



气候变暖趋势 对弧菌生态的影响

透射电子显微镜下色彩强化处理后的霍乱弧菌，是生态与温度变化密切相关的多种致病性弧菌之一。 © James Cavallini/Science Source

每年有数百万人感染霍乱，其中约 14.2 万患者不治身亡。局部暴发的霍乱疫情自古以来就有记录；首次记载的霍乱大流行于 1817 年在恒河三角洲一带暴发，蔓延至中东和东非地区，造成数十万人死亡。目前仍在持续的霍乱流行据报道于 1961 年始于印度尼西亚，已经蔓延至 50 多个国家。

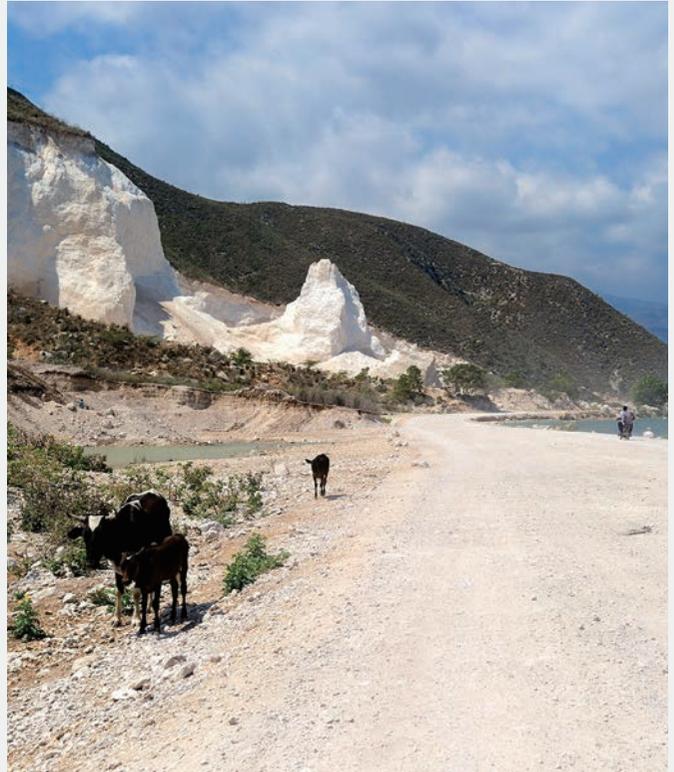
霍乱的致病菌是霍乱弧菌，是 19 世纪首批确认的病原微生物之一。感染霍乱弧菌后患者出现急性水样腹泻，如不及时治疗可在一天内死亡。但霍乱弧菌并不是唯一危害人类的弧菌，霍乱也不是唯一危害人类的弧菌性疾病。副溶血弧菌和创伤弧菌也可以导致严重甚至致命的胃肠道疾病与伤口感染。

现有大量研究在探索气候变化因素——从气温及海水温度上升到季风增强——如何影响致病性弧菌的生态。近期一些研究对孟加拉湾与印度河流域霍乱暴发的环境条件因素进行了调查，为人类与弧菌持续较量中气候变化所发挥的作用提供了一些很重要的见解。

浮游生物的作用

一个历史实例广为人知：1854~1855 年伦敦霍乱流行期间，英国医生 John Snow 证实饮用受污染的水可以致病。随着 20 世纪污水处理及净水设施的普及，发达国家已经消灭了霍乱。但当没有安全饮用水或者灾难性事件导致净化系统瘫痪时，疫情仍会持续存在。

霍乱弧菌与桡足类的共生关系非常适宜其繁殖。这种微型浮游甲壳动物是霍乱弧菌的天然宿主，随着潮汐四处漂流。马里兰大学的 Rita Colwell 于 1980 年代初首次阐述了这种共生关系，她与同事们制备了带有荧光标记的霍乱弧菌特异性单克隆抗体，显微镜下这些桡足类动物的身体轮廓上发出荧光亮点，标记出“搭便车”的弧菌。



