

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2020.060>



“同一健康”视角下医学地质学的创新发展

王焰新

中国地质大学环境学院,生物地质与环境地质国家重点实验室,湖北武汉 430074

摘要:“同一健康”概念是一种融合跨学科和跨行业资源的整体性健康研究与管理新方法,为医学地质创新发展提供了新视角.在全球性传染病防治引起人类社会空前重视的时代背景下,医学地质学需要研究在人类活动影响下,地球物质循环、生态系统韧性变化与疾病出现和传播模式的变化之间的成因联系,并面临三方面的科学挑战:(1)研究对人类和动物有害或有益的地球物质循环规律及其健康风险;(2)揭示与全球性疾病有关的地质环境因素和过程,探索减缓风险对策;(3)识别和评估新型污染物和病原体的分布、迁移与健康风险.为有效应对这些挑战,需要整合创新资源,倡导和支持“聚合”研究,推动多学科协作的医学地质调查计划,加强平台建设和人才培养.

关键词: 同一健康概念;医学地质;地球物质;病原体;环境地质学.

中图分类号: R12;[P66] **文章编号:** 1000-2383(2020)04-1093-10

收稿日期: 2020-03-28

Innovative Development of Medical Geology: A One Health Perspective

Wang Yanxin

School of Environmental Studies, State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The One Health concept is a new holistic approach of health research and management by integrating interdisciplinary and cross-sectoral resources and provides new perspectives for innovative development of medical geology. In an era of unprecedented importance for human society to prevent and control pandemics, medical geologists should be involved in studying the genetic links between Earth material cycling, ecosystem resilience and the onset and transmission of diseases. There are three scientific challenges for medical geology studies: to understand the cycling of Earth materials deleterious or beneficial for human beings and animals and to assess their health risks; to reveal the geo-environmental factors and processes related to pandemics and to explore mitigation approaches; and to identify and assess the distribution, transport and health risks of emerging contaminants and pathogens. To respond effectively to these challenges, it is necessary to integrate innovative resources, advocate and support convergence and promote medical geology survey programs with coordinated interdisciplinary involvement, and to enforce the construction of research platforms and improve quality of professional education.

Key words: One Health concept; medical geology; Earth materials; pathogens; environmental geology.

1 社会演进与学科发展

医学地质学是一门古老的学科.说她古老,是

因为人类早就认识到地质环境与人类健康的关系;自从地球上出现生命以来,生命的健康就与地球物质和地质过程休戚与共.在农业社会,维系人和动

基金项目:国家自然科学基金创新研究群体项目(No. 41521001).

作者简介:王焰新(1963-),男,教授,中国科学院院士,从事地下水与环境研究工作. E-mail: yx.wang@cug.edu.cn

引用格式:王焰新,2020.“同一健康”视角下医学地质学的创新发展.地球科学,45(4):1093-1102.

物生存和繁衍所需的水、食物均主要来自当地的地球物质,甚至连火山喷发释放的大量有害物质也无法规避.生活在特定地质环境中的人类和动物因摄入地质成因有害元素或缺乏有益元素而罹患氟中毒、大骨节病、甲状腺肿等各种地方病.工业革命以来,人类成为强大的地质营力,人类活动对于地球系统的作用旷日持久、无处不在,不但排放大量的污染物质,而且通过扰动地球表层系统地质过程,导致那些对生命系统有害的地球物质加速释放,危及人类和动物健康.如印度次大陆 20 世纪大规模开发利用高砷地下水,印度、巴基斯坦和孟加拉三国的砷暴露人口高达 1.87 亿左右(Chakrabarti *et al.*, 2018).

医学地质学又是一门年轻的学科.说她年轻,是因为其现代学科理论和方法体系创建于 20 世纪 60 年代,现仍在迅猛发展.进入全球化时代,前所未有的资源开发和人口迁徙,过度消费和“三废”排放,导致了生态系统功能失调,传染性大规模传播.而全球变化影响下的生物地球化学循环是大多数生态系统功能的基础,医学地质学在解决区域性环境健康问题中的独特作用进一步凸显.例如,由虱类携带的螺旋体感染人体的莱姆病是一种自然疫源性疾病. Guerra *et al.* (2002) 在美国中北部的研究表明:带菌虱类 *Ixodes scapularis* 存在于下伏沉积岩的粒径较大的淋溶土和黑土中,而在针叶林下、前寒武火山岩风化形成的酸性土分布区则很难存活.这些虱类种群密度直接或间接地依赖于土壤生态学,因此当土壤生态被人为破坏时,它们有可

能出现或再现为“新兴传染病”.

历经 50 余年,医学地质学已发展成为一门研究地球物质和地质过程与人类、动物健康关系的学科(Selinus, 2013),以有益或有害健康的地球物质为研究对象,探索其来源、时空分布和迁移转化规律,评估其暴露途径和健康风险,揭示地质与环境因素对人类和动物疾病地理分布的影响,从而为流行病学研究和地方病、传染病预防与控制提供科学依据.因此,在谋求人与自然和谐发展的进程中,医学地质学学科的重要性将与日俱增,并成为“常青藤”学科.

2 “同一健康”理念及其启示

2004 年,来自世界卫生组织、联合国粮农组织、各国疾控中心、美国地质调查局国家野生动物健康中心等机构的代表在美国洛克菲勒大学发表“‘同一世界,同一健康’曼哈顿原则”(www.oneworldonehealth.org),针对传染性不但威胁人类健康及其食物供应和经济发展,而且威胁动植物健康的现实,为了在 21 世纪赢得抗击疾病战争,同时为子孙后代保护好地球生物多样性和完整性,代表们提出:需要跨学科、跨行业协同创新;需要各国领袖、社会、全球卫生界和科学界提高认识,采取适应性、整体性和前瞻性策略配置资源和增加投资等 12 方面的原则建议.正如 Destoumieux-Garzón *et al.* (2018) 指出的那样:“同一健康”概念是一种跨学科、跨领域和跨行业融合的整体性健康研究与管理新方法(图 1).

