 526–546. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014JD022062/epdf>

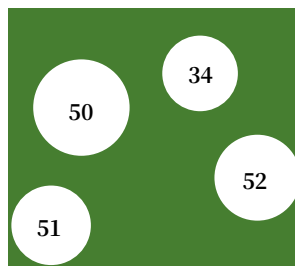
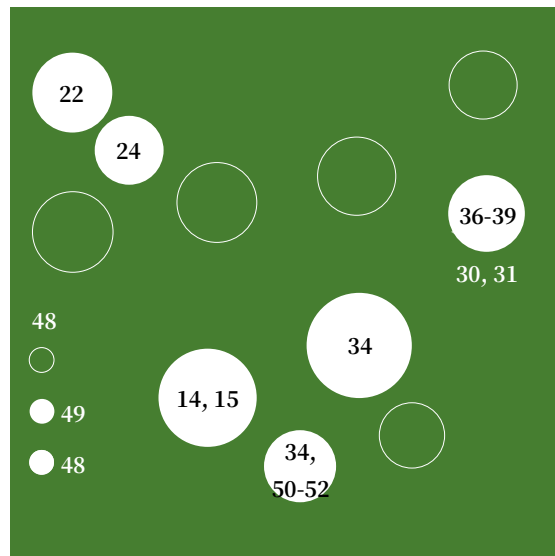


24. Mahowald, N.M., Kloster, S., Engelstaedter, S., Moore, J.K., Mukhopadhyay, S., McConnell, J.R., Albani, S., Doney, S.C., Bhattacharya, A., Curran, M.A.J. and Flanner, M.G. (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 10875–10893. https://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/klostersilvia/Mahowald_et_al_ACPD_2010.pdf
25. Gill, T.E. (1996). Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas: Human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human system. *Geomorphology*, 17, 207–228. https://www.researchgate.net/publication/222233193_Eolian_sediments_generated_by_anthropogenic_disturbance_of_playas_Human_impacts_on_the_geomorphic_system_and_geomorphic_impacts_on_the_human_system
26. McConnell, J.R., Aristarain, A.J., Banta, J.R., Edwards, P.R. and Simões, J.C. (2007). 20th-Century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5743-5748. <http://www.pnas.org/content/104/14/5743.full.pdf>
27. Marx, S.K., Kamber, B.S., McGowan, H.A. and Denholm, J. (2011). Holocene dust deposition rates in Australia's Murray-Darling Basin record the interplay between aridity and the position of the mid-latitude westerlies. *Quaternary Science Reviews*, 30(23), 3290-3305. https://www.researchgate.net/publication/232391398_Holocene_dust_deposition_rates_in_Australia's_Murray-Darling_Basin_record_the_interplay_between_aridity_and_the_position_of_the_mid-latitude_westerlies
28. Groll, M., Opp, C. and Aslanov, I. (2012). Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia – results from a long term monitoring program. *Aeolian Research*, 9, 49-62. https://www.researchgate.net/publication/257708671_Spatial_and_temporal_distribution_of_the_dust_deposition_in_Central_Asia_-_results_from_a_long_term_monitoring_program
29. Ataniyazova, O.A. (2003). *Health and ecological consequences of the Aral Sea crisis*. In the 3rd World Water Forum, Regional Cooperation in Shared Water Resources in Central Asia, Kyoto, March 18 2003, Panel III: Environmental Issues in the Aral Sea Basin. http://www.caee.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/papers/ataniyazova_wwf3.pdf
30. Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuioac, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. and Whetton, P. (2007). Regional Climate Projections. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf>
31. IPCC (2013). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_TS_FINAL.pdf
32. Han, Y., Dai, X., Fang, X., Chen, Y. and Kang, F. (2008). Dust aerosols: a possible accelerant for an increasingly arid climate in North China. *Journal of Arid Environments*, 72(8), 1476–1489. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196308000372>
33. Twohy, C. H., Kreidenweis, S. M., Eidhammer, T., Browell, E. V., Heymsfield, A. J., Bansemer, A. R., Anderson, B. E., Chen, G., Ismail, S., DeMott, P. J. and Van den Heever, S. C. (2009). Saharan dust particles nucleate droplets in eastern Atlantic clouds, *Geophysical Research Letters*, 36, L01807. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GL035846/epdf>
34. UNEP, WMO and UNCCD (2016). *Global Assessment of Sand and Dust Storms*. United Nations Environment Programme, Nairobi. https://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/global_assessment_of_sand_and_dust_storms.pdf
35. Xu, J. (2011). China's new forests aren't as green as they seem: impressive reports of increased forest cover mask a focus on non-native tree crops that could damage the ecosystem. *Nature*, 477(7365), 371-372. <http://www.nature.com/news/2011/110921/full/477371a.html>
36. Ouyang, Z., Zheng, H., Xiao, Y., Polasky, S., Liu, J., Xu, W., Wang, Q., Zhang, L., Xiao, Y., Rao, E. and Jiang, L. (2016). Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 352(6292), 1455-1459. http://csis.msu.edu/sites/csis.msu.edu/files/Ecosystems_China_2016.pdf
37. Tan, M. and Li, X. (2015). Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station data. *Land Use Policy*, 43, 42-47. https://www.researchgate.net/publication/268692474_Does_the_Green_Great_Wall_effectively_decrease_dust_storm_intensity_in_China_A_study_based_on_NOAA_NDVI_and_weather_station_data
38. Viña, A., McConnell, W.J., Yang, H., Xu, Z. and Liu, J. (2016). Effects of conservation policy on China's forest recovery. *Science advances*, 2(3), e1500965. <http://advances.sciencemag.org/content/2/3/e1500965.full>
39. UNEP (2015). Review of the Kubuqi Ecological Restoration Project: A Desert Green Economy Pilot Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8652/-Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project_A_Desert_Green_Economy_Pilot_Initiative-2015Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project..pdf?sequence=2&isAllowed=y
40. UNCCD (2017). Great Green Wall. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. <http://www.greatgreenwall.org/great-green-wall/>
41. Sacande, M. and Berrahmouni, N. (2016). Community participation and ecological criteria for selecting species and restoring natural capital with native species in the Sahel. *Restoration Ecology*, 24(4), 479-488. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.12337/abstract>