2010年1月海地地震后，多种环境因素汇集导致了霍乱肆虐，其中包括炎热的夏季之后大量降雨。有观点认为这个海岛国家的石灰岩地基成分进入河水提高了其碱度，pH值上升到利于霍乱弧菌繁殖的程度，从而导致了霍乱暴发。而饮水及净化系统的破坏也使得人群得以广泛暴露于病原弧菌。Camp: © Reuters/Carlos Barria; cliffs: © John B. Crane; street: © Reuters/Carlos Barria



许多研究人员包括Colwell对霍乱弧菌进行了深入研究，发现它们可以附着在桡足类外骨骼的甲壳素上。在桡足类种群数量急剧下降时可以长期处于休眠状态，而在感染人类肠道时彼此间利用化学信号进行沟通合作。“霍乱是一种媒介传播疾病，”Colwell说道，“其媒介并不是随风飞扬，而是随波逐流；它就是桡足类浮游动物。”

研究人员对可以影响桡足类丰度的环境因素进行了跟踪监测。孟加拉湾地区叶绿素浓度的卫星数据显示，印度加尔各答与孟加拉国马特拉地区（Matlab）——霍乱流行的沿海社区——的疫情发生在浮游植物大量繁殖之后。鉴于霍乱弧菌与桡足类之间的密切关系，这显然合乎情理：浮游植物大量繁殖为桡足类等浮游动物提供了丰富的食物；而桡足类宿主的数量剧增也导致弧菌大量繁殖。

孟加拉国有两个可以预测的感染高峰期。第一个是在3~4月的干旱期，这段时间流入孟加拉三角洲的3条主要河流——恒河、布拉马普特拉河

与梅克纳河——处于低流量期。这种春季疫情仅殃及距离海岸200~300公里以内的地区，孟加拉湾三角洲区域的海水向上游倒流，携带大量浮游动物与霍乱弧菌进入当地居民作为生活水源的池塘。

第二个霍乱高峰期发生在秋季，通常是9月或10月份季风降雨增加了河水流量之后。富含营养物质的河水冲向下游，使得浮游植物大量繁殖。这些富含浮游生物的河水涌入三角洲地区，致使大量居民暴露于高浓度弧菌（一只桡足类可携带多达1万个弧菌）。

为了预防霍乱感染，Colwell及其同事在马特拉地区教妇女们用层叠的布料过滤未经处理的家庭用水。将一块旧纱网折叠成4层，形成的细网足以过滤掉桡足类与颗粒物，去除99%附着的霍乱弧菌。Colwell的研究结果表明，在3年研究期间马特拉地区的霍乱病例下降了48%；5年后的随访表明村民们仍在继续使用这一简易的预防技术。

自1960年代以来，人为温室气体排放所产生的多余热量，其中约90%被海洋吸收。而海洋表面温度的上升

对浮游植物种群产生了显著影响。塔夫茨大学（Tufts University）的Shafiqul Islam指出，近几十年来随着水温升高，热带地区的浮游植物丰度有所下降，而浮游植物减少应该意味着桡足类与霍乱弧菌的减少。然而政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change）预计，这种趋势可能会被旱季更严重的干旱以及季风期间更多的降雨所抵消。“如果旱灾和降雨更加极端化，霍乱也会更加肆虐，”Islam说道。

Islam所在的研究团队正在进行霍乱环境因素的预测工作。他们利用孟加拉湾地区长达13年的气温与叶绿素水平卫星数据，开发出一个可以预测春秋两季霍乱暴发强度的模型，精确度达75%。他们希望利用其不断积累的知识，帮助其它地区——由于人们准备不足所以疫情往往更致命——预测类似的疫情暴发。

未雨绸缪

在孟加拉国沿海地区，人们对霍



由于其盐度低且水温不断上升，波罗的海正成为弧菌的主要繁殖地。在2006年异常炎热的夏季，至少66人在去过波罗的海海滩后发生了弧菌感染。© KacperKowalski/Panos Pictures