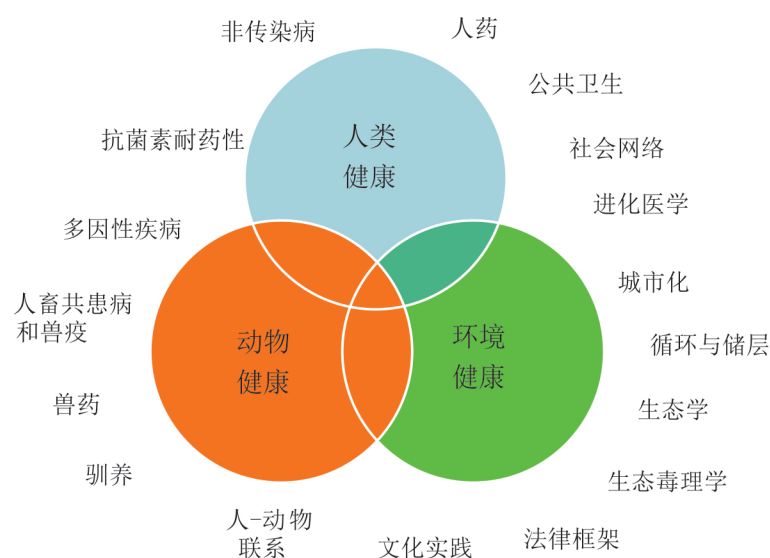


图 1 “同一健康”概念(Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018)

Fig.1 One Health concept(Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018)

“同一健康”研究有两大基本标志(Lebov *et al.*, 2017):一是需涉及与人体健康、环境健康或动物健康有关的至少一项内容,如:职业病、地方病,土壤/沉积物污染、水污染,动物饲料污染、生物制剂暴露;二是需涉及人体、环境和动物健康的交叉领域,如:饮用被污染水源、食用含杀虫剂的食物对动物和人体健康的影响,市政污水或原料废水排放对动物健康的影响,人工或自然环境变化所致媒介生物种群和动物疾病发病率变化,以及利用哨兵动物提高人体和环境健康灾害探测水平。

近年来,医学地质学研究面临新的重大社会需求,就是为预防、监测和控制全球性传染病,提供地质理论、数据与方法支撑。2020年初,我国和全球许多国家经历了新冠肺炎疫情,这是进入21世纪的短

短20年间,人类第3次遭遇冠状病毒的大规模侵袭。在过去的30年中,人类行为和环境因素的变化已导致30多种新型传染病的出现(Nkengasong, 2020)。亟需参照“同一健康”概念,统筹人类健康、动物健康和环境健康,重建国家和全球公共卫生与生物安全体系。流行病学调查表明,人类除了通过皮肤接触、食物和饮水摄入病原体,通过呼吸摄入携带病原体的气溶胶是致病的重要途径(表1)。实际上,个体对于大气颗粒物、各种大气污染物和放射性气体的剂量响应因人而异,造成健康损害甚至致病的潜伏期可以很长。但病原体暴露时间即便很短,也会迅速致病。正如其他有害物质会随着在农田施用的市政污泥进入空气、水(图2)一样,这些病原体可能会随着扬尘从土壤进入空气和水环境中。因此,需

表1 一些空气病原体及可能致病情况(Institute of Medicine and National Research Council, 2007)

Table 1 Examples of airborne pathogens and the diseases that may result(Institute of Medicine and National Research Council, 2007)

病原体	人类疾病
细菌疾病	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	肺结核,播散性结核
<i>Chlamydia psittaci</i>	鹦鹉热(肺炎)
<i>Bacillus anthracis</i>	肺炭疽
<i>Staphylococcus aureus</i>	葡萄球菌呼吸传染,脓毒症,皮肤感染
<i>Streptococcus pyogenes</i>	葡萄球菌呼吸传染,脓毒症,其他葡萄球菌感染
<i>Legionella spp.s</i>	军团菌病
<i>Neisseria meningitidis</i>	脑膜炎双球菌感染,脑膜炎
<i>Yersinia pestis</i>	肺鼠疫,淋巴腺鼠疫
<i>Bordetella pertussis</i>	百日咳
<i>Corynebacterium diptheriae</i>	白喉
真菌病	
<i>Aspergillus fumigatus</i> Aspergillosis	曲霉病
<i>Blastomyces dermatiridi</i> Blastomycosis	芽生霉菌病
<i>Coccidioides immitis</i> Coccidioidomycosis (valley fever)	球孢子菌病(溪谷热)
<i>Cryptococcus neoformans</i> Cryptococcosis	隐球菌病
<i>Histoplasma capsulatum</i> Histoplasmosis	组织胞浆菌病
<i>Nocardia asteroides</i> Nocardiosis	诺卡氏菌病
病毒病	
流感病毒	流感
汉坦病毒	汉坦病毒肺综合症
柯萨奇病毒	回声病毒性胸膜炎(胸壁疼痛),呼吸及其他感染
风疹病毒	风疹病毒(德国麻疹)
麻疹病毒	麻疹
鼻病毒	普通感冒
原虫病	
<i>Pneumocystis carinii</i>	肺孢子虫病(卡氏肺孢菌肺炎)