42. UNCCD (2005). *A Master Plan for Regional Cooperation for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms*. The Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in North East Asia Volume 1. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/dustsandstorms_northeastasia.pdf
43. WMO (2015). *Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS): Science and Implementation Plan 2015–2020*. World Weather Research Programme Report 2015-5. World Meteorological Organization, Geneva. https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/Final_WWRP_2015_5_SDS_IP.pdf
44. WMO (2017). Sand and Dust Storm Warnings website. World Meteorological Organization, Geneva. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/sand-and-dust-storm/sand-and-dust-storm-warnings>
45. WOCAT SLM (2017). The Global Database on Sustainable Land Management of the World Overview of Conservation Approaches and Technologies website. University of Bern, Berne. <https://qcat.wocat.net/en/wocat/>
46. FAO (2016). AQUASTAT website. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm
47. 2030 WRG (2015). The 2030 Water Resources Group website. <https://www.waterscarcitysolutions.org/#>

图片参考文献

48. WHO (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005*. Summary of risk assessment. World Health Organization, Geneva. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
49. Financial Tribune (2017). Dust Storms Slam Khuzestan Again. *Financial Tribune*, 29 January 2017. <https://financialtribune.com/articles/environment/58374/dust-storms-slam-khuzestan-again>
50. Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms - what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131-142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>



51. Jugder, D., Shinoda, M., Sugimoto, N., Matsui, I., Nishikawa, M., Park, S-U., Chun, Y-S. and Park, M-S. (2011). Spatial and temporal variations of dust concentrations in the Gobi Desert of Mongolia. *Global and Planetary Change*, 78, 14-22. https://www.researchgate.net/publication/241100103_Spatial_and_temporal_variations_of_dust_concentrations_in_the_Gobi_Desert_of_Mongolia
52. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66, 343-355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>

从西非吹向亚马逊盆地和墨西哥湾的羽状沙尘带，2014年6月25日每年至少有4000万吨撒哈拉沙漠的尘埃被送到亚马逊河流域。
图片来源: Norman Kuring/NASA OceanColor Group