乱相当熟悉，也了解其补救措施：饮用足量补液盐溶液。“一旦得了霍乱，”Islam说道，“应该连续数天补充足量水分……过几天霍乱被机体清除后就没事了。如果不补充足够水分，很可能会致命。”

如果疫情在人们毫无准备的地区暴发，死亡人数可能会非常高。2010年海地发生毁灭性地震之后暴发了霍乱，如今疫情仍在继续，死亡率已经超过6%，而在孟加拉国可预测的春季或秋季霍乱流行期间死亡率只有0.01%。尽管近几十年来孟加拉国的霍乱感染率上升，但死亡人数却急剧下降。最近在津巴布韦、安哥拉、尼日利亚和苏丹流行的霍乱死亡率均在3%以上。

可预测的霍乱流行在热带海岸地区较为常见。相比之下，意外遭遇大规模疫情的地区往往是内陆，远离主要河流三角洲地区。为了收集与霍乱流行相关环境因素的线索，Colwell与

西弗吉尼亚大学的Antarpreet Jutla研究了印度河流域1875~1900年间气温、降雨及霍乱疫情的历史数据。他们发现特定气候模式——酷热的夏季之后秋季大量降雨——强烈预示疫情暴发，高温有利于当地水域内霍乱弧菌的繁殖，然后随着洪水四处蔓延。

“印度河流域的历史模式同样出现在其它地方，”Jutla说道。强降雨过后霍乱暴发次数增加在海地和非洲也有记录。对巴基斯坦两次洪水的比较同样突显了天气的强大影响力。2005年一场灾难性地震之后并没有暴发的霍乱疫情，因为地震发生在山区，寒冷的天气抑制了霍乱弧菌的繁殖。而2010年炎夏8月巴基斯坦的低地发生洪灾

后，约60万人罹患包括霍乱在内的腹泻性疾病。

海地地震后引发疫情的霍乱弧菌菌株据报道是由前来救灾的尼泊尔联合国维和人员携带入灾区的。然而Colwell也指出，疫情发生前确实存在利于霍乱暴发的绝佳环境条件。霍乱弧菌在碱性水体中繁殖旺盛，Colwell推测地震可能损毁了该岛国地壳中的石灰岩，粉碎的石灰岩进入河水导致pH值升高。炎热的夏季过后紧接着是50年来最大的降雨，而饮用水及净化系统已被地震摧毁。Colwell认为，霍乱在海地暴发是基于—



桡足类浮游生物是弧菌的天然宿主。插图显示霍乱弧菌在桡足类卵囊（箭头所示）表面进行分裂。一只桡足类生物可以携带 1 万个弧菌。

Copepod: © Albert Lleal/Minden Pictures/Corbis; V. cholerae: Huq et al. (1983)



使用多层纱丽布料过滤生活用水是一种可以降低霍乱弧菌暴露风险的简易方法。多层布料的网眼足够细密，可以过滤掉挠足类生物以及它们携带的弧菌。

© G.M.B. Akash/Panos Pictures

系列复杂的环境条件，而不仅仅是一个携带者将疾病从一个地方带到另一个地方的简单案例。

生存环境暖化

弧菌生活在世界各地的海洋与河口地区，通常不危害人体健康；许多菌株没有致病性或者没有机会接触人类。“对于某些类型的传染病媒介来说，跨越阈值温度相当重要，”国立环境健康科学研究所的公共健康高级顾问John Balbus解释道。“气温升高时，之前没有疫情的地区也会暴发疫情。”近年来，弧菌所致疾病开始在人们意料之外的一些地区暴发，这些地区过去因为气温较低所以致病性弧菌无法大量繁殖。

周期性气候波动如厄尔尼诺现象可以极大影响弧菌的生态与分布情况。在秘鲁沿海地区，1991年暴发的霍乱与1997年暴发的副溶血弧菌引起的肠胃炎，均与较强的厄尔尼诺洋流有关。该洋流横跨太平洋，将富含热