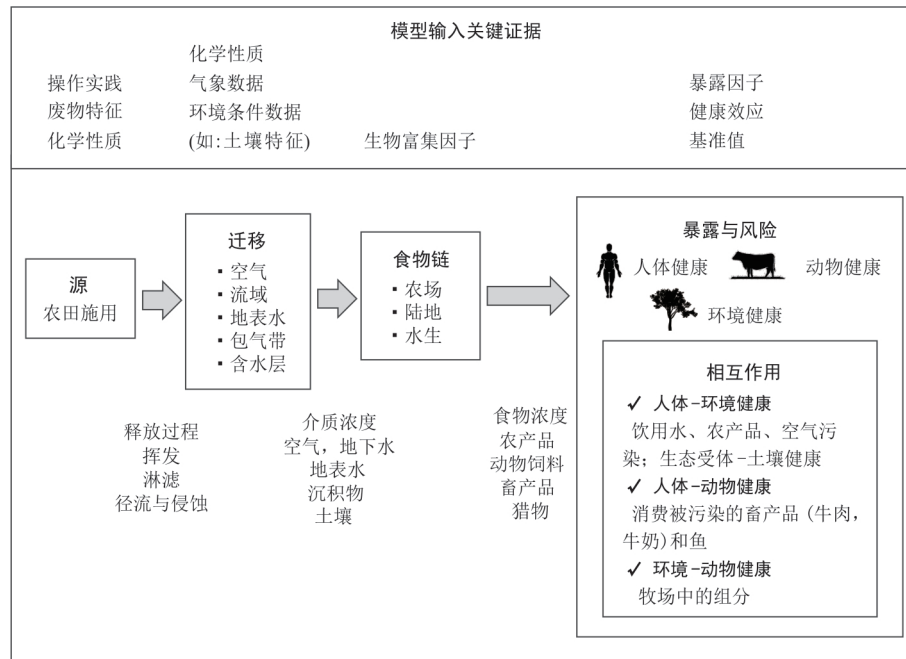


图2 “同一健康”案例研究思路:以施用市政污泥用于农业土壤改良为例(Lebov *et al.*, 2017)

Fig. 2 Schematic of study design for One Health case study: application of biosolids as an agricultural soil amendment(Lebov *et al.*, 2017)

要研究在人类活动影响下,地球物质循环、生态系统韧性变化与疾病出现和传播模式变化之间的成因联系.地球和生命体均为复杂系统,都需要系统科学思想的指导.从这个意义上讲,“同一健康”研究思路不但是全球性传染病防治的策略,也是医学地质创新发展应参照的理念.

3 科学挑战

在“同一健康”视角下,医学地质工作者不但要继续查明有害或有益地球物质的来源和归趋,而且要与公共卫生学者、临床医生一起,重点围绕有害物质的暴露途径与健康风险开展工作.为了有效应对新的科学挑战,急需开展多学科协同攻关,这不仅将拓展医学地质学的研究范畴,也对学科的研究范式提出挑战.

3.1 研究对人类和动物有害或有益的地球物质循环规律及其健康风险

地球物质研究已经为探索地球系统结构、地球动力学、生命起源与演化、资源成因与分布以及地球灾害防治提供了强有力的支撑.随着生命科学和卫生健康产业的快速发展,地球物质研究不但需要关注岩石圈、水圈和大气圈,还需要把生物圈纳入研究范畴.同时,在公共卫生风险评估实践中,环境

健康因素的考量常常不足,如何定量评价地质过程或人类活动产生的有害物质来源、迁移、归趋和生物有效性,亟待探索.

从根本上讲,岩石圈是地球上所有自然形成化学元素的来源,为动物和人类健康提供了生存必需的绝大多数元素(当然,动物和人类是通过食物、水和呼吸空气摄入这些元素的).由于人类和动物都生活在地球表层系统中,因此,与医学地质相关的地球物质科学研究过去一直重点围绕土壤、地表水、地下水和大气环境,而对来自深部的地球物质(如火山灰、氦气、 CO_2 、高温地热流体等)进入表层系统后,如何迁移转化,如何影响环境、动物和人体健康,还需要开展系统、深入的研究.比如:砷含量较高的高温地热流体(砷含量可高达40 mg/L,而饮用水砷限定值为10 $\mu\text{g/L}$)大多沿活动板块边缘分布,主要赋存于火山岩中.而在46亿年的地球演化过程中,火山活动频繁,有多少包括砷在内的物质从地球深部转移至表层?这些物质在水循环和地球化学循环中的迁移、富集行为如何?其形态尤其是有害的形态发生了什么变化?这些问题都需要医学地质研究.以地热流体来源砷为例,笔者发现:热泉在地表排泄后,硫代砷酸盐和硫代亚砷酸盐是砷的重要形态,而因缺乏在野外有效分离的技术和室内热力学数据,缺乏地热环境中与砷有关的微生物及其对

神形态影响的研究,导致难以有效评价和预测地热来源神的生物地球化学行为及其健康效应(Wang *et al.*, 2018)。

水是最活跃的地质营力,各种无机物、有机物、气体及微生物随着水文循环和水的地质循环,在地球圈层间发生分散、迁移和富集。饮用水水质是直接影响人类和动物健康的最重要因子之一。以地下水为例,影响水质的因素很多,如:地下水开采强度、孔位、深度,地下水人工补给,土地利用的变化,粮食生产和能源开发等等。需要重视的是:人类活动引发的地表水与地下水、浅层与深层地下水的相互作用对于地下水水质的影响。修渠、排污、筑坝、引水等地表工程,除了影响径流条件,还会改变水质;地表的污染物会通过各种途径进入地下水,导致地下水污染。笔者在华北平原的研究结果表明:由于长期超采地下水导致强烈的地面沉降,富含碘的海相淤泥被压密释水,碘随压出液进入相邻含水层(Xue *et al.*, 2019),而居民长期饮用这种高碘地下水,可能罹患甲状腺疾病。而另一方面,长期的灌溉活动,不仅可能导致土壤盐渍化,而且会引起地下水位波动和碳源输入,改变地下水局部赋存环境和地质成因有害物质(如:砷)的浓度与形态发生变化(Xie *et al.*, 2012),进而使得劣质水的时空分布变得更加复杂,有效保障饮用水水质安全也更具挑战性。

人类和动物的食物来自土壤环境,从食品安全角度研究元素和营养组分的生物地球化学循环,也是地学、农学与公共卫生学科合作较深入、成熟的研究方向。过去关注的重点是大剂量、高浓度有害物质摄入对人体健康的危害,而低剂量有害元素的长期摄入的健康效应,仍需延续这种行之有效的跨学科合作才能得出新的科学认识。

需要进一步系统、深入研究黏土矿物的医学地质特征。黏土是唯一能够通过各种暴露途径影响人体和动物健康的地球物质。作为导致矽肺病的主要成分,长期吸入含黏土的粉尘对人体健康造成巨大危害。人类已有两百万年的食土(geophagy)行为和习惯,以促进消化和去毒,还能补充一些营养成分;但却忽略了由此可能带来的组织擦伤、肠梗阻、贫血、钾摄入过量 and 病原体、有毒微量元素的暴露等严重问题。在南非,黏土含量较低的土壤中种出的粮食缺乏营养,是当地居民罹患 Mseleni 关节炎的原因之一。在该领域,医学地质学家大有作为:编制影响健康的黏土类型分布图;提出黏土安全摄入的

标准和规范;识别作为病原体宿主或阻碍病原体生长的黏土(Finkelman, 2019)。近年来,由于纳米尺度观测仪器的迅速发展和地球化学、矿物学、微生物学和医学专家的深度合作,揭示了某些天然黏土有效灭菌机理及其副作用,并有望据此研发新型灭菌药物(Williams, 2019)。

3.2 揭示与全球性疾病有关的地质环境因素和过程,探索减缓风险对策

近年来,随着各类动物传染病、人畜共患病和流行病的出现与传播,全球性大流行病的风险与日俱增,同时,人类和动物健康还面临抗生素耐药性、环境污染和多因子病、慢性地方病的严重威胁。换言之,健康风险的全球化趋势明显,在研究病原体、“致病、致癌、致畸变”污染物的迁移富集和暴露途径时,需要高度关注其“人—动物—生态系统”界面行为和生物地球化学循环特征。

由于冰川融化、海平面变化、温室气体排放、森林野火、生物多样性锐减、外来物种入侵、地球灾害频发、农药和化肥大量频繁施用等全球变化过程的速率与规模加剧,废物处置、矿产和能源资源高强度开发、地下水超采、城镇化、土地覆盖和生境变化等人类活动对陆地生态系统的扰动,都会引发健康风险。土地利用变化的区域健康效应值得研究。大规模土地利用会导致生境碎片化、病源效应、地面不透水硬化后径流变化、地下水/地表水水质恶化、动植物生境局部甚至全部消亡,从而提高病媒的生物有效性。人类生活方式的变化(如:贪吃野生动物、滥用抗生素),使得问题雪上加霜。

因此,揭示全球性疾病的成因,有效控制疾病传播,需要研究者具备全球视野。而医学地质的地球系统观和地球物质循环观与生俱来,在研究全球变化与疾病风险关系时,可以发挥关键作用。如笔者近期提出:尿石症的产生和分布与饮水水化学成分、碳酸盐岩、磷矿和气候等地质因素有关,并运用贝叶斯风险模型,预测了全球尿石症风险。笔者发现:发病率风险较高的“结石带”与全球碳酸盐岩主要分布区总体重叠(图3);如果全球变暖趋势不变,到21世纪末,尿石症发病概率超过30%的区域面积将从目前的20%增加至25%(Wang *et al.*, 2020)。

地震、滑坡、海啸和火山喷发等地球灾害不仅是地球动力学过程,而且会直接或间接导致有害物质的释放,进而影响人类和动物健康,如:地震、滑

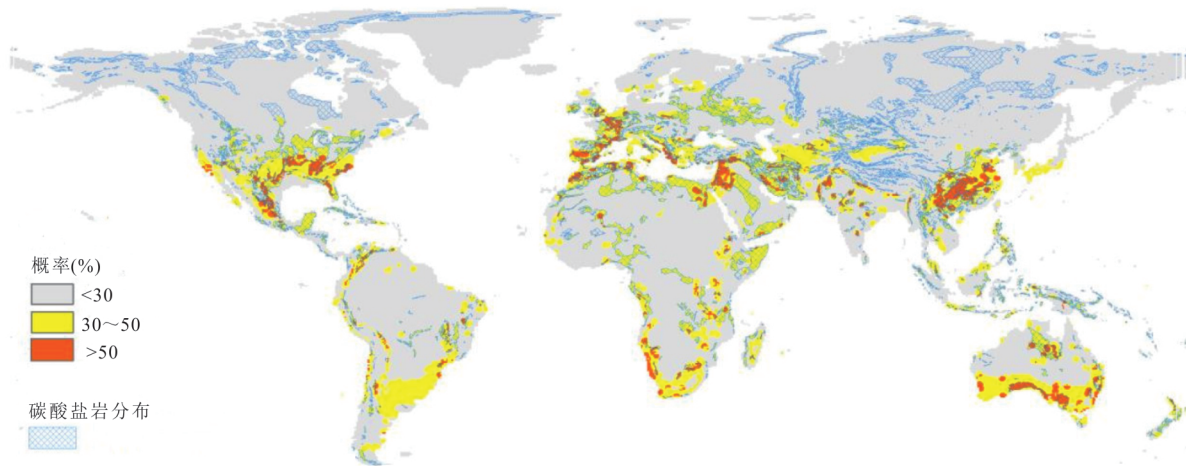


图3 全球尿石症风险与全球碳酸盐岩分布对比示意图

Fig.3 Global urolithiasis risk map compared to the global carbonate rock distribution

图3为了简洁,未标国界,据 Wang *et al.* (2020)

坡和火山喷发释放的大量粉尘;因地震和海啸导致日本福岛核电站泄漏,造成放射性污染.在灾害应急救援和灾后重建过程中,应开展医学地质调查,科学评估灾害的健康风险,需要把灾害空间分布信息、地质环境信息、公共卫生信息(受影响人口、医疗救援能力)相融合,运用大数据分析和模拟技术,以科学评估灾害给灾区、全国乃至全球带来的健康风险和医疗救治费用,为应急救援和灾后重建提供科学、可靠的信息和决策依据.