带浮游动物及其弧菌种群的大量温暖水体从亚洲带到南美洲。副溶血弧菌是温暖地区食用海产食品所致肠胃炎的常见病因。

在西班牙西北部加利西亚地区1999年肠胃炎暴发期间也出现过类似模式。最近在加利西亚海域进行的一项弧菌生态研究发现，在80%的浮游动物样本中含有副溶血弧菌。海水温度升高似乎增加了弧菌附着以及消化浮游动物甲壳的能力。

2004年夏季在美国阿拉斯加威廉王子湾海域航行的多艘游轮上暴发了腹泻性疾病，调查发现病因是受副溶血弧菌污染的本地生牡蛎。由于那年夏季较长，牡蛎养殖场的水温超过了15℃——副溶血弧菌感染风险增加的阈值温度。该次疫情使人类感染该病原体的地理范围扩大到北纬60°以北，比以往的疫情暴发区域向北延伸了1000多公里。

波罗的海是弧菌属的主要繁殖地，随着海水温度升高，弧菌属在北

部海域繁殖愈加旺盛。温暖且低盐度水体适合弧菌生长，而波罗的海是世界上最大的低盐度海域之一，其水温也在快速上升。自1985年以来，夏季海水变暖速率是预测值的近3倍。

2006年欧洲的夏季异常酷热，波罗的海沿岸居民纷纷涌向海滩游泳纳凉。至少有66人罹患弧菌——包括霍乱弧菌与创伤弧菌——引起的坏死性伤口感染。创伤弧菌于1970年代首次被确认，其感染虽然罕见但后果严重。有些患者失去了患肢，如果感染扩散到血液则可能致命。最近的热浪天气期间，波罗的海沿岸国家包括瑞典、德国、波兰、丹麦报告了4个伤口感染霍乱弧菌所致的死亡案例，以及10个伤口感染创伤弧菌所致的死亡案例。

气候变化不仅带来了酷热的夏季，同时也导致了沿海生态系统的长期变化，春季变暖夏季延长，使得弧菌可以大量繁殖。此观点在一项创造性的研究中得以展示，该研究利用自1961年以来从北海收集的浮游生物样本，

探索弧菌种群数量的变化。研究人员使用靶标为弧菌属所有细菌DNA的分子探针，发现细菌种群的重大变化与莱茵河河口区域的浮游生物相关联。弧菌丰度明显增加与1980年代末期北海南部海域显著变暖在时间上相符。弧菌种群的日益优势地位可能预示着微生物多样性的退化，这个问题仍有待探索。

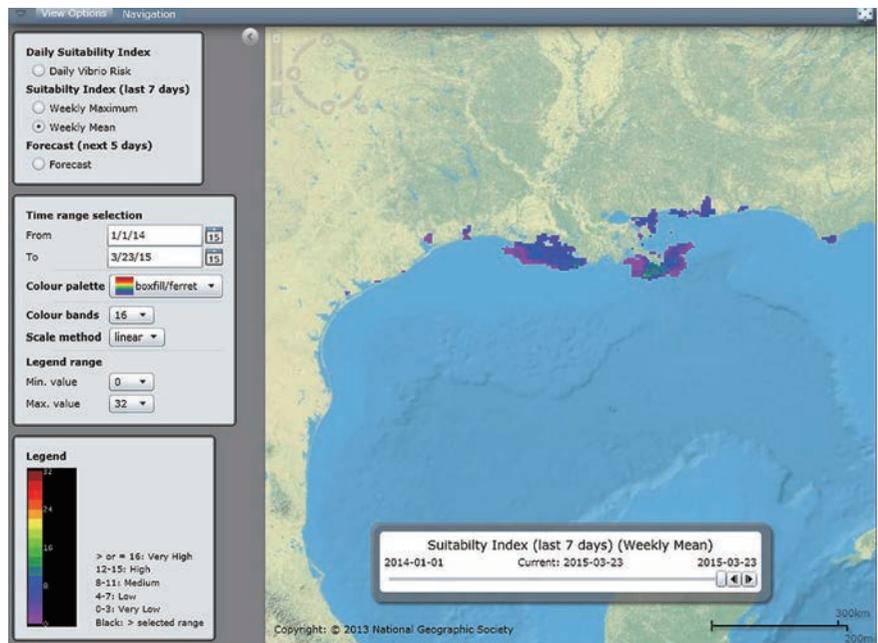
健康影响监测

“现在有显著证据表明气候变化促进了弧菌感染的暴发，”位于英国多塞特郡的环境、渔业及水产养殖科学中心（Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science）的Craig Baker-Austin说道，“在热浪天气时我们可以看到感染病例的大幅增加。”