基于“同一健康”视角,医学地质学需要加强地质环境与动物健康关系的研究.过去,医学地质学重点研究了畜牧业的动物健康与微量元素的关系,发现在同一地球化学环境中生活的人和动物,因营养元素摄入不足或过量而产生的新陈代谢效应相同,出现了相同或相似的患病症状.但现在看来,仅仅研究家禽是不够的.有研究表明:2020年初席卷全球的新冠肺炎是由SARS-CoV-2病毒引发(Zhou *et al.*, 2020),这是已知能感染人类的第7种冠状病毒.尽管尚需进一步研究,但一些研究者将SARS-CoV-2的来源推测为蝙蝠,该病毒在全基因组水平上与蝙蝠冠状病毒具有96%的同一性(Hu *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2020).而蝙蝠是经历了数千万年进化而成的地球上唯一会飞的哺乳动物,共有19科185属1000~2000多个种;高密度群居(3000只/ m^2)于岩溶或火山洞穴中,有的洞穴深达地下400余米,一个洞穴可栖息上万甚至几十万只.它是携带有包括冠状病毒、埃博拉病毒等4100多种RNA病毒的“毒王”(Afelt *et al.*, 2018).SARS-CoV-2是蝙

蝠身体中一直携带的,还是病毒间相互协同进化而来的,尚有待深入研究.为了遏制疾病传播、跨物种传染风险和病原体—宿主新型关系的发展,医学地质工作者需要研究病原体—野生动物—人体—地质环境的协同演化,提出保护野生动物和预防全球性大流行病传播的策略.

3.3 识别和评估新型污染物和病原体的分布、迁移与健康风险

在与健康有关的地球物质方面,医学地质学长期关注的重点是微量营养元素、自然成因的大气颗粒物、氡、砷、氟、水的硬度、硒、碘、土壤中的病原体等有益/有害地球物质(Selinus, 2013),而包括激素、药物、个人护理品、病原体在内的新型污染物在地质环境尤其是地下水环境中的迁移转化行为及其主要影响因素的研究不足,尤其是病毒通过土壤和包气带进入地下水的迁移、归趋与健康风险评估分析,水环境中复合污染物与地质成因有害物质的协同或拮抗效应研究,内分泌干扰物从土壤到地下水的迁移、归趋及其长期、低剂量暴露的健康效应研究,均亟待加强.

由空气传播的病原体、化学刺激物质等复合污染物导致严重的健康损害甚至全球性大流行病,需要通过医学地质研究,识别复合污染物中的地质成因物质,揭示其迁移行为和暴露途径.在全球变化的影响下,扬尘、来自土壤的微生物和孢粉、火山灰和火山气体在大气中无处不在、无时不在,颗粒物—微生物—化学物质的协同作用产生的暴露浓度和剂量响应常常高于单一有害物质对健康的威

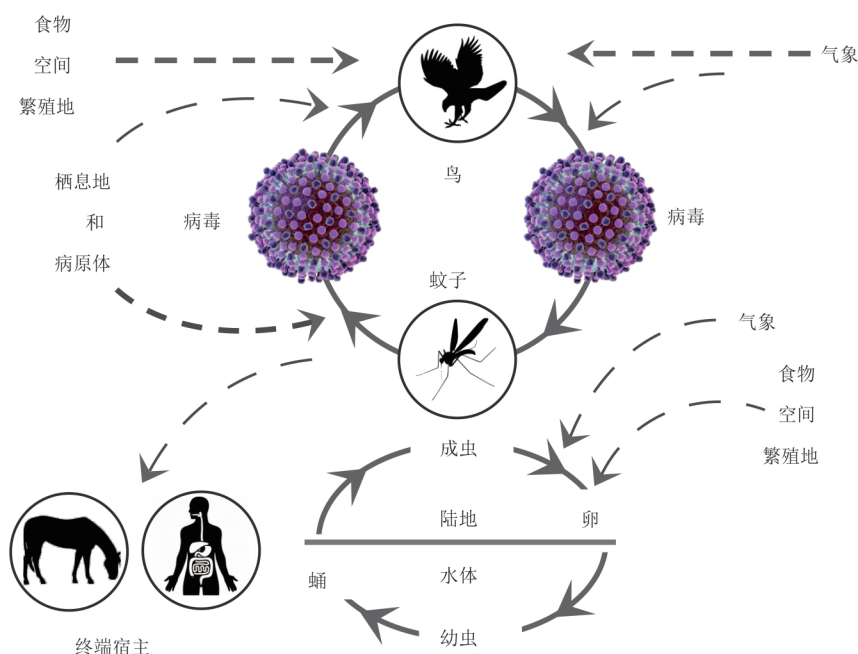


图4 典型的虫媒病毒生命周期与该系统的环境驱动或限制因子(据 Selinus(2013)修改)

Fig.4 A typical arbovirus cycle and environmental drivers or constraints on the system(adapted from Selinus, 2013)

胁.但识别其中的地质成因组分十分困难,需要借助于微区地球化学分析、同位素地球化学、高分辨率电镜、大数据等多种技术方法.应深度融合天空地一体化的大气环境监测、污染物溯源和流行病学调查结果,为有效规避空气污染导致的健康风险提供病媒时空分布的定量数据.

虫媒疾病通常有复杂的生命周期,在任何特定系统中,宿主、虫媒和病原体都会接受来自生态系统的各种“环境压力”的驱动或限制(图4):气象,食物和空间资源,捕食动物和寄生虫.例如,脊椎动物宿主会受食物的数量和质量、筑巢地点和捕食动物或寄生虫暴露等影响;虫媒受温度、湿度、食物资源(成虫和幼虫存在差异)、捕食动物和寄生虫的影响;而病原体则会受气温、宿主免疫状态、虫媒与宿主接触频率和时间的影晌.人类不但是—些初次或仅存于脊椎动物的病原体宿主(疟疾、登革热和班氏丝虫病),通常只是偶然参与病原体传播,并且是“终端”宿主.医学地质研究有助于定量评价这些环境压力及其健康效应.

粪—口传播的病原体也受到地球环境因素的影响.如轮状病毒是导致5岁以下幼儿腹泻的最常见原因,在南亚还是儿童死亡的主因.为揭示极端气候和水质安全如何影响腹泻发病率,Hasan *et al.* (2018)利用地面和卫星观测结果,以孟加拉为例开展多变量时空数据分析,发现降雨天数和夜间气温

(16~21 °C)对于轮状病毒在冬季的传播影响尤为明显,当雨天较少、合适的寒冷气温持续较长时,会加速疾病的开始和爆发;对达卡市的时间序列数据分析显示:季风降雨期的水涝影响夏季传播周期中轮状病毒的爆发;而卫星数据分析预测表明孟加拉国干冷地区的发病风险要高于湿热地区.这项研究还为提前1~2个月预警轮状病毒腹泻爆发提供了预测方法.

查明土壤中植物病原体和人类病原体的分布、存活和传播规律,同样需要医学地质学家的贡献.过去地质学家研究土壤时几乎从不关注病原体.在这一研究薄弱领域,医学地质学家要刻画病原体的生物地球化学生境,查明矿物组成、可交换的阳离子、可迁移态的金属元素、地球化学反应界面特性、营养组分来源、是否存在与病原体协同或拮抗的金属元素,还要评估土壤中人类病原体被植物摄取的潜力以及伴随土壤侵蚀过程进入水环境和大气环境的可能性.

4 学科创新与发展策略

我国医学地质研究起步较早.1960—1970年代,我国学者开展了克山病、大骨节病和地氟病的环境地质—地球化学研究(环境地质研究组,1972;洪业汤等,1979;刘东生等,1980).改革开放以来,我

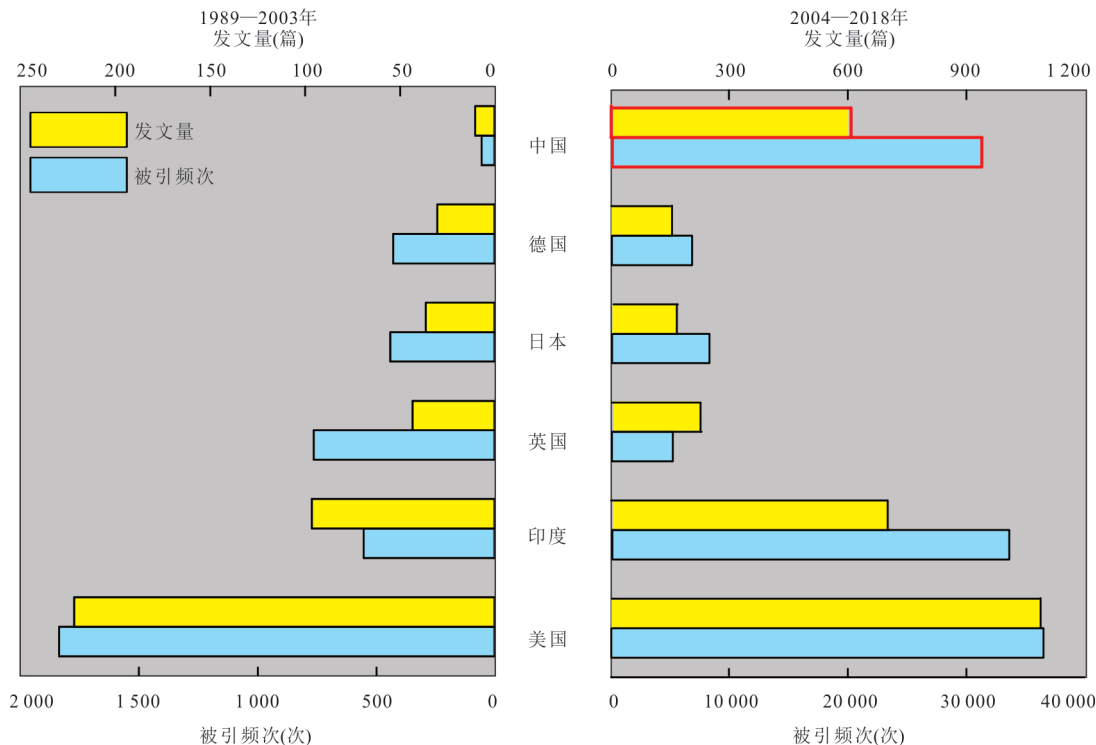


图5 1989—2003年和2004—2018年两个时段,高砷、高氟和高碘地下水研究领域主要国家的发文量和被引频次对比
Fig.5 A comparison of the number of publications and citations in high arsenic, high fluoride and high iodine groundwater studies in the periods of 1989—2003 and 2004—2018