在美国，弧菌感染病例上报给疾病控制与预防中心（CDC）。美国的所有弧菌感染从1997年的387例上升到2012年的944例。免疫功能受损以及患有慢性肝病的人群更易罹患弧菌感染引起的并发症。

在许多欧洲国家数据较难获取，因为弧菌感染并不在必须上报公共卫生官员的疾病名单上。尽管如此，北欧政府官员还是记录了1994、1997、2003、2006、2010以及2014年热浪天气期间的弧菌疫情。Baker-Austin指出，气候变暖最明显的表现之一是热浪天气的频率更高、程度更严重。在最近一项研究中，他与同事研究了波罗的海海水温度的长期数据，发现水温异常升高与病原弧菌感染暴发之间具有明显相关性。

Baker-Austin认为即使是在弧菌感染必须上报疾控中心的美国，记录在案的病例也只是其中一部分。许多弧菌性肠胃炎患者病情没有严重到去看医生的程度，或者即使去看了医生，也不一定进行大便培养检查以确认是否弧菌感染。“相较于那些实验室确认的感染案例，”Baker-Austin说道，“实际发生的病例要高出数倍。”



“欧洲环境与流行病”门户网站上的试用版弧菌风险地图标记出环境条件有利于弧菌繁殖的区域。该模型每日更新其遥感数据如海面温度及盐度。© European Environment and Epidemiology Network

欧洲疾病预防控制中心（European Centre for Disease Prevention and Control）的Jan Semenza及其同事利用遥感卫星监测的海洋表面温度及盐度数据，构建了一个实时模型，可以显示适合弧菌生长的沿海区域。该中心的“欧洲环境与流行病”（European Environment and Epidemiology, E3）门户网站上有一个弧菌风险地图，可以显示哪些沿海区域的海水表面温度与盐度水平有利于弧菌生长繁殖。“此工具的目的是为了提醒民众，弧菌大量繁殖可能造成健康威胁，”Semenza解释道。他希望各国卫生部门可以使用弧菌风险地图作为弧菌风险预警，及时关闭海滩或向易感人群发出警告可以预防感染，挽救生命。

弧菌是水生生态系统的正常组成部分，不可能完全消灭，我们只能尽量减少暴露风险。Colwell每天沿着波托马克河（Potomac River）慢跑时都会想到这一点。她跑步时会经过一块牌匾，纪念1830年代修建切萨皮克与俄亥俄运河（Chesapeake & Ohio Canal）期间死于霍乱的工人。那些贫困的爱尔兰移民住在拥挤的棚屋内，没有安全饮水和卫生设施。1832年盛

夏期间，典型的环境条件促使了疫情暴发，大量工人死亡，幸存者则丢下了工具撤离。

通过普及污水及饮用水处理，美国已经长达一个多世纪没有发生霍乱疫情。随着气候的变化，最易感霍乱的社区将更需要洁净水与卫生设施。据世界卫生组织估计，现在全世界约7.48亿人没有安全饮水，约18亿人的水源被粪便污染。不仅弧菌生态相当复杂难以应对，在这个不断暖化的世界里，为不断增长的人口提供安全饮水与卫生设施也是一项艰巨的挑战。

Sharon Levy，住在加利福尼亚州洪堡县，自1993年以来撰写生态、进化与环境科学方面的文章。目前她正在写一本关于湿地与水污染历史的书——《沼泽建设者》（*The Marsh Builders*）。

译自EHP 123(4):A82-A89 (2015)

翻译：周江

本文参考文献请浏览英文原文

原文链接

<http://dx.doi.org/10.1289/ehp.123-A82>