检索策略:基于Web of Science(WOS)平台检索SCI-EXPANDED数据库,检索式为:主题=(arsen* or iod* or Fluori*) and groundwater,文献类型为Article,时间跨度为1989—2018年

国学者在碘缺乏性疾病、砷中毒和乌脚病、地方性铊中毒的研究方面也都取得了令国际学术界瞩目的成就(林年丰,1991;唐跃刚和郑宝山,2003).进入21世纪,我国医学地质研究水平得到进一步提升.以饮水型砷中毒、氟中毒、碘过量疾病分布区的劣质地下水研究为例,我国的国际期刊发文量和被引频次引用已经跃居全球前三(图5).2019年,第八届国际医学地质大会在贵阳召开,也彰显了我国在该领域的国际影响力.中国地质学会近期还设立了医学地质专业委员会,将有助于推动相关学术交流和科技创新.

医学地质学对于我国国家安全和经济社会可持续发展具有极其重要的作用,应该得到更好、更快的发展.但目前,该学科的科学地位还有待提升,在应对突发性重大公共卫生事件中,还很少发挥应有作用;学科交叉融合的机制尚未建立;科普不够,公众对医学地质的了解非常有限,在卫生健康、生态环境保护、国土空间管控、生物安全等领域的政策制定和管理、决策中极少考虑医学地质因素.在全球性传染病防治引起空前重视的大背景下,应基

于“同一健康”视角,整合创新资源,加强平台建设和人才培养,倡导和支持“聚合”研究,推动多学科协作的医学地质调查与监测计划,为健康中国、人类福祉提供重要科技和人才支撑.

4.1 倡导和支持“聚合研究”

长期以来,医学地质学面临如何将地球科学、公共卫生、生物医学研究有效融合的困境.传统意义上的跨学科研究,并不能从根本上实现这种融合.人为设置的学科、机构藩篱,研究经费的各自获取,学术视野、专业知识、研究范式乃至哲学的差异,使得不同学科的人连话语体系都很难统一.倡导和支持“聚合研究(convergence)”,可能会找到破题方案.聚合研究的肇始是为了加强纳米技术、生物技术、信息技术和认知科学的合作(Roco and Bainbridge, 2002),实现途径是把不同学科背景的学者置于同一机构中,围绕同一科学目标,使用同一来源的经费,一起培养学生(而不只是限于上几门“外专业”的核心课程).

与聚合研究最相似的地学研究是在防灾减灾领域,日本、智利、美国等国因地震而死亡人数的大

幅度减少,与地质学家、地震学家、地震工程师、建筑师、社会科学家和政府官员采用类似聚合研究的方式开展合作密不可分.这种合作不但改进了地震风险评估图的质量,还改进了预估强震、改进建筑抗震性能和与此有关的建筑标准.医学地质研究的首要目标是预防地球物质和地质过程对人类和动物健康的危害,降低暴露水平甚至阻断暴露途径,这不但可以大幅减少医疗支出,而且有助于提高生命质量.从这个意义上讲,医学地质是最应该推行聚合研究的.McNutt(2017)在《GeoHealth》期刊创刊号上即呼吁:环境毒理学、微生物学、水文学、公共卫生和心理学家紧密合作,应对人类面临的环境健康问题.从“同一健康”视角,地质学、地球化学、动物学家、生物医药等学科的科学家也应加入这种合作并发挥关键作用.

4.2 推动全国性医学地质基础研究和调查工作

我国医学地质研究得益于国家的长期支持,特别是国家自然科学基金委、科技部、卫健委、自然资源部和中国地质调查局等近年来以各类科技项目形式的持续资助.在此基础上,建议进一步组织和实施具有国际影响力、面向国家重大需求和国际科学前沿的医学地质领域大型研究计划.以国家自然科学基金项目为例,为应对上述科学挑战,应设立“医学地质”二级学科代码,加大项目资助力度.

在已经完成“全国地方病严重区地下水勘查与供水安全示范”地质调查项目基础上,应考虑部署全国性的医学地质调查项目,应参照“同一健康”概念,把微生物尤其是病原微生物、动植物健康调查纳入调查内容,并重视开展国际科研学术组织合作,深度参与国际医学地质重大问题研究.

4.3 加强平台建设和人才培养

在医学地质相关的领域,尽管一些高校和科研院所已经设立了与地方病、环境健康研究有关的科技创新平台,如:“环境地球化学”国家重点实验室,“生物地质与环境地质”国家重点实验室,中国疾控中心地方病控制中心等,但是缺乏参照“同一健康”概念,以医学地质基础研究和关键技术研发为主题的国家级科技创新基地.在新一轮国家科技创新基地建设布局时应考虑这一因素,加快建设我国医学地质研究、人才培养和国际合作的国家级研究基地.与平台建设类似,我国还没有专门培养医学地质人才的学科点和依托单位.应在条件成熟的学位点和研究生培养单位,与聚合研究紧密结合,从培养硕

士和博士入手,尽快构建我国医学地质人才培养体系.

致谢:感谢段萌语博士提供高砷、高氟和高碘地下水研究领域主要国家的发文量和被引频次对比的检索数据.感谢赵亚乾、马腾教授提供部分参考文献,马腾教授还分享了他在抗击新冠肺炎疫情期间提出的“新冠肺炎疫情对生物威胁的几点启示”建议的观点.本文相关研究工作得到国家自然科学基金创新研究群体项目(No. 41521001)资助.

References

- Afelt, A., Lacroix, A., Zawadzka-Pawlewska, U., et al., 2018. Distribution of Bat-Borne Viruses and Environment Patterns. *Infection, Genetics and Evolution*, 58: 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2017.12.009>
- Chakrabarti, D., Singh, S. K., Rashid, M. H., et al., 2018. Arsenic: Occurrence in Groundwater. In: Nriagu, J. O., ed., *Encyclopedia of Environmental Health* (2nd Edition). Elsevier, Philadelphia, Netherlands, 153–168. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10634-7>
- Destoumieux-Garzón, D., Mavingui, P., Boetsch, G., et al., 2018. The One Health Concept: 10 Years Old and a Long Road Ahead. *Frontiers in Veterinary Science*, 5: 14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00014>
- Environmental Geology Research Group, 1972. Preliminary Exploration of Geochemical Environment in the Area of Keshan Disease and Kashin-Beck Disease. *Geochimica*, 1: 12–22(in Chinese).
- Finkelman, R. B., 2019. The Influence of Clays on Human Health: A Medical Geology Perspective. *Clays and Clay Minerals*, 67(1): 1–6. <https://doi.org/10.1007/s42860-018-0001-9>
- Guerra, M., Walker, E., Jones, C., et al., 2002. Predicting the Risk of Lyme Disease: Habitat Suitability for Ixodes Scapularis in the North Central United States. *Emerging Infectious Diseases*, 8(3): 289–297. <https://doi.org/10.3201/eid0803.010166>
- Hasan, M. A., Mouw, C., Jutla, A., et al., 2018. Quantification of Rotavirus Diarrheal Risk Due to Hydroclimatic Extremes over South Asia: Prospects of Satellite-Based Observations in Detecting Outbreaks. *GeoHealth*, 2(2): 70–86. <https://doi.org/10.1002/2017gh000101>
- Hong, Y. T., Jiang, J. Y., Yu, Z. C., et al., 1979. Environmental Geochemistry of Molybdenum and Its Bearing on Heart Health. *Geochimica*, 8(2): 156–169, 178(in Chinese with English abstract).

- Hu, B., Zeng, L. P., Yang, X. L., et al., 2017. Discovery of a Rich Gene Pool of Bat SARS-Related Coronaviruses Provides New Insights into the Origin of SARS Coronavirus. *PLoS Pathogens*, 13(11): e1006698. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006698>
- Institute of Medicine and National Research Council, 2007. Earth Materials and Health: Research Priorities for Earth Science and Public Health. The National Academies Press, Washington, D.C..
- Lebov, J., Grieger, K., Womack, D., et al., 2017. A Framework for one Health Research. *One Health*, 3: 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2017.03.004>
- Lin, N. F., 1991. Environmental Geochemistry of Medicine. Jilin Science and Technology Publishing House, Changchun(in Chinese).
- Liu, D.S., Chen, Q.M., Yu, Z.C., et al., 1980. Geochemical Environment Problems Concerning the Endemic Fluorine Disease in China. *Geochimica*, 9(1): 13–22(in Chinese with English abstract).
- McNutt, M. K., 2017. Convergence in the Geosciences. *Geo-Health*, 1(1): 2–3. <https://doi.org/10.1002/2017gh000068>
- Nkengasong, J., 2020. China's Response to a Novel Coronavirus Stands in Stark Contrast to the 2002 SARS Outbreak Response. *Nature Medicine*, 26(3):310–311.
- Roco, M. C., Bainbridge, W. S., 2002. Converging Technologies for Improving Human Performance: Integrating from the Nanoscale. *Journal of Nanoparticle Research*, 4:281–295. <https://doi.org/10.1023/a:1021152023349>
- Selinus, O., 2013. Essentials of Medical Geology(Revised Edition). Springer, Dordrecht Heidelberg, New York, London.
- Tang, Y.G., Zheng, B.S, 2003. Medical Geology and Its Development Prospects. *Bulletin of National Science Foundation of China*, 17(5): 270–272(in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. X., Li, P., Guo, Q. H., et al., 2018. Environmental Biogeochemistry of High Arsenic Geothermal Fluids. *Applied Geochemistry*, 97: 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.07.015>
- Wang, Y.X., Wang, Q.R., Deng, Y.M., et al., 2020. Assessment of the Impact of Geogenic and Climatic Factors on Global Risk of Urinary Stone Disease. *Science of Total Environment*, 721:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137769>
- Williams, L. B., 2019. Natural Antibacterial Clays: Historical Uses and Modern Advances. *Clays and Clay Minerals*, 67(1): 7–24. <https://doi.org/10.1007/s42860-018-0002-8>
- Xie, X. J., Wang, Y. X., Su, C. L., et al., 2012. Influence of Irrigation Practices on Arsenic Mobilization: Evidence from Isotope Composition and Cl/Br Ratios in Groundwater from Datong Basin, Northern China. *Journal of Hydrology*, 424–425: 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.12.017>
- Xue, X. B., Li, J. X., Xie, X. J., et al., 2019. Impacts of Sediment Compaction on Iodine Enrichment in Deep Aquifers of the North China Plain. *Water Research*, 159: 480–489. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.036>
- Zhou, P., Yang, X., Wang, X., et al., 2020. A Pneumonia Outbreak Associated with a New Coronavirus of Probable Bat Origin. *Nature*, 579:270–273.

附中文参考文献

- 洪业汤, 蒋九余, 余志成, 等, 1979. 钼的环境地球化学与心脏健康. *地球化学*, 8(2): 156–169, 178.
- 环境地质研究组, 1972. 克山病、大骨节病地区地球化学环境的初步探索. *地球化学*, 1:12–22.
- 林年丰, 1991. 医学环境地球化学. 长春: 吉林科学技术出版社.
- 刘东生, 陈庆沐, 余志成, 等, 1980. 我国地方性氟病的地球化学问题. *地球化学*, 9(1): 13–22.
- 唐跃刚, 郑宝山, 2003. 医学地质学及其发展前景. *中国科学基金*, 17(5): 270–272.